

基 础 工 程

周景星 王洪瑾
虞石民 李广信

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书依据最新有关基础工程的勘察、设计和施工等规范编写,同时注意学科的系统性和技术的新成就和发展。

全书共分八章,包括地基勘察,天然浅基础设计,条形、筏形和箱形基础,桩基础和深基础,地基处理,地基施工中的土力学问题,特殊土地基以及地基抗震等内容。

本书可作为高等院校水电工程建筑专业、土木建筑工程专业的教材,也可作为大中专院校有关专业的教学参考书以及有关专业科技人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/周景星等编著. —北京:清华大学出版社, 1996. 9
ISBN 7-302-02279-8

. 基... . 周... . 基础(工程)-工程施工 . TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15862 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内, 邮编 100084)

印刷者: 北京丰华印刷厂

发行者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787× 1092 1/16 印张: 21.75 字数: 535 千字

版 次: 1996 年 9 月第 1 版 1996 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02279-8/TU · 117

印 数: 0001—5000

定 价: 22.00 元

前 言

基础工程是阐述建筑物在设计 and 施工中有关地基和基础问题的学科,是土建类专业的一门主要课程。

基础是指建筑物最底下的构件或部分结构,其功能是将上部结构所承担的荷载传递到支承它们的地基上(图 0-1)。地基是指支承建筑物的整个地层。地层是广阔的半空间体,其表面承受荷载后,理论上在整个半空间体内都要发生应力与变形,都算是建筑物的地基;但是实用意义上的地基,则是指指数倍于基础宽度范围内、直接承载并相应产生大部分变形的地层(图 0-1)。

图 0-1 地基与基础

在平原地区,由于基岩埋藏较深,地表覆盖土层较厚,因此建筑物经常建造在由土层所构成的地基上,这种地基称为土基。在丘陵地区和山区,由于基岩埋藏浅,甚至裸露于地表,因此建筑物能直接建造于基岩上,这种地基称为岩基。本书仅限于讨论土基问题。

土是一种碎散、多孔隙、粒间没有或很少粘结的材料,作为建筑物地基,必须满足承载后整体稳定和变形控制在建筑物容许范围内的要求。由于地基基础设计不周、施工不善,产生过量沉降或不均匀沉降而导致房屋倾斜、墙体开裂,影响建筑物正常使用的情况屡见不鲜,甚至地基移滑、结构倒塌也有发生;因此,做好地基基础的设计和施工是保证建筑物安全应用的关键环节。特别是在软弱地基上建造高、重建筑物,在整个建筑物的设计和施工中,基础工程常常是技术难度大,投资比例高、施工时间长的组成部分,正确解决好地基基础的问题就尤为重要。

地基、基础和上部结构是建筑物的三个组成部分,三者的功能不同,但彼此联系,相互制约。目前将它们完全统一起来进行计算尚有困难,但在处理地基、基础问题时,应该从地基-基础-上部结构相互作用的整体概念出发全面考虑,才能收到较为理想的效果。

掌握土力学中关于土的基本性质和土体稳定、变形和渗流的各项原理,是成功处理好基础工程问题的必要条件。以往在大学课程中,土力学与基础工程合成一门课讲授。由于大规模现代化建设的发展,所遇到的基础工程问题日益增多,并且日益复杂;为了加强对基础工

程的学习,在清华大学土建类专业的教学计划中,将土力学和基础工程分为连续设置的两门课程。可以认为,本书是已出版的教材《土力学》的续篇。本书内容讲述是以读者已具备了土力学的基本知识为前提的。另一方面,为独立使用方便,书中对土力学中关于地基的计算方法有若干重复,使基础工程本身更为完整。因此,本书也可单独作为有关工程技术人员的参考书。

本书是根据清华大学“水利水电工程建筑”专业和“建筑工程结构”专业所用的“基础工程”课程教学大纲,参照近年国家颁布的有关地基勘察、地基基础设计、地基基础抗震、桩基、箱形筏形基础、特殊土地基和地基处理等十多种现行规范和规程,结合作者多年教学经验所编写的一本教材。内容共分八章,其中第一、二、五、八章由周景星编写,第四、七章由王洪瑾编写,第三章由虞石民编写,第六章由李广信编写,全书由周景星统稿。

