

中华人民共和国水利行业标准

SL/T 291.1—2021

替代 SL 326—2005

水利水电工程勘探规程

第 1 部分：物探

Code for exploration of water resources and
hydropower projects

Part 1: geophysical exploration

2021 - 07 - 01 发布

2021 - 10 - 01 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》等4项水利行业标准的公告

2021年第5号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》（SL/T 291.1—2021）等4项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程 勘探规程 第1 部分：物探	SL/T 291.1—2021	SL 326—2005	2021.7.1	2021.10.1
2	水利水电工程 施工地质规程	SL/T 313—2021	SL 313—2004	2021.7.1	2021.10.1
3	河湖生态环境 需水计算规范	SL/T 712—2021	SL/Z 712—2014	2021.7.1	2021.10.1
4	水工建筑物环 氧树脂灌浆材料 技术规范	SL/T 877—2021		2021.7.1	2021.10.1

水利部

2021年7月1日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共 8 章和 4 个附录，主要技术内容有：

——物探方法与技术的准确表述；

——综合探测、检测与监测、测试、成果报告的要求；

本标准修订的主要技术内容有：

——增加了伪随机流场法、聚焦电法、电磁感应法和磁电阻率法；

——增加了探地雷达的孔内探测法和三维探测法；

——增加了三维地震反射波法、水域地层剖面探测和水域多道地震勘探；

——增加了超声横波反射三维成像法、电阻率层析成像法；

——增加了水下探测和管道内部检测等方法；

——增加了库坝渗漏探测、防渗帷幕线探测、水库淤积探测、地下管线探测、水下建筑物检测、爆破振动和环境噪声和场地微震动监测、微震监测、场地抗震动力参数测试；

——增加了常规仪器设备校验方法；

——删除了环境氡测量法、同位素示踪法。

本标准所替代标准的历次版本为：

——DL 5010—92

——SL 326—2005

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总局

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总局

本标准主编单位：长江地球物理探测（武汉）有限公司

本标准参编单位：长江勘测规划设计研究有限责任公司

黄河勘测规划设计研究院有限公司

中水北方勘测设计研究有限责任公司

中水东北勘测设计研究有限责任公司

中水珠江规划勘测设计有限公司

北京市水利规划设计研究院

江河水利水电咨询中心

四川中水成勘院工程物探检测有限公司

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司

山东大学

湖南奥成科技有限公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：张建清 李术才 司富安 沙 椿

陈 敏 杨 芳 马若龙 陈 杰

刘栋臣 林万顺 杜兴忠 许 平

唐 力 潘 军 王槐仁 汤 浩

王志豪 徐 涛 丁亮清 马圣敏

李 鹏 徐 磊 陈江平 尹 剑

栾明龙 孙冠军 王绍彪 李广超

涂善波

本标准审查会议技术负责人：郭 建

本标准体例格式审查人：牟广丞

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	术语	3
3	基本规定	6
3.1	物探任务	6
3.2	工作流程	6
3.3	仪器设备管理	7
3.4	试验工作	7
3.5	测网(线)布置	8
3.6	测量工作	9
3.7	观测、重复观测、检查观测	10
3.8	资料整理与图件	10
3.9	资料校审与归档	13
4	物探方法与技术	15
4.1	一般规定	15
4.2	电法勘探	15
4.3	电磁法勘探	36
4.4	探地雷达探测	52
4.5	地震勘探	57
4.6	水下探测	83
4.7	管道内部检测	92
4.8	弹性波测试	96
4.9	层析成像	116
4.10	放射性测量	125
4.11	地球物理测井	131
5	综合探测	143
5.1	一般规定	143

5.2	覆盖层探测	143
5.3	隐伏构造破碎带探测	146
5.4	软弱夹层探测	149
5.5	岩体风化、卸荷带探测	151
5.6	滑坡体探测	153
5.7	岩溶探测	155
5.8	库坝渗漏探测	158
5.9	地下水探测	160
5.10	防渗帷幕线探测	162
5.11	堤防隐患探测	164
5.12	隧洞施工物探超前地质预报	167
5.13	水库淤积探测	170
5.14	地下管线探测	171
6	检测与监测	175
6.1	一般规定	175
6.2	岩体质量检测	175
6.3	洞室松弛圈检测	179
6.4	固结灌浆质量检测	181
6.5	帷幕灌浆质量检测	183
6.6	防渗墙质量检测	185
6.7	堆石(土)体密实度检测	186
6.8	堆石坝面板质量检测	187
6.9	混凝土质量检测	189
6.10	洞室混凝土衬砌质量检测	191
6.11	钢衬与混凝土接触状况检测	192
6.12	锚杆锚固质量检测	194
6.13	洞室环境放射性检测	196
6.14	水下建筑物检测	197
6.15	爆破振动、环境噪声和场地微振动监测	200
6.16	微震监测	204

7	测试	208
7.1	场地抗震动力参数测试	208
7.2	岩土电性参数测试	209
7.3	岩土体物理和力学参数测试	211
7.4	水文地质参数测试	215
8	成果报告	219
8.1	物探综合探测成果报告	219
8.2	物探检测、监测成果报告	221
8.3	物探测试成果报告	221
附录 A	物探应用一览表	223
附录 B	常规仪器设备校验方法	233
附录 C	物性参数表	248
附录 D	基本公式及计算图表	252
	标准用词说明	279
	标准历次版本编写者信息	280
	条文说明	281

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程物探工作技术要求，保证物探成果质量，充分发挥物探技术在水利水电工程勘察、检测、监测、测试中的作用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程规划、设计、施工、运行、报废等各阶段的工程地球物理综合探测、检测与监测、测试工作。

1.0.3 本标准主要引用下列标准：

GB 3836 爆炸性环境

GB 6722 爆破安全规程

GB/T 12763.10 海洋调查规范 第10部分：海底地形地貌调查

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 50487 水利水电工程地质勘察规范

SL 52 水利水电工程测量规范

SL 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 73.3 水利水电工程制图标准 勘测图

SL 264 水利水电工程岩石试验规程

SL 275 核子水分-密度仪现场测试规程

SL 551 土石坝安全监测技术规范

SL 601 混凝土坝安全监测技术规范

SL 713 水工结构混凝土缺陷检测技术规程

CJJ 181 城镇排水管道检测与评估技术规程

DL/T 5333 水电水利工程爆破安全监测规程

EJ/T 363 地面伽马能谱测量规范

EJ/T 831 地面伽马总量测量规范

NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范

JT/T 790 多波束测深系统测量技术要求

1.0.4 水利水电工程物探工作除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

行业标准

2 术 语

2.0.1 电法勘探 electrical exploration

利用各类岩石或地质体的电学性质（如导电性、介电性）和电化学特性差异，通过对人工或天然电场、电化场的空间分布规律和时间特性的观测和研究，查明地质构造、解决工程地质问题的一类地球物理勘探方法。

2.0.2 电磁法勘探 electromagnetic exploration

利用岩石的电阻抗差异，根据电磁感应原理，利用天然或人工电磁场探测地电分布情况的一类地球物理勘探方法。

2.0.3 探地雷达 ground penetrating radar

利用电磁波的反射原理，使用探地雷达仪器向地下发射和接收具有一定频率的高频脉冲电磁波，通过识别和分析反射电磁波来探测周边介质具有一定电性差异的目标体的一种地球物理勘探方法。

2.0.4 地震勘探 seismic exploration

利用地下介质弹性和密度的差异，通过研究地球表面日常微小的颤动或人工激发的地震波在岩土层中的传播规律以探测地下地质构造、划分地层或测定岩土体力学参数的一类地球物理勘探方法。

2.0.5 弹性波测试 elasticity wave testing

利用弹性波的运动学和动力学原理，对岩土体和混凝土体进行波速测试或缺陷探测的一类测试方法。

2.0.6 层析成像 computerized tomography

利用弹性波、电磁波的透射原理或利用直流电位场，对被测区域进行多方位断面扫描，重建波速、能量吸收或电阻率图像的一类探测方法。

2.0.7 放射性测量 radioactivity survey

利用介质的天然或人工放射性特点，通过记录射线数量和测量射线强度进行勘探的一种测试方法。

2.0.8 地球物理测井 geophysics logging

利用钻孔测试孔周介质或井液物理参数和特性的一类地球物理探测方法。

2.0.9 管道内部检测 pipe inner inspection

利用光学或声学原理检测管道内部状况的一类检测方法。

2.0.10 水下探测 underwater detection

利用光学、声学或磁场原理查明水底地形地貌、水下目标体形态及表面缺陷的一类探测方法。

2.0.11 伪随机流场法 pseudo-random flow field method

利用发射特殊波形电流生成的电流场，拟合渗漏造成的异常水流场分布，查明渗漏入水口的一种探测方法。

2.0.12 聚焦电法 focused-electrical method

在隧洞超前地质预报中，利用多个同极性电极供电产生的电场叠加，使得中间供电电极电流产生聚束效应，通过观测和分析多同性源电极产生电场的分布规律，查明掌子面前方一定范围地质情况的一类探测方法。

2.0.13 电磁感应法 electromagnetic induction method

将发射和接收线圈以一定方式组成测试装置，发射一定频率的电磁波，接收地下介质感应产生的电磁场，从而查明地下目标体的一种探测方法。

2.0.14 水域地层剖面探测 underwater seismic profiling method

利用地震波的反射原理，采用人工激发高频地震波和单次覆盖技术探测水下地质体的一种地震勘探方法。

2.0.15 超声横波反射三维成像 ultrasonic shear wave reflection 3D tomography

在混凝土表面布置阵列式传感器，采用干耦合多发多收超声横波工作方式，利用合成孔径聚焦技术重建混凝土内部波阻抗分布的三维图像，查明混凝土内部结构状况的一种探测方法。

2.0.16 地下管线探测 underground pipeline detection

利用地下管线与周围介质物性差异，探测指定区域地下管线的一类地球物理探测方法。

2.0.17 附加质量法 additional mass method

以单自由度弹性体系为理论模型，在堆石（土）体上附加多级刚性质量体，通过人工激震测得参振体的自振频率，得到参振体的动刚度和参振质量，再计算出堆石体密度的一种原位无损探测方法。

2.0.18 微震监测 microseismic monitoring

通过监测大体积混凝土体、岩体或建筑物结构内部破裂产生的震动信息，对监测对象的破坏状况、安全状况等作出评价的一种监测方法。

2.0.19 磁电阻率法 magnetometric resistivity method

通过在挡水建筑物迎水侧和背水侧供交变电流，测量渗漏探测工作区域内产生的磁场，分析地下电流空间分布规律，以此判断渗漏集中通道的一种探测方法。

2.0.20 钻孔全景数字成像 panoramic digital imaging of borehole

利用光学成像与图像展开原理，通过对孔壁图像扫描，形成钻孔孔壁展开图像或虚拟岩芯图像的一种检测方法。

3 基本规定

3.1 物探任务

3.1.1 水利水电工程规划、项目建议书、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计等各阶段，物探工作应根据 GB 50487 规定的勘察任务要求布置，且应满足相应勘察设计阶段的探测深度和精度要求。

3.1.2 施工、运行和报废各阶段的物探检测、监测和测试工作应根据有关规程及任务要求进行，相关监测工作执行 SL 551、SL 601 的规定。

3.2 工作流程

3.2.1 水利水电工程物探工作应按接受任务、搜集资料、现场踏勘、编制工作技术大纲、试验工作、现场工作、资料检查和评价、资料整理分析处理、成果报告编写、成果校审和提交、资料归档等流程进行。

3.2.2 物探工作实施前应编制物探工作技术大纲或方案，并包括下列主要内容：

- 1 项目概况，工作任务来源、目的和工作量等。
- 2 地形、地质及地球物理条件，物探工作的难点、不利条件和因素等。
- 3 有关技术标准和要求。
- 4 项目组织和设备。
- 5 试验工作。
- 6 现场工作方法与技术。
- 7 质量目标及控制措施，现场配合和协调工作。
- 8 工作进度与工期安排。
- 9 项目危险源识别，现场安全、职业健康和环境保护措施。

3.2.3 施工、运行和报废各阶段物探检测工作前应与工程建设、现场施工或管理运营单位，协调现场检测工作，排除干扰因素，保证检测人员和设备安全。

3.3 仪器设备管理

3.3.1 仪器设备应由专人管理，以一机一档的方式建立设备档案，详细记录其使用及交接情况、校验情况、故障情况和维修处理结果等，且应有明显的状态标识。

3.3.2 仪器不使用时，主机和主要配件应存放在清洁、干燥、防尘、通风、无腐蚀性气体的仪器专用库房内。对于采用内置充电电池供电的仪器，长期不使用时应定期对仪器进行充电维护。

3.3.3 仪器出入库应检查，仪器运输前应进行妥善包装，包装箱内应有防振设施，箱外应注明“防潮、防震、勿倒置”等字样或警示符号，仪器到达工地后应检查。

3.3.4 仪器使用说明书、操作手册、软件及使用和维护的有关技术资料应有专人保管，借出应办理相关手续。

3.3.5 用于物探工作的仪器应校验合格，常规物探仪器设备校验参照附录 B。

3.3.6 仪器校验周期不宜超过一年，仪器主机的主要部件维修后应记录处理情况，并重新校验。

3.4 试验工作

3.4.1 项目实施前应根据测区地形、地质及地球物理条件开展试验工作。项目实施中遇测区条件变差或局部地段记录质量明显下降时，应开展试验工作。

3.4.2 试验工作前，应收集、分析测区地质、设计、施工等相关资料，根据测区条件和物探任务制定试验方案。

3.4.3 试验工作应遵循由已知到未知，由简单到复杂的原则，试验地段应选在具有代表性的地段或有钻孔的位置。

3.4.4 试验内容宜包括选择物探方法、仪器工作参数、现场工

作参数、测网布置和验证等。

3.4.5 当有多种适用方法时，应进行对比试验，选择精度满足要求、效率高、经济性好的方法。当地质、地球物理条件复杂或地形条件较差时，宜选择两种及以上有相互补充作用的方法。

3.4.6 仪器工作参数试验应符合下列规定：

1 应监测或测试现场环境干扰参数水平，分析干扰特性和来源。

2 应进行仪器的发射和接收参数试验，确定压制干扰信号的工作参数。

3 应通过试验确定正式工作时仪器在相应观测系统或装置下的主要工作参数范围。

3.4.7 对选定的物探方法应进行不同观测系统或装置的效果试验，确定正式工作时的参数。

3.4.8 测网布置试验应针对事先筛选的观测系统或装置，在已知介质的地段进行不同测线方向、不同线距和点距的效果试验。

3.4.9 试验结束后应及时进行资料处理和分析，宜结合地质分析、钻探等手段进行验证，对试验结果做出明确结论，合格的试验成果可作为生产成果的一部分。

3.5 测网（线）布置

3.5.1 地表测网（线）布置应根据试验结果、探测方法、探测目标的规模与埋深和现场地质、地球物理、地形条件等因素确定，洞室物探测线布置应根据任务目的和现场条件确定。

3.5.2 测线、测点应统一编号，需要验证的异常点应提供准确的坐标。

3.5.3 测网（线）应依据相应工程阶段的地质图或设计图进行布置，比例尺宜与同阶段地质勘察或工程设计的图纸比例尺一致。

3.5.4 测线方向宜垂直地层、构造和主要探测对象走向，宜布置在地形起伏较小和表层介质相对均匀的地段，应避开干扰源。

山区布置测线时，若地形起伏不大，可沿坡度相近的山坡布置长测线；若地形起伏较大，尤其是在山脊或山谷两侧，应分段布置短测线。

3.5.5 测线宜与地质勘探线一致，多种物探方法的测线宜保持一致。

3.5.6 测线布置应以追踪的重要异常为中心向两边延伸，测线长度宜大于探测深度及超过异常宽度 3 倍。当测区边界附近发现重要异常时，应把测线适当扩展到测区外追踪异常，扩展的原则宜涵盖异常区域并有一定规模的正常场。

3.5.7 对测区重要异常进行探测时，至少应有 2 条测线通过，每条测线上至少应有 3 个相邻点予以控制。

3.5.8 在地质构造复杂、物探异常地段应加密测线和测点。

3.5.9 测点间距应根据物探方法、探测精度和工作任务确定，可在平面图上清楚反映探测对象的规模、走向。

3.5.10 当测量放点与原计划测网布置不一致时，应重新绘制测量布置图或补充放点说明。

3.6 测量工作

3.6.1 物探测线、测点和钻孔的测量工作宜使用水利水电工程项目建立的测量控制网，在尚未建立控制网的区域，应设物探基点作为布设和测量依据。

3.6.2 物探测线端点、转折点、控制点、钻孔孔口测量精度应符合 SL 52 的规定。

3.6.3 物探测线和测点应先在地形图上标注，然后在现场放样。

3.6.4 地下洞室、施工开挖面的物探测线端点、转折点、控制点和钻孔宜根据工程勘察设计或施工现场已有的测量控制桩，采用测量绳、测量尺进行测量并刷写标志和编号。测线端点、转折点、控制点间的物探测点可采用测量绳、测量尺进行测量。

3.6.5 布置在混凝土或岩体表面进行高精度探测或检测的连续测线，宜使用带定位测量功能的仪器。

3.6.6 在洞室或地面进行连续剖面自动测试时，应布置测量控制桩。

3.6.7 用于测量的仪器、测量绳或测量尺、测量轮应检查合格。

3.6.8 测线测量的精度和制图比例尺可根据剖面的长短、比高的大小而定，同一条剖面宜绘在一张图纸上。

3.6.9 地形点应能反映地貌变化，地形或洞向变化点、地物点、地质勘察点和不同剖面的交点等均应测量其平面位置和高程。

3.6.10 现场测量工作完成后，应整理测量记录、计算资料，整理测量成果表，测点分布图、剖面图等资料。

3.7 观测、重复观测、检查观测

3.7.1 观测时，激发信号和接收信号应在背景相对安静和信号相对稳定时进行。

3.7.2 重复观测应符合下列规定：

1 在测线的端点、曲线的突变点和畸变线段、仪器参数或观测条件改变的情况下，应进行重复观测，重复观测的平均相对误差应小于5%。

2 操作员应现场检查每个记录，若不符合要求，应查明原因并及时重测。

3.7.3 检查观测应符合下列规定：

1 一个测区或测线的检查观测工作量不应少于该测区或测线总工作量的5%。

2 检查点宜在全测区范围内均匀分布，异常地段、可疑点、突变点应有检查点。

3 一个测区或测线的检查观测误差大于本标准要求时，应全部重测。

3.8 资料整理与图件

3.8.1 物探记录应及时整理并符合下列规定：

1 物探记录包括：仪器检验和检查记录，原始记录，重复

观测和检查观测记录，测量记录，成果校审记录，强制性条文检查记录，质量、环境、职业健康安全管理体系记录，经评审适用且可追溯的外源资料记录、用户反馈记录等。

2 原始记录包括：现场班报（包括工程名称、测区、测线或钻孔、测点号、工作单位和操作人员、校验人员、记录人员、仪器名称、型号、仪器主要工作技术参数、观测系统等），观测数据或记录，文件号，数据的打印记录，仪器观测过程中的异常情况记录等。

3 纸质记录不应涂改、擦去或撕页，仪器采集数据文件号不应有错，文件内容应齐全。

4 原始记录宜采用电子记录，电子记录应设为不可修改格式，电子记录的责任人电子签章应完整，电子记录应及时备份或异地保存。

3.8.2 资料检查和评价应符合下列规定：

1 现场操作人员应对全部原始记录进行自检。

2 专业技术负责人应及时组织人员对原始记录进行检查和评价，抽查率应大于 30%。

3 原始资料评定分为合格与不合格，存在下列情况之一者为不合格：

1) 记录不全。

2) 原始记录有涂改、擦去、撕页现象。

3) 计算机采集数据文件名与内容不符。

4) 未按要求做重复观测、检查观测。

5) 检查观测精度不符合要求。

6) 使用的仪器主要技术参数不合格、工作性能不稳定。

7) 仪器设备无相关技术单位的合格证明。

8) 采用不符合要求的观测系统和装置。

9) 需要进行漏电检查的仪器没有进行漏电检查或检查不合格。

10) 国家强制检定的工作计量器具目录所涉及仪器必须进

行强制周期检定，未检定或检定不合格仪器所取得的全部记录。

11) 使用未做校准或校准结果不合格的仪器所取得的全部记录。

3.8.3 资料整理与解释应符合下列规定：

1 数据处理应采用经评定合格的处理软件。

2 资料的解释与推断应充分结合物探工作范围内的地质、设计和施工资料，在反复对比分析中，总结和分析各种异常现象，得出可靠的结论。

3 应遵循内外业同步进行、内业指导外业的原则，现场应及时对资料进行初步整理和解释。如果发现原始资料有可疑之处或论述解释结论不够充分时，应做必要的外业补充工作。

4 解释时应分析综合资料，充分考虑地质情况或相关的工程技术资料与探测结果的内在联系，以及可能存在的干扰因素。

5 解释成果应使用专业语言表达。

6 成果数据应采用国家法定计量单位。

3.8.4 图件应符合下列规定：

1 图件应与技术报告内容相呼应，应被技术报告内容引出，图件应有图号和图名。

2 图件应包括工作布置图、物探成果图、物探成果解释图等。

3 工作布置图应注明测点、测线端点、转折点、钻孔、探洞、布极方向等主要信息，洞室物探的探测孔，测线除应绘制测线、钻孔分布展示图外，还应绘制横断面测线和钻孔分布图。

4 物探成果图件应包括单一物探方法或综合物探方法所得到的剖面或平面图件，图件可是曲线图、等值线图或图像等。

5 物探成果解释图应与物性资料相对应。

6 物探成果地质解译图应符合 SL 73.3 的规定。

7 物探成果图与物探成果解释图宜绘制在一张图上，上部绘制物探成果图，下部绘制物探成果解释图。

8 物探采集的数据包括二维剖面数据、三维数据体，对于多剖面二维数据宜采用三维展示方式，对于三维数据宜生成物探解释的三维体作为解释后成果。

3.9 资料校审与归档

3.9.1 物探成果应经校核和审查后方可向用户提交，校核和审查工作应由具有相应技术资格的人员完成。

3.9.2 呈送校核和审查的成果应包括下列内容：

- 1 符合 3.8.1 条规定的物探记录。
- 2 报告、附图和附表。
- 3 中间性解释和推算资料，如速度参数和各种校正资料及解释资料等。
- 4 任务书或项目合同。
- 5 建设单位、勘察、设计、监理或施工部门有关该工程项目的技术要求文件。

3.9.3 提交校核和审查的成果应符合下列要求：

- 1 内容完整、图表齐全且按要求绘制。
- 2 文字报告章节合理，文理通顺。
- 3 图件中应无严重错误。
- 4 逻辑推理正确，综合分析充分，对主要问题有明确的结论和建议。

3.9.4 报告校核应包括下列内容：

- 1 原始记录是否合格。
- 2 成果报告文字表述是否语言简练、逻辑性强、内容完整、重点突出、立论有据、结论明确，图表是否齐全。
- 3 现场工作方法选择、工作布置、工作量、技术运用是否合理。
- 4 计算公式及图表是否正确。
- 5 成果数据的计算过程是否正确。
- 6 解释方法及技术是否合理。

3.9.5 报告审查应包括下列内容：

- 1 工作流程合规性。
- 2 评价任务完成情况与合同或任务书要求的符合性。
- 3 现场工作方法选择、工作布置、技术运用的合理性。
- 4 数据处理及解释方法的正确性，成果图表的规范和完整性。
- 5 确定成果结论的可靠性，应用范围、建议的合理性，识别成果报告结论及建议的风险。
- 6 协调处理报告编写人与校核人的不同意见。

3.9.6 成果报告完成印刷和提交后应进行归档，归档资料包括纸质文档及相应电子文档，宜包括下列内容：

- 1 任务书或项目合同、物探技术方案。
- 2 物探记录及收集的相关资料。
- 3 提交的中间成果资料，中间性解释和推算资料、计算成果附图、附表。
- 4 成果报告及图件。

4 物探方法与技术

4.1 一般规定

4.1.1 物探方法应根据物探任务、地质及地球物理条件、地形地貌特点、外部环境、现场试验结果进行选择，应符合下列规定：

1 被探测对象与周围介质应存在物性差异，常见岩土介质物性参数可参照附录 C 使用。

2 被探测对象几何尺寸与埋藏深度之比不宜小于 1/10。

3 被探测对象的地球物理异常可在背景场中识别。

4.1.2 物探工作应遵循从已知到未知、简单到复杂的原则，从已知地质条件的地段开始，取得现场背景资料后再开展复杂地段的工作。

4.1.3 地质、地球物理条件复杂或重要地段，宜采用多种物探方法相互验证。

4.1.4 物探探测和检测过程中，宜布置物探参数测试孔。

4.1.5 在数据处理和资料解释过程中，应充分收集和了解已知勘察、设计和施工资料。

4.1.6 对未解决的地质问题及其原因、取得的其他成果与认识应予以说明。

4.2 电法勘探

4.2.1 电法勘探可选用电测深法、电剖面法、高密度电法、自然电场法、充电法、激发极化法、伪随机流场法、聚焦电法等。

4.2.2 应用条件应符合下列规定：

1 电测深法、电剖面法、高密度电法、充电法、激发极化法、聚焦电法应符合下列规定：

1) 被探测目标层与相邻地层之间或目标体与周边介质之

间应有电性差异，且电性界面与地质界面相关。

- 2) 被探测的目标层或目标体相对于埋深和装置长度应有一定的规模。
- 3) 采用电极接地测量方式的方法要求被探测目标层或目标体上方应无极高电阻屏蔽层。
- 4) 各地层或目标体电性应稳定，异常范围和幅值等特征应可以被测量和追踪。
- 5) 测区内应无较强的游散电流、大地电流或其他电磁干扰。

2 电测深法探测还应符合下列规定：

- 1) 地下电性层层次不多，电性标志层稳定，被探测层与供电极距相比应具有一定规模和厚度。
- 2) 下伏基岩或被探测目标层层面与地面交角不宜大于 20° 。
- 3) 测区内宜有一定数量的中间层电阻率资料。

3 电剖面法探测的地质界面走向或构造走向与地面的交角应大于 30° 。

4 自然电场法探测渗流场还应符合下列规定：

- 1) 测定地下水流速流向时，渗流速度宜较大，地下水的矿化度宜较低，岩石宜为微孔隙结构，应能形成较强的自然电场。
- 2) 饱水渗流层埋藏不宜较深，上覆和下伏地层电阻率应较高。

5 充电法探测还应符合下列规定：

- 1) 测试地下水流速流向时，测区应有钻孔，钻孔应深入地下水位以下一定深度，金属套管应位于地下水位以上。
- 2) 含水层埋深宜小于 50m，地下水流速宜大于 1m/d，周边介质电阻率应大于水的电阻率 3 倍。
- 3) 探测低阻地质体时被探测地质体的导电率应大于围岩

导电率的 10 倍，规模大小应与埋深相当，埋深不宜大于 25m。

4) 埋于地下的目标体应与浅井、泉眼、坑道等天然或人工露头连通。

6 激发极化法探测地下水还应符合下列规定：

1) 在固液相界面上应有明显的以离子交换形式存在的电化学反应和电荷效应。

2) 测区宜避开较强电化学效应的金属矿物、煤层、石墨、碳化岩层等。

7 伪随机流场法应符合下列规定：

1) 渗漏出口与入口应有水流通路，宜具有一定渗漏量和流速的集中渗漏。

2) 渗漏出口与入口相距不宜超过 1000m。

4.2.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定：

1 电测深法、电剖面法、自然电场法、充电法、激发极化法、聚焦电法仪器主要技术指标应符合下列规定：

1) 输入阻抗应大于 $8M\Omega$ ，应有过载和过流保护装置。

2) A、B、M、N 插头和外壳之间的绝缘电阻应大于 $100M\Omega/500V$ 。

3) 电压测量允许误差不应超过 $\pm 1\%$ ，分辨力不应大于 $0.01mV$ 。

4) 电流测量允许误差不应超过 $\pm 1\%$ ，分辨力不应大于 $0.01mA$ 。

5) 极化最大自动补偿范围不应窄于 $\pm 1V$ 。

6) 最大供电电压不应小于 $900V$ 。

7) 最大供电电流不应小于 $3A$ 。

8) 对 $50Hz$ 工频干扰抑制不应小于 $40dB$ 。

2 激发极化法仪器与设备除应符合 4.2.3 条 1 款的规定外，还应符合下列规定：

1) 应具有显示视极化率、视激发比、半衰时、衰减度等

综合激电参数、电极参数等功能。

- 2) 应具有自然电位、漂移及电极极化补偿功能。
- 3) 供电电极应采用铜电极或不锈钢电极。
- 4) 测量电极应采用不极化电极。
- 5) 不极化电极极差不应大于 2mV，相对稳定。

3 高密度电法采集系统应由多通道直流电测仪和电极阵列组成，采集系统主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 测量电压分辨率不应大于 0.01mV。
- 2) 测量电流分辨率不应大于 0.01mA。
- 3) 最大补偿允许范围不应窄于 $\pm 1V$ 。
- 4) 输入阻抗不应小于 $8M\Omega$ 。
- 5) 最大供电电压不应小于 400V。
- 6) 最大供电电流不应小于 2A。

4 高密度电法的电极和电缆应符合下列规定：

- 1) 电极宜使用稳定性较好的不锈钢电极或铜电极，电极长度不宜小于 30cm、直径不宜小于 10mm。
- 2) 多芯电缆芯线电阻不应大于 $240\Omega/km$ ，芯间绝缘电阻不应小于 $5M\Omega/km$ 。

5 伪随机流场法仪器主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 发送机输出波形应为方波或双频波，频率稳定度不应大于 $1 \times 10^{-4}/h$ 。最大发送电压不应小于 90V，最大发送电流不应小于 500mA。
- 2) 接收机中心频率 f_0 应满足 $1/f_0$ 不小于 3dB 带宽，测试电流密度的灵敏度不应小于 $0.1mA/m^2$ ，输入阻抗不应小于 $150k\Omega$ ，对 50Hz 工频干扰抑制不应小于 50dB。

6 电测深法、电剖面法、充电法供电电极宜使用稳定性好的不锈钢电极或铁电极，电测深法、电剖面法测量电极宜使用稳定性好的铜电极。供电的金属电极直径宜为 12mm，长度不宜小于 50cm；测量的金属电极直径宜为 10mm，长度不宜小于 30cm。

7 供电和测量导线应符合下列规定：

- 1) 导线耐压不应小于 $1000\text{V}/5\text{A}$ 。
- 2) 导线的内阻值不应大于 $17\Omega/\text{km}$ 。
- 3) 导线的对地绝缘电阻不应小于 $5\text{M}\Omega$ 。

8 仪器外壳与电极间绝缘电阻不应小于 $300\text{M}\Omega$ ，导线绝缘电阻不应小于 $2\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

4.2.4 工作布置除应符合 3.5 节的规定外，还应符合下列规定：

1 电测深法的测点、自然电场法剖面以外的基点、充电法的充电点、主要异常点、测线端点、转折点均应进行坐标测量。电测深法在相应精度的成果图上点距宜为 $1\sim 3\text{cm}$ ，测线距宜为点距的 $1\sim 3$ 倍。

2 电剖面法测网布置应符合下列规定：

- 1) 应垂直于地质构造带、岩性分界面走向，应平行布置多条测线。
- 2) 通过局部异常地段的测线不应少于 2 条，每条测线上反映同一目标体的异常点不应少于 3 个。
- 3) 可根据任务要求、探测目标体规模和埋深 H 确定线距和点距，点距宜为 $H/3\sim 1H$ ，线距宜为点距的 $2\sim 5$ 倍。
- 4) 如果观测结果以平面等值线图形式反映地质体各向异性时，点距和线距宜一致。

3 高密度电法应根据装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等要求确定点距和相邻排列的重叠长度。

4 自然电场法应选择地势相对平坦、地表较湿润、电场稳定、远离地表径流的地段。测线可布置成网状，应在测网内设置基点；范围较大时，宜设置多个基点和分基点。

5 充电法探测地下水流速流向时，应以孔口为中心均匀布置 8 条或 12 条辐射状测线，测线的方向误差应为 $\pm 5^\circ$ 。充电法探测低阻地质体时，应以低阻地质体为中心，测点间距宜小于探测目标体埋深的 $1/2$ ，测线间距宜为点距的 $2\sim 5$ 倍，应有 3 条

以上剖面通过低阻地质体。

6 伪随机流场法测线布置应符合下列规定：

- 1) 测线宜为网格状布置。
- 2) 测线间距宜为 1~5m，点距宜为 1~2m，在异常位置宜加密至 0.5m。
- 3) 测线布置应避开金属物。

7 聚焦电法测线布置应符合下列规定：

- 1) 应在距掌子面后方分别布置多个同极性供电 A 极，测量 N 极应布置在隧道出口方向，电极 N 与掌子面的距离不应小于 10 倍的供电电极 A 与测量电极 M 之间的距离，B 极距掌子面应远于电极 N，且与电极 N 的间距不小于 10 倍的供电电极 A 与测量电极 M 之间的距离，测量点 M 宜在掌子面呈网状布置。
- 2) 全断面硬岩隧洞掘进机（TBM）掘进施工条件下，应将多个同性源供电电极 A 均匀搭载在 TBM 的护盾或隧洞边墙上，各电极间应进行电流屏蔽，测量电极宜采用伸缩方式布置在刀盘上。
- 3) 观测系统可采用一点供电、多点测试或多点供电、单点测试的方式。

4.2.5 漏电检查应符合下列规定：

1 检查发现漏电后应停止观测，在消除漏电影响后，对可能受漏电影响的测点应重新观测。

2 在开工和收工时的无穷远供电极、正常情况下每隔 20 个测点、转移新测站和工作结束时、电测深点的最大供电极距、测量数据的畸变点等情况下应进行漏电检查。

4.2.6 电测深法现场工作应符合下列规定：

1 试验工作包括选择装置形式、最佳电极距、最佳供电电流、供电时间、点距、跑极方向及测试岩土体电阻率等参数。

2 装置选择应符合下列规定：

- 1) 可选择对称四极测深、双向三极测深、偶极测深、微

分测深等装置，还可选择由两种以上装置组合的其他装置。

- 2) 当测区地层具有多个电性层、测线各测点均能相向跑极时，宜选择对称四极测深或双向三极测深装置。
 - 3) 当测区地层电性层数较少、电性差异较大，而测线各测点不具备相向跑极时，宜选用三极测深装置。
 - 4) 分层探测和局部不良地质体探测可选用对称四极测深或三极测深装置。
 - 5) 对于非水平的构造带、岩性分界探测宜采用双向三极测深或微分测深装置。
 - 6) 测试岩土体电性参数宜采用对称四极测深装置。
 - 7) 探测浅层不均匀地质体宜采用偶极测深装置。
- 3 极距选择应符合下列规定：
- 1) 供电电极距 \overline{AB} 或 \overline{OA} 、 \overline{OB} 在双对数坐标系下应均匀分布，相邻极距比值宜为 1.2~1.8。
 - 2) 浅层详细探测或电阻率参数测试宜按等差级数增加电极距。
 - 3) 最小供电电极距 \overline{AB} 应能测量出第一层的电阻率， $\overline{AB}/2$ 宜为 1.5m。
 - 4) 最大供电电极距 \overline{AB} 在使电测深曲线后部反映标志层的上升或下降曲线的“拐点”后不应少于 3 个点。
 - 5) 三极或双向三极测深的无穷远极距 \overline{OC} 应位于电极 M、N 中垂线上，应大于最大 \overline{OA} 或 \overline{OB} 的 5 倍。
 - 6) 当 C 极与装置方向一致时， \overline{OC} 应大于 \overline{OA} 或 \overline{OB} 的 20 倍，保持 C 极对测量视电阻率的影响误差应小于 2%。
 - 7) 测量电极距 \overline{MN} 与 \overline{AB} 、 \overline{OA} 、 \overline{OB} 的比值应为 1/3~1/30。
- 4 现场布极应符合下列规定：
- 1) 测量电极应选用铜质电极，供电电极可选用铜、钢或铁质电极，水上或冰上宜选用铅电极。

- 2) 电测深布极方向应使地形对测量数据影响最小，遇有高压线时应使布极方向垂直于高压线走向。
- 3) 电极接地位置在预定跑极方向上的偏差应小于该极距的 1%，在垂直预定方向的偏差应小于该极距的 5%。
- 4) 河床上或水上电测深可选择水面布极或水底布极方式，水面布极应使电极没入水中，应对测点位置进行电极入水深度及坐标测量。
- 5) 二分量电测深宜使用双向三极探测装置，在大极距情况下应测量轴向装置方位角，两组测量装置宜保持相互垂直。

5 宜在测区范围内均匀布置控制性的十字形或环形电测深点，数量不应少于总电测深点数的 3%。采用三极装置测深宜进行不少于 3% 的双向三极测深。

6 观测、重复观测和检查观测除应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 手动测量供电时间应大于 1s，自动测量供电时间应大于 0.5s。
- 2) 当测深点上某一极距出现测量电压 ΔU 数据不稳定、 ΔU 小于 3mV 或电流 ΔI 小于 3mA 时，应进行重复观测，重复观测次数不应少于 3 次。
- 3) 重复观测和检查观测应改变供电电压或改善电极接地条件。
- 4) 同一测深点上同一极距的一个点进行观测、重复观测或检查观测时，可按公式 (D.1.7) 和公式 (D.1.8) 计算极差系数 D_j 和取值 A_j ， D_j 大于取值 A_j 的数据可舍去，取其余数据的平均值作为该点的最终观测数据，舍去的数应少于该点观测总数的 1/3。

7 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 应按公式 (D.1.3) 和公式 (D.1.5) 计算单个电测深

点的相对误差 δ 和均方相对误差 m ，按公式 (D. 1. 6) 计算一个电测深点、一条剖面或一个测区的电测深总均方相对误差 M 。

- 2) 当单个电测深点的资料出现下列情况之一时，该点资料应评为不合格：单个电测深点相邻 3 个极距的相对误差 $\delta > 2.5\%$ ；相对误差 $\delta > 3.5\%$ 的电测深极距数超过该点检查极距数的 30%；相对误差 $\delta > 7\%$ 的电测深极距数超过该点检查极距数的 5%；相对误差 $\delta > 10.5\%$ 的电测深极距数超过该点检查极距数的 1%；均方相对误差 $m > 3.5\%$ 。
- 3) 一条剖面或一个测区的电测深资料出现不合格的电测深点超过检查点总数的 30%、被检查全部电测深点（含不合格的电测深点）的均方相对误差 $m > 3.5\%$ 、总均方相对误差 $M > 3.5\%$ 等三种情形之一者，该剖面或测区的资料应评为不合格。

4. 2. 7 电剖面法现场工作应符合下列规定：

1 装置选择应符合下列规定：

- 1) 可选择双向三极、三极、对称四极、二极、偶极、微分等装置，还可选择由两种以上装置组合的其他装置。
- 2) 探测倾斜的构造带、划分岩性界面、探测岩溶宜采用双向三极、三极、二极、微分等装置。
- 3) 探测局部目标体宜采用对称四极、偶极装置。
- 4) 探测浅层不均匀地质体宜采用偶极装置。
- 5) 探测浅埋藏古河床、单一接触面等简单的地电界面，宜采用对称四极或偶极轴向装置。

2 极距选择应符合下列规定：

- 1) 供电电极距宜为探测目标体埋深的 3~5 倍。
- 2) 当表层电性不均匀影响严重时， \overline{MN} 宜为点距的 1~2 倍且不宜大于 $\overline{AB}/3$ 。
- 3) 双向三极、三极、二极装置的无穷远极应符合 4. 2. 6

条 3 款的相关规定。

- 4) 在一个剖面上宜采用两个极距不等的同一装置形式进行不同深度的探测，两装置的极距比宜大于 1.5 倍，测点宜重合。

3 重复观测和检查观测除应符合 3.7 节的相关规定外，还应符合下列规定：

- 1) 采用多极距观测时，应对被检查点的所有极距进行检查观测。
- 2) 电剖面每 10 个观测点应进行一个重复点观测。

4 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外，单条测线的资料还应符合 4.2.6 条 7 款的规定。

4.2.8 高密度电法现场工作应符合下列规定：

1 装置选择应符合下列规定：

- 1) 可选择对称四极、双向三极、三极、二极、偶极、微分等装置。
- 2) 分层探测宜选择对称四极、三极装置。
- 3) 探测局部不良地质体宜选择对称四极装置。
- 4) 探测非水平构造带、进行岩性分层探测宜选择双向三极、三极、二极、微分等装置。
- 5) 探测浅层不均匀地质体宜选择偶极装置。

2 极距选择应符合下列规定：

- 1) 基本电极距、测量极距宜等于点距。
- 2) 双向三极、三极、二极装置的无穷远极应符合 4.2.6 条 3 款的相关规定。
- 3) 最大供电电极距宜大于要求探测深度的 6 倍。

3 现场布极除应符合 4.2.6 条 4 款的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 在测线端点处，应使探测范围处于选用装置和布极条件所确定的有效范围之内。
- 2) 同一排列的电极应呈直线布置。

- 3) 相邻排列的电极重复数量应能保证最大目标探测深度的测点数据连续。
- 4) 观测前应检查排列中全部电极的接地条件并确保电极的连接顺序正确。
- 5) 个别电极遇到硬化场地或接地条件不良时，应堆土或挖坑填土，土的厚度不应小于电极长度。

4 重复观测和检查观测除应符合 3.7 节的规定外，可采用下列方法进行：

- 1) 重复观测可在每个排列完成后选择两层或两列进行。
- 2) 检查观测可采用相邻排列重合部分电极方式检查，异常观测点可采用散点方式检查。

5 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外，单个排列的资料还应符合 4.2.6 条 7 款的相关规定。

4.2.9 自然电场法现场工作应符合下列规定：

1 自然电场法宜采用电位观测法，也可采用梯度法。当测试地下水渗流方向时，宜增加环形观测方式。

2 应使用不极化电极，一个测区在观测前和观测后应及时观测极差。电极极差的绝对值在工作开始时应小于 2mV，工作结束时应小于 5mV。

3 观测、重复观测应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 基点之间应进行联测。
- 2) 观测时仪器的自电补偿功能应处于关闭状态，观测值应注明电位的正负。
- 3) 当测线较长或游散电流影响较大时应分段观测，分段观测的测线衔接处应重复 3 个以上测点。
- 4) 每间隔 10 个测点应进行 1 次重复观测。

4 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 应按公式 (D.1.1) 和公式 (D.1.2) 计算单个测点的

绝对误差 Δ 和一条测线或一个测区的观测平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 。

- 2) 单个测点检查观测绝对误差 Δ 应小于 3mV。
- 3) 一个测区的电位观测平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 应小于 5mV，梯度观测平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 应小于 3mV。

4.2.10 充电法现场工作应符合下列规定：

1 充电法采用直流充电时，应选用多功能直流电法仪观测。当有干扰时，可采用低频交流充电，选用具有选频功能的仪器观测。

2 应选用电位法或梯度法观测，应采用三极装置，测量电极应采用不极化电极。

3 测试地下水流速流向应符合下列规定：

- 1) 无穷远极 B 距孔口的距离应大于待测含水层深度的 15 倍，应接地良好。充电电极 A 应置于孔内水层中部，和纱布食盐袋串在一起。测量电极 N 离孔口的距离应大于充电电极 A 放入孔内深度的 1.5 倍，应固定在经钻孔且与估计水流方向一致的上游某点上。
- 2) 应分别在各测线上移动电极 M，找出各测线上的等电位点。
- 3) 应在投盐前测量一次正常的等电位圈。
- 4) 投盐后应立即测一次等电位圈，修正 N 极位置，并重新测试等电位圈作为新的基准点；然后每隔一定时间（视含水层流速而定，宜为 20~30min）测量一次等电位圈，每一孔在投盐后测量的等电位圈数应大于 3 个。
- 5) 等电位圈测量时，应记录测量时间并测量各等电位点至孔口的距离。
- 6) 可采用两个不同距离的固定测量电极 N_1 和 N_2 进行测量。

4 探测低阻地质体形态应符合下列规定：

- 1) 无穷远极 B 离供电电极 A 的距离应大于低阻地质体埋

深或延伸长度的 10 倍，供电电极 A 与低阻地质体应接触良好。

- 2) 采用电位观测时，N 极应位于 B 极的反方向，与供电电极 A 的距离应大于低阻地质体埋深或延伸长度的 10 倍。采用梯度法观测时测量电极距宜为 5~10m。

5 漏电检查除应符合 4.2.5 条的规定外，M、N 线路的电阻应小于 10k Ω ，电极连线的绝缘电阻应大于 5M Ω 。

6 观测、重复观测和检查观测除应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 观测时应保证持续稳定的供电电流，且宜为 0.5~1A。
- 2) 重复观测、检查观测应计算相对误差 δ 和均方相对误差 m 。
- 3) 单个测点重复观测的相对误差 δ 应小于等于 5%。
- 4) 一个测区或一条测线检查观测的均方相对误差 m 应小于等于 7%。
- 5) 有严重干扰的测点可不参与全区观测质量评价。

4.2.11 激发极化法现场工作应符合下列规定：

1 宜选择对称四极装置，当进行大面积激发极化剖面测量时，可用中间梯度装置。

2 极距选择、现场布极除应符合 4.2.6 条 3 款、4 款的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 对称四极装置的最大供电电极距 \overline{AB} 应大于勘探深度的 3 倍。
- 2) 测量电极应使用不极化电极。
- 3) 供电导线与测量导线应分开 1m，分开距离应随导线长度而增加。

3 观测、重复观测除应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 观测时供电时间宜大于 30s，供电电流宜稳定，电流大小应随供电电极距增大而增加，应使一次场电位差

ΔU_1 大于 0.3mV。

- 2) 出现二次场电位差 ΔU_2 小于 1mV、视激发比值 J_s 大于或接近视极化率值 η_s 、视衰减值 D_s 大于或接近 100% 等三种情形之一时应重复观测。
- 3) 重复观测数据的极差系数 D_j 应小于取值 A_j ，否则应增加重复观测量。

4 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条规定外，还应符合下列规定：

- 1) 激发极化法单个测点或测深点的一个极距对应测点的均方相对误差 m 要求：视极化率应小于 5%、视激发比应小于 7%、视衰减系数应小于 7%、视半衰时应小于 7%。
- 2) 检查不合格的测深点超过 30%，该测线或测区的资料不合格。
- 3) 剖面法的测点或测深法的测深点的不合格数超过检查点总数的 30% 时，该测线或测区的资料应评为不合格。

4.2.12 伪随机流场法现场工作应符合下列规定：

1 激发场的电极布置应符合下列规定：

- 1) 无穷远极应布置在库区内水体中，并远离查漏区位置，距离宜为测区边长长度的 2~5 倍。
- 2) 出水点电极宜采用电极板，电极板入水面积宜为电极板面积的 1/3~2/3。

2 观测、检查观测除应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 测试时应保持发送电压不低于 90V，发送电流应为 100~800mA。
- 2) 测试时探头应先放置至水底后再垂直上提 10cm。
- 3) 每个测点应测试 3 次，读数应稳定，发现异常应加密观测。

4) 应记录信号放大倍数、探头入水深度、水位高程和发送电流值等信息。

5) 每个测区的检查观测点数应大于总测点数的 5%。

3 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外, 还应符合下列规定:

1) 伪随机流场法单个测点出现“0”值时, 该测点数据应评定为不合格。

2) 不合格的检查点超过总检查点数的 30%时, 该测线或测区的资料评定为不合格。

4.2.13 聚焦电法现场工作应符合下列规定:

1 电极布置应符合下列规定:

1) 电极布置前, 应清理隧道掌子面、拱顶及边墙危险石块。

2) 掌子面宜平整, 不宜有大量积水。

3) 金属施工机械应远离 A 极、M 极布置洞段。

4) 供电电极 A 的布置宜根据预报要求合理选择电极数量、同性源电极系数量和位置。

5) 供电电极宜采用长度 30cm、直径 1cm 的铜电极, 激发极化测量电极应使用不极化电极。

6) 电极位置的允许偏差不宜大于 5cm。

7) TBM 停机探测时, TBM 刀盘应后退脱离掌子面, 收起撑靴脱离边墙, 减少干扰。

8) TBM 搭载电极宜采用液压驱动及具有柔性端头的接触式电极, 应符合 TBM 和预报设备安装的规定。

2 观测、重复观测除应符合 3.7 节的规定外, 还应符合下列规定:

1) 宜根据任务要求选择仪器的自然电位、电阻率、激发极化或三者同时测量的工作方式。

2) 应根据观测系统要求进行单个或多个供电电极距方式下的测量。

- 3) 可测试供电电流强度与半衰时关系的曲线。
- 4) TBM 停机探测时, 应记录每次刀盘上电极的位置。

3 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的相关规定外, 还应符合下列规定:

- 1) 不合格点数据的数量不应超过全部数据的 10%, 不合格点不应连续出现。
- 2) 电阻率法的数据质量允许相对均方误差应为 $\pm 5\%$, 激发极化法的数据质量允许相对均方误差应为 $\pm 10\%$ 。

4.2.14 电测深法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外, 还应符合下列规定:

- 1 电测深视电阻率曲线绘制应采用双对数纵横坐标。
- 2 电测深资料应进行定性和定量解释。
- 3 定性解释应符合下列规定:
 - 1) 定性解释应包括确定电性层数量和各电性层电阻率的关系, 确定异常大致平面位置和性质等。
 - 2) 应分析各电测深曲线的类型, 根据曲线类型确定地电断面的层数和电性结构。
 - 3) 应对比分析一条或多条剖面上电测深曲线类型的变化与地层结构、电性参数变化、地形变化的关系。
 - 4) 应根据视电阻率剖面中异常幅值、形态和分布情况确定异常的性质、位置, 应分析相邻剖面上异常的相关性。
 - 5) 采用双向三极测深时应根据各个极距的视电阻率剖面曲线的交叉情况、异常幅值和范围确定异常性质、规模和产状。
 - 6) 划分地电剖面时应分析电性界面和地质界面不一致的可能性, 应分析横向电性的变化和地形变化对电测深曲线的影响。

4 定量解释应在定性解释的基础上计算各电性层厚度, 确定异常体位置、规模、埋深和产状等。

5 应根据计算和测量的视电阻率剖面，双向三极测深电阻率剖面曲线的异常规模、深度、轴线倾斜角度、平面位置等对异常进行定量解释。

6 定量解释应具备下列条件：

- 1) 曲线完整、电性标志层在电极距上反应明显。
- 2) 电测深曲线电性分层明显、类型确定。
- 3) 电测深曲线经消差、圆滑、畸变校正后，不影响解释精度。
- 4) 具有定量解释所需的电参数。
- 5) 电性界面和地质界面基本对应。

7 定量解释宜采用计算机模拟正反演法、量板法或特征点法、电反射系数 K 剖面法等。

8 当曲线比较复杂时，定量解释可以使用各种简化的解释方法或经验方法。

9 可采用地形校正方法，减小地形起伏对电阻率剖面上视电阻率的影响。

4.2.15 电剖面法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应在电剖面曲线横坐标的下方绘制地形剖面，标注沿线地质情况，钻孔、坑槽及其他地面标志物位置。

2 绘制图件应分别标识同一装置不同极距测得的视电阻率 ρ_s 值。

3 一个测区纵坐标宜使用同一比例尺，横坐标每隔 5 点或 10 点宜注明测点编号。纵坐标 ρ_s 值比例尺的选择，应能反映异常的特点，应避免异常曲线过多的重叠。解释推断的地质界线应标明在图上。

4 因地形起伏而产生的虚假异常宜采用地形校正的方法消除。

5 电剖面法应以定性解释为主，当探测目标体形态简单时，可进行定量解释。

6 应分析异常曲线的幅值、规模、形态特点，对异常进行定性解释。

7 当异常单一时，应分析确定异常曲线类型，进行定量和定性解释。

8 宜对相邻剖面上的异常进行相关分析，测定倾斜地质界面位置，精度应达到一个测量点距。

9 宜对比追索相邻剖面间的异常，确定目标体范围、延伸方向。

4.2.16 高密度电法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应进行数据格式整理、坏值剔除、地形校正及格式转换、拼接等预处理。

2 应绘制整条测线的高密度电法的视电阻率断面。

3 应根据装置型式、测线布置方式、地形及探测任务要求，选择二维、三维及带地形的反演算法进行电阻率图像处理。

4 同一工区宜采用统一的反演参数。

5 宜抽取几组符合电测深条件的数据进行电测深数据处理和分层解释。

6 可根据电测深数据分析和解释方法对视电阻率断面进行定性和半定量解释。

7 应根据反演后的二维电阻率分布成果图进行剖面解释。

8 应根据反演后的三维电阻率空间分布，进行切片或三维解释。

9 同一剖面多种装置的视电阻率断面图应对比解释。

10 视电阻率断面图、反演电阻率断面图宜与已知地质剖面、钻孔等进行对比解释。

4.2.17 自然电场法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应根据地质、环境条件分段确定背景值，剔除干扰异常。

2 应根据事先测定的仪器间偏差对所有相应测点电位值进

行校正。

3 应将各测点的电位换算到相应的分基点和总基点上，计算各测点的数据，编制各测点的绘图数据文件。

4 相邻 3 个或 3 个以上测点的数据与背景值之差超过测量平均绝对误差的 3 倍，有一定的规律性和分布范围，可确定为异常。

5 应根据剖面图或平面等值线图确定异常体范围。

6 应根据异常分布、幅值等特点估算异常体规模、埋深。

7 宜利用“8”字形等位图推算地下水流向。

8 自然电位平面图的等值线间的差值宜用等差和非等差两种，可根据电位变化幅度选择。

4.2.18 充电法资料整理与解释应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 电位法观测应计算每测点的归一化电位值，梯度法观测应计算归一化电位梯度值。

2 应根据地质、环境条件分段确定背景值，剔除干扰异常。

3 测试地下水流速流向时，应绘制各个时刻各测点的充电等电位线分布图。

4 相邻 3 个或 3 个以上测点的数据与背景值之差超过测量平均绝对误差的 3 倍，有一定的规律性和分布范围，可确定为异常。

5 应根据电位或梯度曲线的异常幅值、范围、形态等圈定低阻地质体范围、埋深。

6 地下水流速应按公式 (D.7.5) 计算。

7 应使用电位剖面曲线的极大值或梯度剖面曲线的“0”点值确定异常点的平面位置。

4.2.19 激发极化法资料整理与解释应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应计算、绘制每个测点的视电阻率 ρ_s 、视极化率 η_s 、视激发比 J_s 、视衰减系数 D_s 、半衰时 $S_{0.5}$ 值和曲线。

2 应根据地质、环境条件分段确定背景值剔除干扰异常，可将已知地下水位以上或干孔旁测得的视电阻率 ρ_s 、视极化率 η_s 、视激发比 J_s 、视衰减系数 D_s 、半衰时 $S_{0.5}$ 数据作为背景值。

3 激发极化法的推断解释应综合分析电阻率和多个激电参数。

4 相邻 3 个或 3 个以上测点的数据与背景值之差超过测量平均绝对误差的 3 倍，有一定的规律性和分布范围，可确定为异常。

5 有条件时，应采用孔旁垂向测深参数曲线对比法测定厚度，确定异常极化体的形状、大小、埋深。

6 对近水平层状结构地层，应采用理论曲线选择法或特征点法分析解释激发极化曲线，误差不宜大于 30%。

7 应结合已有水文地质资料，分析激电异常的幅值、范围和形态等曲线特征，解释未知地段极化体或地下水的富水情况、埋藏深度、规模等。

4.2.20 伪随机流场法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应根据发送电流值、信号放大倍数对电流密度进行归一化处理，计算各个测点的电流密度值。

2 应以已知未发生渗漏的区段测得的电流密度值作为测区背景电流密度，可根据地质、环境条件确定测区背景值，剔除干扰异常。

3 应根据异常值、异常范围、测试曲线的形态，确定渗漏进水口的范围和特征，定性或定量分析解释渗漏通道位置、渗漏量。

4 应结合已有地质资料、水位监测资料和工程设计资料，分析电流密度异常的幅值、范围和形态等曲线特征与已知渗漏方式的关系，对未知地段的渗漏情况、规模、渗漏方式等进行推断解释。

4.2.21 聚焦电法资料整理与解释应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 对于 TBM 施工隧道，应根据 TBM 干扰特征的统计分析对观测数据进行预处理，压制观测数据中 TBM 干扰。

2 应使用预报系统设备相应的处理软件整理每个测点对应极距的电流、电位差、视极化率、半衰时和自然电位等参数。

3 应绘制视极化率、半衰时曲线。

4 应反演计算掌子面前方电阻率分布，针对多解性，宜采用已知地质信息和先验约束。

5 可根据二维或三维图像的电阻率异常，圈定异常范围。

6 应结合地质分析资料、其他预报成果和现场地质情况进行解释。

7 可根据电阻率、视极化率、半衰时异常判断高阻弱富水、空洞或低阻富水。

4.2.22 成果应符合下列规定：

1 成果应包含以下内容：

1) 电测深法、电剖面法、高密度电法成果应明确测区主要地质层的视电阻率特征、地质分层、地质构造、目标体埋深、规模及延伸情况等。

2) 自然电场法、充电法成果应圈定目标体范围、估算目标体规模、推算地下水流向或流速等。

3) 激发极化法成果应推断极化体或地下富水区的平面位置、埋藏深度、规模等。

4) 伪随机流场法成果应圈定渗漏入口的位置、范围，推断渗漏区的渗漏方式、通道等。

5) 聚焦电法成果应指出软弱结构面、相对富水体等的位置、范围。

6) 有其他勘探资料可对应分析时，应评价解释成果的精度。

2 图件除满足 3.8.4 条的规定外，还宜包括下列内容：

- 1) 电测深法图件宜包括测点电测深曲线图、视电阻率断面图或平面图，以及包括地层分层、风化分带、不良地质体分布、基岩顶板等高线图等剖面图或平面物探成果地质解译图。
- 2) 电剖面法图件宜包括视电阻率曲线剖面或平面图，剖面或平面物探成果地质解译图。
- 3) 自然电场法图件宜包括自然电位剖面图、平面等值线图，梯度剖面图等。
- 4) 高密度电法图件宜包括视电阻率断面图、反演电阻率断面图、三维电阻率成果图，剖面或平面物探成果地质解译图。
- 5) 充电法图件宜包括电位或梯度剖面图或平面等值线图等。
- 6) 激发极化法图件宜包括的视电阻率 ρ_s 、视极化率 η_s 、视激发比 J_s 、视衰减系数 D_s 、半衰时 $S_{0.5}$ 的剖面图、平面图、平面剖面图、平面等值线图、测深曲线类型图，含水层分布平面图和含水层埋藏深度图。
- 7) 伪随机流场法图件宜包括电流密度剖面图、电流密度等值线图和水深等值线图，渗漏位置分布平面图及剖面图等物探成果解释图。
- 8) 聚焦电法图件宜包括观测系统布置图、视电阻率断面图、视极化率曲线图、半衰时曲线图、电法预报成果图、预报地质成果图。

4.3 电磁法勘探

4.3.1 电磁法勘探可选用音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、电磁感应法、磁电阻率法等。

4.3.2 应用条件应符合下列规定：

1 被探测目标体或目标层与围岩之间应存在明显的电性差异。

- 2 被探测目标层或目标体应位于探测盲区以下。
- 3 各地层及目标体电性应稳定。
- 4 测区内应没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。
- 5 被追踪地层应具有一定的厚度，被追踪地质体应具有一定的规模。
- 6 测区内地形地貌条件应适合场源布设与野外实时观测。
- 7 磁电阻率法被探测目标宜具有明显的渗漏点。

4.3.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定：

1 音频大地电磁测深法应使用具有电通道及磁通道测试功能的专用仪器，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 电通道与磁通道数均应大于 2 个。
- 2) 频率范围不应窄于 10Hz~10kHz。
- 3) A/D 转换应每通道 1 个，且应高于 24bit。
- 4) 测试频点应大于 30 个。
- 5) 最小采样时间应大于 1s。
- 6) 叠加次数可调。

2 可控源音频大地电磁测深法应使用具有大功率发射控制和高精度电磁接收功能的专用仪器，电偶极子发射机应具有供电和发射控制的成套专用设备，供电发电机应与控制器相匹配，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 高频供电电流应大于 0.5A，低频供电电流应大于 10A。
- 2) 供电电压应大于 1000V，频率范围不应窄于 10Hz~10kHz。
- 3) 同步时间允许偏差应为 $\pm 0.5\mu\text{s}$ 。
- 4) 应具有异常保护和超电压、超电流、超高温保护功能。
- 5) 高压保护标志应明显。

3 可控源音频大地电磁测深法磁偶极子发射机应具有磁激励和发射控制的成套专用设备，电瓶或发电机应与控制器相匹配，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 发射磁矩应大于 $400\text{A} \cdot \text{m}^2$ 。
- 2) 频率范围不应窄于 $10\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 。
- 3) 应具有异常保护和超电压、超电流、超高温保护功能。
- 4) 高压保护标志应明显。

4 可控源音频大地电磁测深法接收机应具有数字采集、多次叠加、自动增益、陷波功能，能显示分析视电阻率测深、相位等曲线，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 电通道数和磁通道数均应大于 2 个。
- 2) 频率范围不应窄于 $10\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 。
- 3) A/D 转换应每通道 1 个，且应高于 24bit。
- 4) 测试频点应大于 30 个。
- 5) 最小采样长度应大于 1s。

5 瞬变电磁法应使用具有大电流发射和高精度电流采样功能的成套瞬变电磁仪，发射机可选择发电机或电瓶供电，应具有短路、过压和过流保护功能，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 发射电流波形宜为双极性梯形波，占空比宜为 1 或连续方波。
- 2) 最大发射电流宜大于 5A。
- 3) 发射基频宜为 $2.5\text{Hz} \sim 32\text{kHz}$ 。
- 4) 发射关断时间应小于 $100\mu\text{s}$ 。

6 瞬变电磁法接收机应具有频谱分析、多测道测试参数和衰减曲线显示等功能，主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 接收机 A/D 转换应高于 24bit。
- 2) 接收机增益动态范围应大于 120dB。
- 3) 采样道数应大于 24 道。
- 4) 最小采样间隔应小于 $5\mu\text{s}$ 。
- 5) 同步宜采用石英钟同步、电缆同步或全球导航卫星系统 GNSS 同步。

7 电磁感应法仪器主要技术指标应符合下列规定：

- 1) 发射机和接收机主动工作频率应不少于 3 个。

- 2) 接收机应具有电力和无线电频率两个被动频率。
 - 3) 发射机输出功率应大于 10W，具有瞬间过压保护功能，最高输出电压宜为 90V。
- 8 磁电阻率法仪器主要技术指标应符合下列规定：
- 1) 应采用三分量磁探头。
 - 2) 最大量程应大于 1mT。
 - 3) 分辨率应小于 10pT。
 - 4) 带宽不应窄于 3kHz。
- 4.3.4 现场试验工作除应符合 3.4 节的规定外，还应符合下列规定：
- 1 应根据电磁法勘探任务和方案，结合测区地形、地质及地球物理条件和周边干扰源分布，确定试验方案。
 - 2 宜对测区各介质的电性参数进行测试或验证，确定观测方式、选择工作参数。
 - 3 应测量工作区范围内背景信号的分布情况及强度。
 - 4 音频大地电磁测深法和可控源音频大地电磁测深法现场试验工作应符合下列规定：
 - 1) 可控源音频大地电磁测深法应进行不同供电极距或不同磁矩的发射试验，选择最佳波场。
 - 2) 音频大地电磁测深法应进行天然电磁场品质试验，调查工作区天然电磁场情况。
 - 3) 接收仪器应进行频率响应、采样率、采样长度、叠加次数、增益、前放滤波等参数选择试验。
 - 4) 应进行观测方式及测量极距试验。
 - 5 瞬变电磁法现场试验工作应符合下列规定：
 - 1) 应进行工作装置、发射线圈边长、发射电流强度和接收线圈匝数的试验。
 - 2) 应进行线圈和磁探头接收比较试验。
 - 6 电磁感应法现场试验工作应调查测区内附近的电磁场干扰影响状况，避免测区周围电磁场的干扰。

7 磁电阻率法现场试验工作应符合以下规定：

- 1) 应根据测试现场的条件，确定供电电极布置位置以及供电电缆的布置方式。
- 2) 应进行工作频率试验，调查测区的干扰源。
- 3) 应选择合适的工作频率，避免测区周围电磁场的干扰。

4.3.5 音频大地电磁测深法现场工作应符合下列规定：

1 测网布置除应符合 3.5 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 测线应按任务要求向区域边界外延不少于 3 个测点。
- 2) 可根据地质条件和任务要求选择二维或三维勘探网，应结合现场踏勘资料布置测网，不宜在沟谷、山脊地段布置测线。
- 3) 测线和测点应避开强干扰源一定距离，大型变电站和雷达站测点避开距离应大于 2000m、广播发射站和通信基站测点避开距离应大于 1000m、高压电力线测点避开距离应大于 500m、电气铁路测点避开距离应大于 200m。
- 4) 应根据勘探精度确定测网密度，测点距宜为 5~50m，测线距宜为 10~100m。
- 5) 测线和测点应进行测量放样并标识，测量电极位置允许偏差宜为测量电极距的 $\pm 1\%$ 。

2 测试方式应符合下列规定：

- 1) 应采用电磁场标量或张量测量方式。当采用张量测量方式时，可根据地形和布极条件选择“十”“T”或“L”形布极方式进行测试。
- 2) 现场地形及植被条件复杂时，测线宜以折线或自由点布设方式向前延伸，但应保持各测试分量和方向的一致性。
- 3) 进行三维测试时，当现场地形及植被条件复杂，可采用非规则三维张量观测装置，各观测点的对应分量应保持方向一致。采用三维面元观测时，每个面元不应

少于一个磁分量。

3 测线布极应符合下列规定：

- 1) 当 $1/2$ 测量电极距 $\overline{MN}/2$ 与测点间距成整数倍时，测量电极应在测点桩号附近布极。当 $\overline{MN}/2$ 与测点间距不成整数倍时，布极宜使用非金属测绳。
- 2) 测量电极位置的允许偏差为 $\overline{MN}/2$ 的 $\pm 2\%$ ，电极位置相对高差应小于测量电极距 \overline{MN} 的 10% ，偏差方向相对于测线方向应保持一致。
- 3) 测量电极应使用合格的不极化电极或特制钢电极，不极化电极的极差应小于 2mV 。
- 4) 连接导线的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ ，测量电极应接地良好，接地电阻应小于 $2\text{k}\Omega$ 。
- 5) 水平磁棒应水平埋设土中，保持水平尺水泡居中，方位角允许偏差应为 $\pm 2.5^\circ$ ，仪器测试站点应距磁棒埋设点 10m 以外。
- 6) 垂直磁棒应铅直入土 $2/3$ 棒长以上，垂直度允许偏差应为 $\pm 2.5^\circ$ 。连接电缆不应悬空、打圈，多余电缆应呈“S”形摆放压实。

4 数据采集应符合下列规定：

- 1) 测试前应检查电道和磁道连接线连接和接地电阻情况。
- 2) 每测站或测点应按公式 (D. 3. 1) 估算探测深度下限所需要的最低频率。
- 3) 测试人员应距离磁探头 10m 以外，不应使用通信工具。
- 4) 每测站完成测试后宜检查各测点的视电阻率、相位曲线形态和异常频点的分布情况，视电阻率曲线和相位曲线的异常频点数均应小于 15% 。

5 重复观测、检查观测应符合下列规定：

- 1) 多次重复观测的曲线形态应一致，各频点视电阻率和相位的总均方相对误差均应小于 7% 。

- 2) 一条测线或测区工作完成后应进行检查观测，检查观测点应大于该测线或测区总测点的 5%，宜均匀分布，异常点位应有检查观测点。
- 3) 同一测区如有两台或两台以上的仪器一起施工，应在同一点上，采用相同观测装置进行一致性对比，其中应有 80% 以上频点相对误差小于 5%。

4.3.6 可控源音频大地电磁测深法现场工作应符合下列规定：

- 1 测网布置应符合 4.3.5 条 1 款的规定。
- 2 电偶极子发射场源布置应符合下列规定：
 - 1) 简单地质条件下宜布置单一场源，复杂地质条件下可布置分离或重叠的双场源。
 - 2) 应根据测网线、干扰源分布、实际地形，布置供电电极 A、B 位置和发射控制站位置。
 - 3) 测线宜与供电电极 A、B 平行，方位误差应小于 3° ，A、B 极点位的地理位置应满足远区观测的条件，最小收发距应大于最大探测深度的 3 倍。
 - 4) 应根据最大探测深度确定供电电极距，极距范围宜为 800m~5km，当分段布置供电电极距 A、B 时，相邻重合段应大于 3 个测量点。
 - 5) 供电电极 A、B 相对高差与供电电极距 \overline{AB} 之比应小于 10%。
 - 6) 供电电极 A、B 布设宜避开高压输变电线、铁路、工业管道、水域、城镇、大型民居，不宜布置在陡坎、山脊、谷底等位置。
 - 7) 供电电极 A、B 应选在电阻率较低的地点，两埋设点接地条件应相近，中间不应有高阻阻断。供电电极 A、B 宜选用导电性良好的柱、板、网、箱状金属材料，采用挖坑埋设方式，接地电阻宜小于 20Ω 。
 - 8) 发射工作站应选择干燥位置，供电线宜选用内阻小于 $5\Omega/\text{km}$ 、绝缘电阻大于 $2\text{M}\Omega/\text{km}$ 的高强度铜芯

导线。

9) 发电机、发射机应接地，与地面间应有绝缘垫。

3 磁偶极子发射场源布置应符合下列规定：

- 1) 应根据测线、干扰源分布、实际地形布置磁偶极子发射位置。
- 2) 测点宜位于磁偶极子的圆圈形辐射区域内，最小收发距应大于最大探测深度的3倍。
- 3) 磁偶极子发射点应选在地势平坦、相对干燥处，轴线方向应垂直于地面，倾斜允许偏差应为 $\pm 2.5^\circ$ 。
- 4) 当需要布置多个发射站点时，相邻重合段宜大于3个测量点。
- 5) 发射点与测点间应避开输变电线、铁路、工业管道、水域、城镇、大型民居等干扰物，不宜布置在陡坎、山脊、谷底等位置。
- 6) 发射机应接地，发射机及发射天线应与地面绝缘。

4 测试方式应符合下列规定：

- 1) 地质条件简单时，宜选择电磁场标量测量方式。多测道排列时，每排列测试磁场 H_y 应大于1个，测试点宜位于排列中心。
- 2) 地质条件复杂时，宜选择电磁场张量测量方式，可根据地形和布极条件选择“十”“T”或“L”形布极方式进行测试。

5 测量电极和磁探头布置除应符合4.3.5条3款的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 电道宜采用多道排列观测方式，测量电极距宜为5~50m。
- 2) 测量电极M、N和磁探头不应布置在陡坎边、深沟内，M、N不应埋设在流水、污水或废石堆上，电极坑内不应留有砾石和杂物。
- 3) 当采用电磁场张量测量方式时，磁棒应布置在不同象

限内。

6 数据采集工作应符合下列规定：

- 1) 应按公式 (D. 3. 1) 估算探测深度下限所需要的频率。
- 2) 每次工作前发射机应预热 10~30min。
- 3) 不得在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。
- 4) 接收机和发射机间通信应畅通。
- 5) 发射电极、发射线圈及供电线路等重要位置应有专人看护。
- 6) 测试人员应距离磁探头 10m 以外，不应使用通信工具。
- 7) 测试宜从高频到低频，每测站完成测试后，应检查本测站各测点的视电阻率、相位曲线形态和异常频点分布情况，视电阻率曲线和相位曲线上异常频点数均应小于 10%。

7 重复观测、检查观测和覆盖点应符合下列规定：

- 1) 重复观测点的曲线形态应一致，重复观测的视电阻率和相位总均方相对误差 M 均应小于 7%。
- 2) 完成一个发射站内所有测试点的测试工作后，应进行不少于该发射站总测试点 5% 的检查观测，检查点宜均匀分布，异常部位应有检查点。
- 3) 移动场源时，相邻重合段应大于 3 个覆盖点，覆盖点的视电阻率和相位曲线形态应一致，相对均方误差宜小于 10%。

8 资料检查与评价除应符合 3. 8. 2 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 进行检查点误差计算时，可剔除检查曲线上的个别畸变频点后再进行误差计算。
- 2) 应按公式 (D. 1. 3)、公式 (D. 1. 4)、公式 (D. 1. 6) 计算各个检查点曲线上各频点的视电阻率和相位的相

对误差 δ ，平均相对误差 $\bar{\delta}$ ，测线或测区检测观测的总均方相对误差 M 。

3) 总均方相对误差 M 应小于 10%。

4.3.7 瞬变电磁法现场工作应符合下列规定：

1 测网布置除应符合 3.5 节的规定外，还应符合下列规定：

1) 应根据任务精度要求确定测网密度，点距宜为 2~20m，线距宜为 5~30m。

2) 测线外延地质调查区边界外应大于 3 个测点。

3) 测线和测点应进行测量放样并标识，水平位置和高程允许偏差应为点距的 $\pm 5\%$ 。

2 装置选择应符合下列规定：

1) 应根据地形地质条件、探测目的选择重叠回线、中心回线、偶极、大定源回线、电性源等装置。

2) 隧洞施工超前地质预报宜选择重叠回线或中心回线装置。

3) 深层探测宜选择大定源回线装置或电性源装置。

4) 陡倾断层探测宜选择偶极装置。

3 仪器和工作参数应符合下列规定：

1) 应根据最大探测深度、现场噪声电平和仪器精度，按公式 (D.3.6) 和公式 (D.3.7) 估算相应的发射电流、线框长度和匝数，应通过试验确定。

2) 当地形起伏不大时，在保持较高发射电流的条件下，宜适当加大线框边长，减少线框匝数。

3) 当地形起伏较大时，宜选择较高发射电流，减小线框边长，增加线框匝数，保持较大的发射磁矩。

4 数据采集应符合下列规定：

1) 接收线圈应避开铁路、金属管线、输变电线等金属物体，必要时可弃点。

2) 不应在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。

- 3) 采用大定源装置时，接收框宜布置在发射回线中部1/3区域。
- 4) 采用大定源回线装置时长边宜平行地质体走向敷设。
- 5) 测试装置中心位置的允许偏差应为接收线框边长的 $\pm 5\%$ 。
- 6) 线框角点的点位与设计线框角点的点位允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。
- 7) 偶极装置发射线框面积允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。
- 8) 采用中心回线装置观测时，沿测线方向的水平磁感应强度 B_x 、垂直测线方向的水平磁感应强度 B_y 观测允许方向偏差应为 $\pm 2.5^\circ$ ，观测垂直方向的磁感应强度 B_z 时线圈架水准气泡应居中。
- 9) 敷设线框时，应将剩余导线呈“S”形铺于地面，不应将其留在绕线架上。
- 10) 发射线框的电阻宜小于 6Ω ，导线应质软、耐磨，绝缘电阻应大于 $2M\Omega$ 。
- 11) 在所规定的测道时间范围内，尾道位于噪声电平以下的道数应小于3道。

5 重复观测和检查观测除应符合 3.7 节的规定外，重复观测点均方相对误差 $m > 10\%$ 时，应查明原因，消除误差。必要时可移动点位重测。

6 资料检查和评价除应符合 3.8.2 的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致，各观测道的总均方相对误差 M 应小于 10% 。
- 2) 一条测线或测区检查的总均方相对误差 M 应小于 10% 。

4.3.8 电磁感应法探测地下金属管线位置和埋深现场工作时，宜采用多种工作方式进行综合探测和对比分析。

4.3.9 磁电阻率法现场工作应符合下列规定：

- 1 测网布置除应符合 3.5 节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 测线宜平行于坝体、堤防等结构的轴向。
 - 2) 应根据任务水平定位精度要求确定测线、测点间距，线距宜为 5~20m，点距宜为 5~15m。
 - 3) 所有测点应进行测量放样并标识，水平位置和高程允许偏差应为点距的 $\pm 5\%$ 。
- 2 装置的选择应符合下列规定：
- 1) 应根据现场工作条件选择水平或垂直装置。
 - 2) 库坝渗漏探测、堤防隐患探测等宜选用水平装置。
 - 3) 地下水探测、污染渗流探测等宜选用垂直装置。
- 3 仪器和工作参数应符合下列规定：
- 1) 供电电缆宜远离测区边缘 1 倍测区边长及以上。
 - 2) 供电电流宜采用直流电或低频交流电，应避免使用测区附近供电所采用的交流电频率。
 - 3) 供电电流宜大于 0.5A。
- 4 数据采集应符合下列规定：
- 1) 数据采集前，应设置一个基站，用于监测数据采集过程中磁场的变化。
 - 2) 不宜在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。
 - 3) 多台仪器测量时，每台仪器应在基准点处进行校准测量。
 - 4) 数据采集时，应通过电子罗盘、水准气泡等装置保持三分量磁探头正向。
 - 5) 数据采集过程中，如遇到金属管道、金属栅栏、电缆等结构时，应记录这些结构的坐标信息。
 - 6) 水面数据采集时，应选用非金属结构船只。
- 5 观测、重复观测、检查观测除应符合 3.7 节的规定外，还应符合下列规定：
- 1) 观测应保证持续稳定的供电电流。
 - 2) 重复观测点均方相对误差 $m > 10\%$ 时，应查明原因消

除误差。

3) 应在存在金属干扰的区域布置检查观测点。

4) 有严重干扰的测点可不参与全区观测质量评价。

6 资料检查和评价除应符合 3.8.2 条的规定外，还应符合下列规定：

1) 单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致，相对误差 δ 应小于 10%。

2) 测区检查的总均方相对误差 M 应小于 10%。

4.3.10 可控源音频大地电磁测深法和音频大地电磁测深法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 数据处理宜包括数据编辑、曲线平滑、主轴判别、静态校正及地形校正。

2 数据编辑与曲线平滑应符合下列规定：

1) 可删除畸变的频点，删除的频点数不宜超过总频点数的 1/4，不宜连续删除 3 个频点数。对曲线首尾支畸变的频点，可参考相邻测点进行校正。

2) 可在数据编辑后，对视电阻率、相位曲线按沿走向纵向极化的曲线 TE 或沿倾向横向极化的曲线 TM 极化模式进行频率域二维低通滤波处理。

3) 宜对每个测深点电阻率和相位曲线上的少数跳跃频点进行平滑处理，平滑处理时应充分考虑探测目标层的分辨要求和测线电性变化特征。平滑后的曲线首支频点频率不宜低于最高频率的 80%，尾支应能反映深部电性目标层。

4) 宜在时间域筛选信噪比高的时间段计算视电阻率及相位。

3 宜根据测线方位判别曲线的极化模式，采用合适的方法计算主轴方位。

4 静态校正和地形校正应符合下列规定：

1) 当地表电性差异较大时，应进行静态校正。当地形起

伏较大时，应进行地形校正。

- 2) 应在曲线平滑后，结合已知资料采用相应的软件进行静态效应综合分析，根据分析结果对视电阻率曲线进行静态校正。

5 近场测点应进行近场校正，校正后的视电阻率曲线应平滑连续，在双对数坐标曲线尾支不应超过 45° 。对于平均相对误差在 10% 以上的测点，可剔除该测点或根据相邻测点内插。

