

电测静力触探

同济大学工程地质及水文地质教研室 编

583

中国建筑工程出版社

电测静力触探

同济大学工程地质及水文地质教研室 编

中国建筑工业出版社

电测静力触探是在把金属探头压入土中的过程中，用电阻应变仪或自动记录仪量测和记录土对探头的阻力的一种原位测试技术。本书从静力触探中的力学基础和电学原理这些基本知识讲起，通俗易懂地介绍了探头的结构、制造要求和率定，电阻应变仪和电子电位差计的原理，静力触探仪的构造以及操作方法，并对资料整理工作及如何作出场区的工程地质评价作了详细介绍。

本书可供从事工程地质勘察、土建设计的工人、技术人员参考。

电 测 静 力 触 探

同济大学工程地质及水文地质教研室 编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：4 9/16 字数：102 千字

1977年12月第一版 1977年12月第一次印刷

印数：1— 7 496 册 定价：0.30 元

统一书号：15040·3413

前 言

电测静力触探是利用电阻应变仪或电子电位差计对地基土进行原位测试的一项先进的勘察技术,它为逐步摆脱钻探、取样、土工试验这样一些烦琐工序,开辟了一条新的途径。

勘察测试工作向自动化、电子化方向发展,是最近二、三十年来的新技术。六十年代初,在伟大领袖毛主席亲自发动的群众性的设计革命运动的推动下,我国一些勘察单位,如华北勘察院(原建筑工程部综合勘察院)开始探索电测静力触探新技术,在一九六五年自行设计制造了电阻应变式静力触探仪,受到了普遍重视。伟大的无产阶级文化大革命运动以来,勘察战线上过去推大磨、满身泥巴的钻探工人在大庆精神的鼓舞下,掀起了一个群众性的技术改造运动,勘察技术不断改进,勘察设备不断革新,触探技术得到普遍推广,电测静力触探也得到了进一步的发展与应用,如铁道部第三设计院、武汉地区静力触探试验联合小组等单位作了大量工作,使勘察工作出现了一个新的局面。

为普及电测静力触探技术,我们曾举办过几期短训班,并编写了这本小册子。编写过程中,得到了上海勘察院、华东电力设计院勘察室、轻工业部第二设计院、华北勘察院等单位的热情支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于我们的理论水平和实践经验有限,难免有不少缺点和错误,欢迎同志们批评指正。

一九七七年五月

目 录

前言

第一章 静力触探的物理基础.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 静力触探中的力学基本知识.....	2
第三节 静力触探中的电学原理.....	9
第二章 探头——土层阻力传感器.....	24
第一节 探头的工作原理.....	24
第二节 探头的结构.....	31
第三节 电阻应变片.....	38
第四节 探头的加工制造.....	44
第五节 探头的率定.....	50
第三章 量测记录仪器.....	58
第一节 电阻应变仪.....	58
第二节 电子电位差计——自动记录仪.....	65
第三节 量测仪表的抗干扰及故障排除.....	70
第四章 静力贯入系统.....	77
第一节 加压装置与反力装置.....	77
第二节 静力触探仪.....	78
第五章 现场操作.....	83
第一节 试验前的准备工作.....	83
第二节 野外操作.....	87
第六章 资料整理与应用.....	91
第一节 触探孔的布置.....	91

第二节	单孔资料整理.....	93
第三节	场区的工程地质评价	112
第四节	回归分析.....	129

第一章 静力触探的物理基础

第一节 概 述

静力触探是工程地质勘察中的一种原位测试方法，是一项新的勘探技术。它是利用电测的原理来确定土的力学性质，与常规的勘察手段比较，有它独特的优越性。一般在进行工程地质勘察时，都要钻探，取出土样做土工试验，确定各层土的物理力学指标，研究它的工程性质，作出地基土的综合评价，为设计人员确定基础类型、埋深以及建筑物的变形计算提供必要的依据。由于取出的土样，在取土、运输、试验过程中容易被扰动，影响试验成果，而且勘察周期长，不能适应生产发展的需要。而采用静力触探可以在现场直接测得土的贯入阻力的指标，了解地层处于原位时的各种力学性质，具有勘察效率高，资料准确，能缩短勘察周期，减轻劳动强度等优点，并且可以较好地解决桩基勘察问题。例如判定土层的均匀性，选择桩基持力层，为桩长设计提供依据。根据土的贯入阻力和侧壁摩阻力，预估单桩承载力，这些正是常规勘察手段所不能解决的问题。但是静力触探也还存在一些缺陷，它适用于松软土地区，对碎屑类土不太适用，而且其本身还有不少问题有待进一步研究，例如触探机理问题，地基承载力的深度修正问题，静力触探对不同地区、不同成因土的影响问题等。目前，有些问题还需要做许多试验研究工作。因此，在生产中运用时，应与钻探相配合，以期取得良好的结果，并为广泛使用静力触探创造条件。

