

唐贤强 叶启民 编

静力触探

中国铁道出版社

静 力 触 探

唐 贤 强 叶 启 民 编

周 镜 校



中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

内 容 提 要

本书系根据静力触探经验及国内外有关资料编写的。前半部分介绍静力触探仪的构造、工作原理和量测系统等；后半部分详细阐述了触探理论和应用，包括浅基承载力、桩基承载力、地基沉降、软土抗剪强度、黄土的湿陷性及砂土地基液化等原位测试成果资料，并有分析的加以运用。可供从事工程地质、地基基础及土工试验研究人员学习参考。

静 力 触 探

唐贤强 叶启民编

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：9.75 插页：2 字数：194千

1981年7月 第1版 1981年7月 第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：1.05元

前 言

静力触探是一种先进的工程地质现场勘察测试技术，在我国已进入广泛应用和迅速发展阶段，在各项基本建设的勘察工作中显示出效率高、质量好、成本低、用途广的优越性。多年来各从事静力触探的单位，都在生产和科研实践中，不断地丰富着这项工作的经验和理论。铁路系统各勘测设计单位已普遍将静力触探应用到生产中，并迫切期望这项技术能尽快的标准化。

本书是在我国铁路工程中使用静力触探的经验基础上，参阅了国内外有关这方面的成果编写而成，旨在对静力触探的理论和应用作出较详细的阐述，供从事静力触探的同志参考和使用。以期促进这项工作的发展。

本书由铁道部第三勘测设计院唐贤强、叶启民、庞瑞珂、朱祖时、熊庆岗共同编写。其中第一、五、七、九章由叶启民执笔；第二章由朱祖时执笔；第三章由庞瑞珂执笔；第四、六、八章由唐贤强执笔；熊庆岗参加部分章节的编写工作。全书由唐贤强和叶启民主编。叶宗荣、高斌庆和路绍武等同志提出了宝贵的修改意见。最后由铁道部科学研究院周饒同志审校并做了许多补充。

本书编写过程中得到了王钟琦、庄普、谢瑛等路内外许多同志的支持和帮助。在此，表示衷心的感谢！

编 者

1980年

目 录

第一章 静力触探概述	1
第一节 静力触探的基本知识	1
一、触探及其分类	1
二、静力触探的探头及阻力计算公式	1
三、静力触探的基本原理	3
第二节 静力触探的特点及发展概况	10
一、静力触探的特点	10
二、静力触探在国外的发展	11
三、静力触探在我国的发展	13
第二章 我国的静力触探仪	15
第一节 人力给进的静力触探仪	15
第二节 机械传动静力触探仪	18
第三节 液压传动静力触探仪	22
第四节 水上静力触探仪	30
第三章 液压静力触探仪的构造与设计	36
第一节 加压及锚定系统	37
第二节 动力及传动系统	44
第三节 油路系统的设计	48
第四章 静力触探的量测系统	55
第一节 探头的构造及贴片工艺	55
一、探头的构造	55
二、传感器的设计及其质量要求	61
三、电阻应变片在传感器上的布置	65
四、提高传感器灵敏度中的几个问题	69
五、贴片工艺	72
六、测量桥路的温度补偿和零点补偿	75
七、探头的率定	80
第二节 量测仪器	81
一、YJD-1型电阻应变仪	82
二、静力触探自动记录仪	89

第五章 现场操作及资料整理	97
第一节 现场操作	97
一、准备工作	97
二、操作和记录	99
三、操作注意事项	100
第二节 资料整理	101
一、原始记录的整理	101
二、成果资料的编制	105
第六章 静力触探的机理	108
第一节 实验结果	108
一、均质砂土中的实验结果	108
二、多层土中的实验结果	116
三、在粘土中的实验结果	121
第二节 几种理论	121
一、刚塑性理论	125
二、空洞膨胀理论	127
三、混合理论	129
四、Genoble的理论	130
第三节 影响贯入阻力的几个因素	135
一、贯入速度的影响	135
二、探头面积的影响	139
三、探头形式的影响	140
第七章 用静力触探确定浅基承载力的方法	146
第一节 浅基承载力的确定方法	146
第二节 国外静力触探确定浅基承载力的方法	151
一、德别尔法	151
二、梅耶霍夫公式	152
三、经验公式	155
四、苏联规范地基承载力表	156
第三节 我国静力触探确定浅基承载力的经验公式	158
一、粘性土经验公式	160
二、砂性土经验公式	161
三、黄土经验公式	172
四、红土经验公式	174
第四节 铁道部第三设计院经验公式	176

