

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 35102—2017

代替 DL/T 5354—2006

水电工程钻孔土工原位测试规程

Specification for Soil Test in Situ in Borehole of
Hydropower Projects

2017 - 11 - 15 发布

2018 - 03 - 01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水电工程钻孔土工原位测试规程

Specification for Soil Test in Situ in Borehole of
Hydropower Projects

NB/T 35102—2017

代替 DL/T 5354—2006

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2 0 1 8 年 3 月 1 日

2018 北 京

国家能源局 公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等204项行业标准，其中能源标准（NB）62项、电力标准（DL）86项、石油标准（SY）56项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2017 年 11 月 15 日

NB/T 35102—2017

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
36	NB/T 35102— 2017	水电工程钻孔土工 原位测试规程	DL/T 5354— 2006		2017 - 11 - 15	2018 - 03 - 01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2014〕298 号）的要求，规程修订组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程的主要技术内容是：十字板剪切试验、标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验、旁压试验及波速测试。

本规程修订的主要技术内容是：

——增加了试验稳定标准和读数要求，对试验值的取用方法和计算值的精度要求作了规定；

——增加了十字板剪切试验中剪切强度和标准贯入试验中锤击数随深度变化关系曲线绘制要求；

——增加了静力触探试验孔压探头应变腔饱和的规定；

——增加了旁压试验旁压模量计算泊松比取值的规定；

——增加了波速测试测前仪器检查、设备系统延时校正的规定；

——增加了附录 A：钻孔土工原位测试方法选择；

——修改统一了测试前的钻孔、护壁、孔底清理、仪器设备安装等准备工作；

——修改了十字板测头压入土中的静置时间；

——修改了标准贯入器的靴端壁厚；

——修改了旁压试验的试验对象适用范围、钻孔工序及不排水剪切强度计算公式；

——修改了波速测试检波器的谐振频率和计时器的精度；

——删除了十字板剪切试验十字板测头基本参数表中的面积比及有关较硬夹层内容；

NB/T 35102—2017

——删除了波速测试的面波法内容。

本规程由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规程主编单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

本规程参编单位：中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

本规程主要起草人员：陈建国 曾正宾 敖大华 王国滢

李小泉 张 胜 李 辉 郑 星

李裕忠 徐志伟 王昌虎 徐 亮

本规程主要审查人员：杨 建 陈卫东 王文远 李文纲

米应中 刘 昌 王 波 李来芳

宫海灵 汪明元 金忠良 李春林

欧阳海宁 张伯骥 钱东宏 李海芳

朴 苓 李仕胜

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 基本规定 3

4 十字板剪切试验 4

5 标准贯入试验 8

6 静力触探试验..... 10

7 动力触探试验..... 16

8 旁压试验..... 21

9 波速测试..... 27

附录 A 钻孔土工原位测试方法选择 33

本规程用词说明 34

引用标准名录 35

附：条文说明 37

NB/T 35102—2017

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirement	3
4	Vane Shear Test	4
5	Standard Penetration Test	8
6	Cone Penetration Test	10
7	Dynamic Penetration Test	16
8	Pressuremeter Test	21
9	Wave Velocity Test	27
Appendix A Choice of Soil Test Methods in Situ		
	in borehole	33
Explanation of Wording in This Specification		34
List of Quoted Standards		35
Addition: Explanation of Provisions		37

1 总 则

1.0.1 为统一水电工程钻孔土工原位测试方法和技术要求，确保测试成果的质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水电工程钻孔土工原位测试。

1.0.3 水电工程钻孔土工原位测试，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

2.0.1 十字板剪切试验 vane shear test

用插入土中的标准十字板探头，以一定速率扭转，量测土破坏时的抵抗力矩，测定土的不排水剪切强度。

2.0.2 标准贯入试验 standard penetration test

用质量为 63.5kg 的穿心锤，以 76cm 的落高，将标准规格的贯入器，自钻孔底部预打 15cm，记录再打入 30cm 的锤击数，判定土的力学特性。

2.0.3 静力触探试验 cone penetration test

用静力匀速将标准规格的探头压入土中，同时量测探头阻力，测定土的力学特性。

2.0.4 孔压静力触探试验 piezocone penetration test

除静力触探原有功能外，在探头上附加孔隙水压力测量装置，用于量测孔隙水压力增长与消散。

2.0.5 动力触探试验 dynamic penetration test

用一定质量的重锤，以一定高度的自由落高，将标准规格的圆锥形探头贯入土中，根据打入土中一定距离所需的锤击数，判定土的力学特性。

2.0.6 旁压试验 pressuremeter test

用可侧向膨胀的旁压器，对钻孔孔壁周围的土体施加径向压力并量测孔壁土体径向变形，根据压力和变形关系，计算土体的强度和变形参数。

3 基本规定

3.0.1 钻孔土工原位测试方法应根据测试目的、工程部位的基本要求，并结合土层性状进行选择，钻孔土工原位测试方法选择宜符合本规程附录 A 的规定。

3.0.2 分析钻孔土工原位测试成果时，应考虑仪器设备、测试方法、测试条件、土层分布等对测试的影响。

3.0.3 配合钻孔土工原位测试需进行室内和现场土工试验时，试验应符合现行行业标准《水电水利工程土工试验规程》DL/T 5355、《水电水利工程粗粒土试验规程》DL/T 5356 的有关规定。

3.0.4 测试土层的工程分类定名应符合现行行业标准《水电水利工程土工试验规程》DL/T 5355 的有关规定。

3.0.5 钻孔土工原位测试仪器和设备应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定。

3.0.6 钻孔土工原位测试的钻孔应采用回转钻进，配合测试用的钻探设备和钻孔，应符合现行行业标准《水电水利工程钻探规程》DL/T 5013、《水电水利岩土工程施工及岩体测试造孔规程》DL/T 5125 的有关规定。

4 十字板剪切试验

4.0.1 饱和软黏土剪切强度可采用本试验方法测试。

4.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 十字板测头基本参数应符合表 4.0.2 的规定。

表 4.0.2 十字板测头基本参数

十 字 板 测 头						扭力量测装置	
板宽 (mm)	板高 (mm)	板厚 (mm)	刃角 (°)	轴杆		量程 (N·m)	准确度
				直径 (mm)	长度 (mm)		
50	100	2	60	13	50	0~80	1%F.S
75	150	3		14	50		

2 离合器的十字板测头和轴杆连接形式可采用离合式或牙嵌式。

3 扭力量测装置应由开口钢环、刻度盘、旋转手柄等组成。

4.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 应在预定部位进行铅垂向钻孔，当孔深距试验土层约 3 倍~5 倍孔径时停止钻进，钻孔直径应大于十字板测头宽度的 2 倍。将套管下至孔底，在孔口将套管固定，清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。

2 应依次连接安装十字板测头、离合器、轴杆、导轮、钻杆后，放入孔内至十字板测头与孔底接触。

3 接上导杆，将底座穿过导杆，通过制紧螺钉将底座固定在套管上，然后将十字板测头徐徐压至试验深度。十字板测头压入钻孔底的深度，不应小于钻孔直径的 3 倍~5 倍，第一个试点距地表不宜小于 1m。十字板测头压入土中应静置 2min~5min，

才能开始试验。

4 套上传动部件，转动底板使导杆键槽与钢环固定夹键槽对正，应用锁紧螺钉将固定套与底座锁紧，再转动手摇柄使特制键自由落入键槽，应将指针对准一整数刻度，安装百分表并调至零位或读初始读数，准确至 0.01mm。

5 试验开始，应以 $0.1^\circ/\text{s}$ 的平均转速顺时针方向转动手摇柄，每转 1° 则测记百分表读数 1 次，当读数出现峰值或稳定值后，再继续旋转测记 1min，准确至 0.01mm。

6 应根据工程需要，进行重塑土十字板剪切试验。拔出特制键，在导杆上端装上旋转手柄，应顺时针方向转动测头 6 圈，使十字板测头周围土充分扰动，取下旋转手柄，然后插上特制键，立即按本条第 5 款的步骤，测记重塑土剪切时量表稳定读数，准确至 0.01mm。

7 应拔下特制键，上提导杆 2cm~3cm，使离合齿脱离，再插上特制键，匀速转动手摇柄，测记轴杆与土摩擦时的量表稳定读数；对于牙嵌式十字板测头，应逆时针快速转动手柄 10 余圈，使轴杆与十字板测头脱离，再顺时针方向匀速转动手柄，手柄转速为 $0.1^\circ/\text{s}$ ，测记轴杆与土摩擦时的量表稳定读数，准确至 0.01mm。

8 试验完毕，应卸下转动部件和底座，在导杆孔中插入吊钩，逐节提取钻杆和十字板测头，清洗十字板测头，检查螺钉是否松动，轴杆是否弯曲。

9 当需进行下一点试验时，应按本条第 2 款~第 8 款的步骤进行。两试验点的间距不宜小于十字板板高的 5 倍。

4.0.4 试验成果整理应符合下列要求：

1 饱和软黏土剪切强度应按下列公式计算：

$$C_u = 10KC (R_y - R_g) \quad (4.0.4 - 1)$$

$$C'_u = 10KC (R' - R_g) \quad (4.0.4 - 2)$$

$$K = \frac{2L}{\pi D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)} \quad (4.0.4-3)$$

