

高等学校大土木工程专业新编教材

基础工程学

JICHU GONGCHENG XUE

- 陈国兴 樊良本 等 编著
- 宰金珉 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校大土木工程专业新编教材

基础工程学

陈国兴 樊良本 等 编著

宰金珉 主审



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材系根据全国土木工程专业教学指导委员会对由建筑工程、岩土工程、地下结构工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等相近的若干专业或专业方向合并成的大土木工程专业的培养规格要求和目标所规定的《基础工程》的教学要求而编写的,充分体现了本学科的理论性、系统性、计算性、实验性及应用性的特点。全书共分 11 章,内容包括:绪论、岩土工程勘察、天然地基上浅基础的设计、连续基础、桩基础设计、区域性地基与挡土墙、地基处理与复合地基、基坑工程、沉井工程、地下连续墙设计与施工、动力机器基础与地基基础抗震。

本书可作为高等学校土木工程专业的教材,也可作为土建类研究生的教学参考书,并可供土建类工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程学/陈国兴等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2002

高等学校大土木工程专业新编教材

ISBN 7-5084-1271-0

I. 基… II. 陈… III. 地基-基础 (工程)-高等学校-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 089586 号

书 名	高等学校大土木工程专业新编教材 基础工程学
作 者	陈国兴 樊良本 等 编著 辛金珉 主审
出版、发行	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)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 26.25 印张 622 千字
版 次	2002 年 12 月第一版 2002 年 12 月第一次印刷
印 数	0001—7100 册
定 价	38.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

国家教育部于1998年7月颁布了新的本科专业目录,1999年全国高等学校已按新的专业目标招生。调整后的土木工程专业的知识面大大拓宽,相应的专业培养目标和业务要求也有了很大变化,涵盖了原来的建筑工程、岩土工程、地下结构工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等相近的若干专业或专业方向,现有的《土力学》和《基础工程》教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求。因此,编写一本新的土木工程专业的《土力学》和《基础工程》教材已成为当务之急。为适应这一形势的发展,南京工业大学、浙江工业大学、苏州城建环保学院和河北建筑工程学院等高校从事《土力学》和《基础工程》教学的教师,经过充分协商和研究,决定编写一套《土质学与土力学》和《基础工程》教材。本教材的编写是按照全国土木工程专业教学指导委员会对土木工程专业的培养规格要求和目标进行的,是该套姐妹篇教材中的第二册。

根据我们多年的教学经验,编写中遵循“内容充实、注重实用、兼顾不同行业、便于自学”的原则,各编写人员积极收集资料,广泛征求意见,吸收国内外比较成熟的知识,既重视基本理论和概念的阐述,也注重工程应用和学科前沿知识的教学,力求使本教材能较好地满足各高等学校的教学要求。全书共分11章,第1章为绪论,第2章为岩土工程勘察,第3章为天然地基上浅基础的设计,第4章为连续基础,第5章为桩基础设计,第6章为区域性地基与挡土墙,第7章为地基处理与复合地基,第8章为基坑工程,第9章为沉井工程,第10章为地下连续墙设计与施工,第11章为动力机器基础与地基基础抗震。

本书由南京工业大学陈国兴教授主编,宰金珉教授主审。全书由陈国兴教授制订编写大纲,并撰写第5、11章;浙江工业大学樊良本教授(副主编)撰写第1、4章;南京工业大学韩爱民副教授撰写第2章,王旭东副教授撰写第8章,蒋刚博士撰写第10章;苏州城建环保学院陈甦副教授撰写第7章;浙江工业大学施颖副教授撰写第9章;河北建筑工程学院陈国庆副教授撰写第3、6章。樊良本教授负责审校第2、5章,陈国兴教授审校第1、4、7~10章,陈国兴教授和樊良本教授共同审校第3、6章。最后,由陈国兴教授负责全书的修改、定稿和校对工作。

