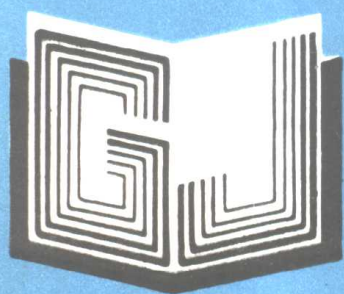


999036



高等学校教材



基础工程学

四川联合大学 屈智炯
浙江 大 学 王铁儒 合编
河 海 大 学 俞仲泉



高等学校教材

基础工程学

四川大学 屈智炯
浙江大学 王铁儒 合编
河海大学 俞仲泉

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了基础工程学的基本内容, 当前实践和较新的工程技术, 并体现我国水利、建筑和港口工程等现行技术规范的有关规定和精神。

本书共分 7 章, 主要包括: 绪论、地基勘察与试验、地基和基础的设计、桩和桩基、地基处理、基坑开挖与支护以及土工合成材料。每章还附有复习题和习题。

本书可作为高等学校本科生的教学参考书和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程学/屈智炯等合编. - 北京: 中国水利水电出版社, 1998
高等学校教材

ISBN 7-80124-786-8

I. 基… II. 屈… III. 地基-基础(工程)-高等学校-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 17932 号

书 名	高等学校教材 基础工程学
作 者	四川大学 屈智炯 浙江大学 王铁儒 合编 河海大学 俞仲泉
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京金剑照排厂
印 刷	北京市密云县印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 336 千字
版 次	1999 年 5 月第一版 1999 年 5 月北京第一次印刷
印 数	0001—2060 册
定 价	14.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书为高等学校水利水电工程、土木建筑工程及港口工程等专业的教学参考书和有关工程技术人员的参考用书。

书中介绍了基础工程的基本内容，当前实践和新成就，主要包括：绪论、地基勘察与试验、地基和基础的设计、桩和桩基、地基处理、基坑开挖与支护、土工合成材料。

本书内容除大学本科教学要求外，有许多是比较新的基础工程技术内容。因此，用作教学参考书时，教师可根据专业要求和学生的具体情况选择讲授。

本书为了更好地联系实际，着重介绍基本原理和基本方法，并结合介绍有关工程技术规范的主要规定和精神。本书一方面取材土木建筑的基础工程内容，同时结合阐明水利水电、港口等工程的地基基础问题。内容上重点反映我国的基础工程的实践，同时介绍国外先进经验和理论。

本书从便于掌握出发各章尽量讲清基本概念，一般不进行有关公式的数学推导，仅给出其最终表达式。对于基本原理和计算方法，只阐明其在工程应用中的优缺点和适用条件。对于与基础工程有密切关系的土力学基本理论，主要是应用。为了互相衔接适当介绍了有关必需的内容，尽量做到不过多重复。本书各章都有复习题和习题。

本书由四川大学屈智炯教授统稿并编写第一、三章；浙江大学王铁儒教授编写第二、五、七章；河海大学俞仲泉教授编写第四、六章。

本书由天津大学陈环教授闫树旺教授主审。在编写过程中还得到河海大学钱家欢教授、武汉水利电力大学冯国栋教授、郑州工学院郑人龙教授、华南理工大学杨位洸教授的指教，他们的宝贵意见对提高本书的编写质量起了很好的作用。在成都合稿时四川大学院系领导和岩土力学教研室全体同志给予了关心和大力支持，谨此一并向他们表示衷心的感谢。

编者水平有限，书中有不妥之处，恳切希望读者不吝批评、指正。

编 者

1997年7月

6A097/10

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 基础工程的重要性	2
第三节 本课程的任务和内容	4
第四节 我国基础工程学发展简介	5
复习题和习题	6
第二章 地基勘察与试验	7
第一节 概述	7
第二节 勘察工作规划	7
第三节 勘察方法	11
第四节 原位测试	16
第五节 现场监测	21
第六节 地基勘察报告	25
复习题和习题	32
第三章 地基和基础的设计	33
第一节 概述	33
第二节 地基承载力的确定	34
第三节 地基和基础类型及其选择	41
第四节 基础埋置深度的选择	45
第五节 天然地基上浅基础的设计	47
第六节 地基和基础的验算	61
复习题和习题	77
第四章 桩和桩基	78
第一节 概述	78
第二节 单桩垂直承载力的确定	80
第三节 单桩水平承载力的确定	93
第四节 负摩阻力的近似计算	100
第五节 群桩的承载力	103
第六节 桩基承台计算	106
第七节 灌注桩施工常见质量问题及其对策	110
复习题和习题	112
第五章 地基处理	113
第一节 概述	113
第二节 垫层法	115

第三节 排水固结预压法	120
第四节 深层水泥搅拌法	136
第五节 高压喷射注浆法	146
第六节 灌浆法	150
第七节 强夯法	155
第八节 振冲法	159
复习题和习题	164
第六章 基坑开挖与支护	166
第一节 概述	166
第二节 放坡开挖和支撑开挖	166
第三节 支护结构的设计计算	170
第四节 基坑的流砂、隆起验算	181
第五节 基坑的降水和排水	184
第六节 基坑施工的检验与监测	191
复习题和习题	192
第七章 土工合成材料	193
第一节 概述	193
第二节 加筋的作用机理	197
第三节 加筋挡墙及其设计原理	199
第四节 堤坝软基加筋	203
第五节 建筑物地基加筋	209
复习题和习题	213
附录 A 主要符号的单位及意义	214
附录 B 专业名词中英文对照	215
主要参考文献	219

