

地基基础设计与施工丛书

岩土工程师培训与注册考试复习用书

高大钊 主编
孙 钧 主审

第2版

地基基础 测试新技术

祝龙根 刘利民 耿乃兴 编著



机械工业出版社
China Machine Press



地基基础设计与施工丛书

——岩土工程师培训与注册考试复习用书

高大钊 主编

孙 钧 主审

地基基础测试新技术

第2版

祝龙根 刘利民 耿乃兴 编著



机械工业出版社

本书是在《地基基础测试新技术》第 1 版基础上,经修改、扩充后写成的关于地基基础测试技术的一本实用型专著。全书共分 9 章,其中 4 章详细介绍了地基土、基桩的静力和动力特性的测试技术;另外 4 章详细介绍了深基坑开挖、沉桩、软土地区地铁盾构和高等级公路施工的监测技术;还有 1 章详细介绍了探地雷达技术。各章对所述测试、监测技术的基本原理、仪器设备、测试方法、测试资料的整理与分析均作了全面阐述;另外还对测试成果在工程中应用方法作了深入探讨。本书对从事建筑工程和岩土工程勘察、设计、施工、监理、检测等工程技术人员来说,是一本颇有价值的参考书。本书亦可作为技术干部继续教育、上岗资质培训、高等院校教学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础测试新技术/祝龙根等编著. —2 版. —北京:机械工业出版社,2002.3
(地基基础设计与施工丛书/高大钊主编)

ISBN 7-111-07498-X

I. 地... II. 祝... III. 地基-测试技术... IV. TU470

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43583 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘彩英

封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 4 月第 2 版第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/16·20 印张·493 千字

8 001—11 000 册

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

地基基础的设计与施工是一门实用性很强的工程技术学科，对于提高工程质量与降低工程造价关系极大。近 20 年来，随着我国城市建设的发展，大量高层建筑和高等级道路以及一些城市地下铁道的兴建，地基基础工程技术队伍不断扩大，有力地促进了地基设计、桩基技术、地基处理、基坑工程和地基基础测试技术等领域的技术进步，出现了许多新的设计计算方法和新的施工技术，形成了新的技术热点，获得不少的技术成果，亟需加以归纳总结和提高，以适应进一步发展的要求。

同济大学地基基础教研室是我国建制较早的地基基础教学与研究单位，在我国土力学前辈俞调梅、张问清和郑大同教授等的开拓下已形成了一支有特色的学术队伍，参与了许多重大建设工程项目和一系列地基基础技术规范的编制工作，积累了比较丰富的工程经验。这套丛书的作者大多是几十年来长期从事地基基础教学科研工作的教授，在丛中反映了他们的学术见解和工程经验。是一套融设计方法与施工技术于一体，既有基本原理阐述又有技术进展的综合、全面系统的技术专著。本书的问世，相信对广大土木工程、岩土工程工作者都会有所助益，故乐意为之作序。

孙 钧

同济大学岩土工程研究所

1999 年 2 月

孙钧教授系中国科学院院士，国际岩石力学与工程学会副主席，同济大学校务委员、岩土工程系名誉系主任。

《地基基础设计与施工丛书》前言

(第2版)

与劳瑞芬君共同选题与筹划多年的《地基基础设计与施工丛书》1999年春脱稿，于是年秋出版。一年后，此丛书已告售罄，出版社建议重印或修改再版。

《地基基础设计与施工丛书》能获读者垂爱，实乃因工程建设急需地基基础科技知识的普及与提高。编者更应殚智竭力，提供能为读者解惑、明理、助业之科技读物。鉴于丛书筹划时间较早，资料大多取自20世纪90年代中期以前，此后的技术进展颇为迅速，如将原书重印，固甚省力，但总感愧对读者，于心不安。故与丛书作者诸君议决修改再版，以期能尽力反映丛书诸领域的最新成果，经近一年的努力，终能在2002年初与读者见面。

我国已经入世，技术标准与从业资格管理将与国际逐步接轨，注册岩土工程师考试也即将开始。然岩土工程师应具宽广知识面之注册考试要求与我国专业教育面过窄之矛盾极为突出，故应试工程师宜及早拓宽与加深地基基础知识。目前地基基础科技读物固多，然高校教材因受教学要求及篇幅限制，甚少工程实例；学术专著理论深厚，似难以迅速普及；手册内容又过于浩瀚，不适宜考试复习，似尚缺少系统、简明而又实用的技术教育读物。故为注册岩土工程师考试复习尽绵薄之力，亦为本书修改再版时追求的目标之一。

近年，我国诸多规范正在修订改版，名词术语、设计原则颇多更改，然土力学基本原理依然稳定，少有变动。为帮助读者解读规范之要义，丛书对各类方法取兼收并蓄、博采众长的取材原则，使读者不因方法差异而迷惑，对不同规范均能掌握其精髓，以期能根据工作之需正确运用各行业之技术规范。对处于规范修改变化中的技术趋向，丛书也尽力加以阐述，祈使读者能适应设计、施工方法日新月异之变化。

