

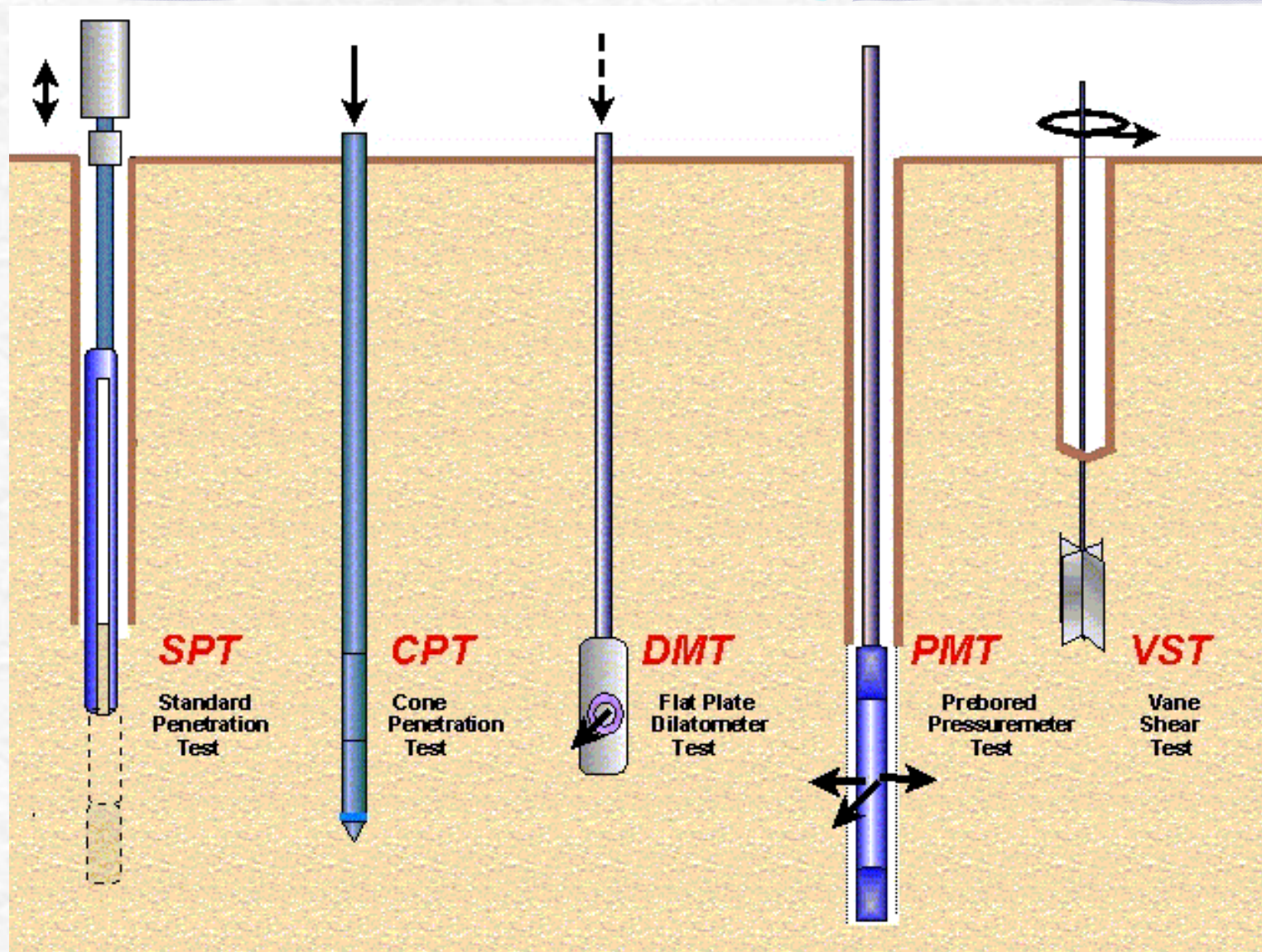
岩土工程原位测试与施工技术

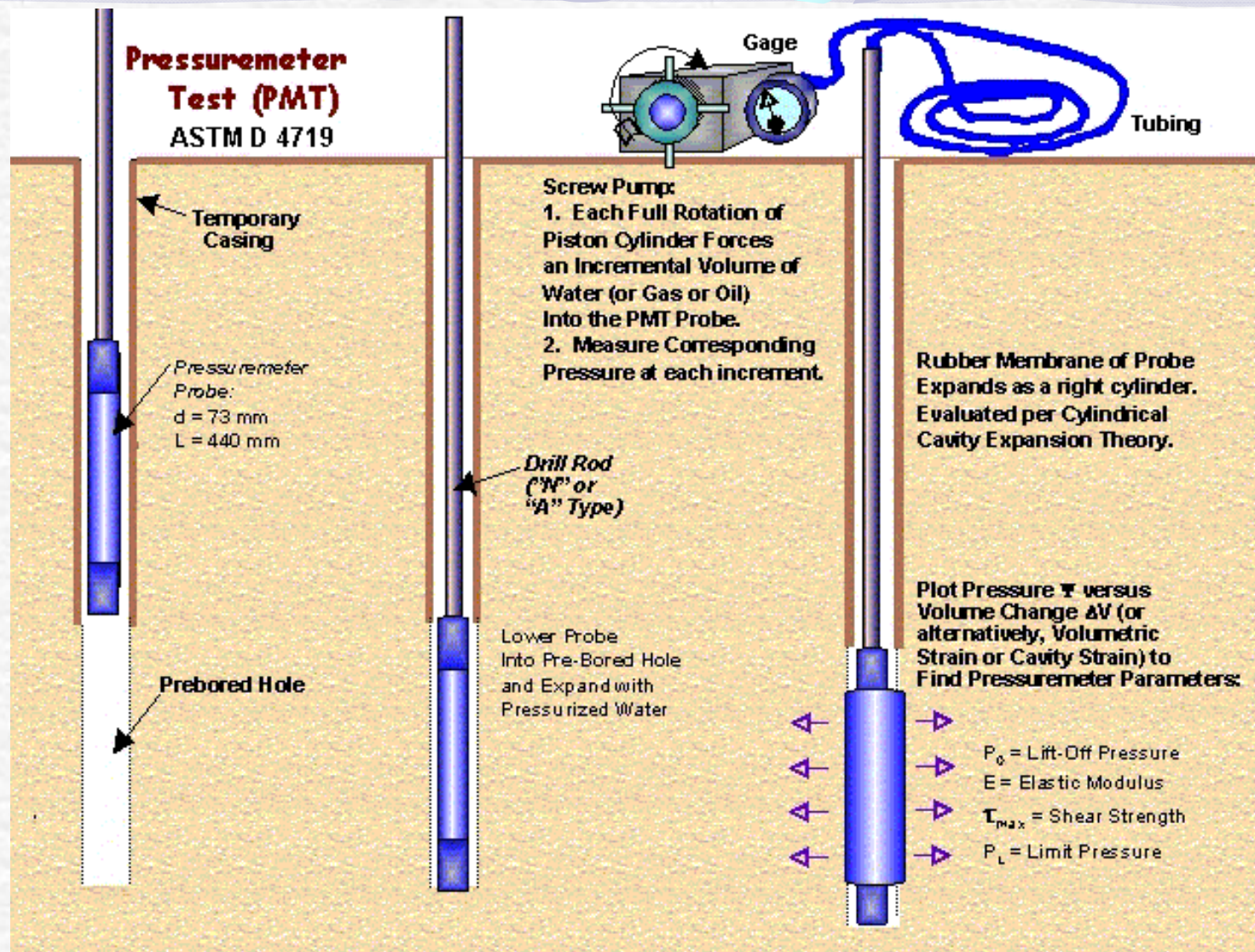
袁聚云

第十七章 旁压试验

第一节 概述

- 旁压试验（Pressuremeter Test，简称PMT）是工程地质勘察中的一种原位测试方法，也称横压试验。
- 试验原理是通过旁压器，在竖直的孔内使旁压膜膨胀，并由该膜将压力传给周围土体，使土体产生变形直至破坏，从而得到压力与扩张体积（或径向位移）之间的关系。根据这种关系对地基土的承载力（强度）、变形性质等进行评价。
- 旁压试验适用于粘性土、粉土、砂土、碎石土、极软岩和软岩等地层。
- 旁压试验按将旁压器放置在土层中的方式分为：
 - ◆ 预钻式旁压试验
 - ◆ 自钻式旁压试验
 - ◆ 压入式旁压试验





