

**中华人民共和国行业标准**

**铁路工程地质原位测试规程**

**Code for in-situ measurement of railway engineering geology**

**TB 10018—2003**

**J 261—2003**

主编单位：铁道第四勘察设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2003年6月1日

**中 国 铁 道 出 版 社**

**2003年·北 京**

**(京)新登字 063 号**

**中华人民共和国行业标准  
铁路工程地质原位测试规程**

**TB 10018—2003**

**J 261—2003**

\*

**中国铁道出版社出版发行**  
**(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)**

**北京市彩桥印刷厂印**

**开本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 7 字数: 182 千字**

**2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷**

**印数: 1~5 000 册**

---

**统一书号: 15113·1875 定价: 22.50 元**

**版权所有 侵权必究**

**凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。**

# 关于印发《铁路工程施工安全技术规程》 等 5 项铁路工程建设标准的通知

铁建设函〔2003〕99 号

《铁路工程施工安全技术规程(上册)》(TB 10401.1—2003)、《铁路工程施工安全技术规程(下册)》(TB 10401.2—2003)、《铁路工程地质原位测试规程》(TB 10018—2003)、《铁路工程地质遥感技术规程》(TB 10041—2003) 及《铁路工程水质分析规程》(TB 10104—2003) 经审查,现予印发,自 2003 年 6 月 1 日起实施。

规程中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

原《铁路轨道施工技术安全规则》(TBJ 401—87)、《铁路路基施工技术安全规则》(TBJ 402—87)、《铁路桥涵施工技术安全规则》(TBJ 403—87)、《铁路隧道施工技术安全规则》(TBJ 404—87)、《铁路通信施工技术安全规则》(TBJ 405—87)、《铁路信号施工技术安全规则》(TBJ 406—87)、《铁路电力施工技术安全规则》(TBJ 407—87)、《铁路电力牵引供电施工技术安全规则》(TBJ 408—87)、《铁路给水排水施工技术安全规则》(TBJ 409—87)、《铁路房屋建筑施工技术安全规则》(TBJ 410—87)、《铁路临时工程附属辅助生产工程施工技术安全规则》(TBJ 411—87)、《铁路行车线上施工技术安全规则》(TBJ 412—87)、《动力触探技术规程》(TBJ 18—87)、《静力触探技术规程》(TBJ 37—93)、《铁路工程地基土旁压试验规程》(TB 10046—96)、《铁路工程地基土十字板剪切试验规程》(TB 10051—97)、《铁路工程地质遥感技术规程》(TB 10041—95)、《铁路工程水质分析规程》(TBJ 104—87) 同时废止。

各单位在执行过程中,应结合工程实践,认真总结经验,积

累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料报建设管理司。

本标准由铁道部建设管理司负责解释，中国铁道出版社和铁路工程技术标准所组织出版发行。

**中华人民共和国铁道部**  
二〇〇三年三月二十八日

## 前 言

本规程是根据铁道部《关于下达 1998 年铁路工程建设标准规范等六项编制计划的通知》(铁建函〔1998〕43 号)的要求,在《动力触探技术规定》(TBJ 18—87)、《静力触探技术规则》(TBJ 37—93)、《铁路工程地基土旁压试验规程》(TB 10046—96)、《铁路工程地基土十字板剪切试验规程》(TB 10051—97)的基础上修订而成的。

本规程内容包括总则、术语和符号、平板载荷试验、螺旋板载荷试验、岩体直剪试验、十字板剪切试验、预钻式旁压试验、标准贯入试验、动力触探、静力触探、应力铲试验、扁板侧胀试验等 12 章,另有 3 个附录。

本规程修订的主要内容如下:

(1) 增加了平板载荷试验、螺旋板载荷试验、岩体直剪试验、标准贯入试验、应力铲试验及扁板侧胀试验等原位测试技术方法。

(2) 增加了用动力触探、旁压试验、静力触探指标确定天然地基极限承载力和用静力触探指标确定沉管灌注桩极限荷载的内容。

(3) 修订了确定钻孔灌注桩极限荷载的综合修正系数。

(4) 有关地基承载力内容与《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001)进行了统一。

(5) 有关地震液化与《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)进行了协调。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

在执行本规程过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见及

## 目 次

1	总 则 .....	1
2	术语和符号 .....	2
2.1	术 语 .....	2
2.2	符 号 .....	4
3	平板载荷试验 .....	6
3.1	一般规定 .....	6
3.2	设 备 .....	6
3.3	试验要点 .....	7
3.4	资料整理与计算 .....	10
4	螺旋板载荷试验 .....	14
4.1	一般规定 .....	14
4.2	设 备 .....	14
4.3	试验要点 .....	15
4.4	资料整理与计算 .....	17
5	岩体直剪试验 .....	19
5.1	一般规定 .....	19
5.2	设 备 .....	20
5.3	试验要点 .....	20
5.4	资料整理与计算 .....	24
6	十字板剪切试验 .....	26
6.1	一般规定 .....	26
6.2	设 备 .....	26
6.3	试验要点 .....	28
6.4	资料整理与计算 .....	30
7	预钻式旁压试验 .....	34

7.1	一般规定	34
7.2	设    备	34
7.3	试验要点	34
7.4	资料整理与计算	40
8	标准贯入试验	46
8.1	一般规定	46
8.2	设    备	46
8.3	试验要点	47
8.4	资料整理与计算	47
9	动力触探	50
9.1	一般规定	50
9.2	设    备	50
9.3	试验要点	51
9.4	资料整理与计算	53
10	静力触探	58
10.1	一般规定	58
10.2	设    备	58
10.3	试验要点	61
10.4	资料整理	63
10.5	计算与应用	66
11	应力铲试验	78
11.1	一般规定	78
11.2	设    备	78
11.3	试验要点	80
11.4	资料整理与计算	80
12	扁板侧胀试验	82
12.1	一般规定	82
12.2	设    备	82
12.3	试验要点	83
12.4	资料整理与计算	86

附录 A	力传感器和测力计的标定与计算 .....	89
附录 B	原位测试图表格式 .....	93
B.1	十字板试验图表 .....	93
B.2	旁压试验记录表表头格式 .....	95
B.3	标准贯入试验记录格式 .....	97
B.4	动力触探记录表及贯入图格式 .....	97
B.5	静力触探图表格式 .....	99
附录 C	探头规格及更新标准 .....	104
本规程用词说明 .....		107
《铁路工程地质原位测试规程》条文说明 .....		108



# **1 总 则**

**1.0.1** 为统一铁路工程地质原位测试技术要求，提高勘察质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于新建、改建铁路勘察设计和施工、运营阶段的原位测试工作。

**1.0.3** 在重要工程场地或缺乏使用经验的地区，原位测试工作应与其他勘探测试方法相结合。

**1.0.4** 原位测试孔位和点位的布置对场地土层应具有控制性和代表性，并应避开地下隐蔽工程，地基中夹杂朽木或粗大颗粒物时，孔位和点位应移位避开。

**1.0.5** 原位测试设备，必须定期校验和维护。

**1.0.6** 原位测试工作除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 原位测试 in-situ test (IST)

在地层或土体的原位应力状态和天然含水率保持不变、原生结构不受或少受扰动的条件下，直接或间接地测定岩、土体各种工程特性、参数的试验方法。

#### 2.1.2 平板载荷试验 plate loading test (PLT)

在现场使用刚性承压板模拟建筑物基础，对天然地基或复合地基逐级施加荷载，直至地基出现破坏状态或接近破坏状态，同时测记在各级荷载下地基随时间而沉降变形的试验方法。

#### 2.1.3 螺旋板载荷试验 screw plate loading test (SPLT)

将规定螺距的单片螺旋形承压板（简称螺旋板）旋入地表下预定深度处，通过传力杆件向螺旋板逐级施加荷载，同时测记螺旋板沉降的试验方法。

#### 2.1.4 岩体直剪试验 rock mass direct shear test (RDST)

对试坑中切割出的原位岩体试件同时施加垂直荷载和水平推力或单用千斤顶沿预定方向施加推力的剪切试验。

#### 2.1.5 十字板剪切试验 vane shear test (VST)

将一定规格的十字型板头垂直插入土中，以规定的试验方式和扭转速率测定出土在破坏过程中的抵抗力矩，计算出土的不排水抗剪强度（峰值强度、残余强度、重塑土强度）的试验方法。

#### 2.1.6 预钻式旁压试验 preboring pressuremeter test (PMT)

在预先钻成的孔中放置旁压器，对孔周土体快速、逐级施加径向压力，同时测记孔穴体积的相应变化，据此测定土体工程特性的试验方法。

#### **2.1.7 标准贯入试验 standard penetration test (SPT)**

使用 63.5 kg 的穿心锤，以 76 cm 的自由落距，将一定规格的贯入器预先贯入钻孔孔底以下 15 cm，然后测记继续贯入 30 cm 过程中锤击数的试验方法，简称标贯试验。

#### **2.1.8 动力触探试验 dynamic penetration test (DPT)**

用一定质量的穿心锤和一定的自由落距，将一定规格的圆锥形实心探头贯入土中一定深度并测记贯入过程中锤击数的测试方法。

#### **2.1.9 静力触探试验 static cone penetration test (CPT)**

将一定规格和形状的探头按规定的速率贯入土中，同时测记贯入过程中探头所受到的阻力（比贯入阻力或端阻、侧阻及孔隙水压力）的测试方法。

#### **2.1.10 应力铲试验 stress shovel test; Total pressure cell test (SST)**

将内部充满脱气硅油、状如矩形扁铲的量测装置垂直贯入土中，测记水平土压力及其随时间而衰减过程值的试验方法。

#### **2.1.11 平板侧胀试验 flat dilatometer test (DMT)**

将局部具有松胀功能的近似矩形的平板贯入土中，测定地基土工程特性的试验方法。

#### **2.1.12 临界深度 critical depth**

各种原位测试手段在均质地基中的测试值达到相对极限值时所在的深度。

#### **2.1.13 破坏荷载 failing load**

静载试验的荷载沉降曲线对应于沉降趋于无穷大时的荷载值。

#### **2.1.14 极限承载力 ultimate bearing capacity**

地基进入破坏状态之前所能承受的最大压力，即极限荷载强度。

#### **2.1.15 破坏比 failure ratio**

静载试验的极限荷载与破坏荷载之比。

#### **2.1.16 基本承载力 basic bearing capacity**

建筑物基础短边宽度  $b \leq 2\text{ m}$ 、埋置深度  $h \leq 3\text{ m}$  时的地基容许承载力。

## 2.2 符 号

- $B_q$ ——超孔压比  
 $C_h$ ——水平固结系数  
 $c_u$ —— $\varphi = 0$  时的不排水抗剪强度  
 $D_r$ ——砂类土的相对密实度  
 $E_D$ ——侧胀模量  
 $E_m$ ——旁压模量  
 $E_0$ ——变形模量  
 $E_s$ ——压缩模量  
 $E_u$ ——不排水杨氏模量  
FS——在额定荷载下探头及仪表的满量程输出值  
 $f_s$ ——探头侧壁单位摩阻力（简称探头侧阻）  
 $G_m$ ——旁压剪切模量  
 $I_D$ ——土类指数  
 $I_L$ ——液性指数  
 $I_p$ ——塑性指数  
 $K_D$ ——水平应力指数  
 $K_s$ ——竖向基床系数  
 $K_0$ ——静止土压力系数  
 $N$ ——标贯试验实测击数  
 $N_{cr}$ ——地震液化临界贯入击数  
 $N_{63.5}$ ——重型动力触探实测击数  
 $p_s$ ——静力触探比贯入阻力  
 $p_{sca}$ ——实测计算贯入阻力（单桥探头）  
 $p_u$ ——地基极限承载力

$p_1$ ——扁板侧胀试验膨胀压力  
 $p_2$ ——扁板侧胀试验膜片复位后的终止压力  
 $q_c$ ——静力触探端阻（简称端阻）  
 $q_{cca}$ ——实测计算贯入阻力（双桥探头）  
 $q_T$ ——总锥尖阻力  
 $S_r$ ——饱和度  
 $S_t$ ——灵敏度  
 $S$ ——修正后的沉降量  
 $S'$ ——实测沉降量  
 $s_u$ ——十字板抗剪强度（简称十字板强度）  
 $s'_u$ ——十字板重塑强度  
 $s_{ur}$ ——十字板残余强度  
 $T$ ——时间因数  
 $U_D$ ——孔压指数  
 $u$ ——孔隙水压力  
 $\Delta u$ ——超孔隙水压力  
 $\gamma'$ ——土的有效重度  
 $\gamma_w$ ——水重度  
 $\sigma_0$ ——地基基本承载力  
 $\tau$ ——剪应力  
 $\tau_f$ ——峰值剪应力（抗剪强度）  
 $\phi$ ——机械杆件直径或同轴度公差  
 $\varphi$ ——内摩擦角  
 $OCR$ ——土的超固结比

## 3 平板载荷试验

### 3.1 一般规定

3.1.1 平板载荷试验适用于各类土、软质岩和风化岩体。

3.1.2 平板载荷试验应布置在基础底面高程处，测定在其影响深度范围内岩土体的承载能力和变形特性。当基础底面设计高程未能事先确定时，承压板底面高程宜设置在自然地面下 0.5 m 处。

3.1.3 平板载荷试验应布置在场地中有代表性的地点，每个场地同一持力层不宜少于 3 个点。平板载荷试验应注意岩土体的均匀性，当在承压板影响深度范围内（2 倍承压板直径或宽度）地层有变化时，宜进行分层试验。

### 3.2 设 备

3.2.1 平板载荷试验设备包括刚性承压板、加卸荷装置、量测荷载及沉降的仪器等。

3.2.2 刚性承压板可为圆形或方形，其面积  $A$  应符合下列要求：

- 1 在软弱地基中试验时， $A$  不得小于  $5000\text{ cm}^2$ ；
- 2 在坚实土地基中试验时， $A$  不得小于  $1000\text{ cm}^2$ ；
- 3 在碎石类土地基中试验时，承压板直径或边长应大于受压层中最大颗粒粒径的 10 倍；
- 4 在复合地基中试验时，承压板面积宜根据桩土面积比选定。

3.2.3 加卸荷装置应符合下列要求：

- 1 加（卸）荷使用的千斤顶的额定量程不应小于预计极限

荷载的 1.4 倍。当使用重物堆载时，重物应一次备齐并不应小于预计极限荷载的 1.2 倍；当使用千斤顶和重物联合加载时，其加载总能力不得低于极限荷载的 1.4 倍。

2 使用地锚反力装置时，地锚反力总和应大于预计极限荷载的 1.5 倍且每个地锚反力应基本相等；反力梁的刚度应与千斤顶量程相匹配。反力装置也可采用斜撑（板）结构，以利用坑壁土提供反力。

3 压重平台的平面尺寸和刚度应满足试验和堆载的要求；当使用压重平台堆载时，应于平台下试坑角点部位，设置防止荷载偏心导致重物倾倒的支柱。

4 无论采用何种加、卸荷方式，应至少设置一个监测荷载量值的测力装置。测力装置可采用力传感器、压力表或测力钢环，测力装置的检测精度应达到荷载增量的 2%。

3.2.4 观测沉降用的百分表或位移传感器，全量程不宜小于 50 mm，检测误差不得大于 0.01 mm。当百分表或位移传感器不能居中置于承压板形心时，所用百分表或位移传感器不得少于 2 只。

### 3.3 试验要点

3.3.1 平板载荷试验的试坑开挖应符合下列规定：

1 在基础底面设计高程处试验时，试坑底面宽度应不小于  $3b$ （ $b$  为承压板直径或宽度）；在自然地面下 0.5 m 处试验时，试坑底面宽度可取  $(1 \sim 1.2)b$ 。试验前应保持坑底土层的天然湿度和原状结构。

2 试验点位于地下水位以下时，开挖试坑及安装设备前，应先将坑内地下水位降到试坑底面以下。安装设备，待水位恢复后再行试验。

3 根据需要，试验前在坑边、试验后在承压板下  $(0.5 \sim 1)b$  处采取不扰动土样进行有关试验分析。

4 试验过程中应避免试坑受冻、曝晒和雨淋。

### 3.3.2 试验设备安装应符合下列规定：

1 安置承压板前，应整平板下的试坑面并用水平尺找平后铺约 2~3 cm 的中粗砂垫层，轻轻拍实找平，使承压板与试坑面平整接触。

2 依次安装传力柱、千斤顶、载荷台架及反力装置时，应逐一检查、调整对承压板中心的垂直度和同心度，并应避免对承压板施加冲击力和预应力。

#### 3 安装沉降观测装置应符合下列要求：

- 1) 用于观测承压板沉降的百分表或位移传感器，当不能居中安置时，必须对称设置于承压板的板面上，且应使伸缩杆垂直于板面；
- 2) 百分表应带有磁性表座，并应在保证百分表测头垂直承压板板面的前提下具有便利定位的能力；使用的位移传感器连同其托梁，也应具有相应的能力；
- 3) 表座托梁的支点（固定点）与承压板中心的距离应大于  $1.5b$ 、与地锚反力装置之反力点的距离不得小于 0.8 m；
- 4) 根据需要，用于观测承压板周围地面垂直位移的百分表或位移传感器，宜在过承压板形心的两条相互垂直的直线上、且距压板边缘的距离为  $(0.2 \sim 1)b$  的范围内按等间距布置 4~5 只。

3.3.3 试验荷载应分级施加，施加荷载时应保持静力条件及荷载对承压板中心的竖向传递。各级荷载增量可按下列方法确定：

1 第一级荷载（含设备自重）宜接近坑底以上土的有效自重压力；

2 后续各级荷载增量可取预估极限荷载的  $1/7 \sim 1/10$ ；当极限荷载不易估计时，可按表 3.3.3 取值。

3.3.4 根据工程需要试验方法可采用慢法（沉降相对稳定法）或快法（沉降非稳定法）。慢法主要用于饱和软黏性土及对变形



表 3.3.3 荷载增量取值

试 验 土 层 及 特 性	荷载增量 (kPa)
淤泥、流塑黏性土、松散砂土	<15
软塑黏性土、新近沉积黄土、稍密砂土、粉土	15~25
硬塑黏性土、新黄土 ( $Q_4$ )、中密砂土	25~50
坚硬黏性土、密实砂土、老黄土、新黄土 ( $Q_3$ )	50~100
碎石类土、软岩及风化岩	100~200

有明确要求的建筑物；快法一般适用于可塑~坚硬状粉质黏土、粉土、砂类土和碎石类土及软质岩。

**3.3.5** 施加荷载  $p$  后，应按时观测相应沉降量  $S'$ 。每级荷载下的沉降观测时间  $t$  及其稳定标准和试验终止条件应符合下列规定：

1 对于慢法，自加荷开始按 1、2、2、5、5、15、15、15 min 间隔，以后每隔 30 min 观测沉降一次，直至连续 2 h 内 1 h 的沉降量小于 0.1 mm 时，可施加下一级荷载。

2 对于快法，每施加一级荷载后，隔 15 min 观测一次沉降，累积观测达 2 h 时，再施加下一级荷载。

3 试验总加载重量不宜小于设计值的 2 倍。出现下列情况之一时，可终止试验；末级荷载的前一级荷载可定为极限荷载。

- 1) 承压板周围土层明显地侧向挤出；
- 2) 荷载增加不大，沉降急骤增大，荷载—沉降曲线出现陡降段（如图 3.4.1a 中线段  $\overline{UB}$ ）；
- 3) 在某级荷载下，24 h 沉降速率不能达到稳定标准（ $<0.1 \text{ mm/h}$ ）；
- 4) 相对沉降值  $S'/b > 0.10$ 。

**3.3.6** 在现场试验过程中，应及时记录观测数据，绘制  $p-S'$ 、 $S'-t$  或  $S'-\lg t$  曲线草图。

**3.3.7** 当需观测卸荷回弹时，每级卸荷量可取每级加荷量的 2 倍或 3 倍，每级卸荷后每隔 15 min 观测一次回弹量，1 h 后再卸下一级荷载。荷载全部卸除后，宜继续观测 2~3 h。

### 3.4 资料整理与计算

#### 3.4.1 平板载荷试验数据整理应符合下列要求：

##### 1 慢法

- 1) 根据实测数据绘制  $p-S'$  曲线。当  $p-S'$  曲线的前段曲线呈直线且不过坐标原点时（如图 3.4.1a 中曲线 2），应先求得该段直线的斜率  $c$  和截距  $S_0$ ，然后对比例界限（即第一拐点 A）以前各点的沉降值按  $S = cp$  进行修正；对比例界限以后各点的沉降值按  $S = S' - S_0$  修正。

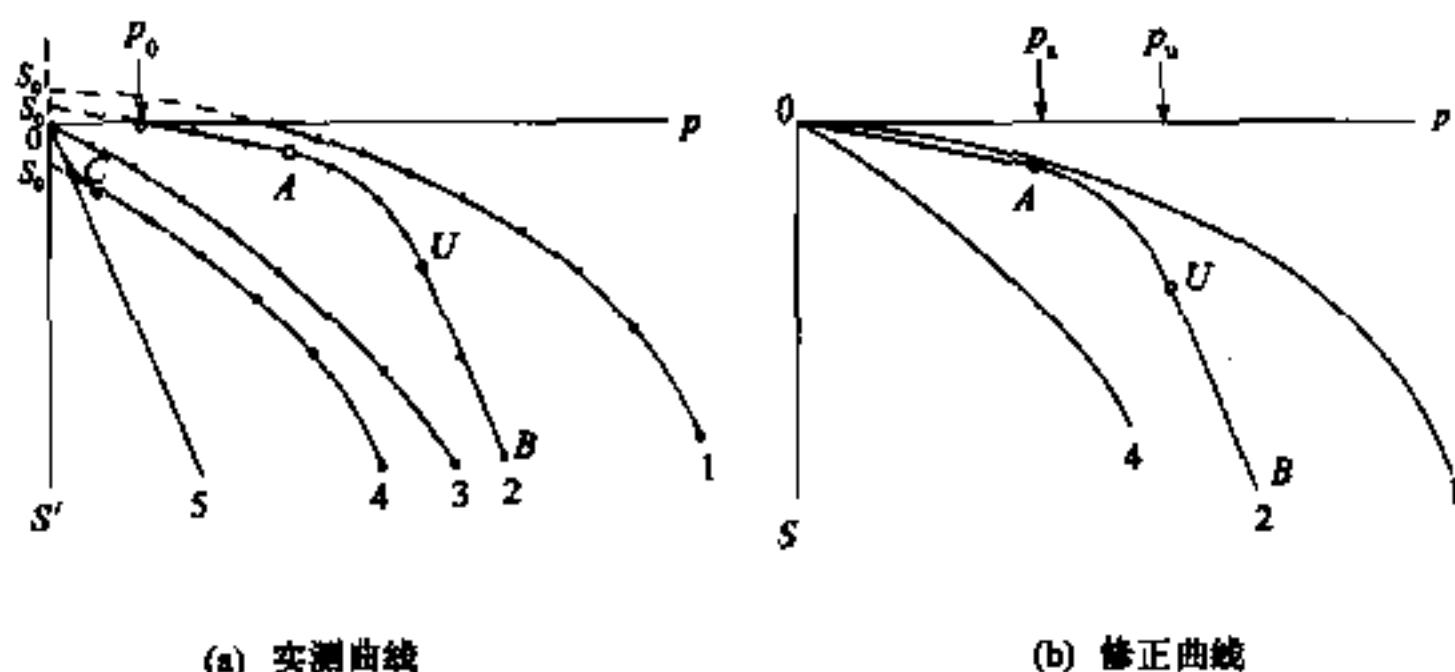


图 3.4.1 荷载—沉降曲线

- 2) 当整个  $p-S'$  曲线呈圆弧形时（如图 3.4.1a 中的曲线 1 及 3），可用双曲线法拟合：

$$p = S / (a + b'S) \quad (3.4.1-1)$$

$$S = S' - S_0 \quad (3.4.1-2)$$

式中  $S_0$ ——沉降修正量；

$a, b'$ ——曲线拟合参数，亦即回归直线的截距、斜率，曲线拟合时，应试取  $S_0$  值达最佳拟合为止。

- 3) 当  $p-S'$  曲线呈反弯形时（如图 3.4.1a 中曲线 4），对反弯点（C）以后的实测数据，可按上述双曲线法拟合，也可按式（3.4.1-3）的三点法拟合，取二者

中精度较高者进行整理:

$$S_0 = 3S_1' - 3S_2' + S_3' \quad (3.4.1-3)$$

式中  $S_1'$ 、 $S_2'$ 、 $S_3'$  分别为反弯点  $C$  以后对应于荷载  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  的实测沉降。 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  应符合下列条件:

$$p_3 - p_2 = p_2 - p_1 \quad (3.4.1-4)$$

- 4) 根据修正后的数据绘制  $p-S$  曲线 (图 3.4.1b), 必要时尚应绘制  $\lg p - \lg S$ 、 $p - \Delta S / \Delta p$  ( $\Delta p$  为荷载增量,  $\Delta S$  为沉降增量)、 $S - \sqrt{t}$  或  $S - \lg t$  等曲线。

## 2 快法

- 1) 按外推法推算出各级荷载下沉降速率达到慢法相对稳定标准时所需要的时间和相应的沉降。
- 2) 根据推算的沉降按本条第 1 款进行修正。

### 3.4.2 地基的基本承载力 $\sigma_0$ 可按下列方法确定: •

1 若  $p-S$  曲线存在拐点 (如图 3.4.1b 曲线 2), 则第一拐点 ( $A$ ) 对应压力为比例界限压力  $p_a$ , 第二拐点 ( $U$ ) 对应压力为极限承载力  $p_u$ 。当  $p_u \leq 1.5p_a$  时, 取  $\sigma_0 = p_u/2$ ; 当  $p_u > 1.5p_a$  时, 取  $\sigma_0 = p_a$ 。

2 若  $p-S$  曲线呈圆弧形 (如图 3.4.1b 曲线 1 及 4), 无明显拐点, 可按下述方法确定:

- 1) 在绘制的  $\lg p - \lg S$  或  $p - \Delta S / \Delta p$  曲线上, 取第一转折点所对应的荷载强度为  $\sigma_0$ ;
- 2) 取相对沉降  $S/b$  值所对应的荷载强度为  $\sigma_0$ , 各类土的  $S/b$  值可按表 3.4.2 取用;

表 3.4.2 各类土的相对沉降值 ( $S/b$ )

土 名	黏 性 土				粉 土			砂 类 土			
状 态	流塑	软塑	硬塑	坚硬	稍密	中密	密实	松散	稍密	中密	密实
$S/b$	0.020	0.016	0.012	0.010	0.020	0.015	0.010	0.020	0.016	0.012	0.008

注: 对于软~极软的软质岩、强风化~全风化的风化岩, 应根据工程的重要性和地基的复杂程度取  $S/b = 0.001 \sim 0.002$  所对应的压力为  $\sigma_0$ 。

3) 由双曲线拟合法确定  $p_u$  值, 取  $\sigma_0 = p_u/F$  ( $F$  为安全系数), 可视地基工程性质取  $F$  为 2~3 (高压缩性土取低值, 低压缩性土取高值)。

**3.4.3** 以双曲线法拟合的  $p-S$  曲线应按下列公式确定地基极限承载力:

$$p_u = R_f p_f \quad (3.4.3-1)$$

$$p_f = 1/b' \quad (3.4.3-2)$$

式中  $p_f$ ——破坏荷载;

$b'$ ——由式 (3.4.1—1) 得到的曲线拟合参数;

$R_f$ ——破坏比, 可按表 3.4.3 取值。

表 3.4.3 破坏比的取值

土 名	软土、松散砂类土、 ● 粉土	软~硬塑黏性土、 稍密~中密砂类土	坚硬黏性土、 密实砂类土	碎石类土、软岩、 风化岩
$R_f$	0.90~0.80	0.85~0.75	0.80~0.70	0.75~0.65

**3.4.4** 基本承载力和极限承载力设计使用值的确定应符合下列规定:

- 1) 同一土层参加统计的试验点数不应少于 3 个;
- 2) 试验点的  $\sigma_0$  或  $p_u$  值的极差不大于其平均值 30% 时, 可取平均值作为  $\sigma_0$  或  $p_u$  的设计使用值; 当极差大于其平均值 30% 时, 应查找、分析出现异常值原因, 并按粗差剔除准则补充试验和剔除异常值。

**3.4.5** 土的变形模量  $E_0$  可按下列公式计算:

$$E_0 = \omega(1 - \mu^2) b p_a / S_a \quad (3.4.5)$$

式中  $\omega$ ——承压板形状系数, 圆形取 0.79, 方形取 0.89;

$\mu$ ——泊松比, 碎石类土取 0.25, 砂类土和粉土取 0.3, 粉质黏土取 0.35, 黏土取 0.42;

$p_a$ ——比例界限压力, 即  $p-S$  曲线上第一拐点压力 (见图 3.4.1); 当  $p-S$  曲线无直线段时, 可按  $0.5p_u$  取值;

