

土

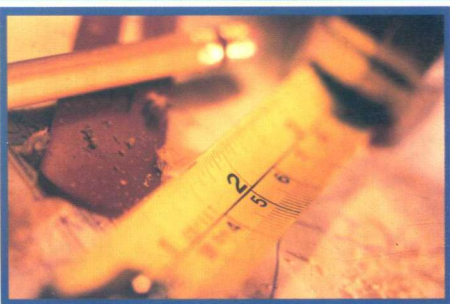
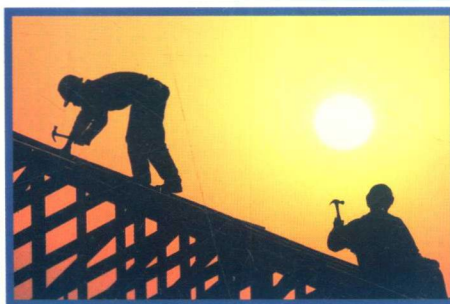
建

TUJIAN GONGCHENG JISHU
LILUN YU SHIJIAN

工程技术

理论与实践

主编 梅祖荣 于海波 朱连勇



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

土

建

工程技术

理论与实践

主 编 梅祖荣 于海波 朱连勇

副主编 郑 梁 马政伟 袁振霞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书系统地介绍了岩土工程测试技术与土建工程测量技术,主要内容包括:岩土工程原位测试、桩基检测试验、基坑工程与边坡工程监测、水准仪及水准测量、经纬仪及角度测量、直线定向及距离测量、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘与应用、建筑施工测量、线路工程测量、建筑物变形观测及竣工总平面图的测绘、土建工程测量新技术及其应用。

本书结构合理,内容丰富、深入浅出、循序渐进,突出了科学性、系统性、基础性、实用性和现代性,是一本值得学习研究的著作。适合土木工程、交通工程、水利工程、城市规划、工程管理、环境工程、地下工程等相关领域的工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

土建工程技术理论与实践 / 梅祖荣, 于海波, 朱连勇主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 4
ISBN 978-7-5170-5304-0

I. ①土… II. ①梅… ②于… ③朱… III. ①土木工程—工程施工 IV. ①TU7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第074657号

书 名	土建工程技术理论与实践 TUJIAN GONGCHENG JISHU LILUN YU SHIJIAN
作 者	主编 梅祖荣 于海波 朱连勇
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市佳星印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26.75印张 684千字
版 次	2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	89.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着现代化建设事业的飞速发展,各类土建工程日新月异,重型厂房、高层建筑、重大的水电枢纽、艰险的铁路、桥梁和隧洞,以及为了向海洋寻找资源、向地下争取空间而进行的各种开发性工程等,都与它们所赖以存在的岩土地层有着极为密切的关系。各类工程的成功与否,在很大程度上取决于岩土体能否提供足够的承载能力,保证建筑物不产生影响其安全、正常使用的过大或不均匀沉降,以及水平位移、稳定性或各种形式的岩土应力作用。为了保证各类工程及周围环境安全,确保工程的顺利进行,必须进行岩土测试、检测和监测。岩土测试技术以岩土力学理论为指导法则,以工程实践为服务对象,而岩土力学理论又是以岩土测试技术为实验依据和发展背景的。不论设计理论与方法如何先进、合理,如果测试技术落后,则设计计算所依据的岩土参数无法准确测求,不仅岩土工程设计的先进性无从体现,而且岩土工程的质量与精度也难以保证。所以,测试技术是从根本上保证岩土工程设计的准确性、代表性以及经济性的重要手段。在整个岩土工程中它与理论计算和施工检验是相辅相成的。

建筑业是我国支柱产业之一,在建筑业发展过程中,建筑工程测量为其做出了巨大的贡献,同时,建筑工程测量的技术水平也在不断提高。目前,除常规的测量仪器如光学经纬仪、光学水准仪和钢尺等在建筑测量中继续发挥作用外,现代化的仪器如电子经纬仪、电子全站仪等也已普及,提高了测量工作的速度、精度、可靠度和自动化程度。一些专用激光测量仪器,如用于高层建筑竖直投点的激光铅直仪、用于大面积场地精度自动找平的激光扫平仪和用于地下开挖指向的激光经纬仪等的应用,为现在的高层建筑和地下建筑的施工提供了更高效、准确的测量服务。卫星测定地面点坐标的新技术——全球定位系统(GPS)也逐渐被应用到建筑工程测量中。该技术不受天气、地形和通视的影响,只需将卫星接收机安置在已知点和待定点,通过接收信号就可计算出该点的三维坐标,这与传统测量技术相比是一大飞跃。目前在建筑工程测量中,一般用于大范围 and 长距离的施工场地中的控制性测量工作。计算机技术正在应用到测量数据处理、地形图辅助成图以及测量仪器自动控制等方面,进一步推动了建筑工程测量从手工化向电子化、数字化、自动化和智能化方向发展。

