

9841/11
27486

地基土触探法



中国建筑工业出版社

地 基 土 触 探 法

〔法〕 G·桑格列拉 编

四川省建筑工程局建筑科学研究所 译

（只限国内发行）

中国建筑工程工业出版社

本书是根据1972年英文版翻译的。主要叙述有关解释静力触探试验资料的比利时德别尔理论、法国凯里泽理论、荷兰比奇曼等理论以及解释动力触探试验资料的理论和方法。还列举了许多国家的大量资料说明这些方法的应用和他们对这些理论的意见和评价。并介绍了一些欧洲国家采用触探仪和美洲一些国家采用标准贯入试验的情况。此外，还介绍了用静力触探仪测定侧摩擦力和预测沉降等。

本书可供工程地质勘察、土建设计、施工等技术人员参考。

* * *

本书由于吉求同志翻译，陈光华同志校订。

G. SANGLERAT
THE PENETROMETER AND
SOIL EXPLORATION
ELSEVIER PUBLISHING COMPANY
Amsterdam London New York 1972

* * *

地基土触探法
四川省建筑工程局建筑科学研究所 译
(只限国内发行)

*

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 $1/16$ 印张：22 字数：487 千字

1975年11月第一版 1975年11月第一次印刷

印数：1—8,380 册 定价：1.60 元

统一书号：15040·3244

译 者 的 话

为了获得地基设计所必需的土的强度和变形等力学指标，多年来，一直是采用野外钻探取土、室内进行试验的方法。但这种方法因受很多条件的限制，所获资料往往不能充分反映地基土的实际情况，所以有的还需要补充做现场载荷试验，不但费工费时，而且有时还没有足够的代表性。触探试验正是为了弥补这些缺陷而发展起来的一项现场勘察测试技术。

地基土勘察方法的选择应根据工程的具体要求而定，场地的工程地质条件和建筑物的大小、类型、重要性是必须考虑的因素。单纯地采用某种勘察手段，有时是不可靠的。如果对一个新的场地或对附近的地质条件一无所知，仅仅依靠触探试验当然是不够的。但是，如果对场地的地下土层性质有了初步的了解，而沉积物又具有不规则的构造时，触探试验就显出其独特的作用，特别是当取原状土有困难时，触探试验更比室内试验优越得多。

触探试验（包括静力触探和动力触探）在国外已得到较广泛的应用，近十年来，测试技术有了新的发展，使触探试验更为可靠和有效。

五十年代初期，我国的工程技术人员就已采用动力触探来测定砂土的力学指标，随后，又利用双层管式静力触探来研究黄土的工程性质，到六十年代初期，研制成功了电阻应变式静力触探仪。无产阶级文化大革命以来，随着社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展，触探试验技术在我国发展更快，不但制造了多种类型的加压设备和定型的自动记录仪器，而且还通过大量的触探试验与野外静载和室内试验的对比，找出了许多规律和经验公式，目前已在生产实践中得到应用。

桑格列拉编写的《地基土触探法》一书，收集了国外三十来个国家的有关试验资料和研究成果，总结了各种触探理论和实践经验，有一定的参考价值。但是，必须指出：由于资料来自四面八方，作者在引用资料时有的未进行认真的分析与校核，以致有些资料互相矛盾，有的例题演算过程很粗糙，甚至有错误；而有的资料参考价值不大，因此，我们在翻译时作了一些删节和说明。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，我们将本书翻译出版。毛主席教导我们：“自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。”希望读者在阅读本书时，一定要结合我国的具体情况与工程实践，认真总结我们自己的新经验，使触探试验技术在我国的社会主义建设中发挥更大的作用。