第一章 绪 论

第一节 概 述

我国正在进行大规模的社会主义现代化建设,许多工厂、大型水电站和高层的房屋等建筑物在我国各地普遍地兴建起来。有的建筑物如水闸、堤坝、桥梁和房屋等是建造在地面上;有的如涵洞、隧道和地下水电站厂房则是建筑在土体中(图 1-1)。

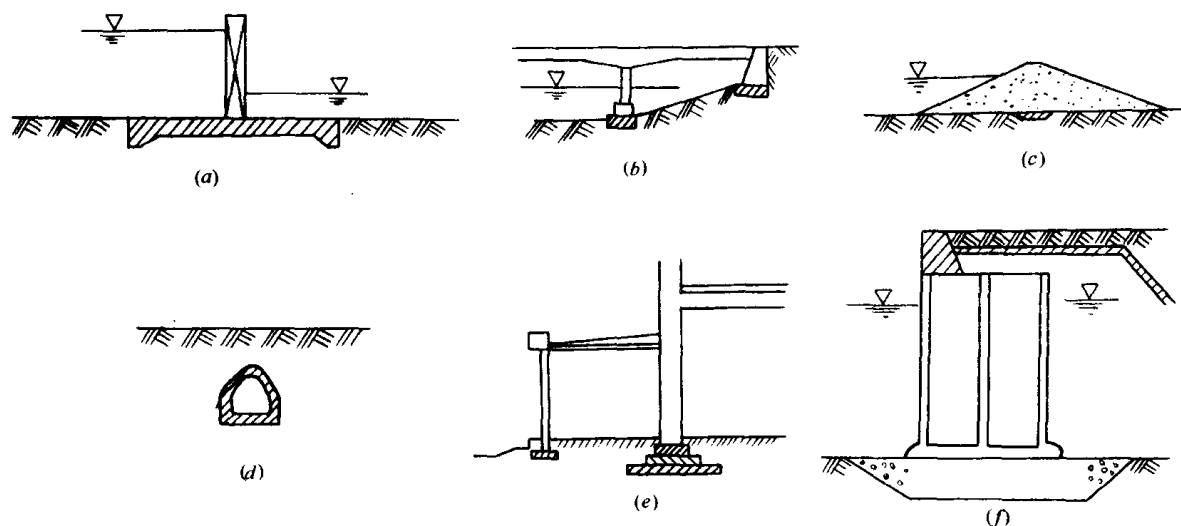


图 1-1 建筑物与基础示意图

(a) 水闸; (b) 渡槽; (c) 土坝; (d) 涵洞; (e) 房屋基础; (f) 重力式码头

除涵洞、隧道、堤坝及重力式码头外,一般建筑物可分为上部结构和基础两部分。基础是支承上部结构的自重以及作用于建筑物上的各种荷载,并将其扩散传递给地面下的土层。

从图 1-1 看出,有的如水闸、渡槽和房屋的基础和上部结构能截然分开,如图 1-1 (a)、(b)、(e)。而有的如土坝、涵洞和重力式码头的基础为建筑物的组成部分,不能与上部结构截然分开,如图 1-1 (c)、(d)、(f)。无论哪一种情况,基础的主要作用都是将上部结构的全部荷载扩散,并安全地传递给基础底面下的土层。

根据土力学原理,上部结构的荷载通过基础传至土层,直到一定深度范围后其影响已甚微小。故一般可将基础底部至该影响深度范围内的土层,称为建筑物的地基。地基的作用与基础的作用不同,它主要是直接承受来自基础传递的全部荷载,并保证建筑物和基础的稳定和正常工作。基础底面下直接承受荷载对地基起主要作用的土层,或基础直接搁置其上的土层,称为地基的持力层。而其下受荷载影响较小的土层,称为地基的下卧层。实践证明,在一般情况下,探明了持力层范围内土层的情况,就能分析评价地基的稳定性,以及地基土层大部分变形量。当然,这仅说明下卧层处于相对次要的地位,对于出现软弱

下卧层时，要特别加以注意，并应进行验算。

第二节 基础工程的重要性

基础和地基是各类建筑物的重要组成部分，又是处于地下的隐蔽工程，总称为基础工程。它的勘察、设计和施工质量，直接关系建筑物的安全和经济。国内外在不同类型的土基上成功地修建了各种用途的建筑物，积累了关于基础工程勘察、设计和施工的经验，但也出现过不少事故。所以在进行任何建筑物基础工程的设计和施工时，必须详细了解地基的性状，通过计算分析才能确定采用不同型式的基础和地基是否需要处理的合理方案，这是做好基础工程的重要步骤。