- ◆ **预钻式旁压试验**是事先在土层中预钻一竖直钻孔，再将旁压器下到孔内试验深度（标高）处进行旁压试验，预钻式旁压试验的结果很大程度上取决于成孔的质量。
- ◆ **自钻式旁压试验**是在旁压器的下端装置切削钻头和环形刃具，在以静力压入土中的同时，用钻头将进入刃具的土切碎，并用循环泥浆将碎土带到地面。钻到预定试验深度后，停止压入，进行旁压试验。
- ◆ **压入式旁压试验**又分为**圆锥压入式**和**圆筒压入式**。是用静力将旁压器压入指定的试验深度进行试验。压入式旁压试验在压入过程中对周围有挤土效应，对试验结果有一定的影响。
- ◆ 目前，国际上出现一种将旁压腔与静力触探探头组合在一起的仪器，在静力触探试验的过程中可随时停止贯入进行旁压试验，从旁压试验的角度，这应属于压入式。

第二节 试验基本原理

旁压试验可理想化为圆柱孔穴扩张课题，为轴对称平面应变问题。如图17-1所示，典型的旁压试验曲线(压力 p ~体积变化量 V 曲线或压力 p ~测管水位下降值 S)可分为三段：

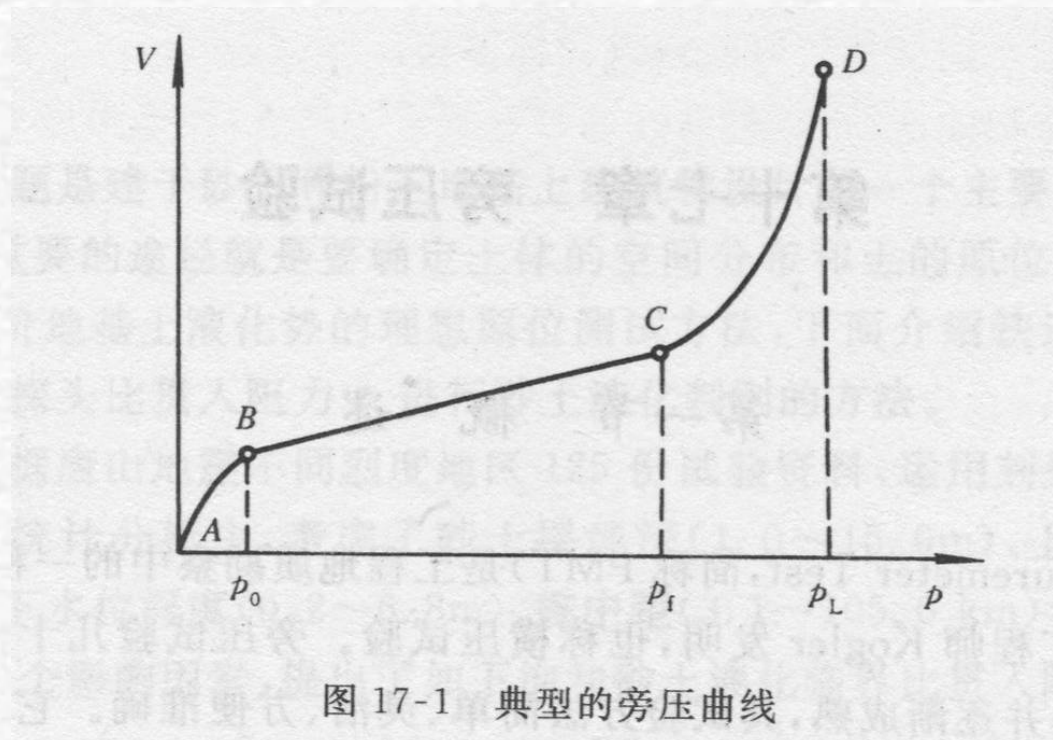


图 17-1 典型的旁压曲线

- I 段（曲线AB）：初步阶段，反映孔壁受扰动土的压缩；
- II 段（直线BC）：似弹性阶段，压力与体积变化量大致成直线关系；
- III 段（曲线CD）：塑性阶段，随着压力的增大，体积变化量逐渐增加，最后急剧增大，达到破坏。
- I—II 段的界限压力相当于初始水平压力 p_0 ；
- II—III 段的界限压力相当于临塑压力 p_f ；
- III 段末尾渐近线的压力为极限压力 p_L 。