符 号

- a_v ——压缩系数(土的孔隙比变量与对应的压力变量之比) (厘米²/克)
 b^* 、 B ——基础宽度
 C_c ——压缩指数 $= -\Delta e / \Delta \log p$
 c ——库伦公式中的内聚力(克/厘米²)
 c'^* 、 c_s ——视内聚力
 c_u^* ——不排水剪切强度(内聚力)
 c_v ——固结系数(厘米²/秒)
 D 、 D_0^* ——基础埋深
 D_r ——密度指数或相对密度
 E ——弹性模量(克/厘米²)
 e ——自然对数的底 $= 2.7183$
 e ——孔隙比
 e_{max} ——最大孔隙比
 e_{min} ——最小孔隙比
 F^* 、 F_t ——总的侧摩擦力(吨或公斤)
 f_s ——单位侧摩擦力或表面摩擦力(巴或吨/米²)
 I_p ——塑性指数
 k ——渗透系数(厘米/秒)
 $\ln a$ —— a 的自然对数
 $\log a$ ——以10为底的 a 的对数
 L ——基础长度
 m_v ——体积压缩系数 $= -\Delta e / [(1+e)\Delta p]$ (厘米²/克)
 N ——标准贯入器贯入1呎深所需锤击次数
 N'^* ——在浸水很细的砂土或粉土的 N 值
 N_r 、 N_q 、 N_c ——在确定土的极限承载力公式中与面积、深度和内聚力有关的无因次系数
 n ——孔隙率
 p_s^* ——打桩阻力
 p_0^* ——基础底面上土的自重压力
 q_{ad} ——基础底面的允许承载力
 q_c ——静力触探仪的探头阻力(巴)
 q_{ul} ——基础底面的极限承载力
 R_d ——动力触探仪的探头阻力
 R_{sh}^* ——用荷兰公式计算, 当安全系数为1时的极限桩尖阻力
 R_t ——同 f_s
 R_p ——同 q_c

注: 凡带有*号的符号是译者根据正文补充的, 下同。

S.P.T.——标准贯入试验

t^* ——时间(秒)

T_v ——时间因数

U ——固结度

w ——含水量

w_L ——液限

w_p ——塑限

γ ——土的容重

γ_s ——土颗粒比重

γ_w ——水的容重

γ_d ——土的干容重

φ ——内摩擦角

φ' 、 φ_s 、 φ_u ——视内摩擦角

本书采用以下国际计量单位:

1巴=10⁵帕(Pascals)

1巴=1.02公斤/厘米²

1巴=米·吨·秒制中100皮兹(hectopieze)

1焦耳=0.102公斤·米(1焦耳=使1牛顿的力移动1米所作的功)

daN=10牛顿

mbar=毫巴

m·daN=1 daN(即10牛顿的力)移动1米所作的功

1牛顿=使1公斤质量得到1米/秒²加速度所需的力

1帕=1牛顿/米²

换算

1磅=453.6克

1英吨=1016公斤

1呎=30.48厘米

1吋=2.54厘米

1呎²=6.45厘米²

1呎²=0.0929米²

1磅/吋²=7×10⁻²巴=7000帕

1磅/呎²=4.8×10⁻⁴巴=48帕

1吨/呎²=1.09公斤/厘米²=1.07巴

探头阻力的两个分力

读者对各种触探仪探头测得的“阻力”这个专门名词必须注意。探头阻力有两个分力:圆锥(锥头支承或端部支承)阻力和摩擦阻力。后者也可看作侧向摩擦力、表面摩擦力、侧摩擦力或周边剪力。侧摩擦力或更确切地称作局部侧摩擦力的量测是用以估算作用于桩上的表面摩擦力。

