

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 50266 - 2013

工程岩体试验方法标准

Standard for test methods of engineering rock mass

2013 - 01 - 28 发布

2013 - 09 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

工程岩体试验方法标准

Standard for test methods of engineering rock mass

GB/T 50266 - 2013

主编部门:中国电力企业联合会

批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部

实行日期:2013年9月1日

中国计划出版社

2013 北京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1633 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《工程岩体试验方法标准》的公告

。现批准《工程岩体试验方法标准》为国家标准，编号为 GB/T 50266—2013，自 2013 年 9 月 1 日起实施。原国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266—1999 同时废止。

本标准由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2013 年 1 月 28 日

前 言

本标准是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标标函[2008]35号)的要求,由中国水电顾问集团成都勘测设计研究院会同有关单位对原国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266—1999进行修订而成。

本标准分为7章,包括:总则、岩块试验、岩体变形试验、岩体强度试验、岩石声波测试、岩体应力测试、岩体观测。

本次修订的主要技术内容包括:增加了岩块冻融试验、混凝土与岩体接触面直剪试验、岩体载荷试验、水压致裂法岩体应力试验、岩体表面倾斜观测、岩体渗压观测等试验项目,增加了水中称量法岩石颗粒密度试验、千分表法单轴压缩变形试验、方形承压板法岩体变形试验等试验方法。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由中国电力企业联合会负责日常管理,由中国水电顾问集团成都勘测设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国水电顾问集团成都勘测设计研究院(地址:四川省成都浣花北路1号,邮政编码:610072)。

主 编 单 位:中国水电顾问集团成都勘测设计研究院
水电水利规划设计总院
中国电力企业联合会

参 编 单 位:水利部长江水利委员会长江科学院
中国科学院武汉岩土力学研究所
同济大学

中国水利水电科学研究院
铁道科学院
煤炭科学研究总院
交通运输部公路科学研究院

主要起草人:王建洪 邬爱清 盛 谦 汤大明 胡建忠
刘怡林 曾纪全 尹健民 周火明 李海波
沈明荣 袁培进 刘艳青 贺如平 康红普
陈梦德

主要审查人:董学晟 汪 毅 翁新雄 李晓新 侯红英
张建华 刘 艳 陈文华 朱绍友 廖建军
徐志纬 何永红 杨 建 唐纯华 王永年
席福来 和再良 杨 建 贾志欣 李光煜
汪家林 张家生 胡卸文 谢松林 谷明成
赵静波

目 次

1	总 则	(1)
2	岩块试验	(2)
2.1	含水率试验	(2)
2.2	颗粒密度试验	(3)
2.3	块体密度试验	(5)
2.4	吸水性试验	(8)
2.5	膨胀性试验	(10)
2.6	耐崩解性试验	(14)
2.7	单轴抗压强度试验	(15)
2.8	冻融试验	(17)
2.9	单轴压缩变形试验	(19)
2.10	三轴压缩强度试验	(22)
2.11	抗拉强度试验	(24)
2.12	直剪试验	(25)
2.13	点荷载强度试验	(28)
3	岩体变形试验	(32)
3.1	承压板法试验	(32)
3.2	钻孔径向加压法试验	(37)
4	岩体强度试验	(41)
4.1	混凝土与岩体接触面直剪试验	(41)
4.2	岩体结构面直剪试验	(47)
4.3	岩体直剪试验	(50)
4.4	岩体载荷试验	(51)
5	岩石声波测试	(54)

5.1	岩块声波速度测试	(54)
5.2	岩体声波速度测试	(56)
6	岩体应力测试	(60)
6.1	浅孔孔壁应变法测试	(60)
6.2	浅孔孔径变形法测试	(63)
6.3	浅孔孔底应变法测试	(64)
6.4	水压致裂法测试	(66)
7	岩体观测	(70)
7.1	围岩收敛观测	(70)
7.2	钻孔轴向岩体位移观测	(72)
7.3	钻孔横向岩体位移观测	(74)
7.4	岩体表面倾斜观测	(77)
7.5	岩体渗压观测	(79)
附录 A	岩体应力参数计算	(83)
	本标准用词说明	(89)
	引用标准名录	(90)
	附:条文说明	(91)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Laboratory rock tests	(2)
2.1	Water content test	(2)
2.2	Grain density test	(3)
2.3	Bulk density test	(5)
2.4	Water absorption test	(8)
2.5	Swelling test	(10)
2.6	Slaking test	(14)
2.7	Uniaxial compressive strength test	(15)
2.8	Freezing-thawing test	(17)
2.9	Uniaxial compressive deformability test	(19)
2.10	Triaxial compressive strength test	(22)
2.11	Tensile strength test	(24)
2.12	Direct shear strength test	(25)
2.13	Point-load strength test	(28)
3	Deformability tests of rock mass	(32)
3.1	Method of bearing plate	(32)
3.2	Borehole radial loading test	(37)
4	Strength tests of rock mass	(41)
4.1	Direct shear strength test for concrete-rock contact surface	(41)
4.2	Direct shear test for discontinuities	(47)
4.3	Direct shear test for intact rock	(50)
4.4	Load test of rock mass	(51)

5	Rock sonic measurement	(54)
5.1	Sound velocity measurement of rock specimens	(54)
5.2	Sound velocity measurement of rock mass	(56)
6	Rock stress measurement	(60)
6.1	Measurement using borehole-wall strain gauge	(60)
6.2	Measurement using shallow borehole radial deformation meter	(63)
6.3	Measurement using shallow borehole-bottom strain gauge	(64)
6.4	Stress measurement by hydraulic fracturing method	(66)
7	Observations of rock mass	(70)
7.1	Observation of convergence displacement of surrounding rock mass	(70)
7.2	Observation of borehole's axial displacement of rock mass	(72)
7.3	Observation of borehole's transverse displacement of rock mass	(74)
7.4	Tiltmeter observation on rock surface	(77)
7.5	Observation of seepage pressure in rock masse	(79)
	Appendix A Parameter calculations for rock stress	(83)
	Explanation of wording in this standard	(89)
	List of quoted standards	(90)
	Addition;Explanation of provisions	(91)

条中刚性承压板法的规定。应布置板外测表。

4.4.6 载荷的施加方法应符合下列规定：

1 应采用一次逐级连续加载的方式施加载荷，直至试点岩体破坏。破坏前不应卸载。

2 在试验初期阶段，每级载荷可按预估极限载荷的 10% 施加。

3 当载荷与变形关系曲线不再呈直线，或承压板周围岩面开始出现隆起或裂缝时，应及时调整载荷等级，每级载荷可按预估极限载荷的 5% 施加。

4 当承压板上测表变形速度明显增大，或承压板周围岩面隆起或裂缝开展速度加剧时，应加密载荷等级，每级载荷可按预估极限载荷的 2%~3% 施加。

4.4.7 试验及稳定标准应符合下列规定：

1 加压前应对测表进行初始稳定读数观测，应每隔 10min 同时测读各测表一次，连续三次读数不变，可开始加载。

2 每级载荷加载后应立即读数，以后应每隔 10min 读数一次，当所有测表相邻两次读数之差与同级载荷下第一次变形读数和前一级载荷下最后一次变形读数差之比小于 5% 时认为变形稳定，可施加下一级载荷。

3 每级读数累计时间不应小于 1h。

4 承压板外岩面上的测表读数，可在板上测表读数稳定后测读一次。

4.4.8 当出现下列情况之一时，即可终止加载：

1 在本级载荷下，连续测读 2h 变形无法稳定。

2 在本级载荷下，变形急剧增加，承压板周围岩面发生明显隆起或裂缝持续发展。

3 总变形量超过承压板直径或边长的 1/12。

4 已经达到加载设备的最大出力，且已经超过比例极限的 15% 或超过预定工程压力的两倍。

4.4.9 终止加载后,载荷可分3级~5级进行卸载,每级载荷应测读测表一次。载荷完全卸除后,每隔10min应测读一次,应连续测读1h。

4.4.10 在试验过程中,应对承压板周围岩面隆起和裂隙的发生及开展情况,以及与载荷大小和时间的关系等,作详细观测、描述和记录。

4.4.11 试验结束应及时拆卸设备。在清理试验场地后,应对试点及周围岩面进行描述。描述应包括下列内容:

- 1 裂缝的产状及性质。
- 2 岩面隆起的位置及范围。
- 3 必要时进行切槽检查。

4.4.12 试验成果整理应符合下列要求:

- 1 应计算各级载荷下的岩体表面压力。
- 2 应绘制压力与板内和板外变形关系曲线。
- 3 应根据关系曲线确定各载荷阶段特征点。关系曲线中,直线段的终点对应的压力为比例界限压力;关系曲线中,符合本标准第4.4.8条中第1款至第3款情况之一对应的压力应为极限压力。