➤ 依据旁压曲线似弹性阶段（BC段）的斜率，由圆柱扩张轴对称平面应变的弹性理论解(拉梅Lame方程)，可得旁压模量 E_M 和旁压剪切模量 G_M 。

从拉梅(Lame)方程得到旁压剪切模量 G_M 为

$$G_M = \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

在弹性介质中，剪切模量 G 与杨氏模量 E 的关系为 $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$
从而有

$$E_M = 2 \cdot (1 + \mu) \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

式中： μ 为土的泊松比； V_c 为旁压器的固有体积；
 V_0 为与初始压力 p_0 对应的体积； V_f 为与临塑压力 p_f 对应的体积；
 $\Delta p/\Delta V$ 为直线段的斜率。

第三节 试验仪器设备

旁压试验所需的仪器设备主要由旁压器、变形测量系统和加压稳压装置等部分组成。现以预钻式型旁压仪为例介绍如下。

一、旁压器

➤ 又称旁压仪，是旁压试验的主要部件，整体呈圆柱形状，内部为中空的优质铜管，外层为特殊的弹性膜。

➤ 右图为PM-1旁压器实物图，图17-2所示为PM-1型旁压器的结构原理图，其主要技术指标见表17-1。



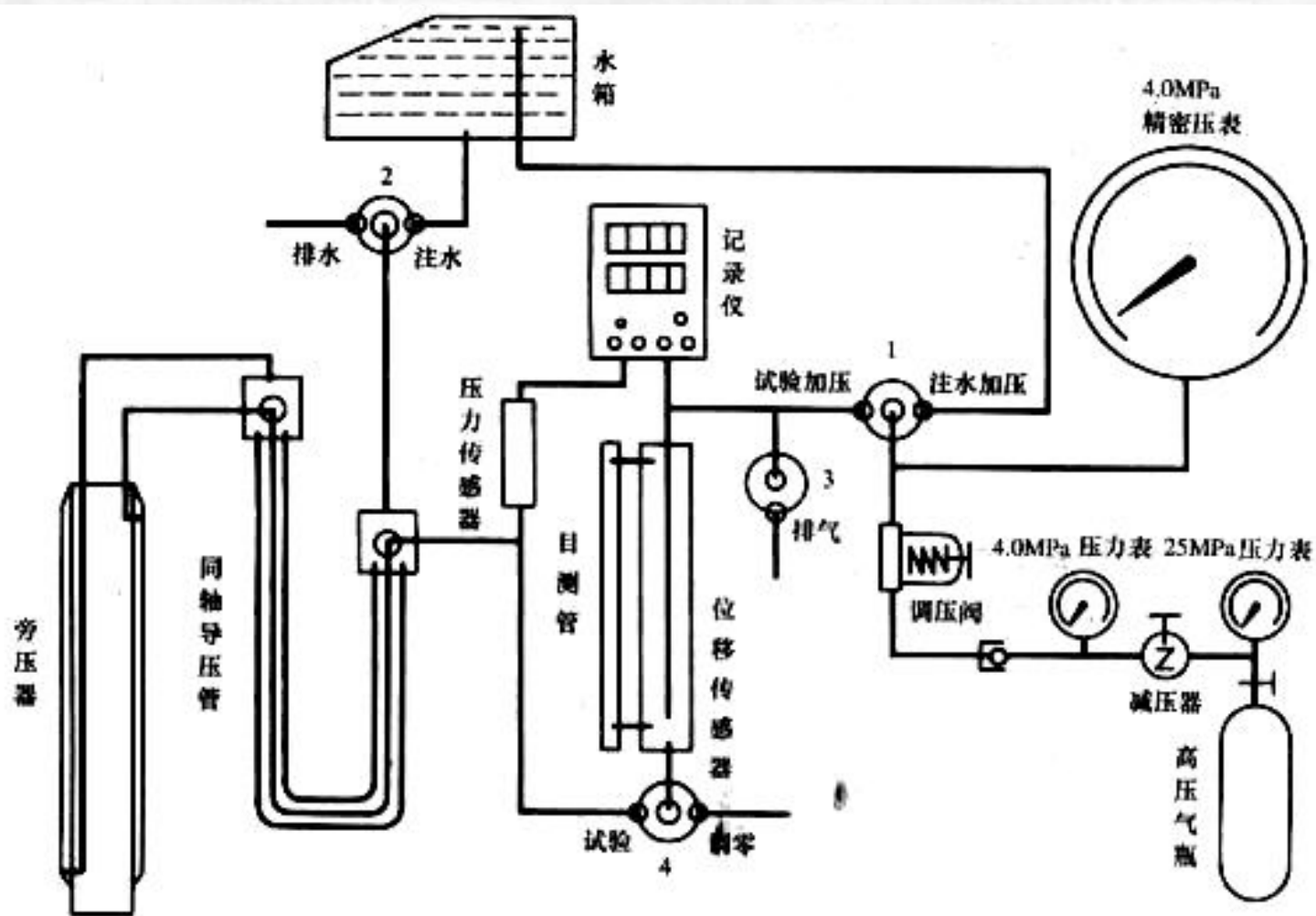


图 17-2 PM-1 型旁压仪系统原理图

二、变形测量系统

- 由不锈钢储水筒、目测管、位移和压力传感器、显示记录仪、精密压力表、同轴导压管及阀门等组成。
- 向旁压器注水、加荷，测量、记录旁压器在受压下的径向位移，即土体变形。
- 精密压力表和目测管是在自动记录仪有故障时应急使用。

三、加压稳压装置

- 由高压储气瓶、精密调压阀、压力表及管路等组成。
- 在试验中向土体分级加压，并在试验规定的时间内自动精确稳定各级压力。