全书共 12 章,分为上下两篇。第 1 篇(第 1~3 章)为岩土工程原位测试,主要对岩土工程原位测试、桩基检测试验、基坑工程与边坡工程监测技术进行了详细的介绍。第 2 篇(第 4~12 章)为土建工程测量技术。其中第 4 章至第 6 章,主要对高程、角度、距离和直线定向测量的基本原理、测量仪器的基本构造、使用方法和误差形成进行详细的分析,并系统地阐述测量误差的基本理论和知识;第 7~8 章,第 12 章主要讲述小区域控制测量、地形图的测绘、GPS 技术、3S 技术及其应用;第 9 章至第 11 章着重论述工业与民用建筑、道桥、大坝、渠道、管道等土木工程的施工测量以及建筑变形测量。

由于时间仓促,编者水平有限,本书难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正,不吝赐教。

编 者

2017 年 1 月

目 录

前言

第 1 篇 岩土工程原位测试

第 1 章 岩土工程测试技术	1
1.1 概述	1
1.2 静力载荷试验	2
1.3 静力触探试验	9
1.4 动力触探试验	18
1.5 十字板剪切试验	25
第 2 章 桩基检测试验	35
2.1 概述	35
2.2 单桩载荷试验	37
2.3 桩基低应变动测试	52
2.4 桩基高应变动测试	58
第 3 章 基坑工程与边坡工程监测	71
3.1 基坑工程监测	71
3.2 边坡工程监测	89

第 2 篇 土建工程测量技术

第 4 章 水准仪及水准测量	106
4.1 水准测量原理	106
4.2 水准测量的仪器和工具	108
4.3 水准测量的方法	116
4.4 水准仪的检验与校正	123
4.5 水准测量的误差及注意事项	126
4.6 其他水准仪简介	128
第 5 章 经纬仪及角度测量	132
5.1 角度测量原理	132
5.2 光学经纬仪	133
5.3 电子经纬仪	140
5.4 水平角测量	146

5.5	竖直角测量	149
5.6	经纬仪的检验与校正	154
5.7	角度测量的误差分析	161
第6章	直线定向及距离测量	165
6.1	直线定向	165
6.2	钢尺量距	171
6.3	视距测量	180
6.4	电磁波测距	184
第7章	小区域控制测量	201
7.1	概述	201
7.2	导线测量	205
7.3	交会定点	217
7.4	三、四等水准测量	221
7.5	三角高程测量	224
7.6	施工场地的控制测量	227
第8章	大比例尺地形图测绘与应用	233
8.1	地形图的基本知识	233
8.2	测图前的准备工作	246
8.3	经纬仪测绘法	249
8.4	地形图的拼接、检查与整饰	256
8.5	大比例尺数字测图	259
8.6	地形图的应用	267
第9章	建筑施工测量	282
9.1	建筑施工控制测量	282
9.2	民用建筑施工测量	289
9.3	工业建筑施工测量	314
第10章	线路工程测量	325
10.1	概述	325
10.2	中线测量	327
10.3	线路纵、横断面测量	333
10.4	道路施工测量	339
10.5	管道施工测量	342
10.6	桥梁工程施工测量	345
10.7	隧道工程施工测量	350
第11章	建筑物变形观测及竣工总平面图的测绘	359
11.1	建筑物变形观测概述	359
11.2	建筑物的沉降观测	366

11.3	建筑物的倾斜观测·····	373
11.4	建筑物的位移观测·····	378
11.5	建筑物的裂缝观测·····	384
11.6	竣工测量与竣工总平面图的编绘·····	385
第 12 章	土木工程测量新技术及其应用 ·····	389
12.1	全站仪及其应用·····	389
12.2	GPS 全球定位系统及其应用·····	403
12.3	3S 技术及其应用·····	414
参考文献	·····	420

第 1 章 岩土工程测试技术

1.1 概述

1.1.1 原位测试的目的与特点

岩土工程测试通常包含了室内试验和原位测试两大部分。室内试验包含了常规的土工试验和模型试验,其主要优点是可以控制试验条件,而其根本性的缺陷则在于试验对象难以反映其天然条件下的性状和工作环境,抽样的数量也相对有限,可能导致所测结果严重失真。岩土工程的原位测试是在工程现场,在不扰动或基本保持岩土的天然结构、天然含水量、天然应力状态的情况下,通过特定的测试仪器对岩土的物理力学性质指标进行试验,并运用岩土力学的基本原理对测试数据进行归纳、分析、抽象和推理以评定岩土的工程性能和状态的综合性试验技术。原位测试不仅是岩土工程勘察与评价中获得岩土体设计参数的重要手段,而且是岩土工程监测与检测的主要方法,并可用于施工过程中或地基加固处理后地基土的物理力学性质及状态的变化检测。它是一项自成体系的试验科学,在岩土工程勘察中占有重要位置。