4 根据关系曲线直线段的斜率,应按本标准式(3.1.17-1)计算岩体变形参数。

4.4.13 岩体载荷试验记录应包括工程名称、试点编号、试点位置、试验方法、试点描述、承压板尺寸、压力表和千斤顶编号、测表布置及编号、各级载荷下各测表的变形。

5 岩石声波测试

5.1 岩块声波速度测试

- 5.1.1 能制成规则试件的岩石均可采用岩块声波速度测试。
- 5.1.2 岩石试件应符合本标准第 2.7.2 条至第 2.7.6 条的要求。
- 5.1.3 试件描述应符合本标准第 2.7.7 条的要求。
- 5.1.4 应包括下列主要仪器和设备：
- 1 钻石机、锯石机、磨石机、车床等。
 - 2 测量平台。
 - 3 岩石超声波参数测定仪。
 - 4 纵、横波换能器。
 - 5 测试架。
- 5.1.5 应检查仪器接头性状、仪器接线情况以及开机后仪器和换能器的工作状态。
- 5.1.6 测试应按下列步骤进行：
- 1 发射换能器的发射频率应符合下式要求：

$$f \geq \frac{2v_p}{D} \quad (5.1.6)$$

式中： f ——发射换能器发射频率(Hz)；

v_p ——岩石纵波速度(m/s)；

D ——试件的直径(m)。

2 测试纵波速度时，耦合剂可采用凡士林或黄油；测试横波速度时，耦合剂可采用铝箔、铜箔或水杨酸苯脂等固体材料。

3 对非受力状态下的直透法测试，应将试件置于测试架上，换能器应置于试件轴线的两端，并应量测两换能器中心距离。应对换能器施加约 0.05MPa 的压力，测读纵波或横波在试件中传播

时间。受力状态下的测试,宜与单轴压缩变形试验同时进行。

4 需要采用平透法测试时,应将一个发射换能器和两个(或两个以上)接收换能器置于试件的同一侧的一条直线上,应量测发射换能器中心至每一接收换能器中心的距离,并应测读纵波或横波在试件中传播时间。

5 直透法测试结束后,应测定声波在不同长度的标准有机玻璃棒中的传播时间,应绘制时距曲线,以确定仪器系统的零延时。也可将发射、接收换能器对接测读零延时。

6 使用切变振动模式的横波换能器时,收、发换能器的振动方向应一致。

5.1.7 距离应准确至 1mm,时间应准确至 0.1 μ s。

5.1.8 测试成果整理应符合下列要求:

1 岩石纵波速度、横波速度应分别按下列公式计算:

$$v_p = \frac{L}{t_p - t_0} \quad (5.1.8-1)$$

$$v_s = \frac{L}{t_s - t_0} \quad (5.1.8-2)$$

$$v_p = \frac{L_2 - L_1}{t_{p2} - t_{p1}} \quad (5.1.8-3)$$

$$v_s = \frac{L_2 - L_1}{t_{s2} - t_{s1}} \quad (5.1.8-4)$$

式中: v_p ——纵波速度(m/s);

v_s ——横波速度(m/s);

L ——发射、接收换能器中心间的距离(m);

t_p ——直透法纵波的传播时间(s);

t_s ——直透法横波的传播时间(s);

t_0 ——仪器系统的零延时(s);

$L_1(L_2)$ ——平透法发射换能器至第一(二)个接收换能器两中心的距离(m);

$t_{p1}(t_{s1})$ ——平透法发射换能器至第一个接收换能器纵(横)波的

传播时间(s);

$t_{p2}(t_{s2})$ ——平透法发射换能器至第二个接收换能器纵(横)波的传播时间(s)。

2 岩石各种动弹性参数应分别按下列公式计算:

$$E_d = \rho v_p^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \times 10^{-3} \quad (5.1.8-5)$$

$$E_d = 2\rho v_s^2(1+\mu) \times 10^{-3} \quad (5.1.8-6)$$

$$\mu_d = \frac{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (5.1.8-7)$$

$$G_d = \rho v_s^2 \times 10^{-3} \quad (5.1.8-8)$$

$$\lambda_d = \rho(v_p^2 - 2v_s^2) \times 10^{-3} \quad (5.1.8-9)$$

$$K_d = \rho \frac{3v_p^2 - 4v_s^2}{3} \times 10^{-3} \quad (5.1.8-10)$$

式中: E_d ——岩石动弹性模量(MPa);

μ_d ——岩石动泊松比;

G_d ——岩石动刚性模量或动剪切模量(MPa);

λ_d ——岩石动拉梅系数(MPa);

K_d ——岩石动体积模量(MPa);

ρ ——岩石密度(g/cm^3)。

3 计算值应取三位有效数字。

5.1.9 岩石声波速度测试记录应包括工程名称、取样位置、试件编号、试件描述、试件尺寸、测试方法、换能器间的距离、声波传播时间、仪器系统零延时。

5.2 岩体声波速度测试

5.2.1 各类岩体均可采用岩体声波速度测试。

5.2.2 测点布置应符合下列要求:

1 测点可选择在洞室、钻孔、风钻孔或地表露头。

2 测线应根据岩体特性布置:当测点岩性为各向同性时,测线应按直线布置;当测点岩性为各向异性时,测线应分别按平行或垂直岩体的主要结构面布置。

3 相邻两测点的距离,宜根据声波激发方式确定:当采用换能器发射声波时,测距宜为 1m~3m;当采用锤击法激发声波时,测距不应小于 3m;当采用电火花激发声波时,测距宜为 10m~30m。

4 单孔测试时,源距宜为 0.3m~0.5m,换能器每次移动距离不宜小于 0.2m。

5 在钻孔或风钻孔中进行孔间穿透测试时,两换能器每次移动距离宜为 0.2m~1.0m。

5.2.3 测点地质描述应包括下列内容:

1 岩石名称、颜色、矿物成分、结构、构造、风化程度、胶结物性质等。

2 岩体结构面的产状、宽度、粗糙程度、充填物性质、延伸情况等。

3 层理、节理、裂隙的延伸方向与测线关系。

4 测线、测点平面地质图、展示图及剖面图。

5 钻孔柱状图。

5.2.4 应包括下列主要仪器和设备:

1 岩体声波参数测定仪。

2 孔中发射、接收换能器。

3 一发双收单孔测试换能器。

4 弯曲式接收换能器。

5 夹心式发射换能器。

6 干孔测试设备。

7 声波激发锤。

8 电火花振源。

9 仰孔注水设备。

10 测孔换能器扶位器。

5.2.5 岩体表面平透法测试准备应符合下列规定：

1 测点表面应大致修凿平整,对各测点应进行编号。

2 应擦净测点表面,将换能器放置在测点上,并应压紧换能器。在试点和换能器之间,应有耦合剂。纵波换能器可涂 1mm~2mm 厚的凡士林或黄油作为耦合剂,横波换能器可采用多层铝箔或铜箔作为耦合剂。

3 应量测发射换能器或锤击点与接收换能器之间的距离,测距相对误差应小于 1%。

5.2.6 钻孔或风钻孔中岩体测试准备应符合下列要求：

1 钻孔或风钻孔应冲洗干净,孔内应注满水,并应对各孔进行编号。

2 进行孔间穿透测试时,应量测两孔口中心点的距离,测距相对误差应小于 1%。当两孔轴线不平行时,应量测钻孔或风钻孔轴线的倾角和方位角,计算不同深度处两测点的距离。

3 进行单孔平透折射波法测试采用一发双收时,应安装扶位器。

4 对向上倾的斜孔,应采取供水、止水措施。

5 根据需要可采用干孔测试。

5.2.7 仪器和设备安装应符合下列要求：

1 应检查仪器接头性状、仪器接线情况及开机后仪器和换能器的工作状态。在洞室中进行测试时,应注意仪器防潮。

2 采用换能器发射声波时,应将仪器置于内同步工作方式。

3 采用锤击或电火花振源激发声波时,应将仪器置于外同步方式。

5.2.8 测试应按下列步骤进行：

1 可将荧光屏上的光标(游标)关门讯号调整到纵波或横波初至位置,应测读声波传播时间,或利用自动关门装置测读声波传播时间。

2 每一对测点应读数 3 次,最大读数之差不宜大于 3%。

3 测试结束,应采用绘制岩体的,或者水的、空气的时距曲线方法,确定仪器系统的零延时。采用发射换能器发射声波时,也可采用有机玻璃棒或换能器对接方式确定仪器系统的零延时。

4 测试时,应保持测试环境处于安静状态,应避免钻探、爆破、车辆等干扰。

5.2.9 测试成果整理应符合下列要求:

