

UDC

中华人民共和国行业标准

**JGJ**

P

**JGJ/T 143 - 2017**  
**备案号 J 370 - 2017**

---

# 多道瞬态面波勘察技术规程

Technical specification for multi-channel transient  
surface wave investigation

2017 - 03 - 23 发布

2017 - 09 - 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1505 号

---

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准 《多道瞬态面波勘察技术规程》的公告

现批准《多道瞬态面波勘察技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 143-2017，自 2017 年 9 月 1 日起实施。原《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143-2004 同时废止。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2017 年 3 月 23 日

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2013]169号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本规程。

本规程的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.仪器设备与处理软件;5.现场采集;6.资料处理和解释;7.成果报告。

本规程修订的主要技术内容是:1.修订了采集仪器的电气参数指标,增加了仪器自检功能的要求;2.增加了处理软件中对剖面处理的要求;3.补充了数据处理和解释的内容;4.修订了成果报告应提供的内容;5.对原“仪器设备与处理软件”和“现场采集”两章中的重复内容进行了合并调整。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由北京市水电物探研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送北京市水电物探研究所(地址:北京市东城区东中街58号美惠大厦A902,邮政编码:100027)。

本 规 程 主 编 单 位:北京市水电物探研究所

本 规 程 参 编 单 位:福建省建筑设计研究院

中航勘察设计研究院有限公司

建设综合勘察研究设计院有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

北京市水利规划设计研究院

广西地球物理勘察院

桂林矿产地质研究院工程有限公司  
中铁第五勘察设计院集团有限公司  
上海岩土工程勘察设计研究院有限  
公司

本规程主要起草人员：刘云楨 梅汝吾 李哲生 刘金光  
苏 强 刘运平 林万顺 陈 康  
张玉池 谢昭晖 马文亮

本规程主要审查人员：梁金国 单娜琳 康景文 杨俊峰  
朱向泰 王殿广 张建清 张海东  
鲁志强 化建新 邱祖全

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语和符号 .....	2
2.1	术语 .....	2
2.2	符号 .....	3
3	基本规定 .....	5
4	仪器设备与处理软件 .....	6
4.1	仪器设备 .....	6
4.2	处理软件 .....	6
5	现场采集 .....	8
5.1	一般规定 .....	8
5.2	现场试验 .....	8
5.3	测线、排列的布设 .....	9
5.4	采集要求 .....	10
5.5	采集记录质量评价 .....	11
6	资料处理和解释 .....	13
6.1	资料整理 .....	13
6.2	数据处理 .....	13
6.3	分析解释 .....	14
7	成果报告 .....	16
	本规程用词说明 .....	17
	附：条文说明 .....	19

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	5
4	Instrumentation and Software .....	6
4.1	Instrumentation .....	6
4.2	Software .....	6
5	Field Acquisition .....	8
5.1	General Requirements .....	8
5.2	Field Test .....	8
5.3	Line, Array Layout .....	9
5.4	Acquisition Requirements .....	10
5.5	Record Quality Assessment .....	11
6	Data Processing and Interpretation .....	13
6.1	Data Collating .....	13
6.2	Data Processing .....	13
6.3	Analysis and Interpretation .....	14
7	Result Report .....	16
	Explanation of Wording in This Specification .....	17
	Addition; Explanation of Provisions .....	19

# 1 总 则

**1.0.1** 为提高工程勘察成果的精度和可靠性，规范多道瞬态面波勘察技术，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于应用多道瞬态面波技术进行的工程勘察及检测。

**1.0.3** 多道瞬态面波勘察技术除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 面波 surface wave

沿介质自由表面传播的波，称为表面波，简称面波。

#### 2.1.2 剪切波 shear wave

波的传播方向与介质质点的振动方向垂直的波，又称横波、S波。

#### 2.1.3 压缩波 compression wave

波的传播方向与介质质点的振动方向一致的波。又称纵波、疏密波、P波。

#### 2.1.4 基阶面波 first-mode surface wave

多个传播模态中以第一阶振型传播，在各阶振型中速度最低的面波。

#### 2.1.5 高阶面波 higher-mode surface wave

多个传播模态中以高阶振型传播的面波。

#### 2.1.6 面波频散 frequency dispersion of surface wave

面波各频率组分具有不同的传播速度的现象。

#### 2.1.7 频散曲线 dispersion curve

频散波的波长与波速间关系的曲线。

#### 2.1.8 基阶面波的频散 dispersion of first-mode surface wave

基阶面波各频率成分具有不同的传播速度的现象。

#### 2.1.9 多道瞬态面波勘察 multi-channel transient surface wave investigation

利用瞬态震源，采集多通道面波进行工程勘察的一种方法。

#### 2.1.10 面波速度 surface wave velocity

面波在介质中传播的平均相速度。

**2.1.11 剪切波层速度** layer velocity of shear wave

剪切波在地层中的传播速度。

**2.1.12 排列** array

为完成一个面波采集记录，布置在一条测线上接收震动信号的检波器组合。

**2.1.13 排列长度** spread length

为完成一个面波采集记录，布置在一条测线上的接收检波器组合的长度。

**2.1.14 测点** exploratory point

面波勘察中的勘探点。

**2.1.15 多道** multi-channel

在面波勘察中获取面波频散的过程，采用多个检波器和仪器多个通道采集面波的传播。

**2.1.16 偏移距** offset

面波采集时，震源与仪器第一通道所连接的检波器之间的距离。

**2.1.17 道间距** channel distance

排列中相邻检波器之间的距离。

**2.1.18 源检距** source offset

震源位置到检波器的距离，最大源检距指震源位置到最远检波器的距离。

**2.1.19 瞬态** transient vibration

震源以冲击式或脉冲式震动。

**2.1.20 瞬态面波** transient-vibration surface wave

利用瞬态震源条件采集的面波。

## 2.2 符 号

$E_d$ ——动弹性模量；

$f$ ——频率；

$G_d$ ——动剪切模量；

- $H$ ——深度；  
 $K$ ——波数；  
 $v_P$ ——压缩波波速；  
 $v_R$ ——地层面波波速，也称瑞利波波速；  
 $v_S$ ——剪切波波速；  
 $\eta_S$ ——面波和剪切波波速换算系数，与泊松比有关；  
 $\lambda$ ——波长；  
 $\mu_d$ ——泊松比；  
 $\rho$ ——质量密度。

