

中华人民共和国行业标准

# 铁路工程地基土旁压试验规程

**Code for pressuremeter test  
of railway engineering foundation soil**

**TB 10046—96**

主编单位：铁道部科学研究院西北分院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：1996年8月1日

**1996 北 京**

# 关于发布《铁路工程地质盐渍土勘测规则》 等四个铁路工程建设标准的通知

铁建函[1996]221 号

《铁路工程地质盐渍土勘测规则》(TB10045—96)、《铁路工程地基土旁压试验规程》(TB10046—96)、《铁路工程水文地质勘测规范》(TB10049—96)、《铁路轨道施工及验收规范》(TB10302—96)经审查批准,现予发布,自 1996 年 8 月 1 日起施行。

本规范由部建设司负责解释。由建设司标准科情所负责组织出版发行。

铁 道 部

一九九六年五月二十五日

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语、符号 .....	2
2.1	术语 .....	2
2.2	符号 .....	2
3	设备 .....	4
4	现场操作 .....	6
4.1	准备工作 .....	6
4.2	试验要求 .....	9
4.3	试验步骤 .....	10
5	资料整理及应用 .....	12
5.1	资料整理 .....	12
5.2	地基基本承载力的确定 .....	14
5.3	土体变形参数的确定 .....	15
附录 A	常用旁压器的技术规格 .....	17
附录 B	环刀成孔法 .....	18
附录 C	记录表 .....	19
附录 D	梅纳型旁压仪仪表压力差数值 .....	22
附录 E	本规程用词说明 .....	23
附加说明	.....	24
《铁路工程地基土旁压试验规程》条文说明	.....	25

# 1 总 则

**1.0.1** 为了统一铁路工程地基土旁压试验的技术要求,提高旁压试验质量,满足铁路工程建设的需要,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于采用预钻式三腔旁压仪对粘性土、砂类土、软质岩石及风化岩石等地基进行旁压试验。

**1.0.3** 在重要工程场地或缺乏旁压试验技术使用经验的地区,旁压试验必须与钻探采样试验或其他测试手段配合使用;在地质情况清楚或有使用旁压试验技术经验的地区,旁压试验可单独使用。

**1.0.4** 旁压试验工作除应符合本规程外,尚应符合国家和铁道部现行有关标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 预钻式旁压试验

地基勘察的一种原位测试技术。在预先钻成的孔中放置旁压器,对孔周土体快速、逐级加压,并量测孔穴体积的相应变化,据此压力与土体变形的关系探查地基土的工程性质。

#### 2.1.2 旁压器

试验的测试探头,是旁压仪的组成部分,通过它量测土体孔穴体积的变化。

#### 2.1.3 测量腔

旁压器的中腔,为旁压的有效试验段。

### 2.2 符 号

编号	符号	含 义	单位
2.2.1	$P$	校正后的读数	kPa
2.2.2	$P_0$	$P-V$ 曲线上直线段起点对应的压力	kPa
2.2.3	$P_f$	临塑压力	kPa
2.2.4	$P_l$	弹性膜约束力校正值	kPa
2.2.5	$P_t$	极限压力	kPa
2.2.6	$P_m$	压力表读数	kPa
2.2.7	$P_w$	旁压器测量腔的静水压力	kPa
2.2.8	$\Delta P$	$P-V$ 曲线上直线段的压力增量	kPa
2.2.9	$\sigma_0$	地层土的静止水平总压力	kPa
2.2.10	$S$	校正后的测管水位下降值	cm
2.2.11	$S_m$	测管水位下降值	cm
2.2.12	$\Delta S$	测管水位下降值增量	cm

续表

编号	符号	含 义	单位
2.2.13	$V$	校正后的体积膨胀量	$\text{cm}^3$
2.2.14	$V_0$	与 $P-V$ 曲线上 $P_0$ 对应的体积膨胀量	$\text{cm}^3$
2.2.15	$V_0$	旁压器测量腔固有体积	$\text{cm}^3$
2.2.16	$V_f$	在 $P-V$ 曲线上与 $P_f$ 对应的体积膨胀量	$\text{cm}^3$
2.2.17	$V_m$	旁压器测量腔体积膨胀量	$\text{cm}^3$
2.2.18	$\Delta V$	在 $P-V$ 曲线上与 $\Delta P$ 对应的体积增量	$\text{cm}^3$
2.2.19	$\Delta V_{60-30}$	30s 和 60s 读数之间的体积膨胀的变化量,即蠕变值	$\text{cm}^3$
2.2.20	$\Delta V_{180-30}$	30s 和 180s 读数之间旁压器体积膨胀的变化量,即蠕变值	$\text{cm}^3$
2.2.21	$E_0$	变形模量	MPa
2.2.22	$E_m$	旁压模量	MPa
2.2.23	$E_p$	100~200kPa 压力下土的压缩模量	MPa
2.2.24	$G_m$	旁压剪切模量	MPa 或 kPa
2.2.25	$A$	测管内截面积	$\text{cm}^2$
2.2.26	$d$	旁压试验深度	m
2.2.27	$F$	承载力安全系数	
2.2.28	$K$	变形模量转换系数	
2.2.29	$K'$	压缩模量转换系数	
2.2.30	$K_0$	静止土压力系数	
2.2.31	$\gamma$	土的重力密度(简称重度)	$\text{kN/m}^3$
2.2.32	$\nu$	土的泊松比	
2.2.33	$\alpha_0$	地基基本承载力	kPa

## 3 设 备

**3.0.1** 预钻式三腔旁压仪设备应由旁压器、加压稳定装置、变形量测系统、导管和水箱组成(图 3.0.1)。

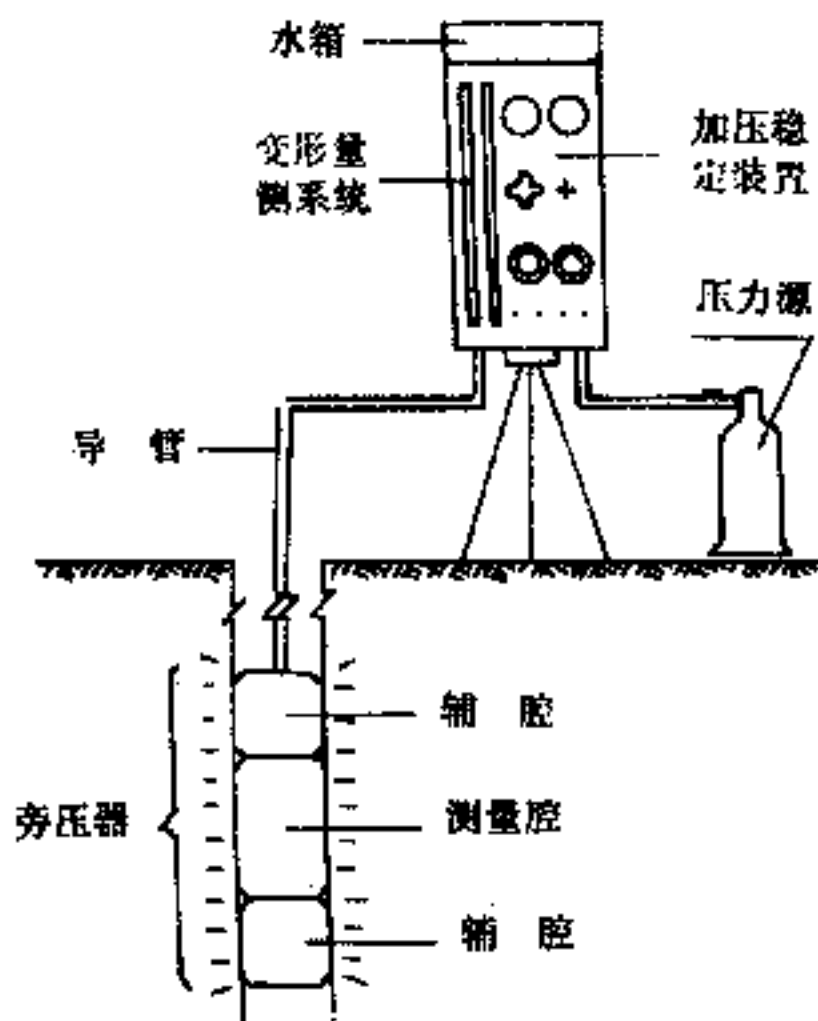


图 3.0.1 旁压仪

**3.0.2** 旁压器结构应为三腔式圆柱型,内有金属骨架,外为弹性膜;上、下腔为连通的辅腔,与测量腔隔离;旁压器中央有上下贯通的导水管;弹性膜外还应容许加一层可扩张的金属保护套。旁压器的技术规格列于附录 A 的表 A。

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

**3.0.4** 变形量测系统应包括测管和辅管,量测管水位下降的刻度最小分度值应不大于 **1mm**;量测体积变化刻度的最小分度值应不大于 **5cm<sup>3</sup>**。

**3.0.5** 导管分多根单管和同轴导管两种,导管两端接头应密封并装卸方便。

**3.0.6** 成孔工具可用勺钻、环刀成孔器(规格列于附录 B),取样器、回转钻机及泥浆泵等。



## 4 现场操作

### 4.1 准备工作

**4.1.1** 仪器标定应符合下列要求：

**4.1.1.1** 旁压仪使用的压力表应一年标定一次。

**4.1.1.2** 遇下列情况弹性膜应更换：

- (1) 进行弹性膜约束力标定时出现不均匀膨胀；
- (2) 弹性膜出现砂眼。

**4.1.1.3** 遇下列情况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 48h；
- (4) 旁压器从孔中取出时，测量腔弹性膜被拉翻。

**4.1.1.4** 遇下列情况应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) 导管长度发生变化时；
- (3) 更换测管时。

**4.1.2** 旁压器弹性膜约束力应按下列步骤标定：

(1) 将旁压器竖立于地面，让弹性膜加压退压使其胀缩 3~4 次；

(2) 对低压型旁压仪应按 10kPa 为一级，对高压型旁压仪应按 25kPa 为一级，逐次加压，低压型于 30s、60s、180s，高压型于 15s、30s、60s 时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  $V_m$ ，填入附录 C 的表 C.0.1；

(3) 应根据压力表读数  $P_m$ 、旁压器测量腔的静水压力  $P_w$  之和即总压力与测管水位下降值  $S_m$  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  $P-S$ (图 4.1.2—1)或  $P-V$ 。

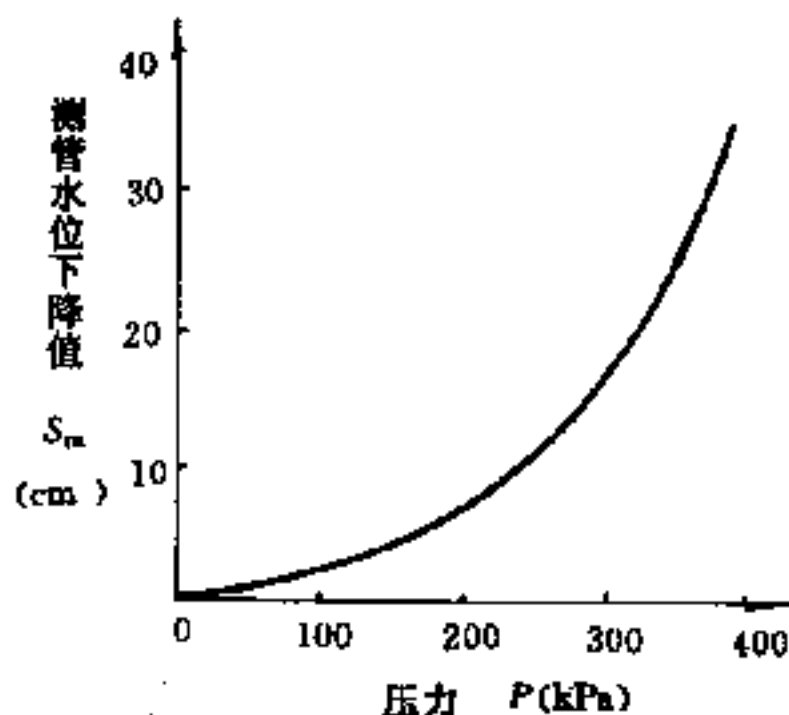


图 4.1.2—1 弹性膜约束力标定曲线示意

#### 4.1.3 仪器综合变形应按下列步骤标定：

(1)将旁压器置于无缝钢管或有机玻璃管内(管的内径比旁压器外径要大 2~10mm)，并竖立于地面；

(2)低压型旁压仪可按 100kPa、高压型旁压仪可按 500kPa 为一级压力，逐级加压；

(3)每级压力观测时间 1min，记录填入附录 C 的表 C.0.2；

(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  $P-S$ (图 4.1.2—2)或  $P-V$ ；