静力触探是一种什么样的勘察设备呢？静力触探主要由两部分组成。

一是贯入系统——由加压装置及反力装置组成。主要作用是将装有传感器的触探头(以下简称探头)压到土层中去。

二是量测系统——由装在探头中的土层阻力传感器与量测记录仪表组成。主要作用是将土层的贯入阻力通过电测原理将它反映和记录下来。

静力触探的工作过程是用静力将探头压到土层中去。在贯入过程中，由于埋藏在地层中的各种土的物理力学性质不一样，因此，探头遇到的阻力也不一样。有的土软，阻力就小；有的土硬，阻力就大。土的软、硬正是土的力学性质的一种表现。所以，贯入阻力是从一个侧面反映了土的强度。根据这样一种内部联系，我们利用探头中的阻力传感器，将贯入阻力通过电子量测记录仪表把它反映和记录下来。利用贯入阻力与土的强度之间存在的一定关系，确定土的力学指标，划分土层等。这样，就可以不取土样，达到了解土的工程性质的目的。

静力触探和标准贯入、十字板剪力仪比较，有个明显的优点，即它把反映阻力的传感元件（电阻片）放在探头里面，因此，不受触探杆长度的影响。

为了说明探头中阻力传感器的工作原理，必须先介绍一些力学原理和电的基本概念。

第二节 静力触探中的力学基本知识

一、外力与内力

在日常生活和生产劳动中，经常可以体会到力这个概

念。例如，推车子要用力，不然车子不会动，车子所以会动，是因为人用力推它的结果。井里的水要提上来，就要用力提水桶，这时，手上感觉很沉重。通过对周围事物的观察体验，我们得到一个概念：力就是一个物体对另一个物体的作用。而且，力是成对出现的，有作用力，就一定有反作用力。正象探头压入土中，

对土有一个作用力（压力），土对探头贯入产生一个反作用力（阻力）。无论是作用力，还是反作用力，都称为“外力”。因为，它不是由物体内部产生的，而是物体与物体相互作用引起的。

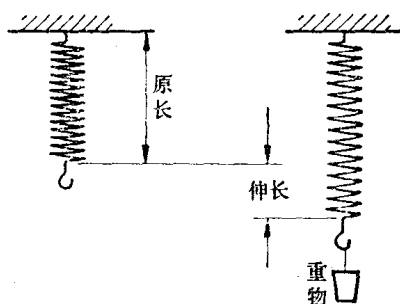


图 1-1 弹簧的拉伸

当物体受到外力作用以后，物体的形状就会发生改变，这就叫做变形。例如，用力拉弹簧，弹簧就会伸长(图1-1)。即使钢板、石块受力以后，也会产生形状改变，只不过这种改变眼睛不容易看出来。

当外力使物体发生变形的同时，物体内部分子之间就伴随着产生一种抵抗力，这种抵抗力就叫做内力。如把弹簧拉长，弹簧内就会产生内力，抵抗使物体产生变形的**外力**；并且力图恢复原来的形状和尺寸。因此，外力越大，物体的变形也越厉害，从而物体所产生的内力也就越大。一般说来，外力一去掉，内力也就没有了。内力总是与外力维持平衡的，即内力与外力大小相等，方向相反（图1-2）。

内力是随着外力的加大而增加，但是，对于任一种材料来说，内力的增加是有一定限度的，超过了这个限度，物体

就无法抵抗外力的作用，就要破坏，这个限度称为强度。

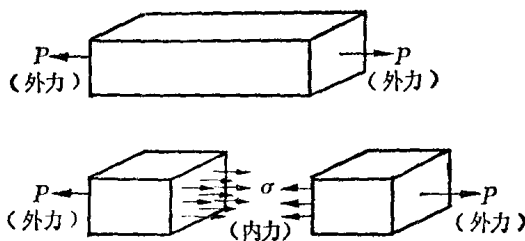


图 1-2 外力与内力

二、应力与应变

为了判定某种材料会不会破坏，只知道内力大小是不够的。如果有一根铁丝和一根铁棒，都用1000公斤力去拉伸它们，结果铁丝拉断，铁棒不断。因为铁丝截面小，铁棒截面大。所以，会不会破坏，与截面积大小有很大关系。应该用单位截面积上内力的大小为依据，这个单位面积上内力的大小叫做应力。用公式来表示，可写成如下形式：

