

ICS 27.140

P 59

备案号: J629—2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5354 — 2006

水电水利工程钻孔土工试验规程

**Code for soil tests in borehole of hydroelectric
and water conservancy engineering**



2006-12-17 发布

2007-05-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 总则	3
4 十字板剪切试验	4
5 标准贯入试验	7
6 静力触探试验	9
7 动力触探试验	14
8 旁压试验	18
9 波速试验	24
条文说明	31

前 言

本标准是根据《国家发展和改革委员会办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》(发改办工业[2005]739 号)要求进行修订的。

SD 128—1984《土工试验规程》(第一分册)、SD 128—1986《土工试验规程》(第二分册)、SD 128—1987《土工试验规程》(第三分册)、SDS 01—1979《土工试验规程》(下册)(部分)本次修订后成为四个标准:DL/T 5354—2006《水电水利工程钻孔土工试验规程》、DL/T 5355—2006《水电水利工程土工试验规程》、DL/T 5356—2006《水电水利工程粗粒土试验规程》、DL/T 5357—2006《水电水利工程岩土化学分析试验规程》,实施后替代 SD 128—1984、SD 128—1986、SD 128—1987 和 SDS 01—1979(下册)。

本标准对 SD 128—1986 修订的主要内容如下:

- 本标准包括水电水利工程常用的钻孔土工试验项目,将原规程各试验方法按规程编号排列修改为按章排列。增列范围、规范性引用文件、总则三章。
- 删除十字板剪切试验中的电测法。
- 静力触探试验中,增加孔隙水压力试验内容。
- 波速试验中增加单孔法波速试验和面波法波速试验,并将章名改为波速试验。
- 删除原规程说明书,按章、节顺序编写条文说明。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电规划设计标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位:中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院。

本标准参加起草单位：中国水电顾问集团成都勘测设计研究院。

本标准主要起草人：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。

1 范 围

本标准规定了在钻孔内进行土的工程性质的试验方法。

本标准适用于水电水利工程测定地基、边坡、地下洞室、填筑土料等土的工程性质在钻孔内的试验，以及对施工质量的控制和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 15406 土工仪器的基本参数及通用技术条件

DL/T 5013 水电水利工程钻探规程

DL/T 5125 水电水利岩土工程施工及岩体测试造孔规程

3 总 则

3.0.1 为规范水电水利工程钻孔土工试验方法，提高试验成果质量，增强试验成果的可比性，制定本标准。

3.0.2 钻孔土工试验对象应具有代表性。试验内容、试验布置、试验条件应符合水电水利工程勘测、设计、施工，以及质量控制、检验的基本要求和特性。

3.0.3 分析钻孔土工试验成果时，应注意仪器设备、试验方法、试验条件、土层分布等对试验的影响。当需要估算土的工程特性参数和对工程问题作出评价时，应与土工室内和现场试验工作对比，并结合地层条件和地区经验。

3.0.4 钻孔土工试验仪器和设备应符合 GB/T 15406 的要求，并应定期进行检定和校准。

3.0.5 配合试验用的钻孔，除应符合试验的专门要求外，还应符合 DL/T 5013、DL/T 5125 的要求。

3.0.6 钻孔土工试验除应符合本标准外，尚应符合国家和行业有关标准的规定。

4 十字板剪切试验

4.0.1 本试验方法适用于饱和软黏土。

4.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 机械式十字板剪切仪。
- 2 十字板测头：基本参数应符合表 4.0.2 的规定。
- 3 离合器：十字板测头和轴杆连接形式可采用离合式或牙嵌式。
- 4 扭力量测装置：由开口钢环、刻度盘、旋转手柄等组成。

表 4.0.2 十字板测头基本参数

十字板测头							扭矩	
板宽 mm	板高 mm	板厚 mm	刃角 (°)	轴杆		面积比 %	量程 N·m	准确度
				直径 mm	长度 mm			
50	100	2	60	13	50	14	0~80	1%F.S
75	150	3		14	50	13		

4.0.3 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 3 倍~5 倍孔径时停止钻进，将套管下至孔底，在孔口将套管固定，清除孔内残土。钻孔直径应大于十字板测头宽度的 2 倍。