### 3 基本规定

**3.0.1** 采用多道瞬态面波进行勘察前，应收集相关资料，应包括下列主要内容：

- 1 多道瞬态面波勘察任务委托书或勘察要求说明文件等；
- 2 已有场地工程勘察资料；
- 3 场地建筑物、构筑物的平面图等资料；
- 4 场地及其邻近的干扰震源调查资料。

**3.0.2** 采用多道瞬态面波进行勘察前，应制定勘察方案，应包括下列主要内容：

- 1 勘察目的及要求，勘察范围及工作量等；
- 2 勘察场地的地球物理条件；
- 3 勘察内容、方法和测点、测线布置图；
- 4 采用的相关仪器设备；
- 5 采用的数据处理方法；
- 6 勘察工期、安全、质量保证及环境保护措施等；
- 7 勘察成果报告的要求及提交时间。

**3.0.3** 采用多道瞬态面波勘察方法，采集的地震波记录道不应少于 12 个通道。

**3.0.4** 现场勘察时，仪器主机设备应有防风砂、防雨雪、防晒和防摔等保护措施。

**3.0.5** 多道瞬态面波成果的综合分析与评价，宜与其他工程勘察方法相结合。

**3.0.6** 多道瞬态面波勘察工作应编制勘察成果报告。

## 4 仪器设备与处理软件

### 4.1 仪器设备

4.1.1 多道瞬态面波采集仪器应符合下列规定：

- 1 仪器放大器的通道数不应少于 12 通道；
- 2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求，宜为  $0.5\text{Hz}\sim 4.0\times 10^3\text{Hz}$ ；
- 3 仪器放大器各通道的幅值偏差不应大于 5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
- 4 仪器采样时间间隔应满足不同面波周期的时间分辨，在最小周期内应采样（4~8）点；仪器采样时间长度应满足最大源检距采集完面波最大周期的需要；
- 5 仪器动态范围不应低于 120dB，模数转换（A/D）的位数不宜小于 20 位；
- 6 仪器应具有频响与幅度一致性的自检功能。

4.1.2 多道瞬态面波检波器应符合下列规定：

- 1 应采用竖直方向的速度型检波器；
- 2 检波器的固有频率应满足采集最大面波周期的需要，宜采用不高于 4.0Hz 的低频检波器；
- 3 同一排列检波器之间的固有频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差不应大于 5%；
- 4 同一排列检波器的幅值差不应大于 5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
- 5 检波器应具有方便竖直安置的部件。

### 4.2 处理软件

4.2.1 多道瞬态面波处理软件主要功能应包括：选用基阶面波

生成频散曲线；进行频散曲线分层，反演计算剪切波波速和确定地层厚度；利用测线上的频散曲线生成速度剖面彩色图，绘制等速度图或岩土分层解释图。

**4.2.2 多道瞬态面波勘探点处理软件应具有下列功能：**

1 检查与改正采集参数，正确组合拼接采集文件，批量显示采集记录，分辨记录中的坏道与处理等功能；

2 识别和剔除干扰波的功能；

3 识别和利用基阶面波的功能；

4 提取面波频散曲线的功能；

5 正反演功能，在速度递增及近水平层状地层条件下应能准确反演地层剪切波波速和层厚；

6 分频滤波和检查各分频段面波发育及信噪比的功能；

7 对比分析频散曲线的功能，供研究不同测点的速度变化或对比同一测点的处理结果。

**4.2.3 多道瞬态面波勘探剖面处理软件应具有下列功能：**

1 能同时调入不少于 3 个测点的频散曲线，并自动进行拟速度计算；

2 编辑测点坐标和成图比例，生成速度成果图；

3 具有自动绘制速度等值线的功能；

4 具有图例填充功能。

**4.2.4 多道瞬态面波速度处理成图的文件格式，应采用计算机通用格式，便于报告编写中调用。**

## 5 现场采集

### 5.1 一般规定

5.1.1 多道瞬态面波排列布置应符合下列要求：

- 1 采用线性等道间距排列方式，震源在排列的延长线上；
- 2 道间距应小于最小探测深度所需波长的二分之一；
- 3 偏移距的大小应满足勘探深度的要求；
- 4 排列长度应大于预期面波最大波长的一半；
- 5 排列的中点应为面波勘探点。

5.1.2 多道瞬态面波激发震源应符合下列规定：

1 震源频率与能量的选择应根据勘探深度确定，应满足面波勘察的要求；

2 震源可采用人工锤击、机械冲击或爆炸等方式；

3 当勘探深度小于 20m 时，宜选择人工锤击；当勘探深度为 20m~50m 时，宜选择落重或机械冲击激震；当勘探深度大于 50m 时，宜选择爆炸激震或其他大能量激震方式。

5.1.3 面波的激发应符合下列要求：

1 应根据勘察任务要求和场地条件合理选择震源；

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；

3 使用爆炸震源时药量应通过试验确定，触发方式宜采用回线记时法。

### 5.2 现场试验

5.2.1 现场正式工作前应进行现场试验，试验范围应覆盖不同的地形地质单元。

5.2.2 试验工作的主要内容应包括仪器设备系统的频响与幅度

的一致性检查和采集试验工作。

**5.2.3** 仪器设备系统的频响与幅度的一致性检查，应符合下列要求：

1 仪器各道的一致性检查，宜采用在各道输入端并联后接入信号源，采集与工作记录参数相同的记录，分析仪器各道的频响与幅度的一致性；

2 检波器的一致性检查，应选择介质均匀的地点，将检波器密集地安插牢固，在大于 10m 地方激震，采集面波记录，分析检波器频响与幅度的一致性；

3 仪器通道和检波器的频响与幅度特性，应符合本规程第 4.1 节的要求。

**5.2.4** 采集试验工作应符合下列规定：

1 应在场地选择有代表性的地段进行干扰波调查，采用展开排列方式采集面波，根据基阶面波发育的强势段确定偏移距、道间距、排列长度和记录长度，排列长度应与勘探深度相近；