式中： C_u ——原状土不排水剪切峰值强度（kPa）；

C'_u ——重塑土不排水剪切峰值强度（kPa）；

K ——与十字板测头尺寸有关的常数（ cm^{-2} ）；

C ——钢环率定系数（N/0.01mm）；

D ——十字板测头宽度（cm）；

H ——十字板测头高度（cm）；

R_y ——原状土剪切破坏时百分表读数，无峰值读数时取稳定读数（0.01mm）；

R' ——重塑土剪切时百分表稳定读数（0.01mm）；

R_g ——轴杆和钻杆与土摩擦时百分表的稳定读数（0.01mm）；

L ——率定钢环系数时力矩盘的力臂长度（cm）。

2 饱和软黏土灵敏度应按下列公式计算：

$$S_t = \frac{C_u}{C'_u} \quad (4.0.4-4)$$

式中： S_t ——土的灵敏度。

3 当在钻孔内不同深度进行3点及以上试验，且每点试验的剪切强度有明显变化时，可以试验点深度为纵坐标，土的剪切强度为横坐标，绘制剪切强度随深度变化的关系曲线。

4 计算值应取3位有效数字。

4.0.5 十字板剪切试验的记录格式应符合表4.0.5的要求。

表 4.0.5 十字板剪切试验记录表

工程名称 _____ 孔口高程 _____ m 试验 _____
 钻孔位置 _____ 地下水位 _____ m 计算 _____
 钻孔编号 _____ 试验日期 _____ 校核 _____

十字板测头参数：十字板测头宽度 D _____ cm； 十字板测头高度 H _____ cm； 率定时力臂长度 L _____ cm； 与十字板测头尺寸有关的常数 K _____ cm^{-2} ； 试验深度 _____ m； 钢环编号 _____； 钢环率定系数 C _____ N/0.01mm					
试验时间 (s)	原状土		重塑土		轴 杆
	百分表读数 R_y (0.01mm)	剪切强度 C_u (kPa)	百分表读数 R' (0.01mm)	剪切强度 C'_u (kPa)	百分表读数 R_g (0.01mm)

5 标准贯入试验

5.0.1 细粒类土和粗粒类土中砂类土的标准贯入锤击数可采用本试验方法测试。

5.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 标准贯入仪由标准贯入器和击锤组成，基本参数应符合表 5.0.2 的规定。

表 5.0.2 标准贯入仪基本参数

贯入器							击锤	
靴净高 (mm)	对开式 圆筒长度 (mm)	内径 (mm)	靴端锥度 (°)	靴端壁厚 (mm)	外径 (mm)	质量 (kg)	落高 (cm)	锤垫直径 (mm)
50	700	35	19	1.6	51	63.5	76	100~140

2 触探杆宜采用直径为 42mm 或 50mm 的钻杆，轴线的直线度误差应小于 0.1%。

3 锤垫与导向杆两者的总质量不宜超过 30kg。

5.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 应在预定部位进行铅垂向钻孔，当孔深距试验土层约 15cm 时应停止钻进，钻孔直径应大于标准贯入器外径的 2 倍。可采用泥浆护壁，或将套管下至孔底并在孔口将套管固定，应清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。当在地下水位以下土层进行试验时，应使孔内水位保持高于地下水位。

2 应依次连接安装标准贯入器、触探杆、锤垫、导向杆、击锤后，放入孔内，孔口宜加导向器。应注意保持贯入器、触探杆、导向杆连接后的垂直度，击锤应自由垂直下落。

3 应按 15 击/min~30 击/min 的速度将贯入器打入土层

15cm 后，开始记录每打入 10cm 的锤击数，累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入锤击数。记录贯入度，准确至 0.1cm；记录试验土层深度，准确至 0.01m；记录试验情况。

4 当遇密实土层，锤击数达到 50 击，贯入度未达到 30cm 时，应终止试验，记录 50 击时的贯入度，并换算成标准贯入击数。

5 提出贯入器，将贯入器中土样取出，进行描述、记录。应将需要保存的土样进行包装、编号。

6 当需进行下一深度的贯入试验时，应按本条第 2 款～第 5 款的步骤进行，直至要求深度。

5.0.4 试验成果整理应符合下列要求：

1 换算相应于贯入 30cm 的标准贯入击数应按下式计算：

$$N = \frac{30n}{\Delta s} \quad (5.0.4)$$

式中：N——标准贯入击数；

n——所选取贯入的锤击数；

Δs ——对应锤击数 n 的实际贯入度 (cm)。

2 当在钻孔内进行 3 层及以上土层标准贯入试验时，可以试验点土层深度为纵坐标，以每 30cm 的锤击数为横坐标，绘制锤击数与试验土层深度关系曲线。

3 计算值应取 3 位有效数字。

5.0.5 标准贯入试验的记录格式应符合表 5.0.5 的要求。

表 5.0.5 标准贯入试验记录表

工程名称	_____	孔口高程	_____ m	试验	_____
钻孔位置	_____	地下水位	_____ m	计算	_____
钻孔编号	_____	试验日期	_____	校核	_____

序号	浮土厚度 (m)	试验土层深度 (m)	贯入度 Δs (cm)	锤击数 n	换算后的锤击数 N

6 静力触探试验

6.0.1 细粒类土和粗粒类土中砂类土的锥头阻力、摩擦阻力、比贯入阻力及孔隙水压力可采用本试验方法测试。

6.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 触探主机应能匀速地将探头垂直压入土中。
- 2 反力装置应根据触探主机额定贯入力选择，可采用地锚或压重。
- 3 探头按功能分为单用探头、双用探头和孔压静力探头，基本参数应符合表 6.0.2 的规定。

表 6.0.2 静力触探仪基本参数

探 头						负 荷		
投影 面积 (cm ²)	直径 (mm)	锥头 高度 (mm)	锥角 (°)	单用探头 侧壁长度 (mm)	双用探头摩 擦筒长度 (mm)	锥头额 定负荷 (kN)	摩擦筒额 定负荷 (kN)	主机额定 贯入力 (kN)
10	35.7	30.9	60	57	134	10,20, 30,40	1.5,3.0, 4.5,6.0	20,30, 60,100, 160,200
					179		2.0,4.0, 6.0,8.0	
15	43.7	37.9		70	219	15,30, 45,60	3,6, 8,12	
20	50.4	43.7		81	189	20,40, 60,80		

4 量测仪器可采用静态电阻应变仪或静力触探数字测力仪。

5 触探杆直径不应大于探头直径，轴线的直线度误差应小于 0.1%。

6 应配备深度标尺或深度转换装置。

6.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 应在预定部位进行铅垂向钻孔，当孔深距试验土层约15cm时停止钻进，钻孔直径应大于探头直径的2倍。可采用泥浆护壁，或将套管下至孔底，在孔口将套管固定，应清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。

2 平整试验场地，设置反力装置，应将触探主机对准孔位，调平机座，并紧固在反力装置上。孔口应安装导向器。

3 应根据试验要求和地层情况选择探头，将探头和触探杆连接后插入导向器内，调整垂直并紧固导向装置。探头应匀速垂直贯入土中，贯入速率为 (2 ± 0.5) cm/s。启动动力设备并调整到正常工作状态。

4 将已穿过触探杆内的传感器引线按要求接到量测仪器上，打开电源开关，预热并调试到正常工作状态。贯入前应试压探头，检查顶柱、锥头、摩擦筒等部件工作是否正常。采用自动记录仪时，应安装深度转换装置；采用电阻应变仪或数字测力仪时，应设置深度标尺。

5 孔压静力探头在安装前，应对孔压传感器透水面进行预饱和，并采取措施维持探头的饱和状态直至探头贯入地下水位以下的土层为止。

6 将探头贯入土中0.5m~1.0m，然后稍许提升，使探头传感器处于不受力状态。待探头温度与地温平衡后，将仪器调零或记录初读数，即可进行正常贯入。在深度6m内，宜按每贯入1m~2m提升探头检查温漂并调零，6m以下宜按每贯入5m~10m提升探头检查回零情况。当出现异常时，应检查原因并及时处理。

7 贯入过程中，当采用自动记录仪时，应根据贯入阻力大小合理选用供桥电压，并随时核对，校正深度记录误差，做好记录；使用电阻应变仪或数字测力仪时，宜按每隔0.1m~0.2m记录读数一次。深度记录的误差不应大于触探深度的1%。读数

准确至仪器精度。

8 当测定孔隙水压力消散时，应在预定的深度或土层停止贯入，测读孔隙水压力消散值直至稳定，根据土的透水性，稳定时间宜为 0.5h~2h。在孔压静探试验过程中不得上提探头。

9 由于人为或设备等原因使贯入停止 10min 以上时，重新贯入前应提升探头，测记零读数。

10 当贯入至预定深度、停止试验后，应及时起拔触探杆，并记录仪器的回零情况。探头拔出后，应立即清洗上油。

6.0.4 当贯入至预定深度或出现下列情况之一时，应停止贯入，结束试验：

- 1 触探主机达到额定贯入力。
- 2 探头阻力达到额定负荷。
- 3 反力装置失效。
- 4 发现触探杆弯曲已达到不能容许的程度。

6.0.5 试验成果整理应符合下列要求：

- 1 当有零点漂移时，宜在回零段内，以线性内插法进行校正，校正值等于读数值减零读数内插值。
- 2 记录深度与实际深度有误差时，应按线性内插法进行调整。
- 3 比贯入阻力、锥头阻力、侧壁摩阻力及摩阻比应按下列公式计算：

$$p_s = k_p \epsilon_p \quad (6.0.5-1)$$

$$q_c = k_q \epsilon_q \quad (6.0.5-2)$$

$$f_s = k_f \epsilon_f \quad (6.0.5-3)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100 \quad (6.0.5-4)$$