$$\text{应力} = \frac{\text{内力}}{\text{截面积}}$$

根据内力与外力平衡的道理，也可写成：

$$\text{应力} = \frac{\text{外力}}{\text{截面积}}$$

通常，我们用字母 P 代表外力，单位为公斤；用 F 表示截面积，单位为厘米²；再用字母 σ 代表应力^①，单位为公斤/厘米²。这样，应力的公式可改写成：

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (1-1)$$

① σ 为希腊字母，读作“西格马”。

例如，有一根短圆钢，其直径为3.57厘米，截面积是10厘米²，受到10吨压力，其应力

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{10\text{吨}}{10\text{厘米}^2} = \frac{10 \times 1000}{10} = 1000\text{公斤/厘米}^2$$

这就告诉我们，在圆钢上每平方厘米横截面积上受有1000公斤内力。

当我们拉弹簧时，如果用力不是很大，那么，放手以后，弹簧能恢复原状。这种除去外力以后，完全恢复原状的性质，叫做弹性。具有弹性的物体叫弹性体。不论是钢或者是土，只要外力不超过一定数值，都有这种性质。如果超过一定限度，就不能完全恢复原状，只能部分恢复。恢复的这部分变形，叫弹性变形；另一部分不能恢复的变形，叫塑性变形。这个限度叫做弹性限度。

由实验可以看出：在同样的拉力（压力）作用下，杆件长一些的，它的伸长（缩短）也就多一些。这说明杆件的绝对伸长（压缩） Δl 是与杆件的原长 l 有关系^①。所以杆件伸缩的衡量应该用杆件每单位长度的伸长（缩短）来表示。这个每单位长度所产生的伸长（缩短），叫做单位伸长（缩短），又叫做相对变形或应变，用 ε 来表示^②。所以

$$\varepsilon = \frac{\text{总伸长(缩短)}}{\text{原长}} = \frac{\Delta l}{l} \quad (1-2)$$

为计算方便，有时要采用微应变，用符号 $\mu\varepsilon$ 表示^③，

$$\text{即 } 1\mu\varepsilon = \frac{\varepsilon}{1000000}。$$

① Δ 为希腊字母，读作“得尔塔”。

② ε 为希腊字母，读作“衣普西龙”。

③ μ 为希腊字母，读作“米尤”。

三、虎 克 定 律

把一根金属棒放到压力机上去拉伸，金属棒在受力以后，就要产生变形。通过实验，我们得到了一张拉力与变形的关系图，即拉伸图（图 1-3）。从图中可以看出，在 e 点以前，伸长变形 Δl 与拉力大小 P 成正比。也就是说力增加一倍，变形也增加一倍。超过 e 点，这个比例关系就破坏了。如继续增加拉力，变形增加得比拉力快，曲线开始弯曲，甚至发展到几乎成水平。这表示虽然拉力没有增加，而金属棒本身还在伸长。

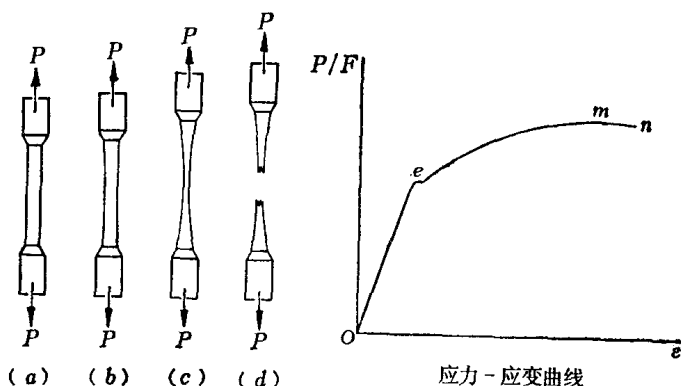


图 1-3 金属棒拉伸变形及应力与变形关系图

(a) 当 P 远小于钢的抗拉强度时，变形不显著；(b) 当 P 增大时，变形按比例增大，如应力-应变曲线中 Oe 段；(c) 当 P 增大超过钢的抗拉强度时，变形大幅度增加，应力与应变不成比例，试件的断面 F 显著缩小，如应力-应变曲线中 em 段；(d) 当 P 继续增加，超过 m 点时，应变增加比应力增加快，至 n 点时，试件断裂