丛书第1版出版时，蒙孙钧院士作序，第2版孙先生又应允主审，对学术著作的撰写出版极尽关爱与支持之情。正值先生主审的《岩土工程的回顾与前瞻》出版不久，丛书第2版又将出版，在孙先生指导下能为岩土工程的学术繁荣添砖加瓦，实乃丛书作者的莫大荣幸。

1999年初孙先生为丛书第1版作序时，论及我国土力学前辈俞调梅教授开拓地基基础学科的贡献。丛书于该年9月出版，然调梅师已于6月作古，未能看到丛书的问世，深为憾事。此次丛书第2版付梓，时值调梅师逝世3周年，谨以此书作为对先师的纪念。

主编 高大钊
2002年2月于同济园

本书前言

(第2版)

几度修改，数易其稿，《地基基础测试新技术》第2版终于面世了。

本书是在《地基基础测试新技术》第1版基础上完成的。除了对本书第1版部分章节的顺序进行了调整，对部分章节的内容进行了充实外，为适应国内日益增长的高等级公路和地铁建设的需要，新增加了探地雷达技术在地基基础工程中的应用、软土地区高等级公路施工监测、软土地区地铁盾构施工监测等内容，这就使得全书的结构更加合理、内容更加完善、实用性更加突出。

虽然已经尽心竭力了，但当付梓之际，我们依然忐忑不安。我们深知，由于学术水平和实践经验的限制，书中肯定会有很多缺点和不足，恳请广大读者和业界同仁批评、指正。促进我国地基基础与地下工程测试技术的繁荣和发展是我们共同的责任！

感谢高大钊主编、孙钧主审对本书工作的关心！感谢朋友们给予的无私帮助！

祝龙根 刘利民 耿乃兴

2002年1月

目 录

序

《地基基础设计与施工丛书》前言 (第2版)

本书前言 (第2版)

