

- 教育部地质工程教学指导分委员会规划教材
- 中国地质大学“十二五”规划教材

GEOTECHNICAL ENGINEERING INVESTIGATION

岩土工程勘察

● 项伟 唐辉明 主编



化学工业出版社

教育部地质工程教学指导分委员会规划教材
中国地质大学“十二五”规划教材

岩土工程勘察

GEOTECHNICAL ENGINEERING INVESTIGATION

项 伟 唐辉明 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书分5篇22章。第1篇为岩土工程勘察的技术方法,包括岩土工程勘察基本技术要求、工程地质测绘和调查、勘探与取样、土体原位测试、岩体原位测试、水文地质原位测试、现场检验与监测、岩土工程分析评价与勘察报告。第2篇为特殊性岩土勘察,包括湿陷性土、红黏土、软土、混合土、填土、多年冻土、膨胀岩土、盐渍岩土、风化岩和残积土、污染土的勘察。第3篇为不良工程地质场地勘察,包括斜坡场地、泥石流发育地区、岩溶发育地区、高地震烈度场地和地下采空区场地的勘察。第4篇为各类建筑岩土工程勘察,包括房屋建筑与构筑物、地下洞室工程、道路和桥梁工程、水利水电工程和港口工程的勘察。第5篇为新兴建筑岩土工程勘察,包括城市轨道交通、废物处理工程、核电厂工程的勘察。

本书是作者们在总结多年教学、科研成果的基础上,系统全面地介绍岩土工程勘察的基本理论、基本知识及其在工程上的应用,同时反映本学科最新科研成果和技术方法。

本书体系合理,内容充实,深入浅出,实用性强,可作为地质工程、土木工程、建筑工程、环境工程等专业的本科生教材,亦可供高等院校有关专业师生及从事相关专业工作的科技人员、工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程勘察/项伟,唐辉明主编. —北京:化学工业出版社,2012.8

教育部地质工程教学指导分委员会规划教材

ISBN 978-7-122-14831-5

I. ①岩… II. ①项…②唐… III. ①岩土工程-地质勘探-高等学校-教材 IV. ①TU412

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第158893号

责任编辑:彭喜英

文字编辑:颜克俭

责任校对:周梦华

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张24 字数650千字 2012年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00元

版权所有 违者必究

前言

《岩土工程勘察》是“地质工程”和“土木工程（岩土）”专业的主干课程，也是环境工程、水利水电工程及应用地质学的重要必修课。

本书作者在中国地质大学多年教学、科研积累的基础上，总结自己多年教学经验，以勘察岩土体性质为重点，系统全面地介绍岩土工程勘察的基础知识、基本理论和基本方法，同时反映本学科最新科研成果和技术方法。

本教材是按 80 学时编写的。全书分 5 篇 22 章。第 1 篇为岩土工程勘察的基本技术方法，包括岩土工程勘察基本技术要求、工程地质测绘和调查、勘探与取样、土体原位测试、岩体原位测试、水文地质原位测试、现场检验与监测、岩土工程分析评价与勘察报告。第 2 篇为特殊性岩土的勘察，包括湿陷性土、红黏土、软土、混合土、填土、多年冻土、膨胀岩土、盐渍岩土、风化岩和残积土、污染土的勘察。第 3 篇为不良工程地质场地勘察，包括斜坡场地、泥石流发育地区、岩溶发育地区、高地震烈度场地和地下采空区场地的勘察。第 4 篇为各类建筑岩土工程勘察，包括房屋建筑与构筑物、地下洞室工程、道路和桥梁工程、水利水电工程和港口工程的勘察。第 5 篇为新兴建筑岩土工程勘察，包括城市轨道交通、废物处理工程、核电厂工程的勘察。

通过本课程的学习，要求学生全面掌握岩土工程勘察的基本知识，以及从服务工程建设的角度去研究岩土性质的基本方法，初步具备解决重大工程地质实际问题的能力，为今后从事生产实际工作和科学研究打好基础。在岩土工程勘察课程教学中，通过基本概念、基本理论、基本方法的教学，培养学生发现、分析和解决工程地质问题的能力。课程以讲授为主，辅以必要习题、作业，应有一定的实践性教学内容，注重理论与实践相结合。

本书由项伟、唐辉明主编，编写分工如下：绪论由唐辉明编写，第 1 篇和第 2 篇由崔德山编写，第 3 篇、第 4 篇和第 5 篇由项伟编写。作者们力图做到体系严谨、合理，基本概念清楚、明确，知识内容重点突出，使本科生易于掌握、学以致用。

本书编写大纲曾征求了张咸恭，天津城市建设学院土木系韩文峰，中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院王文远，铁道部第三勘察设计院许再良，太原理工大学水利学院王银梅，吉林大学朝阳校区建设工程学院王清，中国海洋大学环境科学与工程学院贾永刚等单位 and 专家的意见，并得到教育部地质工程教学指导分委员会专家们的指导。初稿完成后，编者们进行了互审，并提出了修改意见，之后编者们进行了认真修改，最后由项伟统一定稿。

本书编写过程中，得到中国地质大学（武汉）工程学院、工程地质与岩土工程系老师们的支持和帮助。也得到了中国地质大学（武汉）“十二五”教材建设经费资助。谨向他们致以衷心的感谢！