2 将十字板测头、离合器、轴杆、导轮、钻杆依次逐节安装并下放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，不宜小于钻孔直径的 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后，静置时间不应少于 3min。当试验深度处为较硬夹层时，应穿过夹层后进行试验。

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,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,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。

5 试验开始,以 $0.1^\circ/\text{s}$ 的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,当读数出现峰值后,再继续旋转测读 1min,测记读数的稳定值。

6 拔出特制键,在导杆上端装上旋转手柄,顺时针方向转动 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,立即按第 5 款的步骤,测记重塑土剪切时量表稳定读数。

7 对于离合式十字板测头,拨下特制键,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,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,测记轴杆与土摩擦时的量表稳定读数。手柄转速为 $0.1^\circ/\text{s}$ 。

8 试验完毕,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 2~8 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 按下列公式计算十字板剪切强度:

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

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

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

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

式中:

C_u ——原状土不排水抗剪峰值强度, kPa;

C'_u ——重塑土抗剪强度, kPa;

S_t ——土的灵敏度;

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, 无峰值时取稳定值, 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 ——率定时力臂长, cm。

2 必要时, 以试验点深度为纵坐标, 土的抗剪强度为横坐标, 绘制抗剪强度随深度变化的关系曲线。

4.0.5 十字板剪切试验的记录格式见表 4.0.5。

表 4.0.5 十字板剪切试验点记录表

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: D _____ cm H _____ cm K _____ cm^{-2}					
试验深度 _____ m		钢环编号 _____		率定系数 _____ N/0.01mm	
试验 时间 s	原状土		重塑土		轴 杆
	百分表读数 0.01mm	抗剪强度 kPa	百分表读数 0.01mm	抗剪强度 kPa	百分表读数 0.01mm

5 标准贯入试验

5.0.1 本试验方法适用于细粒类土和砂类土。

5.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 标准贯入仪：由贯入器和击锤组成，基本参数应符合表 5.0.2 的规定。

2 钻杆：直径为 42mm，轴线的直线度误差应小于 0.1%。

3 锤垫：承受锤击钢垫，附导向杆，两者总质量不宜超过 30kg。

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 mm	锤垫直径 mm
50	700	35	19	2.5	51	63.5	760	100~140

5.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 试验应在钻孔孔底进行，试验孔应采用回转钻进，钻孔直径不宜小于标准贯入器外径的 2 倍。

2 钻孔钻进至试验土层深度以上 15cm 处停止钻进，清除孔底残土，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。必要时下套管或采用泥浆护壁，套管底部距试验土层宜为 75cm。

3 根据钻孔深度，依次安装标准贯入器、钻杆，拧紧各接头，并将最后一根钻杆作为击锤的导向杆。

4 应注意保持贯入器、钻杆、导向杆联接后的垂直度，击锤应自由垂直下落。孔口宜加导向器。

5 按 15 击/min~30 击/min 的速度打入土层中 15cm 后, 记录每打入 10cm 的锤击数, 累计打入 30cm 后锤击数为标准贯入击数。记录贯入深度、试验土层深度和试验情况。

6 当遇密实土层, 锤击数达到 50 击, 贯入深度未达到 30cm 时, 应终止试验, 记录 50 击时的贯入深度。

7 提出贯入器, 将贯入器中土样取出, 进行描述、记录, 并测量其长度。将需要保存的土样进行包装、编号。

8 当需进行下一深度的贯入试验时, 应按 2~7 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 按下列公式换算相应于贯入 30cm 的标准贯入击数:

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

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 的实际贯入深度, cm。

2 必要时, 以每 30cm 的锤击数为横坐标, 以钻孔深度为纵坐标, 绘制锤击数与钻孔深度关系曲线。

5.0.5 标准贯入试验的记录格式见表 5.0.5。

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	试验深度 m	贯入深度 cm	锤击数	修正后的锤击数

6 静力触探试验

6.0.1 本试验方法适用于细粒类土和砂类土。

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：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。
- 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 探杆：轴线的直线度误差应小于 0.1%。
- 6 深度标尺或深度转换装置。

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,	
20	50.4	43.7		81	189	20, 40, 60, 80	8, 12	

6.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 平整试验场地，设置反力装置。将触探主机对准孔位，调平机座，并紧固在反力装置上。