一、铁道部第三设计院经验公式的建立和几点说明	176
二、铁三院公式在生产实践中的使用情况	180
三、铁三院公式的改进	182
第五节 小结	183
第八章 用静力触探确定桩基承载力	187
第一节 确定单桩承载力的方法	187
一、桩的静荷载试验	187
二、桩的动力试验	188
三、静力理论公式	189
四、按规范查表确定桩的承载力	190
五、根据原位测试结果推算单桩承载力	191
第二节 国外用静力触探推算单桩承载力的方法	191
一、桩尖极限承载力的推算	192
二、桩身侧摩阻力的推算	198
三、苏联推算单桩承载力的方法	201
第三节 国内用静力触探推算单桩承载力的方法	203
一、同济大学地质教研室的方法	203
二、一机部勘测公司的方法	206
三、湖北省综合勘察院的方法	207
四、上海市协作组法	208
五、综合修正法	211
第四节 讨论	215
一、静力触探和桩的工作状态的比较	215
二、端阻计算方法的讨论	216
三、侧摩阻计算方法的讨论	221
第九章 静力触探在其它方面的应用	226
第一节 地基沉降计算	226
一、国外使用的方法	226
二、国内常用公式及指标	233
三、讨论	239
第二节 用静力触探确定软土不排水抗剪强度指标	242
一、国外采用的方法和资料	242
二、国内采用的方法和资料	245
三、讨论	250
第三节 用静力触探确定砂土内摩擦角	251

第四节	用静力触探方法判定黄土的湿陷性	253
一、	黄土的不均匀性及现行的试验方法讨论	255
二、	用静力触探判定湿陷性的基本原理	256
三、	试验方法	257
四、	对比试验结果	261
第五节	用静力触探评价砂土地基液化的试验	263
一、	地基液化理论	263
二、	规范的液化鉴定方法	264
三、	用静力触探判定砂土地基液化的可能性	266
四、	用静力触探研究地震前、后砂土密度的变化	273
第六节	用静力触探划分土层及确定土的名称	275
一、	划分土层	275
二、	确定土的名称	277
第七节	用静力触探检验地基	288
一、	用静力触探判定地基加固效果	288
二、	地基问题的分析处理	288
三、	冻融土地基的检验	292
附录一	汽油机的使用与维修	295
附录二	油泵的使用与维修	299
附录三	液压阀的使用与维修	301
附录四	减速箱及油缸的使用与维修	302
附录五	电阻应变仪故障的检修	303

第一章 静力触探概述

第一节 静力触探的基本知识

一、触探及其分类

触探是将一种金属的探头压入或打入土层中，根据贯入时的阻力或贯入一定深度的锤击数来划分土层及确定其物理力学性质的一种工程地质勘探方法和原位测试手段。

触探按其贯入方式不同分为静力触探和动力触探。采用静力压入方式的叫静力触探；采用落锤打入方式的称为动力触探。

静力触探仪按贯入能力大致分为：轻型（2～5吨），中型（8～16吨）及重型（20～30吨）三种。根据贯入的动力及传动方式分为：人力给进，机械传动及液压传动；按测力装置分为：油压表式，应力环式，电阻应变式及自动记录等不同类型。

动力触探按锤重分为：轻型（锤重10公斤），中型（锤重28公斤）及重型（锤重63.5公斤）三种。动力触探头采用太沙基标准贯入器的称为标准贯入试验。

静力触探与动力触探相比，设备较为复杂，操作、记录及资料整理等技术要求较高，但所受的影响因素少，成果稳定可靠。静力触探适用于软土、一般粘性土、砂土等松软土层，在密实砂层中的贯入能力不及动力触探。

二、静力触探的探头及阻力计算公式

（一）探头的类型

1104572

探头在土层中贯入时，阻力分布如图 1—1 所示〔1〕。

探头总贯入阻力 P 是锥尖总阻力 Q_c 和侧壁总摩阻力 P_f 之和，即

$$P = Q_c + P_f \quad (1-1)$$

根据测量贯入阻力的方法不同，探头分为两大类。一类，只能量测探头总贯入阻力 P ，不能区分锥尖总阻力及侧壁总摩阻力的叫做单用探头，又称综合型探头；另一类能分别量测探头锥尖总阻力和侧壁总摩阻力的叫做双用探头。