$S_a$ ——与  $p_a$  相对应的沉降。

**3.4.6 地基竖向基床系数  $K_s$  应按下列要求计算：**

**1 平板载荷试验基床系数  $K_{sa}$  可由下式确定：**

$$K_{sa} = p_a / S_a \quad (3.4.6-1)$$

**2 在同一场地对同一土层使用不同面积的承压板试验时，应按下列式统一修正为一种面积尺寸的基床系数  $K_1$ ：**

$$K_1 = K_{sa} \cdot \sqrt{F_a} / \sqrt{F_1} \quad (3.4.6-2)$$

式中  $K_1$ ——基准基床系数，即方形承压板面积  $F_1 = 0.0929 \text{ m}^2$  (1 平方英尺) 时的基床系数；

$F_a$ ——实际使用的承压板面积。

**3 设计计算时，应根据基础设计面积置换式 (3.4.6-2) 中的  $F_a$ ，计算出实际使用的基床系数  $K_s$ 。**

## 4 螺旋板载荷试验

### 4.1 一般规定

4.1.1 螺旋板载荷试验适用于软土、一般黏性土、粉土及砂类土。

4.1.2 螺旋板载荷试验可提供地基土不同深度处的承载力、变形模量等参数。

### 4.2 设 备

4.2.1 试验设备由室内标定系统、加荷系统、反力系统、测力系统、沉降观测系统组成，应符合下列要求：

#### 1 螺旋板的规格和几何尺寸

##### 1) 螺旋板板径 $b$

I 型： $b = (160 \pm 1) \text{ mm}$

II 型： $b = (252 \pm 2) \text{ mm}$

##### 2) 螺旋板板径( $b$ )与螺距( $a$ )、轴径( $c$ )、板厚( $t$ )的关系应符合下列要求：

$a/b = 0.25 \pm 0.01$ 、 $c/b \leq 0.15$ 、 $t/b = 0.025 \pm 0.001$ ；

##### 3) 螺旋板表面粗糙度不宜大于 $12.5 \mu\text{m}$ ；

##### 4) 螺旋板每旋一圈的入土深度应等于一个螺距。

#### 2 板头传感器

量程：(A) 1500 kPa (3 t 级传感器)

(B) 1000 kPa (2 t 级传感器)

精度：板头传感器的非线性误差、重复性误差、滞后误差和归零误差均应小于 0.5% FS。

防水性能：静水压力为 200 kPa 时，在 150 h 内板头桥路

绝缘电阻应大于 300 MΩ。

工作温度：应适应  $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$  环境温度，标定与工作时环境温度差值不宜大于  $20^{\circ}\text{C}$ 。

过载能力：为额定压力的 150%。

### 3 测试仪表

测试仪器：应能在  $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$  的环境中正常工作，预热后其时漂应小于  $0.1\% \text{FS/h}$ 、温漂应小于  $0.01\% \text{FS}/^{\circ}\text{C}$ ；有效最小分度值小于  $0.06\% \text{FS}$ 。

百分表：量程 30 mm，特殊要求可配 50 mm。

位移传感器：量程  $3000\mu\text{m}$ ，全量程综合误差小于  $4\mu\text{m}$ 。

4 传力杆规格：直径  $\phi 36\text{ mm}$  合金钢厚壁管，每米质量应控制在  $5.5 \sim 6\text{ kg}$ 。

5 标定装置对力的传递误差应小于 0.5%，并应符合下列要求：

- 1) 在工作状态下，标定架的压力作用线与被标定的传感器同轴度公差为  $\phi 0.5\text{ mm}$ 。
- 2) 标定板头传感器所用的测力计或传感器不得低于Ⅲ等标准测力计的精度；其公称量程不宜大于板头传感器额定荷载的 2 倍。
- 3) 标定板头传感器绝缘性能的储水压力罐及压力检测装置的密封性能必须良好。

4.2.2 板头传感器的标定应符合附录 A 的规定。

## 4.3 试验要点

4.3.1 试验前的准备工作应符合下列要求：

1 核查板头标定卡，螺旋板几何尺寸应符合设计要求，且无损伤、板面光滑，检查百分表、液压千斤顶、记时电子秒表及记录仪等设备的完好性。

2 将螺旋板的方棒插入板头传感器下端的方孔中，上下活动自如后，用一根约  $\phi 3\text{ mm}$  的软金属丝（铝丝或保险丝）插入

连接好的销孔中，使螺旋板与板头连成一体。

#### 4.3.2 试验设备安装应符合下列要求：

1 平整场地，然后用下锚机或人力旋下 4 个反力地锚和 2 个固定沉降支架的小地锚，并安装相应的组装件，对工字大梁、千斤顶座、表座托板均应用水平尺校准。

2 根据测试深度的需要，接好传力杆。若用电测式板头，应按传力杆连接顺序依次穿好电缆，并与传感器和螺旋板连成一体，检查信号输出是否正常，然后将板头旋到既定测试深度，并保持传力杆的垂直状态。

3 调整好传力杆顶部至荷载大梁间的垂直距离，使其恰好能安装加压部件（液压千斤顶、顶头、顶座等），先在传力杆上固定沉降支板，然后将加压部件安装就位，并保持整体传力系统的垂直度，避免偏压。

4 在沉降支架上装好磁性表座及百分表，调整百分表量测头与沉降支板接触的距离，使百分表指针对零。

5 若为电测表头，需按规定预热、调零，然后量测。仪器应置于干燥地点，严禁曝晒与碰撞。

#### 4.3.3 试验方法应符合下列规定：

1 需同时测定地基土模量及承载力时，应采用慢法试验；

2 仅需测定地基承载力时，可使用快法试验；

3 慢法和快法试验应符合本规程第 3.3.4 条和第 3.3.5 条的要求。

#### 4.3.4 试验工作应符合下列基本要求：

1 按不同试验方法要求进行操作。

2 试验点应在静力触探了解地层剖面后布置，同一试验孔在垂直方向上的试验点间距宜为 1 m。土质均匀、厚度较大时，点间距可取 2~3 m。

3 试验孔测试完成后，将传力杆和传感器拔出地面，弃螺旋板于孔内。

#### 4.3.5 出现下列情况之一时，可终止试验：



- 1 荷载不变, 24 h 内沉降速率几乎不变;
- 2 荷载增加很小, 但沉降急剧增大,  $p-S'$  曲线上出现陡降段;
- 3 相对沉降  $S'/b > 0.1$ 。

#### 4.4 资料整理与计算

4.4.1 螺旋板载荷试验数据应按第 3.4.1 条要求整理。

4.4.2 当  $p-S'$  曲线如图 3.4.1a 曲线 2 所示的形态时, 曲线上各特征值应按下列方法确定:

1 初始压力  $p_0$ :  $p-S'$  曲线初始直线与  $p$  轴的交点。 $p-S'$  曲线上无明显直线段时, 为过曲率最大点所作前段曲线的切线与  $p$  轴的交点。 $p_0$  可视为土层原位上覆压力。

2 临塑压力:  $p_F$ :  $p-S'$  曲线的初始直线段终点 (即第一拐点 A) 所对应的压力。

3 极限压力  $p_L$ :  $p-S'$  曲线末尾直线段起点 (即第二拐点 U) 对应的压力。

4.4.3 地基基本承载力  $\sigma_0$  可按下列方法确定:

1 拐点法: 取临塑压力  $p_F$  为  $\sigma_0$ , 此法适用于具有初始直线段的  $p-S$  曲线。

2 相对沉降法: 在  $p-S$  曲线上取  $S/b$  值所对应的压力为  $\sigma_0$ 。对低压缩性土和砂土, 可取  $S/b = 0.015$ ; 对中、高压缩性土可取  $S/b = 0.02$ 。此法适用于圆弧型  $p-S$  曲线。

3 极限荷载法: 由  $p-S$  曲线上所得的极限承载力  $p_u$  除以安全系数为基本承载力。

4.4.4 极限承载力  $p_u$  可按下列方法确定:

1 第二拐点法: 用  $p-S$  曲线或  $\lg p - \lg S$ ,  $S - \lg p$  等曲线的第二拐点压力  $p_L$  确定为  $p_u$ 。

2 相对沉降法: 取  $S/b = 0.10$  所对应的压力为  $p_u$ 。

3 双曲线法: 可按第 3.4.3 条确定  $p_u$ 。

4.4.5 土的变形模量  $E_0$  应根据慢法试验结果按下列公式计算:

$$E_0 = \omega I_1 I_2 (1 - \mu^2) b p_F / S_F \quad (4.4.5-1)$$

$$I_1 = 0.5 + 0.23b/z \quad (4.4.5-2)$$

$$I_2 = 1 + 2\mu^2 + 2\mu^4 \quad (4.4.5-3)$$

式中  $I_1$ ——螺旋板埋深  $z$  的修正系数；  
 $I_2$ ——与泊松比有关的修正系数；  
 $b$ ——螺旋板板径；  
 $\omega$ ——螺旋板形状系数，可取 0.79；  
 $\mu$ ——土的泊松比，可参照本规程第 3.4.5 条取值；  
 $S_F$ ——对应于临塑压力  $p_F$  的沉降。

## 5 岩体直剪试验

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 直剪试验适用于具有软弱结构面的岩体和软质岩。

**5.1.2** 岩体直剪试验可测定试体抵抗剪切破坏的能力，为地下建筑物、岩质边坡的稳定分析提供抗剪强度参数。

**5.1.3** 直剪试验按剪力作用方向与剪切面关系可分为平推法和斜推法（图 5.1.3），试验时应优先使用平推法；按剪切面属性和有无法向应力，直剪试验可分为抗剪断试验、抗滑试验和抗切试验，试验前应根据工程需要选定试验方法。

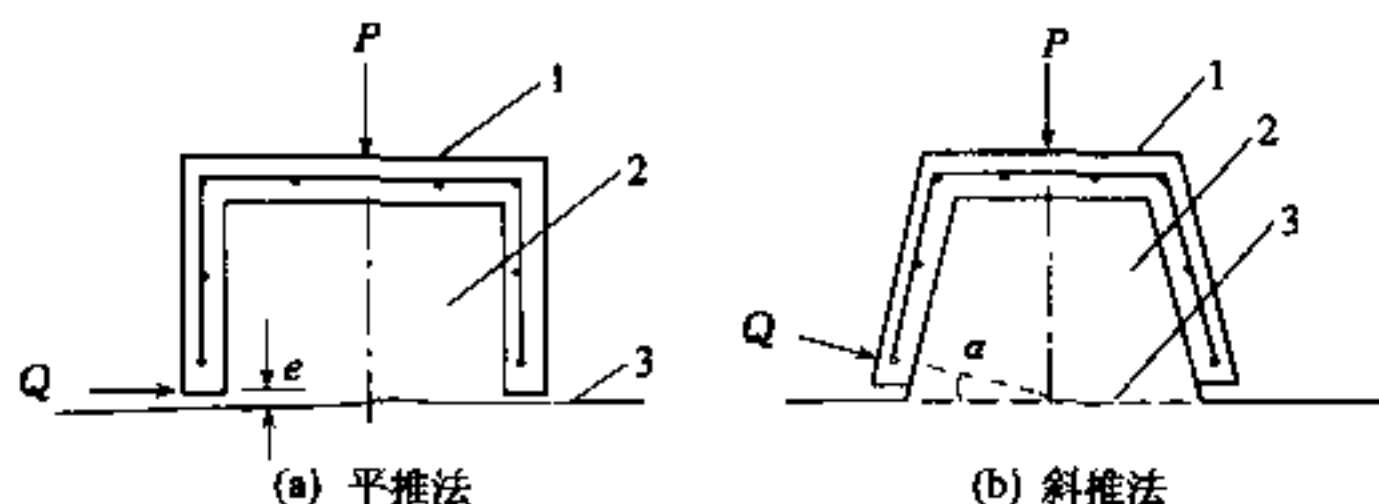


图 5.1.3 岩体直剪试验试体加固和受力示意

1—钢筋混凝土保护罩；2—试体；3—软弱结构面或预定剪切面；  
 $\alpha$ —剪力作用线倾角； $Q$ —剪力； $P$ —垂直荷载； $e$ —剪力偏距

**5.1.4** 同一组试体的工程地质条件应基本相同，试体数量不宜少于 5 个；试体底面积宜采用  $70\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ ，不得小于  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ ；试体高度不宜小于边长的一半、试体间距应大于边长的 1.5 倍。

**5.1.5** 直剪试验可在试坑、探槽、试洞中进行。在试洞内进行试验时，试体部位之洞顶应先开凿成大致平整的岩面后浇筑混凝土（或砂浆）反力垫层；在施加剪力的后座部位，应按液压千斤顶（或液压钢枕）的形状和尺寸开挖并浇筑反力垫层。

## **5.2 设 备**

**5.2.1** 直剪试验设备包括试体制备、加载、传力、量测及其他配套设备。

**5.2.2** 直剪试验设备应采用电测式和自动化仪器。

## **5.3 试 验 要 点**

**5.3.1** 水平岩体软弱面、软质岩体直剪试验的试体制备应符合下列要求：

1 在试体部位挖除表层松动岩石，形成平整岩面，定出剪切面积，再沿所定剪切面积周边将试体与周围岩石切开；

2 具软弱面的岩体，应使软弱面处在预定的剪切部位；

3 膨胀性岩体试体制备，应采取以下措施：切断地下水源；用水泥砂浆抹顶面，在其上施加一定的垂直荷载；在试体内埋设钢筋，对其施加锚固力（试验时，在施加垂直荷载后拆除）等；

4 按图 5.1.3 在试体上浇筑钢筋混凝土保护罩，其底部应处在预定剪切面之上；

5 应根据设计要求保持试体天然含水量或对试体浸水饱和；

6 应按垂直、剪切和侧向位移测量要求，在试体上埋设测量标点。

**5.3.2** 倾斜岩体软弱面试体制备成矩形或梯形有困难时，可按图 5.3.2 制备楔形试体。在探明倾斜岩体软弱面的部位和产状后，应按第 5.3.1 条有关要求制备试体。制备过程中，应采取措施，防止试体下滑。

**5.3.3** 试验前对试体及所在试验地段进行描述与记录应包括下列内容：

1 岩石名称及岩性、风化破裂程度、岩体软弱面的成因、类型、产状、分布状况、连续性及其所夹充填物的性状（厚度、颗粒组成、泥化程度和含水状态等）；

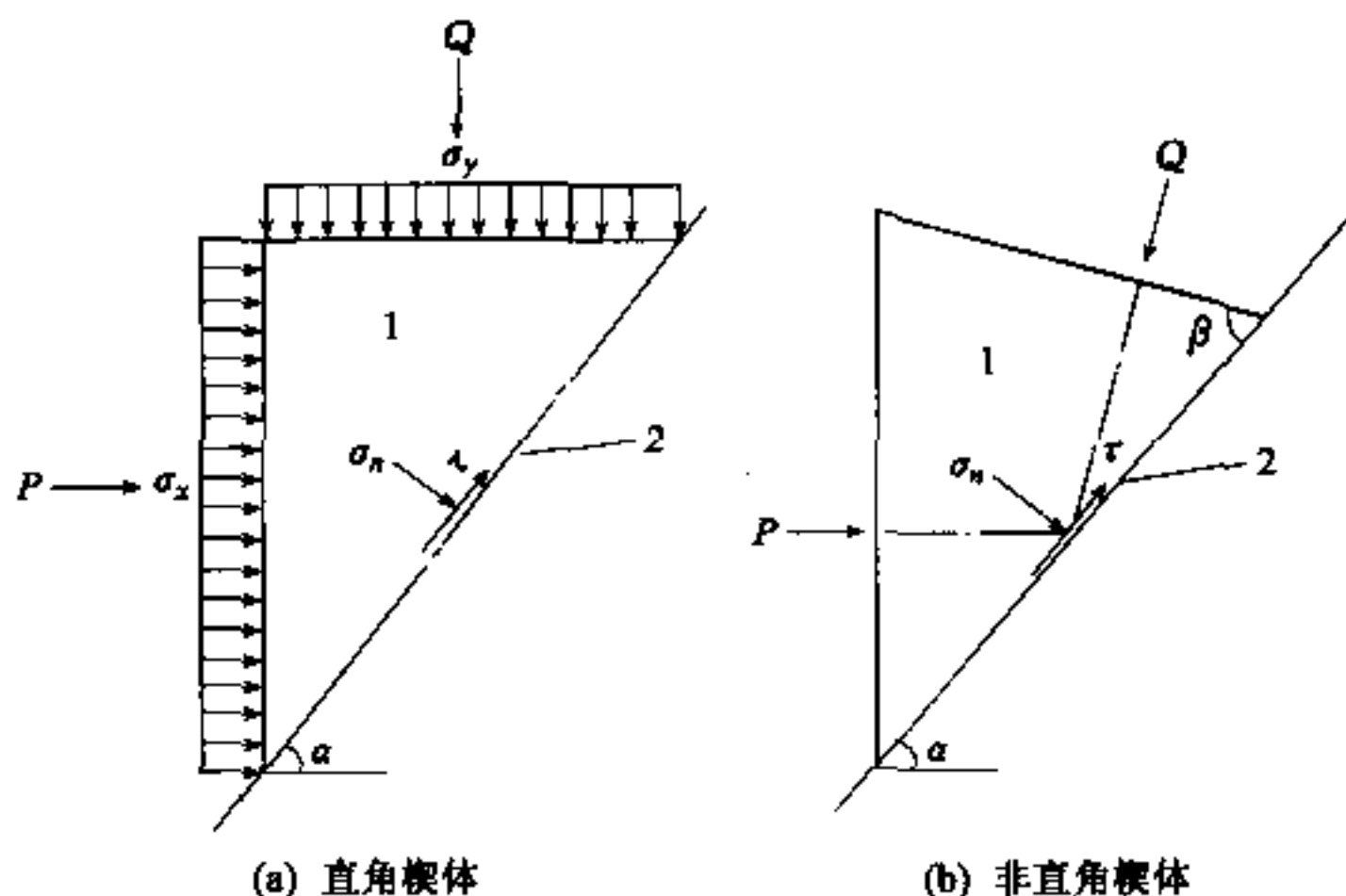


图 5.3.2 倾斜岩体软弱面直剪试验试体及受力示意

1—楔形试体；2—岩体软弱面； $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  和  $P$ 、 $Q$ —作用在试体上的应力和外力；  
 $\sigma_n$ 、 $\tau$ —剪切面上的法向应力和剪应力； $\alpha$ —岩体软弱面倾角；  
 $\beta$ —非直角楔体顶面与岩体软弱面的交角

2 在岩洞内应记录岩洞编号、位置、洞线走向、洞底高程、岩洞和试点的纵、横地质剖面；

3 在露天或基坑内应记录试点位置和高程及其周围的地形、地质情况；

4 记录试验地段开挖情况和试体制备方法；试体编号、位置、剪切面尺寸和剪切方向；试验地段和试点部位地下水的类型、化学成分、活动规律和流量等。

5.3.4 试验后应描述剪切面尺寸、剪切破坏形式、剪切面起伏差、擦痕的方向和长度、碎块分布状况、剪切面上充填物性质，并对剪切面拍照记录。

5.3.5 试验设备安装应符合下列要求：

1 整个垂直加荷系统应与剪切面垂直（可用水准尺或铅球吊线校核），垂直合力应通过剪切面中心。在露天场地试验时，垂直荷载的施加可采用锚杆（地脚螺丝）作反力装置。

2 在安装水平千斤顶时，水平推力中心应通过预定的剪切

面；难以满足此项要求时，其着力点距剪切面的距离应控制在试件边长（沿推力方向）的 5% 以内，每次试验时应应对这一距离进行记录。

### 3 测量仪表的布置与安装：

- 1) 在试体两侧靠近剪切面的四个角点处，至少布置水平向和垂直向量表各 4 只，测量试体的绝对变形。量表支架应牢固地安放在变形影响范围之外的支点上。在测量绝对变形的同一标点上，用万能表架安装相对变形量表。
- 2) 根据需要，可在试体及其周围基岩面上，安装测量绝对位移或相对位移的量表。
- 3) 量表应注意防水、防潮。所有量表及标点应严格定向，初始读数应调整适当。

### 5.3.6 对剪切面施加垂直荷载应符合下列规定：

1 垂直荷载应位于剪切面中心或使垂直荷载和剪切荷载的合力通过剪切面中心。

2 岩体软弱面和软质岩体的最大垂直荷载应以不挤出软弱面上的充填物或破坏试体为度。

3 垂直荷载分 4~5 次（级）按等差或等比（公比取 2）数列施加。

4 每次（级）荷载施加时应测读、记录垂直位移，测读的时间间隔为 10 min 或 15 min。以连续两次测读差小于等于 0.05 mm 为稳定标准。

5.3.7 试体剪切前，应按下列公式预估最大推力  $Q_{\max}$  值，并使推力作用线通过剪切面中心：

$$\text{矩形试体 } Q_{\max} = (\sigma_n f + c) F \quad (5.3.7-1)$$

$$\text{梯形试体 } Q_{\max} = \frac{(\sigma_n f + c) F}{\cos \alpha} \quad (5.3.7-2)$$

$$\text{直角楔体 } Q_{\max} = (\sigma_n + \sigma_n f \tan \alpha + c \tan \alpha) F_y \quad (5.3.7-3)$$

$$\text{非直角楔体 } Q_{\max} = \frac{(\sigma_n f + c) \sin \alpha + \sigma_n \cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} F \quad (5.3.7-4)$$

式中  $f$ ——预估的摩擦系数,  $f = \tan \varphi$ ;

$c$ ——预估的黏聚力;

$F$ ——剪切面面积;

$F_y$ ——试体垂直面面积;

其余符号见图 5.1.3 及图 5.3.2。

**5.3.8** 应按  $Q_{\max}$  的 8% ~ 10% 分级施加推力, 并每隔 10 min 或 15 min 施加一级。施加前、后应测记各量表值。当该级推力引起的剪切位移为前一级的 1.5 倍以上时, 下一级推力应减半施加。剪切位移达剪力峰值并出现剪力残余值或剪切位移达剪切面边长的 1/10 时, 可终止试验。

**5.3.9** 使用斜推法的试体, 在剪切过程中应同步扣减施加推力时在剪切面上所增加的垂直荷载。垂直荷载按下列公式计算:

1 梯形试体  $p = \sigma_n - q \sin \alpha$  (5.3.9—1a)

$$Q = qF \quad (5.3.9—1b)$$

$$P = pF \quad (5.3.9—1c)$$

2 直角楔体  $\sigma_x = \frac{\sigma_n - \sigma_y \cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha}$  (5.3.9—2a)

$$Q = \sigma_y F_y \quad (5.3.9—2b)$$

$$P = \sigma_x F_x \quad (5.3.9—2c)$$

3 非直角楔体  $p = \frac{\sigma_n - q \cos \beta}{\sin \alpha}$  (5.3.9—3a)

$$Q = qF \quad (5.3.9—3b)$$

$$P = pF \quad (5.3.9—3c)$$

式中  $q, p$ ——作用在剪切面上的斜向单位推力和压力;

$\sigma_y, \sigma_x$ ——作用在试体水平面  $F_y$  和垂直面  $F_x$  上的单位推力和压力;

$Q, P$ ——作用于试体上的斜向推力和垂直荷载;

其他符号意义同前。

**5.3.10** 试验前应按下列公式预估作用在剪切面上的最小法向应力  $\sigma_{\min}$ :

$$1 \text{ 梯形试体} \quad \sigma_{\min} = \frac{c}{\cot \alpha - f} \quad (5.3.10-1)$$

$$2 \text{ 直角楔体} \quad \sigma_{\min} = \frac{c}{\tan \alpha - f} \quad (5.3.10-2)$$

$$3 \text{ 非直角楔体} \quad \sigma_{\min} = \frac{c}{\tan \beta - f} \quad (5.3.10-3)$$

5.3.11 直剪试验结束后,依次将剪力和垂直荷载退为零,拆除测量仪表、支架、剪切和垂直加载设备,然后按第 5.3.4 条对试体和剪切面进行描述。

## 5.4 资料整理与计算

5.4.1 试体剪切面应力应按下列公式计算:

### 1 平推法的剪切面应力

$$\text{法向应力} \quad \sigma_n = \frac{P}{F} \quad (5.4.1-1)$$

$$\text{剪应力} \quad \tau = \frac{Q}{F} \quad (5.4.1-2)$$

### 2 斜推法的剪切面应力

#### 1) 梯形试体

$$\text{法向应力} \quad \sigma_n = \frac{P + Q \sin \alpha}{F} \quad (5.4.1-3)$$

$$\text{剪应力} \quad \tau = \frac{Q \cos \alpha}{F} \quad (5.4.1-4)$$

#### 2) 直角楔体

$$\text{法向应力} \quad \sigma_n = \sigma_y \cos^2 \alpha + \sigma_x \sin^2 \alpha \quad (5.4.1-5)$$

$$\text{剪应力} \quad \tau = \frac{1}{2} (\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\alpha \quad (5.4.1-6)$$

#### 3) 非直角楔体

$$\text{法向应力} \quad \sigma_n = q \cos \beta + p \sin \alpha \quad (5.4.1-7)$$

$$\text{剪应力} \quad \tau = q \sin \beta - p \cos \alpha \quad (5.4.1-8)$$

$$q = \frac{\sigma_n \cos \alpha}{\cos (\alpha - \beta)} \quad (5.4.1-9)$$

$$p = \frac{\sigma_n \sin \beta}{\cos (\alpha - \beta)} \quad (5.4.1-10)$$



**5.4.2** 剪应力与剪切位移关系曲线应根据同一组试验结果,以剪应力为纵轴、剪切位移为横轴,绘制每一试验点的剪应力与剪切位移关系曲线(图 5.4.2),从曲线上选取剪应力的峰值和残余值。剪应力峰值也可根据剪应力与剪切位移关系曲线的线性比例极限、屈服点、屈服强度或剪切过程中垂直和侧向位移定出的

**5.3.8** 应按  $Q_{\max}$  的 8%~10% 分级施加推力,并每隔 10 min 或 15 min 施加一级。施加前、后应测记各量表值。当该级推力引起的剪切位移为前一级的 1.5 倍以上时,下一级推力应减半施加。剪切位移达剪力峰值并出现剪力残余值或剪切位移达剪切面边长的 1/10 时,可终止试验。

**5.3.9** 使用斜推法的试体,在剪切过程中应同步扣减施加推力时在剪切面上所增加的垂直荷载。垂直荷载按下列公式计算:

$$1 \text{ 梯形试体} \quad p = \sigma_n - q \sin \alpha \quad (5.3.9-1a)$$

$$Q = qF \quad (5.3.9-1b)$$

$$P = pF \quad (5.3.9-1c)$$

$$2 \text{ 直角楔体} \quad \sigma_x = \frac{\sigma_n - \sigma_y \cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} \quad (5.3.9-2a)$$

$$Q = \sigma_y F_y \quad (5.3.9-2b)$$

$$P = \sigma_x F_x \quad (5.3.9-2c)$$

$$3 \text{ 非直角楔体} \quad p = \frac{\sigma_n - q \cos \beta}{\sin \alpha} \quad (5.3.9-3a)$$

$$Q = qF \quad (5.3.9-3b)$$

$$P = pF \quad (5.3.9-3c)$$

式中  $q, p$ ——作用在剪切面上的斜向单位推力和压力;

$\sigma_y, \sigma_x$ ——作用在试体水平面  $F_y$  和垂直面  $F_x$  上的单位推力和压力;

$Q, P$ ——作用于试体上的斜向推力和垂直荷载;

其他符号意义同前。

**5.3.10** 试验前应按下列公式预估作用在剪切面上的最小法向应力  $\sigma_{\min}$ :

## 6 十字板剪切试验

### 6.1 一般规定

6.1.1 十字板剪切试验适用于测定饱和软黏性土的不排水抗剪强度及灵敏度等参数，测试深度不宜大于 30 m。

6.1.2 十字板剪切试验前应对测力用的扭力传感器或开口钢环进行标定，标定方法和步骤应符合本规程附录 A 规定。

6.1.3 十字板剪切试验点位置宜根据土层的静力触探分层情况，结合工程特点和要求进行布置。

6.1.4 十字板剪切试验时，应始终保持机座处于水平状态，在地表水以下进行十字板剪切试验时，应有保证试验孔不产生偏斜和防止探杆弯曲的措施。

6.1.5 测定场地土的灵敏度时，宜根据土层情况和工程需要选择有代表性的孔、段进行。每层土的试验次（孔）数宜为 3~6 次（孔）。

### 6.2 设 备

6.2.1 十字板剪切试验设备由十字板头、试验仪器（包括测力计及其配套用的仪表与器械）、试验用探杆、贯入主机组成。试验仪器可采用下列两种形式：

1 电测式十字板剪切仪，包括静力触探和十字板试验两用仪，其十字板头可通过扭力传感器与探杆相联接。

2 机械式十字板剪切仪，其十字板头可通过牙嵌式或离合式离合器与探杆相联接。

6.2.2 十字板头宜采用不锈钢整体铸造，其规格应符合表 6.2.2 的规定，且板面粗糙度不得大于  $6.3\mu\text{m}$ 。

表 6.2.2 十字板头规格

型号	板高 $H$ (mm)	板宽 $D$ (mm)	板厚 $t$ (mm)	板下端刃角 $\alpha$ (°)	轴 杆		高宽比 $H/D$	厚宽比 $t/D$	面积比 $A$ , (%)
					直径 $\phi$ (mm)	长度 $s$ (mm)			
I	100	50	2	60	13	50	2	0.04	$\leq 14$
II	150	75	3	60	16	50	2	0.04	$\leq 13$

注：对于淤泥，宜使用 II 型板头试验。

### 6.2.3 十字板剪切试验仪器的技术性能应符合下列要求：

1 电测式十字板剪切仪的扭力传感器应采用电阻应变式，并应符合下列规定：

- 1) 在额定荷载下，检测总误差不应大于 3% FS，其中非线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1% FS；
- 2) 传感器出厂时的对地绝缘电阻不应小于 500 M $\Omega$ ；在 300 kPa 水压下恒压 1 h 后，绝缘电阻应大于 300 M $\Omega$ ；
- 3) 用于现场试验的传感器，其对地绝缘电阻不得小于 20 M $\Omega$ ；
- 4) 传感器护套外径不宜大于 20 mm。