如建筑在软粘土地基上的江苏射阳河挡潮闸(1956年)，本来要引起较大的沉降(20cm以上)，但由于研究了软土的压缩性，改进了地基沉降的计算方法，同时采用板桩围护和箱式基础等措施，不但成功地建成该水闸，而且缩短了工期，节约了投资。观测表明，水闸的沉降大为减少，仅为8cm。又如广州的白云宾馆(80年代)，建筑场地位于丘陵地带，上部覆盖土层厚度10~27.8m，其下基岩面起伏较大(图1-2)。由于高层建筑对整体倾斜的要求，上覆土层不可能作为建筑物的天然地基。所以适当设置直达基岩的钢筋混凝土灌注桩。该楼建成后的沉降观测不超过4mm，建筑物使用良好。这些实例说明，充分掌握地基土层情况，运用基础工程的理论，既保证了建筑物的稳定和正常使用，又节省了大量的工程费用。

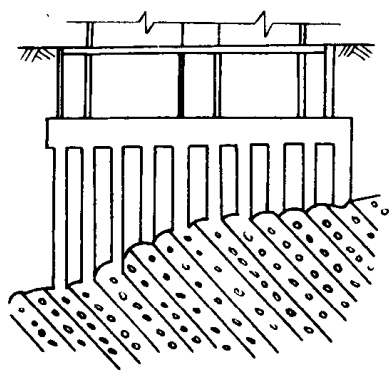


图 1-2 白云宾馆基础示意图

另一方面，在筑坝、建闸、修港口、厂房建筑的许多工程中，不仅基础工程的造价变化较大，而且基础的型式和施工方法也随地而异，这些都给基础工程的设计、施工带来一系列的问题。如果未充分进行地基勘察，就进行设计和施工，或者没有进行精心设计和精心施工，不是使工程造成返工浪费，就是造成质量事故。据统计在土坝事故原因的200余实例中，由于滑动、不均匀沉降、漏水和管涌等原因占发生事故总数的80%；而由于地基导致事故的占事故总数的1/3。又如四川德阳市棉麻总公司七层框架办公楼在1995年8月，仅十来秒钟就整体倒塌，损失惨重。据调查主要是支撑大楼楼体柱下桩基的桩数不够，与按规范相差10%~33%；承受立柱重负的承台厚度单薄，仅为规定的1/3~1/4；致使多个桩基承台承载力大大削弱和破坏，加之桩基施工中出现断裂、有空洞等原因造成大楼整体倒塌。

下面再详细介绍一些国内外工程事故的实例，进一步阐明基础工程在水利水电、土木建筑和港口工程中的重要性。

一、建筑物的滑动和失稳

1) 加拿大特朗斯康谷仓、美国纽约水泥仓库，分别建在软粘土地基上，都因建筑物荷载超过地基的极限承载力发生滑动而失稳。

2) 四川红花水库(1958年)的均质土坝坝高仅20.3m，坝基为沼泽相灰色，深灰色淤

泥层,有较多粉沙质粘土夹层,厚度3~9.6m。大坝建成不久,坝顶就出现裂缝,并迅速



图 1-3 红花水库滑坡示意图

扩展,形成下游坡的滑动失稳,坝体中部连同地基一起下沉(图 1-3)。大坝滑坡的主要原因是没有考虑坝基有淤泥质软土层的特点(其含水量高达 34%,干密度仅为 $1.38\text{g}/\text{cm}^3$),设计坝坡较陡,加之坝体又迅速填筑,故地基土层中孔隙水压力来不及消散,而使淤泥质软土层的强度

大大减少,终于导致坝坡失稳。

3) 安徽皖河闸(1963 年)是钢筋混凝土箱框式结构,建造在淤泥质粘土地基上(其含水量为 35%~55%,孔隙比为 1.0~1.32,压缩系数为 $0.62\text{ l}/\text{MPa}$)该层以下为中细沙。水闸建成初期不仅不沉降,反而上升,上部结构和水闸底板不断出现裂缝,这表明地基的应力已处于被动极限平衡状态(图 1-4)。分析其主要原因是闸室过轻,两岸填土过重,与极限承载力比较,安全系数仅为 1.14,远小于规范要求的地基稳定的安全系数(2.5~3.0)。同时由于承压水作用和稳定破坏对闸室的向上顶托不均匀,就使闸室产生裂缝。

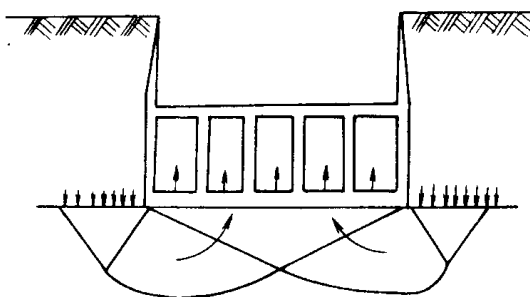


图 1-4 皖河闸地基失稳示意图

二、建筑物的开裂和倾斜

1) 国内一些工业和民用建筑物、水利工程和高层建筑物,如上海展览中心馆、湖南高架灌渠支墩和北京朗庆园小区住宅,建于厚度不均的软土地基上,因勘察资料不正确,或者因设计未综合考虑地基、基础和上部结构的共同作用,使这些建筑物出现显著的不均匀沉降,有的倾斜,有的严重开裂,从而影响了这些建筑物的使用和安全。