2 应根据勘探深度的要求，确定适用频率的检波器，检波器的频率可按下式计算：

$$f = v_R / \lambda_R \quad (5.2.4)$$

式中： $f$ ——检波器的频率 (Hz)；

$v_R$ ——地层面波波速 (m/s)；

$\lambda_R$ ——波长 (m)，可取勘探深度的 2 倍。

3 应根据采集记录进行频谱分析，确定满足勘探深度和分辨薄层需要的最佳激震方式。

**5.2.5** 应通过现场试验，确定满足勘察目的和精度要求的采集方案、采集参数及激震方式。

**5.2.6** 在具有钻孔资料的场地应在钻孔旁布置试验点，进行资料对比。

### 5.3 测线、排列的布设

**5.3.1** 测线的布设应符合下列规定：

1 滑坡体、泥石流勘察，主测线应沿主滑方向平行布设，辅助测线宜垂直主滑方向布设；

2 构造破碎带勘察，主测线应与构造走向垂直布设；

3 古河床勘察，主测线应与古河床方向垂直布设；

4 岩溶、土洞或采空区勘察，测线应平行布设，测线间距应小于勘察对象的尺寸，发现异常时，应在异常点垂直布设辅助测线；对于重点勘察项目应采取网格布线；

5 地基加固效果检测，测线布设采取通过加固点和在加固点之间两种方式，并应在加固前后，对同一测点采用相同参数进行检测；

6 一般场地勘察，测线应根据勘探线和勘探点布设。

**5.3.2** 排列的布设应符合下列规定：

1 地形较平坦且不存在固定干扰源的场地，排列应沿测线布设；

2 地形起伏较大的场地，应调整排列方向，沿地形等高线布设；

3 存在固定干扰源的场地，排列与激发震源和干扰源应布设在一条直线上，且激发震源和干扰源应在排列的同一侧；

4 场地存在沟坎或处在建筑群中时，排列方向应规避干扰波影响；

5 其他场地排列应沿测线布设。

## **5.4 采集要求**

**5.4.1** 应根据勘察目的、要求、地形地质与介质的地球物理物性条件选用观测系统，并应符合下列规定：

1 所选用的观测系统，应满足主要目的层探查的需要；

2 简单地质地形条件下可采用单端激震法，复杂地质地形条件下宜采用双端激震法；

3 在满足勘探点间距要求的前提下，宜采用全排列移动、半排列移动或部分道移动。

**5.4.2** 面波的接收应符合下列规定：

1 仪器应设置在不滤波状态，对定点仪器应设置各道增益一致；

2 记录长度应满足最大源检距基阶面波的采集需要；

3 记录的近震源道不应出现削波，排列中不宜有坏道；

4 检波器安置的位置应准确；

5 检波器应与地面（或被检测物表面）安置牢固，并力求埋置条件一致；检波器周围的杂草等易引起检波器震动之物应清除；在风力较大条件下工作，检波器应挖坑埋置；

6 检波器与电缆连接应正确，防止漏电、短路和接触不良等故障。

**5.4.3** 在面波勘察中应布置复测检查工作，复测检查的工作量不得少于总工作量的5%。检查记录与原记录波形应相似，频散曲线应一致。

**5.4.4** 采集工作结束应及时进行数据存储与备份，并应符合下列规定：

1 按工程名称或工程代号设置存储文件夹；

2 文件名应标识清晰，对于同一测点不同偏移距、不同激震方式或双端激震等记录文件应有不同标识；

3 采集过程中应填写现场采集班报记录，记录应包括场地名称、测线编号、存储文件名、测点位置、场地条件等内容，记录应有操作员、记录员和检查员签字。

## **5.5 采集记录质量评价**

**5.5.1** 对记录中的削波和常规地震勘探中的坏道，在多道瞬态面波勘察中均应作为坏道处理。

**5.5.2** 对记录长度不满足采集最大源检距基阶面波的记录，应视为不合格记录。

**5.5.3** 记录中的基阶面波应为强势波，否则应视为不合格记录。

**5.5.4** 记录中非边道的相邻两道为坏道，应视为不合格记录。

**5.5.5** 记录中坏道数大于使用道数 10%的记录，应视为不合格记录。

**5.5.6** 发现不合格记录，应进行补测。

## 6 资料处理和解释

### 6.1 资料整理

6.1.1 外业工作结束后应对原始资料进行整理，原始资料包括纸质记录和数据记录。

6.1.2 纸质记录包括现场采集班报记录、试验记录、仪器自检记录和测量记录等，整理应符合下列规定：

- 1 对记录应进行分类和装订成册；
- 2 对记录应进行校核和校对，对错误记录的修改不得采用擦除的办法；
- 3 纸质记录整理和使用完结应归档。

6.1.3 数据记录包括面波采集记录和测点的地形测量记录，整理应符合下列规定：

- 1 对现场采集的面波记录应按场地、试验收容、测线进行分类存储备份；
- 2 留作存档的数据记录不得修改和删除；
- 3 对测点的坐标和高程应进行校核，形成地形文件；
- 4 数据记录整理完毕后应归档。

### 6.2 数据处理

6.2.1 数据处理应采用处理软件完成。

6.2.2 处理软件应具有利用基阶面波提取多道瞬态面波频散曲线的功能。

6.2.3 频散曲线提取应符合下列规定：

- 1 应在  $f$ - $K$  域中提取频散曲线；
- 2 二维滤波计算应突出基阶面波能量；
- 3 应在  $f$ - $K$  域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。
- 6.2.4** 频散曲线的分层应依据拐点、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；不收敛段的起始拐点可解释为地层界线。
- 6.2.5** 频散曲线的反演计算应符合下列规定：
- 1 剪切波层速度的反演计算宜选择固定层厚度的方式；
  - 2 剪切波层速度的反演计算宜遵循由浅及深、逐层调试的原则，使正、反演结果逐渐逼近；
  - 3 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剪切波层速度；
  - 4 经过反演计算确定的剪切波层速度和层厚度结果应存储。
- 6.2.6** 制作彩色速度剖面图应符合下列规定：
- 1 每个剖面应有不少于 3 个勘探点的频散曲线；
  - 2 剖面上勘探点频散曲线的输入可选择自动和手动两种方式；
  - 3 频散曲线上不合理的数据点应剔除；
  - 4 应根据地形文件进行地形校正；
  - 5 应能设置合适的比例尺和波速标尺门限；
  - 6 应在速度分层图中填充地质图例，制作地质解释剖面图。

### 6.3 分析解释

- 6.3.1** 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。
- 6.3.2** 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。
- 6.3.3** 绘制地质解释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。