(6)仪器综合变形标定曲线的斜率  $\eta$  为仪器综合变形系数(单位为 cm/kPa 或 cm<sup>3</sup>/kPa)，可由下列公式确定：

$$\eta = \Delta S / \Delta P$$

或

$$\eta = \Delta V / \Delta P$$

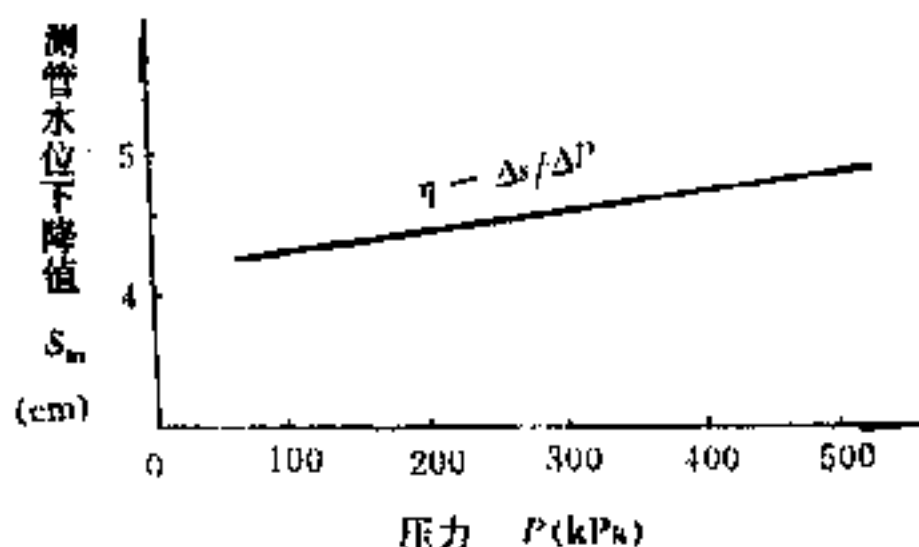


图 4.1.2—2 仪器综合变形标定曲线示意

**4.1.4** 旁压试验布孔及试验层位的确定应符合下列要求：

**4.1.4.1** 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，对同类土层不得少于 3 个旁压试验孔。

**4.1.4.2** 旁压试验孔离其他钻孔的水平距离不得小于 1m。

**4.1.4.3** 旁压试验的最小深度不得小于 1m。

**4.1.4.4** 试验段应位于同一土层中，土层关系不明时可每 1m 做一个旁压试验。

**4.1.5** 预钻成孔应符合下列要求：

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

**4.1.5.2** 成孔深度应比试验深度深 0.5m 左右，当采用钻机钻孔时，应在试验段以上不小于 1m 处开始按旁压试验要求成孔。

**4.1.5.3** 对粘性土、砂类土宜采用人工成孔，可塑至坚硬状态的土层，可采用勺钻和环刀成孔器（环刀成孔法按附录 B），软塑至流塑状态的土层可采用提土器，孔壁稳定性差的或有缩孔可能的土层宜采用泥浆护壁成孔。

**4.1.5.4** 软质岩石和风化岩石可采用回转钻机成孔。

**4.1.5.5** 对于同一个孔,应由上向下逐次进行试验,且每个试验段成孔后应立即进行试验,时间间隔不宜大于 15min。

**4.1.6** 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,填写试验记录表(附录 C 的表 C.0.3);必要时,可扰动土样进行土质分析。

**4.1.7** 贮气筒内压力应稍高于试验预估压力。

## 4.2 试验要求

**4.2.1** 当压力源采用高压氮气瓶,且预计试验最高压力小于 2.5MPa 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 2.5MPa 时,高压氮气瓶减压阀的压力应比该压力大 0.5~1.0MPa。

**4.2.2** 采用高压型旁压仪进行试验时,应根据试验深度和预计试验最高压力,按附录 D 的表 D 确定并调好旁压器测量腔与辅腔的仪表压力差。

**4.2.3** 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;考虑确定  $P-V$  曲线上直线段起点对应的压力  $P_0$  的需要,开始的 1~2 级压力增量宜再减小一半。

**4.2.4** 每级压力应保持到要求的稳定时间,对粘性土、砂类土稳定时间为 3min,测记测管水位下降值  $S_m$  或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$  的时间顺序为 30s、60s、180s;对软质岩石和风化岩石稳定时间为 1min,测记  $S_m$  或  $V_m$  的时间顺序为 15s、30s、60s。

**4.2.5** 旁压器测量腔中点的静水压力  $P_w$  应按下式确定

$$P_w = (h + d) \gamma_w \quad (4.2.5)$$

式中  $P_w$ ——静水压力(kPa);

$\gamma_w$ ——水的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$h$ ——测管零刻度至孔口的高度(m);

$d$ ——试验深度(m)。

#### **4.2.6 加压应符合下列要求：**

**4.2.6.1** 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。

**4.2.6.2** 高压试验( $2.5\sim10.0\text{MPa}$ )，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  $0\sim10.0\text{MPa}$  的辅助压力表。

### **4.3 试验步骤**

#### **4.3.1 旁压仪安装和注水应符合下列要求：**

**4.3.1.1** 将旁压器的注水管和导管的接头对号接通。

**4.3.1.2** 向水箱注入蒸馏水或干净的冷开水，旋紧安全盖。

**4.3.1.3** 打开水箱至测管、辅管管路上的所有阀门，并拧松调压阀。

**4.3.1.4** 向水箱稍加压力，并摇晃导管和旁压器，以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。

**4.3.2** 应将旁压器测量腔中点与测管零刻度对齐，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。

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

**4.3.4** 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  $15\text{s}$  内，调至所需压力。

**4.3.5** 对低压型旁压仪，试验结果应按附录 C 的表 C.0.3 记录，

对高压型旁压仪应按附录 C 的表 C. 0. 4 记录。

**4. 3. 6** 符合下列条件之一时应终止试验：

**4. 3. 6. 1** 压力加至仪器的容许最大压力；

**4. 3. 6. 2** 测管水位下降值  $S_m$  达 40cm 或旁压器测量腔体积膨胀量  $V_m$  达 600cm<sup>3</sup>。

**4. 3. 7** 试验结束后，应按下列要求对旁压器进行消压、回水：

**4. 3. 7. 1** 对低压型旁压仪：

(1) 当试验深度小于 2m，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 2m 时，可利用管路内的压力，使旁压器内的水回流到水箱。

**4. 3. 7. 2** 对高压型旁压仪：

(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. 2MPa 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。

**4. 3. 8** 管路消压后，必须等 3min 以上的时间方可从试验孔中取出旁压器。

## 5 资料整理及应用

### 5.1 资料整理

**5.1.1** 试验压力和体积膨胀量的原始数据应按下列要求修正:

**5.1.1.1** 对低压型旁压仪,按附录 C 的表 C.0.3 方法计算  $P$ 、 $S$ 、 $V$ 、 $\Delta V_{180-30}$ ,其中  $P_1$  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。

**5.1.1.2** 对高压型旁压仪,按附录 C 的表 C.0.4 的方法计算  $P$ 、 $V$ 、 $\Delta V_{60-30}$  或  $\Delta V_{180-30}$ ,其中  $P_1$  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;对于综合变形校正,只在试

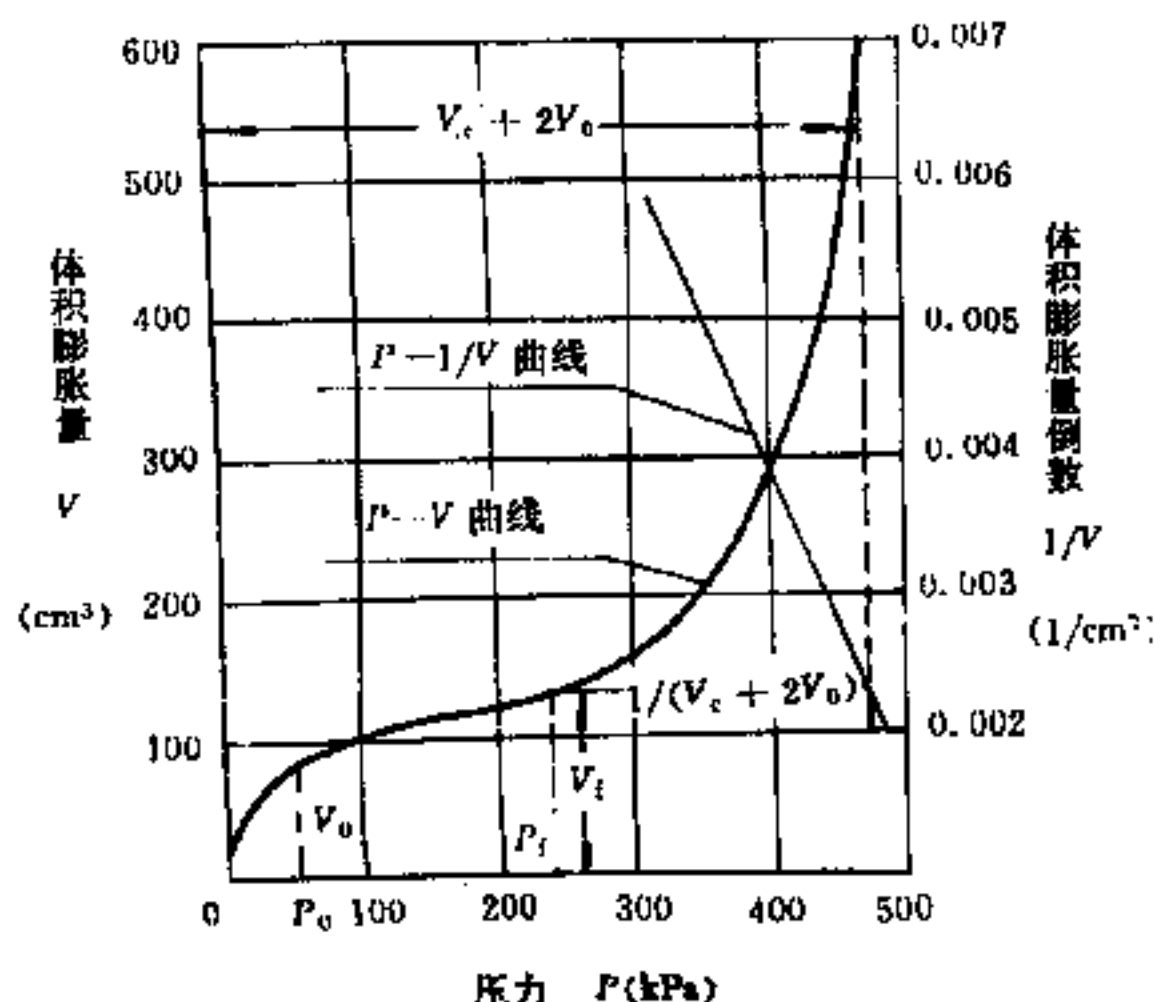


图 5.1.2-1  $P-V$  曲线示意

验压力大于 2.5MPa 时进行。

**5.1.2** 绘制旁压曲线应符合下列要求：

**5.1.2.1** 绘制  $P-V$  曲线, 曲线的  $P$  轴比例取 1cm 代表 50、100 或 200kPa;  $V$  轴比例取 1cm 代表  $100\text{cm}^3$  (图 5.1.2-1)。

**5.1.2.2** 绘制蠕变曲线  $P-\Delta V_{180-30}$ ,  $P$  轴比例同  $P-V$  曲线,  $\Delta V_{180-30}$  轴比例取 1cm 代表  $20\text{cm}^3$  (图 5.1.2-2)。