第1章 地基土静力特性测试 1

1.1 地基土静载荷试验 1

1.1.1 平板载荷试验 1

1.1.2 螺旋板载荷试验 15

1.1.3 复合地基载荷试验 21

1.2 静力触探 23

1.2.1 概述 23

1.2.2 试验设备 23

1.2.3 试验方法 25

1.2.4 试验资料的整理 26

1.2.5 试验成果的应用 29

1.2.6 孔压静力触探试验简介 41

1.3 旁压试验 45

1.3.1 概述 45

1.3.2 试验设备 45

1.3.3 试验方法 46

1.3.4 试验资料的整理 48

1.3.5 试验成果的应用 50

1.4 标准贯入试验 56

1.4.1 概述 56

1.4.2 试验设备 56

1.4.3 试验方法 57

1.4.4 试验资料的整理 57

1.4.5 试验成果的应用 61

1.5 轻便触探试验简介 69

1.5.1 概述 69

1.5.2 试验成果的应用 70

1.6 十字板剪切试验 71

1.6.1 概述 71

1.6.2 试验设备 71

1.6.3 试验方法 72

1.6.4 试验资料的整理 74

1.6.5 试验成果的应用 76

1.7 地基土的现场直剪试验 77

1.7.1 概述 77

1.7.2 试样制备 77

1.7.3 试验设备 78

1.7.4 安装要点 78

1.7.5 试验方法 79

1.7.6 试验资料的整理 80

1.8 地基土对混凝土板的抗滑试验 81

1.8.1 试验原理 81

1.8.2 试板制作要求及仪器设备 83

1.8.3 试验要点 83

1.8.4 试验资料的整理 85

1.8.5 工程实例及分析 86

第2章 地基土动力特性测试 89

2.1 场地土波速测试 89

2.1.1 概述 89

2.1.2 折射法 90

2.1.3 反射法 97

2.1.4 跨孔法波速测试 100

2.1.5 单孔法波速测试 106

2.1.6 表面波波速测试 109

2.1.7 场地土波速的应用 113

2.2 场地地微振观测 116

2.2.1 测试设备 117

2.2.2 测试方法 118

2.2.3	测试资料的整理	119	3.3.5	单桩水平临界荷载和极限 荷载的确定	162
2.2.4	量测成果的应用	121	第 4 章	基桩的动力测试	164
2.3	地基土刚度系数测试	123	4.1	基桩的低应变动测	164
2.3.1	测试设备	123	4.1.1	概述	164
2.3.2	测试方法	124	4.1.2	反射波法	165
2.3.3	试验资料的整理	125	4.1.3	机械阻抗法	170
2.4	振动衰减测试	130	4.1.4	动力参数法	174
2.4.1	测试设备	130	4.2	基桩的高应变动测	178
2.4.2	测试方法	130	4.2.1	锤击贯入法	178
2.4.3	测试资料的整理	131	4.2.2	Smith 波动方程法	182
2.5	临界竖向振动加速度、临界基地 动压力测试	133	4.2.3	Case 法	188
2.5.1	概述	133	4.2.4	Case 法波动分析程序 简介	199
2.5.2	试验仪器设备	134	第 5 章	探地雷达技术在地基基础工程中 的应用	202
2.5.3	试验方法、顺序	135	5.1	概述	202
2.5.4	临界竖向振动加速度、临 界基底压力的确定	136	5.2	探地雷达的工作原理和 基本组成	202
第 3 章	基桩的静力测试	137	5.3	探地雷达的剖面测量方法	203
3.1	单桩竖向抗压静载荷试验	137	5.4	探地雷达现场检测技术	204
3.1.1	概述	137	5.4.1	检测对象的分析和 要求	204
3.1.2	试验设备	137	5.4.2	测网布置的原则	204
3.1.3	试验方法	141	5.5	探地雷达图象的数字处理技术	204
3.1.4	试验资料的整理	143	5.5.1	数字滤波	204
3.1.5	单桩竖向抗压承载力 的确定	146	5.5.2	反褶积	206
3.2	单桩竖向抗拔静载荷试验	150	5.5.3	偏移绕射处理	207
3.2.1	概述	150	5.5.4	图象增强处理	208
3.2.2	试验设备	151	5.6	探地雷达资料的解释	209
3.2.3	试验方法	152	5.6.1	反射层的拾取	209
3.2.4	试验资料整理	152	5.6.2	时间剖面的解释	209
3.2.5	确定单桩竖向抗拔 承载力	153	5.7	探地雷达技术的应用实例	210
3.3	单桩水平静载荷试验	155	5.7.1	探地雷达用来确定地层 分界面	210
3.3.1	概述	155	5.7.2	探地雷达在施工质量检测 中的应用	212
3.3.2	试验设备	155			
3.3.3	试验方法	157			
3.3.4	试验资料的整理	158			

5.7.3 探地雷达在顶管工程中的应用	212	7.1.1 深基坑围护结构	234
第 6 章 沉桩对周围环境影响的监测	214	7.1.2 基坑开挖方式	237
6.1 概述	214	7.1.3 基坑事故的形式及原因	238
6.2 沉桩前对周围环境的调查	215	7.1.4 深基坑开挖监测	239
6.3 周围建筑物位移的监测	215	7.2 围护与支撑结构监测	240
6.3.1 邻近建筑物沉降监测	215	7.2.1 围护结构顶部水平位移监测	240
6.3.2 邻近建筑物水平位移的监测	217	7.2.2 围护结构倾斜监测	241
6.3.3 监测资料的整理	219	7.2.3 围护结构沉降监测	241
6.4 土体垂直位移、水平位移监测	219	7.2.4 围护结构应力监测	241
6.4.1 水准点、监测点的布设	219	7.2.5 围护结构完整性和强度检测	241
6.4.2 监测方法	220	7.2.6 支撑结构受力监测	241
6.4.3 监测资料的整理	220	7.3 周围环境监测	242
6.5 地下管线垂直、水平位移的监测	221	7.3.1 邻近建(构)筑物沉降、倾斜和裂缝监测	242
6.5.1 监测方法	221	7.3.2 邻近道路、管线变形监测	242
6.5.2 最小允许曲率半径的确定	222	7.3.3 基坑周围土体位移监测	243
6.5.3 监测资料的整理	224	7.3.4 桩侧土压力监测	243
6.6 孔隙水压力的监测	225	7.3.5 基坑底部隆起监测	244
6.6.1 监测设备	225	7.4 基坑变形控制保护等级及监测项目的警戒值	244
6.6.2 监测方法	226	7.4.1 基坑变形控制保护等级的划分	244
6.6.3 监测资料的整理	227	7.4.2 监测项目的警戒值和允许值	245
6.7 打桩振动监测	227	7.5 深基坑开挖监测工程实例	245
6.7.1 概述	227	7.5.1 上海三角地广场深基坑开挖监测	246
6.7.2 监测设备	229	7.5.2 上海新世纪商厦深基坑开挖监测	260
6.7.3 监测方法	229	第 8 章 软土地区地铁盾构施工监测技术	268
6.7.4 监测资料的整理	230	8.1 概述	268
6.7.5 打桩振动对邻近建筑物危害性评价	230	8.2 地铁隧道贯通误差的来源及不同阶段误差限值分配	268
6.8 建筑物裂缝发展监测	232		
6.8.1 监测内容	232		
6.8.2 监测方法	232		
6.8.3 监测资料的整理	233		
第 7 章 深基坑开挖时的监测工作	234		
7.1 概述	234		