6 测深点曲线定性解释应符合下列规定：

- 1) 应对全测区曲线类型进行对比、分类，根据曲线类型分析地电结构特征。
- 2) 应重点分析钻孔电测井曲线资料的分层情况，确定各层电性特征。

7 反演与定量解释应符合下列规定：

- 1) 应按公式 (D. 3. 2) 反演计算各频点的视电阻率值。
- 2) 应在定性分析的基础上，结合钻孔、测井、地质等资料建立初始地电模型。
- 3) 一维反演宜在静态校正后进行。
- 4) 在地形起伏较大地区，宜以带地形的反演结果进行定量解释。
- 5) 应对比同一测线多个分量的测深曲线类型和反演成果图，估算目标体的规模、位置、深度等相关参数，结合附近钻孔资料进行解释。
- 6) 需三维建模时，应充分利用钻孔、测井、地质等资料，三维模型应进行切片解释。

4.3.11 瞬变电磁法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 瞬变电磁法的数据预处理应包括数据校正、跳点剔除、数据平滑等，资料处理应主要包括感应电压 V_q 、视时间常数 τ_v 曲线数据预处理和视电阻率 ρ_s 、视纵向电导 S_v 反演处理。

2 数据校正应将各种装置的记录坐标校正到相应的记录点

坐标位置上，当相邻测点曲线出现初始时间延迟时，应进行时间校正。

3 应按公式 (D.3.8) ~ 公式 (D.3.13) 计算曲线相应时刻的视电阻率 ρ_{τ} 和视时间常数 τ_{τ} 。

4 定性解释应通过视电阻率 ρ_{τ} 、视纵向电导 S_{τ} 曲线的形态特征确定地电类型。

5 应计算出每条测线的视电阻率 ρ_{τ} 、视时间常数 τ_{τ} 、视纵向电导 S_{τ} 的二维断面，并将其转换成深度剖面图。

6 应通过典型剖面曲线分析、时间常数计算、反演处理等方法得出异常体特性和空间分布情况。

7 应充分利用已知地质资料约束条件进行深度校正。

8 条件允许时，应具有三维探测表据时，宜进行三维建模分析异常体特性和空间分布情况，三维建模宜包括三维图、切片图、等值面图等。

4.3.12 电磁感应法资料整理与解释应符合下列规定：

1 宜优先采用 ΔH_x 极大值法确定管线平面位置，当管线仪不能观测 ΔH_x 时可用水平分量极大值 H_x 方法定位。

2 采用极小值法定位时，宜与其他方法配合使用。

3 采用直读法直接读出管线埋深时，应在不同地段、不同已知管线上通过探查方法试验，确定深度修正系数，进行深度校正，提高探测深度的精确度。

4 确定深度点的平面位置应精确。

4.3.13 磁电阻率法资料整理与解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应对所有测点数据进行归一化处理。

2 应根据数据采集时记录的金属结构坐标信息，排除已知干扰。

3 应根据现场实际情况建立正演模型，获取测区的理论磁场分布成果。

4 应利用实测磁场与理论磁场分布成果进行比值，得到比

率响应图，判断渗漏集中区和渗漏路径水平走势。

5 应通过反演处理，得到地下介质的电流分布特性，判断渗漏优势路径的三维分布情况。

6 宜通过三维建模对反演得到的三维电流分布模型进行分析。

4.3.14 成果应符合下列规定：

1 成果应包含以下内容：

- 1) 音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法和瞬变电磁法成果应明确测区主要地质层的电性特征、地质分层、地质构造、目标体埋深、规模及延伸情况等。
- 2) 磁电阻率法应圈定渗漏位置、范围，推断渗漏区的渗漏方式、通道等。
- 3) 有其他勘探资料参照时，应评价解释成果的精度。

2 图件除应符合 3.8.4 条的规定外，还应包括下列内容：

- 1) 音频大地电磁测深法和可控源音频大地电磁测深法成果宜包括测深点的观测、重复观测、检查观测视电阻率和相位曲线图，经编辑、平滑、校正后的曲线图、视电阻率——深度断面图、相位——深度断面图等。
- 2) 瞬变电磁法成果图件宜包括各测线的感应电压 V_q 多测道图、视时间常数 τ_t 等值线平面图及反演后的视电阻率 ρ_r 拟断面图等。
- 3) 磁电阻率法成果图件宜包括磁场强度比率响应图、三维电流分布模型及不同高程切片成果图等。
- 4) 成果解释图应是对实测物探资料进行的定性和定量解释的成果体现，应与物性资料相对应。
- 5) 三维勘探成果图可根据观测方式绘制视电阻率三维图、相位三维图、各向异性系数图、主轴方位图、电场极化图和三维切片图。
- 6) 成果图件应包括单一物探方法或综合物探方法所得到

的剖面或平面图件，图件可以是曲线图、等值线图等。物探成果图与成果解释图宜绘制在一张图上，上部绘制物探成果图，下部绘制成果解释图。

4.4 探地雷达探测

4.4.1 探地雷达探测可选用剖面法、宽角法、共中心点法、孔内探测法、三维探测法等。

4.4.2 应用条件应符合下列规定：

1 探测目标体与周边介质的介电常数应存在明显差异，电性相对稳定，电磁波反射信号明显。

2 探测目标体与埋深相比应具有一定规模，探测目标体垂直方向上的厚度应大于探测时所用电磁波在周边介质中有效波长的 $1/4$ ，水平方向上的长度应大于所用电磁波在周边介质中的第一菲涅尔带直径的 $1/4$ ；区分两个水平相邻的探测目标体时，探测目标体间的最小水平距离应大于第一菲涅尔带直径。

3 相对于天线尺寸，探测表面宜平整，无障碍。

4 不宜探测高电导率屏蔽层下的目标体或目标层。

5 测区内不宜有大范围的金属构件或无线电射频等较强的电磁干扰。

6 孔内探测时，钻孔应无金属套管。

7 宽角法与共中心点法测线范围内，目标层底界面宜与测试表面近似平行，测试的介质应均匀。

8 三维雷达探测法的工作面大小应满足探测目标体空间分布范围的要求。

4.4.3 探地雷达设备性能和指标应符合下列规定：

1 主机性能应符合下列规定：

1) 重复发射频率应大于 50kHz 。

2) A/D转换应高于 24bit 。

3) 最小采样间隔应小于 0.05ns 。

4) 系统动态范围应大于 120dB 。

- 5) 应具有自动和手动增益调节功能，增益点数应大于 3 个。
- 6) 应具有 32 次以上信号静态叠加功能。
- 7) 应具有滤波功能。

2 天线性能应符合下列规定：

- 1) 天线中心频率允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。
- 2) 用于孔内探测的天线，水密性应大于 1MPa。
- 3) 频带范围的低值应小于中心频率的 1/4，高值应大于中心频率的 2 倍。

4.4.4 工作布置应符合下列规定：

1 剖面法探测时，测网布置应符合 3.5 节的要求，采用点测时点距宜为 0.1~1.0m，同一异常的反映应大于 3 个连续测点。

2 宽角法与共中心点法天线移动步长应小于电磁波在测试介质中有效波长的 1/4，应按设计测试步长预先标识各测点位置，发射和接收天线最大距离宜大于反射界面埋深的 2 倍。

3 孔内探测法需对异常体方位进行定位时，应采用 2 孔或 3 孔测量方式，采用 3 孔测量方式时宜在平面上布置成三角形，三角形范围宜覆盖探测区域。探测孔宜采用地质钻造孔，孔径应大于 56mm，孔深应深入探测下限 5m 以上。

4 使用三维雷达矩阵天线探测时，相邻测带搭接宽度宜大于矩阵宽度的 1/4。

4.4.5 天线选择应符合下列规定：

1 采用剖面法进行探测时，宜根据探测目标体或目标层范围与深度选择不同主频的天线。进行浅层探测时，宜选择频率 500MHz 以下的天线；地形起伏较大时，宜选用分体式天线。

2 宽角法与共中心点法应选择分体式天线，探测深度较大时宜选用主频较低的天线，探测深度较小时宜选用主频较高的天线。

3 孔内探测法探测距离小于 10m 时，宜选择收发一体天

线。探测距离大于 10m 时，宜选择分体式天线。

4 三维雷达探测法天线应采用屏蔽天线，同一测网应采用相同频率的天线，目标体深度小于 1m 时，可使用空气耦合天线进行探测。

4.4.6 仪器工作参数设置应符合下列规定：

1 应根据最大探测深度与电磁波平均速度按公式 (D.4.7) 计算记录时窗。

2 应按公式 (D.4.10) 计算滤波参数，高通截止频率宜小于天线频率的 1/4，低通截止频率宜大于天线频率的 2 倍。

3 仪器的信号增益应保持信号幅值不超出信号最大动态范围的 3/4，天线静止时信号应稳定。

4 浅层探测和工程质量检测宜采用连续测量，当测线经过的表面凹凸不平、天线不便匀速移动或信号较弱时，宜采用点测。

5 点测法叠加次数宜大于 32 次。连续测量当目标体反射信号较弱时，应适当增加叠加次数。

6 应按公式 (D.4.8) 计算采样率，采样点数应大于 512 点，采样频率应大于所用天线中心频率的 6 倍。

7 宽角法与共中心点法延迟设置应保证最小收发距时可接收信号首波。

4.4.7 现场工作应符合下列规定：

1 现场采集时应清除或避开测线附近的金属物，无法清除或避开时应做好记录。

2 非空气耦合天线探测时天线宜紧贴探测面，保持耦合良好。

3 探测时天线标记的测量方向应与测线方向一致，天线中心线偏离测线的距离应小于天线宽度的 1/3。

4 点测采样时天线应保持静止，采集完成后方可移动至下一个测点。

5 连续测量时天线的移动速度应均匀，应与仪器的扫描率

相匹配，通过目标体的扫描道数宜大于 10 道。

6 探测时天线应至少每 10m 校对一次桩号或深度，允许误差为 $\pm 1\%$ 。

7 使用小于 400MHz 中心频率天线探测时，应保持连接电缆展开，天线的位置宜相对固定。

8 孔内探测时宜保持探测孔段满水或无水状态，由于地质或其他现场条件无法使探测孔段保持满水或无水状态时，应记录水深位置。

4.4.8 数据处理除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 可根据需要选取删除无用道、水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、 $f-K$ 倾角滤波、反褶积、偏移、空间滤波、点平均等处理方法。

2 对于干扰严重的道及多余重复道应进行无用道剔除处理，无用道剔除后应保持其他道位置不变。

3 数据道密度的水平比例不一致及存在位置标记时，应进行水平比例归一化。

4 当信号幅值过大或过小，应进行数据增益处理，增益处理可采用线性增益、指数增益或自动增益。

5 有地形起伏的测区，应进行地形校正。

6 应根据波幅、相位、频率、多次反射等特征，结合现场记录进行对比分析识别干扰波。当干扰波影响有效信号的识别时，应采用滤波等方式消除或减弱干扰波影响。

7 频率滤波可选择低通滤波、高通滤波或带通滤波，低频截止频率宜大于天线中心频率的 $1/4$ ，高频截止频率宜小于天线中心频率的 2 倍。

8 波形图上存在倾斜层状的干扰现象时，宜在水平比例归一化和地形校正后进行 $f-K$ 滤波，应事先确定无同样倾角的有效层状反射波。

9 宜采用反褶积处理压制多次反射波，提高垂直分辨率，

当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积处理。

10 对倾斜层反射波界面宜进行时间偏移或深度偏移处理，当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行偏移处理。

11 可根据异常处理要求选用有效道叠加或道间差方法进行空间滤波。

12 点平均处理时，参与平均的点数宜为奇数，点数最大值宜小于采样率与低通频率的比值。

13 宽角法和共中心点法反射波波至读取前，应先根据目标反射界面深度和双曲线特征对反射波进行识别，波至读取宜选择波形起跳点、波峰、波谷等特征点位置。

14 三维雷达探测法单个剖面数据处理完成后应形成三维图像，对目标体范围进行空间位置标记。

4.4.9 资料解释除应符合 3.8.3 条的要求外，还应符合下列规定：

1 应在原始图像上通过反射波波形、能量强度、反射波初始相位、反射界面延续情况等特征进行综合判断和异常筛选。

2 识别反射波组界面，首先宜通过已知信息与雷达图像进行对比，建立测区探测对象的反射波组特征。然后宜扩展到其他剖面进行识别，同时根据反射波组的波形和能量特征进行同相轴追踪。

3 单个异常体可根据波形双曲线形态、能量和频率等特征进行识别。

4 对异常体的水平位置和顶界面埋深宜进行定量计算，对于异常体底界面宜进行半定量估算。

5 同一测区有多条测线时，应比较相邻测线的雷达剖面图，识别相似图像特征的反射信息进行比对及综合分析。

6 孔内探测法解释应排除地面及水面造成的形态为 45° 的强反射同相轴的干扰波，多孔探测时宜根据多个单孔雷达图像上的目标体信号位置进行综合判断目标体方位。

7 三维雷达探测法应利用三维数据体显示功能进行目标体

的空间形态分析和三维建模。

4.4.10 成果应符合下列规定：

- 1 成果图件应包括工作布置图、雷达剖面图、成果解释剖面图。
- 2 布置在隧洞、陡壁、边墙等处的测线，应绘制测线布置断面图。
- 3 雷达剖面图可绘制色谱、灰度或波形图像。
- 4 剖面成果解释图应标明探测目标体的位置和尺寸。
- 5 三维探测成果图件应包括平面图、剖面图、截面图、三维透视图，宜根据设计间隔以多个层析切片的形式显示。

4.5 地震勘探

4.5.1 地震勘探可选用地震折射波法、地震反射波法、瞬态面波法、天然源面波法、三维地震反射波法、水域地层剖面探测和水域多道地震勘探、隧洞施工物探超前地质预报地震波法等。

4.5.2 地震勘探应用条件应符合下列规定：

- 1 地震折射波法应符合下列规定：
 - 1) 被追踪地层的波速应大于各上覆层的波速，各层之间应存在明显的波阻抗差异。
 - 2) 被追踪地层应具有一定的厚度，中间层厚度宜大于其上覆层厚度。
 - 3) 沿测线被追踪地层的视倾角与折射波临界角之和应小于 90° 。
 - 4) 被追踪地层界面应起伏不大，折射波沿界面滑行时无穿透现象。
- 2 地震反射波法和三维地震反射波法应符合下列规定：
 - 1) 被追踪地层应是层状或近似层状介质。
 - 2) 被追踪地层与其相邻层之间应存在明显的波阻抗差异。
 - 3) 被追踪地层应具有一定的厚度，应大于有效波波长的 $1/4$ 。

- 4) 地层界面宜较平坦, 入射波应能在界面上产生较规则的反射波。
 - 5) 探测的断层应有明显的断距。
 - 3 瞬态面波法和天然源面波法应符合下列规定:
 - 1) 被探测地层与其相邻层之间、透镜体或不良地质体与其周边地层应存在大于 20% 的面波波速差异。
 - 2) 被追踪地层厚度在面波探测排列内应相对均匀, 被追踪的地层透镜体或不良地质体应具有一定规模。
 - 3) 地面应相对平坦或坡面为单斜且起伏不大, 应避免沟、坎等复杂地形和障碍物的影响。
 - 4 水域地层剖面探测和水域多道地震勘探应符合下列规定:
 - 1) 水深范围宜为 3~1000m, 探测水下深度在 200m 范围内可采用水域地层剖面探测。遇到声波穿透能力弱的砂卵石、贝壳大量沉积地层, 应选择水域多道地震勘探的方法。
 - 2) 被追踪地层与其相邻层之间应存在明显的波阻抗差异。
 - 3) 被追踪地层应具有一定的厚度, 宜大于其有效波长的 1/4。
 - 4) 被探测水底障碍物尺寸应大于其有效波长的 1/4。
 - 5 隧洞施工物探超前地质预报地震波法应符合下列规定:
 - 1) 隧洞掌子面前方的地质异常体与围岩之间应存在明显的波阻抗差异。
 - 2) 隧洞掌子面前方的地质异常体应具有一定的厚度或规模, 应大于有效波波长的 1/4。
- 4.5.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定:**
- 1 震源应符合下列规定:
 - 1) 地震勘探可使用爆炸震源、可控震源、锤击震源、落重震源、电火花震源、电磁震源、气枪震源等。
 - 2) 应能激发所选工作方法需要的主频地震波, 能量应符合探测深度要求。

- 3) 应操作方便、安全可靠、重复性好。
 - 4) 震源触发信号应起跳尖锐、稳定，计时延迟时差应小于 0.1ms。
 - 5) 爆炸机性能应安全可靠，具备计时回路触发功能。
- 2 地震仪器主要技术指标应符合下列规定：
- 1) 地震折射波法、地震反射波法、瞬态面波法仪器通道数应大于 12 道，天然源面波法仪器通道数应大于 4 道，三维地震勘探仪器应具有分布式功能或无线节点数据采集和存储功能。
 - 2) 最小采样间隔应小于 0.1ms，天然源面波仪采样间隔应分为 1ms、2ms、4ms、10ms 等若干档。
 - 3) 记录长度应大于 1024 点，应可选，天然源面波仪最小记录时间不应少于 2min。
 - 4) 仪器动态范围应高于 120dB，A/D 转换位数应大于 24bit。
 - 5) 仪器放大器各通道的幅值偏差应小于 5%，相位时差应小于所用采样时间间隔的 1/2。
 - 6) 通频带应为 0.5Hz~5kHz，天然源面波仪通频带应为 0.2Hz~4kHz。
 - 7) 仪器应具有频响与幅度一致性的自检功能。
 - 8) 放大器内部噪声应小于 $1\mu\text{V}$ ，无前放增益时，放大器内部噪音和直流漂移均应小于 $4\mu\text{V}$ 。
 - 9) 道间感应抑制比应大于 80dB。
 - 10) 主机面板各端口应采用标准接插口。
- 3 地震检波器应符合下列规定：
- 1) 应采用与探测方法相匹配的速度型检波器，天然源面波应采用低频、高灵敏度检波器。
 - 2) 检波器各道之间自然频率允许偏差应为 $\pm 10\%$ ，灵敏度允许偏差应为 $\pm 10\%$ ，相位差允许偏差应为 $\pm 1\text{ms}$ ，电阻值允许偏差应为 $\pm 10\%$ ，阻尼系数允许偏差应为

±10%。

- 3) 绝缘电阻应大于 10MΩ。
 - 4) 井下和水下使用的检波器以及无线节点，应有良好的防水性能。
 - 5) 隧洞施工物探超前地质预报地震检波器，宜选择三分量检波器。
 - 6) 横波检波器应有水平方向指示功能，多分量检波器应有水平和垂直方向指示功能。
- 4 水域地层剖面探测震源及仪器设备应符合下列规定：
- 1) 仪器应具有在接收频段内可任意选择中心频率和宽的滤波器，具有 TVG 增益调节功能，具有总增益、对比度和门限调节功能，A/D 转换位数应高于 24bit。
 - 2) 地层剖面探测仪的水听器的灵敏度应大于 80dB/V/ μ Pa，接收频带范围应为 20Hz~5kHz。
 - 3) 浅地层剖面探测仪的震源宜采用电声或电磁脉冲，频带范围应为 500Hz~15kHz。中地层剖面仪的震源宜采用电火花、气枪、水枪或枪阵组合，频带范围应为 60Hz~5kHz。

4.5.4 仪器设备的检查工作应符合下列规定：

1 定期检查宜包括幅频特性和灵敏度特性等主要参数，检查周期不宜超过 1 年。

2 一个工区开展工作前和结束后均应进行现场检查；现场检查包括本机噪音检查、放大器一致性检查、地震仪系统记录道一致性检查和道间感应检查，检查各道波形的相似性、相位差、振幅差，检波器一致性检查等。

3 多台仪器串联工作要进行触发响应时间一致性检查。

4.5.5 测线布置除应符合 3.5 节的规定外，还应符合下列规定：

1 测线宜布设成直线。当受场地条件限制时，可布设成非纵测线，但应考虑旁侧、界面倾角和速度变化及穿透现象的影响。

2 当测线通过建筑物、道路、高压电线和其他障碍时测线可转折，但应采取相应措施，保证转折测线的资料能独立解释。

3 山谷地形可按坡度相近的山坡分段布置测线。炮点宜在地形起伏的顶部和底部，应保证各段测线资料能独立解释。

4 河谷测线宜垂直河流或顺河流布置，当河谷狭窄和折射波相遇段较短时，可斜交河流布置测线。

5 地形起伏较大的勘探场地，宜采用天然源面波法、地震折射波法或地震反射波法，应实测激发点和检波点的位置及高程，沿排列方向应测绘地形剖面。

6 水域地层剖面探测测网布置应符合下列规定：

1) 海洋勘探测网布置应考虑风向、洋流、海底地形、海域障碍物等条件，主测线宜垂直于区域地质构造走向，联络测线宜垂直于主测线。

2) 河道及水库的水声勘探线应垂直水下地形的走向，宜布置横河测线，线距宜小于 50m，当水下地形较平坦时，测线可顺流布置。

3) 探测水下覆盖层厚度、河谷基岩形态时，宜与地质勘探线或其他物探方法的测线重合。

7 隧洞施工物探超前地质预报地震波法测线布置应根据不同预报技术的工作要求布置，在隧洞掌子面或边墙上，以单测线、多测线、散点布置、全空间布置等模式布置。

4.5.6 试验工作除应符合 3.4 节的规定外，还应符合下列规定：

1 试验工作应包括观测系统、震源和仪器工作参数的选择等。

2 宜采用展开排列法了解工区有效波和干扰波的情况，选择的仪器工作参数应能接收到各种波的信息。

3 对于展开排列长度，折射波法宜为探测深度的 6~10 倍，反射波法宜为探测深度的 2~3 倍，瞬态面波法宜为探测深度的 1~2 倍。

4 应根据试验成果选择合适的观测系统、震源和仪器参数

作为生产过程的技术参数。

5 生产过程中遇到局部地段地震记录数据变化较大时，应采用综合物探方法做补充试验，应根据补充试验成果及时改变工作方法及相关参数，改善记录质量。

4.5.7 观测系统应符合下列规定：

1 观测系统应依据试验结果确定，在符合探测任务要求并保证有效波连续对比追踪的前提下，应采用简单的观测系统。

2 地震折射波法应符合下列规定：

- 1) 进行折射波数据采集时，同一排列的检波点和炮点宜呈直线布置，相邻排列间首尾相接。
- 2) 观测系统包括纵测线和非纵测线观测系统，纵测线观测系统包括单支时距曲线观测系统、相遇时距曲线观测系统、追逐时距曲线观测系统和双重或多重时距曲线观测系统。
- 3) 采用单支时距曲线观测系统，被追踪界面宜平坦，沿测线方向岩层界面的视倾角应小于 15° ，应保证追踪段内至少有 4 个检波点有效接收折射波。
- 4) 采用相遇时距曲线观测系统，应保证追踪界面的相遇段有大于 4 个检波点有效接收折射波。
- 5) 采用追逐时距曲线观测系统，应保证在两支时距曲线上被追踪段有大于 4 个正常检波点重复接收同一界面的折射波。
- 6) 采用多重时距曲线观测系统，应保证各层折射波的连续对比追踪，在综合时距曲线上均有能独立解释的相遇段，可达到折射分层。
- 7) 布置非纵测线观测系统，应考虑旁侧界面倾角和界面速度变化的影响。非纵测线应通过纵测线或钻孔、基岩露头，测线长度宜小于爆炸点到测线的距离。
- 8) 横河剖面采用相遇时距曲线观测系统，应考虑河床宽度是否具备探测任务所需要的相遇段。

- 9) 水域横河剖面可根据互换原理采用水中激发，岸坡接收的相遇与追踪相结合的观测系统。
- 10) 采用地震折射层析成像反演时，应采用多重时距曲线观测系统，在排列内激发点距宜小于10个检测点距。
- 3 地震反射波法应符合下列规定：
- 1) 可采用单边或双边展开排列观测系统了解测区内有效波和干扰波的分布特征，应根据反射最佳窗口，确定偏移距和检波点距。
 - 2) 等偏移距观测系统宜用于地球物理条件较简单，反射层位较稳定，且在最佳窗口内反射波较强的测区。观测中应根据展开排列试验资料，将偏移距选在反射波窗口的中部。
 - 3) 共深度点多次叠加观测系统宜用于地球物理条件比较复杂的测区，叠加次数、检波点距和偏移距等参数应根据目标层深度、地质单元变化和探测精度进行设置，接收排列应在反射最佳窗口内。
 - 4) 激发点宜布置在地层下倾方向，接收排列宜布置在地层上倾方向。
- 4 瞬态面波法应符合下列规定：
- 1) 进行瞬态面波数据采集时，同一排列的检波点和炮点宜呈直线布置，检波点距宜相同。
 - 2) 地形较平坦或单向斜坡及不存在固定干扰源的场地，排列应沿测线布设；地形起伏较大的场地，应调整排列方向，沿地形等高线布设，排列的中点与测线应相交。
 - 3) 存在固定干扰源的场地，排列与激发震源和干扰源应布置在一条直线上，激发震源和干扰源应在排列的不同侧。
 - 4) 场地存在沟坎或遇到建筑物时，排列方向应规避干扰源影响。

- 5) 检波器排列的长度应大于勘探深度所需波长的 $1/2$ ，检波器排列的中点应为面波勘探点。
 - 6) 激发点位置宜选择在地表含土量较多的一侧或在斜坡下方。
- 5 天然源面波法应符合下列规定：
- 1) 应根据场地条件及具体要求选用圆形台阵、三角形台阵、L 形台阵及直线形台阵等进行探测。
 - 2) 面波勘探点间距应根据勘察阶段、场地地质地形条件的复杂性以及勘察目的和精度综合考虑，每个勘探目标体或每条测线勘探点宜不少于 3 个。
 - 3) 当测线周边比较开阔且干扰较小时，宜采用多个同心圆布设检波点台阵，台阵中检波点的分布，除圆心外，其余检波点均应分布在各圆内嵌等边三角形的角点位置。
 - 4) 当测线周边比较狭窄或有干扰时，宜采用单圆或直线布设检波点。若采用单圆型台阵，除圆心布设检波点外，其余检波点宜分布在圆内正奇数多边形的角点上；若采用直线排列，可采用不同的检波点距。
 - 5) 采用圆形台阵时，宜取圆心为天然源面波勘探点；采用直线排列时，宜取排列中点或中点偏向优势震源一侧 1~2 个检波点距处为天然源面波勘探点。
 - 6) 同一条测线宜采用相同的观测系统。
- 6 三维地震反射波法应符合下列规定：
- 1) 三维观测系统的设计宜根据地形地貌、设备配置的实际情况，采用规则测网。
 - 2) 在一个共中心点（CMP）面元内地震道应均匀分布，炮检距应从小到大均匀分布，应能同时勘探浅、中、深各目标层。
 - 3) 在 CMP 面元上，各炮检距连线的方位宜均匀分布于该面元的 360° 方位上。

- 4) 各面元上的覆盖次数宜相同或接近,在全区范围内应均匀分布,应确保边缘地带的覆盖次数不小于设计的覆盖次数。
- 5) 道间距的选择应防止产生偏移假频和叠前处理时的空间假频。
- 6) 接收线距宜为道距的整数倍。
- 7 水域地层剖面探测和水域多道地震勘探应符合下列规定:
 - 1) 水域地层剖面探测根据需要可采取船尾拖曳方式或舷挂式,舷挂式宜在船的中后部一侧固定安装。
 - 2) 拖曳式震源和水听器阵应拖曳于船尾涡流区外且平行布置,水听器阵应稳定拖浮在水面以下 0.1~0.5m。
 - 3) 发射机应接地良好,发射机和接收机应间隔一定安全距离。

8 隧洞施工物探超前地质预报地震波法应根据不同预报技术的要求,布置在隧洞掌子面或边墙上。可选单测线、多测线、散点布置、全空间布置等模式,道间距、测线距、偏移距等参数应根据技术要求和现场工作条件确定。

4.5.8 地震折射波法、地震反射波法、瞬态面波法、天然源面波法、三维地震反射波法现场工作应符合下列规定:

- 1 爆破作业安全应符合 GB 6722 的要求。
- 2 爆炸震源应符合下列规定:
 - 1) 应在药包外面绕记时线,采用炸断回路触发记时。
 - 2) 坑中爆炸时,药包应用土或砂埋实。多次使用同一炮坑时,每次埋置药包前应清除松土。
 - 3) 水中爆炸时,应有防水措施,药包沉放深度宜为水下 1m。
 - 4) 井中爆炸时,宜有水或泥浆耦合。
 - 5) 隧洞施工物探超前地质预报爆炸时,应在钻孔中进行,钻孔深度宜大于 1m。
 - 6) 爆炸点的位置和深度应准确,必要时可允许爆炸点沿

垂直测线方向移动，但移动距离应小于检波点距的1/5。

- 7) 地面爆炸时，应清除炮点处碎石和杂草。
- 8) 同一爆炸站严禁使用两套或多套爆炸线和记时线。
- 9) 应使用专用爆炸机。

3 锤击和落重震源应符合下列规定：

- 1) 地震折射波法和地震反射波法的激发点应选在较密实的土层上，必要时应清除激发点的浮土或预先夯实。
- 2) 使用人工锤击震源或机械冲击震源时，应在激震点敷设垫板，垫板应与地面接触良好，不应反跳造成二次触发。
- 3) 使用叩板震源时，木板的长轴应垂直测线，长轴的中点应在测线上或测线延长线上；木板上应加压足够的重物或安装抓钉，保持叩板与地面接触牢固。
- 4) 使用钉耙震源时，应将固定耙齿打入土层中，必要时可加打活动耙齿，保持钉耙与地面接触牢固。
- 5) 隧洞施工物探超前地质预报地震波法的激发点应选在较完整的岩石上，当岩石较松散或破碎时，宜利用金属板紧密贴合到岩石上，通过敲击金属板激发能量。

4 检波器间距应根据选用方法、探测任务要求、地球物理条件确定，应符合下列规定：

- 1) 地震折射波法的检波点距宜为5~10m，在探测风化带、断层和进行岩土参数测试时可适当减小。
- 2) 地震反射波法的检波点距宜为2~4m。
- 3) 瞬态面波法和天然源面波法的检波点距应小于最小探测地层厚度所需波长的1/2。

5 检波器固有频率可根据有效波的频率响应和提高分辨率的技术要求加以选择，宜符合下列规定：

- 1) 地震折射波法宜选用固有频率为10~40Hz垂直检波器。

- 2) 地震纵波反射波法宜选用固有频率为 60~100Hz 垂直检波器。
- 3) 地震横波反射波法宜选用固有频率为 40~60Hz 水平检波器。
- 4) 瞬态面波法宜选用固有频率为 1~5Hz 垂直或三分量检波器，天然源面波宜选用固有频率为不大于 2Hz 垂直或三分量检波器。
- 5) 隧洞施工物探超前地质预报地震波法宜选用固有频率为 20Hz~2kHz 检波器。
- 6 检波器布置应符合下列规定：
 - 1) 布置位置应准确，埋置条件应一致，应与地面接触牢固，防止漏电和背景干扰。
 - 2) 当受地形、地面条件限制，检波器不能安置在原设计点位时，可沿测线移动（不包括互换点），如有困难时可沿垂直测线方向移动，其偏移距离应小于 1/5 检波点间距。
 - 3) 使用水平检波器接收横波时，应保证检波器水平安置，灵敏轴应垂直测线方向，取向应一致。
 - 4) 在水域使用水听器接收时，应将水听器沉放于水面以下，深度宜大于 1m。
- 7 仪器工作参数应符合下列规定：
 - 1) 应根据测区干扰背景、激发和接收条件、地球物理条件及安全等因素选择。
 - 2) 在一个测区或测段工作时，应使用同一滤波档，因特殊情况需要改变滤波档时，应有对比记录。
 - 3) 应依据有效波的时域和频域特征选择记录长度和采样率。
 - 4) 瞬态面波法和天然源面波法观测时应设置全通，仪器应设置在全通状态，仪器各道增益应一致，瞬态面波记录长度应满足最大源检距基阶面波的采集需要。

5) 当信噪比较低时,可采用重复激振进行信号叠加。

8 水上作业应符合下列规定:

- 1) 水上地震折射波法观测宜采用固定排列,使用爆炸震源和漂浮电缆。当水流湍急、干扰背景强烈时,可采用将激发点和接收点互换的观测方式。
- 2) 水上地震反射波法观测宜采用移动排列,使用船拖电火花震源和漂浮电缆,沿测线同步移动,拖船航速应稳定并保持电缆沉放深度一致。
- 3) 当布置横河方向纵测线并采用相遇观测系统时,应考虑河床宽度是否具备探测任务所需相遇段,当布置横河方向非纵测线时,应符合 4.5.7 条的相关规定。
- 4) 应及时测量水边线高程和沿测线的水深,当水位变化超过 0.5m 时应进行校正。

4.5.9 水域地层剖面探测现场工作应符合下列规定:

1 在探测作业开始前,应由导航定位人员将设计好的测线和测点画在导航定位图上或输入导航定位设备内。

2 当水下拖曳探头距探测船较远时,应采用超短基线水下声学定位系统,开始工作前应对定位系统进行安装姿态校正。

3 探测船应沿测线延伸线提前上线、延时下线,有拖体情况下,延伸线长度应大于 2 倍拖缆长度。

4 船速和航向应保持稳定,工作航速应小于 3 节,航迹与设计测线偏离距应小于 10m,偏离测线超出规定范围时应及时缓慢修正。

5 探测船定位仪器的天线与水下拖曳探头水平位置宜重合,当两者水平距离超过图上 1mm 时应进行点位偏心改正。

6 探测船应匀速、直线持续航行,不应随意停船,严禁倒转,转换测线时,不应小角度转弯。

7 水深变化较大时,应及时调整记录仪的量程或延时。

8 应使用涌浪补偿器或数字涌浪滤波方法进行滤波处理。

9 对现场记录剖面图像初步分析发现可疑目标时,应布设

补充测线确定目标性质。

4.5.10 水域多道地震勘探现场工作除应符合 4.5.9 条的规定外，还应符合下列规定：

1 在每日或每条测线工作前，应记录正常工作条件下的电缆噪音。

2 每条测线应记录电缆羽角，角度不应大于 10° 。

3 采取等距离或等时间激发，定位炮号应与地震文件号相对应。

4 地震记录的计时线应清晰，道迹均匀，同步信号和激发信号的断点应清晰。

5 测线探测中断，应在该航次补测，测线正向连接时，炮点应连续，反向连接时应重复观测一个排列的长度。

6 探测过程中工况突然变化或探测船加速时，应及时观察电缆噪声，若噪声电平超过标准，应停止作业。

4.5.11 原始记录应符合下列规定：

1 原始记录应包括仪器检查记录、检波器一致性检查记录、试验记录、生产记录、班报等。

2 记录地震数据的硬盘、U 盘等应标识清楚并与班报一致。

3 地震折射波法和展开排列应附完整的波形记录，其他方法可根据需要附典型测段的波形记录。

4 原始记录存在 3.8.2 条及下列情况之一者应评定为不合格：

1) 激发开门时间误差大于 0.1ms。

2) 未按设计要求施工，不能满足生产的要求。

3) 不能可靠追踪有效波的记录。

4) 互换道或连接道不正常，影响有效波的正确对比与连接，又不能从同一激发点的其他记录准确转移的记录。

5) 折射和反射采集记录中，同一张记录中使用道数的 1/6 以上或两相邻道工作不正常的记录。

- 6) 三维地震记录中，超过相邻 4 炮记录在同一道上出现工作不正常的记录。
- 7) 瞬态面波采集记录中的削波均应作为坏道处理，记录长度不满足采集最大源检距基阶面波的记录，记录中的基阶面波不为强势波的记录，记录中非边道相邻两道为坏道的记录，记录中坏道数大于使用道数 10% 的记录。
- 8) 天然源面波采集记录中，采用圆型台阵观测方式时，出现坏道的记录；采用直线型观测方式，出现连续坏道或坏道比例大于 10% 的记录。
- 9) 干扰背景强烈，影响有效波识别或准确读取旅行时的折射波记录、透射波记录、面波记录和单次覆盖的反射波记录。
- 10) 干扰背景强烈，经滤波、水平叠加等处理后，仍不能识别主要目标层的反射波记录。
- 11) 记录编号或主要内容与班报不符，又无法核实的记录。

4.5.12 波的对比应符合下列规定：

1 波的对比应选择靠近有效波的起始相位处并采用单相位或多相位对比，在裂隙发育区宜采用多相位对比。

2 对不同层位有效波应根据波形的相似性、视周期的相近性、振动的连续性和同相性、振幅随远离爆炸点衰减的规律性等特征进行对比分析。

3 有效波的置换应根据两组波同相轴相交时波形的叠加特征、波形或振幅的突然变化、视周期或视速度的突然变化等加以确定。

4 在相遇时距曲线观测系统中互换道和连接道波的对比，应根据有效波旅行时的相等性及动力学特点的相近性进行分析，同排列互换道或排列间连接道的时间差，经爆炸深度校正后应小于 3ms。

5 在相遇与追逐多重时距曲线观测系统中进行折射波的对比，应根据追逐时距曲线的平行性来判别同一层位或不同层位的折射波，经校正拼接后综合时距曲线互换时间差应小于 5ms。

6 在展开排列和共炮点地震记录上进行反射波同相轴识别，应采用单相位或多相位对比；同一层位的反射波与其续至相位或多次反射同相轴呈双曲线应彼此平行，不同层位的反射波同相轴随炮检距增加应彼此逐渐靠拢。

7 进行面波对比时，应根据面波的频散特征，在时间域和频率域进行综合对比分析。反映层位变化的面波同相轴随炮检距的增加呈扫帚状逐渐散开，同相轴之间时差应递增，频率降低。

4.5.13 旅行时读数应符合下列规定：

1 应使用原始记录读取波的初至时间，直接读取初至时间有困难时，可读取有效波第一个极值时间，但应进行相位校正。

2 波的干扰或置换位置应在分析波的叠加特征后正确读取。

3 旅行时读数应按公式 (D.5.2) 进行校正，校正内容宜包括相位校正、爆炸深度校正、表层低速带校正及地形校正。

4.5.14 平均速度和有效速度的取值应符合下列规定：

1 确定平均速度或有效速度应考虑近地面介质不均匀性、低速带与下伏层厚度相对变化的影响。

2 速度参数可通过单孔地震波法、穿透地震波法测试，地震反射波法、地震折射波法及面波法探测资料求得。

3 测区有钻孔时应利用单孔地震波曲线和穿透地震波法测试计算平均速度，应对平方坐标法和交点法求取的有效速度进行评价和修正。

4 地震勘探宜在测线每 100m 测段的两端进行有效速度测试，当发现相邻速度差大于 20% 时应在该测段内增加速度测试工作，绘制速度沿测线的变化曲线，按曲线上对应的速度值构制界面。

5 当地层低速带厚度变化引起有效速度明显变化时应先进行低速带校正，然后以低速带的下伏地层的有效速度构制界面。

6 在同一测线上，没有充分资料证明有效速度突变时，不应分段采用有效速度构制界面，避免引起界面深度的突变。

4.5.15 地震折射波法数据处理、资料解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 绘制时距曲线的比例尺应根据实际观测精度加以选择，人工绘制时水平比例尺可采用 1 : 1000 或 1 : 2000，垂直比例尺可采用 1cm 代表 10ms 或 20ms。

2 时距曲线绘制后，可根据互换时间的相等性、追逐时距曲线的平行性、炮点两侧截距时间相等性的原则进行检查。出现非正常现象时，应检查地震记录相关道的读数并进行修改。

3 时距曲线中个别道出现旅行时突变时，应对照相应地段的相遇或追逐时距曲线旅行时进行检查，查明原因进行必要的修正。

4 绘制综合时距曲线时应将经过爆炸深度校正和相位校正的观测时距曲线一并绘出。

5 应由相遇时距曲线解释求取界面速度和深度。在近似水平层状介质、地面和界面起伏较小、速度横向无明显变化时，可采用单支时距曲线截距时间法或临界距离法求取界面深度。

6 构制浅层折射界面的方法应根据地球物理条件、解释方法的特点和精度要求选择。单支时距曲线解释有截距时间法和临界距离法、正演拟合计算法；相遇时距曲线解释有 t_0 法、延迟时法、时间场法、共轭点法、正演拟合计算法。可选用下列方法：

- 1) 当界面起伏不大、无穿透现象、沿测线界面速度无明显变化时，可采用 t_0 法或延迟时法。
- 2) 当地面有一定起伏、折射界面起伏较大、无穿透现象、界面速度有明显变化时，可采用时间场法。
- 3) 当地面较平坦、折射界面起伏较大、无穿透现象、界面速度有明显变化时，可采用共轭点法。
- 4) 对于多层不均匀或具有特殊构造的地层，可采用多种

方法构制界面或折射分层综合求解。

7 依据任务要求，在分析测区内有关地质、钻探及其他物探资料的基础上做出地质解译，应符合下列规定：

- 1) 地震界面应按公式 (D. 5. 4) 计算求取，应依据钻孔或物性资料确定地震界面与地质界面的对应关系。
- 2) 依据物性和地质资料推断水平方向岩性变化。
- 3) 分析原始记录上有无伴随振幅衰减、波形变化等现象确定低速带与断层破碎带的对应关系。

4. 5. 16 地震反射波法数据处理、资料解释除应符合 3. 8. 3 条的规定外，还应符合下列规定：

1 应利用展开排列资料与测区已知地质及其他物探资料进行正反演相关分析，确认目标层的反射波波组。

2 应根据原始记录的信噪比和探测任务要求，拟定处理流程，选择滤波频率、滤波视速度、叠加速度、平均速度等处理参数。

3 原始记录预处理应将不正常道数据充零，校正反极性道。

4 在地形起伏较大、表层低速带速度或厚度变化较大的测区，一次静校正应符合下列规定：

- 1) 测线地形起伏较大且地形单元明显不同时，应依据地形单元分段选取地形改正基准线。
- 2) 表层低速带沿测线方向变化较大时，应沿测线补充必要的小折射进行观测。

5 进行速度分析，选取叠加速度应符合下列规定：

- 1) 可使用速度谱或速度扫描求取叠加速度，当地球物理条件较复杂时，宜用两种方法互为校核。
- 2) 速度扫描时应选取地形比较平坦，信噪比高的地震记录，应采用较小的速度增量。
- 3) 沿测线应有足够的测段进行速度分析，应绘制速度展开图，结合速度测井资料，分析速度横向变化规律。
- 4) 水平叠加效果欠佳的地段，应对该段叠加速度作必要

的修改。

6 数字滤波应符合下列规定：

- 1) 应在频谱分析的基础上选择滤波频率。
- 2) 应调整滤波宽度，解决提高信噪比和分辨率的矛盾。
- 3) 应选用合适的镶边宽度，避免吉布斯现象及减少滤波因子截断引起的误差。
- 4) 在构造发育地区，不宜进行叠前二维滤波，避免横向混波对断层等地震波动力学特征的影响。

7 依据测区地球物理条件和地震记录特点，可选用下列处理方法：

- 1) 有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，叠前应进行道内动平衡处理。
- 2) 有效反射波组之间相互干扰的记录，宜采用反褶积处理。
- 3) 对垂向速度倒转的测段，宜进行相应的动校正处理。
- 4) 当界面倾角较大时，宜进行偏移叠加或叠加偏移处理。

8 在断层发育区和断层破碎带附近不宜进行剖面修饰性处理。

9 原始的等偏移资料进行定量解释时，应作动校正处理。

10 地震反射波资料解释基础图件应符合下列规定：

- 1) 图上应注明测区名称、测线号、偏移距、检波点距。
- 2) 水平叠加时间剖面图应注明叠加次数、处理流程、叠加速度等。
- 3) 等偏移时间剖面图应注明是否经过动校正处理及标注动校正速度值。
- 4) 时间剖面典型地段应附相应的展开排列记录。

11 应依据基础图件采用地质和其他物探资料进行对比分析，确定地质层位和地震波组关系，选取与探测目标层位对应的波组进行对比、追踪，获得目标反射层的特征。反射层位应标注编号。

12 各种时间剖面解释应包括确定主要地质层位与反射层位的关系，确定地层厚度变化及接触关系和划分断层或破碎带。应分析时间剖面图中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象，得出与地层、岩性、构造的变化关系。

13 对第四系松散地层中的沉积构造及其他地质现象的确定和解释，应有地质或其他物探资料对比和佐证。

14 应分析等偏移时间剖面中波形的振幅、频率、相位、余振、波散等动力学特征与地下介质横向和纵向变化的关系。

15 构制浅层反射界面的方法有交点法、椭圆法、圆法、时间场法等，应根据地球物理条件、解释方法的特点及精度要求选择。方法选择应符合下列规定：

- 1) 当覆盖层介质较均匀、平均速度变化不大时，可采用交点法、椭圆法和圆法构制反射界面；交点法和椭圆法适用于水平和倾斜界面，圆法适用于视倾角小于 10° 的界面。
- 2) 当覆盖层介质不均匀、平均速度变化较大时，可采用时间场法求解。

4.5.17 瞬态面波法和天然源面波法数据处理及资料解释除应符合 3.8.3 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 处理软件应具有利用基阶面波提取面波频散曲线的功能。
- 2 瞬态面波法频散曲线提取应符合下列规定：
 - 1) 宜在 $f-K$ 或 $f-V$ 域中提取频散曲线，确认基阶面波频散曲线。
 - 2) 二维滤波计算应突出基阶面波能量。
 - 3) 应将速度——波长域频散曲线转换为速度——深度域频散曲线。
 - 4) 频散曲线提取完毕后应进行存储。
- 3 天然源面波法频散曲线提取应符合下列规定：
 - 1) 宜在 $f-K$ 域或 $f-V$ 域、空间自相关系数-面波相速度曲线中提取频散曲线。

- 2) 近源干扰较大时, 应进行频散聚合滤波, 突出基阶面波能量。
 - 3) 应设置频率区间确认基阶面波频散曲线。
 - 4) 应将速度——波长域频散曲线转换为速度——深度域频散曲线。
 - 5) 频散曲线提取完毕后应进行存储。
- 4 频散曲线的分层应依据斜率及频散点疏密等特征确定, 用于计算地层速度的频散曲线应具有收敛的特征。
- 5 频散曲线的反演计算应符合下列规定:
- 1) 横波层速度的反演计算宜选择固定层厚度的方式, 宜遵循由浅及深、逐层调试的原则, 使正、反演结果逐渐逼近。
 - 2) 在场地具有钻孔资料的条件下, 应结合已知资料确定层厚度和横波层速度。
 - 3) 经过反演计算确定的横波层速度和层厚度结果应存储。
- 6 制作彩色速度剖面图应符合下列规定:
- 1) 每个剖面应有大于 3 个勘探点的频散曲线。
 - 2) 频散曲线上不合理的数据点应剔除。
 - 3) 应根据地形条件进行地形校正。
 - 4) 应能设置合适的比例尺和波速标尺门限。
 - 5) 应在速度分层图中填充地质图例, 制作地质解译剖面图。
- 7 频散曲线的地层反演分析应符合下列规定:
- 1) 对于近水平层状地层, 反演结果应为排列中点位置垂直方向地层的波速分布。
 - 2) 对于倾斜地层, 反演结果应为排列中点位置至地层界面法向深度的波速分布。
- 8 面波的解释深度应依据面波反演结果换算, 在具备条件的场地, 应根据有关资料进行校正。
- 9 分析解释时, 应将地层面波速度转换为横波速度。地层

横波速度、地层的动剪切模量应按公式 (D. 5. 5) 计算。

10 利用横波速度进行抗震场地类别划分时，应按国家现行有关标准的规定计算土层的等效横波速。

4. 5. 18 三维地震反射波法数据处理、资料解释应符合下列规定：

1 资料整理应符合下列规定：

- 1) 炮点和检波点应符合野外实际工作情况，面元大小应符合勘探设计要求，共中心点 (CMP) 道集抽取应正确。
- 2) 绘制分析炮点和检波点平面位置图、CMP 面元覆盖次数图、偏移距分布图和方位角分布图等，应与野外提供的观测系统吻合。
- 3) 应采用线性校正或其他方法检查处理确认的观测系统。

2 资料处理宜包括叠前去噪、振幅补偿和反褶积、静校正、速度分析、倾角时差校正、水平叠加、叠后时间偏移、滤波、垂直时间剖面、水平切片等。

3 叠前去噪处理应包括剔除不正常的炮、道，消除强面波和其他规则干扰；噪声衰减后的剖面、信噪比应有明显提高，波组特征应清晰。

4 振幅补偿和反褶积处理应包括地震记录经振幅补偿后，浅、中、深层的能量应基本均衡，同时应消除炮间和道间明显的能量差异。地震记录经反褶积后应达到压缩地震子波、提高地震记录分辨率的目的。

5 静校正应符合下列规定：

- 1) 应用野外静校正数据计算的静校正量时，应绘制静校正量平面图，根据静校正量变化趋势纠正异常静校正值。根据初至计算静校正量时，应检查静校正量在平面上分布的合理性。
- 2) 剩余静校正的计算时窗应选在反射品质较好的地震层面上，剩余静校正后求取的最终静校正值，不应大于

一个处理采样间隔。

6 速度分析应符合下列规定：

- 1) 速度分析点的密度应根据地质构造情况合理选择。
- 2) 每个速度分析点使用的组合 CMP 个数应合理，应包含各种不同炮检距的道，切除参数应正确，速度扫描范围应大于实际资料存在的速度范围。
- 3) 速度拾取应可靠，空间变化应合理。

7 倾角时差校正应符合下列规定：

- 1) 应用的偏移孔径应大于最大炮检距的 2/3。
- 2) 倾角时差校正后的叠加剖面的断面波、绕射波、水平反射与倾斜反射同时出现部位的叠加成像等地震信息，其质量不应低于校正前的叠加剖面。

8 叠后时间偏移应符合下列规定：

- 1) 偏移前应进行偏移算法和速度场试验，从试验结果确定偏移算法和偏移速度场。
- 2) 当地层倾角较大且偏移可能产生假频时，应进行地震道内插。
- 3) 偏移后的成果剖面应同相轴归位合理、断点清晰、无空间假频及影响地震解释的画弧现象。

9 滤波和增益显示应符合下列规定：

- 1) 宜采用保留剖面上有效频宽的滤波参数进行滤波。
- 2) 增益显示后的最终成果剖面，有效波反射同相轴波组特征应清晰。
- 3) 垂直时间剖面应在通过钻孔剖面重点解释的基础上，逐渐加密进行解释。

10 主要层位水平切片解释应符合下列规定：

- 1) 目标层的追踪与纵、横向垂直剖面追踪的相位应一致。
- 2) 水平切片上识别断层的标志应有同相轴中断、错动、扭曲和频率突变等，解释的断层位置与垂直剖面上的断层位置应相吻合。

3) 水平切片应结合纵、横向垂直剖面进行综合解释。

4.5.19 水域地层剖面探测数据处理及资料解释除应符合 3.8.3 条的规定外,还应符合下列规定:

1 导航定位资料整理应符合下列规定:

1) 导航定位班报记录应与地震勘探班报记录所记的测线号、点号、日期、时间一致。

2) 电子数据文件应包括线号、点号、日期、时间、经纬度、直角坐标及备注等。

3) 应绘制探测船航迹图和探测线平面图。

2 地层剖面资料宜进行坏道编辑、涌浪滤波、频率滤波、多次波压制、增益控制、动平衡、时深转换等处理,形成可供资料解释的成果剖面数据。

3 地层剖面反射界面划分应符合下列规定:

1) 同一层波组反射应连续、清晰、可区域性追踪。

2) 层组内反射结构、形态、能量、频率等应基本相似,与相邻层组有显著差异。

3) 主测线与联络线剖面相同层组的反射界面应能闭合。

4 应根据钻孔层位对比、单孔声波测试或其他测试方法获取的实际地层波速资料进行时深转换。

5 应根据剖面图像的反射结构、振幅、频率、同相轴连续性和反射波接触关系等特征,结合地质钻孔资料等,划分声学地层层序,解释地层沉积结构、地层构造、判断沉积类型及其工程地质特性等,判别水下障碍物,分析浅部断层、浅层气、滑坡体等灾害地质因素,确定其性质、形态及分布范围。

4.5.20 水域多道地震勘探法数据处理及资料解释除应符合 3.8.3 条的规定外,还应符合下列规定:

1 导航定位资料应符合 4.5.19 条 1 款的规定。

2 应利用仪器记录的水位信息或者其他方法进行水位校正,消除由于不同航线及炮点间由于水位差引起的时移差。

3 反射波振幅补偿宜包括扩散、吸收补偿和激发、接收差

异补偿，补偿后的浅、中、深层反射波能量宜基本均衡，炮集之间、共接收点道集之间应无明显的能量差异。

4 速度分析应取得均方根速度、平均速度和层速度，应符合下列要求：

- 1) 提取有效的均方根速度，应判别有效反射波和其他干扰波的速度信息。
- 2) 提取适合于时深转换的平均速度，应对不同方法获取的速度资料进行综合分析，由速度谱取得的速度资料应进行校正和换算。
- 3) 分析计算各地质层位不同岩层的层速度应利用各种速度资料。
- 4) 应对比平均速度和层速度的横向变化规律，绘制速度横向变化的有关剖面图和平面图件。

5 速度谱应符合下列规定：

- 1) 速度谱及道集动校正显示应清晰。
- 2) 速度谱的扫描范围应涵盖探测各地层的速度值。
- 3) 每 100m 应至少有 1 个速度谱点，满足处理与解释的要求。

6 应通过震源深度和缆深校正，将地震数据的零时间点校正到平均水平面。

7 波的对比如和反射层划分应符合下列规定：

- 1) 波的对比如应综合分析剖面结构及波组特点，识别时间剖面上的正常反射波、侧面波、断面波、回转波、绕射波及各种干扰等，结合地震地层学的标志进行对比。
- 2) 划分反射层，确定与地质层位的对应关系，应分析区域地质、钻探和其他地球物理资料。
- 3) 浅、中、深层应整体对比，着重于主要目的层对比，防止串层。
- 4) 判定断点应根据波相组中断、产状突变、断面波、绕射波等，结合偏移剖面分析。

5) 波的对比解释应重复检查,利用各种方法处理的时间剖面,验证对比解释的可靠性。

8 应根据地震剖面的反射结构、振幅、频率和同相轴连续性等特征,结合地质资料等,划分地震层序,解释水底沉积物结构、地层构造,推测沉积物类型、沉积环境及其工程地质特性等。应分析地层中的灾害地质要素,确定其性质、大小、形态、走向及分布范围。

4.5.21 隧洞施工物探超前地质预报地震波法数据处理、资料解释除应符合 3.8.3 条的规定外,还应符合下列规定:

1 数据处理前应根据现场测量数据建立二维或三维几何模型。

2 应根据现场观测系统,将所有检波点的地震数据转换到建立的坐标系中。

3 应利用每种隧洞施工物探超前地质预报地震波法自带处理软件,对采集到的数据进行反演处理,获取预报成果图。

4 应根据各反射层视波速的绝对值和波速的相对变化确定软弱岩层、断层破碎带、节理密集带等地质构造的位置和规模。

5 应结合隧洞勘察、掌子面附近的地质资料进行解释和推断。

6 可结合岩体视波速、动泊松比等力学参数和围岩软硬、含水情况、构造影响程度、节理裂隙发育情况等资料对围岩级别进行初步评估。

4.5.22 成果应符合下列规定:

1 地震折射波法成果应符合下列规定:

1) 成果图件宜包括综合时距曲线图、成果地质解译剖面图或平面图。

2) 综合时距曲线图的上部除绘制综合时距曲线和观测时距曲线外,还应绘制完整的解释辅助线。在炮点上方应标注截距时、表层波速和有效速度,在下部地震地质剖面图上应绘制地质界面、断层构造,标注界面

速度。

- 3) 成果地质解译剖面图应注明比例尺、高程、剖面桩号和方向、剖面端点和转折点的坐标、测线交点、界面上下介质的波速值和地质岩性符号，应将通过测线的勘探点位置标注在图上，比例尺应符合地震勘探测量精度的要求。
- 4) 成果地质解译平面图可包括覆盖层等厚度图、基岩面等高线图、其他目标层等厚度图和界面速度分布图等，在平面图上应标注地质界线与解释的构造线、测线及序号、钻孔位置及孔号、坑槽位置及编号和主要地形地物标志等。

2 地震反射波法成果可包括成果地质解译剖面图或平面图，地质解译平面图中应绘制等深度图或等时线图，圈定断层构造线的平面分布。

3 三维地震反射波法成果应符合下列规定：

- 1) 成果图应包括垂直剖面图、水平切片图、三维数据体图、地震地质剖面图、特殊处理剖面图、主要层位的地层等厚度图、地层顶界面埋深图和分层构造图等。
- 2) 采用水平切片与垂直剖面相结合的方法编制等时线平面图时，应在标定相位的中心线位置绘制等时线。

4 瞬态面波法和天然源面波法成果应符合下列规定：

- 1) 速度剖面图的地质分析应依据频散曲线的分层结果，在有条件的情况下应结合既有地质资料进行综合分析。
- 2) 绘制地质解译剖面图应根据同点位、同深度映像的速度值与地层的关系，逐层确认划分。

5 水域地层剖面探测和水域多道地震勘探成果应符合下列规定：

- 1) 成果图宜包括测线平面布置图、航迹图、剖面解释图、主要层位的地层等厚度图、地层顶界面埋深图和分层

构造图等。

- 2) 图件水平与垂直比例应合理, 纵横比例应大于 1 : 25。
- 3) 图件中应包括水底地形线、地层界面、岩性、构造、灾害地质要素、主要地物标志, 宜包括取样点位、钻孔位置及柱状图和测试结果等。

6 隧洞施工物探超前地质预报地震波法成果宜符合下列规定:

- 1) 成果图宜包括纵波视速度、横波视速度、动泊松比等岩石物理力学参数的二维和三维成果图。
- 2) 成果图上宜标注隧洞的桩号或深度信息。

4.6 水下探测

4.6.1 水下探测可选用水下摄像、二维图像声呐、三维成像声呐、多波束声呐、侧扫声呐、水域磁法等。

4.6.2 应用条件应符合下列规定:

1 水下摄像宜搭载在水下机器人上或由潜水员手持使用, 水下环境能见度宜大于 1m。

2 二维图像声呐、三维成像声呐宜搭载在水下机器人或支架上使用, 水下环境宜相对开阔。

3 多波束声呐、侧扫声呐宜搭载在测量船上使用, 水域宜相对开阔。

4 水域磁法探测的目标体应与周边介质之间存在磁导率差异, 应具有一定规模。

4.6.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定:

1 水下摄像仪器应符合下列规定:

- 1) 分辨率应大于 200 万像素。
- 2) 耐压水深指标应大于 300m。
- 3) 应配有照明装置。
- 4) 应具有图像实时传输或存储功能。

2 二维图像声呐仪器应符合下列规定:

- 1) 工作频率应大于 900kHz。
 - 2) 距离分辨率应高于 25mm。
 - 3) 扫描角度应大于 120° 。
 - 4) 最大扫描距离应大于 15m。
 - 5) 波束宽度应小于 $1^{\circ} \times 30^{\circ}$ 。
 - 6) 耐压水深应大于 300m。
- 3 三维成像声呐仪器应符合下列规定：
- 1) 工作频率应大于 1300kHz。
 - 2) 距离分辨率应高于 15mm。
 - 3) 波束宽度应小于 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。
 - 4) 扫描距离应大于 10m。
 - 5) 耐压水深应大于 300m。
 - 6) 波束个数应大于 256 个。
- 4 多波束声呐仪器应符合下列规定：
- 1) 工作频率应大于 400kHz。
 - 2) 波束大小应小于 0.5° （量程分辨宽度） $\times 1^{\circ}$ ，波束条带宽不应大于 15° 。
 - 3) 波束数目应大于 256。
 - 4) 距离分辨率应高于 2.5cm。
 - 5) 最大量程应高于 500m。
 - 6) 耐压水深应大于 100m。
 - 7) 宜具有横摇、纵摇补偿，横摇/纵摇补偿精度宜小于 0.5° 。
- 5 侧扫声呐仪器应符合下列规定：
- 1) 工作频率应大于 400kHz。
 - 2) 水平波束宽度应低于 0.3° 。
 - 3) 换能器安装角应低于 15° 。
 - 4) 量程应大于 150m。
 - 5) 耐压水深应大于 100m。
- 6 水域磁法仪器应符合下列规定：

1) 水域磁法可选用光泵式磁力仪、质子磁力仪、水下磁探头。

2) 仪器分辨力应高于 0.1nT，磁场测量精度应高于 1nT。

4.6.4 工作布置应符合下列规定：

1 水下摄像宜在水下工作重点区域开展，重点区域宜包括普查发现的异常区域、涉及安全的重点工程结构部位、可能发生破损的怀疑区域等。水下摄像观测区域宜按照直线型测线，以“S”形来回进行全覆盖检查，检测管道类区域宜按环状测线进行全覆盖检查。

2 二维图像声呐采用支架开展检测时宜根据现场待检区域安排支架位置和探头方向，在水下机器人上开展检测时宜根据待检工程结构情况有序进行。

3 三维成像声呐采用坐点扫描时宜根据待检区域合理设置坐点位置，需多次检测开展数据拼接时应保证重复区域超过 20%，采用动态连续扫描时宜根据待检区域合理设置水下机器人行进路线。

4 多波束声呐和侧扫声呐检测应以平行于检测区域长轴方向为原则布设测线，当多条测线形成测网时，相邻测线数据覆盖率应高于 20%，应在垂直主测线方向布置联络测线，联络测线长度应大于主测线长度的 5%。

5 水域磁法布置的测区范围应覆盖探测目标，测线间距、测点间距应根据任务要求、目标体大小等确定，进行管道、电缆等线状目标体探测时，测线应垂直目标体可能的走向布置。

4.6.5 现场工作应符合下列规定：

1 水下摄像应符合下列规定：

1) 作业前准备和检查应包括：宜选择合适位置安置地面作业平台，应根据工作需要和现场实际情况选择合适的下水位置并搭建下水辅助设施，设备下水前应按设备检验规程开展密封性、通电性能、操作功能等检查工作。

- 2) 建筑物表面存在淤积、附着物等影响摄像检查效果时应先进行清理。
 - 3) 水下定位可采用惯性导航定位系统、水声定位系统, 可根据检查区域的特征点, 利用深度传感器、图像声呐等进行定位。
 - 4) 观测时应根据水下环境情况合理设置照明灯光亮度, 能见度差时应增加辅助灯光, 辅助灯光位置不宜使摄像发生反向散射现象。
 - 5) 水下摄像应根据现场观测建筑物结构特点合理安排检查路线, 宜贴近水下建筑物有序进行。
 - 6) 观察闸门、护坡等具有结构构造线的水下建筑物时, 宜沿构造线、边墙、易受损部位详细观察。观察水平分布的消力池、堆石坝面板时, 应布置测网, 沿测线观察。
 - 7) 渗漏检测时宜结合水下喷墨观察颜料吸入情况。
 - 8) 观测过程中发现建筑物缺陷部位应暂停工作, 进行重点观察和定位, 应人工记录探查时间、空间位置、异常特征等信息。
 - 9) 判断缺陷尺寸宜利用激光标尺或其他带有刻度的参照物。
 - 10) 当天收工后应对检查视频进行回放, 发现遗漏或可疑处应进行重新观测。
- 2 二维图像声呐应符合下列规定:
- 1) 开展工作前应根据现场环境、检测目的规划合理的固定点位置或水下机器人行进路线。
 - 2) 二维图像声呐宜根据检测要求选择合适的探头类型、频率和工作方式。开展管道类型的建筑物检测, 宜选择 360°扫描的探头, 根据恢复管道形态需要合理设置扫描间隔。
 - 3) 现场观测宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的

探头，探测距离小于 10m 时宜选择 2000kHz 以上频率探头，探测距离 10~50m 时宜选择 900~2000kHz 频率探头。

- 4) 宜根据现场情况和工作要求合理选择固定工作方式或搭载水下机器人工作方式。
 - 5) 扫描过程中应进行实时监测，根据目标体图像情况合理设置增益，发现异常部位应进行重复扫描。
 - 6) 需进行多次检测图像拼接时应使重复检测区域大于图像面积的 1/3。
- 3 三维成像声呐应符合下列规定：
- 1) 采集前应进行工作水域声速测定。
 - 2) 现场工作宜根据检测要求选择合适的探头类型、频率和工作方式，现场检查宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于 10m 时宜选择 2000kHz 以上频率探头，探测 10~30m 时宜选择 1300~2000kHz 频率探头。
 - 3) 宜根据现场情况和工作要求合理选择固定工作方式或搭载水下机器人工作方式。
 - 4) 开展工作前应根据现场环境和检测目的规划合理的固定点位置或水下机器人行进路线。
 - 5) 采用固定点扫描检测时应保持支架稳定，防止探头因水流等出现抖动。
- 4 多波束声呐应符合下列规定：
- 1) 现场工作除应按 JT/T 790 的规定执行外，多波束声呐水下建筑物缺陷检测精度应符合特等测量等级的要求。
 - 2) 多波束声呐测量定位宜采用载波相位差分技术 (RTK) 系统，应开展水位观测。
 - 3) 多波束声呐宜采用固定支架安装在船侧或船底，可通过调整探头方向进行侧向建筑物缺陷检测。

- 4) 多波束换能器应安装在噪声低且不易产生气泡的位置，姿态传感器应安装在能准确反映多波束换能器姿态的位置，其方向应平行于测量船轴线，设备安装完成后应测量各部件位置，各安装组成部分的空间相对关系测量误差应小于 2cm。
 - 5) 正式作业前应进行系统稳定性试验，水深小于 30m 时重复误差应小于 0.6m，水深大于 30m 时重复误差应小于水深的 2%。
 - 6) 每次测量开始前和结束后均应测定换能器吃水深度，测量误差应小于 5cm。
 - 7) 每次测量作业应在测区代表性区域采用声速仪进行至少 1 次声速剖面测试，测试误差应小于 1m/s。
 - 8) 测试应根据多波束数据更新率、波束脚印和测区最浅水深确定船只最大航速。
 - 9) 测量船应提前 200m 上线，保持匀速直线航行。
 - 10) 测量过程中应实时监控数据覆盖情况和质量，当信号质量不稳定时应及时调整多波束发射和接收单元参数。
 - 11) 采集的数据宜包括：时间、测线号、水深值或距离值、航向、船速、位置坐标等。
 - 12) 当数据覆盖不足或水深漏空、信号质量不满足精度要求时，应及时进行补测或重测。
- 5 侧扫声呐应符合下列规定：
- 1) 宜采用拖曳方式。
 - 2) 定位宜采用 RTK 系统。
 - 3) 观测前应选择代表性区域进行调机，选择合适的频率、增益等采集参数，确保声呐信号清晰。
 - 4) 测试过程中，测量船应保持匀速、直线航行，船速应低于 3 节。
 - 5) 采集的数据宜包括：时间、测线号、定位点号、航向、

船速、拖缆长度、工作频率等。

6) 数据覆盖不足或漏测、信号质量不满足要求时，应及时进行补测或重测。

6 水域磁法应符合下列规定：

1) 工作前应进行精度检验，多台仪器统一投入工作时应进行一致性检验。

2) 日变站应选择在陆地上磁场平稳、无磁性干扰的区域，日变观测仪器应与工作使用的仪器匹配。日变站可作为校正点，每个日变站可控制的磁测范围应根据试验确定。

3) 水域磁法宜在静水中测量，海域工作时宜在平潮期进行。

4) 磁力仪应放置在无铁磁性船只上，观测人员应“去磁”，走航式磁测可采用“船拉船”或“岸拉船”等方式进行。

5) 探测时应保持稳定的低航速和航向，避免停船和倒船，探头离水底的高度应在 10m 以内。探测海底光缆等弱磁性目标体时，应贴近至海底 5m 以内；水底起伏较大的海域，探头距水底的高度可适当增大。

6) 测量定位宜采用 RTK 实时动态测量，可与磁力仪采用时钟同步方式。

7) 采用水域磁法探查管线时，宜观测多个磁分量。

8) 观测过程中如遇仪器受振动影响可能导致仪器性能发生突然变化时，应立即回到事故测点重复观测，必要时回到校准点重复观测检查仪器性能，当确认仪器性能正常后才能继续观测。

9) 遇到磁暴或干扰较大时应停止工作。

4.6.6 数据处理和资料解释应符合下列规定：

1 水下摄像应符合下列规定：

1) 水下摄像资料应按照工程部位依时间顺序播放分析，

对有杂物或缺陷部位应进行视频截取。

- 2) 水下摄像图像的解释应根据影像异常的几何形状、色彩差异、影纹粗细等特征确定缺陷的性质、位置和规模。

2 二维图像声呐应符合下列规定：

- 1) 宜通过调整增益使目标体显示清晰，同一目标体有多幅声呐图像时，宜结合多幅角度图像进行对比分析。
- 2) 宜在声呐图像上标识目标体信号，分析目标体规模、位置等信息。

3 三维成像声呐应符合下列规定：

- 1) 宜先进行噪声处理，去除水环境噪声的影响。
- 2) 多点位数据应进行数据拼接处理，获取目标建筑物整体信息。
- 3) 数据整理完成后宜进行三维数据建模，在建模数据上开展建筑物尺寸、位置及缺陷等分析解释。
- 4) 应通过对比设计和施工资料或初次检测资料进行缺陷判断，多次检测时应对比各次成果分析水下建筑物及地形变化情况。

4 多波束声呐应符合下列规定：

- 1) 数据整理应先整理航迹图检测原始数据是否丢失，剔除突变的错误数据和质量较差的边缘数据。
- 2) 数据处理应对定位数据、罗经数据、姿态数据等进行识别处理，剔除不合格数据。
- 3) 水深数据编辑应根据坡度、深度、信噪比等对深度数据进行滤波处理，剔除不合格数据。
- 4) 水深数据应利用换能器吃水深度、声速剖面、水位等进行水深改正。
- 5) 资料解释应根据需要绘制相关图件，在此基础上开展建筑物和地形外形变化和异常情况分析。

5 侧扫声呐应符合下列规定：

- 1) 数据整理应先进行导航定位数据的编辑、校准和准确度评估, 绘制航迹图, 然后根据航迹图检查原始数据是否丢失。
 - 2) 数据校正应根据船只位置、声呐拖体深度、拖缆入水长度及方位等信息进行声呐拖体位置归算。
 - 3) 数据处理应对船速变化造成的图像比例失调进行校正。
 - 4) 导入导航数据后应通过图像地理编码绘制侧扫声呐条幅平面图。
 - 5) 多次覆盖测量时, 应根据实测航线进行声呐图像拼接, 绘制侧扫声呐镶嵌图。
 - 6) 应根据声呐图像的强度、阴影关系对水底或者建筑物表面的软硬、粗细、凸凹情况进行解释。
- 6 水域磁法应符合下列规定:
- 1) 水域磁法数据处理宜包括正常场改正、日变改正、磁异常计算等。
 - 2) 应收集目标体磁性数据并分析其变化特征和规律。
 - 3) 应进行异常对比, 推断目标体平面位置、几何形态及磁化特征。
- 4.6.7 成果宜符合下列规定:
- 1 水下摄像成果宜包括水下摄像编辑资料、缺陷位置分布图等。
 - 2 二维图像声呐成果宜包括二维声呐图像及对应的解释图件。
 - 3 三维成像声呐成果宜包括三维数据模型图及局部放大图、典型断面图、平面等值线图及缺陷分布图等。
 - 4 多波束声呐成果宜包括水深图、三维数字高程模型图、典型断面图及缺陷分布图等。
 - 5 侧扫声呐成果宜包括侧扫声呐镶嵌图及解释图等。
 - 6 水域磁法成果宜包括绘制磁场剖面平面图、磁场平面等值线图等。

4.7 管道内部检测

4.7.1 管道内部检测可选用电视检测、声呐检测和管道潜望镜检测。

4.7.2 应用条件应符合下列规定：

1 电视检测管道内水位应小于管径的 20%。在实施结构性检测前应对被检测管道进行疏通、清洗，管道内壁应无泥土及其他附着物。

2 声呐检测时，管道内水深应大于 300mm。

3 管道潜望镜检测时管道内水位宜小于管径的 1/2，管段长度宜小于 50m。

4.7.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定：

1 电视检测设备应符合下列规定：

1) 摄像镜头应具有平扫、旋转、仰俯、变焦功能，摄像头高度应可以自由调整。

2) 爬行器应具有前进、后退、空挡、变速、防侧翻等功能。

3) 主控制器应具有在监视器上同步显示日期、时间、管径、在管道内行进距离等信息的功能，应可以进行数据处理。

4) 应能在 0~+50℃ 的气温条件下和潮湿的环境中正常工作，防水防尘等级应大于 IP68，防爆等级和安全性能应符合 GB 3836 的规定。

5) 仪器设备应具备测距功能，电缆计数器的计量单位应小于 0.1m。

6) 灯光强度应能调节。

7) 图像传感器不应小于 1/3 英寸 CCD，彩色。

8) 彩色灵敏度（最低感光度）不应大于 0.05lux。

9) 视角不应小于 ±45°。

10) 分辨率不应小于 1920 像素 × 1080 像素。

- 11) 光源亮度应大于 1500cd。
- 12) 图像变形不应大于 $\pm 5\%$ 。
- 13) 爬行器电缆长度为 120m 时, 爬坡能力应大于 5° 。
- 14) 电缆抗拉力不应小于 2kN。
- 15) 储存录像编码格式应为 MPEG4、AVI、ASF, 照片格式应为 JPEG、PNG。

2 声呐检测设备应符合下列规定:

- 1) 设备应与管径相适应, 倾斜传感器、滚动传感器应具备在 $\pm 45^\circ$ 内的自动补偿功能。
- 2) 应能在 $0\sim +40^\circ\text{C}$ 的温度条件下正常工作。
- 3) 扫描范围应大于所需检测的管道规格, 125mm 范围的分辨率应小于 0.5mm, 每密位均匀采样点数量应大于 250 点。

3 管道潜望镜检测设备应符合下列规定:

- 1) 应能够在 $0\sim +50^\circ\text{C}$ 的气温条件下正常工作。
- 2) 图像传感器不应小于 1/3" CCD, 彩色。
- 3) 彩色灵敏度(最低感光度)不应大于 0.1lux。
- 4) 视角不应小于 $\pm 45^\circ$ 。
- 5) 分辨率不应小于 1280 像素 \times 720 像素。
- 6) 聚光光源光强度应大于 8500cd, 泛光光源光强度应大于 1500cd。
- 7) 图像变形允许范围应为 $\pm 5\%$ 。
- 8) 变焦范围光学变焦不应小于 20 倍, 数字变焦不应小于 12 倍。
- 9) 储存录像编码格式应为 MPEG4、AVI、ASF, 照片格式应为 JPEG、PNG。

4.7.4 现场工作应符合下列规定:

1 电视检测应符合下列规定:

- 1) 爬行器的行进方向宜与水流方向一致。
- 2) 管径不大于 200mm 时, 直向摄影的行进速度宜低于

0.1m/s。管径大于 200mm 时，直向摄影的行进速度宜低于 0.15m/s。

- 3) 检测时摄像镜头移动轨迹应在管道中轴线上，偏离度不应大于管径的 10%。当对特殊形状的管道进行检测时，应适当调整摄像头位置并获得最佳图像。
- 4) 爬行器在行进过程中，摄像镜头不应使用变焦功能，当使用变焦功能时，爬行器应保持在静止状态。当爬行器需要继续行进时，应先将镜头的焦距恢复到最短焦距位置。
- 5) 管道检测过程中，录像资料不应产生画面暂停、间断记录、画面剪接的现象。
- 6) 在检测过程中发现缺陷时，应将爬行器在完全能够解析缺陷的位置至少停止 10s，确保所拍摄的图像清晰完整。

2 声呐检测应符合下列规定：

- 1) 检测前应从被检管道中取水样，通过实测声波速度对系统进行校准。
- 2) 声呐探头的推进方向宜与水流方向一致，行进速度宜低于 0.1m/s，应与管道轴线一致，滚动传感器标志应朝正上方。
- 3) 声呐探头安放在检测起始位置后，在开始检测前，应将计数器归零，应调整电缆使之处于自然绷紧状态。
- 4) 声呐检测时，在距管段起始、终止检查井处应进行 2~3m 长度的重复检测。
- 5) 在声呐探头前进或后退时，电缆应保持自然绷紧状态。
- 6) 根据管径的不同，应选择不同的脉冲宽度。
- 7) 在检测过程中应根据被检测管道的规格，在规定采样间隔和管道变异处应停止探头行进、定点采集数据，停顿时间应大于一个扫描周期。
- 8) 以普查为目的的采样点间距宜为 2~5m，其他检查采

样点间距宜为 1~2m，存在异常的管段应加密采样点间距。

3 管道潜望镜检测应符合下列规定：

- 1) 镜头中心应保持管道竖向中心线的水面以上。
- 2) 在拍摄管道内部状况时，应保持镜头稳定，不应随意晃动。
- 3) 拍摄管道时，变动焦距不宜过快。拍摄缺陷时，应保持摄像头静止，调节镜头的焦距，连续和清晰地拍摄 10s 以上。
- 4) 拍摄检查井内壁时，应保持摄像头无盲点地均匀慢速移动。拍摄缺陷时，应保持摄像头静止，连续拍摄 10s 以上。

4.7.5 数据处理和资料解释应符合下列规定：

1 电视检测应符合下列规定：

- 1) 缺陷的类型、等级应在现场初步判读并记录。现场检测完毕后，应由复核人员对检测资料进行复核。
- 2) 缺陷范围可依据管径或相关物体的尺寸进行判定。
- 3) 无法确定的缺陷类型或等级应在评估报告中加以说明。
- 4) 缺陷图片宜采用现场抓取最佳角度和最清晰图片的方式，特殊情况下也可采用观看录像截图的方式。
- 5) 对直向摄影和侧向摄影，每一处结构性缺陷抓取的图片数量应大于 2 张。

2 声呐检测应符合下列规定：

- 1) 规定采样间隔和图形变异处的轮廓图应现场捕捉并进行数据保存。
- 2) 经校准后的检测断面线状测量误差应小于 3%。
- 3) 声呐检测截取的轮廓图应标明管道轮廓线、管径、管道淤积深度线等信息。
- 4) 管道沉积状况纵断面图宜包括路名或路段名、井号、管径、长度、流向、图像截取点纵距及对应的淤积深