1 岩体声波测试参数计算应符合本标准第 5.1.8 条的要求。

2 应绘制沿测线或孔深与波速关系曲线。必要时,可列入动弹性参数关系曲线。

3 岩体完整性指数应按下列式计算:

$$K_v = \left(\frac{v_{pm}}{v_{pr}} \right)^2 \quad (5.2.9)$$

式中: K_v ——岩体完整性指数,精确至 0.01;

v_{pm} ——岩体纵波速度(m/s);

v_{pr} ——岩块纵波速度(m/s)。

5.2.10 岩体声波速度测试记录应包括工程名称、测点编号、测点位置、测试方法、测点描述、测点布置、测点间距、传播时间、仪器系统零延时。

6 岩体应力测试

6.1 浅孔孔壁应变法测试

6.1.1 完整和较完整岩体可采用浅孔孔壁应变法测试,测试深度不宜大于 30m。

6.1.2 测点布置应符合下列要求:

- 1 在同一测段内,岩性应均一、完整。
- 2 同一测段内,有效测点不应少于 2 个。

6.1.3 地质描述应包括下列内容:

- 1 钻孔钻进过程中的情况。
- 2 岩石名称、结构、构造及主要矿物成分。
- 3 岩体结构面的类型、产状、宽度、充填物性质。
- 4 测区的岩体应力现象。
- 5 区域地质图、测区工程地质图、测点工程地质剖面图和钻孔柱状图。

6.1.4 应包括下列主要仪器和设备:

- 1 浅孔孔壁应变计或空心包体式孔壁应变计。
- 2 钻机。
- 3 金刚石钻头包括小孔径钻头、套钻解除钻头、扩孔器、磨平钻头和锥形钻头。各类钻头规格应与应变计配套。
- 4 静态电阻应变仪。
- 5 安装器。
- 6 岩心围压率定器。
- 7 钻孔烘烤设备。

6.1.5 测试准备应符合下列要求:

- 1 应根据测试要求,选择适当场地,安装并固定好钻机,并应

按预定的方位角和倾角进行钻进。

2 应用套钻解除钻头钻至预定的测试深度,并应取出岩心,进行描述。

3 应用磨平钻头磨平孔底,并应用锥形钻头打喇叭口。

4 应用小孔径钻头钻中心测试孔,深度应视应变计要求长度而定。中心测试孔应与解除孔同轴,两孔孔轴允许偏差不应大于2mm。

5 中心测试孔钻进过程中,应施力均匀并一次完成,取出岩心进行描述。当孔壁不光滑时,应采用金刚石扩孔器扩孔;当岩心不能满足测试要求时,应重复本条第2款~第4款步骤,直至找到完整岩心位置。

6 应用水冲洗中心测试孔直至回水不含岩粉为止。

7 应根据所选类型的孔壁应变计和黏结剂要求,对中心测试孔孔壁进行干燥处理或清洗。

6.1.6 浅孔孔壁应变计安装应符合下列要求:

1 在中心测试孔孔壁和应变计上应均匀涂上黏结剂。

2 应用安装器将应变计送入中心测试孔,就位定向,施加并保持一定的预压力,应使应变计牢固地黏结在孔壁上。

3 待黏结剂充分固化后,应取出安装器,记录测点方位角、倾角及埋设深度。

4 应检查系统绝缘值,不应小于50M Ω 。

6.1.7 空心包体式孔壁应变计安装应符合下列要求:

1 应在应变计内腔的胶管内注满黏结剂胶液。

2 应用安装器将应变计送入中心测试孔,就位定向。应推动安装杆,切断定位销钉,挤出黏结剂。

3 其他应符合本标准第6.1.6条中第3款、第4款的规定。

6.1.8 测试及稳定标准应符合下列规定:

1 应从钻具中引出应变计电缆,连接电阻应变仪。

2 向钻孔内冲水,应每隔10min读数一次,连续三次读数相

差不大于 $5\mu\epsilon$ 时,即认为稳定,应将最后一次读数作为初始读数。

3 用套钻解除钻头在匀压匀速条件下,应进行连续套钻解除,可按每钻进 2cm 读数一次。也可按每钻进 2cm 停钻后读数一次。

4 套钻解除深度应超过孔底应力集中影响区。当解除至一定深度后,应变计读数趋于稳定,可终止钻进。最终解除深度,即应变计中应变丛位置至解除孔孔底深度,不应小于解除岩心外径的 2.0 倍。

5 向钻孔内继续充水,应每隔 10min 读数一次,连续三次读数相差不大于 $5\mu\epsilon$ 时,可认为稳定,应取最后一次读数作为最终读数。

6 在套钻解除过程中,当发现异常情况时,应及时停钻检查,进行处理并记录。

7 应检查系统绝缘值。退出钻具,应取出装有应变计的岩心,进行描述。

6.1.9 岩心围压试验应按下列步骤进行:

1 现场测试结束后,应将解除后带有应变计的岩心放入岩心围压率定器中,进行围压试验。其间隔时间,不宜超过 24h。

2 应将应变计电缆与电阻应变仪连接,对岩心施加围压。率定的最大压力宜大于预估的岩体最大主应力,或根据围岩率定器的设计压力确定。压力宜分为 5 级~10 级,宜按最大压力等分施加。

3 采用大循环加压时,每级压力下应读数一次,两相邻循环的最大压力读数不超过 $5\mu\epsilon$ 时,可终止试验,但大循环的次数不应少于 3 次。

4 采用一次逐级加压时,每级压力下应读取稳定读数,每隔 5min 读数一次,连续两次读数相差不大于 $5\mu\epsilon$ 时,即认为稳定,可施加下一级压力。

6.1.10 测试成果整理应符合下列要求:

- 1 应根据岩心解除应变值和解除深度,绘制解除过程曲线。
 - 2 应根据围压试验资料,绘制压力与应变关系曲线,并应计算岩石弹性模量。
 - 3 应按本标准附录 A 的规定计算岩体应力参数。
- 6.1.11 孔壁应变法测试记录应包括工程名称、钻孔编号、钻孔位置、孔口高程、测点编号、测点位置、测试方法、地质描述、相应于解除深度的各应变片应变值、各应变片及应变丛布置、钻孔轴向方位角和倾角、围压试验资料。

6.2 浅孔孔径变形法测试

- 6.2.1 完整和较完整岩体可采用浅孔孔径变形法测试,测试深度不宜大于 30m。
- 6.2.2 测点布置应符合下列要求:
- 1 当测试岩体空间应力状态时,应布置交会于岩体某点的三个测试孔,两个辅助测试孔与主测试孔夹角宜为 45° ,三个测试孔宜在同一平面内。测点宜布置在交会点附近。
 - 2 其他应符合本标准第 6.1.2 条的要求。
- 6.2.3 地质描述应符合本标准第 6.1.3 条的规定。
- 6.2.4 应包括下列主要仪器和设备:
- 1 四分向钢环式孔径变形计。
 - 2 其他应符合本标准第 6.1.4 条中第 2 款至第 6 款的规定。
- 6.2.5 测试准备应符合本标准第 6.1.5 条中第 1 款至第 6 款的要求。
- 6.2.6 孔径变形计安装应符合下列规定:
- 1 应根据中心测试孔直径调整触头长度,孔径变形计应变钢环的预压缩量宜为 0.2mm~0.6mm。应将孔径变形计与应变仪连接,应装上定位器后用安装器将变形计送入中心测试孔内。在将孔径变形计送入中心测试孔的同时,应观测应变仪的读数变化情况。

2 将孔径变形计送至预定位置后,应适当锤击安装杆端部,使孔径变形计锥体楔入中心测试孔内,与孔口紧密接触。

3 应退出安装器,记录测点方位角及深度。

4 检查系统绝缘值,不应小于 50MΩ。

6.2.7 测试及稳定标准应符合本标准第 6.1.8 条的规定。

6.2.8 岩心围压试验应按本标准第 6.1.9 条规定的步骤进行。

6.2.9 测试成果整理应符合下列要求:

1 各级解除深度的相对孔径变形应按下式计算:

$$\epsilon_i = K \frac{\epsilon_{ni} - \epsilon_0}{d} \quad (6.2.9)$$

式中: ϵ_i ——各级解除深度的相对孔径变形;

ϵ_{ni} ——各级解除深度的应变仪读数;

ϵ_0 ——初始读数;

K ——测量元件率定系数(mm);

d ——中心测试钻孔直径(mm)。

2 应根据套钻解除时应变仪读数计算的相对孔径变形和解除深度,绘制解除过程曲线。

3 应根据围压试验资料,绘制压力与孔径变形关系曲线,计算岩石弹性模量。

4 应按本标准附录 A 的规定计算岩体应力参数。

6.2.10 孔径变形法测试记录应包括工程名称、钻孔编号、钻孔位置、孔口标高、测点编号、测点位置、测试方法、地质描述、相应于解除深度的各应变片应变值、孔径变形计触头布置、钻孔轴向方位角和倾角、中心测试孔直径、各元件率定系数、围压试验资料。