目 录

译者的话

符 号 VII

第一章 触探仪的历史 1

1-1 起源和特性 1

1-2 荷兰式静力触探仪 3

1-3 弗兰克普法尔型静力触探仪 (德国) 11

1-4 土工试验小型触探仪 (美国) 11

1-5 索尔-埃塞斯型静力触探仪 (法国) 12

1-6 德格博型静力触探仪 (德国) 13

1-7 G.C.型静力触探仪 (比利时) 15

1-8 自记式静力触探仪 (美国) 15

1-9 弗兰克型静力触探仪 (比利时) 15

1-10 索尔坦切型静力触探仪 (法国) 15

1-11 富格罗电测静力触探仪 (荷兰) 16

1-12 C.E.B.T.P.型触探仪 (法国) 19

1-13 圣布里厄桥梁公路试验所的电测静力触探仪 (法国) 22

1-14 B.M.E.E.轻型触探仪 (英国) 23

1-15 美国的静力触探仪 24

1-16 澳大利亚的静力触探仪 25

1-17 俄国的触探仪 25

1-18 保加利亚的静力触探仪 29

1-19 关于静力触探仪的说明 30

1-20 方达索尔型动力触探仪 (法国) 31

1-21 塞尔米型动力触探仪 (法国) 33

1-22 “动力试验”型触探机 (法国) 34

1-23 瑞典式触探仪 35

1-24 丹麦式触探仪 41

1-25 对动力触探仪的一些看法 41

1-26 瑞士的触探仪 41

1-27 詹戈特-邦尼敦型静力-动力触探仪 (法国) 43

1-28 穆里斯型静力-动力触探仪 (法国) 46

1-29 安迪那型静力-动力触探仪 (瑞士和法国) 49

1-30 触探试验表示图 52

1-31 国际委员会的建议 56

第二章 一般理论	60
2-1 图形的初步评价和土的分类	60
2-2 深基础	77
2-3 浅基础	79
2-4 动力触探试验	82
2-5 沉降预测	82
第三章 解释触探试验资料的德别尔理论	83
3-1 浅基础	83
3-2 浅基础下的起始破坏条件	85
3-3 无粘性土	87
3-4 粘性土	89
3-5 贯入图的解释	89
3-6 比利时理论和法国早期理论的比较	93
3-7 有关深基础的意见	95
第四章 凯里泽的理论	99
4-1 引言	99
4-2 密实的粒状土	101
4-3 松散的和中密的粒状土	102
4-4 粘性土	106
4-5 结论	107
第五章 德耳夫特研究室发展的荷兰理论	109
5-1 根据触探试验资料来设计桩基	109
5-2 在德耳夫特进行的试验研究	111
5-3 德耳夫特研究室方法的实际应用	112
5-4 用静力触探试验测定局部侧摩擦力的研究	115
5-5 在荷兰进行的试验	117
5-6 土层竖向不均匀性的影响。盖茨定律	119
第六章 美国和加拿大的静力触探仪	121
6-1 维西克进行的研究(美国)	121
6-2 克劳瑟的试验(美国)	123
6-3 施默特曼进行的研究(美国)	124
6-4 拉克洛依克斯的试验(美国)	125
6-5 加拿大的试验	126
第七章 侧摩擦力和表面摩擦力	129
7-1 侧摩擦力的量测	129
7-2 无粘性土	132
7-3 粘性土	132
7-4 用静力触探仪确定的侧摩擦力 f_s 和探头阻力 q_c 进行土的分类	142
第八章 动力触探仪	149

8-1	装设圆锥的动力触探仪试验	149
8-2	用于浅基础的动力触探试验的解释	152
8-3	用于深基础的解释动力贯入图的理论	155
8-4	在法国里昂地区的砂砾混合层中的经验	160
8-5	重型和轻型动力触探仪	162
8-6	动力触探仪和板桩	163
8-7	测定土的参数的特殊动力触探法	163
8-8	在粘性土中进行动力触探试验应注意的事项	164
第九章	标准贯入试验和静力触探仪	171
9-1	标准贯入试验	171
9-2	标准贯入试验的使用范围	175
9-3	不同类型的标准贯入试验	175
9-4	垦务局的经验	178
9-5	巴扎拉的论文	178
9-6	标准贯入试验和静力触探试验之间的比较	181
9-7	梅耶霍夫的理论	188
9-8	阿尔潘等的经验	192
9-9	关于在南美和西班牙使用标准贯入试验的记载	194
第十章	讨论	196
10-1	引言	196
10-2	雷德谢尔德斯关于间断或连续进行静力触探的评述(比利时)	196
10-3	列赫米尼尔和Y. 郑的经验(法国)	198
10-4	在白垩沉积中的静力触探试验	200
10-5	在土耳其进行的试验	202
10-6	巴西的试验	202
10-7	在南斯拉夫进行的试验	203
10-8	德国的经验	203
10-9	保加利亚的试验	208
10-10	澳大利亚的经验	208
10-11	委内瑞拉的试验	208
10-12	为修筑勿拉湾港(苏门答腊)所进行的勘察	209
10-13	英国的经验	209
10-14	意大利的试验	212
10-15	在苏联进行的触探试验	215
10-16	解释贯入图的瑞典方法	217
10-17	在现场测定砂土的孔隙率	219
10-18	坎特的试验	220
10-19	静力触探仪和旁压仪之间的关系	221
10-20	萨拉斯的经验(西班牙)	223
10-21	用静力触探仪检验密实度	226

10-22	从静力贯入图确定打入桩的长度	232
10-23	触探的必要深度	232
10-24	贯入速度和探头直径对静力触探仪探头阻力值 q_c 的影响	233
10-25	在日本进行的触探试验	237
第十一章	静力触探仪和预测沉降	238
11-1	总论	238
11-2	用静力触探仪确定压缩常数	242
11-3	确定 q_c 和土的压缩性之间的相互关系的方法	246
11-4	里昂中央学院和里昂国家应用科学研究所的研究结果(法国)	250
11-5	砂土的实例	254
11-6	粘土的实例	258
11-7	巴莱士和贝切勒的经验(法国)	266
11-8	德耳夫特研究室的结果	269
11-9	钢筋混凝土设计和土力学之间的比较	269
11-10	用标准贯入试验资料估算沉降	271
11-11	南部非洲的试验	277
11-12	黑非利的经验(瑞士)	280
11-13	英国的经验	280
11-14	澳大利亚的试验	284
11-15	适用于砂土的施默特曼理论(美国)	285
第十二章	总结	290
12-1	静力贯入图的解释	290
12-2	动力贯入图的解释	297
12-3	注意事项	301
附 录		
附录一	美国材料试验协会关于深层准静力圆锥触探试验方法暂行标准	303
附录二	关于解释触探试验数据的列赫米尼尔理论	311
附录三	承载力系数	315
附录四	竖向应力等值曲线	316
参考资料		317