2 根据试验要求和地层情况选择探头，将探头和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 $(1.2 \pm 0.3) \text{ m/min}$ 。启动动力设备并调整到正常工作状态。

3 将已穿过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。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。

4 将探头贯入土中 $0.5\text{m} \sim 1.0\text{m}$ ，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。在深度 6m 内，宜按每贯入 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 提升探头检查温漂并调零， 6m 以下宜按每贯入 $5\text{m} \sim 10\text{m}$ 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。

5 贯入过程中，当采用自动记录时，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 $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$ 记录读数一次。深度记录的误差不应大于触探深度的 1% 。

6 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，按适当的时间间隔或自动测读孔隙水压力消散值，直至基本稳定。

7 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。

8 当贯入至预定深度、停止试验后，应及时起拔探杆，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：

- 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，宜按回零段内，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 按下列公式计算比贯入阻力、锥头阻力、侧壁摩阻力及摩阻比：

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

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

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

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

式中：

p_s 、 q_c 、 f_s ——分别为比贯入阻力、锥头阻力、侧壁摩阻力，kPa；

R_f ——摩阻比，%；

k_p 、 k_q 、 k_f ——分别为 p_s 、 q_c 、 f_s 对应的率定系数，kPa/ $\mu\varepsilon$ 、kPa/mV；

ε_p 、 ε_q 、 ε_f ——分别为传感器的应变量或输出电压， $\mu\varepsilon$ 、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、摩阻比与贯入深度关系曲线。

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 6.0.5 条 1、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 按下列公式计算孔隙水压力、固结系数、消散度和静探孔压系数：

$$u_t = k_a \varepsilon_u \quad (6.0.6-1)$$

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

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

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

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_a ——孔压探头率定系数， $\text{kPa}/\mu\text{e}$ 、 kPa/mV ；
- ε_u ——孔压探头传感器读数， μe 、 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关系曲线。必要时，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关系曲线。

6.0.7 静力触探试验的记录格式见表 6.0.7。

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 _____ k_p _____ k_q _____ k_f _____ k_u _____							
触探深度 m	锥头阻力 (比贯入阻力)		摩擦阻力		孔隙水压		摩阻 比 %
	仪表 读数 μE 、mV	贯入阻力 kPa	仪表读数 μE 、mV	贯入阻力 kPa	仪表读数 μE 、mV	压力 kPa	

表 6.0.7-2 静力触探试验记录表 (孔压消散)

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 k_u _____				
时间 h:min:s	经过时间 s	仪表读数 μE 、mV	孔隙压力 kPa	孔隙水压消散度 %

7 动力触探试验

7.0.1 本试验分轻型动力触探、重型动力触探和超重型动力触探，并应符合下列要求：

- 1 轻型动力触探试验适用于细粒类土。
- 2 重型动力触探试验适用于砂类土和砾类土。
- 3 超重型动力触探适用于砾类土和卵石类巨粒土。

7.0.2 主要仪器设备采用动力触探仪，由探头、触探杆、击锤及钢砧锤垫四部分组成，基本参数应符合表 7.0.2 的规定。

表 7.0.2 动力触探仪基本参数

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 mm
轻型	40	16	8	25	—	60	10	500
重型	74	—	90	60	85		63.5	760
超重型							120	1000

7.0.3 轻型动力触探试验应按下列步骤进行：

1 先用轻便钻具铅直向钻至所需试验土层深度 30cm 以上，将探头和触探杆连接并放入孔内。每一试验土层应连续贯入，贯入深度不宜大于 4m。

2 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。记录每贯入土层中 30cm 时所需的锤击数，作为触探贯入指标，并记录触探深度。最初 30cm 可不计。

3 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。如需对下卧层继续进行试验，应先钻探穿透坚实土层后，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 在预定部位进行铅直向钻孔，触探设备安装应稳固，支架不应偏移。将探头和触探杆连接并放入孔内至试验土层。每一触探孔应连续贯入。

2 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 $76\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。记录每贯入土层中 10cm 时所需的锤击数，作为触探贯入指标，并记录触探深度。

3 锤击时应保持探杆的垂直，锤座距孔口的高度不宜超过 1.50m，锤击过程应防止锤击偏心、探杆歪斜和探杆侧向晃动。应使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，应将探杆转一周半，使触探能保持垂直贯入，并减少探杆的侧阻力。贯入深度超过 10m 后，每贯入 0.2m 旋转一次。