国外静力触探仪常用的探头为：德耳夫特、比奇曼及富格罗三种型式，如图 1—2，图 1—3，图 1—4 所示〔2〕。

苏联规范中采用的 C-832 型探头见图 1—5，C-979 型探头如图 1—6〔3〕。

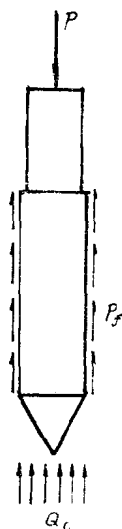


图 1—1 探头阻力分布图

德耳夫特型及 C-979 型探头均用在双层管式静力触探仪上，贯入阻力系由液压表量测；富格罗型及苏联 C-832 型探头是电测的双用探头。

我国普遍采用电阻应变式测力探头。综合型探头因其测力电桥是一个，故又称为单桥探头；双用探头因其测力电桥有两个，故又称做双桥探头。

图 1—7 为我国交通部第一航务工程局设计研究院使用的单桥探头照片。

图 1—8 为我国标准探头结构示意图〔4〕。

从图 1—2、图 1—6、图 1—7、图 1—8，可以看

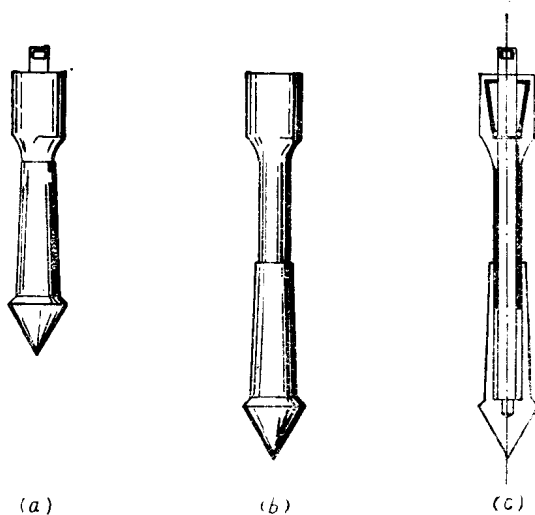


图 1—2 德耳夫特探头

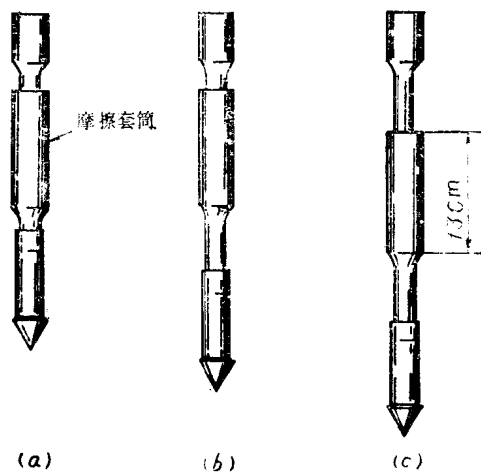


图 1—3 比奇曼探头

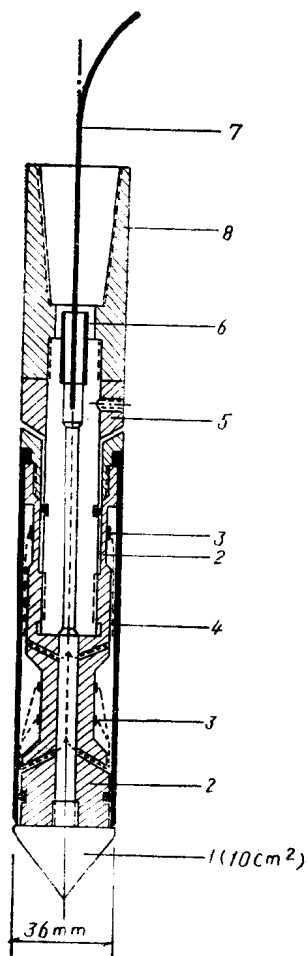


图 1—4 富格罗电测摩擦探头

- 1——圆锥头； 2——空心柱；
3——应变片； 4——摩擦套筒；
5——调节环； 6——防水衬套；
7——电缆； 8——探杆接头。

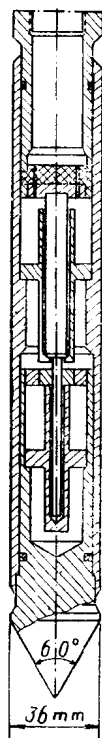


图 1—5
C-832型探头

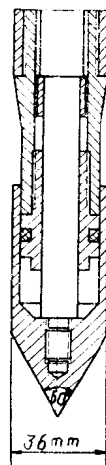


图 1—6
C-979型探头

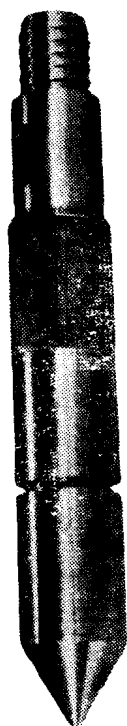


图 1—7 单桥探头

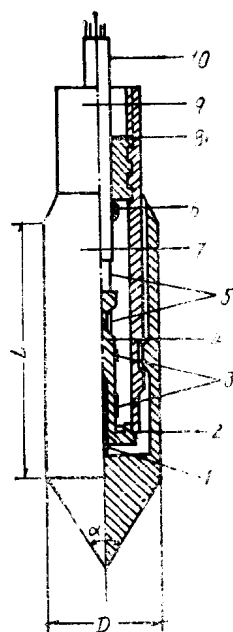


图 1—8 标准单桥探头结构示意图

- 1 —— 顶柱； 2 —— 防水盘根；
- 3 —— 电阻丝片； 4 —— 空心柱
- （感应元件）； 5 —— 导线；
- 6 —— 防水塞； 7 —— 外套筒；
- 8 —— 密封圈； 9 —— 探头管；
- 10 —— 四芯电缆。

出单用探头的锥尖与侧壁是联在一起的，只能测得锥尖与侧壁阻力的综合值，故称综合型探头。而图 1—4、图 1—5 所示的双桥探头、锥尖与侧壁是分开的，因而可分别量测锥尖阻力及侧壁摩阻力。我国各种探头的结构将在第四章中详述。我国“工业与民用建筑工程地质勘察规范 TJ21—7”对