度、淤积百分比等；纵断面线宜包括管底线、管顶线、淤积高度线和管径的 1/5 高度线。

5) 系统设置的长度单位应为 m。

6) 声呐轮廓图不应作为结构性缺陷的最终评判依据，应采用电视检测方式予以核实或以其他方式检测评估。

3 管道潜望镜检测技术影像判读，对各种缺陷、特殊结构和检测状况应做详细判读和记录。现场检测完毕后，应由复核人员对检测资料进行复核。

4 管道评估应按 CJJ 181 的要求进行。

4.7.6 成果应符合下列规定：

1 应描述管道概况、被检管段的地理位置、地质条件、检测时的环境等，应绘制被检管段的平面位置图。

2 应记录现场踏勘成果，绘制排水管道沉积状况纵断面图，应填写排水管道缺陷统计表、管段状况评估表、检查井检查情况汇总表。

3 应填写排水管道检测成果表。

4 应说明现场作业采用的仪器和技术措施，以及其他应说明的问题及处理方案。

5 应提出检测与评估的结论与建议。

4.8 弹性波测试

4.8.1 弹性波测试可选用单孔声波法、穿透声波法、表面声波法、声波反射法、脉冲回波法、超声横波反射三维成像法、表面地震波法、单孔地震波法、穿透地震波法、地脉动测试、质点振动测试、附加质量法。

4.8.2 应用条件应符合下列规定：

1 声波测试在测试范围内不应有机械噪声干扰。

2 单孔声波法应在无套管的钻孔中测试，宜有井液耦合。当钻孔无井液耦合时，宜采用干孔声波探头。

3 穿透声波法应在成对及方向一致的钻孔或临空面间测试，

钻孔内宜有井液耦合，有套管时套管应与孔壁耦合良好。

4 表面声波法测试表面宜平整，不应有浮渣。混凝土表层损伤层测试时，损伤层部位与未损伤部位混凝土应有明显波速差异，声发射源和接收换能器放置方向不应与混凝土内主筋或分布筋平行。测试混凝土浅裂缝时，裂缝中应无积水或泥浆等。

5 声波反射法测试表面宜平整，不应有浮渣。测试目标体与周围介质应存在明显的声阻抗差异，其几何尺寸相对探测深度应有一定的规模，厚度应大于有效波波长的 $1/4$ 。

6 脉冲回波法测试目标体与周围介质应存在明显的波阻抗差异，声波应能在目标介质内产生多次回波信号。

7 超声横波反射三维成像法测试混凝土表面应平整，不平整处应打磨平整，测试表面不应有涂层和松散颗粒；应保证测试周围 10m 范围内无连续机械振动干扰，及其他声波对测试结果的影响；最大探测深度宜小于 150cm。

8 地脉动测试应选择安静、测点半径 150m 范围内无规律振动源的环境，宜为弱风、晴朗天气。测试时间宜选择在安静的深夜进行，如需在白天进行，应避开人流、车流高峰期。测试地点宜选择在空旷、平坦、固结好的地面，宜避开大型建筑物、地下管道、电缆等。

9 质点振动测试表面应清理干净，传感器与被测目标形成刚性连接。

10 附加质量法测试检测点附近场地宜平整。

4.8.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定

1 声波仪器设备应符合下列规定：

- 1) 采用非金属声波仪且接收道数应不少于 2 道。
- 2) 触发方式应包括内、外、信号、稳态触发。
- 3) 应具有全波列采集、显示和储存功能，宜有预分析和数据通信等功能。
- 4) 采样间隔应可选，最小采样间隔应不大于 $0.1\mu\text{s}$ 。
- 5) 采样长度应可选，应大于 512 点/道。

- 6) 频率响应范围应为 10Hz~500kHz。
 - 7) 声时测量精度应为 $\pm 0.1\mu\text{s}$ 。
 - 8) 发射电压应可选，选择范围宜为 100~1000V。
 - 9) 发射脉宽应可选，选择范围宜为 1~500 μs 。
- 2 地震仪器设备应符合下列规定：
- 1) 仪器通道数不宜少于 12 道，应具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、数据存储与传输等功能。
 - 2) 采样间隔应可选，最小采样间隔不宜大于 0.025ms。
 - 3) 记录长度应可选，采样点数不应小于 1024 点。
 - 4) 模数转换精度不应小于 24bit。
 - 5) 动态范围不应低于 96dB。
 - 6) 通频带不宜窄于 2~2000Hz。
 - 7) 等效内部噪声应小于 2.5 μV 。
 - 8) 系统道间串音抑制比应大于 80dB。
- 3 单孔声波法换能器应符合下列规定：
- 1) 换能器应为一发双收柱状换能器，主频范围宜为 10~60kHz。
 - 2) 深孔换能器应具有前置放大功能，具备防水、耐压性能。
- 4 穿透声波法换能器应符合下列规定：
- 1) 利用钻孔进行孔间穿透声波测试时，应选用柱状换能器，主频范围宜为 2~20kHz。
 - 2) 利用临空面进行穿透声波测试时，应选用平面换能器，主频范围宜为 4~100kHz。
 - 3) 接收信号较弱时，宜使用具有前置放大功能的接收换能器。
- 5 脉冲回波法仪器应符合下列规定：
- 1) 仪器应具有频谱分析功能。
 - 2) 最小采样间隔不应大于 0.1 μs 。
 - 3) 最大采样点数不宜小于 4096 点。

- 4) 触发方式宜为内、外、信号、稳态等方式。
- 5) 频带范围应为 10Hz~500kHz。
- 6) 声时测量精度应为 $\pm 0.1\mu\text{s}$ 。
- 6 超声横波反射三维成像法仪器应符合下列规定：
 - 1) 具有多个横波换能器阵列排布的发射与接收系统，应有采集、处理、存储等功能，可实时显示线、面、三维扫描影像功能。
 - 2) 换能器应采用干耦合点接触。
 - 3) 工作频率范围宜为 25~85kHz。
- 7 表面地震波法、单孔地震波法、穿透地震波法地震检波器应符合下列规定：
 - 1) 检波器之间自然频率允许偏差应为 $\pm 10\%$ ，灵敏度允许偏差应为 $\pm 10\%$ ，相位差允许偏差应为 $\pm 0.25\text{ms}$ ，电阻值允许偏差应为 $\pm 10\%$ 。
 - 2) 绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$ 。
 - 3) 检波器应有良好的防水性能。
- 8 地脉动测试应使用三分量拾振器，固有频率宜小于 1Hz。
- 9 质点振动测试仪器设备应符合下列规定：
 - 1) 宜选择速度型或加速度型传感器。
 - 2) 采样率范围宜为 1~50kHz。
 - 3) 频率响应范围宜小于 10kHz。
 - 4) 触发电平范围宜小于 30cm/s。
- 10 附加质量法仪器设备应符合下列规定：
 - 1) 激振器重量应大于 30kg。
 - 2) 拾振器宜选用速度型检波器，灵敏度应大于 $250\text{mV}/\text{cm/s}$ ，应能在 10~120Hz 频带内接收信号。
 - 3) 信号采集器宜选用频带 2Hz~2kHz、采样间隔 0.05~2ms、增益大于 60dB、采样点数应大于 1024 点、频率分辨率应高于 0.2Hz。
 - 4) 附加质量块宜选用标准计量的圆形铸铁块或其他类型

的钢、铁块等，重量误差应小于总重量的1%。

4.8.4 工作布置应符合下列规定：

1 单孔声波法应符合下列规定：

- 1) 应根据探测或检测任务要求在有代表性位置布置钻孔。
- 2) 勘探平洞测试孔宜垂直洞轴线下斜 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，孔深应大于2m。
- 3) 边坡、边墙水平孔宜水平下斜 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，孔深应大于岩体松弛厚度，孔径不应小于76mm。
- 4) 长观孔孔径不应小于76mm，孔口段应使用金属套管保护，建基岩体长观孔应布置在帷幕线以下。
- 5) 建基面岩体质量检测孔孔径不应小于76mm，孔距应兼顾穿透声波测试距离。

2 穿透声波法应符合下列规定：

- 1) 宜与单孔声波测试的钻孔布置相互兼顾，测试孔深宜相同。
- 2) 勘探平洞洞壁的穿透声波法测试孔宜垂直洞轴线下斜 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，孔距宜为1m，孔深宜大于2m。
- 3) 混凝土裂缝测试时，宜在裂缝两侧按等边三角形布置3个测试孔（其中2个孔在一侧，另1个孔在另一侧），钻孔孔深应大于裂缝预计深度。
- 4) 利用临空面进行穿透声波测试时，宜选择两个互相平行测试面布置测网，测线或测点宜平行对称布置，应将测线或测点标注清晰。应采用一发一收同步或扇形观测方式。
- 5) 利用钻孔进行孔间穿透声波测试时，发射钻孔与接收钻孔宜在同一平面，相互平行；应采用一发一收或一发多收观测方式，多孔呈直线布置时宜选择边孔作为发射孔。可采用水平同步、斜同步或深度同步观测方式。

3 声波反射法应符合下列规定：

- 1) 测网应确保能测试出检测任务要求的最小异常，应在成果图上能清晰反映出检测目标体的位置和形态。测线间距宜为 0.5~1.0m，测点间距宜为 0.1~0.2m。
 - 2) 探测缺陷时，缺陷异常部位应加密测线或布置网格状测线。
 - 3) 宜采用一发一收等偏移距观测系统，偏移距宜小于 0.5m。
- 4 脉冲回波法应符合下列规定：
- 1) 应根据探测目的和条件选择合适的测网。
 - 2) 检测缺陷异常区域，宜加密测线、测点。
 - 3) 对波形曲线不连续、起伏大的测点，应采用加大发射能量或叠加方式进行重复测试，用三次重复测试的平均值作为测试结果。
- 5 超声横波反射三维成像法应符合下列规定：
- 1) 应根据测试目的与要求、混凝土尺寸等布置测网，在混凝土表面做好标记。
 - 2) 测网布置时，测线方向宜沿混凝土构件轴线方向或垂直于缺陷走向布置，测线间距宜为 10~30cm，测点间距宜为 10~20cm。
- 6 表面地震波法应符合下列规定：
- 1) 应选择表面岩体起伏不大的地段，按岩性、岩体类别或风化程度布置测线。经过断层破碎带等软弱结构面时，应单独布置测线，测线方向宜垂直其走向。
 - 2) 应沿测线布置排列，每个排列宜大于 6 个检波点。
 - 3) 呈网格状布置测线时，测线间距宜为 5~10m。
 - 4) 宜选择相遇观测系统。
- 7 单孔地震波法应符合下列规定：
- 1) 应根据探测或测试目的要求布置钻孔。
 - 2) 覆盖层地震波纵波速度和横波速度测试时，钻孔孔径宜大于 90mm。

- 3) 观测系统选择时, 孔内纵波速度测试应采用一发一收或一发多收的观测方式, 孔内横波速度测试宜采用地面激发, 孔中接收的观测方式。
- 8 穿透地震波法应符合下列规定:
- 1) 应根据测试目的与要求和现场条件, 利用已有的钻孔、平硐、被探测体临空面等选择穿透组合方式。
 - 2) 洞间、被探测体临空面间穿透距离宜小于 50m。
 - 3) 地面与洞间穿透测试时, 地表测线宜沿洞轴线方向布置。
 - 4) 孔间穿透纵波速度测试孔距宜为 5~10m, 横波速度测试孔距宜为 2~5m。孔径不宜小于 76mm。
 - 5) 观测系统选择时, 洞间、洞地间或被测体临空面间穿透测试, 应选择一发一收或一发多收观测方式。一发一收观测时, 宜选择深度同步或距离同步观测, 激发和接收点距宜为 2~5m。一发多收观测时, 宜采用扇形观测, 接收点距宜为 2~5m, 激发点距宜为 2~10m。孔间穿透测试时, 宜选择水平同步或深度同步观测。
- 9 地脉动测试应符合下列规定:
- 1) 测点布置应具有代表性, 应根据工程设计、建筑物规模、地质构造等综合因素布设测点。
 - 2) 每个测区测点数应大于 3 个, 可根据工程需要适当增加测点数。
 - 3) 城市地脉动测试时, 测点应远离建筑物 20m 外, 布置在较开阔的场地上。
 - 4) 小区域建筑场地基础工程地质勘探时, 测点宜布置在天然土地基处及波速测试孔附近。
 - 5) 平原地区测试时, 测点应均匀布置, 测点间距宜为 1~2km, 可视具体情况调整。
 - 6) 井下地脉动测试时, 测点数量与测点布置深度应根据

地质情况、工程需要等因素进行调整。

10 质点振动测试应符合下列规定：

- 1) 应根据测试目的与要求布置测点，统一编号并绘制测点布置图。
- 2) 测点至震源的距离，宜接近密远疏的对数规律布置，测点数应大于 5 个。
- 3) 每个测点应按照垂向、水平径向和水平切向三个方向布置传感器。

11 附加质量法应符合下列规定：

- 1) 检测点可按照检测单元的形状布置，检测点位置宜随机选取。
- 2) 检测时间宜为对填筑验收单元跟踪检测，检测时应逐层分单元进行，应在单元碾压完毕验仓后进行检测。
- 3) 检测数量应按单元面积进行测点数控制，应保证每个单元布置 1 个测点。

4.8.5 现场测试应符合下列规定：

1 声波仪器工作参数选择应符合下列规定：

- 1) 声波速度测试时，仪器采样间隔宜设置为 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{s}$ 。对波速较高的岩体测试时，应选择小采样间隔，采样点数应大于 1024 点。
- 2) 距离发射换能器远端的接收换能器增益应大于近端的接收换能器增益，同时应保证两道接收换能器首波初至清晰。
- 3) 声波仪应能完整显示出多道接收换能器首波波形。
- 4) 声波仪滤波档宜使用全通。当需要压制干扰波进行滤波时，应选择适宜的滤波档，测试现场应进行滤波试验工作，同一测区或测试孔宜使用相同的滤波方式。

2 单孔声波法应符合下列规定：

- 1) 宜从孔底向孔口方向逐个测点测试，点距宜为 0.2m，每测试 2m 应核对一次电缆深度。

- 2) 在同一个钻孔进行多次测试或采用不同方式测试时, 起始深度应一致。
 - 3) 长观孔测试、固结灌浆灌前灌后测试、帷幕灌浆灌前灌后测试时, 使用的发射、接收换能器型号和声波仪测试参数设置应保持一致。
 - 4) 爆前与爆后测试应在同孔进行。如不具备条件, 爆后测试孔应选择距爆前测试孔较近的邻孔, 孔内各测试点高程应保持相同。
 - 5) 上斜孔、干孔等无法保证井液耦合钻孔内测试时, 应使用干孔换能器。在干孔中进行声波测试时应使用干孔声波探头, 保持探头与孔壁接触良好、仪器显示接收信号清晰后再进行采集。
 - 6) 测试电缆深度标识应准确明显。
- 3 穿透声波法应符合下列规定:
- 1) 柱状换能器使用前应在水池中按不同间距进行测量, 绘制 3~4 个测点曲线求取零值, 平面换能器宜用耦合剂耦合直接测零值。
 - 2) 利用钻孔进行孔间穿透声波测试时, 应测量孔口间距离和孔斜, 宜从孔底向孔口方向逐个测点测试, 点距宜为 0.4m, 每测试 2m 应核对一次钻孔深度。混凝土裂缝深度检测时, 点距宜为 0.1m。
 - 3) 利用临空面进行穿透声波测试时, 应测量激发点和接收点间距离, 收发换能器应进行零声时校正。
 - 4) 在同一对钻孔进行多次测试或采用不同方式测试时, 起始深度应一致。
 - 5) 固结灌浆灌前灌后测试、帷幕灌浆灌前灌后测试时, 使用的发射、接收换能器型号和声波仪测试参数设置应保持一致。
 - 6) 在干孔或漏水严重的孔内进行测试时, 宜使用干孔换能器。

- 7) 测试电缆深度标识应准确明显。
- 4 表面声波法应符合下列规定：
 - 1) 测网和工作比例尺应确保能测试出检测任务要求的最小异常体，应在成果图上能清晰反映出检测目标体的位置和形态。
 - 2) 测试岩体或混凝土表层声波速度时，应在岩体或混凝土表层较平整的部位布置测线，点距宜为 0.2m。
 - 3) 探测缺陷时，宜垂直缺陷走向布置测线，缺陷分布区域较大时，宜呈网状布置测线。
 - 4) 表面声波速度测试时应采用一发一收或一发多收观测系统，表部缺陷层厚度检测时宜选择相遇观测系统。
- 5 声波反射法应符合下列规定：
 - 1) 传感器放置位置处应打磨平整、清理干净，传感器与测试面宜使用耦合剂耦合，耦合层不宜夹杂泥沙等。
 - 2) 同一测试单元或测区宜选择相同的观测系统、仪器参数、触发方式和震源能量。开展工作前，应选择典型部位进行仪器参数、触发方式、偏移距等现场测试。
- 6 超声横波反射三维成像法应符合下列规定：
 - 1) 测试前，应根据测试方案和现场实际情况，在混凝土表面布置测网。
 - 2) 单面测试时，混凝土厚度应大于 5cm，宜小于 150cm。两侧相对测试时，混凝土厚度宜小于 300cm。
 - 3) 应采用试验选定的参数进行测试，同一个测网应采用相同的测试参数，换能器应与混凝土测试表面紧密贴合。
 - 4) 如实时采集的图像特征异常，应删掉对应数据并重新测试，排除人为因素和外界环境因素的干扰后重测。
- 7 表面地震波法应符合下列规定：
 - 1) 检波器安置处应平整、无松散物，检波器应安置牢固。
 - 2) 排列检波点距宜为 1~2m。沿测线连续测试时，相邻

排列应重复一道。

- 3) 纵波速度测试时, 检波器最大灵敏度方向和激发方向应与测线方向一致, 激发点到最近检波器的距离宜大于 2m。
 - 4) 横波速度测试时, 检波器最大灵敏度方向和激发方向应与测线方向垂直, 激发点到最近检波器的距离宜为纵波激发点距的 2 倍, 宜分别进行正反向激发。
 - 5) 信号较弱时, 应在原激发点重复激振进行信号叠加, 叠加次数宜少于 5 次。
- 8 单孔地震波法应符合下列规定:
- 1) 地震波速度测试宜从孔底自下而上逐点测试, 点距宜为 1~2m。宜以孔口为深度起始点, 每测试 10m 应核对一次孔深。
 - 2) 孔内放置 PVC 管护壁时, PVC 管外壁与孔壁之间的空隙应用细砂填充密实。
 - 3) 横波测试时, 激振板中心距孔口距离宜为 2~4m, 方向宜垂直其中心点与孔口的连线, 叩板或钉耙与地面应耦合牢固。每个测点应进行正反向激发。
 - 4) 孔内接收时, 贴壁式井下检波器应贴壁良好。检波器距孔口距离宜为 1~2m, 检波器应安置牢固。
 - 5) 孔中采用电火花震源激发时, 井液宜为清水, 宜提前投入适量的食盐。
 - 6) 信号较弱时, 宜加大激发能量或信号叠加, 叠加次数宜少于 5 次。
- 9 穿透地震波法应符合下列规定:
- 1) 孔间穿透测试宜从孔底自下而上逐点测试, 点距宜为 1~2m。宜以孔口为深度起始点, 每测试 10m 应核对一次孔深。
 - 2) 孔中采用电火花震源激发时, 井液宜为清水, 宜提前投入适量的食盐。

- 3) 洞间、洞地间、被测体临空面间穿透测试时,检波器最大灵敏度方向应与最大激发能量方向一致,安置处应清理干净,检波器应安置牢固。
 - 4) 岩面锤击激振时,激发点宜选择在较完整、坚硬的岩石上。土体锤击激振时,激发点应夯实,锤击板应与地面接触良好。
 - 5) 孔间横波测试时,激发孔和接收孔宜放置 PVC 管护壁,PVC 管与孔壁之间的空隙应用细砂充填密实。贴壁式井下检波器应贴壁良好,每个测点应分别进行正、反向激发。
 - 6) 信号较弱时,宜加大激发能量或进行信号叠加,叠加次数宜少于 5 次。
 - 7) 测线的端点和拐点坐标、激发点坐标、孔口坐标和孔斜应进行测量。
- 10 地脉动测试应符合下列规定:
- 1) 拾振器托板与地面应粘贴牢固,拾振器应放置在托板上进行调平。
 - 2) 应同时测定 2~4 个水平方向和 1 个垂直方向,拾振器三个分量宜按东西、南北、垂直三个方向安置。
 - 3) 应根据所需频率范围设置低通滤波频率和采样频率,每个测点采集次数应大于 2 次。
 - 4) 测试过程中,应详细记录强风、强雨雪及气温变化等气候情况和地下水位深度等外界自然条件。
- 11 质点振动测试应符合下列规定:
- 1) 传感器安装时,每一测点不同方向的传感器,其安装角度允许偏差应为 $\pm 5^\circ$,水平径向传感器应指向爆炸中心点。
 - 2) 固定内部测点传感器的充填材料,其声阻抗应与被测对象的声阻抗相一致,可与静态观测仪器一同埋设。
 - 3) 无线测试时,应采用同步测试装置将多测点的自记系

统相连接。

- 4) 传感器与仪器连接完毕后，应对系统进行调试，保证系统处于待触发工作状态，应对传感器及仪器采取安全防护措施。

12 附加质量法应符合下列规定：

- 1) 测试前，应在振动台上进行整机标定工作，验证仪器的稳定性。
- 2) 测试时，应确保测点周边 20m 范围内无施工干扰源。
- 3) 检波器应与质量块之间通过强耦合连接，应位于附加质量块的中心，贴合紧密。
- 4) 附加质量块与堆石体之间应采用细砂耦合，应与堆石体表面紧密贴合。
- 5) 附加质量法测试应选择适宜的观测系统，测试时附加质量 m_i 应大于 5 级，每级自振频率 f_i 的变化宜大于 1Hz。
- 6) 每级附加质量块应多次采集，次数应不小于 3 次。
- 7) 在测试过程中，附加质量块边缘 1m 范围内不应允许人员进入或重物堆放。
- 8) 如遇冰冻天气，应待堆石（土）体解冻后进行检测。
- 9) 应收集检测单元的桩号范围、高程、施工参数、填筑坝料以及天气、温度等信息。

4.8.6 测试记录应符合下列规定：

- 1 单孔声波法、穿透声波法、表面声波法应符合下列规定：
 - 1) 测试时应选择合适的衰减档或增益档，使振幅适当。首波波形应完整，初至应清晰可辨，相位特征应明显，延迟宜大于 3 个周期。
 - 2) 初至波前应有平直段，零时发射干扰波应与初至波明显分离。
 - 3) 声波速度测试时，首波初至应清晰可辨，相位应一致。
 - 4) 声波振幅测试时，有效波波形应无削波。

- 5) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录，即干扰背景强烈、影响首波的判别或准确读取首波旅行时的记录，滤波档选择不正确的记录，声波振幅测试时有效波削波或记录长度不足的记录，采用一发双收测试时有一道接收工作不正常的记录，表面声波法相遇时距曲线观测系统测试时互换道工作不正常的记录。
- 2 声波反射法应符合下列规定：
 - 1) 测试记录波形应完整、无削波，目标体的反射波同相轴应清晰、可辨，相位应一致。
 - 2) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录：干扰背景强烈，影响有效波形的判别或准确读取有效波旅行时的记录；有效波波形削波或记录长度不足的记录；滤波档选择不正确的记录。
 - 3 超声横波反射三维成像法应符合下列规定：
 - 1) 二维成果图中已知界面、目标体或缺陷应明显可辨。
 - 2) 三维成果图中已知界面、目标体或缺陷应界面连续并明显可辨。
 - 3) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录：成果图像不清晰的记录，已知界面、目标体或缺陷不可辨的记录，深度、波速、频率设置不正确的记录，背景干扰强烈、影响异常识别的记录。
 - 4 表面地震波法、单孔地震波法和穿透地震波法应符合下列规定：
 - 1) 纵波测试记录各道首波初至应清晰。
 - 2) 横波测试记录各道横波特征应明显、无削波、同相轴连续。在波形记录中，由于横波受纵波续至波的干扰，其初至不易识别或读取时，应读取横波相位第一极值点时间。
 - 3) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录：干扰背景强烈、影响有效波识别或准确读取有效波旅行时的记

录；采用了不合适的滤波档的记录；表面地震波法不正常道数大于排列道数 1/3 的记录；单孔地震波法和穿透地震波法有明显延时且通过相邻道对比无法校正的记录；单孔地震波法和穿透地震波法横波波形不完整或削波的记录。

5 地脉动测试和质点振动测试应符合下列规定：

- 1) 测试记录波形应完整，无明显干扰和削波现象。
- 2) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录，有效波削波的记录，记录长度不足的记录，背景干扰强烈、无法识别有效波的记录。

6 附加质量法应符合下列规定：

- 1) 波形应连续完整、初至清晰、无削波、无其他振动干扰信号。
- 2) 同一级附加质量多次采集信号相位应相同，在指定采样长度范围内，波形应完全衰减。
- 3) 同一级附加质量法采集信号经频谱分析后主频相差不应大于 0.5Hz。
- 4) 采集信号经频谱分析后，主频应呈正态分布，不应出现“多峰”现象。
- 5) 存在下列情况之一者应评价为不合格记录：干扰背景强烈、无法识别有效波或波形尾端出现干扰波的记录；采集长度范围内波形未完全衰减的记录；采用了不合适的滤波参数的记录；同一级附加质量多次采样信号相位不同的记录；波形出现削波现象的记录。

4.8.7 资料处理与解释应符合下列规定：

1 单孔声波法、穿透声波法应符合下列规定：

- 1) 测试成果数据在处理、分析与解释前，应作孔斜校正、高差校正、偏移校正等，穿透声波法应作零点校正。
- 2) 应按现场任务要求，以获取的声波参数为依据，进行岩体分类，分段和评价。利用声波速度计算岩体完整

性系数时，一个工区内，对于同类岩性岩体，应使用新鲜完整岩块测定的同一纵波波速，岩体完整性系数应按公式（D. 7. 1 - 8）计算，按表 4. 8. 7 的要求进行评价。

表 4. 8. 7 岩体完整性系数分类表

完整程度	完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
完整性系数 K_V	$K_V > 0.75$	$0.75 \geq K_V$ > 0.55	$0.55 \geq K_V$ > 0.35	$0.35 \geq K_V$ > 0.15	$K_V \leq 0.15$

- 3) 在取得纵波、横波速度和密度值的情况下，可按 D. 7. 1 条相关公式计算动弹模量，可通过动静对比建立相关关系。
 - 4) 对同一测区单孔声波与穿透声波应进行对比分析。
 - 5) 固结灌浆单孔声波法、穿透声波法资料应将同一单元灌前和灌后的检测数据进行对比分析。
- 2 脉冲回波法应符合下列规定：
- 1) 宜对同一测线各测点进行对比分析，通过波列图中波形的特征识别脉冲回波。
 - 2) 应通过对比分析各个频谱的峰值，找出目标层或缺陷的回波频率，依据测试的速度参数计算出目标层厚度或缺陷埋深。
 - 3) 评判目标体脱空缺陷时，宜根据测区内各测点的能量分布情况结合钻孔或其他验证方法确定测区回波能量的临界值。
- 3 表面地震波法应符合下列规定：
- 1) 有效波的对比分析应选择靠近有效波的起始相位处，可采用单相位或多相位对比。宜根据波形记录中相邻道波形的相似性、同相性、同相轴的连续性和振幅衰减规律进行对比分析，识别有效波。宜根据横波频率低、振幅强、旅行时间迟于纵波和正反向激发其相位

反向等特征识别横波。

- 2) 纵波旅行时应将首波调整到初至起跳明显后读取。横波旅行时宜读取横波初至波，横波初至波读取困难时，可读取横波第一相位极值点时间，整个记录应按照统一标准读取。
 - 3) 计算与分析表面地震波速度宜按相遇时距曲线斜率变化分段计算或按两测点间时差可按 D. 5. 3 条相关公式计算。
 - 4) 岩体泊松比、动弹模量、岩体风化系数、完整性系数、各向异性系数可按 D. 7. 1 条相关公式计算，岩体完整程度评价与风化带划分应按表 4. 8. 7 进行评价。
 - 5) 资料解释应分析原始记录上有无伴随振幅衰减、波形变化等现象确定低速带与不良地质结构的对应关系。宜根据岩体完整程度与风化带划分结果，结合实际地质资料进行评价。宜结合原位试验结果进行动弹模量与静弹模量对比分析。
- 4 单孔地震波法、穿透地震波法应符合下列规定：
- 1) 有效波的对比分析应选择靠近有效波的起始相位处，可采用单相位或多相位对比。宜根据波形记录中相邻道波形的相似性、同相性、同相轴的连续性和振幅衰减规律进行对比分析，识别有效波。宜根据横波频率低、振幅强、旅行时间迟于纵波和正反向激发其相位反向等特征识别横波。
 - 2) 读取纵波旅行时应将首波调整到初至起跳明显后读取。横波旅行时宜读取波初至时，当读取困难时，可读取横波第一相位极值点时间，并进行 1/4 相位时间校正。
 - 3) 应用横波速度进行水工建筑物场地类别划分应符合 NB 35047 的规定。
 - 4) 应用横波速度判别土的振动液化应符合 GB 50487 的规定。

- 5) 单孔地震波法资料解释宜根据纵波速度变化情况, 结合波形对比中首波波幅衰减和频率变化等特征综合分析和判断孔内断层破碎带等不良地质体的位置和范围。覆盖分层宜按速度—深度曲线变化划分。
 - 6) 求取穿透地震波速度应根据测量资料和钻孔测斜资料计算激发点至接收点间的距离计算与分析。
 - 7) 孔间穿透地震波测试资料宜结合单孔地震波测试资料进行综合分析和解释, 应对整个测区穿透地震波速度变化情况进行统计分析, 波速异常区宜结合地质资料进行综合分析解释。
- 5 超声横波反射三维成像法应符合下列规定:
- 1) 资料处理宜按测试单元和剖面整理测试数据, 对采集异常数据应删除, 宜通过调整增益突出异常和已知界面。
 - 2) 宜根据测量量程或剖面延伸宽度确定测试剖面和网格的原点坐标, 宜根据显示效果调整三维成果图的方位角和突显异常界面。
 - 3) 资料解释与分析应根据反射波幅值的异常变化, 圈定异常区域的深度及范围。应结合设计和施工资料, 推断异常的性质与类型。
- 6 地脉动测试应符合下列规定:
- 1) 数据处理前, 在时间域处理时应应对零点漂移和记录波形进行校验, 处理波形的失真。在频率域处理时应首先按采样定理的要求选择合理的采样频率, 采样频率宜按所求频率上限的 3~5 倍选取。
 - 2) 测试数据处理宜采用功率谱分析法, 每个样本数据宜大于 1024 点, 采用间隔宜为 10~20ms, 并加窗函数处理。频率域平均次数宜大于 32 次。
 - 3) 资料解释场地卓越周期应根据卓越频率确定, 卓越频率应按图谱中最大峰值所对应的频率确定, 当图谱中

出现多峰且各峰的峰值相差较小，在谱分析的同时应进行相关谱和互谱分析，对场地脉动卓越频率进行综合评价。

- 4) 脉动幅值应取实测脉动信号的最大幅值。确定脉动信号的幅值时，应考虑排除人为干扰信号及外界自然条件变化的影响。
- 5) 在对场地脉动信号进行振幅谱或功率谱分析时，也可进行相关分析或互谱分析，应对同一场地同一测点不同分量或不同测点同一方向的地脉动信号的计算结果进行比较、分析得到可靠的卓越周期。
- 6) 当需要了解地面上测点和孔中测点的相互关系时，可进行传递函数或互谱分析。

7 质点振动测试应符合下列规定：

- 1) 振动波形相对基线出现漂移时，应对峰值振动速度或振动加速度进行零点漂移校正。
- 2) 应使用振动测试仪配套软件，依据测试系统标定的灵敏度，读取或计算径向、切向和垂向三个方向的峰值振动速度或振动加速度，获取各方向的主振频率。
- 3) 质点振动传播规律测试应根据测试数据和已知的距离、药量，对采样点数据进行统计分析，应按 DL/T 5333 的规定计算振动常数 K 、 α 、 β 值。
- 4) 质点振动传播规律测试应根据计算的振动常数 K 、 α 、 β 值给出试验区爆破振动特征表达式。
- 5) 水利水电工程爆破振动安全评价应符合 DL/T 5333 的相关规定。

8 附加质量法应记录每个测点所对应的施工单元信息，如检测单元编号，施工碾压参数、填筑料料源、级配、相对密度、铺料厚度、碾压厚度、洒水量等。

4.8.8 成果应符合下列规定：

- 1 单孔声波法、穿透声波法应符合下列规定：

- 1) 单孔声波或穿透声波测试成果图应绘制纵（横）波速度随孔深变化曲线图，原位测试时应绘制原位测试成果图，主要绘制纵、横波速，弹性模量，剪切模量随孔深变化曲线，对岩体质量、风化、分层、灌浆质量等情况进行解释和评价。
 - 2) 声波速度应根据工程部位、检测目的及结合地质条件进行综合分析。
 - 3) 当多个孔在同一剖面或断面时，波速曲线图宜绘制在同一剖面或断面上。
- 2 声波反射法应绘制时间剖面图、处理后的时间剖面、物探成果地质解译剖面或平面图。
- 3 脉冲回波法应绘制时间剖面图和频率剖面图。
- 4 表面地震波法应符合下列规定：
- 1) 地震波速度测试成果图件宜绘制成果平面图、综合剖面图和地震波速度分布统计图表等。
 - 2) 当测线成网状布置时，宜绘制地震波速度平面等值线图。
 - 3) 动弹模量与静弹模量相关分析宜绘制相关曲线图。
- 5 单孔地震波法应符合下列规定：
- 1) 单孔地震波纵波速度测试成果图宜绘制孔深-纵波速度折线图或曲线图。
 - 2) 单孔横波速度测试成果图宜绘制孔深-横波速度折线图或曲线图；场地勘察成果图宜绘制场地类别划分成果剖面图和平面图。
 - 3) 当多孔构成断面时，宜绘制速度分布与物探地质解译成果剖面图。
- 6 穿透地震波法应符合下列规定：
- 1) 洞间、孔间等穿透地震波测试宜绘制地震波射线图、波速分布平面图和剖面图、地质缺陷异常分布平面图和剖面图等。

- 2) 孔间穿透横波测试宜绘制横波速度孔深折线图或曲线图。场地勘察成果图宜绘制场地类别划分成果剖面图和平面图。
- 7 超声横波反射三维成像法应符合下列规定：
 - 1) 测点测试时，宜绘制单点成果图。
 - 2) 测线测试时，宜绘制测线二维成果图及三维成果图。
 - 3) 测网测试时，宜绘制测网长轴方向的二维成果图、三维成果图、三维成果切片图等。
- 8 地脉动测试成果图件宜包括测点时域波形图和频谱图等。
- 9 质点振动应符合下列规定：
 - 1) 质点振动监测成果图件宜包括垂向、径向和切向时域振动波形图和成果表等。
 - 2) 质点振动传播规律测试成果图件宜包括垂向、径向和切向时域振动波形图、成果表和统计分析图表等。
- 10 附加质量法应符合下列规定：
 - 1) 附加质量法检测成果应包括当日现场检测单、检测报告。
 - 2) 成果图表宜包括测点分布图、测试密度值列表。

4.9 层析成像

4.9.1 层析成像（CT）可选用声波 CT 法、地震波 CT 法、电磁波 CT 法、电阻率 CT 法。

4.9.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 声波 CT 法应符合下列规定：
 - 1) 被探测目标体与周边介质应存在声波速度差异。
 - 2) 孔间距或洞间距宜小于 20m。
 - 3) 孔内应有井液耦合。
 - 4) 测试时周边环境不宜存在较大的振动噪声干扰。
- 2 地震波 CT 法应符合下列规定：
 - 1) 被探测目标体与周边介质应存在地震波速度差异。

- 2) 孔间距或洞间距宜根据激发方式和能量大小选择。
 - 3) 孔内应有井液耦合。
 - 4) 测试时周边环境不宜存在较大的振动噪声干扰。
- 3 电磁波 CT 法应符合下列规定：
- 1) 被探测目标体与周边介质应存在电性差异。
 - 2) 测区内不应存在足以影响观测质量的强电磁干扰噪声。
 - 3) 钻孔内不应有金属套管或其他金属介质。
 - 4) 孔间距或洞间距宜小于 60m。
- 4 电阻率 CT 法应符合下列规定：
- 1) 被探测目标体与周边介质应存在电阻率差异。
 - 2) 测区内不应存在足以影响观测质量的杂散电流和强电磁干扰噪声。
 - 3) 电极接地条件应良好，钻孔内应有井液耦合。
 - 4) 钻孔内不应有金属套管或其他金属介质。
 - 5) 孔间距或洞间距宜小于 50m。
- 4.9.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定：
- 1 声波 CT 仪器设备应符合下列规定：
 - 1) 应选用非金属声波仪。最小采样间隔宜为 $0.1\mu\text{s}$ ，单道采样长度可选，应大于 512 点/道。触发方式宜有内触发、外触发和信号触发等。频响范围宜为 $10\text{Hz}\sim 200\text{kHz}$ 。发射电压宜为 $100\sim 1000\text{V}$ ，发射脉宽宜为 $1\sim 500\mu\text{s}$ ，可选。
 - 2) 电火花震源的防护和使用应符合高压电器的要求。震源应能激发高频声波脉冲、能量可控，满足接收要求。计时信号起跳应尖锐、稳定，与接收仪器同步。
 - 3) 换能器的转换灵敏度宜大于 $1000\mu\text{V}/\text{Pa}$ 。用于水中检测的换能器的水密性应大于 1MPa 。
 - 2 地震波 CT 仪器设备应符合下列规定：
 - 1) 宜选用多道浅层数字地震仪。应具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波等功能。采样间隔可选，

最小采样间隔应小于 0.05ms。记录长度可选，每道采样点应大于 1024 点。A/D 转换精度应大于 24bit，通频带应为 2~2000Hz。放大器内部噪声应小于 $1\mu\text{V}$ ，动态范围应大于 120dB。

2) 接收检波器各道之间固有频率相差宜小于 10%，灵敏度相差宜小于 10%，相位差宜小于 1ms。绝缘电阻宜大于 $10\text{M}\Omega$ ，井下和水下检波器的水密性应大于 1MPa。

3 电磁波 CT 仪器设备应符合下列规定：

1) 应选用电磁波透视仪。工作频率应可选，频率应稳定。接收机输入端噪声电平宜小于 $0.2\mu\text{V}$ 。接收机测量范围宜为 $-20\sim-140\text{dB}$ ，动态范围宜大于 100dB，测量允许偏差应为 $\pm 3\text{dB}$ 。

2) 应配备 1~64MHz 不同主频的系列天线，发射与接收天线应具有良好的绝缘性和密封性，发射机的发射功率应大于 10W。

3) 水密性应大于 1MPa。

4 电阻率 CT 仪器设备应符合下列规定：

1) 电阻率 CT 仪器设备宜使用直流电法仪。应具有完备的开关自检和接地电阻测试功能，电极通道数应大于 60 道。输入阻抗应大于 $8\text{M}\Omega$ 。

2) 用 500V 电压测量 A、B 和 M、N 插头和外壳之间的绝缘电阻应大于 $500\text{M}\Omega$ ，电压测量允许偏差应为 $\pm 1\%$ ，分辨率宜小于 0.01m。电流测量允许偏差应为 $\pm 1\%$ ，分辨率宜小于 0.01mA，极化最大补偿范围应为 $\pm 1\text{V}$ 。最大供电电压应大于 900V，最大供电电流应大于 3A。对 50Hz 工频干扰抑制应大于 40dB。

3) 电极阵列电缆采用 500V 电压测量任意两根芯线间的绝缘电阻应大于 $500\text{M}\Omega$ ，电缆接头应有防水功能，水密性应大于 1MPa。

4.9.4 观测系统应符合下列规定：

1 孔、洞间 CT 法可采用两边观测系统。当孔间的地表或洞间边坡条件适宜时，宜采用三边观测系统。在梁柱或多面临空体的情况下，可采用多边观测系统。

2 当发射点间距大于接收点间距时，宜采用两孔互换观测系统。

3 在同一剖面上进行多组孔间或洞间 CT 观测时，观测系统宜保持一致。

4 CT 剖面宜垂直于地层或地质构造的走向，成像剖面宜与地质勘探线和其他物探测线一致。

5 扫描断面的孔、洞等宜相对规则且共面。

6 孔、洞间距应根据任务要求、物性条件、仪器设备性能和方法特点合理布置。

7 激发和接收点距应根据地质条件、成像区域尺寸、成像单元大小、探测目标体规模、探测精度和方法特点确定。

8 成像孔深与孔间距比值、成像洞长与洞间距比值均宜大于 1.5。

9 地质条件较为复杂、探测精度要求较高的部位，孔距或洞距应相应减小或者加密钻孔。

10 激发和接收位置应准确，误差应小于点距的 5%。

11 应测量钻孔、平硐的方位和倾角，建立成像区域相对坐标系，确定激发点和接收点的坐标，绘制观测系统图和剖面图。

12 点距应根据探测精度和方法特点确定。声波 CT 法和电磁波 CT 法点距宜小于 1m，地震波 CT 法点距宜小于 2m，电阻率 CT 法电极间距宜小于 2m。

4.9.5 现场工作应符合下列规定：

1 声波 CT 法和地震波 CT 法应符合下列规定：

1) 孔间 CT 工作前，应确定钻孔护壁措施。应用直径略大于探头的重物进行探孔，检查水位、孔深和通畅情

况。观测完成后，应清理现场，做好钻孔保护。

- 2) 孔间声波 CT 法或地震波 CT 法工作前宜先进行单孔地震波测井或单孔声波测井、钻孔全景数字成像，洞间声波 CT 法或地震波 CT 法工作前应进行洞壁岩体地震波或声波速度测试。
- 3) 孔间声波 CT 法或地震波 CT 法宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔，当孔壁条件较差时，应采用塑料或金属套管进行保护。
- 4) 地震波 CT 法激发孔宜采用塑料或金属套管护壁。采用爆炸震源时，激发孔宜采用金属套管护壁，或在激发点以上吊置一段金属套管，一边在管脚激发，一边提升套管。
- 5) 当接收距离较远或信号衰减较快时，宜选择高能量激发方式。地震波 CT 法激发接收间距大于 50m 时，宜选择炸药爆炸作为震源。
- 6) 采用多道接收方式观测时，同一震源点的相邻接收排列重复应大于一道。

2 电磁波 CT 法应符合下列规定：

- 1) 应选取不少于两个发射频率和相应的天线进行全孔段同步观测，应选择观测数据不小于 -110dB 时的最高频率为工作频率。
- 2) 可选择单频或多频观测方式，当相邻有多组剖面进行电磁波 CT 法时，宜采用相同的频率进行观测。
- 3) 宜采用双孔法或三孔法在地质条件相对简单的孔段进行试验，确定初始场强和背景吸收值。
- 4) 电磁波透视仪现场工作前，应进行工作状态检查，发射、接收天线下孔前应校零。发射机上天线与电缆间宜使用长度为 2 倍所选波长的绝缘绳相连，发射、接收天线下端应悬挂重锤。
- 5) 定点扇形扫描观测前，宜进行水平同步和斜同步观测。

现场观测发现异常或观测值发生畸变，应重复观测和加密观测。

- 6) 孔间或洞间电磁波 CT 应避免金属管件的影响。当仪器距孔口或洞口较近时，应用金属板将洞口、孔口进行封闭。

3 电阻率 CT 法应符合下列规定：

- 1) 观测孔段不宜采取护壁措施，应有井液耦合。若孔壁完整性差，宜使用 PVC 管护壁，PVC 管应制作成花管。
- 2) 现场工作前，应进行电法仪电极系、多芯电缆、多路电极转换器、主机等工作状态检查。应检查电缆电极间距，允许相对误差应为 $\pm 5\%$ 。
- 3) 两个无穷远电极应有良好的接地条件，宜相向布置。
- 4) 当无穷远电极位于剖面的中垂线时，距观测剖面的距离应大于孔间距的 5 倍。当无穷远电极位于观测剖面延长线上时，距钻孔的距离应大于孔间距的 20 倍。
- 5) 现场测量可采用手动测量和自动测量两种方式，手动测量供电时间应大于 2s，自动测量供电时间应大于 1s。
- 6) 手动测量时，当测量电压小于 3mV 或测量电流小于 3mA 时应进行重复观测，观测次数宜大于 3 次。自动测量时，应对数据进行现场监视，当观测数据异常时，应进行重复观测。
- 7) 自动测量时，可采用相邻排列重合部分电极的方式进行检查观测。

4.9.6 资料整理应符合下列规定：

1 声波 CT 法和地震波 CT 法应符合下列规定：

- 1) 应读取每条射线的初至时间，识别触发信号并校正初至时间，剔除坏值。
- 2) 应建立坐标系，将每条射线的激发点与接收点转换为

成像剖面的二维坐标，并与相应的初至时间形成一定格式的数据文件。

- 3) 应计算每条射线的平均波速，分析初至时间异常，初步确定反演参数。
 - 4) 钻孔或隧洞壁介质的波速宜作为边界条件加入反演。
 - 5) 应根据地质资料、物性参数、观测系统、成像精度、分辨率、任务要求选择和建立数学物理模型。网格单元尺寸应大于测点间距，单元总数不宜大于射线条数。模型的初始值和约束极值宜根据地质条件、经验值、现场试验值选取。
 - 6) 射线追踪可选择试射法、弯曲法、求解程函方程法和最短路径法等方法。
 - 7) 反演方法可选择代数重建法（ART）、奇异值分解法（SVD）、联合迭代法（SIRT）、共轭梯度法（CG）、阻尼最小二乘法（LSQR），以及由这些方法改进而成的其他方法。对于成像区域发育条带状异常体时，宜选择阻尼最小二乘法（LSQR）及由该法改进的反演方法。
 - 8) 反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度确定，也可根据相邻两次迭代计算的波速方差确定。
 - 9) 对于相互连接的探测剖面，应采用相同的反演方法、模型和参数。
 - 10) 对于二边观测的 CT 数据，可选择具有压缩恢复处理功能的反演软件，以减小图像在垂直观测方向上的伪差。
 - 11) 宜采用克里金（Kriging）、反距离加权或最邻近点等插值法计算波速插值并绘制波速等值线分布图。
- 2 电磁波 CT 法应符合下列规定：
- 1) 对数据应按成像计算格式要求进行整理、编辑、剔除坏值等预处理。

- 2) 应对扫描断面建立坐标系, 将每条射线的发射点与接收点转换为成像剖面的二维坐标, 与相应的观测数据建立数据文件。
 - 3) 应根据地质资料、物性参数、观测系统、成像精度、分辨率和任务要求选择和建立数学物理模型, 网格单元尺寸不应小于测点间距。
 - 4) 反演方法宜选择代数重建法 (ART)、奇异值分解法 (SVD)、联合迭代法 (SIRT)、共轭梯度法 (CG)、阻尼最小二乘法 (LSQR) 等方法, 以及由这些方法改进而成的其他方法。
 - 5) 钻孔孔内物性参数、测井资料宜作为边界条件加入反演, 反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度或相邻两次迭代计算的吸收系数方差确定。
 - 6) 对于二边观测的 CT 数据, 可选择具有压缩恢复处理功能的反演软件, 以减小图像在垂直观测方向上的伪差。
 - 7) 对于相互连接的剖面, 应采用相同的反演方法、模型和参数。
- 3 电阻率 CT 法应符合下列规定:
- 1) 应对数据进行预处理, 剔除坏值。
 - 2) 应建立坐标系, 将供电电极和测量电极位置转换为成像剖面的二维坐标, 形成数据文件。
 - 3) 应根据地质资料、物性参数、观测系统、成像精度、分辨率和任务要求选择和建立数学物理模型, 模型网格单元尺寸应大于测点间距。
 - 4) 正演计算应根据实际情况选择 α 中心法、有限差分法、有限单元法、积分方程法或边界单元法等方法。
 - 5) 钻孔或洞壁介质的物性参数、测井资料宜作为边界条件加入反演。
 - 6) 反演宜选择最小二乘法、积分方程等方法, 以及由这

些方法改进而成的其他方法。

- 7) 反迭代次数应根据电流场路径和图像形态的稳定程度或相邻两次迭代计算的电阻率方差确定。
- 8) 对于相互连接的剖面，应采用相同的反演方法、模型和参数。

4.9.7 资料解释应符合下列规定：

1 声波 CT 法和地震波 CT 法应符合下列规定：

- 1) 应依据每条射线的波速，进行不同特征波速范围内的平均波速分布统计。
- 2) 宜根据射线路径分布图初步确定高速区或低速区的范围，按 CT 图像参数的变化梯度初步确定异常范围、延伸方向。
- 3) 用于探测时，应根据 CT 图像中波速分布规律，结合成像区域的地层岩性、地质构造、风化卸荷及岩体质量等进行地质推断解释。
- 4) 用于检测时，应根据 CT 图像中波速分布规律，结合成像区域的设计、施工资料等对工程质量进行评价。

2 电磁波 CT 法应符合下列规定：

- 1) 应根据吸收系数等值线图确定异常范围、延伸方向。
- 2) 应结合成像区域的地层岩性、构造、风化卸荷及岩体质量等情况，对 CT 图像中吸收系数异常体进行综合分析和合理的解释。

3 电阻率 CT 法应符合下列规定：

- 1) 应绘制电阻率等值线图或色谱图，根据电阻率值大小、分布范围以及梯度变化等特征对异常体进行识别，圈定异常范围。
- 2) 应依据等值线图或色谱图上的电阻率值的变化特征，结合钻探和地质资料进行综合分析判断。

4.9.8 成果应符合下列规定：

- 1 成果图件宜包括工作布置图、射线分布图、射线平均波

速分布图、CT 图像、CT 成果解释图。

2 CT 图像可采用等值线图、灰度图或色谱图表示。

3 CT 成果解释图中应有比例尺、高程、孔洞号、剖面桩号和解释结果等。

4 同一条剖面的多组 CT 剖面可拼接成一幅剖面成果图。

5 成果分析宜包括 CT 剖面的地质分层、目标体埋深及规模、岩体或混凝土质量、灌浆效果评价等的分析和解释及成果精度评价。

4.10 放射性测量

4.10.1 放射性测量可选用常规测氡法、活性炭测氡法、伽马测量法、 α 射线测量法、核子水分-密度检测法。

4.10.2 应用条件应符合以下规定：

1 常规测氡法和活性炭测氡法应符合下列规定：

- 1) 被调查目标地质体应蕴藏有放射性核素。
- 2) 被调查目标地质体结构和构造应便于放射性核素及其子体运移，覆盖层不宜太厚。

2 伽马测量法不受地形限制，但在测量中应保持测量几何条件一致，宜在下列地质条件下使用：

- 1) 被探测目标体和周边地层应有明显的放射性差异。
- 2) 构造破碎带和地下储水构造埋藏宜较浅。
- 3) 第四纪覆盖层应无潜水层等“屏蔽”层。
- 4) 宜为岩浆岩地区。

3 α 射线测量法可在覆盖层中取土样或埋设静电 α 卡进行现场测量，不宜在阴雨季节中进行测量，其他条件与伽马测量相同。

4 核子水分-密度检测法应符合下列规定：

- 1) 背向散射法测试层厚度应小于 100mm，最大材料粒径宜小于 20mm。
- 2) 单管透射法测试层厚度应小于 300mm，最大材料粒径

宜小于 40mm。

- 3) 双管透射法测试层厚度应小于 600mm，最大材料粒径宜小于 60mm。

4.10.3 仪器设备性能和指标应符合以下规定：

1 测氦仪器应符合下列规定：

- 1) 最大连续测量时间应大于 8h。
- 2) 抽气或贮气系统气密性应大于 5%。
- 3) 检测氦浓度范围应为环境空气氦 $3\sim 5\times 10^6\text{Bq/m}^3$ 、土壤氦 $300\sim 5\times 10^5\text{Bq/m}^3$ 、水中氦 $3\times 10^{-3}\sim 1\times 10^2\text{Bq/L}$ ，氦的析出率范围应为 $1\times 10^{-3}\sim 10\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

2 伽马测量仪器应符合下列规定：

- 1) 采用测低能谱的伽马谱仪的谱段应可调，应有稳谱装置，连续 8h 工作读数相对误差应小于 1%。
- 2) 辐射仪使用积分测量时，应能测量 1eV 到数十万电子伏低能量伽马射线。
- 3) 辐射仪应灵敏度高，在自然底数不大于 $0.72\text{PC}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ ($10\mu\text{R/h}$) 时，灵敏阈应小于 $0.143\text{PC}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ ($2\mu\text{R/h}$)。
- 4) 辐射仪在 $0\sim 3.7\text{PC}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ ($0\sim 50\mu\text{R/h}$) 范围内应呈线性。

3 α 射线测量仪应符合下列规定：

- 1) 应采用大闪烁体制做闪烁探测器，探测射线的效率 A_m^{241} 应大于 60%。
- 2) 在极限条件下读数与正常读数相对误差应小于 15%。
- 3) 一周内不做调整，重复读数相对误差应小于 15%。

4 核子水分-密度检测仪应符合下列规定：

- 1) 背向散射法测试密度相对误差应小于 0.50%，水分测量相对误差应小于 3%。
- 2) 单管透射法测试密度相对误差应小于 0.25%，水分测量相对误差应小于 3%。
- 3) 双管散射法测试密度相对误差应小于 0.50%，水分测

量相对误差应小于 2.5%。

- 4) 射线源应采用双层不锈钢封焊成固体状。伽马射线源宜为铯-137 (^{137}Cs)，活度应小于 10mCi。中子源宜为镅-241-铍 ($^{241}\text{Am}-\text{Be}$) 或钚-239-铍 ($^{239}\text{Pu}-\text{Be}$)，活度应小于 50mCi。
- 5) 伽马射线探测器宜为盖革-弥勒气体计数管 (G-M 计数管) 或由碘化钠闪烁体和光电倍增管所组成的闪烁探测器。热中子探测器宜为氦-3 (^3He) 正比气体计数管，也可为三氟化硼 (BF_3) 正比气体计数管或锂玻璃闪烁探测器。

4.10.4 工作布置应符合下列规定：

1 伽马测量法和 α 射线测量法应符合下列规定：

- 1) 测网密度可通过试验确定，在已知的地段上进行不同精度的测量，将获得的资料与已知的地质资料比较，确定最佳的测网密度。
- 2) 测线间距在工作比例尺平面图上应为 2~4cm，应有不少于 3 条测线通过主要探测目标体。测点间距在工作比例尺平面图上应为 0.5~2cm，实际点距宜为 5~10m。

2 土壤中氡浓度测量应根据地质构造、断层带位置布置测线，测线宜垂直于构造走向，测线间距宜为 10~20m，测点间距宜为 5~10m。

4.10.5 现场工作应符合以下规定：

1 常规测氡法应符合下列规定：

- 1) 打孔工具和取样工具应满足测试仪器探头规格和设计取气深度要求。
- 2) 仪器存贮记录中的测线点编号应与原始记录一致，宜记录测点附近地质现象和人类生产活动情况。
- 3) 探头插入前，仪器应先净化 5min 以上。
- 4) 探头入孔深度宜为 0.5~1.0m，探头入孔后，应踏实

周围土壤。

- 5) 测试应采用连续多循环方式，连续测试时间应大于 5min，循环次数宜大于 3 次，具体测试参数应根据试验确定。

2 活性炭测氡法应符合下列规定：

- 1) 同一测区应使用同一厂家同一类型的活性炭和干燥剂，干燥剂宜选用变色硅胶类干燥剂。
- 2) 活性炭应没有污染，不使用时，应与一定量的干燥剂一起保存在密封容器中。
- 3) 活性炭样品使用前应重新干燥，应对样品进行测试。
- 4) 活性炭样品测试应选择本底较低的场所。
- 5) 样品底数测试应从准备好的样品中随机抽取 5 个样品，测试时间应大于 1min，重复测试次数应大于 3 次。应取平均值为该批样品的底数，样品的底数不应高于仪器底数。
- 6) 活性炭与干燥剂应以 5 : 1 的比例一起密封装在透明容器内。
- 7) 埋坑应为尖锥形，坑深度宜超过耕植土层，宜大于 0.5m。
- 8) 应记录测点的编号、埋杯时间、土质及其他情况，杯的编号应与测点编号一致。
- 9) 活性炭吸附杯的埋置时间宜为 4~6d，同一测区埋杯时间应相同，收回的活性炭样品应在 10h 内完成测量。
- 10) 活性炭样品的埋置时间应归一化至 30d，应及时整理记录。

3 伽马测量法应符合下列规定：

- 1) 应利用测区内或附近地质构造、井泉等已知条件校核测网密度，试验测量方法及最佳谱段范围，了解正常场大小及异常场幅度。
- 2) 每天工作前和结束后，应在固定场地检查仪器的正常

底数和用工作源检查仪器灵敏度。

- 3) 同一条测线应由同一个人用同一台仪器一次测完。
 - 4) 检查工作应重点选择异常点和可疑测点, 兼顾各条测线。
 - 5) 测线上应避免建筑物等人为影响, 应保持各测点的测试条件一致。
 - 6) 环境伽马测量时, 探头离地面高度宜为 1.5m。
- 4 α 射线测量法应符合下列规定:
- 1) α 射线测量与伽马测量的要求基本相同, 但在测量点应取样。
 - 2) 可选择挖取土样或埋设静电 α 卡。
 - 3) 静电 α 卡取样时, 测点应选在覆盖层中, 埋卡的小坑要求坑底平坦、无黏土、碎石等杂物。 α 卡的埋卡时间应根据辐射场强度确定, 应大于 4h。取卡测量的时间间隔和埋卡时间间隔应一致。
- 5 同时进行伽马测量和 α 射线测量时, 应保持伽马射线测量和坑内取土样品 α 射线测试深度一致。
- 6 核子水分-密度单管透射法应符合下列规定:
- 1) 应使用导板、铁锤和钢钎在准备好的测面中心点按预定深度造一个垂直测孔, 孔四周应平整到能平稳安放仪器。
 - 2) 测试应从最深点开始, 仪器应围绕测杆转动, 应进行多个深度、多方位点测试。
 - 3) 每个深度点的测试时间应大于 1min。
 - 4) 当某个深度点测试数值出现异常时, 应重复测试, 重复测试的相对误差应小于 1%。
- 7 核子水分-密度双管透射法应符合下列规定:
- 1) 应使用导板、铁锤和钢钎在准备好的测面按预定深度造两个垂直测孔, 两孔中心点应位于平整测面的中心点。

- 2) 将仪器安放好后，将两源杆缓慢下插至测试最深处位置。
- 3) 当测试材料粒径偏大、内部不均匀时，应从最深点开始，按 50~100mm 间距进行多个深度点测试。
- 4) 每个深度点的测试时间应大于 1min。
- 5) 当某个深度点测试数值出现异常时，应重复测试，重复测试的相对误差应小于 1%。

4.10.6 资料整理与解释应符合以下规定：

1 应对已有的地质资料、探测成果、地形、地貌、气候条件进行综合分析，了解异常的分布规律和特征，分析异常性质并排除假异常。

2 一个测区检查测量的平均相对误差应按 D.6.3 条相关公式计算，一个测区检查测量的平均相对误差应小于 30%。

3 脉冲计数测氦仪所测每点的氦浓度应按 D.6.4 条相关公式计算，测区氦浓度背景值 \bar{X} 应按 D.6.5 条相关公式计算。

4 活性炭测氦资料整理宜包括抽样测试记录、埋杯记录、取杯记录和回收测试品的记录。

5 活性炭测氦单个样品检查测量的相对误差应按 D.6.6 条相关公式计算，样品氦浓度应按 D.6.7 条相关公式计算。

6 α 射线或伽马射线强度高于背景 3 倍的可确定为异常。如果覆盖层较厚、有水体屏蔽或受构造等影响，其强度虽未达到背景值 3 倍，但仍高于背景值 1.5 倍，仍可确定为异常。

7 核子水分-密度检测法资料整理应包括核对现场原始记录和仪器电子记录，还应符合下列规定：

- 1) 每个测试点的密度和含水量应根据现场标样试验或取样试验得出的偏差系数进行校正。
- 2) 当材料粒径偏大、内部不均匀，采用背向散射法、单管透射法进行多方位检测时，应以各个方位的密度、含水量平均值作为该点的密度值、含水量值。
- 3) 采用透射法在测孔中进行多个深度测试时，应以各深

度点的密度、含水量平均值作为测试点的密度值、含水量值。

- 4) 采用双管透射法进行分层检测，或测试材料粒径偏大、内部不均匀，或现场进行了分层多深度点检测时，应计算检测平均值、分段平均值。
- 5) 各测点的干密度值、含水率应根据各测点的密度值和含水量计算。
- 6) 应根据现场试验建立密度、含水量与压实度、孔隙率的关系。
- 7) 碾压质量应以设计值为依据进行分析评价。

4.10.7 成果应符合以下规定：

- 1 成果图件可包括剖面图、平面图和绘制成果图。
- 2 脉冲记数仪器涨落误差的标准误差 σ 应小于 30%，相对标准误差 δ 应小于 10%。
- 3 率计式辐射仪涨落误差的标准误差 σ 应小于 20%，相对标准误差 δ 应小于 10%。
- 4 应按公式 (D. 6. 1) 计算放射性统计涨落误差。

4.11 地球物理测井

4.11.1 地球物理测井可选用井径测井、井斜测井、井温测井、电阻率测井、自然电位测井、自然伽马测井、密度测井、钻孔全景数字成像、钻孔摄像、超声成像测井等方法。

4.11.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 井径测井测试段孔径应小于下井探管测量臂全展开直径。
- 2 井斜测井测试段应无金属套管，测区内应无较强的电磁干扰。
- 3 井温测井测试段应无套管或花管，应在井液循环基本结束、地层温度稳定后进行测试，测试前 12h 井液应无扰动。
- 4 电阻率测井和自然电位测井测试段应有井液、无套管，测区内应无较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰。电阻率

测井被追踪地层应与相邻地层有明显电性差异，自然电位测井被追踪地层应与相邻地层有明显自然电位差异。

5 密度测井和自然伽马测井测试段不宜有多层或厚壁金属套管，被追踪地层应为层状或似层状介质，密度测井被追踪地层与其相邻层之间应存在明显密度差异。

6 钻孔全景数字成像和钻孔摄像测试段应为无套管的清水孔或干孔，孔壁干净。

7 超声成像测井测试孔宜为垂直孔，测试段应有井液、无套管，孔壁干净。

4.11.3 仪器设备性能和指标应符合下列规定：

1 仪器应具有实时显示、采集参数设置、数据采集、存储、传输功能。

2 电缆传动和深度计数装置的允许偏差应为 $\pm 2\%$ ，井下电缆拉断力宜大于2000N，井下设备应具有耐压、抗震、防水功能，防水耐压值应高于3MPa。

3 地面仪器线路之间、仪器对地、绞车集电环对地、供电电源对地的绝缘电阻应大于 $10M\Omega$ ，电缆芯对地绝缘电阻、电极之间绝缘电阻、井下仪器线路与外壳之间的绝缘电阻应大于 $2M\Omega$ 。

4 井径测量范围宜为40~200mm，测量允许偏差应为 $\pm 1mm$ ，下井探管测量臂应有电动收放控制功能。

5 井斜测量范围应为顶角 $0^\circ\sim 45^\circ$ 、方位角 $0^\circ\sim 360^\circ$ ，顶角测量允许偏差应为 $\pm 0.2^\circ$ 。钻孔顶角 $0^\circ\sim 3^\circ$ 时，方位角测量允许偏差应小于 $\pm 5^\circ$ ；钻孔顶角大于 3° 时，方位角测量允许偏差应为 $\pm 3^\circ$ 。

6 井温测量范围应为 $-10\sim +100^\circ C$ ，允许偏差应为 $\pm 0.2^\circ C$ ，热惯性应小于3s。仪器应具有温度自校准功能。

7 电阻率测井和自然电位测井的电压和电流测量允许偏差均应为 $\pm 1\%$ ，电压分辨率应小于0.01mV，电流分辨率应小于0.01mA，极化最大补偿范围应为 $\pm 1V$ ，仪器设备对50Hz工频

干扰抑制应大于 40dB。电阻率测井应为二极、三极、对称四极装置可选。自然电位测量电极宜为铅电极，微电极系应有贴壁装置，井液电阻率探头应有屏蔽装置。

8 自然伽马测井测量计数范围宜为 0~32000cps，测量值涨落允许偏差应为±10%，应配备无源刻度环或标定器。

9 密度测井测量范围宜为 1.0~3.5g/cm³，测量值允许偏差应为±0.03g/cm³。

10 钻孔全景数字成像、钻孔摄像仪器设备的图像分辨率应大于 500 像素/cm²，图像采样速率应大于 20 帧/s。全景数字成像仪器应有同步自动拼接展开图功能，摄像仪器应具有同步录像及孔深、方位、时间等参数实时显示功能。

11 超声成像测井仪器设备工作频率范围宜为 0.8~15MHz，发射峰值电压宜为 100~1000V，换能器最大旋转速率应高于 10 圈/s，仪器动态范围应高于 80dB，成像精度宜高于 50000 点/m。

4.11.4 测井电缆深度标记应符合下列规定：

1 新电缆使用前，在深井中电缆悬挂相当于井中仪器重量的重物上下升降不应少于 5 次，待电缆伸长稳定后进行标记。

2 标记间距应小于 10m，允许偏差应为±2%。

3 在距下井探管接头 10~15m 处，应设置电缆提升的警示标记。

4.11.5 井场准备工作应符合下列规定：

1 应清理孔口周围异物和破碎松动岩块。

2 测井前，宜先用与下井仪器的直径和长度相当的重锤进行探孔，检查孔深、井液深度和孔内通畅情况。

3 应妥善安放仪器设备，固定绞车和井口滑轮，绞车和井口滑轮的距离宜为 5~10m，仪器、绞车和井口滑轮应两两之间保持通视。

4 对电缆与下井探管的接头部位应进行防水处理。

5 下井电缆在孔口应居中，孔口滑轮或测量轮应与电缆紧

密接触，应对准绞车滚筒中点。

4.11.6 测井工作应符合下列规定：

- 1 探管下井时，应在孔口进行仪器记录点对零。
- 2 测井现场不宜有振动、电磁等干扰。
- 3 同一钻孔采用多种方法进行地球物理测井时，宜按井温测井、钻孔全景数字成像、井径测井、井斜测井、自然伽马测井、密度测井、自然电位测井、电阻率测井、其他测井的顺序进行。

- 4 井温测井、井液电阻率测井及钻孔摄像宜在电缆下放时做正式测试，其他测井方法均宜在提升电缆时做正式测试。

- 5 仪器采样间隔和记录长度选择应满足测试精度要求，同一测区工作参数宜保持一致。

- 6 测井过程中应保持电缆升降速度稳定，电阻率测井、自然电位测井、井液电阻率测井电缆升降速度限速应为 5m/min，井径测井电缆升降限速应为 3m/min，井温测井、自然伽马测井、密度测井、钻孔全景数字成像、超声成像测井、钻孔摄像电缆升降限速应为 2m/min。

- 7 测井过程中应及时校对测井深度与电缆记号的对应情况，每条测井曲线的开始和终止部分，不应漏校记号。

- 8 单孔分次分段测井时，衔接处重复观测段应大于 3m。

- 9 当井下仪器下放到孔底、提升到套管脚附近、套管变径处和孔口附近时，应提前减速。

- 10 现场测试时，如仪器工作不正常或下井探管遇阻，应排除故障，经检查正常后方可继续工作，应对相应测段进行复测。

- 11 现场应填写每条测井曲线的班报记录，及时对测井数据质量进行评价，不合格记录应查明原因后重测。

4.11.7 现场工作应符合下列规定：

- 1 井径测井应符合下列规定：

- 1) 井径测井前后宜在井场校验仪器，应有 3 个以上不同

直径的校验记录，允许偏差应为 $\pm 1\text{mm}$ 。

- 2) 测试水平孔、大角度斜孔或探查孔内套管变形及连接情况时，宜采用多臂井径测井仪。
 - 3) 应自下而上连续测试，测试时采样间距宜小于 10mm 。
 - 4) 孔口段有长套管时，套管中测试长度宜大于 5m 。
- 2 井斜测井应符合下列规定：
- 1) 测井前后应进行仪器挂零（顶角为 0° 时）检查，顶角测试值允许偏差应为 $\pm 0.2^\circ$ 。
 - 2) 应根据任务目的确定测试点距，点距宜小于 2m 。
 - 3) 井斜测井宜自下而上逐点测试至孔口。
 - 4) 井斜的方位角测试宜离开铁磁性套管 10m 后进行。
 - 5) 相邻测点间，两顶角差大于 1.5° 或方位角差大于 20° 时，应加密测点。
 - 6) 测试段孔径和井斜仪直径的差值与井斜仪长度的比值应小于 0.035 ，当钻孔直径超过要求时，宜采用加长下井探管满足比值要求的方法，也可采用在同一深度上沿孔壁周围多点测试的方法。
- 3 井温测井应符合下列规定：
- 1) 井温测井应在其他测井方法之前进行，测试前不应扰动井液。
 - 2) 井温测井前，应先用仪器自校功能进行仪器检查。
 - 3) 测试应在探管温度与开始测量位置环境温度一致后进行。
 - 4) 判定钻孔地下水位时，水下测试深度宜大于 5m 或水下测试时间宜大于 3min 。
 - 5) 测试稳态地温前，井液应静止 24h 以上，并应测试 2 条井温曲线， 2 条曲线测试间隔应大于 24h ，绝对误差平均值应小于 0.3°C 。
 - 6) 采用连续测试方式，采样间距宜小于 20mm 。
- 4 电阻率测井应符合下列规定：

- 1) 探测装置和电极距选择应根据探测任务要求和测区地球物理条件确定。进行地层电阻率测试时,宜选用电位电极系;有工业杂散电流干扰的地区或精细划分地层界面时,宜采用梯度电极系;探测层厚较薄或用于探查软弱夹层、裂隙、破碎带和渗透性地层的界面位置和厚度时,宜采用微电极系。
- 2) 同一测区应选择统一的电极距。
- 3) 进行地层电阻率测试时,选择的电极距宜小于目标层厚度。
- 4) 应采用连续观测方式,采样间距应小于 5mm。
- 5) 使用金属重锤时,测量电极应距离重锤 2m 以上。
- 6) 当微电极系电极长度大于最小电极距的 1/5 时,测试前应通过实验方法测定装置系数。
- 7) 采用微电极系进行地层渗透性测试时,应观测 2 条以上不同极距的曲线,或同时采用梯度电极系和电位电极系测试。微电极系测试过程中应保持电极系贴壁。
- 8) 地面供电电极、测量电极及导线之间,应避免干扰,应分开布放。采用两极装置时,地面电极间距应大于 50 倍井下电极距。
- 9) 接地电极在地面时,重复观测可改变电流,但不应改变接地位置。

5 井液电阻率测井测试过程中,应保持供电电流稳定。开展井液淡化法、投盐法和注入法进行井液电阻率测井时,应符合下列规定:

- 1) 测试应在清水孔中和其他方法测井后进行。
- 2) 井液盐化或淡化前,应测试初始井液电阻率 ρ_0 曲线,应根据 ρ_0 曲线、地下水流速确定投盐量、后续井液电阻率测井的时间间隔和测试方案。
- 3) 淡化方案应采用钻机注水循环洗孔方式实施,应使全

孔井液均匀淡化。

- 4) 扩散法可在缆绳上绑扎多个长条柱状盐袋对井液进行盐化，盐袋间距 5~10m，宜钻孔上部偏稀、下部略密。
 - 5) 注入法投盐形成的盐柱长度宜大于 5m，盐柱电阻率值宜小于原有井液电阻率值的 1/4。
 - 6) 应根据测试方案确定时间间隔和测试淡化或盐化后的井液电阻率，测试方式、测试方向和其他测试条件应与 ρ_0 曲线相同，应记录每条曲线的起止时间，精确到分钟。
 - 7) 对单一含水层的钻孔，应测试 3 条以上在含水层段差异明显的曲线。对存在纵向补给关系的钻孔，应测试 4 条以上反映补给全过程的曲线，最后 2 条曲线的界面位置应接近。
 - 8) 井液盐化 12h 后曲线应无明显变化，可采用抽水或注水方式进行测试，应记录抽水或注水量及水位。
 - 9) 井液淡化或投盐 36h 后仍达不到要求的，可终止测试。
- 6 自然电位测井应符合下列规定：
- 1) 地面测量电极宜采用不极化电极，应固定在参考电位稳定处。
 - 2) 测试前应辨清各测量电极的极性，应使曲线异常右向为正，左向为负。
 - 3) 应采用连续观测方式，采样间距应小于 5mm。
 - 4) 使用金属重锤时，测量电极应距离重锤 2m 以上。
 - 5) 有工业杂散电流干扰的地区，可用套管或电缆铠皮做测量电极 N，也可观测自然电位梯度曲线。
 - 6) 检查观测应与原测的曲线形态一致，经基线校正后，两者绝对误差应小于 2mV。
- 7 自然伽马测井和密度测井应符合下列规定：
- 1) 自然伽马测井前应采用检测源检查仪器。

- 2) 密度测井放射源强度选择应使读数值不超出仪器的线性范围、又能压制自然伽马干扰, 在主要目标层段宜大于自然伽马平均幅值的 20 倍。
 - 3) 应在已知岩层孔段进行读数涨落试验, 测试时间应大于仪器各档位时间常数的 10 倍。应根据统计起伏情况, 选取正式测试时的最佳时间常数, 同一测区应采用同一时间常数。
 - 4) 测井前, 应掌握孔内套管情况、地下水位或井液高度、井径资料等信息。
 - 5) 孔壁有泥饼时, 密度测井宜采用双源距仪同时测试或采用 2 种不同源距分别测试。
 - 6) 应采用连续观测方式, 采样间距应小于 20mm。
- 8 钻孔全景数字成像和钻孔摄像应符合下列规定:
- 1) 井液浑浊不清、影响成像质量时, 应采取投放沉淀剂澄清、清水循环冲洗等措施, 沉淀剂提前投放时间应大于 4h。
 - 2) 现场观测前, 应根据钻孔孔径等情况选择最佳摄像焦距、光圈。
 - 3) 在水平孔、斜孔及大口径孔中测试时, 下井探管应有居中装置。
 - 4) 观测过程中应实时监视探管前方影像, 发现有异物阻挡时, 应降低探管下降速度或停止观测, 待清除异物后再进行观测。
 - 5) 钻孔摄像应实时填写孔内地质现象、探查对象的观察记录。
 - 6) 测试图像模糊不清时, 应查明原因并重测。
- 9 超声成像测井应符合下列规定:
- 1) 现场测试前, 应针对测区内不同孔径、不同井液, 选择最佳工作频率、发射电压和声幅衰减, 调制适宜的声幅记录灰度, 孔壁影像应清晰、连续。

- 2) 测试点距或深度比例尺应根据测区岩层倾角大小、被探测目标体规模和钻孔倾斜状态进行选择, 应使观测精度达到计算倾角的要求。
- 3) 探管下井前, 应在专用泥浆筒中进行声反射监视检查。
- 4) 应采用连续测试方式, 下井探管应有居中装置。

4.11.8 资料检查和评价存在下列情况之一者为不合格:

- 1 深度误差大于 1%。
- 2 在目标层井段连续漏掉两个以上深度记号。
- 3 曲线有 5% 以上的断记、漏记或畸变。
- 4 观测不满足 4.11.6 条的规定。

4.11.9 数据处理和资料解释应符合下列规定:

- 1 应内外业同步, 现场应对资料进行初步整理和解释。
- 2 数据处理及计算应结合现场记录进行, 应符合下列规定:
 - 1) 应使用合格的原始测试记录和数据。
 - 2) 同一测区、同一测井方法的数据处理方法应统一。
 - 3) 除放射性测井与干扰大的自然电位测井外, 其他测井数据不宜做平滑处理。
 - 4) 宜根据特征点、标志层位置对测井曲线进行深度校正、平差, 每个点一次平差应小于 1mm。
 - 5) 应选择合理的校正方法和校正参数, 进行孔径、相位、距离、孔斜、偏移等影响因素的校正。

3 资料解释应遵循从已知到未知的原则, 应根据各种测井曲线的分层特征, 对不同参数曲线进行对比分析, 结合地质、钻探等资料, 按物性和地质名称分层, 确定地层或地质体的深度、厚度和产状。

4 同一测区、地质条件相同时, 资料的解释原则和方法应统一。

5 井径测井宜根据测试曲线异常并结合其他测井资料, 对破碎带、软弱夹层、孔身形态、套管状况进行判别。为其他测井校正提供井径资料时, 应先宏观划分各井径孔段, 各孔段井径值

应在剔去异常后取平均值。

6 井斜测井应根据井口坐标、各测点井斜测量结果，计算钻孔的各测点坐标，应绘制钻孔在水平面和垂直面上的投影图、列出成果表。

7 井温测井应根据井温曲线的突变起点，确定各测试钻孔的地下水位。应对测区各钻孔地层温度及地温梯度的变化特征进行统计、分析，对温度明显异常段作重点标示。确定涌水层、渗漏层或热源的位置和规模时，应根据井温曲线异常规模及变化特征并结合地质和钻探等资料进行分析、解释。

8 电测井资料解释应符合下列规定：

- 1) 应分析测区地层与视电阻率及自然电位的对应关系。
- 2) 可根据层间接触带或层内小层的曲线特征、形态，建立岩性标志层。
- 3) 地层界线点解释原则应根据电极装置型式、观测方向等综合确定。
- 4) 微电极系电阻率测井应结合同深度段的井径测井、密度测井、自然伽马测井曲线及异常形态，进行对比分析，确定软弱夹层、破碎带和裂隙的定性及定量解释原则。
- 5) 渗透性地层界面位置、视层厚应根据微电极系电阻率曲线正幅度差和自然电位异常的判别标准予以确定。
- 6) 含水层、裂隙带的测井资料应根据能反映地层有储水空间和渗透性能的物性参数曲线，结合水文地质资料进行定性解释。
- 7) 应依据初始井液电阻率 ρ_0 曲线，对所测的多条井液电阻率测井曲线形态及异常变化特征进行分析和计算，确定含水层位置，求取其渗透速度。
- 8) 地层的真电阻率宜采用横向测井（横向电测深）资料。在不具备横向测井条件时，对较厚的地层可根据电阻率曲线，结合井径测井、井液电阻率测井及围岩电阻

率等参数确定；进行侧向测井时，可根据侧向测井曲线校正后求取。

9 自然伽马测井和密度测井的资料解释和推断，应先从宏观上把全测段划分为若干个数值不同的厚层，求取这些层的平均值，分别分析各个异常，做出地质推断并划分出薄层；对厚度不足 30cm 的地层，应根据测井曲线计算出其数值的大致范围。

10 钻孔摄像、全景数字成像和超声成像测井，应依据成像或动态视频进行孔内地质现象的观察、描述，判别和计算地层、构造及不良地质现象的位置、产状和厚度。应对测试段地质现象分类进行统计，列表或绘图给出断层、裂隙、夹层、溶蚀孔洞等的发育条数和线密度。在顶角大于 5° 的斜孔中计算产状时，应利用井径测井、井斜测井资料进行校正。