第四节 技术要求与试验方法

一、试验前准备工作

- 1.向水箱注满蒸馏水或干净的冷开水，旋紧水箱盖。
- 2.连通管路。用同轴导压管将仪器主机和旁压器连接，并连接好气源导管。
- 3.向旁压器注水。将旁压器竖直于地面，打开高压气瓶阀门并调节其上减压器，使其输出压力为0.15MPa左右，当水上升至目测管“0”刻度时停止。在此过程中，应不断晃动拍打导压管和旁压器，以排出管路中滞留的空气。
- 4.调零。把旁压器垂直提高，使其测试腔的中点与目测管“0”刻度相起平，将阀4旋至调零位置，使目测管水位逐渐下降至“0”位时，随即关闭阀4，将旁压器放好待用。
- 5.检查传感器和记录仪的连接等是否处于正常工况，并设置好试验时间标准。

二、仪器校正

试验前，应对仪器进行弹性膜（包括保护套）约束力校正和仪器综合变形校正：

➤ 弹性膜约束力校正方法是：将旁压器竖立地面，使其自由膨胀。压力增量采用10 kPa，按1 min的相对稳定时间，测记压力及水位下降值，并据此绘制弹性膜约束力校正曲线图，如图17-3所示。

➤ 仪器综合变形校正方法是：联接好合适长度的导管，注水至要求高度后，将旁压器放入校正筒内，在旁压器受到刚性限制的状态下进行。压力增量为100 kPa，逐级加压至800 kPa以上后终止。各级压力下的观测时间等均与正式试验一致。根据所测压力与水位下降值绘制其关系曲线，曲线应为一斜线，如图17-4所示。

三、预钻成孔

- 钻孔孔径根据土层情况和选用的旁压器外径确定，一般要求比所用旁压器外径大2~3毫米为宜，不允许过大。
- 钻孔深度应以旁压器测试腔中点处为试验深度。
- 旁压试验的可靠性关键在于成孔质量的好坏，钻孔直径应与旁压器的直径相适应。孔径太小，将使放入旁压器发生困难，或因放入而扰动土体；孔径太大则会因旁压器体积容量的限制而过早的结束试验。
- 试验必须在同一土层，否则不但试验资料难以应用，且当上下两种土层差异过大时会造成试验中旁压器弹性膜的破裂，导致试验失败。
- 钻孔中取过土样或进行过标贯试验的孔段，由于土体已经受到不同程度的扰动，不宜进行旁压试验。