在编写过程中,土力学基础工程教研组很多同志给予热情的支持和帮助,书中例题由张晓江和刘铁军同志进行仔细校对,在此向他们表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中定有欠妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一章 地基勘察.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 地基勘察任务和勘探点布置.....	1
第三节 地基勘探方法.....	3
第四节 土工试验.....	9
第五节 地基勘察报告	14
附录 某勘探部门简明技勘报告	15
习题	16
参考文献	18
第二章 天然地基上浅基础的设计	19
第一节 概述	19
第二节 浅基础的设计原则、方法和内容.....	20
第三节 浅基础的类型和基础材料	24
第四节 基础的埋置深度	29
第五节 地基计算	35
第六节 刚性基础设计	51
第七节 扩展基础设计	57
第八节 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	64
习题	69
参考文献	71
第三章 条形、筏形和箱形基础.....	72
第一节 概述	72
第二节 上部结构、基础和地基共同作用的概念.....	77
第三节 地基模型	80
第四节 基础的分析方法概要	87
第五节 柱下条形基础	90
第六节 筏形基础.....	118
第七节 箱形基础.....	123
习题	128
参考文献	130

第四章 桩基础与深基础.....	131
第一节 概述.....	131
第二节 单桩承载力的确定.....	134
第三节 桩基计算.....	157
第四节 桩基的设计步骤.....	169
第五节 深基础简介.....	179
习题	184
参考文献	186
第五章 地基处理.....	187
第一节 概述.....	187
第二节 换填法.....	190
第三节 加密法.....	197
第四节 化学加固法.....	214
第五节 土工聚合物.....	223
习题	231
参考文献	232
第六章 深基础施工中的土力学问题.....	233
第一节 概述.....	233
第二节 土方开挖和降低地下水.....	234
第三节 深基坑开挖的支护结构.....	237
第四节 锚定结构.....	251
第五节 深基础工程的施工方法.....	256
第六节 基础施工对相邻建筑物的影响.....	260
习题	263
参考文献	265
第七章 特殊土地基.....	266
第一节 湿陷性黄土地基.....	266
第二节 膨胀土地基.....	276
习题	288
参考文献	288
第八章 地基抗震分析.....	289
第一节 概述.....	289
第二节 地震和地震反应.....	289
第三节 地基抗震验算.....	298
习题	322

参考文献	324
附录.....	325
附录 按弹性理论矩形板计算表.....	325
附录 地基反力系数.....	328
附录 集中荷载作用于梁端附近时的半无限长梁计算.....	331
附录 桩基等效沉降系数 计算参数表	334

第一章 地基勘察

第一节 概 述

岩土工程勘察在工程地质课中称为“工程地质和水文地质勘察”。其主要任务是查明建筑物场地及其附近的工程地质及水文地质条件,为建筑物场地选择、建筑平面布置、地基与基础的设计和施工提供必要的资料。

场地是指工程建筑所处的和直接使用的土地,而地基则是指场地范围内直接承托建筑物基础的岩土体。由于涉及的范围不同,勘察工作的侧重点也不一样。场地勘察应广泛研究整个工程建设和使用期间场地内是否有发生岩土体失稳、自然地质及工程地质灾害等问题;而地基勘察则为研究地基岩土体在各种静、动荷载作用下所引起的变形和稳定性提供可靠的工程地质和水文地质资料。

岩土工程勘察的内容、方法及工程量的确定决定于:(1)工程的技术要求和规模;(2)建筑场地地质条件的复杂程度;(3)岩土性质的优劣。通常勘察工作都是由浅入深,由表及里,随着工程的不同阶段逐步深化。岩土工程勘察工作可分为可行性研究勘察(或称选择场地勘察)、初步勘察和详细勘察三个阶段,以满足相应的工程建设阶段对地质资料的要求。对于地质条件复杂、有特殊要求的重大建筑物地基,尚应进行施工勘察。反之,对地质条件简单,面积不大的场地,其勘察阶段可以适当简化。每一勘察阶段的内容、要求,勘察方法以至于具体的细则,如勘察点的间距、勘探深度、取样数量等,详见各类工程的“岩土工程勘察规程”。不予详述。

本章地基勘察主要是指建筑总平面确定后的施工图设计阶段的勘察(详细勘察),即把勘察工作的主要对象缩小到具体建筑物的地基范围内。由于场地和地基是不可分割开的,因而也涉及场地勘察的内容。

第二节 地基勘察任务和勘探点布置

一、地基勘察的任务

地基勘察的任务是对建筑物地基作出岩土工程评价,为地基基础设计提供参数,并对地基基础设计和施工以及地基加固和不良地质的防治工程提出具体的方案和建议。因此,在进行地基勘察之前应详细了解设计意图,全面搜集和研究建筑场地及邻近地段的已有勘察报告和建筑经验,并取得下列各项资料:

1. 比例尺不小于 1 : 2000 的现状地形图及拟建建筑物的平面位置图;
2. 拟建建筑物的高度、层数、有无地下室、结构类型、所采用的基础类型、尺寸、埋置深度、单位面积荷载或总荷载,以及对地基基础设计、施工的特殊要求等;
3. 拟建场地的历史沿革以及地下管线、电缆、地下构筑物的分布情况和水准基点的位置与高程。

通过地基勘察应该查明:

1. 有无影响地基稳定性的不良地质现象,如滑坡、地裂缝、古河道、岩溶、洞穴、古墓等;
2. 地层的结构、成因年代、均匀性、尤其是基础下软弱地层和坚硬地层的分布,以及各层土的物理力学性质;
3. 地下水的类型、埋藏情况、水位及其季节性的变化幅度,以及水质对建筑材料的腐蚀性。

二、勘探点的布置

本阶段勘探点的数量和间距应根据建筑物的安全等级和建筑场地的复杂程度确定。建筑场地按地形、地貌、地层土质和地下水位等的变化复杂程度分为以下三类:

1. 简单场地:指地形平坦,地基岩土均匀良好,成因单一,地下水位较低,无不良地质现象的场地。
2. 中等复杂场地:指地形微起伏,地基岩土比较软弱、不够均匀,地下水位较高对建筑物有一定影响,不良地质现象较发育的场地。
3. 复杂场地:指地形起伏大,地基岩土成因复杂,土质软弱且显著不均匀,地下水位高、对建筑物有不良影响,不良地质现象发育的场地。

建筑物根据其类型和破坏所造成的后果分成表 1-1 所列的 3 个等级。

表 1-1 建筑物的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物:20层以上的高层建筑;体型复杂的14层以上的高层建筑;对地基变形有特殊要求的重要工业建筑物;单桩荷载在4000kN以上的建筑物
二级	严重	一般的工业与民用建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

根据场地的类型和建筑物的安全等级,就可以按有关规范确定勘探点的间距。但是各种规范对勘探点间距的建议值也不尽相同,表 1-2 所列的数值可供参考:

表 1-2 勘探点间距

m

建筑物等级 场地类别	建筑物等级		
	一级	二级	三级
简单场地	30 ~ 50	40 ~ 60	50 ~ 70
中等复杂场地	15 ~ 30	25 ~ 40	35 ~ 50
复杂场地	< 15	< 25	< 35

勘探点分为一般性勘探点和控制性勘探点两种。确定勘探点深度的原则,一般性勘探点以能控制地基的主要受力层为原则;对于条形基础,可取基础宽度 b 的 3 ~ 3.5 倍,单独基础可取 1 ~ 1.5 b 。控制性勘探点则要求能控制地基压缩层的计算深度,一般情况下,可按表 1-3 取值。

表 1-3 控制性勘探孔深度

m

基础形式 \ 基础宽度	1	2	3	4	5
条形基础	6	10	12	—	—
单独基础		6	9	11	12

对于箱形、筏形和其他宽度很大的基础, 勘探点的深度 z 可按式(1-1)选择

$$z = d + b \quad (1-1)$$

式中: d ——基础埋置深度, m;

b ——基础宽度, m;

——与土的压缩性有关的经验系数, 可参照表 1-4 采用。

表 1-4 经验系数

土类别 \ 勘探点类别	碎石土	砂土	粉土	粘性土 (含黄土)	软土
控制性勘探点	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
一般性勘探点	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

第三节 地基勘探方法

为了查明地基内岩土层的构成及其在竖直方向和水平方向上的变化、岩土的物理力学性质、地下水位的埋藏深度及变化幅度以及不良地质现象及其分布范围等, 需要进行地基勘探。地基勘探所采用的方法通常有下列几种:

一、地球物理勘探

地球物理勘探是用物理的方法勘测地层分布、地质构造和地下水埋藏深度等的一种勘探方法。不同的岩层具有不同的物理性质, 例如导电性、密度、波速和放射性等, 所以, 可以用专门的仪器测量地基内不同部位物理性质的差别, 从而判断、解释地下的地质情况, 并测定某些参数。地球物理勘探是一种简便而迅速的间接勘探方法, 如果运用得当, 可以减少直接勘探(如钻探和坑槽探)的工作量, 降低成本, 加快勘探进度。