原位测试亦称现场试验、就地试验或野外试验。原位测试技术与钻探、取样、室内试验的传统方法比较起来,具有下列明显优点:不仅能对难以取得不扰动土样或根本无法采样的土层通过现场原位测试获得岩土的参数,还能减少对土层的扰动,而且样本数量大、代表性好、快速、经济。

1.1.2 原位测试方法的分类及应用

原位测试很多项目并不直接测定土层的物理或力学指标,成果的应用依赖于经验关系式或半经验半理论公式。各种原位测试方法都有其自身的适用性,一些原位测试手段只能适用于一定的地基条件,应用时需加以区别。

岩土工程检测和监测中的常用的原位测试技术包括:①载荷试验(平板、螺旋板);②静力触探试验;③圆锥动力触探试验;④标准贯入试验;⑤十字板剪切试验;⑥旁压试验;⑦现场剪切试验;⑧波速试验;⑨基桩的静力测试和动力测试;⑩锚杆抗拔试验等。

以上试验技术主要用于以下几个方面:①岩土工程勘察;②地基基础的质量检测;③基坑开挖的检测与监测;④岩体原位应力测试;⑤公路、隧道、大坝、边坡等大型工程的监测和检测。除上列种类外,近年来还发展起来一些新的原位测试技术。本章主要介绍静力载荷试验、静力触探试验、动力触探试验、十字板剪切试验等基本检测技术。

岩土工程原位测试技术是岩土工程的重要组成部分。无数实践和理论研究表明,岩土的工程性质测试成果会因其种类、状态、试验方法和技巧的不同而导致一定的差异,甚至相去甚远。沈珠江院士认为,可靠的土质参数只能通过原位测试取得。在岩土工程中,选用正确的参数远比选用计算方法重要,因而岩土工程的原位测试在岩土工程中占据了重要的地位。

1.2 静力载荷试验

地基静载荷试验包括平板载荷试验和螺旋板载荷试验,目的是确定地基承载力及其变性特征,螺旋板载荷试验尚可估算地基土的固结系数。载荷试验相当于在工程原位进行的缩尺原型试验,该法具有直观和可靠性高的特点,在原位测试中占有重要地位,往往成为其他方法的检验标准。

1.2.1 平板载荷试验

1. 基本原理

平板载荷试验(Plate Loading Test,简称 PLT)是一种最传统的、并被广泛应用的土工原位测试方法。平板载荷试验是指在板底平整的刚性承压板上逐级施载,荷载通过承压板传递给地基,以测定天然埋藏条件下地基土的变形特性,评定地基土的承载力、计算地基土的变形模量并预估各相应荷载作用下的地基沉降量。平板载荷试验的理论依据,一般是假定地基为弹性半无限体(具有变形模量 E_0 和泊松比 ν),按弹性力学的方法导出表面局部荷载作用下地基土的沉降量 S 的计算公式。

2. 试验设备

平板载荷试验因试验土层软硬程度、承压板面积大小和试验土层深度等不同,采用的测试设备也很多。除早期常用的压重加荷台试验装置外,目前国内采用的试验装置,大体可归纳为由承压板、加荷系统、反力系统、量测系统四部分组成。加荷系统控制并稳定加荷的大小,通过反力系统反作用于承压板,承压板将荷载均匀传递给地基土,地基土的变形由量测系统测定。

(1) 承压板

承压板材料要求:承压板应具有足够的刚度,不易破损、绝对不能产生挠曲,压板底部光滑平整,尺寸和传力重心准确,搬运和安置方便。承压板可用混凝土、钢筋混凝土、钢板、铸铁板等制成,多以肋板加固的钢板为主。

承压板形状一般为正方形、矩形或圆形,其中圆形承压板受力条件较好,最为常用。

对于浅层(深度 $<3.0\text{ m}$)平板荷载试验,承压板面积不应小于 0.25 m^2 ;对均质密实的土,可

采用 0.1 m^2 ; 对软土和人工填土, 不应小于 0.5 m^2 ; 岩石载荷承压板面积不宜小于 0.07 m^2 。但各国和国内各部门采用的承压板面积规定不一, 如日本常用方形 900 cm^2 , 俄罗斯常用 0.5 m^2 , 我国铁道部第一设计院则根据自己的经验, 按如下原则选取:

①碎石类土: 压板直径宜大于碎石、卵石最大粒径的 10 倍。

②岩石地基: 压板面积 $1\,000 \text{ cm}^2$ 。

③细颗粒土: 压板面积 $1\,000 \sim 5\,000 \text{ cm}^2$ 。

④视试验的均质土层厚度和加荷系统的能力、反力系统的抗力等确定之, 以确保载荷试验能得出极限荷载。

(2) 加荷系统

加荷系统是指通过承压板对地基施加荷载的装置和方法, 基本上可分为三类。

①堆重加荷, 常用的堆重加荷可以堆砂袋、砌块、钢锭等, 加荷操作要细心、要对称放置, 堆重物不要偏压, 应注意堆重方阵的稳定问题。偏压和失稳对测试非常不利。②千斤顶加荷, 根据需要用一或几个千斤顶加荷。单个千斤顶加荷时操作方便, 须注意加荷稳定, 避免冲击荷载。几个千斤顶加荷时, 要保证同步加压, 也要注意加荷稳定。千斤顶必须用前标定(率定)。③其他加荷方法, 将重物通过滑轮组放大或经油压放大进行加荷, 可以达到很大的数值。

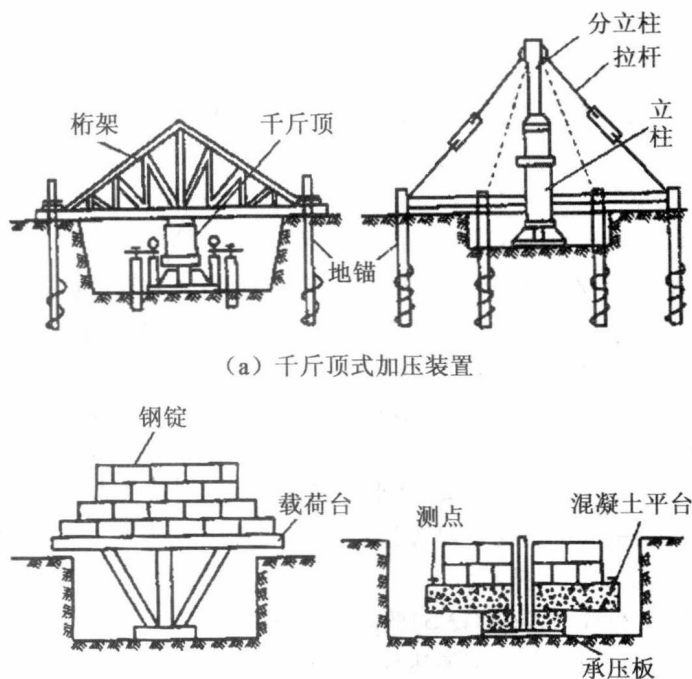
(3) 反力系统

有堆载式、撑壁式、锚固式等多种形式。

(4) 量测系统

荷载量测一般采用油压表(测力环)或电测压力传感器, 并用压力表校核。承压板沉降量测采用百分表或电子仪表(如电测位移计)。

静力载荷试验设备结构如图 1-1 所示。



(a) 千斤顶式加压装置
(b) 载荷台式加压装置
图 1-1 静力载荷试验设备结构

3. 测试方法及要求

(1) 基本要求

① 载荷试验一般在方形试坑中进行,基坑宽度应不小于承压板宽度(或直径)的 3 倍,以消除侧向土自重引起的超载影响,使其达到或接近地基的半空间平面问题边界条件的要求:试坑应布置在有代表性的地点,承压板底面应放置在基础底面标高处。

② 为了保持试验地基土的天然湿度与原状结构,测试之前,应在坑底预留 20~30 cm 厚的原土层,待测试将开始时再挖去,并立即放入载荷板。对软塑、流塑状态的黏性土或饱和的松散砂,在承压板周围应预留 20~30 cm 厚的原土作为保护层;承压板与土层接触处,一般应铺设不超过 2 mm 厚的砂找平,以保证承压板水平并与土层均匀接触。

③ 加载要求不少于 8 级,可参考表 1-1,最大加荷不小于设计荷载的 2 倍(试验桩)。第一级荷载可加等级荷载的 2 倍。

表 1-1 每级荷载增量参考值

试验土层特征	每级荷载增量(kPa)
淤泥,流塑黏性土,松散砂土	<15
软塑黏性土,粉土,稍密砂土	15~25
可塑—硬塑黏性土,粉土,中密砂土	25~50
坚硬黏性土,粉土,密实砂	50~100
碎石土,软岩石,风化岩石	100~200

(2) 试验方法

安装完毕,即可分级加荷。试验的加载方式可采用分级维持荷载沉降相对稳定法(慢速法)、沉降非稳定法(快速法)和等沉降速率法,以慢速法为主。快速法一般 2 h 加一级荷载,共加 8~10 级;稳定法是沉降速率<0.1 mm/h 后开始加下级荷载。

① 测试的第一级荷载,应将设备的自重计入,且宜接近所卸除土的自重(相应的沉降量不计)。以后每级荷载增量,一般取预估测试土层极限压力的 1/8~1/10。当不宜预估其极限压力时,对松软土层(地基),每级荷载增量可采用 10~25 kPa;中密土层,采用 25~50 kPa;密实土层,采用 50~100 kPa;碎石类土,采用 100~200 kPa;岩石地基,采用 200~500 kPa。