四、试验

➤ 涉及旁压试验的规程规范主要有：

- ◆ JGJ69-90 PY型预钻式旁压试验规程
- ◆ YSJ224 - 91 预钻式旁压试验规程
- ◆ YBJ23 - 91 预钻式旁压试验规程
- ◆ BKB03 - 93 工程地质原位测试规程
- ◆ TB10046 - 96 铁道工程地基土旁压试验规程
- ◆ SL237-1999 水利标准土工试验规程
- ◆ GB50021 - 2000 岩土工程勘察规范
- ◆ YS 5224-2000 有色冶金工业工程旁压试验规程

➤ 压力增量建议选取预估临塑压力 p_f 的 $1/5 \sim 1/7$ ，或按表17-2确定。

四、试验

➤ 各级压力下的观测时间，可根据土的特征等具体情况，采用1分钟或2分钟，按下列时间顺序测记测量管的水位下降值 S 。

◆ 观测时间为1分钟时：15s、30s、60s；

◆ 观测时间为2分钟时：15s、30s、60s、120s。

➤ 接通记录仪电源开关，用钻杆（或连接杆）连接好旁压器，将旁压器小心地放置于试验位置。此时，旁压器内产生静水压力 p_w ，该压力即为试验的第一级压力。

➤ 按预定压力增量和时间进行加压和记录。

➤ 当测管水位下降接近40厘米时或水位急剧下降无法稳定时，应立即终止试验，以防弹性膜胀破。

第五节 试验资料整理与分析

一、试验资料整理

➤ 在试验资料整理时，应分别对各级压力和相应的扩张体积（或径向增量）进行约束力和体积校正。

◆ 1.按式(17-3)进行约束力校正：

$$p=p_m+p_w-p_i \quad (17-3)$$

$$p_w=\gamma_w(H+Z) \quad (17-4)$$

式中： p 为校正后的压力； p_m 为显示仪测记的该级压力的最后值； p_w 为静水压力； H 为测管原始“0”位水面至试验孔口高度； Z 为旁压试验深度； γ_w 为水的重度； p_i 为弹性膜约束力，由弹性膜约束力校正曲线查得。

- ◆ 2. 按式(17-5)或式(17-6)进行体积(测管水位下降值)的校正:

$$V=V_m - \alpha(p_m+p_w) \quad (17-5)$$

$$S=S_m - \alpha(p_m+p_w) \quad (17-6)$$

式中: V 、 S 分别为校正后体积和测管水位下降值;
 V_m 、 S_m 为 (p_m+p_w) 所对应的体积和测管水位下降值;
 α 为仪器综合变形系数(由综合校正曲线查得)。

➤ 3. 绘制旁压曲线

用校正后的压力 p 和校正后的测管水位下降值 S , 绘制 $p \sim S$ 曲线, 即旁压曲线。

二、试验成果分析

旁压试验可以用于确定：

- ◆ 土的临塑压力，以评定地基的承载力；
- ◆ 静止土压力系数；
- ◆ 土的旁压模量和旁压剪切模量，用以估算土的压缩模量和剪切模量；
- ◆ 估算软粘土不排水抗剪强度；
- ◆ 估算地基土强度、单桩承载力和基础沉降量等。

➤ 1. 原位侧向压力 p_0 的确定

- ◆ 延长旁压曲线的直线段与纵轴相交，其截距为 V_0 或 S_0 ，
- ◆ V_0 或 S_0 所对应的压力即为原位侧向压力 p_0 ，如图 17-6 所示。