4 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。

5 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。

6 在预钻孔内进行试验时，当钻孔孔径大于 0.9m，孔深大于 3m，实测击数每贯入 10cm 大于 8 击时，可下孔径小于或等于 0.9m 的孔壁管，或用松土回填钻孔。

7.0.5 超重型动力触探应按下列步骤进行：

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。

2 其他应按 7.0.4 的步骤进行。

7.0.6 试验成果整理应符合下列要求：

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

2 当贯入要求深度的锤击数超过规定的锤击数时, 应按下列公式换算动力触探贯入指标:

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

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

$$e = \frac{\Delta s}{n} \quad (7.0.6-3)$$

式中:

N_{10} ——轻型动力触探每贯入土层中 30cm 时所需的锤击数;
 $N_{63.5}$ ——重型和超重型动力触探每贯入土层中 10cm 时所需的锤击数 (超重型动力触探为 N_{120});

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 按式 (7.0.6-4) 计算动贯入阻力:

$$q_d = \frac{M}{M+m} \cdot \frac{MgH}{Ae} \quad (7.0.6-4)$$

式中:

q_d ——动贯入阻力, kPa;

M ——击锤质量, kg;

m ——触探器 (即被打入部分, 包括探头, 触探杆、锤座和导向杆) 质量, kg;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

H ——落高, m;

A——探头面积, m^2 。

4 以分层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关系曲线。

7.0.7 动力触探试验的记录格式见表 7.0.7。

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	触探 深度 m	一阵锤击数	贯入度 cm	每击贯入度 cm	贯入指标	动贯入 阻力 kPa

8 旁 压 试 验

8.0.1 本试验方法适用于细粒类土、砂类土。

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。

2 旁压器：为圆柱形骨架，外套有密封的弹性膜。预钻式分上、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。在弹性膜外按需要可加装一层可扩张的金属保护套（铠装保护）。

3 加压稳压装置：附有加压稳压调节阀和压力表，压力源采用压缩气体。

4 变形测量装置：由体变管或液位仪及辅管组成。

5 导管：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。

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	0~4	1.5

8.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 在预定部位进行铅垂向钻进，孔壁应垂直，并呈规则的圆形。钻进时应减少孔壁土体扰动，若遇松散砂层和软土地层时，应用泥浆护壁钻进。

2 试验应在专用的孔段内进行。钻孔孔径宜大于旁压器外径

2mm~10mm。取过土样或进行过其他孔内试验的部位不得进行旁压试验。

3 预钻式旁压试验钻孔应一次完成。试验应自下而上进行，旁压器应位于同一土层中，两试验点间距不宜小于1m。

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，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，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。

6 将旁压器放入钻孔中预定的试验深度，其深度以中腔中点为准。

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1/8~1/12。加压分级也可参照表8.0.3选用。试验时应保持每级压力稳定。

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。

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6~10的步骤进行。

表 8.0.3 试验加压分级

kPa

土的工程特性	加压分级	
	临塑压力前	临塑压力后
淤泥、淤泥质土、流塑状态的黏质土，饱和或松散粉细砂	<15	≤30
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
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
坚硬状态的黏质土，密实的中、粗砂	50~100	100~200

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 按下列公式计算作用于孔壁土体表面的压力：

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

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

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，根据中腔压力 ($p_m + p_w$) 查校正曲线，kPa； 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（当地下水位低于中心点时取值为 0），m；

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 。

2 按下列公式计算土体的体变量:

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

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

式中:

V ——体变量, cm^3 ;

S ——校正后的量管水位下降值, cm ;

A ——量水管截面积, cm^2 ;

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 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, 即该试验深度时的旁压曲线, 见图 8.0.5。

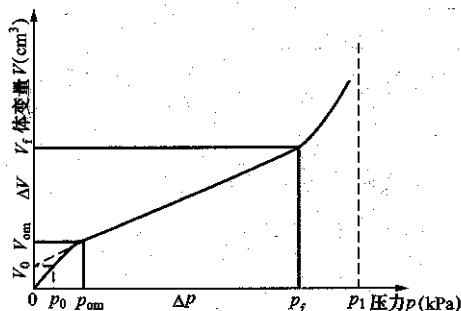


图 8.0.5 旁压曲线

4 根据旁压曲线特征, 将旁压曲线划分为三个阶段: 压密阶段起于原点 0, 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_t ; 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 。