8.2.1 地铁隧道贯通误差的来源	268	9.4 水平位移监测	288
8.2.2 各阶段贯通误差限值分配	269	9.4.1 地面水平位移监测	288
8.3 影响地铁隧道贯通测量精度的环节及其控制	270	9.4.2 土体内部水平位移监测	289
8.3.1 地面测量控制环节	270	9.5 土中应力监测	289
8.3.2 影响贯通联系测量的地下测量环节及精度控制	271	9.5.1 孔隙水压力监测	289
8.3.3 盾构进洞口处中心坐标测量	275	9.5.2 土压力监测	290
8.3.4 地下导线测量精度估算	275	9.5.3 地基的承载力试验	290
8.4 盾构定位姿态的测量方法及精度控制	276	9.6 其它监测项目	290
8.5 提高地下导线精度的方法	277	9.6.1 校验孔隙水压力的地下水位井	290
8.6 地铁隧道洞室位移的三维监测技术	278	9.6.2 单孔出水量	290
8.7 隧道结构监测	279	9.7 监测资料的整理、分析	290
8.8 盾构掘进施工中周围环境监测	280	9.7.1 绘制成果曲线	291
第9章 软土地区高等级公路施工监测	284	9.7.2 利用监测资料预测地基沉降、反算地基土的固结系数	291
9.1 概述	284	9.7.3 监测报告的内容	294
9.2 监测方案设计	285	9.8 软土地区高速公路施工监测实例	294
9.3 沉降监测	286	9.8.1 概况	295
9.3.1 地面沉降监测	287	9.8.2 监测方案设计	295
9.3.2 分层和深层沉降监测	287	9.8.3 监测成果及分析	298
		9.8.4 地基沉降及固结度计算分析	301
		9.8.5 结论	307
		参考文献	308

第 1 章 地基土静力特性测试

建筑物上部结构传来的荷载，最终都要由地基土来承担。因此，研究场地地基土的特性对建筑物持力层的选择、地基土承载力的确定、建筑物沉降和变形的计算等都具有十分重要的意义。另一方面，理论土力学中计算方法的改进和计算精度的提高，也都有赖于土性计算参数的正确选取。随着岩土工程这门新兴学科不断发展，人们越来越深刻地认识到原位测试技术在岩土工程理论和实践中所占据的举足轻重地位。有鉴于此，近年来地基土原位测试方法的理论研究和实际应用都取得了长足的进步，传统的测试方法被赋予新的活力，用来解决实践中出现的岩土工程新问题；与此同时，人们也在不断的探索中开发出一些新的测试手段，整个岩土工程原位测试领域呈现出一派生机勃勃的景象。

载荷试验、静力触探试验、旁压试验、标准贯入试验和十字板剪切试验等原位测试手段，都是确定地基土静力特性的重要方法。本章将着重介绍上述几种常用测试方法的基本原理、测试设备、测试方法以及测试资料的整理和这些资料在确定地基土静力特性中的具体应用。

1.1 地基土静载荷试验

地基土静载荷试验是各种原位测试方法中开展得比较早的测试技术。它基本上能够模拟建筑物地基的实际受荷条件，比较准确地反映地基土受力状况和变形特征，是直接确定地基土承载力和变形模量等参数的最可靠方法，也是其他原位测试方法测得的地基土力学参数建立经验关系的主要依据。

1.1.1 平板载荷试验

1.1.1.1 概述

平板载荷试验，如图 1-1 所示，是常用的一种原位测试方法，它是以刚性平底承压板模拟建筑物基础，将竖向荷载均匀传至地基土上，通过实测地基土在荷载作用下的变形，得到载荷试验 p - S 曲线，如图 1-2 所示，然后根据该曲线推求地基土参数的一种方法。

前苏联的什塔耶尔于 1949 年推导出了竖向均布荷载作用下刚性承压板沉降计算公式：

$$\text{圆形板} \quad S = 1.57 \frac{1 - \mu^2}{E_0} r p \quad (1-1)$$

$$\text{方形板} \quad S = 0.88 \frac{1 - \mu^2}{E_0} b p \quad (1-2)$$

式中 S —— 承压板的沉降 (mm);
 r —— 圆形承压板的半径 (mm);
 b —— 方形承压板的边长 (mm);
 μ —— 地基土的泊松比;
 E_0 —— 地基土的变形模量 (kPa);
 p —— 作用在承压板上的均布荷载 (kPa)。