式中： p_s ——比贯入阻力(kPa)；

q_c ——锥头阻力(kPa)；

f_s ——侧壁摩阻力(kPa)；

R_f ——摩阻比(%)；

k_p —— p_s 对应的率定系数(kPa/ $\mu\epsilon$ 、kPa/mV)；

k_q —— q_c 对应的率定系数(kPa/ $\mu\epsilon$ 、kPa/mV)；

k_f —— f_s 对应的率定系数(kPa/ $\mu\epsilon$ 、kPa/mV)；

ϵ_p —— p_s 测量传感器的应变变量或输出电压($\mu\epsilon$ 、mV)；

ϵ_q —— q_c 测量传感器的应变变量或输出电压($\mu\epsilon$ 、mV)；

ϵ_f —— f_s 测量传感器的应变变量或输出电压($\mu\epsilon$ 、mV)。

4 采用单用探头时,以贯入深度为纵坐标、比贯入阻力为横坐标绘制比贯入阻力与贯入深度的关系曲线;采用双用探头时,以贯入深度为纵坐标,以锥头阻力、侧壁摩阻力、摩阻比为横坐标绘制锥头阻力、侧壁摩阻力、摩阻比与贯入深度的关系曲线。

5 计算值应取 3 位有效数字。

6.0.6 孔隙水压力试验成果整理应符合下列要求:

1 零点校正和深度校正应按本规程 6.0.5 条第 1 款和第 2 款的要求进行。

2 对于实测的初始孔隙水压力滞后很多或波动过大的数据应予以舍弃。

3 孔隙水压力、水平向固结系数、孔压消散度和静探孔压系数应按下列公式计算:

$$u_t = k_u \epsilon_u \quad (6.0.6-1)$$

$$C_{ph} = \frac{R^2}{t_{50}} T_{50} \quad (6.0.6-2)$$

$$\bar{U} = \frac{u_t - u_0}{u_i - u_0} \times 100 \quad (6.0.6-3)$$

$$B_q = \frac{u_i - u_0}{q_t - \sigma_{v0}} \quad (6.0.6-4)$$

式中: u_t ——孔压消散过程 t 时的孔隙水压力 (kPa);

C_{ph} ——估算静探水平向固结系数 (cm^2/s);

\bar{U} —— t 时孔隙水压消散度 (%);

B_q ——静探孔压系数;

k_u ——孔压探头率定系数 (kPa/ $\mu\epsilon$ 、kPa/mV)；

ϵ_u ——孔压探头传感器读数 ($\mu\epsilon$ 、mV)；

R ——探头圆锥底半径 (cm)；

T_{50} ——时间因数；

t_{50} ——孔隙水压力消散度为 50% 的经历时间 (s)；

u_0 ——试验深度处的静水压力 (kPa)；

u_i —— t 为零时的初始孔隙水压力 (kPa)；

q_t ——经孔压修正后的锥头阻力 (kPa)；

σ_{v0} ——试验深度处总上覆压力 (kPa)。

4 以贯入深度为纵坐标、初始孔隙水压力为横坐标，绘制初始孔隙水压力与贯入深度的关系曲线。可以孔压消散过程 t 时的孔隙水压力为纵坐标，以孔压消散时间为横坐标，在半对数坐标上绘制孔隙水压力与时间对数的关系曲线。

5 计算值应取 3 位有效数字。

6.0.7 静力触探试验的记录格式宜符合表 6.0.7-1 的要求，静力触探试验孔压消散的记录格式宜符合表 6.0.7-2 的要求。

表 6.0.7-1 静力触探试验记录表

工程名称 _____ 孔口高程 _____ m 试验 _____
钻孔位置 _____ 地下水位 _____ m 计算 _____
钻孔编号 _____ 试验日期 _____ 校核 _____

探头编号 _____； p_s 对应的率定系数 k_p _____； q_c 对应的率定系数 k_q _____； f_s 对应的率定系数 k_f _____； 孔压探头率定系数 k_u _____							
触探深度 (m)	比贯入阻力 p_s (锥头阻力 q_c)		侧壁摩阻力 f_s		孔隙水压 u_t		摩阻比 R_f (%)
	仪表读数 ϵ_p (ϵ_q) ($\mu\epsilon$ 、mV)	贯入阻力 p_s (q_c) (kPa)	仪表读数 ϵ_f ($\mu\epsilon$ 、mV)	贯入阻力 f_s (kPa)	仪表读数 ϵ_u ($\mu\epsilon$ 、mV)	压力 u_t (kPa)	

表 6.0.7-2 静力触探试验孔压消散记录表

工程名称_____ 孔口高程_____ m 试验_____

钻孔位置_____ 地下水位_____ m 计算_____

钻孔编号_____ 试验日期_____ 校核_____

探头编号_____； 触探深度_____ m； 孔压探头率定系数 k_u _____				
时间 (时：分：秒)	经过时间 t (s)	仪表读数 ϵ_u ($\mu\epsilon$ 、mV)	孔隙压力 u_t (kPa)	孔隙水压消散度 \bar{U} (%)

7 动力触探试验

7.0.1 动力锤击数和动贯入阻力可采用轻型动力触探、重型动力触探和超重型动力触探三种试验方法测试，选用试验方法时宜符合下列要求：

- 1 细粒类土可采用轻型动力触探试验方法。
- 2 粗粒类土宜采用重型动力触探试验方法。
- 3 巨粒类土中的卵（碎）石土应采用超重型动力触探试验方法。

7.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 动力触探仪由探头、触探杆、击锤及锤垫四部分组成，探头和击锤的基本参数应符合表 7.0.2 的规定。

表 7.0.2 动力触探仪的探头和击锤基本参数

探头							击锤	
型式	锥端 直径 (mm)	圆柱部 分长度 (mm)	渐变段 长度 (mm)	后部 直径 (mm)	后部 长度 (mm)	锥角 (°)	锤质量 (kg)	落高 (cm)
轻型	40	16	8	25	—	60	10	50
重型	74	—	90	60	85		63.5	76
超重型							120	100

2 触探杆直径应根据试验方法确定。轻型动力触探试验触探杆直径为 25mm，重型动力触探试验触探杆直径为 42mm，超重型动力触探试验触探杆直径为 50mm~60mm。轴线的直线度误差应小于 0.1%。

3 击锤的落锤方式应使用自动脱钩装置。

4 重型和超重型触探仪，锤垫与导向杆两者的总质量为 20kg~25kg，锤垫直径应小于锤径的 1/2，并大于 100mm。

7.0.3 轻型动力触探试验应按下列步骤进行：

1 应在预定部位进行铅垂向钻孔，当孔深距试验土层约 30cm 时停止钻进，钻孔直径应大于探头直径的 2 倍。可采用泥浆护壁，或将套管下至孔底并在孔口将套管固定，应清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。

2 应依次连接安装探头、触探杆、锤垫、导向杆、击锤后，放入孔内，孔口宜加导向器。每一试验土层应连续贯入，总贯入深度不宜大于 4m。

3 试验时，贯入锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min，击锤应自由垂直下落，击锤落高应为 50cm±2cm。每贯入土层中 30cm 时所需的锤击数，作为轻型动力触探贯入指标。记录一阵击的贯入度和相应的锤击数，贯入度准确至 0.1cm，记录试验深度，准确至 0.01m。最初 30cm 可不计入触探贯入指标。

4 当遇密实坚硬土层，贯入土层 30cm 时锤击数超过 100 击，或贯入土层 15cm 时锤击数超过 50 击，应停止试验。当需对下卧层继续进行试验时，应采用钻孔方式穿透密实坚硬土层后，再进行试验。

7.0.4 重型动力触探试验应按下列步骤进行：

1 在预定部位进行铅垂向钻孔，当孔深距试验土层约 30cm 时停止钻进，钻孔直径应大于探头直径的 2 倍。采用泥浆护壁，或将套管下至孔底，在孔口将套管固定，清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。

2 应依次连接安装探头、触探杆、锤垫、导向杆、击锤后，放入孔内，孔口宜加导向器。每一试验土层应连续贯入。

3 试验时，贯入锤击速率宜为 15 击/min~30 击/min，击锤应自由垂直下落，击锤落高应为 76cm±2cm。每贯入土层中

10cm 时所需的锤击数，作为重型动力触探贯入指标，记录一阵击的贯入度和相应的锤击数，贯入度准确至 0.1cm，记录试验深度，准确至 0.01m。

4 锤击时应保持触探杆的垂直，锤座距孔口的高度不宜超过 1.5m，锤击过程应防止锤击偏心、触探杆歪斜和触探杆侧向晃动。触探杆连接后的最初 5m 最大偏斜度不超过 1%，大于 5m 后的最大偏斜度不应超过 2%。每贯入 1m，触探杆转一周半，使触探能保持垂直贯入，并减少触探杆的侧壁摩阻力。贯入深度超过 10m 后，每贯入 0.2m 旋转一次。

5 触探深度不宜超过 15m，超过此深度，应考虑触探杆侧壁摩阻的影响。

6 当实测击数连续三次每贯入 10cm 大于 50 击时，即可停止试验。如需对土层继续进行试验时，应改用超重型动力触探。当超重型动力触探实测击数每贯入 10cm 小于 5 击时，不得采用超重型动力触探。

7 当钻孔孔径大于 90mm，孔深大于 3m，实测击数每贯入 10cm 大于 8 击时，可下外径小于或等于 90mm 的孔壁管，亦可用松土回填钻孔。

7.0.5 超重型动力触探试验应按下列步骤进行：

1 试验时，击锤落高应为 $100\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。触探深度不宜超过 20m，超过此深度，应考虑触探杆侧壁摩阻的影响。每贯入土层中 10cm 时所需的锤击数，作为超重型动力触探贯入指标。