2 电测式十字板剪切试验用的记录仪应符合下列规定：

- 1) 时漂应小于 0.1% FS/h；温漂应小于 0.01% FS/°C；
- 2) 有效最小分度值应小于 0.06% FS。

3 电测式十字板剪切仪所用贯入主机的探杆夹持器，应能牢固夹持探杆，不得产生相对转动。

4 钢环式测力计，其检测精度应符合本条第 1 款第 1) 项规定；配备的量表和刻度盘的检测误差应小于 1% FS。

### 6.2.4 十字板剪切试验用探杆应符合下列要求：

1 探杆必须平直。用于前 5 m 的探杆，其弯曲度应不大于 0.05%，后续探杆的弯曲度应不大于 0.1%。

2 探杆两端螺纹轴线的同轴度公差应小于  $\phi 1$  mm，探杆连

接应有良好的互换性。以锥形螺纹连接的探杆，连接后不得有晃动现象；以圆柱形螺纹连接的探杆，拧紧后丝扣之根、肩应能密合。

3 对试验深度大于 10 m 的机械式十字板试验孔，应安设导轮，导轮间距不宜大于 10 m。

**6.2.5** 电测式十字板剪切试验贯入主机应采用静力触探机；机械式十字板剪切试验贯入主机应使用工程钻机。

### **6.3 试验要点**

**6.3.1** 电测式十字板剪切试验应符合下列规定：

1 将地锚对称设置于试验孔位两侧，地锚数量应满足最大试验深度的反力需要。

2 将贯入主机就位，调平机座并经水平尺校准后，锁定机座与地锚。

3 安装扭力装置，把带电缆的探杆穿过扭力装置，下端与十字板头传感器电缆相连，并做好防水处理；电缆上端连接记录仪。

4 将十字板头压入地下 0.5 m，使传感器与地温取得热平衡，直到仪表输出值不变后调零。

5 按试验要求，将十字板头压至预定深度并静置 2~5 min 后，移去山形插板及探杆卡块，将扭力装置上的夹持器拧紧或锁定探杆接头，并应掌握以下要点：

1) 探杆连接应逐节拧紧；

2) 加接探杆必须在十字板剪切试验点位以上不小于 0.3 m 处；

3) 拧紧探杆夹持器时，不得使扭力装置相对于地面转动。

6 按顺时针方向徐徐转动扭力装置上的旋转手柄，转速应均匀并符合  $1^\circ/10\text{s}$  的要求。

7 十字板头每转  $1^\circ$  应记录一次仪表读数，直至峰值读数后再测记 1 min；必要时可测记至稳定值出现。稳定值的确定以最

小值读数连续出现 6 次为准。

8 当测定试验点土的灵敏度时，可用管钳按顺时针方向迅速转动探杆 6 圈，记下初读数，重复上述试验步骤，记录重塑土的相应读数。测定完毕，接长探杆，将十字板头压入到下一个深度进行试验。

9 在一个试验孔中连续试验时，应记录初读数，仪表不再调零。试验结束，将十字板头拔出地面，及时记录仪表不归零读数。

10 试验时应按本规程附录表 B.1.1 要求逐项记录，并进行读数修正后提交记录表。

### 6.3.2 机械式十字板剪切试验应符合下列规定：

1 试验用钻机（或其他成孔机械），开孔前必须调平机座并经水平尺校准后定位。

2 试验孔应采用回转干钻成孔，跟管钻进，套管应下至距试验点  $(50 \pm 4)$  cm 处固定。

3 试验前应使用空心螺纹钻清除孔内残土，孔底残留土厚度不应大于 10 cm。

4 试验中应逐节连接并拧紧十字板头、轴杆、导轮、探杆，将十字板下放至孔底，在套管口用垫叉或其他专用工具将其托住。

5 接导杆，安装底座，并使其固定在套管上，脱开垫叉，用慢速将十字板头压至试验点位，并应静置 2~5 min，同时进行下列工作：

- 1) 检查十字板剪切仪各部转动构件，是否运转正常、转动灵活；
- 2) 安装传动部件，转动底板使导杆键槽对正钢环固定夹键槽，将固定套锁定于底座上，再微转手柄使特制键落入键槽；
- 3) 将角位移指针对准刻度盘的零位，装上量表并调至零位。

6 操作要求应符合第 6.3.1 条有关规定,但每次试验后应量测轴杆的摩擦阻力。

7 在水上进行试验时,应防止套管自重下沉。

## 6.4 资料整理与计算

6.4.1 十字板剪切试验数据应按下列公式计算修正:

### 1 原状土试验数据

$$(\epsilon_j) = \epsilon_j - \epsilon_0 \quad (6.4.1-1a)$$

$$(\epsilon_f) = \epsilon_f - \epsilon_0 \quad (6.4.1-1b)$$

### 2 重塑土试验数据

$$(\epsilon'_j) = \epsilon'_j - \epsilon'_0 \quad (6.4.1-2a)$$

$$(\epsilon'_f) = \epsilon'_f - \epsilon'_0 \quad (6.4.1-2b)$$

### 3 残余值读数

$$(\epsilon_r) = \epsilon_r - \epsilon_0 \quad (6.4.1-3)$$

式中  $\epsilon_j, (\epsilon_j)$ ——十字板试验点的第  $j$  号实测值和修正值;

$\epsilon_f, (\epsilon_f)$ ——十字板试验点的最大读数(峰值)实测值和修正值;

$\epsilon_0$ ——经分析后确认的原状土试验点的初读数或机械式十字板轴杆及导轮的摩擦阻力读数;本规程规定,机械式十字板试验时,量表的初读数为零;

$\epsilon'_j, (\epsilon'_j)$ ——十字板试验点土经重塑后第  $j$  号实测值和修正值;

$\epsilon'_f, (\epsilon'_f)$ ——十字板试验点土经重塑后的最大稳定读数实测值和修正值;

$\epsilon'_0$ ——重塑土的初读数(机械式十字板初读数为零);

$\epsilon_r, (\epsilon_r)$ ——十字板试验点的最小稳定读数实测值和修正值。

6.4.2 土的十字板强度  $s_u$ 、残余强度  $s_{ur}$ 、重塑土强度  $s'_u$  应按

下列公式计算：

$$s_u = K\xi \cdot (\epsilon_f) \quad (6.4.2-1)$$

$$s_{ur} = K\xi \cdot (\epsilon_r) \quad (6.4.2-2)$$

$$s_u' = K\xi \cdot (\epsilon_f') \quad (6.4.2-3)$$

$$K = 6 / (7\pi D^3) \quad (6.4.2-4)$$

式中  $\xi$ ——传感器或钢环标定系数；

$D$ ——十字板宽度。

**6.4.3** 土层的灵敏度  $S_t$  可按下式计算：

$$S_t = \bar{s}_u / \bar{s}_u' \quad (6.4.3)$$

式中  $\bar{s}_u$ ——土层的十字板强度平均值；

$\bar{s}_u'$ ——土层的重塑土强度平均值。

**6.4.4** 试验点处的剪应力应按下列公式计算：

$$\tau_j = K\xi \cdot (\epsilon_j) \quad (6.4.4-1)$$

$$\tau_j' = K\xi \cdot (\epsilon_j') \quad (6.4.4-2)$$

式中  $\tau_j, \tau_j'$ ——原状土、重塑土的第  $j$  号剪应力。

**6.4.5** 机械式十字板转角可按下式修正：

$$\theta_j = j - \Delta\theta_j \quad (6.4.5-1)$$

$$\Delta\theta_j = 5760l(M_1)_j / [\pi^2 G(d_1^4 - d_2^4)] \quad (6.4.5-2)$$

式中  $\theta_j$ ——试验点处机械式十字板的第  $j$  号转角 ( $^\circ$ )；

$j$ ——十字板试验的读数序号，规定每转  $1^\circ$  记数一次；

$\Delta\theta_j$ ——第  $j$  号转角修正量 ( $^\circ$ )；

$l$ ——扭力夹持器的下端至十字板上端面间的导杆、探杆及轴杆的总长 (m)；

$d_1, d_2$ ——探杆的外径和内径 (m)；

$G$ ——探杆的剪切模量，可取  $8 \times 10^7$  kPa；

$(M_1)_j$ ——相应于  $l, j$  的包括摩擦扭矩在内的十字板总扭矩 (kN·m)。

**6.4.6** 单孔十字板剪切试验成果应按表 B.1.2 绘制成果图。

**6.4.7** 当用十字板强度  $s_u$  替代地基土不排水抗剪强度  $c_u$  用于

工程设计计算时,应根据土层条件或地区性经验进行修正。当缺乏地区使用经验时,可按下式修正:

$$c_u = \mu s_u \quad (6.4.7)$$

式中  $\mu$  为修正系数: 当  $I_p \leq 20$  时,  $\mu = 1$ ; 当  $20 < I_p \leq 40$  时,  $\mu = 0.9$ 。

**6.4.8** 软黏土的  $s_u-d$  曲线呈线性递增趋势时 (图 6.4.8), 土的固结不排水抗剪强度参数可按下列方法计算:

1 固结不排水剪内摩擦角  $\varphi_{cu}$  按下式计算:

$$\tan \varphi_{cu} = 3s_u / [(1 + 2K_0)\sigma_p'] \quad (6.4.8a)$$

$$K_0 = 1 - \sin(1.2\varphi_{cu}) \quad (6.4.8b)$$

$$\sigma_p' = \bar{\gamma}(d - \Delta d) \quad (6.4.8c)$$

式中  $s_u$ ——图 6.4.8 中  $s_u-d$  回归直线上任意点处土的十字板强度;

$K_0$ ——土的静止土压力系数;

$\sigma_p'$ ——对应于  $s_u$  所在深度  $d$  处土的有效自重压力计算值;

$\bar{\gamma}$ ——土层的有效重度平均值;

$\Delta d$ ——回归直线在  $d$  轴上的截矩, 应区分正负。

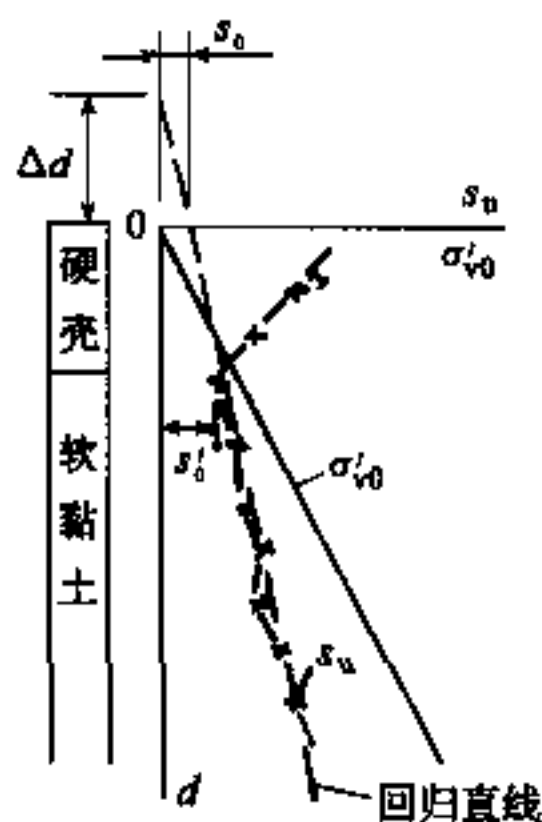


图 6.4.8  $s_u$ 、 $\sigma'_{v0}-d$  曲线

用上式计算  $\varphi_{cu}$  值时, 应使用叠代法运算, 以闭合差不大于  $0.1^\circ$  为闭合标准。

2 土的固结不排水剪黏聚力  $c_{cu}$ , 可取用图 6.4.8 中回归直线交  $s_u$  轴的截矩  $s_0$  值。

**6.4.9** 土的应力历史可由图 6.4.8 中  $s_u-d$  关系曲线按下列方法判定:

1 土的固结状态可根据图中回归直线交纵轴的  $\Delta d$  之正、



负予以区分： $\Delta d > 0$ ，为欠固结土； $\Delta d = 0$ ，为正常固结土； $\Delta d < 0$ ，为超固结土。

2 土的超固结比 OCR 可按式计算：

$$OCR = 22s_u(I_p)^m / \sigma'_{nc} \quad (6.4.9)$$

式中  $m$ ——与地区土质特性有关的经验指数，一般可取  $-0.48$ ；

$\sigma'_{nc}$ ——土的有效自重压力。

## 7 预钻式旁压试验

### 7.1 一般规定

7.1.1 预钻式旁压试验适用于确定黏性土、粉土、黄土、砂类土、软质岩石及风化岩石等地基的承载力与变形参数。

7.1.2 预钻式旁压试验应重视成孔质量，孔径与旁压器应相匹配，减少对孔周土体扰动。

### 7.2 设 备

7.2.1 预钻式旁压仪设备分低压型和高压型两类，由旁压器、加压稳定装置、变形量测系统、导管和水箱组成。旁压器结构形式为三腔式圆筒形。

7.2.2 加压稳定装置包括压力源、压力表、调压阀等，压力表最小分度值应不大于满量程的 1%。

7.2.3 变形量测系统包括测管和辅管，测管水位刻度最小分度值应不大于 1 mm；量测体积变化刻度的最小分度值应不大于  $0.5\text{ cm}^3$ 。

7.2.4 导管分多根单管和同轴导管两种，导管两端接头应密封且装卸方便。

7.2.5 成孔工具应使用勺钻、环刀成孔器、取样器、回转钻机及泥浆泵等。

### 7.3 试验要点

7.3.1 预钻式旁压试验的仪器标定应符合下列规定：

- 1 压力表必须一年标定一次。
- 2 当进行弹性膜约束力标定时出现不均匀膨胀或弹性膜出

现砂眼时，必须更换弹性膜。

3 遇下列情况之一时，应进行弹性膜约束力标定：

- 1) 新的弹性膜使用前；
- 2) 弹性膜累计试验次数达 8 次；
- 3) 弹性膜停做试验的时间达 48 h 以上；
- 4) 旁压器从孔中取出时，测量腔弹性膜被拉翻。

4 遇下列情况之一时，必须进行仪器综合变形标定：

- 1) 第一次使用的旁压仪或旁压器；
- 2) 导管长度发生变化；
- 3) 更换测管。

7.3.2 弹性膜约束力的标定应符合下列规定：

1 将旁压器竖立于地面，让弹性膜加、卸压使其胀缩 3~4 次。

2 低压型旁压仪每级按 10 kPa、高压型旁压仪每级按 25 kPa，逐级加压；低压型按 30 s、60 s、180 s，高压型按 15 s、30 s、60 s，记录各级压力下的测管水位下降值  $s_m$  或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$ ，填入表 B.2.1。

3 根据压力表读数  $p_m$  与旁压器测量腔的静水压力  $p_w$  之和即总压力  $p$  与测管水位下降值  $s_m$  或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$ ，绘制弹性膜约束力标定曲线  $p-s$  或  $p-V$ （图 7.3.2）。

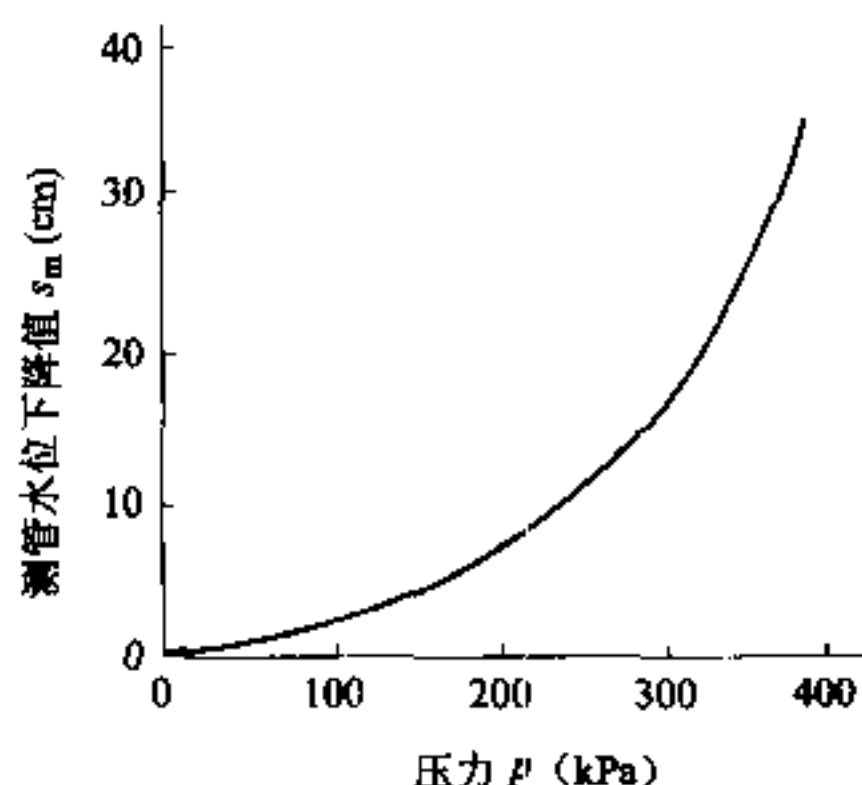


图 7.3.2 弹性膜约束力标定曲线

### 7.3.3 仪器综合变形的标定应符合下列规定：

- 1 将旁压器置于无缝钢管或有机玻璃管内，管的内径应比旁压器外径大 2~10 mm，并竖立于地面；
- 2 低压型旁压仪可按 100 kPa、高压型旁压仪可按 500 kPa 为一级压力，逐级加压；
- 3 每级压力观测时间 1 min，将变形量填入表 B.2.2；
- 4 压力级数达 7~10 级时，可终止标定试验；
- 5 根据压力表读数  $p_m$  与测管水位下降值  $s_m$  或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$  绘制仪器综合变形标定曲线  $p-s$  或  $p-V$  (图 7.3.3)；

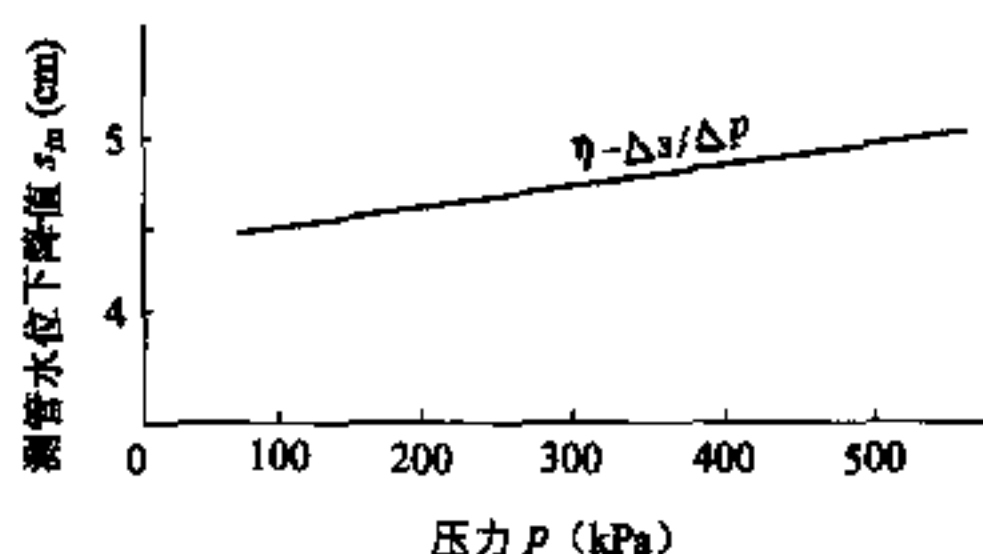


图 7.3.3 仪器综合变形标定曲线

6 仪器综合变形标定曲线的斜率  $\eta$  为仪器综合变形系数，可由下列公式确定：

$$\eta = \Delta s / \Delta p \quad (7.3.3-1)$$

或 
$$\eta = \Delta V / \Delta p \quad (7.3.3-2)$$

### 7.3.4 旁压试验孔位及试验层位的确定应符合下列要求：

- 1 旁压试验孔的数量与布置应满足工程勘察与设计需要，场地地层情况基本了解时，同一地层同一场地旁压试验不得少于 3 孔；
- 2 旁压试验孔与其他勘探、测试孔的水平距离不得小于 1 m；

- 3 旁压试验的最小深度不得小于 1 m;
- 4 试验段应位于同一地层中, 地层层位不明时, 可每米做一次试验。

### 7.3.5 预钻孔应符合下列要求:

1 应保持孔周岩土体的天然结构状态, 孔的直径应比旁压器直径大 2~6 mm, 试验段孔壁应竖直、平顺、呈圆筒形。

2 成孔深度应大于试验深度 0.5 m, 采用钻机成孔时, 应在试验段以上不小于 1 m 处开始按旁压试验要求成孔。

3 人工成孔时, 可塑至坚硬状态的土层, 可采用勺钻和环刀成孔, 软塑至流塑状态的土层可采用提土器成孔, 孔壁稳定性差或有缩孔可能的土层宜采用泥浆护壁成孔。

4 环刀成孔使用的工具和成孔步骤应符合下列要求:

- 1) 长筒环刀, 长 550 mm, 外径 54 mm, 壁厚 3~4 mm, 刀口刃脚向外倾斜, 上端为接小勺钻钻杆的接头 (图 7.3.5a);

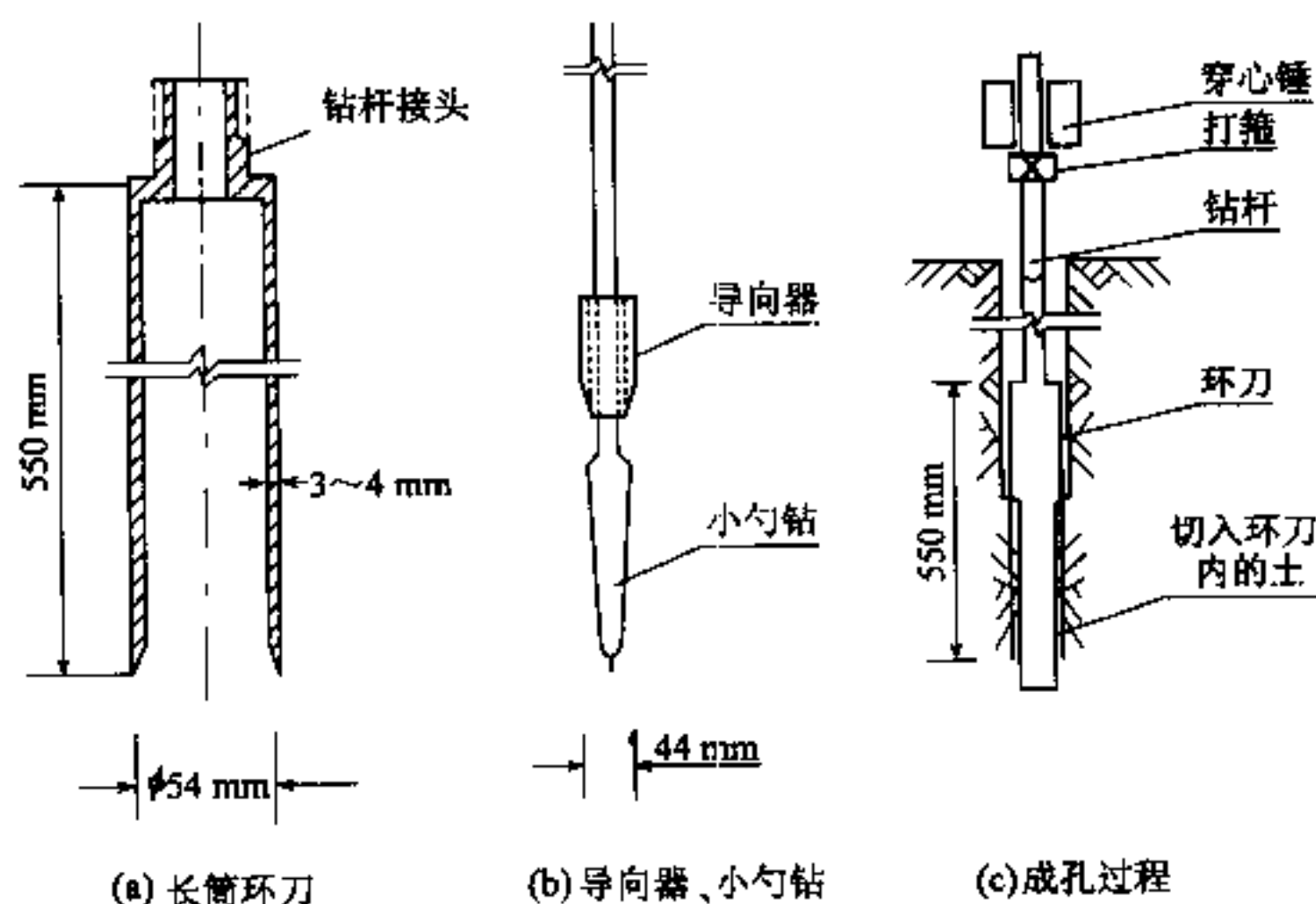


图 7.3.5 环刀成孔工具和成孔过程

- 2) 小勺钻, 直径约 44 mm; 导向器, 直径 44 mm, 长约

200 mm (图 7.3.5b);

- 3) 勺钻钻杆、打箍和质量为 10 kg 的穿心锤(图 7.3.5c);
- 4) 用上述工具成孔至试验段以上约 0.2 m 处;
- 5) 用带导向器的小勺钻继续成孔至试验段底部以下 300 ~ 500 mm 处, 利用导向器使其与上部孔的中心线基本重合;
- 6) 用勺钻钻杆连接长筒环刀, 用人力将环刀切入小勺钻所成孔的孔周土体内 (图 7.3.5c), 也可用穿心锤借助打箍锤击切入; 环刀切入深度应超过小勺钻成孔深度 30 ~ 50 mm, 环刀将扩孔时切下的土与小孔底部的土一起提出, 形成试验孔段。

5 软质岩石和风化岩石可采用回转钻机成孔, 转速不应大于 60 r/min, 钻杆弯曲度应小于 0.15%。

6 同一个试验孔, 应由上向下逐次试验, 且每个试验段成孔后应立即进行, 时间间隔不宜大于 15 min。

7.3.6 成孔时应根据土的状态和钻进难易程度评价土的特征: 土名、密实程度、含水状态、颗粒组成及分层, 并填写试验记录表 (见表 B.2.3 或表 B.2.4); 必要时可对扰动土样进行有关项目的试验。

7.3.7 贮气筒内压力应高于试验预估最高压力 0.1 ~ 0.2 MPa。当压力源采用高压氮气瓶, 且预计试验最高压力小于 2.5 MPa 时, 高压氮气瓶减压阀的压力应比该压力大 0.1 ~ 0.2 MPa; 当预计试验最高压力大于 2.5 MPa 时, 高压氮气瓶减压阀的压力应比该压力大 0.5 ~ 1.0 MPa。

7.3.8 采用高压型旁压仪试验时, 应根据试验深度的预计试验最高压力, 调好旁压器测量腔与辅腔的仪表压力差。

7.3.9 试验压力增量宜取预估临塑压力的 1/5 或极限压力的 1/10; 如不易预估可按表 7.3.9 确定。为确定  $p-V$  曲线上直线段起点对应的压力  $p_0$ , 开始的 1 ~ 2 级压力增量宜减半施加。

表 7.3.9 试验压力增量

土 的 特 征	压力增量(kPa)
淤泥、淤泥质土、流塑黏性土、松散的粉砂或细砂	≤15
软塑黏性土、疏松的黄土、稍密饱和的粉土、稍密很湿的粉砂或细砂、稍密的粗砂	15~25
硬塑黏性土、一般黄土、中密~密实的饱和粉土、中密~密实很湿的粉砂或细砂、中密的中粗砂	25~50
硬塑~坚硬黏性土、老黄土、密实的粉土、密实的中粗砂	50~100
软质岩、风化岩	100~600

7.3.10 每级压力应保持相对稳定的观测时间,对黏性土、砂类土为 3 min,对软质岩石和风化岩石为 1 min;测记  $s_m$  或  $V_m$  的时间顺序分别按第 7.3.2 条第 2 款低压型及高压型旁压仪试验要求进行。

7.3.11 旁压器测量腔中点的静水压力  $p_w$  应按下式确定:

$$p_w = (h + d) \gamma_w \quad (7.3.11)$$

式中  $\gamma_w$ ——水的重度 ( $\text{kN/m}^3$ );

$h$ ——测管零刻度至孔口的高度 (m);

$d$ ——试验深度 (m)。

7.3.12 旁压仪加压应符合下列要求:

1 低压试验 ( $<2.5 \text{ MPa}$ ), 可用打气筒、手动气泵或高压氮气瓶加压。

2 高压试验 ( $2.5 \sim 8.0 \text{ MPa}$ ), 应用高压氮气瓶加压, 同时必须:

- 1) 用耐高压管替换同轴导管;
- 2) 更换压力调节器和差压阀的弹簧;
- 3) 安装  $0 \sim 10.0 \text{ MPa}$  的辅助压力表。

7.3.13 旁压仪安装和注水应符合下列要求:

- 1 将旁压器的注水管和导管的接头对号接通。
- 2 向水箱注入蒸馏水或干净的冷开水, 旋紧安全盖。
- 3 打开水箱至测管、辅管管路上的所有阀门, 并松开调压阀。
- 4 向水箱稍加压力, 并摇晃导管和旁压器, 排除其中存留

的气泡。当测管和辅管水位上升到零刻度时（注意一定不要使水从测管和辅管溢出），关闭注水阀和测量腔注水阀，同时打开水箱安全盖。

**7.3.14** 旁压器测量腔中点应与测管零刻度对齐，用调零阀调水位为零作为测管水位的起始读数，同时关闭测管阀和辅管阀。

**7.3.15** 量测测管零水位至孔口的高度及地下水深度时，应将旁压器放到钻孔中预定试验深度。

**7.3.16** 打开测管阀和辅管阀，同时启动秒表，以旁压器测量腔的静水压力  $p_w$  作为第一级压力开始试验，达到稳定时间后，应按确定的压力增量，用调压阀加压，且应在 15 s 内，调至所需压力。

**7.3.17** 符合下列条件之一时应终止试验：

- 1 压力加至仪器的容许最大压力；
- 2 测管水位下降值  $s_m$  达 40 cm 或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$  达 600 cm<sup>3</sup>。