6.3 浅孔孔底应变法测试

6.3.1 完整和较完整岩体可采用浅孔孔底应变法测试,测试深度不宜大于 30m。

6.3.2 测点布置应符合本标准第 6.2.2 条的要求。

- 6.3.3 地质描述应符合本标准第 6.1.3 条的规定。
- 6.3.4 应包括下列主要仪器和设备：
- 1 孔底应变计。
 - 2 其他应符合本标准第 6.1.4 条的第 2 款至第 7 款的规定。
- 6.3.5 测试准备应符合下列要求：
- 1 应根据测试要求,选择适当场地,安装并固定好钻机,按预定的方位角和倾角进行钻进。
 - 2 应用套钻解除钻头钻至预定的测试深度,取出岩心,进行描述。当不能满足测试要求时,应继续钻进,直至找到合适位置。
 - 3 应用粗磨钻头将孔底磨平,再用细磨钻头进行精磨。孔底应平整光滑。
 - 4 应根据所选类型的孔底应变计和黏结剂要求,对孔底进行干燥处理或清洗。
- 6.3.6 应变计安装应符合下列规定：
- 1 在孔底平面和孔底应变计底面应分别均匀涂上黏结剂。
 - 2 应用安装器将应变计送至孔底中央部位,经定向定位后对应变计施加一定的预压力,并使应变计牢固地黏结在孔底上。
 - 3 应待黏结剂充分固化后,取出安装器,应记录测点方位角及埋设深度。
 - 4 检查系统绝缘值,不应小于 $50M\Omega$ 。
- 6.3.7 测试及稳定标准应符合下列规定：
- 1 读取初始读数时,钻孔内冲水时间不宜少于 30min。
 - 2 应每解除 1cm 读数一次。
 - 3 最终解除深度不应小于解除岩心直径的 0.8。
 - 4 其他应符合本标准第 6.1.8 条的规定。
- 6.3.8 岩心围压试验应按本标准第 6.1.9 条规定的步骤进行。试验时应变计应位于围压器中间,另一端应接装直径和岩性相同的岩心。
- 6.3.9 测试成果整理应符合下列要求：

- 1 应根据岩心解除应变值和解除深度,绘制解除过程曲线。
 - 2 应根据围压试验资料,绘制压力与应变关系曲线,计算岩石弹性模量。
 - 3 应按本标准附录 A 的规定计算岩体应力参数。
- 6.3.10** 孔底应变计测试记录应包括工程名称、钻孔编号、钻孔位置、孔口标高、测点编号、测点位置、测试方法、地质描述、相应于解除深度的各应变片应变值、各应变片位置、钻孔轴向方位角和倾角、围压试验资料。

6.4 水压致裂法测试

- 6.4.1** 完整和较完整岩体可采用水压致裂法测试。
- 6.4.2** 测点布置应符合下列规定:
- 1 测点的加压段长度应大于测试孔直径的 6.0 倍。加压段的岩性应均一、完整。
 - 2 加压段与封隔段岩体的透水率不宜大于 1Lu。
 - 3 应根据钻孔岩心柱状图或钻孔电视选择测点。同一测试孔内测点的数量,应根据地形地质条件、岩心变化、测试孔孔深而定。两测点间距宜大于 3m。
- 6.4.3** 地质描述应包括下列内容:
- 1 测试钻孔的透水性指标。
 - 2 测试钻孔地下水位。
 - 3 其他应符合本标准第 6.1.3 条的要求。
- 6.4.4** 应包括下列主要仪器和设备:
- 1 钻机。
 - 2 高压大流量水泵。
 - 3 联结管路。
 - 4 封隔器。
 - 5 压力表和压力传感器。
 - 6 流量计和流量传感器。

7 函数记录仪。

8 印模器或钻孔电视。

6.4.5 测试准备应符合下列规定：

1 应根据测试要求，在选定部位按预定的方位角和倾角进行钻孔。测试孔孔径应满足封隔器要求，孔壁应光滑，孔深宜超过预定测试部位 10m。测试孔应进行压水试验。

2 测试孔应全孔取心，每一回次应进行冲孔，终孔时孔底沉淀不宜超过 0.5m。应量测岩体内稳定地下水位。

3 对联结管路应进行密封性能试验，试验压力不应小于 15MPa，或为预估破裂压力的 1.5 倍。

6.4.6 仪器安装应符合下列要求：

1 加压系统宜采用双回路加压，分别向封隔器和加压段施加压力。

2 应按仪器使用要求，将两个封隔器按加压段要求的距离串接，并应用联结管路通过压力表与水泵相连。

3 加压段应用联结管路通过流量计、压力表与水泵相连，在管路中接入压力传感器与流量传感器，并应接入函数记录仪。

4 应将组装后的封隔器用安装器送入测试孔预定测点的加压段，对封隔器进行充水加压，使封隔器座封与测试孔孔壁紧密接触，形成充水加压孔段。施加的压力应小于预估的测试岩体破裂缝的重张压力。

6.4.7 测试及稳定标准应符合下列规定：

1 打开函数记录仪，应同时记录压力与时间关系曲线和流量与时间关系曲线。

2 应对加压段进行充水加压，按预估的压力稳定地升压，加压时间不宜少于 1min，加压时应观察关系曲线的变化。岩体的破裂压力值应在压力上升至曲线出现拐点、压力突然下降、流量急剧上升时读取。

3 瞬时关闭压力值应在关闭水泵、压力下降并趋于稳定时

读取。

4 应打开水泵阀门进行卸压退零。

5 应按本条第2款至第4款继续进行加压、卸压循环,此时的峰值压力即为岩体的重张压力。循环次数不宜少于3次。

6 测试结束后,应将封隔器内压力退至零,在测试孔内移动封隔器,应按本条第2款~第5款进行下一测点的测试。测试应自孔底向孔口逐点进行。

7 全孔测试结束后,应从测试孔中取出封隔器,用印模器或钻孔电视记录加压段岩体裂缝的长度和方向。裂缝的方向应为最大平面主应力的方向。

6.4.8 测试成果整理应符合下列要求:

1 应根据压力与时间关系曲线和流量与时间关系曲线确定各循环特征点参数。

2 岩体钻孔横截面上岩体平面最小主应力应分别按下列公式计算:

$$S_h = p_s \quad (6.4.8-1)$$

$$S_H = 3S_h - p_b - p_0 + \sigma_t \quad (6.4.8-2)$$

$$S_H = 3p_s - p_r - p_0 \quad (6.4.8-3)$$

式中: S_h ——钻孔横截面上岩体平面最小主应力(MPa);

S_H ——钻孔横截面上岩体平面最大主应力(MPa);

σ_t ——岩体抗拉强度(MPa);

p_s ——瞬时关闭压力(MPa);

p_r ——重张压力(MPa);

p_b ——破裂压力(MPa);

p_0 ——岩体孔隙水压力(MPa)。

3 钻孔横截面上岩体平面最大主应力计算时,应视岩性和测试情况选择式(6.4.8-2)或式(6.4.8-3)之一进行计算。

4 应根据印模器或钻孔电视记录,绘制裂缝形状、长度图,并应据此确定岩体平面最大主应力方向。

5 当压力传感器与测点有高程差时,岩体应力应叠加静水压力。岩体孔隙水压力可采用岩体内稳定地下水位在测点处的静水压力。

6 应绘制岩体应力与测试深度关系曲线。

6.4.9 水力致裂法测试记录应包括工程名称、钻孔编号、钻孔位置、孔口高程、钻孔轴向方位角和倾角、测点编号、测点位置、测试方法、地质描述、压力与时间关系曲线、流量与时间关系曲线、最大主应力方向。