② 观测每级荷载下的沉降。慢速法要求是:沉降观测时间间隔:加荷开始后,第一个 30 min 内,每 10 min 观测沉降一次;第二个 30 min 内,每 15 min 观测一次;以后每 3 min 进行一次。沉降相对稳定标准:连续四次观测的沉降量,每小时累计不大于 0.1 mm 时,方可施加下一级荷载。

极限荷载的确定:当试验中出现下列情况之一时,即可终止加荷。

① 承压板周围的土明显侧向挤出。

② 沉降量急骤增大,荷载-沉降量(Q-S)曲线出现陡降段。

③ 某一荷载下,24 h 内沉降速率不能达到稳定标准。

④ S/b (或 S/d) >0.06 (b 、 d 为承压板边长或直径, S 为最终沉降值)。

满足前三种情况之一时,它对应的前一级荷载定为极限荷载。

(3) 静力载荷试验资料整理

1) 校对原始记录资料和绘制试验关系曲线

在载荷试验结束后,应及时对原始记录资料进行全面整理和检查,计算出各级荷载作用下的稳定沉降值和沉降值随时间的变化量,由载荷试验的原始资料可绘制 $Q-S$ 曲线、 $\lg Q-\lg S$ 、 $\lg t-\lg S$ 等关系曲线。这既是静力载荷试验的主要成果,又是分析计算的依据。

2) 沉降观测值的修正

根据原始资料绘制的 $Q-S$ 曲线,有时由于受承压板与土之间不够密合、地基土的前期固结压力及开挖试坑引起地基土的回弹变形等因素的影响, $Q-S$ 曲线的初始直线段不一定通过坐标原点。因此,在利用 $Q-S$ 曲线推求地基土的承载力及变形模量前,应先对试验得到的沉降观测值进行修正,使 $Q-S$ 曲线初始直线段通过坐标原点。

(4) 静力载荷试验资料应用

1) 确定地基土承载力特征值(f_{ak})的方法

确定地基的承载力时既要控制强度,又要能确保建筑物不致产生过大沉降。安全系数取值不小于 2,但具体到各类工程时侧重点有所不同,这与工程的使用要求和使用环境有关。铁路建筑物一般以强度控制为主、变形控制为辅;工业与民用建筑则一般以变形控制为主、强度控制为辅。

①强度控制法(以比例界限荷载 Q_0 作为地基土承载力特征值)。 $Q-S$ 曲线上有明显的直线段,一般采用直线段的拐点所对应的荷载为比例界限荷载 Q_0 ,取 Q_0 为 f_{ak} 。当极限荷载 Q_u 小于 $2Q_0$ 时,取 $1/2p_u$ 为 f_{ak} 。

②相对沉降量控制法。当 $Q-S$ 曲线无明显拐点,曲线形状呈缓和曲线型时,可以用相对沉降 S/b 来控制,决定地基土承载力特征值。

如果承压板面积为 $0.25\sim 0.5\text{ m}^2$,可取 S/b (或 d)= $0.01\sim 0.015$ 所对应的荷载值,但其值不应大于最大加载量的一半。

同一土层中参加统计的试验点不应少于三点,当试验实测值的极差不超过其平均值的 30% 时,取平均值作为地基土承载力特征值。

2) 确定地基土的变形模量

土的变形模量应根据 $Q-S$ 曲线的初始直线段,按均质各向同性半无限弹性介质的弹性理论计算。一般在 $Q-S$ 曲线的初始直线段上任取一点,取该点的荷载 Q 和对应的沉降 S ,可按下式计算地基土的变形模量 E_0 (MPa):

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pd}{S} \quad (1-1)$$

式中, I_0 为刚性承压板的形状系数,圆形承压板取 0.785,方形承压板取 0.886; μ 为土的泊松比(碎石土取 0.27,砂土取 0.30,粉土取 0.35,粉质黏土取 0.38,黏土取 0.42); d 为承压板直径或边长,m; p 为 $Q-S$ 曲线线性段的某级压力,kPa; S 为与 Q 对应的沉降,mm。

1.2.2 螺旋板载荷试验

螺旋板载荷试验是将螺旋形承压板旋入地面以下预定深度,在土层的天然应力状态下,通过传力杆向螺旋形承压板施加压力,直接测定荷载与土层沉降的关系。螺旋板载荷试验通常用以测求

土的变形模量、不排水抗剪强度和固结系数等一系列重要参数。其测试深度可达 10~15 m。

1. 试验设备

螺旋板载荷试验设备通常由以下四部分组成。

①承压板,呈螺旋板形。它既是回转钻进时的钻头,又是钻进到达试验深度进行载荷试验的承压板。螺旋板通常有两种规格:一种直径 160 mm,投影面积 200 cm^2 ,钢板厚 5 mm,螺距 40 mm;另一种直径 252 mm,投影面积 500 cm^2 ,钢板厚 5 mm,螺距 80 mm。螺旋板结构见图 1-2。