由于《基础工程学》所包含的内容比较广泛,教材的内容涉及若干本国家和行业规范或规程,不同的规范或规程对某些内容和概念的表述与规定又不完

全一致，因此，本教材对个别章节的内容和概念的表述未作统一。

博士研究生王志华同志为本书完成了部分绘图和校对工作，梅国雄博士、硕士研究生庄海洋同志也校对了部分章节，在此表示衷心感谢。

虽然本书已在南京工业大学土木工程学院试用两届，但由于编著者的业务水平所限，书中尚会有错误和不足之处，敬请读者批评指正，并告知编著者。

陈国兴

2002年11月于南京

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 岩土工程学与基础工程学	1
1.2 地基与基础	1
1.3 基础工程是土木工程的重要组成部分	2
1.4 基础工程的现状	3
1.5 基础工程课的学习特点	4
第 2 章 岩土工程勘察	5
2.1 概述	5
2.2 工程地质测绘	6
2.3 勘探与取样	7
2.4 岩土室内试验	10
2.5 岩土原位测试	12
2.6 岩土工程地下水	18
2.7 岩土计算参数的分析与选定	21
2.8 岩土工程勘察报告的阅读与使用	24
第 3 章 天然地基上浅基础的设计	29
3.1 概述	29
3.2 浅基础的类型与基础材料	30
3.3 地基设计	33
3.4 无筋扩展基础的设计	49
3.5 扩展基础的设计	52
3.6 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	60
第 4 章 连续基础	65
4.1 概述	65
4.2 地基、基础与上部结构共同工作的概念	66
4.3 地基计算模型	68
4.4 柱下条形基础	72
4.5 筏板基础设计	90
4.6 箱形基础设计	97
4.7 补偿性基础概要	105
第 5 章 桩基础设计	107
5.1 概述	107

5.2	桩基的基本要求与桩基概率极限状态设计	111
5.3	桩的分类	117
5.4	竖向荷载作用下的单桩工作性状	120
5.5	竖向荷载作用下单桩承载力的确定方法	124
5.6	竖向荷载作用下单桩沉降计算	131
5.7	竖向荷载作用下群桩的工作性状	135
5.8	群桩的竖向承载力计算	140
5.9	群桩的沉降计算	146
5.10	水平荷载作用下桩基的承载力与变位	158
5.11	桩基础设计	176
第6章	区域性地基与挡土墙	189
6.1	概述	189
6.2	岩石地基	189
6.3	土岩组合地基	190
6.4	压实填土地基	191
6.5	岩溶与土洞地基	192
6.6	膨胀土地基	194
6.7	红粘土地基	198
6.8	滑坡与防治	199
6.9	边坡与挡土墙设计	202
第7章	地基处理与复合地基	209
7.1	概述	209
7.2	浅层地基处理	212
7.3	排水固结法	222
7.4	注浆加固法	228
7.5	散体材料桩复合地基	230
7.6	柔性材料桩复合地基	234
7.7	托换技术	242
第8章	基坑工程	246
8.1	概述	246
8.2	基坑工程方案设计	247
8.3	基坑工程设计依据	249
8.4	支护结构方案设计	252
8.5	支撑方案设计	254
8.6	作用于支护结构上的荷载	256
8.7	排桩支护设计与计算	257
8.8	搅拌桩支护设计与计算	273
8.9	基坑稳定性分析	280

第 9 章 沉井工程	288
9.1 概述	288
9.2 沉井的设计与计算	293
9.3 沉井的施工	308
9.4 沉井工程实例	318
9.5 沉井计算实例	326
第 10 章 地下连续墙设计与施工	346
10.1 概述	346
10.2 地下连续墙的设计方法	347
10.3 地下连续墙的施工	357
10.4 地下连续墙施工引起的环境问题	368
第 11 章 动力机器基础与地基基础抗震	370
11.1 概述	370
11.2 动力机器基础的设计计算	370
11.3 大块式机器基础振动计算	379
11.4 地基与土工构筑物的震害现象	386
11.5 天然地基及基础抗震设计	394
11.6 桩基抗震设计	400
参考文献	409

第 1 章 绪 论

1.1 岩土工程学与基础工程学

岩土工程有时又被称为土工技术、土力学、土工学、地质技术学、地质工学、地质工程学等，通常认为是把土力学及岩石力学应用到包括水利、矿冶等在内的广义的土木工程中，并与工程地质密切结合的学科。克里宁等 (D. P. Krynnine et al, 1957) 指出：工程地质学被其它的地球物理分支，以及被需要的工程概念所充实时，就形成一门新的学科——岩土工程学。最新的进展是把环境工程的一部分也包括进去，即所谓环境岩土工程。因此可以认为，岩土工程学是运用土力学及岩石力学的基本理论和基本方法，结合工程地质学和水文地质学的知识，去解决广义的土木工程领域内的各种与岩土有关的工程（基础工程、道路工程、水利工程、地下建筑、隧道工程、环境工程、海洋工程等）问题。或者说解决土作为建筑物地基、建筑材料、周围介质的问题，以及用土工方法解决其它工程问题（渗流问题、环境问题等）。