第一章 触探仪的历史

1-1 起源和特性

触探仪是由于要获取用其它方法无法取得关于地下土层资料的需要而发展起来的。在叙述野外触探试验资料的理论之前，本章先简短地介绍一下这些仪器的起源和发展。

触探是用千斤顶或落锤将一根细长的金属杆（直径19~80毫米）压入或打入地下，用以测定任何深度处金属杆的贯入阻力，将其结果绘制在用横坐标表示贯入阻力和纵坐标表示贯入深度的图上（见图1-54~57、2-3~15、7-15~17的一种勘察方法。

贯入探杆有两种方法——静力法和动力法；触探仪有三种基本类型：静力触探仪、动力触探仪和静力-动力触探仪。后者吸取了前两者的优点，并克服了它们的某些缺点。

把探杆压入地下测定地下土的强度的想法由来已久。1846年法国的科林（Collin）就使用了直径1毫米、重量1公斤的维卡（Vicac）型针来估计各种稠度的不同粘土的粘滞性。

在土力学这门科学的早期阶段，采用了一种圆锥试验，是用一个顶角为90度的圆锥安放在粘性土样上，并逐级加荷（图1-1）。每加一级荷载均需量测圆锥贯入试样中的深度。圆锥进入试样的印痕面积 A 由量得的贯入深度算出。荷载与印痕面积之比是常数，称为土的圆锥贯入阻力，其单位是公斤/厘米²或巴。该比值随着粘土强度的增大而增加，因而①：

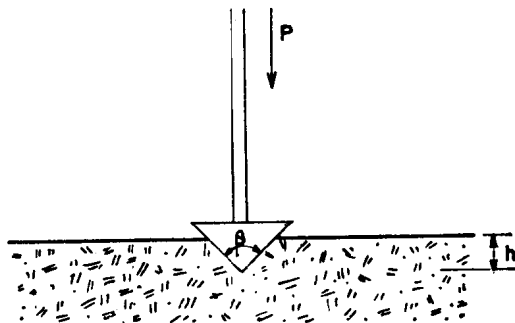


图 1-1 小型触探仪的工作原理

$$q_c = \frac{P}{A}$$

上式也可写作：

$$P = \pi K c \left(h \tan \frac{\beta}{2} \right)^2$$

式中 β ——圆锥的顶角，当 $\beta = 90^\circ$ 时：

$$P = \pi K c h^2$$

由试验资料，可以确定常数 K 值， K 值一经确定，便可求得内聚力 c 。

① 本文所用符号的意义见前面的“符号”。

系数 K 值在2.5到4 ($8 < K\pi < 12$) 的范围内变化, 而且1956年卡科 (A. Caquot) 认为: 对于重塑和原状粘土, 系数 K 值也是不同的。为了分析原状土样和尽可能使土样扰动最小, 对试验曾作了改进, 把试样置于橡皮薄膜内, 用空气压力来代替圆锥周围土的自重压力。

1917年, 瑞典铁路部门统一规定了至今还在使用的一种触探方法。采用带有5、15、25、50、75和100公斤重的一套配重, 直径为19毫米的金属探杆。当在100公斤的荷载作用下, 还不能将探杆压下时, 为了继续贯入, 便用手工或机械旋进探杆 (见1-23节)。

奥斯陆的乔诺 (Geonor) 制造厂生产了一种按照挪威土工研究所推荐的圆锥仪。让该圆锥仪自由沉入土中。这种方法十分简单, 并能准确地测定原状或重塑粘土的不排水抗剪强度和灵敏度 (Hansbo, 1957) ①。

丹麦铁路部门在1931年发展了丹麦式或瑞典式的小型触探仪 (图1-2), 并曾满意地用来近似地评价内聚力, 甚至还用来测定允许承载力 (Godskesen, 1936, 1953)。

太沙基 (Terzaghi, 1953) 回顾了1929年在纽约用圆锥触探仪测定砂土的贯入阻力的第一次试验。进行这次试验是为了测定覆盖在基岩上的、约30米厚的冰川沉积砂土的性质。