2 其他步骤应按本规程 7.0.4 条进行。

7.0.6 试验成果整理应符合下列要求：

1 轻型动力触探应以每贯入 30cm 所需锤击数为贯入指标，用 N_{10} 表示；重型和超重型动力触探应以每贯入 10cm 所需锤击数为贯入指标，分别用 $N_{63.5}$ 和 N_{120} 表示。

2 当已知任一阵击的贯入度和相应的锤击数时，动力触探

贯入指标应按下列公式计算：

$$N_{10} = \frac{30}{e} \quad (7.0.6-1)$$

$$N_{63.5} = \frac{10}{e} \quad (7.0.6-2)$$

$$N_{120} = \frac{10}{e} \quad (7.0.6-3)$$

$$e = \frac{\Delta s}{n} \quad (7.0.6-4)$$

式中： N_{10} ——轻型动力触探贯入指标；

$N_{63.5}$ ——重型动力触探贯入指标；

N_{120} ——超重型动力触探贯入指标；

e ——每击的贯入度（cm）；

Δs ——一阵击的贯入度（cm）；

n ——相应的一阵击锤击数。

3 动贯入阻力应按下列公式计算：

$$q_d = \frac{M}{M+m} \times \frac{MgH}{Ae} \quad (7.0.6-5)$$

式中： q_d ——动贯入阻力（kPa）；

M ——击锤质量（kg）；

m ——触探器（包括探头、触探杆、锤垫和导向杆）质量（kg）；

g ——重力加速度（m/s²）；

H ——落高（m）；

A ——探头面积（m²）。

4 击数、每击贯入度和动贯入阻力应取 3 位有效数字。

5 宜以分层动力触探贯入指标为横坐标，触探深度为纵坐标，绘制触探贯入指标与触探深度的关系曲线。

7.0.7 动力触探试验的记录格式应符合表 7.0.7 的要求。

表 7.0.7 动力触探试验记录表

工程名称 _____ 孔口高程 _____ m 试验 _____
 钻孔位置 _____ 地下水位 _____ m 计算 _____
 钻孔编号 _____ 试验日期 _____ 校核 _____

触探型式 _____; 探杆单位质量 _____ kg/m; 锤座质量 _____ kg						
触探杆 总长 (m)	试验 深度 (m)	一阵击 锤击数 n	一阵击 贯入度 Δs (cm)	每击 贯入度 e (cm)	贯入指标 N_{10} ($N_{63.5}$ 或 N_{120})	动贯入 阻力 q_d (kPa)

8 旁压试验

8.0.1 细粒类土、粗粒类土、卵（碎）石混合土的临塑压力、极限压力、强度、旁压模量可采用本试验方法测试。

8.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 旁压仪由旁压器、加压稳压装置和变形测量装置及导管等部分组成，基本参数应符合表 8.0.2 的规定。

表 8.0.2 旁压仪基本参数

旁压器				量管			压力	
外径 (mm)	中腔 长度 (mm)	总长度 (mm)	总长度 /外径	量程 (cm ³)	截面积 (cm ²)	准确度 (%)	量程 (MPa)	准确度 (%)
44~90	200~ 250	450~ 980	4~10	0~600	13.2~ 34.5	1.5	0~6	1.0

2 旁压器为圆柱形骨架，外套有密封的弹性膜。预钻式三腔式旁压器分上、中、下三腔，中腔为测试腔，上、下腔为辅助腔，上、下腔用金属管连通，与中腔严密隔离。可在弹性膜外按需要加装一层可扩张的金属保护套（铠装保护）。

3 加压稳压装置应附有加压稳压调节阀和压力表，或使用传感器自动进行数据采集的自动记录仪，压力源宜采用压缩气体。

4 变形测量装置应由体变管和液位仪或采用传感器自动进行数据采集的自动记录仪组成。

5 导管宜为尼龙软管，连接旁压器中腔与体变管相通，连接上、下腔与辅管相通。单腔式宜采用高压复合同轴管，两端可用快速接头连接。

8.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 应在预定部位进行铅垂向钻孔，钻孔直径宜大于旁压器外径 2mm~10mm。可采用泥浆或套管护壁，在孔口将套管固定，应清除孔内残土，清孔时应避免扰动试验土层。

2 成孔后应立即进行测试，试验应在专用的孔段内进行，取过土样或进行过其他孔内试验的部位不宜进行旁压试验。

3 孔壁稳定时可一次成孔多次试验。预钻式旁压试验应与钻探配合交替完成，每钻进一段进行一次试验。旁压器应位于同一土层中，距孔底间距约为 50cm。

4 打开水箱安全盖，按旁压仪的要求进行检查并接通管路。将旁压器竖立于地面，打开水箱至量管和辅管各阀门，使水注入旁压器各腔室，并返回到量管和辅管。当量管和辅管水位升至零刻度时终止注水，应关闭注水阀。注水时，应充分排除管路系统内气泡。试验用水宜采用经排气处理的洁净水。

5 把旁压器垂直提高，直到使中腔的中点与量管零位相平，打开调零阀，当水位下降到零时，应立即关闭调零阀、量管阀和辅管阀。量测量管水面与孔口垂直距离和地下水位，准确至 1mm。

6 将旁压器放入钻孔中预定的试验深度，其深度应以中腔中点为准。旁压器放入钻孔时，应保证导管和钻杆下放的速度同步。

7 打开气源阀，调节减压阀，使气源压力降低至比所需最大试验压力大 100kPa~200kPa，然后缓慢地调节调压阀并调到所需的试验压力，打开量管阀和辅管阀施加压力。在对中腔加压的同时，应对上、下腔同步加压，上、下腔施加的压力不应高于中腔压力。

8 加压分级宜为预计最大压力的 $1/12 \sim 1/8$ ，加压分级也可按表 8.0.3 选用。试验时应保持每级压力稳定。

表 8.0.3 试验加压分级 (kPa)

土名	土 的 特 性	加 压 分 级	
		临塑压力前	临塑压力后
细粒类土、 砂类土	淤泥、淤泥质土，流塑状态的黏质土， 饱和或松散粉细砂	<15	≤ 30
细粒类土、 砂类土	软塑状态的黏质土，疏松的黄土，稍密 很湿的粉细砂，稍密的中、粗砂	15~25	30~50
细粒类土、 砂类土	可塑至硬塑状态的黏质土，一般黄土， 中密至密实很湿的粉细砂，稍密至中密的 中、粗砂	25~50	50~100
细粒类土、 砂类土	坚硬状态的黏质土，密实的中、粗砂	50~100	100~200
卵（碎）石 混合土	中密至密实的卵（碎）石土	100~150	200~300

9 各级压力下的相对稳定时间应按土的变形大小选择为 1min 或 3min，分别按 15s、30s、60s 或 1min、2min、3min 各测记量管水位一次，测记完后立即施加下一级压力，目测量管水位应估读至 0.1mm，采用传感器读数应为仪器精度。

10 当试验压力达到预计最大压力后，即可终止试验。终止试验后，应缓慢将压力退至零，2min~3min 后取出旁压器，经清洗后检查弹性膜的破损情况。当旁压器不易取出时，可采用真空泵吸取回水后再取出。

11 当需进行下一点试验时，应按本条第 4 款~第 10 款的步骤进行。两试验点间距不宜小于 1m。

8.0.4 当出现下列情况之一时，应立即终止试验：

- 1 当施加的压力达到仪器允许最大压力时。
- 2 仪器的扩张体积相当于中腔的初始固有体积时。
- 3 加压时压力无法升高或施加的压力有下降趋势时。

8.0.5 试验成果整理应符合下列要求：

- 1 作用于孔壁土体表面的压力应按下列公式计算：

$$p = p_m + p_w - p_i \quad (8.0.5-1)$$

$$p_w = 10(h_0 + h_z - h_w)\rho_w \quad (8.0.5-2)$$

式中： p ——压力（kPa）；

p_m ——压力表读数（kPa）；

p_w ——静水压力（kPa）；

p_i ——弹性膜约束力（kPa），根据中腔压力（ $p_m + p_w$ ）查校正曲线；

h_0 ——量管水面至孔口的垂直距离（m）；

h_z ——试验深度（m）；

h_w ——地下水位至旁压器中腔中心点的高度（m），当地下水位低于中心点时取值为0；

ρ_w ——水的密度（g/cm³），取数值为1。

2 土体的体变量应按下列公式计算：

$$V = SA \quad (8.0.5-3)$$

$$S = S_m - \alpha (p_m + p_w) \quad (8.0.5-4)$$

式中： V ——体变量（cm³）；

S ——校正后的量管水位下降值（cm）；

A ——量水管截面积（cm²）；

S_m ——量水管水位下降值（cm）；

α ——仪器综合变形校正系数（cm/kPa）。

3 宜以压力为横坐标，以体变量为纵坐标绘制压力与体变量的关系曲线，作为该试验深度时的旁压曲线（图 8.0.5）。

4 根据旁压曲线特征，宜将旁压曲线划分为三个阶段：压密阶段起于原点，终于直线段起点；线性变形阶段曲线段近似为直线，起于直线段始点，对应的压力为 p_{om} ，终于直线段终点，对应的压力为临塑压力 p_l ；塑性变形阶段，在压力大于临塑压力后，曲线趋向于与纵轴平行的渐近线，对应的压力为极限压力 p_l 。延长直线段与纵轴相交，通过相交点作横轴平行线，与曲线交点对应的压力为初始水平土压力 p_0 。