地球物理勘探的方法很多, 如地震勘探(包括各类测定波速的方法)、电法勘探、磁法勘探、放射性勘探、声波勘探、雷达勘探、重力勘探等; 其中最常用的是地震勘探。在《建筑物抗震设计规范》(GBJ 11—89)中, 要求按剪切波速的大小进行场地的岩土类型划分, 这时就必需进行现场地震勘探以确定岩土的传波速度。有关这类方法的原理、设备和测试内容可参阅有关专门资料。

二、坑槽探

也称为掘探法, 即在建筑场地开挖探坑或探槽直接观察地基土层情况, 并从坑槽中取高质量原状土进行试验分析。这种方法用于要了解的土层埋藏不深, 且地下水位较低的情况。

图 1-1 是探坑的示意图。探坑深度一般不超过 3 ~ 4m, 但当地下水位较深, 土质较好时, 有时探坑也可挖 5 ~ 6m 以上。

图 1-1 探坑

三、钻探

钻探就是用钻机向地下钻孔以进行地质勘探, 是目前应用最广的勘探方法。通过钻探可以达到: (1) 划分地层, 确定土层的分界面高程, 鉴别和描述土的表观特征; (2) 取原状土样或扰动土样供试验分析; (3) 确定地下水位埋深, 了解地下水的类型; (4) 在钻孔内进行触探试验或其它原位试验。

土基钻探所用的工具有机钻和人力钻两种。钻机的种类很多, 图 1-2 是一种型号的钻

图 1-2 回转式钻机示意图

机。钻孔直径为 110~200mm, 钻探深度为几十米至百米以上。可以在钻进过程中连续取出土样, 从而能比较准确地确定地下土层随深度的变化以及地下水的情况。人力钻常用麻花钻、洛阳铲为钻具, 藉人力打孔, 设备简单, 使用方便, 但只能取结构被破坏的土样, 用以查明地基土层的分布, 其钻孔深度一般不超过 6m。

四、触探

触探既是一种勘探方法, 同时也是一种现场测试方法。但是测试结果所提供的指标并不是概念明确的物理量, 通常需要将它与土的某种物理力学参数建立统计关系才能使用。而且这种统计关系因土而异, 并有很强的地区性。因此本章中仍将其列入勘探方法中。

触探法具有很重要的优点, 它不但能较准确地划分土层, 且能在现场快速、经济、连续测定土的某种性质, 以确定地基的承载力、桩的侧壁阻力和桩端阻力、地基土的抗液化能力等。因此, 近数十年来, 无论是在试验机具、传感技术、数据采集技术方面, 还是在数据处理、机理分析与应用理论的探讨方面, 都取得了较大进展; 与此同时, 试验的标准化程度也在不断提高, 成为地基勘探的一种重要手段。

依触探头入土的方式不同, 区分为动力触探和静力触探两大类。

(一) 动力触探

动力触探是用一定重量的击锤, 从一定高度自由下落, 锤击插入土中探头, 测定使探头贯入土中一定深度所需要的击数, 以击数的多少判定被测土的性质。根据探头的形式, 可以分为两种类型:

1. 管形探头

探头的形状如图 1-3 所示。采用这种探头的动力触探法称为标准贯入试验(SPT)。击锤的重量 622.3N (63.5kg), 落距 760mm, 以贯入 300mm 的锤击数 $N_{63.5}$ (以后简称为 N) 作为贯入指标, 是目前勘探中用得很多的一种触探法。在《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89) 中, 以它作为确定砂土和粘性土地基承载力的一种方法。在《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89) 中以它作为判定地基土层是否可液化的主要方法。此外, 还可以根据 N 值确定砂的密实程度。表 1-5 是我国《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94) 砂土密实度的划分表:

图 1-3 标准贯入试验装置(mm)

表 1-5 按标准贯入击数确定砂土密实度

N 值	密 实 度
N ≤ 10	松 散
10 < N ≤ 15	稍 密
15 < N ≤ 30	中 密
N > 30	密 实

图 1-4 是美国吉勃斯(Gibbs)和荷尔兹(Holtz)等提出的标准贯入击数,有效上覆压力和相对密度的相关关系曲线,可供参考采用。

图 1-4 $N_{63.5}$ 和有效上覆压力与相对密度的关系

使用这种方法时,当钻杆长度大于 3m,要考虑贯入过程中的能量损失,对贯入锤击数需作钻杆长度修正,修正公式如下:

$$N_{63.5} = N \quad (1-2)$$

式中: N —— 实测锤击数;