拉伸图上直线段即表示材料处在弹性阶段。

通过实验，我们还知道，在同样的外力 P 作用下，杆件的绝对伸长 Δl 与杆长 l 成正比，但与杆件截面积 F 成反比。

综合以上实验结果，可以得出下面结论：在弹性限度内，杆件的绝对伸长 Δl 与拉力 P 及杆长 l 成正比，而与横截面面积 F 成反比。用公式表示，即为

$$\Delta l \propto \frac{Pl}{F}$$

写成等式，只要乘一个比例常数 E 就行，即

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} \quad (1-3)$$

这一关系式，通常称为虎克定律。

变换公式(1-3)得到

$$\frac{\Delta l}{l} E = \frac{P}{F}$$

由于 $\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon$ ， $\frac{P}{F} = \sigma$ ，因此又可写成如下形式，即

$$\sigma = E \varepsilon \quad (1-4)$$

公式(1-4)表示在弹性限度内，应力与应变成正比。虎克定律同样适用于弹性体压缩的情形。

公式(1-3)和(1-4)中的比例常数 E ，又叫做材料的弹性模量，单位是公斤/厘米²。由公式可知， E 值越大，杆件的伸长（或压缩）就愈小。即抵抗变形的能力愈强。

四、剪 切

为了说明剪切的观念，我们举一个例子，有一叠纸放在桌上，用手在顶面沿着水平方向一推，这叠纸就歪斜了，这就是剪切变形。如图1-4中所看到的。



图 1-4 沿水平方向推纸堆

在工程实践中，有一些构件也会遇到类似情况。例如，钻机上有的连接螺栓受到一对相距很近、大小相等、方向相反

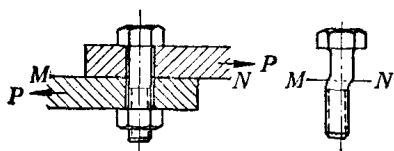


图 1-5 螺栓受剪

的力作用时，也要产生剪切变形（图 1-5），截面 MN 附近的变形就是这样。由此可知，剪切变形是由于在两力作用线之间的截面沿作用力方向发

生相互滑动所致。这种使截面发生相互滑动的力就叫做剪力。既然剪力能使截面发生相互滑动，那么，物体在这个滑动面（叫受剪面）上就要产生内力以抵抗这种滑动，我们把受剪面上的内力叫做剪应力（图 1-6）。它是分布在发生滑动的截面上，这与垂直于截面的正应力是不相同的。

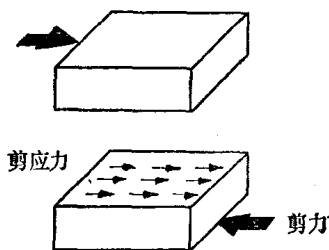


图 1-6 截面上剪应力

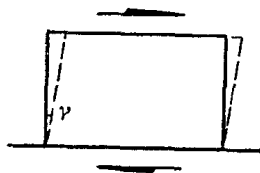


图 1-7 剪切变形

由图1-7可以看到，剪切变形的特征就是歪斜，这种歪斜对于受剪面的尺寸并没有什么改变，仅仅是转动一个角度 γ ①。这个角度表示出歪斜程度，称为相对剪切（或剪应变）。习惯上用 τ 来表示剪应力②。并假定剪应力是沿着截

① γ 为希腊字母，读作“嘎马”。

② τ 为希腊字母，读作“陶”。

面上均匀分布的。以 P 表示剪力， F 表示受剪面积，则剪应力可用下列公式来计算：

$$\tau = \frac{P}{F} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (1-5)$$

最后应指出，虎克定律也同样适用，即剪应力 τ 也是跟相对剪切变形 γ 成正比的，即

$$\tau = G\gamma \quad (1-6)$$

式中 G —— 剪切弹性模量。

第三节 静力触探中的电学原理

随着勘察技术的发展，越来越广泛地应用电和电子技术。正如毛主席指出的：“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。”我们要运用电，就得了解电。