基础工程学研究对象是各类结构物（房屋建筑、桥梁结构、水工结构、近海工程、地下工程等）的地基基础和挡土结构物的设计和施工，以及为满足基础工程要求进行的地基处理方法。可以认为基础工程是岩土工程的一个重要组成部分，即用岩土工程的基本理论和方法去解决地基基础方面的工程问题。由于基础是建筑物结构的一部分，在基础设计中需要大量的结构计算，所以基础工程学也与结构计算理论和计算技术密切相关。

1.2 地 基 与 基 础

基础工程学研究对象是地基与基础问题。

所谓地基，指的是直接承托建筑物的场地土层。在建筑物荷载下地基土会产生附加应力和变形，其范围随基础类型和尺度、荷载大小以及土层分布而不同。建筑物对地基的要求是满足强度、变形和稳定性，这要求除考虑地基土本身的强度和变形特性外，还应考虑周围的地质和水文条件、气候和环境条件及其变化对建筑物施工阶段和使用期间的影响，例如流砂管涌、液化、冻胀、湿陷等。当建筑物地基由多层土组成时，直接与基础底面接触的土层称为持力层，持力层以下的其它土层称为下卧层。持力层和下卧层都应满足地基设计的要求，但对持力层的要求显然比下卧层要高。地基又可分为天然地基和人工地基两类，前者是不加处理直接用作建筑物地基的天然土层，后者是经过地基处理后才满足建筑物地基要求的土层。显然，当能满足基础工程的要求时，采用天然地基是最经济的。

基础是建筑物在地面以下的结构部分，与上部结构一样应满足强度、刚度和耐久性的要求。之所以将基础从上部结构分出研究是由于以下的原因：

(1) 基础是直接同地基土接触的结构部分，与地基土的关系比上部结构密切得多。在

设计中,除考虑上部结构传下的荷载、基础的材料和结构形式外,还必须考虑地基土**的强度和变形特性**,而常规的上部结构设计往往不考虑后者。

(2) 基础施工有专门的技术和方法,包括基坑开挖、施工降水、桩基础和其它深基础的**专项技术、各类地基处理技术等**。基础施工受自然条件和环境条件的影响要比上部结构大得多。

(3) 基础有独特的功能和构造要求。例如地下室的功能和抗浮防渗要求、抗变形和抗震构造、特殊土地基上的构造等。

根据设计和施工方法的不同,基础又可分为浅基础和深基础两大类。后者一般考虑基础侧面的抗力作用并使用专门的施工机械和方法。

地基和基础的设计往往不能截然划分,正确的基础设计必须建立在合理的地基评价基础上。“地基”、“基础”在英语中用同一名词“Foundation”这反映了两者的不可分割性。

1.3 基础工程是土木工程的重要组成部分

基础工程是土木工程的一个组成部分,其重要性表现在以下几个方面:

(1) 地基基础问题是土木工程领域普遍存在的问题。基础设计和施工是整座建筑物设计和施工中必不可少的环节,掌握基础工程的设计理论和方法、了解施工原理和过程对工程师来说是不可缺少的。当地基条件复杂或者恶劣时,基础工程经常会成为工程中的难点和首先需要解决的问题。而由于土的复杂性、勘测工作的有限性等造成岩土工程的不定性和经验性,基础工程问题又往往成为工程师感到最难把握的问题。

(2) 地基基础造价占土建总造价相当大的比例。在软土地区,其可达百分之十几甚至超过百分之二十,如包括地下室则更高。这样高的造价既要求设计和施工必须保证建筑物的安全和正常使用,同时也提出是否能选择最合适的设计方案和施工方法,以降低基础部分的造价。这在正确的理论和丰富的经验指导下是能够做到的。

(3) 地基基础事故屡见不鲜,有时甚至酿成重大损失。而且一旦发生了地基事故,弥补和整治是费钱、费力又费时的事。

工程事故常常由地基事故引起,国际水利工程的统计表明,自1830年以来,大坝失事中有25%可归咎于地基事故。而造成基础工程事故的原因有勘测、设计或施工的失误,环境气候的变化,乃至使用的不当等,有时这些原因并存。某一环节失误或者考虑不周就可能酿发事故。