**6.3.4** 面波的解释深度应依据面波波长换算，在具备条件的场地，应根据有关资料进行校正。

**6.3.5** 分析解释时，应将地层瑞利波波速转换为剪切波波速。

**6.3.6** 地层剪切波波速应按下列公式计算：

$$v_s = \frac{v_R}{\eta_s} \quad (6.3.6-1)$$

$$\eta_s = \frac{0.87 + 1.12\mu_d}{1 + \mu_d} \quad (6.3.6-2)$$

式中： $v_s$ ——地层的剪切波波速 (m/s)；

$v_R$ ——地层的面波波速 (m/s)；

$\eta_s$ ——面波和剪切波波速换算系数，与泊松比有关；

$\mu_d$ ——泊松比。

**6.3.7** 地层的动剪切模量应按下式计算：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (6.3.7)$$

式中： $G_d$ ——动剪切模量 (Pa)；

$\rho$ ——质量密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

**6.3.8** 地层的动弹性模量应按下式计算：

$$E_d = 2(1 + \mu_d)\rho v_s^2 \quad (6.3.8)$$

式中： $E_d$ ——动弹性模量 (Pa)。

**6.3.9** 地层的泊松比应按下式计算：

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (6.3.9)$$

式中： $v_p$ ——地层的压缩波波速 (m/s)。

**6.3.10** 利用剪切波波速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剪切波波速。

## 7 成果报告

**7.0.1** 面波勘察报告应重点突出、图表清晰、结论明确、建议合理。

**7.0.2** 面波勘察报告应根据任务要求、工程特点和工程地质条件等具体情况编写，并应包括下列主要内容：

1 工程概况；

2 勘察目的、任务要求、所依据的技术标准以及勘察时间和完成的工作量；

3 工程场地的地形、地貌、地质特征和地球物理条件；

4 场地震动干扰背景及分析；

5 面波勘察工作包括方法技术原理、仪器性能、观测系统及采集参数选择，激震与接收方式，测线布设及工作质量保证措施等；

6 资料处理；

7 面波勘察成果分析解释；

8 结论与建议；

9 其他说明。

**7.0.3** 面波勘察报告应包括下列图表：

1 面波勘察布置平面图；

2 仪器设备工作正常检查的波形记录图；

3 干扰波调查的记录和典型面波记录图；

4 面波点频散曲线图；

5 面波速度分层图，有钻探地质资料时，绘制面波点速度分层与工程地质柱状对比图；

6 面波勘察成果图表包括波速分层、波速分区、波速等值线图以及推断解释成果图等。

**7.0.4** 面波勘察报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位等均应符合国家现行有关标准的规定。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国行业标准

多道瞬态面波勘察技术规程

JGJ/T 143 - 2017

条文说明

## 修 订 说 明

《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 - 2017，经住房和城乡建设部 2017 年 3 月 23 日以第 1505 号公告批准、发布。

本规程是在《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 - 2004 基础上修订而成的。上一版主编单位是北京市水电物探研究所，参编单位是建设综合勘察研究设计院、福建省建筑设计研究院、中航勘察设计研究院、中交第一公路勘察设计研究院、北京市地震局震害防御与工程地震研究所。主要起草人是刘云祯、梅汝吾、任书考、李哲生、刘金光、刘运平、胡平。

本规程修订过程中，编制组进行了三次专项试验，对规程执行 12 年来的情况进行了广泛调查研究，总结了国内外应用多道瞬态面波勘察技术的经验和科学研究成果，同时参考了有关国家标准和行业标准。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用的本规程时能正确理解和执行条文规定，《多道瞬态面波勘察技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

# 目 次

1	总则	22
2	术语和符号	24
2.1	术语	24
3	基本规定	27
4	仪器设备与处理软件	28
4.1	仪器设备	28
4.2	处理软件	30
5	现场采集	31
5.1	一般规定	31
5.2	现场试验	32
5.3	测线、排列的布设	33
5.4	采集要求	34
5.5	采集记录质量评价	35
6	资料处理和解释	36
6.1	资料整理	36
6.2	数据处理	36
6.3	分析解释	38
7	成果报告	40

# 1 总 则

**1.0.1** 面波勘察方法分为稳态方法和瞬态方法两大类，是依据震源激震方式的不同进行的划分。稳态方法的震源为电磁振动器，稳定在某一频率对地面激震和进行地震波数据的采集，一个频点的数据采集完成后，变换频率重复采集，直至完成所有设计频率点的采集。震源设备沉重、勘探深度不大，应用不多。瞬态方法的震源为脉冲方式，脉冲激震作用于地面可以形成一定频率宽度的震动，采集一次震动的地震波数据即可实现目的。以往稳态方法和瞬态方法的接收都是采用 2 个检波器拾取面波信号。1993 年我国刘云祯先生采用 12 个检波器拾取面波信号，开创了多道瞬态面波采集和数据处理的技术，促进了瞬态面波勘察技术的发展。多道瞬态面波勘察技术以便捷高效、勘探深度大、可靠性高等优势受到业界好评，并得到广泛地推广和应用，为提高工程投资效益和社会效益作出了贡献。原建设部于 2004 年 8 月 18 日以第 260 号公告批准、发布《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143-2004 以来，至今规程已经执行了十多年，对于加强工法管理和促进面波勘察技术的进步发挥了重要作用，同时积累了大量的工程实践经验，也为修订工作积淀了宝贵资料。因此，通过修订制定一个与时俱进的科学的规程是必要的。

**1.0.2** 本条说明面波勘察适用于城乡、公路、铁路、机场、水利、电力等工程建设行业，利用多道瞬态面波方法进行的各类工程地质勘察、岩土工程勘察与检测。可应用于探查覆盖层厚度、划分松散地层沉积层序；场地土类别和场地类型的划分；探查基岩埋深和基岩界面起伏形态，划分基岩的风化分带；探测构造破碎带；探测地下隐埋物体、古墓遗址、洞穴和采空区；探测非金属地下管道；探测滑坡体的滑动带和滑动面起伏形态；地基动力

特性测试；地基加固效果检验；路基压实度检测等。这里所列的工程领域，基本上覆盖了工程地质勘察，岩土工程勘察、检测与监测的各个方面，但并不排斥随着方法技术的进步所带来的应用范围的拓展或延伸。

面波勘察技术与其他岩土工程勘察手段密切配合可以发挥更好的作用。例如面波勘察与钻探结合可以建立岩土介质力学参数-剪切波波速的关系，或者地基土类别-剪切波波速的关系，通过综合分析把已知点的认识扩展到物探剖面线上，实现提高勘察成果质量的目的。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.1** 面波有瑞利波和勒夫波两种类型，本规程所指的面波，特指成层半无限空间的瑞利波。瑞利波是在非均质半无限空间中，由于自由边界的作用，非均匀平面 P 波和  $S_V$  波相互干涉而衍生出来的，且 P 波与  $S_V$  波都沿自由面以同一视速度  $C < v_s$  前进。瑞利波具有频散特性，其质点运动轨迹为一椭圆。均质半空间中也存在面波，但不具频散性。