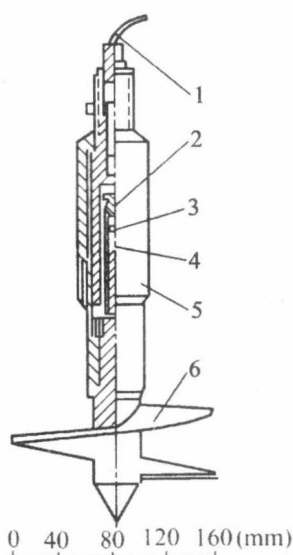


图 1-2 螺旋板结构示意图

1—导线;2—测力仪传感器;3—钢球;4—传力顶柱;5—护套;6—螺旋形承压板

②量测系统,采用压力传感器、位移传感器或百分表分别量测施加的压力和土层的沉降量。

③加压装置,由千斤顶、传力杆组成。

④反力装置,由地锚和钢架梁等组成。

螺旋板载荷试验装置示意图如图 1-3 所示。

2. 试验要求

(1)应力法

用油压千斤顶分级加荷,每级荷载对于砂土、中低压缩性的黏性土、粉土宜采用 50 kPa,对于高压缩性土用 25 kPa。每加一级荷载后,按 10 min、10 min、10 min、15 min、15 min 的间隔观测承压板沉降,以后的间隔为 30 min,达到相对稳定后施加下一级荷载。相对稳定的标准为连续观测两次以上沉降量小于 0.1 mm/h。

(2)应变法

用油压千斤顶加荷,加荷速率根据土的性质不同而取值,对于砂土、中低压缩性土,宜采用 1~2 mm/min,每下沉 1 mm 测读压力一次;对于高压缩性土,宜采用 0.25~0.5 mm/min,每下沉 0.25~0.5 mm 测读压力一次,直至土层破坏。试验点的垂直距离一般为 1.0 m。

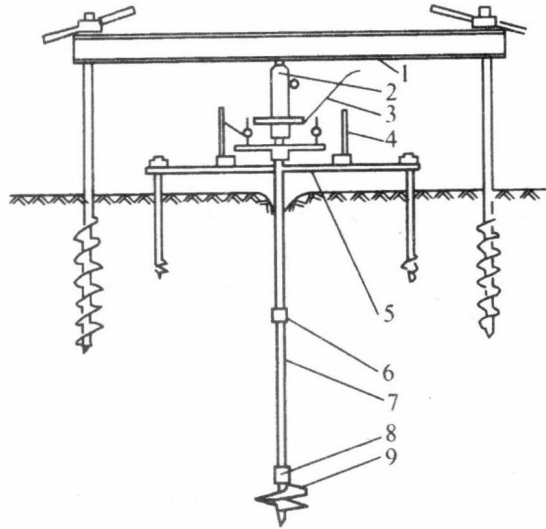


图 1-3 螺旋板载荷试验装置

1—反力装置;2—油压千斤顶;3—导线;4—百分表及磁性座;5—百分表横梁;
6—传力杆接头;7—传力杆;8—测力传感器;9—螺旋形承压板

3. 试验资料整理与成果应用

螺旋板载荷试验采用应力法时,根据试验可获得荷载-沉降量关系曲线($Q-S$ 曲线)、沉降量与时间关系曲线($S-t$ 曲线);采用应变法时,可获得荷载-沉降量关系曲线,依据这些资料,通过理论分析可获得如下土层参数。

①根据螺旋板载荷试验资料绘制 $Q-S$ 曲线,确定地基土的承载力特征值,其方法与静力载荷试验相同。

②确定土的不排水变形模量 E_u 。

$$E_u = 0.33 \frac{\Delta p D}{\Delta S} \quad (1-2)$$

式中, E_u 为不排水变形模量, MPa; Δp 为压力增量, MPa; ΔS 为压力增量 Δp 所对应的沉降量, mm; D 为螺旋板直径, mm。

③确定排水变形模量 E_0 。

$$E_0 = 0.42 \frac{\Delta p D}{S_{100}} \quad (1-3)$$

式中, E_0 为排水变形模量, MPa; S_{100} 为在 Δp 压力增量下固结完成后的沉降量, mm; 其余符号意义同前。

④计算不排水抗剪强度。

$$c_u = \frac{P_l}{k\pi R^2} \quad (1-4)$$

式中, c_u 为不排水抗剪强度, kPa; P_l 为 $Q-S$ 曲线上极限荷载的压力, kN; R 为螺旋板半径, cm; k 为系数, 对软塑、流塑软黏土取 8.0~9.5, 对其他土取 9.0~11.5。