由于地基强度不足造成的地基失稳事故比较少见,这是由于强度问题相对较易控制且设计中考虑大的安全度的原因。但一旦疏忽,出现了失稳事故,造成的损失将是巨大的。国外著名的例子有加拿大特朗斯康谷仓和挪威5000m³油罐地基的失稳,巴西里约热内卢11层大楼由于桩基破坏而倒塌等。国内有南方某地8层饭店建筑由于地基承载力不足在结顶后坍塌的事故。这类事故有时也在施工中发生,南京长江大桥某桥墩基础采用沉井,设计穿过粘土层沉至基岩,中途沉井下沉发生困难,值班人员擅自决定在井中抽水8m,以减少浮力,结果沉井内外水头差造成井底土层突涌,水向上猛喷,将加在井上的操作平台和设备全冲入江中,沉井也突沉4m并严重倾斜,这是在施工中未能把握尺度引发的事故。近年

来,随着高层建筑的涌现和地下空间的开发,深基坑开挖中的事故时有发生。例如,华东某地两起大的基坑工程坍塌事故造成了生命和财产的重大损失。

大量的地基事故则由地基变形所引起。由于地基的不均匀变形,基础之间产生差异沉降,发生挠曲或倾斜,上部结构受到影响,也会产生倾斜、扭转、挠曲,并可能造成结构的损坏。这不仅影响到建筑物的正常使用功能,有时还危及建筑物的安全。对于这样的建筑物,常常需要进行建筑物的纠偏、上部结构和(或)地基基础的加固,有的必须拆除,其代价是昂贵的。因此,对变形问题必须十分重视。

1.4 基础工程的现状

基础工程是一项古老的工程技术,发展到今天已成为一门专门的科学。随着岩土工程及其它相关学科的不断发展,基础工程在设计计算理论和方法、施工技术和机械设备等方面都有长足的进展。20世纪90年代以来,陆续编制的规范或规程有JGJ 79—91《建筑地基处理技术规范》、JGJ 94—94《建筑桩基技术规范》、JGJ 72—96《高层建筑岩土工程勘察规范》、YB 9258—97《建筑基坑工程技术规范》、JGJ 6—99《高层建筑箱形和筏形基础技术规范》、JGJ 120—99《建筑基坑支护技术规程》、JGJ 123—2000《既有建筑地基基础加固技术规范》、GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》、GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》、GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》等。这些规范或规程都是基础工程各个领域取得的科研成果和工程经验的高度概括,反映了近十年来基础工程的发展水平。

目前,基础工程的关注热点之一是在设计计算理论和方法方面的研究探讨,包括考虑上部结构、基础与地基共同工作的理论和设计方法,概率极限状态设计理论和方法,优化设计方法,数值分析方法和计算机技术的应用等。另外,随着高层建筑和大跨度大空间结构的涌现、地下空间的开发等,与之密切相关的两种技术也得到极大的重视,其一为桩基础技术,其中桩土共同工作理论,新的桩基设计理论——变形控制理论,桩基非线性分析和设计方法,桩基承载力和沉降的合理估算,新的桩型例如大直径灌注桩、预应力管桩、挤扩支盘桩、套筒桩、微型桩等的研究开发,后注浆技术在桩基工程中的应用,桩基础的环境效应等都成为研究和开发的热点。其二是深基坑开挖问题,研究的重点放在土、水压力的估算,基坑支护设计理论和方法的深化——优化设计、概念设计和动态设计、考虑时空效应的方法等;新的基坑支护方法例如复合土钉墙、作为主体结构应用的地下连续墙、锚杆挡墙等的开发研究;基坑开挖对环境的影响;逆作法技术的应用等。在地基处理方面,进一步完善复合地基理论,对各类地基处理方法机理的深化研究以及施工及检测技术的改进也是基础工程关心的问题。对于深水和复杂地质条件下的基础工程,例如在大型桥梁、水工结构、近海工程中,重要的是深入研究地震、风和波浪冲击的作用,以及发展深水基础(超长大型水下桩基、新型沉井等)的设计和施工方法。

随着我国经济建设的发展,相信会碰到更多的基础工程问题,也会不断出现新的热点和难点问题需要解决。而土力学和基础工程将在克服这些难题的基础上得到新的发展。

1.5 基础工程课的学习特点

基础工程学需要工程地质学和土力学的基本知识,这两门专业基础课是本课程的先修课程,其中土的基本特性,以及土力学中关于强度、变形、稳定、地基承载力等课题的基本内容和地基计算方法等都是必须掌握的。本课程培养学生阅读和使用工程地质勘测资料的能力,同时学会利用上述土力学知识,结合结构计算和施工知识,合理地解决基础工程问题。