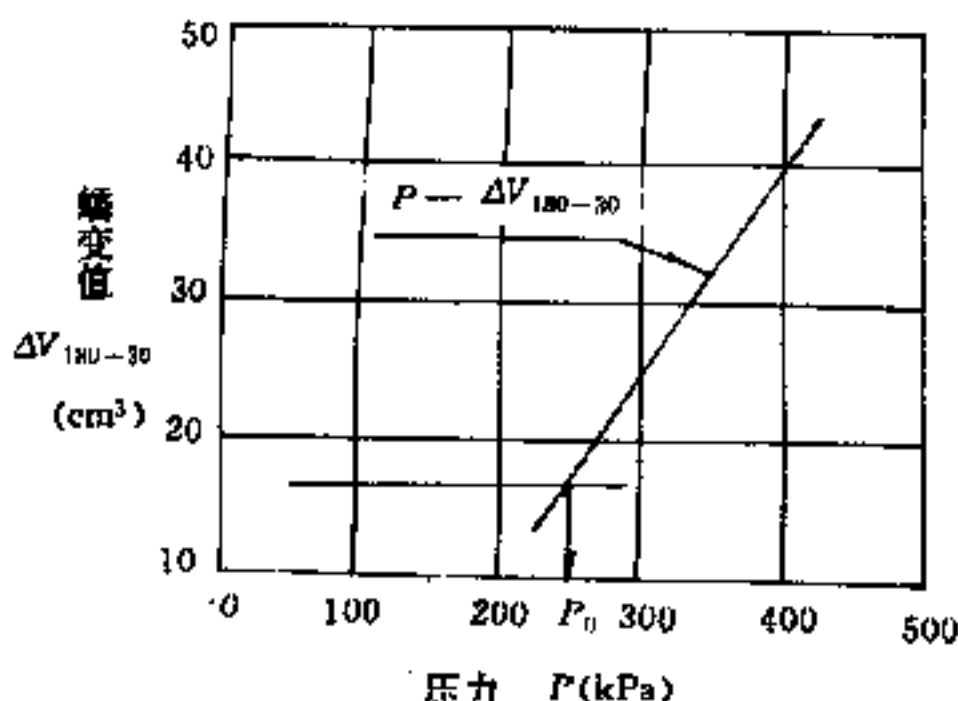


图 5.1.2-2  $P-\Delta V_{180-30}$  曲线示意图

**5.1.2.3** 根据 5.1.3.3 的需要可绘制  $P-1/V$  曲线, 曲线的  $P$  轴比例同  $P-V$  曲线,  $1/V$  轴比例取 1cm 代表  $0.002(1/\text{cm}^3)$  (图 5.1.2-1)。

**5.1.3** 旁压参数应按下列方法确定：

**5.1.3.1**  $P_0$  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  $V_0$ 。

**5.1.3.2**  $P_t$  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,  $P_t$  对应的体积膨胀量为  $V_t$ 。



**5.1.3.3**  $P_1$  为  $P-V$  曲线上  $V=V_c+2V_0$  对应的压力,当需外延  $P-V$  曲线确定  $P_1$  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 5.1.2.-1),以  $1/(V_c+2V_0)$  对应的压力为  $P_1$ 。

**5.1.3.4** 旁压剪切模量  $G_m$  按下式计算;

$$G_m = (V_c + V_0 + \Delta V / 2) \cdot \Delta P / \Delta V \quad (5.1.3-1)$$

式中  $\Delta P = P_f - P_0$ ;

$\Delta V = V_f - V_0$ ;

$V_c$ ——旁压器测量腔固有体积( $\text{cm}^3$ );

$V_0$ —— $P-V$  曲线上  $P_0$  对应的体积( $\text{cm}^3$ )。

**5.1.3.5** 旁压模量  $E_m$  按下式计算:

$$E_m = 2(1 + \nu) \cdot V_m \cdot \Delta P / \Delta V \quad (5.1.3-2)$$

式中  $\nu$ ——土的泊松比,可根据经验确定。对正常固结土类:砂类土和黄土可取 0.30,可塑到坚硬状粘性土可取 0.33,软塑状粘性土可取 0.38,流塑状粘性土可取 0.41。

**5.1.4** 根据需要可绘制旁压参数  $P_f$ 、 $P_1$ 、 $G_m$  沿深度的分布图,(说明图 5.1.4)。

## 5.2 地基基本承载力的确定

**5.2.1** 由旁压试验结果确定地基基本承载力  $\sigma_0$  时,应采用临塑压力法和极限压力法,取二者中的小值为  $\sigma_0$ ;当受仪器能力限制时,可单独采用临塑压力法确定  $\sigma_0$ 。

**5.2.2** 地层土的静止水平总压力  $\sigma_{ho}$  应根据地层情况采用下列公式计算:

**5.2.2.1** 对粘性土、砂类土

$$\sigma_{ho} = K_0 \cdot \gamma \cdot d \quad (5.2.2)$$

式中  $K_0$ ——静止土压力系数,可根据经验确定,对正常固结土

类:砂类土和黄土可取 0.40,可塑至坚硬状粘性土可取 0.50,软塑状粘性土可取 0.60,流塑状粘性土可取 0.70;

$\gamma$ ——土的重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$d$ ——旁压试验深度( $\text{m}$ )。

**5.2.2.2** 对软质岩石及风化岩石, $\sigma_{\text{ho}}$ 可取  $P-V$  曲线上的  $P_0$ 。

**5.2.3** 使用临塑压力法应按下列公式确定  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 = P_f - \sigma_{\text{ho}}$$

式中  $\sigma_0$ ——地基基本承载力( $\text{kPa}$ );

$P_f$ ——临塑压力( $\text{kPa}$ );

$\sigma_{\text{ho}}$ ——地层的静止水平总压力( $\text{kPa}$ )。

**5.2.4** 使用极限压力法应按下列公式确定  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 = \frac{P_l - \sigma_{\text{ho}}}{F} \quad (5.2.4)$$

式中  $P_l$ ——极限压力( $\text{kPa}$ );

$F$ ——承载力安全系数,应综合考虑工程地质条件和建筑物特点,一般情况下可取 2.0。

### 5.3 土体变形参数的确定

**5.3.1** 粘性土变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_c$  可根据旁压剪切模量  $G_m$  估算,它们的对应关系列于表 5.3.1。

粘性土的变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_c$  表 5.3.1

$G_m$ (MPa)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$E_0$ (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
$E_c$ (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

续表

$G_m$ (MPa)	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
$E_o$ 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
$E_s$ (MPa)	8.8~12.2	10.0~14.0	12.5~17.5	15.0~21.0	17.5~24.5	—

注：当  $G_m/P_1$  值（粘性土  $G_m/P_1$  的均值约为 4.0）由大到小，塑性状态由流塑至硬塑， $E_o$ 、 $E_s$  由小到大取值。

**5.3.2** 黄土类土变形模量  $E_o$  和压缩模量  $E_s$  可根据旁压剪切模量  $G_m$  估算，它们的对应关系列于表 5.3.2。

黄土类土的变形模量  $E_o$  及压缩模量  $E_s$  表 5.3.2

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

注： $h$  为测试深度。

**5.3.3** 砂性土变形模量  $E_o$  可按下式估算：

$$E_o = K \cdot G_m \quad (5.3.3)$$

式中  $K$ ——变形模量转换系数，可按表 5.3.3 取值。

变形模量转换系数 表 5.3.3

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

附录 A 常用旁压器的技术规格

常用旁压器的技术规格 表 A

项 目 旁压仪型号			总长度 (mm)	测量腔 长度 (mm)	外 径 (mm)	测量腔 固有体 积(cm <sup>3</sup> )	测管内 截面积 (cm <sup>2</sup> )	容许最 大压力 (MPa)
梅 纳 型	G-Am	AX	800	350	44	535	15.50	8.0
		BX	650	200	58	535	15.30	8.0
		NX	650	200	70	790	15.30	8.0
PY 型	PY <sub>2</sub> -A	AP	450	250	50	491	15.28	1.4~1.6
		带金属保护套	450	250	55	594	15.28	1.4~1.6
	PY-3	AP-1	500	250	50	657	15.28	2.0



## 附录 C 记录表

弹性模约束力标定试验记录表

表 C.0.1

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 ( $P_m + P_w$ )	15s	30s	60s	180s

试验：

记录：

复核：

仪器综合变形标定试验记录表

表 C.0.2

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

试验：

记录：

复核：

### PY 型旁压仪试验记录表

表 C.0.3

[illegible]

试验: 计算: 复核: 年 月 日

梅纳型旁压仪试验记录表 表 C.0.4

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 $V_m(\text{cm}^3)$						
压力 表读 数 $P_m$	校正 值 $P_l$	校正后 $P$	15s	30s	60s	180s	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= $\eta$ + (①+ $P_w$ )	⑥—⑧ 或 ⑦—⑧	$A \cdot (⑥-⑤)$ 或 $A \cdot (⑦-⑤)$

试验：                  计算：                  复核：                  年    月    日



# 附录 D 梅纳型旁压仪仪表压力差数值

梅纳型旁压仪仪表压力差数值

表 D

试验压力 $<2.5\text{MPa}$			试验压力 $2.5\sim10.0\text{MPa}$		
试验深度 (m)	仪表压差 (kPa)	备 注	试验深度 (m)	仪表压差 (kPa)	备 注
1	100	1. 测试深度选择阀置于刻有“0~11m”位,测量腔表压大于辅腔表压	1	400	1. 测试深度选择阀置于刻有“0~11m”位,测量腔表压大于辅腔表压
2	90		2	390	
3	80		3	380	
4	70		4	370	
5	60		5	360	
6	50		6	350	
7	40		7	340	
8	30		8	330	
9	20		9	320	
10	10		10	310	
11	0		11	300	
12	10	2. 测试深度选择阀置于刻有“ $>11\text{m}$ ”位,辅腔表压大于测量腔表压	21	200	
15	40		31	100	
20	90		41	0	
25	140		51	100	2. 测试深度选择阀置于刻有“ $>11\text{m}$ ”位,辅腔表压大于测量腔表压
30	190		61	200	
40	290				
50	390				

## 附录 E 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:

**E. 0. 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”。

**E. 0. 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”。

**E. 0. 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”或“可”;

反面词采用“不宜”。

## 附加说明

### 本规程主编单位、参加单位与主要起草人名单

主编单位：铁道部科学研究院西北分院

参加单位：西南交通大学

铁道部第四勘测设计院

长沙铁道学院

主要起草人：楚华栋 赵善锐 姜 前

熊大生

---

在执行本规程过程中,如发现需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄交铁道部科学研究院西北分院(兰州市民主东路 219 号,邮政编码 730000),并抄送铁道部建设司标准科情所(北京市朝阳区门外大街 227 号,邮政编码 100020),供今后修订时参考。

# 《铁路工程地基土旁压试验规程》条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

**1.0.1** 原位测试技术在工程地基土勘察中的应用正越来越显示出其重要性,作为原位测试手段之一的旁压试验在国内已有长足的发展。但目前的试验要求、方法及资料整理等有不少差异之处,造成资料的可比性差,同时工程应用中也产生一定困难,反过来也影响了旁压试验技术的进一步发展和应用。基于以上原因,制定本规程,以统一铁路工程地基土旁压试验的技术要求。

**1.0.2** 旁压试验从成孔方法上分预钻式和自钻式。旁压器按结构分三腔式和单腔式。自钻式旁压试验目前尚处于发展阶段,国内工程上的应用较少,仪器本身也有待改进。而预钻式旁压仪已较完善,试验技术和工程应用国内已有较丰富的资料,故本规程是针对预钻式旁压试验制定的,适用的仪器是预钻式三腔旁压仪。

预钻式三腔旁压仪从试验压力讲有低压和高压之分。通常低压是指  $0\sim 2.5\text{MPa}$ ,高压可达  $8.0\text{MPa}$  或以上。高压预钻式三腔旁压仪虽然目前国内还没有产品,但工程勘察中的需要是很迫切的。对岩石风化带、软质岩石、硬质粘性土、老黄土(石质黄土),密实砂土等地层,使用其它原位测试技术均很难满足工程勘察的要求。对这些地层高压预钻式三腔旁压仪却可进行相应的试验并取得地基参数。正是考虑了这种勘察工作的需要和国内旁压试验技术发展的前景,本规程的内容包括了低压和高压的旁压试验方法。

预钻式旁压试验的前提条件是预先成孔,因此与其它原位测试手段一样,比较适用于某些土类,如坚硬、硬塑和可塑的粘性土,

中密、密实的砂类土,基本具备成孔条件,试验均可顺利进行;但松散砂土成孔困难,且孔周围土体往往扰动强烈,试验结果的离散性也大。软土层中成孔较困难,在泥浆护壁防止缩孔的情况下可进行试验。

软质岩石、风化岩石主要指页岩、弱胶结的沉积岩及风化带的岩体。对这些地层需用回转钻机成孔,采用高压旁压仪进行试验。

**1.0.4** 尚应符合国家和铁道部现行有关标准主要指:

《岩土工程勘察规范》(GB50021—94);

《建筑地基基础设计》(GBJ7—89);

《铁路工程地质技术规范》(TBJ12—85);

《铁路桥涵设计规范》(TBJ2—85);