**2.1.4~2.1.8** 面波传播速度按其特征区分为相速度和群速度两种。相速度系指单一频率组分量波的同相位的传播速度；群速度是指同一震源产生不同频率的面波按各自的相速度传播时，相互干涉形成的波组的传播速度。如果介质均匀，产生的面波没有频散，各频率成分以同一相速度传播，合成的波组的群速度与相速度等同。在有面波频散的介质表面，不同频率组分量以不同相速度传播，将随传播距离干涉合成为几个不同群速度的波组。

在层状介质中面波的传播速度  $v_R$  随频率变化是频率或波长的函数（即频散），在进行频散方程求解时，对于同一个频率  $f$ ，往往存在多个相速度  $v_R$ ，这就是说频散曲线往往具有多个模态，如果将它们按速度大小排列，我们将相速度最小的模称为基阶模，与之相对应，我们把以最小相速度传播的面波称为基阶面波。实际采集的面波信息大多是由多阶面波相互叠加而成，如何准确分离各阶面波并加以利用，这是目前国内外研究的热点问题。大量的研究表明：基阶面波反映了正频散（面波群速度  $<$  面波相速度）地层间岩土的基本物理性质，这也是多道瞬态面波勘察目前要把握的基本点。而对高阶面波的研究与应用，目前尚不成熟，本规程暂不纳入。

本规程所指的面波速度，指的是某一频率的速度，即相速度，而非多频率面波群包络的群速度。群速度  $U$  与相速度  $v_R$  的关系是： $U = v_R - \lambda \times dv_R/d\lambda$ ；在均匀介质中， $U = v_R$ ；而地层刚度随深度逐层增加时， $U < v_R$ ，表现为正频散；反之，当下伏地层较上层软弱时， $U > v_R$ ，呈现负频散。

从面波模态的角度看，最简单，也是常见的地层分层结构，是地层刚度随深度逐层增加。此时面波的大部分能量都集中在基阶模态中，形成的频散特征也比较简单，容易求出地层的弹性参数。如果地层结构中含有软弱夹层，或地表为刚度大的地层覆盖，面波的能量将扩展分布于基阶和多个高阶的模态中，构成复杂的频散特征。提取的关键在于正确识别面波的基阶振型。

面波数据处理按其算法一般分为时间域与频率域两大类。目前频率域的处理多进行  $f-K$  域（频率-波数域）的变换，因为面波各个模态，在时间和距离上往往是相互穿插叠合的。在  $f-K$  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。

运用二维傅立叶变换，可以将时间距离域的弹性波场数据，转换为频率波数谱数据，表示为二维坐标中的图形。一般其左上角为坐标原点，纵坐标为频率轴，沿纵坐标向下波动频率增高，也就是在时间上波动越快；横坐标为波数轴，沿横坐标向右波数增多，也就是在空间上波长越短。各个波动组分谱振幅的大小，用不同颜色的色标来表示，一般色度越亮，表示谱振幅越大。波动组分坐标点（ $f-K$ ）和原点连线的斜率（ $f/K$ ），体现了它的相速度。这条连线越陡，说明该波动组分的相速度越大，而越平缓则说明相速度越小。

**2.1.9~2.1.11** 利用多道瞬态面波勘察技术方法进行的勘察习惯上简称为面波勘察，利用采集面波在时间-空间域的传播记录，提取基阶面波频散曲线，即可获得某测点铅垂方向的面波速度，通过反演计算可以获得地层的剪切波波速。

**2.1.14** 面波勘察中利用一定的排列长度实现勘探深度的要求，

其面波速度曲线代表的地面位置定义为排列的中点位置，该中点即为勘探点位置。

**2.1.15** “多道”是本规程技术强调的重点之一，它有别于原来美国研究人员提出的两道瞬态面波（亦称表面波频谱分析法）方法（1973）。多道方法是利用多个检波器按一定间距与震源排列在一条直线上接收面波的方法。20世纪90年代初刘云楨等人采用12个通道的面波方法进行地基勘察获得成功，并于1993年首先提出多道瞬态面波勘察技术。

理论和实践均证明，多道瞬态面波技术有利于在时间和空间中识别各种波动组分（包括体波、面波和干扰波）的信息；有利于基阶面波的提取与利用；有利于数据经过 $f-K$ 域的变换、快速有效地分离多阶模态的面波及其他波；最突出的优势是利用多道面波数据提取面波频散曲线，可以充分发挥计算技术的作用，面波频散曲线的质量远比2道好得多，并增加勘探深度。多个检波器排列在一条直线上，其排列长度的中点代表勘探点，由该排列获得的面波记录计算得到的频散曲线，反映该勘探点位置地层介质的面波速度及分布。

**2.1.16~2.1.18** 这三条是对面波采集中三个参数的说明。偏移距指震源到记录中第1道的距离，单位为米；规定震源在排列外的延长线上，偏移距有正负之分：震源在记录的小道号端（第1道）为正，震源在记录的大道号端（第12道或24道）为负。道间距指接收检波器之间的距离。源检距指震源到检波器之间的距离。可以是震源至任何一道检波器之间的距离，常见有最小源检距和最大源检距之说。偏移距和道间距参数的设置与勘探深度有关系，勘探深度大则需要选择相对大一些的偏移距和道间距，勘探深度小则需要选择相对小一些的偏移距和道间距。

**2.1.19、2.1.20** 表示以冲击式或脉冲式作用于地面的震动模式为瞬态，由瞬态震源产生的面波为瞬态面波。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本条规定了进行多道瞬态面波勘察工作应搜集的文件资料，任务委托书或勘察要求文件是开展面波勘察依据的文件。明确勘察目的便于有的放矢的布置工作；了解既有资料有利于针对性开展试验工作，有利于建立物探资料与既有地质资料之间的关系，实现由已知到未知的地质推断；获知现场条件有利于制定应对措施。

**3.0.2** 认真对待勘察方案的制定，尤其在测区地球物理条件及技术可行性的分析方面，正确的认识是保证勘察成功的基础。

**3.0.3** 本条规定进行多道瞬态面波勘察时的采用道数不应少于12个通道。如果道数太少，再出现个别坏道，实际参与计算的有效道数减少，会影响成果质量。实践资料证明：道数多的资料除了有利于辨认各种波型的属性、准确利用面波以外，对于提高面波频散曲线分辨率和加大测深都是有益的。以往的2道瞬态面波方法测深浅，而多道瞬态面波方法大幅度增加了测深，仅从简单计算频散也可以看出：2道的计算1次；12道的计算66次；24道的计算276次。由此不难看出多道面波数据计算的优势。