—— 触探杆长度校正系数,可按表 1-6 采用:

表 1-6 触探杆长度校正系数

钻杆长度/m	3	6	9	12	15	18	21
	1.0	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70

2. 圆锥形探头

这类动力触探试验依贯入能量不同,可分为轻型、中型、重型和特重型 4 类。其规格见表 1-7。轻型动力触探也称为轻便触探试验,其设备如图 1-5(a)所示;中型和重型触探器探头的形状见图 1-5 中(b)和(c)。其中轻型触探试验是用以确定粘性土和素填土地基承载力和基槽检验的一种手段,重型和超重型动力触探试验则是评价碎石和卵、砾石地层密实度的有效试验工具。

(二) 静力触探

静力触探是将金属探头用静力压入土中,测定探头所受到的阻力,通过以往试验资料所归纳得出的比贯入阻力与土的某些物理力学性质的相关关系,定量确定土的某些指标,如砂土的密实度、粘性土的不排水强度、土的压缩模量,以及地基的承载力和液化可能性等。静力触探的探头分成两种,即单桥探头和双桥探头,其构造见图 1-6(a)和(b)。

图 1-5 圆锥动力触探装置(mm)

表 1-7 圆锥触探试验的类型

类型	锤重/kg	落距/cm	探头形状	贯入指标	触探杆外径/mm
轻型	10 (98N)	50	圆锥头, 锥角 60°; 锥底面积 12.6cm ²	贯入 300mm 的锤击数 N ₁₀	25
中型	28 (274.4N)	80	圆锥头, 锥角 60°; 锥底面积 30cm ²	贯入 100mm 的锤击数 N ₂₈	33.5
重型	63.5 (622.3N)	76	圆锥头, 锥角 60°; 锥底面积 43cm ²	贯入 100mm 的锤击数 N _{63.5}	42 ~ 50
特重型	120 (1176N)	100	圆锥头, 锥角 60°; 锥底面积 43cm ²	贯入 100mm 的锤击数 N ₁₂₀	50 ~ 63

单桥探头是量测贯入过程中锥头所受的总阻力 Q 。若锥底面积为 A , 则比贯入阻力为:

$$p_s = \frac{Q}{A} \quad (1-3)$$

双桥探头则能分别测定锥底的总阻力 Q_p 和侧壁的总摩擦阻力 Q_s 、单位面积上的锥头阻力和单位面积上的侧壁阻力分别为:

$$q_p = \frac{Q_p}{A} \quad (1-4)$$

$$q_s = \frac{Q_s}{S} \quad (1-5)$$

式中: S 为锥头侧壁摩擦筒的表面积。

图 1-6 静力触探探头

静力触探探头的受力情况与桩相似, 因此根据 q_s 和 q_p 可以求出桩身的侧壁阻力和桩端阻力。

为使单桥探头和双桥探头所测得结果能互换使用和相互验证, 后来又研制出一种特殊形式的“综合双桥探头”如图 1-6(c) 所示, 其特点是可同时测出单桥触探指标和双桥触探指标, 故可充分结合现有的经验和资料, 最大限度地发挥测试结果的效用。近年来还发展在探头中装孔隙水压力传感器的技术, 可以测定贯入过程中土层中的超静孔隙水压力的发展和以后孔隙水压力的消散, 从而可以推算土的固结特性。

[例题 1-1] 在钻孔内 5m 深处测得砂层的标准贯入击数 $N = 18$, 已知地下水位接近地面, 砂土的天然容重 $\gamma_{sat} = 19.8 \text{ kN/m}^3$, 最大孔隙比 $e_{max} = 1.05$, 最小孔隙比 $e_{min} = 0.55$, 求该砂层的天然孔隙比。

[解] 5m 深处的有效自重应力:

$$\sigma_s = 5 \times (19.8 - 9.8) = 50 \text{ kN/m}^2$$

查表 1-6 求触杆长度校正系数 $\alpha = 0.94$

经触探杆长度修正后的标贯击数:

$$N_{63.5} = \alpha N = 17$$

求砂土的相对密度, 查图 1-4 得:

$$D_r = 0.78$$

计算天然孔隙比:

$$\begin{aligned} D_r &= \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \\ e &= e_{max} - D_r(e_{max} - e_{min}) \\ &= 1.05 - 0.78(1.05 - 0.55) = 0.66 \end{aligned}$$

第四节 土工试验

土工试验是地基勘察的重要组成部分,通过试验,测定地基岩土的各项物理力学特性,提供相应的指标,作为地基计算分析和工程处理的依据。按照试验的环境和方法不同,土工试验可以分成两大类:(1)室内试验;(2)原位试验。