《铁路路基设计规范》(TBJ1—85)。

**3.0.1** 预钻式旁压仪按试验压力分低压和高压两类。前者以 **PY** 型旁压仪为代表,后者以梅纳型为代表。**PY** 型和梅纳型旁压仪的试验原理和主要组成部分基本一样,都是由旁压器、加压稳定装置、变形量测系统、导管和水箱组成。旁压器均是三腔式。不同之处主要有:(1)**PY** 型的旁压器测量腔和辅助腔均是水压,梅纳型的旁压器测量腔为水压、辅助腔为气压。(2)**PY** 型旁压仪导管为四根尼龙管,梅纳型旁压仪的导管为同轴管。(3)**PY** 型旁压仪的旁压器体积的变化由测管水位下降值间接表示,梅纳型旁压器体积变化则由测管显示体积。

**3.0.2** 旁压器是旁压仪试验的探头。梅纳型旁压器是由一根空心金属圆柱筒作为骨架,外装橡皮内膜。内膜与柱筒外壁的间隙由同轴软管的内管向内充水,作为测量腔(中腔)。内膜外又装一层外膜,外膜外侧是为避免外膜被扎破的纵向钢片。外膜的内腔为辅腔,测量腔内膜鼓起与外膜紧贴时,使辅腔分成上、下腔。在圆柱筒内有小管使上、下腔连通而与中腔隔离。工作时中腔充水,上、下腔充气。

**PY** 型旁压仪的旁压器工作原理与梅纳型基本一样,分中腔和上、下腔。中腔为测量腔,上、下腔为辅腔,但仅有一层膜,在结构上使中腔与上、下腔完全分开,并且均是充水。

有些厂家生产的梅纳型旁压仪容许最大压力可达 **10.0MPa**,附录 A 未一一列出。

**3.0.3** 本规程适用的预钻式三腔旁压仪,其压力量测均是采用压力表,为了提高压力量测的精度,压力表应采用精度高的标准压力表。低压和高压旁压仪压力表量程分别有 **0~0.6MPa**,**0~1.6MPa**,**0~2.5MPa**,**0~8.0MPa** 等,试验时应根据压力的需要选用相应量程的压力表。每种压力表的最小分度值应不大于相应满量程值的 **1%**。如 **0~0.6MPa** 的压力表最小分度值应不大于 **6kPa**,**0~1.6MPa** 的应不大于 **16kPa**。

**3.0.4** 试验段孔穴体积的量测是通过仪器测管的水位变化得到的。**PY** 型旁压仪测管显示的是水位下降,经换算求得试验段孔穴体积的变化。测管水位下降的最小读数为 **1mm**。梅纳型旁压仪测管水位下降已换算为体积值,代表试验段孔穴体积的变化。体积的最小读数为 **5cm<sup>3</sup>**。

**3.0.6** 预钻式旁压试验中,成孔是重要一环。对粘性土、砂类土一般应由人工成孔,软岩及风化岩石则需用回转钻机成孔。人工成孔的工具除勺钻、提土器外,又推荐了环刀成孔器。环刀成孔器与直径小于 **50mm** 的勺钻配合,适合于黄土和半干硬到可塑状的粘性土。环刀成孔器是与旁压器长度接近的长筒环刀,外径 **54~56mm**,刀口向外倾斜,这样在切土成孔过程中对孔周土体扰动可大大减少,有利于成孔质量的提高。环刀成孔器的上端有与勺钻钻杆连接的接头。

用回转钻机成孔时,在试验段范围内要用与旁压器直径匹配的钻头和岩心管,使成孔直径满足试验要求。

**4.1.1** 为保证旁压试验数据准确,必须进行弹性膜约束力和综合

变形的标定。

除新膜应进行弹性膜约束力的标定外,使用一定次数后的膜,由于多次膨胀的影响,也需要重新标定。至于连续使用多少次应进行标定,应视弹性膜的材质而定。对于梅纳型旁压仪已有资料规定,使用次数达 20 次要重新标定。而 PY 型的旁压器对此要求提法不大一致。铁科院西北分院对弹性膜进行了连续标定试验。结果是当标定到 8~9 次时,同一压力的测管水位下降值比第一次平均增大 8~10mm,对已用的膜较长时间不用,标定曲线也会发生变化,试验资料表明,停用 12h,标定时对应压力下测管水位下降值平均减小 6.8mm,36h 减小 8.2mm,60h 减小 11.3mm。一般说来测管水位下降值变化 8~10mm,膜约束力变化的最大值可达 10kPa 左右,此值与 PY 型旁压仪压力表的最小值相当。因此本规程规定当弹性膜使用次数达到 8 次或停用时间达 48h 以上时,弹性膜必须重新进行标定。

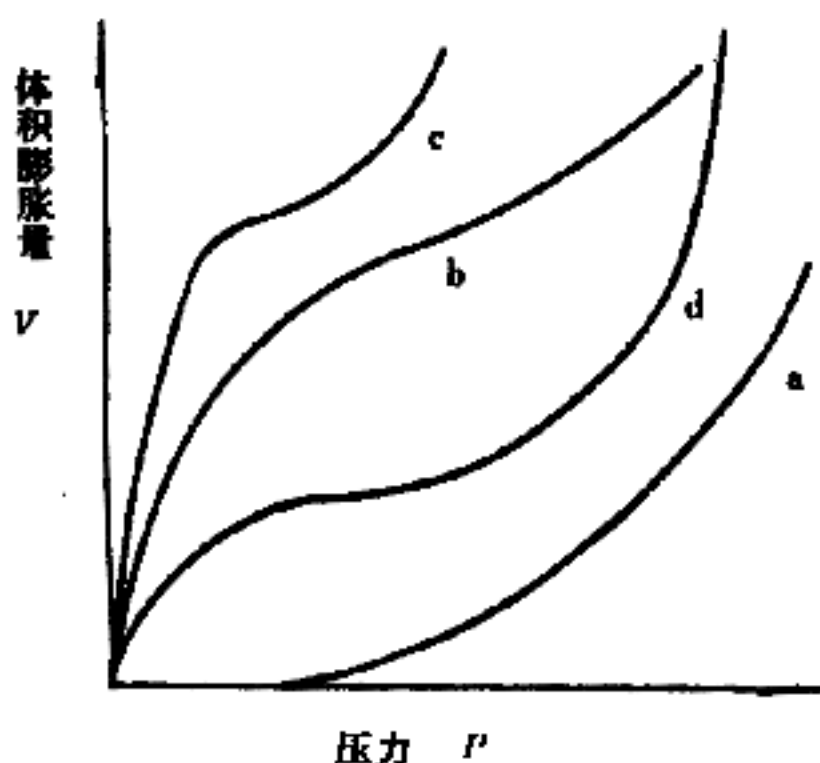
有时旁压器从孔中取出时,由于孔周摩擦力大,会出现测量腔弹性膜被拉长,翻到下辅腔的情况,这时弹性膜约束力标定曲线要发生变化。因此当出现这种情况时,弹性膜也需重新标定。

根据厂家和有关专家的意见,认为对弹性膜应有一个基本要求,不能凑合。总的要求是弹性要好,膨胀要均匀,这样符合轴对称的试验条件。

**4.1.5** 预钻式旁压试验中,预钻成孔是关键之一。成孔质量将直接影响试验结果。大量的试验资料表明,孔周土体的扰动对确定变形特征的影响尤为严重。

说明图 4.1.5 是由于成孔不规则造成的异常旁压曲线。图中曲线 a 反映成孔直径太小或有缩孔现象,试验前孔壁已受挤压,因而缺少恢复区,曲线不完全,难以使用。曲线 b 可能是孔壁被严重扰动形成很厚的扰动圈所致。加载后曲线有一段较长的上凸段,表明扰动土层在加载时的压密过程;因受旁压器膨胀量所限,旁压曲

线不完善,用起来很困难;同时因扰动,曲线的走向产生偏差,也会使结果失真。曲线c恢复区的范围大,出现了“鹅脖子”现象。其原因是孔径太大,使旁压器测量腔的膨胀量有相当大一部分消耗在弹性膜与孔壁之间的孔隙中,最后使曲线很不完善,无法使用。曲线d为正常的旁压曲线,孔壁土扰动小,成孔直径比较合适。



说明图 4.1.5 各种异常  $P-V$  曲线

鉴于这些情况,在规程中对预钻孔的孔径大小,形状和尽量减少孔周土体扰动及成孔方法提出了具体要求。

本规程推荐勺钻成孔的同时,提出环刀扩大成孔的方法。该法用刀口向外倾斜的环刀切出试验段,这样对周围土体扰动小,同时所成孔径基本一致,因此可减少试验结果的离散性。在某一黄土场地检查了 95 个用环刀扩大成孔方法所成的旁压试验孔,其孔径比旁压器直径大 1.5~2.1mm 的占 97%。由于孔径大小基本可以控制,对于极限压力在仪器容许最大压力范围内的土层,当测管水位下降至 35~40cm 左右时,试验段孔穴体积可以接近原孔段体积的两倍,有利于极限压力的确定。

在某场地选出静探  $P_s$  值接近的五段(每段长约 60cm)为一



组,共四组,对每组的地层段进行了旁压试验。其中两组用勺钻成孔,两组用环刀扩大成孔,其它试验条件均一样。试验结果和每组的离散系数如说明表 4.1.5 所示。两种成孔方法的  $P_1$ 、 $P_f$  离散系数接近,环刀成孔较小。

**4.1.6** 旁压试验成孔时必须将土取出,与其它原位测试相比这是一个有利条件,可以直接察看土层。在成孔过程中对地基土的类别、潮湿状态、密实程度等进行实地观察描述,再根据试验结果对地基土评价是十分有利的。因此本规程特别提出利用成孔出土的机会要求对地基土进行描述。必要时,在室内可补做其它试验。

**4.2.3** 加荷等级的大小主要考虑旁压  $P-V$  曲线要有足够的试验点描述。法国的资料介绍应有 10 个压力等级,最少 8 个,最多不

成孔方法离散系数的比较                      说明表 4.1.5

勺 钻 成 孔					环 刀 成 孔				
试验 孔号	$P_s$ (kPa)	$P_1$ (kPa)	$P_f$ (kPa)	离散系数	试验 孔号	$P_s$ (kPa)	$P_1$ (kPa)	$P_f$ (kPa)	离散系数
642	3230	568	268	$\delta P_1=0.32$  $\delta P_f=0.28$	643	3840	548	222	$\delta P_1=0.22$  $\delta P_f=0.24$
673	3220	677	234		622	3940	685	266	
682	3210	496	213		562	3930	608	264	
6121	3230	516	208		675	3980	688	284	
692	3360	560	217		5112	3900	592	288	
691	2670	473	206	$\delta P_1=0.12$  $\delta P_f=0.16$	663	4400	714	321	$\delta P_1=0.11$  $\delta P_f=0.11$
631	2670	474	208		694	4500	700	323	
641	2620	470	200		5123	4530	780	336	
683	2620	459	214		664	4600	738	355	
685	2700	513	234		687	4620	700	331	

超过 14 个。苏联的资料要求曲线有 15~16 个点,同时按粘性土的稠度和砂类土、泥灰土的孔隙比给出加荷等级,如说明表 4.2.3 所示。

考虑目前国内的旁压试验主要应用于浅基承载力的确定和变形特征的估算,因此在  $P-V$  曲线上,首先要确定出临塑压力  $P_t$ 、极限压力  $P_1$  和线性段斜率  $\Delta P/\Delta V$ 。另外,参考国内荷载板试验确定加荷等级的方法,规程中提出用估计地基土基本承载力的 1/5 或极限承载力的 1/10 作为加荷等级。具体确定时可参经常用加荷等级 10、12.5、25、50、75、100、200、500kPa 等选用。这种确定加荷等级的方法比较简便,同时也可满足试验要求。为了提高确定  $P_0$  点的准确性,可考虑开始 1~2 级加荷等级适当减小,以增加  $P_0$  前后的试验点。

慢速试验法的压力等级

说明表 4.2.3

土 类	加压等级 (kPa)
砂类土:	
密实 $e \leq 0.55$	100
中密 $0.55 < e \leq 0.75$	50
松散 $e > 0.75$	25
粘性土: ( $I_L$ ——稠度)	
$0 < I_L \leq 0.5$	50
$0.5 < I_L \leq 1.0$	25

**4.2.4** 如荷载板试验一样,旁压试验的加荷稳定时间是个重要问题。对于饱和的粘性土、砂类土,不同的加荷稳定时间则固结程度是不同的,将直接影响试验的结果。另外,完成一个旁压试验的时间也有很大差别。出于不同的考虑,各国各部门对此的规定差别比较大。在法国,旁压试验是以快剪模式为基础,稳定时间规定为 1min。前苏联的国家标准 (ГОСТ—202726—74) 规定采用慢速和快速。并且提出快速法只用于区域工程地质勘测,慢速法适用于各