应明确任何一个成功的基础工程都是工程地质学、土力学、结构计算知识的运用和工程实践经验的完美结合,在某些情况下,施工可能是决定基础工程成败的关键。

应了解上部结构、基础和地基作为一个整体是协调工作的,一些常规计算方法不考虑三者共同工作是有条件的,在评价计算结果中应考虑这种影响,并采取相应的构造措施。

应清楚地基处理方法不是万能的,各种方法都有它的加固机理和适用范围,应该根据土的特性和工程特点选用不同的处理方法。

本教材共分 11 章,内容包括岩土工程勘察、浅基础和桩基础、地基处理、区域性地基、挡土墙、基坑工程、沉井、地下连续墙、动力机器基础和地基基础抗震等。基础工程课计划学时数 48 左右,建议授课时对某些内容可做适当删节。

第2章 岩土工程勘察

2.1 概 述

土木工程包括各种不同的结构和体系,如建筑物、大坝、隧道、道路、桥梁、港口等,所有这些设施都离不开岩土;它们不是建造在岩石或土之上,就是建造在岩石或土之中,或者以岩石或土作材料建造而成。因此对与工程有关的岩土体的充分了解是进行土木工程分析、设计与施工的前提。要了解岩土体,首先就要查明它在空间上的分布和构成情况,获得与岩土相关的物理力学性质参数,然后才能对工程所在场地的稳定性、建筑适宜性作出明确判定,进而对拟建工程的基础设计、地基处理以及不良地质现象的防治等具体方案进行论证,提出安全可靠、经济合理的建议。怎样了解岩土体呢?那就要根据任务要求、勘察阶段、地质条件、上部结构的型式和荷重特点等,按照规范的技术要求,以一定的手段和方法,按照一定的步骤,对场地的工程地质条件进行调查、分析、论证、评价,并将所得成果编制成岩土工程勘察报告书,提交相关部门,为工程建设的规划布局、设计计算、施工等提供详实可靠的技术依据。

一、工程地质条件

工程地质条件是指工程建筑所在场区地质及环境各项因素的综合。这些因素包括:

(1) 岩土类型。我国的各个部门都制定了结合本行业特点的岩土分类体系,主要是按岩土的成因类型、沉积年代、主要力学性质等进行分类,建立一套通用的岩土鉴别标准。不同的岩土类型,其物质组成、结构构造不同,基本性质存在差异,从而决定了它的工程特性也不同。

(2) 地质构造。地质构造是指构造运动使岩层发生变形和变位后所遗留下来的产物,常见的有褶皱、断层和节理。地质构造,尤其是时代新、规模大的新构造断裂,对工程场地的稳定起着控制作用,不容忽视。

(3) 地形地貌。主要包括地表的高低起伏状况、山坡陡缓程度、河谷宽窄及形态特征、不同地貌单元的特征及其相互关系等。地形地貌直接影响场址和线路的选择。

(4) 地下水条件。主要包括地下水的成因、埋藏、分布,地下水的补给、径流和排泄条件,地下水的渗流对工程建筑的影响以及地下水的水质和对混凝土的侵蚀性等。

(5) 不良地质现象。是指地表地质作用,诸如地震、滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、河流冲刷以及风化、侵蚀等,这些不良地质现象对建筑物的稳定和正常使用构成威胁,可以根据它们的发生和发展规律预测工程地质条件的变化。

二、勘察阶段的划分

岩土工程勘察阶段的划分是与设计阶段的划分相一致的。一定的设计阶段需要相应的岩土工程勘察工作所提供的地质资料和分析论证作为依据。现行的工程建设中,岩土工程勘察阶段一般分为可行性研究勘察阶段、初步设计勘察阶段和详细勘察(施工图设计勘

察)阶段。对面积不大、工程地质条件简单或有建筑经验的地区,可简化勘察阶段。各勘察阶段的基本要求和主要工作内容如下:

(1) 可行性研究勘察阶段。本阶段主要搜集场区和附近地区的工程地质资料,通过踏勘,初步了解场地的地层结构、岩土性质、不良地质现象和地下水情况等,对拟建场地稳定性和建筑适宜性作出评价。选择场地时,一般应避开下列地段:不良地质现象发育,对场地稳定性有直接危害或潜在威胁的地段;地基土性质严重不良的地段;对建筑抗震不利的地段;洪水或地下水对建筑场地有严重威胁或不良影响的地段;地下有未开采的有价值的矿藏或不稳定的地下采空区。

(2) 初步设计勘察阶段。本阶段的勘察工作主要包括搜集本项目的可行性研究阶段岩土工程勘察报告等基本资料;初步查明地层、构造、岩土性质、地下水埋藏条件、不良地质现象的成因、分布及其对场地稳定性的影响程度和发展趋势;对抗震设防烈度等于或大于7度的场地,初步判定场地和地基的地震效应。通过以上工作,对场地内建筑地段的稳定性作出评价,为确定建筑物总平面布置、选择主要建筑物地基基础方案和不良地质现象的防治对策进行论证。

(3) 详细勘察阶段。详细勘察密切结合技术设计或施工图设计,按不同建筑物或建筑群提出详细的工程地质资料和设计所需的岩土设计参数,对建筑地基作出岩土工程分析评价,为基础设计、地基处理、不良地质现象的防治等具体方案作出论证、结论和建议。

施工勘察主要解决与施工有关的岩土工程问题,如基槽检验、桩基工程与地基处理的质量和效果的检测、施工中的岩土工程监测和必要的补充勘察,具体内容视工程要求而定。

为达到岩土工程勘察的目的、要求和内容,必须有一套勘察方法来配合实施。岩土工程勘察的基本方法有:工程地质测绘、勘探与取样、原位测试、室内试验以及资料的分析与整理等。

2.2 工程地质测绘

如果场地的工程地质条件复杂或工程项目有特殊要求,在进行各勘察阶段之前,应首先进行工程地质测绘,以初步了解拟建场地的地层、岩性、构造、地貌、水文地质条件及不良地质现象,为场址选择及勘探方案的合理布置提供依据。

一、测绘内容和比例尺

工程地质测绘是在野外进行地质填图,其内容包括工程地质条件的全部要素。

工程地质测绘的比例尺一般分为以下三种:

(1) 小比例尺测绘。比例尺 $1:5000\sim 1:50000$,一般在可行性研究勘察、城市规划或区域性的工业布局时使用,是为了了解区域性的工程地质条件。

(2) 中比例尺测绘。比例尺 $1:2000\sim 1:5000$,一般在初步勘察阶段使用。

(3) 大比例尺测绘。比例尺 $1:200\sim 1:1000$,适用于详细勘察阶段或地质条件比较复杂和重要建筑物地段,以及需要解决某一特殊问题时使用。

二、测绘方法

工程地质测绘方法有像片成图法和实地测绘法。

像片成图法是利用摄影或航空（卫星）摄影的图片，先在室内进行解释，划分地层岩性、地质构造、地貌、水系及不良地质现象，并在像片上选择若干点和路线，然后做实地调查，进行核对、修正、补充，绘成底图，最后转绘成图。

实地测绘法有三种：

- (1) 路线法。沿着一定路线，把沿途观察到的地质情况标绘在地形图上。
- (2) 布点法。预先在地形图上布置观察点及观察路线，达到广泛观察地质现象的目的。
- (3) 追索法。沿地层走向或某一构造线方向追索，以查明某些局部的复杂构造情况。

2.3 勘探与取样

勘探与取样是岩土工程勘察的重要手段。在土木工程的设计和施工过程中，必须掌握场地的工程地质条件。工程地质测绘不能了解地表以下的地质情况，而勘探则是了解地表以下地质情况的一种可靠方法，它可以直接或间接地取得有关地下岩土层的工程地质和水文地质资料。取样则是为了提供对岩土特性进行鉴定和各种试验所需的样品。勘探与取样是岩土工程勘察必不可少的两个手段。

勘探在这里指的是坑探、钻探和工程物探（地球物理勘探）。触探也属于勘探之一，将在后面岩土的原位测试部分介绍。

一、坑探

当需要直接了解地表下岩土层的情况时，可采用坑探。坑探就是用人工或机械挖掘探井、探槽、竖井、平洞或大口径钻孔，以便直接观察岩土层的天然状态以及各地层之间的接触关系，并能取出接近实际状态的原状岩土样，还可利用坑槽作岩土体原位试验。