7 岩体观测

7.1 围岩收敛观测

7.1.1 各类岩体均可采用围岩收敛观测。

7.1.2 观测布置应符合下列规定：

1 应根据地质条件、围岩应力、施工方法、断面形式、支护形式及围岩的时间和空间效应等因素，按一定的间距选择观测断面和测点位置。

2 观测断面间距宜大于2倍洞径。

3 初测观测断面宜靠近开挖掌子面，距离不宜大于1.0m。

4 基线的数量和方向，应根据围岩的变形条件及洞室的形状和大小确定。

7.1.3 地质描述应包括下列内容：

1 观测段的岩石名称、结构构造、岩层产状及主要矿物成分。

2 岩体结构面的类型、产状、宽度及充填物性质。

3 地下洞室开挖过程中岩体应力特征。

4 水文地质条件。

5 观测断面地质剖面图和观测段地质展视图。

7.1.4 应包括下列主要仪器和设备：

1 卷尺式收敛计。

2 测桩及保护装置。

3 温度计。

7.1.5 测点安装应符合下列要求：

1 应清除测点埋设处的松动岩石。

2 应用钻孔工具在选定的测点处垂直洞壁钻孔，并将测桩固定在孔内。测桩端头宜位于岩体表面，不宜出露过长。

3 测点应设保护装置。

7.1.6 观测准备应包括下列内容：

- 1 对于同一工程部位进行收敛观测,应使用同一收敛计。
- 2 需要对收敛计进行更换时,应重新建立基准值。
- 3 收敛计应在观测前进行标定。

7.1.7 观测应按下列步骤进行：

- 1 应将测桩端头擦拭干净。
- 2 应将收敛计两端分别固定在基线两端测桩的端头上,并按基线长度固定尺长。钢尺不应受扭。
- 3 应根据基线长度确定的收敛计恒定张力,调节张力装置,读取观测值,然后松开张力装置。
- 4 每次观测应重复测读3次,3次观测读数的最大差值不应大于收敛计的精度范围。应取3次读数的平均值作为观测读数,第1次观测读数值应作为观测基准值。
- 5 应量测环境温度。
- 6 观测时间间隔应根据观测目的、工程需要和围岩收敛情况确定。
- 7 应记录工程施工或运行情况。

7.1.8 观测成果整理应符合下列要求：

- 1 应根据仪器使用要求,计算基线观测长度。
- 2 经温度修正的实际收敛值应按下列式计算：

$$\Delta L_i = L_0 - [L_i + \alpha L_0 (T_i - T_0)] \quad (7.1.8)$$

式中: ΔL_i ——实际收敛值(mm);

L_0 ——基线基准长度(mm);

L_i ——基线观测长度(mm);

α ——收敛计系统温度线胀系数(1/°C);

T_i ——收敛计观测时的环境温度(°C);

T_0 ——收敛计第一次读数时的环境温度(°C)。

- 3 应绘制收敛值与时间关系曲线、收敛值与开挖空间变化关

7.2.4 应包括下列主要仪器设备：

- 1 钻孔设备。
- 2 杆式轴向位移计。
- 3 读数仪。
- 4 安装器。
- 5 灌浆设备。

7.2.5 观测准备应符合下列规定：

- 1 在预定部位应按要求的孔径、方向和深度钻孔。孔口松动岩石应清除干净，孔口应平整。
- 2 应清洗钻孔，检查钻孔通畅程度。
- 3 应根据钻孔岩心柱状图和观测要求，确定测点位置和选择锚头类型。

7.2.6 仪器安装应符合下列要求：

- 1 应根据位移计的安装要求，进行位移计安装。应按确定的测点位置，由孔底向孔口逐点安装各测点，最后安装孔口装置。并联式位移计安装时，应防止各测点间传递位移的连接杆相互干扰。
- 2 应根据锚头类型和安装要求，逐点固定锚头。当使用灌浆锚头时，应预置灌浆管和排气管。
- 3 安装位移传感器时应对传感器和观测电缆进行编号。调整每个测点的初始读数，当采用灌浆锚头时，应在浆液充分固化后进行。
- 4 需要设置集线箱时，位移传感器通过观测电缆应按编号接入集成箱。
- 5 孔口、观测电缆、集线箱应设保护装置。
- 6 仪器安装情况应进行记录。

7.2.7 观测应按下列步骤进行：

- 1 应在连接读数仪后进行观测。
- 2 每个测点宜重复测读 3 次，3 次读数的最大差值不应大于读数仪的精度范围。应取 3 次读数的平均值作为观测读数值，第

1 次观测读数值应作为观测基准值。

3 观测时间间隔应根据观测目的、工程需要和岩体位移情况确定。

4 应记录工程施工或运行情况。

7.2.8 观测成果整理应符合下列要求：

1 应计算各测点位移。

2 应绘制测点位移与时间关系曲线。

3 应绘制观测孔位移与孔深关系曲线。

4 应绘制观测断面上,各观测孔的位移与孔深关系曲线。

5 应选择典型观测孔,绘制各测点位移与开挖面距离变化的关系曲线。

7.2.9 钻孔轴向岩体位移观测记录应包括工程名称、观测断面和观测孔及测点的位置与编号、地质描述、仪器安装记录、读数仪编号、传感器编号、观测时间、观测读数、工程施工或运行情况。

7.3 钻孔横向岩体位移观测

7.3.1 各类岩体均可采用铅垂向钻孔进行钻孔横向岩体位移观测。

7.3.2 观测布置应符合下列要求：

1 观测断面及断面上观测孔的数量,应根据工程规模、工程特点和地质条件确定。

2 观测断面方向宜与预计的岩体最大位移方向或倾斜方向一致。

3 观测孔应根据地质条件和岩体受力状态布置在最有可能产生滑移、倾斜或对工程施工及运行安全影响最大的部位。

4 观测孔的深度宜超过预计最深滑移带或倾斜岩体底部 5m。

7.3.3 地质描述应包括下列内容：

1 观测区段的岩石名称、岩性及地质分层。

2 岩体结构面的类型、产状、宽度及充填物性质。

3 观测孔钻孔柱状图、观测区段地质纵横剖面图和观测区段平面地质图。

7.3.4 应包括下列主要仪器和设备：

- 1 钻孔设备。
- 2 伺服加速度计式滑动测斜仪。
- 3 模拟测头。
- 4 测斜管和管接头。
- 5 安装设备。
- 6 灌浆设备。
- 7 测扭仪。

7.3.5 观测准备应符合下列要求：

- 1 应在预定部位按要求的孔径和深度进行铅垂向钻孔。观测孔孔径宜大于测斜管外径 50mm。
- 2 应清洗钻孔，检查钻孔通畅程度。
- 3 应进行全孔取心，绘制钻孔柱状图，并应记录钻进过程中的情况。

7.3.6 测斜管安装应符合下列要求：

- 1 应按要求长度将测斜管进行逐节预接，打好铆钉孔，在对接处作好对准标记并编号，底部测斜管应进行密封。对接处导槽应对准，铆钉孔应避开导槽。
- 2 应按测斜管的对准标记和编号逐节对接、固定和密封后，逐节吊入观测孔内，直至将测斜管全部下入观测孔内。
- 3 应调整导槽方向，其中一对导槽方向宜与预计的岩体位移或倾斜方向一致。用模拟测头检查导槽畅通无阻后，将测斜管就位锁紧。
- 4 应在测斜管内灌注洁净水，必要时施加压重。
- 5 应封闭测斜管管口，并应将灌浆管沿测斜管外侧下入孔内至孔底以上 1m 处，进行灌浆。待浆液从孔口溢出，溢出的浆液与

灌入浆液相同时,边灌浆边取出灌浆管。浆液应按要求配制。

6 灌浆结束后,孔口应设保护装置。

7 测斜管安装情况应进行记录。

7.3.7 观测应按下列步骤进行:

1 应待浆液充分固化后,量测测斜管导槽方位。

2 应用模拟测头检查测斜管导槽通畅程度。必要时,应用测扭仪测导槽的扭曲度。

3 使测斜仪处于工作状态,应将测头导轮插入测斜管导槽,缓慢地下至孔底,由孔底自下而上进行连续观测,并应记录测点观测读数和测点深度。测读完成后,应将测头旋转 180° 插入同一对导槽内,并按上述步骤再测读1次,测点深度应与第1次相同。

4 测读完一对导槽后,应将测头旋转 90° ,并按本条第3款步骤测另一对导槽两个方向的观测读数。

5 每次观测时,应保持测点在同一深度上。同一深度一对导槽正反两次观测读数的误差应满足仪器精度要求,取两次读数的平均值作为观测读数。

6 应取第1次的观测读数值作为观测基准值。也可在浆液固化后,按一定的时间间隔进行观测,取其读数稳定值作为观测基准值。

7 当读数有异常时,应及时补测,或分析原因后采取相应措施。

8 观测时间间隔,应根据工程需要和岩体位移情况确定。

9 应记录工程施工或运行情况。

7.3.8 观测成果整理应符合下列要求:

1 应根据仪器要求,计算各测点位移和累积位移。

2 应绘制位移与深度关系曲线,并附钻孔柱状图。

3 应绘制各观测时间的位移与深度关系曲线。

4 对有明显位移的部位,应绘制该深度的位移与时间关系曲线。

5 应根据需要,计算测点的位移矢量及其方位角,绘制位移矢量与深度关系曲线,以及方位角与深度关系曲线、测区位移矢量平面分布图。

7.3.9 钻孔横向岩体位移观测记录应包括工程名称、观测区和观测断面位置和编号、观测孔位置和编号、测点位置和编号、导槽方向、地质描述、测斜管安装记录、测斜仪编号、观测时间、观测读数、工程施工或运行情况。

7.4 岩体表面倾斜观测

7.4.1 各类岩体均可采用岩体表面倾斜观测。

7.4.2 观测布置应符合下列要求:

1 观测范围、测点的位置和数量应根据工程规模、工程特点和地质条件确定。

2 测点应布置在能反映岩体整体倾斜趋势的部位。

3 测点宜直接布置在岩体表面。当条件无法满足时,也可采用浇筑混凝土墩与岩体连接。

4 需要设置参照基准测点时,应布置在受扰动岩体范围外的稳定岩体上。

5 测点应设置在方便观测的位置,并有观测通道。

7.4.3 地质描述应包括下列内容:

1 岩石名称、结构、主要矿物成分。

2 岩体主要结构面类型、产状、宽度、充填物性质。

3 岩体风化程度及范围。

4 观测区工程地质平面图。

7.4.4 应包括下列主要仪器和设备:

1 倾角计。

2 读数仪。

3 基准板。

7.4.5 测点安装应符合下列规定:

1 基准板宜水平向布置。

2 应在预定的测点部位,清理出 50cm×50cm 的新鲜岩面,清洗后用水泥浆或黏结胶按预计最大倾斜方向将基准板固定在岩面上。

3 根据岩体的风化程度或完整性,可采用锚杆将岩体连成一体,或开挖一定深度后,先设置锚杆再浇筑混凝土墩。混凝土墩断面尺寸宜为 50cm×50cm,并应高出岩体表面约 20cm,按本条第 1 款要求固定基准板。

4 根据需要,基准板也可任意向布置。采用任意向布置时,应按本条第 2 款要求固定基准板。

5 基准板应设保护装置。水泥浆和混凝土应进行养护。

6 测点安装情况应进行记录。

7.4.6 观测应按下列步骤进行:

1 应擦净基准板表面和倾角计底面,应按基准板上要求的方向将倾角计安装在基准板上后进行测读,记录观测读数。

2 每次观测应重复测读 3 次,3 次观测读数的最大差值不应大于读数仪的允许误差,取 3 次读数的平均值作为观测读数值。

3 应将倾角计旋转 180°进行安装,并按本条第 1 款、第 2 款步骤测读倾角计旋转 180°后的观测读数值。

4 应将倾角计旋转 90°,并按本条第 1 款至第 3 款步骤测读另一方向的观测读数值。

5 应取第一次的一组观测读数值作为观测基准值。

6 参照基准测点应在同一观测时间内进行测读。

7 观测时间间隔应根据工程需要和岩体位移情况确定。

8 应记录工程施工或运行情况。

7.4.7 观测成果整理应符合下列要求:

1 应根据观测读数值和倾角计给定的关系式,计算两个方向的角位移。

2 根据需要,可计算最大角位移及其方向。

3 应绘制角位移和时间关系曲线。根据需要,可绘制观测区平面矢量图。

7.4.8 岩体表面倾斜观测记录应包括工程名称、观测区和观测点位置和编号、观测方向、地质描述、测角计编号、读数仪编号、观测时间、观测读数、工程施工或运行情况。

7.5 岩体渗压观测

7.5.1 各类岩体均可采用岩体渗压观测。

7.5.2 观测布置应符合下列要求:

1 应根据工程区的工程地质和水文地质条件、工程采取的防渗和排水措施选择观测断面和测点位置。

2 观测断面应选择在断面渗压分布变化较大部位,断面方向宜平行渗流方向。

3 测点应布置在渗压坡降大的部位、防渗或排水设施上下游、相对隔水层两侧、不同渗透介质的接触面、可能产生渗透稳定破坏的部位、工程需要观测的部位。

4 应利用已有的孔、井、地下水出露点布置测点。

5 应根据不同的观测目的、岩体结构条件、岩体渗流特性及仪器埋设条件,选用测压管或渗压计进行观测。对于重要部位,宜采用不同类型仪器进行平行观测。

7.5.3 地质描述应包括下列内容:

1 岩石名称、结构、主要矿物成分。

2 观测孔钻孔柱状图,并附钻孔透水性指标。

3 观测区工程地质、水文地质图。

7.5.4 应包括下列主要仪器和设备:

1 钻孔设备。

2 灌浆设备。

3 测压管:由进水管和导管组成。

4 水位计或测绳。

5 压力表。

6 渗压计。

7 读数仪。

7.5.5 测压管安装应符合下列规定：

1 应在预定部位按要求的孔径、方向和深度钻孔，清洗钻孔。钻孔方向除有专门要求外，宜选择铅垂向。

2 钻孔应进行全孔取心，绘制钻孔柱状图。对需要布置测点的孔段，应进行压水试验。

3 应根据钻孔柱状图、压水试验成果、工程要求确定测点位置和观测段长度。

4 应根据测点位置，计算导管和进水管长度。用于点压力观测的进水管长度不宜大于 0.5m。进水管底部应预留 0.5m 长的沉淀管段。

5 应在钻孔底部填入约 0.3m 厚的中砾石层。

6 将测压管的进水管和导管依次连接放入孔内，顶部宜高出地面 1.0m。连接处应密封，孔口应保护。必要时，进水管应设置反滤层。

7 应在测压管和孔壁间隙中填入中砾石至进水管顶部，再填入 1.0m 厚的中细砂，上部充填水泥砂浆或水泥膨润土浆至孔口。

8 当全孔处于完整和较完整岩体中时，可不安装测压管，应安装管口装置。

9 需要进行分层观测渗压时，可采用一孔多管式，应在各进水管间采用封闭隔离措施。

10 当测压管水平向安装时，钻孔宜向下倾斜，倾角约 3° 。

11 仪器安装情况应进行记录。

7.5.6 渗压计安装应符合下列要求：

1 应按本标准第 7.5.5 条中第 1 款至第 3 款要求进行钻孔并确定测点位置。测点观测段长不应小于 1.0m。

2 应向孔内填入中粗砂至渗压计埋设位置，厚度不应小于

0.4m。应将装有经预饱和和渗压计的细砂包置于砂层顶部,引出观测电缆。渗压计在埋设前和定位后,应检查渗压计使用状态。

3 应填入中砂至观测段顶部,再填入厚 1.0m 的细砂,上部充填水泥砂浆或膨润土至孔口。

4 在干孔中填砂后,加水使砂层达到饱和。

5 分层观测渗压时,可在一个钻孔内埋设多个渗压计,应对渗压计和观测电缆进行编号。应在各观测段间采取封闭隔离措施。

6 观测点压力时,观测段长度不应大于 0.5m。

7 进行岩体和混凝土接触面渗压观测时,应在岩体测点部位表面,选择有透水裂隙通过处挖槽,先铺设中粗砂,放入装有经预饱和和渗压计的细砂包,引出观测电缆,用水泥砂浆封闭。

8 需要设置集线箱时,渗压计应通过观测电缆按编号接入集线箱。应量测观测电缆长度。

9 观测电缆、集线箱应设保护装置。

10 仪器安装情况应进行记录。

7.5.7 观测应按下列步骤进行:

1 无压测压管水位可采用测绳或水位计观测,观测读数应准确至 0.01m。

2 有压测压管应在管口安装压力表,应读取压力表值,并应估读至 0.1 格。如水位变化缓慢,开始阶段可采用本条第 1 款方法观测,当水位溢出管口时,再安装压力表。当压力长期低于压力表量程的 1/3,或压力超过压力表量程的 2/3 时,应更换压力表。

3 渗压计每次观测读数不应少于 2 次,当相邻 2 次读数不大于读数仪允许误差时,应取 2 次读数平均值作为观测读数值。

4 测压管和渗压计观测时间间隔应根据工程需要和渗压变化情况确定。

5 应记录工程施工或运行情况。

7.5.8 观测成果整理应符合下列要求:

(1) 由于“残余抗剪强度”在岩石力学领域中,至今概念尚不明确,试验要求“试件剪断后,应继续施加剪切载荷,直至测出趋于稳定的剪切载荷值为止”,这对取得准确的抗剪(摩擦)值有利。

(2) 本标准规定直剪试验应进行抗剪断试验,建议进行抗剪(摩擦)试验,并提出相应的抗剪断峰值和抗剪(摩擦)强度参数。对于单点法试验仍继续积累资料,以利今后修改标准时使用。

4.1.20 本条规定了试验成果整理的要求,并进行下述说明:

(1) 作用于剪切面上的总剪切载荷是施加的剪切载荷与滚轴排摩阻力之差。斜推法计算法向应力时,总斜向剪切载荷中不包括滚轴排的摩阻力。

(2) 鉴于在剪应力与剪切位移关系曲线上确定比例极限和屈服极限的方法,至今尚未统一,有一定的随意性,本标准要求提供抗剪断峰值强度参数。

(3) 抗剪值一般采用抗剪稳定值。出现峰值说明剪切面未被全部剪断,或出现新的剪断面。

4.2 岩体结构面直剪试验

4.2.3 本标准推荐方形(或矩形)试件。对于高倾角结构面,首先考虑加工方形试件,在加工方形试件确有困难而需采用楔形试件时,注意在试验过程中保持法向应力为常数。对于倾斜的结构面试件,在试件加工过程中或安装法向加载系统时,易发生位移,可以采用预留岩柱或支撑的方法固定试件,在施加法向载荷后予以去除。