2) 广东鹤地水库副坝高 18m,靠近左岸的坝基有一片厚约 2m 的软粘土层没有清除。由于软粘土的压缩性很大,该处坝体于 1964 年出现 36 条裂缝,缝的平均长度约 5m,深约 1m,平均宽度为 53mm。又如美国的阿皮夏帕坝修建在高压压缩地基上,因地基不均匀沉降,在坝体底部出现内部裂缝,该坝在 1923 年失事,就是库水渗过这种裂缝而造成的。

3) 安徽裕溪排水闸(1967 年)闸室均为钢筋混凝土结构。闸基为第四纪河滩沉积层(天然含水量 40%~50%,孔隙比为 1.1~1.2,压缩系数 $0.46\sim 0.60\text{ l}/\text{MPa}$),施工期间闸室沉降显著,完工后继续发展。总沉降量和不均匀沉降量都很大,闸室各段的不均匀沉降见图 1-5(b)。观测表明:闸室均向两岸和导流墩倾斜,有的倾斜度达到 9.5‰;闸段分缝墩有的张开达 12.5cm,止水失效;闸室还有横向结构变形,胸墙上普遍出现细微的竖直向裂缝。分析事故产生的原因,一方面主要是由于对地基压缩性缺乏全面的认识,在进行沉降计算中对边荷载的影响估计不足;另一面是施工对地基扰动的影响。

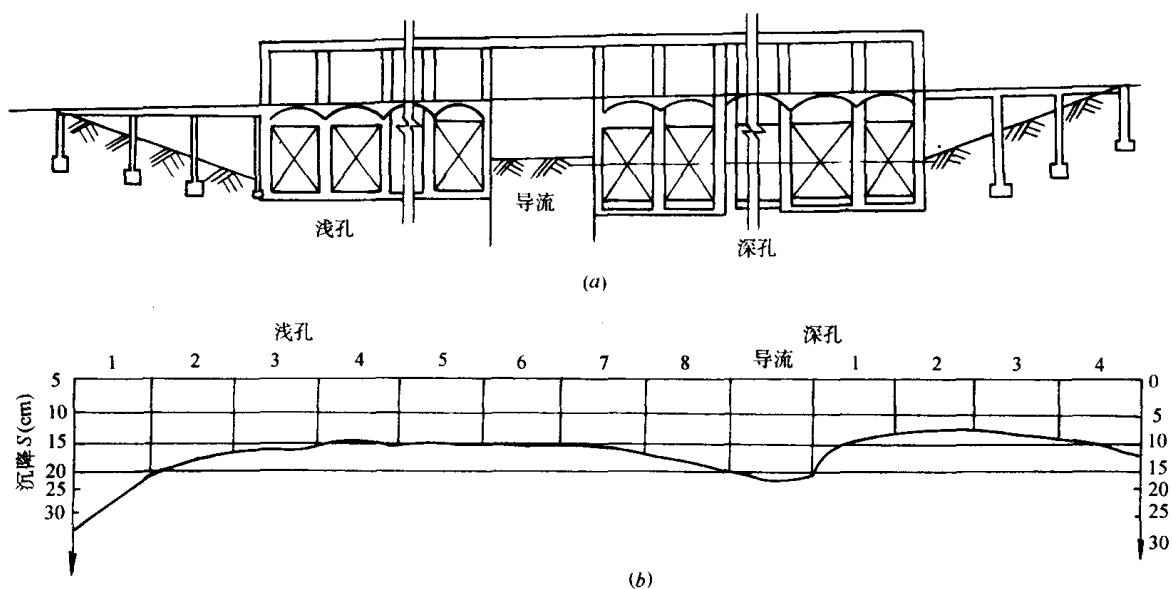


图 1-5 裕溪排水闸示意图
(a) 水闸横剖面；(b) 水闸横剖面不均匀沉降分布

三、地基的渗透变形和液化

1) 山东蒙城节制闸(1958 年)建造在河槽的滩地上, 闸基表层为近代的河漫滩沉积, 其下为深灰色粉质粘土和细砂层。闸建成蓄水后两天, 突然倒塌。调查指出, 先是由于底板前端混凝土板桩接缝漏水, 渗径短路, 造成闸基下发生渗透变形, 引起闸室不均匀沉降, 使伸缩缝中的止水片断裂而失效, 渗透变形进一步加剧; 伴随着表面水流的冲刷, 以致闸室迅速陷落倒塌, 从闸身变形到整个倒塌仅经历几个小时。

2) 日本新潟市(1964 年 6 月)发生 7.5 级地震, 当地大面积砂土地基产生液化, 失去承载力, 房屋倾倒和毁坏共计 2890 幢。又如神户地区(1995 年 1 月)大地震造成 5200 多人死亡, 10 万多间房屋倒塌, 甚至连以前认为能抗强地震的高架高速公路也多处倒塌, 这次地震造成的经济损失达 2000 亿美元。分析其主要原因是地震摇晃使松软的冲积砂土液化而下沉和倒塌。

以上所举的一些工程事故, 特别是地基基础方面的原因分析, 不但使人们充分认识到基础工程的重要性, 还给人们留下许多有益的思考, 并能从中吸取经验和教训, 有助于今后基础工程的勘察、设计和施工。