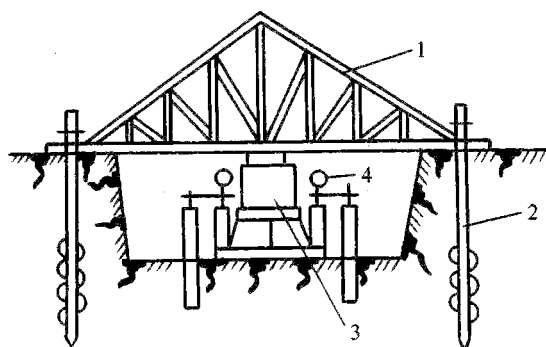


图 1-1 平板载荷试验示意图

1—桁架 2—地锚 3—千斤顶 4—百分表

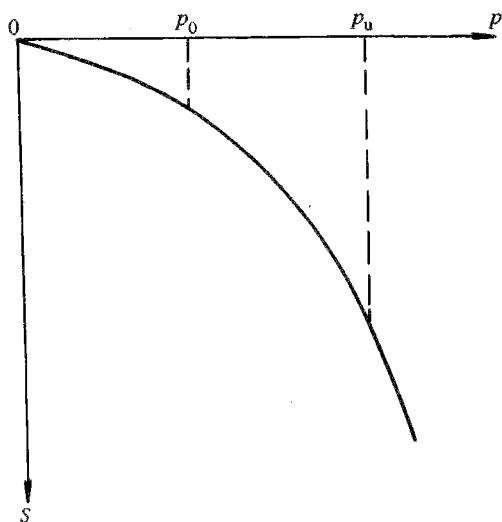


图 1-2 平板载荷试验 $P-S$ 曲线

利用平板载荷试验所得的 $P-S$ 曲线便可求得地基土的变形模量 E_0 ，进而推求地基土的其他参数。

1.1.1.2 试验设备

平板载荷试验测试设备大体上由以下四个部分组成：承压板、加荷系统、反力系统和观测系统。各部分的作用是：加荷系统控制荷载大小；反力系统向承压板施加竖向荷载；承压板将荷载均匀传至地基土；观测系统测定承压板在各级荷载下的沉降。

1. 承压板

载荷试验对承压板的要求主要有以下几个方面：

(1) 承压板的材质 承压板可用混凝土、钢筋混凝土、钢板、铸铁板等制成，实际应用中以肋板加固的钢板为主。但是无论选用什么样的材质，都要求承压板具有足够的刚度、板底平整光滑、板的尺寸和传力重心准确、搬运和安装方便，在长期使用过程中不出现影响使用的变形。

(2) 承压板的形状 承压板可加工成矩形、方形、条形和圆形等多种形状。其中以圆形、方形受力条件较好，使用最多。

(3) 承压板的尺寸 承压板尺寸的大小对评定地基土承载力有一定的影响。为了统一试验条件，使试验结果具有可比性。我国的大部分勘察规范规定承压板尺寸以 $0.25 \sim$

0.50m² 为宜, 对均质密实的土, 可采用 0.10m² 的承压板; 对软土和人工填土, 承压板尺寸不应小于 0.50m²。实际工程中可根据地基土具体情况综合考虑决定。一般情况下, 可参照下面的经验值选取:

- 1) 对于碎石类土, 承压板直径(宽度)应为最大碎、卵石直径的 10~20 倍;
- 2) 对于岩石类土, 承压板面积以 0.10m² 为宜;
- 3) 对于细颗粒土, 承压板面积宜为 0.10~0.50m²。

2. 加荷系统

加荷系统是指通过承压板对地基土施加额定荷载的装置, 如图 1-3 所示。常见的加荷系统大体上有四种类型:

(1) 重物加荷装置 俗称重物加荷台, 一般是将标准的钢锭、钢轨、混凝土块等重物顺次对称地置于加荷台上。这种方法虽简单, 但费时费力, 很难保证堆载重心与承压板中心重合, 当堆载较重时, 其安全性也难以保证。目前, 该方法已较少使用。

(2) 油压千斤顶加荷装置 根据试验地层条件和试验要求, 采用不同规格的手动液压千斤顶加荷, 并配置不同量程的压力表或测力计控制加荷值。千斤顶装置又分为单个千斤顶加荷装置和两个千斤顶加荷装置两种:

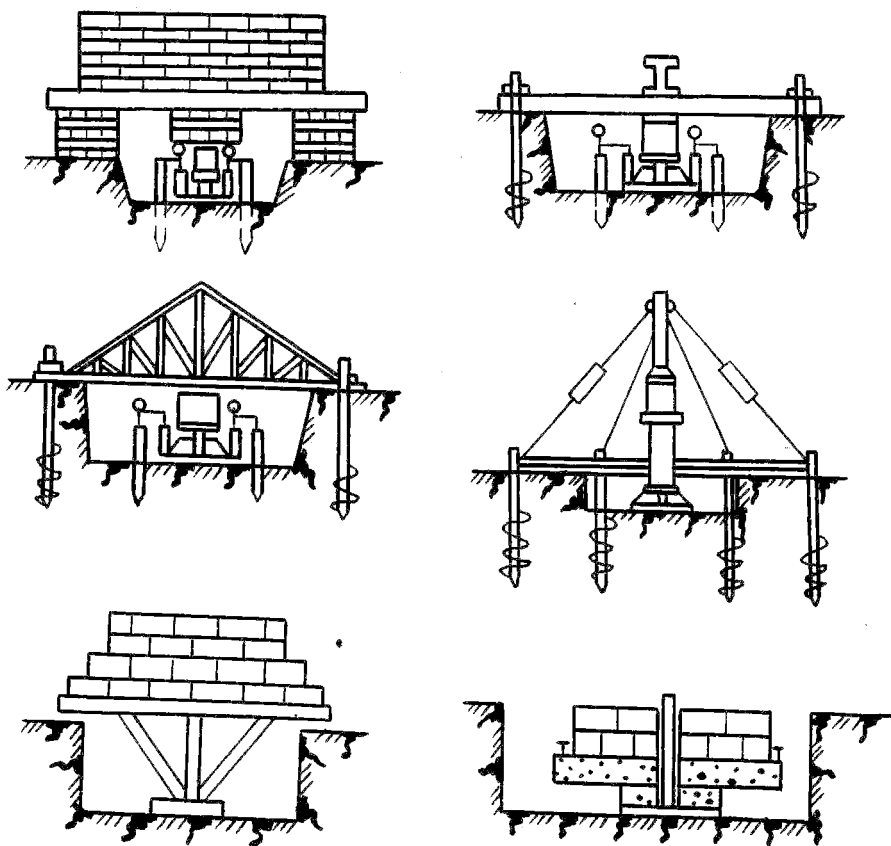


图 1-3 常见的平板载荷试验加荷系统示意图

1) 单个千斤顶加荷装置操作简单, 用杠杆启动千斤顶活塞上升给地基土施加荷载。但这种加荷方式易对地基土产生瞬时冲击荷载, 需人力保持压力稳定, 劳动强度大;

2) 两个千斤顶加荷装置是利用不同千斤顶活塞面积的放大原理, 以小千斤顶加荷作等压传递至大千斤顶, 对地基施加荷载。这种加荷方式克服了单个千斤顶加荷时的一些弊端。

(3) 重物、机械、液压放大加荷装置 该类装置以重物(砝码)作动力, 将具有位移的重物经轮系(动滑轮及杠杆轮)放大和不同油缸活塞面积比值放大(液压放大), 从而达到轮系放大、液压放大双重目的, 其实际加荷值可放大 100 倍以上。

(4) 电控稳压式加荷装置 其工作原理是: 由液压加荷系统引出的压力表组成的传感器通过电气稳压控制系统, 开启油泵电机进行补油, 当所施加荷载满足要求时停止补油。这类加荷装置基本上能实现稳压加荷自动化。

3. 反力系统

除重物加荷装置外, 其他加荷装置均需反力系统配套。载荷试验常用的反力系统为地锚式。当载荷试验深度较大时, 反力系统可采用撑壁式。如图 1-4 所示。

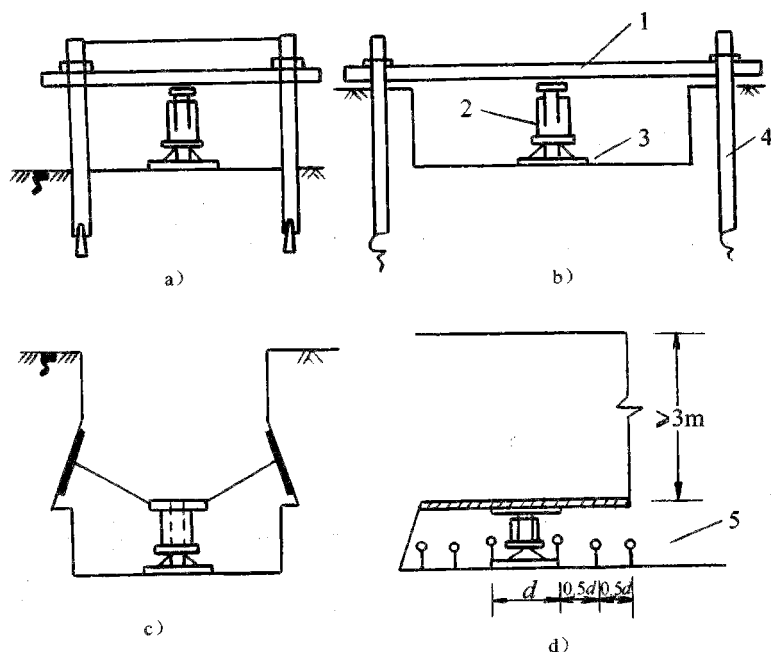


图 1-4 载荷试验反力系统示意图

a) 锚杆式 b) 地锚式 c) 撑壁式 d) 平洞式

1—钢梁 2—千斤顶 3—承压板 4—地锚 5—量测仪表

锚固式反力系统中, 地锚个数应确保有足够的抗拔力, 以免试验中间被拔起。反力梁亦应有足够的刚度。当采用撑壁式反力系统时, 要求坑壁高度大于 1.5m, 坑壁稳定, 传力重心与承压板中心重合。

4. 观测系统

测定地基土沉降和承压板周围地面变形的观测系统由观测支架和测量仪表两部分组成。前者用来固定量测仪表，由小钢钎、角铁、联系支架等组成；后者是用以量测沉降的百分表或其它仪表，其类型有：