一、室内试验

通常所说的室内试验是指在实验室内对从现场取回的土样或土料进行物理力学性质试验。室内试验的优点是简便、试验条件明确(如试样的边界条件、排水条件等)、试验中的一些因素能够预先控制,所以得到普遍采用。缺点是试样的体积小、在取样、运输、保存和制样的过程中难免受到不同程度的扰动,因此,有时不完全能代表土体的宏观特性。

地基勘察所必须包括的室内试验项目,视地基计算的要求而定,可以参阅表 1-8 所列的内容。应该指出,天然生成的土,即使划分属于同一土层,性质也不完全一致,因此用体积很小的一块土样所测得的指标难以代表整个土层的性质。为了使试验结果有较好的代表性,每项试验都必须从土层的不同部位取样,做若干个或若干组试验,并对结果进行统计分析,然后提出比较有代表性的指标。显然,平行试验的个数愈多,试验结果的代表性就愈强。通常要求同一项试验的个数不少于 6 个。

表 1-8 基础工程要求的室内土工试验项目

目的	应用指标	试验项目
利用规范求地基承载力 f	1. 土的分类 粘性土和粉土: I_p (塑性指数) 砂土和碎石土: d (颗粒组成) 2. 土的状态 粘性土: e (孔隙比), I_L (液性指数) 粉土: e (孔隙比), w (含水量)	液限试验(w_L), 塑限试验(w_p), 颗粒分析试验(筛分法或比重计法), 比重试验(G_s), * 含水量试验(w), * 密度试验()
地基沉降量和沉降随时间发展关系计算	a 或 E_s , C_c , C_e (压缩系数或压缩模量、压缩指数、回弹指数), p_c (先期固结压力), C_v (固结系数)	* 侧限压缩试验(或称固结试验)
用公式确定地基承载力, 基坑边坡稳定分析和土压力计算	c (粘聚力) (内摩擦角)	* 三轴剪切试验或直剪试验
基坑降水或排水	k (渗透系数)	* 渗透试验
填土质量控制	w_{op} (最优含水量) ρ_{max} (最大干密度)	击实试验

* 应该用原状土样的试验项目

二、原位试验

原位试验是指在现场地基土层中所进行的试验。由于试验土体的体积大,所受的扰动

小,测得的指标有较好的代表性,因此近年来,此项试验技术和应用范围均有很大的发展。前面阐述的触探试验也可算是原位试验,不过它所测定的不是土的某种物理、力学性质指标。直接测定原位土的物理、力学性质指标,常用的有平板载荷试验、旁压试验、十字板试验、大型直剪试验、压水和注水试验等。

(一) 平板载荷试验

平板载荷试验是一种模拟实体基础承受荷载的原位试验,用以测定地基土的变形模量、地基承载力以及估算建筑物的沉降量等。工程中常认为这是一种能够提供较为可靠成果的试验方法,所以对于一级建筑物地基或复杂地基,特别是碰到松散砂土或高灵敏度软粘土,取原状土样很困难时,均要求进行这种试验。

进行载荷试验要在建筑场地选择适当的地点挖坑到要求的深度。在坑底设立图 1-7(a)

图 1-7 平板载荷试验(mm)

所示的装置。试验时对荷载板逐级加载,测量每级荷载 p 所相应的荷载板的沉降 s ,得到 $p-s$ 曲线如图 1-7(b)。如是直至出现下列现象之一时即认为地基破坏,可终止试验。

- (1) 荷载板周围的土有明显侧向挤出或发生裂纹;
- (2) 荷载 p 增加很小,但沉降 s 却急剧增加; $p-s$ 曲线出现陡降段;
- (3) 在某级荷载下,24 小时内,沉降速率不能达到稳定标准。

在不出现上述现象时,也可用 $s/b \leq 0.06$ (b 为荷载板宽度)的荷载作为破坏荷载 p_r ,终止试验。取破坏荷载前一级荷载作为极限荷载 p_u 。

根据每级荷载 p 所对应的沉降量 s ,绘制 $p-s$ 曲线,如图 1-7(b)。从 $p-s$ 曲线可以用下式求土的变形模量:

$$E = \frac{pb(1-\mu^2)}{s} I \quad (1-6)$$

式中: p ——在 $p-s$ 曲线直线段 oa 上,相应于沉降为 s (m)时所对应的板底压强, kPa;