⑤计算一维压缩模量 E_{sc} 。

$$E_{sc} = m p_a \left(\frac{p}{p_a} \right)^{1-a} \quad (1-5)$$

$$m = \frac{S_c (p - p_0) D}{S p_a} \quad (1-6)$$

式中, E_{sc} 为一维压缩模量, kPa; p_a 为标准压力, kPa; 取一个大气压 $p_a = 100$ kPa; p 为 $Q-S$ 曲线上的荷载, kPa; p_0 为有效上覆压力, kPa; S 为与 p 对应的沉降量, cm; D 为螺旋板直径, cm; m 为模数; a 为应力指数; 超固结土取 1.0, 砂土、粉土取 0.5, 正常固结饱和黏土取 0; S_c 为无因次沉降系数。可从图 1-4 查得。

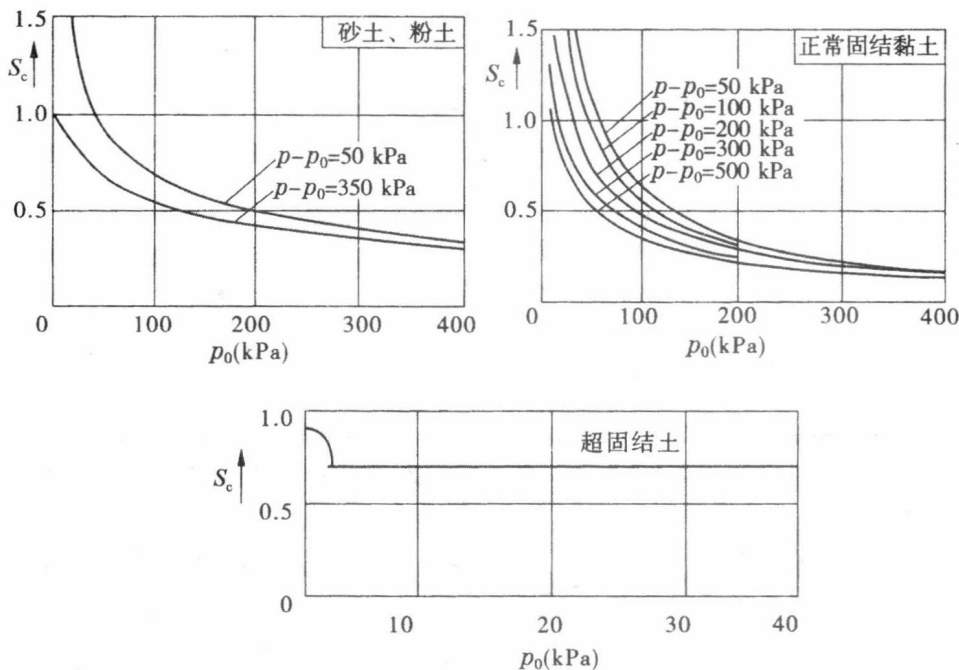


图 1-4 p_0-S_c 关系曲线

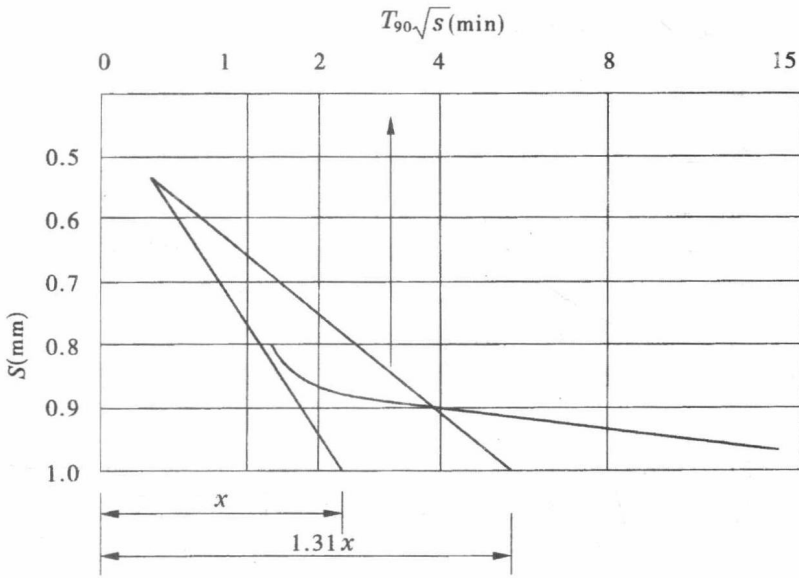
⑥计算径向固结系数 C_r 。

根据试验得到的每级荷载下沉降量 S 与时间的平方根 \sqrt{t} 绘制 $S\sqrt{t}$ 曲线(见图 1-5)。Janbu 根据一维轴对称径向排水的固结理论, 推导得径向固结系数 C_r 为

$$C_r = T_{90} \frac{R^2}{t_{90}} \quad (1-7)$$

式中, C_r 为径向固结系数, cm^2/min ; R 为螺旋板半径, cm; T_{90} 为相当于 90% 固结度的时间因子, 取 0.335; t_{90} 为完成 90% 固结度的时间, min。