类工程地基土勘测。在详细勘察中如果对岩土进行过快速与慢速的对比试验,则可使用快速法。快速和慢速的稳定时间规定如说明表 4.2.4—1 所列。

不同试验方法每级荷载稳定的时间

说明表 4.2.4—1

土 类	试验方法	稳定时间(min)
砂类土: 非饱和砂 饱和砂	慢	15
	慢慢	30
	快	3
粘性土:( $I_1$ —稠度) $I_1 \leq 0.25$ $I_1 > 0.25$	慢	30
	慢慢	60
	快	6

稳定时间的确定从以下几个方面考虑是适宜的。

(1)旁压试验的基本条件:旁压器是个柱状体,侧面积大,如 PY 型三腔旁压器总长度为 45cm,侧面积达 709cm<sup>2</sup>,在这样大的面积上通过弹性膜给孔周土体施加压力,固结排水的条件非常不利(试验段排水出路还要经过辅腔段)。与室内的压缩、强度等试验条件比,它的排水路径要大得多。所以对饱和土类,尤其是饱和粘性土,旁压试验基本上只能完成快剪模式的试验。如果考虑排水固结势必将试验时间拖得过长,这对现场原位测试是很困难的。实际上快剪可以适应工程上的应用。《铁路工程地质技术规范》(TBJ12—85)规定:粘性土、黄土类土、软土地层上的路堤、挡土墙、桥涵、厂房等地基,边坡及稳定性检算进行快剪剪切试验,对此旁压试验按快剪模式考虑具有一致性。

(2)地基土变形问题:现行的有关规范和手册中地基变形计算方法是以试验为根据的分层总和法,考虑了排水固结。如果利用旁压试验资料确定土的变形模量或压缩模量,是通过与荷载板或压缩的对比试验建立的关系,并且旁压试验的加荷稳定时间有统一

规定,同时按土类分别建立旁压和荷载(压缩)试验的变形(压缩)模量的相关关系,则变形计算中的固结问题也可得到解决。

(3)在采用快剪式的前提下,粘性土、砂类土每级荷载的稳定时间  $3\text{min}$  是适合的,其理由是:

① $3\text{min}$  稳定时间,符合快剪模式。

②当压力较高时,调压阀的灵活性较差,加压比较费力,从开始加压到准确加到给定值,所用时间较长。 $3\text{min}$  稳定时间与  $1\text{min}$  相比较,操作误差小。

③ $3\text{min}$  稳定时间和  $1\text{min}$  相比,每级荷载完成的变形占稳定变形的比例大,且比较稳定,有利于变形参数的确定。对黄土(非饱和的三相土)不同稳定时间测管水位下降值的变化列于说明表 4.2.4—2, $3\text{min}$  的变形为  $30\text{min}$ (作为变形稳定的标准)的 90%以上。对粘性土和软土,铁道部第四勘测设计院提供的资料如说明表 4.2.4—3 所示,在  $3\text{min}$  的加荷时间内,拐点处的变形可完成稳定变形的 50%左右。

④ $3\text{min}$  的稳定标准国内已有较丰富的实践经验,取得的资料比较多。这一稳定标准使一个试验在不到  $1\text{h}$  内完成,比较适合现场的试验条件,目前仪器的承压管路可以适应,若每级加荷时间拉长,为使压力保持稳定,在管路漏水等方面可能出现新的困难。

综合以上三点,本规程规定粘性土、砂类土加荷稳定时间为  $3\text{min}$ 。

对风化岩和软岩一般不考虑加载时的排水固结问题。由于强度较高目前均是采用梅纳型旁压仪。根据国内外资料,加荷稳定时间为  $1\text{min}$ 。

**5.1.2** 本规程规定旁压曲线采用  $P-V$  曲线,因为它有明确的物理概念,表示孔周土体在压力作用下体积的变化。以往工程中采用的  $P-S$  曲线的  $S$  值是测管的水位下降值,与土体的变形只是间接的关系,在确定旁压剪切模量时要经过换算,不甚方便,且与国

际常用方法不一致。

黄土不同稳定时间测管水位下降值

说明表 4.2.4—2

试验编号	稳定时间 (min)	各级荷载(kPa)下测管水位下降值(cm)								
		25	50	75	100	125	150	175	200	225
510	3	4.1	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.7		
	10	4.1	4.5	4.7	4.9	5.2	5.4	5.8		
	30	4.2	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	5.8		
596	3	4.4	4.5	4.7	5.1	5.3	5.4	5.6		
	10	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7		
	30	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7		
592	3	4.0	4.5	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.9	6.1
	10	4.0	4.5	4.8	5.1	5.3	5.5	5.6	5.9	6.2
	30	4.0	4.5	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.2
585	3	4.2	4.6	4.9	5.2	5.4	6.0			
	10	4.2	4.6	4.9	5.2	5.5	6.1			
	30	4.2	4.6	4.9	5.2	5.6	6.1			

粘性土不同稳定时间阶段变形 说明表 4.2.4—3

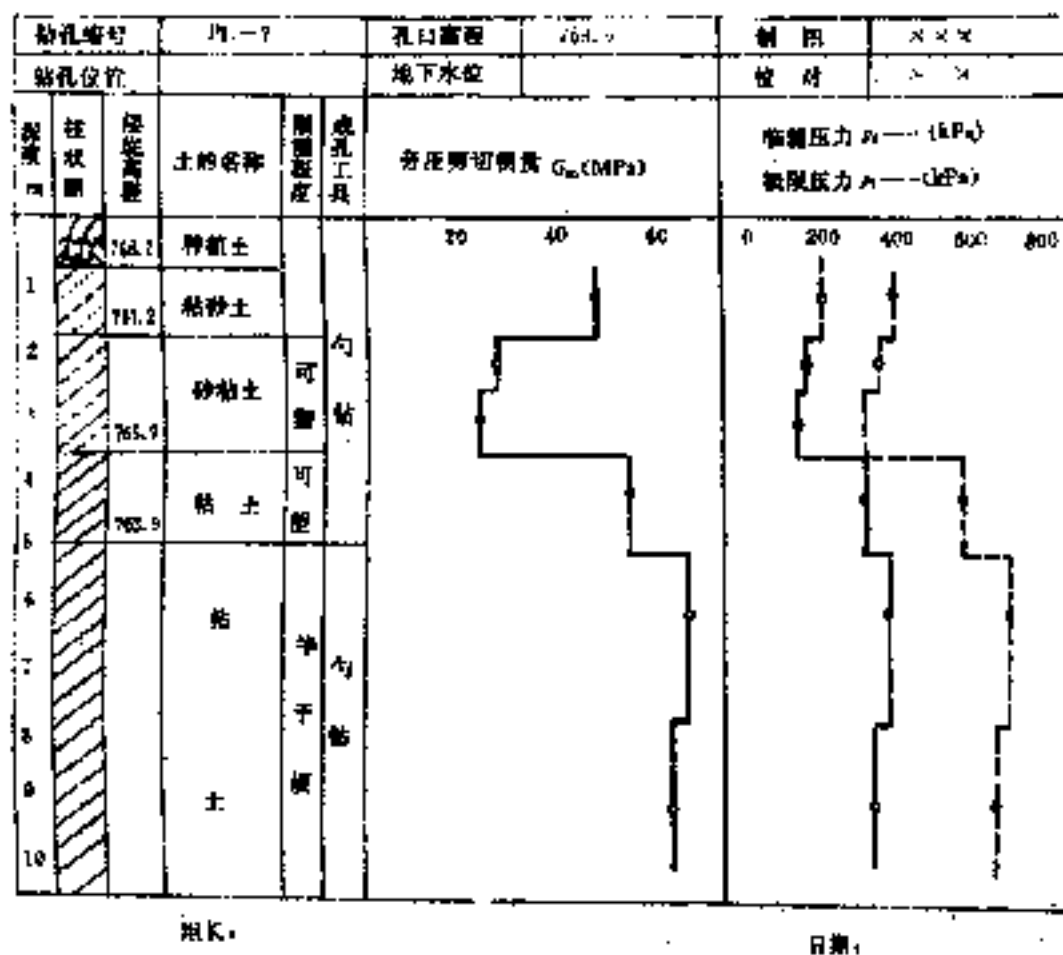
探头型号	旁压曲线部位	阶段变形占总变形的百分比		
		3(min)	5(min)	10(min)
60	拐点前 90kPa	78.26	86.96	100
	拐点前一点	71.43	77.14	87.14
	拐点处	75.00	82.50	100
50	拐点前一点	49.307	63.38	84.51
	拐点处	43.37	57.83	78.51
	拐点后一点	30.77	38.46	53.85

**5.1.3** 本规程规定  $P_1$  用两倍体积法 ( $V = V_0 + 2V_0$  时对应的压力) 确定, 这是因为: (1) 体积达  $V_1$  时, 土体的塑性变形已相当大; (2) 与弹性膜的强度和灵敏度相协调; (3) 测管水位的限制; (4) 与国际上通用的方法一致, 资料可以通用, 具有可比性。由于仪器能力的限制及成孔孔径不合适等因素的影响, 有时需外延  $P-V$  曲线来确定 (外延前要至少有三个点)。当外延有困难时, 通常可用  $P$

— $1/V$  曲线法,利用试验的最后 2~4 级数据绘制。

**5.1.4** 确定了临塑压力  $P_f$ , 极限压力  $P_l$  和旁压剪切模量  $G_m$  后,根据需要可绘制旁压成果剖面图,如说明图 5.1.4 所示。

**5.2.1** 本规程确定的  $\sigma_0$  是指测点深度处用旁压试验确定的基本承载力,属浅基承载力的范畴,与《铁路工程地质技术规范》(TBJ12—85)所定义的是一致的。对比试验时,土类的划分及承载力资料的整理是按上述规范的规定进行的。因此在工程设计确定浅基的地基容许承载力时要按照《铁路桥涵设计规范》(TBJ2—85)进行深宽修正。



说明图 5.1.4 旁压成果剖面图

旁压试验确定承载力国内已有较多的试验资料,本规程编写过程中,统计分析了利用旁压试验结果推算浅基地基土(粘性土)的基本承载力及在黄土、砂土、红土中旁压试验确定承载力的资料,结果是粘性土  $\sigma_0 = 1.01(P_f - \sigma_{ho})(kPa)$ , 黄土  $\sigma_0 = 1.003(P_f - \sigma_{ho}) - 3.4(kPa)$ , 砂类土  $\sigma_0 = 1.17(P_f - \sigma_{ho})(kPa)$ 。说明用旁压试

验的 $(P_f-\sigma_{ho})$ 确定承载力是有试验基础的。另外,利用这些资料还分析了旁压极限压力与临塑压力的关系。对 $(P_l-\sigma_{ho})/(P_f-\sigma_{ho})$ 取可信度 0.05 的置信区间,各类土 $(P_l-\sigma_{ho})/(P_f-\sigma_{ho})$ 分别为:

粘性土	黄 土	砂 土	红 土
2.24~2.36	2.10~2.16	1.81~2.32	2.10~2.12

从中看出若极限压力法的安全系数  $F$  取 2.0,则大多数情况 $(P_f-\sigma_{ho})$ 小于 $(P_l-\sigma_{ho})/F$ ,可以有足够的安全度。有的土  $P-V$  曲线过  $P_f$  点后较快变陡的情况,这时极限压力法是安全的。