4.2.12 对于具有一定厚度黏性土充填的结构面,为能在试验中施加较大的法向应力而不致挤出夹泥,可以适当加大剪切面面积。对于膨胀性较大的夹泥,可以采用预锚法。

4.3 岩体直剪试验

4.3.1 对于完整坚硬的岩体,一般采用室内三轴试验。

4.3.3 剪切缝的宽度为推力方向试件边长的5%，能够满足一般岩体的要求，也可根据岩体的不均一性，作适当调整。

4.3.10 试验过程中及时记录试件中的声响和试件周围裂缝开展情况，以供成果整理时参考。

4.3.12 岩体的强度参数一般离散性较大。在试验中，可以根据设备和岩性条件，适当加大剪切面上的最大法向应力，或增加试件的数量，以取得可靠的强度参数值。

4.4 岩体载荷试验

4.4.1 岩体载荷试验的主要目的是确定岩体的承载力。

4.4.7 由于塑性变形有一个时间积累过程，本标准规定“每级读数累计时间不小于1h”。

4.4.8 本标准确定终止试验有4种情况。第3种情况为岩体发生过的变形(承压板直径的1/12)，属于限制变形的正常使用极限状态。第4种情况为由于岩体承载力的不确定性，限于加载设备的最大出力条件，加载达不到极限载荷，这时的试验载荷若已达到岩体设计压力的2倍或超过岩体比例界限载荷的15%，试验仍有效，否则重新选择出力更大的加载设备再进行试验。

5 岩石声波测试

5.1 岩块声波速度测试

5.1.1 岩块声波速度测试是测定声波的纵、横波在试件中传播的时间,据此计算声波在岩块中的传播速度及岩块的动弹性参数。

5.1.2 本测试试件采用单轴抗压强度试验的试件,这是为了便于建立各指标间的相互关系。如只进行岩块声波速度测试,也可采用其他型式试件。

5.1.6 对换能器施加一定的压力,挤出多余的耦合剂或压紧耦合剂,是为了使换能器和岩体接触良好,减少对测试成果的影响。

5.1.9 本条说明同本标准第 2.3.10 条的说明。

5.2 岩体声波速度测试

5.2.1 岩体声波速度测试是利用电脉冲、电火花、锤击等方式激发声波,测试声波在岩体中的传播时间,据此计算声波在岩体中的传播速度及岩体的动弹性参数。

5.2.8 在测试过程中,横波可按下列方法判定:

(1)在岩体介质中,横波与纵波传播时间之比约为 1.7。

(2)接收到的纵波频率大于横波频率。

(3)横波的振幅比纵波的振幅大。

(4)采用锤击法时,改变锤击的方向或采用换能器时,改变发射电压的极性,此时接收到的纵波相位不变,横波的相位改变 180° 。

(5)反复调整仪器放大器的增益和衰减挡,在荧光屏上可见到

6 岩体应力测试

6.1 浅孔孔壁应变法测试

6.1.1 孔壁应变法测试采用孔壁应变计,即在钻孔孔壁粘贴电阻应变片,量测套钻解除后钻孔孔壁的岩石应变,按弹性理论建立的应变与应力之间的关系式,求出岩体内该点的空间应力参数。为防止应变计引出电缆在钻杆内被绞断,要求测试深度不大于30m。

6.1.2 如需测试原岩应力时,测点深度需超过应力扰动影响区。在地下洞室中进行测试时,测点深度一般超过洞室直径(或相应尺寸)的2倍。

6.1.3 由于工程区域构造应力场、岩体特性及边界条件等对应力测试成果有直接影响,因此需收集上述有关资料。

6.1.4 本次修订增加了空心包体式孔壁应变计,此类应变计已在工程中被广泛应用,由于岩石应变通过黏结剂和包体传递至电阻应变片,因此在对实测资料进行计算时,需引入电阻应变片并非直接粘贴在钻孔岩壁上的修正系数。修正系数一般由空心包体厂商提供。

要求各类钻头规格与应变计配套是为了减少中心测试孔安装应变计的误差,以及套钻解除后的岩心满足弹性理论中厚壁圆筒的条件。

6.1.5 由于黏结技术的进步,对于有水钻孔可以采用适用于水下黏结的黏结剂。当采用一般黏结剂时,适用在无水孔内进行测试,同时对孔壁进行干燥处理后再涂黏结剂。

6.1.8 最小套钻解除深度需超过孔底应力集中影响区,这一深度大致相当于测孔内粘贴应变计应变丛部位至解除孔孔底的距离达到解除岩心外径的1/2。为保证成果的可靠性,本次修订将解除

深度定为 2.0 倍。

为保证测试成果的可靠性,一个测段需布置若干个测点进行测试,并保证有 2 个测点为有效测点,各测点尽量靠拢。

关于套钻解除过程中分级读数方法,原标准制订时有分级停钻测读和连续钻进分级测读两种方法,根据当时设备条件和测试技术水平,选择分级停钻测读。本次修订改为匀压匀速连续钻进分级测读,主要考虑:钻孔技术进步;电阻应变仪已具备自动量测和记录功能;分级读数目的是为了绘制解除曲线,两种方法均能满足;连续钻进可避免再次钻进发生冲击载荷。

6.1.9 解除后的岩心如不能在 24h 内进行围压加载试验,立即对其包封,防止干燥。在进行围压试验时,不允许移动测试元件位置,以保证测试成果的准确性。

6.1.10 岩石弹性模量和泊松比也可以参考室内岩块试验成果。

6.2 浅孔孔径变形法测试

6.2.1 孔径变形法测试采用孔径变形计,即在钻孔内埋设孔径变形计,量测套钻解除后钻孔孔径的变形,经换算成孔径应变后,按弹性理论建立的应变和应力之间的关系式,求出岩体内该点的平面应力参数。要求测试深度不大于 30m。

6.2.2 测求岩体内某点的空间应力状态,本标准推荐前交会法,成果符合实际情况。当受条件限制时,也可采用后交会法,但需说明。

6.2.6 将变形计送入中心测试孔后,应变钢环的预压缩量控制在 0.2mm~0.6mm 范围内,否则需取出变形计,更换适当长度的触头重新安装。根据以往工程实测经验,在该预压范围内,一般可以满足套钻解除全过程中孔径的变化。

6.2.7 本条说明同第 6.1.8 条说明。

6.2.8 本条说明同第 6.1.10 条说明。

6.2.9 根据式(6.2.9)计算结果是中心测试孔的相对孔径变形,

为与其他测试统一,以及应力测试的习惯和计算方便,本次修订仍用应变符号 ϵ 表示。

6.3 浅孔孔底应变法测试

6.3.1 孔底应变计测试采用孔底应变计,即在钻孔孔底平面粘贴电阻应变片,量测套钻解除后钻孔孔底的岩石平面应变,按弹性理论建立的应变与应力之间的关系式,求出岩体内该点的平面应力参数。要求测试深度不大于 30m。

6.3.2 测求岩体内某点的空间应力状态,本标准推荐前交会法,成果符合实际情况。当受条件限制时,也可采用后交会法,但需说明。

6.3.5 清洁剂一般采用丙酮,清洗后采用风吹干或用红外线光源进行烘烤。

6.3.6 根据有关研究,在钻孔孔底平面中央 $2/3$ 直径范围内,应力分布较为均匀,因此要求将孔底应变计内电阻片的位置准确粘贴在该范围以内。

6.3.7 解除深度在超过解除岩心直径的 0.5 以后,基本上开始不受孔底应力集中的影响,本标准确定为岩心直径的 0.8。此外,可以考虑岩心围压率定器要求的岩心长度,予以适当加长。

6.3.9 本条说明同第 6.1.10 条说明。

6.4 水压致裂法测试

6.4.1 水压致裂法测试是采用两个长约 1m 串接起来可膨胀的橡胶封隔器阻塞钻孔,形成一封闭的加压段(长约 1m),对加压段加压直致孔壁岩体产生张拉破裂,根据破裂压力等压力参数按弹性理论公式计算岩体应力参数。