5 按下列公式计算临塑压力法地基承载力的基本值:

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

式中:

f_0 ——地基承载力基本值, kPa;

p_f ——临塑压力, kPa;

p_0 ——初始水平土压力, kPa。

6 按下列公式计算极限压力法地基承载力的基本值:

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

式中:

p_l ——极限压力, kPa;

F ——安全系数。

7 按下列公式计算不排水抗剪强度:

$$c_u = p_f - p_0 \quad (8.0.5-7)$$

式中:

c_u ——不排水抗剪强度, kPa。

8 按下列公式计算静止土压力系数:

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

式中:

K_0 ——静止土压力系数;

ρ ——土的密度, g/cm^3 ;

Z ——旁压器中腔中点至地面的距离, m。

9 按下列公式计算旁压模量:

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

式中:

E_m —— 旁压模量, kPa;

μ —— 泊松比;

V_c —— 旁压器中腔初始体积, cm^3 ;

V_{om} —— p_{om} 对应的体积增量, cm^3 ;

V_f —— p_f 对应的体积增量, cm^3 ;

$\Delta p / \Delta V$ —— 线性变形段的斜率, kPa/cm^3 。

8.0.6 旁压试验记录格式见表 8.0.6。

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 _____ m 旁压器编号 _____										
量管水面至孔口距离 _____ m 静水压力 _____ kPa 量管截面积 _____ cm^2										
压力 kPa				量管水位读数 (累计值) cm						体 积 增 量 cm^3
压力表 读数	中腔 压力	橡皮膜 约束力	计算值	0	15s (1min)	30s (2min)	60s (3min)	校正 值	计算 值	

9 波 速 试 验

9.0.1 本试验方法适用于各类土。

9.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 激振设备：单孔法试验时，压缩波振源应采用锤和钢板，剪切波振源应采用锤和上压重物的木板或混凝土板；跨孔法试验时，压缩波振源宜采用电火花振源，剪切波振源宜采用剪切波锤；面波法试验时，稳压振源宜采用电磁式或机械式激振器。

2 检波器：采用三分量检波器，其谐振频率为 $8\text{Hz}\sim 27\text{Hz}$ 。检波器应置于密封防水的无磁性圆筒内。孔内检波器应附有能将检波器固定于孔壁的装置。

3 放大器：应采用带低通滤波功能的多通道放大器，振幅一致性偏差应小于 3% ，相位一致性偏差应小于 0.1ms ，折合输入端的噪声水平应低于 $2\mu\text{V}$ ，电压增益应大于 80dB ，不应采用信号滤波装置。

4 记录器：可采用示波记录器或多通道工程地震仪。记录时间的最小分度值应调整为 $1\text{ms}\sim 2\text{ms}$ 。

5 零时触发器：其性能应稳定，灵敏度宜为 0.1ms 。

6 测斜仪：应能测量 $0^\circ\sim 360^\circ$ 的方位角及 $0^\circ\sim 30^\circ$ 的倾角。倾角测量允许误差为 0.1° 。

7 套管：内径为 $76\text{mm}\sim 85\text{mm}$ ，壁厚为 $6\text{mm}\sim 7\text{mm}$ 的硬聚氯乙烯工程塑料管，每段套管应平直。

9.0.3 单孔法试验应按下列步骤进行：

1 在预定部位进行铅垂向钻孔，并绘制钻孔柱状图。

2 宜根据土层分层布置试验点，两试验点间距不宜小于 1m 。试验应自下而上逐点进行。

3 将检波器放入孔内试验点深度，并与孔壁紧密接触。

4 测试剪切波时在距孔口 1.0m~3.0m 处置放一长度为 2m~3m 的木板或混凝土板。板的长度方向应垂直板中心与试验孔中心的连线，板与地面应紧密接触。在板上放置质量约 500kg 的重物。用锤沿板长度方向从两个相反方向水平锤击板端，用检波器接受剪切波，记录剪切波初至时间。