(1) 机械仪表 有位移计（量程较大，最小刻度 0.1mm）、百分表（量程 5~30mm，最小刻度 0.01mm，估读 0.005mm）等。

(2) 电子仪表 具有量程大、精度高、无人为读数误差等优点，能实现记录和绘图自动化。

1.1.1.3 试验方法

1. 仪表标定和准备工作

仪表的标定和准备工作是进行测试的基础性重要工作，主要有以下一些内容：

(1) 加荷系统的标定 各类加荷系统的供力（荷载）和测力（压力表、测力计等）装置均需进行标定，一般一年标定一次或维修之后标定，标定时宜采用比量测仪器量程略大的标准压力机标定，加荷分级一般为 10~20kN 为宜，先逐级加荷至最大值，记录各级荷载下的测力计读数 ϵ ，然后逐级卸荷，如此反复三次，各取均值绘制荷载 p - ϵ 曲线。该图形一般应为一条通过坐标原点的直线，其斜率 $\alpha=p/\epsilon$ 即为标定系数。

(2) 观测系统的标定 百分表、位移计或电子仪表应定期送计量局或专业厂家维修和标定。

(3) 其他试验设备的保养 试验设备应经常保养和维修，包括上油、除锈、修理破损部件等。

2. 试坑开挖和平整

平板载荷试验经常要在地面以下一定的深度处进行，此时就需要开挖试坑，试坑开挖时应当注意以下一些问题：

1) 载荷试验费时费力，因此一项工程一般只选择不同地质年代、不同成因类型、不同密实程度、不同饱和度的各类均质土的代表性地层进行试验。承压板下 2 倍直径（宽度）范围内必须为单一均质土层，可用触探或挖掘事先查明；

2) 根据试验点深度和选用的承压板直径（宽度）、反力系统类型，事先规划好试坑型式，按大于 3 倍承压板直径（宽度）的坑宽开挖，当接近试验面（约 0.3m）或坑壁面（撑壁式）0.2m 左右时，用平底铁锹沿试验面或坑壁面将扰动土剥离，试坑较深或坑壁土体不稳定时，应对坑壁进行支撑；

3) 试验面应开挖成水平面，当承压板位于坑凹处时，可用素土或用厚度不超过 20mm 的中细砂垫平；撑壁式两侧坑壁与撑板接触面一般应开挖成 60°左右的内倾角，撑板以上土壁可挖成直立状；

4) 试坑开挖时的弃土应堆积在离开坑壁顶部 1.0m，而且一般宜先下地锚。

3. 试验设备的安装

试验设备安装时应遵循先下后上、先中心后两侧的原则，即首先安放承压板，然后放置千斤顶于其上，再安装反力系统，最后安装观测系统。设备安装时应注意以下几个方面的问题：

1) 安放承压板或千斤顶时应平置轻放，尽量一次置于坑中心，不使试验面土体受

扰动;

2) 确保反力系统、加荷系统和承压板传力重心在一条垂线上, 各部件应牢固连接, 但不应使地基土受到预压;

3) 安装观测系统的观测支架和仪表等部件时, 应保证各部件之间有足够的连接强度。除了在承压板上两侧各安装一个百分表以测定地基土的沉降外, 还应在承压板外两侧地面各 0.5、1 倍承压板直径 (宽度) 处分别安装百分表来测定地面变形量。

4. 现场试验

平板载荷试验的现场试验主要有以下一些步骤:

(1) 准备工作 正式加荷前, 将试验面打扫干净以便于观测地面变形。将承压板上的两个百分表调至零位, 将测定地面变形的两个百分表调至量程的中值位置。

(2) 确定加荷等级 加荷等级一般按试验地层预估基本承载力值或比例界限的 1/5 为一级, 也可以按地基土极限强度的 1/10 为一级, 一些规范的规定参见表 1-1。通常也可根据试验地层的类别和软硬程度按经验确定加荷等级, 具体作法如下:

- | | |
|--------------|-------------|
| 1) 松软粘性土和松散砂 | 12.5~25kPa; |
| 2) 中密粘性土和中密砂 | 25~50kPa; |
| 3) 密实粘性土和密砂 | 50~100kPa; |
| 4) 碎石类土和老粘土 | 100~200kPa; |
| 5) 软质岩层 | 50~100kPa; |
| 6) 硬质岩层 | 200~500kPa。 |

在有些情况下, 为了缩短野外工作时间, 减少原位测试的工作量, 在地基土性质不太复杂以及有其他原位测试手段配合的情况下, 对于不太重要的建筑也可用快速载荷试验方法来确定地基土的力学参数。快速载荷试验具有加荷速率快、试验时间短等特点, 一般情况下试验过程仅 2h, 即在试验过程中每隔 15min 加荷一次, 整个试验过程中加荷 8 次。快速载荷试验主要适用于沉降速率快、容易达到稳定的地层, 如碎石类土、砂类土。对不需作沉降验算的建筑物, 亦可结合施工情况对粘性土层采用快速载荷试验。