**7.3.18** 试验结束后，旁压器的消压、回水应符合下列要求：

1 低压型旁压仪：

- 1) 当试验深度小于 2 m，并需继续作试验时，应将压力减至零，使旁压器内的水回流至测管与辅管；
- 2) 当试验深度大于 2 m 时，可利用管路内的压力，使旁压器内的水回流到水箱。

2 高压型旁压仪：

- 1) 用调压阀将压力减至零，维持辅腔气压不变；
- 2) 降低辅腔气压、但应比试验静水压力大 0.2 MPa 以上；
- 3) 利用试验控制开关，使旁压器中的水回流到水箱，达到初始试验时的水位；
- 4) 排放管路内有压气体，使气压表恢复零位。

**7.3.19** 管路消压后，必须等 3 min 以上方可从试验孔中取出旁压器。

## 7.4 资料整理与计算

**7.4.1** 对于记录测管水位下降值的试验，试验压力和体积膨胀



量的原始数据修正和计算应符合下列要求:

1 低压型旁压仪应按本规程表 B.2.3 计算  $p$ 、 $s$ 、 $V$ 、 $\Delta V_{180-30}$ , 其中  $p_i$  需根据测管水位下降值  $s_m$  在弹性膜约束力标定曲线上确定。

2 高压型旁压仪应按本规程表 B.2.4 计算  $p$ 、 $V$ 、 $\Delta V_{60-30}$  或  $\Delta V_{180-30}$ , 其中  $p_i$  根据旁压测量腔体积膨胀量  $V_m$  在弹性膜约束力标定曲线上确定; 试验压力大于 2.5 MPa 时应进行综合变形修正。

3 修正后的压力  $p$  按下式计算:

$$p = p_m - p_i + p_w \quad (7.4.1-1)$$

式中  $p_m$ ——压力表读数 (kPa);

$p_i$ ——压力修正值 (kPa);

$p_w$ ——土的静水压力 (kPa)。

4 修正后的测管水位下降值  $s$  按下列公式计算:

$$s = s_{180} - \delta_s \quad (7.4.1-2)$$

$$\delta_s = \eta (p_m + p_w) \quad (7.4.1-3)$$

式中  $s_{180}$ ——3 min 测管水位下降值 (cm);

$\delta_s$ ——仪器综合变形修正值 (cm);

$\eta$ ——仪器综合变形修正系数。

5 对应于  $s$  的体积膨胀量  $V$  按下式计算:

$$V = sA \quad (7.4.1-4)$$

式中  $A$ ——测管内截面积 ( $\text{cm}^2$ )。

6 当以测管水位下降值表示旁压器体积膨胀量时, 修正后的体积膨胀量  $V$  应按下列公式计算:

$$V = V_{180} - \delta_v \quad (7.4.1-5)$$

$$\delta_v = \eta (p_m + p_w) \quad (7.4.1-6)$$

式中  $V_{180}$ ——3 min 体积膨胀量 ( $\text{cm}^3$ );

$\delta_v$ ——仪器综合变形校正值 ( $\text{cm}^3$ )。

7 体积蠕变值  $\Delta V_{180-30}$  和  $\Delta V_{60-30}$  分别按下列公式计算:

$$\Delta V_{180-30} = A (s_{180} - s_{30}) \quad (7.4.1-7)$$

$$\Delta V_{60-30} = A(s_{60} - s_{30}) \quad (7.4.1-8)$$

式中  $s_{60}, s_{30}$ ——60 s 和 30 s 时的测管水位下降值 (cm)。

7.4.2 根据修正后数据, 应绘制下列旁压试验曲线:

- 1  $p-V$  曲线 (图 7.4.2—1);
- 2 蠕变曲线  $p-\Delta V_{180-30}$  (图 7.4.2—2);
- 3 根据需要可绘制  $p-1/V$  曲线 (图 7.4.2—1)。

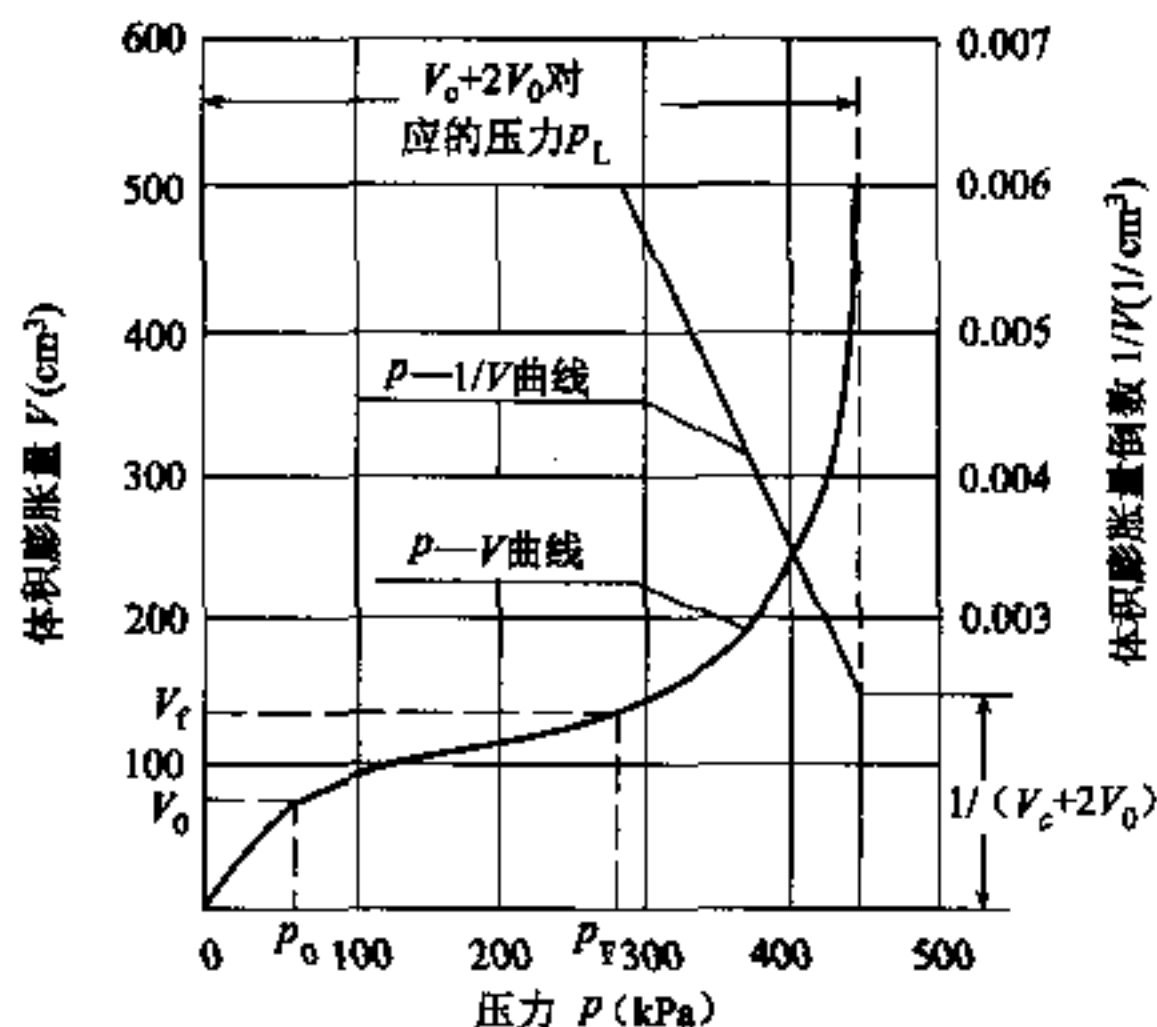


图 7.4.2—1  $p-V$  曲线

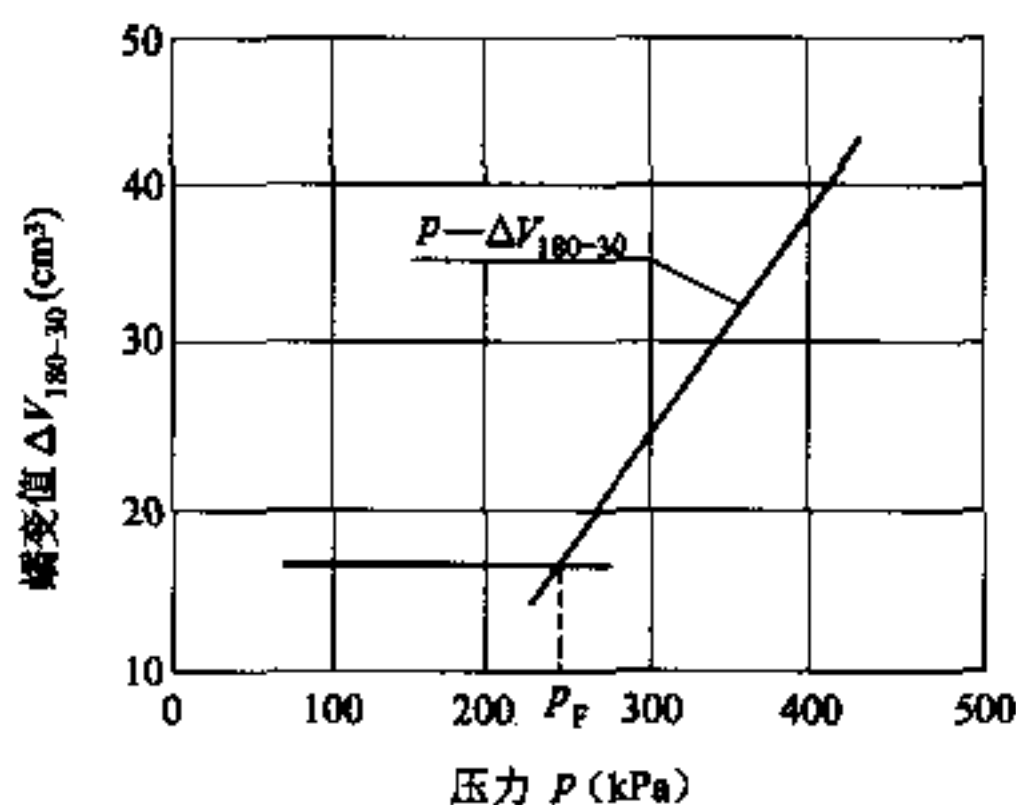


图 7.4.2—2  $p-\Delta V_{180-30}$  曲线

### 7.4.3 旁压试验参数应按下列方法确定:

1  $p_0$  为  $p-V$  曲线上直线段起点对应的压力, 相应的体积膨胀量为  $V_0$ 。

2 临塑压力  $p_F$  为  $p-V$  曲线上直线段终点对应的压力, 或  $p-\Delta V_{180-30}$  曲线上, 曲线斜率开始增大的点对应的压力,  $p_F$  对应的体积膨胀量为  $V_f$ 。

3 极限压力  $p_L$  为  $p-V$  曲线上  $V_L = V_c + 2V_0$  对应的压力, 当需外延  $p-V$  曲线确定  $p_L$  时, 外延部分不得超过试验曲线的 20%; 外延有困难时, 可另外作  $p-1/V$  曲线确定, 该曲线不得少于三个点 (图 7.4.2—1), 以  $1/(V_c + 2V_0)$  对应的压力为  $p_L$ 。

4 旁压剪切模量  $G_m$  按下列公式计算:

$$G_m = V_{cm} \Delta p / \Delta V \quad (7.4.3-1)$$

$$V_{cm} = V_c + V_0 + \Delta V / 2 \quad (7.4.3-2)$$

$$\Delta p = p_F - p_0 \quad (7.4.3-3)$$

$$\Delta V = V_f - V_0 \quad (7.4.3-4)$$

式中  $V_c$ ——旁压器测量腔固有体积 ( $\text{cm}^3$ )。

5 旁压模量  $E_m$  按下式计算:

$$E_m = 2(1 + \mu)G_m \quad (7.4.3-5)$$

式中  $\mu$ ——土的泊松比, 可根据经验确定: 正常固结及轻度超固结的砂类土、粉土和黄土可取 0.30, 硬塑到坚硬状黏性土可取 0.33, 软塑状黏性土可取 0.38, 流塑状黏性土可取 0.41。

7.4.4 旁压试验参数  $p_F$ 、 $p_L$ 、 $G_m$  沿深度的分布图可根据需要绘制。

7.4.5 地基土的静止水平总压力  $\sigma_{h0}$  应根据地层情况采用下列方法计算:

1 黏性土、粉土、砂类土和黄土

$$\sigma_{h0} = K_0 \sigma'_{v0} + p_w \quad (7.4.5)$$

式中  $K_0$ ——静止土压力系数,可根据经验确定:正常固结及轻度超固结砂类土、粉土和黄土可取 0.40,硬塑至坚硬状黏性土可取 0.50,软塑状黏性土可取 0.60,流塑状黏性土可取 0.70;

$\sigma_{v0}'$ ——土的有效自重压力;

$p_w$ ——土的静水压力。

2 软质岩石及风化岩石的  $\sigma_{h0}$  可取  $p-V$  曲线上的  $p_0$  值 (见图 7.4.2—1)。

7.4.6 地基基本承载力  $\sigma_0$  应按下式确定:

$$\sigma_0 = p_F - \sigma_{h0} \quad (7.4.6)$$

7.4.7 地基极限承载力  $p_u$  可按下式确定:

$$p_u = 0.89 (p_L - \sigma_{h0}) \quad (7.4.7)$$

7.4.8 土体变形参数可按下列方法确定:

1 黏性土变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_s$  可根据旁压剪切模量  $G_m$  按表 7.4.8—1 取值。

表 7.4.8—1 黏性土的变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_s$

$G_m(\text{MPa})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$E_0(\text{MPa})$	2.0~2.4	3.3~4.8	4.3~7.2	5.8~9.6	7.2~12.0	8.7~14.4
$E_s(\text{MPa})$	2.0~2.2	3.0~3.5	3.8~4.5	5.0~7.0	6.3~8.7	7.5~10.5
$G_m(\text{MPa})$	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
$E_0(\text{MPa})$	10.1~16.8	11.6~19.2	14.5~24.0	17.4~28.8	20.3~33.6	23.2~38.4
$E_s(\text{MPa})$	8.8~12.2	10.0~14.0	12.5~17.5	15.0~21.0	17.5~24.5	—

注:随  $G_m/p_L$  值 (黏性土  $G_m/p_L$  的均值约为 4.0) 由大到小、塑性状态由流塑至硬塑,  $E_0$ 、 $E_s$  由小到大取值。

2 黄土变形模量  $E_0$  和压缩模量  $E_s$  可根据旁压剪切模量  $G_m$  按表 7.4.8—2 取值。

3 砂类土变形模量  $E_0$  可按下式估算:

$$E_0 = KG_m \quad (7.4.8—3)$$

式中  $K$ ——变形模量转换系数，可按表 7.4.8—3 取值。

表 7.4.8—2 黄土的变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_s$

$G_m$ (MPa)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$E_0$ (MPa)		4.5	6.2	8.4	10.6	13.3	15.9	18.6	21.2
$E_s$ (MPa)	$d \leq 3.0\text{m}$	1.7	2.1	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2
	$d > 3.0\text{m}$	1.6	2.0	2.4	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6
$G_m$ (MPa)		5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	15.0
$E_0$ (MPa)		26.5	31.8	37.1	—	—	—	—	—
$E_s$ (MPa)	$d \leq 3.0\text{m}$	9.0	10.8	12.6	14.4	18.0	—	—	—
	$d > 3.0\text{m}$	7.0	8.4	9.8	11.2	14.0	16.8	19.6	21.0

注： $d$  为测试深度。

表 7.4.8—3 变形模量转换系数

砂类土分类	粉 砂	细 砂	中 砂	粗 砂
$K$ 值	4.0~5.0	5.0~7.0	7.0~9.0	9.0~11.0

注：砾砂的  $K$  值可取粗砂的上限值。

## 8 标准贯入试验

### 8.1 一般规定

8.1.1 标准贯入试验适用于一般黏性土、粉土和砂类土。

8.1.2 标准贯入试验可判断砂土密实程度或黏性土的塑性状态，评定砂类土、粉土的地震液化，确定土层剖面并可取扰动土样进行一般物理性试验。

8.1.3 标准贯入试验孔应采用回转钻进，孔底沉渣厚度不应超过 10 cm。不能保持孔壁稳定时，宜采用泥浆护壁；若采用套管护壁，套管底部应高出试验深度 75 cm。

8.1.4 场地标准贯入试验不宜少于 3 孔，各孔试验点的间距，在地基主要受力层内宜为 1~2 m，且每一主要土层的试验点数不应少于 6 个；测试深度超过 15 m 时，可放宽试验点的间距。

### 8.2 设 备

8.2.1 本试验应使用下列设备：

1 标准贯入器：由刃口型的贯入器靴、对开圆筒式贯入器身和贯入器头三部分组成，具体尺寸见图 8.2.1。贯入器靴刃口应保持完好，无明显损坏和变形。

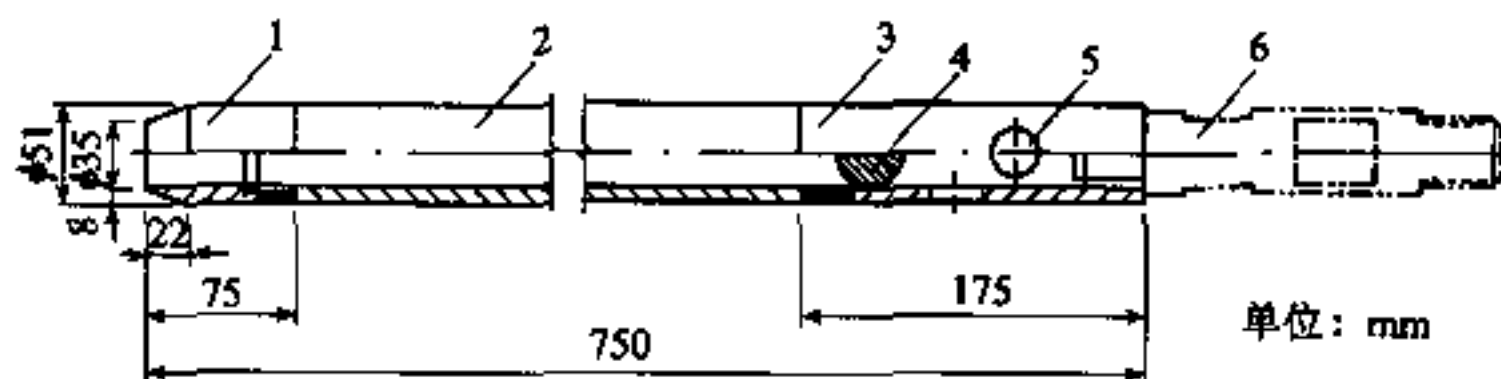


图 8.2.1 标准贯入器结构图

1—贯入器靴；2—贯入器身；3—贯入器头；4—钢球；5—排水孔；6—钻杆接头

2 探杆：采用  $\phi 42$  钻杆，钻杆弯曲度应小于 0.1%。

3 穿心锤：63.5 kg 的钢锤，外径不宜小于 200 mm，锤的质量误差不应大于 0.5 kg 并应有自动落锤装置；钢锤落距  $(76 \pm 2)$  cm。

4 锤垫：承受锤击的钢制部件，外径 100~140 mm 并附有导向杆，锤垫和导向杆质量之和不宜大于 30 kg。

8.2.2 所使用的工程钻机应配备相应的专用器具。

### 8.3 试验要点

8.3.1 先用钻具钻至试验土层高程以上 15 cm 处，清除残土，并应避免试验土层受到扰动。

8.3.2 贯入前，应拧紧探杆接头，将贯入器放入孔内，避免冲击孔底，注意保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度。孔内宜加导向器，保证穿心锤中心施力。

8.3.3 将贯入器竖直打入土层中 15 cm 后，应以小于每分钟 30 击的锤击频率开始记录每打入 10 cm 的击数，累计打入 30 cm 的击数，定为实测击数  $N$ 。密实土层中贯入不足 30 cm 而击数超过 50 击时，应终止试验，并记录实际贯入度  $\Delta s$  和累计击数  $n$ ，按下式换算成贯入 30 cm 的击数  $N$ ：

$$N = \frac{30n}{\Delta s} \quad (8.3.3)$$

8.3.4 拔出贯入器，取出贯入器中的土样进行鉴别，描述记录。必要时妥善保存土样以备试验之用。记录表格式可按本规程表 B.3.1 制作。

### 8.4 资料整理与计算

8.4.1 根据记录表中的数据，应将实测击数  $N$  与试验深度  $d$  的关系曲线 ( $N-d$ ) 绘制于同一直角坐标图中，并结合场地勘察结果分层，算出该试验孔各分层土的实测击数平均值  $\bar{N}_j$  ( $j$  代表土层分层号)；计算时应剔除异常值。

8.4.2 砂类土的密实程度和黏性土的塑性状态可按表 8.4.2—1 和表 8.4.2—2 划分。

表 8.4.2—1 砂类土的相对密实度划分

$\bar{N}$ (击/30 cm)	$\leq 10$	$10 < \bar{N} \leq 15$	$15 < \bar{N} \leq 30$	$> 30$
$D_r$ 值	$< 0.33$	$0.33 \leq D_r \leq 0.40$	$0.40 < D_r < 0.67$	$\geq 0.67$
密实程度	松 散	稍 密	中 密	密 实

表 8.4.2—2 黏性土的塑性状态划分

$\bar{N}$ (击/30 cm)	$\leq 2$	$2 < \bar{N} \leq 8$	$8 < \bar{N} \leq 32$	$> 32$
液性指数 $I_L$	$> 1$	$1 \geq I_L > 0.5$	$0.5 \geq I_L > 0$	$\leq 0$
塑性状态	流 塑	软 塑	硬 塑	坚 硬

8.4.3 当可液化土层实测贯入击数  $N$  小于液化临界贯入击数  $N_{cr}$  时, 应判定为液化土。 $N_{cr}$  按下列公式计算:

$$N_{cr} = N_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (8.4.3-1)$$

$$\alpha_1 = 1 - 0.065 (d_w - 2) \quad (8.4.3-2)$$

$$\alpha_2 = 0.52 + 0.175 d_s - 0.005 d_s^2 \quad (8.4.3-3)$$

$$\alpha_3 = 1 - 0.05 (d_u - 2) \quad (8.4.3-4)$$

$$\alpha_4 = 1 - 0.17 \sqrt{\rho_c} \quad (8.4.3-5)$$

式中  $N_0$ ——标准贯入试验深度  $d_s = 3$  m、地下水埋深  $d_w = 2$  m、上覆非液化土层厚度  $d_u = 2$  m、土中黏粒含量  $\rho_c$  (%) = 0 时土层的液化临界贯入击数, 按表 8.4.3—1 取值;

表 8.4.3—1 可液化土层临界贯入锤击数基本值 ( $N_0$ )

地震动峰值加速度	0.1g	0.2g	0.4g
$N_0$ (击/30 cm)	8	12	16

$\alpha_1$ —— $d_w$  的修正系数; 当地面常年有水且与地下水有水力联系时,  $\alpha_1$  取 1.13;

$\alpha_2$ —— $d_s$  的修正系数;



$\alpha_3$ —— $d_u$  的修正系数, 对于深基础取  $\alpha_3$  为 1;

$\alpha_4$ ——黏粒含量百分比  $\rho_c$  的修正系数; 当缺乏  $\rho_c$  数据, 可按表 8.4.3—2 取值。

表 8.4.3—2  $\alpha_4$  值

土 类	砂 类 土	粉 土	
		$I_p \leq 7$	$7 < I_p \leq 10$
$\alpha_4$	1	0.60	0.45

## 9 动力触探

### 9.1 一般规定

9.1.1 动力触探适用于黏性土、砂类土和碎石类土。

9.1.2 动力触探可分轻型、重型和特重型。轻型动力触探可确定一般黏性土地基承载力，重型和特重型动力触探可确定中砂以上的砂类土和碎石类土地基承载力，测定圆砾土、卵石土的变形模量。动力触探还可用于查明地层在垂直和水平方向的均匀程度和确定桩基持力层。

9.1.3 动力触探划分土层并定名时，应与其他勘探测试手段相结合；确定地基承载力或变形模量时，动力触探孔数应根据场地大小、建筑物等级及土层均匀程度综合考虑，但同一场地应不少于3孔。

### 9.2 设 备

9.2.1 动力触探设备类型和规格应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 动力触探设备类型和规格

类型及代号	重锤质量 (kg)	重锤落距 (cm)	探头截面积 (cm <sup>2</sup> )	探杆外径 (mm)	动力触探击数	
					符 号	单 位
轻型 DPL	10±0.2	50±2	13	25	$N_{10}$	击/30 cm
重型 DPH	63.5±0.5	76±2	43	42、50	$N_{63.5}$	击/10 cm
特重型 DPSH	120±1.0	100±2	43	50	$N_{120}$	击/10 cm

9.2.2 动力触探设备主要参数应符合下列要求：

1 轻型动力触探探头外形尺寸应符合图 9.2.2—1 规定。材料应采用 45 号碳素钢或采用优于 45 号碳素钢的钢材。表面淬火后硬度 HRC=45~50。

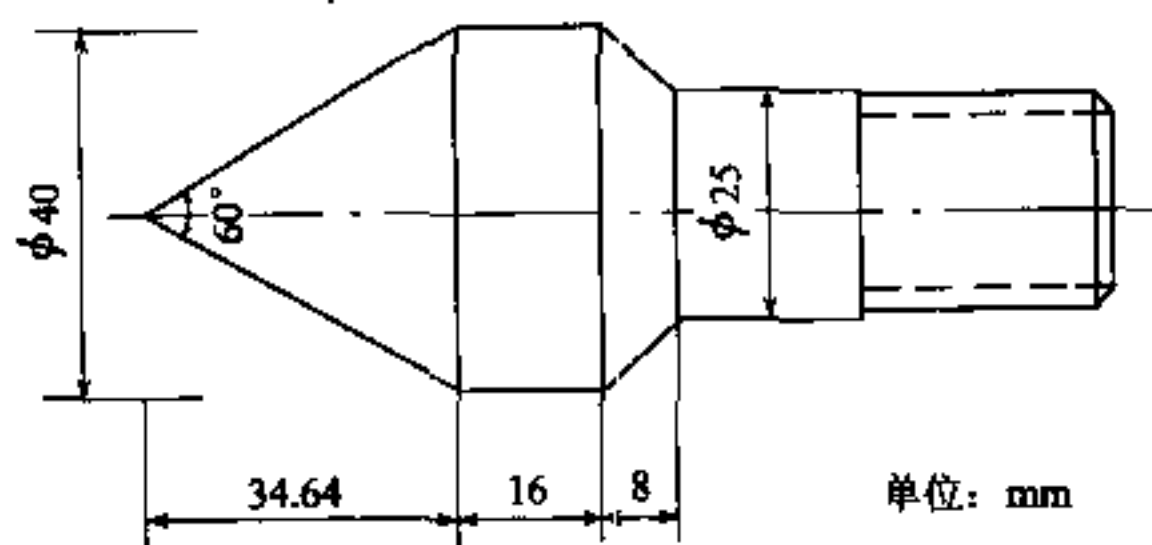


图 9.2.2—1 轻型动力触探探头外形尺寸

2 重型、特重型动力触探设备，应符合下列要求：

- 1) 探头：外形尺寸应符合图 9.2.2—2 规定，材质应符合本条上款要求。

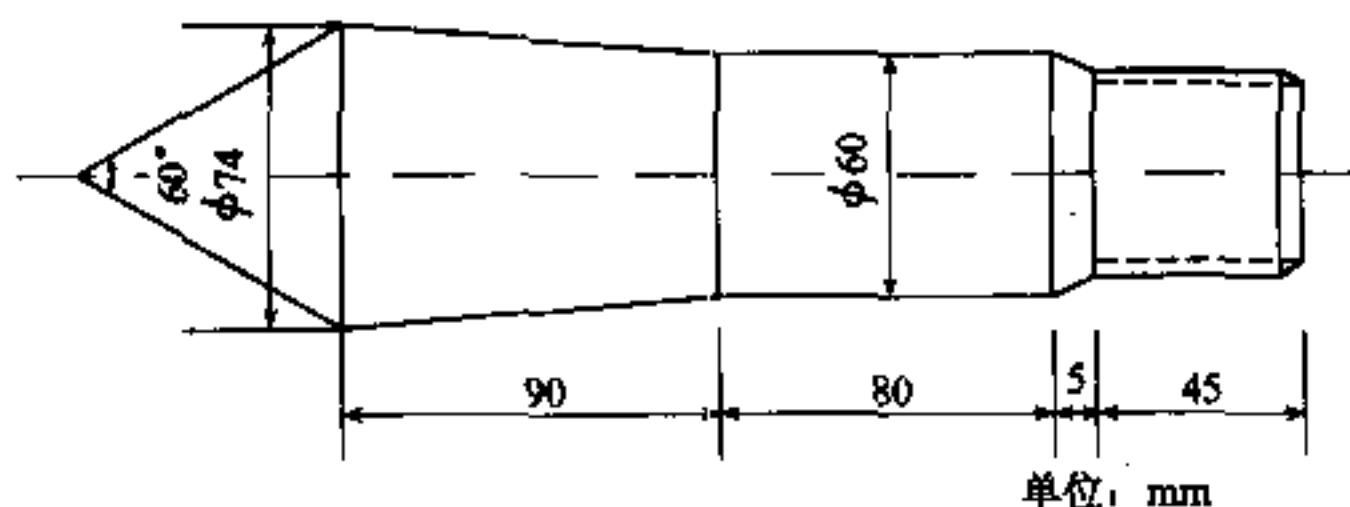


图 9.2.2—2 重型、特重型动力触探探头外形尺寸

- 2) 探杆：每米质量不宜大于 7.5 kg。探杆接头外径应与探杆外径相同，探杆和接头材料应采用耐疲劳高强度的钢材。
- 3) 锤座直径应小于锤径 1/2，并大于 100 mm；导杆长度应满足重锤落距的要求，锤座和导杆总质量为 20~25 kg。
- 4) 重锤应采用圆柱形，高径比 1~2。重锤中心的通孔直径应比导杆外径大 3~4 mm。