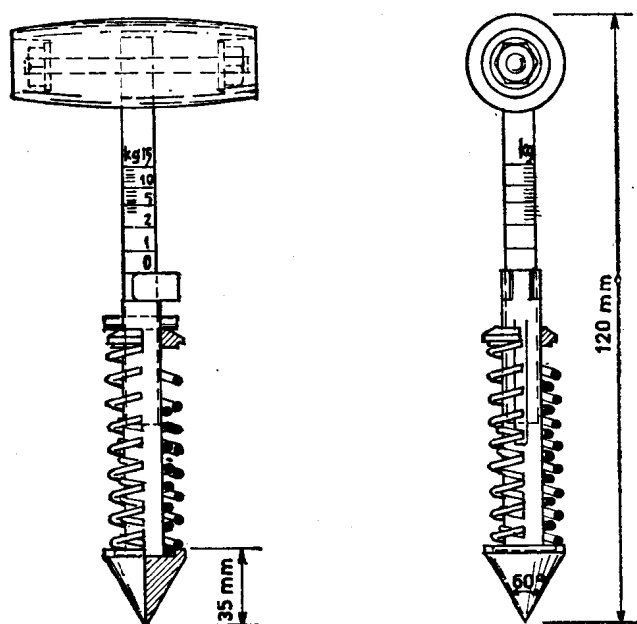


图 1-2 丹麦式小型触探仪

为了消除深度的影响, 太沙基采用了一种圆锥头的水力喷射嘴 (图1-3)。这种仪器就是目前的冲洗探头。水的作用在于消除自重压力对探杆的侧向土压力。

① 指本书末引用的参考资料, 下同。

当时，荷兰德耳夫特工业大学土力学研究室的布伊士曼（A.S.K. Buisman）研究了不用水力喷射嘴将圆锥压入砂土中的效果。1932~1937年巴伦特森（P. Barentsen, 1936）作了第一次静力圆锥触探试验，他发展了一种套管式的装置（见图1-4）。

1946年，德耳夫特土力学研究室与豪达（Goudsche）机械制造厂合作制造了能量2.5吨的手摇式触探仪（见图1-6、1-10）。1948年制造了10吨的手摇式触探仪（见图1-9），效果很好。这两种触探仪分别从1936年和1935年以来就已为德耳夫特土力学研究室所使用。

静力触探试验是将金属探杆以30~60厘米/分的不变速度缓慢地压入地下（见1-3节，国际会议建议和附录一，美国材料试验协会标准）。触探试验主要测定探头阻力 q_c 和作用在位于探头上面和中心杆外面的活动套筒上的侧摩擦力（见图1-8）。由于在荷兰和比利时作了大量研究，1948年鹿特丹第二届国际土力学会议之后，在欧洲触探仪的使用得到了很大的发展。那时，法国在这方面还很落后，但是，自从1949年凯里泽博士（J. Kerisel）批准拨款发展触探仪之后（见1-27节），便有很大的进展。

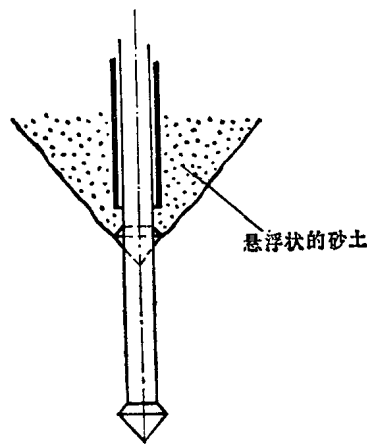


图 1-3 太沙基的触探试验原理

为了能够正确地评价贯入图，必须熟悉各种型号的静力触探仪的性能。由于操作方法彼此不同，随着使用的仪器型号不同，资料也可能不一样。

范德维恩（Van der Veen, 1957）要求使触探仪标准化，以便能够容易地对他所称为“这种方法正在成为一种极其重要的地基土现场试验方法”进行对比研究。

静力触探仪分为两种基本类型：

（1）可动圆锥的静力触探仪：探头阻力系单独地将直接位于静止套管下面的圆锥压入土中而测得。套管只是用作外罩，并防止在压下圆锥时土作用于探杆上而产生摩擦力。

（2）固定圆锥的静力触探仪：圆锥和探杆两者同时移动。这类仪器可测定探头阻力和侧向摩擦力。

贯入阻力用压力计（见1-2节）或压力环（见1-29节）量测。加压用液压（见1-5节）或金属连接杆（见1-11节）。探头阻力用振动钢弦（见1-6节）或电阻应变片测定。