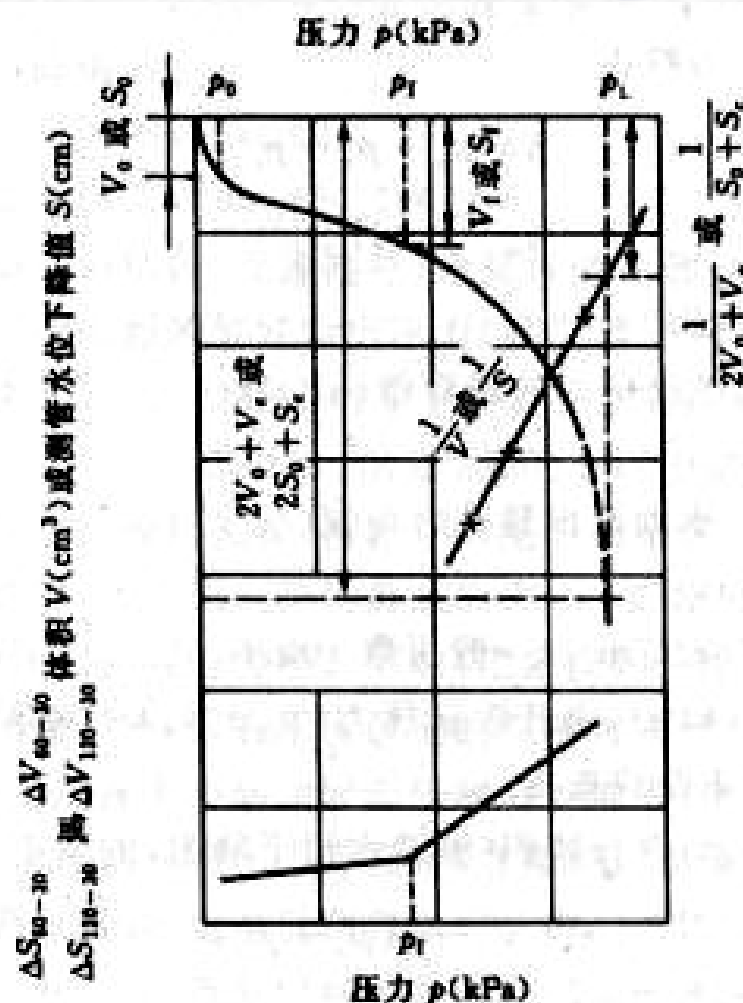


图 17-6 旁压曲线

➤ 2. 临塑压力 p_f 的确定:

根据旁压曲线, 有两种确定方法:

- ◆ (1) 直线段的终点对应的压力值为临塑压力 p_f , 见图17-6。
- ◆ (2) 可按各级压力下30 ~ 60秒的体积增量 ΔS_{60-30} (即 ΔV_{60-30}) 或30~120秒的体积增量 ΔS_{120-30} (即 ΔV_{120-30}) 与压力的关系曲线辅助分析确定, 如图17-6所示。

➤ 3. 极限压力 p_L 的确定:

根据如图17-6所示旁压曲线, 极限压力 p_L 有两种确定方法。

◆ (1) 手工外推法

凭眼力将曲线用曲线板加以延伸且与实测曲线光滑自然地连接, 取 $2S_0 + S_c$ 所对应的压力为极限压力 p_L 。

◆ (2) 倒数曲线法

把临塑压力 p_f 以后曲线部分各点的水位下降值 S , 取倒数 $1/S$ 与所对应的压力 p 作关系曲线, 此曲线为一近似直线。在直线上取 $1/(2S_0 + S_c)$ 所对应的压力为极限压力 p_L 。

三、试验成果应用

➤ 1. 确定承载力标准值 f_k

$$f_k = p_f - p_0 \quad (17-7)$$

p_0 可根据地区经验, 通过式(17-8) 采用计算法确定, 也可采用作图法确定。

$$p_0 = K_0 \gamma Z + u \quad (17-8)$$

$$u = \gamma (Z - h_w)$$

➤ 2. 计算地基土的旁压模量 E_m

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(S_c + \frac{S_o + S_f}{2} \right) \left(\frac{p_f}{S_f - S_o} \right)$$

➤ 3.地基土的压缩模量 E_s 、变形模量 E_0 以及其他土力学指标可由地区经验公式确定。式(17-11)~式(17-16)

➤ 4.估算土的侧向基床系数 K_m

根据旁压试验确定的初始压力 p_0 和临塑压力 p_f ，采用下式估算地基土的侧向基床系数。

$$K_m = \Delta p / \Delta R \quad (17-17)$$

式中： $\Delta p = p_f - p_0$ ； $\Delta R = R_f - R_0$ ， R_f 和 R_0 分别为对应于临塑压力与初始压力的旁压器径向位移。