### 9.3 试验要点

9.3.1 动力触探作业前必须对机具设备进行检查，确认正常后方可启动。部件磨损及变形超过下列规定者，应予更换或修复。

1 探头允许磨损量：直径磨损不得大于 2 mm，锥尖高度磨损不得大于 5 mm；

2 每节探杆非直线偏差不得大于 0.6%；

3 所有部件连接处丝扣应完好，连接紧固。

9.3.2 动力触探机具安装必须稳固，在作业过程中支架不得偏移。

9.3.3 动力触探时，应始终保持重锤沿导杆铅直下落，锤击频率应控制在 15~30 击/min。

9.3.4 轻型动力触探作业时，应先用轻便钻具钻至所需测试土层的顶面，然后对该土层连续贯入。当贯入 30 cm 的击数超过 90 击或贯入 15 cm 超过 45 击时，可停止作业。如需对下卧层进行测试，可用钻探方法穿透该层后继续触探。

9.3.5 根据地层强度的变化，重型和特重型动力触探可互换使用。重型动力触探实测击数大于 50 击/10 cm 时，宜改用特重型；当重型动力触探实测击数小于 5 击/10 cm 时，不得采用特重型动力触探。

9.3.6 在预钻孔内进行重型或特重型动力触探作业，钻孔孔径大于 90 mm、孔深大于 3 m、实测击数大于 8 击/10 cm 时，可用小于或等于 90 mm 的孔壁管下放至孔底或用松土回填钻孔，以减小探杆径向晃动。

9.3.7 各种类型动力触探的锤座距孔口高度不宜超过 1.5 m，探杆应保持竖直。

9.3.8 轻型动力触探应每贯入 30 cm 记录其相应击数。

9.3.9 重型、特重型动力触探应每贯入 10 cm 记录其相应击数。地层松软时，可采用测量每阵击（一般为 1~5 击）的贯入度，并按下式换算成相当于同类型动力触探贯入 10 cm 时的击数：

$$N_{63.5}; N_{120} = \frac{10n}{\Delta s} \quad (9.3.9)$$

式中  $N_{63.5}; N_{120}$ ——重型、特重型动力触探实测击数(击/10 cm)；

$n$ ——每阵击的击数（击）；

$\Delta s$ ——每阵击时相应的贯入度（cm）。

**9.3.10** 现场记录应清晰完整，除按本规程表 B.4.1 中项目填写外，并应在备注栏中记录下列事项：

- 1 贯入间断原因及时间；
- 2 落距超限量、落锤回弹情况；
- 3 探杆及导杆偏斜及径向震动情况；
- 4 接头紧固情况；
- 5 其他异常情况。

## 9.4 资料整理与计算

**9.4.1** 动力触探记录应在现场进行初步整理，并对记录的击数和贯入尺寸进行校核和换算。

**9.4.2** 轻型动力触探应以每层实测击数的算术平均值作为该层的触探击数平均值  $\bar{N}_{10}$ 。

**9.4.3** 重型动力触探实测击数  $N_{63.5}$ ，应按下式进行杆长击数修正：

$$N'_{63.5} = \alpha N_{63.5} \quad (9.4.3)$$

式中  $N'_{63.5}$ ——重型动力触探修正后击数（击/10 cm）；

$\alpha$ ——杆长击数修正系数，可按表 9.4.3 确定。

表 9.4.3 杆长击数修正系数  $\alpha$  值

$N_{63.5}$ (击/10 cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	$\geq 50$
杆长 $L$ (m)									
$\leq 2$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61

续表 9.4.3

$N_{63.5}$ (击/10 cm) 杆长 $L$ (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	$\geq 50$
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

注：本表可线性内插取值。

**9.4.4** 特重型动力触探的实测击数，应先按下式换算成相当于重型动力触探的实测击数后，再按式 (9.4.3) 进行修正。

$$N_{63.5} = 3N_{120} - 0.5 \quad (9.4.4)$$

**9.4.5** 根据修正后的动力触探击数，应绘制动力触探击数与贯入深度曲线图（见本规程图 B.4.1）。

**9.4.6** 地基土力学分层应根据动力触探击数与贯入深度曲线图，结合场地地质资料进行。由软层（小击数）进入硬层（大击数）时，分层界线应在软层最后一个小值点以下 10~20 cm 处；由硬层进入软层时，分层界线应在软层第一个小值点以上 10~20 cm 处。

**9.4.7** 分层后各层动力触探击数平均值的确定，应符合下列要求：

1 在各层土的厚度范围内，划分出地层界面处上、下土层影响击数的范围，中间部分称为该层的有效厚度  $H_h$ （见本规程图 B.4.1）；

2 在有效厚度范围内，剔除少量击数特殊大值（剔除点的数量不应超过有效厚度内测点数的 10%），余留部分为该层动力触探有效击数；

3 重型动力触探击数平均值  $\bar{N}_{63.5}$  取该层动力触探有效击数的算术平均值；

$$\bar{N}_{63.5} = \sum_{i=1}^n N'_{63.5} / n \quad (9.4.7)$$

式中  $n$ ——参加统计的测点数。

**9.4.8** 有效厚度小于 0.3 m 时, 动力触探击数平均值可按下列原则确定:

1 当上、下均为击数较小的土层时,  $\bar{N}_{63.5}$  可取该层土触探击数的最大值  $(N'_{63.5})_{\max}$ ;

2 当上、下均为击数较大的土层时,  $\bar{N}_{63.5}$  应取小于或等于该层土触探击数的最小值  $(N'_{63.5})_{\min}$ 。

**9.4.9** 黏性土地基的基本承载力  $\sigma_0$ , 当贯入深度小于 4 m 时, 可根据场地土层的  $\bar{N}_{10}$  按表 9.4.9 确定。

表 9.4.9 黏性土  $\sigma_0$  值 (kPa)

$\bar{N}_{10}$ (击/30 cm)	15	20	25	30
$\sigma_0$	100	140	180	220

注: 表内数值可以线性内插。

**9.4.10** 冲积、洪积成因的中砂~砾砂土地基和碎石类土地基的基本承载力  $\sigma_0$ , 当贯入深度小于 20 m 时, 可根据场地土层的  $\bar{N}_{63.5}$  按表 9.4.10 确定。

表 9.4.10 中砂~砾砂土、碎石类土  $\sigma_0$  值 (kPa)

$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
中砂~砾砂土	120	150	180	220	260	300	340	380	—	—
碎石类土	140	170	200	240	280	320	360	400	480	540
$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40
碎石类土	600	660	720	780	830	870	900	930	970	1000

**9.4.11** 基本承载力用于设计时, 应进行基础宽度及埋置深度的修正。修正公式应符合现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5) 中有关规定, 公式中的修正系数可根据地基土的

$\bar{N}_{63.5}$ 值按表 9.4.11—1 及表 9.4.11—2 确定。

表 9.4.11—1 宽度、深度修正系数

土的类型 系数	黏 性 土				砂 类 土								碎石类土			
	$Q_4$ 的冲、 洪积土		$Q_3$ 及以 前的冲、 洪积土	残积土	粉 砂		细 砂		中 砂		砾 粗 砂 砂		碎石土 圆砾土 角砾土		卵石土	
	$I_L < 0.5$	$I_L \geq 0.5$			中 密	密 实	中 密	密 实	中 密	密 实	中 密	密 实	中 密	密 实	中 密	密 实
$k_1$	0	0	0	0	1	1.2	1.5	2	2	3	3	4	3	4	3	4
$k_2$	2.5	1.5	2.5	1.5	2	2.5	3	4	按表 9.4.11—2 取值							

- 注：1 节理发育或很发育的风化岩石， $k_1$ 、 $k_2$ 可参照碎石类土的修正系数，但对已风化成砂、土状者，则取用砂类土、黏性土的修正系数；  
2 稍密状态的砂类土和松散状态的碎石类土， $k_1$ 值可采用表列中密值的 50%；  
3 冻土的  $k_1=0$ 、 $k_2=0$ 。

表 9.4.11—2 中砂～碎石类土深度修正系数

$\bar{N}_{63.5}$	$\leq 4$	4—6	6—10	10—15	15—20	20—25	25—32	32—40	$>40$
$k_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9

9.4.12 黏性土地基极限承载力  $p_u$ ，当贯入深度小于 4 m 时，可根据场地土层的  $\bar{N}_{10}$ 按表 9.4.12 确定。

表 9.4.12 一般黏性土  $p_u$  值 (kPa)

$\bar{N}_{10}$ (击/30 cm)	15	20	25	30
$p_u$	180	260	330	400

注：表内数值可以线性内插； $p_u$ 的变异系数  $\delta$  为 0.291。

9.4.13 冲积、洪积成因的中砂～砾砂土地基和碎石类土地基的极限承载力  $p_u$ ，当贯入深度小于 20 m 时，可根据场地土层的  $\bar{N}_{63.5}$ 按表 9.4.13 确定。



表 9.4.13 中砂~砾砂土、碎石类土  $p_u$  值 (kPa)

$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
中砂~砾砂土	240	300	360	440	520	600	680	760	—	—
碎石类土	320	390	460	550	645	740	835	930	1100	1250
$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40
碎石类土	1390	1530	1670	1810	1930	2020	2090	2160	2260	2330

注：中砂~砾砂土、碎石类土  $p_u$  值的变异系数  $\delta$  分别为 0.248 和 0.210。

9.4.14 冲、洪积卵石土和圆砾土地基的变形模量  $E_0$ ，当贯入深度小于 12 m 时，可根据场地土层的  $\bar{N}_{63.5}$  按表 9.4.14 取值。

表 9.4.14 卵石土、圆砾土  $E_0$  值 (MPa)

$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	3	4	5	6	8	10	12	14	16
$E_0$	9.9	11.8	13.7	16.2	21.3	26.4	31.4	35.2	39.0
$\bar{N}_{63.5}$ (击/10 cm)	18	20	22	24	26	28	30	35	40
$E_0$	42.8	46.6	50.4	53.6	56.1	58.0	59.9	62.4	64.3

## 10 静力触探

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 静力触探适用于软土、黏性土、粉土、砂类土及含少量碎石的土层,可划分土层界面、土类定名、确定地基承载力和单桩极限荷载、判定地基土液化可能性及测定地基土的物理力学参数等。

**10.1.2** 静力触探单桥探头可测定土的比贯入阻力  $p_s$ , 双桥探头可测定土的端阻  $q_c$  和侧阻  $f_s$ , 三功能孔压探头除测定土的  $q_c$ 、 $f_s$  外, 尚可测定贯入孔隙压力  $u_0$  及其消散过程值  $u_t$ 。

**10.1.3** 探头的标定方法应符合附录 A 的规定。

**10.1.4** 水上触探应有保证孔位不致发生移动的稳定措施。水底以上部位应加设防止探杆挠曲的装置。

**10.1.5** 触探孔位附近已有其他勘探孔时, 应将触探孔布置在距原勘探孔 30 倍探头直径以外的范围。进行对比试验时, 孔距不宜大于 2 m, 并应先进行触探然后进行其他勘探、试验。

### 10.2 设 备

**10.2.1** 静力触探设备应包括探头标定设备和触探设备。

**10.2.2** 探头标定设备应符合下列规定:

1 探头标定用的测力(压)计或力传感器, 其公称量程不宜大于探头额定荷载的两倍, 检测精度不得低于Ⅲ等标准测力计精度。

2 探头标定达满量程时, 标定架各部杆件应稳定。标定孔压计的压力罐及压力检测装置密封性能良好。标定装置对力的传递误差应小于 0.5%。

3 工作状态下, 标定架的压力作用线应与被标定的探头同

轴，其同轴度公差为  $\phi 0.5 \text{ mm}$ 。

### 10.2.3 触探主机应符合下列技术条件：

1 能匀速贯入，贯入速率为  $(20 \pm 5) \text{ mm/s}$ 。当使用孔压探头触探时，宜有保证标准贯入速率  $20 \text{ mm/s}$  的控制装置。

2 贯入和起拔时，施力作用线应垂直机座基准面，垂直度公差为  $30'$ 。

3 额定起拔力不小于额定贯入力的  $120\%$ 。

### 10.2.4 触探用探杆应采用高强度无缝管材，其屈服强度不宜小于 $600 \text{ MPa}$ ，工作截面尺寸必须与触探主机的额定贯入力相匹配，并应符合下列规定：

1 用于同一台触探主机的探杆长度（含接头）应相同，其长度误差不得大于  $0.2\%$ 。

2 用于前  $5 \text{ m}$  的探杆，弯曲度不得大于  $0.05\%$ 。后续探杆的弯曲度，在触探孔深度小于或等于  $10 \text{ m}$  时，不得大于  $0.2\%$ ；触探孔深度大于  $10 \text{ m}$  时，不得大于  $0.1\%$ 。

3 探杆两端螺纹轴线的同轴度公差为  $\phi 1 \text{ mm}$ 。

4 探杆与接头的连接应有良好的互换性。

5 锥形螺纹连接的探杆，连接后不得有晃动现象；圆柱形螺纹连接的探杆，拧紧后丝扣之根、肩应能密贴。

6 探杆不得有裂纹和损伤。

### 10.2.5 记录仪应满足下列要求：

1 仪器显示的有效最小分度值小于  $0.06\% \text{ FS}$ ；

2 仪器按要求预热后，时漂应小于  $0.1\% \text{ FS/h}$ ，温漂应小于  $0.01\% \text{ FS/}^\circ\text{C}$ ；

3 工作环境温度为  $-10^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ ；

4 记录仪和电缆用于多功能探头触探时，应保证各传输信号互不干扰。

### 10.2.6 采用读数方式测记各贯入深度的触探参数时，由标尺和位移指针组成的计深装置应符合下列要求：

1 标尺刻度为  $10 \text{ cm}$ ，刻度误差小于  $5 \text{ mm}$ ，累积误差不得

大于标尺全长的 0.2%；

2 标尺应垂直固定于触探孔旁的地面不动点处；位移指针应置于向下贯入的工作探杆上，随探杆一道下移；

3 探杆处于贯入状态时不得移动标尺；

4 当使用自动记录仪器时，计深误差不得大于 1%。

10.2.7 单桥探头、双桥探头和孔压探头规格及更新标准应符合本规程附录 C 的规定。未经标定的探头，严禁在生产中使用。

10.2.8 探头的机械加工应符合下列要求：

1 套筒和摩擦筒表面纵向粗糙度应小于  $3.2\mu\text{m}$ ；

2 探头表面硬度 HRC 宜为 45~50；

3 锥头、摩擦筒与探头管之间的滑动间隙不宜大于  $150\mu\text{m}$ ；

4 锥头、摩擦筒与探头管的同轴度公差为  $\phi 0.2\text{mm}$ 。

10.2.9 探头的技术性能应符合下列要求：

1 力传感器的检测总误差和绝缘性能应符合本规程第 6.2.3 条的有关规定。

2 探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%。

3 探头应能在  $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$  的环境温度中正常工作。

4 孔压探头透水元件(过滤片)的设置位置,应符合下列规定：

1) 过滤片置于探头锥面上时，过滤片中心或中心线距锥顶的距离应为 0.5~0.8 倍圆锥母线长度；

2) 过滤片置于锥底全断面以上的圆柱面处时，过滤片的上表面距锥底面的高度应小于 10mm。

5 过滤片的渗透系数宜控制在  $(1 \sim 5) \times 10^{-5} \text{cm/s}$  范围内。在组装好的孔压探头中，过滤片与相邻部件的接触界面应具有  $(110 \pm 5)\text{kPa}$  的抗渗压能力，过滤片应有足够的刚度和耐磨性。

6 满负荷水压条件下，孔压传感器应变腔的体（容）积变化量不大于  $4\text{mm}^3$ ，体变率应小于 0.2%。

10.2.10 各种探头，自锥底起算，在 1000mm 长度范围内，与之连接的杆件直径不得大于探头直径；减摩阻器应在此范围以外

(上)的位置加设。

**10.2.11** 探头贮存应配备防潮、防震的专用探头箱(盒),并应存放于干燥、阴凉的处所。带透水元件的探头锥尖,应贮存于盛有脱气液体(水或硅油)的专用密封容器内,使透水元件始终处于饱和状态。

### 10.3 试验要点

**10.3.1** 现场试验前应做好下列准备工作:

1 电缆应按探杆连接顺序一次穿齐,其长度  $L$  可按下式估算:

$$L > n(l + 0.2) + 7 \quad (10.3.1)$$

式中  $l$ ——每根探杆(含接头)长度(m);

$n$ ——探杆根数。

2 安放触探机的地面应平整;使用的反力措施应保证静力触探达到预定深度。

3 检查使用的探头是否符合规定;核对探头标定记录,调零试压。孔压探头在贯入前应用特制的抽气泵对孔压传感器的应变腔抽气并注入脱气液体(水、硅油或甘油),至应变腔无气泡出现为止。

**10.3.2** 触探主机就位后,应调平机座并用水平尺校准,与反力装置衔接、锁定并随时进行检查;当触探主机不能按指定孔位安装时,应记录移位后的孔位和地面高程。

**10.3.3** 触探贯入速率应符合本规程第 10.2.3 条规定。使用手摇式触探机时,手把转速应力求均匀。

**10.3.4** 在地下水埋藏较深的地区进行孔压触探,应使用外径不小于孔压探头的单桥或双桥探头开孔至地下水位以下后,向孔内注满水,再换用孔压探头触探。

**10.3.5** 探头的归零检查应符合下列要求:

1 单桥或双桥触探:

1) 将探头贯入地面下 0.5~1 m 后,上提探头 5~10 cm,观测零位漂移情况,待其稳定后,将仪表调零并压回

原位即可开始正式贯入；

- 2) 在地面下 6 m 深度范围，每贯入 2~3 m 应提升探头 1 次，将零漂值作为初读数填入记录表的相应深度旁，然后使探头复位，继续贯入；
- 3) 孔深超过 6 m 后，视零漂值大小，可放宽归零检查的深度间隔或不作归零检查；
- 4) 终孔起拔时和探头拔出地面时，应记录零漂值。

2 孔压触探时，在整个贯入过程中不得提升探头。终孔起拔时应记录锥尖和侧壁的零漂值；探头拔出地面时，应立即卸下锥尖，记录孔压计的零漂值。

**10.3.6** 使用数字式仪器时，每贯入 0.1 m 或 0.2 m 应记录一次读数。

**10.3.7** 计深标尺设置在主机上时，每贯入 3~4 m 应校核一次实际深度。

**10.3.8** 在预定深度进行孔压消散试验时，应从探头停止贯入时起，用秒表计时，记录不同时刻的孔压值和端阻值等参数。计时间隔由密而疏，合理控制。试验过程中，不得松动、碰撞探杆，也不得施加使探杆上、下位移的力。

**10.3.9** 孔压消散试验孔所在场区的地下水位未知或不明确时，至少应有一孔做到孔压消散达稳定值为止（以连续 2 h 内孔压值不变为稳定标准）。其他各孔试验点的孔压消散程度，可视地层情况和设计要求而定，固结度达 60%~70% 时，可终止试验。

**10.3.10** 遇下列情况之一者，应停止贯入并在记录上注明：

- 1 触探主机负荷达额定荷载的 120%；
- 2 贯入时探杆出现明显弯曲；
- 3 反力装置失效；
- 4 探头负荷达额定荷载；
- 5 记录仪显示异常。

**10.3.11** 触探终孔后起拔最初几根探杆时，应注意观察并丈量探杆表面干、湿分界线距地面的深度，注明于记录表内或标注于

记录纸上。有条件时宜于收工前或次日核查地下水位。

**10.3.12** 探头拔出地面后,应及时清洗、检查。进行下一孔触探时,孔压探头的过滤片和应变腔应重新进行脱气处理。

**10.3.13** 记录人员必须按记录表要求用铅笔逐项填记清楚,记录表格式可按本规程表 B.5.2 及表 B.5.3 制作。

## 10.4 资料整理

**10.4.1** 单孔触探成果资料应包括下列基本内容:

- 1 各触探参数随深度的分布曲线(简称触探曲线);
- 2 土层名称、潮湿程度或塑性状态、地下水位;
- 3 各层土的触探参数值和地基参数值;
- 4 孔压触探在作孔压消散试验时,应附孔压随时间变化的过程曲线;必要时附端阻随时间的过程曲线。

**10.4.2** 单孔触探图图幅尺寸与格式可按本规程表 B.5.4~表 B.5.6 制作。

**10.4.3** 读数方式取得的原始数据,应按下列步骤及要求修正:

1 记录深度与实际深度有出入时,应根据记录表所标注的数值和深度误差出现的深度范围,按等距修正法调整;多余的读数记录应根据实际贯入情况删除。

2 具一定热敏性的探头(传感器),当零漂值在该深度段测试值的 10% 以内时,可依归零检查的深度间隔,按线性内插法对测试值予以平差。当零漂值大于该深度段测试值的 10% 时,宜在相邻两次归零检查的时间间隔内,按贯入行程所占时间段落依比例进行线性平差。

3 各深度的测试值按下式修正:

$$x_d' = x_d - \Delta x_d \quad (10.4.3)$$

式中  $x_d'$ ——某深度  $d$  处读数的修正值;

$x_d$ ——深度  $d$  处的实测值(读数);

$\Delta x_d$ ——相应于深度  $d$  处的零漂修正量(平差值),分正、负。

**10.4.4** 读数方式取得修正的原始数据后,各深度的触探参数应

按下列公式计算：

$$X_d = \xi x_d' \quad (10.4.4-1)$$

$$R_f(\%) = 100(f_s/q_c) \quad (10.4.4-2)$$

$$q_T = q_c + (1-a)u_T = q_c + \beta(1-a)u_d \quad (10.4.4-3)$$

$$B_q = \Delta u / (q_T - \sigma_{v0}) \quad (10.4.4-4)$$

$$\Delta u = u_0 - u_w \quad (10.4.4-5)$$

式中  $X_d$ ——深度  $d$  处的触探参数( $p_s$ 、 $q_c$ 、 $f_s$ 、 $u_d$ 、 $u_T$ )代号；

$\xi$ ——触探参数的标定系数；

$R_f$ ——摩阻比；

$q_T$ ——总锥尖阻力；

$a$ ——探头有效面积比（见本规程表 C.0.2）；

$u_T$ ——孔压探头贯入时于锥底以上圆柱面处测得的孔隙水压力；

$u_d$ ——孔压探头贯入时于锥面处测得的孔隙水压力；

$\beta$ ——孔压换算系数，即  $u_T$  与  $u_d$  之比值，可按表 10.4.4 取值；

表 10.4.4 与土质状态有关的  $\beta$  值

土质 状态	中砂、 粗砂	粉、细砂		粉 土	粉质黏土	黏 土	重超固结黏土
		松散~中密	密实	正常固结及轻度超固结			
$\beta$	1	0.7~0.3	<0.3	0.6~0.3	0.7~0.5	0.8~0.4	0.4~-0.1

$B_q$ ——超孔压比；

$\sigma_{v0}$ ——土的总自重压力；

$\Delta u$ ——探头贯入时土的超孔隙水压力；

$u_0$ ——探头贯入时的孔隙压力（简称贯入孔隙压力），过滤片置于探头锥面上时， $u_0 = u_d$ ；过滤片置于锥底圆柱面处时， $u_0 = u_T$ ；

$u_w$ ——静止孔隙水压力（静水压力）。

10.4.5 自动记录仪取得的原始记录曲线应按下列要求修正：



## 1 贯入深度修正

1) 按下式计算实际贯入深度  $d$ :

$$d = nl + h - \Delta l \quad (10.4.5)$$

式中  $l$ ——每根探杆长度;

$n$ ——贯入土中的探杆根数;

$h$ ——从锥底全断面处起算的探头长度;

$\Delta l$ ——未入土的探杆余长。

2) 以孔口地面为深度零点, 以停止贯入(加接探杆)时锥尖应力松弛所形成的似归零线为依据, 用记录纸上所标注的深度误差, 按式(10.4.5)校正曲线深度;

3) 双笔或三笔式记录曲线应标明深度零点。

## 2 曲线幅值修正

1) 以归零检查的标注为依据, 直线连接两相邻归零点, 根据此连线与记录纸上零线的偏差值, 反号调整记录曲线的幅值;

2) 因加接探杆造成记录曲线脱节或出现喇叭口曲线形态时, 应以平顺曲线予以补齐;

3) 根据探头的标定系数, 绘制修正后的触探曲线纵横坐标比例尺, 注明单位和标出各触探曲线所代表的参数符号。

### 10.4.6 孔压消散值可按下列程序修正:

1 以修正的贯入孔压值( $u_d$  或  $u_T$ )作为消散试验的孔压初始值, 以零漂修正量等量修正试验点各个时刻测定的孔压消散值( $u_t$ );

2 以孔压消散值( $u_t$ )为纵轴、时间对数值( $\lg t$ )为横轴, 绘制孔压消散曲线( $u_t - \lg t$ );

3 孔压消散曲线初始段出现陡降时, 可用云形板拟合, 使其后段曲线通过陡降段终点与纵轴相交;

4 孔压消散曲线初始段出现上升现象时, 宜略去其上升段, 以曲线峰值点作为消散曲线的计量起点, 在同一张  $u_t - \lg t$  坐标图中重新绘制孔压消散曲线。

### 10.4.7 触探成果图件可按下列要求绘制:

1 应以深度为纵轴、以触探参数为横轴绘制触探曲线,其中  $f_s$ 、 $u_d$  (或  $u_T$ ) 及  $q_c$  之间的数值比例宜取 1:10:100。

2  $q_c$  或  $p_s$ 、 $f_s$ 、 $u_d$  或  $u_T$ 、 $u_w$  与深度  $d$  的关系曲线应以不同的表达形式同绘于一个坐标图中,也可将  $u_d$  (或  $u_T$ ) 和  $u_w$  绘制于该坐标图的对称侧。 $B_q$ 、 $R_f$  与  $d$  的关系曲线宜绘于另一坐标图中,二者在横轴上数值比例宜取 1:10。

3 上述各触探曲线均应用参数符号在图中标示清楚或示出图例。然后按本规程第 10.5 节要求进行分层,计算各分层触探参数值和地基参数值,填入成果图件内的表格中。

**10.4.8 归一化超孔压消散曲线应按下列要求绘制:**

1 均衡孔隙水压力  $u_w'$  取孔压消散达稳定值时的孔压值,取值标准应符合本规程第 10.3.9 条的规定。

2 地基中试验点处的剩余超孔压  $\Delta u_r$  按下式计算:

$$\Delta u_r = u_w' - u_w \quad (10.4.8-1)$$

3 各时刻的归一化超孔压比  $\bar{V}$  按下式计算:

$$\bar{V} = (u_t - u_w) / (u_0 - u_w) \quad (10.4.8-2)$$

式中  $u_t$ ——贯入孔隙压力  $u_0$  (即  $u_d$  或  $u_T$ ) 消散至某时刻  $t$  的孔压值,可在修正的孔压消散曲线上查取。

4 以  $\bar{V}$  为纵轴、时间  $t$  的对数  $\lg t$  为横轴,绘制归一化超孔压消散曲线 ( $\bar{V}-\lg t$ )。

## 10.5 计算与应用

**10.5.1** 根据触探曲线划分土层时,对主要受力层应详细划分,对工程有影响的软弱下卧层应单独分出。

**10.5.2** 土层界面位置的确定应符合下列规定:

1 孔压触探时,应将  $u_d$  (或  $u_T$ ) 和  $B_q$  的突变点位置定为土层界面。

2 单桥或双桥触探时,应根据超前深度和滞后深度确定,方法如下:

1) 一般情况下,可将超前、滞后总深度段中点偏向低端

- 阻值 ( $q_c$  或  $p_s$ ) 层 (软层) 10 cm 处定为土层界面;
- 2) 上、下土层的端阻值相差 1 倍以上, 且其中软层的平均端阻  $\bar{q}_c$  (或  $\bar{p}_s$ )  $< 2$  MPa 时, 可将软层的最后 1 个 (或第一个)  $q_c$  (或  $p_s$ ) 小值偏向硬层 10 cm 处定为土层界面;
- 3) 上、下土层端阻值差别不明显时, 则应结合  $R_f$ 、 $f_s$  值确定土层界面。

### 10.5.3 各土层的触探参数值应按下列公式及要求取值:

1 土层厚度  $h$  大于等于 1 m 且土质比较均匀时, 应扣除其上部滞后深度和下部超前深度范围内的触探参数值, 按下列公式计算土层的触探参数值:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10.5.3-1)$$

$$\bar{q}_T = \bar{q}_c + \beta(1-a)\bar{u}_d = \bar{q}_c + (1-a)\bar{u}_T \quad (10.5.3-2)$$

$$\bar{R}_f = \bar{f}_s / \bar{q}_c \quad (10.5.3-3)$$

式中  $x$ 、 $X$  为各触探参数代号, 角标  $i = 1, 2, \dots, n$  为触探参数数据序号。

2 土层厚度  $h$  小于 1 m 的均质土层, 软层应取最小值、硬层应取较大值。

3 经过修正成图的记录曲线, 可根据各分层土层曲线幅值变化情况, 划分成若干小层, 对每一小层按等积原理绘成直方图, 按下式计算分层土层的触探参数值:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i \cdot h_i) / \sum_{i=1}^n h_i \quad (10.5.3-4)$$