4.11.10 成果应符合下列规定：

1 同一张图中所有测井曲线的深度坐标应一致，横比例尺选择应适宜，在设定的绘图范围内应能清晰显示整体形态及变化，曲线应无失真或过度压缩现象。

2 同一钻孔中进行的电阻率测井、自然电位测井、井径测井、井温测井、自然伽马测井、密度测井，宜按测区统一次序、与钻孔柱状图并列绘制在一张地球物理测井成果图上。探查渗透性地层时，不同极距或不同装置的微电极系地层电阻率曲线应绘制在一起。钻孔全景数字成像、超声成像测井的图像可贴在该钻孔测井柱状剖面图旁。其他测井方法所得资料可单独成图或列表，但其成果均应以文字形式反映到地球物理测井曲线解释图上。

3 地质剖面上有多个钻孔或钻孔比较稠密的测区，应在完成单个钻孔的测井解释图基础上，绘制整个剖面的物性-地质解释剖面图，图中可选用少量具有代表性、对目标层反映清楚和便于对比的测井曲线。

4 钻孔摄像、钻孔全景数字成像和超声成像测井解释结果

应以表格和图片及经编辑的摄像电子文件形式表达。

5 井斜测井和井液电阻率测井成果图件，应根据成果表现形式或曲线数量单独成图或列表。井液淡化法、投盐法和注入法井液电阻率测井的多条测井曲线宜按测试顺序绘制，标明测试时间。

行业标准

5 综合探测

5.1 一般规定

5.1.1 综合探测应根据任务需要选择物探方法，地质条件简单及地球物理条件较好时宜布置一种物探方法，地质条件或地球物理条件复杂时宜布置多种物探方法，物探方法探测应用宜参照附录 A。

5.1.2 测网应布置合理，测线和测点间距应与勘探精度要求相符。

5.1.3 当条件允许时，可在测区布置物探参数测试孔或验证孔，获取相关解释参数。

5.1.4 物探成果解释应合理，应针对地质勘探目的做出相应的地质解译。

5.2 覆盖层探测

5.2.1 探测内容宜包括覆盖层厚度及基岩面高程，测试覆盖层各层物性参数，探测古河道或河谷基岩形态，进行天然建筑材料分层和评价。

5.2.2 方法选择应符合下列规定：

1) 陆地覆盖层探测应符合下列规定：

- 1) 高阻薄层覆盖层可选择探地雷达，覆盖层厚度 100m 以内宜选择地震勘探、电法勘探、音频大地电磁测深法，覆盖层厚度大于 100m 宜选择地震反射波法、天然源面波法、音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法。
- 2) 厚层砾石或碎石层探测宜选择面波法、电法勘探、音频大地电磁测深法。
- 3) 覆盖层分层可选择地球物理测井、地震勘探。

- 4) 探测临河岸深厚覆盖层宜采用音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、天然源面波法、孔间 CT。
 - 5) 隧洞进出口、过沟浅埋段覆盖层探测宜选择面波法、地震折射波法、高密度电法。
 - 6) 宜在钻孔、竖井旁边和基岩露头进行弹性波测试和电测深法，获取覆盖层和基岩的物性参数，建立地层与物性参数的对应关系。
- 2 水域覆盖层探测应符合下列规定：
- 1) 水库、湖泊、浅海、港口、码头和水面较宽、水较深、水流较缓、沉积物粒径较小的水域进行覆盖层探测和地貌测量时，宜采用水域地层剖面探测、水域多道地震勘探、地震折射波法、高密度电法。
 - 2) 河流中上游水流较急的河段宜选择地震折射波法、水域多道地震勘探。
 - 3) 应利用水域地质钻孔进行地球物理测井、弹性波测试进行覆盖层分层和物性参数测试。
- 5.2.3 现场工作应符合下列规定：
- 1 陆地覆盖层探测应符合下列规定：
- 1) 覆盖层分布较广的河段宽谷枢纽区宜布置测网，线距宜为 20~50m，点距宜为 5~10m。
 - 2) 天然建筑材料料场、移民规划安置区、渣场等宜布置测网，线距宜为 10~30m，点距宜为 5~10m。
 - 3) 隧洞进出口和过沟段宜在轴线及两侧各布置一条测线，线距宜为 10~20m，点距宜为 5~10m。
 - 4) 测线宜经过勘探孔，应布置相应的地球物理测井、弹性波测试等工作。
 - 5) 宜在钻孔、竖井旁边和基岩露头进行弹性波测试和电测深，获取覆盖层和基岩的物性参数，建立地层与物性参数的对应关系。

2 水域覆盖层探测应符合下列规定：

- 1) 前期勘察设计阶段，宜在坝址区、建筑物河段布置多条顺河测线和多条跨河测线，线距宜为 20~50m，点距宜为 5~10m，湖泊和浅海线距宜小于 100m。
- 2) 运行阶段应在近坝淤积河段布置多条顺河测线和少量横河测线，线距宜为 20~50m，点距宜为 1~2m。
- 3) 测线宜经过勘探孔，应依托钻孔进行相应的地球物理测井、弹性波测试等工作。
- 4) 河谷较窄时，水上测线布置应与河谷中心线斜交。也可利用坝线岸边钻孔进行地震波 CT 法或电磁波 CT 法探测坝线河床覆盖层。
- 5) 河水流速较快、落差较大时，地震折射波法宜选择岸边安装多道检波器、水中激发的互换方式。

5.2.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 应计算基岩和覆盖层的电阻率、波速等物性参数，分析覆盖层与基岩的物性参数在垂直方向上的变化规律和物性层与地质层的对应关系。对不同地段进行的试验，应对比分析测区基岩和覆盖层的物性参数在水平方向的变化情况。

2 面波法和地震折射波法应进行地质分层解释，计算各层厚度和层速度。地震反射波法资料解释宜根据各层间的反射同相轴进行分层解释，用波的旅行时间和层速度计算同相轴所对应目标层厚度。

3 电测深法、高密度电法、音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法资料解释应依据覆盖层与下伏基岩间的电性差异，对比孔旁电性剖面，进行电性分层和层厚度计算。

4 地球物理测井应依据覆盖层与下伏基岩在波速、电阻率、密度、放射性、电磁波吸收系数上的差异，对实测资料进行分层解释，计算各层厚度和物性参数。

5 采用综合方法探测的地段，应进行综合分析，得出各层位在不同方法下的物性分层依据，综合解释覆盖层厚度。

6 当物性参数在水平方向有明显变化时，宜分段解释和计算覆盖层厚度。

7 在窄河谷、深厚覆盖层的探测工作中，资料解释应注意旁侧基岩的影响。

8 水域地层剖面探测应先进行波速等数据处理得出反射时间剖面，选择合适的层速度，将时间剖面转换成深度剖面。水域多道地震勘探应先根据观测系统对数据进行处理，得出反射时间剖面，选择合适的层速度或利用处理中拾取的速度谱将时间剖面转换成深度剖面。根据反射分层情况、能量和相位变化特点、反射界面形态等对深度分层剖面进行地质解译。

9 应说明覆盖层厚度是否包括了基岩强风化带。

5.2.5 成果与评价应符合下列规定：

1 应阐明覆盖层空间分布特点，给出覆盖层厚度、覆盖层内各层物性参数、古河道或基岩形态、天然建筑材料分层情况等。

2 成果图件宜包括覆盖层剖面地质成果图、平面等厚度图、平面基岩面等高线图，进行覆盖层分层时，可绘制地层等厚度图和层面等高线图。

3 水库、湖泊、下游河床和浅海覆盖层探测厚度的相对误差不应大于10%。在测区内物探条件有利，又有少量钻孔可利用的情况下，探测厚度大于10m的覆盖层，深度相对误差应小于15%。

5.3 隐伏构造破碎带探测

5.3.1 探测内容宜包括隐伏构造破碎带位置、宽度、延伸方向和物性参数等。

5.3.2 方法选择应符合下列规定：

1 当隐伏构造破碎带位于低阻覆盖层下埋藏不深、呈现低阻低速异常时，可选用瞬变电磁法、高密度电法、电测深法、电剖面法、地震折射波法、面波法，点距宜为2~10m。

2 当隐伏构造破碎带位于高阻高速覆盖层或崩塌堆积体下时,可根据埋深情况选择面波法、高密度电法、瞬变电磁法、探地雷达、音频大地电磁测深法,点距宜为2~20m。

3 当隐伏构造破碎带中富集地下水时,可采用激发极化法、高密度电法、瞬变电磁法综合探测。

4 探测隐伏构造破碎带深部的情况可选用音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、天然源面波法。

5 当隐伏构造破碎带已被钻孔揭露时,探测构造破碎带的走向、测试破碎带在钻孔上的厚度和物性参数,可选用充电法、地球物理测井、弹性波测试等方法。对于施工揭露的构造破碎带,可采用弹性波法测试其物性参数。

6 探测隐伏构造破碎带的位置、产状可采用电磁波 CT 法、地震波 CT 法。

7 当隐伏构造破碎带有地下水活动且产生过滤电场形成明显的自电异常时,可采用自然电场法。

8 探测宽度大于3m的隐伏构造破碎带,可采用地震折射波法的纵测线连续对比观测系统,也可同时利用波的动力学特征探测宽度较小的断层破碎带,应使用相同的增益和扫描尺寸,点距宜为2m。

9 探测上下盘具有一定垂直断距的隐伏构造破碎带,宜采用地震反射波法,观测系统应选用水平多次叠加或等偏移,点距宜为2~5m。

10 当隐伏构造破碎带具有较好的透气性和渗水性、能向地表释放放射性气体时,可采用放射性测量。

5.3.3 现场工作应符合下列规定:

1 地面探测断层的位置、宽度、倾向和延伸方向应垂直断层走向布置多条测线,线距宜为20~50m,点距宜为2~10m。

2 放射性测量应在断层发育区布置测网,线距宜为10~50m,点距宜为2~10m。

3 电磁波 CT 法剖面布置应与断层垂直或斜交，孔距宜为 30~50m，激发接收点距宜为 1~2m，枢纽地段宜布置多组电磁波 CT 法剖面。

4 测试断层带物性参数、结构面发育情况，宜在断层带上布置钻孔进行地球物理测井。

5.3.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁测深法、电磁波 CT 法、面波法的资料解释应根据视电阻率或面波视速度剖面图中低阻或高吸收、低波速异常的形态、范围，判断构造破碎带的位置、规模和延伸情况。

2 激发极化法资料解释应根据视激发比、视极化率、视衰减值的差异判断构造破碎带是否含水，应将碳质岩层和金属矿体等产生的干扰异常与含水异常区分开。

3 地震折射波法应解释计算隐伏构造破碎带的埋深、宽度，当折射时距曲线出现局部错断、界面速度下降 30%，伴随有波的振幅减小、视周期增大和波形畸形等特征时，可解释为构造破碎带，对应的测线段长度为破碎带视宽度。

4 地震反射波法和探地雷达的资料解释应根据反射波形图中反射同相轴错断、反射波振幅减小、出现波的置换等特征，解释构造破碎带，根据反射同相轴时间、错断时差和层速度计算埋深、断距。

5 当隐伏构造破碎带的上覆层厚度较薄时，自然电场、激电参数和放射性强度的异常幅值大于正常场的 1.5 倍，成条带状分布时，可推断为断层破碎带。

6 地球物理测井和弹性波测试资料应根据构造破碎带的波速、电阻率、密度、放射性与周边介质的差异进行分析解释，计算物性参数。

7 应综合分析多条测线上的异常和地质资料，确定隐伏构造破碎带的延伸情况。

8 放射性 α 射线测量法应依据背景值确定异常值，根据异

常空间分布分析断层地面位置，可根据断层出露段的伽马射线强度与背景值的比值确定断层活动性情况。

9 采用综合物探方法进行探测时，应说明每种方法的主要探测作用和综合地质解译的情况。

5.3.5 成果与评价应符合下列规定：

1 应给出隐伏构造破碎带位置、宽度、延伸方向和物性参数等。

2 成果图件宜包括隐伏构造破碎带探测剖面地质成果图、平面成果图。

3 评价各种物探方法的解释精度，应结合各种物探方法的相互佐证以及与钻探、坑槽探、洞探情况的验证情况。

4 当测区内具备有利地形及物性条件，覆盖层厚度小于10m时，应能查明不小于2m宽度的隐伏构造破碎带。当覆盖层厚度为10~20m时，应能查明不小于3m宽度的隐伏构造破碎带。当覆盖层厚度大于20m时，应能查明宽度大于1/5覆盖层厚度的隐伏构造破碎带。

5 用电磁波CT法探测隐伏构造破碎带，应能查明宽度大于1/10孔距的隐伏构造破碎带。

5.4 软弱夹层探测

5.4.1 探测内容宜包括软弱夹层的位置、产状、厚度，测试软弱夹层的物性参数。

5.4.2 方法选择应符合下列规定：

1 在砂砾石覆盖层钻孔中探测软弱夹层应符合下列规定：

1) 在泥浆护壁的钻孔中，宜采用电阻率测井、自然电位测井等方法。当砂砾石层地下水渗流速度较大时，宜采用井液电阻率测井中的扩散法。当夹层与砂砾石层在密度和声波速度上有明显差异时，可采用密度测井、单孔声波法和超声成像测井等。

2) 使用SM植物胶钻进时，可采用声波CT法，不宜采

用电测井。

3) 钻孔中有套管时应采用自然伽马测井和密度测井。

2 在基岩钻孔中探测软弱夹层应符合下列规定：

1) 当探测孔段为无套管的干孔或孔内井液清澈时，宜选用钻孔全景数字成像、自然伽马测井、井径测井、密度测井。

2) 探测的孔段无套管、有井液但井液无法冲洗清澈时，可选用超声成像测井、侧向电阻率测井、井径测井、声波测井、密度测井和声波 CT 法等。

3) 当探测孔段有套管时宜选用自然伽马测井或密度测井。

3 在平硐中进行软弱夹层物性参数测试时可选择声波法。

4 软弱夹层地表探测可选用探地雷达、弹性波测试。

5.4.3 现场工作应符合下列规定：

1 采用钻孔全景数字成像在钻孔中探测软弱夹层时，应控制探头升降速度，确保采集影像清晰。

2 在钻孔中探测软弱夹层，当软弱夹层的厚度较薄时，测试点距应缩小。

5.4.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 应依据软弱夹层在物性上表现为低波速、低电阻率、低密度、易塑变、自然伽马强度高的特征进行分析和解释。

2 应进行多种测井资料对比分析，当测区所测钻孔较多时，应对比分析各孔中软弱夹层的深度和厚度变化情况。如获取到软弱夹层产状信息，应根据各孔揭露软弱夹层的高程、产状分析软弱夹层连续性及其空间分布特征。

3 可通过钻孔全景数字成像测试软弱夹层的深度、厚度和产状。

5.4.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图件宜包括地球物理测井成果图，软弱夹层深度、产状、厚度及物性参数统计表。

2 当钻孔直径小于 100mm、孔壁较完整，夹层倾角小于

30°时，探测精度应符合下列要求：

- 1) 钻孔全景数字成像探测软弱夹层不宜遗漏厚度大于 1mm 的夹层，当夹层厚度在 20mm 之内时，测试夹层厚度的绝对误差应小于 3mm。
 - 2) 微电极系测井、超声成像测井探测软弱夹层不应遗漏厚度大于 5cm 的夹层。
 - 3) 自然伽马测井、自然电位测井、电阻率测井、单孔声波法和密度测井不应遗漏厚度大于 10cm 的软弱夹层。
- 3 软弱夹层探测成果中的深度相对误差应小于 5%。
- 4 根据钻孔全景数字成像或超声成像测井探测软弱夹层的倾角绝对误差应小于 5°，倾向绝对误差应小于 10°。

5.5 岩体风化、卸荷带探测

5.5.1 探测内容宜包括岩体风化带厚度，进行风化分带和风化程度评价，探测边坡卸荷带深度及影响范围，对岩体稳定性进行评价。

5.5.2 方法选择应符合下列规定：

1 当基岩表面无覆盖层或覆盖层较薄时，可选用探地雷达、地震折射波法。

2 当基岩表面具有一定厚度的覆盖层、风化界面起伏不大、各风化层物性差异明显时，可选用地震折射波法、面波法、电测深法和高密度电法。

3 当覆盖层和风化层较厚时，可选择地震反射波法或地震折射波法、可控源音频大地电磁测深法。

4 详细探测局部风化不规则岩体情况，可采用声波 CT 法和地震波 CT 法。

5 当具有钻孔、竖井时，宜采用地球物理测井、弹性波测试、孔间声波 CT 法和地震波 CT 法。

6 当钻孔中无井液或井液清澈时宜选择钻孔全景数字成像，有井液无套管时应选择单孔声波法、地球物理测井。

7 在平硐和竖井中进行岩体风化带厚度与卸荷带深度探测可采用单孔声波法、穿透声波法、表面地震波法测试。

5.5.3 现场工作应符合下列规定：

1 探测卸荷带深度的测线应垂直于边坡布置，适当布置几条与边坡相平行的辅助测线。在卸荷带的宽度变化较大的地段应适当加密测线和测点，确保测线长度达到未卸荷岩体内宜不少于 10 个测点。

2 单孔声波法测试的点距不应大于 0.2m，岩体风化带探测时声波 CT 法的孔距宜为 5~10m、地震波 CT 法的孔距宜为 20~30m，卸荷带探测时孔间 CT 的孔距应适当减小，激发接收点距不宜大于 1m。

3 平硐声波测试孔应布置在洞壁的另一高度且应平行或共面，宜下斜 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，孔距宜为 1~2m，岩体较完整时孔距可增大至 3m，孔深不宜小于 2m。

4 穿透声波法测试时应将收发探头处于两孔中相同深度，点距宜为 0.2m。

5 当对穿的两孔不平行时应测量每个对穿数据对应的对穿距离。

5.5.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 应依据岩体风化与卸荷带的波速、电阻率、密度的差异进行分析和解释。

2 应确定物性曲线的明显突变点与岩性、断层破碎带、风化与卸荷界面位置的关系，了解风化和卸荷带的变化规律。

3 进行岩体风化带厚度与卸荷带深度划分时应查明地层岩性界面、断层破碎带、卸荷带的分布关系。

4 当风化带成层状分布时，可求取似层状风化的各层厚度。当测区有一定数量的探坑、钻孔时，应对比分析探坑和钻孔的测试资料，确定各风化层界面。

5 当风化带的速度在垂直方向上呈渐变关系时，应找出速度随深度的变化规律。

6 依据风化岩体与新鲜岩体纵波速度之比进行岩体风化带的划分应符合 GB 50487 的规定。

5.5.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图件宜包括岩体风化带等高线图或等厚度图、卸荷影响范围图，注明卸荷及未卸荷岩体速度。

2 地球物理测井应绘制相应钻孔的地球物理测井柱状成果图，钻孔全景数字成像应利用孔壁展开图像进行裂隙分类和统计，统计出单位深度的裂隙率、孔壁完整性情况。

3 当有少量的钻孔、平硐、探坑的弹性波资料可以利用时，地面下岩体风化带分层的深度和厚度相对误差应小于 20%；当无钻孔资料可利用或测区的地形、地质物性条件较差时，地面下岩体风化带分层的深度深度相对误差应小于 30%。

5.6 滑坡体探测

5.6.1 探测内容宜包括滑坡的分布情况，滑面的位置和埋深，地下水的埋藏和分布情况，滑坡体的物性和滑床的埋深及其起伏变化情况。

5.6.2 方法选择应符合下列规定：

1 在进行土体滑坡勘察过程中，当滑坡体厚度不大于 20m 时，可选择瞬态面波法、天然源面波法、高密度电法。当滑坡体厚度大于 20m 时，可选择天然源面波法、地震反射波法、高密度电法、可控源音频大地电磁测深法等。

2 在进行顺层或切层滑坡勘察过程中，当滑坡体厚度不大于 20m 时，可选择瞬态面波法、天然源面波法、高密度电法、地震折射波法。当滑坡体厚度大于 20m 时，可选择天然源面波法、地震反射波法、高密度电法、可控源音频大地电磁测深法等。

3 如果滑坡体基岩裸露、滑坡体厚度不大于 20m 时，可选择瞬态面波法、探地雷达等。当滑坡体厚度大于 20m 时，可选择天然源面波法、地震反射波法。

4 探测滑坡体地下水和含水层可选用激发极化法、电测深法、高密度电法、可控源音频大地电磁测深等。

5 有钻孔时，探测滑带特性和确定滑坡体的物性参数可采用地球物理测井和单孔地震波法测试。

6 当滑坡体地质条件复杂、环境干扰较大时，宜进行综合物探。

5.6.3 现场工作应符合下列规定：

1 宜采用网格状测网，测线方向宜沿主滑带方向，顺山坡或平行等高线布置，测线宜延伸至滑坡体外。

2 测线和测点的布置应根据工程地质条件、地下水情况和滑坡形态确定。除沿主滑方向应布置测线外，在其两侧滑坡体内、外也应布置一定数量测线。测线间距不宜大于40m，在滑坡体转折处和预计采取工程措施的地段，应加密测点。

3 除地面物探技术方法外，应有一定数量的地球物理测井。

5.6.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 地球物理测井和单孔地震波法波速测试资料应结合钻孔揭露的地质信息进行分层解释，计算各层参数。

2 面波法应进行分层解释，应结合测区的地质资料和单孔地震波法波速资料判断滑面的位置。

3 地震折射波法应进行分层解释，可计算出滑坡体各层波速和厚度，应结合测区的地质资料和测井所获得各层速度参数，推断滑面的位置。

4 地震反射波法宜结合地震折射波法和地球物理测井资料确定滑动面及滑坡体内界面的同相轴。

5 探地雷达应根据同相轴的频率、振幅及同相轴的连续性变化，再结合测井和其他物探资料，推断滑面的位置。

6 电测深法、高密度电法、可控源音频大地电磁测深法资料应依据电测井资料进行电性分层，计算出各电性层的厚度，确定滑动面；激发极化法资料还应解释出滑坡体内含水层和富水带的情况。

7 瞬态面波法、天然源面波法应绘制等速度彩色剖面图，进行分层解释和厚度计算，应结合分层界面附近低速异常体，确定滑面的形态及滑坡厚度。可控源音频大地电磁测深法和高密度电法应反演绘制电阻率剖面，进行分层解释和厚度计算。

8 探测基岩顺层滑坡体的地球物理测井资料宜解释出软弱滑动带的位置、厚度，计算滑动带的物性参数。

9 可通过测网（线）探测的滑坡体厚度初步圈定滑坡体范围、估算滑坡方量。

5.6.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图件除应符合 3.8.4 条的规定外，还宜包括测井成果图、剖面成果图、滑坡体等厚度平面图、滑动基岩面等高线平面图。

2 探测滑坡体厚度或深度相对误差应小于 15%；条件复杂时，其相对误差应小于 20%。

5.7 岩溶探测

5.7.1 探测内容宜包括岩溶分布、埋深、规模和充填情况。

5.7.2 方法选择应符合下列规定：

1 应根据地质条件预估岩溶发育程度、埋深及现场条件等，合理选择探测方法或多种方法组合。

2 平缓岸坡、河床滩头基岩裸露或覆盖层较薄时可选择瞬态面波法、探地雷达、高密度电法、瞬变电磁法，覆盖层较厚时可选择面波法、高密度电法、地震反射波法、音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、层析成像。

3 河道中可选择孔间电磁波 CT 法、声波 CT 法或地震波 CT 法。

4 陡峻岸坡宜选择孔间 CT。

5 浅埋隧洞段可选择高密度电法、地震勘探、瞬变电磁法。

6 深埋隧洞段可选择音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、天然源面波。

- 7 探测隧洞周围邻近的岩溶可采用探地雷达、瞬态面波法。
- 8 探查地下水位、含水或渗透性地层的位置及厚度，宜采用地球物理测井。

5.7.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 河床部位宜布置成测网，线距宜为 20~50m。
- 2 岸坡应根据地形情况布置测网或平行建筑物轴线布置多条测线，线距宜为 20~50m。
- 3 坝轴线、地下厂房及主变洞等地下洞室群应布置 CT 剖面网，孔距宜为 30~50m。
- 4 隧洞岩溶探测应沿隧洞轴线布置测线，地质情况和地球物理条件复杂洞段可在轴线两侧各增加一条测线。
- 5 地震勘探的道间距宜为 2~5m，高密度电法的电极距宜为 1~5m，瞬变电磁法的点距宜为 1~5m，音频大地电磁测深法或可控源音频大地电磁测深法的点距宜为 5~10m。探地雷达宜采用点测，测点间距宜为 0.2m。CT 激发点距和接收点距宜为 0.5~2.0m。
- 6 孔间 CT 应采用两边观测系统，宜以定点扇形扫描方式为主，水平同步和斜同步观测为辅。
- 7 高密度电法应根据装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等确定点距和测线的重叠长度，最深层对应的供电电极距应大于要求探测深度的 6 倍。
- 8 音频大地电磁测深法或可控源音频大地电磁测深法的电通道应采用不极化电极，当测点为高阻裸露岩石时，宜用泥土掩埋电极及浇水等降阻措施。电偶极子布置应平行于测线，方向误差应小于 5°；磁偶极子应选在地势平坦、相对干燥处，轴线方向应垂直大地，角度误差应小于 5°。
- 9 瞬变电磁法应通过现场试验确定时间窗口，宜根据岩溶类型、发育深度及规模选用重叠回线、中心回线、大定源回线、偶极等装置。
- 10 探地雷达应现场测试地层电磁波速度。

11 井温测井应在停钻 12h 后、其他测井方法之前进行，测试前不应扰动井液；测试应在探管温度与开始测量位置环境温度一致后进行，采样间距不宜大于 20mm。电阻率测井、自然电位测井应采用连续测试方式，采样间距不应大于 10mm。超声成像测井测点距或深度比例尺应根据测区岩层倾角大小、被探测目标体规模和钻孔倾斜状态进行选择，应使观测精度达到计算其倾角的要求。

5.7.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 电剖面法、瞬变电磁法、电磁波 CT 法、音频大地电磁测深法等资料宜根据未充填型岩溶洞穴呈现高电阻、高吸收的异常特征和充填型岩溶洞穴呈现低电阻、高吸收的异常特征进行解释。

2 地震折射波法、声波 CT 法、地震波 CT 法资料宜根据岩溶洞穴的低波速、穿透能量较弱的特点进行解释。

3 地震反射波法资料宜根据岩溶洞穴顶部产生的强反射特征、探地雷达资料宜根据岩溶洞穴的双曲线反射特征，确定岩溶的分布、规模和顶板埋深。

4 宜对比电磁波和弹性波资料的异常差异，解释岩溶洞穴充填情况，也可根据激电参数异常判断充填物性质。

5 测井资料宜根据岩溶在温度、电性、波速、密度及钻孔摄像图像上的特点进行解释。

6 宜根据温度、电性、波速、密度特征及钻孔全景数字成像图的特点，解释岩溶发育情况。

7 温度测井资料宜根据水温变化幅度、范围进行解释。

8 岩溶洞穴的连通、延伸方向和范围应通过测区内各个剖面间异常的位置并结合水文地质资料进行推断解释。

5.7.5 成果与评价应符合下列规定：

1 图件除应符合 3.8.4 条的规定外还应包括岩溶的平面分布图。

2 当洞穴规模大于孔距的 1/10 时，孔间 CT 探测的有效率

不低于 90%。

3 当覆盖层较薄、洞穴规模大于埋深的 1/10 时，地表探测的有效率不低于 70%。

5.8 库坝渗漏探测

5.8.1 探测内容宜包括渗漏出水口与库水的连通情况，入水口、出水口、裂隙、破碎带、砂层、溶蚀溶洞等渗漏缺陷的规模、位置与埋深。

5.8.2 方法选择应符合下列规定：

1 探测时宜先进行普查，可选用高密度电法、充电法、磁电阻率法、激发极化法、伪随机流场法、瞬变电磁法、自然电场法、探地雷达、地震反射波法。然后根据普查资料确定主要异常区域进行详查，可选用电磁波 CT 法、声波 CT 法、地震波 CT 法、水下摄像、地球物理测井等。

2 库坝存在多个入水口或出水口时，宜选用充电法、磁电阻率法、伪随机流场法，应在各入水口、出水口分别通电探测。

3 土石坝、库区渗漏宜选用自然电场法、磁电阻率法、充电法、高密度电法、瞬变电磁法、面波法等进行探测。

4 混凝土坝渗漏宜选用伪随机流场法、探地雷达、水下摄像、电磁波 CT 法、声波 CT 法、地震波 CT 法、磁电阻率法等进行探测。

5 库坝渗水量在某一水位附近变化较大时，宜在库区高水位、低水位采用时移探测法。

5.8.3 现场工作应符合下列规定：

1 探测前应调查和记录库坝水文地质资料、历次渗漏出险情况等。

2 探测宜采用多条平行测线，测线方向宜沿坝轴线、帷幕及垂直潜在的渗漏通道方向，测区布置应大于预估渗漏范围，探测深度应大于预估渗漏深度。

3 伪随机流场法应在渗漏入水口布置测网，线距宜为 1~

5m, 点距宜为 0.5~1.0m。

4 磁电阻率法可选用直流电或交流电工作, 采用交流电工作时供电频率宜小于 500Hz, 供电电缆应远离测区, 宜选择三分量磁力仪测量。

5 充电法无穷远极宜布设在垂直潜在渗漏通道的走向方向上, 应大于测区对角线长度 2 倍及大于 1km, 可选择梯度或电位测量。

6 自然电场法无穷远极宜布设在垂直库坝方向上, 两电极间距应大于测量范围长度的 3~5 倍, 可选择梯度或电位测量, 线距宜为 1~5m, 点距宜为 0.5~1.0m。

7 高密度电法电极距宜为 1~5m, 宜选用对称四极、偶极、三极等装置。

8 瞬变电磁法宜在库坝迎水面、背水面、渗漏管涌进出口布置测线网, 测点间距宜为 1~2m, 宜选用中心回线、重叠回线装置。

9 钻孔 CT 测线宜布置在防渗墙、帷幕的中心线上。

10 水下摄像宜选择水流相对平静、水质较清时进行探测。探测范围较大时, 宜先采用声呐法, 再采用水下摄像。

11 库水电阻率相对较高、渗漏通道相对集中时, 宜采用投盐示踪法。

12 验证钻孔应结合防渗施工设计布置, 宜进行地球物理测井和钻孔 CT。

5.8.4 资料整理与解释应符合下列规定:

1 宜先建立入水点和出水点的关系, 确定渗漏途径。

2 渗漏异常应为探测成果中的低电阻率、低波速、自然电位异常变化和磁异常变化。

3 应结合水文地质测绘、钻探资料、监测资料, 推测渗漏规模、位置和深度。

4 时移探测应对比分析同一剖面、同一探测方法的异常位置、幅值的变化。

5 磁电阻率法应利用实测磁场与理论磁场分布成果进行比值,得到比率响应图,判断渗漏集中区和渗漏路径水平走势。通过反演处理,得到地下介质的电流分布特性,判断渗漏优势路径的三维分布情况。

5.8.5 成果应符合下列规定:

1 图件除应符合 3.8.4 条的规定外,还宜包括渗漏通道的平面成果图。

2 探测的主要成果图件应标注各渗漏通道规模和空间分布位置。

5.9 地下水探测

5.9.1 探测内容宜包括地下水位、地下水富集情况、地下水流速流向,地下水污染调查、水库污水环境调查,划分含水层和隔水层。

5.9.2 方法选择宜符合下列规定:

1 探测地下水的水位和富集情况宜选择电测深法、激发极化法、高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、地震反射波法、地震折射波法、地球物理测井和磁电阻率法。

2 探测隔水层分布可选用高密度电法、音频大地电磁测深法、可控源音频大地电磁测深法、地球物理测井、磁电阻率法。

3 探测地下水流速流向、渗透速度可选用自然电场法、充电法、扩散法等。

4 探测地下污水分布范围可选用高密度电法、激发极化法、磁电阻率法。

5 探测水库周边污水排入、渗流位置可选用激发极化法、高密度电法、磁电阻率法。

6 测试地下污水渗流方向和速度可选择自然电场法。

5.9.3 现场工作应符合下列规定:

1 探测覆盖层中的富水层、污染带应以探测砂砾石层为目

标层，探测基岩中的富水带、污染带应以探测断层破碎带为目的。

2 在水库邻谷分水岭探测地下水宜沿分水岭及两侧布置横测线，埡口渗漏探测地下水应布置多条测线，线距宜为 10~50m。

3 探测隔水层分布可沿渗流方向布置测线。

4 探测砂砾石含水层宜布置测网。

5 探测断层破碎带地下水潜水面应在破碎带较宽的位置布置测线。

6 利用钻孔进行自然电场法、充电法探测时，应以钻孔为中心布置放射状测网。

7 水库污水环境调查应以污染源、入库点为中心布置发散状测网，线距宜为 10~20m。

8 地面测试污水渗流方向和速度，应以污染源或中间出露点或入库点为中心布置测网进行追踪。

9 采用充电法进行水库污水环境调查的充电电极应沉入污染水体以下一定深度，扩散钻孔应布置在测试异常或地质推测位置，选择合适的观测时间间隔。

10 地震勘探的道间距宜为 5~10m，高密度电法的电极距宜为 2~5m，自然电场法和充电法点距宜为 5~10m，音频大地电磁测深法的点距宜为 10~20m，瞬变电磁法和磁电阻率法点距宜为 5~20m。

5.9.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 应结合水文地质测绘、钻探等资料，绘出探测区内典型含水层的地质物性剖面或典型曲线图。

2 激发极化法、电测深法、高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁测深法应先反演绘制激电和电阻率剖面图，分析覆盖层或岩层中的激电和电阻率异常层位，进行地质解释，估算富水程度和埋藏深度。

3 自然电场法、充电法资料应解释计算含水层和隔水层的深度、厚度、地下水位、流速流向、渗透速度。

4 磁电阻率法应利用实测磁场分布图和预测磁场分布图生成磁场强度比率响应图，通过反演得到地下介质的电流分布特性，用于判断地下水的分布情况、含水层和隔水层的深度、厚度等。

5 地球物理测井应分析不同层位地下水的渗移或补充情况。

6 采用电法勘探、地震勘探探测含水目标层应解释计算含水目标层的平面位置、范围、埋深，采用电测深法和激发极化法应解释地下潜水面的位置、富水情况。

7 应依据含水层和隔水层的物性差异解释含水层和隔水层的空间分布、层厚、连续性、潜水面深度，计算透水层和隔水层的相关水文地质参数。

5.9.5 成果与评价应符合下列规定：

1 探测地下水的水位和富集情况应在成果图上标出解释推断的地下水位、富水带、渗漏带等。

2 探测隔水层分布应标出含水层和隔水层的空间分布及层厚。

3 调查水库污水环境应圈定地下水的污染范围。

4 地面探测含水目标层厚度和深度、潜水面深度的相对误差应小于 20%。

5.10 防渗帷幕线探测

5.10.1 探测内容宜包括覆盖层厚度、岩溶洞穴、断层破碎带、裂隙透水带、透水地层和相对隔水地层空间分布等。

5.10.2 方法选择应符合下列规定：

1 防渗帷幕线探测方法选择宜结合现场条件进行，可选用电测深法、高密度电法、可控源音频大地电磁测深法、音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、磁电阻率法，地震反射波法、孔间电磁波 CT 法、声波 CT 法、地震波 CT 法，单孔声波法、钻孔全景数字成像和钻孔摄像等。

2 施工阶段方法选择应符合下列规定：

- 1) 可溶岩地层应选用孔间电磁波 CT 法。
- 2) 非可溶岩地层应选用孔间声波 CT 法、地震波 CT 法。
- 3) 先导孔宜进行单孔声波法、钻孔全景数字成像测试。

5.10.3 现场工作应符合下列规定：

1 前期勘察设计阶段应符合以下规定：

- 1) 应沿大坝和厂房的防渗线布置测网，地质条件复杂地段宜在防渗线上下游增加测线。
- 2) 应沿水库构造切口位置防渗线及其上下侧布置 3 条平行测线。
- 3) 探测透水地层和相对隔水地层空间分布时，应在相应防渗段布置少量垂直地层走向的测线。
- 4) 高密度电法电极距宜为 2~5m，可控源音频大地电磁测深法、音频大地电磁测深法的点距宜为 10~20m，瞬变电磁法点距宜为 5~10m，地震反射波法的道间距宜为 2~5m，钻孔 CT 激发接收点距宜为 0.5~2.0m。

2 施工阶段应符合以下规定：

- 1) 物探测试孔应布置在帷幕中心线上，钻孔 CT 孔距宜为 10~30m，点距宜为 0.5~1.0m。
- 2) 物探孔深度应大于灌浆孔深 5m 和深入设计帷幕下限 5m。
- 3) 钻孔全景数字成像测试时，宜同时进行钻孔摄像。

5.10.4 资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 应解释防渗线上渗漏隐患的性质、位置和规模。
- 2 地震反射波法应构制反射界面，分析反射层和岩层中的反射异常，解释覆盖层、断层破碎带、溶洞等的分布情况。
- 3 可控源音频大地电磁测深法、音频大地电磁测深法和高密度电法应反演绘制电阻率剖面，分析电阻率异常特征，解释覆盖层、断层破碎带、溶洞、低阻低速地层分布情况。
- 4 瞬变电磁法的数据预处理应包括数据校正、跳点平滑，

资料处理应包括感应电压、视时间常数曲线数据预处理和视电阻率、视纵向电导反演处理。

5 高密度电法宜抽取几组符合电测深条件的数据进行电测深数据处理和分层解释,可根据电测深数据分析和解释方法对视电阻率断面进行定性和半定量解释。

6 钻孔 CT 应根据反演断面图像,分析异常特征,解释断层破碎带、溶洞、透水裂隙带、低阻低速地层分布情况。

7 应将相邻 CT 剖面进行连接,整理和分析 CT 图像,进行地质解译。

8 应统计钻孔全景图像的张开裂隙的分布信息、地下水位,结合单孔声波资料分析岩层透水情况。

9 应依据洞穴、断层破碎带、裂隙透水带等渗漏隐患和透水地层的电阻率、波速、吸收系数等特点进行解释。

10 可综合相邻剖面的异常分布关系或岩溶水文地质资料,分析防渗线渗透特性。

11 可根据渗漏隐患、渗漏地层和相对隔水地层的分布情况,提出防渗深度及防渗范围的分布。

5.10.5 成果与评价应符合下列规定:

1 成果图宜包括剖面图、单孔声波测试成果图、钻孔全景数字成像展开图和钻孔摄像视频。

2 同一剖面的多组 CT 剖面宜拼接成一幅成果剖面图。

3 当洞穴规模大于孔距的 1/10 时,孔间 CT 探测的有效率应不低于 90%。

4 当覆盖层较薄、洞穴规模大于埋深的 1/10 时,地表探测的有效率应不低于 70%。

5.11 堤防隐患探测

5.11.1 探测内容宜包括堤防洞穴、裂缝、松软层(含松软堤段和堤基)、高含砂层(含砂质堤段)、堤顶道路及护坡脱空、古河道、老口门、渗漏、管涌等。

5.11.2 方法选择应符合下列规定：

1 应根据地质、地球物理条件和任务要求选用一种或多种物探方法进行探测。

2 探测堤防浸润线以上的洞穴、裂缝、松散体和高含砂层宜选用面波法、电测深法、电剖面法、高密度电法、激发极化法、探地雷达等。探测堤防浸润线以下的洞穴、松散体、裂缝宜选用面波法、瞬变电磁法。

3 探测堤顶道路及护坡脱空区可采用探地雷达。

4 探测古河道、老口门及堤基隐患可采用高密度电法、面波法。

5 探测堤防浸润线以下的渗漏、管涌等隐患宜选用充电法、自然电场法、磁电阻率法、伪随机流场法，有钻孔可利用时还可采用井温测井。

5.11.3 现场工作应符合下列规定：

1 当堤顶宽度不大于 4m 时宜沿堤顶中线或迎水面堤肩布置一条顺堤测线，当堤顶宽度大于 4m 时宜沿迎水面和背水面堤肩各布置一条顺堤测线。根据追踪隐患分布的需要，在堤坡、堤脚处，或垂直堤身轴线布置测线。

2 当顺堤布置测线时，应根据堤防桩号（管理桩上标注的桩号），辅以皮尺或测绳进行定位，当堤防桩号与实测桩号之差大于 1m 时，应以实测桩号为准，在报告中予以标注和说明。没有管理桩的堤防，需要先埋设管理桩，或者和管理部门协商后采用相对桩号，然后进行探测工作。

3 电剖面法及高密度电法电极应布置在一条直线上，弯曲堤段应分段探测。遇障碍物时，电极应垂直于测线方向并对准量具刻度挪动，挪动距离不应大于电极距的 5%。当只能沿测线方向挪动时，挪动距离不应大于电极距的 1%，否则应按实际极距计算。

4 电剖面法测点距宜为 2m， \overline{MN} 应等于测点距。采用对称四极剖面法探测时， $\overline{AB}/2$ 宜为堤身高度的 1~3 倍。采用中间

梯度法探测时， \overline{AB} 宜为堤身高度的 3~5 倍。

5 高密度电法电极距应等于测点距，不宜大于 2m。探测过程中 \overline{MN} 应保持不变，等于 1 个电极距。探测深度应达到堤基线以下 4m。

6 瞬变电磁法测点距不宜大于 2m。探测大范围松散体、砂层等隐患宜选用重叠回线装置；探测渗漏通道和小范围松散体、砂层等隐患宜选用中心回线装置。

7 探地雷达点距宜为 0.1~0.5m。

8 面波法测点距宜为 2~20m，重点异常或异常目标体较小堤段可适当加密。

9 磁电阻率法点距宜为 5~10m，测区可覆盖堤防表面与近水面，重点异常或异常目标体较小堤段可适当加密。

5.11.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 分析探测资料，确定解释原则应结合堤防的历史沿革、加固情况、汛期险情、防汛水位和探测班报等资料进行。

2 电剖面法应根据探测资料将探测段划分为若干电阻率范围较为接近的段，确定每段堤身视电阻率背景值。背景值的选取，宜根据视电阻率曲线平稳程度，采用数理统计方法进行。未圆滑的曲线，有效异常幅度，取背景值的 30%；圆滑过的曲线，取背景值的 20%；背景值平稳的堤段，宜降低 5%~10%。

3 高密度电法除应符合电剖面法的规定外，还应绘制高密度视电阻率色谱图（灰度图、等值线图）。有条件时，也可经处理和反演绘制相应剖面的视电阻率图像。

4 磁电阻率法应对反演得到的地下三维电流分布模型进行不同高程切片处理，获取堤防隐患的高程与分布情况。

5 宜根据隐患的分布情况、背景值、图像特征等，将所探测堤防进行分类，分为正常段、隐患相对发育段和隐患发育段。

5.11.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图表宜包括各类曲线图、剖面图、断面图、隐患分布图、综合成果图，及隐患探测成果表、堤身质量分类表等。

2 探测的主要成果图件应标注各类隐患的性质和空间分布位置。

3 隐患性质判断的准确率应大于 70%，隐患平面位置绝对误差应小于 2m。埋深相对误差应小于 20%，且应小于 2m。

5.12 隧洞施工物探超前地质预报

5.12.1 预报内容宜包括施工掌子面前方断层破碎带、软弱夹层、岩溶洞穴、地下水富集区、岩性分界面等。

5.12.2 方法选择应符合下列规定：

1 应按洞内与洞外相结合，长距离、中距离、短距离预报相结合，不同物性参数相结合，预报与验证相结合的原则布置工作，物探预报方法不宜少于 2 种。

2 按照预报距离，长距离预报时宜采用地震波法，中距离预报时宜采用地震波法、瞬变电磁法等，短距离预报时宜采用探地雷达、聚焦电法等。

3 地震波法主要用于获取岩体的波速、密度等参数，电磁法、电法主要用于获取岩体的电磁波响应特征、视电阻率等参数。

4 探测断层破碎带应根据预报方法特点、断层结构特征、隧洞施工工艺等选择预报方法，宜以地震波法、瞬变电磁法、探地雷达为主，其他方法为辅。

5 探测岩溶洞穴应根据预报方法特点、岩溶水文地质特征、隧洞施工工艺等选择预报方法，宜以地震波法、探地雷达、聚焦电法为主，其他方法为辅。

6 探测地下水富集区宜选用聚焦电法、瞬变电磁法等。

7 岩性分界面探测应根据预报方法特点、地层与构造特征、隧洞施工工艺等选择预报方法，宜以地震波法、探地雷达为主，其他方法为辅。

8 工程地质和水文地质条件复杂的隧洞，应开展综合物探超前地质预报工作，选用的方法技术应兼顾不同探测距离和不同

物性参数。

5.12.3 现场工作应符合下列规定：

1 预报工作时间应根据施工现场情况而定，钻爆法施工洞段宜在拱架立好后开展预报工作，无需立拱架的洞段应进行掌子面拱顶排险后开展预报工作。

2 TBM 施工洞段宜在 TBM 停机检修期间开展预报工作，随钻预报技术可以根据工作需要在合适的时候进行预报数据采集。

3 地震波法预报时应停止周围 300m 范围内一切施工振动干扰，应根据施工环境（钻爆法施工或 TBM 施工）、现场工作条件和所选仪器型号合理布置观测系统、安装检波器，连续预报时前后两次预报重合洞段宜大于 10m。

4 探地雷达预报宜使用 80~130MHz 的屏蔽天线，沿掌子面布置测线数不宜少于 2 条，可根据掌子面尺寸和地质条件增加测线数量，必要时应在洞壁、底板、拱顶等位置布置测线，连续预报时前后两次预报重合洞段宜大于 5m。

5 聚焦电法应根据施工环境（钻爆法施工或 TBM 施工）、现场工作条件和探测要求选择电阻率法或激发极化法，按照聚焦测深装置布置观测系统，连续预报时前后两次预报重合洞段宜大于 5m。

6 瞬变电磁法预报时不应有金属、磁性物质接近线框，应根据掌子面尺寸、现场工作条件和探测要求布置观测系统，掌子面水平测点间距宜为 0.5~1.0m，扇形扫描角度间隔宜为 15°，连续预报时前后两次预报重合洞段宜大于 10m。

7 物探超前地质预报工作应根据勘察设计要求、现场地质条件、风险类型等因素合理制定方案，针对隧洞施工现场实际情况选用合适的预报方法，采集参数及工作布置方式。

5.12.4 资料整理与解释应符合以下规定：

1 每次现场预报工作结束后应及时处理各种预报方法的原始资料，分析整理预报成果及时上报。

2 预报原始数据应保证真实性与合规性、数据质量应满足技术规范要求，由于测试现场人为因素造成的原始数据不合格，应进行重测。

3 地震波法预报应根据反演得到的纵波视速度、横波视速度、动泊松比等参数判断掌子面前方一定范围的地质情况，推测断层、破碎带等不良地质体性状及位置，分析围岩完整程度，预测掌子面前方围岩类别。

4 探地雷达预报应根据波形图上反射波的相位正负向和连续性、振幅强度、频率等特征，判断掌子面前方一定范围的地质情况，推测岩溶洞穴、断层破碎带、软弱夹层、含水裂隙等不良地质体性状及位置。

5 聚焦电法预报应根据反演得到的电阻率、半衰时等参数判断掌子面前方一定范围的地质情况，推测溶洞、暗河等含水构造或地下水富集区的规模、位置及富水情况。

6 瞬变电磁法预报应根据反演得到的视电阻率等参数判断掌子面前方一定范围的地质情况，推测断层破碎带、地下水富集区等不良地质体性状、位置及富水情况。

7 如果同一洞段开展了综合物探超前地质预报工作，应首先对各种物探超前地质预报方法的资料单独进行处理与分析，然后结合各种物探方法获取的岩体物性参数分布特征进行物探资料的综合分析与解释，提高物探超前地质预报的预报精度。

5.12.5 成果应符合以下规定：

1 预报成果应以物探资料为主，结合工程地质资料、水文地质资料、变形监测、有害气体监测等资料进行综合分析，隧洞开挖以后应及时将预报成果与开挖实际进行对比。

2 成果宜包括观测系统或测线布置图、成果图以及预报结论与施工建议等。

3 地震波法预报成果宜包括纵波视速度、横波视速度、动泊松比等岩石力学参数分布图及偏移成像图等。

4 瞬变电磁法预报成果宜包括视电阻率分布图。

- 5 探地雷达预报成果宜包括雷达波形图/伪色彩图。
- 6 聚焦电法预报成果宜包括电阻率二维/三维成果图、半衰时曲线图。

5.13 水库淤积探测

5.13.1 探测内容宜包括水库库区淤积范围和分布形态。

5.13.2 方法选择宜符合下列规定：

- 1 探测水库库区淤积范围和分布形态宜采用水域地层剖面探测、水域多道地震勘探、电测深法、高密度电法。

- 2 淤积层较厚、砂质含量高时，宜选用水域多道地震勘探、高密度电法。

- 3 淤积层较薄，砂质含量低或不含砂时，宜选用水域地层剖面探测。

- 4 采用高密度电法时水深不宜超过 10m。

5.13.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 测线应覆盖全部探测水域，宜设计成网状或横河布置，线距宜小于 50m。

- 2 探测过程中宜采用差分全球导航卫星系统（DGNSS）进行导航定位，当水域宽度较窄时也可选用其他定位测量方法。

5.13.4 资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 应先进行导航定位数据的编辑和校准，风浪较大时应进行波浪校正。

- 2 应根据钻孔层位对比、地球物理测井或其他测量方法获取的实际地层资料进行时深转换。

5.13.5 成果应符合下列规定：

- 1 成果图宜包括测线平面布置图、航迹图、淤积厚度剖面解释图、淤积厚度平面分布图、淤积分布三维图等。

- 2 成果图中宜包括水底地形线、淤积层界面、库区淤积范围边界、岩性，取样或有钻孔时宜包括取样位置、钻孔位置及其柱状图和测试结果等。

3 应分析水库淤积分布在库区纵向和横向的分布形态。

4 应根据全部测线的探测成果，采用三角网法或专用分析软件计算探测区域的淤积量。

5.14 地下管线探测

5.14.1 探测内容宜包括地下管线位置、属性和连接关系。

5.14.2 方法选择应符合下列规定：

1 对于能实地调查的明显管线点，宜采用开井等直接方法调查。

2 对于隐蔽管线点，宜在收集资料的前提下采用地球物理方法探测。

3 采用电磁感应法应符合下列规定：

1) 导电性较好的管线或电缆线探测宜采用电磁感应法。

2) 有出入口的导电性较差管道探测可采用示踪电磁法。

3) 管线出露点具备良好的导电性且接地条件良好宜采用直接法。

4) 电磁场干扰相对较小的地下电力电缆探测可采用工频法或甚低频法。

4 采用直流电阻率法探测应符合下列规定：

1) 采用直流电阻率法时，除应符合 4.2.2 条的规定外，现场应具备良好的电极接地条件，目标管线上方应无极高阻屏蔽。

2) 直流电阻率法探测管线时，其埋深与管径比不宜大于 5 : 1。

5 采用探地雷达除应满足 4.4.2 条的规定外，探查金属管线时，埋深不宜超过 2m，探测非金属管道时，埋深不宜超过 3m 且埋深与管径比不宜大于 5 : 1。

6 采用侧扫声呐和水域地层剖面探测，除应满足 4.6.2 条和符合 GB/T 12763.10 的规定外，采用侧扫声呐探测水下管线时水深不应小于 2m。

5.14.3 现场工作应符合下列规定：

1 探查工作宜在管线权属单位提供资料的基础上进行，地下管线探查宜采取开井调查与地球物理探测相结合的方式。

2 采用感应法时，发射机和接收机应顺管线走向放置，应通过不断改变和平行移动来确定管线位置。收发距不宜小于5m，所探测的目标管线长度应远大于其埋深。

3 采用直流电阻率法、探地雷达和地震反射波法探测时，测线应垂直管线走向布置。

4 采用探地雷达探测地下管线时，应根据目标管线的材质、规格和探测环境，合理选用工作参数，工作频率不宜高于200MHz。采样率不宜小于天线中线频率的6倍，确保波形完整。根据探测深度及管径要求，可采用点测和连续测量，使用点测测量时，点距不应大于管径的1/2。

5 区分两种或两条以上平行金属管线时，应首先采用直接法或夹钳法。不具备采用直接法或夹钳法的条件时，可采用感应法，应通过改变发射装置的位置和状态以及发射的频率和功率，分析电磁异常的强度和宽度等变化特征加以区分。

6 在盲区探测金属管线时，宜采用感应法或工频法进行搜索，搜索可采取平行搜索法或圆形搜索法，发现信号异常后应进行追踪。

7 采用水域地层剖面探测探查水下管线时，应符合下列规定：

- 1) 水听器和全球导航卫星系统 GNSS 应尽量采用支架安装于船侧靠中间位置，水听器应安装于水下约 1m 或超过船体龙骨深度，GNSS 导航应安装于水听器正上方。
- 2) 采用拖曳式工作方式时，声源和水听器阵应拖曳于船行驶产生的尾流影响范围外且平行列置，水听器阵应稳定拖浮在水面以下 1m，记录水面以下深度。
- 3) 测线应垂直管线可能的走向布置，接近探测目标管线

时，应适当降低航速，水深变化较大时，应及时调整记录仪的量程及延时。

4) 在风浪较大情况下，应使用涌浪补偿器或数字涌浪滤波处理方法进行滤波处理。

8 采用水域磁法探查管线时，宜观测多个磁分量，在水域时宜在静水中测量，在海域工作时宜在平潮中进行。测线应垂直管线可能的走向布置，测量船应保持稳定的低航速和航向，避免停船和倒船，探头离水底的高度应在 10m 以内（探测海底光缆等弱磁性管线时，应贴近海底至 5m 以内），水底起伏较大的海域，探头距水底的高度可适当增大。

9 采用侧扫声呐、水域地层剖面探测和水域磁法时，应保证探测记录的完整性，漏测或记录无法正确判读时，应进行补测。对现场记录剖面图像初步分析发现可疑目标时，应布设补充测线以确定其性质。

10 地下管线深度和位置能现场确定时，应在现场做好管线点平面位置和编号，记录管线点的深度。对于不能现场定位置和埋深的，应现场标记管线点编号。

11 为避免钻孔或开挖破坏管线，探测时应加密测点，适当扩大探测范围，应要求相关管线权属单位到场指认。

5.14.4 资料整理与解释应符合下列规定：

1 采用地球物理方法探测地下管线时，资料整理与解释应符合本规程的相关规定。

2 应以收集到的管线资料和现场开盖检查相结合的方式确定管线属性。

5.14.5 成果与评价应符合下列规定：

1 管线普查阶段，成果图宜包括工程红线范围内重要管线的平面分布图，应对管线种类及权属单位进行说明。工程性质属于比较选址的，应分别对不同方案或线路的管线种类、数量进行说明。

2 管线详查阶段，成果主要有地下管线成果图和管线成果

表，对于重要管线应提交管线横剖面图，成果报告中应包括不明管线和重要管线的分析内容和开挖等注意事项。

3 明显管线点埋深误差不应大于 25mm，隐蔽管线点的平面位置误差不应大于 $0.05h$ 、埋深误差不应大于 $0.075h$ ，其中 h 为管线中心埋深，单位为 mm，当 $h < 1000\text{mm}$ 时，以 1000mm 计算。

行业标

6 检测与监测

6.1 一般规定

- 6.1.1 物探检测与监测应根据任务要求选择相应的物探检测与监测方法，检测与监测条件较好时可布置一种方法，检测与监测条件复杂时可布置多种方法，物探方法检测、监测应用宜参照附录 A。
- 6.1.2 物探检测抽样数量或检测工作布置应合理，检测孔、洞应综合利用，测网和测点间距应与检测精度要求相符。
- 6.1.3 同一检测任务宜考虑一种物探检测方法兼顾多个检测参数。
- 6.1.4 当条件允许时，宜在检测工作前或工作后布置一定数量的检测参数孔或验证孔。
- 6.1.5 物探检测与监测成果应数据准确、标准明确、结果合理。

6.2 岩体质量检测

- 6.2.1 检测内容宜包括建基岩体质量分级，探测建基岩体松弛层厚度和不良地质体的空间分布，确定可利用岩体的高程，评价和复核已开挖的建基岩体质量等，检测范围应涵盖枢纽区建筑地基和边坡开挖岩体、地下洞室围岩等。
- 6.2.2 方法选择应符合下列规定：
- 1 建基岩体的孔中检测可采用单孔声波法、穿透声波法、钻孔全景数字成像、钻孔 CT、钻孔弹模法等。
 - 2 当开挖到位全面清基后，建基面检测可采用表面地震波、地震折射波法和探地雷达等。
 - 3 建基岩体中的地质缺陷检测宜选用探地雷达、钻孔全景数字成像、弹性波 CT 法或电磁波 CT 法、弹性波测试等。
 - 4 岩体变形模量或弹性模量应采用钻孔弹模法测试。

5 岩体松弛层厚度、爆破影响层厚度检测宜选用单孔声波法、穿透声波法、钻孔全景数字成像和地震折射波法。

6 洞室岩柱岩体质量检测宜采用声波 CT 法、地震波 CT 法。

7 边坡岩体卸荷松弛检测宜选用单孔声波法、钻孔全景数字成像，具备条件时可选用声波 CT 法和地震波 CT 法。

8 已建水工建筑物基础岩体检测宜选用单孔声波法、穿透声波法、钻孔弹模法、钻孔 CT 法、钻孔全景数字成像、探地雷达等。

6.2.3 现场工作应符合下列规定：

1 检测前应根据坝型、工程部位、地质情况、施工进度将需检测的建基区域划分为多个检测单元。

2 应在设计开挖基础面按“重点控制、全面覆盖”的原则系统布置检测孔，检测孔可按检测单元布置，孔距宜为 2~5m、孔深宜深入设计要求检测下限 5m，重要及地质条件复杂部位适当加密。

3 所有检测孔应进行单孔声波法测试，地质构造较复杂的区段、建筑物轴线或重要部位应布置钻孔全景数字成像、穿透声波法或声波 CT 法、地震波 CT 法检测剖面，坝基受力影响段应进行钻孔变形模量或弹性模量测试，应与钻孔全景数字成像对应布置，单孔声波法、穿透声波法、钻孔全景数字成像等测试孔比例宜为 2 : 1 : 1。

4 表面地震波法、探地雷达测线应通过检测孔，地震波测试检波点距宜为 1~2m，探地雷达测试宜采用点测法，点距宜为 0.2m。

5 地应力较高、建基岩体卸荷松弛随时间变化较大或施工周期长的区域，应布置长期观测孔，按设计要求的时间间隔及期限采用单孔声波法、钻孔全景数字成像等方法进行长期观测。

6 爆破松弛层厚度检测孔每 100m² 不应少于 1.5 个孔，每个检测单元不应少于 3 个孔。检测孔宜充分利用其他钻孔，孔距

宜为 2~5m，孔深根据松弛性质及可能的松弛深度确定，应进入未扰动基岩 5m 以上。检测可在开挖过程中进行，应在爆前和爆后分别在相同孔位开展单孔声波法和穿透声波法对比检测，爆前爆后均应对检测孔进行测量定位，统一孔深及起始点。

7 断层、裂隙密集带、岩溶等发育坝段应沿检测测线和钻孔布置探地雷达和声波 CT 法、地震波 CT 法或电磁波 CT 法。

8 地下洞室间的岩柱可进行声波 CT 法、地震波 CT 法测试，观测方式应为四边观测系统，扫描点距宜为 1~2m。

9 边坡卸荷松弛厚度检测可利用锚索孔进行单孔声波法和钻孔全景数字成像检测，检测孔应布置成下斜孔且应平直深入未扰动基岩 5m 以上，边坡岩体完整性较差时应安排部分地质钻孔作检测孔。对于大型边坡，可利用勘探平洞及其他隧洞进行地震波测试或“洞-洞”“洞-地表”地震波 CT 法测试。在一些特殊部位，可根据设计要求布置长期观测孔进行单孔声波和钻孔全景数字成像检测。

10 宜选择岩体质量具有代表性的钻孔或孔段，进行声波速度与孔内变形模量原位对比试验，结合现场载荷试验资料建立声波速度与变形模量相关关系，确定岩体质量的波速控制标准。

6.2.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应由设计、监理和检测单位依据设计要求、建基岩体的地质情况共同确定可利用岩体的波速判别标准。

2 应通过对比同一位置爆破前后声波速度曲线的变化情况或根据爆后声波速度曲线浅部孔段速度的变化梯度，结合其他检测结果分析确定施工爆破所致松弛层厚度。应对比分析单孔声波和穿透声波速度曲线的形态和变化特征，分析岩体质量在垂直和水平方向的变化情况，确定松弛岩体或不良地质体的空间分布、规模，计算各类岩体的完整性系数、弹性（变形）模量及声波速度的各向异性系数，分析岩体质量的变化与地层岩性、结构构造、风化卸荷等因素的关系。

3 表面地震波法应计算相应的地震波速度，也可计算建基

岩体的动力学参数。有单孔声波或穿透声波资料时应给出不同测试方向下声波速度和地震波速度的对应关系。

4 地震折射波法应进行分层解释、计算松弛层厚度，计算松弛层和原状岩体的地震波速度、各向异性系数和完整性系数。与单孔声波或穿透声波资料对比分析，应综合分析确定松弛层厚度及分布，分析声波、地震波速度的对应关系及各自影响因素。

5 声波 CT 法、地震波 CT 法应依据波速分布分析确定岩体质量分布，给出地质构造破碎带、裂隙密集带、软弱夹层、岩溶等不良地质体在 CT 剖面内的形态和延伸规模。

6 应按施工单元、深度和水平范围对速度值进行综合统计分析，计算设计建基岩体波速达标率，圈定未达标岩体的分布范围，提出优化调整建基面高程的建议。应明确指出设计建基面以下局部未达标的岩体的空间分布位置、形态及规模。

7 应根据钻孔全景数字图像，分析裂隙产状和性状，进行优势产状统计、结构面分组，结合其他资料评价岩体完整程度，主要对影响坝基稳定的不良地质体如破碎带、泥化夹层、缓倾角裂隙等进行重点分析。

8 应将各试验点的岩体变形模量与岩体质量级别进行相关或归纳分析，当变形模量数据达到一定数量且呈序列变化时，应建立变形模量与声速的关系曲线或经验公式。

9 探地雷达应给出设计建基面以下一定范围内构造破碎带或裂隙密集带、岩溶等不良地质体的分布范围和视产状、形态、规模。

10 长期观测孔应按时间序列绘制历次检测的声速曲线和钻孔全景数字成像检测成果图表，确定不同时限内岩体的松弛深度，分析其变化趋势。

11 边坡松弛检测应绘制每个孔的声波或地震波速度曲线图表，进行地震波 CT 测试应绘制成像区域内岩体波速分布图像。利用钻孔或锚索孔进行单孔声波法和钻孔全景数字成像检测时，应分别绘制每个孔的单孔声波和钻孔全景数字成像检测成果

图表。

6.2.5 成果应符合下列规定：

1 应分单元明确建基岩体波速达标率、给出松弛层厚度、建基面附近岩体质量分级、未达标岩体及不良地质体空间分布情况等，评价设计建基岩体质量，给出建基面高程优化建议或对设计建基岩体进行局部处理建议。

2 应绘制波速曲线图、波速统计分析图表，确定岩体质量在垂直和水平方向的变化情况。应分析岩体质量的变化与地层岩性、地质结构、风化卸荷等因素的关系。

3 应绘制建基面地质缺陷成果图及解释成果地质平面图、剖面图。

4 应绘制声波 CT 法、地震波 CT 法检测图像，给出地质构造在 CT 剖面内的形态和延伸规模。

5 钻孔全景数字成像成果宜包括孔壁展开图像及裂隙、异常分类统计分析图表。

6 应综合分析声波 CT 法、地震波 CT 法速度断面或边坡面上所有检测孔划分的松弛层下限确定边坡松弛界面。

7 应绘制长期观测孔历次观测确定的松弛界面，分析其变化趋势。

6.3 洞室松弛圈检测

6.3.1 检测内容宜包括检测洞壁岩体的松弛厚度，测试松动岩体及未松动岩体的力学参数，了解洞室围岩应力状况。

6.3.2 方法选择应符合下列规定：

1 横剖面应选择单孔声波法测试、钻孔全景数字成像观察。

2 沿洞纵剖面应选择表面地震波法、穿透声波法和面波法。

3 地下洞室群间的岩墙或相邻平硐可采用地震波 CT 法。

4 研究应力释放过程的长期观测孔应采用单孔声波法、钻孔全景数字成像。

6.3.3 现场工作应符合下列规定：

1 应根据洞室地球物理条件和探测任务要求, 选择一个或多个具有代表性的洞段作横剖面或纵剖面测试, 不同岩级、岩性应至少布置一个剖面。

2 横剖面测试的钻孔宜布置在同一剖面且沿洞径方向, 每剖面宜布置 6~8 孔, 分布在洞顶、起拱处(或顶角)、腰墙, 应根据洞室大小确定孔深, 孔深宜为 3~15m, 能够反映原岩应力为准。

3 大跨度、高边墙的洞室可沿岩锚吊车梁底座等重要受力部位的底座布置纵剖面或横剖面的声波测试钻孔, 顶拱和腰部钻孔应加密, 纵剖面可采用地震折射波法和面波法测试。

4 表面地震波法测线应沿洞轴方向布置在洞壁的下腰部, 检波器间距宜为 1~2m, 应布置成排列, 每排列不少于 6 个检波点, 应在排列两端激发。

5 平硐纵剖面测试孔应布置在洞壁的下腰部, 测试孔间应保持平行或共面, 钻孔宜垂直洞轴线, 且下倾 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$, 孔距宜为 1~2m, 孔深不宜小于 2m。穿透声波法应采用收发分离的探头, 每对孔应测试的对穿深度点不少于 3 个。

6 地下洞室群间的岩墙或洞间可采用地震波 CT 法, 应保证激发与接收测线共面, 激发点和接收点宜布置在相近的侧壁下部, 检波器方向应指向激发方向。

6.3.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 单孔声波法和穿透声波法应依据洞室围岩从洞室内表面沿洞径至围岩深处因施工松弛、应力重新分布造成岩体声波速度在洞室二维剖面内呈现规律性分布的特点, 划分松弛圈和应力分布界线。

2 地震折射波法应绘制相遇时距曲线, 计算各层厚度和波速。

3 分析松动层的变化规律时, 应充分考虑岩性、断层破碎带、卸荷裂隙带等因素的影响。

4 钻孔全景数字成像应利用孔壁展开图像进行裂隙分类和

统计，统计出单位深度的裂隙率、孔壁完整程度等情况。

5 面波法应反演计算测试点沿深度方向的面波速度，得出整个剖面的面波速度分布，分析地质资料和各层面波速度的关系。

6 钻孔 CT 应反演出 CT 成果图像，结合地质资料分析每对 CT 成果，划分割面的松动、卸荷岩体范围。

7 长期观测孔的资料应将多次声波测试曲线叠放在一张图上，分段计算波速衰减率。

6.3.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图宜包括剖面图、声波速度曲线图、面波频散曲线图、松弛圈断面曲线展示图及松弛厚度分布图等。

2 长期观测孔成果应绘制波速随时间变化曲线图、波速随时间变化的衰减率图，分析围岩松弛深度的随时间变化和围岩波速降低程度。

3 应依据钻孔全景数字成像及裂隙分类统计表，统计出单位深度的裂隙率、孔壁完整性情况。

4 应依据洞室围岩波速与围岩深度曲线的关系划分应力下降区、应力上升区和原岩应力区。

5 测试松弛层厚度和应力突变位置的相对误差应小于 15%。

6.4 固结灌浆质量检测

6.4.1 检测内容宜包括声波纵波速度、变形模量、裂隙充填率等，检测范围应包括基础岩土体、洞室围岩或边坡岩土体、混凝土体等。

6.4.2 可选用下列方法：

1 地基固结灌浆质量检测可选用单孔声波法、穿透声波法、钻孔全景数字成像、钻孔弹模法、声波 CT 法、地震波 CT 法等。

2 洞室围岩固结灌浆质量检测可选择单孔声波法、钻孔全

景数字成像、钻孔变形模量等。

3 边坡岩体固结灌浆质量检测可选用单孔声波法、钻孔全景数字成像等。

4 覆盖层地基固结灌浆质量检测可选用单孔声波法、穿透声波法、单孔地震波法、穿透地震波法、钻孔全景数字成像等。

5 混凝土灌浆质量检测可选用单孔声波法、穿透声波法、钻孔全景数字成像、声波 CT 法、地震波 CT 法。

6.4.3 现场工作应符合下列规定：

1 试验区的全部钻孔应进行单孔声波法检测，应布置一定数量的全景数字成像检测孔、钻孔变模检测点、穿透声波孔和声波 CT 法、地震波 CT 法剖面。

2 检测孔深度不应小于灌浆孔深度，应进行灌前和灌后检查。

3 检测孔应均匀布置，构造破碎带、裂隙发育、岩溶等条件复杂部位和灌浆异常部位应布置检测孔，检测孔深度不应小于灌浆孔的深度。

4 钻孔偏斜过大、灌浆过程不正常、末序孔注入量大、经资料分析认为可能对灌浆质量有影响的部位应布置检测孔。

5 每单元灌前灌后应分别布置不少于 3 个检测孔，灌前和灌后检测孔数量均不应少于总灌浆施工孔数的 5%。所有检测孔均应进行单孔声波检测，其中穿透声波法、钻孔变模、钻孔全景数字成像检测孔占总检测孔的比例不应少于 60%、20%、60%。

6 灌后检测孔应利用灌浆孔扫孔，灌后弹性波测试宜在灌浆 14d 后进行，钻孔变形模量测试宜在灌浆 28d 后进行。

6.4.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应通过试验区检测资料分析得出各种检测方法检测效果的结论，推荐正式施工阶段的检测方法和评价指标。检测前应整理试验检测资料，与设计人员共同制定每种检测方法的指标和综合评价标准。

2 单孔声波法、穿透声波法、钻孔弹模法应计算每个测点

的声速、变模或弹模。

3 钻孔全景数字成像应分析统计裂隙中结石充填和未充填的数量。

4 应统计 CT 断面内低速区分布,进行灌前测试应分析低速区改善情况。

5 检测资料分析应视具体工程情况,选用灌前和灌后对比分析、灌后达标分析或现象描述等评价灌浆效果。对比分析应在同一位置灌前和灌后的检测数据对比,计算提高率或提高量。达标分析应将灌浆单元内灌后的检测数据与要求的达标值进行比较进行统计分析。

6 应根据设计确定的标准评价灌浆质量。

6.4.5 成果与评价应符合下列规定:

1 声波测试成果图件宜包括单孔声波、穿透声波声速曲线及声速值统计分析图表。

2 钻孔全景数字成像成果图宜包括孔壁展开图像及裂隙、异常分类统计分析图表。

3 声波 CT 法、地震波 CT 法成果图件宜包括波速分布图像、波速统计分析图表,同一剖面的多组 CT 剖面宜拼接成一幅成果剖面图。

4 宜有钻孔变形模量或弹性模量统计图表。

5 固结灌浆质量评价应符合 SL 62 及设计要求。

6.5 帷幕灌浆质量检测

6.5.1 检测内容宜包括张开裂隙充填情况、岩体声波速度、透水构造分布情况等。

6.5.2 方法选择应符合下列规定:

1 非岩溶地层宜采用钻孔全景数字成像、单孔声波法、穿透声波法和声波 CT 法、地震波 CT 法。

2 岩溶地层宜采用电磁波 CT 法。

6.5.3 现场工作应符合下列规定:

1 试验区的全部钻孔应进行单孔声波法检测，应布置一定数量的全景数字成像检测孔。

2 检测孔应布置在防渗帷幕中心线上，深度应深入设计防渗下限 5m，钻孔孔斜不应大于孔深的 1%。

3 钻孔 CT 宜沿帷幕线布置，孔距不宜大于 20m。

4 应布置一定数量的钻孔全景数字成像孔和单孔声波法测试孔。

5 钻孔全景数字成像、单孔声波法、钻孔 CT 等灌前检测孔不宜低于总灌浆孔的 2%，灌后孔不宜低于 5%。

6 检测孔应布置在构造破碎带、裂隙发育、岩溶发育、灌浆注入量大、灌浆过程控制不好、分析认为有可能存在质量缺陷的部位。

7 弹性波测试宜在灌浆 14d 后进行。

8 灌后检测孔不应利用灌浆孔扫孔。

9 钻孔 CT 孔深大于 30m 时应进行孔斜测量。

6.5.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应通过试验区检测资料分析得出各种检测方法的检测效果结论，推荐正式施工阶段的检测方法和评价指标。检测前应整理试验检测资料，与设计人员共确定帷幕灌浆质量评价标准。

2 单孔声波法、穿透声波法应计算波速值，绘制声波速度曲线。

3 钻孔 CT 应反演和绘制断面内弹性波速度或电磁吸收系数分布图像，统计分析低波速或高吸收率区域的分布特征，与先导孔 CT 资料进行对比分析。

4 钻孔全景数字成像应分析统计裂隙分布及浆材充填情况。

5 每一单元应综合分析透水率、波速或吸收系数分布和裂隙充填情况，绘制各项检测成果对比分析图表。

6.5.5 成果与评价应符合下列规定：

1 声波测试成果图件宜包括单孔声波、穿透声波声速曲线及声速值统计分析图表。

2 钻孔全景数字成像成果图宜包括孔壁展开图像及裂隙、异常分类统计分析图表。

3 声波 CT 法、地震波 CT 法成果图件宜包括 CT 波速分布图像、波速统计分析图表，同一剖面的多组 CT 剖面宜拼接成一幅成果剖面图。

4 帷幕灌浆质量评价应符合 SL 62 及设计要求。

6.6 防渗墙质量检测

6.6.1 检测内容宜包括防渗墙深度、墙体缺陷和均匀性、墙体与基岩接触情况。

6.6.2 方法选择宜符合下列规定：

1 检测防渗墙深度、缺陷和均匀性宜选择单孔声波法、穿透声波法、声波 CT 法、地震波 CT 法、钻孔全景数字成像、探地雷达、地震反射波法、高密度电法、伪随机流场法。

2 检测防渗墙体与基岩接触情况宜选择钻孔全景数字成像、单孔声波法、穿透声波法、声波 CT 法、地震波 CT 法。

6.6.3 现场工作应符合下列规定：

1 地面物探测线应沿墙中轴线布置，测点密度应根据防渗墙类型、墙体宽度和设计要求综合考虑。

2 检测孔应布置在防渗墙中心线上或紧贴防渗墙，检测孔应充分利用墙体预埋管、钻孔，检测孔深度应深入设计防渗墙限 5m。

3 宜布置覆盖全部检测部位的 CT 剖面，孔距宜为 2~20m，点距宜为 0.2~1.0m。

4 进行钻孔全景数字成像时宜同时进行钻孔摄像，观察渗漏部位。

6.6.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应根据探测剖面内防渗墙的物性参数分布特征确定墙体深度、均匀情况，依据异常位置和范围确定缺陷位置和规模。

2 CT 剖面应反演计算波速断面图。

3 钻孔全景数字成像应统计渗漏、不密实、裂缝等缺陷的位置分布情况。

6.6.5 成果应符合下列规定：

1 检测成果宜包括声波声速值统计分析图表、孔壁展开图像及裂隙、异常分类统计分析图表等。

2 成果图件宜包括相应检测方法的成果图、防渗墙断面上有关渗漏、缺陷等分布的成果图，还应标注各类缺陷的性质和空间分布位置。

6.7 堆石（土）体密实度检测

6.7.1 检测内容宜包括堆石体、心墙、碾压混凝土坝和人工碾压地基等堆石土（体）密度、含水率、压实度。

6.7.2 可选用下列方法：

1 当堆石（土）体分层碾压施工、粒径较大（0.2m 以上）、堆石（土）体成分相对均一时，可选用附加质量法。

2 当堆石（土）体粒径较小且厚度较小（0.4m 以下）或堆积物为土体时，可采用核子水分-密度法测试。

6.7.3 现场工作应符合下列规定：

1 一个测区测试前应分别对不同类型的堆石料进行密度坑测试和附加质量法测试等密度率定试验，试验应在同一点上。

2 应根据不同的坝料，开展附加质量法动刚度试验，确定附加质量块的最佳质量、附加质量块底面积或直径，以及附加质量级数。

3 核子水分-密度法现场测试应根据开展现场标样试验或取样试验对仪器进行标定，如挖坑灌砂法。

4 附加质量法测试应选择适宜的观测系统，测试时附加质量 m_i 应大于五级，每级自振频率 f_i 的变化宜大于 1Hz。

5 应根据检测任务要求，合理分配附加质量法测点。堆石坝堆石区宜每 500~1000m² 布置 1 个检测点，过渡区宜每 200~500m² 布置 1 个检测点，垫层和防渗层宜每 100~200m² 布置 1

个检测点。

6 核子水分-密度法测点布置应按设计要求分不同施工区域、分层布置检测点，宜随机分布，宜按每 $200\sim 2000\text{m}^2$ 布置 1 个检测点。

6.7.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 附加质量法应符合下列规定：

- 1) 应依据采集的时域信号求取每一级附加质量 Δm 所对应的共振频率 f_i ，应按 D.7.2 条相关公式计算对应的 D_i 值，作 $D_i\sim\Delta m_i$ 曲线，计算参振体的动刚度 K 与参振质量 m_0 。
- 2) ω^{-2} 与 Δm 的线性回归相关性系数应大于 0.99。
- 3) 利用附加质量法计算测点密度宜使用数字量板计算。
- 4) 应记录每个测点所对应的施工单元信息，如检测单元编号，施工碾压参数等。

2 核子水分-密度法应符合下列规定：

- 1) 采用透射法测试时，应以各深度测点的密度、含水量平均值作为测试点的密度值、含水量值。
- 2) 采用背向散射法、单管透射法进行多方位检测时，应以各个方位的密度、含水量平均值作为该测试点的密度值、含水量值。
- 3) 采用双管透射法进行分层检测，测试堆石（土）体粒径偏大、内部不均匀或现场进行了分层多深度测点检测时，应计算检测平均值、分段平均值。

6.7.5 成果与评价应符合下列规定：

- 1 附加质量法检测成果应包括当日现场检测单、检测报告。
- 2 被测堆石（土）体相对均匀条件下密度测试的平均相对误差应小于 5%，相对误差最大值不超过 10%。

6.8 堆石坝面板质量检测

6.8.1 检测内容宜包括面板与垫层间脱空、面板裂缝、面板强

度及内部缺陷。

6.8.2 方法选择宜符合下列规定：

- 1 面板脱空普查可选用红外热成像。
- 2 检测面板脱空和内部缺陷可采用超声横波反射三维成像法、声波反射法和脉冲回波法。
- 3 当面板内没有钢筋或配筋较少时，可采用探地雷达。
- 4 检测面板强度可选用超声回弹综合法。
- 5 面板裂缝检测宜选用表面声波法。

6.8.3 现场工作应符合下列规定：

1 采用红外热成像进行普查时，像素精度不宜大于 $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$ ，测试仪温度分辨力应小于 0.2°C ，应选择当日最高温和最低温时段分别测试。