第三节 本课程的任务和内容

《基础工程学》是一门有关水利水电、土木建筑、港口工程等专业的专业技术课程, 其任务就是培养工程技术人员能选取合理的地基型式和基础类型, 精心设计和精心施工, 以保证各类建筑物的使用正常和经济合理。为此, 需要掌握基础的设计原理和地基的处理技术。

地基和基础的设计和施工涉及的内容较多,它的主要理论依据为研究土的变形和强度及其规律的土力学,并与工程地质、水文地质和施工技术等相关。学习时我们要掌握基础工程学的概念和主要内容,然后再深入钻研有关学科的内容。由于地基土的复杂多变,设计和施工中的技术问题各式各样,在学习时除掌握系统理论和知识外,更重要的是要学会善于分析、评价和提出解决地基和基础设计和施工中实际问题的能力。所以有人认为基础工程学带有判断和创新的直观艺术,经验对它起着重要的作用。由于地基和基础方面的费用较大,学习时不但要注意所设计的建筑物安全可靠,还要学会对基础类型和地基处理方案的可行性或经济性进行全面地考虑。

本课程的主要内容和要求是:

(1) 地基的勘察与试验(第二章) 了解地基勘察和试验的任务和内容,地基勘察和原位测试的主要方法,能阅读和应用勘察与试验报告。

(2) 地基和基础的设计(第三章) 了解基础的类型及其适用条件,地基型式和基础埋置深度的选择,学会根据上部结构的要求和地基勘察资料进行天然地基上浅基础计算,并能提出减轻建筑物不均匀沉降和防止失稳的措施。

(3) 桩和桩基与地基处理(第四、五章) 了解桩基和地基处理的作用、类型和适用条件,掌握单桩容许承载力(包括水平荷载条件)的确定方法,学会桩基的设计和软土地基、松砂和砂卵石地基处理方案的设计和计算。

(4) 基坑开挖和支护(第六章) 了解基坑支护系统的计算和排水、降水的设计,学会处理开挖、支护中出现的涌砂、隆起和塌方等各类事故,并能提出工程控制措施。

(5) 土工合成材料(第七章) 了解土工合成材料的特点和应用,并能学会挡土墙加筋、建筑物及堤坝地基加筋的设计和计算。

第四节 我国基础工程学发展简介

基础工程学是一门实践性很强的应用学科。在文化悠久的祖国已成功修建了很多著名的水利和建筑工程,如长江、黄河的堤防,万里长城,桥梁和寺庙等等,积累了许多基础工程的经验。西安市半坡村发现的土台和石础,就是古代的地基和基础。隋朝的赵州拱桥,桥台落在天然粉土地基上,1300多年来沉降与位移很小。沿用至今的堤坝质量检查是我国首先使用的触探技术。我国最早使用木桩基础和压密松土的料石基垫法、灰土垫层法等等。

新中国成立40多年来,为适应我国社会主义现代化建设的需要,基础工程学科有了迅速发展。我国已经建立了一支庞大的专门从事基础工程的科研、教学和生产的队伍;全国这些年已先后颁布许多新的基础工程规范,如《建筑地基基础设计规范》、《水闸设计规范》、《港口工程技术规范》和《建筑桩基技术规范》等,这是我国工程建设领域的宝贵经验和科技成果的总结。

在基础工程建设领域中各个方面所取得的成就是显著的。在水闸、港口、建筑等工程中,采用砂井排水堆载预压的方法、砂垫层、挤密砂桩、深层爆炸振密、强夯法、旋喷法以及深层搅拌法等多种地基处理技术加固松软地基,成为基础工程中的一个重要内容。土

石坝工程砂卵石地基防渗采用了袖阀套管灌浆技术和发展了防渗墙技术，从而建造了多座高度 100m 以上的土石坝，其规模和数量都居世界首位。我国化学灌浆研究在国际信息封锁困境中，对混凝土大坝的水缝和止水方面的技术一跃而起，达到世界先进水平。在桥梁和码头中首先使用预应力钢筋混凝土空心方桩和钻孔灌注桩的深基础先进技术。

近年来高层建筑的大量兴建是最引人注目的，在沿海软土地区应用桩基建造了高于 60 层的高层建筑，其中特别是大直径桩墩基础、箱基带桩等都取得成功的经验。由于深基坑开挖的支护和深层降水的需要，地下连续墙、挡土灌注桩和喷射井点等的设计和施工方法都相继获得新的进展。

今后，在建设具有中国特色的社会主义伟大事业中，中国现代化建设战略目标的实现，基础工程学科必将得到新的更大的发展。

复 习 题 和 习 题

- 1-1 阐明地基、基础和上部结构的概念。
- 1-2 何谓地基的持力层？它与建筑物的稳定和沉降有何重要关系？
- 1-3 基础工程学的任务是什么？它要求学生应达到哪些基本要求？
- 1-4 如何掌握这门课程的特点？在学习上应注意哪些方面？