二、钻探

钻探几乎是了解深部地层并采取试样的惟一方法。钻探是指用钻头钻进地层，在地层内钻成直径较小并具有相当深度的圆形孔，称为钻孔。钻孔的上面口径较大，越往下越小，呈阶梯状。钻孔的上口称孔口；底部称孔底；四周称孔壁。钻孔断面的直径称孔径，由大孔径改为小孔径称换径。从孔口到孔底的距离称为孔深。

钻孔的直径、深度、方向取决于钻孔用途和钻探地点的地质条件。钻孔的直径一般为75~150mm，在一些大型建筑物的工程地质钻探时，孔径往往大于150mm，有时可达到500mm。钻孔的深度由数米至上百米，视工程要求和地质条件而定。一般的建筑工程地质钻探深度在数十米以内。钻孔的方向一般为垂直向下，也有打成倾斜的（斜孔）。在地下工程中有水平钻孔，甚至有直立向上的钻孔。

（一）钻探过程

钻探过程有三个基本程序：

(1) 破碎岩土。采用人力和机械方法，使小部分岩土脱离整体而成为粉末、岩土块或岩土芯叫做破碎岩土。岩土被破碎是借助钻头冲击、回转、研磨和施压来实现的。

(2) 采取岩土。用冲洗液或压缩空气将孔底破碎的碎屑冲到孔外，或者用钻具（抽筒、

勺形钻头、螺旋钻头、取土器、岩心管等)靠人力或机械将孔底的碎屑或样心取出于地面。

(3) 保全孔壁。为了顺利地进行钻探工作,必须保护好孔壁,不使其坍塌。一般采用套管或泥浆来护壁。

(二) 钻进方法

表 2-1 根据 GB50021—2001《岩土工程勘察规范》,列举了各种钻进方法及其适用范围。

表 2-1 钻进方法的适用范围

钻进方法		钻进地层					勘察要求	
		粘性土	粉土	砂土	碎石土	岩石	直观鉴别,采取不扰动试样	直观鉴别,采取扰动试样
回转	螺纹钻探	○	△	△	—	—	○	○
	无岩心钻探	○	○	○	△	○	—	—
	岩心钻探	○	○	○	△	○	○	○
冲击	冲击钻探	—	△	○	○	—	—	—
	锤击钻探	○	○	○	△	—	○	○
振动钻探		○	○	○	△	—	△	○
冲洗钻探		△	○	○	—	—		

注 ○—适用; △—部分情况适用, ———不适用。

(三) 取样

钻探的主要任务之一是在岩土层中采取岩心或原状土试样。在采取试样过程中应该保持试样的天然结构。如果试样的天然结构已遭破坏,或水分蒸发发生体缩,则此试样就受到扰动,这种试样称为“扰动样”。用于岩土试验的试样必须是保留天然结构和天然含水量的原状试样。原状试样有岩心试样和土试样。岩心试样由于质地坚硬,其天然结构难于破坏;而土试样则不同,它很容易被扰动。因此,采取原状土样是岩土工程勘察中的一项重要技术。按照取样方法和试验目的,GB50021—2001《岩土工程勘察规范》对土试样的扰动程度分成 4 个质量等级,见表 2-2。

表 2-2 土试样质量等级

级别	扰动程度	试验内容
I	不扰动	含水量、密度、强度试验、固结试验
II	轻微扰动	土类定名、含水量、密度
III	显著扰动	土类定名、含水量
IV	完全扰动	土类定名

在钻孔取样时,采用薄壁取土器所采得的土试样定为 I ~ II 级,对于采用中厚壁或厚壁取土器所采得的土试样定为 II ~ III 级,对于采用标准贯入器、螺纹钻头或岩心钻头所采得的粘性土、粉土、砂土和软岩的试样皆定为 III ~ IV 级。为取得 I 级质量的土试样,应采用薄壁取土器,以保证土工试验全部的

物理力学参数的正确获得。

(四) 钻探成果

钻探成果包括钻探野外编录、野外钻孔地质柱状图、所取岩土试样等。

钻探野外编录是钻探过程的详细文字记载,是岩土工程勘察最基本的原始资料,它包括两方面的内容:

(1) 岩土描述, 包括地层名称、分层厚度、岩土的性质等。岩石的描述侧重于结构、构造、风化程度、完整程度等。地基土按颗粒级配和塑性指数分为碎石土、砂土、粉土和粘性土, 对于不同的土, 描述的侧重点也有所不同。