2 采用声波反射法和探地雷达检测时，应布置网格测线，线距宜为 $1\sim 5\text{m}$ ，点距宜为 $0.2\sim 0.5\text{m}$ 。

3 采用超声横波反射三维成像法检测时，应布置网格测线，线距宜为 $0.2\sim 1.0\text{m}$ 。

4 面板混凝土强度可进行点抽样检查，检测点宜均匀分布。声波反射法或探地雷达检查异常点位置应布置强度检测点。

5 应布置检查钻孔对检测异常点进行验证。

6 声波法检测面板缺陷和超声回弹综合法检测面板强度应符合 SL 713 的规定。

6.8.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 采用红外热成像检测应分区编辑热成像色谱或等值线平面图，图像分辨率不宜大于 0.2°C ，应确定温度异常及范围。

2 超声横波反射三维成像法、探地雷达和声波反射法应分析解释异常性质、位置和范围，列出异常分布表。

3 声波平测、超声回弹法应分析计算测点的缺陷深度和强度值。

4 应依据验证钻孔获取有关脱空深度、范围等相关参数，对检测异常进行分析解释。

6.8.5 成果与评价应符合下列规定：

- 1 应绘制面板缺陷、强度、脱空分布的检测成果图。
- 2 检测成果图表宜包括检测的面板分布图、物探检测成果图、脱空或缺陷分析图表。
- 3 确定面板脱空位置和内部缺陷位置的准确率应大于80%。

6.9 混凝土质量检测

6.9.1 检测内容宜包括混凝土强度和裂缝、不密实区、空洞、钢筋分布及保护层厚度等。

6.9.2 方法选择应符合下列规定：

- 1 强度检测可选择回弹法、超声回弹综合法。
- 2 裂缝检测应先进行裂缝调查，测量裂缝长度和宽度，估计裂缝深度，裂缝深度检测可用表面声波法、穿透声波法、超声横波反射三维成像法、钻孔全景数字成像。
- 3 检测大体积混凝土内部空洞、不密实和低强等缺陷可选择探地雷达、超声横波反射三维成像法、脉冲回波法、单孔声波法、穿透声波法、声波CT法、地震波CT法或钻孔全景数字成像。
- 4 混凝土钢筋分布及保护层厚度检测可选用探地雷达和超声横波反射三维成像法。

6.9.3 现场工作应符合下列规定：

- 1 回弹法或超声回弹综合法检测混凝土强度时，测区数量不宜少于10个，测区间距不宜大于2m，测区面积宜为 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 。
- 2 裂缝检测应符合下列规定：
 - 1) 表面声波法适用于检测大体积混凝土的浅表裂缝，裂缝内不应有水或泥浆填充。测线应以裂缝为中心，正交或以大角度斜交布置，与混凝土内部主筋夹角不宜小于 30° ，应同时布置不跨缝测线进行对比分析。

- 2) 穿透声波法适用于检测混凝土板、柱体的裂缝，应在相对应的两侧面布置发射和接收测线点，测线两端应延伸至裂缝发育区外一定长度。
- 3) 孔间穿透声波法适用于检测大体积混凝土上的深裂缝，检测孔应布置在裂缝两侧，宜同时在裂缝一侧布置一个不跨裂缝的检测孔，孔间距应小于 3m。发射孔与接收孔应平行，孔内应注满清水，探头应水平同步，点距宜为 0.1m。
- 4) 超声横波反射三维成像法检测缓倾角裂缝时，应沿裂缝布置成像带，长度包含裂缝长度，宽度应大于裂隙估算范围。

3 检测大体积混凝土内部空洞、不密实和低强等缺陷应符合下列规定：

- 1) 检测无钢筋大体积混凝土的浅埋藏缺陷可选用探地雷达，雷达检测天线宜大于 400MHz，应采用剖面法或三维探测法。
- 2) 检测有钢筋大体积混凝土的缺陷，缺陷埋深小于 1.5m 时，可采用超声横波反射三维成像法。
- 3) 单孔声波法和穿透声波法检测时宜同时进行钻孔全景数字成像，便于异常分析判断。
- 4) 声波 CT 法可用于详细检测大体积混凝土内部缺陷，大坝混凝土深埋缺陷检测可选择孔间声波 CT 法，混凝土板、梁、柱可利用外侧临空面进行声波 CT 法检测。

4 混凝土强度和裂缝、不密实区、空洞、钢筋分布情况检测应符合 SL 713 的规定。

6.9.4 资料整理分析应符合下列规定：

- 1 表面声波法检测裂缝可根据波速、波幅或相位变化特征判断裂缝深度。
- 2 穿透声波法检测裂缝应对比分析跨缝和不跨缝声波的速

度、声幅变化特征。可采用不跨缝声波射线交会法判断裂缝末端位置，利用交会点与表面裂缝的连线推断裂缝延伸方向，该交会点距裂缝出露表面的距离宜定为该裂缝的深度。

3 单孔声波法和穿透声波法检测大坝内部混凝土缺陷时，声波速度低于规定值的异常孔段或区域应判断为混凝土缺陷。

4 声波 CT 法应反演检测区的声速图像，声速低于规定值的区域应圈定为混凝土缺陷区。

5 推定混凝土强度前，宜根据对比试验建立工程专用测强曲线。若使用经验公式或借用其他工程测强曲线推定混凝土强度，应选择一定数量的钻芯法检测结果进行验证和修正。

6.9.5 成果与评价应符合下列规定：

1 应绘制检测工作布置图，检测成果图、裂隙深度及倾向解释图，混凝土不密实区或空洞等缺陷分布图。

2 裂缝、缺陷的深度和范围检测的相对误差应小于 10%。

3 探地雷达检测混凝土内单层钢筋位置的绝对误差应小于 2cm。

6.10 洞室混凝土衬砌质量检测

6.10.1 检测内容宜包括衬砌厚度、脱空，混凝土缺陷及强度，钢筋分布及保护层厚度等。

6.10.2 方法选择应符合下列规定：

1 衬砌厚度、脱空、缺陷检测宜选用探地雷达、脉冲回波法、超声横波反射三维成像法、声波反射法、钻孔全景数字成像。

2 钢筋分布及保护层厚度检测宜选用探地雷达、超声横波反射三维成像法。

3 强度检测应选用超声回弹综合法。

6.10.3 现场工作应符合下列规定：

1 衬砌脱空检测应沿隧洞轴线方向在拱顶、两侧拱肩各布置 1 条测线，衬砌厚度和缺陷检测还应在左右边墙各布置

1~2 条测线。当发现异常时，可适当增加垂直洞轴方向的横测线。衬砌混凝土强度检测应在每仓布置不少于 10 个测区。

2 当衬砌配筋较少时，检测衬砌厚度、脱空、内部缺陷等宜采用探地雷达，检测天线应选用 400~1200MHz，检测方式应采用连续剖面法。

3 当洞室衬砌配筋较密时，检测混凝土厚度、脱空、内部缺陷宜选用超声横波反射三维成像法、声波反射法、脉冲回波法。

4 采用探地雷达、超声横波反射三维成像法、声波反射法检测时，应在测区布置适量的参数标定孔。

5 检测过程中发现异常，被检测单元应加密测线。

6 检测结束后，宜布置一定数量的验证钻孔，可进行钻孔全景数字成像或钻孔摄像。

6.10.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应将检测成果与参数标定孔进行对比分析，校正混凝土的电磁波速度和声波速度。

2 探地雷达、声波反射法、超声横波反射三维成像法、脉冲回波法应结合设计施工资料进行分析解释，绘制衬砌层厚、脱空、内部缺陷的分布成果图。

3 超声回弹综合法应根据 SL 713 的相关规定推定测区混凝土强度。

6.10.5 成果与评价应符合下列规定：

1 检测成果图表宜包括测区工作布置图，检测成果及分析图表，衬砌厚度、脱空和缺陷分布成果图表。

2 当规模深度比大于 1/10 时，检测洞室混凝土缺陷的准确率应大于 85%。

3 确定混凝土厚度的相对误差应小于 10%。

6.11 钢衬与混凝土接触状况检测

6.11.1 检测内容宜包括钢管或钢衬与混凝土接触状况，判断是

否存在脱空现象。

6.11.2 检测方法宜选用脉冲回波法、声波反射法、超声横波反射三维成像法。

6.11.3 现场工作应符合下列规定：

1 正式检测前宜开展试验工作，在试验段或模型上选取不同脱空程度的衬段进行试验检测。

2 测线和测点布置应符合下列规定：

1) 测线应沿洞轴方向在钢管的顶部及两侧腰部各布置 1 条测线，必要时应在异常部位增加横剖面测线。

2) 测点间距宜为 0.2~0.5m。

3) 测点处的钢衬表面应干净、光滑，传感器与钢衬应耦合良好。

4) 检测过程中发现存在脱空异常时，应在被检测单元加密测线、测点。

3 现场检测应符合下列规定：

1) 宜采用一发一收等偏移距观测系统，偏移距不宜大于测点距。

2) 同一测区观测系统、仪器触发方式和采集参数应一致。

3) 宜采用高频激振，应保持激振能量稳定。

4) 接收传感器与钢管表面应采用耦合剂耦合。

5) 每一测点应测试 3 次，波形应一致。

6.11.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 应对比分析实测波形、回波主频值和能量，结合试验结果确定脱空评判标准。

2 应计算各测点主频值和回波能量，圈定脱空范围和评价脱空程度。

6.11.5 成果与评价应符合下列规定：

1 检测成果宜包括测线布置图、试验和检测波形及频谱图、脱空范围分布图和脱空程度评价。

2 检测钢衬与混凝土脱空情况的有效率应大于 95%。

6.12 锚杆锚固质量检测

6.12.1 检测内容宜包括锚杆长度、注浆饱满度。

6.12.2 锚杆锚固质量无损检测方法应采用声波反射法。

6.12.3 现场工作应符合下列规定：

1 应熟悉检测单元的锚杆设计和施工图，提前收集待检测锚杆的杆长、注浆材料及强度、连接位置、注浆日期等资料。

2 检测锚杆的砂浆龄期不应少于7d，宜在挂网喷混凝土或衬砌支护施工前检测，被检测锚杆应有一定的外露长度，杆头宜平整无浮浆，无挂网相连接。

3 接收传感器应采用加速度型，灵敏度不应小于100mV/g，频带应为10Hz~50kHz。

4 激发宜采用能量可控的瞬态激振方式。

5 接收传感器应与杆头耦合良好，激振力方向应与杆体轴向平行。

6 每根锚杆重复测试不应少于3次，波形应一致。

7 常规部位永久锚杆检测比例不应小于施工总数的10%，每单项或单元工程不应少于10根。

8 岩锚梁等关键部位的锚杆应100%检测。

9 临时工程锚杆检测比例不应低于施工总数的3%，每单项或单元工程不应少于5根。

10 永久锚杆单项或单元工程合格率达不到要求时，应加倍抽样检测。

6.12.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 锚杆无损检测资料可采用时域和频域分析方法，应结合施工、地质等资料综合分析判定。

2 应识别锚杆底端、镶接点、软硬岩层界面的反射信号以及多次反射信号，读取反射时间。

3 应通过已知锚杆测量长度，计算砂浆锚杆体系的声速

度值。

4 应利用反射信号时间和声波速度计算反射深度、锚杆杆体长度、不密实段长度。

5 应利用杆长、不密实段长度计算注浆饱满度。

6.12.5 成果评价应符合下列规定：

1 检测成果宜包括锚杆布置图，检测锚杆分布图、单根锚杆检测波形和解释图表。

2 实测单根锚杆长度符合下列情况的，应评定为长度合格：

- 1) 岩锚梁等关键部位结构锚杆实测长度大于或等于设计长度的 95%，不足长度不超过 0.2m。
- 2) 常规部位永久锚杆和临时锚杆实测长度大于或等于设计长度的 95%。

3 实测单根锚杆饱满度应按下列规定进行分级：

- 1) I 级锚杆，长度合格，锚杆饱满度 $D \geq 90\%$ 。
- 2) II 级锚杆，长度合格，锚杆饱满度 $90\% > D \geq 80\%$ 。
- 3) III 级锚杆，长度合格，锚杆饱满度 $80\% > D \geq 75\%$ 。
- 4) IV 级锚杆，长度不合格，或锚杆饱满度 $D < 75\%$ 。
- 5) 缺陷部位集中在底部或孔口锚固段，应按以上标准降低一级评定。

4 单项或单元工程锚杆抽检质量达到以下标准，可判断为合格：

- 1) 岩锚梁等关键部位锚杆抽检样本中 90% 达到 I 级以上，无 IV 级锚杆。
- 2) 常规部位永久锚杆抽检样本中 80% 达到 II 级及以上，无 IV 级锚杆。
- 3) 临时锚杆抽检样本中 80% 达到 III 级及以上。

5 当锚杆长度小于 10m 时，检测长度相对误差应小于 5%。当锚杆长度大于 10m 时，检测长度相对误差应小于 10%。

6 当存在单个砂浆缺陷时，检测砂浆饱满度应大于 90%。当存在多个砂浆缺陷时，检测砂浆饱满度应大于 80%。

6.13 洞室环境放射性检测

6.13.1 检测内容宜包括地下洞室伽马辐射强度、地下洞室中的氡及其子体浓度。

6.13.2 方法选择应采用氡浓度测量、伽马射线辐射检测。

6.13.3 现场工作应符合下列规定：

1 伽马辐射强度检测应符合下列规定：

- 1) 用伽马射线检测仪或伽马射线能谱检测仪进行检测应直接测量辐射场所空气的照射量率，再计算出吸收剂量，具备条件时，可用伽马剂量仪直接测量吸收剂量，再计算出剂量当量值。
- 2) 应测量区域背景辐射值。
- 3) 应沿地下洞室或建筑物轴线方向布置测线，测点距宜为 2~10m。
- 4) 在地下洞室的断层位置应加密测点。
- 5) 检测探头应位于地面测点正上方 1m 高处采集。
- 6) 应采用多次检测方式，次数不宜少于 3 次。

2 氡及其子体浓度检测应符合下列规定：

- 1) 应沿洞室轴线布置测线，测点距宜为 20~50m，异常段或通风死角宜加密检测。
- 2) 在强辐射区域、洞室断层位置、地下通气出口处应进行周期性检测。
- 3) 检测探头应位于地面测点正上方 1m 高处采集。

6.13.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 伽马辐射强度检测应符合下列规定：

- 1) 应将空气伽马照射量率换算为伽马辐射空气吸收剂量率，再根据有效剂量当量与空气吸收剂量率的比值和该环境年停留时间计算外照射对人体的影响，用年有效剂量当量表示。
- 2) 应取每年 250 个工作日、每天 8h，总计 2000h 计算年

有效剂量当量。

3) 应说明异常辐射与岩性、断层出露范围的关系。

2 氡及其子体浓度检测应符合下列规定：

1) 应先收集整理检测范围内的地层岩性、断层的相关资料 and 放射性水平，说明洞室空气流动情况。

2) 采用氡子体测量法应直接计算平衡当量氡浓度。

3) 采用氡测量法计算平衡当量氡浓度时，平衡因子宜取 0.1~0.4。

6.13.5 成果与评价应符合下列规定：

1 地下洞室氡及其子体平衡当量浓度评价，应绘制检测范围内环境伽马辐射强度分布图表，并应满足下列规定：

1) 已用地下建筑物的行动水平为 $400\text{Bq}/\text{m}^3$ （平衡当量氡浓度）。

2) 待建地下建筑物的设计水平为 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ （平衡当量氡浓度）。

2 地下洞室放射性评价，应绘制检测范围内环境伽马辐射强度分布图表，并应满足下列规定：

1) 年有效剂量不应超过 1mSV 。

2) 特殊情况下，如 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSV ，则某一单一年的有效剂量可提高到 5mSV 。

3) 眼晶体的年当量剂量不应超过 15mSV 。

4) 皮肤的年当量剂量不应超过 50mSV 。

6.14 水下建筑物检测

6.14.1 检测内容宜包括缺陷、形态结构、状态等，宜符合下列规定：

1 缺陷检测宜包括下列内容：

1) 外观缺陷：蜂窝、麻面、孔洞、露筋、裂缝、疏松区等。

2) 裂缝情况：分布、数量、走向、长度、宽度，及了解

裂缝的变化情况。

3) 混凝土损伤状态：压碎、冻融、剥蚀、脱落及冲蚀（空蚀和磨蚀）等情况。

4) 渗漏状态：点、线或面渗漏情况。

2 形态结构、状态等检测宜包括水下建筑物的外观尺寸、表面附着物、淤积物、平整度以及表面磨蚀、空蚀情况。

6.14.2 方法选择宜符合下列规定：

1 进行小范围的局部建筑物检测，水质较清时宜采用水下摄像，水质浑浊时宜采用二维图像声呐、三维成像声呐。

2 进行大面积的水下建筑物缺陷检测宜先采用多波束声呐、侧扫声呐扫描普查，再在重点部位或检测异常部位采用水下摄像、二维图像声呐、三维成像声呐进行详查。

3 隧洞、闸门及门槽等水下建筑检测方法选择宜符合下列规定：

1) 水质较清时，宜采用水下机器人搭载水下高清摄像头进行检查。水质浑浊时，宜采用水下机器人搭载成像声呐进行检查。

2) 水下场地条件允许时，可采用三维成像声呐进行整体扫描，再采用水下机器人搭载水下摄像头或成像声呐进行局部检查。

3) 大坝、消力池、护坡、护坦、尾水渠等水下建筑物检测宜采用多波束声呐进行面积性扫描普查，再针对重点部位和检测异常部位进行水下摄像、二维图像声呐、三维成像声呐进行详细检测。

4) 水下阻塞、堆积、沉积物检测宜采用多波束声呐、侧扫声呐等方法。

6.14.3 现场工作应符合下列规定：

1 隧洞、闸门及其门槽等现场检测应符合下列规定：

1) 表观完整性检测宜包括隧洞衬砌、闸门及门槽的表面变形、破损、裂缝、附着物等情况。

- 2) 采用水下摄像检测时, 应事先规划好检测线路, 保证检测区域全覆盖。隧洞衬砌检测宜按洞壁环形测线顺时针、逆时针交替进行, 闸门槽检测宜沿闸门槽依次进行, 闸门检测宜按平行测线来回进行检测, 重点部位或发现缺陷部位应放慢观测速度详细检测。
- 3) 采用三维成像声呐进行整体扫描时, 可采用搭载在水下机器人或固定在工作平台上的方式进行, 最大检测半径不宜超过 30m。

2 大坝、消力池、护坡、护坦、尾水渠等现场检测应符合下列规定:

- 1) 大坝水下检测宜包括混凝土表面破损情况、裂缝、渗漏情况、附着物等, 消力池水下检测宜包括混凝土冲刷、杂物堆积情况等, 护坡、护坦、尾水渠等水下检测宜包括混凝土表面破损、混凝土裂缝、附着物等。
- 2) 多波束声呐及侧扫声呐检测宜沿探测区域长轴方向布置平行测线, 相邻测线重合覆盖区域应大于 20%。
- 3) 水下机器人搭载水下摄像、二维图像声呐、三维成像声呐进行检测时宜沿探测区域的短轴布置平行测线, 在重点部位以及发现有缺陷位置应增加测线进行详细检测。

3 水下阻塞、堆积、沉积物现场检测时多波束声呐及侧扫声呐宜沿探测区域长轴方向布置平行测线, 相邻测线重合覆盖区域应大于 20%。

6.14.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 各单一方法的数据处理和资料整理应符合 4.6.6 条的相关规定。

2 采用多种方法检测时, 在对水下建筑物进行三维建模的基础上宜开展数据对比分析。

3 水下阻塞、堆积、沉积物检测资料分析宜与原始地形进行对比分析, 判断水下阻塞、堆积、沉积物情况。

6.14.5 成果应符合下列规定：

1 隧洞、闸门及门槽等采用水下摄像和二维图像声呐检测时，应提供缺陷部位的静止图像和缺陷位置图，采用三维成像声呐检测时，应绘制三维成果图并标注缺陷位置。

2 大坝、消力池、护坡、护坦、尾水渠等水下建筑物检测成果宜包括水下三维地形图，重点部位静止视频或声呐图像。

3 水下阻塞、堆积、沉积物检测成果宜提供与原始地形的差值等值线图。

6.15 爆破振动、环境噪声和场地微振动监测

6.15.1 监测内容宜包括下列内容：

1 爆破振动监测宜包括质点振动速度、加速度、位移、频率等。

2 环境噪声监测宜包括噪声的能级、频率等。

3 场地微振动监测宜包括振动速度、加速度、频率、幅值等。

6.15.2 监测工作布置应符合下列规定：

1 爆破振动监测应符合下列规定：

1) 应根据爆破设计和现场施工技术资料、爆区和监测对象所在地的地形地质及其他监测资料，确定爆破振动监测及爆破振动试验方案。

2) 保护对象以加速度或速度为安全允许控制指标时，应监测爆破振动加速度或速度。

3) 在新浇混凝土等特殊保护对象附近进行爆破作业时，应在保护对象距爆区最近点布置监测点。

4) 当需要了解 and 掌握爆破振动传播衰减规律时，监测点应布置在具有代表性的重点监测断面上，同次监测点宜为 6~8 个。

5) 拆除爆破时，监测点应布置在被测对象距爆区最近一侧的地基表面上或特定的部位，其他爆破振动监测应

根据工程要求、地质条件、爆破类型及委托单位要求确定监测点。

- 6) 处于复杂环境的爆破工程应对以下保护对象进行爆破振动监测：爆区 100m 范围内的水工隧洞、永久性岩石高边坡、大体积混凝土；爆区 300m 范围内的帷幕灌浆区、预应力锚索、喷混凝土、滑坡体；爆区 500m 范围内运行中的水电站中心控制室设备。
- 7) 监测频次要求：一次性爆破监测，各监测断面应同时监测；长期爆破监测，重点监测断面应每月监测 1 次以上，至少 1 个代表性监测点每次爆破必测，进行爆破振动监测的监测点数和监测频次应符合 DL/T 5333 的规定。

2 环境噪声监测应符合下列规定：

- 1) 应进行实地勘察，收集监测对象所在地的环境、地形、气象条件及主要噪声来源等资料。
- 2) 区域环境噪声监测应将区域划分为网格，每个网格均应布置监测点，监测点应选择在网格中心。
- 3) 长期噪声监测应选取有代表性的单个或多个测点做连续 24h 的噪声监测，获得环境噪声的时间分布规律。

3 场地微振动监测应符合下列规定：

- 1) 应进行实地勘察，收集监测对象振动响应的特性（确定的、随机的）、振动的持续时间（连续的、瞬态的）、振动的频率与强度、建筑物的固有特征（类型、规模、固有频率特性、地基条件）等资料。
- 2) 应在建筑物地基及顶层布置测点确定建筑物振动的固有特性，高于四层的建筑物应每隔四层和在顶层设置测点，平面上每 10m 不应少于一个测点，测点应根据建筑物的大小和复杂程度选择布置在敏感处。
- 3) 当需要了解 and 掌握振动传播衰减规律时，监测点应由近及远布置在具有代表性的振动传播断面上。

- 4) 为获得场地微振动空间分布规律，应将区域划分为网格，每个网格均应布置监测点，监测点应选择在网络中心。应做时域内的振动监测，时域应大于两次振动间隔时间或一个完整的振动周期，且不小于 24h。

6.15.3 现场工作应符合下列规定：

1 爆破振动监测应符合下列规定：

- 1) 现场监测应对监测点及传感器进行统一编号，传感器的 X 方向为水平径向，Y 方向为水平切向，Z 方向为垂直向。
- 2) 传感器与监测点应刚性连接，安装角度允许误差应为 $\pm 3\%$ 。
- 3) 布置在爆破警戒区内的测振仪器，应进行必要的安全防护。
- 4) 应记录地形地质资料、保护对象资料，及爆破规模、爆破方式、孔网参数、单段起爆药量、起爆顺序及起爆网路等爆破参数。
- 5) 应详细记录爆心位置、监测点位置三维坐标及监测点距爆心距离。

2 环境噪声监测应符合下列规定：

- 1) 现场监测风速不应大于 5m/s，应在无雨雪、雷电的气象条件下进行监测。
- 2) 现场监测应对监测点及传感器进行统一编号。
- 3) 应对仪器进行必要的安全防护。
- 4) 应详细记录气象、地形地质、监测对象等资料以及监测对象位置三维坐标。

3 场地微振动监测应符合下列规定：

- 1) 现场监测应对监测点及传感器进行统一编号，传感器的 X 方向为水平径向，Y 方向为水平切向，Z 方向为垂直向。
- 2) 传感器与监测点应刚性连接，安装中应避免传感器的

摇摆或弯曲。

- 3) 安装在建筑物构件上的传感器和监测单元的数量应大于该建筑物或所测构件数量的 10%。
- 4) 应详细记录监测点的位置, 监测对象的特性(类型、规模、地基条件)及振动源的特性(位置、振动的持续时间、频率与强度等)。

6.15.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 爆破振动监测应符合下列规定:

- 1) 监测数据应分别读出监测量的峰值、对应的时间等, 应进行频谱分析, 计算主振频率。
- 2) 应根据原始波形的特征, 分析判定记录波形中可能出现的异常数据, 找出原因并处理。
- 3) 应采用统计回归分析法给出振动速度的衰减规律, 随监测资料的累积适时修正。
- 4) 频谱分析宜采用幅值频谱快速傅里叶变换 FFT 方法计算, 其中窗函数宜采用矩形窗, 按此计算求得最大幅值对应的频率为主振频率。采用其他频谱分析方法求得主振频率应做对比说明。
- 5) 爆破振动衰减规律分析应将相同地形、地质及爆破条件下测得的最大单向爆破振动速度峰值、监测点距离、振动速度峰值时刻对应的单段爆破药量按最小二乘法回归公式计算。

2 环境噪声监测应符合下列规定:

- 1) 区域监测应将全部网格中心测点测得的 10min 的连续等效 A 声级做算术平均运算, 所得到的平均值代表某一区域的噪声水平。
- 2) 长期监测应将每一测点的连续等效 A 声级按时间绘制 24h 声级变化曲线, 分析环境噪声随时间变化规律。
- 3) 非稳态噪声测量时段等效声级应覆盖被测声源的最大

声级。如果测量值超标，应测量背景噪声对测量结果进行修正。

4) 可采用幅值频谱 FFT 方法计算分析环境噪声主频，分析主要噪声来源。

3 场地微振动监测应符合下列规定：

1) 环境及建筑物振动对居住者的干扰分析应选取最大的铅垂振动加速度级的测试点进行振动对居住者的干扰分析评价。

2) 地面振动分布应分析同等激励状态下各网格内的监测峰值及等效值分布。

3) 居民建筑物振动监测应分析各部位在不同激励条件下的监测值。

4) 时域内监测应将每一测点的连续等效值按时间绘制变化曲线，分析场地微振动随时间变化或随振动源变化的规律。

6.15.5 成果与评价应符合下列规定：

1 监测报告宜包括监测点布置、测振仪器和系统的标定结果、监测指标、钻爆参数、实测波形图和监测数据等。

2 当监测数据超过相应的控制标准时，应在规定时间内报告相关部门。依据监测频度的不同，可以用简报、日报、周报、月报等形式发送报告。

3 需要对监测结果进行分析和评估的，可另提供爆破振动安全评估报告，评估报告除了监测报告的内容外，还应包括监测波形（数据）的处理方法、判定标准和判定结论、分析结果与建议等。

4 爆破振动监测重复爆破的监测项目，应在每次爆破后及时提交监测简报，现场监测工作结束后编制完整的监测报告。

6.16 微震监测

6.16.1 监测内容宜包括微震事件及微震时间、位置和强度。

6.16.2 监测工作布置应符合下列规定：

1 地下洞室围岩松弛变形监测应符合下列规定：

- 1) 监测传感器的布置应根据地下洞室的大小、相互关系以及施工开挖方式确定。传感器宜在洞室开挖初期布置安装，随着开挖过程适当调整。
- 2) 传感器宜在洞周全方位布置，在重点部位布置时应考虑传感器空间三维分布。
- 3) 传感器间距宜为 20~50m。

2 隧洞岩爆监测应符合下列规定：

- 1) 监测传感器的布置应根据隧洞开挖进度确定，应在易发生岩爆的洞段和掌子面附近安装，随着隧洞开挖向前移动传感器。
- 2) 传感器宜在洞周全方位布置，传感器间距宜为 20~50m。

3 岩质边坡变形监测应符合下列规定：

- 1) 监测传感器的布置应综合考虑监测范围、传感器灵敏度及施工干扰等因素。
- 2) 监测点在空间宜均匀分布，在三维方向应均有监测点。
- 3) 重点监测区域应在监测点分布范围内，保证定位准确。
- 4) 监测点应考虑采集器及线路布置，监测点间距宜为 50~100m。

4 混凝土大坝裂缝发育监测应符合下列规定：

- 1) 监测传感器的布置应根据裂缝的发展区域和趋势，以及工程条件确定。
- 2) 监测点间距宜为 5~20m。

6.16.3 现场监测工作应符合下列规定：

1 传感器安装应避免开挖洞室应力松弛圈的影响，避开频繁施工干扰。宜将传感器安装在钻孔内，孔深宜大于 1m。

2 传感器通信电缆应根据现场实际情况布置，宜减少电缆长度和焊接点。

3 主机的安装位置应避开频繁施工干扰和高压交流电干扰。

4 监测系统安装完成后,应在各个传感器附近人工激发地震信号,测试监测系统的工作稳定性,调整系统监测的灵敏度。测定弹性波在岩体中的传播速度宜在监测区域内采用小药量爆破方式。

5 微震监测系统应实行连续全自动数据采集。采样频率、增益、触发限值等参数应满足监测要求。

6 采集系统应能自动识别、采集和保存符合设定条件的微震事件。

7 应针对现场常见的施工干扰源调整工作参数,监测系统应自动识别主要干扰信号。

6.16.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 微震事件的提取和分类应依据微震信号的能量、频率、波形特性、时间特征等进行分析。

2 反演定位计算分析应考虑传感器空间位置、有效信号的强弱、信号的频率及围岩岩体结构等多方面的影响。

3 宜开展微震监测信息与围岩变形监测信息的对比分析,建立微震活动性与岩体松弛变形之间的关系,建立背景应力场演化与微震活动性的关系,预测岩体变形发展趋势。

4 宜通过微震信息分析研究,进行地下洞室和岩体稳定性预测预报。

5 可建立监测区域的有限元数值模型,根据微震成果进行计算分析,研究岩体或混凝土变形发生机理,建立变形风险评价机制。

6 隧洞岩爆监测应根据微震事件发生的部位、数量、能量、时间序列,分析预测岩爆发生的洞段及概率。

7 混凝土裂缝监测应根据微震事件的数量、频率、能量、时间序列,分析裂缝发展趋势。

6.16.5 成果应符合下列规定:

1 应根据微震事件分类,综合统计分析震源点的部位、数量及能量,微震事件发展的时间空间序列,分析施工开挖引

起的围岩松弛与微震关系，推断在施工过程中岩体的破坏程度。

2 成果图件宜包括隧洞、边坡、大坝等监测点布置图，微震事件位置、强度、时间序列分布成果图表。

行业标准

7 测 试

7.1 场地抗震动力参数测试

7.1.1 测试内容宜包括波速测试、地脉动测试，以及计算场地等效波速、场地卓越周期，评价土的振动液化。

7.1.2 方法选择宜符合下列规定：

- 1 场地波速测试可选择单孔地震波法、穿透地震波法、面波法。
- 2 洞室测试可选择表面地震波法。
- 3 场地卓越周期宜采用地脉动测试。

7.1.3 现场测试应符合下列规定：

1 单孔地震波法和孔间穿透地震波法宜采用三分量井下贴壁传感器，检波点间距宜为 1~2m。当有较薄夹层时，应适当调整使得其中至少布置有 2 个测点。单孔地震波法宜在距离孔口 1~3m 处进行纵横波激发，孔间穿透地震波法孔间距在土层中宜为 2~5m，在岩层中宜为 8~15m。传感器的固有频率不宜大于所测地震波主频的 1/2，土层宜采用固有频率小于 50Hz 的传感器，岩层宜采用固有频率为 100Hz 的传感器。

2 瞬态面波法测试排列不应少于 12 道，检波点间距宜为 1~2m。天然源面波法测试宜为圆形台阵，检波点不应少于 4 道，最小半径不应小于 2.5m。

3 地脉动测试的传感器可采用通频带为 1~25Hz 的速度型传感器，也可采用频率特性和灵敏度等满足测试要求的加速度型传感器。

4 应通过地球物理测井或土工试验获取测试点的岩土体密度值。

7.1.4 资料整理分析应符合下列规定：

- 1 单孔地震波法的纵波从震源到达测点的时间，应采用竖

向传感器记录的波形确定，横波从震源到达测点的时间，应采用水平传感器记录的反向波形起跳位置确定。孔间穿透地震波法的纵波从震源到达测点的时间应采用水平传感器记录的反向波形起跳位置确定，横波从震源到达测点的时间应采用竖向传感器记录的波形确定。在计算每个测试深度的波速时，由震源到达每个测点的距离，应按测斜数据进行校正。

2 面波法的频散曲线应与已知钻孔资料进行综合对比分析，利用频散曲线的拐点、斜率变化、频散点疏密等，应结合测区地质分层情况，反演拟合各层的面波波速，导出横波波速，再通过泊松比计算各层的纵波波速。

3 表面地震波法应判读各道纵横波初至，计算相应纵、横波速度。

4 地脉动测试数据宜采用功率谱分析法，卓越频率应采用频谱图中最大峰值所对应的频率。当频谱图出现多峰且各峰值相差不大时，宜在谱分析的基础上进行相关或互谱分析，经综合分析后确定卓越频率，计算场地卓越周期。

7.1.5 成果与评价应符合下列规定：

1 应根据实测波速计算场地的等效波速，等效波速应按公式 (D.5.6) 计算。

2 应利用场地等效横波波速评价场地的类别。

3 应利用地下水位以下各层的横波波速与其对应各层临界横波波速对比，分析评价砂土的振动液化。

4 应计算持力层的泊松比、动弹性模量、动剪切模量。

5 应绘制测试成果曲线、测试成果表。

7.2 岩土电性参数测试

7.2.1 测试内容宜包括岩土壤电阻率、电导率和电磁波介电常数。

7.2.2 方法选择应符合下列规定：

1 测量地表以下 100m 深度范围的土壤电阻率宜采用对称

四极电测深法、高密度电法。

2 测量地表以下 200m 深度范围的土壤电阻率宜采用电阻率测井。

3 测量地表以下 200~2000m 深度范围的土壤电阻率宜采用可控源音频大地电磁测深法或音频大地电磁测深法，宜与小于 200m 深度范围的土壤电阻率曲线平移拼接。

4 河水电阻率测试宜选择现场对称四极电测深法或取样实验室试验。

5 测量大地电导率宜选择电测深法。

6 测量地层的电磁波速度、介电常数应选择探地雷达宽角法或剖面法。

7.2.3 现场工作应符合下列规定：

1 测点布置应符合下列规定：

1) 岩土电阻率测试测点应布置在设计坝址区、主厂房、变压室、开关站、尾调室、尾水洞、压力管道、避雷建筑、升压站等场地或位置，每个场地测点不宜少于 5 个，测点距不宜大于 30m。

2) 查明高寒地区冻、融状态下岩土电阻率值的变化规律，测试点应选择在有代表性区域，各类型冻土层区测试点不应少于 3 个。

3) 同一地质地貌单元相邻两测点的大地电导率之比大于 3 倍时，应在两测点间增加测点。

2 测试岩土电阻率宜采取点面结合方式。

3 测试基岩的电阻率可在露头或平洞内采用小极距的对称四极装置的电测深法。

4 地表开展岩土电阻率测试宜在雨停 48h 后进行。

5 对需平整的场地，应在回填土层施工完成后再进行测量。

6 地表测试岩土电阻率的深度应超过基岩面一定范围，当场地岩土电阻率各向异性较大时，应进行“十”字型测量。

7 钻孔中采用电阻率测井测试岩土电阻率时，电极距宜小

于目标层厚度，应大于孔径的 3 倍。

8 高寒地区地表测试岩土电阻率，冬、夏季各测试不应少于 1 次。

9 电导率测试的测点应沿输电线路布置，最大供电电极距宜为 900~1500m，最小供电电极距宜为 6~12m，总测量电极数不宜少于 9 个。

7.2.4 资料整理分析应符合下列规定：

1 对称四极电测深法应采用量板法或模拟计算法计算出每测点的电阻率或电导率值。

2 宜根据设计要求计算任意频率下的大地电导率值。

3 不同方法测定的土壤电阻率或电导率资料存在差异时，应进行综合分析评判。

7.2.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果资料应说明测点土壤性质、湿度及其他需要特别说明的情况。

2 应绘制场地各测点分布图、电性参数数值表。

3 对称四极电测深法检查测量的总均方误差不应大于 5%，可控源音频大地电磁测深法和音频大地电磁测深法检查测量的总均方误差不应大于 10%。

7.3 岩土体物理和力学参数测试

7.3.1 测试内容宜包括岩土密度、孔隙度、纵波速度、横波速度，以及通过纵、横波速度和密度值求取的泊松比、动弹性模量、动剪切模量、单位弹性抗力系数、岩体完整性系数、各向异性系数、风化系数等参数。

7.3.2 方法选择应符合下列规定：

1 钻孔中密度测试可采用密度测井，堆石体、心墙、碾压混凝土坝和人工碾压地基的密度检测可采用核子水分-密度检测法和附加质量法。

2 孔隙度测试可采用单孔声波法、密度测井和电阻率测井。

3 纵波、横波速度测试可根据测试条件选用下列不同的方法：

- 1) 在地面测试覆盖层及基岩的波速可采用地震波法、面波法。
- 2) 在平硐、竖井及地下洞室中测试岩体波速可采用声波法或地震波法。
- 3) 在钻孔中可选用单孔声波法或单孔地震波法。
- 4) 测试两孔间岩土体纵波、横波速度可采用穿透地震波法。

7.3.3 现场测试应符合下列规定：

1 工作布置应符合下列规定：

- 1) 密度测井宜同时进行井径测井，孔壁有泥饼时，宜布置双源距密度测井。
- 2) 洞室、竖井中利用风钻孔穿透声波法测试时，风钻孔宜下斜 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，孔间距宜为 1m，相邻的两风钻孔宜平行。岩体破碎段、软弱夹层段可根据测试条件和测试目的等情况加密孔间距。
- 3) 地震波法测试应根据测试目的与要求、现场条件布置测线，宜在平硐和地下洞室中两侧底部、竖井对侧布置测线，大型地下洞室可结合开挖施工分层分别布置测线。
- 4) 采用电阻率测井测试孔隙度时，应同时进行井液电阻率测井。

2 密度测试前，应进行仪器标定，开展相应的现场试验，应符合下列规定：

- 1) 密度测井宜采用标准密度块进行仪器标定，应在测区内已知岩层孔段进行读数涨落试验，选取仪器最佳时间常数。
- 2) 核子水分-密度检测法应根据现场标样试验或取样试验对仪器进行标定，建立密度、含水量与压实度、孔隙

率的关系。

- 3) 附加质量法应根据不同的铺料厚度、碾压遍数、洒水量、料源、材质等施工碾压参数和碾压场地条件,进行现场试验,试验测点与坑测法测点应保持同一点位。

3 测井前应掌握孔内套管下入情况、地下水位或井液高度。密度测井和电阻率测井宜采用连续测量方式,采样间距不应大于20mm。

4 附加质量法检测时,附加质量块与堆石体之间应采用细砂耦合,应与堆石体表面紧密贴合。

5 单孔声波法测试前,应分别在水池和铁套管内对仪器进行试验测试,应根据试验结果计算测试结果校验参数。单孔声波法测试宜采用点测方式,测点距宜为0.2m;测试对象厚度小于两道接收换能器间距时,宜在相应孔段加密测点距。

6 风钻孔声波穿透法测试宜采用灌水耦合的点测方式,测点距宜为0.1~0.2m。

7 表面声波法波速测试宜采用一发双收方式,两道接收换能器间距不宜大于0.3m。

8 钻孔间的地震穿透波法波速测试应根据测试目的与要求、孔间距条件选择测点距,测点距不宜小于1m。

9 地震穿透波法波速测试、表面声波法和穿透声波法测试前,应对仪器系统延迟时、零声时进行测定。

10 地震波法测试宜选择相遇观测系统,应沿测线布置排列,每个排列不宜少于6个检波点,检波点间距宜为1~2m,宜分别激发和接收纵波、横波。

11 单孔地震波法测试孔内有PVC管护壁时,PVC管外壁与孔壁之间的空隙应用细砂填充密实。当接收信号较弱时,宜加大激发能量或信号叠加,信号叠加次数不宜超过5次。

7.3.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 密度测井应先从宏观上把全测段划分为若干个数值不同的厚层,求取各层的平均值,分别分析各个异常,做出地质推断

并划分出薄层。对厚度不足 30cm 的地层，应根据测井曲线计算出其数值的大致范围。

2 附加质量法应依据采集的时域信号求取每一级附加质量 Δm 所对应的共振频率 f_i ，根据 $D_i = (2\pi f_i)^{-2}$ 公式，计算对应的 D_i 值，做 $D_i \sim \Delta m_i$ 曲线，计算参振体的动刚度 K 与参振质量 m_0 ，宜使用数字量板计算测点密度。

3 计算与分析表面地震波速度，宜按相遇时距曲线斜率变化分段计算或按两测点间时差计算。相遇观测系统的地震波速度、两测点间地震波速度应按公式 (D. 5.3-1) ~ 公式 (D. 5.3-5) 计算。

4 孔隙度计算应符合下列规定：

- 1) 宜依据单孔声波的地层声波速度 V 、地层水的声波速度 V_{pw} 、岩石骨架的声波速度 V_{pm} ，利用公式 (D. 7.3) 计算。
- 2) 宜依据密度测井的岩石骨架密度 ρ_{ma} 、地层体密度 ρ_b 、孔隙中水的密度 ρ_w ，利用公式 (D. 6.2) 计算。
- 3) 宜依据电阻率测井的地层电阻率 ρ_t 、孔隙中水电阻率 ρ_w 及经验系数 m ， a ，利用公式 (D. 7.4) 计算。

5 可依据已知的纵波速度、横波速度和密度等参数，按公式 (D. 7.1-1) ~ 公式 (D. 7.1-4) 计算泊松比 μ 、动弹性模量 E_d 、动剪切模量 G_d ，利用动弹性模量 E_d 和折减系数 α 计算单位弹性抗力系数 K 。[公式 (D. 7.1-5)]。

6 对于具有片理、层理或似层状结构的岩体，可利用平行岩体结构面的纵波速度 V_p'' 与垂直于岩层结构面的纵波速度 V_p' 按公式 (D. 7.1-6) 计算岩层的最大各向异性系数 η 。

7 计算岩体完整性系数 K_v 应正确选取岩块（石）的纵波速度 V_{pr} ，岩块的纵波速度可选取本测区新鲜完整的岩样（或岩芯）用声波仪测试。一个测区只有一种岩体时应采用一个 V_{pr} 值，取一组岩样测试值的平均值作为 V_{pr} 值。当测区有两种以上岩性时，应按岩性分别选取各自的 V_{pr} 值。

8 可根据岩体纵波速度 V_p 和新鲜岩块纵波速度 V_{pr} ，按公式 (D. 7. 1-7) 和公式 (D. 7. 1-8) 分别计算岩体风化系数 K_w 和完整性系数 K_v 。

7. 3. 5 成果与评价应符合下列规定：

1 岩体纵波速度、风化系数和完整性系数，可作为划分岩体风化带和评价岩体完整程度的标准之一，评定要求应符合 GB 50487 的规定。

2 密度测井与室内试验成果的绝对误差，覆盖层应小于 $0.10\text{g}/\text{cm}^3$ ，基岩应小于 $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ 。

3 使用单孔声波法、密度测井、电阻率测井等求得的孔隙度与室内试验成果的相对误差应小于 10%。

7. 4 水文地质参数测试

7. 4. 1 测试内容宜包括地下水流速、流向和渗流速度，配合水文地质试验测试含水层涌水量、渗透系数等。

7. 4. 2 方法选择宜符合下列规定：

1 在地面测试地下水流向时宜采用自然电场法。

2 利用单个钻孔或水井在地面开展地下水流速、流向测试时，可采用充电法。

3 在单个钻孔中测定地下含水层位置及多层含水层之间的水力联系时，可采用井液淡化法、投盐法、注入法或提捞法并液电阻率测井。

4 当有多个钻孔可利用时，可在多孔间开展投盐扩散法。

7. 4. 3 现场工作应符合下列规定：

1 自然电场法测试时，应合理选择中心点，布置环形观测网，测网宜布置在较平缓的区域且远离干扰源。应根据地下水深度布置若干测点，使用不极化电极测量不同方位的过滤电场。

2 利用单个钻孔或水井中投盐在地面开展充电法时，除应符合 4. 2 节的相关规定外，还应符合下列规定：

1) 应以钻孔或水井为中心，等夹角布置 8 条或 12 条辐射

状测线的测网。

- 2) 应采用追踪等电位圈的测量方式，找出各测线上投盐前和投盐后一段时间内的等电位点位置，投盐后测量的等电位圈数不应少于 3 个。
- 3) 观测时应同时记录测量时间和各等电位点至孔口或井口的距离。
- 4) 等电位圈观测时，应保持恒流充电，供电电流宜为 0.5~1.0A。
- 5) 投盐后的观测过程中，应保持充电电极 A 处的盐化不间断。

3 自然电场法测试点距宜为 5~10m，充电法辐射状测线上测点距宜为 2~5m。

4 在单孔内开展井液淡化法、投盐法井液电阻率测井，除应符合 4.11.7 条节的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 井液电阻率曲线 ρ_0 应在井液盐化或淡化前测试，应在电缆下放时进行测试。
- 2) 根据 ρ_0 曲线，井液矿化度较高、电阻率值低时应采用井液淡化法，井液矿化度较低时应采用投盐法。
- 3) 井液应淡化或盐化均匀。
- 4) 淡化或盐化后测试井液电阻率曲线不应少于 4 条，应记录每条曲线的起止时间。
- 5) 测试曲线的时间间隔和投盐量应根据地下水流速确定，井液电阻率各曲线宜时间分布均匀，最后一条曲线的含水层段井液电阻率值应与 ρ_0 接近。
- 6) 淡化或盐化前后的测试技术条件应一致，测速宜小于 5m/min。

5 在单孔内开展注入法或提捞法井液电阻率测井，除应符合 4.11.7 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1) 升高或降低水位不应少于 3 次，每次水位差不应小于 2m。

- 2) 应精确记录钻孔的稳定水位、注水量及水位变化情况。
- 3) 盐柱长度不宜少于 5m, 记录盐柱界面移动的曲线不应少于 4 条, 时间分布应均匀。

6 当钻孔内有不同压力的多个含水层时, 测试含水层之间的水力联系和涌水量可用井中流量计或自下而上的分层封闭投盐法。

7 利用多孔开展孔间投盐扩散法井液电阻率测井时, 应符合下列规定:

- 1) 投盐孔应为预估水流方向的上游钻孔, 孔深应在已知含水层、测试异常区段或地质推测位置。
- 2) 投盐前, 应先在预估水流方向的下游观测孔中测试井液电阻率 ρ_0 曲线, 测试段应包含待测含水层段, 上下两端非含水层测段不应小于含水层段长、均不宜少于 10m。
- 3) 投盐后, 应根据投盐孔与观测孔位置、预估含水层水流流速, 选择合适的观测时间和间隔。
- 4) 井液电阻率测井应在电缆下放时进行测试, 测试段应与 ρ_0 曲线测试一致, 应精确记录各条曲线的起始和终止时间。
- 5) 观测孔待测含水层段井液呈现明显盐化扩散现象后, 可结束该孔观测。
- 6) 投盐孔下游侧有多个钻孔时, 可同时观测, 也可分次分别投盐观测。

8 采用井中流量计测试涌水量和渗透系数应在钻孔进行抽水或压水试验配合下进行。

9 井中流体测量时, 井壁应冲洗干净。

7.4.4 资料整理分析应符合下列规定:

1 自然电场法宜依据环型观测资料的电位差最大电位方向, 推测地下水的流向。

2 充电法应依据观测资料等位圈移动的最大方向推测地下

水的流向，依据观测资料等位圈移动速度推测地下水的流向和解释计算含水层的流速。

3 单孔井液淡化法或投盐法应根据井液电阻率测井曲线变化特征推断含水层位置和层厚，估算地下水渗透速度。

4 钻孔中有两个以上含水层相互补偿时，井液电阻率测井应定性分析各含水层之间的补给关系。

5 多孔扩散法应根据井液电阻率测井曲线初见盐化现象时间计算两个钻孔间的地下水扩散速度，宜根据多个钻孔的位置关系和两个钻孔间的扩散速度推测含水层的流向和流速。

6 提捞法计算涌水量和注水法计算补给量时，应使用分层测定的曲线，按实测井径计算。

7 应依据井中流量计或井液电阻率法测得的轴向流量资料计算含水层涌水量和渗透系数，应利用井中流量计或井液电阻率法测量孔内不同深度点的轴向流量，计算各含水层的涌水量（或渗漏段的透水率）和渗透系数。

7.4.5 成果与评价应符合下列规定：

1 成果图件除应符合 3.8.4 条的规定外，还应包括标有地下水流速、流向的平面图，应提交井液电阻率测井曲线解释成果图及测定地下水流速、流向、涌水量和渗流速度或渗透系数的计算成果表。

2 单孔投盐法、多孔扩散法的井液电阻率测井多时间段测井曲线可单独成图，宜按观测顺序绘制、标明观测时间。

3 测试地下水流方向的绝对误差应小于 10° ，测试地下水流速的相对误差应小于 20%，测试涌水量的相对误差应小于 20%。

8 成果报告

8.1 物探综合探测成果报告

8.1.1 物探探测项目外业工作结束后应编写物探成果报告，报告应内容全面、目的明确、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论正确。

8.1.2 采用单项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务应编写单项（或专项）物探成果报告，采用多项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务应编写综合物探成果报告。完成一个工程或工区的一个阶段的物探工作后，应编写阶段性物探综合探测成果报告。

8.1.3 单项（或专项）和综合物探成果报告宜包括概况、地质简况及地球物理特征、物探方法与技术、探测依据、质量控制、资料整理与解释、结论与评价、问题与建议、附图与附表，报告应符合下列规定：

1 概况宜包括工程概况、任务来源、工作内容、工作时间、以往工作情况、工作量完成情况。

2 地质简况及地球物理特征宜包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、岩土体的物性特征。

3 物探方法与技术宜包括所选用的物探方法及原理、现场试验情况、测网和测线布置、现场工作方法与技术、仪器设备及工作参数。

4 探测依据宜包括规程规范、设计要求等。

5 质量控制宜包括质量控制目标、质量控制措施。

6 资料整理宜包括数据质量评价、数据处理流程、方法、参数、反演计算成果。

7 资料解释宜结合相应地质资料对物探孔、测网和测线的物探成果资料进行地质解译和推断。

8 结论与评价宜包括探测成果结论、任务解决的程度、成果验证对比情况及解释精度等。

9 问题与建议宜包括本次物探工作尚存在的问题，以及需要补充开展其他物探工作和验证工作的建议。

10 附图与附表宜包括工作布置图、物探成果图、物探成果地质解译图、物探成果表等。

11 综合物探成果报告应突出综合物探方法在解决地质问题方面的应用及各种方法所获得资料的综合分析。

8.1.4 阶段性综合物探成果报告宜在该阶段或以前各阶段综合物探成果报告的基础上编写。报告内容宜包括概况，地质简况及地球物理特征，物探方法综合探测成果，结论与评价，问题与建议，附图与附表。报告应符合下列规定：

1 概况宜包括工程概况、地理位置、物探任务、工作起止时间、物探工作布置，综合利用各种物探技术的探测情况及完成的工作量。

2 地质简况及地球物理特征宜包括与物探工作有关的地形地貌、地层构造及水文地质情况，地球物理特征。

3 物探方法综合探测成果宜包括探测内容、探测方法技术、各物探方法的综合分析和地质解译。

4 结论与评价宜包括阐明应用综合物探方法所解决的工程地质问题的结论与效果，做出成果质量与精度评价。

5 问题与建议宜包括本次物探工作尚存的问题以及需要补充和需要开展的其他物探工作和验证工作的建议，或者是本次探明的问题，以及可行的设计及施工处理建议。

6 附图与附表宜包括工作布置图、物探成果图、物探成果地质解译图、物探成果表等。

8.1.5 物探成果报告的插图可包括方法原理图、典型曲线图、对比分析图等，插表可包括工作量表、物性参数表、仪器参数表、成果解释表、测试数据表、探测精度表等。

8.1.6 物探成果报告的附图和附表应符合第4章各方法的规定。

8.2 物探检测、监测成果报告

8.2.1 物探检测、监测成果报告宜包括概况、地质及地球物理特征、方法与技术、质量控制、资料处理与解释、成果分析、检测结果与建议、附图与附表。

8.2.2 报告内容应符合下列规定：

1 概况宜包括工程概况、任务下达、工作任务、工作时间段、工作量完成情况。

2 地质及地球物理特征宜包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、地球物理特征，对工程建筑物进行检测、监测时，应描述建筑物结构特征、施工情况和现场调查情况。

3 方法与技术宜包括工作方法原理，现场试验情况，测点、测线或测网布置，抽样方式或比例，现场工作方法技术，检测环境条件、检测仪器设备性能及仪器参数选择。

4 质量控制应包括执行标准、数据质量评价等。

5 资料处理与解释宜包括数据处理方法、流程、参数，应绘制检测、监测成果图和典型异常图。

6 成果分析宜结合相应地质资料，设计或施工资料及其他已知资料对物探检测、监测成果资料进行解释和推断，对于工程建筑物进行检测、监测，应结合评价标准对工程合格情况进行评价。

7 检测结果与建议宜包括结果、对比验证情况，对资料使用注意事项，尚未解决的问题和下一步工作建议等。

8.2.3 一个阶段的物探检测、监测工作完成后，应及时编写简报。简报内容宜包括工程概况、检测部位与工程量、方法与技术、检测设备、成果与分析、结果与建议、附图与附表。

8.3 物探测试成果报告

8.3.1 物探测试成果报告宜包括工程信息、样品信息、测试信息、测试结果、附图与附表。

8.3.2 报告内容应符合下列规定：

1 工程信息宜包括工程名称，委托方、责任方及见证方的名称、地址及联系人。

2 样品信息宜包括样品名称、样品编号、样品型号、样品来源、样品生产日期及抽样率等必要的样品描述。

3 测试信息宜包括测试日期、测试参数、测试依据、测试方法、环境条件、测试仪器与编号。

4 测试结果宜包括测试参数的值与单位、不确定度及使用范围。委托方有对测试结果评价的要求时，应根据测试依据评价。

8.3.3 报告应具有测试、校核及审批人员的署名，应标注检测机构资质认定标志，加盖检测专用章。每份报告应具有特定的报告编号，应声明有效性。

8.3.4 完成一个周期的测试工作后，应根据生产要求编写周期性的分析报告。内容宜包括工程概况、测试依据、测试仪器、测试工作量与进度、测试成果的统计分析、结论与建议、附图及附表。

附录 A 物探应用一览表

表 A-1 物探方法探测应用

物探方法	探测项目												
	覆盖层	隐伏构造 破碎带	软弱 夹层	岩体 风化、 卸荷带	岩体 风化、 卸荷带	岩溶	库坝 渗漏	地下水	防渗 帷幕	堤防 隐患	隧洞施工 物探超前 地质预报	水库 淤积	地下 管线
电测深法	○	○		△	○			○	△	△			
电剖面法		○							△	○			
高密度电法	○	○		△	○	○	○	○	○	○		○	○
自然电场法							○	○	○	○			
充电法		△					○	○		○			
激发极化法		○			△		○	○	△	○			
伪随机流场法							○		○				
聚焦电法											○		

表 A-1 (续)

物探方法		探 测 项 目											
		覆盖层	隐伏构造 破碎带	软弱 夹层	岩体 风化、 卸荷带	滑坡体	岩溶	库坝 渗漏	地下水	防渗帷 幕线	堤防 隐患	隧洞施工 物探超前 地质预报	水库 淤积
电磁 法 探	音频大地电磁测深法	○	○		△	○	○		○	△			
	可控源音频大地 电磁测深法	○	○		△	○	○	△	○				
	瞬变电磁法		○				○	○	△	○	○		△
	电磁感应法												○
	电磁阻率法						○	○	○	○			
探地 雷达	剖面法	○	○	△	○	○	○	△		△	○		○
	孔内探测法			△							○		
	三维探测									△			○
地震 勘探	地震折射波	○	○		○	○	○		△				
	地震反射波	○	○		△	○	○	△	○				△
	瞬态面波	○	△		△	○	△		△	○			△

表 A-1 (续)

物探方法	探 测 项 目												
	覆盖层	隐伏构造 破碎带	软弱 夹层	岩体 风化、 卸荷带	滑坡体	岩溶	库坝 渗漏	地下水	防渗帷 幕线	堤防 隐患	隧洞施工 物探超前 地质预报	水库 淤积	地下 管线
天然源面波	○	△		△	○	△	△		○				△
三维地震反射波法	○	○		○	△	○							
水域地层剖面探测	○	○										○	
水域多道地震勘探	○	○										○	
隧洞施工地质超前 预报地震波法											○		
单孔声波法		○	○	○						○			
穿透声波法		○	○	△									
单孔地震波法	○	△		△	○								
穿透地震波法	△	○		△									
表面地震波法				○									

表 A-1 (续)

物探方法	探 测 项 目												
	覆盖层	隐伏构造 破碎带	软弱 夹层	岩体 风化、 卸荷带	滑坡体	岩溶	库坝 渗漏	地下水	防渗帷 幕线	堤防 隐患	隧洞施工 物探超前 地质预报	水库 淤积	地下 管线
层析 成像	声波 CT 法	△	○	○		○	△		○				
	地震波 CT 法	○		○		○	△		○				
	电磁波 CT 法	△	○	△		○	○		○				
	电阻率 CT 法	△	△			○							
放射 性测 量	常规测氦法												
	活性炭测氦法、 α 射线测量法												
	伽马测量法												
地球 物理 测井	井径测井		○		△	△							
	井温测井				△	△	△	○		○			
	电阻率测井	○	○		○		△	○					

表 A-1 (续)

物探方法	探 测 项 目												
	覆盖层	隐伏构造 破碎带	软弱 夹层	岩体 风化、 卸荷带	滑坡体	岩溶	库坝 渗漏	地下水	防渗帷 幕线	堤防 隐患	隧洞施工 物探超前 地质预报	水库 淤积	地下 管线
自然电位测井	○	○	△		△	△		○					
自然伽马测井	○	○	○	△	○	△							
密度测井	○	○	○	○	○	△							
地球 物理 测井	△	○	○	○	△	○	△		○				
钻孔全景数字 成像		○	○	○	△	○		○	○				
钻孔摄像		○	○	○	△	○		○	○				
超声成像测井		○	○	○	△								
水域磁法													○
水下 探测									○				
水下摄像													
侧扫声呐													○

注：○表示主要方法；△表示辅助方法。

表 A-2 物探方法检测、监测、测试应用

物探方法		检测项目																		
		岩体质量	洞室松弛圈	固结灌浆	帷幕灌浆	防渗墙质量	堆石(土)体密度实度	堆石坝面板质量	混凝土质量	混凝土衬砌质量	锚杆锚固质量	衬砌与混凝土接触状况	洞室环境放射性	水下建筑物	爆破、环境噪声和地微振动	地震监测	场地抗震动力参数	岩土电性参数	岩土体物理力学参数	水文地质参数
电法勘探	电测深法																○			
	高密度电法					△											○			
	自然电场法																		○	
	充电法																		○	
	伪随机流场法					△														
电磁法勘探	音频大地电磁测深法																	○		
	可控源音频大地电磁测深法																	○		
探地雷达	剖面法	○				△		○	○	○								○		
	三维探测法									○	△									

表 A-2 (续)

物探方法		检测项目																		
		岩体质量	洞室松弛圈	固结灌浆	帷幕灌浆	防渗墙质量	堆石(土)体密度	堆石坝面板质量	混凝土质量	洞室混凝土衬砌质量	锚杆锚固质量	衬砌与混凝土接触状况	洞室环境放射性	水下建筑物	爆破、环境噪声和地微振动	微震监测	场地抗动力参数	岩土电性参数	岩土物理力学参数	水文地质参数
地震勘探	地震折射波法	△	△															○		
	地震反射波法				△														○	
	瞬态面波法		△														○	○		
	天然源面波法																○	○		
水下探测	水下摄像																	○		
	二维图像声呐																	○		
	三维图像声呐																	○		
	多波束声呐																	○		
	侧扫声呐																	○		

表 A-2 (续)

物探方法	检测项目																			
	岩体质量	洞室松弛圈	固结灌浆	帷幕灌浆	防渗墙质量	堆石(土)体密度	堆石坝面板质量	混凝土质量	混凝土衬砌质量	锚杆锚固质量	衬砌与混凝土接触状况	洞室环境放射性	水下建筑物	爆破、环境噪声和地微振动	地震监测	场地抗动力参数	岩土电性参数	岩体物理力学参数	水文地质参数	
弹性波测试	单孔声波法	○	○	○	○			○										○		
	穿透声波法	○	○	○	○			○										○		
	表面声波法						○													
	声波反射法						○	○	○	○										
	脉冲回波法						○	△	○	○										
	超声横波反射三维成像法						○	○	○	○	△									
	单孔地震波	○		○	△														○	
	穿透地震波	○		○	△														○	

表 A-2 (续)

物探方法		检测项目																			
		岩体质量	洞室松弛圈	固结灌浆	帷幕灌浆	防渗墙质量	堆石(土)体密度	堆石坝板质量	混凝土质量	洞室混凝土衬砌质量	锚杆锚固质量	钢衬与混凝土接触状况	洞室环境放射性	水下建筑物	爆破、环境噪声和场地微振动	地震监测	场地抗动力参数	岩土电性参数	岩土物理力学参数	水文地质参数	
弹性波测试	表面地震波	○														○			○		
	地脉动测试															○					
	质点振动测试														○						
	附加质量法						○												○		
层析成像	声波 CT 法	○		○	○			○													
	地震波 CT 法	○		○	○																
	电磁波 CT 法	△		○																	
地球物理测井	井径测井																				
	电阻率测井																			○	○
	自然伽马测井																			○	○

表 A-2 (续)

物探方法		检测项目																			
		岩体质量	洞室松弛圈	固结灌浆	帷幕灌浆	防渗墙质量	堆石(土)体密度	堆石坝面板质量	混凝土质量	洞室混凝土衬砌质量	锚杆锚固质量	衬砌与混凝土接触状况	洞室环境放射性	水下建筑物	爆破振动、环境噪声和场地微振动	地震监测	场地抗震动力参数	岩土电性参数	岩土体物理力学参数	水文地质参数	
地球物理测井	密度测井																		○		
	钻孔全景数字成像	○	○	○	○	○		△													
	钻孔摄像	△	○	△	△	△															
放射性测量	伽马射线测量法																				○
	氡浓度测量法																				○
	核子水分-密度测量法																				○

注：○ 主要方法；△ 辅助方法。

附录 B 常规仪器设备校验方法

B.1 一般规定

B.1.1 仪器校验通用环境应符合下列要求：

- 1 校验环境温度宜控制在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
- 2 相对湿度不应大于 85%。
- 3 环境地面震动速度应小于 0.2mm/s 。
- 4 周边 50m 内应无强电磁干扰。

B.1.2 仪器校验前应满足下列要求：

- 1 校验前受检仪器在室内静置，时间不应少于 30min。
- 2 校验前受检仪器应开机预热，时间不应少于 15min。

B.2 电法仪

B.2.1 电法仪应校验电流和电压相对误差，检查装置原理图如图 B.2.1 所示。

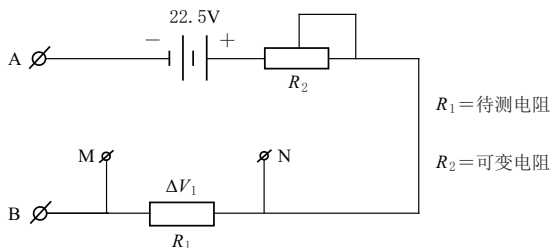


图 B.2.1 电流和电压相对误差的检查装置图

B.2.2 电流相对误差的检查应符合下列规定：

1 在电法仪 A、B 测量输入端供入多组（不少于 5 组）电压，回路中接入相应的标准电阻，数字万用表（已标定）串联在供电回路中。

2 用电法仪和数字万用表测量每组回路中的电流值并做记

录，按照公式 (B. 2. 2 - 1) 求出每组的相对误差：

$$\delta_i = \frac{|I_i - I_{i0}|}{I_{i0}} \times 100\% \quad (\text{B. 2. 2 - 1})$$

式中 δ_i ——电流的相对误差；

I_i ——电法仪测出的第 i 次的电流值，mA；

I_{i0} ——数字万用表读出的第 i 次的电流值，mA。

3 多组电流相对误差的平均值 $\bar{\delta}$ 应按照公式 (B. 2. 2 - 2) 计算：

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (\text{B. 2. 2 - 2})$$

式中 $i=1, 2, 3, \dots, n, n \geq 5$ 。

B. 2. 3 电压相对误差的检查应符合下列规定：

1 在电法仪 M、N 直流高压输入端供入多组 (≥ 5 组数据) 电压。

2 用数字万用表监测仪器面板的 M、N 接线柱的电压，测量每组电压并做记录。

3 用电法仪测量每组电压，并与用数字万用表测出的标准电压比对，按照公式 (B. 2. 3 - 1) 求出相对误差：

$$\delta_i = \frac{|U_i - U_{i0}|}{U_{i0}} \times 100\% \quad (\text{B. 2. 3 - 1})$$

式中 δ_i ——第 i 次标准电压的相对误差；

U_i ——电法仪测出的第 i 次的电压值，V；

U_{i0} ——数字万用表读出的第 i 次的电压值，V。

4 多组电压相对误差的平均值按照公式 (B. 2. 3 - 2) 计算：

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (\text{B. 2. 3 - 2})$$

式中 $i=1, 2, 3, \dots, n, n \geq 5$ 。

5 电流和标准电压相对误差的平均值 $\bar{\delta}$ 应小于 3%。

B. 3 大地电磁测深仪

B. 3. 1 电压相对误差检查应符合下列规定：

1 用数字万用表测量分压器提供的 1V 标准电压 U_{BZ} ，输入大地电磁仪的每个通道，利用大地电磁仪测试每个通道实测电压数值 (≥ 5 组数据)。

2 按照公式 (B. 3. 1 - 1) 求出大地电磁测深仪测试分压器输入标准 1V 电压的测试平均值。

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \quad (\text{B. 3. 1 - 1})$$

式中 \bar{U} ——大地电磁测深仪测试出的电压平均值；

U_i ——大地电磁测深仪测出的第 i 次的电压值；

$i = 1, 2, 3, \dots, n, n \geq 5$ 。

3 按照公式 (B. 3. 1 - 2) 计算相对误差：

$$\delta = \frac{|\bar{U} - U_{BZ}|}{U_{BZ}} \times 100\% \quad (\text{B. 3. 1 - 2})$$

4 电压值平均相对误差应小于 3%。

B. 3. 2 一致性试验应符合下列规定：

1 按照正常单点张量采集设置。

2 两组电道平行布置，同一端电极距离小于 1m，不能共用一个电极。

3 两根磁棒平行布置，且与电道垂直，磁棒间间距 2m。

4 电通道和磁通道功率谱曲线形态一致。

5 电阻率曲线形态一致。

B. 4 地 震 仪

B. 4. 1 本机噪声应符合下列规定：

1 地震仪选择自触发方式，给所有地震道接 500 Ω 标准电阻，启动地震仪采集记录噪音。

2 本机噪声应满足放大器内部噪声不大于 1 μ V。

B. 4. 2 放大器道一致性应符合下列规定：

1 选择地震仪为外触法方式，所有地震道接入一个检波器或信号发生器，启动地震仪采集数据。

2 宜在近检波点进行锤击激发，激发能量应要求波形信号不限幅、波形完整。

3 仪器因素一致的条件下，各道之间的相位差应小于 1.5ms、振幅差应小于 15%。

B.4.3 道间感应应符合下列规定：

1 道间感应包括奇数道感应和偶数道感应。

2 奇数道感应校验时，选择地震仪为自触发方式，给偶数道输入设定频率的正弦信号，启动地震仪采集数据，测量偶数道对奇数道的感应。

3 偶数道感应校验时，选择地震仪为自触发方式，给奇数道输入设定频率的正弦信号，启动地震仪采集数据，测量奇数道对偶数道的感应。

4 宜在近检波点进行锤击激发，检波器输入道的信号幅度大于 20mm 时，无信号输入道的幅度应小于 1mm。

B.4.4 地震仪系统记录道一致性检查应符合下列规定：

1 检波器应紧密安置在宽度 1m 范围内。

2 各道之间的振幅差应小于 15%。

3 各道之间的相位差应小于 1.5ms。

B.5 探地雷达仪

B.5.1 探地雷达仪器检查应符合下列规定：

1 开机检查时，连接并启动雷达系统，正确设置工作参数，屏幕显示雷达信号应正常。

2 信号一致性检查时，天线应保持不动，雷达信号观察时间不宜少于 3min，雷达信号应稳定、无抖动现象，反射波同相轴应保持连续水平一致。

B.5.2 空气中仪器校验应符合下列规定：

1 校验天线频率不小于 400MHz 的探地雷达系统的反射时间、振幅和频率参数。

2 反射金属板表面平整、无锈迹，长×宽×厚不宜小于

1200mm×1000mm×5mm。

3 金属板竖立放置，距离金属板中垂线方向一定距离设置探地雷达天线（分体天线或偶极子天线），用经法定计量单位检定过的且在有效期内的钢卷尺量取反射金属板与天线地面垂直距离。

4 天线标示的测量方向应与反射金属板长轴方向一致；测点数量、测点间距、反射金属板与天线底面最大与最小距离宜按表 B.5.2 的要求选取。

表 B.5.2 在空气中进行仪器校验的相关参数表

天线中心频率 /MHz	测点数量 /点	测点距 /cm	反射金属板与天线底面距离/m	
			最小距离	最大距离
400~600	6	20	0.6	2
800~1000	6	20	0.5	1.5
1200 及以上	6	10	0.5	1

注：测点可位于同一平面或平行的不同平面。

5 探地雷达主机参数设置应符合以下规定：

- 1) 滤波器应设置为全通。
- 2) 采样频率应设置为中心频率 10 倍。
- 3) 信号静态叠加次数不少于 32 次。
- 4) 增益选择应保证电磁波信号记录无削波。
- 5) 记录时窗应按公式 (B.5.2-1) 计算：

$$T = K \frac{2H}{C} \quad (\text{B.5.2-1})$$

式中 T ——记录时窗，ns；

K ——折算系数，取值范围 1.3~1.5；

H ——金属板与天线底面的垂直距离，m；

C ——空气中电磁波传播速度，取 0.3m/ns。

6 进行雷达波振幅校验时，各测点的参数设置应一致，且与上次校验采用同一参数。

7 各测点的雷达波反射时间相对误差应按公式 (B. 5. 2 - 2) 计算:

$$\delta_t = \frac{|t_{Bi} - (t_i - t_0)|}{t_{Bi}} \times 100\% \quad (\text{B. 5. 2 - 2})$$

式中 δ_t ——相对误差, %;

t_{Bi} ——第 i 个测点的计算雷达波反射时间, ns;

t_i ——第 i 个测点的实测雷达波反射时间, ns;

t_0 ——通过线性回归分析得出的雷达波实测反射时间修正值, ns。

8 读取直达波的周期并计算其主频, 并按公式 (B. 5. 2 - 3) 计算频率相对误差:

$$\delta_f = \frac{|f_c - f_{si}|}{f_c} \times 100\% \quad (\text{B. 5. 2 - 3})$$

式中 δ_f ——相对误差;

f_c ——天线中心频率, MHz;

f_{si} ——第 i 个测点的实测雷达波主频, MHz。

9 某反射距离下的雷达波反射振幅一致性判断按公式 (B. 5. 2 - 4) 计算, 雷达波道数不应少于 100 道:

$$D_A = \frac{|A_{\max} - A_{\min}|}{A_{\text{ave}}} \times 100\% \quad (\text{B. 5. 2 - 4})$$

式中 D_A ——振幅差百分比;

A_{\max} ——最大反射振幅值;

A_{\min} ——最小反射振幅值;

A_{ave} ——平均反射振幅值。

10 反射时间相对误差应小于 5%, 雷达频率相对误差应小于 20%, 振幅差百分比应小于 10%。

B. 5. 3 水中仪器校验的方法应符合下列规定:

1 校验天线频率不小于 100MHz 的探地雷达系统的反射时间、振幅和频率参数。

2 校验之前应按 B. 4. 2 条进行仪器检查。

3 校验工作开始前，应对雷达天线及接口等部位做好防水处理。

4 水池最小边长不小于天线长轴的 2 倍，水池最大深度不小于天线长轴的 2 倍。

5 水池内充满干净淡水，无悬浮杂质。

6 反射金属板表面平整、无锈迹，长×宽×厚不宜小于 1400mm×1200mm×5mm，最短边长不小于天线长轴的 2 倍。

7 天线与反射金属板的中心点、长短轴应对齐，离水池岸边的距离宜大于水深。

8 主机参数设置应符合下列规定：

1) 滤波器应设置为全通或带通，带通的高通截止频率为天线频率的 1/4，低通截止频率为天线频率的 2 倍。

2) 采样频率设置不应小于中心频率的 10 倍。

3) 信号静态叠加次数不应少于 32 次。

4) 增益选择应保证电磁波信号记录无削波。

5) 记录时窗应按公式 (B. 5. 2 - 1) 计算，其中反射金属板与天线底面的最大距离不小于天线长轴的 2 倍，电磁波在水中传播速度取 0. 033m/ns。

9 天线底面与水面距离、测点数量、测点间距、反射金属板与天线底面最大与最小距离宜按表 B. 5. 3 的要求选取。

表 B. 5. 3 在水中进行仪器校验的相关参数表

天线中心频率 /MHz	测点数量 /点	测点间距 /cm	反射金属板与天线底面距离/m	
			最小距离	最大距离
100	6	20	0. 5	2. 5
200	6	15	0. 5	2. 0
300	6	12	0. 5	1. 7
400~600	6	10	0. 4	1. 4
800~1000	6	8	0. 3	1. 1
≥1200	6	5	0. 1	0. 6

10 雷达波振幅校验时，各测点的参数设置应一致，且与上次校验采用同一参数。

11 雷达波反射时间相对误差应按公式 (B.5.2-2) 计算，雷达波的频率相对误差应按公式 (B.5.2-3) 计算，雷达波反射振幅差百分比应按公式 (B.5.2-4) 计算。

12 反射时间相对误差最大值应小于 5%，雷达频率相对误差最大值应小于 20%，振幅差百分比应小于 10%。

B.5.4 计数轮测距校验检查应符合下列规定：

1 计数轮测距检查时，应选择在平整地面进行。

2 地面上选取一个测线段并做好起止标记，测线段长度不宜小于 20m，用经法定计量单位检定过的且在有效期内的钢卷尺量取地面测线段长度，记为 L_{BZ} 。

3 启动采集后应沿测线匀速移动天线，完成地面测线段测试后应，读取雷达采集系统显示距离，按下列公式计算出测距相对误差，其误差应小于 0.5%。

$$\Delta L = \frac{|L_C - L_{BZ}|}{L_{BZ}} \times 100\% \quad (\text{B.5.4})$$

式中 ΔL ——测距相对误差；

L_C ——探地雷达测量轮测出的距离，m。

B.6 电磁波 CT 仪

B.6.1 电磁波仪校验参照值校验应符合下列规定：

1 将发射天线和接收天线水平并列贴紧放置，选择不同频率从高到低依次发射电磁波信号，观测接收信号值。

2 每一发射频率观测 n ($n \geq 6$) 组数据，计算同一发射频率下接收信号均值记为 $\bar{\beta}_{fn}$ 。

3 按公式 (B.6.1) 计算观测值相对偏差：

$$\delta_{\beta} = \frac{|\bar{\beta}_{fn} - \beta_{BZ}|}{\beta_{BZ}} \times 100\% \quad (\text{B.6.1})$$

式中 δ_{β} ——观测值相对偏差；

$\bar{\beta}_{fn}$ ——同一发射频率下接收信号值的均值；

$\bar{\beta}_{BZ}$ ——由厂家提供的电磁波透视仪校验参照值。

4 各发射和接收频率的观测值允许相对偏差均不应大于1%。

B. 6. 2 电磁波仪一致性检查校验应符合下列规定：

1 将发射天线和接收天线竖向平行放置，选择不同频率从高到低依次发射电磁波信号，观测接收信号值，单次观测时间不应少于1min。

2 同一发射频率观测不少于6组数据，计算同一发射频率下接收信号平均值记为 $\bar{\beta}_{fk}$ ， k 代表发射频率序号。

3 同一发射频率下按公式（B. 6. 2 - 1）、公式（B. 6. 2 - 2）计算接收信号值一致性偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\beta}_{fk} - \beta_{ki})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (\text{B. 6. 2 - 1})$$

$$\delta_s = \frac{s}{\bar{\beta}_{fk}} \times 100\% \quad (\text{B. 6. 2 - 2})$$

式中 n ——同一频率下观测数据组数， $n \geq 6$ ；

β_{ki} ——第 k 个发射频率下的单次观测值，其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

$\bar{\beta}_{fk}$ ——第 k 个发射频率下接收信号平均值；

δ_s ——同一发射频率下接收信号值一致性偏差。

4 电磁波透射仪信号值一致性偏差不应大于3%。

B. 7 超声横波反射三维成像仪

B. 7. 1 超声横波反射三维成像仪器检查应符合下列规定：

1 开机检查前，确保仪器外观、屏幕完好，横波换能器阵列回弹正常。

2 开机检查时，屏幕显示应正常，按键灵活，界面切换无卡顿。

3 信号一致性检查时, 成像扫描仪测试位置应保持不动, 测试时保持所有换能器贴紧混凝土表面, 确保无抖动和滑动。

4 所有校验测试均以 B-Scan 显示和存储校验测试结果。

B. 7. 2 混凝土厚度检测一致性校验应符合下列规定:

1 选择具有两个相对平行临空面且厚度不小于 400mm 的混凝土结构, 划定试验区面积不小于 400mm×250mm。

2 清理混凝土表面尘土, 确保试验区域混凝土表面平整光滑。

3 选择使用校验模式自动得到表面横波速度作为样本混凝土横波速度。

4 设置仪器采集参数, 采用单点测量方式开展混凝土厚度测试。

5 在同一记录点采集不少于 6 次数据, 按公式 (B. 7. 2 - 1)、公式 (B. 7. 2 - 2)、公式 (B. 7. 2 - 3) 计算横波反射成像仪读取的混凝土厚度平均值 \bar{D} :

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (\text{B. 7. 2 - 1})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{D})^2}{n - 1}} \quad (\text{B. 7. 2 - 2})$$

$$\delta_s = \frac{s}{\bar{D}} \times 100\% \quad (\text{B. 7. 2 - 3})$$

式中 d_i ——第 i 次检测获取的混凝土厚度值, m;