**3.0.4** 本条是对精密仪器设备现场正常施工的具体要求。

**3.0.5** 本条是对物探成果分析解释的通用要求，例如面波频散曲线反映测点下地层的面波速度与分布，若要推断面波速度与地层的对应关系尚需要与钻探资料建立关系，这样就可以把一个钻探点的资料方便地扩展到一条物探测线上，整体上提高物探成果的解释精度。

## 4 仪器设备与处理软件

### 4.1 仪器设备

**4.1.1** 本条是由 20 多年的工程实践经验得出，其内容是各行业利用多道瞬态面波勘察方法进行各类岩土工程勘察、检测所需仪器设备性能的基本条件。

对于探测波速分层难度不大的地层，可采用较少的通道，对波速分层难度大的地层，或具有低速夹层时，应采用更多的通道，以保证空间分辨率。换言之本条款强调采集面波记录应保证足够的仪器通道数，目前普遍采用 24 通道采集记录。

利用地震仪进行面波勘察时需要查阅仪器技术参数，因为地震仪通频带的低频端频率偏高，一般为 5Hz~10Hz，难以满足勘探深度要求。

常用多道瞬态面波勘察仪器的主要技术参数如下：

通道数：24 道（可为 12 道或更多通道）；

采样时间间隔：一般为 0.05ms、0.10ms、0.25ms、0.50ms、1.0ms、2.0ms、4.0ms、8.0ms；

采样点数：一般分 512 点、1024 点、2048 点、4096 点、8192 点等；

模数转换：不小于 20 位；

动态范围：不小于 120dB；

模拟滤波：具备全通、低通、高通功能；

频带宽度：0.5Hz~ $4.0 \times 10^3$  Hz。

多道瞬态面波勘察仪器应具有频响与幅度一致性的自检功能，这是面波仪不同于一般地震仪的一个重要指标。地震仪主要利用地震波的运动学参数进行勘探，而面波仪是利用地震波的运动学和动力学两项参数进行勘探，使用频响与幅度一致性不合格

的仪器系统采集数据，将会影响面波频散曲线的可靠性和准确性。

面波仪具有自检功能，一方面对仪器进行检测，另一方面对检波器进行检测，更换不合格的检波器，使仪器采集系统符合频响与幅度一致性的要求，保证采集数据的质量。

**4.1.2** 本条是对检波器的基本要求。检波器是面波勘察设备的重要组成部分，它的频响特性、灵敏度、相位的一致性以及与地面（或被测介质表面）的耦合程度，都直接影响面波记录的质量。

任何检波器都有其特定的频响和灵敏度。固有频率不同，其频响特性（或称带宽）也不一样，而灵敏度则取决于制作材料与工艺。检波器对于输入信号来说，相当于一个滤波器，不同的频响其输出是不一样的。一般说来，接收低频信号反映深部信息，要选择具有较低固有频率的检波器；反之，接收高频信号反映浅部信息，要选择具有较高固有频率的检波器。因此，合理选择检波器，对于面波勘察来说，是非常重要的。

多道瞬态面波勘察，采用多个检波器来拾取面波信号，所以各检波器之间的一致性十分重要。如果检波器的固有频率、灵敏度、阻尼等相差太大，会直接导致接收信号的相位发生畸变，从而导致面波信息的错误计算。本规程根据岩土工程勘察的一般性要求，结合我国地震检波器厂家的制造水平与制造系列，确定面波低频检波器的频率不高于4.0Hz，同时确定同一排列检波器之间的固有频率差不应大于0.1Hz。制作4.0Hz检波器的频率偏差不大于0.1Hz是很难掌控的，面对目前厂家生产4.0Hz检波器允许有0.5Hz偏差的现状，要求厂家采用频谱检测设备筛选出符合要求的检波器是能够做得到的。

检波器的安装，也是面波勘察的一个重要环节。因为不正确的安装会改变检波器的频率响应。一般的安装原则是：稳、正、紧。

## 4.2 处 理 软 件

本节列出的处理软件功能是处理多道瞬态面波数据的基本要求，是多年工程实践总结出来的经验。多道瞬态面波数据处理软件应是经过专家评审通过的软件。各种软件各有特色，但基本功能应该具备，以方便工程人员按规范要求出具勘察报告。

## 5 现场采集

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条强调对面波排列的基本要求：

1 由于算法的原因，多道瞬态面波勘察方法的检波器排列为直线，检波器之间的距离相等。

2 道间距决定频率-波数域的波数分辨率，应用中与最小勘探深度和垂向地层的可分辨有关系。

3 偏移距的选择与勘察界面发生频散的波长有关系，具有随勘探深度增加而增大的规律，同时由于波长是面波速度和频率的函数，所以确定偏移距也要考虑工区内面波速度的影响。偏移距的选择是否正确，直接关系到有效面波的采集，因此规程要求通过现场试验确定偏移距。

4 排列长度决定分辨空间的最大尺度，相应于最大的探测深度。

5 一个排列的多道瞬态面波频散成果，对排列长度内介质性质有平均作用，在勘察应用中规定排列中点为勘探点。

**5.1.2、5.1.3** 瞬态面波勘察中常用的激发震源可分为人工锤击、机械冲击和爆炸三种震源，锤击激发的频率高，可获得深度20m左右的面波频散信息；爆炸震源频率低，可得到深度50m~100m的频散信息；机械冲击，即采用落重或利用建筑施工的机械冲击设备作用于地面产生的震动，激发的频率介于二者之间。使用爆炸震源时炸药坑深度宜大于60cm，埋置炸药的回填土应压实。使用锤击或机械冲击震源时应在激震点敷设垫板，根据冲击力和垫板的不同，产生的震源强度和频率也不同。硬材质的垫板有利于激发高频波，软材质的垫板有利于激发低频波。

## 5.2 现场试验

**5.2.1** 物探成果是否能达到预期勘察目的，通过试验工作确定方法是重要的。在一个勘察项目中，试验的技术含量是高的，应该由具有丰富经验的工程师来主持。试验点应该覆盖不同的地质、地形条件。

**5.2.3** 本条强调设备系统的频响与幅度的一致性检查。

仪器设备系统的频响与幅度的一致性检查是一项很重要的工作，条文规定检查仪器和检波器的一致性，其中对频率与幅度的一致性自检功能依靠软硬件结合来完成。仪器自检软件通过对现场采集的一致性检查的记录进行计算分析得出评价曲线，依据是布置在同一个测点的多个地震道记录应具有一致的频响特征。曲线图中直线段说明仪器设备系统的频响与幅度完全一致，在直线段代表的频率范围内获得的面波结果符合规程规定的质量要求；在具有较大离散的曲线段对应的频率范围内获得的面波成果不符合一致性要求；介于二者之间的资料可视偏离程度决定取舍。