(3) 荷载的换算 将载荷试验各级荷载的测量读数换算成该级荷载下单位面积上的压力值, 这个值乘以承压板面积就是施加给地基土的总荷重, 各级荷载的总荷重均应减去设备自重, 它包括锚固式反力梁以下的设备自重以及承压板、千斤顶等事先给地基土施加的荷重。

(4) 沉降稳定标准 常规载荷试验方法是逐级加荷, 待各级荷载的沉降达到规定的沉降稳定标准后, 再施加下一级荷载, 但沉降稳定标准国内外各部门的规定不尽相同, 表 1-1 列出了几种规范的取值标准, 实际应用时可根据工程性质参照相应的规范选取。

(5) 观测记录 按规定逐级加荷, 记录百分表读数, 随时绘制 $P-S$ 曲线草图。一般当加荷五级或已能定出比例界限点后应注意观察地基土产生塑性变形使承压板周围地面出现裂纹和土体侧向挤出的情况, 记录并描绘地面裂纹的形状 (放射状或环状、长短粗细等) 及出现时间。

(6) 加荷注意事项 以千斤顶加荷时, 启动杠杆要轻抬慢压, 以免对地基造成脉冲荷载, 增大沉降量; 接近仪表最大行程时, 一般在该级荷载沉降达到稳定标准后、施

加下一级荷载前将仪表调至零并加以记录。随时注意地锚拔起、撑板上爬、坑壁变形等不安全因素，及时采取处理措施，必要时可终止试验以策安全。

(7) 终止试验条件 关于荷载试验终止条件，各种规范所规定的标准有所差别，参见表 1-1 所列。

表 1-1 荷载试验技术要点

标准名称 要 点	国家标准《建筑地基基础设计规范》 (GBJ7—1989)《岩土工程勘察规范》 (GB50021—1994)	水利电力部标准《土工 试验规程》(SD128--86)	美国《岩土试验标准》(ADTM 01194—72)
承压板面积	1) 土基: 不小于 0.25m^2 ; 2) 岩基: 0.07m^2 (直径 300mm), 圆形 或方形板均可用	面积不小于 0.1m^2 的方 形板或圆形板	1) 直径 305~762mm 的圆形 刚性板, 其中钢板厚度不小于 25.4mm 2) 当采用现浇混凝土板时, 其厚度不小于宽度的 2/3
试坑最小宽度	不小于承压板宽度或直径的 3 倍	不小于承压板宽度或直 径的 3 倍	在一个试坑内应有 2 个试验 点, 试验点间距不小于最大承压 板宽度的 5 倍
荷载级	不小于 8 级, 试验最大荷载不应小于承 载力设计值的 2 倍	一般取预估极限压力的 1/8~1/10	不大于 95.76kPa 或预估极限荷 载的 1/10
试验方法	逐级加载, 认为沉降已趋稳定方可施加 下一级荷载	1) 一般用相对稳定法; 2) 对可塑状、坚硬状 的粘性土、粉土、砂土、 碎石类土等, 根据具体条 件可采用快速法	1) 稳定法 2) 每施加一级荷载按等时间 间隔观测 6 次, 然后加下一级荷 载 3) 按沉降量为承压板直径的 0.5%以 30s、1、4、8、15min 观 测荷载值直到荷载停止变化或在 $s\text{-}lgt$ 曲线上呈线性关系
沉降稳定标准	当连续 2h 内, 每小时的沉降增量小于 0.1mm 时, 认为已趋稳定	最后 1h 的沉降量不大 于 0.1mm	连续 2h 中每小时的沉降量不 超过 0.01mm 或连续 1h 沉降量每 30min 不超过 0.05mm
终止试验条件	1) 承压板周围的土明显侧向挤出; 2) 沉降急剧增大, $P\text{-}S$ 关系曲线出现陡 降段; 3) 在某级荷载下, 24h 内沉降速度达不 到稳定标准。(GB50021—1994) 规定为: 24h 内, 沉降随时间近似等速或加速发展; 4) 一般取 $S/b \geq 0.06$ (b 承压板宽度) 为标准, 而 (GBJ50021—1994) 规定 S/b $\geq 1/12$; 5) 当加载不能达到极限荷载时, 最大 压力应达预计设计压力的 2.0 倍或超过曲 线上第一拐点至少三级荷载;	1) 沉降急剧增加, 承 压板周围出现裂缝和隆 起; 2) 持续 2h 沉降速率加 速度发展; 3) 总沉降量超过承压 板直径的 1/10	1) 荷载出现峰值; 2) 达到荷载增量与下沉量之 比为最小; 3) 达到下沉量为承压板直径 的 1/10; 4) 土体确实破坏