\bar{D} —— n 次检测获取的混凝土厚度平均值, m;

s ——混凝土厚度检测重复性, m;

n ——混凝土厚度检测次数;

δ_s ——混凝土厚度检测一致性, %。

6 样本混凝土厚度检测一致性应不大于 3%。

B. 7. 3 混凝土厚度检测误差校验应符合下列规定:

1 选择具有两个相对平行临空面且厚度不小于 400mm 的

混凝土结构，用经法定计量单位检定过的且在有效期内的钢卷尺量取混凝土厚度，其值记为 d_{BZ} 。

2 划定试验区面积不小于 $400\text{mm} \times 250\text{mm}$ ，清理混凝土表面尘土，确保试验区域混凝土表面平整光滑。

3 通过混凝土横波速度参数试验获取样本混凝土超声横波速度值。

4 采用同一参数连续测量得到样本混凝土结构厚度值并记录，测量次数不宜少于 6 次。

5 按附录 B 公式 (B. 7. 2 - 1) 求取混凝土厚度平均值 \bar{D} 。

6 按公式 (B. 7. 3) 计算样本混凝土厚度检测相对误差 δ_{D} ：

$$\delta_{\text{D}} = \frac{|\bar{D} - d_{\text{BZ}}|}{d_{\text{BZ}}} \times 100\% \quad (\text{B. 7. 3})$$

7 混凝土厚度检测相对误差不应大于 3%。

B. 8 声 波 仪

B. 8. 1 声波仪系统精度校验应符合下列规定：

1 将超声平面发射换能器倒置在桌面上，其辐射面朝上，在发射换能器的正上方悬挂接收换能器，其辐射面朝下。

2 调整发射换能器和接收换能器辐射面之间的间距，间距宜为 25cm、50cm、75cm、100cm，分别读取初至时间 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 ，同时测量空气温度 T 。通过对 4 个测点的距离和初至时间进行线性回归计算空气声速测量值 V_{obs} 。

3 空气中理论声速按公式 (B. 8. 1 - 1) 计算：

$$V_{\text{a}} = 331.4\sqrt{1 + 0.00367T} \quad (\text{B. 8. 1 - 1})$$

式中 V_{a} ——空气中理论声速，m/s；

T ——测试环境空气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

4 空气中声速计算值与空气声速测量值相对误差按公式 (B. 8. 1 - 2) 计算：

$$\delta_{\text{r}} = \frac{|V_{\text{a}} - V_{\text{obs}}|}{V_{\text{a}}} \times 100\% \quad (\text{B. 8. 1 - 2})$$

式中 δ_r ——声速相对误差。

5 空气中校验的声速允许相对误差不应大于 0.5%。

B. 8.2 声波仪系统延时校验应符合下列规定：

1 系统延时检查前，应先将仪器系统延时时间设置为零。

2 对于平面厚度振动式换能器，将发射换能器和接收换能器的辐射面贴紧，用黄油耦合，测量初至时间；对于柱面径向振动换能器，将发射换能器和接收换能器捆绑一起后放入水中，测量初至时间。

3 将仪器的系统延时设置为上述检查所获得的首波声时值，然后再次测量声时，允许声时值应小于 $0.5\mu\text{s}$ 。

B. 8.3 柱面径向振动换能器精度校验应符合下列规定：

1 宜在清水中测试水的声波传播速度进行检查。

2 在清水中进行单发单收柱面径向振动换能器检查时，应将发射和接收换能器置入水深不宜小于 1m、宽度不宜小于 3m 的水槽或水坑的中间位置处，发射和接收换能器宜直立放置在水下 0.5m 处，相距 1m，测试初至时间，测量值不宜少于 3 个，并计算平均声速。

3 声速校验测试平均值与清水声速校验的参照值的相对误差应按公式 (B. 8.3) 计算：

$$\delta_v = \frac{|V_c - \bar{V}_{\text{校}}|}{V_c} \times 100\% \quad (\text{B. 8.3})$$

式中 δ_v ——声速校验相对误差；

$\bar{V}_{\text{校}}$ ——校验测试声速平均值，m/s；

V_c ——水声速校验的参照值，m/s，取 1500m/s。

4 声波换能器检查的允许声速校验相对误差 δ_v 不应大于 3%。

B. 9 钻孔全景数字成像仪

B. 9.1 方位角测量校验应符合下列规定：

1 将全景成像仪探头垂直朝下固定在校正台上，记录初始

方位角，将钻孔全景数字成像探头固定在不同方向读出相应的方位值（不少于8组数据） φ_i 并做记录。

2 用经法定计量单位检定过的且在有效期内的罗盘读出对应的方位角 φ_{i0} 并做记录。

3 按公式（B.9.1）计算出第 i 个方位的绝对误差：

$$\delta_i = |\varphi_i - \varphi_{i0}| \quad (\text{B.9.1})$$

式中 δ_i ——第 i 个方位的绝对误差；

φ_i ——钻孔全景数字成像仪测出的第 i 个方位值；

φ_{i0} ——罗盘测出的第 i 个方位值，其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ， $n \geq 8$ 。

4 方位角测量允许角度校验绝对误差范围为 $\pm 5^\circ$ 。

B.9.2 深度计数校验应符合下列规定：

1 用经法定计量单位检定过的且在有效期内的钢卷尺量取一段电缆绳，长度不宜小于 20m，其值记为 l_{BZ} 。

2 把电缆绳绕经在钻孔录像仪系统的滑轮组上缓慢拉动，带动计数轮转动。

3 用钻孔录像仪深度计数器对钢丝绳进行计数（不少于 5 组数据）并做记录。

4 按公式（B.9.2-1）计算平均 \bar{L} ：

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (\text{B.9.2-1})$$

式中 l_i ——第 i 个计数长度，其中 $i = 1, 2, 3, \dots, n, n \geq 5$ 。

5 与标准长度 l_{BZ} 比较，相对误差按公式（B.9.2-2）计算：

$$\delta = \frac{|\bar{L} - l_{\text{BZ}}|}{l_{\text{BZ}}} \times 100\% \quad (\text{B.9.2-2})$$

6 钻孔电视录像仪深度计数系统相对误差不应大于 1%。

B.10 锚杆检测仪

B.10.1 锚杆长度检测一致性校验应符合下列规定：

- 1 选取样本锚杆长度范围宜为 2~6m，无弯折。
- 2 加速度传感器安装固定在样本锚杆端部。
- 3 设置采样间隔等参数，激发并采集信号，波速可默认设为 5500m/s。

4 连续检测样本锚杆长度（不少于 6 组），分别读取仪器检测出的样本锚杆长度 l_i 。

5 按公式（B.10.1-1）、公式（B.10.1-2）、公式（B.10.1-3）计算锚杆长度测量一致性：

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (\text{B.10.1-1})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{L})^2}{n-1}} \quad (\text{B.10.1-2})$$

$$\delta_s = \frac{S}{\bar{L}} \times 100\% \quad (\text{B.10.1-3})$$

式中 l_i ——第 i 次测出的样本锚杆长度值，m；

\bar{L} ——检测得到的样本锚杆长度平均值，m；

S ——锚杆长度检测重复性，m；

n ——锚杆长度检测次数；

δ_s ——锚杆长度检测一致性，%。

6 样本锚杆长度测量一致性应不大于 3%。

B.10.2 锚杆长度检测误差校验应符合下列规定：

1 样本锚杆长度范围宜为 2~6m，无弯折，用经法定计量单位检定过的且在有效期内的钢卷尺量取样本锚杆长度，其值记为 l_{BZ} 。

2 将加速度传感器安装在样本锚杆端部。

3 设置采样间隔等参数，激发并采集信号，钢筋标准波速通过参数试验选取。

4 连续读取锚杆仪检测得到的样本锚杆长度并记录，检测次数不宜少于 6 次。

5 按附录 B 公式 (B. 10. 1 - 1) 求取长度测量平均值 \bar{L} 。

6 按公式 (B. 10. 2) 计算锚杆长度检测相对误差 δ_L ：

$$\delta_L = \frac{|\bar{L} - l_{BZ}|}{l_{BZ}} \times 100\% \quad (\text{B. 10. 2})$$

7 锚杆长度检测相对误差不应大于 3%。

行业标

附录 C 物性参数表

表 C-1 常见介质电阻率

类别	名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$
松散层	黏土	$1 \times 10^0 \sim 2 \times 10^2$
	含水黏土	$2 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10$
	亚黏土	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$
	砾石加黏土	$2.2 \times 10^2 \sim 7 \times 10^3$
	亚黏土含砾石	$8 \times 10^1 \sim 2.4 \times 10^2$
	卵石	$3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	含水卵石	$1 \times 10^2 \sim 8 \times 10^2$
沉积岩	泥质页岩	$6 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$
	砂岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$
	泥岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
	砾岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^4$
	石灰岩	$6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	泥灰岩	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$
	白云岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$
	硬石膏 岩盐	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$
变质岩	片麻岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$
	大理岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	石英岩	$2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	片岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$
	板岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
岩浆岩	花岗岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	正长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$

表 C-1 (续)

类别	名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot m)$
岩浆岩	闪长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	辉绿岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	辉长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	玄武岩	$5 \times 10^1 \sim 1 \times 10^5$
其他	地下水	$< 1 \times 10^2$
	河水	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
	冰	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8$
	岩溶水	$1.5 \times 10^0 \sim 3 \times 10^1$
	海水	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^1$

表 C-2 常见介质的相对介电常数和电导率

介质	相对介电常数	电导率 $/(10^{-3} S/m)$	电磁波速度 $/(m/ns)$	电磁波衰减 $/(dB/m)$
空气	1	0	0.3	0
淡水	81	0.5	0.033	0.1
海水	81	3×10^3	0.1	10^3
干砂	3~5	0.01	0.15	0.01
饱和砂	23~30	0.1~1.0	0.06	0.03~0.3
灰岩	4~8	0.5~2.0	0.12	0.4~1
页岩	5~15	1~100	0.09	1~100
石英	5~30	1~100	0.07	1~100
黏土	5~40	2~1000	0.06	1~300
花岗岩	4~6	0.01~1	0.13	0.01~1
盐岩	5~6	0.01~1	0.13	0.01~1
冰	3~4	0.01	0.16	0.01

表 C-3 常见介质的密度及速度

类别	名称	密度 /(g/cm ³)	纵波速度 V_p /(km/s)	横波速度 V_s /(km/s)
松散层	黏土	1.60~2.04	1.2~2.5	0.7~1.4
	湿砂	—	0.6~0.8	—
	砂质黏土	—	0.3~0.9	0.2~0.5
	干砂、砾石	—	0.2~0.8	0.1~0.5
	饱水砂、砾石	—	1.5~2.5	—
沉积岩	砾岩	1.90~2.90	1.5~4.2	0.9~2.5
	泥质灰岩	2.25~2.65	2.0~4.0	1.2~2.3
	硅质石灰岩	2.80~2.90	4.4~4.8	2.6~3.0
	致密石灰岩	2.60~2.77	2.5~6.1	1.4~3.5
	页岩	2.30~2.70	1.3~4.0	0.8~2.3
	砂岩	2.42~2.77	1.5~5.5	0.9~3.2
	致密白云岩	2.80~3.00	2.5~6.0	1.5~3.6
	石膏	2.41~2.58	2.1~4.5	1.3~2.8
变质岩	片麻岩	2.50~3.30	6.0~6.7	3.5~4.0
	大理岩	2.68~2.72	5.8~7.3	3.5~4.7
	石英岩	2.56~2.90	3.0~5.6	2.8~3.2
	片岩	2.68~3.00	5.8~6.4	3.5~3.8
	板岩	2.55~2.66	3.6~4.5	2.1~2.8
	千枚岩	2.71~2.86	2.8~5.2	1.8~3.2
岩浆岩	花岗岩	2.30~2.96	4.5~6.5	2.4~3.8
	闪长岩	2.52~2.70	5.7~6.4	2.8~3.8
	玄武岩	2.53~3.30	4.5~7.5	3.0~4.5
	安山岩	2.30~3.10	4.2~5.6	2.5~3.3
	辉长岩	2.55~2.98	5.3~6.5	3.2~4.0
	辉绿岩	2.53~2.97	5.2~5.8	3.1~3.5
	橄榄岩	2.90~3.40	6.5~8.0	4.0~4.8
	凝灰岩	1.60~1.95	2.6~4.3	1.6~2.6

表 C-3 (续)

类别	名称	密度 /(g/cm ³)	纵波速度 V_p /(km/s)	横波速度 V_s /(km/s)
其他	水	1.00	1.4~1.6	—
	冰	0.80~0.90	3.1~3.7	—
	混凝土	2.40~2.70	2.0~4.5	1.2~2.7

行业标

附录 D 基本公式及计算图表

D.1 误差计算公式

D.1.1 绝对误差应按公式 (D.1.1) 计算:

$$\Delta = |d_{ai} - d'_{ai}| \quad (\text{D.1.1})$$

式中 Δ ——绝对误差;

d_{ai} ——基本观测值, 重复观测时为有效数据的算术平均值;

d'_{ai} ——系统检查观测值, 重复观测时为有效数据的算术平均值。

D.1.2 平均绝对误差应按公式 (D.1.2) 计算:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta| \quad (\text{D.1.2})$$

式中 $\bar{\Delta}$ ——平均绝对误差;

N ——检查点、测点、测线个数。

D.1.3 相对误差应按公式 (D.1.3) 计算:

$$\delta = \frac{|d_{ai} - d'_{ai}|}{d_{ai}} \times 100\% \quad (\text{D.1.3})$$

式中 δ ——相对误差, %。

D.1.4 平均相对误差应按公式 (D.1.4) 计算:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \delta_i \right) \times 100\% \quad (\text{D.1.4})$$

式中 $\bar{\delta}$ ——平均相对误差, %。

D.1.5 均方相对误差应按公式 (D.1.5) 计算:

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i^2} \times 100\% \quad (\text{D.1.5})$$

式中 m ——均方相对误差, %。

D.1.6 总均方相对误差应按公式 (D.1.6) 计算:

$$M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^2} \times 100\% \quad (\text{D. 1. 6})$$

式中 M ——总均方相对误差，%。

D. 1. 7 极差系数及取值应按公式 (D. 1. 7)、公式 (D. 1. 8) 计算：

$$D_j = \frac{2}{\sqrt{n-1}} \times \frac{d_{ai}^{\max} - d_{ai}^{\min}}{d_{ai}^{\max} + d_{ai}^{\min}} \quad (\text{D. 1. 7})$$

$$A_j = \sqrt{n-1} \times 4\% \quad (\text{D. 1. 8})$$

式中 D_j ——极差系数；

d_{ai}^{\max} ——参与计算数据中的最大值；

d_{ai}^{\min} ——参与计算数据中的最小值；

n ——参与计算数据的个数；

A_j ——极差系数取值。

D. 2 电法勘探计算公式

D. 2. 1 电阻率应按公式 (D. 2. 1) 计算：

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\text{D. 2. 1})$$

式中 ρ ——电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

R ——均匀介质中直流电路的电阻， Ω ；

L ——介质的长度， m ；

S ——电流通过的横截面积， m^2 。

D. 2. 2 电导率应按公式 (D. 2. 2) 计算：

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{D. 2. 2})$$

式中 σ ——电导率， S/m 。

D. 2. 3 视电阻率应按公式 (D. 2. 3) 计算：

$$\rho_s = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (\text{D. 2. 3})$$

式中 ρ_s ——视电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

- K ——装置系数, m;
 ΔU_{MN} ——电位差, V;
 I ——供电电流, A。

D. 2. 4 半球形电极的接地电阻应按公式 (D. 2. 4) 计算:

$$R_{\frac{1}{2}} = \frac{\rho_{\text{地}}}{2\pi r_{\frac{1}{2}}} \quad (\text{D. 2. 4})$$

- 式中 $R_{\frac{1}{2}}$ ——半球形电极的接地电阻, Ω ;
 $\rho_{\text{地}}$ ——大地电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;
 $r_{\frac{1}{2}}$ ——半球形电极半径, m。

D. 2. 5 棒状电极的接地电阻应按公式 (D. 2. 5) 计算:

$$R_{\text{棒}} = \rho_{\text{地}} \frac{\ln \frac{2l_{\text{棒}}}{r_{\text{棒}}}}{2\pi l_{\text{棒}}} \quad (\text{D. 2. 5})$$

- 式中 $R_{\text{棒}}$ ——棒状电极的接地电阻, Ω ;
 $r_{\text{棒}}$ ——棒状电极半径, m;
 $l_{\text{棒}}$ ——棒状电极入土深度, m。

D. 2. 6 装置系数 K 的计算应满足下列要求:

1 二级装置应按公式 (D. 2. 6 - 1) 计算:

$$K = 2\pi \frac{\overline{AM}}{\overline{MN}} \quad (\text{D. 2. 6 - 1})$$

2 三级装置应按公式 (D. 2. 6 - 2) 计算:

$$K = 2\pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN}}{\overline{MN}} \quad (\text{D. 2. 6 - 2})$$

3 对称四级装置应按公式 (D. 2. 6 - 3) 计算:

$$K = \pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN}}{\overline{MN}} \quad (\text{D. 2. 6 - 3})$$

4 偶极装置应按公式 (D. 2. 6 - 4) 计算:

$$K = 2\pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN} \times \overline{BM} \times \overline{BN}}{\overline{MN}(\overline{AM} \times \overline{AN} - \overline{BM} \times \overline{BN})} \quad (\text{D. 2. 6 - 4})$$

5 中间梯度装置应按公式 (D. 2. 6 - 5) 计算:

$$K = 2\pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN} \times \overline{BM} \times \overline{BN}}{\overline{MN}(\overline{AM} \times \overline{AN} + \overline{BM} \times \overline{BN})} \quad (\text{D. 2. 6 - 5})$$

6 电测井梯度装置反电位装置:

1) 单极供电 (B 在地面) 应按公式 (D. 2. 6-6) 计算:

$$K = 4\pi \frac{\overline{AM} \times \overline{AN}}{\overline{MN}} \quad (\text{D. 2. 6-6})$$

2) 双极供电 (N 在地面) 应按公式 (D. 2. 6-7) 计算:

$$K = 4\pi \frac{\overline{AM} \times \overline{BM}}{\overline{AB}} \quad (\text{D. 2. 6-7})$$

式中 \overline{AM} 、 \overline{AN} 、 \overline{BM} 、 \overline{BN} 、 \overline{AB} ——电极距长度, m。

D. 3 电磁法勘探计算公式

D. 3. 1 电磁测深趋肤深度应按公式 (D. 3. 1) 计算:

$$h_{\delta} = \sqrt{\frac{2\rho_s}{\mu\omega}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho_s}{f}} \quad (\text{D. 3. 1})$$

式中 h_{δ} ——趋肤深度, m;

ρ_s ——卡尼亚视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

μ ——大地磁导率, H/m;

ω ——电磁波角频率, rad/s;

f ——入射电磁波频率, Hz。

D. 3. 2 卡尼亚视电阻率应按公式 (D. 3. 2) 计算:

$$\rho_s = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 = \frac{\mu}{\omega} \left| \frac{E_x}{B_y} \right|^2 \quad (\text{D. 3. 2})$$

式中 ρ_s ——卡尼亚视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

μ ——大地磁导率, H/m, 通常取 $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$;

ω ——角频率, rad/s;

$|E_x|$ ——电场强度 E_x 的振幅, V/m;

$|H_y|$ ——磁场强度 H_y 的振幅, A/m;

$|B_y|$ ——磁感应强度 B_y 的振幅, T。

D. 3. 3 电磁测深法阻抗相位应按公式 (D. 3. 3) 计算:

$$\varphi_z = \varphi_{E_x} - \varphi_{H_y} \quad (\text{D. 3. 3})$$

式中 φ_z ——阻抗相位;

φ_{E_x} ——电场强度 E_x 的相位；

φ_{H_y} ——磁场强度 H_y 的相位。

D. 3. 4 纵向电导应按公式 (D. 3. 4) 计算：

$$S_i = \frac{H_i}{\rho_i} \quad (\text{D. 3. 4})$$

式中 S_i ——纵向电导， Ω^{-1} ；

H_i ——层厚，m。

D. 3. 5 横向电阻应按公式 (D. 3. 5) 计算：

$$T_i = \rho_i H_i \quad (\text{D. 3. 5})$$

式中 T_i ——横向电阻， Ω 。

D. 3. 6 瞬变电磁法中心回线装置探测深度极限估算值应按公式 (D. 3. 6) 计算：

$$H_{\text{中心}} = 0.55 \left(\frac{L^2 I \rho_1}{\eta} \right)^{1/5} \quad (\text{D. 3. 6})$$

式中 $H_{\text{中心}}$ ——中心回线装置探测深度，m；

L ——发送回线边长，m；

I ——发送电流，A；

ρ_1 ——上覆层电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

η ——最小可分辨电平， nV/m^2 。

D. 3. 7 瞬变电磁法线源装置探测深度极限估算值应按公式 (D. 3. 7) 计算：

$$H_{\text{线源}} = 0.48 \left(\frac{AB \cdot I r \rho_1}{\eta} \right)^{1/5} \quad (\text{D. 3. 7})$$

式中 $H_{\text{线源}}$ ——线源装置探测深度，m；

AB——线源长度，m；

r ——极距，m。

D. 3. 8 瞬变电磁法磁偶源装置早期视电阻率应按公式 (D. 3. 8 - 1)、公式 (D. 3. 8 - 2) 计算：

$$\rho_{\text{E磁偶源早}} = \frac{2\pi r^4}{3M} E_{\varphi}^Z \quad (\text{D. 3. 8 - 1})$$

$$\rho_{\tau M \text{磁偶源早}} = \frac{2\pi r^5}{9Msn} \epsilon_Z^Z \quad (\text{D. 3. 8 - 2})$$

式中 $\rho_{\tau E \text{磁偶源早}}$ —— 磁偶源装置早期电场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

$\rho_{\tau M \text{磁偶源早}}$ —— 磁偶源装置早期磁场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

E_φ^Z —— Z 方向电场切向分量, V/m;

ϵ_Z^Z —— Z 方向感应电动势, T;

M —— 磁矩, A · m;

r —— 极距, m;

s —— 接收线圈面积, m^2 ;

n —— 线圈匝数, 圈。

D. 3. 9 瞬变电磁法磁偶源装置晚期视电阻率应按公式 (D. 3. 9 - 1)、公式 (D. 3. 9 - 2) 计算:

$$\rho_{\tau E \text{磁偶源晚}} = \frac{\mu_0}{4\pi t} \left(\frac{\mu_0 Mr}{5tE_\varphi^Z} \right)^{2/3} \quad (\text{D. 3. 9 - 1})$$

$$\rho_{\tau M \text{磁偶源晚}} = \frac{2\mu_0}{4\pi t} \left(\frac{\mu_0 Msn}{5t\epsilon_Z^Z} \right)^{2/3} \quad (\text{D. 3. 9 - 2})$$

式中 $\rho_{\tau E \text{磁偶源晚}}$ —— 磁偶源装置晚期电场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

$\rho_{\tau M \text{磁偶源晚}}$ —— 磁偶源装置晚期磁场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

μ_0 —— 磁导率, H/m;

t —— 采样时间, s。

D. 3. 10 瞬变电磁法同点回线装置视电阻率应按公式 (D. 3. 10) 计算:

$$\rho_{\tau \text{中心}} = 6.32 \times 10^{-3} L^{3/2} \left[\frac{\epsilon(t)}{I} \right]^{-2/3} t^{-5/2} \quad (\text{D. 3. 10})$$

式中 $\rho_{\tau \text{中心}}$ —— 同点回线装置视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

L —— 回线边长, m;

$\frac{\epsilon(t)}{I}$ —— 观测值, $\mu\text{V}/\text{A}$;

t —— 测道的时间, ms。

D. 3. 11 瞬变电磁法电偶源装置早期视电阻率计算如下:

1 在轴向偶极装置观测 E_{φ}^{AB} 情况下应按公式 (D. 3. 11 - 1) 计算:

$$\rho_{\tau E \text{电偶源早}} = \frac{\pi r^3}{AB I} E_{\varphi}^{AB} \quad (\text{D. 3. 11 - 1})$$

2 在赤道方向观测 ϵ_Z^{AB} 情况下应按公式 (D. 3. 11 - 2) 计算:

$$\rho_{\tau M \text{电偶源早}} = \frac{2\pi r^4}{3sn I AB} \epsilon_Z^{AB} \quad (\text{D. 3. 11 - 2})$$

式中 $\rho_{\tau E \text{电偶源早}}$ —— 电偶源装置早期电场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

$\rho_{\tau M \text{电偶源早}}$ —— 电偶源装置早期磁场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

E_{φ}^{AB} —— AB 方向电场切向分量, V/m ;

ϵ_Z^{AB} —— AB 方向感应电动势, T ;

r —— 极距, m ;

AB —— 线源长度, m ;

I —— 发送电流, A ;

s —— 接收线圈面积, m^2 ;

n —— 线圈匝数, 圈。

D. 3. 12 瞬变电磁法电偶源装置晚期视电阻率应按下列公式计算:

1 在轴向偶极装置观测 E_{φ}^{AB} 情况下应按公式 (D. 3. 12 - 1) 计算:

$$\rho_{\tau E \text{电偶源晚}} = \frac{\mu_0^3}{144\pi^3 t^3} \left(\frac{I AB}{E_{\varphi}^{AB}} \right)^2 \quad (\text{D. 3. 12 - 1})$$

2 在赤道方向观测 ϵ_Z^{AB} 情况下应按公式 (D. 3. 12 - 2) 计算:

$$\rho_{\tau M \text{电偶源晚}} = \frac{\mu_0}{4\pi t} \left(\frac{\mu_0 r s n I AB}{5t \epsilon_Z^{AB}} \right)^{2/3} \quad (\text{D. 3. 12 - 2})$$

式中 $\rho_{\tau E \text{电偶源晚}}$ —— 电偶源装置晚期电场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

$\rho_{\tau M \text{电偶源晚}}$ —— 电偶源装置晚期磁场视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ 。

D. 3. 13 瞬变电磁法衰减时间常数应按公式 (D. 3. 13) 计算:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln[V_g(t_1)/V_g(t_2)]} \quad (\text{D. 3. 13})$$

式中 τ ——衰减时间常数， μs ；

t_2 、 t_1 ——电磁场衰减时刻， μs ；

$V_g(t_1)$ 、 $V_g(t_2)$ ——衰减电磁场 t_2 、 t_1 时刻的强度， μV 。

D. 3. 14 瞬变电磁法采样时间估算值应按公式 (D. 3. 14 - 1)、公式 (D. 3. 14 - 2) 计算：

$$t_1 = 0.6\mu_0 S_{\min} H_{\min} \quad (\text{D. 3. 14 - 1})$$

$$t_n = 1.6\mu_0 S_{\max} H_{\max} \quad (\text{D. 3. 14 - 2})$$

式中 t_1 ——起始采样时间，s；

t_n ——末测道采样时间，s；

μ_0 ——磁导率，H/m；

S_{\min} ——最小纵向电导， Ω^{-1} ；

S_{\max} ——最大纵向电导， Ω^{-1} ；

H_{\min} ——要求最小探测深度，m；

H_{\max} ——要求最大探测深度，m。

D. 4 探地雷达计算公式

D. 4. 1 电磁波的传播速度应按公式 (D. 4. 1) 计算：

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (\text{D. 4. 1})$$

式中 v ——电磁波的传播速度，m/s；

c ——真空中电磁波的传播速度，m/s，取值为 3×10^8 ；

μ_r ——相对磁导率；

ϵ_r ——相对介电常数。

D. 4. 2 层厚应按公式 (D. 4. 2) 计算：

$$H_i = V_i \times \frac{t_i}{2} \quad (\text{D. 4. 2})$$

式中 H_i ——层厚，m；

V_i ——对应介质层中电磁波的传播速度，m/ns；

t_i ——对应介质层中电磁波双程旅行时间，ns。

D. 4. 3 电磁波的衰减系数应按公式 (D. 4. 3) 计算：

$$\alpha = \frac{\sigma Z_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{D. 4. 3})$$

式中 α ——电磁波的衰减系数；
 σ ——电导率， Ω^{-1} ；
 Z_0 ——自由空间波阻抗， Ω ，取值为 377Ω ；
 ϵ_r ——相对介电常数。

D. 4. 4 电磁波的旅行时应按公式 (D. 4. 4) 计算：

$$t = \frac{\sqrt{4z^2 + x^2}}{v} \quad (\text{D. 4. 4})$$

式中 t ——电磁波旅行时，ns；
 x ——天线收发距，m；
 z ——目标体深度，m；
 v ——电磁波的传播速度，m/ns。

D. 4. 5 电磁波的反射系数应按公式 (D. 4. 5) 计算：

$$R_{12} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \approx \left| \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \right| \quad (\text{D. 4. 5})$$

式中 R_{12} ——电磁波的反射系数；
 Z_1 、 Z_2 ——法向波阻抗， Ω ；
 ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} ——相对介电常数。

D. 4. 6 天线中心频率计算如下：

1 要求空间分辨率为 x 的情况下应按公式 (D. 4. 6 - 1) 计算：

$$f_c^R > \frac{75}{x\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{D. 4. 6 - 1})$$

2 存在尺寸为 ΔL 地下非均匀体干扰的情况下应按公式 (D. 4. 6 - 2) 计算：

$$f_c^C > \frac{30}{\Delta L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{D. 4. 6 - 2})$$

3 探测深度要求为 D 的情况下应按公式 (D. 4. 6 - 3) 计算：

$$f_c^D < \frac{1200 \sqrt{\epsilon_r - 1}}{D} \quad (\text{D. 4. 6 - 3})$$

4 当相对介电常数获得较准确, 探测设计较合理时应按公式 (D. 4. 6 - 4) 计算:

$$f_c^C < f_c < \min(f_c^C, f_c^D) \quad (\text{D. 4. 6 - 4})$$

式中 f_c ——天线中心频率, MHz;

x ——空间分辨率, m;

ΔL ——非均匀体尺寸, m;

D ——探测深度, m;

ϵ_r ——相对介电常数。

D. 4. 7 时窗选择应按公式 (D. 4. 7) 计算:

$$W = 1.3 \frac{2h_{\max}}{v} \quad (\text{D. 4. 7})$$

式中 W ——时窗, ns;

h_{\max} ——最大探测深度, m;

v ——电磁波的传播速度, m/ns。

D. 4. 8 采样率选择应按公式 (D. 4. 8) 计算:

$$\Delta t \leq \frac{1000}{6f_c} \quad (\text{D. 4. 8})$$

式中 Δt ——采样率, ns;

f_c ——天线中心频率, MHz。

D. 4. 9 分离式天线间距选择应按公式 (D. 4. 9) 计算:

$$S \leq \frac{2D_{\max}}{\sqrt{\epsilon_r - 1}} \quad (\text{D. 4. 9})$$

式中 S ——天线间距, m;

D_{\max} ——目标体最大深度, m;

ϵ_r ——相对介电常数。

D. 4. 10 滤波参数选择应按公式 (D. 4. 10 - 1)、公式 (D. 4. 10 - 2) 计算:

$$f_{\min} = \frac{3}{4} f_c \quad (\text{D. 4. 10 - 1})$$

$$f_{\max} = \frac{5}{4} f_c \quad (\text{D. 4. 10 - 2})$$

式中 f_{\min} ——高通滤波阈值, MHz;

f_{\max} ——低通滤波阈值, MHz;

f_c ——天线中心频率, MHz。

D. 5 地震勘探计算公式

D. 5. 1 观测系统应按下列公式计算:

1 检波点间距 Δx 应按公式 (D. 5. 1 - 1) 计算:

$$\Delta x \leq \frac{V_{\text{int}}}{2f_{\max} \sin\theta} \quad (\text{D. 5. 1 - 1})$$

式中 Δx ——检波点间距, m;

V_{int} ——目标层上一层的速度, m/s;

f_{\max} ——目标层最高频率, Hz;

θ ——目标层地层最大视倾角, ($^{\circ}$)。

2 折射波观测系统所隔排列数 G (整数) 应按公式 (D. 5. 1 - 2) 计算:

$$G = \frac{x_c}{(n-1)\Delta x} \quad (\text{D. 5. 1 - 2})$$

式中 x_c ——临界距离, 即非追踪段长度, m;

n ——排列检波器点数。

3 面元边长 b 应按公式 (D. 5. 1 - 3)、公式 (D. 5. 1 - 4) 计算:

$$b_x \leq \frac{V_{\text{int}}}{2f_{\max} \sin\theta_x} \quad (\text{D. 5. 1 - 3})$$

$$b_y \leq \frac{V_{\text{int}}}{2f_{\max} \sin\theta_y} \quad (\text{D. 5. 1 - 4})$$

式中 b_x ——纵向面元边长, m;

b_y ——横向面元边长, m;

V_{int} ——目标层上一层的速度, m/s;

f_{\max} ——目标层最高频率, Hz;

θ_x ——目标层纵向地层最大视倾角, ($^\circ$);

θ_y ——目标层横向地层最大视倾角, ($^\circ$)。

4 总覆盖次数 N 应按公式 (D. 5. 1 - 5)、公式 (D. 5. 1 - 6)、公式 (D. 5. 1 - 7) 计算:

$$N_x = \frac{n}{2d_x} \quad (\text{D. 5. 1 - 5})$$

$$N_y = \frac{PR}{2d_y} \quad (\text{D. 5. 1 - 6})$$

$$N = N_x N_y \quad (\text{D. 5. 1 - 7})$$

式中 N_x ——纵向覆盖次数;

n ——排列内一条接收线道数;

d_x ——纵向激发点移动间距相当道距的个数;

N_y ——横向方向覆盖次数;

P ——排列不动所需的激发点数;

R ——接收线数;

d_y ——线束滚动距离相当横向激发点距的个数。

D. 5. 2 校正应按公式 (D. 5. 2 - 1) 计算:

1 直达波时距曲线经爆炸深度校正时间 t_n 应按公式 (D. 5. 2 - 1) 计算:

$$t_n = \sqrt{\Delta t_{pn}^2 - \Delta t_s^2} \quad (\text{D. 5. 2 - 1})$$

式中 Δt_{pn} ——从爆炸点 O' 到各接收点直达波旅行时间, s;

Δt_s ——从爆炸点 O' 到地面炮点 O 的爆炸深度校正时间, s。

其他参数如图 D. 5. 2 所示。

2 折射波时距曲线爆炸深度校正时间 Δt_B 应按公式 (D. 5. 2 - 2) 计算:

$$\Delta t_B = \frac{\Delta h \cos i}{V_0} \quad (\text{D. 5. 2 - 2})$$

式中 Δh ——爆炸点深度, m;

V_0 ——爆炸点以上介质波速，m/s，参数如图 D.5.2 所示。

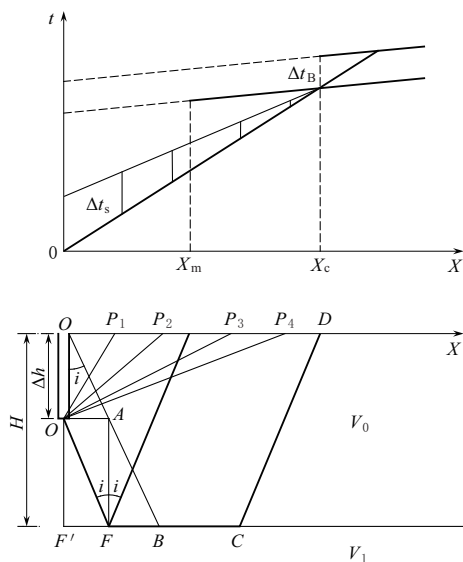


图 D.5.2 爆炸深度校正示意图

3 转换法低速带时间校正 Δt_D 应按公式 (D.5.2-3) 计算：

$$\Delta t_D = \left(\frac{\cos i}{V_0} - \frac{\cos i}{V_1} \right) (\Delta h_z + \Delta h_B) \quad (\text{D.5.2-3})$$

4 延迟时法低速带校正时间 Δt_D 应按公式 (D.5.2-4) 计算：

$$\Delta t_D = \frac{\cos i}{V_0} (\Delta h_z + \Delta h_B) \quad (\text{D.5.2-4})$$

式中 Δt_D ——将低速带换成下伏相邻地层的校正时间，s；

V_0 ——低速带波速，m/s；

V_1 ——低速带下伏相邻地层波速，m/s；

Δh_z ——检波点处低速带厚度，m；

Δh_B ——爆炸点处低速带厚度，m；

i ——低速带与下伏相邻地层折射波临界角，(°)。

5 地形校正 Δt_c 应按公式 (D. 5. 2 - 5) 计算：

$$\Delta t_c = \frac{\cos i}{V_0} (\Delta h_z + \Delta h_B) \quad (\text{D. 5. 2 - 5})$$

式中 Δh_z ——检波点至校正线的垂向距离，m；

Δh_B ——爆炸点至校正线的垂向距离，m；

V_0 ——表层介质波速，m/s；

i ——表层介质与下伏相邻地层折射波临界角，(°)。

D. 5. 3 波速计算如下：

1 平均速度应按公式 (D. 5. 3 - 1) 计算：

$$\bar{V} = \frac{h_1 + h_2 + \cdots + h_n}{\frac{h_1}{V_1} + \frac{h_2}{V_2} + \cdots + \frac{h_n}{V_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (\text{D. 5. 3 - 1})$$

式中 h_i ——各地层厚度，m；

t_i ——弹性波垂直穿透各地层的旅行时，s；

V_n ——各地层平均波速，m/s。

2 由折射时距曲线用交点法求有效速度应按公式 (D. 5. 3 - 2) 计算：

$$V_{en} = \frac{x_{cn}}{t_{cn}} \quad (\text{D. 5. 3 - 2})$$

式中 V_{en} ——第 n 层折射界面以上的地层有效速度，m/s；

x_{cn} ——第 n 层折射波的临界距离，m；

t_{cn} ——第 n 层临界点相应的旅行时，s。

3 由反射时距曲线平方坐标法求有效速度：

1) 由单边反射时距曲线按 $t^2 - x^2$ 坐标法求有效速度按公式 (D. 5. 3 - 3) 计算，适用于界面倾角小于 15° 的情况。

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta T}} \quad (\text{D. 5. 3 - 3})$$

式中 $X = x^2$ ；

$T=t^2$ ，参数如图 D. 5. 3 - 1 所示。

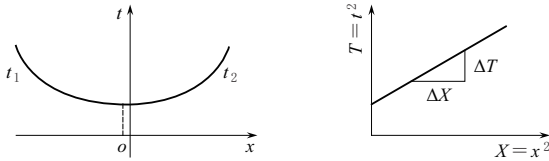


图 D. 5. 3 - 1 平方坐标法求反射波有效速度

- 2) 由双边反射时距曲线按 t^2-x^2 坐标法求有效速度按公式 (D. 5. 3 - 4) 计算，适用于倾斜界面的情况。

$$V_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta T}} \quad (\text{D. 5. 3 - 4})$$

其中 $X = x^2$; $T = t^2 = \frac{t_1^2 + t_2^2}{2}$

式中 t_1 、 t_2 ——激发点两侧炮检距相等的检波点反射波时间，s。

- 3) 反射波相遇时距曲线按 $u-x$ 坐标法求有效速度按公式 (D. 5. 3 - 5) 计算，适用于界面倾角小于 7° 情况。

$$V_{\text{ef}} = \sqrt{2L \frac{\Delta x}{\Delta u}} \quad (\text{D. 5. 3 - 5})$$

式中 $u = t_1^2 - t_2^2$ ，参数见图 D. 5. 3 - 2；

L ——震源至反射波最远端检波点的距离，m。

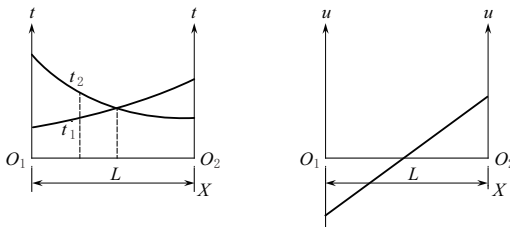


图 D. 5. 3 - 2 差异时距曲线法求反射波有效速度

D. 5. 4 地震界面如下：

1 单支时距曲线截距时间法计算各折射层厚度应按公式 (D. 5. 4-1) 计算:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{t_{01}}{2} \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \\
 &\vdots \\
 h_n &= \frac{t_{0n}}{2} \frac{V_n V_{n+1}}{\sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{V_n \sqrt{V_{n+1}^2 - V_k^2}}{V_k \sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}}
 \end{aligned}
 \tag{D. 5. 4-1}$$

式中 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ ——各层介质波速, m/s;
 $t_{01}, t_{02}, t_{03}, \dots, t_{0n}$ ——各层折射波截距时间, s, 参数如图 D. 5. 4-1 所示。

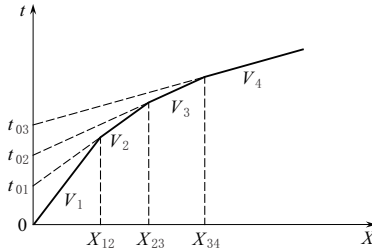


图 D. 5. 4-1 截距时间法和临界距离法求解折射界面

2 单支时距曲线的临界距离法计算各折射层厚度应按公式 (D. 5. 4-2) 计算:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{X_{12}}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \\
 &\vdots \\
 h_n &= \frac{X_{n(n+1)}}{2} \sqrt{\frac{V_{n+1} - V_n}{V_{n+1} + V_n}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{V_n \sqrt{V_{n+1}^2 - V_k^2} - V_{n+1} \sqrt{V_n^2 - V_k^2}}{V_k \sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}}
 \end{aligned}
 \tag{D. 5. 4-2}$$

式中 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_{n+1}$ ——各层介质波速, m/s;
 $X_{12}, X_{23}, X_{34}, \dots, X_{n(n+1)}$ ——各层折射波临界距离, m,

参数如图 D. 5. 4 - 1 所示。

3 t_0 法求解相遇时距曲线折射界面深度应按公式 (D. 5. 4 - 3) ~ 公式 (D. 5. 4 - 6) 计算:

$$t_0(x) = t_A(x) - [T_{AB} - t_B(x)] \quad (\text{D. 5. 4 - 3})$$

$$\theta(x) = t_A(x) + [T_{AB} - t_B(x)] \quad (\text{D. 5. 4 - 4})$$

$$V_2 = \frac{2\Delta x}{\Delta\theta(x)} \cos\varphi \approx \frac{2\Delta x}{\Delta\theta(x)} (\varphi \text{ 小于 } 15^\circ \text{ 时}) \quad (\text{D. 5. 4 - 5})$$

$$h(x) = \frac{V_1 t_0(x)}{2\cos i} \quad (\text{D. 5. 4 - 6})$$

式中 $t_A(x)$ —— 激发点 A 正向时距曲线观测时间, s;

$t_B(x)$ —— 激发点 B 正向时距曲线观测时间, s;

T_{AB} —— 相遇时距曲线互换时间, s;

V_1 —— 折射界面上伏介质平均波速或有效速度, s;

V_2 —— 折射界面滑行波速, m/s;

$h(x)$ —— 折射界面深度, m。

4 延迟时法求解相遇时距曲线折射界面深度按公式 (D. 5. 4 - 7) ~ 公式 (D. 5. 4 - 10) 计算:

$$D(x) = \frac{t_A(x) + t_B(x)}{2} - \frac{T_{AB}}{2} \quad (\text{D. 5. 4 - 7})$$

$$T'(x) = t_A(x) - D(x) \quad (\text{D. 5. 4 - 8})$$

$$V_2 = \frac{\Delta x}{\Delta T'(x)} \quad (\text{D. 5. 4 - 9})$$

$$h(x) = \frac{V_1 D(x)}{\cos i} \quad (\text{D. 5. 4 - 10})$$

式中 i —— 折射波临界角, ($^\circ$)。

5 共轭点法求解相遇时距曲线折射界面:

参数如图 D. 5. 4 - 2 所示, 共轭点法解释步骤如下:

1) 在相遇时距曲线上作 t_{BR} 镜像时距曲线 t'_{BR} , 使时距曲线 $t'_{BR} = T_{AB} - t_{BR}$ 。

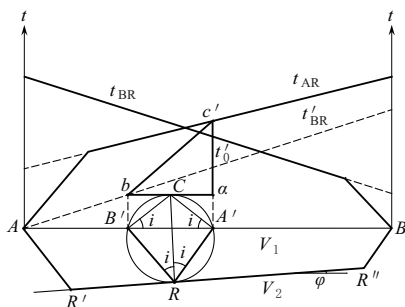


图 D.5.4-2 共轭点法求解折射界面示意图

- 2) 利用交点法求有效速度 V_1 ，做 $(t_{AR} + t'_{BR}) / 2$ 曲线，即时距曲线 t_{AR} 与镜像时距曲线 t'_{BR} 中线连线斜率的倒数为界面速度 V_2 。
- 3) 在 t'_{BR} 曲线上取一点 b ，并以斜率为 $\frac{1}{V_1 \sin i}$ 作一条射线与 t_{AR} 曲线相交于 c' 点，则 b 和 c' 点的横坐标即为一对共轭点 B' 和 A' ，设 $A'B' = d$ 及 $t_{AR}(c') - t'_{BR}(b) = t'_0$ 。
- 4) 分别通过 A' 和 B' ，做与横坐标成 i 角的射线，交于 C 点。
- 5) 以 C 为圆心， $CR = \frac{V_1 t'_0}{2 \cos i}$ 为半径画弧，与折射界面相切。
- 6) 在镜像曲线 t'_{BR} 上每隔适当距离重复上述做法，即可连续绘制界面。

6 时间场法求解相遇时距曲线折射界面。折射界面 R 上任意点对应于两支相遇折射波等时面的时间之和等于互换时间 T 。以实际观测的时间值及上伏地层的平均或有效速度 V_1 作两支相遇折射波的时间场，其中符合关系式 $t_A + t_B = T$ 的点的连线，即为所追踪的界面。界面速度按公式 (D.5.4-11) 计算：

$$V_2 = \frac{\Delta\zeta}{\Delta t} \quad (\text{D. 5. 4 - 11})$$

式中 $\Delta\zeta$ ——两个等时面之间的界面距离，m；

Δt ——两个等时面之间的时间差，s。

7 综合时距曲线分层法求解折射界面深度按公式 (D. 5. 4 - 12) 计算：

$$h_1 = \frac{V_1 t_{01}}{2 \cos i_{12}}$$

$$\vdots$$

$$h_n = \frac{V_n t_{0n}}{2 \cos i_{n(n+1)}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{\cos i_{k(n+1)}}{\sin i_{kn} \cos i_{n(n+1)}} \quad (\text{D. 5. 4 - 12})$$

其中 $i_{kn} = \arcsin \frac{V_k}{V_n}$

式中 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ ——各层介质波速，m/s；

$t_{01}, t_{02}, t_{03}, \dots, t_{0n}$ ——各层折射波 t_0 时间，s。

8 展开排列求解反射界面深度按公式 (D. 5. 4 - 13) 计算：

$$H = \frac{\sqrt{(vt)^2 - X^2}}{2} \quad (\text{D. 5. 4 - 13})$$

式中 v ——平均波度或有效速度，m/s；

t ——反射波旅行时，s；

X ——炮检距，m。

9 共偏移剖面求解反射界面深度计算如下：

1) 圆法按公式 (D. 5. 4 - 14) 计算：

$$H = \frac{\sqrt{(vt)^2 - L^2}}{2} \quad (\text{D. 5. 4 - 14})$$

式中 L ——偏移距，m。

2) 椭圆法按公式 (D. 5. 4 - 15) 计算。反射界面由椭圆方程决定的下半椭圆轨迹的参数方程为：

$$\frac{X'^2}{a^2} + \frac{Y'^2}{b^2} = 1 \quad (\text{D. 5. 4 - 15})$$

$$X' = X - \frac{L}{2} = X - C$$

$$Y' = Y = b \sqrt{1 - \left(\frac{X - C}{a}\right)^2}$$

$$a = \frac{1}{2}vt, \quad b = h = \frac{\sqrt{(vt)^2 - L^2}}{2}, \quad c = \frac{L}{2}$$

可设 X 从 $O \sim L$ 的步长为检波点间距 Δx ，计算下半椭圆轨迹，并以包络线构制反射界面，参数如图 D. 5. 4 - 3 所示。

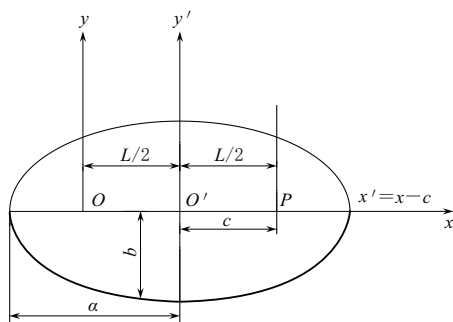


图 D. 5. 4 - 3 椭圆法求解反射界面示意图

10 共深度点叠加时间剖面求解反射界面深度按公式 (D. 5. 4 - 16) 计算：

$$H = \frac{vt}{2} \quad (\text{D. 5. 4 - 16})$$

式中 v ——平均速度或叠加速度，m/s；

t ——校正后的反射波旅行时，s。

以共中心点为圆心、 H 为半径划弧，包络线即为反射界面。

D. 5. 5 面波应按下列公式计算：

1 落重震动主频 f_0 按公式 (D. 5. 5 - 1) 计算：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4G_d r_0}{M(1-\mu)}} \quad (\text{D. 5. 5 - 1})$$

式中 G_d ——剪切模量，Pa；

r_0 ——底面积, m^2 ;

M ——重量, N ;

μ ——泊松比。

- 2 稳态法频点步长 Δf 的估算按公式 (D. 5.5-2) 进行:

$$\Delta f = (2f^2/V_R)\Delta H \quad (\text{D. 5.5-2})$$

式中 f ——测试频率, Hz ;

V_R ——面波波速, m/s ;

ΔH ——深度增加值, m 。

- 3 时间差法计算瑞雷波速度 V_R 按公式 (D. 5.5-3) 计算:

$$V_R = \Delta x / \Delta t \quad (\text{D. 5.5-3})$$

式中 Δx ——检测间距, m ;

Δt ——时间差, s 。

- 4 相位差法计算瑞雷波速度 V_R 按公式 (D. 5.5-4) 计算:

$$V_R = 2\pi f \Delta x / \Delta \varphi \quad (\text{D. 5.5-4})$$

式中 Δx ——检测间距, m ;

$\Delta \varphi$ ——相位差, rad 。

- 5 互相关法计算相关度 $r(k)$ 按公式 (D. 5.5-5) 计算:

$$r(k) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} e(l)g(l+k) \quad (k=0, 1, \dots, N-1) \quad (\text{D. 5.5-5})$$

式中 $e(l)$ 、 $g(l)$ ——具有一定相似性的相关函数。

- 6 面波层速度:

- 1) 当地层的平均速度随深度增加而增大时, $n-1$ 至 n 层的 V_{Rn} 按公式 (D. 5.5-6) 计算:

$$V_{Rn} = \frac{H_n \bar{V}_{Rn} - H_{n-1} \bar{V}_{Rn-1}}{H_n - H_{n-1}} \quad (\text{D. 5.5-6})$$

- 2) 当地层平均速度随深度增加而减小时, $n-1$ 至 n 层的 V_{Rn} 按照公式 (D. 5.5-7) 计算:

$$V_{Rn} = \frac{H_n - H_{n-1}}{H_n / \bar{V}_{Rn} - H_{n-1} / \bar{V}_{Rn-1}} \quad (\text{D. 5.5-7})$$

3) 当不考虑地层平均速度随深度变化趋势时, $n-1$ 至 n 层的 V_{R_n} 按公式 (D. 5. 5 - 8) 计算:

$$V_{R_n} = \frac{\bar{V}_{R_n}^2 H_n - \bar{V}_{R_{n-1}}^2 H_{n-1}}{H_n - H_{n-1}} \quad (\text{D. 5. 5 - 8})$$

式中 H_n ——第 n 点深度, m;

H_{n-1} ——第 $n-1$ 点深度, m;

\bar{V}_{R_n} ——第 n 点深度以上的平均瑞雷波速度, m/s;

$\bar{V}_{R_{n-1}}$ ——第 $n-1$ 点深度以上的平均瑞雷波速度, m/s;

V_{R_n} —— $H_n \sim H_{n-1}$ 深度层间的瑞雷波速度, m/s。

7 地层剪切波速度按公式 (D. 5. 5 - 9)、公式 (D. 5. 5 - 10) 计算:

$$V_s = \frac{V_R}{\eta_s} \quad (\text{D. 5. 5 - 9})$$

$$\eta_s = \frac{0.87 + 1.12\mu_d}{1 + \mu_d} \quad (\text{D. 5. 5 - 10})$$

式中 V_s ——地层的剪切波速度, m/s;

V_R ——地层的的面波速度, m/s;

η_s ——速面波和剪切波速度换算的系数, 与泊松比有关;

μ_d ——泊松比。

8 地层的动剪切模量按公式 (D. 5. 5 - 11) 计算:

$$G_d = \rho V_s^2 \quad (\text{D. 5. 5 - 11})$$

式中 G_d ——动剪切模量, Pa;

ρ ——质量密度, kg/m^3 。

D. 5. 6 场地的等效波速应按公式 (D. 5. 6) 计算:

$$v_e = d_0 / t$$

$$t = \sum (d_i / v_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{D. 5. 6})$$

式中 v_e ——场地等效波速, m/s;

d_0 ——计算深度, m;

t ——波在地面至计算深度之间的传播时间, s;

- d_i ——计算深度范围内第 i 层的厚度, m;
 v_i ——计算深度范围内第 i 层的波速, m/s;
 n ——计算深度范围内地层的分层数。

D. 6 放射性计算公式

D. 6. 1 放射性统计涨落误差计算如下:

1 脉冲计数仪器标准误差 σ 应按公式 (D. 6. 1 - 1) 计算:

$$\sigma = \pm \sqrt{\bar{N}} \quad (\text{D. 6. 1 - 1})$$

式中 \bar{N} ——平均读数。

2 脉冲计数仪器相对标准误差 δ 应按公式 (D. 6. 1 - 2) 计算:

$$\delta = \pm \frac{\sigma}{\bar{N}} = \pm \frac{1}{\sqrt{\bar{N}}} = \pm \frac{1}{\sqrt{N \cdot t}} \quad (\text{D. 6. 1 - 2})$$

式中 N ——脉冲个数;

t ——读数时间, s。

3 率计式辐射仪标准误差 σ 应按公式 (D. 6. 1 - 3) 计算:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\bar{n}}{2RC}} \quad (\text{D. 6. 1 - 3})$$

式中 RC ——积分线路的时间常数, $RC = \tau$;

\bar{n} ——脉冲计数率即单位时间内的脉冲数。

4 率计式辐射仪相对标准误差 δ 应按公式 (D. 6. 1 - 4) 计算:

$$\delta = \pm \frac{1}{\sqrt{2nRC}} \quad (\text{D. 6. 1 - 4})$$

D. 6. 2 利用密度测井求孔隙度按公式 (D. 6. 2) 计算:

$$n = \frac{\rho_{\text{ma}} - \rho_{\text{b}}}{\rho_{\text{ma}} - \rho_{\text{w}}} \quad (\text{D. 6. 2})$$

式中 ρ_{ma} ——岩石骨架密度, g/cm³;

ρ_{b} ——地层体密度, g/cm³;

ρ_w ——孔隙中水的密度， g/cm^3 。

D. 6. 3 一个测区检查测量的平均相对误差应按公式 (D. 6. 3) 计算：

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{|x_i - y_i|}{(x_i + y_i)/2} \times 100\% \quad (\text{D. 6. 3})$$

式中 $\bar{\delta}$ ——平均相对误差；

x_i ——测量数值；

y_i ——检查数值；

i ——检查点序号；

n ——总检查点数。

D. 6. 4 脉冲计数测氦仪所测每点的氦浓度应按公式 (D. 6. 4) 计算：

$$Q_s = KN - Q_D \quad (\text{D. 6. 4})$$

式中 Q_s ——氦浓度， Bq/m^3 ；

K ——仪器换算系数， $\text{Bq}/(\text{cpm} \cdot \text{m}^3)$ ；

N ——测氦仪计数值， cpm ；

Q_D ——仪器本底数， Bq/m^3 。

D. 6. 5 测区氦浓度背景值 \bar{X} 应按公式 (D. 6. 5) 计算：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{D. 6. 5})$$

式中 \bar{X} ——氦浓度背景值。

i ——测点序号。

n ——测区总测点数。

x_i ——测区各测点的氦浓度。

D. 6. 6 活性炭测氦单个样品检查测量的相对误差应按公式 (D. 6. 6) 计算：

$$\Delta = \frac{|x - y|}{(x + y)/2} \times 100\% \quad (\text{D. 6. 6})$$

式中 Δ ——单个样品的相对误差；

x ——测量值；

y ——检查值。

D. 6. 7 样品氡浓度按公式 (D. 6. 7) 计算:

$$Q_s = \frac{KN - Q_D}{f_A f_D} \quad (\text{D. 6. 7})$$

式中 Q_s ——氡浓度, Bq/m^3 ;

K ——仪器换算系数, $\text{Bq}/(\text{cpm} \cdot \text{m}^3)$;

N ——样品测量的脉冲数值, cpm ;

Q_D ——仪器本底数, Bq/m^3 ;

f_A ——活性炭埋杯时间归一化修正系数;

f_D ——活性炭射线衰减时间修正系数。

D. 7 岩体力学参数计算公式

D. 7. 1 岩石动弹性参数计算如下:

1 泊松比 μ 应按公式 (D. 7. 1 - 1) 计算:

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (\text{D. 7. 1 - 1})$$

2 动弹性模量 E_d 应按公式 (D. 7. 1 - 2)、公式 (D. 7. 1 - 3) 计算:

$$E_d = V_p^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad (\text{D. 7. 1 - 2})$$

$$E_d = 2V_s^2 \rho (1 + \mu) \quad (\text{D. 7. 1 - 3})$$

3 动剪切模量 G_d 应按公式 (D. 7. 1 - 4) 计算:

$$G_d = V_s^2 \rho \quad (\text{D. 7. 1 - 4})$$

4 单位弹性抗力系数 K_0 应按公式 (D. 7. 1 - 5) 计算:

$$K_0 = \frac{E_d}{100(1 + \mu)} \alpha \quad (\text{D. 7. 1 - 5})$$

5 各向异性系数 η 应按公式 (D. 7. 1 - 6) 计算:

$$\eta = \frac{V_p''}{V_p'} \quad (\text{D. 7. 1 - 6})$$

6 风化系数 K_w 应按公式 (D. 7. 1 - 7) 计算:

$$K_w = V_p / V_{pr} \quad (\text{D. 7. 1 - 7})$$

7 完整性系数 K_v 应按公式 (D. 7. 1 - 8) 计算:

$$K_v = (V_p / V_{pr})^2 \quad (\text{D. 7. 1 - 8})$$

式中 V_p ——岩体纵波速度, m/s;

V_s ——岩体横波速度, m/s;

ρ ——岩体密度, g/cm³;

α ——折减系数;

V_p'' ——平行岩体结构面方向的纵波速度, m/s;

V_p^\perp ——垂直岩体结构面方向的纵波速度, m/s;

V_{pr} ——新鲜完整岩块的纵波速度, m/s。

D. 7. 2 附加质量法求取密度及动参数计算如下:

1 采用附加质量法求密度应按公式 (D. 7. 2 - 1) 计算:

$$\rho = \frac{m_0}{AV_p / 2\beta f_0} \quad (\text{D. 7. 2 - 1})$$

式中 ρ ——堆石密度, g/cm³;

m_0 ——参振质量, kg;

A ——承压板面积, m²;

V_p ——介质纵波波速, m/s;

β ——衰减系数 (通过坑测与附加质量对比试验);

f_0 —— $\Delta m = 0$ 时截止的自振频率, Hz。

2 动参数求取应按公式 (D. 7. 2 - 2) 计算:

$$D_i = (2\pi f_i)^{-2} \quad (\text{D. 7. 2 - 2})$$

式中 f_i ——共振频率, Hz。

做 $D_i \sim \Delta m_i$ 曲线, 计算参振体的动刚度 K 与参振质量 m_0 。

D. 7. 3 采用声波测井求孔隙度应按公式 (D. 7. 3) 计算:

$$n = \frac{(1/V - 1/V_{pm})}{(1/V_{pw} - 1/V_{pm})} \quad (\text{D. 7. 3})$$

式中 n ——孔隙度, %;

V ——地层的声波速度, m/s;

V_{pm} ——岩石骨架的声波速度, m/s;

V_{pw} ——岩体中流体的声波速度，m/s。

D. 7. 4 采用电阻率测井求孔隙度应按公式 (D. 7. 4) 计算：

$$n = \sqrt[m]{\alpha \rho_w / \rho_t} \quad (\text{D. 7. 4})$$

式中 n ——孔隙度，%；

ρ_w ——岩体中流体的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

ρ_t ——地层的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

m 、 α ——经验系数，孔隙度较高的松散砂层，可取 $\alpha = 0.62$ 、 $m = 2.15$ 或 $\alpha = 0.81$ 、 $m = 2.00$ ；石灰岩， $\alpha = 1.00$ 、 $m = 2.00 \sim 2.50$ ；裂隙发育的石灰岩， $\alpha = 1.00$ 、 $m = 1.12 \sim 1.30$ 。

D. 7. 5 采用充电法等位圈位移量及时间计算地下水流速应按公式 (D. 7. 5 - 1)、公式 (D. 7. 5 - 2) 计算：

$$v = \Delta R_i / \Delta t_i \quad (\text{D. 7. 5 - 1})$$

$$V_j = v / \cos \beta \quad (\text{D. 7. 5 - 2})$$

式中 v ——地下水流速，m/min；

V_j ——经地形校正后的地下水流速，m/min；

ΔR_i ——地下水流向上等位圈的位移量，m；

Δt_i ——两次等位圈观测的时间间隔，min；

β ——地形坡度，(°)。

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

DL 5010—92

本标准主编单位：松辽水利委员会勘测公司

本标准参编单位：黄河水利委员会勘测规划设计研究院

水利水电规划设计总院勘测处

成都勘测设计院

贵阳勘测设计院

广东省水利电力勘测设计研究院

SL 326—2005

本标准主编单位：长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

本标准参编单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院

黄河勘测规划设计有限公司

水利部长江勘测技术研究所

中水东北勘测设计研究有限责任公司

中水北方勘测设计研究有限责任公司

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院

中国水电顾问集团北京勘测设计研究院

本标准主要起草人：肖柏勋 蔡加兴 王波 沙椿

冷元宝 熊永红 魏岩峻 张智

余才盛 张建清 袁景花 郭玉松

毋光荣 刘康和 王顺立 才致轩

宋正宗 吴达元 钱世龙 张喜元

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程勘探规程
第 1 部分：物探

SL/T 291. 1—2021

条 文 说 明

行业标

目 次

1	总则	284
3	基本规定	285
3.1	物探任务	285
3.2	工作流程	289
3.3	仪器设备管理	290
3.4	试验工作	290
3.5	测网（线）布置	291
3.6	测量工作	291
3.7	观测、重复观测、检查观测	291
3.8	资料整理与图件	292
3.9	资料校审与归档	292
4	物探方法与技术	293
4.1	一般规定	293
4.2	电法勘探	293
4.3	电磁法勘探	303
4.4	探地雷达探测	312
4.5	地震勘探	314
4.6	水下探测	325
4.7	管道内部检测	329
4.8	弹性波测试	333
4.9	层析成像	336
4.10	放射性测量	340
4.11	地球物理测井	342
5	综合探测	351
5.1	一般规定	351
5.2	覆盖层探测	351
5.3	隐伏构造破碎带探测	352
5.4	软弱夹层探测	353

5.5	岩体风化、卸荷带探测	353
5.6	滑坡体探测	354
5.7	岩溶探测	355
5.8	库坝渗漏探测	356
5.9	地下水探测	357
5.10	防渗帷幕线探测	358
5.11	堤防隐患探测	359
5.12	隧洞施工物探超前地质预报	359
5.13	水库淤积探测	361
5.14	地下管线探测	362
6	检测与监测	365
6.1	一般规定	365
6.2	岩体质量检测	365
6.3	洞室松弛圈检测	365
6.4	固结灌浆质量检测	367
6.6	防渗墙质量检测	367
6.7	堆石(土)体密实度检测	368
6.9	混凝土质量检测	368
6.10	洞室混凝土衬砌质量检测	369
6.11	钢衬与混凝土接触状况检测	369
6.12	锚杆锚固质量检测	369
6.13	洞室环境放射性检测	370
6.14	水下建筑物检测	371
6.15	爆破振动、环境噪声和场地微振动监测	371
6.16	微震监测	372
7	测试	374
7.1	场地抗震动力参数测试	374
7.2	岩土电性参数测试	376
7.3	岩土体物理和力学参数测试	377
7.4	水文地质参数测试	377

1 总 则

1.0.1 本规程是在 SL 326—2005《水利水电工程物探规程》基础上进行的修订。

1.0.4 主要指涉及安全、环境和职业健康的强制性国家标准，如地震勘探涉及的爆炸物管理、操作，放射性测量涉及的放射性物质管理、操作的相关标准，以及本标准中引用方法技术要求的相关规程。

行业标准

3 基本规定

3.1 物探任务

3.1.1 水利水电工程规划、设计各阶段物探工作一般包括下列任务：

(1) 规划阶段物探一般包括下列任务：

①区域性断层、崩塌体、滑坡体、岩溶等探测。

②库区有重大影响的滑坡体、潜在不稳定体等探测，可溶岩地区的岩溶、透水层和隔水层分布探测，河谷和分水岭地下水位探测。

③坝址区岸坡和河床覆盖层、滑坡体，岩体风化、卸荷带，软弱岩层分布探测，可溶岩地区的岩溶、透水层和隔水层分布探测。

④引调水工程线路及渠系建筑物区断层、崩塌体、滑坡体、地下采空区等探测，引水隧洞沟谷、浅埋段、进出口段覆盖层探测，岩体风化、卸荷带探测，地下建筑物和地下管线探测。

⑤防洪排涝区不良岩土层探测。

⑥灌区不良岩土层探测，地面沉降、地下采空区等探测。

⑦河道整治区不良岩土层探测。

⑧天然建筑材料厚度和范围探测。

(2) 项目建议书与可行性研究阶段物探一般包括下列任务：

①区域性断裂破碎带探测。

②库区岩溶、断层破碎带、古河道以及分水岭地段地下水探测，滑坡体、危岩体及潜在不稳定岸坡探测，水库浸没地段地下水探测。

③坝址区河床和两岸覆盖层分层探测，河床深槽、埋藏谷和古河床分布探测，软弱夹层探测，断层破碎带探测，岩体风化、卸荷带探测，滑坡体、堆积体、危岩及潜在不稳定体等探测，岩

溶、含水层和相对隔水层探测，岩土体相关物理参数测试。

④引水发电线路滑坡体探测，覆盖层厚度、断层破碎带、岩溶、放射性有害气体、地下水位、含水层等探测，隧洞进出口、傍山浅埋及明管铺设地段的覆盖层探测，岩体风化、卸荷带探测，岩土体相关物理参数测试。

⑤溢洪道区覆盖层厚度、断层破碎带、软弱夹层、岩溶、滑坡体、崩塌体等探测，基岩风化、卸荷带探测，岩体相关物理参数测试。

⑥灌区工程和引水渠道沿线覆盖层、岩溶、滑坡体、堆积体、古河道、采空区等探测，软硬岩性分界、软弱夹层探测，岩体风化、卸荷带探测，含水层、隔水层和地下水探测，岩土体相关物理参数测试。

⑦水闸及泵站区覆盖层、断层破碎带、岩溶、滑坡体、堆积体、古河道、采空区等探测，软弱夹层探测，地下水探测，透水层和相对隔水层分布探测，岩土体相关物理参数测试。

⑧深埋长隧洞大断裂破碎带、含水层探测、地温测试。

⑨堤防岩土体相关物理参数测试，已建堤防工程堤身质量检测。

⑩河道整治地段古河道、崩塌体、滑坡体探测，水下地形探测，地下水位探测，岩土体相关物理参数测试。

⑪移民选址区区域构造探测，滑坡体、崩塌体、岩溶等探测。

⑫天然建筑材料剥离层、可利用层和不可利用层厚度和范围探测。

(3) 初步设计阶段物探一般包括下列任务：

①水库可能渗漏段的隔水层、岩溶、地下水探测，库岸和城镇地段滑坡体和堆积体探测，浸没区地下水探测，沟谷及沟口堆积物探测。

②土石坝坝基基岩面、河床深槽、古河道、埋藏谷的深度和形态探测，坝基河床及两岸覆盖层探测，坝基及两岸软弱夹层、断层

破碎带、相对隔水层探测，坝基及岸坡岩体风化、卸荷带探测，坝区岩溶探测，坝基岩土体变形模量和岩体质量等物理参数测试。

③混凝土重力坝坝址区建筑物场地覆盖层分层、河床深槽基岩面形态、采空区、断层、岩溶探测，场地软弱夹层探测，坝基及坝肩岩体风化、卸荷带探测，岩体质量测试及岩体变形模量测试。

④混凝土拱坝除可包括本款第3项内容外，还可包括拱肩抗力岩体破碎带、裂隙密集带、软弱带、卸荷带和岩溶洞穴分布探测，两岸拱座及抗力体软弱夹层、断层等探测，两岸边坡岩体风化、卸荷带探测。

⑤溢洪道地段断层、裂隙密集带探测，岩体风化、卸荷带探测，岩土体力学参数测试。

⑥地面厂房厂址区风化、卸荷带探测，滑坡体、崩塌堆积体、采空区和不稳定体探测，软弱夹层、断层破碎带、裂隙密集带、地下水探测，岩土体力学参数测试。

⑦地下厂房区岩体风化、卸荷带探测，滑坡体、崩塌体探测，软弱地层、放射性和有害气体、断层破碎带、裂隙密集带、岩溶探测，含水层、隔水层、强透水层探测，地下厂房系统应对顶拱、边墙、端墙、硐室交叉段围岩工程地质分类中波速、完整性系数等进行参数测试。

⑧隧洞沿线断层破碎带、岩溶、软弱地层、放射性及有害气体探测，含水层、强透水带探测，隧洞浅埋段和进出口覆盖层探测，岩体风化、卸荷带探测，围岩工程地质分类中波速、完整性系数等参数测试。

⑨导流明渠和围堰覆盖层、岩溶洞穴、采空区、地下水、滑坡体、堆积体、探测，主要断层、破碎带、裂隙密集带探测。

⑩通航建筑物布置区的覆盖层、断层破碎带、裂隙密集带、岩溶洞穴和采空区探测，边坡风化、卸荷带探测，岩土体力学参数测试。

⑪边坡岩体风化、卸荷带探测。

⑫灌区工程及引水渠道沿线滑坡体、崩塌体、岩溶、地下采

空区探测，含水层、隔水层探测。

⑬水闸及泵站断层、破碎带、软弱夹层和节理裂隙探测。

⑭河道整治工程崩塌、滑坡体探测，含水层、隔水层及地下水位探测，河底水下地形剖面探测。

⑮移民新址区及外围滑坡体、崩塌体、岩溶探测。

⑯天然建筑材料场地可利用层和不可利用层的厚度和范围详细探测。

(4) 招标设计和施工详图设计阶段物探一般包括下列任务：

①工程地质补充、复核勘察所需的物探。

②临时建筑、移民安置、专项复建工程和天然建筑材料补充勘察所需的物探。

③施工期和蓄水过程中的库岸堆积体、滑坡体等探测，渗漏探测。

④工程地质勘察需要针对性的补充物探。

⑤施工过程中需要进行地质复核和补充勘探的物探。

3.1.2 水利水电工程施工、运行、报废各阶段物探工作一般包括下列任务：

(1) 施工阶段物探工作一般包括下列任务：

①建基岩体质量分级，建基岩体松弛层厚度和不良地质体的空间分布探测。

②固结灌浆质量检测、帷幕灌浆质量检测。

③防渗墙的深度、缺陷和均匀性检测。

④筑坝堆石体密实度检测。

⑤堆石坝面板脱空、内部缺陷及强度检测。

⑥混凝土强度、缺陷及内部钢筋分布检测。

⑦隧洞混凝土衬砌厚度、强度和缺陷检测，混凝土与围岩接触面脱空情况检测。

⑧洞室和边坡混凝土喷层厚度检测。

⑨压力钢管接触灌浆质量检测。

⑩边坡及洞室锚杆支护质量无损检测。

- ⑪建基面、边坡及洞室开挖施工爆破振动监测。
 - ⑫地下洞室围岩松弛变形和岩爆检测、岩体边坡变形监测、混凝土裂缝发育监测。
 - ⑬水下建筑物缺陷、形态结构及状态检测。
 - ⑭库坝渗漏出水口与库水的连通情况及渗漏缺陷的规模探测。
 - ⑮洞室环境放射性、地温测量。
 - ⑯隧洞和地下洞室开挖施工物探超前地质预报。
- (2) 运行阶段物探工作一般包括下列任务：
- ①两岸坝肩区绕渗、管涌探测，滑坡、沉陷探测，下游坝脚渗流、管涌、沉陷、冲刷、淘刷检测。
 - ②大坝、厂房、水闸、洞室、渠道等结构混凝土的裂缝、强度、钢筋保护层厚度检测，大坝基础岩体不良现象长期观测和质量检测。
 - ③引水发电、泄溢洪、消能建筑物的围岩和地基岩体质量检测，渗漏、裂缝、脱空冲刷检测。
 - ④水库渗漏、沉陷、塌陷、滑坡、淤积等探测。
 - ⑤枢纽区水下建筑、边坡检查及监测。
 - ⑥水力发电厂环境振动监测。
 - ⑦堤防工程洞穴、裂缝、松软层、高含砂层、古河道、老口门等隐患探测，渗漏、管涌探测及监测。
- (3) 报废阶段物探工作一般包括下列任务：
- ①水库淤积探测。
 - ②大坝挡水、通航建筑物等混凝土和填筑体质量检测。
 - ③建筑物场地安全检测。
 - ④拆除施工爆破影响监测。
 - ⑤库区滑坡等环境地质灾害探测和监测。

3.2 工作流程

3.2.1 由于水利水电工程具有阶段性、周期长的特点，物探任

务的发包也存在多种多样。工程勘察大纲是由地质专业牵头编制，物探人员应根据项目特点提供有关物探方法的资料，参加工程勘察大纲的讨论和审查，提出合理性建议。

3.2.2 物探工作大纲分为探测工作大纲和检测工作大纲，两者的主要区别在于探测工作大纲需要在概况中说明与探测相关的地质情况，检测工作大纲需要说明与检测对象相关的设计、施工情况和检测评价的标准。

3.2.3 水利水电工程施工期间的物探检测，易受现场施工环境干扰影响，为保证物探检测的准确性，在工作期间应尽量保持现场的噪声水平、电磁干扰等强度相对较低。

3.3 仪器设备管理

3.3.1 仪器设备的标识管理是仪器设备处于受控管理的措施之一，仪器设备的状态标识为准用（绿色）、暂用（黄色）、停用（红色）。状态标识应包含必要的信息，如检定/校准日期、有效期、检定/校准单位、设备自编号、使用人等。

3.3.3 仪器设备检查包括建档检查、保养程序，明确检查项目和周期，应做好相应的记录，使仪器设备始终处于完好状态，检查人员应签字确认。

3.4 试验工作

3.4.1 大中型物探项目在现场工作前应编制试验方案，小型物探项目应在物探技术大纲中编制试验方法。

3.4.3 试验地段应选择在有钻孔或地质、设计、施工等情况较明显，地形平坦、无干扰的地段，应保证试验获得较普遍的规律。条件具备时或已知地段试验之后，应再选择其他典型地段进行试验。

3.4.4 试验工作的方法技术应在分析设计、地质、物探等资料的基础上进行选择。大型物探项目应选择不同物探方法进行试验，中小型项目应根据物探任务、测区条件选择一种或多种方法

进行试验。

3.4.9 应及时对试验效果作出明确结论，条件许可时应进行现场验证。

3.5 测网（线）布置

3.5.3 主要针对规划等前期勘察精度要求较低的地表物探工作，如区域断层调查、地下水调查、大型滑坡体或大面积覆盖层调查等。在探测精度要求较高的其他水利工程勘察阶段，物探测网密度可不与比例尺保持一致。

3.5.4 根据物理场理论，激发场方向与地质体走向垂直时异常最显著。地表起伏会产生一定程度异常，测线布置时应尽量避免。

3.5.5 主要是建立地层剖面与物性剖面的对应关系，便于资料处理、解释及综合分析。

3.5.8 地质构造复杂、物探异常的地段需要更精确、更密集的数据来准确反演和描述。

3.5.9 测点间距与物探方法、探测精度等因素相关。

3.6 测量工作

3.6.1 在大面积区域地质调查时，建立测量控制网选择坐标系应服从工程的总体安排，否则会造成混乱。采用独立坐标系只是临时性的，应在后期的测量工作中及时转换。

3.6.4 洞室有多个项目和任务时，有时会各自进行测量标注，应确认所使用测量桩号的有效性，保证加密测量标记的可靠性。

3.6.6 指连续探测的探地雷达，保证探测的缺陷位置定位准确。连续测量时会产生累积误差，需要依靠一定间距的测量桩来校准距离。

3.7 观测、重复观测、检查观测

3.7.2、3.7.3 由于野外测试条件、仪器测量数据会受到环境、

人为等因素影响，为消除或减少干扰因素，需作相关的检查观测。不改变工作条件进行两次或两次以上的测量称为重复观测，改变接地条件的重复测量或有目的地另行指定专人对已测量过的部分测点或剖面进行抽测称为检查观测。

3.8 资料整理与图件

3.8.1 在项目策划阶段，需做好物探资料的收集、分类整理，资料整理工作贯穿项目全过程。物探记录是项目实施过程中的原始数据，管理体系记录、纸质及电子媒介都是有效的物探记录介质，随着信息化技术发展，物探记录向数字化发展，这也是物探技术升级的基本要求，但应保持记录介质的原始、可追溯、唯一性标识及项目信息完整有效等性质。

3.8.2 资料检查与评价方面，物探项目现场工作面的时效性，强调了及时对原始资料的抽检，比例应大于 30%，便于发现问题及时补救。

3.9 资料校审与归档

3.9.1 此条所述的成果包括中间成果和最终成果报告。

3.9.2 资料的校核和审查的侧重点不同。校核侧重于成果报告语言文字及标点符号使用的正确性、文字表达的通顺及逻辑性。对成果报告中的所有数据进行检查，对比原始数据或外源数据判断报告中使用的数据可靠性，分析成果报告中使用的物探软件、公式的适用及准确性判断结论数据可靠性。审查侧重于成果报告技术方面，对目标任务完成情况、强制性条文的执行情况、物探采用仪器设备及方法技术的合理性、结论和建议的应用范围及风险进行评判。