5 测试压缩波时，在距孔口 1m~3m 处放置钢板，用锤锤击钢板，用检波器接受压缩波，记录压缩波初至时间。

6 每个试验点，试验次数不应少于 3 次。

9.0.4 跨孔法试验应按下列步骤进行：

1 试验应布置在地表较为平坦的地段，在预定部位进行铅垂向钻孔。每组试验应布置一个振源孔，在振源孔同一侧同一直线上布置 2 个接收孔，孔距宜为 2m~5m，并绘制钻孔柱状图。

2 一次成孔法应在孔内设置套管。先将第一节套管底部密封吊入孔中，接上第二节套管，依次将套管全部下至孔底，在孔口将套管固定，在套管内注满清水，必要时也可在孔口压上重物。套管接缝处应密封并防止错位。

3 在套管与孔壁间隙用砂充填或进行灌浆。当孔深小于 10m 时，可采用填砂方法，充填砂时，应不断敲击套管，直至间隙全部填实；采用灌浆时，应在灌浆前按照 1:1:6.25 的比例将水泥、膨润土和水搅拌成浆液，也可采用水泥砂浆或纯水泥浆，通过放到孔底的灌浆管，使浆液从孔底向上进行灌浆，同时逐步拔起灌浆管，直到灌满孔壁与套管的间隙，并待孔口溢流出的浆液浓度与预先搅拌的浆液浓度相同为止。对浆液应进行养护，待灌浆后 3d~6d，可进行试验。

4 当试验孔深度大于 15m 时，应用测斜仪进行倾斜度测量。

5 宜根据土层分层布置试验点，两试验点间距不宜小于 1m。试验应自下而上逐点进行，最上的试验点距孔口距离不应小于两

孔间距的 0.4。每个试验点的试验次数不应少于 3 次。

6 测试剪切波时,宜采用剪切波锤作为振源,并将剪切波锤固定在试验点高程的套管壁上。测试压缩波时,宜采用电火花振源并放置在试验点高程部位。同时分别在两个接收孔试验点高程上,设置检波器并固定在套管壁上。每次测试时,振源和检波器宜位于同一高程上或同一土层中,并记录剪切波和压缩波的初至时间。

9.0.5 面波法试验应按下列步骤进行:

- 1 在预定的试验场地上,应对场地进行整平。
- 2 以振源中心作为测线零点,在振源一侧同一直线上布置 2 个~3 个检波器。
- 3 根据地层性质选择适合的激振频率,开启激振器,由检波器接受瑞利波。
- 4 固定第一个检波器,将第二个检波器放置在预估的波长距离内,沿测线自近向远缓慢移动第二个检波器,当两检波出现同相位波形时,记录瑞利波初至时间,量测两检波器中心的距离即为瑞利波波长。在同一激振频率下,继续移动检波器,量测 2 倍波长和 3 倍波长的距离。

5 重复 4 款步骤,重复次数不应少于 2 次。

9.0.6 试验成果整理应符合下列要求:

- 1 计算激振点与检波点间的距离,精确至 0.01m。当跨孔法孔有偏斜时,应对孔距进行校准。
- 2 单孔法按下列公式计算压缩波、剪切波的波速:

$$v_p = \frac{L}{t_p} \quad (9.0.6-1)$$

$$v_s = \frac{L}{t_s} \quad (9.0.6-2)$$

式中:

v_p 、 v_s ——分别为压缩波、剪切波的波速，m/s；

L ——激振点至检波点的距离，m；

t_p 、 t_s ——分别为压缩波、剪切波从激振点至检波点所需的时间，s。

3 跨孔法按下列公式计算压缩波、剪切波的波速：

$$v_p = \frac{L_2 - L_1}{t_{p2} - t_{p1}} \quad (9.0.6-3)$$

$$v_s = \frac{L_2 - L_1}{t_{s2} - t_{s1}} \quad (9.0.6-4)$$

式中：

L_1 、 L_2 ——分别为振源至第 1、第 2 接收孔检波点的距离，m；

t_{p1} 、 t_{p2} ——分别为压缩波到达第 1、第 2 接收孔检波点的时间，s；

t_{s1} 、 t_{s2} ——分别为剪切波到达第 1、第 2 接收孔检波点的时间，s。

4 面波法按下列公式计算瑞利波的波速：

$$v_R = \frac{L_R}{t_{R2} - t_{R1}} \quad (9.0.6-5)$$

$$v_R = fL_R \quad (9.0.6-6)$$

式中：

v_R ——瑞利波波速，m/s；

L_R ——瑞利波波长，m；

t_{R1} 、 t_{R2} ——分别为瑞利波至两检波器的时间，s；

f ——振源激振频率，Hz。

5 按下列公式计算动变形参数：

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (9.0.6-7)$$

$$E_d = \frac{\rho v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad (9.0.6-8)$$