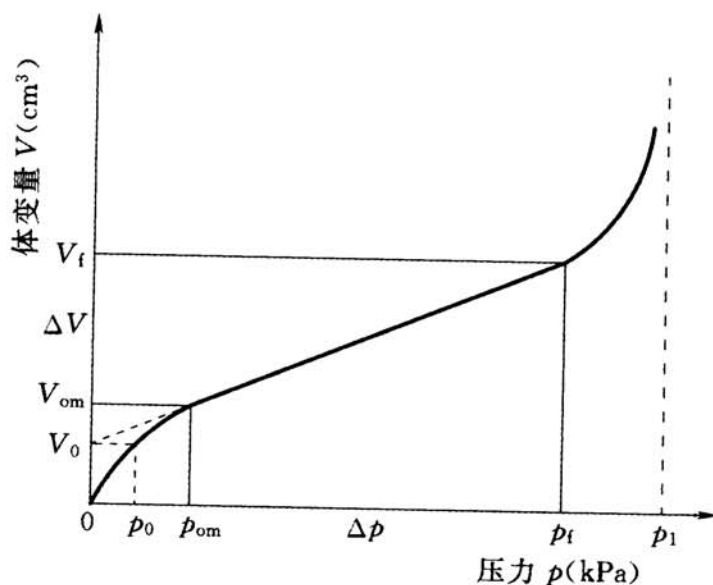


图 8.0.5 旁压曲线

5 临塑压力法地基承载力的特征值应按下式计算:

$$f_0 = p_f - p_0 \quad (8.0.5-5)$$

式中: f_0 ——地基承载力特征值 (kPa);

p_f ——临塑压力 (kPa);

p_0 ——初始水平土压力 (kPa)。

6 极限压力法地基承载力的特征值应按下式计算:

$$f_0 = \frac{p_1 - p_0}{F} \quad (8.0.5-6)$$

式中: p_1 ——极限压力 (kPa);

F ——安全系数。

7 极限压力法不排水剪切强度应按下式计算:

$$c_u = \frac{p_1 - p_0}{5.5} \quad (8.0.5-7)$$

式中： c_u ——不排水剪切强度 (kPa)。

8 静止土压力系数应按下列各式计算:

$$K_0 = \frac{p_0}{10Z\rho} \quad (8.0.5-8)$$

式中: K_0 ——静止土压力系数;

ρ ——试验点上覆土层天然密度的加权平均值 (g/cm^3);

Z ——旁压器中腔中点至地面的距离 (m)。

9 旁压模量应按下式计算：

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(V_c + \frac{V_{om} + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (8.0.5 - 9)$$

式中： E_m ——旁压模量 (kPa)；

μ ——试验段土层泊松比的经验值，卵（碎）石土取 0.15~0.27，砂土取 0.25~0.30，粉土取 0.35，粉质黏土取 0.25~0.35，黏土取 0.25~0.42；

V_c ——旁压器中腔初始体积 (cm³)；

V_{om} —— p_{om} 对应的体积增量 (cm³)；

V_f —— p_f 对应的体积增量 (cm³)；

Δp ——旁压试验曲线上直线段的压力增量 (kPa)；

ΔV ——相应于 Δp 的体积增量 (cm³)；

$\Delta p / \Delta V$ ——线性变形段的斜率 (kPa/cm³)。

10 压力、强度、旁压模量、体变量应取 3 位有效数字，静止土压力系数精确至 0.01。

8.0.6 旁压试验记录的格式宜符合表 8.0.6 的要求。

表 8.0.6 旁压试验记录表

工程名称_____		孔口高程_____ m		试验_____	
钻孔位置_____		地下水位_____ m		计算_____	
钻孔编号_____		试验日期_____		校核_____	

试验深度 h_z _____ m； 旁压器编号_____；										
量管水面至孔口距离 h_0 _____ m； 静水压力 p_w _____ kPa； 量管截面积 A _____ cm ²										
压力 p (kPa)				量管水位读数 (累计值) (cm)						体积 增量 (cm ³)
压力表 读数 p_m	中腔 压力 ($p_m + p_w$)	橡皮膜 约束力 p_i	计算值	0s (0min)	15s (1min)	30s (2min)	60s (3min)	校正 值	计算 值	

9 波 速 测 试

9.0.1 钻孔土层的压缩波、剪切波速度可采用单孔法和跨孔法测试。

9.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 单孔法测试时，压缩波振源应采用 10 磅～18 磅大锤及面积约为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的厚金属垫板，剪切波振源应采用 10 磅～18 磅大锤及长度为 $2\text{m} \sim 3\text{m}$ 的厚木板或混凝土板；跨孔法测试时，压缩波振源宜采用电火花振源，剪切波振源应采用剪切锤，电火花探头及剪切锤的连接电缆均应每 1m 标注一个深度标记。

2 检波器宜采用三分量检波器，其谐振频率为 $8\text{Hz} \sim 32\text{Hz}$ 。检波器探头防水深度应大于 100m ，探头电缆应每 1m 标注一个深度标记，且应有使探头贴壁的装置和功能。

3 接收仪器应使用多通道工程地震仪，仪器参数应符合现行行业标准《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065 及《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101 的有关规定。

4 计时触发器应性能稳定，宜采用锤击开关或感应线圈触发器计时，计时精度应为 0.1ms 。

5 钻孔测斜仪应能测量 $0^\circ \sim 30^\circ$ 倾角，倾角测量精度为 0.1° 。

9.0.3 测试前应对仪器进行系统检查，包括检查仪器的接头性状、接线情况和激振设备、检波器等开机后的工作状态，应测定系统的延时时间 t_0 值。

9.0.4 有套管时孔壁与套管之间的间隙宜采用填砂或灌浆密实。当钻孔深度超过 15m 时，应进行钻孔测斜，测斜点间距不应大于 5m 。

9.0.5 单孔法测试应按下列步骤进行：

- 1 孔径宜为 60mm~90mm。
- 2 可使用钻孔电视检查测试孔孔壁的完整情况，也可进行全孔壁成像测试。应根据钻孔地质素描和钻孔录像成果分析钻孔的土层分层情况，确定测试孔段范围。测试自下而上逐点进行，测点间距根据土层厚度确定，宜为 1m~2m。
- 3 应将三分量检波器探头的贴壁装置锁定，放入孔内预定测试点，打开贴壁控制开关使探头保持贴壁状态。深度允许偏差应为 $\pm 0.01\text{m}$ 。
- 4 测试压缩波时，应在距孔口 1m~2m 的范围内选择土层较密实、锤击操作方便的位置作激振点，应先用锤子将激振点地表锤实、找平，然后置放规定尺寸的金属锤击板，锤击板中心至孔口距离允许偏差应为 $\pm 0.01\text{m}$ 。测试时，应在板上进行垂直向下锤击，以产生压缩地震波，用检波器接收压缩波，压缩波信号应波形完整、初至清晰。
- 5 测试剪切波时，应在距孔口 2m~3m 的范围内选择土层较密实、加载和锤击操作方便的位置作激振点，先用锤子将激振点地表锤实、找平，然后置放规定尺寸的木板或混凝土板。为保证工作时锤击板不发生位移，应在板上放置适当的重物或用其他方式固定锤击板，使板与地面紧密接触。锤击板的长度方向应垂直板中心与测试孔中心的连线，量测锤击板中心至孔口的距离，距离量测偏差应为 $\pm 0.01\text{m}$ 。测试时，应在板的长轴两端分别进行水平锤击以产生剪切地震波，用检波器接收剪切波，剪切波信号应波形完整、初至清晰。
- 6 每个测试点，压缩波或剪切波测试次数均不应少于 3 次，3 次计时的允许偏差为 $\pm 0.1\text{ms}$ 。应分别取压缩波和剪切波 3 次测试的平均值作为初至时间计算波速值。

9.0.6 跨孔法测试应按下列步骤进行：

- 1 测试应在两个及以上的孔中进行，孔径宜为 60mm~

90mm。跨孔法测试的钻孔应采用一次成孔法，采用电火花震源应在孔内注满水。

2 应根据测试孔分布情况，采用双孔或两孔以上的穿透测量方式，应测量对穿孔的孔口距离和高差，允许偏差为 $\pm 0.01\text{m}$ 。测试孔孔距应根据激振能量、土层特性确定，宜为 $3\text{m}\sim 20\text{m}$ 。

3 可使用钻孔电视检查测试孔孔壁的完整情况，也可进行全孔壁成像测试。应根据钻孔地质素描和钻孔录像成果分析钻孔的土层分层情况，确定测试孔段范围。测试自下而上逐点进行，测点间距根据土层厚度确定，宜为 $1\text{m}\sim 2\text{m}$ ，最上的测试点距孔口距离不应小于两孔间距的 0.4 倍。

4 应将三分量检波器探头的贴壁装置锁定，放入孔内预定测试点，打开贴壁控制开关使探头保持贴壁状态。深度允许偏差应为 $\pm 0.01\text{m}$ 。

5 测试压缩波和剪切波时，应在激振孔中分别将电火花探头和剪切锤放置在与接收孔中接收探头同一高程位置，发射和接收探头自下而上同步移动，每个测试点应波形完整、初至清晰。

6 每个测试点，压缩波或剪切波测试次数均不应少于 3 次， 3 次计时的允许偏差为 $\pm 0.1\text{ms}$ 。应分别取压缩波和剪切波 3 次测试的平均值作为初至时间计算波速值。

9.0.7 测试成果整理应符合下列要求：

1 应根据孔口距、孔口高差、孔斜、测点深度等参数，计算单孔或跨孔激振点与各接收测点的几何距离 L ，精确至 0.01m 。

2 单孔法和双孔跨孔法的压缩波和剪切波波速度应按下列公式计算：

$$v_p = \frac{L}{t_p - t_0} \quad (9.0.7-1)$$

$$v_s = \frac{L}{t_s - t_0} \quad (9.0.7-2)$$

式中： v_p ——压缩波的波速 (m/s)；
 v_s ——剪切波的波速 (m/s)；
 L ——激振点至接收点的距离 (m)；
 t_p ——压缩波初至时间 (s)；
 t_s ——剪切波初至时间 (s)；
 t_0 ——测试设备系统延时 (s)。