3.9.6 资料归档内容应涵盖项目实施过程的物探记录、中间成果、最终成果报告。

4 物探方法与技术

4.1 一般规定

4.1.2 选择和设置仪器参数、地层参数都应在事先条件较明确的地段，为后续工作和解释提供准确的资料。

4.1.3 物探异常存在多解性，尤其在地质和环境条件较复杂时，判断和解释异常较困难，采用综合物探方法是排除多解性和提高探测精度的重要措施。

4.1.4 利用钻孔获取地层的物性参数是较可靠的方法，可为物探资料的解译提供重要参考，物探参数孔可结合勘探孔和施工孔进行选择。

4.1.6 取得的其他成果是指探测成果揭示的本次任务目的之外的对工程建设可能产生影响的其他地质问题。

4.2 电法勘探

4.2.1 与原规程比较增加了伪随机流场法和聚焦电法，将可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法调整至第 4.3 节电磁法勘探部分。电法勘探应用范围主要有：

(1) 电测深法可用于探测覆盖层厚度、下伏基岩面起伏形态、岩性分界面、岩溶、洞穴、风化分带、地下水、构造破碎带、堤坝隐患，测定岩土体电阻率等。

(2) 电剖面法可用于探测一定深度范围的地层在水平方向的电性变化情况、非水平板状或球状电性异常体、构造破碎带，划分岩性横向分界线，探测地下水、堤坝和防渗帷幕隐患等。

(3) 高密度电法可用于探测覆盖层厚度、构造破碎带、岩性分界面、风化分带、岩溶、洞穴、堤坝和防渗帷幕隐患等。

(4) 自然电场法可用于地下水探测、堤坝和防渗隐患探测，探查地下金属管道及金属埋件的腐蚀情况等。

(5) 充电法可用于测试地下水流速流向, 探测黏土或水充填的岩溶洞穴、含水断层破碎带等低阻介质体的分布情况。

(6) 激发极化法可用于地下水探测, 圈定含水的古河道、古洪积扇、岩溶、构造破碎带等, 确定含水层埋深, 评价含水层富水程度等。

(7) 伪随机流场法可用于探测渗漏及管涌的进水口位置, 追踪存在集中渗漏的均质土坝中的渗漏通道等。

(8) 聚焦电法可用于隧洞掌子面前方含水体和软弱岩体隧洞施工物探超前地质预报, 隧洞侧壁深部的含水体、软弱岩体和溶洞探测, 探测挖孔桩底部溶洞等。

4.2.2 该条依据各种方法的物理特性、装置特点、探测任务要求, 规定了各方法适用的条件。使用中应注意各方法所具有的物理前提条件, 应了解探测目标体的物性条件与使用方法的物理前提和数学模型的相近性。

1 聚焦电法是近年来发展的一种新方法, 原标准中没有该方法。近些年来, 在聚焦测井有关勘探理论上提出的基于聚焦电法的物探超前地质预报技术得到了国内外众多研究机构和相关学者的关注。借助于同性电流的相斥效应, 聚焦电法超前地质探测技术实现了探测电流在掌子面掘进方向的纵深传播, 能够有效提升勘探深度及减小旁侧异常体对探测效果的干扰影响。

2 电测深法是一种视电阻率垂向测深的方法, 在地面通过改变供电电极距来控制深度, 其勘探基础是建立在水平层状介质的模型上, 对现场地形起伏、目标层倾斜程度与探测深度和最大供电电极距成正相关性。水利水电工程中电测深四极装置和三极装置使用最普遍, 其他装置较少使用。供电电极距分布依据平行电性层中电流场最大能流分布与电极距关系, 同时考虑量板法解释精度, 当局部存在电性异常时, 电流场分布规律也相应改变, 此时应加密供电电极距。电测深定量解释定义的测深曲线类型也广泛适用于音频大地电磁测深和瞬变电磁法, 分层定量解释通常先确定各层的电性参数, 采用计算机拟合反演。局部异常解释通常用于

断层破碎带、洞穴等探测，多采用视电阻率断面内异常识别，根据供电电极距估计异常深度。由于该方法工作效率低、人员成本高，近年来使用较少，高密度电法是电测深法的创新和发展，具有探测效率高、采集数据量大、成果直观等优点，浅层探测多采用高密度电法。

3 电剖面法的应用条件主要是陡倾板状地质体，高阻或低阻效果均明显。电剖面的供电电极距根据异常幅值与背景值之比考虑，异常幅值与电性异常体的埋深、产状和几何形态有关，探测深度通常指电性异常体顶界面距探测表面的深度 h ，在此相应深度的异常强度不低于 $10\% \sim 15\%$ ，与该深度相对应的供电电极距采用 $2h/\overline{AB}$ （对称法）、 h/\overline{OA} （ h/\overline{OB} ）（三极法）及 $h/\overline{OO'}$ （偶极法）较合理。 $\overline{OO'}$ 当电性层电性差异明显时，供电电极距与最大探测深度关系见表 1。

表 1 供电电极距与最大探测深度关系

地电体基本类别	$2h/\overline{AB}$	$h/\overline{OO'}$, h/\overline{OA}
两种各向同性介质接触面	0.60	0.55
大厚度的非导电层	0.55	0.50
中厚度的非导电层	0.45	0.40
小厚度的非导电层（垂直向）	0.25~0.30	0.20
小厚度倾斜非导电层	0.30~0.40	0.25~0.35
水平非导电圆柱体	0.20	0.15
非导电球体	0.15	0.10
小厚度导电体	0.60	0.60

4 自然电场法随时间、天气、季节变化等稳定性较差，基点选择和观测方式也影响成果质量。探测低阻体时，建议从测量的剖面曲线形态和特征点推断解释低阻体位置、产状和极化情况，面积性测量应根据等值线异常分布情况进行解释。探测地下水流速流向时，将电位梯度环形法的观测值绘制成极形图，产生极形图是因为电位差在水流方向较大，而在水平方向为零，故极

形图呈“8”字形。

5 充电法用于研究浅地表下充水洞穴、金属物体的埋藏情况，充电法较关键的技术是充电点应位于低阻体上、无穷远极应远离探测目标体范围。当研究地下水流速、流向时，应进行投盐试验，观测各时间段的电位变化情况，确定地下水流速、流向。充电法与自然电场法相比，充电法的电位或梯度值较稳定、但各测点观测的差值较小，电位梯度观测法分辨率相对较强，且数值有正有负，异常分辨较困难，通常用来定性圈定电性低阻体形态。

6 激发极化法通常用于探测地下潜水面，为保证产生明显的二次电场，供电电流较电阻率法大、供电时间也较电阻率法长。由于当前用于激发极化的仪器均是多功能电法仪，一次测量同时获得视电阻率、视极化率、视激发比、视衰减值、半衰时等数据，所以激发极化法是一种综合物探方法，可以有效地解决部分多解性问题。激发极化法的布极方式仍采用传统的人工方式，其工作效率低、成本高，极大地限制了该方法的应用，当前少量用于与地下水相关的渗漏、地下水探测方面的工作。

7 伪随机流场法是近年来发展的一种新方法，原规程中没有该方法。该方法是通过在水体渗流方向建立一种特定的电流场，在水流的入口或出口来检测输入的特征电流场，以达到探测水流出口或入口位置的方法，当前广泛用于大坝、堤防等渗漏探测。用于探测渗漏距离较远的入水口时，该方法产生的伪随机电流信号较弱，异常较难确定。伪随机流场法现场测试的主要要点是电流场布置应与渗流场相符、发射电流场强度应在接收区产生可被识别的渗漏电流场。资料处理和解释是一个试错过程，通过接收电极在目标区的不断移动发现渗漏位置。

4.2.3 规定的各项技术指标为当前国内外主要电法勘探仪器的常规指标。

4.2.4 根据探测地层、目标体规模、埋深以及物探方法和装置特点对布置物探测网进行的规定。

4.2.6

3 极距选择是根据电性层水平成层的数理模型和解释精度要求确定的，探测深度随极距增大而增加，但增大极距也降低了探测较小规模目标体的分辨率。当用于探测埋深较大或某些规模较小的目标体时，在较大深度探测范围内应加密极距。

5 采用十字形或环形测深是为了消除地电断面在水平方向上的变化对电测深曲线的影响，可在4个或4个以上的方向测量 ρ_s 曲线，评价岩体的均匀性。当存在各向异性层、独立的倾斜层或接触面时，可测试各向异性岩层参数及界面的产状。探测点可布置在各向异性区中心，或在接触面附近根据电剖面资料确定测点位置。

7 当误差为正态分布时，按误差理论计算：大于均方相对误差 m 的误差出现的概率为32%，大于二倍 m 值的误差出现的概率为4.6%，大于三倍 m 值的误差出现的概率为0.3%。因此，分别近似地取30%、5%、1%作为单个电测深资料检查和评价的标准。

4.2.7 电剖面法的供电极距应根据探测深度和地电条件的复杂程度来确定，供电极距应与探测深度相对应。探测深度为电性异常体顶界面距探测表面的深度 h_1 ，与此相对应深度的异常幅度应大于10%。选择供电极距时，与该深度相对应的对称四极法为 $2h_1/\overline{AB}$ 、三极法为 h_1/\overline{OA} (h_1/\overline{OB})、偶极法为 $h_1/\overline{OO'}$ 较合理。由于电性异常体在深度上变化的随机性，进行详细探测时应依次使用两个或两个以上供电极距长度不等的装置。

4.2.8 高密度电法指高密度电阻率法，仍属电阻率法勘探理论。其特点是观测点密度高、电极距小、信息量丰富。装置类型有温纳尔、二极电位、三极与双向三极、偶极以及微分等。无论采用何种装置，高密度电法应依据探测范围、深度、基本电极距、装置类型等多个参数确定相邻两次布极的电极重叠个数。

4.2.9 自然电场法现场工作中当测区范围较大，宜先采用多个分基点分区观测，再对各分基点与总基点进行联测，统一到一个总基点上，分基点的联测有以下几种方法：

1 当测线很长时,可在测线上设几个分基点分段观测,在各段连接处观测 3~5 个公共测点,然后利用这个重复段的电位差把两段曲线统一为基点的电位值。

2 当分基点与总基点相距较近时,可直接联测二次并取平均值,两次观测的绝对误差应小于 4mV。

3 当分基点与总基点相距较远时,应先测出某分基点对已知的 5~10 个测点的电位差后,再换算出该分基点对总基点的电位值,并按下列公式计算分基点电位值:

$$\Delta V_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta V_i + \Delta V_{ii}) \quad (1)$$

式中 ΔV_i ——待求的分基点电位, mV;

ΔV_i ——第 i 测点对总基点的已知电位, mV;

ΔV_{ii} ——待求的分基点对第 i 个测点的电位, mV。

4.2.10

3、4 单孔充电法测试地下水流速流向时,宜在通过孔口的推测流向方向上布置一条尚未投盐的充电电位测线,按观测结果在电位曲线斜率较大处放置 N 电极。如果金属套管在含水层中电位曲线上孔口电位较大、在孔口附近急剧衰减,或在孔口及其附近一个相当大的范围内保持一个电位值,则充电法不能测试地下水流速流向。充电法电位观测还有另一种工作方式,即直接测试等电位线法,其测网布置是采用充电点为中心的径向测线,该方法对于球形低阻体径向测线既方便又有效。

6 充电法的测量电位差很小,对异常分辨较为困难,通常采用定性解释方法圈定电性低阻体形态。因此,此次修订规程不再采用 $\delta < 2.5\%$ 和 $m < 3.5\%$ 的标准来评价资料,而是采用 $\delta \leq 5\%$ 和 $m \leq 7\%$ 作为新的标准。

4.2.11 激发极化法中 ΔU_1 为一次场电位, ΔU_2 为供电 30s 切断电源后从 0.25~5.25s 二次场电位的平均值。

4.2.14

3 电测深曲线类型应结合周边电性层及电测深曲线的特点

来确认，当有钻孔时应对比分析孔旁测深曲线，确定电测深曲线类型应依据下列标志：

- 1) 曲线后支上升或下降的倾斜角度及渐近线值。
 - 2) 特殊点、极值点、拐点等的纵坐标和横坐标值。
 - 3) 总纵向电导值。
 - 4) 各测深点同一极距的视电阻率。
 - 5) 曲线的局部畸变点。
 - 6) 十字测深、环形测深以及电极不同方向排列时，电测深曲线的差异性。
- 6 解释时所需的电参数可由下列方法取得：
- 1) 有钻孔时，用电测井资料和井旁测深曲线测试的电阻率参数较为准确，应先以电测井资料与钻孔资料对比划分地质和电性层位，然后计算各层电阻率。
 - 2) 利用电测深点近旁的其他资料（如钻孔、竖井及地震勘探资料等）确定层厚及埋深后，再计算电阻率。
 - 3) 利用露头电测深资料确定电阻率，应分析露头的风化裂隙和含水情况等与深部条件不一致而造成的电性差异。
 - 4) 电测深曲线的中段等值范围很窄时，可根据电测深曲线解释确定中间层电阻率。
 - 5) 电性层参数有变化时，应在测区内不同地段上分别测试，定量解释时应按参数变化的特征选取。

7 电测深的定量解释方法应根据探测任务要求、电测深曲线的特点和各种解释方法的应用条件而确定。量板法解释多层曲线时应选用三层或四层量板，也可用两层和辅助量板，定量解释的各种坐标、理论曲线、辅助曲线及其参数、计算结果、解释图等均应描绘于电测深曲线图中。计算机反演法解释分为最接近观测曲线的理论曲线选择法和联结视电阻率与介质参数的函数关系数值分析法，它具有便于选择和改变层参数解释多层曲线和计算准确等优点，在缺少剖面参数资料的情况下，能提供等值原理范

围内的反演解释。电反射系数法 (K 剖面法) 是一种比较直观的解释方法, 对于电测深曲线来讲, 电反射系数是一个和极距有关的重要函数, 对于一个界面来讲, 只有一个固定的电反射系数 K , 电测深曲线与电反射系数之间的关系是随电极距的增大而逐渐变化的, 通过电反射系数 K 求取电阻率可直接反映地下介质特征。

4.2.15 电剖面法数据处理中分析异常应依据正演曲线和试验成果, 分析异常的特征及异常各部位与电极距、电极位置的关系, 分析测线附近的地形、地质条件及干扰的位置与异常的关系。

4.2.16 目前高密度电法所绘制等视电阻率剖面图有电测深法的属性, 不能称为电阻率 CT 图。电阻率成像是利用探测区周边在各个不同方向观测的直流电场来分析地下电阻率分布。理论上, 控制直流电场的数理方程是拉普拉斯方程, 是“静”态的, 因此电阻率成像和地震波或电磁波成像存在本质区别。

4.2.17 应确定自然电场的性质与电场对探测目标体的各种作用之间的关系, 不同时间的自然电场的物理条件不同, 有效场和干扰场也有变化。因此, 应及时了解各种成因的自然电场特征。应根据异常性质, 在成果图上圈定和追踪各种异常, 分析各种关系。同时应分析影响观测资料的各种因素, 包括地貌、水文地质、地球化学以及人为干扰等。

4.2.18

3 充电法测试地下水流速流向方法如下:

(1) 可用不同比例尺绘制等位线图起始等位圈 R (充电点 A 在地面的投影 O' 至起始等位圈的距离) 和等位圈增量 ΔR , 以清楚反映等位圈变化特征为宜。

(2) 以井孔中心到等位圈移动距离最大的连线方向确定流向, 以相邻等位圈位移增量 ΔR_i 与相对应的时间间隔 Δt 之比确定流速。

(3) 测出各相邻等位圈的变化速度, 编制等位圈变化速度与时间关系曲线图, 取速度曲线趋近于某一稳定值 v 作为含水层

孔隙地下水流速。

(4) 由向量合成的最大伸长方向确定流向，在流向方向上以伸长距离 R 与所对应的 $2\Delta t$ 之比为流速。

(5) 绘制方位角与位移 ΔR 关系曲线图，以射线方位角 α 为横坐标，盐化后射线上等位圈增量 ΔR 为纵坐标，绘制 $R = f(\alpha)$ 曲线图。 ΔR 最大值所对应的方位角 α 为流向； ΔR 与对应时间间隔 Δt 之比为流速。

5 充电法探测低阻地质体形态解释推断时应注意以下几点：

(1) 应认识正常场与异常场的特征，分析等位线的密度，长短轴之比，以及电位、梯度曲线的形态、斜率、特征点（电位曲线极大值点、梯度曲线零点）及分布规律。

(2) 应注意表层不均匀、地形、岩层产状、地表水径流、覆盖层厚薄及屏蔽造成的影响。

(3) 通常以电位剖面曲线的极大值，梯度剖面曲线的“零”值确定平面点位。等位线在地面上的分布由导电体的埋藏性质决定，研究等位线的分布可以圈定导电体的形态。

(4) 应结合其他物探方法、地质构造和水文地质资料作综合解释推断。

(5) 为了连接两个或两个以上钻孔揭露的地质体并确定其范围，可以用充电法的电性相关性。应对充电法的电性相关法资料进行定性解释，查明钻孔区间各导体（充填的岩溶洞穴、裂隙密集带等）之间有无电性联系。钻孔区间各导体之间电性联系的主要特征是电位最大值与相关区段（孔洞、低阻岩层等）相等。

6 充电法探测地下水流速流向资料解释方法如下：

(1) 中心点位移法。地下水盐化一定时间后所观测到的异常等电位线通常是向某一方向延长的椭圆或其他形状封闭曲线，异常等电位线相对于正常等电位线偏离最大的方向，就是地下水流向，如图 1 所示。

地下水流速 v 可按异常等电位线中心 O' 相对于正常等电位

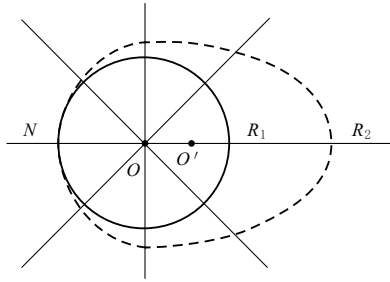


图 1 地下水流向示意图

线中心 O 的偏移速度来决定，即：

$$v = \frac{2\overline{OO'}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

也可按沿水流方向上等电位线的移动速度来决定，即：

$$v = \frac{2R_1R_2}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

(2) 矢量法。在平面图上，以井口为公共原点，绘出沿各个方位测线上异常等电位点相对于正常等电位点的位移矢量。这些矢量的长度按一定比例尺、使其等于沿各方位测线异常等电位点与正常等电位点之间的距离，以自正常等电位点指向异常等电位点的方向为矢量的方向，用作图法求出所有方位位移矢量的总矢量，此矢量所指的方向即为地下水的流向，地下水的流速可由总位移矢量的长度 (R) 和观测时间间隔求得。

当采用八个方位时，流速按式 (4) 计算：

$$v = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

当采用十二个方位时，流速按式 (5) 计算：

$$v = \frac{R}{3(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

在新探测区工作时，应先进行试验，与已知资料进行对比，选择适当的工作方法和解释方法。此外，本标准所介绍方法只适用于埋藏为几十米内、且矿化度低的含水层，对矿化度较高或埋

藏较深的含水层，效果不理想。

4.2.19

1 激发极化法绘制视极化率 η_s 、视激发比 J_s 、视衰减系数 D_s 、半衰时 $S_{0.5}$ 等值线平面图时，应选择最能清楚反映含水层构造异常特征的极距绘制。

2 激发极化法主要用于探测地下水。实际上，引起激发极化最强烈的是一些特殊矿体，因此，激发极化法与电阻率法一同测试，资料解释时可相互补充。激发极化法找水资料解释除注意矿体影响外，不同地区背景值和有水异常幅值存在差异，曲线形态特点不同。

3 激发极化法资料解释推断应与电阻率法结合进行。

(1) 激发极化电测剖面资料解释，即查明异常地段以及极化参数，应根据异常的形状判断异常极化体的形态及近似范围。测定倾斜角界面位置宜精确到一个点距，界面走向宜用对比剖面之间同类异常的方法测定。

(2) 激发极化垂向电测深资料的解释，就是确定异常极化体的形状，大小、埋深，以及确定一次埋藏岩层的数量、厚度及其电阻率和极化率。在激发极化垂向电测深的解释方法中，用孔旁垂向测深参数曲线对比法测定厚度有意义。对于水平层状或者接近水平层状的断面，激发极化率曲线，宜采用理论曲线选择法，或者用特征点法解释误差应不大于 30%。

(3) 激发极化法找水的解释工作，应遵循从已知到未知，先易后难的原则。先分析已有水文地质资料地段的曲线特征、异常幅度，确定其异常与地下水的关系，合理解决其中的矛盾；然后用推理的方法，结合电阻率法的解释结果，作出对未知地段的地下水埋藏情况的推断。

4.3 电磁法勘探

4.3.1 与原标准相比，本次修订将电磁法勘探单列为一类方法，增加了音频大地电磁测深法、电磁感应法和磁电阻率法。电磁法

勘探应用范围主要有：

(1) 音频大地电磁测深法和可控源音频大地电磁测深法可用于覆盖层探测，岩性接触带探测，地质分层探测，隐伏构造破碎带探测，岩溶探测，滑坡体探测和地下水探测等。

(2) 瞬变电磁法可用于隐伏构造、破碎带及岩溶探测，干旱地区寻找地下水，库坝渗漏探测，隧洞施工物探超前地质预报。

(3) 本标准中的电磁感应法是指频率域电磁剖面法，主要应用于地下管线及金属埋藏物探测。

(4) 磁电阻率法可用于库坝渗漏探测，地下水探测，堤防隐患探测等。

4.3.2

7 磁电阻率法与传统的电磁法勘探不同，传统的电磁法所发射的电磁波会在潮湿、松散的覆盖层中急剧衰减，从而直接影响探测深度。而磁电阻率法不受制于覆盖层的影响，只要测区地下结构存在电流通路，通过测量电流通路产生的磁场从而获取地下电流分布情况。该方法适用于具有明显渗漏点的大坝、堤防等，通过在上游库区和下游渗漏点分别布置电极，建立电流回路，在测区范围内测量地表和水面的磁场数据，可用于渗漏探测、隐患探测等，具有无损、高效、三维探测等特点。

4.3.3

2 可控源音频大地电磁测深法与音频大地电磁测深法仪器接收部分相同，不同的是前者使用了人工控制发射源，后者只使用天然大地电磁场作发射源。本条另规定了发射部分的基本要求。

4.3.4

4 规定了音频大地电磁测深法和可控源音频大地电磁测深法现场试验的主要内容，可控源重点是发射源的布板、观测装置选择、仪器工作参数选择等，天然源主要是电磁场品质、观测装置、仪器工作参数选择等。

5 瞬变电磁法装置类型多，探测深度与发射电流强度、发

射线框边长、地层电性特征等有关，所以试验工作是瞬变电磁法的重要工作内容，试验效果对工作效率和探测效果均有影响。

7 磁电阻率法测点距与水平定位精度有关，通常水平定位精度为测点距的 $1/4$ ，应根据测试精度需求及现场试验效果，确定现场工作的测点距。

4.3.5

1 规定了测网的布置要求，相对可控源音频大地电磁测深法来讲，音频大地电磁测深法没有发射场的布置问题，现场工作应简单一些。但由于天然源的不稳定性，质量控制较难。因此，布置多条平行测线是该方法现场工作布置的一个特点。

3 现场测试探头的方位通常使用罗盘来控制，由于罗盘的测试误差为 $\pm 2.5^\circ$ ，所以磁探头的方位和角度误差也控制为 $\pm 2.5^\circ$ 。现场测试磁棒的水平度采用的是水平尺，以气泡居中为评价标准。

4 每测站或测深点测试的是各个电道和磁道的全频电位数值，由于天然场变化的随机性，测深点的电阻率曲线偏差较大，在实际工作中通常采用增加叠加次数和多次重复观测的方式来提高评价数据采集质量。

5 重复观测是音频大地电磁测深法现场工作的必要过程，测线的质量可以使用一条测线上重复观测的均方误差来评价。相对误差的计算是对一个测深点曲线上的每个频点进行计算，每个测深点的平均误差是利用其每个频点的相对误差值来计算，一条测线或测区的总均方误差是使用全部检查点的平均相对误差来计算。

4.3.6 可控源音频大地电磁测深法测点距一般为 $5\sim 50\text{m}$ ，由于大地电磁测深法是一种微小信号探测方法，为保证探测电极电位差的可靠性，在探测时有采用大测试电极距，就出现探测点距小于探测电极距的情况，出现这种情况时，应以测点为中心，沿测线向两侧布置电极，这也是该方法在工程应用中的特点。测点与干扰源的距离是一个估算量，主要依据现场干扰情况而定，干

扰源主要是电网，低压电网通常采取与电网管理者协商或临时断电的方式处理。

2 供电采用电偶极子，电偶极子发射场布置有单一场源、垂直分离场源、垂直重叠场源 3 种形式，水利水电工程物探中通常使用单一场源。

3 使用磁偶极子发射场的目前只有 EH-4，磁偶极子采用垂直地面的球形辐射方式。磁偶极子是点源场，探测区分为近区和远区，距发射点距离小于最大探测深度 3 倍的区域为近区，之外的为远区。由于磁偶极子发射有效探测区域是圆环形的，且发射功率小，覆盖范围小，现场工作经常需要移动发射站。

4 现场探测方式主要分为标量和张量两种，由于地层或地质体的电性呈各向异性分布，在电磁场中会呈现不同的极化方式。标量和张量主要是解决不同电性体在不同方向上的异常反应情况，便于提高探测精度和分辨率。

7 重复观测是在一个测站或一个测深点测完后，根据仪器现场处理和显示的电阻率、相位曲线形态和异常频点所占总频点的百分比来评价该测点和测站的数量质量，确定是否重测。检测点的选择原则与直流电测深相似，由于该方法布置发射站需要花费很长的工作时间，所以，检查点是以每个发射站进行选取，不会采用回头布置发射站来检查。除 EH-4 仪器外，GDP 和 V5、V8 仪器均采用电偶极子，在长剖面上存在两个发射站间的数据衔接问题，本规程采用两站间部分测点覆盖处理数据衔接。

8 每个测深点有电阻率和相位两条曲线，每条曲线由多个频率点组成，平均相对误差就是计算每条曲线上各个频点相对误差的平均值，每条曲线只能算出一个平均相对误差值，利用一条测线或测区上全部检查点的平均相对误差来计算均方相对误差。

4.3.7

1 瞬变电磁法不需要接地，当现场植被和障碍物对布线影响较少时，现场探测效率高。现场探测布线应采用小点距、小线距测量，保证探测精度。

2 重叠回线、中心回线是同点装置，指发射和接收线圈中心在同一个点上，当发收线圈重叠时称为重叠回线，当接收使用小线圈时称为中心回线。由于瞬变电磁法发射和接收在时间上是分开的，因此发射和接收可共用一个线圈，称为共圈回线，它也属于同点装置。同点装置是频率域电磁法无法使用的装置。在瞬变电磁法中，由于同点装置与探测对象能达到最佳耦合，所得到的异常幅度大、形态简单，受旁侧影响小，横向分辨率高，是瞬变电磁法中最常采用的装置。

大定源回线装置发射线框 T_x 采用数百米至上千米的矩形回线，接收线框 R_x 采用小线圈沿垂直于 T_x 长边的测线逐点观测。通常除测磁场的垂直分量 (z) 的感应电压外，还可以测磁场的水平分量 (x 、 y) 的感应电压值。为了提高效率，通常在 T_x 框内、外都观测。在野外施工时，可多台设备同时工作，工作效率高。当要进行较大深度的探测，或测区地形崎岖、有河谷等其他障碍使铺设定源回线困难时，应选择本装置。因其发射回线固定，可以采用大功率的发送设备以达到很大的供电电流。同时由于它发射回线面积很大，故能够提供很强的发射磁矩，有利于大深度探测。其缺点是方形回线太大，铺设不便，且体积效应明显，框外测量易受集流效应影响。

偶极装置是发射和接收线框分离的一种装置形式，多用于构造的探测。它的优点是场源固定，可使用较大功率的电源，可在场源两侧进行多点观测，有比较高的工作效率。这种装置所观测的信号衰变速度要比中心回线装置慢，信号电平相对较大，对保证深部信号的观测质量有好处。缺点是分辨浅部地层的能力差，受旁侧及倾斜层位的影响较大。

3 目前最新的瞬变电磁法理论是探测深度主要与观测时间有关，大发射回线的主要作用是适应接收机灵敏度和满足一定的信噪比。随着技术的发展，大电流发射已被大多数仪器所采用。在工程物探中，采用小线框、大电流的发射接收方式具有明显的优势。

4 现场采集的主要是接收回线中各个时间点测得的感应电压值，其他的参数都是以这个参数为原始变量，以及发射电流、发射线框等效面积等变量计算出的间接参数。

5 相对于其他方法，瞬变电磁法的重复观测较容易，但计算观测点的均方相对误差难度较大。一个测点的数据质量是否重复观测通常由现场工作人员根据二次场电位衰减曲线质量及现场环境条件进行评估。先计算每个检测点各个测道的相对误差，然后计算一个测点的平均误差，最后利用各个检查点的平均相对误差计算整条测线或测区的总均方相对误差。

4.3.9

1 应根据探测现场条件，确定电极布置位置以及供电电缆的布置方式，其中电极通常分别布置于上游的库区中或者渠道中，以及下游的渗漏点或确认与上游连通的水体中。必要时需要钻孔布置电极，供电电缆布置时应尽量远离测区，需要记录电缆的布置轨迹。

3 应选择合适的工作频率，避免测区周围电磁场的干扰，例如交流电网的频率通常为 50Hz 或者 60Hz，当测试时如采用交流电供电，应避免 50Hz 或 60Hz 频率。直流电供电时不考虑该问题。

4.3.10

3 由于地下介质的各向异性，测试电磁场方向与地质体交角不同会产生不同的极化效果，TE、TM 极化模式的不同，视电阻率曲线存在差异，不同模式会有不同解释。TE 模式有很好的纵向分辨率而横向分辨率不足，TM 模式则相反。对于山脊地区，TM 模式视电阻率曲线总是在 TE 模式上方，而山谷地区正好相反。所以，在山脊和山谷地段，TM 模式要比 TE 模式反应灵敏，能较好地反映真实模型。对于断层地段，TE 模式比 TM 模式灵敏，TE 模式视电阻率曲线的低频段逐渐下移到 TM 模式下方，两者形成喇叭状。

4 当地表呈现局部电性不均匀时，会产生静态效应，影响

TM 模式的视电阻率曲线，TE 模式影响较小。TM 模式相位曲线基本不受静态位移影响，而 TE 模式相位曲线有明显的静态效应，但其受影响程度较低。在实际工作中，大多数情况下 TE 模式电阻率曲线受静态位移影响较严重，这主要是二维模型与三维真实地质构造间存在的差异，TE 模式对浅层低阻体反映好于 TM 模式。

5 可控源音频大地电磁测深野外探测时，发送机和接收机之间的距离是受到发射功率的限制的。收发距较大时，平面波假设就成立，但信号较弱；收发距较小时，信号较强，但平面波的假设就不成立。平面波的近似性主要是与收发距相对应的趋肤深度大小有关，趋肤深度大小主要取决于大地电阻率和工作频率，小于趋肤深度的区域称为近场区。在远场区可以将场源、看作垂直入射的平面电磁波，但由于受地形、地电条件的限制，实际工作中近场和远场的界线分辨不是太清，但如果某些频率工作在近场区和过渡区中，用卡尼亚公式计算视电阻率就会引起畸变，使得视电阻率在低频段以近乎 45° 直线上升，而不是趋于下伏岩层电阻率，相位曲线趋向于 0° ，不再是 AMT 中的 45° 。此时，曲线不能直接采用 AMT 方法进行解释，这种现象称为近场效应。

6 大地电磁测深的定性解释主要是视电阻率测深曲线和相位曲线的类型分析，对应电性层的相对关系。可控源音频大地电磁测深在每个测深点测试的视电阻率曲线，沿走向的纵向极化的曲线为 TE 极化，沿倾向的横向极化的曲线为 TM 极化。TE、TM 之间的差异主要是地下构造的不均匀性造成的，研究表明横向视电阻率主要反应浅部电性分布，而纵向视电阻率能较好地反映深部地质体的视电阻率分布特征，所以，识别曲线的极化模式有助于解释工作。定性解释是电磁法的主要内容，当地质条件复杂时，只能用定性解释。

7 大地电磁测深的定量解释基本采用二维反演软件进行，采用三维反演的较少。二维反演中异常边界划分和深度标定需要丰富的工作经验和现场钻孔的电测井资料。解释和反演处理要反

复进行多次，称交互式解释和反演处理。地质解译时，应先从地质人员沿测线切出推测的地质剖面，将其与物探剖面进行互相关解释，当测区地层呈现明显的电性各向异性时，电磁场张量测量分析解释很有必要。三维模型主要考虑探测目标体的追踪、分布范围的定量解释，对一些较具体的探测目标体，如断层、暗河、溶洞、下伏基岩顶板深度等，通过互相借鉴，可推测目标体规模大小和埋深。

4.3.11

1 数据预处理主要是对瞬变电磁法采集的两个主要参数感应电压 V_q 、视时间常数 τ_i 的预处理，目前都是使用仪器自身的软件进行相应的预处理，生成各种剖面曲线，对各种参数的曲线进行定性判断，最后通过反演软件直接反演成视电阻率剖面图。

2 由于瞬变电磁法有多种装置，每种装置的记录点位置不同，预处理时应将以线圈中心点为记录点的装置坐标校正到实际记录点坐标位置上。

4 定性解释主要通过对原始数据、各种定性图件分析对比，确定异常体的存在和圈定异常体的分布范围。

5 瞬变电磁场剖面图的绘制，应以测点为横轴，观测数据为纵轴，沿测线方向绘出各时间道曲线。横轴采用算术坐标，纵轴采用算术或对数坐标。为便于多道曲线对比和部分道数据变化范围较大时（用对数坐标），可采用对数和算术混合坐标系。瞬变场剖面曲线特点是通过对比多个不同时间道场值异常与地下地质体对应关系显示的。

瞬变场衰减曲线的绘制，应以横轴代表时间道号，纵轴为观测场值，衰减曲线常绘制在双对数坐标系，也可采用单对数坐标系，实际工作中可将不同观测点衰减曲线绘制在一张图上。

视电阻率拟断面图绘制，应以测点为横轴，时间道号为纵轴，以视电阻率为记录值，拟断面图直观的绘出沿测线地电断面电性变化特征。

瞬变场等值线平面图绘制，应在工程布置图上，将同一时间

道的观测值标在对应的测点旁，然后构制瞬变场等值线平面图。由于瞬变场衰减与深度有关，不同时间道对应的等值线平面图反应不同深度瞬变场的变化特征。因此，同一测区应绘制反应不同深度的多个不时间道的平面图，通常绘制早期、中期和晚期三个时间道的等值线平面图。

6 应通过典型剖面曲线分析，获取时间常数，计算机模拟及反演处理等方法取得异常体定量参数，如埋深、目标体形态及导电性等。瞬变电磁法识别异常体，首先需确定正常场的特征曲线或视电阻率，在正常场的背景上再按一定标准识别异常场。标准可以是已知地质资料及其他物探成果，也可以以视电阻率等值线梯度较大及低于正常场值 $1/3$ 或高于正常场 3 倍的部分为异常。

7 瞬变电磁法反演的二维电阻率等值线图在深度计算上具有较大的误差，应充分利用已知的钻孔或地质、地层资料进行深度校正，必要时进行二次深度校正。

8 瞬变电磁法勘探工作效率高，利用多个剖面或测网的二维视电阻率断面图数据，进行三维建模分析异常体特性和空间分布情况，可有效提高异常识别的准确性。目前，多数三维软件可满足三维建模要求。

4.3.12 用电磁感应法测定地下管线的深度时，除了直读法和特征法外，还有许多其他方法。无论采用何种方法，首先确定定深点的平面位置，在定深点左右各 3~4 倍管线中心埋深范围内应是单一管线，中间不应有分支或弯曲，且相邻平行管线之间不要太近。

4.3.13

1 应用磁电阻率法时，由于不同仪器设备的灵敏度差异，同时磁场幅值可能会随着时间的推移略有漂移，需要在测试过程中，利用基站对每个测点的数据进行归一化处理，对具有偏差的数据进行校正。

2 由于在测试过程中，难免会遇到金属管道、金属栅栏、

电缆等干扰物，测试过程中需要记录干扰物的位置信息，在数据处理的过程中排除外界干扰。

3 为了更明显地突出磁异常区域，在数据处理的过程中，可以创建一个均匀地质体模型，按照实际布置情况设定回路电缆、电极信息，通过正演数值模拟预测每个测点的磁场响应情况。

4 利用实测磁场与理论磁场分布成果进行比值，得到比率响应图，用于判断渗漏集中区和渗漏路径水平走势。比率响应图消除了电流误差和由于回路电流通路的磁场，从而突出了由于地下电流分布产生的磁场信息。

5 基于毕奥萨伐尔定律，对磁场数据进行反演处理，得到地下介质的电流分布特性，用于判断渗漏优势路径的三维分布情况。

6 条件允许的情况下，宜根据现场条件进行地质模型三维建模，对反演得到的三维电流分布模型进行分析。

4.4 探地雷达探测

4.4.1 与原标准相比，增加了三维探测法，去掉了不常用的环形法、透射法、多天线法。探地雷达探测应用范围主要有：

(1) 剖面法可用于覆盖层厚度、岩溶、软弱夹层、岩体风化带、隐伏构造破碎带探测，隧洞施工物探超前地质预报，混凝土结构、混凝土缺陷、混凝土与围岩接触情况检测，地下管线、地下埋藏物、建筑物探测等。

(2) 孔内探测法可用于岩溶、隐伏构造破碎带探测，隧洞施工物探超前地质预报，建筑物探测等。

(3) 三维探测法可用于岩溶探测，混凝土结构、缺陷检测，地下埋藏物、建筑物探测等。

(4) 宽角法或共中心点法可用于测试介质电磁波速度。

4.4.2

1 应用探地雷达进行探测时，目标体与周边介质的介电常数应存在明显差异，其差异度用功率反射系数来衡量，功率反射

系数按下列公式计算：

$$P_r = \left(\frac{\sqrt{\epsilon_h} - \sqrt{\epsilon_T}}{\sqrt{\epsilon_h} + \sqrt{\epsilon_T}} \right)^2 \quad (6)$$

式中 P_r ——功率反射系数；
 ϵ_h ——目标体的介电常数；
 ϵ_T ——周边介质的介电常数。

通常，功率反射系数不宜小于 0.01，常见介质的相对介电常数等电磁性参数见附录 C。

2 探地雷达在水平方向上的分辨率可用菲涅尔带说明。如图 2 所示。设地下有一水平反射面，以发射天线为圆心，以其到界面的垂距为半径，做一圆弧与反射面相切，再以多出 1/4 及 1/2 子波长的半径画弧，在水平界面上得到两个圆。其内圆称为第一菲涅尔带，两圆之间的环形带称为第二菲涅尔带。

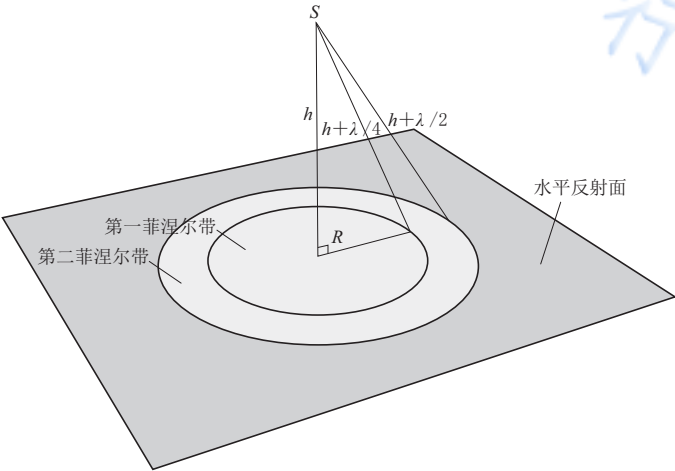


图 2 菲涅尔带概念示意图

R —第一菲涅尔带半径； h —水平反射面埋深； λ —雷达子波长

设反射界面的埋深为 h ，发射、接收天线间的距离远小于 h 时，第一菲涅尔带半径按下列公式计算：

$$R = \sqrt{\lambda h / 2} \quad (7)$$

式中 R ——第一菲涅尔带半径, m;

λ ——雷达子波长, m;

h ——反射界面的埋深, m。

4.5 地震勘探

4.5.1 地震勘探分支方法较多,技术发展也较快。近十多年,因受炸药震源的限制,传统的地震折射波法、地震反射波法的应用受限,而面波法得到广泛的应用并取得良好的应用效果,本次修编把原标准中的面波法细分为瞬态面波法、天然源面波。地震勘探应用范围主要有:

(1) 地震折射波法可用于探测覆盖层、风化层、滑坡体、堆积体的厚度,探测地下水位、基岩面起伏、构造破碎带,测定岩土体纵波速度。

(2) 地震反射波法可用于探测地层结构、滑坡体、堆积体、隐伏构造、岩溶、采空区等。

(3) 瞬态面波法和天然源面波法可用于探测地层结构、滑坡体、堆积体、隐伏构造、堤坝隐患、地基加固效果评价、地基病害质量检测、力学参数测试及评价、砂土液化评价等。

(4) 三维地震反射波法可用于探测地层结构、隐伏构造、滑坡体、堤坝隐患、岩溶等。

(5) 水域地层剖面探测和水域多道地震勘探可用于探测水下地层结构和构造、地层气、水下根石(抛石)、水下障碍物等。

(6) 隧洞施工物探超前地质预报地震波法可用于探测隧洞掌子面前方的软弱岩层、断层破碎带、节理密集带、溶蚀带、溶洞等不良地质构造。

4.5.2

1 地震折射波法的物理模型是近水平层状介质,应满足下层介质波速大于上层介质波速的折射条件。在炸药管控不是很严格时,地震折射波法是工程物探的主要方法,该方法的观测系统

具有完善的自校准流程，尤其是在覆盖层勘探方面，具有独特的效果。地震折射波法在探测三层介质的地层时，虽然符合 $V_1 < V_2 < V_3$ 的条件，但当中间层较薄（如 $h_2 \leq h_1$ ）时，折射波时距曲线上往往只出现 V_3 层的斜率，而 V_2 层的折射波不能在初至区显示出来，出现所谓中间层“隐蔽”现象；当被追踪地层视倾角与临界角之和大于或等于 90° 时，在地面均不能接收到折射波；当地震折射波法探测高倾角目标层时应合理选择测线方向，使地层视倾角与临界角之和小于 90° 。

2 地震反射波法的物理模型是近水平层状介质，应满足上下层介质存在明显波阻抗差异的反射条件。地震折射法读取初至，可以很好避开面波的干扰，而地震反射波法却很难避开面波的干扰，这也是地震反射法很重视最佳时间窗口的原因，因此地震反射波法并不适用于薄覆盖层（厚不大于 20m）和覆盖层结构分层。相比于地震折射波法，地震反射波法不受地层速度逆转限制，可探测高速层下部的地层。地震反射波法在追踪地层过程中，当被追踪地层的厚度较小时，两相邻界面产生的反射波时差过小会发生严重的干涉现象而难以识别。实践表明，垂直方向上反射波法的分辨率仅能达到其有效波长的 $1/4$ ，如果要提高反射波法的垂直分辨率，主要的方法是提高震源激发频率。

3 面波一个排列（台阵）相当于一个勘探点，该排列（台阵）所获得的频散曲线，是该排列（台阵）范围内地下地层结构的综合反映，若被探测异常体（透镜体、洞穴、岩溶、垃圾坑等）在水平方向的分布范围太小，在资料处理时只能把它当成干扰信号进行剔除，根据经验，异常在水平方向的分布不小于整个面波排列长度的 $1/4$ 时，才能在频散曲线上反映出来。

1) 面波法探测浅表层（埋深小于 10m）相邻层之间只要存在大于 10% 的面波波速差异便能进行详细分层，把相邻层之间面波波速差异定为 20%，主要是考虑到面波随着探测深度增大，其分辨率会降低。

3) 根据面波无法在水里和空气中传播特点，探测场地地

表不宜起伏太大，应避免沟、坎等复杂地形的影响。在野外布置检波器时，相邻检波器之间的高差宜控制在 $1/2$ 道距长度范围之内，否则会对道间相关造成较大影响，进而影响探测精度。

5 隧洞施工物探超前地质预报地震波法对于与隧洞轴线垂直或近乎垂直的界面较敏感，对于与隧洞轴线平行或近乎平行的界面较不敏感。受地震波波长限制，地震波法只能对具有一定规模的地质构造进行粗略识别与定位，精确识别与定位工作还需要采用短距离的预报手段。

4.5.3 随着瞬态面波法应用普及，仪器厂家在推出地震仪时，均考虑用户开展多道瞬态面波法的需求，多道瞬态面波法对仪器的放大器在频率响应和相位一致性方面要求严格，本条文所列各项技术指标，为当前国内外工程地震仪主流产品的常规指标。近几年，随着天然源面波法推广应用，本条文也对微动测试仪的技术指标进行了规定。在修编时，考虑开展地震折射波法和地震反射波法时使用无前放增益的地震仪，本条文也列出该地震仪的技术指标。

1 受到爆炸物品管制的影响，地震折射波法和地震反射波法的适用性受到较大限制，为了开展上述物探方法，可控震源是很好的选择。

3 地震检波器又称拾震器，是安置在地面、水下或井中以拾取大地振动的地震波接收器，它是将地震波所引起的质点微弱机械振动转换成电信号的换能装置。进行地震折射波法时，可选用固有频率为 $10\sim 40\text{Hz}$ 的动圈式垂直检波器即速度型检波器；进行地震反射波法时，探测深度不大于 50m 时，宜使用固有频率为 100Hz 的动圈式垂直检波器。当探测深度大于 50m 时，宜使用固有频率为 60Hz 或 80Hz 的动圈式垂直检波器，水上纵波反射法，宜使用固有频率 100Hz 压电式水听器，横波反射法宜使用固有频率为 $40\sim 60\text{Hz}$ 的动圈式水平检波器；进行瞬态面波法时，当探测深度不大于 10m 时，宜使用固有频率不大于 10Hz

的动圈式垂直检波器，当探测深度大于 10m 时，宜使用固有频率不大于 4Hz 的动圈式垂直检波器；天然源面波法所采集的数据为被动源微弱振动信号，对检波器的要求更高，要求使用低频或超低频检波器，当探测深度不大于 100m 时，宜使用固有频率不大于 2Hz 的动圈式垂直检波器，当探测深度大于 100m 时，宜使用固有频率不大于 1Hz 的动圈式垂直检波器或负反馈电路检波器。因检波器的电阻值和阻尼系数只能由厂家提供，现场无法检测，本条文不建议列入。

4.5.5

2 为了确保转折的测线资料能独立解释，当采用地震折射波法观测，转折角度超过 15° 时，若地面条件允许，可在转折点上以及转折测线的外延长线上补充相应的激发点。当采用地震反射波法进行单次覆盖观测，转折角超过 15° 时，若地面条件允许，可在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的剖面测量；当进行多次覆盖观测时，最大转折角不应超过 8° 。若因测线转折影响叠加效果时可采用弯线叠加方法，或当地面条件允许时可在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的叠加剖面。

4.5.6

2 有效波分析是分析不同采集因素各目标层反射波的有效频率范围、反射波的能量变化情况及单炮记录上反射波可见范围。干扰波分析为环境噪声评价，按照炮检距顺序显示干扰波记录，分析计算干扰波的视速度、视频率、视波长、频率范围等参数，分析干扰波的性质、类型、在记录上出现时间和影响范围，分析干扰波强度随炮检距、时间的衰减情况及其与激发因素的关系。信噪比分析为对比不同采集因素情况下浅、中、深层相应部位反射波与干扰波能量变化规律，估算记录的浅、中、深层的信噪比。

4.5.7

2 地震折射波法的观测系统：一是针对求界面深度的精度而言的，若用于求基岩界面速度，则要求岩层界面的视倾角应小

于 5° 才能保证所求界面速度的精度；二是为了保证观测成果的可靠性和追踪界面的连续性，若检波点过少则可追踪段过短，连续分析界面的精度也差，且对测试界面速度的精度影响更大；三是确保两支时距曲线平行性辨别，当被追踪段的检波点数过少时，会降低识别有效波的可靠性。

4 瞬态面波法探测深度应限制在一个波长以内，偏移距和检波点距较小时有利于探测浅部信息，但探测深度较小。反之，为了获得深部信息，探测深度应增大，则应增大偏移距和检波点距。进行多道瞬态面波数据采集时，通常测线呈直线布置，沿测线布置多个长度相等的接收排列，各个排列的检波点距相同。在实际工作中是根据测区的地震地质条件、任务要求、通过试验或结合邻区的工作经验选择观测系统。依据激发点与接收排列的相对位置，面波法的观测系统可分为单边激发排列和双边激发排列两种观测系统。因地下岩层在排列范围内很难达到水平层状，在进行面波测量时，为了降低地层起伏所引起的解译误差，多采用双边激发排列。在各岩层界面较平坦时，通常采用单边激发排列。

6 三维地震反射波法数据采集前应根据试验成果确定观测系统的面元边长、覆盖次数、接收道数、道间距、炮点距、接收线距、炮线距、最小非纵距、最大非纵距、纵向最小炮检距、纵向最大炮检距、最大炮检距、排列片横向移动距离、排列片纵向移动距离、覆盖次数渐减带等主要参数。

- 1) 三维地震观测系统应反映出主要观测参数，炮点、检波点的相对位置和炮点线相对接收线的形状。规则观测系统宜表述为“接收线数 $L \times$ 炮点数 $S \times$ 单条接收线的接收道数 $T \times$ 下束滚动接收线条数 $R +$ 形状”，不规则观测系统宜按接收线、炮点线及相对形状来表述，如“网状三维”等。
- 2) 三维地震观测系统设计附图宜包括三维地震部署图、三维地震施工设计图、三维地震束线位置图、观测系

统类型图。三维地震部署图宜为图面以主要目标层等深线或等时线为背景，明确标出工区面积、资料面积、满覆盖面积，主要地物及钻孔。三维地震施工设计图宜为图面需画出详细的地物、束线位置及编号等，画出全部接收点、线，激发点、线，注明束线号和桩号，也可与施工设计图合并编绘。

- 3) 观测系统类型图宜将观测系统参数设计的结果用图表示，给出一个完整的排列图形及一个排列的接收点和激发点。应用不规则观测系统时，应单独绘出三维地震施测设计图、CMP 点位置图和最浅目标层、主要目标层覆盖次数平面分布图等。
- 4) 面元为各反射点叠加成一个叠加道的区域，通常面元是方形或长方形，面元的面积 = $RI/2 \times SI/2$ (RI 为检波点距， SI 为炮点距)。地面面积是指在三维采集中由最外边的震源点和检波点包围的面积。覆盖次数是一个面元内反射的射线数目，覆盖次数取决于多种因素，特别是包括所考虑的反射类型 (CMP、CDP 等)。纵线方向为三维观测平行于接收线的方向，横线方向为三维观测中与接收线正交的方向，不一定与炮线方向相同。纵向炮检距为平行于接收线方向的炮检距，横向炮检距为在横线方向的炮检距值，常用来指最大横线炮检距。排列片是由一特定炮点激发，全部在用的检波点所记录的范围，在直线采集中是若干条接收线上检波器排列构成的矩形，几个炮点可以有共同的排列片，对不同的炮点排列片沿采集区块移动。最大炮检距的设计应综合考虑多种因素，既要满足最浅目标层反射系数稳定，又要满足速度分析精度和压制多次波，还应减小动校正拉伸畸变对反射波频率的影响。
- 6) 三维地震测量应按设计的坐标位置对接收点、激发点

进行放样测量，所有接收点、激发点的平面坐标实测值与设计值之差不宜大于半个面元边长。测量工作结束，经计算、检查无误，精度达到要求后，应及时展绘出测线物理点位置图，画出详细地物图，对偏移激发点列表，提供地震探测使用。三维测量工作完成后，应提交全部接收点、激发点的坐标和高程，以及完成的三维施工边界、资料边界和满覆盖边界的拐点坐标。

7 仪器安装在船的中后部而不简易安装在首部是考虑仪器安全、航行安全和操作方便。船尾涡流干扰较大，震源和水听器阵若置于其中，将降低水域地层剖面资料信噪比。水域多道地震勘探工作的测点高程是以当时的水边线高程计算的，需及时测量，否则不能准确计算基岩顶板高程。

8 基于负视速度原理的物探超前地质预报技术，如 TSP 法、TGP 法等，应在两侧洞壁各布置不少于 1 个三分量接收器，激发点不应少于 18 个，接收孔距离最近的激发孔距离不宜小于 15m，同侧接收孔和激发孔应在同一直线上。基于反射原理的物探超前地质预报技术，如 TGS 法等，应在隧洞掌子面或者边墙布置不少于 8 个三分量检波器，道间距不宜小于 1m。掌子面观测时，应布置 2 条测线，每条测线布置 4 个检波器；边墙观测模式时，应左、右边墙对称各布置 4 个检波器。基于三维观测的物探超前地质预报技术，如 TRT 法等，应在隧洞边墙及拱顶布置不少于 10 个三分量检波器，检波器呈空间立体分布。

4.5.9 由于测量船不能保证直线走航及涌浪的影响，水下拖曳探头距测量船较远时，以测量船为基准的拖曳探头导航定位会产生较大的误差。因此，采用超短基线水下声学定位系统对拖曳探头进行定位。

超短基线水下定位根据声波在水中传播的速度往返时间测量距离及相位差进行定位，系统由声学测量设备和数据采集与处理设备组成。声学测量设备包括声学应答器和换能器，声学应答器通常安装在拖曳探头上，换能器安装在船体水下。换能器发射声

波信号至应答器，应答器接在收到讯问信号后，发射区别于讯问信号的响应信号，经测量设备的软件处理后得到拖曳探头的相对方位和距离，依据测量船上的差分 DGNSS 设备接收的定位信息和航向数据，实时计算出拖曳探头的大地坐标和相对位置数据。由于换能器安装位置与测量船的 DGNSS 接收仪位置不一致，故超短基线水下定位系统需要进行姿态校正。

涌浪是由其他海区传来或当地风速迅速减小、平息，或者风向改变后，海面上遗留下来的波动。通常涌浪的波面比较平坦、光滑，波峰线长，周期和波长较大，在海面上的传播比较规则，可以采用硬件或软件的方法进行压制。

4.5.12

1 为了有效波对比的可靠性，工作时仪器工作参数在一个测区或测段工作时应使用同一滤波档。记录波形、振幅和视周期是地面激发接收条件、仪器工作参数以及深部地层岩性和构造的综合反映。其中滤波档对记录道的波形、振幅和视周期也有一定影响，只有仪器工作参数相同，各记录道的波形、振幅和视周期的变化才是岩性和构造变化的客观反映。但工作中遇到局部地段的记录质量明显变差，无法进行有效波的对比时，应分析原因并通过试验找出改变记录质量的方法。

7 天然源面波记录的特点为无数个未知震源点、长时间的地震波记录、无规律的随机信号，无法认识有效信号和噪声信号，无法判断记录质量及是否达到目的。在野外无法判定是否采集到有效波，即数据采集具有盲目性。采集试验时，数据采集完毕需及时处理，成果合格则移动装置到下一个点，否则就重新采集，直至获得满意的处理结果。这样虽能保证各测量点野外资料采集的有效性，但施工效率不高，对技术人员专业水平要求较高，这也是天然源面波在很长时间内无法推广应用的原因。目前，市面上已有智能天然源面波数据采集处理系统，改变了现场仪器只采集天然微振动波形记录的现状，该系统利用大数据计算、筛选、叠加、归一化等技术，创新性研制出现场仪器在采集

微震信号的同时，可直接显示勘探成果的面波频散曲线，现场可以根据频散曲线的归一性和稳定性，判定数据采集的可靠性，大大提高工作效率，为天然源面波勘探广泛应用于工程勘查提供了技术保障。

4.5.13 旅行时读数中相位校正要求地震折射波法旅行时应读初值，当初值不明显时，应读第一相位极值并进行相位校正，相位校正时间为 $T/4$ ，校正值为负数。地震反射波法应采取相位读数，正相位起跳时，宜读第二相位正极值，相位校正值为 $5T/4$ ；负相位起跳时，宜读第一相位正极值，相位校正值为 $3T/4$ ；在宽角接收时，反射波会产生相位移（变化范围 $T/4 \sim T/2$ ），相位校正时应考虑相位移。

4.5.15

5 只有在近似水平层状介质、地面与界面起伏较小、横向速度无明显变化时，各层折射波时距曲线才近似为直线，才能依据折射时距曲线的延长线求得较可靠的截距时间。

6

1) t_0 法计算界面深度是建立在接收三角形为等腰三角形基础上的，界面起伏过大或界面速度变化过大造成出射角不相等，会使计算精度降低。依据 $\theta(x)$ 曲线求基岩界面速度时，界面倾角 φ 应小于 15° ，界面速度计算公式为

$$v_b = \frac{2 \nabla x}{\nabla \theta} \cos \varphi \quad (8)$$

式中 $\nabla x / \nabla \theta$ —— $\theta(x)$ 曲线斜率的倒数；

φ —— 界面倾角。

通常界面倾角值是未知的，实际上常使用： $v_b \approx 2 \nabla x / \nabla \theta$ 求界面速度，当 $\varphi > 15^\circ$ 时所求界面速度误差将随 φ 的增大而增大。 t_0 法适宜于二层结构的解释，也可用于三层、四层结构的解释。此时可将所要求的折射界面以上的多层介质视为速度等于有效速度的均匀

介质，然后按照二层结构进行解释。 t_0 法构制界面的精度取决于所选用的有效速度以及低速带校正的准确性，由低速带厚度变化引起有效速度变化时，先进行低速带校正，然后以低速带的下伏地层的有效速度构制界面。

- 2) 延迟时法的应用条件与 t_0 法相同，但要求对各折射界面的相遇时距曲线分层求解，削弱低速带厚度变化的影响。该方法在有效速度变化大的测区比 t_0 法的解释精度和分层能力都高。
- 3) 时间场法的折射界面位置是根据两相遇滑行波的旅行时之和等于互换时间的原理确定的，受界面起伏和界面速度变化的影响较小。该方法是一种比较精确的解释方法，它最适宜于二层结构界面的解释。
- 4) 共轭点法的应用条件与时间场法大致相同，所不同的是时间场法允许地面有一定起伏，而共轭点法要求地面较平坦。

4.5.16

1 应依据展开排列记录、共深度点叠加剖面的共炮点记录波的对比结果，识别反射时间剖面上各反射波组与地质层位的关系，应特别注意反射时间剖面最上部的同相轴是否为直达波。

12 可依据同相轴呈水平、倾斜或起伏形态以及反射波组之间间距大小变化、波组尖灭定性判断地层产状和地层厚度变化和尖灭，依据基岩顶板和基岩中的地层界面反射波组出现的错断、扭曲、波形、振幅突变现象推断断层或破碎位置、断距和视宽度、产状等。

4.5.17 面波沿地表传播的速度与波传播深度范围内介质的弹性参数有关，包括介质的密度、压缩和剪切波速度，主要的影响参数是介质的剪切波速度。面波在层状介质中具有频散特性，根据面波的频散特征，可以求得地层内部不同深度的弹性参数。

2 频率-波数域提取面波频散曲线为面波的各个模态，在时

间-空间域上往往是相互穿插叠合的。经过二维傅氏变换计算后，在频率和波数（ $f-K$ ）域限定区间以外，会出现变换折叠造成的干扰。层状地层上激发的面波波场数据，经过频率波数转换，其波动成分的谱振幅会形成连续的线状“山脉”，其峰值点的连线称为能量轴。面波的弹性能量是在这些能量“山脉”所包含的频率和波数范围内传播的。各个能量轴的波动成分合成面波波场的各个模态。由能量轴的频率和波数值，可以计算出面波各个模态的频散特征。在频率波数域中，可以清楚地区分开面波不同模态的波动能量，从而能够单一地提取出基阶模态的频散数据。

3 天然源面波法频散曲线提取常用的方法有频率-波数法（简称 $f-K$ 法）和空间自相关法（简称 SPAC 法）。频率-波数法提取面波频散曲线重点是如何根据多个观测点的记录来计算频率波数谱，其算法分为以下两种方法。首先，计算微动的自相关函数，再对其进行傅氏变换；然后对其绝对值的平方取平均。它不关心波自身特性，即便波的主体是体波，该方法也适用，也就是 $f-K$ 法与波的频散性质无关，不具备判断地震数据中所含的波是否具有频散特性的面波，所以面波频散不会影响频率-波数谱的分析。空间自相关法提取面波频散曲线为在提取频散曲线时，采用计算空间自相关系数（即各观测点之间的互相关函数的平均）的方法，是一种仅以微动中的频率与相速度之间具有一一对应关系的波，即具有频散特性的基阶面波为对象的方法，这就隐含着频率确定时，相速度也随之确定的一种逻辑关系。其步骤：首先，计算空间自相关系数。先计算每种组合中各测点（排列的中心观测点和圆周上的任意一测点为一组）之间的相干性，再计算其平均值。很显然，圆周上的点数越多其精度越高；然后，计算面波的相速度曲线。将上面求得的空间自相关系数值以频率（单圆形排列）或者距离（不同半径嵌套的圆形排列）作为自变量，与贝塞尔函数拟合，可以得到频率与相速度的一一对应的关系，即可以求出微动中所含面波的相速度曲线。在以距离作为自变量的情况下，分别在完全不同的时间带所观测到的微动记录

可以同时使用。

4 频散曲线的解释为面波沿地表传播波速的频散现象，反映了与其波长相应的深度范围内的地层弹性分布。地层的弹性参数分布越不均匀，面波频散的表现也越复杂。对于横向均匀的地层，面波表现出可以区分和识别的频散特征，从而划分出不同的地层弹性分层类型。基阶面波频散曲线的定量解释，是假定在水平层状介质条件下，首先给出一定的地层结构参数（如层数、厚度、层速度、弹性参数等）作为初始模型，利用正演计算方法，计算出理论频散曲线；然后，与实测频散曲线进行对比，用最优化迭代等方法，反复修改各层参数，使实测曲线与理论曲线得到最好的拟合，从而获得较准确的地层结构和参数。

4.5.19

2 涌浪在外业数据采集处理后，在室内可用数字滤波的方法进一步压制。生物、尾流及螺旋桨空化引起的背景噪声的频带通常较宽，在地层反射剖面记录上常表现为雪花状。机械振动引起的噪声频带通常较窄，在地层反射剖面记录上常表现为条带状。根据噪声和有效波间的频率差异，采用数字频率滤波方法压制干扰。

3 来自同一反射界面或者来自同一薄层组的反射波，受该组反射界面的埋藏深度、岩性、产状及上覆地层性质等因素的影响，如果这些因素在一定范围内相对稳定，则该反射波组存在同相性、波形特征相近、振幅显著增强和时差变化规律。

4 通常水的波速为 1500m/s ，淤泥层波速小于 1000m/s ，砂卵砾石层波速大于 1500m/s ，如果地质条件复杂，缺乏钻孔层位对比资料 and 实际地层波速资料，时间-深度转换精度难以保证。

4.6 水下探测

4.6.1 水下摄像是指利用搭载在水下机器人或者潜水员手持的光学摄像设备进行水下建筑物摄像、拍照的一类检测方法。二维图像声呐是指通过发射一定开角的声脉冲，利用声波反射原理，根

据回波信号时延和强度形成二维图像的一种检测方法。三维成像声呐是指利用搭载在水下机器人或支架上的探头，基于多波束声呐原理，生成水下目标物的点云数据进行检测的方法。多波束声呐指利用安装在测量船上的声学换能器阵，获得由大量波束测距点组成的条带，从而对目标物进行检测。

4.6.2

1 光线在水中传播时，由于传播介质的原因，其折射、透射、反射、散射和吸收等方面均与空气中传播有较大的区别，水下能见度好坏直接影响水下摄像质量和操作的便利性，因此需要对能见度做出规定。影响能见度主要有两个因素：一是水的浑浊程度；二是拍摄时照明光线的强弱，为了使能见度达到要求，可以在这两方面考虑解决办法。

2、3 由于各类声呐都是进行一定范围内的面积性扫描，水下相对开阔时能发挥其快速扫描的优势。

4.6.3 在系统调查当前行业内主要使用的各型号水下探测仪器的性能指标基础上，结合工程经验，对仪器的主要参数指标进行的规定，该指标满足当前水利水电行业水下探测的基本要求，也综合考虑了水利水电行业当前使用仪器的技术现状和发展趋势。这些指标中，分辨率是关键指标之一，因此针对每项仪器都做出了规定。

4.6.4 对各种水下探测方法的工作布置做出的原则性规定，具体项目中各方法的布置根据实际情况可以做出调整和优化。

1 无论是潜水员手持或是水下机器人搭载水下摄像方法，由于工作效率较低，不适用进行大面积覆盖探测，实际工作中最好有的放矢。在采用声呐类方法进行大面积扫描确定重点区域后，或是在重点工程结构部位、可能发生破损的怀疑区域内开展水下探测工作。为了实现水下的全覆盖检查，水下摄像应该遵循一定的测线布置规则有序开展，这些布置规则与待检测的区域形态有密切的关系，也要求操作人员有非常熟练的技巧作为保证，水下定位也要准确。

2 二维图像声呐的扫描形式有两种：一种是采用多波束形式，一次扫描一个扇形区域，这种方式适合搭载在水下机器人上动态实时检测；另一种是采用机械扫描形式，扫描 360°，这种方式适合采用支架方式进行定点扫描。

3 三维成像声呐的类型有两种：一种是多波束形式机械扫描 360°采集数据，这种方式需要测站式扫描；另一种是多波束阵列一次扫描一定面积的区域，可以动态采集一定范围的数据，这种方式可以搭载在水下机器人上进行动态连续扫描。

4、5 多波束声呐和侧扫声呐检测时相邻测线数据覆盖率不应低于 20%主要是为了保证多次扫描的数据在拼接时有足够的特征数据，保证拼接准确性。

4.6.5 水声定位系统按照定位基线长度可以分成长基线、短基线、超短基线及组合定位系统，可根据需要定位的距离进行远近选择，工程探测中可采用短基线、超短基线系统，定位精度相对较高。在实际工作中，如果发现的缺陷附近有明显的结构特征点，例如闸门边线、混凝土分缝等，也可利用水下机器人上的图像声呐扫描缺陷部位与这些结构特征点的距离，再加上深度信息进行定位。

1 为了保证水下摄像的能见度，有时需要增加辅助光源，但如果灯光靠近镜头，照射到水中浮游生物或悬浮颗粒上的光线，会反射到镜头上产生“反向散射”光斑，会在拍摄的画面出现白斑。因此，需要将灯光尽可能避开透镜的轴线，避免“反向散射”现象。

2 二维图像声呐探头的频率与探测精度密切相关，为了获得较高的探测精度，需要采用高频率的探头，但由于频率越高声呐信号衰减越快，探测距离相应变小。因此，为了平衡两者关系，需要采用合适频率的探头，本款为根据现有设备的情况给出的推荐值。在进行二维图像声呐探测过程中，根据图像显示情况实时调整增益可以使目标体显示更清晰。增益增大时，目标体反射信号更强，但噪声信号也会随之变强；增益减小时，可以减小

噪声影响，对目标体边界反射信号的判断更准确，但一些小的目标体反射信号不明显，可能被忽略掉。因此，在探测过程中可以通过调整增益参数达到理想的图像显示效果。

3 三维成像声呐的类型有两种，采用多波束阵列一次扫描一定面积的区域时，可以进行大面积的快速扫描；采用定点扫描时，又可以采用支架定点和 underwater 机器人定点两种方式，定点扫描适合相对小区域的高精度扫描。三维成像声呐不同于二维图像声呐，它需要通过聚焦波束的发射和接收完成目标物距离的测量。因此，需要速度参数，最好的方式是采用声速仪测量工作区域的声速剖面。定点扫描时，探头和支架间采用云台连接，通过扫描 360° 获得扫描区域的距离数据，如果由于水流等影响支架发生抖动，会使检测的数据不准确。

4 多波束声呐工作在 JT/T 790 有比较详细的要求，但是该标准主要是多波束声呐在水底地形测量应用方面的规定，多波束声呐更多的是用于水下建筑物检测。虽然两者主要的工作方式相同，但也有不同的地方，本条做了补充规定。

- 1) 采用多波束声呐进行水下建筑物缺陷检测时，为了分辨足够小的缺陷，应采用高频率的探头来提高精度。
- 2) 目前 RTK 测量技术在所有的差分全球导航卫星系统 DGNSS 技术中定位精度最高，可以达到厘米级，为了提高多波束声呐的检查精度，要求测量船采用 RTK 系统。
- 8) 最大航速按下列公式计算：

$$V = 2n(H - D)\tan(A/2) \quad (9)$$

式中 V ——最大航速，m/s；

H ——测区最浅水深，m；

D ——换能器吃水，m；

n ——测区最浅水深的多波束数据更新率，Hz；

A ——船艏方向的波束角。

5 侧扫声呐可以采用拖曳和固定安装的方式，拖曳方式使

用较为普遍。侧扫声呐的频率选择是指侧扫声呐探头有多个频率可以选择的情况下，可根据探测精度和距离要求进行选择。

4.6.6

1 水下摄像数据处理主要是对视频和照片进行识别，包括现场实时查看和室内重新播放识别，一旦发现异常部位，需要对视频进行截取和判断确定异常位置、规模等。

5 侧扫声呐在探测过程中，由于船速的变化可能导致侧扫声呐图像在船行驶方向拉长或压缩，后期为了使整幅图像比例一致，应根据船速进行图像比例校正。侧扫声呐镶嵌图是指将侧扫声呐条幅平面图按照统一的坐标系统，通过空间调配和内容复合，获得大比例、高分辨率的整张图像，可实现对目标物全面连续追踪。

4.7 管道内部检测

4.7.1 管道内部检测指对埋在地下水管进行检测，检测对象为影响管道正常供水、排水功能的所有缺陷，如渗漏、破损、结垢、沉积和异物传入等。

4.7.2

1 管道内水位是指管内底以上水面的高度。电视检测应具备的条件是管道内无水或者管道内水位较低。但是水位越低，难度越大，将水位高规定为管道直径 20%，能够解决大部分的管道缺陷检查问题。结构性检测是在管道内壁无污物遮盖的情况下拍摄管道内水面以上的内壁状况，疏通的目的是保证“爬行器”在管段全程内正常行走，无障碍物阻挡。清洗的目的是露出管道内壁结构，便于观察到结构缺陷。

2 水吸收声呐波的能力很差，利用水和其他物质对声波的吸收能力不同，主动声呐装置向水中发射声波，通过接收水下物体的反射回波探测目标，目标距离可通过发射脉冲和回波到达的时间差进行测算，经计算机处理后，形成管道的横断面图，可直观了解管道内壁及沉积的概况。声呐检测的必要条件是管道内应

有足够的水深，300mm 的水深是设备淹没在水下的最低要求。

3 管道潜望镜只能检测管内水面以上的情况，管内水位越深，可视的空间越小，能发现的问题也就越少。光照的距离通常达到 30~40m，一侧有效的观察距离仅为 20~30m，通过两侧的检测便能对管道内部情况进行了解，所以规定管道长度不宜大于 50m。

4.7.3 由于排水管道和检查井内的环境恶劣，设备受水淹、有害气体侵蚀、碰撞等状况时有发生，仪器设备存在一定的操作危险性，如果设备不具备良好的性能，会导致检测工作中断或无法进行，所以本条对管道内部探测仪器设备规定了基本要求。

1 电缆的抗拉力应能防止电视检测设备进入管道内部后不能自动退回，要求电缆线具备最小的收缩拉力，根据实际的作业情况，规定最小的收缩拉力为 2kN，保证电视检测设备在必要时手动收回。

2 声呐系统包括水下探头、连接电缆和带显示器声呐处理器，探头可安装在爬行器、牵引车或漂浮筏上，使其在管道内移动连续采集信号。每一个发射/接收周期采样 250 点，每一个 360°旋转执行 400 个周期。

用于管道检测的声呐解析能力强，检测系统的角解析度为 0.9°（1 密位），即该系统将一次检测的一个循环（圆周）分为 400 密位，而每密位又可分解成 250 个单位。因此，在 125mm 的管径上，解析度为 0.5mm，在直径达 3m 的上限也可测得 12mm 的解析度。

4.7.4

1

- 1) 爬行器的行进方向与水流方向一致，可以减少行进阻力，也可以消除爬行器前方的壅水现象。
- 2) 检测大管径时，镜头的可视范围大，行进速度可以大一些。但是速度过快可能导致检测人员无法及时发现管道缺陷，故规定管径 $\leq 200\text{mm}$ 时行进速度不宜超过

0.1m/s，管径 $>200\text{mm}$ 时行进速度不宜超过 0.15m/s。

- 3) 我国的排水管道断面形状主要为圆形和矩形，圆形管道为“偏离不应大于管径的 10%”，矩形管渠为“偏离不应大于短边的 10%”。
- 4) 摄像镜头变焦时，图像会变得模糊不清。如果在爬行器行进过程中，使用镜头的变焦功能，则由于图像模糊，看不清缺陷情况，很可能将存在的缺陷遗漏而不能记录下来。所以当需要使用变焦功能协助操作员看清管道缺陷时，爬行器应保持在静止状态。镜头的焦距恢复到最短焦距位置是指需要爬行器继续行进时，应先将焦距恢复到正常状态。
- 5) 检测的录像资料应连续完整，不能有画面暂停、间断记录、画面剪接的现象，防止发生资料置换、代用行为。
- 6) 检测过程中发现缺陷时，爬行器应停止行进，停留 10s 以上拍摄图像，确保图像的清晰和完整，有利于以后成果准确判读。

2

- 1) 声呐检测是以水为介质，声波在不同的水质中传播速度不同，反射回来所显示的距离也不同。故在检测前，应从被检管道中取水样，根据测得的实际声波速度对系统进行校准。
- 2) 探头的推进方向除了行进阻力有差别外，顺流行进与逆流行进相比，更易于使探头处于中间位置，故规定“宜与水流方向一致”。
- 3) 探头扫描的起始位置应设置在管口，将计数器归零。如果管道检测中途停止后需继续检测，则距离应该与中止前检测距离一致，不应重新将计数器归零。
- 4) 在距管段起始、终止检查井处应进行 2~3m 长度的重复检测，其目的是消除扫描盲区。

- 6) 脉冲宽度是扫描感应头发射的信号宽度，可在百万分之一秒内完成测量，它从 $4\sim 20\mu\text{s}$ 范围内被分为五个等级。
- 8) 实践证明，声呐用于管道沉积状况的检查时，普查的采样点间隔距离定为 $2\sim 5\text{m}$ ，其他检查采样点间距宜为 $1\sim 2\text{m}$ ，通常可以完整地反映管段的沉积状况。当遇到污泥堵塞等异常情况时，应加密采样。

3

- 1) 镜头保持在竖向中心线是为了在变焦过程中能比较清晰地看清楚管道内的整个情况，镜头保持在水面以上是观察的必要条件。
- 3) 拍摄管道内部状况时通过拉伸镜头的焦距，连续、清晰地记录镜头能够捕捉的最大长度，如果变焦过快看不清楚管道状况，容易晃过缺陷，造成缺陷遗漏；当发现缺陷后，镜头对准缺陷调节焦距直至清晰显示时保持静止 10s 以上，有利于缺陷的准确判读。
- 4) 拍摄检查井内壁时，由于镜头距井壁的距离短，镜头移动速度对观察的效果影响很大，应保持缓慢、连续、均匀地移动镜头，才能得到井内的清晰图像。

4.7.5

1

- 1) 排水管道检测应保证资料的准确性和真实性，由复核人员对检测资料和记录进行复核，以免由于记录、标记不合格或影像资料因设备故障缺失等导致外业返工的情况发生。
- 2) 管道缺陷应根据图像进行观察确定，缺陷尺寸无法直接测量。因此，对于管道缺陷尺寸的判定，应根据参照物的尺寸采用比照的方法确定。
- 4) 由于在评估报告中需附缺陷图片，采用现场抓取时可以即时进行调节，直至获得最佳的图片，保证成果的

质量。

2

- 2) 当绘制检测成果图时，图形表示的线性长度与实际物体线性长度的误差不应超过 3%。
- 4) 用虚线表示的管径 1/5 高度线即管内淤积的允许深度线。
- 6) 声呐检测除了能够提供专业的扫描图像对管道断面进行量化外，还能结合计算确定管道淤积程度、淤泥体积、淤积位置，计算清淤工程量。这种方法用于检测管道内部过水断面，可了解管道功能性缺陷。声呐检测的优势在于不可断流进行检测，不足之处在于其仅能检测水面以下的管道状况，不能检测管道的裂缝等细节的结构性问题，故声呐轮廓图不应作为结构性缺陷的最终评判依据。

4.7.6

1 管道概况包括检测实施的基本情况，检测环境的基本情况。

4、5 技术措施是管道检测和评估所依据的标准、检测方法、采用仪器设备和技术方法。检测方法包括采用哪种检测方法，技术方法包括管道的封堵方法、临时排水方案、清洗方法。采用的仪器设备是对影像资料和工作质量的间接佐证，所以应在报告中体现。技术措施应该在检测前的技术方案中确定，但是现场的实际情况不同时可能有所调整，故报告中的技术措施应为实施的技术措施。管道评估所采用的标准依据不同，则结论也不同。所以，管道评估依据的标准是检测报告的内容之一。

4.8 弹性波测试

4.8.1 弹性波测试有声波类和地震波类两种，虽然两种方法都是以分析弹性波在岩体内的传播特征，但各有特点，可相互补充，而不能彼此取代。弹性波测试的应用范围主要有：

(1) 单孔声波法和穿透声波法可用于测试岩土体纵波速度及相关力学参数,划分岩体风化、卸荷带厚度,洞室松弛圈探测,评价岩体完整性,检测建基面岩体质量,检测岩体开挖爆破影响深度,检测固结灌浆、帷幕灌浆质量,检测大体积混凝土质量,探测软弱夹层和岩体破碎带位置。单孔声波还可用于测试岩土体横波速度。

(2) 表面声波法可用于测试岩体或混凝土表层声波速度,检测混凝土体质量,混凝土表层损伤层厚度和混凝土浅裂缝深度。

(3) 声波反射法可用于检测隧洞混凝土衬砌质量、钢衬脱空、大坝混凝土面板质量、大体积混凝土内部缺陷等。

(4) 脉冲回波法可用于堆石坝面板质量检测,洞室混凝土衬砌检测,钢衬与混凝土接触状况检测等。

(5) 超声横波反射三维成像法可用于混凝土缺陷检测,混凝土钢筋、波纹管等金属结构分布检测,混凝土厚度检测等。

(6) 表面地震波法可用于地表或洞室裸露岩土体地震波纵波、横波速度测试,岩体风化、卸荷厚度探测,岩土体质量检测等。

(7) 单孔地震波法和穿透地震波法可用于孔内岩土体地震波纵波、横波速度测试,岩体风化、卸荷厚度探测,岩体破碎带探测,覆盖层分层,土的振动液化判定,建筑场地类别划分,岩体质量检测等。