第二章 地基勘察与试验

第一节 概 述

没有调查研究,就没有发言权。同样,没有地基勘察与试验,不了解设计场地的地质土层及其工程性质,就不能进行工程设计。这是长期工程实践证明的一条不可违反的规则。由于忽视了地基勘察,事先未进行工程地质勘探,或勘探不认真和简单化,对建筑物地基土层的分布和性质了解不够,设计人员又不重视地质资料的具体应用等原因而出现的工程事故是屡见不鲜的。例如:南京市某一厂房,地基为长江河滩近代沉积层,由两个单位进行勘察,但都未揭露厂房中部存在一厚层软弱土层,所提供的地基承载力设计值也偏大。因此,厂房建成后,产生严重的不均匀沉降,外墙开裂,吊车不能开动。后经采用旋喷法加固地基,厂房才能使用。因此在地基基础设计中,应对地基勘察工作及其结果的利用予以足够的重视。这是勘测和设计人员切不可粗心大意的。

地基勘察的目的主要是了解拟建建筑物场地的地基土层的分布及其工程性状,获取真实可靠的必要的地质资料及土的工程性质参数,提供设计与施工单位应用。因此,勘察工作的任务与内容应包括:

- 1) 调查场地及其周围的地质环境,调查场地内可能存在危害建筑物的各种不良地质现象。如:地震、岩溶土洞、泥石流和地下水等。
- 2) 查明地基土层的分布,包括:分层土类,厚度,分布,成因类型,宏观构造及微观构造等。
- 3) 查明地下水的类型,水位动态变化的特征及水的化学成分等。
- 4) 通过室内及现场试验,测定各土层的物理力学性质及水力性质,以及特殊要求的工程性质参数。
- 5) 整理、分析所调查、勘探和试验的资料,作出评价,提出报告,供设计应用。

上述各点仅系一般岩土工程的勘察与试验的内容。对于水利、铁路、公路和核电站等类工程,按其工程的特点都有各自的特殊要求,在确定各类工程的具体勘察和试验内容时,还需注意参照各类工程的规范、规程,提出设计工程的勘察试验内容。

勘察与试验工作主要由专门的勘察人员负责进行的,工程设计与施工人员主要是利用勘察与试验的结果(工程地质报告)进行设计与施工。所以本章仅为设计与施工人员介绍地基勘察与试验有关的基本原理与方法。

第二节 勘察工作规划

勘察工作是一项了解地基土层,识别土层工程性质的工作,它和认识自然的规律一样,不可能一次就认识清楚,而是由粗到细,由浅到深,循序渐进,逐步认识的。所以,地基勘察按设计建筑物的重要性,各类建筑物的特点和场地地质条件的复杂程度划分为若

于勘察阶段进行工作。按照 GB50021—94《岩土工程勘察规范》，勘察工作划分为：可行性研究勘察，初步勘察和详细勘察三个阶段。前者应符合确定选择场地(厂址、坝址等)方案的要求；初步勘察应符合各类工程初步设计或扩大初步设计的要求；详细勘察应符合施工图设计的要求。对于工程地质条件比较复杂或有特殊施工要求的重要工程，尚应进行施工勘察；对于面积不大，且工程地质条件简单的场地或有建筑经验的地区，可以简化勘察阶段，可把三个阶段简化成一次勘察，但是仍需在勘察过程中贯彻逐步认识地质条件的精神，对于不断出现的新情况，不断修改补充原定的勘察计划与纲要，以求最终勘察成果全面真实地反映场地的地质条件。

各类工程的勘察要求是不同的，这里仅以房屋建筑和构筑物为代表，按国家标准 GB50021—94《岩土工程勘察规范》介绍各阶段的勘察要点。其他类工程可按此原理参照有关行业规范或规程进行。对于房屋建筑和构筑物的勘察应在了解设计建筑物荷载、结构类型、变形及稳定性要求的基础上有目的地按下列内容进行勘察：

1) 查明场地地质环境的稳定性，地层岩土类别、厚度与坡度及其分布，持力层和下卧层的工程性质、应力历史和地下水条件等。

2) 按设计与施工的要求，通过试验确定所需的岩土技术参数。

3) 确定地基承载力，预测基础沉降和侧向变形及其均匀性。

4) 提出地基与基础设计方案的建议。

勘察工作分三个阶段进行。

一、可行性研究勘察

这一阶段主要从地质环境及土层的性质对拟建场地的稳定性和适宜性作出评价。勘察工作主要是通过调查搜集区域地质、地貌地形、地震、矿产和附近地区的工程地质资料及当地的建筑经验；通过踏勘，了解场地土层、构造、岩土的性质，不良的地质现象，以及地下水等工程地质条件；在调查和踏勘的基础上，对直接危害或具有潜在威胁的不良地质现象等不稳定的地质环境作出分析和评价；必要时补充测绘和勘探；最后对场地的适宜性作出评价。

二、初步勘察

在可行性研究勘察的基础上，查明场地内各建筑地段地基土层厚度、分布及其构造，物理性质、强度及变形特性，地下水的埋藏条件，冻结深度以及对场地稳定有影响的不良地质现象和地震烈度等，为确定建筑总平面图，主要建筑物地基与基础方案提供必要的工程地质资料，为初步设计服务。为此，根据设计建筑物的要求，进行必要的工程地质测绘、勘探、原位测试、室内试验和物探工作等。在本阶段中的主要工作要求如下：