3 同一直线上 3 个孔，一边孔激振、另两孔接收跨孔法的压缩波和剪切波速度应按下列公式计算：

$$v_p = \frac{L_2 - L_1}{t_{p2} - t_{p1}} \quad (9.0.7-3)$$

$$v_s = \frac{L_2 - L_1}{t_{s2} - t_{s1}} \quad (9.0.7-4)$$

式中： L_1 ——激振点至第 1 接收孔接收点的距离 (m)；
 L_2 ——激振点至第 2 接收孔接收点的距离 (m)；
 t_{p1} ——第 1 接收孔接收点的压缩波初至时间 (s)；
 t_{p2} ——第 2 接收孔接收点的压缩波初至时间 (s)；
 t_{s1} ——第 1 接收孔接收点的剪切波初至时间 (s)；
 t_{s2} ——第 2 接收孔接收点的剪切波初至时间 (s)。

4 动变形参数应按下列公式计算：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (9.0.7-5)$$

$$E_d = \frac{\rho v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad (9.0.7-6)$$

$$E_d = \frac{\rho v_p^2 (1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{1 - \mu_d} \quad (9.0.7-7)$$

$$\mu_d = \frac{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (9.0.7-8)$$

$$v_s = \frac{v_R(1 + \mu_d)}{0.87 + 1.12\mu_d} \tag{9.0.7-9}$$

$$\lambda_d = \rho(v_p^2 - 2v_s^2) \tag{9.0.7-10}$$

$$K_d = \frac{\rho(3v_p^2 - 4v_s^2)}{3} \tag{9.0.7-11}$$

式中： G_d ——动剪切模量（kPa）；
 E_d ——动弹性模量（kPa）；
 μ_d ——动泊松比；
 v_R ——锐利波的波速（m/s）；
 λ_d ——动拉梅系数（kPa）；
 K_d ——动体积模量（kPa）；
 ρ ——密度（g/cm³）。

5 波速和动变形参数计算值应取 3 位有效数字，动泊松比计算值应精确至 0.01。

6 宜以钻孔深度为纵坐标，以各波速、动变形参数为横坐标，绘制波速和动变形参数与深度的关系曲线。

9.0.8 单孔法、跨孔法和三孔跨孔法波速测试的记录格式应符合表 9.0.8-1～表 9.0.8-3 的要求。

表 9.0.8-1 单孔法波速测试记录表

工程名称_____ 孔口高程_____ m 测试_____

钻孔编号_____ 地下水位_____ m 计算_____

孔口坐标_____ 测试日期_____ 校核_____

激振点至孔口距离_____ m 系统延时时间 t_0 _____ s

接收点 深度 (m)	土层 名称	激振点至接收点几何距离 (m)			初至时间 (s)		波速 (m/s)	
		计算值 L_j	孔斜校正 L_x	L	t_p	t_s	v_p	v_s

表 9.0.8 - 2 跨孔法波速测试记录表

工程名称 _____ 系统延时时间 t_0 _____ s

激振孔编号 _____ m 激振孔口高程 _____ m 激振孔口坐标 _____

接收孔编号 _____ m 接收孔口高程 _____ m 接收孔口坐标 _____

地下水位 _____ m 测线方位角 _____ ° 测试日期 _____

测试 _____ 计算 _____ 校核 _____

激振点 深度 (m)	接收点 深度 (m)	土层 名称	激振点至接收点几何距离 (m)			初至时间 (s)		波速 (m/s)	
			计算值 L_j	孔斜校正 L_x	L	t_p	t_s	v_p	v_s

表 9.0.8 - 3 三孔跨孔法波速测试记录表

工程名称 _____ 测试日期 _____

激振孔编号 _____ m 激振孔口高程 _____ m 激振孔口坐标 _____

接收孔 1 编号 _____ m 接收孔口 1 高程 _____ m 接收孔口 1 坐标 _____

接收孔 2 编号 _____ m 接收孔口 2 高程 _____ m 接收孔口 2 坐标 _____

地下水位 _____ m 测线方位角 _____ °

测试 _____ 计算 _____ 校核 _____

激振点 深度 (m)	孔 1 接收点 深度 (m)	孔 2 接收点 深度 (m)	土层 名称	激振点至孔 1 接收点几何 距离 (m)			激振点至孔 2 接收点几何 距离 (m)			初至时间 (s)				波速 (m/s)	
				计算 值 L_{1j}	孔斜 校正 L_{1x}	L_1	计算 值 L_{2j}	孔斜 校正 L_{2x}	L_2	t_{p1}	t_{p2}	t_{s1}	t_{s2}	v_p	v_s

附录 A 钻孔土工原位测试方法选择

表 A 钻孔土工原位测试方法选择

测试方法		十字板 剪切 试验	标准 贯入 试验	静力 触探 试验	动力触探试验			旁压 试验	波速 测试
					轻型	重型	超重型		
测试目的	剪切强度	★	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—
	变形性能	—	★	★	★	★	★	★	☆
	密实度	—	★	★	★	★	★	—	☆
	承载力	☆	★	★	★	★	★	★	—
	渗透性能	—	—	☆	—	—	—	—	—
	液化	—	★	☆	☆	—	—	—	★
工程部位	地基	★	★	★	★	★	★	★	★
	边坡	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★
	洞室	☆	☆	☆	☆	☆	★	★	★
	填筑土	☆	★	★	★	★	★	★	★
适用土层	黏土	★	★	★	★	—	—	★	★
	粉土	—	★	★	★	—	—	★	★
	砂类土	—	★	★	—	★	—	★	★
	砾类土	—	—	—	—	★	—	★	★
	卵(碎)石土	—	—	—	—	—	★	☆	★
	漂(块)石土	—	—	—	—	—	—	—	★

注：★表示适合，☆表示比较适合，—表示不适合。

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

- 《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406
- 《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065
- 《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101
- 《水电水利工程钻探规程》DL/T 5013
- 《水电水利岩土工程施工及岩体测试造孔规程》DL/T 5125
- 《水电水利工程土工试验规程》DL/T 5355
- 《水电水利工程粗粒土试验规程》DL/T 5356

中华人民共和国能源行业标准

水电工程钻孔土工原位测试规程

NB/T 35102—2017

代替 DL/T 5354—2006

条 文 说 明

修 订 说 明

《水电工程钻孔土工原位测试规程》NB/T 35102—2017，经国家能源局 2017 年 11 月 15 日以第 10 号公告批准发布。

本规程是在《水电水利工程钻孔土工试验规程》DL/T 5354—2006 的基础上修订而成，上一版的主编单位是中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院，参编单位是中国水电顾问集团成都勘测设计研究院，主要起草人员是徐志纬、曾正宾、陈建国、陈梦德、陈忠学、张伯骥、陈定贤、陶用彦、李裕忠、王开琴。

本规程修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结我国水电工程建设的实践经验，重点收集上一版规程实施以来的意见和建议、试验仪器设备更新，作为本次修订的重要内容，并向有关设计和科研单位收集意见。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水电工程钻孔土工原位测试规程》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说明。但是，本条文说明不具备与本规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握本规程规定的参考。

目 次

3 基本规定..... 40

4 十字板剪切试验..... 41

5 标准贯入试验..... 43

6 静力触探试验..... 44

7 动力触探试验..... 46

8 旁压试验..... 48

9 波速测试..... 51

3 基本规定

3.0.2 影响钻孔土工原位测试数据误差的因素较为复杂，由所选择的仪器设备、测试方法、测试条件、操作技能、土层分布的不均匀性等引起，应剔除异常数据，以提高测试数据的合理性。

3.0.6 钻探设备是钻孔土工原位测试的基本设备，钻孔一般由勘测部门进行，因此在技术条文中均未列入对钻探设备的要求和规定。

4 十字板剪切试验

4.0.1 十字板剪切试验是现场测定饱和软黏土剪切峰值强度、残余强度和灵敏度的一种试验方法。十字板试验只适用于饱和软黏土，测得的剪切强度相当于内摩擦角 φ_u 为 0 时的黏聚力值，即不排水剪切强度，试验深度一般不超过 30m。

饱和软黏土指孔隙比大于 1、天然含水率超过液限含水率的黏土，一般形成于第四纪晚期，属于海相、泻湖相、河谷相、湖沼相、溺谷相、三角洲相等的黏性沉积物，具有高孔隙比、高压缩性、低渗透性和明显流变性等特点。

4.0.2 十字板剪切仪有机械式和电测式两种类型，本规程只列入机械式十字板剪切仪。

原规程表 4.0.2 中的面积比 13%、14%，指十字形板头的横截面积（包括轴杆）与受剪土柱的横截面积之比，是个计算值，跟加工精度有关，不属于十字板测头的基本参数，因此本次修订取消面积比。

4.0.3 本次修订时，统一在测试步骤的第 1 步、第 2 步对测试前的钻孔、护壁、清孔及安装仪器设备等内容进行相应的规定和说明。

关于十字板测头压入土中静置时间，如时间过长，十字板测头插入时在四周产生的超孔隙水压力消散会使有效应力增长，不排水抗剪强度增大；而时间过短，十字板测头插入时被扰动的土来不及恢复，测出的强度值可能偏低。参考现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 及《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018，本次修订将静置时间不应少于 3min 修改为 2min~5min。