下面简略地叙述目前常用的各种触探仪的类型。

1-2 荷兰式静力触探仪

豪达机械制造厂制造的全部触探仪都属于可动圆锥型。圆锥具有60°顶角和36毫米直径（图1-4）。用金属杆将荷载传至探头。这种带护套的圆锥叫做德耳夫特（Delft）探头。其圆锥截面积为10厘米²。

触探仪用螺旋地锚锚入地下或者用装土或装水的容器压住。触探杆外有金属套管。探杆将荷载传至探头，并且与液压表和压力计连接。手摇千斤顶的荷载可达 2.5、10 或 17.5 吨。

这种触探仪可能达到很大的深度，在法国安讷西地区，2.5吨的触探仪就曾用到 30 米深。压下圆锥和外管所需之力给出了总的贯入阻力。该总阻力包括探头阻力和侧向（表面）摩擦力（图1-4 A和图 1-11 B）。此时测得的荷载便只是探头的阻力。从总的阻力中减掉探头阻力便得出总侧向摩擦阻力。

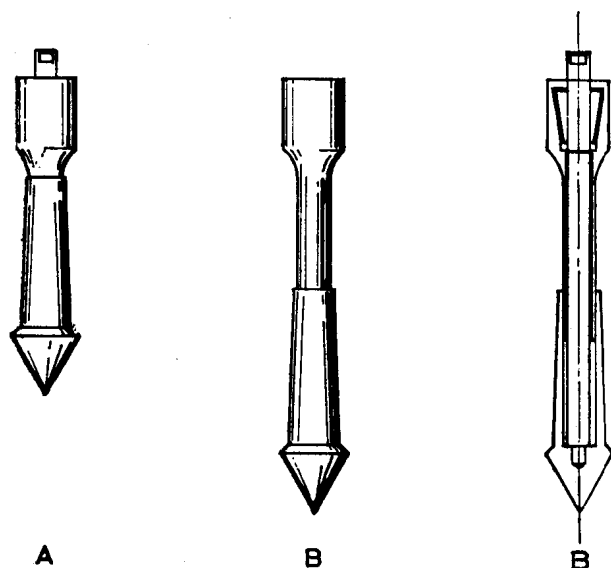


图 1-4 带护套圆锥的探头

能量2.5吨的触探仪（图1-6、1-10）全长90%以上的外管具有稍微小点的直径，并且全部与千斤顶接牢，因此套管与探头一道移动，从而能够探测很大的深度。这种设备不能直接量测侧摩擦力，实际上这种触探仪必须看作是一种固定圆锥型触探仪（见图1-11 D和 F）。

能量2.5吨和10吨的触探仪实际上是同样的机械（图1-7），依据其用位置 D 还是从位置 D 进入位置 B（见图1-11），都能测出探头阻力和总阻力（即探头阻力加侧摩擦阻力）。为了避免资料解释的混乱，在野外操作这种机械时，必须注意辨明能量的类型。

压力计的每次读数可根据需要进行，但是，一般为每20或25厘米读一次数。读数绘制在以深度作纵座标的图上。这样可以绘制三个图形：一个表示探头阻力随深度的变化，另一个代表总阻力的变化，以及第三个是前两者之差，表示总侧摩擦力的变化（见图1-54、1-55和1-56）。

1959年，豪达机械制造厂又和德耳夫特研究室合作提出一种能量 10 吨的 机动 触探仪（见图1-9）。1962~1963年，他们又发展了一种旋转触探仪，这种仪器的新特点，是能够用机械方法取粘性土样。另外两种早期类型的触探仪也可用首先压下然后转动取土器的办法取土样。这样取出的土样的直径为35毫米、长度为250~300毫米。