(1) 工程地质测绘 测绘工作只在地质、地貌及不良地质现象比较复杂的场地中进行，对于地质条件比较简单，地形平坦的场地可用调查代替。测绘工作是地质人员通过地表的地质观察和必要的测量，按一定的观察线路，布置一定的地质观察点，把场地内的地层分界线、地貌分区界线和岩溶、土洞、滑坡、泥石流、塌陷等不良地质现象，地下水出露的泉、井和人工降水点，以及人工洞室、大挖大填、地下采空等测绘于大比例尺的地形图上，结合勘探的结果，编制工程地质图，并作出说明。如果场地有遥感影像资料，还应通过解译，检验地质观测点的结果，补充测绘的结果。

(2) 勘探工作 为了获得本阶段要求的岩土的性质及其分布资料,可采用钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等手段,布置若干条勘探线和勘探点进行工作。勘探线与点应垂直于地层界线和地貌单元分界线布置,对于地形平坦的场地可按方格网布置。勘探线与点的间距可按岩土工程等级按表 2-1 确定。

每一勘探孔的深度可按表 2-2 确定。

表 2-2 中的一般性勘探孔是指为查明场地主要土层种类及其分布的勘探孔;控制性勘探孔是指具有代表性的全面的控制场地地基土层种类及其分布规律和岩土工程性质的勘探孔。一般情况前者深度较浅,后者较深,后者的孔数不宜过少,约占总孔 $1/5 \sim 1/3$,且每个地貌单元或每幢重要建筑物均应有控制性勘探孔。当在预定深度内遇到基岩时,除控制性勘探应打至基岩内适当深度外,其他勘探孔打至基岩后即终止。当在预定深度内有软弱土层时,勘探孔的深度适当增大。

表 2-1 勘探线、点的间距

岩土工程勘察等级*	线 距(m)	点 距(m)
一级	50 ~ 100	30 ~ 50
二级	75 ~ 150	40 ~ 100
三级	150 ~ 300	75 ~ 200

注 1. 凡是工程破坏后影响严重和较严重的场地与地基划分为一级;
2. 影响较严重和不严重的二级或三级场地和地基分别划为二级或三级。

* 按岩土工程勘探规范划分的勘察等级。

表 2-2 勘探孔 的深度

岩土工程勘察等级	勘探孔类别	
	一般性勘探孔 (m)	控制性勘探孔 (m)
一级	≥ 15	≥ 20
二级	8 ~ 15	15 ~ 30
三级	≤ 8	≤ 15

注 勘探孔包括钻孔、探井、铲孔及原位测试孔,波速测试、旁压试验和长期观测孔除外。

在勘探孔中,取土试验孔和原位测试孔宜在平面上均匀分布,其数量可占总勘探孔的 $1/2 \sim 1/4$ 。每一取土孔或原位测试孔竖向取试样或测试点的间距应按土层的厚度和均匀程度来确定。每层土均应采取试样或进行原位测试。主要土层取试样数或原位测试点数不得少于 6 个。

(3) 水文地质工作 在初步勘察阶段中的水文地质工作主要借助于勘探工作调查地下水的类型,补给和排泄的条件和实测地下水位;当地下水有可能浸没或浸湿基础时,应取水样分析其腐蚀性。

三、详细勘察

详细勘察阶段内的勘察工作主要是为设计建筑物或建筑群提供详细的岩土工程资料及设计所需的技术参数,应用于基础设计,地基处理,不良地质现象的整治等以及场地有关的岩土工程问题的分析。勘察工作的具体要求应根据拟建建筑物场地的特点,建筑总平面布置图,结构物的类型、层数、高度和规模等特点,可能采用的基础形式和埋置深度等,在初步勘察的基础上,进一步通过勘探和试验,查明如下内容:

1) 建筑物范围内土层的类别,埋深,厚度与分布,结构与构造及其工程性质,提供土的强度和变形计算参数,预测地基的稳定性与承载力和基础的沉降与倾斜;提供桩基持力土层的强度及变形性质和桩基设计有关参数,确定单桩承载力;对深基坑开挖工程还要提供坑壁坑底稳定性及隆起和支护设计有关的岩土技术参数。

2) 地下水的埋藏条件和类型, 土层的渗透性质, 基坑降水设计的有关参数, 水质对建筑材料及金属的腐蚀性等。

3) 对场地稳定有关的岩溶、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降等不良地质现象的成因、类型、分布的范围, 发展的趋势与危害的程度等, 并提出评价与整治的方案及整治所需的岩土技术参数。

4) 对抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地应划分地震场地的类型与类别; 对抗震设防烈度大于 7 度的场地, 还要预测地震效应, 判定饱和砂土和粉土的地震液化, 饱和粘土的震陷等。

为查明上述内容, 需要进行的勘探工作, 勘探点及勘探的深度的要求按下列原则确定:

1) 勘探孔的布置原则为: 对于安全等级为 1~2 级的重要建筑物可按柱列线或建筑物周边线布置勘探孔; 对于安全等级为 3 级的一般建筑物或建筑群, 可在该建筑范围内布置勘探孔; 对于重大的设备基础和动力机器基础应单独布置勘探点不少于 3 个; 对于高层建筑, 勘探点宜沿周边线、中心线布置, 角点和中心点应有勘探点, 间距不宜过大。勘探点的间距可按表 2-3 确定。

表 2-3 勘探点的间距		
岩土工程勘察等级	间 距(m)	说 明
一级	15~35	高层建筑可按一级布置桩基间距为 10~30m
二级	25~45	
三级	40~60	

表 2-4 控制性勘探孔的深度 单位: m

基础底面宽度 b (m)	软 土	一般粘性土, 粉土及砂土	老堆积土, 密实砂土及碎石土
$b \leq 5$	$2.5b$	$3.0b \sim 3.5b$	$3.0b$
$5 < b \leq 10$	$2.5b \sim 3.5b$	$2.0b \sim 3.0b$	$1.5b \sim 3.0b$
$10 < b \leq 20$	$2.0b \sim 2.5b$	$1.5b \sim 2.0b$	$1.0b \sim 1.5b$
$20 < b \leq 40$	$1.5b \sim 2.0b$	$1.2b \sim 1.5b$	$0.8b \sim 1.0b$
$b > 40$	$1.3b \sim 1.5b$	$1.0b \sim 1.2b$	$0.6b \sim 0.8b$

2) 勘探孔的打入深度自基础底面算起, 按稳定性和沉降的影响的深度来确定。按承载力考虑, 所需深度约为基础宽度的 1.5~3 倍, 条形基础为 3 倍基础底宽; 单独基础为 1.5 倍; 设备基础为 2~3 倍; 最小的深度应不小于 5m。按沉降计算的要求: 一般基础可按表 2-4 确定其控制性钻孔的深度。对于箱形基础或筏板基础, 控制性勘探孔应大于压缩层的下限, 可按经验式确定:

$$z = D_f + \alpha B \quad (2-1)$$

式中 z ——勘探孔的深度, m;

D_f ——箱基或筏基的埋深, m;

B ——基础底面宽度, 对于圆形或环形基础按大直径考虑, m;

α ——与压缩层有关的经验系数, 可按表 2-5 取值。

表 2-5

经验系数 α 值

土的类别 勘探孔类别	碎石土	砂土	粉土	粘性土 (含黄土)	软土
控制孔	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
一般孔	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.9	1.0

对于桩墩基础的勘探深度应达到压缩层的下限值,或按桩尖下取基础底宽的 1.0~1.5 倍深度。当在该深度范围内遇到坚硬岩土层时,继续进入 3~5m 后终止。

3) 取土试样与原位测试,是本阶段的一项重要工作。取土与测试的孔数和取样数与测试点数应满足设计精度的要求。取土与原位测试的孔数宜占总勘探孔的 1/2~1/3;对安全等级为一级的建筑物每幢不得少于 3 个。取样点和原位测试点在竖向的间距,在地基主要受力层内约为 1~2m。每一主要土层取原状土试样不应少于 6 件;原位测试数不应少于 6 组。

4) 对于安全等级为一级的建筑物,室内土工试验的项目除了一般物理性质(密度、重度、孔隙比和含水量、塑性指数及液性指数)试验外,对于强度参数应进行三轴不排水剪试验和固结不排水剪试验或相应的直接剪切试验,测定主要土层的指标 C_u 和 ϕ_u ; C_{cu} 和 ϕ_{cu} ;对压缩性参数应进行压缩试验或高压固结试验,求得 $e-p$ 曲线和 $e-\log p$ 曲线,并确定前期固结压力 p_c ,压缩指数 C_c 和回弹指数 C_s ;必要时还应测定固结系数 C_v 和 C_h 及渗透系数 K 等。

在施工阶段一般不进行专门的勘察,只有在施工过程中存在特殊问题才进行补充勘察。例如,重要建筑物基槽检验;地基出现事故时的补充勘探等。

· 第三节 勘 察 方 法

地基勘察的方法主要有工程地质调查与测绘;勘探与取样;原位测试等三类。

一、工程地质调查与测绘

工程地质调查与测绘是通过调查和实地观察了解场地地质土层的分布和地质环境及不良的物理地质现象的一种勘察工作方法。首先进行调查,搜集场地已有的岩土工程资料和工程实录以及航空遥感照片等;然后在场地范围内布置若干条观测线和观测点进行观察,对观测点上岩土露头,识别土类,描述产状及存在的岩溶、土洞、塌陷、滑坡、泥石流等不良地质现象;结合调查的资料和遥感照片进行解译和分析,并测绘于大比例尺的地形图上;然后进行综合分析,编制工程地质图,提供设计应用。这是最基本的勘察工作方法。

二、勘探工作

为查明地基土的性质与分布,并采取岩土试样进行室内试验,主要的工作方法有钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等;静力触探和动力触探也可作为勘探手段和钻探等方法配合使用。

1. 钻探

利用钻机在地基中钻孔,取土样现场鉴别土类,取原状土进行室内试验等称为钻探。这是地基勘探常用的一种手段,主要机具是机动工程钻机和简易人工麻花钻和洛阳铲等。