上一版规程第 3 款中“当试验深度处为较硬夹层时，应穿过夹层后进行试验”，因 4.0.1 条已有规定，本次修订予以删除。

关于剪切速率。曾用电测十字板剪切仪进行了剪切速率的对比试验，试验的速率为 $0.1^{\circ}/\text{s}$ 和 $0.2^{\circ}/\text{s}$ ，试验结果表明：两组强度曲线变化很有规律，剪切速率大，剪切强度也大；剪切速率小，剪切强度也小，因此剪切速率应控制在适当范围内。本规程规定剪切速率为 $0.1^{\circ}/\text{s}$ ，约在 2min 内测得峰值。重塑土的剪切强度视工程需要而定，不要求每个试验点都进行。当进行下一试验点时，需清除钻孔中的残土。目前多采用有孔螺旋钻和管钻清孔，其优点是能清除孔底的负压作用，保持孔壁不坍，且对孔底土层的扰动深度也较浅。此外，采用全断面取芯法钻进，也能清除孔内残土。

考虑饱和软黏土强度特性实际，增加剪切强度测读稳定情形，以连续 3 次读数最大差值不超过 5% 为稳定判定标准。

关于轴杆校正。当十字板插入土层中旋转时，土层与轴杆之间产生摩擦阻力，这对试验成果是有影响的。因此，试验时需进行轴杆摩擦阻力校正。

4.0.4 对剪切强度随深度变化的关系曲线绘制要求进行了规定。

5 标准贯入试验

5.0.1 标准贯入试验是用 63.5kg 的穿心击锤，以 76cm 的自由落高下落，将标准贯入器在孔底预打入土中 15cm，测记再打入 30cm 的锤击数称为标准贯入锤击数。根据标准贯入击数判别土层变化和土的工程性质，按地质经验或工程类比估算细粒类土和砂土地基承载力的标准值。

5.0.2 参照 2009 年版《岩土工程勘察规范》GB 50021，贯入器的靴端壁厚由原规程的 2.5mm 修订为 1.6mm，此修订后的厚度与国际多数标准基本相当，与我国实际情况基本一致。

触探杆选用，根据国内实际情况增加直径为 50mm 的钻杆。

5.0.3 本次修订时，统一在测试步骤的第 1 步、第 2 步对测试前的钻孔、护壁、清孔及安装仪器设备等内容进行相应的规定和说明。

关于预打 15cm，主要考虑钻孔对土层的扰动影响。当锤击数为 50 击，贯入深度未达到 30cm 时，则记录实际贯入度，通过换算求得贯入度为 30cm 的标准贯入击数 N 值。

5.0.4 对锤击数随试验土层深度变化的关系曲线绘制要求进行规定。

标准贯入击数 N 的修正问题。目前国内外主要考虑钻杆长度、地下水位、上覆有效压力及饱和粉细砂等因素的影响进行修正，但至今尚无一致公认的意见，着重考虑的深度因素即杆长修正，因实际测出锤击传输给杆件的能量远大于杆长变化时能量的衰减，所以通常采用不作杆长修正的 N 值作为基本的数值，如抗震规范评定砂土液化时采用的就是不作杆长修正的 N 值，而在考虑 N 值与土性参数、承载力的经验关系时又采用作杆长修正的 N 值，故在实际应用 N 值时，应按具体岩土工程问题，参照有关规范考虑是否作杆长修正或其他修正。

6 静力触探试验

6.0.1 静力触探是将一金属电测探头用静力贯入土层，根据测得的探头贯入阻力大小来间接判定土的物理力学性质。其优点是连续、快速、精确，可以在现场直接测得土的贯入阻力指标，了解土层原始状态的有关物理力学性质，具有独特的优越性。

根据《岩土工程勘察规范》GB 50021，本章列有关于孔隙水压力的试验内容。

6.0.2 探头的细部尺寸可参阅《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 表 17。单用探头用于测定比贯入阻力 p_s ，双用探头用于测定锥头阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s ，孔压静力探头用于测定锥头阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s 和孔隙水压力 u 及其消散过程。单用探头由于只有 1 个传感器（1 个电桥），也称单桥探头；双用探头有 2 个传感器（2 个电桥），也称双桥探头。

6.0.3 本次修订时，统一在测试步骤的第 1 步对测试前的钻孔、护壁、清孔等内容进行相应的规定和说明。

国内用三种不同投影面积的探头（ 10cm^2 、 15cm^2 、 20cm^2 ），在软土、一般黏质土和硬黏土中进行了 18 组对比试验，结果表明：总的趋势也是 p_s 随底面积的增加而减小，但经显著性检验表明影响不显著。由对比资料可以认为：三种探头均可选用。

孔压探头在贯入前，需在室内保证探头应变腔为已排除气泡的液体所饱和，以保证孔隙水压力试验值的准确性。

测定孔隙水压力消散时，应读数至消散孔隙水压力基本稳定，按照土的粗细从砂类土到黏土孔隙水压力消散稳定时间由短到长，时间取值范围考虑为 $0.5\text{h}\sim 2\text{h}$ 。

6.0.6 当使用孔压静力探头时，由于作用于锥底的孔隙水压力，其方向与贯入时产生的锥头阻力方向相反，因此需对测量的锥头

阻力 q_c 进行修正得出土层的真正阻力 q_t 。修正公式如下：

$$q_t = q_c + u(1 - \alpha) \quad (6 - 1)$$

式中： q_t ——经孔压修正后的锥头阻力 (kPa)；

u ——孔隙水压力 (kPa)；

α ——净面积比，即孔隙压力作用面积与圆锥的面积之比。

7 动力触探试验

7.0.1 本规程试验列入轻型动力触探、重型动力触探和超重型动力触探三种动力触探。动力触探是利用一定的落锤能量，将与触探杆相连接的探头贯入土中，根据贯入的难易程度来判断土的工程性质的一种孔内试验方法。贯入度的大小能反映土层力学特性的差异，确定地基持力层的位置和承载力，可依据此数值对地基作出工程地质评价。动力触探试验的最大优点是设备简单、操作方便、适应土类较广，对难以取样的砂土、粉土、碎石土都可使用，已成为粗粒土地基勘察测试的重要手段。

7.0.2 为了应用方便，增加动力触探仪触探杆和锤垫的相关内容，其主要参数参考现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021和《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018 确定。

7.0.3~7.0.5 本次修订时，统一在测试步骤的第1步、第2步对测试前的钻孔、护壁、清孔及安装仪器设备等内容进行相应的规定和说明。

本规程条文在规定的触探深度内没有考虑触探杆侧壁摩阻的影响问题。在试验过程中，一般采用每贯入1m，转动触探杆一周，孔深超过10m时，每贯入0.2m，转动一周，同时测其扭矩，以此估算侧壁摩擦的影响。

原规程“钻孔孔径0.9m”属于文字性错误，本次修订为90mm。

7.0.6 动贯入阻力的计算公式(7.0.6-5)采用假定：绝对非弹性碰撞，即碰撞后，锤和锤座完全不分开，完全不考虑弹性变形能量的消耗。只有在土层不太坚硬时，这些假定才能比较接近实际，故适用于：

(1) 每击贯入度在0.2cm~0.5cm之间。

(2) 触探深度符合条文中规定的深度。

(3) 触探器系统质量 m 与击锤质量 M 之比小于 2。

动力触探实践表明：当触探头尚未到达下卧土层时，在一定深度以上，下卧土的影响已经“超前”反映出来，当探头已经穿透上覆土层进入下卧土层时，在一定深度内，上覆土层的影响仍然会有一定的反映。这两种情况分别称之为触探的“超前反映”和“滞后反映”现象。特别是松软土比较明显。

根据试验研究，当上覆土为硬层，下卧土为软层时，对触探击数的影响范围大，超前反映量（最大可达 0.5m~0.7m）大于滞后反映量（约为 0.2m）。当上覆土为软层，下卧土为硬层时，对触探击数的影响范围小，超前反映量（约为 0.1m~0.2m）小于滞后反映量（约为 0.3m~0.6m），两者差值也较小。在考虑工程地质分层界限时，要考虑触探曲线的“超前反映”和“滞后反映”。

根据动力触探试验指标和地区经验，可进行力学分层，评定土的均匀性和物理性质（状态、密实度）、土的强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力，查明土洞、滑动面、软硬土层界面，检测地基处理效果等。应用试验成果时是否修正或如何修正，需根据建立统计关系时的具体情况确定。

8 旁压试验

8.0.1 旁压仪包括预钻式和自钻式两种，本规程是以预钻式旁压仪为主进行编写，自钻式可参照本规程进行。

由于目前高压型旁压仪的最大压力可达到 6MPa，可对部分成孔条件较好的砾石及砂卵石地层进行旁压试验，故此次修订增加可在砾类土及卵（碎）石混合土中进行本试验。

8.0.2 目前国内广泛使用的旁压仪按照试验压力分类可分为低压型和高压型。

(1) 低压型。旁压仪可提供 0~2.5MPa 之间的试验压力控制及测量或读取旁压器的体积变化量，可以使用打气筒、手动气泵或高压氮气瓶加压。该类型旁压仪多配套使用三腔型探头及多路导管，结构简单，易维修，适用于黏性土及砂土。

(2) 高压型。旁压仪可提供 2.5MPa 以上的试验压力控制及测量或读取旁压器的体积变化量，一般使用高压氮气瓶作为压力驱动源。该类型旁压仪多配套使用单腔型探头及同轴导管，结构简单，易维修，适用于细粒土、粗粒类土。在进行深度大于 50m 的试验时，建议采用高压型单腔旁压仪。