$$E_d = \frac{\rho v_p^2 (1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{1 - \mu_d} \quad (9.0.6-9)$$

$$\mu_d = \frac{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 2}{2 \left[\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1 \right]} \quad (9.0.6-10)$$

$$v_s = \frac{v_k(1 + \mu_d)}{0.87 + 1.12\mu_d} \quad (9.0.6-11)$$

$$\lambda_d = \rho(v_p^2 - 2v_s^2) \quad (9.0.6-12)$$

$$K_d = \frac{\rho(3v_p^2 - 4v_s^2)}{3} \quad (9.0.6-13)$$

式中:

G_d —— 动剪切模量, kPa;

E_d —— 动弹性模量, kPa;

μ_d —— 动泊松比;

λ_d —— 动拉梅系数, kPa;

K_d —— 动体积模量, kPa;

ρ —— 密度, g/cm³。

6 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。

9.0.7 波速试验的记录格式见表 9.0.7。

表 9.0.7-1 波速试验记录表 (单孔法)

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 _____
 激振点至孔口距离 _____ m

深度 m	土层 名称	校正后距离 m	传播时间 s		波速 m/s	
			t_p	t_s	v_p	v_s

表 9.0.7-2 波速试验记录表 (跨孔法)

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 _____

深度 m	土层 名称	校正后距离			波的传播时间 s						波速值 m/s					
					$s-R_1$		$s-R_2$		R_1-R_2		$s-R_1$		$s-R_2$		R_1-R_2	
		$s-R_1$	$s-R_2$	R_1-R_2	t_p	t_s	t_p	t_s	t_p	t_s	v_p	v_s	v_p	v_s	v_p	v_s

表 9.0.7-3 波速试验记录表 (面波法)

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 _____

激振 频率 Hz	检波器、振源间距离和时间 m, s						波长 m	波速 m/s	
	$s-L_1$	t_{R1}	$s-L_2$	t_{R2}	L_2-L_1	$t_{R2}-t_{R1}$		L_R	$L_R/(t_{R2}-t_{R1})$

水电水利工程钻孔土工 试 验 规 程

条 文 说 明

目 录

3	总则	33
4	十字板剪切试验	34
5	标准贯入试验	35
6	静力触探试验	36
7	动力触探试验	37
8	旁压试验	39
9	波速试验	40

3 总 则

3.0.3 钻孔土工试验成果应用，是以地区经验的积累为基础。由于水电水利工程的特点，各工程的土层条件、岩土工程特点具有很大的差异性，要建立统一的经验关系是不可取的，这种经验关系需经工程实践的验证。

钻孔土工试验所取得的试验数据，造成误差的因素较为复杂，由所选择的仪器设备、试验方法、试验条件、操作技能、土层的不均匀性等引起。对此应有基本估计，并剔除异常数据，以提高试验数据的可信度。触探和贯入试验，在软硬地层界面上，有超前或滞后效应，应予注意。

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抗剪峰值强度、残余强度和灵敏度的一种方法。十字板剪切试验只适用于饱和软黏土，测得的抗剪强度相当于内摩擦角 φ_u 为 0 时的黏聚力值，即不排水抗剪总强度，试验深度一般不超过 30m。

4.0.2 十字板剪切仪目前国内有三种：电测式、机械式和轻便式。本次修订只列入机械式，其他可参照本规程进行。

4.0.3 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 $0.2^\circ/\text{s}$ 两种，试验结果表明：两组强度曲线变化很有规律，剪切速率大，抗剪强度也大；剪切速率小，抗剪强度也小，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。重塑土的抗剪强度试验视工程需要而定，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，很少采用冲洗法。在饱和软黏土中使用有孔螺旋钻清孔，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。

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阻力校正。

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 0.76m 的自由落距下落，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 选用直径为 42mm 的钻杆，是根据国内实际情况。钻杆直径和壁厚不同，其单位长度的质量不一样，主要控制钻杆质量每米不大于 8kg。