静力触探探头的型号及规格做了规定，列于表 1—1 及表 1—2 [4]。

综合型探头的型号及规格

表 1—1

型 号	锥底直径 D (毫米)	锥底面积 A (厘米 ²)	有效侧壁 长度 L (毫米)	锥 角 α (度)	电 测 桥 路
I—1	35.7	10	57	60	单 桥
I—2	43.7	15	70	60	单 桥
I—3	50.4	20	81	60	单 桥

双桥探头的型号及规格

表 1—2

型 号	锥底直径 D (毫米)	锥底面积 A (厘米 ²)	摩擦筒表 面积 F (厘米 ²)	锥 角 α (度)	电 测 桥 路
II—1	35.7	10	200	60	双 桥
II—2	43.7	15	300	60	双 桥

目前铁路系统中暂定统一使用的单桥探头有效侧壁长度 L 为 70 毫米，锥底面积 A 为 15 平方厘米。双桥探头锥底面积为 20 平方厘米，摩擦筒表面积为 300 平方厘米。

(二) 探头阻力的计算

1. 单桥探头阻力的计算

由于静力触探所测贯入阻力的大小与探头的形状及其尺寸有关，我国现行规范中的贯入阻力 p_s 是指一定规格的圆锥形探头（图 1—8 及表 1—1）即标准单桥探头而言，故称 p_s 为比贯入阻力，通常简称贯入阻力（公斤/厘米²），按下式计算：

$$p_s = \frac{P}{A} \quad (1-2)$$

式中 P —— 探头总贯入阻力, kg (包括探头锥尖总阻力及侧壁总摩阻力, 按式 1-1 计算);

A —— 探头的截面积, cm^2 。

2. 双桥探头锥尖阻力 q_c 及侧壁摩阻力 f 的计算

双桥探头锥尖阻力 q_c 按下式计算:

$$q_c = \frac{Q_c}{A} \quad (1-3)$$

式中 Q_c —— 锥尖总阻力, kg;

A —— 探头截面积, cm^2 。

双桥探头的侧摩阻力 f 按下式计算:

$$f_s = \frac{P_f}{F} \quad (1-4)$$

式中 P_f —— 探头侧壁总摩阻力, kg;

F —— 探头套筒侧壁表面积, cm^2 。

对上述计算公式有以下两点需要说明:

(1) 国外资料中, 锥尖阻力 q_c 与比贯入阻力 P_i 常常是不加区分的, 都写作探头阻力 q_c 或 R_p ; 在我国各单位都是严格区分的。

(2) 双层管式静力触探仪, 在我国已少见, 在国外使用仍较普遍, 其贯入作用如图 1-9 所示〔5〕。所测得的总阻力 F_t 为探头锥尖总阻力 F_p 与侧壁总摩阻力 F_s 之和, 即:

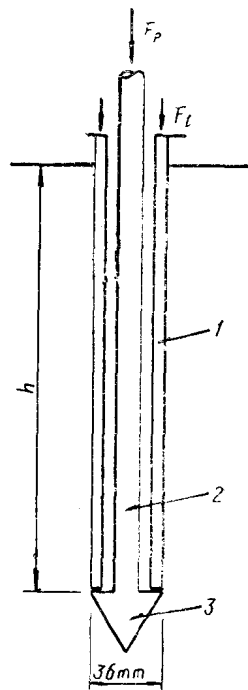


图 1-9 双层管式静力触探仪贯入示意图

- 1 —— 外管;
- 2 —— 内管;
- 3 —— 探头。

$$\text{总阻力 } F_t = F_l + F_s \quad (1-5)$$

$$\text{探头阻力 } R_p = \frac{4F_p}{\pi D^2} \quad (1-6)$$

$$\text{侧壁摩阻力 } f_s' = \frac{F_l}{\pi D h} \quad (1-7)$$

当采用德耳夫特探头或苏联C-979型触探仪探头时，式(1-6)与式(1-2)近似，而式(1-7)中 f_s' 与式(1-4)中 f_s 是不同的， f_s 为双用探头局部侧摩阻力；而 f_s' 为双层管式触探仪整个外套筒上的平均侧摩阻力。这在第八章中确定桩基侧摩阻力时需使用不同的计算公式，这一点是应该引起注意的。

三、静力触探的基本原理

当静力触探的探头在静压力作用下，均速向土层中贯入时，探头附近一定范围内的土体受到压缩和剪切破坏见图1-10。同时对探头产生贯入阻力，如图1-1所示。

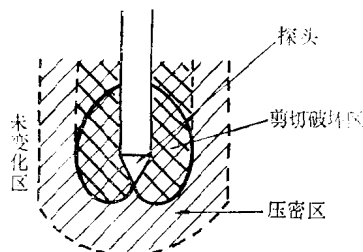


图1-10 探头贯入作用示意图

量测探头贯入时的阻力（ P_s 、 q_c 、 f_s ）并绘制其随深度（ h ）的变化曲线，如图1-11为天津市某工程实测 P_s-h 曲线。

图中贯入阻力的变化反映了土层物理力学性质的变化。一般地说，同一种土层中贯入阻力大，土层的力学性质好，承载力大。反之，贯入阻力小，土层软弱，承载力小。在生产中利用静力触探贯入阻力与土的野外荷载试验对比或静力触探贯入阻力与桩基承载力及土的物理力学性质的指标对比，运

用数理统计的方法，可以建立各种相关方程（经验公式）。这样，只要知道土层的贯入阻力即可确定该层土的地基承载力等设计参数。

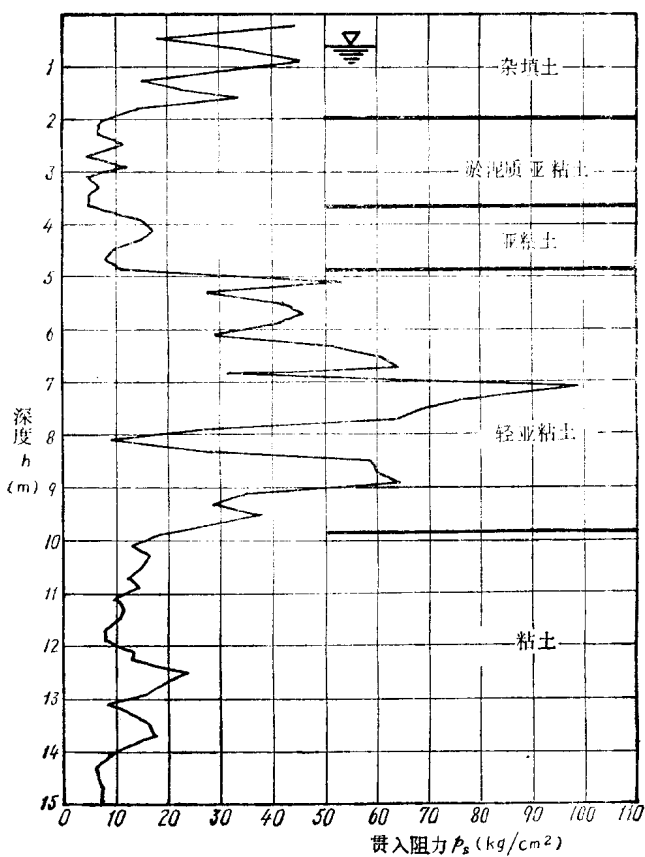


图 1—11 天津市某工程实测 p_s-h 曲线