原规程旁压仪压力量程为 0~4MPa，准确度为 1.5%，考虑到现有测试土料种类增加卵（碎）石混合土，且覆盖层测试深度大幅提高，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司等在西南深厚覆盖层上试验最大深度达 100m，再加上仪器设备制造水平的提高，因此本次修订时将旁压仪压力量程改为 0~6MPa，准确度改为 1.0%。

8.0.3 本次修订时，统一在测试步骤的第 1 步对测试前的钻孔、护壁、清孔等内容进行相应的规定和说明。

旁压试验的布点应在了解地层剖面的基础上进行，以便能合

理地在有代表性的位置上布置试验。布置时要保证旁压器的中腔在同一土层中。旁压试验有其应力影响范围，根据实践经验及理论推算，其影响范围的影响半径在水平方向约为 60cm，上、下垂直方向约为 40cm，因此，规定同一个试验孔中的相邻试验段的垂直间距或试验孔与相邻钻孔和测试孔的水平距离都不应小于 1m。

压力源一般采用高压气瓶灌注压缩气体（无毒无害的惰性气体或空气，可商店购买），在使用时调节输出压力高于所需试验最大压力 100kPa~200kPa 即可。由于人工打气时压力有限，只适用于浅部软土类土中做测试用。

原规程要求预钻式旁压试验钻孔应一次完成，试验自下而上进行。实践证明，这样操作土体会受到扰动，影响试验成果质量，尤其在容易塌孔的土层或深度超过 50m 的情况下，一次成孔后进行试验完全不符合实际情况，且深孔钻进后需要支护，下护壁管后无法再进行旁压试验，故此次修订改为“孔壁稳定时可一次成孔多次试验。预钻式旁压试验应与钻探配合交替完成，每钻进一段进行一次试验。”这样避免了在容易塌孔的土层或深孔试验时，一次成孔后试验带来的上层土体由于成孔时间太久造成的缩孔、塌孔、扰动等对试验带来的不利影响。

为了方便使用，试验加压分级表增加加压分级土名和卵（碎）石混合土加压范围，在满足分级加压的原则下，对密实的卵（碎）石混合土、超固结或半胶结卵（碎）石混合土可取上限值。

8.0.4 当土体发生破坏或弹性膜出现破损时，将使压力无法升高或施加的压力有下降趋势，出现此类情况也需终止试验。

8.0.5 各类土的安全系数根据统计列入表 8-1 以供参考，也可按当地经验选用。

表 8-1 各类土的安全系数

土类	高液限土	低液限土	粉细砂	黄土	黄土状土
安全系数 F	2.6	3.0	3.8	2.7	2.1
统计数 n	112	89	15	74	49

原不排水剪切强度计算公式与地基承载力特征值计算公式相同，为了加以区分，本次修订时不排水剪切强度采用极限压力法进行计算。不排水剪切强度计算适用于饱和黏性土不排水条件。

对静止土压力系数计算中土的密度增加了说明，即试验点上覆土层天然密度的加权平均值，原则上由试验取得；如果土层太深无法取得土层天然密度，可用经验值。

旁压模量计算中的泊松比经验取值参考了《工程地质手册》和《岩土工程勘察规范》，也可按当地经验选用。取值依据：卵（碎）石土、砂土根据土类相应密实程度，密度大者取泊松比小值，反之亦然；粉质黏土和黏土根据相应土类、含水率和稠度状态取值，通常按坚硬、可塑、软塑或流塑状态，泊松比范围相应从最小到最大范围取值。

9 波 速 测 试

9.0.1 本次修订删除原规程中的面波法。《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065 及《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101 对面波测试进行了详细规定，可以参照执行。

土工原位测试工作中涉及的波速测试包括孔内测试和地表测试两种方法。钻孔波速测试有多类分类，按测试方法可分为地震波和声波；按测试方式可分为单孔测试和跨孔测试；按波的类型可分为压缩波（或纵波）和剪切波（或横波）。地表测试一般采用地震展开排列测试，主要有地震折射和地震面波两种方法，地震折射主要用于测试覆盖层和下伏基岩的地震波纵波速度，地震面波主要用于测试近地表土层的横波速度。本规程主要规定地震单孔和跨孔波速测试的方法、仪器设备、现场测试和资料处理相关技术，钻孔声波测试、地表地震折射和面波法的仪器、现场测试和资料处理技术则在《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065 及《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101 中有相关规定。

由于钻孔描绘已经有了最新的钻孔电视全孔壁成像测试等先进手段，波速测试接收仪器的精度也有提高，所以本次修订时对波速测试的相关内容、结构进行了修改和调整。

9.0.2 三分量检波器种类较多，生产厂家也多，检测单位使用的检波器频率多数在 8Hz~32Hz 范围内，本次修订将原来对三分量检波器谐振频率要求由 8Hz~27Hz 扩大到 8Hz~32Hz。

本条规定了地震钻孔波速测试的震源、传感器、地震仪、触发器和用于钻孔测斜的相关仪器设备。地面震源主要由大锤、锤击板构成，锤子的大小和锤击板面积可根据孔深、土层性质、使用人员的习惯确定。当前地震井中传感器一般使用动圈式三分量

检波器，近年也有使用 MENS 数字式的，检波器和贴壁装置一起构成探头，探头的贴壁装置一般采用电磁式和充气式两种，电磁式探头在下孔前打开通电方式将支撑弹片吸住收紧，探头直径变得很小便于下井，到达最深的测试点时，关闭电磁开关，弹片松开，将探头压到孔壁上，此后探头可以上移，但不能向下移动。地震仪器一般使用工程地震仪，当前市场上所用的工程地震仪一般在 12 道以上，都是地震勘探专业仪器，其性能指标在《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065 及《水电工程弹性波测试技术规程》NB/T 35101 中有详细规定。一般的工程地震仪都采用回路断开触发方式，用于岩土地震测试时一般使用特制的压电式锤击开关与大锤配合使用，电火花一般使用特制的感应式线圈作触发器。

9.0.3 地震波测试是由震源、检波器、接收仪器和触发器组成的一个系统，平时它们是互相独立的，在工作现场才连接成一个系统，进行测前系统检查很有必要，所以本次修订增加本条。系统检查在《水电工程地震勘探技术规程》NB/T 35065 中有详细规定，可以参照执行。

9.0.4 孔壁不稳定或一次成孔法时，应安装套管，套管内径不应小于测试仪器孔内探头的直径，一般可采用内径 76mm～85mm、壁厚 6mm～7mm 的硬聚氯乙烯工程塑料平直套管。孔壁与套管之间的间隙可采用填砂或灌浆密实，以保证波的传播。浅孔宜采用填砂，采用振捣或水冲等措施，直至间隙全部填实；深孔应采用灌浆，可采用水泥、膨润土、水按照 1:1:6.25 的比例搅拌成的浆液，其凝固后的密度一般为 $1.70\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.10\text{g}/\text{cm}^3$ ，也可采用水泥砂浆或纯水泥浆，使用灌浆管自孔底向上灌浆，待灌浆 3d～6d 后进行测试。

9.0.5 地震波速测试单孔法又称地震波速检层法，一般在孔中安放一个三分量检波器探头，在近孔口附近进行锤击，测试钻孔周围土层的垂直波速分布情况，也可为地震反射勘探提供所需要

的层速度。在工程勘探中，钻孔电视的使用越来越广泛，有动态观察模式，也有全孔壁连续成像模式，能起到地质编录和排除隐患孔段的作用。剪切波测试的关键是安装固定好剪切板，由于剪切板主要依靠板与地表的摩擦力，需要在板上加载一定的荷载，有条件时可采用载重卡车压住板子。机械震源测试过程中，影响速度测量精度的最大因素是开门计时精度，每个压电式锤击开关的灵敏度存在差异，同时还受锤击力大小、地面密实程度的影响，所以，每个测试点规定要进行3次测试。

9.0.6 本次修订将双孔跨孔法测试正式列入，并作了相应的要求。

跨孔波速测试有两种方式：一种方式是3孔布置在一条垂直剖面上，选一个边孔作激振孔，另两个孔同时接收；另一种方式是一孔激振另一孔接收。3孔方式可以排除系统开门信号误差带来的影响，但由于多一个孔，造成测试成本高、现场测试难度大，所以实际工作中，2孔测试的情况较多，现场测试效率较高。孔内激振采用的电火花和剪切锤等设备，重复性较好，只要在系统检查时将延迟时间测量准确，2孔测试的精度是可控的。当一个孔周围有多个钻孔时，可以先采用3孔方式测试几个点，计算出延迟时间，后采用中间孔激振、周边孔接收，这样可以大大提高工作效率。与地表剪切波测试一样，剪切锤与孔壁结合牢固程度是影响测试效果的重要因素。孔距也是影响测试效果的重要因素，一般来说，土质坚硬、激振能量大，孔距可适当大一些，尤其是电火花震源，距离可达20m以上。

9.0.7 波速度值的精度除受初至时间影响外，距离计算也是一个重要因素，距离误差主要包括地面激振点变形、移动、测量误差和孔中探头深度标记、孔斜误差等。系统延迟误差可以在工作前进行系统测试，距离误差应在测试过程中做好测量控制工作和计算。

采用单孔法测试和双孔跨孔法测试时，压缩波或剪切波的波

速度计算应考虑试验设备系统延时，即进行 t_0 校正。

9.0.8 单孔法应注意记录地表锤击板的移动和沉降数据，测斜记录应采用相应的钻孔测斜记录格式。该记录格式为传统记录格式，当前的地震仪都采用电子记录，电子记录应包括现场班报记录和电子盘的贴标记录，班报记录主要包括表 9.0.8 的内容，电子盘的贴标记录主要包括文件夹名称、记录文件编号与测点对应关系等。