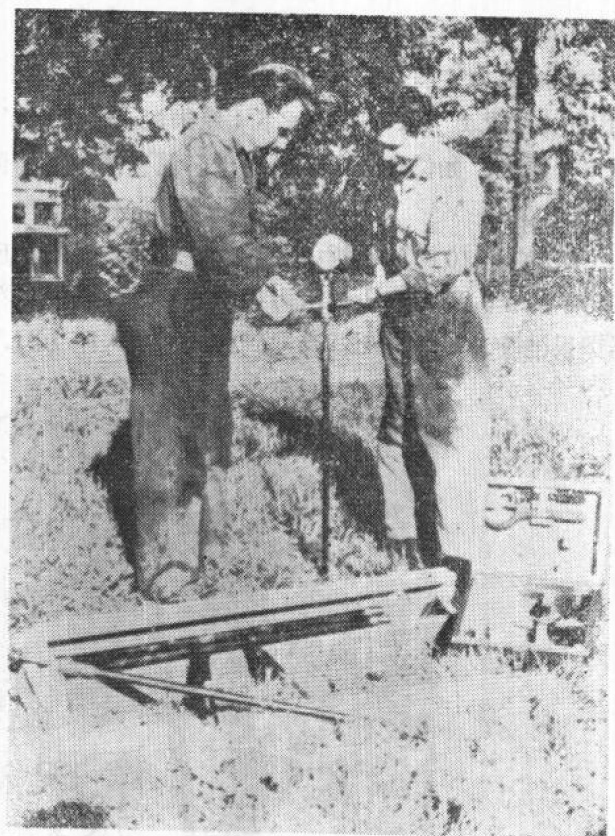


图 1-5 轻型荷兰式触探仪



图 1-6 2.5吨能量的荷兰式触探仪

1962~1963年，对上述产品作了进一步的改进，它可以直接量测圆锥上面一小段长度内的侧摩擦力（图1-8）。这种改进是依照比奇曼（Begemann, 1965）的推荐完成的。如图1-8位置1所示，圆锥压下4厘米深，便测定了探头阻力。然后，由位置2将探头再压下4厘米，如位置3所示，由于套筒也被压下，便可测定13厘米长度上的侧摩擦力（见图7-6）。

2.5吨和10吨的手摇式触探仪在野外，甚至在困难的位置（基坑、地下室、托换基础）均易于操作。即使在土的阻力很小的地方，特别是在粘性土中（粘土、泥炭），这两种仪器都很准确。另一方面，当遇到很大的贯入阻力时，如果加压不注意，探杆可能弯曲。