5.0.3 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 30cm，则记录实际贯入深度，通过换算求得贯入深度 30cm 的 N 值。

5.0.4 标准贯入击数 N 的修正问题。目前国内外主要考虑对钻杆长度、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，本规程对击数的修正未予提出，在使用时可按不同工程对象，根据建立统计关系时的具体情况，确定是否修正和如何修正。

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，了解各土层原始状态的有关物理力学性质，具有独特的优越性。

本次修订，根据 GB 50021《岩土工程勘察规范》的要求，增加了有关孔隙水压力试验内容。

6.0.2 探头的细部尺寸可参阅 GB/T 15406 表 17。

6.0.3 国内用三种不同投影面积的探头（10cm²、15cm²、20cm²），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。

6.0.6 当使用孔压静探探头时，由于作用与锥底的孔隙水压力，其方向与贯入时产生的锥头阻力相反，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：

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

式中：

q_t ——经修正后的锥头阻力，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，依据此数值对地基作出工程地质评价。鉴于动力触探已被广泛应用，并已列入相关规范，本次修订作为正式规程列入。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、碎石类土都可使用，已成为粗颗粒土的地基勘察测试重要手段。

7.0.3~7.0.5 规程在规定的触探深度内没有考虑触探杆侧壁摩擦阻的影响问题。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。

7.0.6 动贯入阻力的计算公式采用假定：绝对非弹性碰撞，即碰撞后，锤与锤座完全不分开；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 2mm~50mm 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中时，在一定深度内，对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。特别是松软土比较显著。

根据试验研究，当上覆为硬层，下卧为软层时，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”。

8 旁 压 试 验

8.0.1 旁压仪包括预钻式和自钻式两种，目前广泛使用的是预钻式，因此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。由于本试验方法已被广泛应用，并被列入有关规范，本次修订作为正式规程列入。

8.0.3 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。关于旁压试验应力的影响范围，根据实践经验，其影响范围：水平约为 60cm，上、下约为 40cm。为避免相邻试验点的相互影响，规定试验点的垂直距离不宜小于 1m。

压力源一般采用高压气瓶灌注压缩气体（氮、氧或空气，有商店购买），在使用时调节输出压力高于所需试验压力 100kPa~200kPa 即可。采用人工打气由于压力有限，只适用于软土类土中作试验用。

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，原规程没提及，本次修订予以补充。

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

表 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

9 波 速 试 验

9.0.1 近年来由于抗震设计、动力基础和工程勘察等方面的需要，现场测试波速的工作得到较大发展。鉴于波速试验的仪器设备已成型，在实践工作中积累了丰富的经验，本次修订将原规程中试行规程作为正式规程列入，并增列了单孔法和面波法。

9.0.2 由于爆炸振源的安全等原因，一般试验室难以满足，本次修订予以删除。

9.0.3 单孔波速法又称波速检层法，所得的试验成果是土层土体的加权值。本规程采用地表锤击振源和孔内布置检波器，当采用其他振源和布置方法时，可参考本规程。

9.0.4 跨孔波速试验原是采用 2 个钻孔，由于振源触发器开关的延迟，波的传播路径改变等因素所产生的计时误差无法估算，势必影响波速值的准确度，本规程要求每组跨孔波速试验采取 3 个钻孔，取间隔速度值，排除了振源装置一系列因素的影响，这种间隔速度值的准确度能满足工程的要求。

孔壁与套管之间的间隙采用灌浆或用砂充填，以保证波的传播。浆液推荐水泥、膨润土和水按照 1:1:6.25 的比例搅拌成混合物时，其凝固后的密度一般为 $1.70\text{g/cm}^3 \sim 2.10\text{g/cm}^3$ ，与土体密度相近。灌浆要使整个孔壁与套管壁之间密实，不能出现空隙。用砂充填时，采用振捣或水冲等措施，此方法一般受深度限制。采用何种充填物，可以根据土层特点和试验人员经验选用。

由于水电水利工程的特点，本规程推荐一次成孔法。采用分段测试法时，可参照本规程。

9.0.5 由于面波法测试深度不大，在工程勘察中较少应用，但可用于碾压填土的质量控制。