式中  $h_i$  为第  $i$  小层土厚度,  $\bar{x}_i$  为各小层的触探参数平均值。

4 分层曲线中的特殊大值, 不应参与计算。

5 由单层厚度在 30 cm 以内的粉砂或粉土与黏性土交互沉积的土层, 应分别计算各触探参数的大值平均值和小值平均值。

10.5.4 单桥、双桥及孔压探头的贯入阻力与端阻可按下列公式换算:

$$p_s = 1.1 q_c \quad (10.5.4-1)$$

$$q_T = p_s \quad (10.5.4-2)$$

10.5.5 使用双桥触探时,可按图 10.5.5 划分土类。

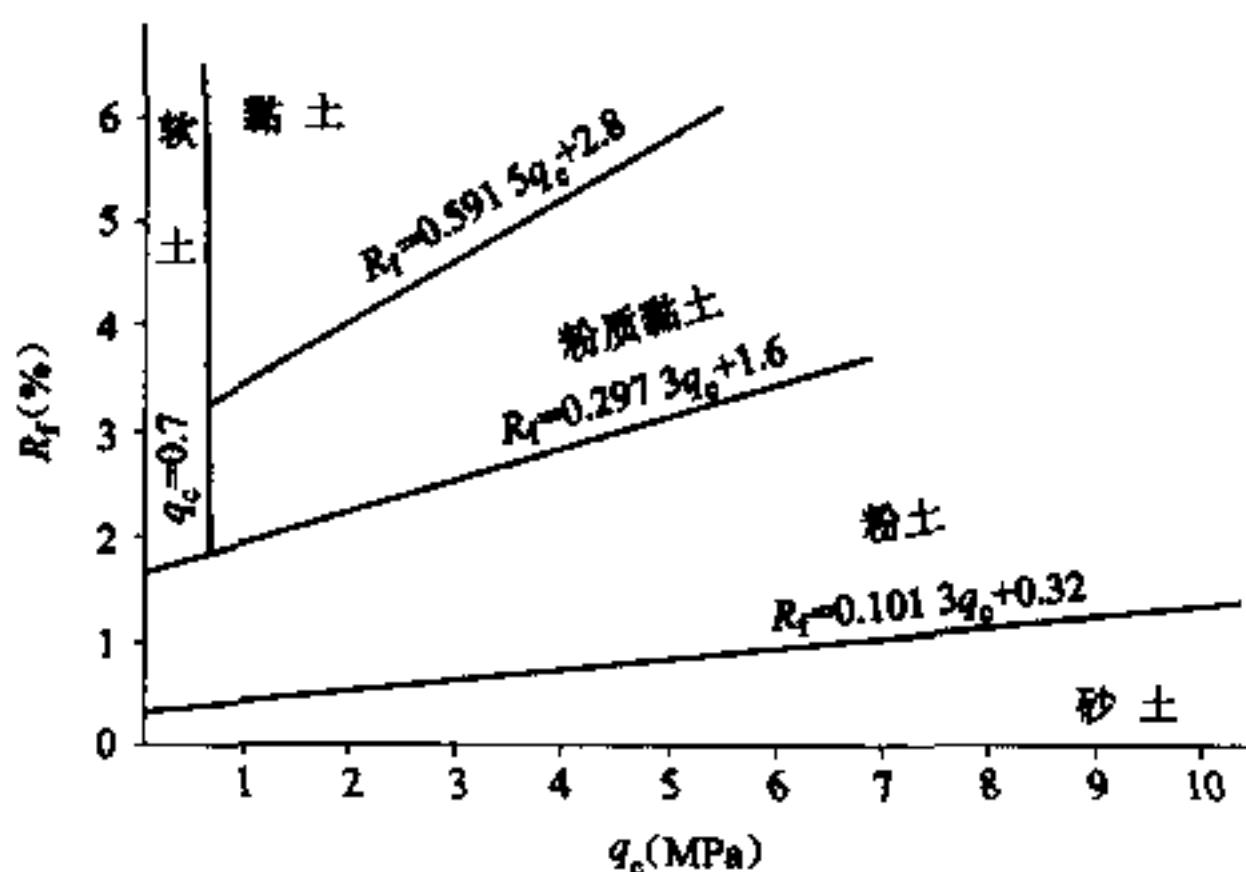


图 10.5.5 双桥触探参数判别土类

10.5.6 使用过滤片置于锥面的孔压探头触探时,在地下水位以下的土层可按图 10.5.6 划分土类。

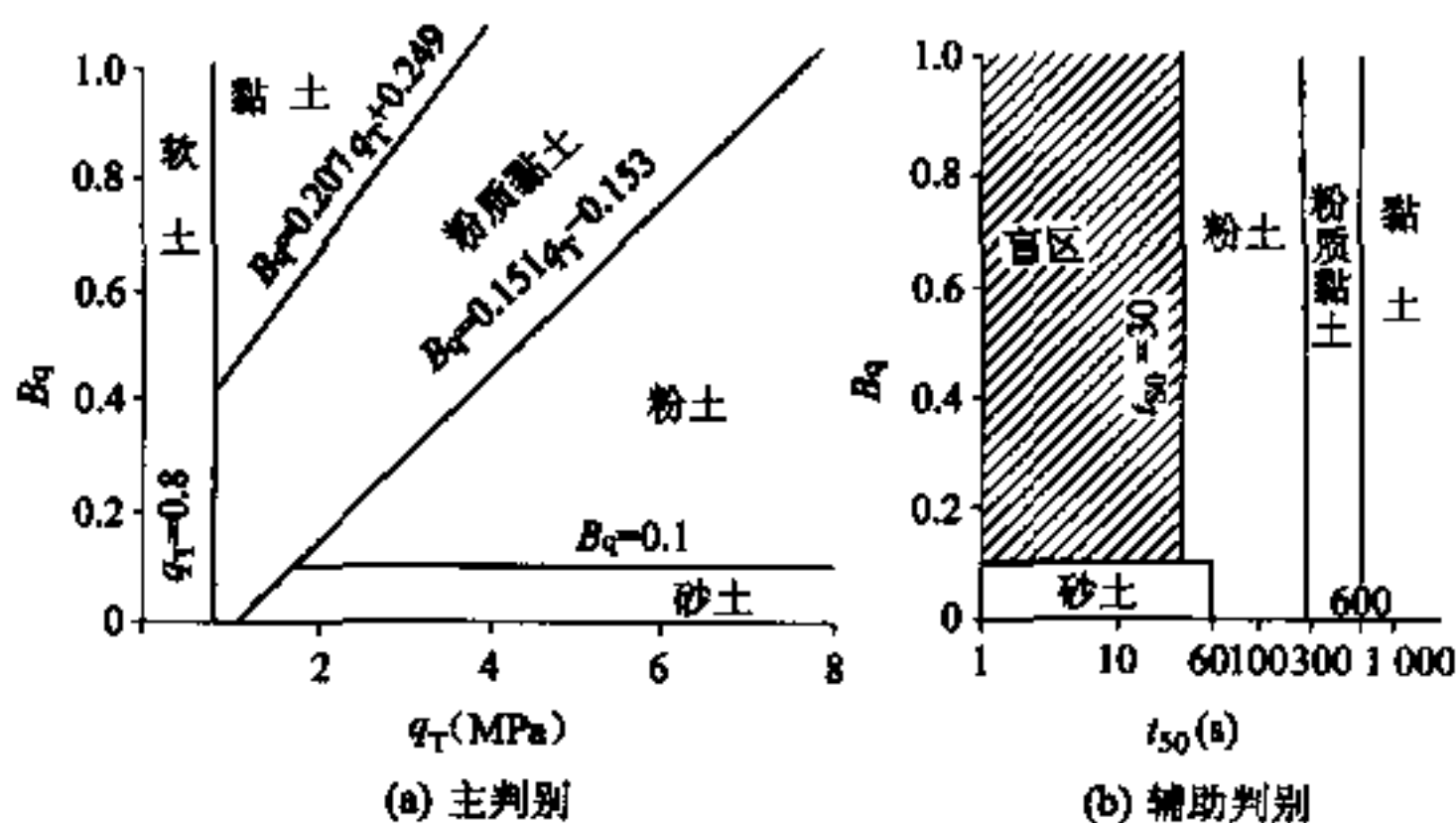


图 10.5.6 孔压触探参数划分土类 (过滤片在锥面处)

10.5.7 使用过滤片置于锥底圆柱面处的孔压探头触探时,在地下水位以下的土层可按图 10.5.7 划分土类。

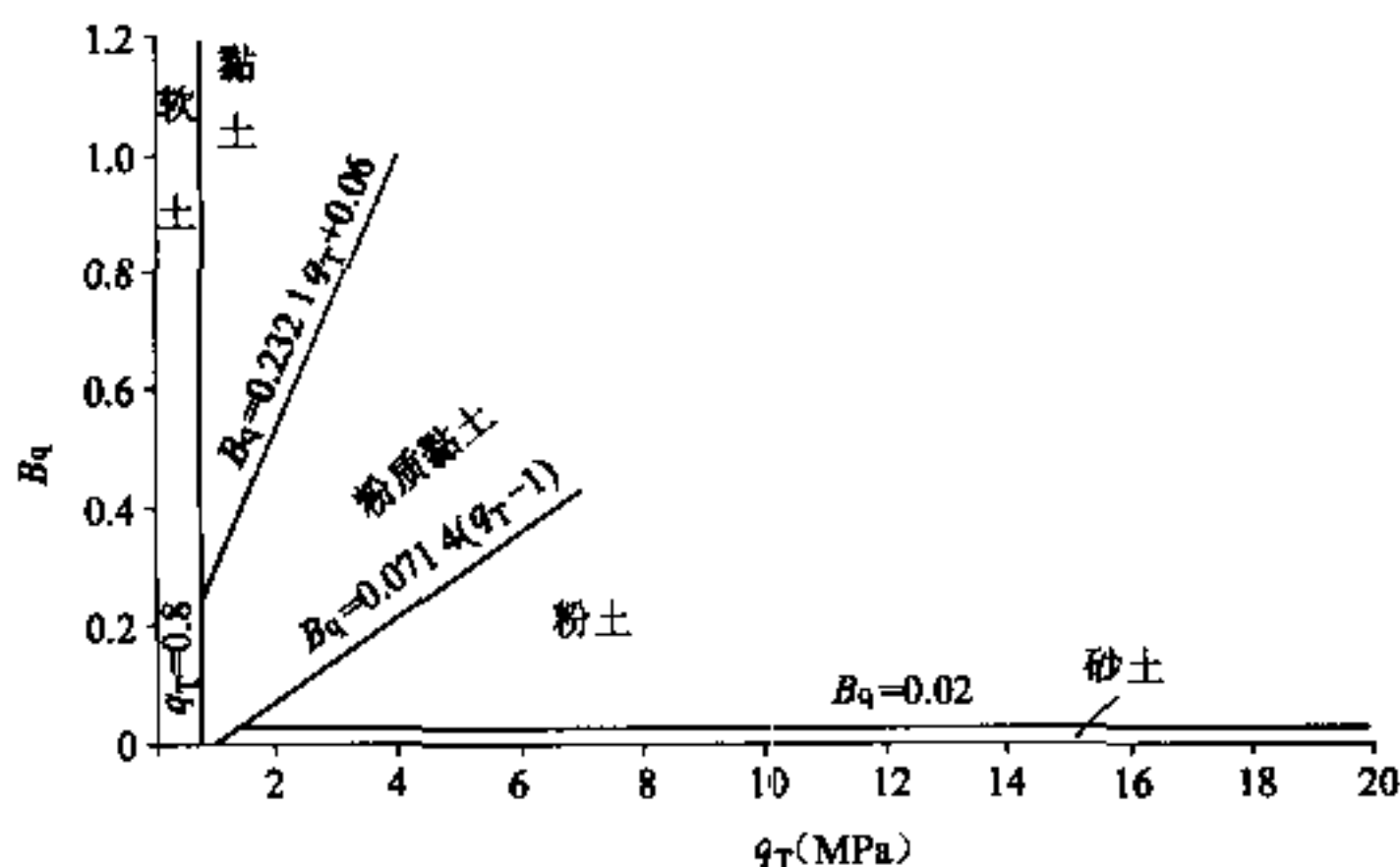


图 10.5.7 孔压触探参数划分土类 (过滤片在锥底圆柱面处)

**10.5.8** 缺乏钻探取样试验数据时,一般饱和黏性土的重度  $\gamma(\text{kN/m}^3)$ 可按下列公式计算:

$$p_s < 400 \text{ kPa 时}, \quad \gamma = 8.23 p_s^{0.12} \quad (10.5.8-1)$$

$$400 \leq p_s < 4500 \text{ kPa 时}, \quad \gamma = 9.56 p_s^{0.095} \quad (10.5.8-2)$$

$$p_s \geq 4500 \text{ kPa 时}, \quad \gamma = 21.3 \quad (10.5.8-3)$$

**10.5.9** 黏性土的塑性状态可用过滤片置于锥面的孔压探头触探参数按表 10.5.9—1 判别。用单桥触探参数时,应结合地区使用经验按表 10.5.9—2 判定黏性土的塑性状态。

表 10.5.9—1 孔压触探参数判别黏性土的塑性状态

分 级	液 性 指 数	主 判 别	辅 助 判 别
坚 硬	$I_L \leq 0$	$q_T > 5$	$B_q < 0.2$
硬 塑	$0 < I_L \leq 0.5$	$q_T \leq 5$ $3.12B_q - 2.77q_T < -2.21$	$B_q < 0.3$
软 塑	$0.5 < I_L \leq 1$	$3.12B_q - 2.77q_T \geq -2.21$ $11.2B_q - 21.3q_T < -2.56$	$B_q \geq 0.2$
流 塑	$I_L > 1$	$11.2B_q - 21.3q_T \geq -2.56$	$B_q \geq 0.42$

注: 1  $q_T$  单位用 MPa;

2 坚硬状态土多属非饱和土, 括号内数值为参考值;

3 过滤片置于锥底圆柱面处的孔压触探参数, 可通过表 10.4.4 换算出相应的  $q_T$ 、 $B_q$  后再用本表判别。

表 10.5.9—2 单桥触探参数判别黏性土的塑性状态

$I_L$	0	0.25	0.50	0.75	1
$p_s$ (MPa)	(5~6)	(2.7~3.3)	1.2~1.5	0.7~0.9	<0.5

注：括号内数值为参考值。

**10.5.10** 灵敏度  $S_t=2\sim7$ 、塑性指数  $I_p=12\sim40$  的软黏性土，不排水抗剪强度  $c_u$  可按下列公式计算：

$$c_u = 0.9(p_s - \sigma_{v0})/N_k \quad (10.5.10-1)$$

$$N_k = 25.81 - 0.75S_t - 2.25\ln I_p \quad (10.5.10-2)$$

缺乏  $S_t$ 、 $I_p$  数据时，可按下式估算  $c_u$  值：

$$c_u = 0.04p_s + 2 \quad (10.5.10-3)$$

式中  $p_s$  单位为 kPa。

**10.5.11** 超固结比  $OCR \leq 2$  的正常固结和轻度超固结的软黏性土，当贯入阻力  $p_s$ （或  $q_c$ ）随深度呈线性递增时，固结快剪内摩擦角（ $\varphi_{cu}$ ）可用下列公式估算：

$$\tan \varphi_{cu} = 1.4\Delta c_u / \Delta \sigma'_{v0} \quad (10.5.11-1)$$

$$\Delta \sigma'_{v0} = \Delta \sigma_{v0} - \gamma_w \Delta d \quad (10.5.11-2)$$

$$\Delta \sigma_{v0} = \gamma \Delta d \quad (10.5.11-3)$$

式中  $\Delta d$ ——线性化触探曲线上任意两点间的深度增量；

$\Delta c_u$ ——对应于  $\Delta d$  的不排水抗剪强度增量，可按式(10.5.10—3) 计算。

**10.5.12** 砂类土的内摩擦角（ $\varphi$ ）可按表 10.5.12 取值。

表 10.5.12 砂类土的内摩擦角  $\varphi$ 

$p_s$ (MPa)	1	2	3	4	6	11	15	30
$\varphi$ (°)	29	31	32	33	34	36	37	39

**10.5.13** 石英质砂类土的相对密实度  $D_r$  可按表 10.5.13 判定。

**10.5.14** 饱和软黏性土竖向固结系数  $C_v$  可按下列公式计算：

$$C_v = \xi r_0^2 T_{50} / t_{50} \quad (10.5.14)$$

式中  $r_0$ ——探头半径；

表 10.5.13 石英质砂土的相对密实度  $D_r$

密实程度	$p_s$ (MPa)	$D_r$
密 实	$p_s \geq 14$	$D_r \geq 0.67$
中 密	$14 > p_s > 6.5$	$0.67 > D_r > 0.40$
稍 密	$6.5 \geq p_s \geq 2$	$0.40 \geq D_r \geq 0.33$
松 散	$p_s < 2$	$D_r < 0.33$

$T_{50}$ ——触探产生的超孔压消散达 50% 时的时间因数,可按表 10.5.14—1 取值;当取得使用经验时,也可按表 10.5.14—2 取值,表中  $\alpha$  为与土性有关的经验指数;

表 10.5.14—1  $T_{50}$  值

刚度指数 $I_r$	土体破坏时的孔隙压力参数 $A_f$			
	1/3	2/3	1	4/3
10	1.145	1.593	2.095	2.622
50	2.487	3.346	4.504	5.931
100	3.524	4.761	6.447	8.629
200	5.025	6.838	9.292	12.790

表 10.5.14—2 与经验指数  $\alpha$  有关的  $T_{50}$  值

$\alpha$	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
$T_{50}$	10.863	6.720	4.804	3.746	3.063	2.665

注:  $\alpha$  值随土的刚度指数  $I_r$  和土体破坏时的孔隙压力参数  $A_f$  的升高而降低,在未建立地区使用经验时,可用曲线拟合法确定。

$t_{50}$ ——相应于  $T_{50}$  的孔压消散历时,在绘制的归一化超孔压曲线上查取;

$\zeta$ ——经验修正系数,  $\zeta = 0.25 \sim 0.80$ 。

10.5.15 饱和软黏性土的刚度指数  $I_r$  可按式计算:

$$I_r = E_u / [2(1 + \mu)c_u] \quad (10.5.15)$$

式中  $E_u$ ——不排水杨氏模量,按式 (10.5.19) 计算;

$\mu$ ——不排水泊松比,可恒取  $\mu = 0.49$ 。

**10.5.16 静力触探确定地基基本承载力和极限承载力时,应综合考虑场地土的工程性质和建筑物特点。无地区使用经验可循时,可根据土层类别和比贯入阻力  $p_s$  按表 10.5.16—1 和表 10.5.16—2 所列经验公式计算,但  $p_s$  的取值应符合下列规定:**

**表 10.5.16—1 天然地基基本承载力 ( $\sigma_0$ ) 算式**

土层名称		$\sigma_0$ (kPa)	$p_s$ 值域 (kPa)	相关系数 $r$	标准差 $s$ (kPa)	变异系数 $\delta$
黏性土 ( $Q_1 \sim Q_3$ )		$\sigma_0 = 0.1 p_s$	2700~6000	—	—	—
黏性土 ( $Q_4$ )		$\sigma_0 = 5.8 \sqrt{p_s} - 46$	$\leq 6000$	0.920	26	0.095
软 土		$\sigma_0 = 0.112 p_s + 5$	85~800	0.850	16.7	0.259
砂土及粉土		$\sigma_0 = 0.89 p_s^{0.63} + 14.4$	$\leq 24000$	0.945	31.6	0.154
新 黄 土  ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	东南带	$\sigma_0 = 0.05 p_s + 65$	500~5000	0.878	33	0.204
	西北带	$\sigma_0 = 0.05 p_s + 35$	650~5500	0.930	23.4	0.148
	北 部 边缘带	$\sigma_0 = 0.04 p_s + 40$	1000~6500	0.823	26.2	0.151

**表 10.5.16—2 天然地基极限承载力 ( $p_u$ ) 算式**

土层名称		$p_u$ (kPa)	$p_s$ 值域 (kPa)	相关系数 $r$	标准差 $s$ (kPa)	变异系数 $\delta$
黏性土 ( $Q_1 \sim Q_3$ )		$p_u = 0.14 p_s + 265$	2700~6000	0.810	153	0.203
黏性土 ( $Q_4$ )		$p_u = 0.94 p_s^{0.8} + 8$	700~3000	0.818	60.2	0.199
软 土		$p_u = 0.196 p_s + 15$	<800	0.827	36.5	0.310
粉、细砂		$p_u = 3.89 p_s^{0.58} - 65$	1500~24000	0.874	137.6	0.256
中、粗砂		$p_u = 3.6 p_s^{0.6} + 80$	800~12000	0.670	236.6	0.336
砂类土		$p_u = 3.74 p_s^{0.58} + 47$	1500~24000	0.710	217	0.350
粉 土		$p_u = 1.78 p_s^{0.63} + 29$	$\leq 8000$	0.945	63.2	0.139
新黄土 ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	东南带	$p_u = 0.1 p_s + 130$	500~4500	0.878	66.0	0.204
	西北带	$p_u = 0.1 p_s + 70$	650~5300	0.930	46.8	0.148
	北 部 边缘带	$p_u = 0.08 p_s + 80$	1000~6000	0.823	52.4	0.204



1 对于扩大基础,  $p_s$  值取基础底面下  $2b$  ( $b$  为矩形基础短边长度或圆形基础直径) 深度范围内的比贯入阻力平均值。

2 层状地基的  $p_s$  取值应符合第 10.5.3 条规定。由粉砂(或粉土)与粉质黏土(或黏土)组成的交错层,应根据大值平均值和小值平均值,在表 10.5.16 中分别按其所属土类计算地基承载力,然后根据建筑物特点和重要程度,酌取小值、中小值或中值。

10.5.17 地基基本承载力用于设计时,应进行基础宽度和埋置深度的修正。修正公式见现行《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10002.5),修正系数可按表 10.5.17 确定。

表 10.5.17 基础宽度修正系数  $k_1$  和深度修正系数  $k_2$

修正系数	土层名称	$p_s$ (kPa)							
		<800	800~2000	2000~3000	3000~5000	5000~10000	10000~14000	14000~20000	>20000
$k_1$	黏性土、粉土、砂类土	0				1	2	3	4
	新黄土 ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	0							
$k_2$	黏性土	0	1	2	3	4	—	—	—
	砂类土、粉土	0	1	1.5	2	3	4	5	6
	新黄土 ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	0	0	1	1.5	2	—	—	—

10.5.18 土层的压缩模量  $E_s$  和变形模量  $E_0$  可按表 10.5.18—1 和表 10.5.18—2 取值。

表 10.5.18—1 土的  $E_s$  值 (MPa)

土层名称	$p_s$ (MPa)								
	0.1	0.3	0.5	0.7	1	1.3	1.8	2.5	3
软土及黏性土	0.9	1.9	2.6	3.3	4.5	5.7	7.7	10.5	12.5
饱和砂类土	—	—	2.6~5.0	3.2~5.4	4.1~6.0	5.1~7.5	6.0~9.0	7.5~10.2	9.0~11.5
新黄土 ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	—	—	—	—	1.7	3.5	5.3	7.2	9.0

续表 10.5.18—1

土层名称	$p_s$ (MPa)								
	4	5	6	7	8	9	11	13	15
软土及黏性土	16.5	20.5	24.4	—	—	—	—	—	—
饱和砂类土	11.5~ 13.0	13.0~ 15.0	15.0~ 16.5	16.5~ 18.5	18.5~ 20.0	20.0~ 22.5	24.0~ 27.0	28.0~ 31.0	35.0
新黄土( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	12.6	16.3	20.0	23.6	—	—	—	—	—

- 注：1  $E_s$  为压缩曲线上  $p_1=0.1\text{MPa} \sim p_2=0.2\text{MPa}$  压力段的压缩模量；  
 2 粉土可按表列砂土  $E_s$  值的 70% 取值；  
 3  $Q_3$  及其以前的黏性土和新近堆积土应根据当地经验取值或采用原状土样作压缩试验；  
 4 表内数值可以线性内插，不可外延。

表 10.5.18—2 土的  $E_0$  值 (MPa)

公式号	土层名称	$E_0$ 算式	$p_s$ 值域 (MPa)	相关系数 $r$	标准差 $s$ (MPa)	变异系数 $\delta$
10.5.18—1	黏性土 ( $Q_1 \sim Q_3$ )	$E_0 = 11.78p_s - 4.69$	3~6	—	—	—
10.5.18—2	软土及饱和黏性土 ( $Q_4$ )	$E_0 = 6.03p_s^{1.45} + 0.8$	0.085~2.5	0.860	0.63	0.066
10.5.18—3	细砂、粉砂、粉土	$E_0 = 3.57p_s^{0.684}$	1~20	0.840	3.9	0.219
10.5.18—4	新黄土 ( $Q_4$ 、 $Q_3$ )	东南带 $E_0 = 13.09p_s^{0.64}$	0.5~5	0.53	11.7	0.468
10.5.18—5		西北带 $E_0 = 5.95p_s + 1.41$	1~5.5	0.70	7.2	0.347
10.5.18—6		北部边缘带 $E_0 = 5p_s$	1~6.5	取下限值公式		

注：新近堆积土的  $E_0$  应根据当地经验取值或用载荷试验确定；一般工程，当  $I_p > 10$  时，按式 (10.5.18—2) 算出  $E_0$  后再乘以 0.9~0.4 折减系数，折减系数随  $p_s$  值增加而降低。

**10.5.19**  $p_s \leq 1\text{MPa}$  的饱和黏性土，不排水杨氏模量  $E_u$  可按下列式计算：

$$E_u = 11.4p_s \quad (10.5.19)$$

式中  $E_u$  为剪应力水平达 50% 时的割线模量。

**10.5.20** 打入钢筋混凝土预制桩的极限荷载  $Q_u$  (kN) 可按下列公式及要求计算：

$$Q_u = U \sum_{i=1}^n h_i \beta_i \bar{f}_{si} + \alpha A_c q_{cp} \quad (10.5.20-1)$$

式中  $U$ ——桩身周长 (m);

$h_i$ ——桩身穿过的第  $i$  层土厚度 (m);

$A_c$ ——桩底 (不包括桩靴) 全断面面积 ( $m^2$ );

$\bar{f}_{si}$ ——第  $i$  层土的侧阻平均值 (kPa);

$q_{cp}$ ——桩底端阻计算值;

$\beta_i, \alpha$ ——分别为第  $i$  层土的极限摩阻力和桩尖土的极限承载力综合修正系数。

$q_{cp}, \beta_i, \alpha$  应分别按下列要求计算:

1 桩底高程以上  $4d$  ( $d$  为桩径) 范围内平均端阻  $\bar{q}_{cp1}$  小于桩底高程以下  $4d$  范围内平均端阻  $\bar{q}_{cp2}$  时

$$q_{cp} = (\bar{q}_{cp1} + \bar{q}_{cp2}) / 2 \quad (10.5.20-2)$$

反之,

$$q_{cp} = \bar{q}_{cp2} \quad (10.5.20-3)$$

2 桩侧第  $i$  层土的平均端阻  $\bar{q}_{ci} > 2000$  kPa, 且相应的摩阻比  $\bar{f}_{si} / \bar{q}_{ci} \leq 0.014$  时

$$\beta_i = 5.067 (\bar{f}_{si})^{-0.45} \quad (10.5.20-4)$$

$\bar{q}_{ci}$  及  $\bar{f}_{si} / \bar{q}_{ci}$  不能同时满足上述条件时:

$$\beta_i = 10.045 (\bar{f}_{si})^{-0.55} \quad (10.5.20-5)$$

由上二式计得  $\beta_i \bar{f}_{si} > 100$  kPa 时, 宜取  $\beta_i \bar{f}_{si} = 100$  kPa。

3  $\bar{q}_{cp2} > 2000$  kPa, 且相应的摩阻比  $\bar{f}_{s2} / \bar{q}_{cp2} \leq 0.014$  时

$$\alpha = 3.975 (q_{cp})^{-0.25} \quad (10.5.20-6)$$

$\bar{q}_{cp2}$  及  $\bar{f}_{s2} / \bar{q}_{cp2}$  不能同时满足上述条件时

$$\alpha = 12.064 (q_{cp})^{-0.35} \quad (10.5.20-7)$$

**10.5.21** 混凝土钻孔灌注桩及沉管灌注桩的极限荷载  $Q_u$  可按式 (10.5.20-1) 估算, 式中的综合修正系数  $\beta_i$  和  $\alpha$  应按下列规定计算:

1 钻孔灌注桩

$$\beta_i = 18.24 (\bar{f}_{si})^{-0.75} \quad (10.5.21-1)$$

$$\alpha = 130.53 (q_{cp})^{-0.76} \quad (10.5.21-2)$$

## 2 沉管灌注桩

$$\beta_i = 4.14 (\bar{f}_{si})^{-0.4} \quad (10.5.21-3)$$

桩底高程以下  $4d$  范围内的摩阻比  $R_f(\%) > 0.101 3\bar{q}_{cp2} + 0.32$  时

$$\alpha = 1.65 (q_{cp})^{-0.14} \quad (10.5.21-4)$$

桩底高程以下  $4d$  范围内的摩阻比  $R_f(\%) \leq 0.101 3\bar{q}_{cp2} + 0.32$  时

$$\alpha = 0.45 (q_{cp})^{-0.09} \quad (10.5.21-5)$$

**10.5.22** 地震动峰值加速度为  $0.1g$  的地区, 地面下  $15\text{m}$  以内、地震动峰值加速度为  $0.2g$  或  $0.4g$  的地区, 地面下  $20\text{m}$  以内, 有可能液化的地层, 宜使用静力触探方法按下列要求进行判别:

1 实测计算贯入阻力  $p_{sca}$  或  $q_{cca}$  小于或等于单桥触探液化临界贯入阻力  $p'_s$  或双桥触探液化临界贯入阻力  $q'_c$  时, 应判为液化土。

2 实测计算贯入阻力  $p_{sca}$  或  $q_{cca}$  应按下列规定取值:

- 1) 土层厚度大于  $1\text{m}$  时, 应取该层土的贯入阻力平均值  $\bar{p}_s$  (或  $\bar{q}_c$ ); 土层厚度小于  $1\text{m}$ , 且上、下层的贯入阻力较小时, 应取该层土贯入阻力较大值。
- 2) 土层厚度较大、根据力学性质和  $p_s$  或  $q_c$  值可明显分层时, 应分层计算  $p_{sca}$  或  $q_{cca}$  值。
- 3) 双桥触探时, 应确定各分层的计算侧阻值  $f_{sca}$ , 并计算各分层土的摩阻比  $R_{fca} = f_{sca}/q_{cca}$ 。

3 液化临界贯入阻力可按下列公式计算:

$$p'_s = p_{s0} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (10.5.22-1)$$

$$q'_c = q_{c0} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (10.5.22-2)$$

$$\alpha_1 = 1 - 0.065 (d_w - 2) \quad (10.5.22-3)$$

$$\alpha_3 = 1 - 0.05(d_u - 2) \quad (10.5.22-4)$$

式中  $p_{d0}, q_{d0}$ —— $d_w = 2\text{ m}$ 、 $d_u = 2\text{ m}$ 、 $\alpha_4 = 1$  时可液化土层的  
临界贯入阻力，按表 10.5.22—1 取值；

表 10.5.22—1 可液化土层临界贯入阻力（基本值）

地震动峰值加速度	0.1g	0.2g	0.4g
$p_{d0}$ (MPa)	5.0~6.0	11.5~13.0	18.0~20.0
$q_{d0}$ (MPa)	4.6~5.5	10.5~11.8	16.4~18.2

$\alpha_1$ ——地下水埋深  $d_w$  (m) 修正系数；地面常年有水且与地下水有水力联系时， $\alpha_1 = 1.13$ ；

$\alpha_3$ ——上覆非液化土层厚度  $d_u$  (m) 修正系数；对于深基础，恒取  $\alpha_3 = 1$ ；

$\alpha_4$ ——黏粒含量百分比修正系数，可按表 10.5.22—2 或表 8.4.3—2 确定。

表 10.5.22—2  $\alpha_4$  取值

土 类	砂 土	粉 土	
$R_{fcu}$ (%)	$\leq 0.4$	$0.4 < R_{fcu} \leq 0.9$	$> 0.9$
$\alpha_4$	1.00	0.60	0.45

## **11 应力铲试验**

### **11.1 一般规定**

**11.1.1** 应力铲试验适用于确定软塑~流塑状饱和黏性土的静止土压力系数和水平固结系数等。

**11.1.2** 应力铲试验应在场地地层结构、构造清楚的条件下进行。

**11.1.3** 应力铲试验孔对水平地面的垂直度偏差应控制在 2% 以内。

### **11.2 设 备**

**11.2.1** 应力铲试验设备应包括标定设备、贯入设备和测试设备及辅助工具等。标定设备由压力罐、测力（压）计或力传感器、加卸荷装置及记录仪表等构成；贯入设备可采用静力触探贯入设备或工程钻机；测试设备包括记录仪表、应力铲和传输信号的电缆。

**11.2.2** 标定设备应符合下列要求：

1 标定应力铲所用的测力（压）计或力传感器，精度不得低于Ⅲ等标准测力计或压力表的精度，且每年应进行一次检定；

2 测力（压）计或力传感器的额定量程不宜大于应力铲额定荷载的 2 倍；

3 标定装置的稳定性和密封性能良好，应力的传递误差应小于 0.5%。

**11.2.3** 贯入设备的技术性能应符合第 10.2.3 条和第 10.2.4 条有关要求。

**11.2.4** 记录仪的技术性能应符合第 10.2.5 条有关要求。

### 11.2.5 应力铲应符合下列技术要求:

1 应力铲外形及尺寸规格应符合图 11.2.5 及表 11.2.5 的要求。

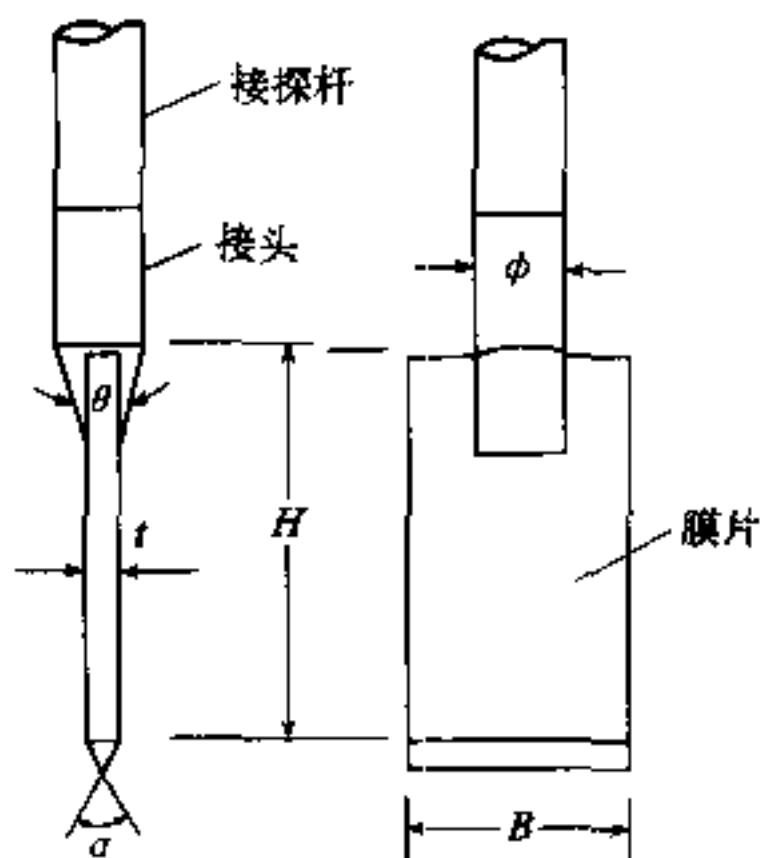


图 11.2.5 应力铲外形

表 11.2.5 应力铲的尺寸规格

板高 $H$ (mm)	板宽 $B$ (mm)	板厚 $t$ (mm)	刃角 $\alpha$ (°)	接头直径 $\phi$ (mm)	接头夹焊角 $\theta$ (°)
$215 \pm 1$	$98 \pm 1$	5~8	$60 \pm 1$	$\leq 40$	$45 \pm 1$

2 应力铲中空, 内部应充满去气硅油; 空腔周边及中轴部位应以刚性肋条连成骨架。

3 应力铲板面膜片应用厚 1~1.2 mm 不锈钢板与空腔周边肋条及接头焊成一体, 焊缝应刨光成形。

4 应力铲板面膜片在额定荷载下的最大法向变形量  $s$  应小于板宽的万分之二, 即  $s/B < 1/5000$ 。

5 应力铲的检测误差及环境温度应符合第 6.2.3 条及第 10.2.9 条有关要求。

6 与应力铲接头相连接的探杆直径在 1000 mm 长度范围内, 不得大于接头直径。

### 11.3 试验要点

**11.3.1** 试验孔位布置及准备工作应符合第 1.0.4、第 10.3.1 及第 10.3.2 条有关规定；试验孔水平应力松弛试验点的深度间距不宜小于 500 mm。

**11.3.2** 软土地区进行试验时，可使用静力触探主机贯入；非软土地区试验时，对可贯入地层应使用工程钻机，先开孔至试验点深度以上  $(1 \pm 0.1)$  m 处，通过立轴贯入至预定深度。

**11.3.3** 贯入速率应符合第 10.2.3 条的规定。

**11.3.4** 人工记录贯入时的水平总应力值时，应每贯入 0.1 m 记录一次读数；自动记录时，应随时检查仪器工作情况并作好标注。记录深度与实际贯入的杆件总长度不符时，应记录清楚。

**11.3.5** 在预定深度进行水平应力松弛试验时，应符合第 10.3.8 和第 10.3.9 条有关规定。

**11.3.6** 遇下列情况之一者应停止贯入，并在记录表上注明：

- 1 贯入时探杆弯曲；
- 2 反力装置失效；
- 3 应力铲负荷达额定荷载；
- 4 仪表显示异常。

**11.3.7** 试验终孔后，准备转入下一孔试验时，应对应力铲进行清洗、整理和检查。

**11.3.8** 记录人员必须按记录表要求用铅笔逐项填写清楚。记录表可参照本规程表 B.5.2、表 B.5.3 格式制作。

### 11.4 资料整理与计算

**11.4.1** 应力铲试验原始记录数据，可按第 10.4.3、第 10.4.5 及第 10.4.6 条有关要求修正并整理。

**11.4.2** 各深度在贯入时的初始水平总应力  $\sigma_{H0}$  可按式计算：

$$\sigma_{H0} = \xi \cdot x_h' \quad (11.4.2)$$

式中  $\xi$ ——标定系数；



$x_h'$ ——修正后的读数或曲线幅值。

**11.4.3** 试验成果图件应包括  $\sigma_{h0}$  随深度 ( $d$ ) 的分布曲线; 水平应力  $\sigma_{ht}$  随时间对数 ( $\lg t$ ) 的衰减曲线和归一化应力比衰减曲线 ( $\bar{V}-\lg t$ ); 土层名称、状态、地下水位、地基参数等。

上列图件可参照附录表 B.5.4 和表 B.5.6 格式绘制。

**11.4.4** 各时刻土的归一化应力比  $\bar{V}$  应按下式计算:

$$\bar{V} = (\sigma_{ht} - \sigma_{hc}) / (\sigma_{h0} - \sigma_{hc}) \quad (11.4.4)$$

式中  $\sigma_{ht}$ ——自停止贯入时起算至某时刻  $t$  时的水平应力;

$\sigma_{hc}$ ——水平总应力  $\sigma_{h0}$  衰减后的稳定值, 以连续 2h 水平总应力值不变为稳定标准, 简称静止水平总应力。

**11.4.5** 饱和黏性土静止土压力系数  $K_0$  值可按下式计算:

$$K_0 = n(\sigma_{hc} - u_w) / (\sigma_{v0} - u_w) \quad (11.4.5)$$

式中  $u_w$ ——土的静水压力;

$\sigma_{v0}$ ——土的总自重压力;

$n$ ——经验系数, 正常固结和轻微超固结黏性土,  $t = 5 \text{ mm}$  时, 可取  $n = 0.83 \sim 0.87$ ;  $t = 8 \text{ mm}$  时, 可取  $n = 0.73 \sim 0.79$ , 其值随土的压缩性增大而增大。

**11.4.6** 饱和软黏性土的水平固结系数  $C_h$  可按下列公式计算:

$$C_h = r_e^2 T_{50} / t_{50} \quad (11.4.6-1)$$

$$r_e = t / 2 \quad (11.4.6-2)$$

式中  $r_e$ ——应力铲水平挤压距离 (cm);

$t$ ——应力铲板厚 (cm);

$T_{50}$ ——固结度  $U$  达 50% 时的时间因数, 可按表 11.4.6 取值, 表中  $\alpha_t$  可用曲线拟合法确定, 软土可试取  $\alpha_1 = 0.4$ ;

$t_{50}$ —— $U$  达 50% 时的固结历时 (s)。

表 11.4.6 与  $\alpha_t$  有关的  $T_{50}$  值

$\alpha_t$	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$T_{50}$	26.786	14.821	9.484	6.591	4.833	3.711	2.920	2.370

注:  $\alpha_t$  值随土的刚度指数  $I_r$  值和土体破坏时的孔隙水压力参数  $A_r$  的升高而降低, 也可用第 10.5.14 条的曲线拟合法求得。

## 12 扁板侧胀试验

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 扁板侧胀试验适用于软土、一般饱和黏性土、松散~中密饱和砂类土及粉土等,可用于判定土层名称与状态,确定饱和黏性土的不排水杨氏模量、静止土压力系数、水平基床系数等。

**12.1.2** 扁板侧胀试验孔对水平地面的垂直度偏差不应大于2%。

### 12.2 设 备

**12.2.1** 扁板侧胀试验设备包括测量系统、贯入系统和压力源。测量系统应包括侧胀板头、气电管路和控制装置。贯入系统应包括主机、探杆(或钻杆)和附属工具。压力源可采用普通或特制氮气瓶。

**12.2.2** 侧胀板头的技术性能应符合下列要求:

- 1 板头在平行于轴线长度内,弯曲度不得大于0.3%;
- 2 板头前缘偏离轴线不应超过1mm;
- 3 板头应用高强度不锈钢锻制,厚度15mm、宽度95mm,误差不应超过1%;长度为235mm,误差不宜超过2%;
- 4 圆形不锈钢膜片直径60mm,平装于板头一侧板面上;膜片内侧设置的三位电开关应能准确显示膜片膨胀中的三个特征压力点。

**12.2.3** 气电管路的技术性能应符合下列要求:

- 1 管路应由厚壁、小直径、耐高压、内部贯穿铜质导线的尼龙管组成;
- 2 管路两端接头绝缘性能良好,直径最大不超过12mm;
- 3 用于标定的管路长度宜为1m;

4 能输送气压和准确地传递特定信号。

**12.2.4 控制装置应符合下列技术条件：**

1 压力表显示的有效最小分度值不宜大于 1 kPa；

2 传送膜片达特定位移量时的信号应采用蜂鸣器和检流计显示；

3 蜂鸣器和检流计应在膜片膨胀量小于 0.05 mm 或大于等于 1.10 mm 时接通，在大于等于 0.05 mm 或小于 1.10 mm 时断开。

4 与气电管路、气压计、校正器等附件组成的标定装置应能精确测定膜片膨胀阶段，可对膜片进行标定和老化处理。

**12.2.5 贯入主机和探杆应符合本规程第 10.2.3 和第 10.2.4 条规定。**

**12.2.6 压力源应安装压力调节器，高压气体应为干燥的氮气。**

### **12.3 试验要点**

**12.3.1 贯入设备的能力必须满足试验深度的需要。试验过程中，在确认上道工序操作无误后方可进行下道工序的作业。**

**12.3.2 试验时应使机座保持水平状态，并始终用水平尺校验，记录每次试验中试验孔的垂直度偏差。**

**12.3.3 试验时应由技术熟练的人员操作控制装置，不得随意易人；记录表应逐项填写。**

**12.3.4 水上试验时，应有保证孔位不致发生移动的稳定措施；水底以上部位，宜加设防止探杆挠曲的装置。**

**12.3.5 采用静力触探贯入设备时，应备足探杆，以超过最大试验深度 2~3 m 为宜。**

**12.3.6 试验的准备工作应符合下列要求：**

1 拉直管路，使管路滑行穿过探杆，防止管路被绞扭和弯伤；

2 将管路一端与侧胀板头连接，通过变径接头和所用探杆一次穿齐；

3 检查控制装置、压力源，并将管路的另一端与控制装置

对应的插座接上；

4 将地线接到地线插座上，另一端夹到探杆或主机的机座上；

5 可用手轻按膜片中心检查电路，蜂鸣器发出响声则电路正常；

6 标定膜片，记录标定值  $\Delta A$  及  $\Delta B$ ；

7 标定值不在适用范围内的新膜片应事先进行老化处理，直到  $\Delta B$  值达适用范围且相对误差小于 2% 为止。

**12.3.7 膜片标定应符合下列要求：**

1 用率定气压计对侧胀板头抽真空，使膜片从自然位置移向基座，蜂鸣器鸣响后缓慢解除真空，蜂鸣器响声停止瞬间读取  $\Delta A$  值；

2 用率定气压计对侧胀板头施加正气压，待蜂鸣器鸣响瞬间读取  $\Delta B$  值；

3 重复 3~4 次上述操作，记录  $\Delta A$  及  $\Delta B$  的平均值。

**12.3.8  $\Delta A$  值范围宜为 5~25 kPa,  $\Delta B$  值范围宜为 10~110 kPa。**

**12.3.9 膜片老化处理应符合下列要求：**

1 加压至 300 kPa，蜂鸣器尚未鸣响时应先检查电路；电路正常时，用 300 kPa 气压循环老化数次；每次应从零开始，若  $\Delta B$  达适用范围则停止老化，若用 300 kPa 压力老化后  $\Delta B$  仍很高，可将压力增至 350 kPa 循环老化；倘仍无效，再加大压力，每次升幅宜取 50 kPa。

2 在空气中老化膜片，最大压力不应超过 600 kPa。

**12.3.10 试验深度应以膜片中心为参照点。计深标尺设置在贯入主机上时，贯入深度应以板头、探杆入土的实际深度为准，每贯入 3~4 m 校核一次。记录深度与实际贯入深度不符时，应在记录表上标注清楚。**

**12.3.11 测读压力值应符合下列要求：**

1 侧胀板头贯入至预定深度，蜂鸣器鸣响（电流计动作），关闭排气阀，慢慢打开微调阀，缓慢增加压力，在蜂鸣器和电流

计停止响动瞬间，读取压力  $A$  值。

2 压力从零到  $A$ ，加压时间应控制在  $15\text{ s}$  内；试验土层均匀时， $A$  值可由既有测点值预估，低于预估值阶段快速加压，然后缓慢加压到  $A$ 。

3 记录  $A$  值后，继续不停顿地缓慢加压，待蜂鸣器鸣响（电流计动作）瞬间，读取压力  $B$  值。

4 记录  $B$  值后，必须快速减压至蜂鸣器停响为止，再缓缓卸掉剩余压力，蜂鸣器再响时，读取压力  $C$  值。

5 试验点间距宜为  $20\sim 25\text{ cm}$ ， $C$  压力值可每隔  $1\sim 2\text{ m}$  测读一次。

**12.3.12** 测试过程中，不得松动、碰撞探杆，也不得施加使探杆产生上、下位移的力。

**12.3.13** 遇下列情况之一者，应停止贯入，并在记录表上注明：

- 1 贯入主机的负荷达到其额定荷载的  $120\%$ ；
- 2 贯入时探杆出现明显弯曲；
- 3 反力装置失效；
- 4 无反应信号或测不到压力  $B$  值或  $B$  值时有时无；
- 5 气电管路破裂或被堵塞；
- 6 试验中校核  $(B - A)$  值时出现  $B - A < \Delta A + \Delta B$ 。

**12.3.14** 试验暂停时，应打开排气阀，避免损坏膜片。

**12.3.15** 每孔试验结束时应立即提升探杆，取出侧胀板头，并对膜片进行再标定，将  $\Delta A$ 、 $\Delta B$  数值记录于表中。

**12.3.16** 板头内未进水和泥浆、膜片表面完好、标定值在适用范围内时，清除板头上粘附的泥土，可继续使用。否则，必须拆卸、保养和清洁，重新标定使用。

**12.3.17** 膜片在下列情况下必须更换：

- 1 表面严重划伤、皱折及破裂；
- 2 标定值反常，达不到规定要求；
- 3 过度膨胀，曲面加力和放松时会发出“劈啪”响声。

**12.3.18** 试验完毕后应及时检查气电管路，做好标记，给管路

两端接头戴上盖帽,防止污物进入。

**12.3.19** 及时测量试验孔内地下水埋藏深度。有条件时,宜于次日核查地下水位。

## 12.4 资料整理与计算

**12.4.1** 扁板侧胀试验数据应按下列公式修正:

$$p_0 = 1.05(A - Z_m + \Delta A) - 0.05(B - Z_m - \Delta B) \quad (12.4.1-1)$$

$$p_1 = B - Z_m - \Delta B \quad (12.4.1-2)$$

$$p_2 = C - Z_m + \Delta A \quad (12.4.1-3)$$

式中  $p_0$ ——膜片向土中膨胀之前作用在膜片上的接触压力 (kPa);

$p_1$ ——膜片膨胀 1.10 mm 时的膨胀压力 (kPa);

$p_2$ ——膜片回到 0.05 mm 时受到的终止压力 (kPa);

$A$ ——膜片膨胀 0.05 mm 时气压的实测值 (kPa);

$B$ ——膜片膨胀 1.10 mm 时气压的实测值 (kPa);

$C$ ——膜片回到 0.05 mm 时气压的实测值 (kPa);

$\Delta A, \Delta B$ ——空气中标定膜片分别膨胀 0.05 mm、1.10 mm 时气压的实测值 (kPa);

$Z_m$ ——未调零时的压力表初读数 (kPa)。

**12.4.2** 侧胀模量  $E_D$ 、水平应力指数  $K_D$ 、土类指数  $I_D$ 、孔压指数  $U_D$  应按下列公式计算:

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (12.4.2-1)$$

$$K_D = (p_0 - u_w) / \sigma'_{v0} \quad (12.4.2-2)$$

$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_w) \quad (12.4.2-3)$$

$$U_D = (p_2 - u_w) / (p_0 - u_w) \quad (12.4.2-4)$$

式中  $\sigma'_{v0}$ ——土的有效自重压力 (kPa);

$u_w$ ——土的静水压力 (kPa)。

**12.4.3** 扁板侧胀试验成果图件应包括下列内容:

1  $p_0$ 、 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $\Delta p$  随深度的分布曲线,其中  $\Delta p = p_1 - p_0$ ;

2  $E_D$ 、 $K_D$ 、 $I_D$ 、 $U_D$  随深度的分布曲线。

**12.4.4** 扁板侧胀试验资料分析与应用应根据场地地质情况及当地建筑经验、针对工程设计需要进行,并应作出相应评价。

**12.4.5** 根据  $I_D$  值可按表 12.4.5 确定土的类别。

**表 12.4.5 判别土类的  $I_D$  值**

土类	泥炭或灵敏黏土	黏 土	粉质黏土	粉 土	砂类土
$I_D$	$<0.10$	$0.1 \leq I_D < 0.3$	$0.3 \leq I_D < 0.6$	$0.6 \leq I_D < 1.8$	$\geq 1.8$

**12.4.6** 饱和黏性土的塑性状态可按表 12.4.6 判定。表中参数  $m$  按下式计算:

$$m = (\lg E_D + 0.748) / (\lg I_D + 7.667) \quad (12.4.6)$$

式中  $E_D$  的单位为 kPa。

**表 12.4.6 判别饱和黏性土塑性状态的  $m$  值**

判 别 式	$m \leq 0.53$	$0.53 < m \leq 0.62$	$0.62 < m \leq 0.71$	$m > 0.71$
塑性状态	流 塑	软 塑	硬 塑	坚 硬

**12.4.7** 水平应力指数  $K_D$  为 1.5~4.0 的一般饱和黏性土,静止土压力系数  $K_0$  可按式计算:

$$K_0 = 0.30 K_D^{0.54} \quad (12.4.7)$$

**12.4.8** 膨胀压力  $\Delta p \leq 100$  kPa 的饱和黏性土,不排水杨氏模量  $E_u$  可按式计算:

$$E_u = 3.5 E_D \quad (12.4.8)$$

**12.4.9** 饱和黏性土、饱和砂土及粉土地基的基准水平基床系数  $K_{hl}$  (kN/m<sup>3</sup>) 可按式计算:

$$K_{hl} \approx 0.2 k_h \quad (12.4.9-1)$$

$$k_h \approx 1817(1-A)(p_1 - p_0) \quad (12.4.9-2)$$

式中  $k_h$ ——侧胀仪抗力系数;

$A$ ——孔隙压力参数,无室内试验数据时,可按表 12.4.9

取值；

1817——量纲为  $m^{-1}$  的系数。

表 12.4.9 饱和土的  $A$  值

土类	砂类土	粉 土	粉 质 黏 土		黏 土	
			$OCR = 1$	$4 \geq OCR > 1$	$OCR = 1$	$4 \geq OCR > 1$
$A$	0	0.10~0.20	0.15~0.25	0~0.15	0.25~0.50	0~0.25



## 附录 A 力传感器和测力计的标定与计算

**A.0.1** 用于标定力传感器和测力计的计量设备，必须按国家计量管理规定定期送计量局检定。

**A.0.2** 力传感器的标定应符合下列规定：

1 力传感器标定时的最大加载量应根据其额定荷载确定。新组装的传感器在正式标定前应进行 3~4 次满负荷加载和卸载。

2 力传感器标定宜在室温 ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 环境中进行，并应连同配套使用的仪器、电缆一道参与标定；同型号仪器、电缆经检定确认不致引起标定系数或供桥电压的改变量大于 1% 时，方可调换使用。

3 力传感器的标定系数或供桥电压值的有效期为 3 个月，逾期应重新标定。在重要工程勘察过程中或传感器在使用过程中出现测试数据异常时，应随时进行校验标定。

4 对批量性加工、组装并经标定检验合格的力传感器，宜抽取其总数的 10%~20% 进行时漂和温漂的检验标定。

5 力传感器经标定合格后，应建立档案，记录其编号、标定系数或供桥电压、标定日期及标定者。

**A.0.3** 测力计的检测精度不得低于Ⅲ等标准测力计的精度。

**A.0.4** 用固定桥压法标定传感器时，应符合下列要求：

1 在固定供桥电压下，对传感器加、卸荷应逐级进行。每级荷载增量可取最大加载量的  $1/10 \sim 1/7$ 。

2 每级加、卸荷均应记录仪表输出值。

3 每个拉、压传感器的标定，其加、卸荷不得少于 3 个循环过程，并应符合下列要求：

1) 顶柱式传感器或传感器与传力垫可以相对转动的探头，每加、卸荷一个循环后，应转动顶柱或传力垫  $90^{\circ}$  或

120°, 再开始下一个加、卸荷循环过程;

- 2) 传感器与传力垫不能相对转动的探头, 可将整个探头在标定架上转动 90°或 120°以实施加、卸荷循环过程。

**A.0.5 扭力传感器的标定, 应符合下列规定:**

1 将传感器的一端固定在专用标定架的力矩盘中, 另一端嵌入活动支座中。

2 接通记录仪, 并将仪表预调零。

3 观察传感器和记录仪在一道预热条件下仪表的零位漂移情况。然后锁定活动支座, 注意观察支座锁定时仪表是否产生附加漂移; 出现附加漂移时, 应查找原因, 设法消除。

4 零漂稳定和附加漂移消除后, 复将仪表调零, 即可进行正式标定。

5 用专用砝码通过力矩盘对传感器逐级施加扭矩, 同时记录各级扭矩时的仪表输出值(读数)。至额定荷载加上后, 逐级卸荷并记录读数, 完成一个加、卸荷循环过程。

6 松开活动支座, 将力矩盘连同传感器转动 60°或 120°, 重复上述步骤, 反复加、卸荷 6 或 3 个循环过程。

**A.0.6 传感器标定时, 在分级加(卸)荷过程中, 出现加(卸)荷过量时, 宜将荷载回复到原级荷载, 再加(卸)至下一级荷载。**

**A.0.7 开口钢环的标定应符合下列要求:**

1 标定前将仪表安置就位, 并将仪表预调零;

2 用砝码对力矩盘逐级施加荷载, 记录各级荷载下的钢环变形量, 然后逐级卸荷并记录钢环变形量(即量表读数);

3 转动力矩盘约 90°, 重复上述步骤, 反复标定 4 次。

**A.0.8 传感器扭矩标定系数应按下列公式计算:**

$$\xi = \sum_{i=1}^n (\bar{\epsilon}_i M_i) / \sum_{i=1}^n (\bar{\epsilon}_i)^2 \quad (\text{A.0.8—1})$$

$$M_i = \xi \bar{\epsilon}_i \quad (\text{A.0.8—2})$$

式中  $\xi$ ——传感器扭矩标定系数 (kN·m/ $\mu\epsilon$ );

$M_i$ ——传感器亦即十字板头第  $i$  级扭矩 ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ );

$\bar{\epsilon}_i$ ——第  $i$  级扭矩时各次仪表读数平均值。

**A.0.9** 钢环标定系数可按下式计算:

$$\xi = L\bar{P}/\bar{s} \quad (\text{A.0.9})$$

式中  $\xi$ ——钢环标定系数 ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{mm}$ );

$\bar{P}$ ——平均荷载 ( $\text{kN}$ );

$\bar{s}$ —— $\bar{P}$  作用下的平均变形量 ( $\text{mm}$ );

$L$ ——力矩盘的力臂 ( $\text{m}$ )。

**A.0.10** 传感器压力标定系数应按下列公式计算:

$$\xi = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i P_i) / \left[ A \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i)^2 \right] \quad (\text{A.0.10—1})$$

$$\bar{x}_i = (x_i^+ + x_i^-) / 2 \quad (\text{A.0.10—2})$$

式中  $\xi$ ——传感器压力标定系数 ( $\text{kPa}/\mu\epsilon$ );

$P_i$ ——第  $i$  级荷载值;

$A$ ——探头的工作面积;

$x_i^+$ ——加至第  $i$  级荷载时, 仪表各次读数平均值;

$x_i^-$ ——卸至第  $i$  级荷载时, 仪表各次读数平均值。

**A.0.11** 由式 (A.0.8) 和式 (A.0.10) 确定的直线可定为“最佳标定线”。

**A.0.12** 传感器标定后的各项检测误差可对照图 A.0.12 按极差原理由下列各式计算:

$$\text{非线性误差} \quad \delta_1 = |x_i^{\pm} - x_i|_{\max} / \text{FS} \quad (\text{A.0.12—1})$$

$$\text{重复性误差} \quad \delta_r = (\Delta x_i^{\pm})_{\max} / \text{FS} \quad (\text{A.0.12—2})$$

$$\text{滞后误差} \quad \delta_s = |x_i^+ - x_i^-|_{\max} / \text{FS} \quad (\text{A.0.12—3})$$

$$\text{归零误差} \quad \delta_0 = |x_0| / \text{FS} \quad (\text{A.0.12—4})$$

式中  $x_i^{\pm}$ ——对应于第  $i$  级荷载  $P_i$  的重复加荷或卸荷时仪表的平均输出值;

$x_i$ ——最佳标定线上对应于  $P_i$  的仪表输出值;

$(\Delta x_i^{\pm})_{\max}$ ——重复加荷或卸荷至  $P_i$  时仪表输出值的极差;

$x_i^+$  ——重复加荷至  $P_i$  时  
 仪表的平均输出  
 值;  
 $x_i^-$  ——重复卸荷至  $P_i$  时  
 仪表的平均输出  
 值;  
 $x_0$  ——卸荷归零时仪表  
 的最大不归零读  
 数。