仪器和检波器的频响与幅度的一致性经过一定时间的使用会发生变化，尤其是检波器更容易变化，通过上述方法可以对仪器和检波器分别检查，发现仪器各通道的频响与幅度一致性有问题，要返回厂家检修，发现检波器有问题，要及时更换。

**5.2.4** 本条强调干扰波调查、检波器和震源的选择是试验工作中的重要内容。

干扰波调查是指在时间-空间域采集面波和其他波的传播情况。在面波勘察中，将面波作为有效波，而反射波、折射波、声波、直达波，以及面波的反射等均视作干扰波。由于面波传播速度较慢，能量较强，在展开排列的波形图上容易被识别。确定了面波后，就容易确定偏移距、道间距、采样间隔及记录长度。

干扰波调查记录是通过展开排列的方法获得，即在测线上先布置一个排列，偏移距为一个道距，采集第一个记录，然后整排列向后移动一个排列距离加一个道距，仍在原激发点激发，采集

第二个记录，依次采集第三个、第四个记录等等，直到全波列能在记录上体现为止。利用软件依次将几个排列的记录拼接起来，获得由震源点起按等道间距排列的全部地震道的记录。由此分析面波的发育情况，根据基阶面波的优势段，选择合理的采集参数。其中排列长度与勘察深度的关系，经过大量实践证明，选用的排列长度与勘察深度相近是适宜的。

面波检波器不同于通常的地震检波器，它不仅要求频响特性好，而且固有频率要比通常的地震检波器低得多。可由公式  $f = v_R / \lambda_R$  和勘探深度估算使用的检波器频率，例如面波勘察深度为 25m，地层的  $v_R = 200\text{m/s}$ ，按照半波长为勘察深度计算，使用的检波器固有频率不应高于 4.0Hz。

面波震源激发的频率和能量也是影响勘探深度的重要环节，应在工作中引起重视。

**5.2.6** 本条提到的对比，不仅指地层深度的对比，也包括面波频散曲线特征与地层组合的关系，地层剪切波波速与岩土性质方面的关系，以及剪切波波速与标贯击数的关系等，以便拓展面波技术应用。

### 5.3 测线、排列的布设

**5.3.1** 一般在平坦的地区，排列与测线重合可提高工作效率和成果精度。在地表起伏较大的地区，可沿地表等高线、垂直或斜交等高线布置排列，使排列成直线，以免道距不等而引起较大的误差。在场地存在固定干扰源情况下，调整排列方向使干扰源成为面波震源的一部分，可以起到变害为利的作用。地表地形的沟坎，或者建筑群的基础，均会产生回波，如果回波与面波的传播在记录长度内，构成交叉干涉，则会影响基阶面波频散信息的提取，要调整排列方向规避面波的衰减和回波对基阶面波的影响。

**5.3.2** 本条强调不同的勘察项目测线的布设不同。

对于滑坡体、泥石流勘察，测线应采用平行主滑方向布置，并适当布置横向测线，以便查明主滑方向的地质条件与滑动

范围。

对于构造破碎带、古河床等具有条带状分布的地质体勘察，测线应采用垂直地质体的走向布置，以便成果资料在正常背景下突显异常。

对于岩溶、土洞、采空区等勘察项目，由于地质体的空间分布变化大，测线应尽量采用纵横网格布置，以利于提高勘察精度。

利用面波方法评价地基加固效果，需要检测地基加固前后的面波速度变化。本条强调同测点、同参数和重复检测的原则是重要的。利用面波速度转换为剪切波波速，剪切波波速可与标贯击数、静力触探参数建立关系，因此采用面波方法评价地基加固的效果简便易行。

## 5.4 采集要求

**5.4.1** 根据勘察目的要求、地形地质与地球物理条件合理选用观测系统，选用的观测系统在满足勘察要求的前提下，也要兼顾野外施工方便与经济等方面。其中有关排列移动方法的叙述，主要是针对目前国内外常用的 24 道工程地震仪而言。条文中全排列指 24 道，半排列指 12 道。

单端激震法和双端激震法的选择，根据地形地质条件确定。在地形平坦、地质简单条件下一般采用单端激震法，复杂地形地质条件下宜采用双端激震法，单斜地形条件下，在地层下倾方向激震具有较好的效果。

**5.4.2** 本条强调面波接收系统的基本要求。

面波记录长度由采样点数和采样间隔的乘积确定，改变采样间隔或采样点数即可改变面波记录的长度。一般采样点数为 1024 点，采样间隔为 0.5ms。

检波器与地面或被检测物的安置是否牢固关系到信号的接收质量。一般条件下，检波器的尾锥能满足与地表的牢固安装；在松散地表条件下，可换用长尾锥来保证检波器与地表的牢固插

接；在坚硬地表条件下，可采用托盘或单向磁座使检波器与地表接触；在刮风或松散耕植土地表条件下，可采用挖坑埋置检波器的方法，坑的深度可为 20cm~30cm，以改善接收条件。

**5.4.3** 本条是对复测检查工作的规定。复测检查工作中采集的数据和得到的成果，与原采集记录和成果的一致性和重复性，是评价勘察数据和成果质量的重要依据。

**5.4.4** 本条是对采集记录文件的存储和备份作出的规定。文件夹和文件名具有代表性和条理性，有利于数据资料的管理和调用。纸质记录中的内容是资料整理、分析的重要资料。

## **5.5 采集记录质量评价**

**5.5.1~5.5.6** 是对采集记录质量评价作出的规定。现场采集记录的质量直接关系到多道瞬态面波勘察工作的成败。没有好的现场外业采集记录，后期的任何软件处理，都是没有用的。本规程第 5.5.4 条排除了坏道发生在边道上的情况，因为处理时边道可以舍去不用，只要坏道数不大于记录道数的 10%，仍可作为合格记录。

## 6 资料处理和解释

### 6.1 资料整理

**6.1.3** 本条是整理面波采集记录和地形测量记录的规定，两项工作需借助计算机和相关软件完成。

1 面波采集记录：检查记录的数据头是否正确，对错误记录头修改后另起文件名存储；检查记录质量是否合格，对合格记录中的坏道清零内插处理后另起文件名存储。

2 地形测量记录：整理测点高程数据建立面波剖面线高程文件，制作面波测点平面布置图，在有条件的场地把钻探等其他勘探点也投放到平面布置图中，有利于面波成果与岩土勘察成果的综合分析与解释。