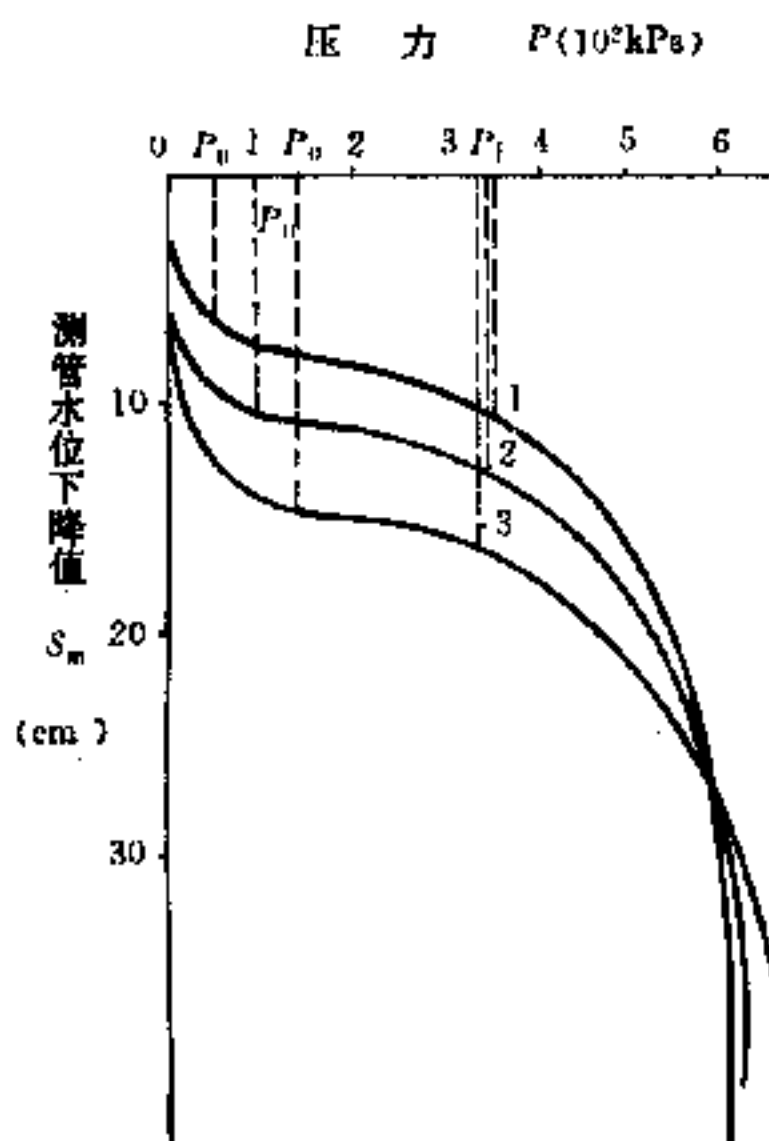
根据这些情况,本规程并列了两种确定承载力的方法且规定取二者中的小值为基本承载力。

### 5.2.2 关于地层的静止水平总压力 $\sigma_{ho}$ 问题

粘性土、砂类土的试验资料表明,在  $P-V$  曲线上准确地定出  $\sigma_{ho}$ 是比较困难的。人们曾经认为成孔后,会有一定的缩孔,在旁压器膨胀的初期,向孔内膨胀的土体被挤压至原始位置时,所对应的压力便为地层水平压力。但对并非完全弹性变形的土体,这样的假设与实际情况是有较大出入的。按照这种设想把  $P-V$  (或  $P-\Delta V$ ) 曲线第一拐点,即直线段起点  $P$ 。当作  $\sigma_{ho}$ 。实践证明,这种方法确定的  $\sigma_{ho}$ 规律性差,且往往偏大。说明表 5.2.2—1 列举了贵州省建筑设计院的资料:红粘土中旁压试验  $P-V$  曲线直线段起点确定的  $\sigma_{ho}$ 与深度的关系,可看出在 7~8m 深度内  $\sigma_{ho}$ 没有随深度增加,甚至有减小的趋势,故不能反映水平应力的变化规律。

$\sigma_{ho}$ 与深度的关系 说明表 5.2.2—1

试验深度 (m)	$\sigma_{ho}$ (kPa)	试验深度 (m)	$\sigma_{ho}$ (kPa)	试验深度 (m)	$\sigma_{ho}$ (kPa)	试验深度 (m)	$\sigma_{ho}$ (kPa)	试验深度 (m)	$\sigma_{ho}$ (kPa)
1.0	35	2.1	32	2.1	25	2.1	45	1.5	40
2.0	40	3.1	33	3.1	30	3.1	45	2.5	25
4.0	31	5.1	27	4.1	35	4.5	60	3.5	40
5.0	40	6.1	25	5.5	25	5.5	35	5.0	20
6.7	40	7.1	21	6.6	25	6.5	50	7.0	50
7.0	28	8.1	29	7.7	12	7.6	95	8.8	100



说明图 5.2.2  $P_0$  的变化

说明图 5.2.2 表示孔距 1m, 试验深度相同, 成孔工具分别采用直径、长度不同的勺形钻和螺纹提土钻, 所取得的三个旁压试验曲线(贵州省建筑设计院)。曲线 1、2、3 的钻具直径分别为 54、58、62mm。三个试验的  $P_f$  值非常接近, 而  $P_0$  却相差较大, 说明  $P_0$  不单单是水平压力的函数, 与成孔的直径, 孔壁土扰动程度等的关系也比较大。因此用  $P_0$  表示地层静止水平总压力经常是不准确的, 其规律性很难确定。

正因为以上原因, 便出现了不少用作图修正法确定  $\alpha_{ho}$ 。比较简捷的如水利电力部《土工试验规程》(DS-128-86)(第二分册)推荐的把  $P-V$  曲线的直线段延长与  $V$  轴相交, 其交点定义为  $V_0$ ,



然后从  $V_0$  引水平线与  $P-V$  曲线相交,交点对应的压力为  $\sigma_{h0}$ 。还有其它一些方法,基本想法是往小的方向修正。但这些修正理论依据都不是太充分,鉴于对  $P-V$  曲线直线段前的曲线部分理论解释还不完善和直线段起点  $P_0$  值起伏较大,因此对于浅基  $\sigma_{h0}$  取值按公式  $\sigma_{h0}=K_0 \cdot \gamma \cdot d$  计算是可行的。

对某些土类或地区,若图解法实践经验较丰富,规律性较好,也可作为确定地层静止水平总压力的方法之一。

对风化岩和软岩,长沙铁道学院对长沙地区旁压试验结果进行的分析表明,通过  $P-V$  (或  $P-S$ ) 曲线确定的  $P_0$  比公式  $\sigma_{h0}=K_0 \cdot \gamma \cdot d$  的计算值要大得多。如以  $m=P_0/\sigma_{h0}$  表示二者的关系,结果如说明表 5.2.2—2 所列。

湖南地区软岩  $m=P_0/\sigma_{h0}$  说明表 5.2.2—2

地质时代	风化程度	岩 性	统计次数	$m$
第三系 R	$r_1+r_2$	红色泥质砂岩	31	3.8
	$r_3$		5	2.9
	$r_3$	红色泥质砂岩	3	2.4
早第三系 E	$r_1+r_2$	红砂岩	5	5.1
	$r_3$		3	1.7
白垩系	$r_1+r_2$	红色泥质砂岩	59	5
	$r_3$		2	2.6
	$r_2+r_3$	泥砂粒盐	14	2.6
震旦系 Z		板溪群板岩	7	4.2
第四系 Q		(红色泥质砂岩)残积土	19	1.4

注:① $\sigma_{h0}$  计算采用  $K_0=0.493, \gamma=20\text{kN/m}^3$

② $r_1$ ——微风化,  $r_2$ ——中风化,  $r_3$ ——强风化

软岩旁压试验地层静止水平总压力  $\sigma_{h0}$  的大小与岩层中的原

始水平地应力、岩性、风化程度及成孔质量等因素有关。从上表可见,中和微风化的红砂岩  $P_0$  大约是  $\sigma_{ho}$  计算值的 2~5 倍。这是由于红砂岩原始水平地应力较大,甚至超过竖直压力( $\gamma \cdot d$ )的缘故。

鉴于以上理由,本规程关于软岩的地层静止水平总压力  $\sigma_{ho}$  规定在  $P-V$  曲线上确定。取  $P-V$  曲线直线段起点,即  $P_0$  为地层水平总压力  $\sigma_{ho}$ 。

**5.2.3 临塑压力法**以旁压试验( $P_f - \sigma_{ho}$ )作为控制指标,即  $\sigma_0 = P_f - \sigma_{ho}$ 。由 157 组荷载板和旁压对比试验的统计分析结果得到(其中粘性土 68 组,黄土 66 组,砂类土 23 组)的平均值为  $\sigma_0 = 1.0(P_f - \sigma_{ho})$ (可参考 5.2.1 条说明)。因此公式  $\sigma_0 = P_f - \sigma_{ho}$  能够满足地基安全的要求。目前国内各部门的旁压试验技术规程大都采用此式。

对于中风化、微风化岩石旁压试验常常达不到  $P_f$  就已接近或达到梅纳型旁压仪的容许最大压力,于是不能直接确定  $P_f$ 。通过统计发现,当地质时代相同,岩性基本一致时,例如湖南地区红砂岩的  $P_f$  与  $E_m$  之间,近似符合线性关系。因此,当  $P_f$  的估计值与容许最大压力相差不大时,可以根据该软岩  $P_f$  与  $E_m$  ( $E_m = 2(1+V)(V_0 + V_m)\Delta P / \Delta V$ ) 的统计关系,由试验得到的  $E_m$  值近似确定  $P_f$ 。 $P_f$  和  $E_m$  的统计关系如说明表 5.2.3 所列。

湖南地区红砂岩  $P_f$  与  $E_m$  回归分析表

说明表 5.2.3

岩性·时代	频数	相关系数	协方差	回归方程式(kPa)
红砂岩·R	23	0.8145	29991	$P_f = 0.007831E_m + 976$
红砂岩·E	4	0.9734	15555	$P_f = 0.00454E_m + 2330$
红砂岩·K	34	0.8131	14399	$P_f = 0.01769E_m + 475$

**5.2.4** 目前国外普遍采用梅纳公式  $q_1 - q_0 = m \cdot (P_1 - P_0)$  计算地基土的极限压力  $q_1$ , 其中  $q_0$  为土的自重压力,  $m$  为承载力系数, 与

土的类型、基础形式和埋深、宽度有关。因此  $q_1$  是具体基础的地基土极限压力,它已包含深宽影响的因素在内。与临塑压力法相同,本规程定义的  $\sigma_0 = (P_1 - \sigma_{ho})/F$  也为地基基本承载力,  $F$  为承载力安全系数,不包含深宽的修正成分。

本规程建议安全系数  $F$  为 2.0 是基于如下的一些考虑:

经过 290 组旁压试验资料的分析(粘土 161 组,砂土 18 组,黄土 111 组),  $(P_1 - \sigma_0)/(P_f - \sigma_0)$  比值平均为 2.07~2.13。取  $F=2.0$  时,大多数情况将是临塑压力法控制;

对  $(P_1 - \sigma_{ho})/(P_f - \sigma_{ho}) \leq 2.0$  的土类:如淤泥、软土、软岩等,与荷载板试验结果相比较表明,用  $\sigma_0 = (P_0 - \sigma_{ho})/F$  公式求得的  $\sigma_0$  仍是偏于安全的。

下面举例说明地基基本承载力的确定和有关问题。

### (一)确定地基基本承载力

**[例 1]** 利用 PY 型旁压仪进行试验,得结果如说明表 5.2.4-1 所示。

解:1. 绘  $P-V$ ,  $P-\Delta V_{180-30}$ ,  $P-1/V$  曲线,如说明图 5.2.4-1 所示。

2. 根据  $P-V$  曲线确定与计算旁压参数:

直线段起点对应的压力与体积:  $P_0=49\text{kPa}$ ,  $V_0=124\text{cm}^3$ ;

临塑压力与对应体积:  $P_f=141\text{kPa}$ ,  $V_f=166\text{cm}^3$ ;

极限压力:  $P_1=295\text{kPa}$ (由  $P-1/V$  曲线确定);

旁压剪切模量按公式(5.1.3-1)计算得:

$G_m = (49 + 124 + 42/2) \times 92/42 = 1393\text{kPa}$ ;

旁压模量:  $E_m = 2.66 \times 636 \times 92/42 = 3388\text{kPa}$ ;

地层的静止水平总压力:  $\sigma_{ho} = 0.4 \times 15.5 \times 3.0 = 18.6\text{kPa}$ 。

3. 地基基本承载力计算:

临塑压力法  $\sigma_0 = 141 - 18.6 = 122.4\text{kPa}$ ;

极限压力法  $\sigma_0 = (295 - 18.6)/2.0 = 138.2\text{kPa}$ ;