本测试假定岩体为均匀和各向同性的线弹性体,岩体为非渗透性的,并假设岩体中有一个主应力分量与钻孔轴线平行。

采用水压致裂法测试岩体应力这一方法,已被广泛应用于深

部岩体应力测试,1987年被国际岩石力学学会实验室和现场试验标准化委员会列为推荐方法,本次修订将此方法列入本标准。

6.4.2 本测试利用高压水直接作用于钻孔孔壁,要求岩石渗透性等级为微透水或极微透水,本标准要求岩体透水率不宜大于 1Lu。

6.4.4 高压大流量水泵按岩体应力量级和岩性进行选择,一般采用最大压力为 40MPa,流量不小于 8L/min 的水泵。当流量不够时,可以采用两台并联。

6.4.8 水压致裂法测试一般在铅垂向钻孔内进行,求得随孔深岩体应力参数的变化规律,作为建筑物布置的依据。需要进行空间应力状态测试时,可以参考有关的技术文献进行。

7 岩体观测

7.1 围岩收敛观测

7.1.1 围岩收敛观测是采用收敛计量测地下洞室围岩表面两点之间在连线(基线)方向上的相对位移,即收敛值。本观测也可用于岩体表面两点间距变化的观测。

7.1.2 本条规定了观测断面和观测点布置的基本原则:

(1)当地质条件、地下洞室尺寸和形状、施工方法已确定时,围岩位移主要受空间和时间两种因素影响。围岩位移存在“空间效应”和“时间效应”,这两种效应是围岩稳定状态的重要标志,可用来判断围岩稳定性、推算位移速度和最终位移值,确定支护合理时机。

(2)根据工程经验,在一般情况下,当开挖掌子面距观测断面1.5倍~2.0倍洞径后,“空间效应”基本消除。观测断面距掌子面1.0倍洞径时,位移释放量约为总量的10%~20%,距离掌子面越远,释放量越大,因此要求测点埋设尽量接近掌子面。

(3)原标准要求断面距掌子面不宜超过0.5m,在实施过程中不易控制,本次修订改为不大于1.0m。

7.1.4 本观测推荐卷尺式收敛计,采用其他形式收敛计,可以参照本标准进行。

7.1.7 本条规定了观测步骤和观测过程中注意的问题:

(1)收敛计根据不同的尺长采用不同的恒定张力,是为了减少尺的曲率和保持曲率的相对一致,以减小观测误差。恒定张力的大小视基线长度参照收敛计的使用要求确定。

(2)观测时间间隔当观测断面距掌子面在2倍洞径范围内时,每次开挖前后需观测1次。在2倍洞径范围外时,观测时间间隔

一般按收敛位移变化情况而定。

7.1.8 原标准只列出温度修正值的计算公式。本次修订后的公式,适用于任何型式收敛计的计算。

采用收敛计观测的围岩位移是两测点位移之和,可以通过近似分配计算求得各测点的位移,选择计算方法的假设需接近洞室条件。

7.2 钻孔轴向岩体位移观测

7.2.1 钻孔轴向岩体位移观测是通过位移计量测不同深度孔壁岩体沿钻孔轴线方向的位移。本标准推荐并联式或串联式采用金属杆传递位移的多点位移计。当采用其他形式位移计时,可参照本标准。

观测深度过大,将影响位移传递精度。本标准要求测试深度不宜大于60m。

7.2.4 位移观测一般采用位移传感器和读数仪进行,当位移量大且观测方便时,也可采用百分表直接读数。

锚头种类较多,适用于各类岩体和施工条件,一般按使用经验选择。

7.3 钻孔横向岩体位移观测

7.3.1 钻孔横向岩体位移观测是采用伺服加速度式滑动测斜仪量测孔壁岩体不同深度与钻孔轴线垂直的位移。本观测按单向伺服加速度计式滑动侧斜仪编写,采用双向、三向或其他型式仪器时,可参照本标准进行。

7.3.2 超过滑移带一定深度是为保证有可靠的基准点,一般根据岩性的滑移带性质确定。当地表配合其他观测方法可以确定位移量和位移方向时,基准点也可设置在地表。

7.3.6 对于软岩或破碎岩体,也可采用砂充填间隙。在预计的位移突变段,一般采用填砂方法,以防止侧斜管发生剪断。

7.4 岩体表面倾斜观测

7.4.1 岩体表面倾斜观测是采用倾角计量测岩体表面倾斜角位移,本标准推荐便携式倾角计。由于倾角观测已被应用于工程中,且方法简便可行,本次修订增列此方法。

7.4.5 测点安装需保证测点与岩体之间不产生相对位移,并能准确反映被测岩体的位移情况。选择测点时,首先考虑基准板直接置于岩体表面,当条件不许可时,采用本条第2款的方法。

7.5 岩体渗压观测

7.5.1 岩体渗压观测是通过埋设的测压管或渗压计量测岩体内地下水的渗透压力值。岩体渗压观测是较成熟的观测方法,本次修订增列本方法。

7.5.2 本条根据岩土工程的特点确定布置原则,目的是观测建筑物的防渗或排水效果、堤坝坝基和软弱夹带下扬压力观测、边坡滑动面地下水压力观测、混凝土构筑物的静水压力观测。

7.5.4 测压管坚固耐用、观测方便、经济,但观测值具有一定的滞后性,适用在地下水较丰富部位使用。渗压计对地下水压力反应较为敏感,对工程中需要及时反映地下水压力变化部位、岩体渗透性很小的部位,以及不宜埋设测压管的部位采用渗压计。

压力表和渗压计的量程按预估的地下水最大压力选用,渗压计需有足够的富裕度。

A.3.2 计算系数 λ 适用于一般的孔底应变计,也可根据试验或建立的数学模型确定计算系数。

A.4 空间主应力参数计算

A.4.1 空间主应力计算应符合下列规定:

1 空间主应力应分别按下列公式计算:

$$\sigma_1 = 2\sqrt{-\frac{P}{3}}\cos\frac{\omega}{3} + \frac{1}{3}J_1 \quad (\text{A.4.1-1})$$

$$\sigma_2 = 2\sqrt{-\frac{P}{3}}\cos\frac{\omega+2\pi}{3} + \frac{1}{3}J_1 \quad (\text{A.4.1-2})$$

$$\sigma_3 = 2\sqrt{-\frac{P}{3}}\cos\frac{\omega+4\pi}{3} + \frac{1}{3}J_1 \quad (\text{A.4.1-3})$$

$$\omega = \arccos\left[-\frac{Q}{2\sqrt{-\left(\frac{P}{3}\right)^3}}\right] \quad (\text{A.4.1-4})$$

$$P = -\frac{1}{3}J_1^2 + J_2 \quad (\text{A.4.1-5})$$

$$Q = -2\left(\frac{J_1}{3}\right)^3 + \frac{1}{3}J_1J_2 - J_3 \quad (\text{A.4.1-6})$$

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (\text{A.4.1-7})$$

$$J_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 \quad (\text{A.4.1-8})$$

$$J_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 - 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} \quad (\text{A.4.1-9})$$

式中: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——岩体空间主应力(MPa);

$\omega, P, Q, J_1, J_2, J_3$ ——为简化应力计算公式而设置的计算代号。

2 各主应力对于大地坐标系各轴的方向余弦应分别按下列公式计算:

$$l_i = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (\text{A.4.1-10})$$

$$m_i = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (\text{A.4.1-11})$$

$$n_i = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (\text{A. 4. 1-12})$$

$$A = \tau_{xy}\tau_{yz} - (\sigma_y - \sigma_i)\tau_{zx} \quad (\text{A. 4. 1-13})$$

$$B = \tau_{xy}\tau_{zx} - (\sigma_x - \sigma_i)\tau_{yz} \quad (\text{A. 4. 1-14})$$

$$C = (\sigma_x - \sigma_i)(\sigma_y - \sigma_i) - \tau_{xy}^2 \quad (\text{A. 4. 1-15})$$

式中： l_i, m_i, n_i ——各主应力对于大地坐标系各轴的方向余弦(°)；

A, B, C ——为简化方向余弦计算公式而设置的计算代号。

3 各主应力方向应分别按下列公式计算：

$$\alpha_i = \arcsin n_i \quad (\text{A. 4. 1-16})$$

$$\beta_i = \beta_0 - \arcsin \frac{m_i}{\sqrt{1 - n_i^2}} \quad (\text{A. 4. 1-17})$$

式中： α_i ——主应力 σ_i 的倾角(°)；

β_0 ——大地坐标系 X 轴方位角(°)；

β_i ——主应力 σ_i 在水平面上投影线的方位角(°)。

A. 4. 2 按式(A. 2. 2)进行平面应力分量解时,平面主应力参数计算应符合下列规定：

1 平面主应力应分别按下列公式计算：

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}[(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}] \quad (\text{A. 4. 2-1})$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}[(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}] \quad (\text{A. 4. 2-2})$$

式中： σ_1, σ_2 ——岩体平面主应力(MPa)。

2 主应力方向应按下列公式计算：

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (\text{A. 4. 2-3})$$

式中： α —— σ_1 与 X 轴夹角(°)。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对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”。

引用标准名录

《土工试验方法标准》GB/T 50123