(2) 钻进记录, 包括钻进方法、护壁方式、孔内情况、取样位置及编号、原位测试类型及结果、岩心采取率等。

岩土试样是钻孔编录的辅助资料, 也是试验所需的样品, 即使在提交勘察报告后也应妥善保存一段时间。如果应用彩色摄影, 可用彩照代替实物。对全断面取心的钻孔, 还可制作纵断面的揭片, 缩小体积, 便于保存。

钻孔地质柱状图是野外编录的图形化, 通过图标反映某钻孔内地层的地质年代、岩土层埋藏深度、岩土层厚度、岩土层底部的绝对标高, 图中还附带岩土描述、地面绝对标高、地下水水位和测量日期、岩土样采取位置及原位测试类型和结果等。柱状图的比例尺一般为 1:100~1:500 (见图 2-1)。

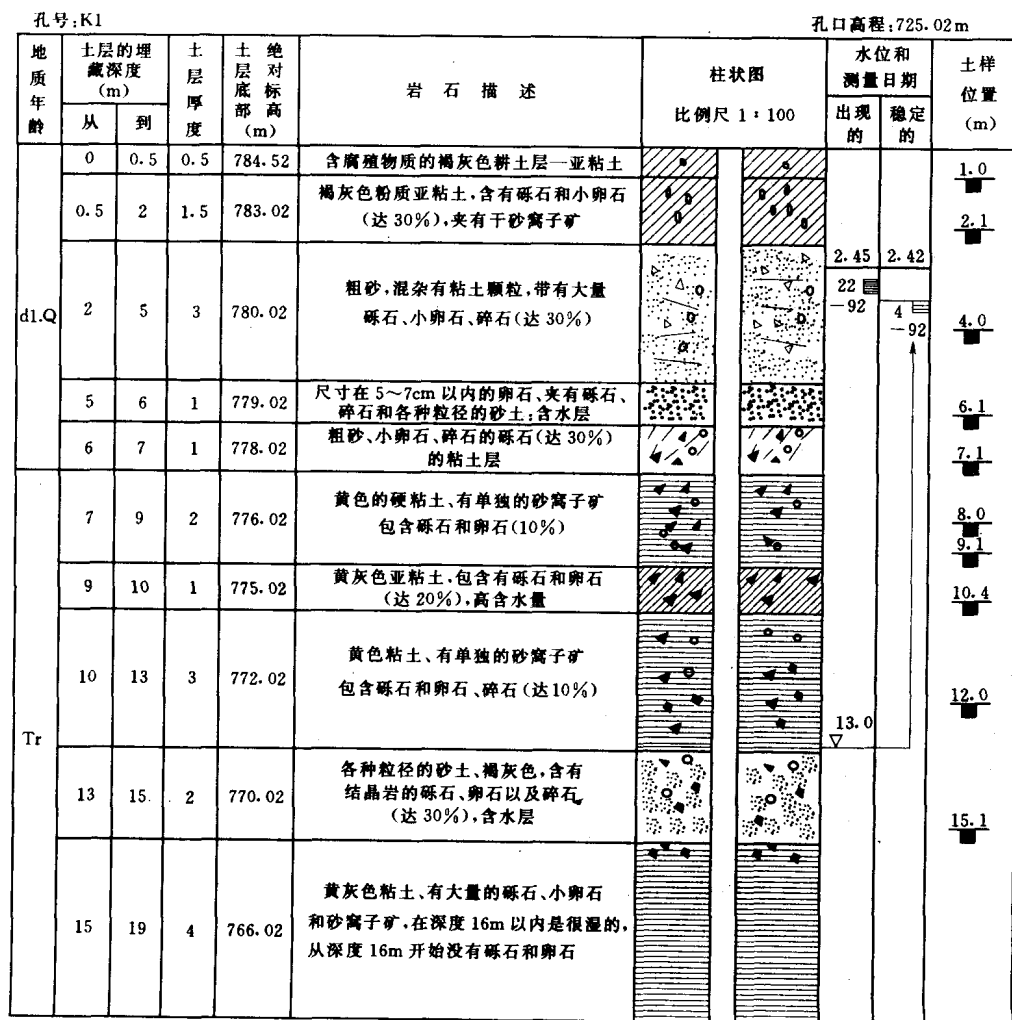


图 2-1 钻孔的地质柱状图