取该地基基本承载力为 122kPa。

PY 型旁压仪试验记录表

说明表 5.2.4—1

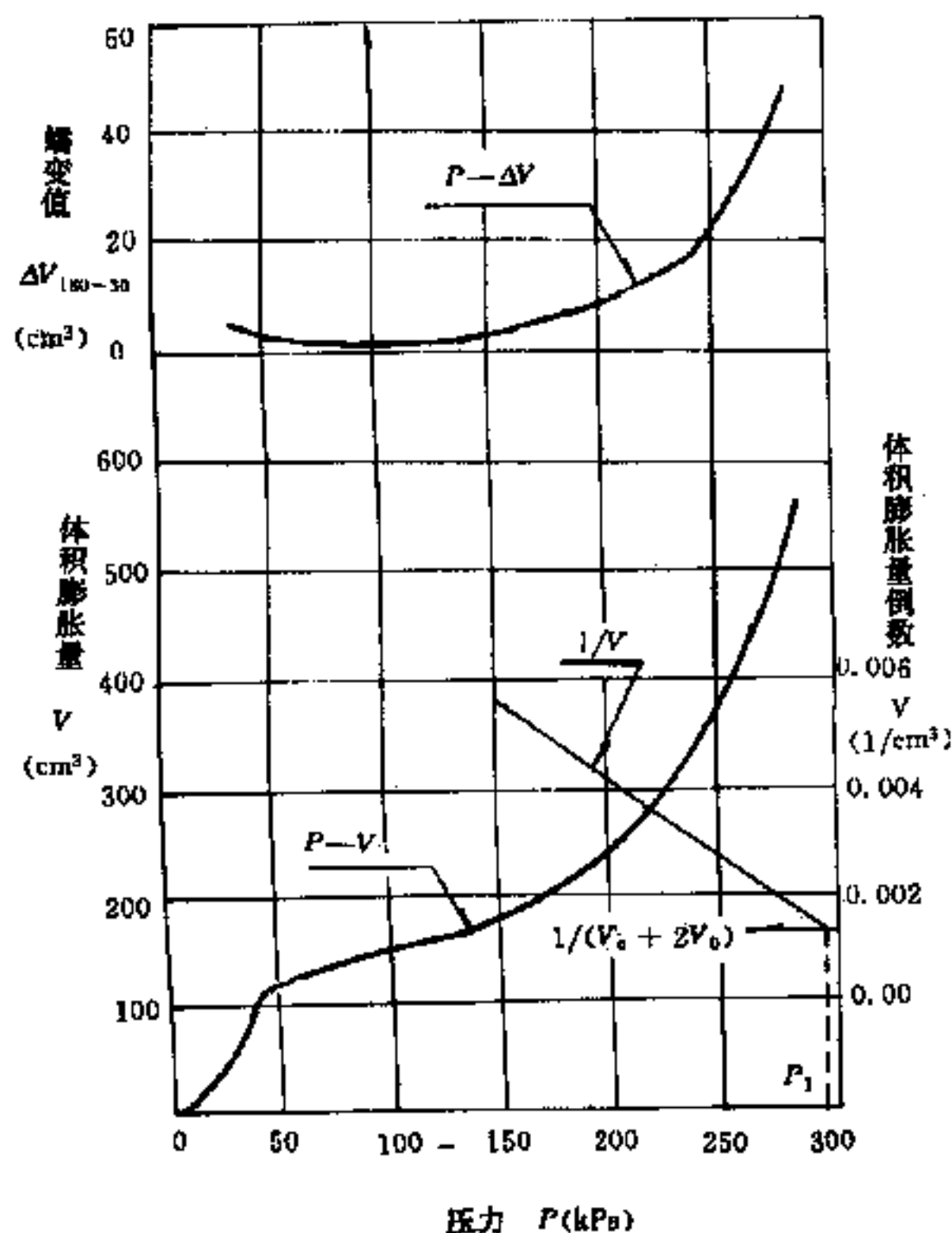
工程名称		××编 组站	钻孔位置		TCK669 +50		试验编号		旁 7		
孔口高程		438.30		试验深度(m)		3.0		地下水位(m)		5.0	
测管水位与孔 口的高差(m)		1.0		旁压器测量腔静水 压力 $P_w$ (kPa)		40		膜标定编号		标 8	
								成孔方法		勺钻成孔	
旁压器规格		AP		$\eta=0.001$		$A=15.28$		$V_0=491$			
地层描述		上更新统风积黄土,疏松。									
压力(kPa)			测管水位下降值 $S_m$ (cm)						体积膨胀量 ( $\text{cm}^3$ )		
压力 表读数 $P_m$	校正 值 $P_1$	校正后 $P$	30s	60s	180s	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 $\cdot A$	⑩= (⑥—④) $\cdot A$		
0	19	21	2.1	2.1	2.1	0	2.1	32.1			
25	30	35	6.2	6.4	6.5	0.1	6.4	97.8	46		
50	41	49	8.0	8.1	8.2	0.1	8.1	123.8	3.1		
75	44	71	9.0	9.1	9.1	0.1	9.0	137.5	1.5		
100	46	94	9.7	9.8	9.8	0.1	9.7	148.2	1.5		
125	47	118	10.4	10.5	10.5	0.2	10.3	157.4	1.5		
150	49	141	11.2	11.2	11.3	0.2	11.1	169.6	1.5		
175	52	163	12.3	12.4	12.5	0.2	12.3	187.9	3.1		
200	55	185	13.7	14.0	14.2	0.2	14.0	213.9	7.6		
225	60	205	15.7	16.1	16.3	0.3	16.0	244.5	9.2		
250	65	225	18.5	19.1	19.4	0.3	19.1	291.8	13.8		
275	71	244	22.5	23.3	23.6	0.3	23.3	256.0	16.8		
300	76	264	27.4	28.8	29.3	0.3	29.0	443.0	29.0		
325	80	285	34.0	36.5	37.1	0.4	36.7	560.8	47.4		

试验:×××

计算:×××

复核:×××

年 月 日



说明图 5.2.4—1  $P-V$ ,  $P-\Delta V_{180-30}$ ,  $P-1/V$  曲线

【例 2】 利用梅纳型旁压仪进行试验,得结果如说明表 5.2.4—2 所示。

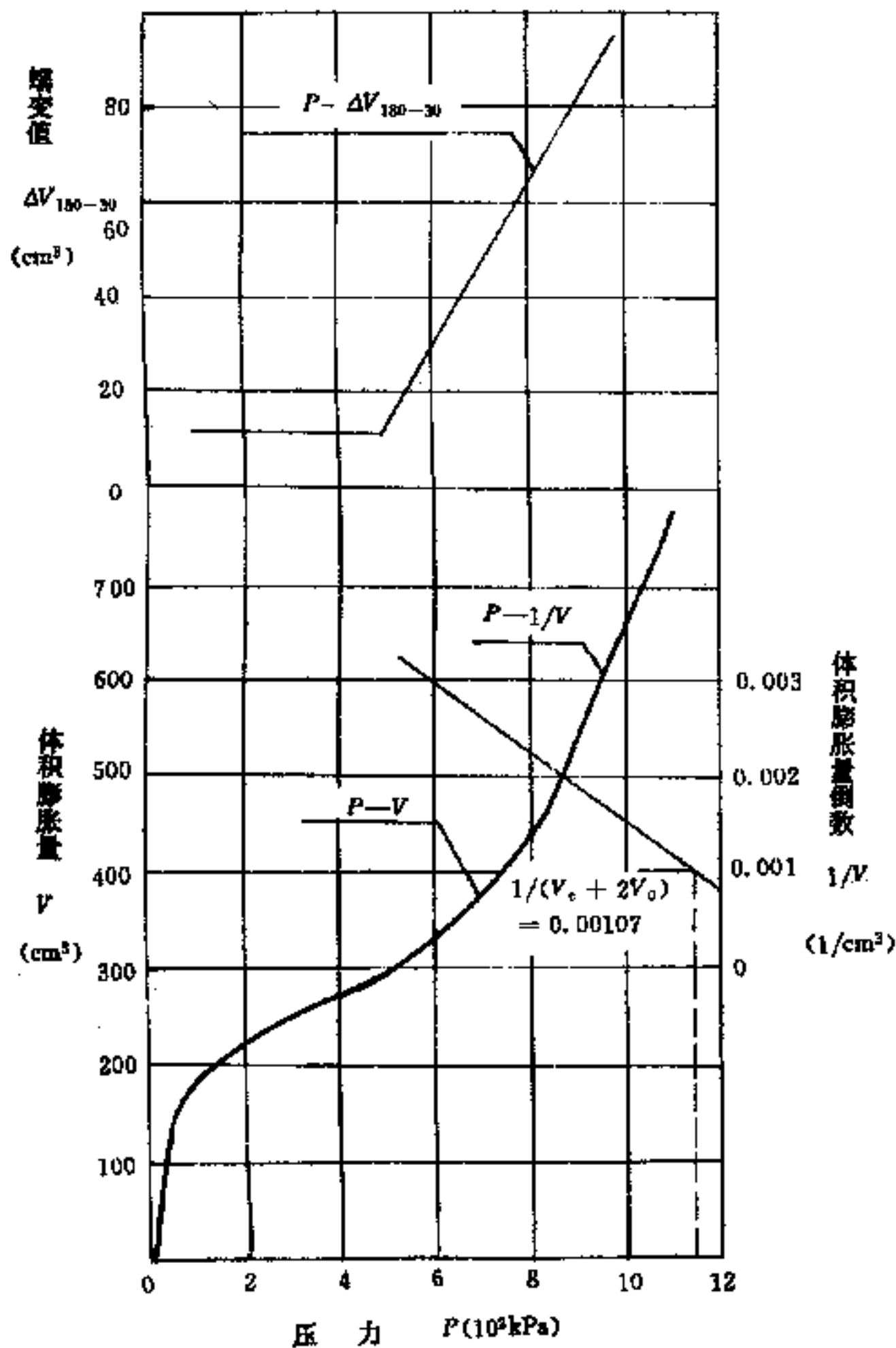
解:1. 绘  $P-V$ ,  $P-\Delta V_{180-30}$ ,  $P-1/V$  曲线,如说明图 5.2.4—2 所示。

2. 根据  $P-V$  曲线确定与计算旁压参数:

梅纳型旁压仪试验记录表 说明表 5.2.4—2

工程名称		××桥		钻孔位置		东桥台		试验编号		旁 3	
孔口高程		452.83		试验深度(m)		5.0		地下水位(m)		8.7	
测管水位与孔口的高差(m)		0.8		旁压器测量腔静水压力 $P_w$ (kPa)		58		膜标定编号		标 12 号	
								成孔方法		勺钻成孔	
旁压器规格		BX		$\eta=$		A=15.30		$V_0=535$			
地层描述		黄褐色砂粘土,可塑,密实。									
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 $P_1$	校正后 $P$	15s	30s	60s	180s	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+ $P_w$ )	⑥—⑧或 ⑦—⑧	$A \cdot$ (⑥ —⑤)或 $A \cdot$ (⑦—⑤)		
0	32	26		20	38	80		80	60		
50	49	59		102	134	170		170	62		
100	53	105		186	193	198		198	12		
200	57	201		214	224	228		228	10		
300	60	298		240	248	252		252	12		
400	63	395		264	272	275		275	11		
500	65	493		284	291	295		295	11		
600	69	589		303	316	330		330	27		
700	72	686		340	352	374		374	34		
800	75	783		382	392	435		435	53		
900	79	879		445	460	524		524	79		
1000	81	977		542	549	638		638	96		
1100	82	1076		653	673	757		757	104		

试验:××× 计算:××× 复核:××× 年 月 日



说明图 5.2.4-2  $P-V, P-\Delta V_{180-30}, P-1/V$  曲线

湖南地区软岩旁压试验承载力参数 说明表 5.2.4-3

序号	工程名称时代	岩性	风化程度	$P_1$ (MPa)			$P_1-P_0$ (MPa)			$P_1-P_0$ (MPa)			$\sigma_0$ (地基) (MPa)
				统计 个数	范围值	算术 平均值	统计 个数	范围值	算术 平均值	统计 个数	范围值	算术 平均值	
1	工商银行 分行大楼 (17层)	红砂岩	$r_3$ $r_1+r_2$	1 1		3.9 $\geq 8.7$	1 1		3.7 $\geq 8.0$	1		8.0	2.4 5.0
2	人行省分 行大楼 (20层)	红砂岩	$r_3$	8	3.1~4.5	4.0	3	2.7~4.4	3.8	1		5.5	2.4
			$r_2$	3	$\geq 7.0$	7.0	3	6.2~6.6	6.3				4.5
3	XXXXX 斜拉桥 主墩	砂质泥岩	$r_1$	40	3.5~7.8	$\geq 6.7$	40	4.0~6.9	5.8	4	10.4~12.5	11.7	3.0
			$r_3$	4	1.4~2.3	1.2	4	1.2~1.9	1.4	4	2.7~4.7	3.8	0.9
		泥砂砾岩	$r_2$	7	1.5~2.8	2.1	7	1.1~2.2	1.4	5	3.1~5.8	4.2	1.1
			$r_1$	5	5.5~6.8	6.2	5	4.9~6.6	6.1	1		9.8	2.0
				1		6.0	1		5.4				2.4
4	XX市邮电局 微波楼(14层)	红砂岩	$r_2$ $r_1$	3 5	6.0~7.0 6.0~7.0	6.5 6.2	3 5	5.6~6.6 5.0~6.4	6.1 5.6				3.0 4.0
5	省物资中 心大厦 (20层)	红砂岩	$r_1$	4	2.0~8.2	5.7	4	1.8~7.6	5.2	1		6.7	5.0