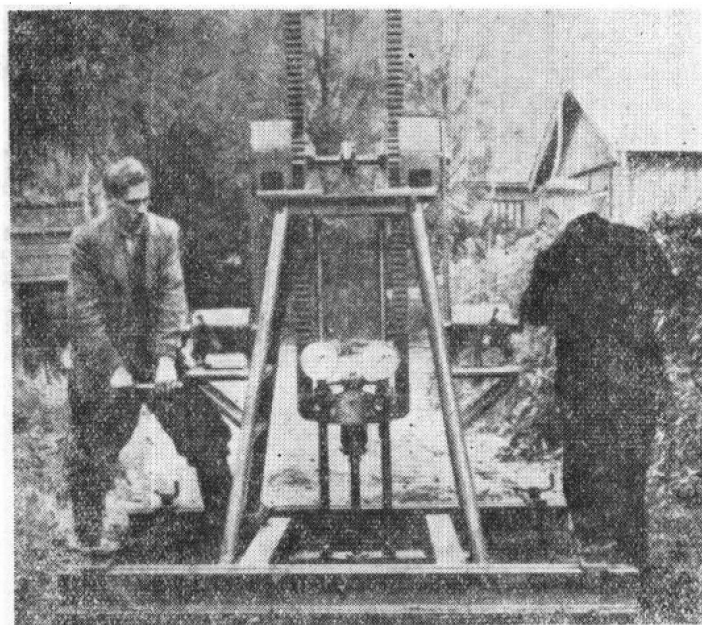


图 1-7 10吨能量的荷兰式触探仪

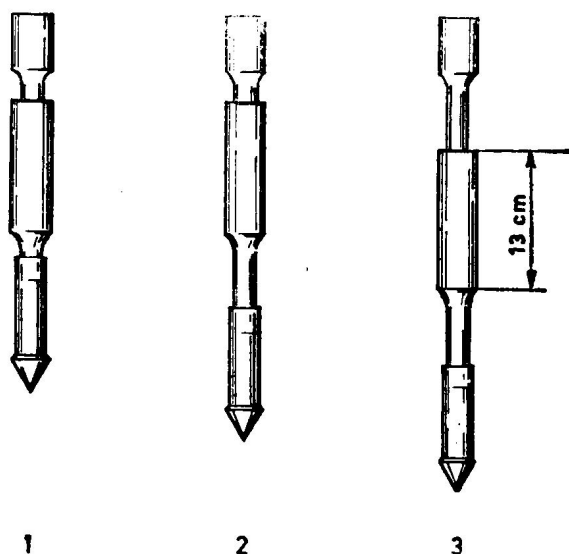


图 1-8 带侧摩擦套筒的比奇曼型探头

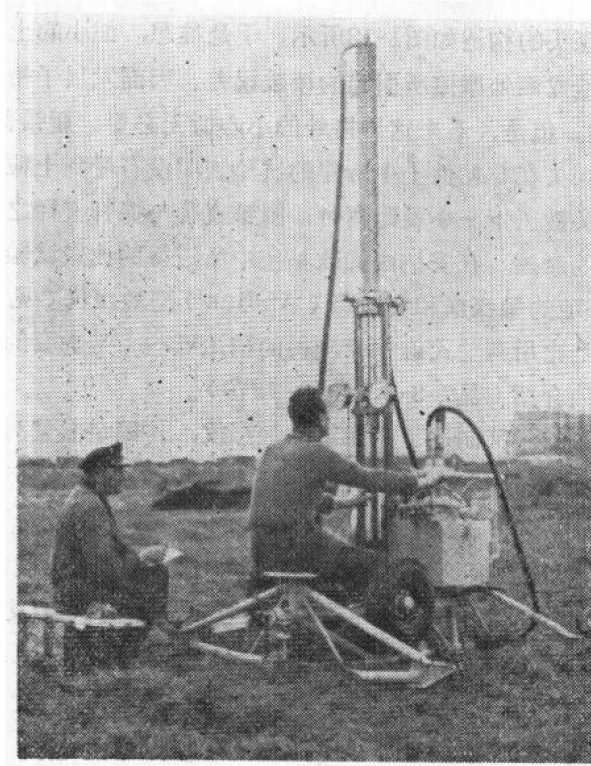


图 1-9 机动10吨能量荷兰式触探仪

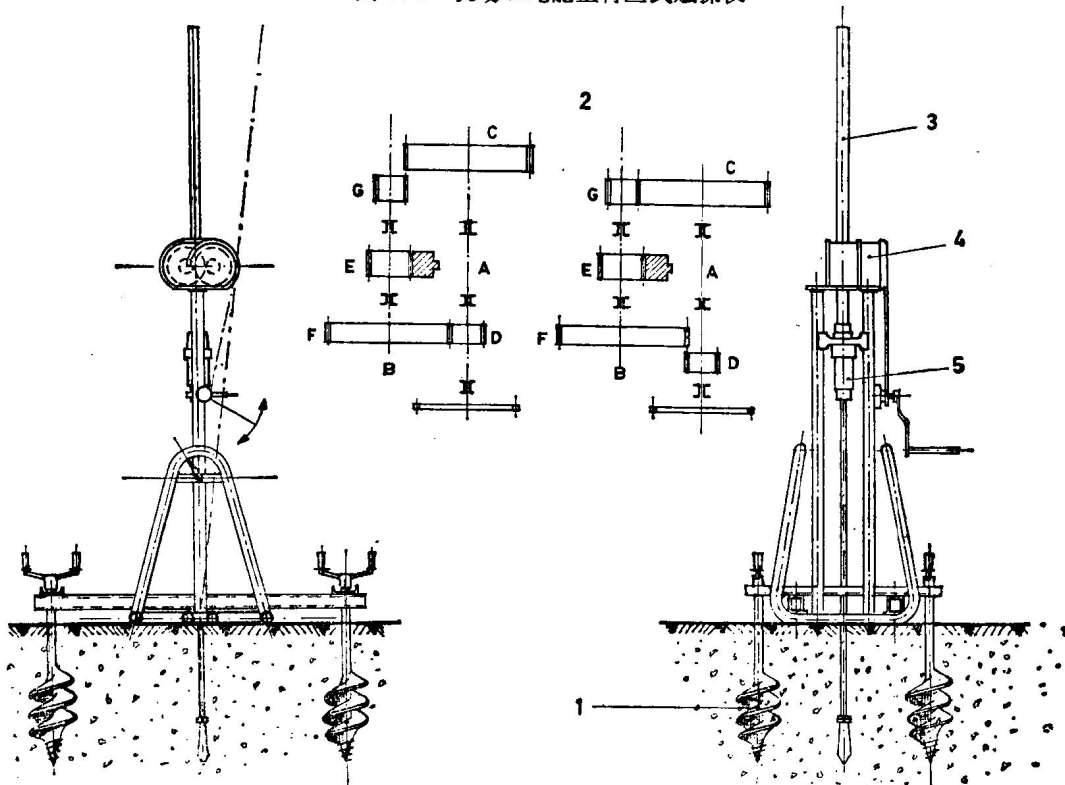


图 1-10 2.5吨能量荷兰式触探仪

1—螺旋锚；2—齿轮传动装置详图；3—齿杆；4—齿轮；5—加荷头