过 $S\sqrt{t}$ 曲线初始直线段与 S 轴的交点, 作一 1.31 倍初始段直线斜率的直线与 $S\sqrt{t}$ 曲线相交, 其交点即为完成 90% 固结度的时间 t_{90} 。

图 1-5 $S\sqrt{t}$ 曲线

就螺旋板载荷试验在国内的发展情况来看,尚处于研究对比阶段,无论设备结构,还是基础理论和实际应用,都有待进一步开发、研究和推广。

1.3 静力触探试验

静力触探试验(Static Cone Penetration Test),简称静探(CPT)。静力触探是用千斤顶或落锤将一根细长的金属杆(直径 19~80 mm)压入土中,用以测定任意深度处金属杆的贯入阻力。将其结果绘成图,横坐标表示贯入阻力,纵坐标表示贯入深度。由于贯入阻力的大小与土层的性质有关,因此通过贯入阻力的变化情况,可以达到了解土层的工程性质的目的。这是岩土工程勘察中使用最为广泛的一个原位测试项目。

静力触探试验具有勘探和测试双重功能,它和常规的钻探-取样-室内试验等勘察程序相比,具有快速、精确、经济和节省人力等特点。特别是对于地层变化较大的复杂场地以及不易取得原状土样的饱和砂土和高灵敏度的软黏土地层的勘察,静力触探更具有其独特的优越性。此外,在桩基勘察中,静力触探的某些长处,如能准确地确定桩尖持力层等也是一般的常规勘察手段所不能比拟的。

当然,静力触探试验也有其缺点,一是贯入机理尚难搞清,无数理模型,因而目前对静探成果的解释主要还是经验性的;二是它不能直接地识别土层,并且对碎石类土和较密实砂土层难以贯入,因此有时还需要钻探与其配合才能完成工程地质勘察任务。尽管如此,静探的优越性还是相当明显的,因而能在国内外获得极其广泛的应用。

1.3.1 静力触探设备及测量仪器

1. 贯入和驱动

(1) 加压装置

加压装置的作用是将探头压入土层中。按加压方式可分为下列几种：

①手摇式轻型静力触探：利用摇柄、链条、齿轮等用人力将探头压入土中。用于较大设备难以进入的狭小场地的浅层地基土的现场测试。

②齿轮机械式静力触探：其结构简单，加工方便，既可单独组装，也可装在汽车上，但贯入力小，贯入深度有限。

③全液压传动静力触探：分单缸、双缸两种。主要组成部件有油缸和固定油缸底座、油泵、分压阀、高压油管、压杆器和导向轮等。目前在国内使用液压静力触探仪比较普遍，一般最大贯入力可达 200 kN。

(2) 反力装置

静力触探的反力有三种形式：利用地锚作反力；用重物作反力；利用车辆自重作反力。

(3) 探杆

触探钻杆通常用外径 32~35 mm，也有直径 42 mm，壁厚 5.0 mm 的无缝钢管制成。每根触探杆的长度以 1.0 m 为宜。

(4) 探头

1) 探头的工作原理

将探头压入土中时，由于土层的阻力，使探头受到一定的压力；土层的强度愈高，探头所受到的压力愈大。通过探头内的阻力传感器（以下简称传感器），将土层的阻力转换为电信号，然后由仪表测量出来。为了实现这个目的，需运用三个方面的原理，即材料弹性变形的虎克定律、电量变化的电阻率定律和电桥原理。

静力触探就是通过探头传感器实现一系列量的转换：土的强度→土的阻力→传感器的应变→电阻的变化→电压的输出，最后由电子仪器放大和记录下来，达到获取土的强度和其他指标的目的。

2) 探头的结构

①单桥探头。由图 1-6 可知，单桥探头由锥头、弹性元件（传感器）、顶柱、电阻应变片组成，锥底的截面积规格不一，常用的探头型号及规格见表 1-2。单桥探头有效侧壁长度为锥底直径的 1.6 倍。

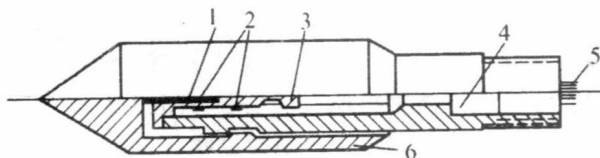


图 1-6 单桥探头结构

1—顶柱；2—电阻应变片；3—传感器；4—密封垫圈套；5—四芯电缆；6—外套筒