直线段起点对应的压力与体积： $P_0=100\text{kPa}$ ， $V_0=195\text{cm}^3$ ；

临塑压力与对应体积： $P_f=495\text{kPa}$ ， $V_f=295\text{cm}^3$ ；

极限压力： $P_l=1140\text{kPa}$ （由  $P-1/V$  曲线确定）；

旁压剪切模量： $G_m=(535+195+100/2)\times 395/100$   
 $=3081\text{kPa}$ ；

旁压模量： $E_m=2.66\times 780\times 395/100=8195\text{kPa}$ ；

地层的静止水平总压力： $\sigma_{\text{ho}}=0.5\times 18.0\times 5.0=45\text{kPa}$ 。

3. 地基基本承载力计算：

临塑压力法： $\sigma_0=495-45=450\text{kPa}$ 。

极限压力法： $\sigma_0=(1140-45)/2.0=547.5\text{kPa}$ 。

取该地基基本承载力为  $450\text{kPa}$ 。

（二）关于旁压试验确定风化岩和软岩地基承载力的讨论

（1）风化岩和软岩测点地基基本承载力的确定

软岩旁压机理分析表明（参考《勘察科学技术》杂志，1990年6月刊，32～36页）

$$P_f=\sqrt{S}\sigma_0 \quad \text{说明(5.2.4-1)}$$

式中  $P_f$ ——旁压试验的临塑压力；

$\sigma_0$ ——完整岩石试样的单轴抗压强度；

$S$ ——取决于岩石性质和裂隙发育程度的常数，可由三轴试验确定。

同时，《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—87)第3.2.5条规定：对微风化和中等风化的岩石地基承载力设计值，也可根据室内饱和单轴抗压强度，按下式计算：

$$f=\psi\cdot f_{\text{rk}}\cdots\cdots \quad \text{说明(5.2.4-2)}$$

式中  $f$ ——岩石地基承载力设计值（除强风化的情况外，岩石地基不进行深宽修正，标准值即为设计值）；

$f_{\text{rk}}$ ——岩石饱和单轴抗压强度标准值；

$\psi$ ——折减系数,风化岩宜为 0.20~0.33,中等风化岩宜为 0.17~0.25。

取值时,对于硬质岩石着重考虑岩体中结构面间距、产状及其组合,软质岩石着重考虑其水稳性。说明(5.2.4—1)和说明(5.2.4—2)两式的右侧,它们的含义是相同的。因此,两式的左侧也应一致,即  $p_t$  可以近似看成岩石地基的承载力。

值得指出的是:由于软质岩石在取样、制样过程中极易扰动和失水开裂,因此,用室内试验的  $f_k$  由说明(5.2.4—2)式求出的  $f$  很难代表岩石在天然状态下的性状,而按说明(5.2.4—1)式用旁压试验求出的  $P_t$ ,则相当于测出在天然状态下的  $f$ 。

本规程不采用  $\sigma_0(\text{测点})=P_t$ ,而采用  $\sigma_0(\text{测点})=P_t-\sigma_{ho}$ 。这既考虑了软岩与粘性土、砂类土公式的一致性,又考虑到软岩地基土荷载试验与旁压试验的对比资料尚少,有待进一步研究,采用  $\sigma_0(\text{测点})=P_t-\sigma_{ho}$ ,可偏于安全。

## (2) 风化岩和软岩地基基本承载力的确定

由于软岩地基比一般土层有更大的变异性,因此用旁压试验确定岩石地基基本承载力  $\sigma_0$ ,应分为两步。

### 第一步 确定旁压试验测点处的基本承载力 $\sigma_0(\text{测点})$

旁压试验的结果反映测点周围 1m 范围内岩体的力学特性。确定  $\sigma_0(\text{测点})$  可采用临塑压力法,即  $\sigma_0(\text{测点})=P_t-\sigma_{ho}$ ;或采用极限压力法,即  $\sigma_0(\text{测点})=(P_l-\sigma_{ho})/F$ 。当旁压曲线出现  $P_t$  后,若曲线很快转弯,或者  $P_l/P_t \leq 2.0$  时,应采用极限压力法。对于软岩来说,受容许最大压力的限制,常以临塑压力法为主。

### 第二步 确定地基基本承载力 $\sigma_0(\text{地基})$

岩石地基基本承载力,不仅取决于旁压测点处岩石的力学特性,更取决于地基范围内岩体的力学特性,后者常是地基基本承载力的决定因素。依据《建筑地基基础设计》(GBJ7—89)附录八“参加统计的试验点不应少于 3 点,取最小值作为地基承载力标准值”

的规定,  $\sigma_0$ (地基)可按以下两种情况分别确定:

a. 当基底以下无软弱夹层时,取整个基底平面以下  $1B$  ( $B$  为基底宽度)深度范围内且不少于三个测点的各个  $\sigma_0$ (测点)进行分析,并取  $\sigma_0$ (测点)的最小值作为  $\sigma_0$ 。

b. 当基底以下有软弱夹层时,应将持力层中的软弱夹层分别进行分析。说明表 5.2.4—3 列出了一些建筑物软岩地基旁压试验测点处承载力参数的范围值、算术平均值及地基基本承载力  $\sigma_0$ (地基)。说明表 5.2.4—3 是实际工作中确定软岩地基基本承载力的资料。取用的  $\sigma_0$ (地基)小于或等于各测点处  $(P_f - \sigma_{\text{w}})$  的最小值。这些建筑物建成之后,沉降观测表明,沉降量很小,说明软岩按照上述方法认定的地基承载力有足够的可靠性。

**5.3.1~5.3.2** 旁压试验的一个重要特点是它可以描述地基土由开始承受荷载经弹性变形、塑性变形直至达到破坏的全过程,尤其是可以得到似弹性变形阶段荷载与变形的相互关系。因此用旁压试验确定地基土的变形特性是具备条件的。

为了利用旁压试验资料确定地基土变形模量和压缩模量,需要确定一种参数,该参数应能反映地基土的变形性质并可以由旁压试验资料给出。旁压试验轴对称分析可知,旁压剪切模量表达式为  $G_m = (V_c + V_s + \Delta V / 2) \cdot \Delta P / \Delta V$ 。公式右边各项均可根据  $P-V$  曲线直接确定,比较简便。同时变形模量  $E_0$  与  $G_m$  的关系,理论上为  $E_0 = 2(1 + \nu)G_m$ ,即它们之间存在着固定关系。因此将  $G_m$  作为确定  $E_0$ 、 $E_s$  过渡参数是比较合适的。

旁压剪切模量  $G_m$  与变形模量  $E_0$  及压缩模量  $E_s$ ,虽然都表达地基土的变形性质,但除定义有区别外( $G_m$  含泊松比  $\nu$  的影响),还有如下因素引起它们之间的不同:

1. 旁压试验与荷载板试验和压缩试验的受力状态均有一定的区别;
2. 上述三种试验荷载作用方向不同;

### 3. 旁压试验的结果受孔周土体扰动的影响较大。

为了利用旁压试验确定地基土的变形模量和压缩模量,可利用下列关系: $E_0=K \cdot G_m$  和  $E_s=K' \cdot G_m$ 。

$K$ 、 $K'$  是通过荷载与旁压,室内压缩与旁压对比试验的分析得到的,可以认为它们综合地反映了上述诸种因素的影响,分别称为变形模量转换系数和压缩模量转换系数。这种方法有两个特点:其一,是旁压剪切模量  $G_m$  是由试验资料得到的,不含其它需要经验确定的因素,能较准确地反映地基土的变形性质;其二,两式的关系是通过与荷载、压缩对比试验建立的,具有试验基础。

根据这种思路首先建立了粘性土和黄土的旁压剪切模量与变形模量、压缩模量的关系。这部分内容作为《地基土几种原位测试》的一个分题已通过部鉴定(鉴定证书编号:铁道部技 89015)。

黄土通过 87 组旁压与荷载对比试验资料的线性回归得出(以下说明(5.3.1-1)~说明(5.3.1-6)中的单位: $E_0$  为 MPa,  $G_m$  为 kPa):

$$E_0=3.723007+0.0053212G_m \quad \text{说明(5.3.1-1)}$$

$$\gamma=0.8341, s=6.34\text{MPa}$$

粘性土 65 组的旁压与荷载对比试验资料的线性回归得出:

$$E_0=1.83579+0.0028549G_m \quad \text{说明(5.3.1-2)}$$

$$\gamma=0.8655, s=3.4\text{MPa}$$

由于粘性土的潮湿程度变化范围大,  $G_m$  与  $E_0$  的关系也将变化。将硬塑和坚硬的 26 组进行回归结果得出:

$$E_0=1.02567+0.0048039G_m \quad \text{说明(5.3.1-3)}$$

$$\gamma=0.9188$$

关于压缩模量  $E_s$ , 进行了旁压与压缩对比试验, 分析结果如下:黄土埋深不大于 3.0m 时

$$E_s=1.79692+0.001730G_m \quad \text{说明(5.3.1-4)}$$

$$n=75 \quad \gamma=0.7879 \quad s=3.53\text{MPa}$$

黄土埋深大于 3.0m 时

$$E_s = 1.4847 + 0.001427G_m \quad \text{说明(5.3.1—5)}$$

$$n = 52 \quad \gamma = 0.8431 \quad s = 3.47 \text{MPa}$$

粘性土

$$E_s = 2.0924 + 0.0025162G_m \quad \text{说明(5.3.1—6)}$$

$$n = 65 \quad \gamma = 0.8376 \quad s = 2.2 \text{MPa}$$

综合以上结果,给出了规程中表 5.3.1 和表 5.3.2。

举例:

1. 根据前面 5.2.4 条文说明所举实例 1 的资料,计算得  $G_m = 1.39 \text{MPa}$ ,查表 5.3.2 得  $E_s = 7.9 \text{MPa}$ ,  $E_s = 2.5 \text{MPa}$ 。

2. 根据前面 5.2.4 条文说明所举实例 2 的资料,计算得  $G_m = 3.08 \text{MPa}$ ,查表 5.3.1 得  $E_s = 8.9 \text{MPa}$ ,  $E_s = 7.7 \text{MPa}$ 。

**5.3.3** 对粉砂、细砂、中砂、粗砂进行了 19 组旁压与荷载板对比试验,计算荷载板试验的变形模量  $E_s$  和旁压剪切模量  $G_m$  列于说明表 5.3.3。变形模量转换系数  $K$  值的变化:粉~粉细~中~粗砂为 4.11~6.62~7.62~10.71,由粉砂到粗砂, $K$  值规律地从小到大。在同一类砂土中,扰动小的, $K$  值明显较小。

考虑到试验组数还较少,将砂类土分为粉细和中粗两个组,分别计算出保证率为 85% 的  $K$  值变化范围为:

粉细砂:3.66~7.06

中粗砂:6.81~11.23

本次规程编制提供 19 组对比试验资料,虽然规律性比较好,但数量上应该说是偏少的。在征求意见稿讨论会上与会代表认为资料很可贵,在目前的情况下对砂类土的  $K$  值不宜规定得过细,但可按粒径分组,便于使用,根据这些资料给出规程中表 5.3.3。

砂土荷载与旁压对比试验资料 说明表 5.3.3

顺 号	土类别	荷 载 试 验		旁压试验	$K=E_s/G_m$
		$\Delta P/\Delta S(\text{kPa})$	$E_s(\text{MPa})$	$G_m(\text{MPa})$	
1	粉砂	266	7.17	2.015	3.56
2	粉砂	331	8.24	2.182	4.10
3	粉砂	322	8.68	2.098	4.14
4	粉砂	227	13.40	2.884	4.65
5	粉细砂	321	12.70	1.954	6.50
6	粉细砂	215	5.80	1.086	5.34
7	粉细砂	467	12.59	2.086	6.04
8	粉细砂	486	13.09	1.525	8.58
9	中砂	1456	39.25	6.238	6.29
10	中砂	980	26.43	3.903	6.77
11	中砂	2062	55.59	7.647	7.27
12	中砂	1167	31.47	3.932	8.00
13	中砂	915	24.67	2.975	8.30
14	中砂	375	52.50	5.792	9.06
15	粗砂	308	8.31	0.975	8.52
16	粗砂	318	8.56	0.875	9.78
17	粗砂	598	16.13	1.460	11.05
18	粗砂	794	21.41	1.786	11.98
19	粗砂	206	5.54	0.454	12.20