条文中强调原始数据的重要性。

### 6.2 数据处理

**6.2.2** 面波数据处理中时间-空间域提取基阶面波是关键环节，直接关系到处理成果的正确性。

**6.2.3** 本条强调在  $f$ - $K$  域提取频散曲线的具体要求。其中在  $f$ - $K$  域即频率-波数域选取基阶面波频散曲线是关键。

**6.2.4** 本条说明利用频散曲线进行分层应掌握频散曲线的主要特征。明确强调：有效的频散曲线应该是收敛的，因为地层速度增高是有限度的，相应曲线的变化会逐渐趋于稳定。不收敛现象发生在频散曲线的下部，原因是有效低频能量不能满足穿透对应地层的需要。不收敛段的数据不是对应地层频散曲线的真实反映，不能用于计算地层速度，但不收敛曲线的起点可解释为地质界线。频散曲线的拐点、斜率及频散点的疏密变化是地层界面、地层速度的反映。

**6.2.5** 本条强调在完成频散曲线分层后，反演计算地层剪切波波速和地层厚度时需要注意的内容：

1 本条推荐反演计算剪切波波速采用固定层厚度的方式，是针对软件中反演计算有多种方式而言，由于分层是依据频散曲线的特征点，所以采取固定层厚反演计算剪切波波速可提高准确性。

2 反演计算遵循由浅及深、逐层调试，并使正、反演结果逐渐逼近，处理时设置勘探深度以下曲线的速度为高，有利于反演程序计算的需要。

3 频散曲线上某深度的面波速度不是该深度的地层速度，计算地层速度有三种选择：

1) 当地层的平均速度随深度增加而增大时，按下式计算地层速度：

$$v_{Rn} = \frac{H_n \bar{v}_{Rn} - H_{n-1} \bar{v}_{R(n-1)}}{H_n - H_{n-1}} \quad (1)$$

2) 当地层平均速度随深度增加而减小时，按下式计算地层速度：

$$v_{Rn} = \frac{H_n - H_{n-1}}{\frac{H_n}{\bar{v}_{Rn}} - \frac{H_{n-1}}{\bar{v}_{R(n-1)}}} \quad (2)$$

3) 当不考虑地层平均速度随深度变化趋势时，按下式计算地层速度：

$$v_{Rn}^2 = \frac{\bar{v}_{Rn}^2 H_n - \bar{v}_{R(n-1)}^2 H_{n-1}}{H_n - H_{n-1}} \quad (3)$$

式中： $H_n$ ——第  $n$  点深度 (m)；

$H_{n-1}$ ——第  $n-1$  点深度 (m)；

$\bar{v}_{Rn}$ ——第  $n$  点深度以上的平均面波波速 (m/s)；

$\bar{v}_{R(n-1)}$ ——第  $n-1$  点深度以上的平均面波波速 (m/s)；

$v_{Rn}$ —— $H_n \sim H_{n-1}$  深度间隔的层速度 (m/s)。

若软件有自动反演功能，可采取人机结合的方法，根据频散

曲线的特征确定分层点，由软件自动反演计算剪切波层速度。之后以频散曲线为对照依据，调整剪切波层速度使正反演结果逐渐逼近，确定处理结果。

**6.2.6** 本条是面波速度彩色剖面图的制作。对于有 3 个（含 3 个）以上面波勘探点的测线，可利用频散曲线制作面波速度彩色剖面图和制作地质分层剖面图。面波速度剖面图上相同的速度具有相同的颜色，软件具有绘制等速度剖面线功能，清晰反映面波速度在二维剖面上的分布。在制作地质分层剖面图工作中，首先应根据面波测点的测量数据，建立剖面坐标文件，对面波速度剖面图进行地形校正，然后进行地质界面的分层工作。地质界面点的确定要注意以下几点：在剖面图中选择速度相对平稳段的面波测点数据，进行速度分层和反演，然后在面波速度剖面图上根据分层结果点击相应位置点，程序自动追踪出等速度线，实现地质分层的工作。在有条件的场地结合钻探资料综合分析，有利于提高面波速度剖面图的解释精度。

### 6.3 分析解释

**6.3.1** 本条是应用面波频散数据的反演结果进行地质解释的规定。面波的传播与地震勘探中反射波的传播路径相比，后者在排列下有明确的反射点位置，而前者不是射线的路径概念，而是不同组分的面波群以其各自的波长传播，表征一定深度范围内的平均响应。采集一个排列获得的频散曲线，对水平层状介质，视为该排列长度内垂直方向地层的平均响应；对于倾斜地层，视为该排列中点至界面法线深度方向地层的平均响应。

**6.3.4** 利用面波频散曲线解释地层深度依据二分之一波长理论，频散曲线纵坐标的物理意义为波长，波长和勘探深度的关系与地质体的物理力学性质有关。因此，在有条件的工区与已知钻孔资料对比，做深度校正，提高深度解释的精度。

**6.3.7、6.3.8** 这两条列出地基动剪切模量与动弹性模量的基本计算公式。许多单位在不同地区进行了面波波速与标贯值的对比

试验，建立了本地区实用的经验公式，这是有益的工作。如果场地有波速测井资料，还可与面波反演得到的剪切波波速对比分析，有利于提高面波勘察成果的质量。

## 7 成果报告

**7.0.2** 勘察报告中有关场地的地形、地貌、地质特征和地球物理条件，重点要把工区地质特征和对应地球物理条件说清楚，二者的因果关系清楚了，报告中采用技术的合理性就清楚了。既便于了解面波方法的基本原理，也便于分析勘察成果。例如：边坡的稳定性调查，若边坡中存在软弱带则面波频散曲线一定会表现出低速。勘察报告以这一对关联为中心进行阐述、分析和结论，则会重点突出、条理清楚，结论也会明确。

本条强调编写勘察报告应符合的规定，目的是为了<sup>1</sup>提高面波勘察报告的水平。目前物探报告中较普遍存在“物探-地质两张皮”的现象，即报告中物探资料与地质成果脱节，分析缺乏针对性，结论抓不住重点。这种现象反映从事物探和检测的人员需要具有一定的岩土或地质专业知识，增强综合分析能力，提高编写成果报告的水平。

**7.0.3** 本条强调对成果报告中应附图表的要求。图表是资料整理和数据处理<sup>2</sup>的直接成果，是文字阐述的基础，也是体现勘察报告水平和质量的重要内容。