(8) 地脉动测试可用于场地卓越频率或卓越周期测试。

(9) 质点振动测试可用于爆破施工附近的场地、边坡、洞室、建筑物等结构的爆破安全评价。

(10) 附加质量法可用于检测堆石体、心墙、碾压混凝土坝和人工碾压地基等密度。

4.8.2

7 超声横波反射三维成像法现场测试时,应保证混凝土测试面平整,无涂层和松散颗粒,不平整处应利用砂纸等工具进行打磨平整,不平整混凝土表面会导致超声波产生散射,直接影响

测试结果的准确性。

4.8.4

5 超声横波反射三维成像法测试工作布置应根据测试目的与要求、混凝土尺寸布置测网、测线和测点。当混凝土尺寸较小时，宜布置测网进行测试；当混凝土尺寸较大，工作量较多时，如隧洞衬砌、混凝土面板等大型结构等，宜布置测线进行测试；当布置测网、测线条件不允许或工程需要时，可布置测点进行测试。

6 表面地震波法进行洞壁岩体地震波速度测试时，洞径较小的平硐可选择相对平整的一壁布置测线，洞径较大的地下洞室可在洞两壁分别布置测线。大跨度、高边墙地下洞室洞壁岩体地震波速度测试时，可按开挖层数布置测线，洞室底板测线可呈“十”或“井”或网格状布置。建基面岩体地震波速度测试时，可按检测单元布置测线或测网。

8 穿透地震波法测试工作布置应考虑穿透距离对测试结果的影响。穿透距离过大时，地震波沿高速介质传播，导致地震波速偏高。在建筑物场地勘察时，由于土质地层结构复杂、层厚度变化较大，孔间横波测试时易受折射现象影响，工作布置时应结合地质资料设计孔距，每组检测孔数宜为2~3个。

4.8.5

6 超声横波反射三维成像法测试深度与混凝土的标号及其结构有关。按照厂家仪器说明书，在一定条件下最大测试深度可达200cm，模型试验和工程应用经验表明，最大测试深度为150cm。测试波速直接影响深度定位精度，当混凝土有已知界面时，应在已知界面进行波速校正，手动输入校正波速值；当混凝土无已知界面时，应使用仪器自动测得的横波速度进行测试，必要时结合钻孔进行速度标定。

7 表面地震波法根据弹性波理论，纵波在介质中传播时，波的传播方向与质点振动方向一致；横波在介质传播时，波的传播方向与质点振动方向垂直。因此在进行纵波和横波速度测试

时，检波器安置方向和激震方向应符合其物理学特性。

激发点应离最近检波器有一定距离，目的是为了减少洞壁或表部岩面松动岩体对波速测试的影响，使测试成果能真实反映岩体动力学特性。

根据横波传播时间约为纵波传播时间的 2 倍的特点，采取加大横波激发距离的措施，使横波与纵波产生较大的时差，在波形记录上可将横波从纵波续至中分离出来。正、反向激发的横波相位会产生反相，便于识别横波。

8 单孔地震波法横波测试激发装置通常使用叩板或钉耙。为了减少激发能量损失，保证观测效果，使用叩板时，需在叩板上加足够的重物来增加叩板与地面的摩擦力。使用钉耙时，要将钉耙打入土层中，与地面接触牢固。井液中投入适量的食盐是为了增加其导电性，加大电火花震源瞬间放电所产生的能量。

4.9 层析成像

4.9.1 鉴于电阻率 CT 法在水利水电工程物探应用中取得良好效果，本次规程修订将电阻率 CT 法纳入。层析成像 (CT) 的应用范围主要有：

(1) 声波 CT 法可用于岩体和混凝土体的声波速度成像。超声波具有频率高、波长短的特点，能分辨规模较小的异常体，传播距离较小，主要用于混凝土构件（梁、柱、基桩等）、坝基开挖、灌浆质量检测、建基岩体质量检测等。

(2) 地震波 CT 法可用于岩土体地震波速度成像。地震波频率相对较低，波长长，穿透距离远，能分辨规模较大的异常体。可进行岩体质量分级，圈定构造破碎带、裂隙密集带、岩溶及洞穴等速度异常地质体等。

(3) 电磁波 CT 法可用于岩土体电磁波吸收系数成像。可探测岩溶等具有一定电性差异的地质体，圈定构造破碎带和风化带等。

(4) 电阻率 CT 法基于静电场理论，以岩土体的电阻率差异

为基础，通过研究人工施加稳定电场，观测其在岩土层中的分布规律和电性变化，反演重构岩土体电阻率，达到工程探测的目的。电阻率 CT 法适用于覆盖层探测，圈定构造破碎带及岩溶探测。

4.9.2

4 电阻率 CT 法属于常规地表高密度电阻率法的改进和拓展，为体积勘探，穿透距离取决于供电电源能量和地质条件。依据现有技术水平和工程经验，孔间距或洞间距大于 50m 时，探测效果不理想。

4.9.4

1 实际工作中，两边观测系统的情况相对较多，如两孔或两洞间进行 CT。条件允许时宜作三边或四边观测，但声波 CT 法、地震波 CT 法和电磁波 CT 法要注意绕射和各向异性问题。

2 互换观测目的是为了射线分布均匀，也起到校验作用。

3 同一剖面采用一致的观测系统可以使探测精度尽量一致，利于拼接整幅剖面等值线图和解释。

4 CT 剖面宜垂直于地层和构造走向，是为了避免射线在断面外绕射而导致降低对低速、高吸收系数异常的分辨率。成像剖面宜与地质勘探线和其他物探测线一致，以便资料的对比与综合分析。

7 通常射线交角越小，CT 分辨率越低。射线正交时，CT 图像分辨率相对最高。射线的密度大、分布均匀，有利于提高 CT 反演精度。

11 测量钻孔、平硐的方位和倾角用于初至时间、场强、电流等校正；建立成像区域相对坐标系可用于反演计算。

4.9.5

1

- 6) 同一震源点相邻接收排列重复道接收是为现场工作及及时发现误触发或触发时间不一致的情况，以利在后处理时进行初至时间对比较正。

2

- 6) 由电磁波的传播特性所决定, 测试段不能有金属套管。孔壁完整性差而不能成孔或容易塌孔的孔段宜设置 PVC 管材质的套管, 均基于安全考虑。

4.9.6

1 声波 CT 法和地震波 CT 法的数据处理过程可表述为根据地质资料假定初始速度模型, 进行射线追踪, 计算出声波或地震波理论走时, 计算观测值与理论走时残差, 反演速度结构, 修改速度模型, 重复上述过程, 直到获得满意的结果。CT 处理步骤为原始数据载入; 读取波形初至时间, 形成观测文件; 数据核查, 观测数据平滑; 波速分布分析; 反演计算。

- 4) 将钻孔或隧洞的物性参数、测井资料作为边界条件, 加入相应的反演计算中, 可克服边界误差。钻孔声波测井和全景数字成像检测可作为 CT 解释的基础资料。
- 5) 声波 CT 法和地震波 CT 法反演属不适定问题。反演前, 合理选择初始模型, 可有效地改善参数反问题的不适定性, 利于获得接近实际的解。网格单元尺寸小于测点间距或单元总数大于射线条数, 易使反问题的不适定性更为严重, 成像效果往往更差。
- 6) 声波 CT 法和地震波 CT 法正演计算首先把初始模型离散化, 然后计算震源到每个网格节点的走时, 选取到接收点具有最小走时的路径作为弹性波射线路径, 求出所有震源和接收点对的最小走时和射线路径后, 完成射线追踪。射线追踪传统方法主要有基于初值问题的试射法(打靶法)和基于边值问题的弯曲法, 目前在复杂介质条件下的声波 CT 法、地震波 CT 法中, 应用较多的射线追踪方法主要有求解程函方程的波前法和最短路径法等。
- 7) CT 中的反演方法可分为线性方法和非线性方法两种。目前, 非线性反演方法主要有遗传算法、模拟退火法

和神经网络法等，目前非线性反演方法尚不很成熟，但非线性反演方法为发展方向。代数重建技术（ART）是按射线依次修改有关像元的图像向量的一类迭代算法，ART 计算速度较快，但迭代收敛性能较差，并且依赖于初值选择，通常需要较多的迭代次数，否则解的误差较大。奇异值分解法（SVD）的最大优点是反演数值稳定，收敛速度快，但需要内存较多。联合迭代重建技术（SIRT）在某一轮迭代中，所有像元上的图像函数平均值都用前一轮的近似值来修改，虽然要求内存较大，但收敛性好，适用于地质条件变化不大的情况。阻尼最小二乘法（LSQR）利用 Lanczos 方法求解最小二乘问题，极大地节省了内存，又克服了 ART 算法的不稳定性，是较为理想的线性反演方法。

2 电磁波 CT 法采用对称偶极天线发射电磁波，其正反演问题的理论基础是电磁场理论和天线理论。电磁波吸收系数 CT 基于电磁波射线理论，在反演时先划分网格，建立以吸收系数为未知数的方程组，再采用迭代方法求解。电磁波 CT 法与声波 CT 法均基于射线理论，数据处理和反演方法大同小异。电磁波 CT 法包括绝对衰减 CT 和相对衰减 CT。前者重建地下介质绝对衰减系数的二维分布图像，后者重建地下介质相对衰减系数的二维分布图像。同一介质对不同频率的电磁波吸收系数存在差异，多频观测宜选择相对衰减成像。

岩体的吸收系数与其地质特性有关，通常岩体越完整，其吸收系数越小；断层破碎带、风化带、充水岩溶等具有吸收系数大的特征。反演图像中的吸收系数异常体应结合地质、物探等资料综合分析和推断。

3 电阻率 CT 法资料的处理流程为分析和核查测试数据，剔除坏值；对地形进行校正；采用有限元法或边界元法。正演计算为采用反投影法建立初始模型，反投影法有代数重建技术

(ART)、阻尼 ART、奇异值分解法 (SVD) 等。反演方法有最小二乘法、广义逆反演法、积分方程法等。

- 4) 正演计算的断面存在高阻体和电阻率急剧变化的介质时, α 中心法和有限差分法易产生较大误差, 有限单元法计算量较大, 积分方程法和边界单元法计算效率优于有限单元法, 实际工作中宜结合实际地质条件合理选用。
- 6) 电阻率 CT 法反演存在多解性, 钻孔或隧洞壁介质的物性参数、测井资料等先验信息加入反演可减少多解性。岩体的电阻率与其地质特性有关, 通常岩体越完整, 其电阻率就越大; 断层破碎带、充水岩溶等具有低阻特征。反演图像中的低阻异常体应结合钻探、地质等资料进行综合分析和推断。

4.9.8 层析成像 (CT) 成果图可以是单一或综合的剖面或平面图, 图件可以是曲线图、点位图、等值线图或图像等。成果解释图是以反演物探参数成果为主要资料绘制的相应剖面图、平面图等。同一条剖面的多组声波 CT 反演数据合并为一个数据文件可以消除各断面独立成图后造成的拼接部位的图像错位。

4.10 放射性测量

4.10.1 本次修订删除了原标准中环境氡测量和同位素示踪法, 增加了核子水分-密度检测。放射性测量的应用范围主要有:

(1) 常规氡气测量法和活性炭氡气测量法可用于区域活动性断层调查, 岩溶及采空区调查, 地下水资源调查。

(2) 自然伽马测量法可用于区域活动性断层调查, 地下水资源调查, 划分地层岩性。

(3) 核子水分-密度检测法可用于混凝土、沥青、土石料等填筑而成的大坝或地基的碾压质量检测和含水率检测。

(4) α 射线测量法可用于区域活动性断层调查, 隐伏构造破碎带探测。

4.10.2

1 氦气测量是射气测量的一种，它是用测氦仪测量土壤空气、大气和水中氦及其子体浓度的一类探测方法。氦气测量有微分（瞬时）和积分（累积）两类方法，微分类是指测量在数秒到数十分钟，积分类测量时间在数小时到数十天范围内。微分测量方法包括金箔静电计法和静电计电离室、硫化锌闪烁室法、钋-210法、活性炭抽气测量法等。积分法测量方法包括径迹蚀刻法、热释光法、硅半导体 α 仪法、 α 聚集器法（有天然 α 卡法、静电 α 卡法、带电 α 卡法、氦管法等）、活性炭法、液体闪烁法、钋-210法及铅-210法等。

2 通过测量区域天然放射性来判定地质岩性和构造的一种办法。通常火成岩的放射性偏高，酸性岩的放射性较强，基性和超基性岩石最弱，沉积岩中所含的天然放射性元素来自火成岩。放射性元素铀能形成易溶于水的化合物，以溶液的形式被运移到物理化学环境适当的地方随其他物质一起沉积下来；放射性元素钍不溶于水，则残留原地或被机械地搬运到其他地方沉积下来。根据放射性强弱将沉积岩分成三类：第一类是含有较多放射性物质的沉积岩，包括黏土、泥质页岩、泥质粉砂岩、火山灰、班脱土、海绿石砂岩、钾盐等；第二类是含量中等的放射性物质的沉积岩，包括砂层、砂岩、含有一定量泥质的碳酸盐岩石等；第三类是放射性含量低的沉积岩为石膏、无水石膏、不含钾盐的盐岩、石灰岩、白云岩、某些砂岩、砂层、煤等。自然伽马测量分总量和能谱两种测量方式，核工业行业标准 EJ/T 831《地面伽马总量测量规范》和 EJ/T 363《地面伽马能谱测量规范》有规定。

4 核子水分-密度检测法是采用伽马源和中子源来进行照射，测量介质的密度和含水率，按仪器类型分是单管和双管两种检测方式。该检测方法当前主要用于检测土石人工地基或土石料、混凝土、沥青等建筑的大坝的施工质量，其检测过程与相应的施工过程相协调一致。

4.10.5 地面伽马测量通过罗盘定向、测绳量距、徒步监听、定点读数，测量中保持探头的测量几何位置一致。当沟内读数高、坡坎上读数低时可将仪器提起空中测量，避免地形干扰。读数时应收集资料、记录地形岩性、构造裂隙、水文地质及覆盖层等情况，便于室内综合分析。

α 射线测量挖坑取样时，用仪器配备的专用铲取一定量的颗粒土壤，放入样品盒中。然后用取样器将样品盒中土壤成形，清除样品盒周围的土壤。测量时从取样器中取出样品盒放入仪器的抽屉中进行测量，在测量过程中应水平放置仪器，待测量完毕取出土壤样品盒放入仪器的抽屉中插回原位后，再搬动仪器进行下一点测量。

4.10.6 应注意灰岩地区 α 射线或 γ 射线强度可低于背景值的情形。

4.11 地球物理测井

4.11.1 规定了水利水电工程物探中常用的测井方法。其他测井方法还有中子-伽马测井、井中流体测量、磁化率测井、示踪测井等，但这些方法在水利水电工程中极少使用或因环保限制应用受限，故未编入本标准。原规程中的声波测井、地震测井、电磁波或雷达测井，已编入相应的物探方法技术章节中。本次修订将电测井拆分为电阻率测井和自然电位测井，将放射性测井分为自然伽马测井和密度测井，钻孔电视观察分为钻孔全景数字成像和钻孔摄像。地球物理测井的应用范围主要有：

(1) 井径测井可用于孔径现状测试，软弱夹层、裂隙及破碎带的位置探测，孔内套管下入深度及其破损、变形、接续情况探查。

(2) 井斜测井可用于钻孔孔身形态测试，地层、结构面及测点空间位置测定和计算。

(3) 井温测井可用于地层温度测试，地温梯度参数计算，地下水水位判定，地下热源位置、涌水层位置及流动情况探测。

(4) 电阻率测井可用于钻孔岩性分层, 含水层、软弱夹层、裂隙和破碎带位置探测, 岩土体及井液电阻率测试, 划分咸淡水分界面。

(5) 自然电位测井可用于钻孔岩性分层, 含水层位置探测, 划分咸淡水分界面, 估算地层渗透性参数。

(6) 自然伽马测井可用于钻孔岩性分层, 软弱夹层、裂隙和破碎带位置探测。

(7) 密度测井可用于钻孔岩性分层, 地层密度值测试和孔隙度参数计算。

(8) 钻孔全景数字成像和超声成像测井可用于钻孔岩性分层, 地层、裂隙等的产状详查。

(9) 钻孔摄像可用于动态观察孔内地质现象。

4. 11. 2

2 常用的井斜仪依靠磁性指针进行方位角测量定位, 在铁磁性套管内或附近测区内有较强的电磁干扰时, 方位角测量会影响精度, 故在铁磁性套管内及附近获取方位角精确数据时, 需采用陀螺仪式测斜仪器进行测量。

3 井液扰动会破坏井液温度的分布, 扰动行为包括钻机冲洗孔、通孔、其他测井方法观测等活动, 随其扰动量大小, 恢复至自然状态的时间也不同。因此, 为确保井温测井能反映孔段内的地下温度场, 作此规定。

4 电阻率测井和自然电位测井是利用地层与目标层之间的电性差异、电化学的渗透过滤和扩散吸附特性差异进行追踪和划分地层的, 各种电测井因观测装置不同各有特长, 需井液耦合、传导或直接测试井液。套管对井壁电场有隔离、屏蔽作用, 对电阻率测井和自然电位测井有较大影响。

5 自然伽马测井是利用岩层自然伽马射线的强度不同进行地层划分的, 密度测井是利用岩层对人工伽马射线的散射作用进行地层划分的。金属套管对地层自然伽马辐射有一定的隔离作用, 单层金属套管时, 自然伽马测试值虽有降低, 但可采取对比

试验的方法予以校正；而多层金属套管对地层自然伽马辐射隔离作用较强，可使不同地层自然伽马辐射测试值失真，难以通过对比试验的方法予以校正。因此，自然伽马测井最佳测试条件是无金属套管，多层金属套管条件下自然伽马测井难以达到勘探目的。同理，多层金属套管条件下密度测井精度和分辨率也难以保证。

7 超声成像是利用井壁地层或目标层超声波反射特性差异，获得钻孔孔壁的展示图片。地层对超声波的反射特性是由波阻抗决定的，在图片上可得到孔壁不同介质的波阻抗反映。超声成像测试过程中，下井探管部分构件需高速旋转，钻孔倾斜较大时，难以保证其正常、高速旋转，故测试孔需为垂直孔。下井探管与孔壁间需井液耦合、传导，套管对井壁超声波有隔离、屏蔽作用，不能真实获得孔壁的展示图片。

4.11.3

2 深度误差由传动误差、电缆的丈量误差和测井资料的解释误差等几部分组成，传动误差应根据允许的深度误差来决定。

4 测量范围为40~200mm，可满足水利水电工程的井径测井需求。现有的、标准的井径测井仪器允许偏差均为±1mm，下井探管测量臂有电动收放控制功能，可使测量臂适时收放，可精确控制测段，减少测试记录深度偏差。

7 现有的电测井（含电阻率测井和自然电位测井）仪器测量精度已提高，故有此款的规定。对电极的直径相关规定，是尽可能使供电极为点源供电、测量极为点测量，减少相关计算（如装置系数、视电阻率）的误差。自然电位井下测量电极无法采用不极化电极，只能采用极化较稳定的铅电极。微电极系探头贴壁装置的作用有三点，一是可营造近似的微型半无限空间；二是可使电极贴紧地层供电或测量；三是可减少微电极电阻率测井时井液对地层视电阻率测量的影响。井液电阻率探头的屏蔽装置，可使测试的井液电阻率值不受或少受井周地层的影响，从而可较精确地测试井液的电阻率值。

4.11.4 测井电缆长度的标注误差是造成测井误差的因素之一，

故本条进行了要求。

4.11.5

1 清理孔口周围异物和破碎松动岩块，防止其在测试过程中掉入孔内，造成卡孔。

2 下井仪器设备被卡是地球物理测井工作中较容易发生的事故，也是很难处理的事故，为了避免卡孔并了解孔深、井液深度和孔内通畅情况，本款要求在测井前应先探孔。

3 仪器、绞车和井口滑轮之间应通视，便于测试现场密切配合。

4.11.6

1 “记录点对零”是指“下井探管的记录点在孔口（孔深为零）时，地面控制仪记录深度对应也为零”。现场测井的“记录点对零”操作可根据实际情况（孔口套管及滑轮高度、探管长度等）灵活运用，可选择在孔深小于5m范围内，对下井探管记录点实际深度与地面控制仪记录深度的一致性应进行校验、修正。

3 对测井方法的顺序进行了规定，防止井液扰动对测井精度的影响。

4 规定了各测井方法的正式测量方式。规定宜在提升电缆时正式测量是因为下放电缆时由于井液的浮力和井壁的摩擦阻碍，井下电缆不能保证拉直，这会造成测井深度误差甚至出现错误。测井工作中，为了节省时间，通常也可在下放电缆时进行测试，在提升时测井正式记录进行检验。但在进行温度和井液电阻率测井时，由于电缆下放会扰动井液，如果等提升电缆时再作正式记录，会使异常幅度变小，甚至发现不了异常。因此，对这两种方法应在没有扰动井液的情况下，即下放电缆时进行正式测井，此时应避免井下探头受阻而造成测井资料的错误。

5 同一测区工作参数保持一致，便于资料分析、对比、解释。

6 规定了最高升降速度的限制，实际工作中应根据测井曲线幅度变化的程度采用较低的升降速度进行记录。

7 及时校对测井深度与电缆记号的对应情况是现场保证测井精度的重要工作之一，尤其是重点测段（如追踪地层段）不能连续漏校 2 个记号。

8 衔接段资料质量直接影响分段测井的整体质量，故有此款规定。

4.11.7

1 井径测井在井场校验仪器时，选择校验的 3 个以上不同直径值应均匀分布，其区间宜包含该测区所有孔径值。

双臂井径测井仪适用于在垂直孔和小角度斜孔，能较为精确地探查井径形态和数据，但在水平孔、大角度斜孔中，双臂井径测井仪受下井探管自身重量、测量臂弹力的影响，探管接近于贴壁状态，测量臂弹开方向难以始终通过孔径的圆心，故其测量误差会较大，不能反映井径真实情况。多臂井径测井仪较大程度地弥补了双臂井径测井仪的缺陷，通过多条测量臂可测得孔径一个圆周内最大直径、最小直径、每臂轨迹，可以探测井径不同方位上的形变，形成内径展开成像、圆周剖面成像、柱面立体成像。通常，井径测井需测试至孔口。当孔口段有长套管、探查对象为非套管段时，套管中测试长度可适当减少。

2 将下井探管悬空挂起、呈自由下垂的状态称为“挂零”，此时探管顶角为 0° ，是检验井斜仪顶角测量误差的一种标准状态。“挂零”的方法因地制宜，可以利用垂直孔孔口段和高于下井探管长度的建筑物，也可搭设简易支架。

常用的井斜仪方位角依靠磁性指针进行测量，在铁磁性套管内及附近有较强的电磁干扰时，方位角测量无法保证精度。大孔径中进行井斜测井，需注意孔径与井斜仪直径之差与井斜仪长度的比值，并使其满足条件。

3 井温测井仪配备有自校功能，自校功能符合要求时，说明仪器性能符合出厂要求，是仪器现场检查合格的依据。井温探头有一定的热惯性，即测点温度变化较大时，探头上的温度传感器需要的反应时间应不大于 3s。判定钻孔地下水位是井温测井中

利用孔内空气温度与井液温度有明显差异而进行的，属于井温测井的附带功能，通常不单独进行此类专项任务。观测长度及观测时间的规定，是为了保证采集数据质量，减少井温测井对钻孔地下水位的误判。

4 电阻率测井宜包括普通电阻率测井、微电极系测井。探测装置宜选择二极、三极、对称四极装置，三极装置中可以选择梯度电极系、电位电极系和微电极系。

二极、三极装置是指在孔中有二或三个电极组成，二极装置是指在孔中有一个供电电极和一个测量电极组成，另一个电极在地表无穷远。三极装置是指在孔中有三个电极所组成，一个供电电极、两个测量电极或两个供电电极、一个测量电极，第四个电极放在地表无穷远。实际三极装置工作中，依据电极之间位置和距离的特点把电极系划分为梯度电极系和电位电极系二种类型：

- 1) 梯度电极系：成对电极之间的距离比中间电极到不成对电极之间的距离小得多时，这种电极系称为梯度电极系，如图 3 左部分所示。当成对电极之间的距离无限靠近时 (\overline{MN} 或 $\overline{AB} \rightarrow 0$) 称为理想梯度电极系。

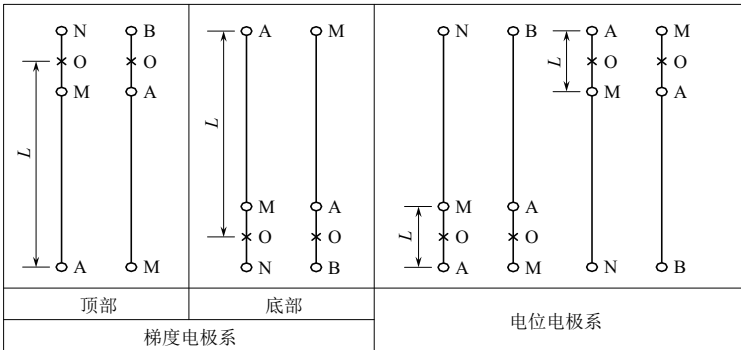


图 3 普通电阻率测井电极位置示意图

- 2) 电位电极系：成对电极之间的距离比中间电极到不成对电极距离大得多时的电极系称为电位电极系，如图

3 所示的右部。当成对电极之间的距离为无穷大时 (\overline{MN} 或 $\overline{AB} \rightarrow \infty$) 称为理想电位电极系。

无论哪一种电极系，都以相近两个电极间的中点作为记录点，该点在井中的深度即为测量点的深度，即电极系在井内所处的位置以记录点作为标准。

在制作电极系时，为了使电极电位比较稳定，通常用铅作为电极材料。电极的形状和尺寸应满足点电极的要求。

微电极系测井是在普通视电阻率测井基础上发展起来的一种电测井方法。由于普通视电阻率测井所使用的电极距比较大，测量结果受邻层、围岩的影响，分辨能力较差，尤其是对于划分薄层或薄的交互层更是困难，微电极测井可有效地解决这些问题。由于微电极系的电极距很小，它的探测深度（垂直于井壁方向的深度）很浅，宜不超过 10cm。故所测得的视电阻率主要反映井壁附近一个很小范围内的介质情况。

5 在水文地质调查中，为了确定含水层位置、水文地质参数、地下水运动状态以及检查井内漏水（或进水）的位置，可通过测量井液电阻率的方法来实现。另外，在解释视电阻率和自然电位测井资料时，为了正确估计井内泥浆的影响也都需要确定井内液体电阻率值。因此井液电阻率的测量是很重要的一项工作。

井内液体电阻率的测量原理和普通电阻率法一样，只是所采用的电极系形式不同，把井下电极系换成井液电阻计。井内液体电阻计实质上就是一个电极距很小的电极系，电极之间的距离为 2~5cm，电极系数 K 需要通过实验的方法来确定。为了测得井内液体的电阻率，将电极系固定于一个用金属制作的屏蔽罩中，屏蔽罩能够防止井壁及周围岩层对测量结果的影响，同时又能使井内液体能够顺利流过。井液电阻计的电极可以是环状、点状或球状等。

根据实际情况，有时需要将井液进行盐化或淡化以使井液与地层水的导电性具有一定的差异，然后利用井液电阻计在不同时间沿孔段进行测量。常用的具体方法有扩散法、提捞法和注入

法等。

采用井液淡化法和投盐法进行井液电阻率测井时，需根据测试目的和初始井液电阻率 ρ_0 的情况确定。含水层井液矿化度高、电阻率值低时，通常选择井液淡化（抽水）方案。含水层矿化度低时，可以选投盐法盐化方案。含水层涌水量较大时，通常选择井液扩散法盐化方案。单一含水层时，扩散法可以确定含水层的位置、求取自然渗透速度，而注入法和提捞法只能确定含水层的底界面、不能确定含水层顶面位置。

6 自然电位测井观测的参数是各测点的自然电位，即观测孔内各测点与某一自然电位为零的基点的电位差。基点选择遵守原则为选在正常区内，避开能产生氧化还原电场和过滤电场的地方；电场足够稳定处；接地条件好。在测井工作中通常仅需进行相对测量，但要进行电位基线（点）选取试验。岩性较纯的泥岩或粉砂质岩层上，氧化还原电位和过滤电位均十分微弱，即自然电位几乎为零，故可以将岩性较纯的泥岩或粉砂质岩层作为自然电位的标志层，在含有该类岩性的孔段进行基线选取试验，易于辨清各测量电极的极性，正确判断曲线正、负异常。

7 自然伽马测井可使用检测源检查仪器工作是否正常，如有必要还应先用标准源或刻度器标定。密度测井前，需采用密度刻度器标定曲线的横向比例，才能记录到密度值，否则只能记录 $\gamma-\gamma$ 曲线。最佳时间常数选取目的是控制读数涨落起伏，使测井曲线既不至于起伏太大、难以确定（数值）读数，也不至于太平滑、漏掉有意义的异常变化。

自然伽马测井和密度测井的孔内条件（套管下入情况、地下水位或井液高度和井径变化）对测量结果的影响非常显著，准确掌握这些资料，才能在测井时正确设置相关的仪器参数，或对测试后数据进行准确校正。

自然伽马测井中，金属套管段对地层伽马强度衰减的校正，可根据测区钻孔套管情况，进行伽马强度衰减对比试验，选择多个不同的地层段进行，分别观测有、无金属套管时的伽马强度

值，才能确定金属套管对各类地层伽马强度衰减观测值的修正方法。

密度测井中，为了减小井中泥浆的影响，常利用推靠器把仪器压在井壁上测量，用铅把 γ 源屏蔽起来，只在贴井壁方向留有窗口。由于渗透性地层上有泥饼存在，或因井壁不规则使得仪器和井壁之间由于接触不好而存在有泥浆夹层，所以尽管仪器是贴井壁测量的，它们还会对测量结果有明显影响。当有泥饼存在时，测试值是岩层的体积密度和泥饼密度的加权平均值（也称为“视密度”）。因此，要获得地层真体积密度，就需要对泥饼影响进行校正。但单一源距测试无法有效地校正泥饼影响，因为泥饼的影响与它的厚度、密度以及它们的成分有关，而且很难精确地求出具体深度上泥饼厚度及其密度值，只能采用带有双源距或两种不同源距，来进行“补偿”校正。短源距探测深度浅，受泥饼影响比长源距大，将其与长源距组合可以计算出对长源距结果的校正量或补偿量。

8 钻孔摄像时详细的观察记录是资料整编、摄像编辑的依据，必要时可邀请有经验的地质专业技术人员一同观测。

9 超声成像测井常用于非清水孔或泥浆孔。观测过程中，依靠换能器的快速旋转获取孔壁众多点的反射声幅形成连续的可辨图像。随着孔液密度的加大，其黏滞力增大，在其中的换能器旋转速度会逐渐减慢、孔壁反射的声幅强度衰减也会逐渐增大，成像精度越来越难以保证。工程经验表明，在的观测限速条件下，孔液密度大于 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ 后，成像精度难以保证。超声成像的深度比例尺应根据钻孔的具体情况选定，选用较大的深度比例尺，可使井壁图像清晰，提高分辨率和成果精度，也可与其他的测井方法选用的比例尺不同。

4.11.8 由于钻孔保护较困难，通常在井场就对测井资料进行检查，对不合格的资料及时重复观测。

5 综合探测

5.1 一般规定

5.1.1 综合探测是指采用多种物探方法解决同一个勘探任务，这主要是每种物探方法都是反应一种物理现象，当地质条件复杂时，单一物探方法难以克服多解问题。

5.1.2 物探测网的疏密与勘察阶段、任务要求、方法都紧密相关，需要综合考虑。综合探测工作应兼顾经济性和勘探精度的要求。

5.2 覆盖层探测

5.2.1 在水利水电工程勘察中，覆盖层探测主要在前期勘察阶段。覆盖层分层应有一定的条件，如各层地震波速或电阻率具有明显差异，各层具有水平连续性和一定的厚度等，具体应用见每种物探方法的应用条件。

5.2.2 原标准没有区分陆地和水域覆盖层，陆地和水域覆盖层探测的方法技术差别较大，本次修订分别对陆地和水域进行规定。陆地覆盖层按物质组成为细粒、中粒、粗粒和巨粒，按成因分为风化沉积、冲积沉积、崩塌沉积，按厚度分为薄层、中层、厚层和巨厚层，而厚度在不同行业也有不同的定义范围。水利水电工程勘察中，进行陆地覆盖层探测的主要位置在河床滩头、岸坡。河床覆盖层主要类型为缓丘平原区冲积沉积型深厚覆盖层，中部高原区冲洪积和崩积混杂型深厚覆盖层，西南高山峡谷区冲洪积、崩坡积、冰水堆积混杂型深厚覆盖层，青藏高寒高原区冰积、冲洪积混杂型深厚覆盖层四大类型。水利水电工程涉及水域覆盖的情况较多，中下游河段的河床覆盖探测较容易，山区峡谷的河床覆盖探测难度较大，主要原因是现场地形条件复杂、上游河床覆盖层物质组成和分选性较差。河床覆盖层探测受河谷

地形限制，覆盖层越厚，电测深法所需极距越大，地震折射波法的盲区也越大。横河方向的距离不能满足要求时应采用顺河方向布置电极和排列，测线不应离两岸基岩太近，避免旁侧影响。

5.2.4

1 物探探测覆盖层的物性界面与地质界面会存在一定的差别，主要表现在覆盖层的成因类型上，冲积、坡积形成的覆盖层物性界面与地质界面较吻合，风化沉积、崩塌沉积形成的覆盖层的物性界面与地质界面吻合程度较差。

5.2.5

3 浅海、湖泊、水库和中下游河床地形平整开阔，为沉积型覆盖层，沉积物分选性好，覆盖层厚度变化小，物探探测精度高。中上游河床陆地起伏大、层厚变化大，覆盖层物质组成复杂，较难满足物探条件要求。

5.3 隐伏构造破碎带探测

5.3.1 隐伏构造破碎带主要指覆盖层下的断层破碎带，当断层出露时，也会要求探测断层在地面以下的产状等情况。

5.3.2

8 地震折射波法应用条件为隐伏构造破碎带与周边介质之间存在明显的波速差异，围岩和隐伏构造破碎带的纵波速度均应大于其上覆层的纵波速度。隐伏构造破碎带应具有一定的规模，宽度应大于其埋深的 $1/4$ ，不应小于 3m ，探测深度范围应小于 50m 。

5.3.4

3 依据低速带宽度可推算隐伏构造破碎带宽度。当覆盖层厚度大于 10m 时，需进行隐伏构造破碎带宽度偏移校正，隐伏构造破碎带宽度 b 等于低速带宽度减去偏移校正值。偏移校正值为

$$\Delta b = 2h \tan i \quad (10)$$

式中 Δb ——隐伏构造破碎带宽度校正值， m ；

- h ——覆盖层厚度，m；
 i ——低速带折射波临界角，(°)。

5.3.5

4 当覆盖层厚度小于10m时，能查明宽度不小于2m隐伏构造破碎带的要求是以电剖面法考虑的。当隐伏构造破碎带的视倾角小于45°时，能判断其倾向和大致的倾角的要求，对无明显垂直断距的隐伏构造破碎带是以电法勘探资料考虑的。对有明显垂直断距的隐伏构造破碎带是以地震反射波法资料考虑的。其他物探方法只能根据异常带的特征推断隐伏构造破碎带的位置和走向。

5.4 软弱夹层探测

5.4.2

4 探地雷达探测软弱夹层主要用于地表基岩裸露或覆盖层较薄，软弱夹层又具有一定垂直厚度的区域。软弱夹层在垂直方向上的厚度应大于探测时所用电磁波在周边介质中有效波长的1/4，探测异常应较为明显。

5.5 岩体风化、卸荷带探测

5.5.2 在地形、地球物理条件有利，又有少量钻孔可利用时，地震反射波法、电测深法是能够进行岩体风化分带，划分出全风化、强风化和弱风化界面的。通常，地面物探方法往往只能给出风化带的总厚度（强风化带底界面以上的风化层厚度）。在平硐和钻孔中，采用表面地震波法、声波法、电阻率测井和放射性测井划分全风化、强风化和弱风化界面的效果较好，但划分微风化界面难度较大。地面物探方法中用地震折射波法探测岩体风化带厚度，应分析排列长度和多重观测系统的布置是否合理。实践表明：当覆盖层较厚（大于20m）和风化带厚度相对较薄时（如全风化、强风化带厚度为10m），地震反射波法和电测深法的效果欠佳，而地震反射波法仍可取得较好的效果。此外，面波法近

年来取得了大量的工程应用，在现场地质地貌条件不利于其他地面地球物理方法时，如场地狭窄、电磁干扰强、振动干扰强的地区，可以通过试验验证面波法的探测效果。

5.5.4

1 岩体风化、卸荷带物性特征为波速较低、对电磁波吸收强，张裂隙中含泥或含水时其电阻率较低。

4 当有钻孔可利用时，可通过单孔地震波法和电阻率测井求得各层波速和电阻率，或通过孔旁时距曲线和电测深曲线反推各层波速和电阻率，均可提高定量计算的精度。同时，通过与钻孔资料的对比分析还可确定物性界面与地质界面是否一致。当测区无探坑和钻孔资料可参考时，应根据经验建立物性界面与风化界面的对应关系，对定性分析是可行的，但用于定量计算时误差较大。

5 在声波 CT 法、地震波 CT 法的速度等值线图中，等值线分布较密集的位置往往是风化带界面，可结合速度划分出各风化带。若等值线分布较均匀，则表明风化层在速度上呈渐变关系。

5.6 滑坡体探测

5.6.1 滑坡是斜坡在一定的自然或人类活动条件下，部分岩（土）体在重力作用下，沿着一定的软弱面缓慢地向下移动。在工程建设过程中，若拟建工程场地或附近存在滑坡或有滑坡可能，会危及工程安全，均应进行滑坡探测，而物探是滑坡探测的重要手段，可以利用物探技术查明滑坡的分布范围、滑面（滑带）的位置、地下水及滑坡物质组成等情况。

5.6.2 不同种类的滑坡具有不同的地球物理条件，只要滑坡与滑动面下部的岩（土）之间存在明显的波速或电阻率或介电参数差异，便可采用地震、电法、电磁法的方法进行探测。若滑动面为土石界面，基岩为硬岩时，地震折射波法在探测浅、中层滑坡时效果较好，地震反射波法在探测深层滑坡时效果较好。电法和电磁法在探测地下水和含水层效果较好。由于探测滑坡体的难度

较大，在物探方法选择时，应开展多种方法试验，选取探测效果较好的方法作为本测区的主要方法。因此，本条文从滑坡体的物质组成和滑面（滑带）的埋深及地下水分布情况，规定可采用的物探方法，对地质条件复杂的滑坡体，还应采用综合物探方法。

5.6.3 在布置物探工作时，应采用网格状测网，如果根据相关资料能够判断滑坡的分布范围，可以采用扇形状测网。在布置物探测线时，应根据工程地质条件、地下水情况和滑坡形态确定，物探测线除沿主滑方向布置外，在其两侧也应布置一定数量测线，应超出滑坡体的范围。

5.6.4 在滑坡探测时，为了查明滑坡面（带）和地下水位置，可以根据现场的勘探孔进行地球物理测井，获取滑坡体中不同层位介质的物性参数，应根据相关参数选择合适的物探方法，查明滑坡面（带）和地下水位的位置。

5.6.5 以基岩面、断层面或风化界面为滑动面的滑坡，当地形起伏较小时可取得较好的探测精度。而以不同成因的土层界面为滑动面的土层滑坡和以软弱夹层为滑动面的完整基岩滑坡的物性差异较小，探测精度相对较低。

5.7 岩溶探测

5.7.1 原规程中叫喀斯特探测，依据我国技术专业名义规范要求，本次修订为岩溶探测。岩溶是水对可溶性岩石（碳酸盐岩、石膏、岩盐等）进行以化学溶蚀作用为主，流水的冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用，以及由这些作用所产生。可溶性岩石有3类，分别是碳酸盐类岩石（石灰岩、白云岩、泥灰岩等）、硫酸盐类岩石（石膏、硬石膏和芒硝）和卤盐类岩石（钾、钠、镁盐岩石等）。

5.7.2 当基岩裸露时，接地电阻过大，传导电流难以输入高阻灰岩地层，而这种条件适合于位移电流的电磁方法。

5.7.4

1 空腔的岩溶洞穴中充满空气，空气与围岩相比呈现高阻

特征，电磁波 CT 法探测空腔洞穴时，因电磁波来回反射形成高吸收特性。而岩溶的充填与否都不影响它的低速特征。

2 分析孔间 CT 探测岩溶时，应注意剖面处绕射的射线、岩层各向异性造成的虚假异常，在 CT 处理前应进行校正或删除，也可通过各向异性成像来消除。考虑地层界面与近地面的多次波的干扰，应先对数据进行分析和处理，如不能进行校正处理，应剔除近地面一定范围内的探测数据。

5.8 库坝渗漏探测

5.8.1 库坝渗漏是指水库蓄水后，库水沿岩石的孔隙、裂隙、断层、溶洞等向库岸分水岭外的沟谷低地渗漏，可分为库区渗漏和坝区渗漏。库区渗漏包括库水的渗透损失和渗漏损失。由于饱和库岸和库底岩、土体而引起水库渗漏的库水损失称渗透损失，这种渗漏现象称暂时性渗漏。库水沿透水层、溶洞、断裂破碎带、裂隙节理带等连贯性通道外渗而引起的损失称渗漏损失，这种渗漏现象称经常性渗漏，或永久性渗漏。库区渗漏通常指永久性渗漏；坝区渗漏是大坝建成后，库水在坝上、下游水位差作用下，经坝基和坝肩岩、土体中的裂水库渗漏隙、孔隙、破碎带或岩溶通道向坝下游渗漏的现象。经坝基的渗漏称坝基渗漏，经坝肩的渗漏称绕坝渗漏。

5.8.2 目前，库坝渗漏探测的地球物理方法较多，但单一方法无法有效解决各类渗漏问题，针对不同渗漏问题及边界条件，选择适合的一种或多种地球物理方法，遵循已知到未知原则，逐步探测渗漏通道。磁电阻率法、充电法、自然电场法宜进行面积性探测，其中磁电阻率法、充电法应对供电电流进行持续监测，解释可选用二维、三维反演相结合，提高解译精度；钻孔 CT 观测系统宜先采用正同步，从孔口到孔底检测，然后斜同步检测，即发射点在孔口，接收点起始位置为孔口往下，发射点和接收点从孔口斜同步检测到孔底。时移探测是在常规物探方法中增加一个时间维，在同一地点采用相同的地球物理方法在不同的时间重复

进行数据采集，数据处理时反演出同一地点不同时刻电阻率、波速、介电常数等地球物理参数与初始时刻的差异，从而研究地下介质随时间的变化，通过不同时间反演模型之间的差异进行资料解释。

5.8.3 渗漏探测现场工作应依据实际情况具体分析，初步判断探测重点内容，如软硬结合部、回填土体与原有地层结合面等位置关系，该部位易出现不均匀沉降而破坏防渗体系。

5.9 地下水探测

5.9.2 含水层的地球物理特征分为两类：一类是第四纪地层中的含水层，主要是孔隙率大、透水性强的砂卵（砾）石层、砂层，与透水性弱的黏土层相比，通常具有电阻率高、电化学活动性强、自然放射性强度小、具有波阻抗界面等物性特点。二类是基岩中有砂岩地层、裂隙带、岩溶发育带、断层破碎带等含水层（带），基岩含水层（带）与周边介质相比，通常具有电阻率低、电化学活动性强、电磁波衰减快（吸收系数高）并能形成高频电磁波反射，弹性波速度低、自然放射性较强等异常特征。

在第四系地层中探测含水层，通常按覆盖层探测的方法和技术进行。在基岩中调查水资源时，按断层破碎带的探测方法和技术进行。在岩溶地区使用岩溶调查的方法技术。对于具有地下水赋存条件的地层是否含水，则主要采用激发极化法探测。

在第四系地层中地下水的坡降是很小的，而地面物探方法探测地下水位的深度误差会较大。基岩中的地下水虽然有时会出现较大的坡降，但这种不连续的地下水面往往构成不了一个明显的物性界面，使物探很难探测。因此，地下水分水岭和补给关系应根据水文地质、物探、勘探等多种资料进行综合分析予以确定。

当含水层或隔水层的厚度与其埋藏深度相比较薄时，地面物探方法有时效果不好，依靠或配合地球物理测井来解决。

5.9.4 通常含水层和隔水层之间在电阻率、地震波速度、波阻抗上具有较明显差异，当含水层的厚度与其埋藏深度相比较大

时，电测深法和地震勘探方法按常规方法解释，但不能单纯依靠电测深法和地震勘探探测的地下水位资料来调查地下水分水岭和补给关系。

2 岩溶地区找水主要采用电阻率法寻找低电阻异常和裂隙发育主导方向。由于灰岩裂隙发育程度受地层岩性、地质构造和侵蚀基准面的影响，探测地下水位和判别含水或含泥以及富水性和分布是相当复杂的，应综合物探、地质、钻探和试验资料进行综合解释。

3 自然电场法探测地下水流向，按低电位向高电位来确定，该原则同样适用于岩溶上升泉和下降泉的判别。自然电场的环形观测，即测量不同方位的过滤电场，则电位差最大的正电位方向为该测点地下水的流向。面积性布置的环形观测从平面上可以区分有水流（即有长轴方向）和无水流（电位差很小或圆形图），将具有长轴方向的环形观测点勾画出来，即可判别岩体裂隙发育方向与范围和水流方向。要特别注意识别地表水顺地形坡度向下渗透产生过滤电场的干扰，此种干扰电场总是在山坡的高处出现低电位，而坡脚处出现高电位，即正好与地形相反。

6 当测区内含水层的地质结构没有明显变化，在不同测点的电测深曲线上反映出含水层电阻率发生大的变化，通常是含水地层电阻率降低，说明测区内地下水的矿化度有变化，是由咸水或污水引起的。根据电测深类型分布图、电剖面图或等视电阻率平面图即可圈定咸、淡水的分布和地下水污染形态。多层地下含水层中咸水、淡水界线的划分应依靠钻孔进行电阻率、自然电位和井液电阻率测井。

5.9.5 采用地面物探方法进行地下水水位的探测精度，相当于电测深法和地震勘探探测地层厚度及埋藏深度的精度。在钻孔中用测井方法测试的精度则相应为测井测试地层界面的精度。

5.10 防渗帷幕线探测

5.10.1 为保证帷幕设计和施工的正确性，在帷幕施工前针对帷

幕线进行工程地质勘察工作，查明影响大坝渗透稳定的主要地质缺陷和水文地质条件，特别是岩溶、裂隙、断层、破碎带、隔水地层和透水地层的分布等地质情况。

5.10.4

6 探测区域岩体泥质含量较高、吸收系数整体较高时，应采用地震波 CT 法或声波 CT 法。CT 反演存在多解性应将钻孔信息加入反演初始模型进行约束，资料解释应依据等值线图或色谱图上的变化特征，结合钻探和地质资料进行综合分析判断。宜根据射线路径分布图初步确定异常范围，按 CT 图像参数的变化梯度初步确定异常范围、延伸方向。

9 岩体的电磁波吸收系数与其地质特性有关，岩体地震波或声波速度与岩体完整性有关，对于同类岩石，岩体越完整，其电阻率就越大、地震波或声波速度就越大，断层破碎带、充水岩溶等具有高吸收系数和低波速特征。

5.11 堤防隐患探测

5.11.1 老口门是黄河堤防上特定的称谓，指的是堤防曾经决口又修复的堤段。由于抢险修复过程中使用的材料及施工工艺等因素，其所在位置往往密实性较差，容易形成隐患。

5.11.4 正常堤段指堤身土质优良、均匀、未发现隐患的堤段。相对正常堤段指堤身土中含沙量较高但未成层，或者土质整体均匀性较差的堤段。凡发现洞穴、裂缝、松散体、高含砂层等隐患的堤段，均从隐患边缘向外推 10m，定为隐患发育堤段。当两个隐患发育段之间的距离小于 10m 时应予合并，视为一个隐患发育段。

5.12 隧洞施工物探超前地质预报

5.12.1 隧洞施工物探超前地质预报指在分析既有的地质资料的基础上，采用地球物理方法对隧洞开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件及不良地质体的工程性质、位置、产状、规模等进

行探测、分析判断及预报，提出合理技术措施建议。

在隧洞和地下工程施工过程中，对掌子面前方地质条件的认知和掌握程度，是确保施工快速、安全进行的关键性因素之一。由于地质体客观上的复杂多变性，以及当前勘察技术手段和方法技术的局限性，期望在施工前完全查明工程岩体的状态、特性，准确地预测隧洞施工中可能发生地质灾害的位置、性质和规模十分困难，特别是岩溶水文地质问题的研究目前还是世界性难题。因此，隧洞施工物探超前地质预报工作十分重要。

5.12.2 隧洞施工物探超前地质预报方法根据预报距离可以分为长距离预报方法、中距离预报方法、短距离预报方法。

长距离预报方法指单次预报距离达 80m 及以上的物探方法，主要方法为地震波法。中距离预报方法指单次预报距离 30~80m 范围内的物探方法，主要方法为地震波法、瞬变电磁法等。短距离预报方法指单次预报距离在 30m 及以下的物探方法，主要方法为探地雷达、聚焦电法等。

5.12.3 TBM 机械结构占据了隧洞大部分空间，导致可用探测空间狭小，因此应选择合适的观测系统。通常地震波法观测系统宜布置在掘进面后方 10~70m 范围内的隧洞轮廓上，根据现场情况不同，观测系统的具体排布形式可以有多种选择，包括在隧洞一侧边墙上沿轴向排列的单条测线、沿隧洞轴向多条测线呈立体分布组合、空间内多测点散布等方式。在条件允许时，应充分利用隧洞全空间环境，震源和检波器应尽量排布在隧洞空间内，使震源点和检波器点在隧洞轴向、水平和竖直三个方向上应均具有一定间距，这样有利于获得更充分的波场信息。根据 TBM 现场施工情况，选择合适的观测系统。

5.12.4

3 地震波预报原始数据应初至清晰、同相轴连续、信噪比高、杂波干扰小，资料处理宜采用每套地震波系统配套的处理软件进行处理，应根据 V_p 、 V_s 、动泊松比、 V_p/V_s 等参数对围岩质量、是否存在流体进行判断。

5 聚焦电法预报资料解释过程中,反演方法分为线性反演和非线性反演方法。对于存在已知信息的情况,如岩芯电阻率、其他方法获得的已知信息,可选用基于先验约束的反演方法,压制反演多解性,提高物探超前地质预报的探测效果。在排除测区内可能存在金属矿、石墨等地质体后,通常认为高电阻率、低视极化率、短半衰时异常可判断为弱富水;低电阻率、高视极化率、长半衰时异常可判断为富水。在隧洞的同一地层单元,建议通过跟踪开挖揭露的地下水情况,建立数据库,结合地质分析,进行统计分析和水量估算。

6 瞬变电磁法预报受隧洞环境的影响,资料处理应采用全空间瞬变响应,由于瞬变电磁隧洞超前预报采用了多方向测试方法,线圈的法线方向可看作探测方向,数据处理应按方向进行剖面处理,进行视电阻率的转换、时深转换并绘制视电阻率等值线剖面图,最后结合已有的地质资料解释异常情况。

5.12.5 对预报准确的或不准确的都要分析其原因,特别是预报与实际出入较大时更应多方面分析原因,找出问题所在,并思考对策措施。进行预报成果与开挖验证对比,既是对预报资料的验证,又是对下次预报或类似洞段预报的指导,通过对比分析不断总结经验,掌握规律,从而达到预报成果更加准确的目的。

5.13 水库淤积探测

5.13.1 水库淤积主要是河水挟带的泥沙在水库回水末端至拦河建筑物之间库区的堆积。水流进入库区后,由于水深沿流程增加,水面坡度和流速沿流程减小,因而水流挟沙能力(见河流泥沙运动)沿流程降低,出现泥沙淤积。

水库淤积分布形态是指水库淤积分布在库区纵向和横向的形状。分为纵剖面形态和横断面形态。纵剖面形态包括三角洲、锥形和带状淤积三种形态,如图4所示。在库水位变化幅度不大,淤积处于自由发展情况下,水库淤积呈三角洲形态;在回水曲线较短,入库水流在通过库段时紊动强度较大,或含沙量较高,含

沙水流在达到拦河建筑物前泥沙来不及完全沉积情况下，水库淤积将形成锥体形态；水库水位在淤积发展过程中大幅度变动，水流挟沙量较小，则在水库回水末端变动范围内将产生一系列微型三角洲，并叠加形成带状淤积；横向淤积形态是指泥沙在库区横断面上的淤积分布情况。横断面形态在多沙河流与少沙河流的水库中有所不同。多沙河流上的水库普遍有淤积一大片，冲刷一条带的特点。淤积一大片指泥沙在横断面上基本呈均匀分布，库区横断面上不存在明显的滩槽。冲刷一条带指水库在有足够大的泄流能力，并采取经常泄空的运用方式时，库底被冲出一条深槽，形成有滩有槽的复式横断面。淤积过程中横断面的变化，还具有死滩活槽的规律，即滩地只淤不冲，滩面逐年淤高；主槽有淤有冲。在合理的运用方式条件下，库区可保持一条相对稳定的深槽，不致被泥沙淤死。少沙河流水库，淤积一大片的特点并不突出，但冲刷一条带和死滩活槽的基本特点依然存在。

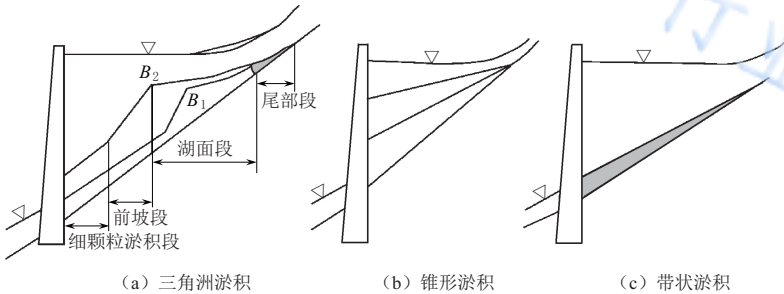


图 4 水库三种淤积形态

5.14 地下管线探测

5.14.1 地下管线探测指探测地下管线的位置、属性和和连接关系的过程，探测对象应包括埋设于地下的供水、排水、燃气、热力、电力、通信、广播电视、工业、地下管廊及附属物、建(构)筑物等。

地下管线位置指地下管线点的平面坐标和高程，地下管线属

性指管线的类别、走向、埋深、规格、材质、埋设方式和权属单位等属性。

水利水电工程中的输水线路、城市堤防、城市水环境治理等工程需要进行地下管线探测，根据工程特点并结合水利水电工程阶段可按普查、详查和精探开展相关工作。根据工程规模大小和项目特点，可只进行详查或精探。

(1) 地下管线普查应进行下列工作：

①根据工程设计方案，收集工程区管线资料。

②根据收集到的管线资料，进行分类，对重要管线和不可迁移管线进行实地踏勘，绘制管线平面图。

(2) 地下管线详查应进行下列工作：

①根据收集到的管线资料，对收集到的已有地下管线进行整理，编绘地下管线现况调绘图，调绘图上应注明管线权属单位、管线类别、规格、材质、传输物体特征、建设年代等属性，注明管线资料来源。

②现场踏勘，确定采用管线探测的方法和技术，编制技术大纲或技术要求，进行地下管线探测。

(3) 地下管线精探应进行下列工作：

①对上阶段不明管线和走向不清楚的重要管线进行精确探测。

②对于涉及复杂施工区域，需对地下管线走向、拐点、分叉进行精确探测，并现场标明管线点的深度和直径。

③收集已经开挖和验证了的管线资料，对已有的管线成果验证，与实际开挖不符的管线进行重新探测，更新管线成果图和管线成果表。

5.14.4 城市地下管线探测通常以开井实地调查为主，辅助于电磁感应法等其他地球物理方法，对于特殊埋设的管线如过江电缆或地下深埋输油管道则只能以地球物理方法定位和定深，而管线的其他属性则通过收集资料和实地调查获得。因地下管线敷设复杂，管线埋设深度起伏大，同时为了便于追踪管线和提高工作效

率，需现场对已知的管线定位和定深，现场标记管线点号和绘制草图或电子图。除电磁感应法可以在现场定深定位外，其他地球物理探查地下管线需要进一步资料处理与解释，方可定位。

5.14.5

2、3 重要管线通常指难于迁移、管径大、功能特殊并要一定安全距离的管线，如国防电缆、输油管道、重要的燃气管道、城市主要的给水管道、特殊的输电线路和长途通信电缆等，此类管线通常很难迁移，在地下管线探测时应该重视，报告或成果图中应着重说明。

行业标

6 检测与监测

6.1 一般规定

6.1.1 水利水电工程物探检测应根据任务需要选择物探检测方法，检测条件较好时可布置单一方法检测一个或多个参数；检测条件复杂时，可针对同一检测任务布置多种物探检测方法。水利水电工程监测是通过地球物理方法对某工程对象实施多次或长期观测。

6.2 岩体质量检测

6.2.1 本节主要针对水电工程在前期、施工、运行、报废各阶段中现场对岩体质量进行的检测，主要包括基础、边坡、洞室等岩体质量及内部缺陷的检测。钻孔弹模法应用应参照 SL 264 执行。

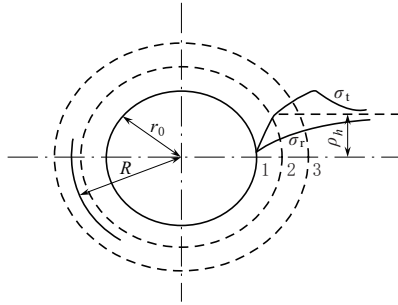
6.3 洞室松弛圈检测

6.3.1 地下洞室开挖后，破坏了岩体原有的平衡条件，岩体内的应力重新分配，在洞壁周边的岩体将出现应力释放的松弛圈，如图 5 所示。洞壁围岩的应力变化和松弛厚度的变化取决于岩体所处的地质构造情况、岩石的物理力学特征，以及地下洞室在岩体中的部位、形状、洞径大小和施工方法等因素。

6.3.4 用单孔声波法或穿透声波法测试洞室围岩松弛圈是依据围岩不同性质的各带具有不同的声波速度层，应力下降带表现为相对的低速区（包括爆破和开挖引起的松弛），应力上升带表现为相对高速区，根据实测围岩不同的速度层就可划分松弛带的范围和性质，洞室围岩波速与围岩深度曲线依据如图 6 所示的四种类型进行解释。

(1) 如图 6 (a) 所示类型曲线可划分出应力上升带和不受

开挖影响的原始应力带。洞壁附近速度减低，反映了表层岩体松弛，随着深度增加，出现了速度增高，这是洞室周边的应力集中区，速度的增高表明该区岩体完整，应力集中明显。



r_0 —洞室半径； R —洞室中心至松动带的距离； ρ —岩石容重；
 h —洞室埋深； σ_t —环向主应力； σ_r —径向主应力；
 1—应力下降带；2—应力上升带；3—原始应力带

图 5 洞室开挖后岩体的应力状态

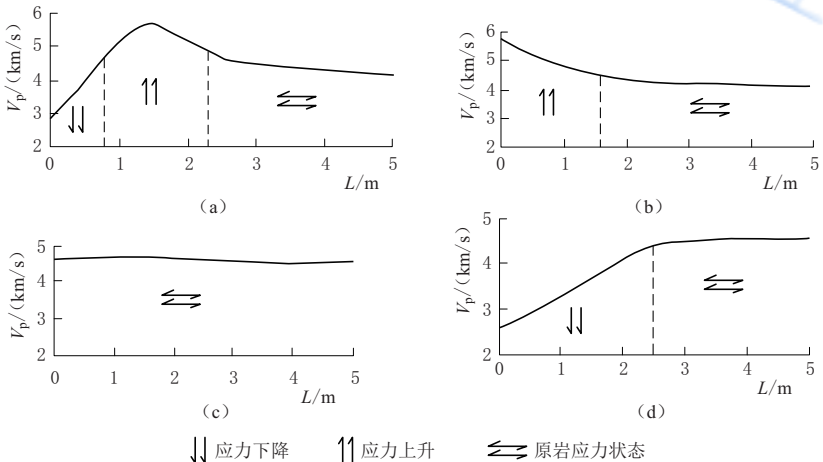


图 6 洞室松动圈测试速度与钻孔深度变化关系曲线

(2) 如图 6 (b) 所示类型曲线代表洞径较小且四周岩体完整坚硬时, 洞壁只有弹性形变, 出现应力集中现象, 无松弛区。

(3) 如图 6 (c) 所示类型曲线代表洞壁松弛不明显, 各测点速度基本一致, 速度较高, 但总的速度接近于完整岩体速度。

(4) 如图 6 (d) 所示类型代表洞壁松弛, 应力集中现象不明显, 这种现象常出现在洞壁岩体较为破碎的洞室。

6.4 固结灌浆质量检测

6.4.1 固结灌浆质量检测目的是了解岩体力学性能的改善。

6.4.4 对比分析法包括直接对比分析法和统计对比分析法。直接对比分析是将在同一位置测试的灌前和灌后的单孔 V_p 值或 V_s 值、穿透 V_p 值或 V_s 、 E_d 或 E_s 值分别进行对比, 计算出各自的提高率或提高幅度, 将其与设计值进行比较, 以评价灌浆效果。统计对比分析是将同一灌浆单元内的灌前和灌后的单孔 V_p 值或 V_s 值、穿透 V_p 值或 V_s 、 E_d 或 E_s 值分别进行统计, 计算和绘出灌前和灌后的统计曲线, 计算出灌浆前后统计量的提高率和提高量, 与设计值进行对比分析, 以评价灌浆单元内的灌浆效果。该方法用于抽样检测具有统计意义并要求检测数据足够多, 在灌浆单元内均匀分布。统计分段数量的多少及间隔取决于灌浆单元的复杂程度。

达标分析法是将灌浆单元内灌后的单孔 V_p 值或 V_s 值、穿透 V_p 值或 V_s 、 E_d 或 E_s 值依据地质情况分别与设计所要求的设计值或达标值进行比较, 应将比较结果分别进行统计分析, 得出达标率, 依据达标率对灌浆效果进行评价。

6.6 防渗墙质量检测

6.6.2 检测方法依据墙体材料、深度、施工方式、环境条件等情况进行选择。应注意以下情况: 防渗墙的施工方式、墙体材料

特性、设计、地质水文资料对检测方法选择、参数设置、资料解释等有直接影响。防渗墙异常存在多解性，应采用综合物探方法检测可降低多解性。

6.7 堆石（土）体密实度检测

6.7.1 在水利水电工程领域，附加质量法主要应用于碾压堆石体密度的检测，包括土心墙堆石坝、面板堆石坝、沥青心墙堆石坝等。目前，国内外在建大型堆石坝工程均采用该技术来控制大坝填筑施工质量，取得了良好的工程应用效果。

6.7.3

3 附加质量法测点布置可依据业主、设计及监理方要求适当调整。

6 核子水分-密度检测法是引用 SL 275 的一种堆石（土）体密实度检测方法，其使用应符合该标准的规定。

6.7.4

1

2) 附加质量法的数据质量与测试数据的线性回归相关系数有关，测试相关系数应大于 0.99。

3) 数字量板是以相关法为基础，依据一定数量的坑测法与附加质量法的同点位对比试验，建立不同岩性坝料与附加质量法测试参数（动刚度 K 、参振质量 M_0 ）的二维相关关系，计算得出参振体积，从而求取堆石体密度。随着对比点的逐渐增多，数字量板会逐渐收敛，堆石体密度计算精度也会逐步提升。该方法克服了线性相关法相关关系简单、计算误差大的问题。

6.7.5 附加质量法相对误差是指附加质量法与坑测法的检测干密度的相对误差。

6.9 混凝土质量检测

6.9.3 大体积混凝土内出现的裂缝按深度的不同，分为贯穿裂

缝、深层裂缝及表面裂缝三种。贯穿裂缝是由混凝土表面裂缝发展为深层裂缝，最终形成贯穿裂缝。它切断了结构的断面，可能破坏结构的整体性和稳定性，其危害性是较严重的；深层裂缝部分地切断了结构断面，也有一定危害性；表面裂缝通常危害性较小。但出现裂缝并不是绝对地影响结构安全，它都有一个最大允许值。处于室内正常环境的构件最大裂缝宽度不应大于 0.3mm；处于露天或室内高湿度环境的构件最大裂缝宽度不应大于 0.2mm。对于地下或半地下结构，混凝土的裂缝主要影响其防水性能。当裂缝宽度在 0.1~0.2mm 时，虽然早期有轻微渗水，但经过一段时间后，裂缝可以自愈。如超过 0.2~0.3mm，则渗漏水量将随着裂缝宽度的增加而迅速加大。所以，在地下工程中尽量避免超过 0.3mm 贯穿全断面的裂缝。

6.10 洞室混凝土衬砌质量检测

6.10.1 衬砌指的是为防止围岩变形或坍塌，沿隧洞洞室周边用钢筋混凝土等材料修建的临时或永久性支护结构。水工隧洞衬砌结构常见钢筋混凝土衬砌、钢衬、预应力高压灌浆素混凝土衬砌，少见砌块衬砌。

6.10.2 隧洞衬砌混凝土结构也是大体积混凝土的一种形式，但在施工方式、结构等具有特殊性，所采用的检测方法也具有针对性。

6.11 钢衬与混凝土接触状况检测

6.11.4 冲击回波法和声波反射法能量通常采用波动能量公式计算。采用波形、回波主频值和能量综合确定的钢衬与混凝土脱空缺陷判据及评价脱空程度较单一参数更为可靠。

6.12 锚杆锚固质量检测

6.12.1 在水利水电工程建设中锚杆长度根据岩性、岩体松弛深度进行设置，但锚固材料有时不一定使用砂浆，本条文中只涉及

检测锚杆的长度和砂浆的饱和度，在某些情况下还需了解钢筋连接方式及损伤情况。若能测出锚杆各段的有效锚固长度，则能大致估算锚杆整体抗拔力，可结合拉拔试验估算整个锚杆的锚固力。

6.12.3 由于施工单位的技术水平和管理水平存在差异，因此按施工部位进行抽检具有较好的代表性。根据我国工程实际情况，由业主、设计、监理、检测各方现场共同商定抽检部位。

6.13 洞室环境放射性检测

6.13.4 照射量与吸收剂量的关系。吸收剂量是电离辐射与物质相互作用时，表示单位质量的物质吸收电离辐射能量大小的物理量。在相同剂量条件下，由于射线性质和照射条件不同，各种射线对肌体的危害程度也不同，用剂量当量 H 来统一衡量各种射线的危害性，剂量当量与吸收剂量有如下的关系：

$$H = DK_1K_2T \quad (11)$$

式中 H ——有效剂量当量，mSv；

D ——实测空气吸收剂量率，mGy/h；

K_1 ——将 cpm 换算为吸收剂量率的转换因子，nC/kg；

K_2 ——有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值，为 0.7；

T ——有效照射时间，h。

研究发现射线外照射的剂量当量率与室外空气的吸收剂量率之比为 0.82，与室内空气吸收剂量率之比为 0.69，联合国辐射委员会提出外照射的有效剂量当量与空气吸收剂量的最佳比值为 0.7Sv/Gy。在放射性测量工作中，用 X 射线仪或伽马能谱仪能直接测试辐射场空气的照射量率，再计算出吸收剂量。

环境放射性辐射控制标准应按照 GB 18871 的规定执行，从事非辐射工作的人员，年有效剂量当量不应超过 1mSv。如果按终生剂量平均的年有效剂量当量不应超过 1mSv，则在某些年份里允许以每年 5mSv 作为剂量限值。

6.14 水下建筑物检测

6.14.1 水下建筑物是指用钢材或钢筋混凝土建造的没于水下的建筑物。可为独立建筑物，如输水涵隧、海底隧道等，也可为建筑物的水下部分或水下基础。水下建筑物检测是指在水上或水下对没于水下的建筑物的结构、缺陷或损伤部位、附着物、淤积情况进行检查，为进一步处理加固提供设计及施工依据。

6.15 爆破振动、环境噪声和场地微振动监测

6.15.1 水利水电工程建设中，爆破振动监测主要用于评价、监控、预测基坑开挖爆破破、隧洞开挖对附近建筑物的振动影响。环境噪声监测主要用于监控噪声污染。场地微振动监测主要用于检验建筑物受震源作用下的稳定性。

6.15.2

1 主要用于爆破振动试验，提出现场的地形系数及衰减指数。现有的规范规定同次监测点不应少于5个。在实际工作中，监测点越多，拟合结果越准确。通常采用6个监测点即可达到较好的拟合效果。本规定中的距离是根据GB 6722中的爆破振动安全允许标准中估算的推荐监测距离。

3 建筑物室内敏感处通常位于室内地面中央，但也有可能出现例外。因此，不应严格规定布置在室内地面中央。两次振动间隔时间或一个完整的振动周期指振动源开启、关闭再开启的时间过程，水利水电工程中的振动源主要有电站发电、泄洪等。

6.15.3

1 常用的连接材料有石膏、速凝水泥等，安装角度应包括X、Y、Z方向，均不应大于 $\pm 3\%$ 。防治爆破飞石破坏测振仪器，应使用铁盒、铁桶等金属容器覆盖。

2 安全防护应包括防风雨、雷电、飞鸟等，同时应具有明显标示。

3 对传感器质量的要求是为了避免传感器本身对构件振动

特性造成影响。

6.15.4

1 目前国内测振仪器智能化程度较高，各类监测参数均由软件自动识别计算。现场地形系数 K 及衰减系数 α 需人工输入同一测线上的多个监测点的振动峰值进行拟合，实现安全距离与安全药量估算。

2 目前国内环境噪音监测多使用智能化仪器，在线监测系统采用了实时信号分析技术和以 ARM 处理器为中心的数据分析单元，可对噪声信号实时显示，实时频谱分析，监测与分析环境噪声的特征，判断噪声的来源。

3 场地微振动分析包括振级等效值及最大值由仪器在频率计权状态下读取。铅锤向振动加速度级等效值及最大值，由仪器在频谱分析状态下读取。

6.16 微震监测

6.16.1 微震监测是通过监测岩体破裂产生的振动或其他物体的振动，对监测对象的破坏状况、安全状况等做出评价，从而为预报和控制灾害提供依据的成套设备和技术，微地震监测技术基于声发射学和地震学，是通过观测、分析生产活动中产生的微小地震事件，来监测其对生产活动的影响、效果及地下状态的地球物理方法技术。当地下岩石由于人为因素或自然因素发生破裂、移动时，产生一种微弱的地震波向周围传播，通过在破裂区周围的空间内布置多组检波器并实时采集微震数据，经过数据处理后，采用震动定位原理，确定破裂发生的位置，并在三维空间上显示出来。针对监测对象特点，选择现场监测布置方式和监测网络。

实时监测：多通传感器以阵列的形式固定安装在监测区内，以实现微震事件的全天候实时监测。全数字型微震监测仪器的出现，实现数据实时无线传输，使得对微震信号的实时监测及数据存储更为方便。

全范围立体监测：多通道微震监测系统对地下工程稳定性和安全性进行监测，改变传统点监测模式，实现对于开挖影响范围内的岩体破坏（裂）过程的空间概念上的时间过程监测。

空间定位：多通道微震监测，实现对微震事件的高精度定位。微震技术的空间定位功能是它的又一与实时监测同样重要的特点，这一特点大大提高了微震监测技术的应用价值。由于与终端监控计算机实现了数据的实时传输，可以通过编制对实时监测数据进行空间定位分析的三维软件，借助于可视化编程技术，可以实现对实时监测数据的可视化三维显示。

全数字化数据采集、存储和处理：全数字化采集、处理和存储，由于多通道监测系统采集数据量大，处理时需要计算机进行实时处理，并将数据进行保存，而大容量的硬盘存储设备介质对记录数据的存储、长期保存和读取提供了保证。微震监测系统的高速采样以及 P 波和 S 波的全波形显示，使得对微震信号的频谱分析和处理更加方便。

远程监测和信息的远传输送：微震监测技术可以避免监测人员直接接触危险监测区，同时也使得监测的劳动强度大大降低。数字技术的出现和光纤通信技术的发展，使得数据的快速远传输送成为可能。数字光纤技术不仅使信号传送衰减减小，而且其他电信号对光信号没有干扰，能确保在地下复杂环境中把监测信号高质量远程传输。另外，微震监测数据能利用网络和卫星实时传送到全球，实现数据的远程共享。

多用户计算机可视化监控与分析：监测过程和结果的三维显示以及在监测信号远程传输的前提下，利用网络技术（局域网）实现多用户可视化监测，为多专家实时分析与评价创造条件。

监测范围宜包括地下洞室围岩松弛变形和岩爆监测、岩质边坡变形监测、混凝土大坝裂缝发育监测。

7 测 试

7.1 场地抗震动力参数测试

7.1.1 波速测试主要用于场地土的类型类别划分、场地土层的地震反应分析，以及用波速计算泊松比、动弹性模量、动剪切模量，也可计算地基刚度系数和土的地震液化，地脉动测试可确定场地土的卓越周期和线位移，可应用于工程抗震和隔振设计。

7.1.2 在场地波速测试中，通常是测试剪切波速（即横波波速）。单孔地震波法的特点是只用一个试验孔，在地面打击木板产生向下传播的压缩波（P波）和水平极化剪切波（SH波），测出它到达位于不同深度的传感器的时间，能测定出它在垂直地层方向的传播速度。穿透地震波法的特点是多个试验孔，震源产生水平方向传播的波，测出它到达位于各接收孔中与震源同标高的垂直向传感器的时间，可得到剪切波在地层中水平方向传播的速度。穿透地震波法测试深度较深，可测出地层中的软弱夹层，测试精度相对较高。面波法是近年来国内外发展较快、应用较为广泛的一种浅层地震勘探方法。

地脉动有长周期与短周期之分，周期大于1s的称为长周期，本条涉及的地脉动周期在0.1~1.0s范围内，属于短周期地脉动。地脉动是由气象变化、潮沙、海浪等自然力和交通运输、动力机器等人为扰力引起的波动，经地层多重反射和折射，由不同方向传播到测试点的多维波群随机集合而成。随时间做不规则的随机振动，其振幅为小于几微米的微弱振动，具有平稳随机过程的特性，即地脉动信号的频率特性不随时间的改变而有明显的变化，主要反映场地地基土层结构的动力特性，因此可以用随机过程样本函数集合的平均值来描述。

7.1.3

1 单孔地震波法和穿透地震波法的传感器应用三分量井下

传感器，即在一密封、坚固的圆筒内安置 3 个互相垂直的传感器，其中 1 个是竖向、2 个是水平向，水平向传感器应性能一致。目前常用的是动圈型磁电式速度传感器，其特点是只有当所需测的振动的频率大于传感器固有频率时，传感器所测得的振动的幅值畸变及相位畸变较小。

2 面波法测试可以根据探测深度的要求来改善激振的条件。勘探深度较浅时，震源应激发高频地震波；勘探深度较深时，震源应激发低频地震波。同时，对于同种震源方式，改变激振点条件和垫板也可以改变激发的地震波频率。根据部分地区经验，震源的选择宜根据现场的探测深度要求和现场环境确定：探测深度小于 15m 时宜选择大锤激振，探测深度小于 30m 时宜选择自由落锤激振。当探测深度大于 30m 时，可选择天然源面波法，应选择三个等边三角形互嵌的台阵进行测试，检波器固有频率不应大于 2Hz，三角形最大边长不应小于 12m。

4 脉动信号频率宜为 1~10Hz 范围内，按照采样定理，采样频率宜大于 20Hz 即可，但实际工作中，最低采样频率常取分析上限频率的 2.56 倍。采样频率太高，脉动信号的频率分辨率降低，影响卓越周期的分析精度。

7.1.4

1 在单孔地震波法和穿透地震波法的资料整理过程中，如果因上、下层波速差异大而产生折射波，在计算时应进行校正，不然会影响测试精度。应对钻孔进行测斜，在计算时进行距离校正。

2 面波频散曲线的“之”字形特征是重要的分层依据，反映了地下弹性介质的分界面，目前面波频散曲线的理论模型无法与其相匹配，如果频散曲线的“之”字形异常比较大，会影响拟合相关系数，此时应根据经验给出“之”字形上、下地层的波速，不考虑拟合相关系数的高低。

4 脉动信号频谱图应为一个突出谱峰形状，卓越周期只有一个。如地层为多层结构时，谱图有多阶谱峰形状，通常不超过

三阶，卓越周期可按峰值大小分别提出。对频谱图中无明显峰值的宽频带，可按电学中的半功率点确定其范围。脉动幅值应取实测脉动信号的最大幅值，这里所指的幅值，可以是位移、速度、加速度幅值，可以根据测试仪器和工程的需要确定。

场地卓越周期应按下列公式计算：

$$T_p = 1/f_p \quad (12)$$

式中 T_p ——场地卓越周期，s；

f_p ——场地卓越频率，Hz。

7.2 岩土电性参数测试

7.2.1 电阻率测量是为机电接地系统设计提供基础数据，测量大地导电率是为输变电设计采取必要的措施消除输电线路对邻近走向的通信线运营时产生干扰，提供设计参考。

7.2.2 对称四极电测深法为直接测量方法，可控源音频大地电磁测深法和音频大地电磁测深法属于间接测量方法。对称四极的最大供电电极距应大于设计要求深度的3倍。

7.2.3 大地土壤电阻率是单元长度岩土体电阻的均匀值，单位是 $\Omega \cdot m$ 。岩土电阻率是接地工程中的一个常用的参数，直接影响接地电阻、电网电位散布、接触电压和跨步电压等参数。考虑50Hz电流的最大渗透深度能达数千米，为取得300~500m有效深度的大地导电率值，对应的最大供电距应取900~1500m，通常在平原和丘陵地区采用900m，山区采用1500m。根据水利行业工作经验，从保证资料解释的精度角度规定了总电极数不应少于9个。因大地导电率具有各向异性，从设计方需要了解沿线路方向的大地导电率值角度作出规定。

7.2.4 量板法或计算机模拟法实测曲线与理论量板相对比，求得测点垂直深度内各岩层厚度及电阻率，用拉德列夫曲线换算50Hz或任意频率下的大地电导率值，以温纳装置所测的曲线与简化曲线量板的纵横坐标轴重合相交，直接求得大地电导率值。

7.3 岩土体物理和力学参数测试

7.3.3 利用风钻孔进行声波穿透法测试时，需对风钻孔进行倾向、倾角测量，采用空间几何解析法精确求取各穿透测点间的距离。

7.3.4 若因故未实测得到岩样的 V_{pr} 值，又需提供岩体完整性系数时，可根据实践经验取声波测井曲线上 V_p 最高值（要求层厚度大于 1m）作为 V_{pr} 值，以计算沿钻孔岩体的完整性系数。或取新鲜完整岩体洞段的地震波排列 V_p 最高值作为 V_{pr} ，计算平硐岩体的完整性系数。

7.4 水文地质参数测试

7.4.3 观测孔待测含水层段井液有现明显盐化扩散现象，是指该段井液电阻率值部分段明显降低或接近零值，或整段井液电阻率值均降低接近零值。