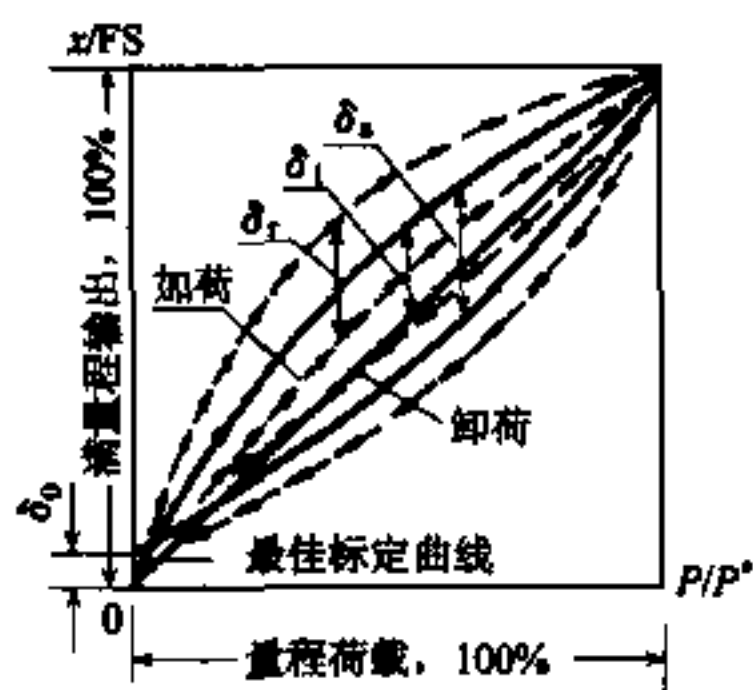


图 A.0.12 标定曲线及其误差  
 $\delta_1$ —非线性误差;  $\delta_r$ —重复性误差;  
 $\delta_s$ —滞后误差;  $\delta_0$ —归零误差  
 →加荷或卸荷平均线  
 ---各次加荷或卸荷线

图中的  $P^*$  为额定荷载即满  
 量程荷载, FS 为与  $P^*$  对应的仪  
 表满量程输出值。扭矩  $M = P \cdot L$

( $L$  为力臂)。上列各式亦适用于评定扭力传感器的检测误差。

**A.0.13** 力传感器起始感量  $Y_0$  可按式计算:

$$Y_0 = \xi \Delta x \quad (\text{A.0.13})$$

式中  $\Delta x$  为仪表的有效最小分度值。算出的  $Y_0$  值不符合表  
 A.0.14 的规定时, 应提高供桥电压或换用薄壁传感器, 重新标  
 定、计算。

**A.0.14** 力传感器的灵敏性可根据起始感量  $Y_0$  按表 A.0.14 分  
 级。

**表 A.0.14 传感器灵敏性按起始感量  $Y_0$  (kPa) 分级**

触探指标 (kPa)	灵 敏 性 分 级		
	I	II	III
$p_a; q_c$	$Y_0 < 30$	$30 \leq Y_0 < 75$	$75 \leq Y_0 < 190$
$f_a$	$Y_0 < 2$	$2 \leq Y_0 < 4$	$4 \leq Y_0 < 6$
$u_d; u_T$	$Y_0 < 2$	$2 \leq Y_0 < 4$	$4 \leq Y_0 < 8$

**A.0.15** 上列标定与计算结果, 应逐项填入记录表中, 存档备  
 查。记录表格式可参照本规程表 B.5.1 的格式制作。

## 附录 B 原位测试图表格式

### B.1 十字板试验图表

### 表 B.1.1 十字板试验记录表

表 B.1.1.1 十字板试验记录表

工程名称		仪器型号	原状土强度 $s_u$		(kPa)
试验地点		传感器(钢环)号	重塑土强度 $s_u'$		(kPa)
试验深度( $d$ )		率定系数 $\xi$	灵敏度 $s_t = s_u/s_u'$		
孔口高程		板头规格、类型	残余强度 $s_{pr}$		(kPa)
试验日期		地下水位	土名、状态		
原 状 土 剪 切					
序 数	转 角 修正量 $\Delta\theta$	修正后 转 角 $\theta$	仪表 读数 $\epsilon$	修正后 读 数 ( $\epsilon$ )	剪应力 $\tau$ (kPa)
$j$					
重 塑 土 剪 切					
序 数	转 角 修正量 $\Delta\theta$	修正后 转 角 $\theta$	角 转 修正量 $\Delta\theta$	修正后 转 角 $\theta$	仪 表 读数 $\epsilon'$
$j$					

仪表初读数		$\epsilon_0 =$		$\epsilon_0' =$		剪应力 $\tau_j = K\xi(\epsilon_j - \epsilon_0) =$	
读数计量单位						$\tau_j' = K\xi(\epsilon_j' - \epsilon_0') =$	
轴杆摩		$\epsilon_0 =$				强度 $s_u = (\tau_j)_{\max} =$	
擦读数						转 角 $\Delta\theta_j = \frac{7.2 \times 10^{-5} l (M_1) j}{\pi^2 (d_1^4 - d_2^4)}$	
原 状						修正后转 角 $\theta_j = j^\circ - \Delta\theta_j$	
重 型						修正后转 角 $\theta_j = j^\circ - \Delta\theta_j$	

试验	记录	计算	复核
----	----	----	----

编号	位置	孔口高程
----	----	------

制图	
审核	
日期	

表 B.1.2 十字板剪切试验成果围

[illegible]

## B.2 旁压试验记录表表头格式

表 B.2.1 弹性膜约束力标定试验记录表

工程名称				标定编号	
旁压器型号		静水压力 $p_w$		标定日期	
压 力 $p$ (kPa)		测管水位下降值 $s_m$ (cm)或体积膨胀量 $V_m$ (cm <sup>3</sup> )			
压力表读数 $p_m$	总压力( $p_m + p_w$ )	15 s	30 s	60 s	180 s

试验:

记录:

复核:

表 B.2.2 仪器综合变形标定试验记录表

工程名称		旁压器型号		标定日期	
压力表读数	测管水位下降值 $s_m$ (cm) 或体积膨胀量 $V_m$ (cm <sup>3</sup> )				
$p_m$ (kPa)	15 s		30 s		60 s

试验:

记录:

复核:

表 B.2.3 低压型旁压仪试验记录表

工程名称		钻孔位置		试验编号					
孔口高程		试验深度(m)		地下水位(m)					
测管水位与孔口的高差(m)		旁压器测量腔静水压力 $p_w$ (kPa)		膜标定编号					
				成孔方法					
旁压器规格		$\eta =$	$A =$	$V_c =$					
地层描述									
压 力 (kPa)		测管水位下降值 $s_m$ (cm)			体积膨胀量 (cm <sup>3</sup> )				
压力表 读数 $p_m$	校正值 $p_i$	校正后 $p$	30 s	60 s	180 s	校正值 $\delta_s$	校正后 $s$	校正后 $V$	蠕变值 $\Delta V_{180-30}$
①	②	③ = ① - ② + $p_w$	④	⑤	⑥	⑦ = $\eta \cdot (① + p_w)$	⑧ = ⑥ - ⑦	⑨ = ⑧ · A	⑩ = (⑥ - ④) · A

试验:                      计算:                      复核:                      年 月 日

表 B.2.4 高压型旁压仪试验记录表

工程名称		钻孔位置		试验编号					
孔口高程		试验深度(m)		地下水位(m)					
测管水位与孔口的高差(m)		旁压器测量腔静水压力 $p_w$ (kPa)		膜标定编号					
				成孔方法					
旁压器规格		$\eta =$	$A =$	$V_c =$					
地层描述									
压 力 (kPa)		旁压器体积膨胀量 $V_m$ (cm <sup>3</sup> )							
压力表 读数 $p_m$	校正值 $p_i$	校正后 $p$	15 s	30 s	60 s	180 s	校正值 $\delta_v$	校正后 $V$	蠕变值 $\Delta V_{60-30}$ $\Delta V_{180-30}$
①	②	③ = ① - ② + $p_w$	④	⑤	⑥	⑦	⑧ = $\eta \cdot (① + p_w)$	⑨ = ⑥ - ⑧ 或 ⑦ - ⑧	$A \cdot (⑥ - ⑤)$ 或 $A \cdot (⑦ - ⑤)$

试验:                      计算:                      复核:                      年 月 日



### B.3 标准贯入试验记录格式

表 B.3.1 标准贯入试验记录表

\_\_\_\_\_线\_\_\_\_\_段\_\_\_\_\_测\_\_\_\_\_第 页 共 页

工程名称\_\_\_\_\_试验者\_\_\_\_\_

钻孔编号\_\_\_\_\_记录者\_\_\_\_\_

钻孔标高\_\_\_\_\_试验日期\_\_\_\_\_

地下水位\_\_\_\_\_修正者\_\_\_\_\_

序 号	试验 深度 (m)	贯入度 $\Delta$ (cm)			对应于 $\Delta_i$ 的击数 $N_i$			实测击数 $N$	修正击数 $N'$	探杆 长度 (m)	土层定名 及描述	备 注
		$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	(击/30 cm)				

复核\_\_\_\_\_复核日期\_\_\_\_\_

### B.4 动力触探记录表及贯入图格式

表 B.4.1 动力触探记录表

\_\_\_\_\_线\_\_\_\_\_段\_\_\_\_\_测\_\_\_\_\_第 页 共 页

工程名称\_\_\_\_\_类型\_\_\_\_\_

里程位置\_\_\_\_\_孔口标高\_\_\_\_\_

编 号\_\_\_\_\_试验日期\_\_\_\_\_

探杆 总长 (m)	试验深度 (m)	贯入度 (cm)	锤击数 (击)	$N_{63.5} =$ $n \times 10 / \Delta s$ (击/10cm)	校正后击数 $N'_{63.5} = \alpha \times N_{63.5}$ (击/10 cm)	备 注

记录\_\_\_\_\_复核\_\_\_\_\_

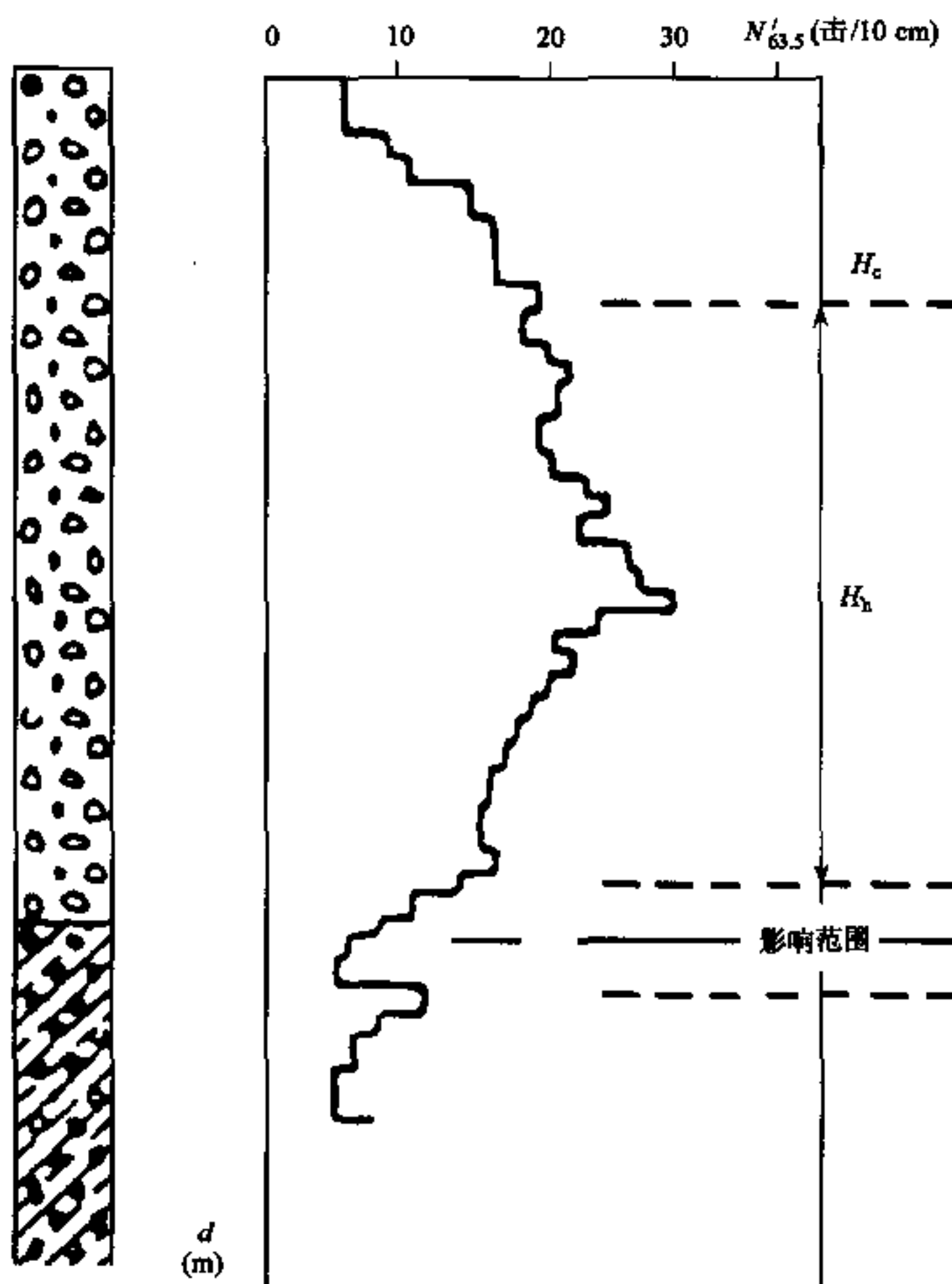


图 B.4.1 动力触探校正后击数与贯入深度关系曲线

# B.5 静力触探图表格式

## 表 B.5.1 探头标定记录表

探头号	标定内容	工作面积 $A(\text{cm}^2)$	电缆规格	电缆长(m)	应变计灵敏度数	仪器号	仪器型号	率定系数	桥压(V)	仪表示值	标定系数 $\xi$	质量评定			
<div> <div> <div>仪表示数 <math>x(\mu\text{e}; \text{mV})</math></div> <div> <div>加载 <math>x_i^+</math></div> <div>卸荷 <math>x_i^-</math></div> </div> </div> <div> <div>率定系数</div> <div> <div>加载 <math>x_i^+</math></div> <div>卸荷 <math>x_i^-</math></div> </div> </div> </div>												偏 差 值			
$P_i$												最佳值 $x_i$	重复性 $\Delta x_i^+$	非线性 $ x_i^+ - \bar{x}_i $	滞后 $ x_i^+ - x_i^- $
各级荷载															
0															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
$\xi = \frac{\sum(\bar{x}P_i)}{A \sum(\bar{x}_i)^2} =$												运 算	运 算	运 算	
$\delta_r = (\Delta x_i^+)_{\max} / FS = \%$												$(\bar{x}_i)^2$	$\bar{x}_i P_i$		
$\delta_1 =  x_i^+ - x_i^- _{\max} / FS = \%$															
$\delta_s =  x_i^+ - x_i^- _{\max} / FS = \%$															
$\delta_0 =  x_0  / FS = \%$															
$\xi = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{i\max}^+ - \bar{x}_i)^2}$												$\Sigma$			
起始感量: $Y_0 = \xi \Delta x$												评定意见: 其他说明:			

率定:                      计算:                      复核者:                      率定日期:

表 B.5.2 静力触探记录表

工 程 名 称				探孔位置草图					
勘探点编号									
里 程									
孔口标高									
仪器类型及编号									
探头类型及编号									
率定系数									
日 期									
深度 (m)	读 数	校正后 读 数	阻 力 (kPa)	初读数及 备 注	深度 (m)	读 数	校正后 读 数	阻 力 (kPa)	初读数及 备 注

操作:

记录:

表 B.5.3 孔隙水压消散记录表

工程名称				记录比例				
勘探点编号				记录类型				
里 程				气 温				
孔口高程				记 录				
地下水位				复 核				
探头编号				日 期				
深度 (m)	时 间	读 数	深度 (m)	时 间	读 数	深度 (m)	时 间	读 数

表 B.5.4 单桥静力触探成果图

编号	
位置	
高程	

编制	
复核	
日期	

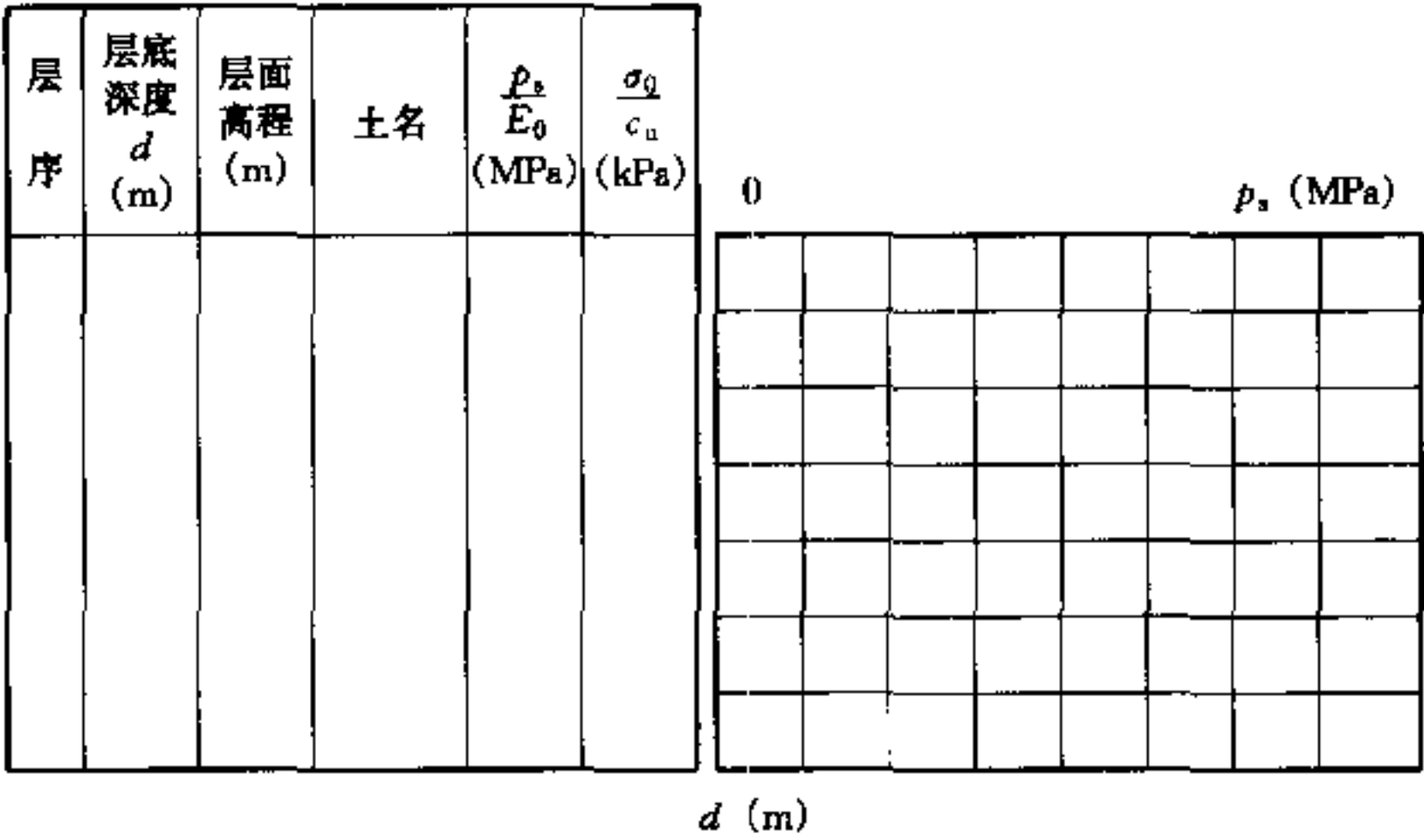




表 B.5.6 孔隙水压消散试验成果图

日期:

工程名称: \_\_\_\_\_  
 孔号: \_\_\_\_\_  
 试验深度: \_\_\_\_\_ (m)  
 工程地点: \_\_\_\_\_  
 地下水位: \_\_\_\_\_ 埋深 (m)

$u_t$  (kPa)

$\bar{V}$

1      10       $10^2$        $10^3$        $10^4$   
 $t$  (s)

## 附录 C 探头规格及更新标准

C.0.1 单桥探头的规格及更新标准应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 单桥探头规格

探 头 断面积 $A$ ( $\text{cm}^2$ )	锥角 $\theta$ ( $^\circ$ )	探头直径		有效侧壁长		探头管 直 径 $d$ (mm)	更 新 标 准		
		公称 直径 $D$ (mm)	公差 (mm)	公称 长度 $L$ (mm)	公差 (mm)		锥头直径 $D$ (mm)	锥高 $H$ (mm)	外 形
10	$60 \pm 1$	35.7	$+0.18_0$	57	$\pm 0.28$	$D > d$ $\geq 30$	$< 34.8$	$< 25$	(1)锥面及套 筒变形明 显,出现 刻痕 (2)锥尖压损 (3)套筒活动 不便
15		43.7	$+0.22_0$	70	$\pm 0.35$	$D > d$ $\geq 36$	$< 42.6$	$< 31$	
20		50.4	$+0.25_0$	81	$\pm 0.40$	$D > d$ $\geq 42$	$< 49.2$	$< 37$	

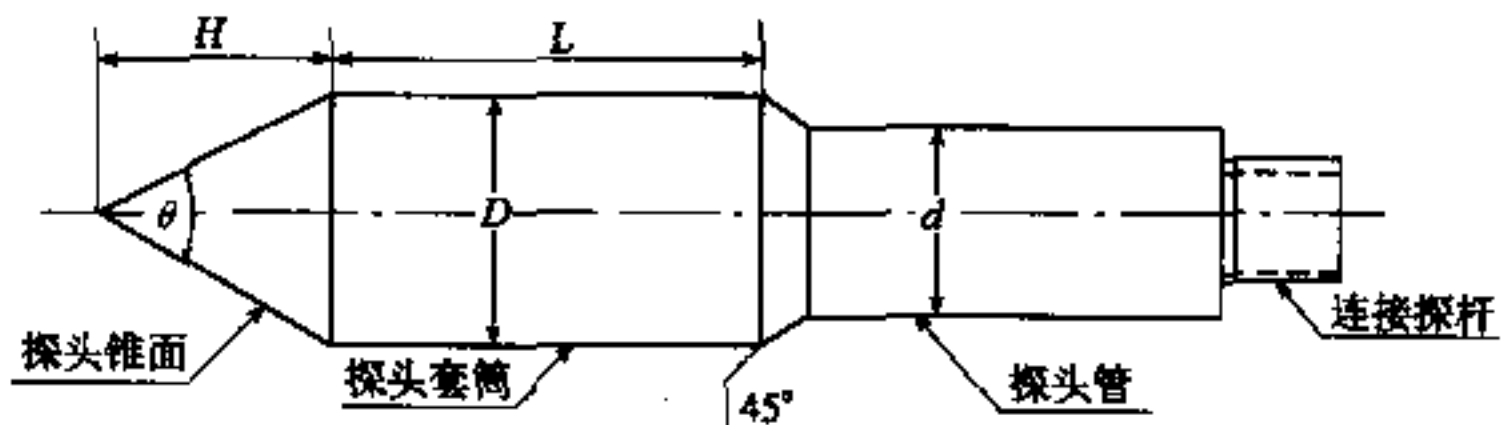


图 C.0.1 单桥探头外形

C.0.2 双桥探头及孔压探头的规格及更新标准应符合表 C.0.2 的规定。



表 C.0.2 双桥探头及孔压探头规格

锥底面积		( $\text{cm}^2$ )	10	15	20
锥 头	锥角	$\theta$ ( $^\circ$ )	$60 \pm 1$		
	公称直径	$D_1$ (mm)	35.7	43.7	50.4
	直径公差	(mm)	$+0.18$ 0	$+0.22$ 0	$+0.25$ 0
	圆柱高度	$h$ (mm)	$\leq 10$		
	有效面积比 <sup>①</sup>	$a$	$0.4 \pm 0.05$		
	过滤片与土接触面积	$s_1$ ( $\text{cm}^2$ )	$\geq 1.7$		
摩 擦 筒	公称直径	$D_2$ (mm)	35.7	43.7	50.4
	直径公差	(mm)	$+0.35$ $+0.20$	$+0.43$ $+0.24$	$+0.50$ $+0.27$
	公称长度	$L$ (mm)	133.7	218.5	189.5
	长度公差	(mm)	$+0.60$ $-0.90$	$+0.90$ $-1.10$	$+0.80$ $-0.95$
	有效表面积	$s$ ( $\text{cm}^2$ )	150	300	300
锥头与摩擦筒间距 <sup>②</sup>		$e_1$ (mm)	$\leq 5$		
摩擦筒与探头管间距		$e_2$ (mm)	$\leq 3$		
孔压探头全长		(mm)	$h + e_1 + L + e_2 + l \geq 1000$		
探头管直径		$D_3$ (mm)	$(D_1 - 1.1) \leq D_3 \leq (D_1 - 0.3)$		
更 新	$D_1$	(mm)	$< 34.8$	$< 42.6$	$< 49.2$
	$D_2$ <sup>③</sup>	(mm)	$\leq 34.8$	$\leq 42.6$	$\leq 49.2$
	锥高	$H$ (mm)	$< 25$	$< 31$	$< 37$
标 准	外形	(1) 锥面、套筒出现明显变形或多处刻痕 (2) 摩擦筒活动不便 (3) $D_2 < D_1$ 时 (4) 锥尖压损 (5) 过滤片与土接触面凹于锥头表面或透水失效			

注：1  $a = F_A/A$ ,  $F_A = 1/4\pi d^2$ , 对孔压探头  $a$  值不受限制；

2  $e_1$ 、 $e_2$  为工作状态下的间距；

3 对同一枚探头， $D_2$  必须大于  $D_1$ 。

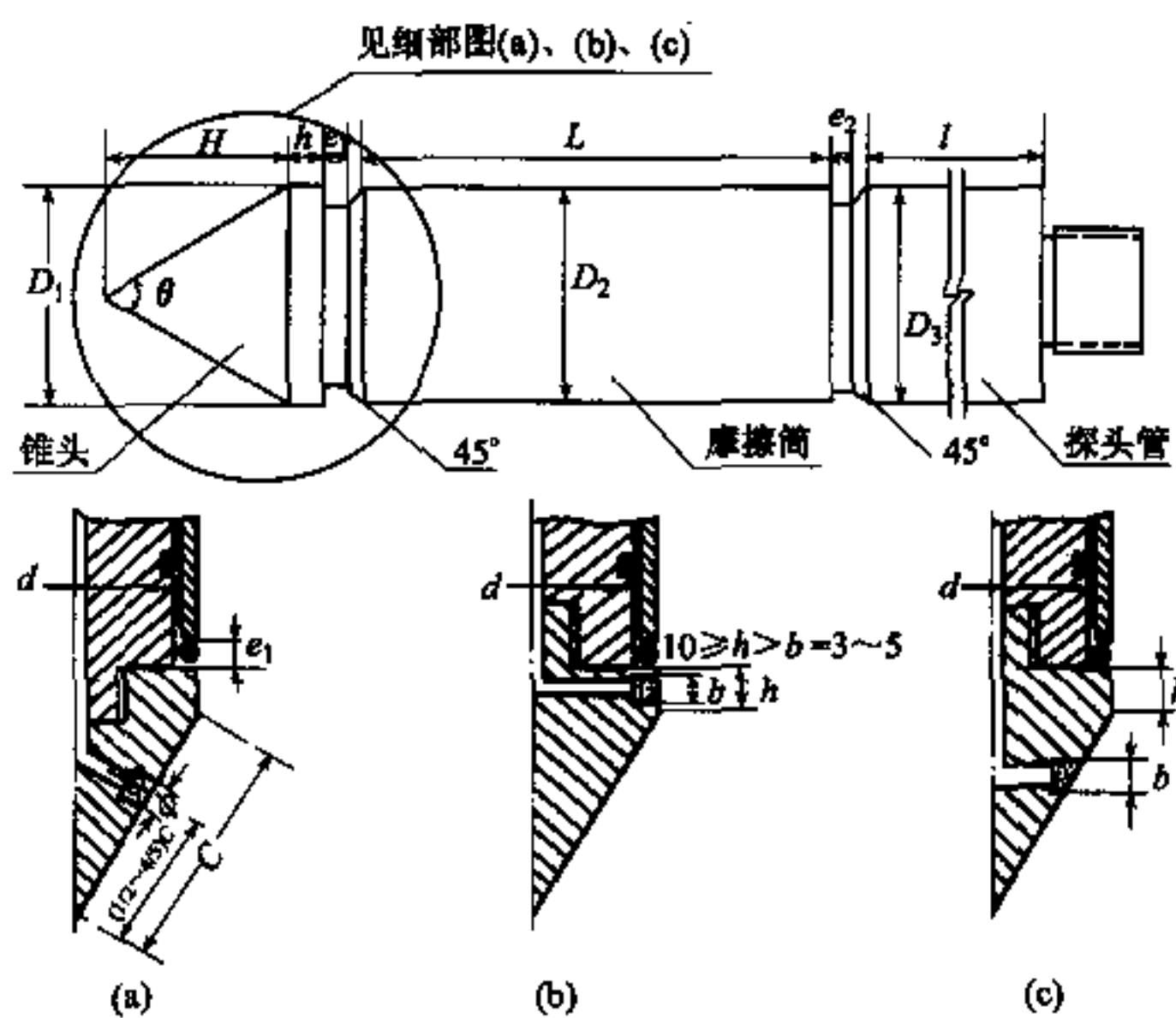


图 C.0.2 双桥探头及孔压探头形状

## 本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。