一、电路中的三个基本量——电流、电位、电阻

(一) 电 流

电路中的电流是不能直接看到的，但是当电灯发光、电动机转动时，我们就间接地知道了电流是客观存在着。通过科学实验，我们知道电流的形成是由于带电粒子（如带负电的电子或带正电的离子）在金属导线中作定向运动的结果（图 1-8）。流经电路的电流大小称为电流强度。

表示电流强度的符号为 I 。电流的单位是安培 (A)，简称安。有时嫌这个单位太大，常用毫安 (mA) 和微安 (μA) 作为单位。它们与安培的换算关系如下：

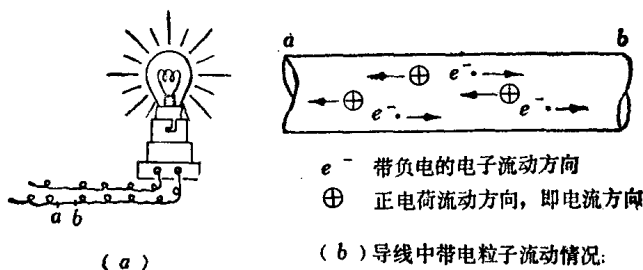


图 1-8 电流

$$1\text{安培}(A) = 1000\text{毫安}(mA)$$

$$1\text{毫安}(mA) = 1000\text{微安}(\mu A)$$

电流有正、负方向之分，一般规定电流方向是由电流正极流向负极，实际上电子运动的方向刚好相反，是由负到正。

电流分为直流电和交流电两种，电流正、负方向不随时间变化的称为直流电。如干电池、蓄电池、直流发电机所产生的电流都是直流电。如果电流的方向、大小随时间作周期性变化的称为交流电。发电厂生产的动力用电、照明用电都是交流电。

由图 1-9 可看到，如果将交流电接入示波器，在示波器上看到的电压波形是周期性变化的。如接入直流电，所看到的电压波形是一条直线，表示直流电的电压不随时间变化。同样，还可用实验方法，从电表上看到交流电的电流方向是随时间周期性地变化的。

如何测出电路中的电流呢？只要在电路中串接一个电流表，即可知道电路中流经负载的电流强度（图 1-10）。如果用万用电表代替电流表测量电路中的电流，一定要将万用电表上的旋钮拨到电流挡，具体量程根据万用电表所刻量程，但必须事先了解测量的电流是交流电还是直流电。交流

电用交流电表，如用直流电表要烧坏。有的万用电表没有交流电流挡，则不能用来测交流电的电流强度。

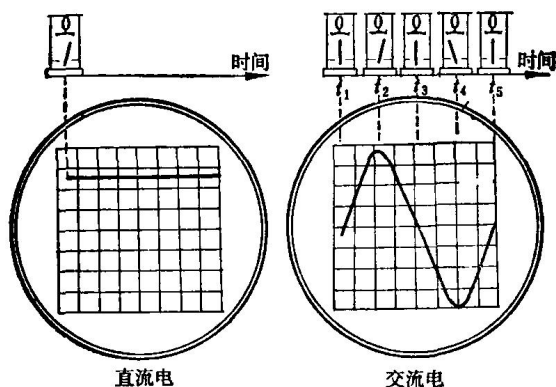


图 1-9 直流电与交流电波形图

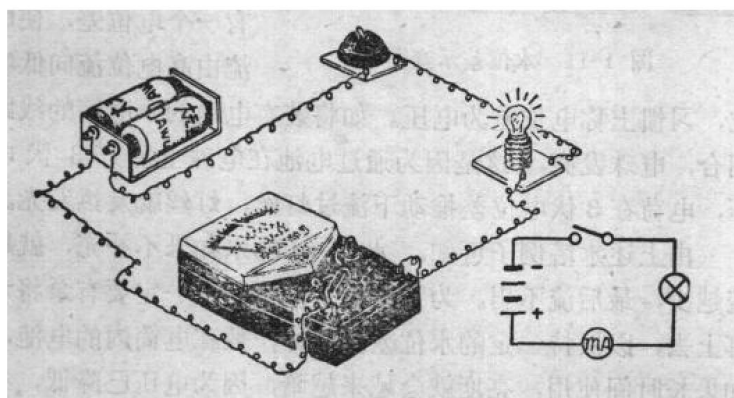


图 1-10 电流测量示意图

(二) 电位及电位差

我们知道，水是从高处向低处流的。这是因为高处的水与低处的水有一个水位差。例如图1-11所示，如水塔中有