书中不当之处在所难免，恳望读者批评指正。

编者
2012 年 3 月

目 录

绪论	1	0.4 我国岩土工程勘察现状	3
0.1 岩土工程与岩土工程勘察	1	0.5 本书的内容和学习要求	4
0.2 岩土工程勘察与工程地质勘察	2	思考题	5
0.3 岩土工程勘察的任务	2		
第1篇 岩土工程勘察的技术方法	6		
第1章 岩土工程勘察基本技术要求	6	4.6 野外十字板剪切试验	88
1.1 岩土工程勘察分级和岩土分类	6	4.7 扁铲侧胀试验	91
1.2 岩土工程勘察的阶段	14	4.8 现场波速试验	94
1.3 岩土工程勘察的方法	15	思考题	97
1.4 岩土工程勘察纲要	17	第5章 岩体原位测试	98
思考题	18	5.1 概述	98
第2章 工程地质测绘和调查	19	5.2 岩体变形试验	98
2.1 工程地质测绘的意义和特点	19	5.3 岩体强度试验	106
2.2 工程地质测绘的范围、比例尺和精度	19	5.4 岩体应力测试	111
2.3 工程地质测绘和调查的前期准备工作、 方法及程序	21	5.5 岩体现场快速测试	117
2.4 工程地质测绘的研究内容	23	思考题	122
2.5 工程地质测绘成果资料整理	28	第6章 水文地质原位测试	123
2.6 “3S”技术在工程地质测绘中的应用	28	6.1 原位渗透试验	123
思考题	38	6.2 注水试验	127
第3章 勘探与取样	39	6.3 抽水试验	133
3.1 岩土工程勘探的任务、特点和手段	39	6.4 压水试验	137
3.2 钻探工程	40	思考题	141
3.3 井探、槽探和洞探	46	第7章 现场检验与监测	142
3.4 地球物理勘探	49	7.1 现场检验与监测的意义和内容	142
3.5 勘探工作的布置和施工顺序	56	7.2 地基基础的检验与监测	143
3.6 取样技术	58	7.3 不良地质作用和地质灾害的监测	149
思考题	63	7.4 地下水的监测	155
第4章 土体原位测试	64	思考题	157
4.1 概述	64	第8章 岩土工程分析评价与勘察报告	158
4.2 静力载荷试验	66	8.1 岩土参数的分析与选取	158
4.3 静力触探试验	69	8.2 岩土工程分析评价	162
4.4 动力触探试验	77	8.3 岩土工程勘察报告	164
4.5 旁压试验	83	思考题	166
第2篇 特殊性岩土勘察	167		
第9章 特殊性岩土的勘察	167	9.4 混合土	178
9.1 湿陷性土	167	9.5 填土	179
9.2 红黏土	172	9.6 多年冻土	182
9.3 软土	175	9.7 膨胀岩土	185

9.8 盐渍岩土	191	9.10 污染土	199
9.9 风化岩与残积土	197	思考题	201

第3篇 不良工程地质场地勘察 202

第10章 斜坡场地	202	12.5 岩溶岩土工程评价	230
10.1 概述	202	思考题	233
10.2 斜坡破坏类型及影响因素	202	第13章 高地震烈度场地	234
10.3 斜坡场地岩土工程勘察要点	203	13.1 概述	234
10.4 崩塌	205	13.2 抗震设计原则和建筑物抗震措施	234
10.5 滑坡	208	13.3 场地和地基的工程地震分析评价	236
思考题	212	13.4 场地条件对震害的影响及地震小 区划	238
第11章 泥石流发育地区	213	13.5 场地岩土工程勘察要点	244
11.1 概述	213	13.6 地震液化	246
11.2 泥石流形成条件	213	思考题	252
11.3 泥石流的工程分类	214	第14章 地下采空区场地	253
11.4 泥石流勘察与场地(线路)评价	216	14.1 概述	253
思考题	221	14.2 采空区的地表变形特征	253
第12章 岩溶发育地区	222	14.3 采空区场地的建筑适宜性评价	254
12.1 概述	222	14.4 地下采空区场地的勘察要点	255
12.2 影响岩溶发育的因素	222	思考题	255
12.3 土洞和地面塌陷	225		
12.4 岩溶场地勘察要点	227		

第4篇 各类建筑岩土工程勘察 256

第15章 房屋建筑与构筑物	256	17.2 桥梁岩土工程勘察	302
15.1 概述	256	思考题	306
15.2 地基承载力确定	257	第18章 水利水电工程	307
15.3 桩基岩土工程问题分析	261	18.1 概述	307
15.4 深基坑开挖的岩土工程问题	269	18.2 水坝工程地质	308
15.5 房屋建筑与构筑物岩土工程勘察 要点	277	18.3 水库工程地质	330
思考题	281	18.4 引水建筑工程地质	339
第16章 地下洞室工程	283	18.5 水利水电工程地质勘察要点	346
16.1 概述	283	思考题	350
16.2 地下洞室围岩分类	283	第19章 港口工程	352
16.3 地下洞室围岩稳定性评价	289	19.1 概述	352
16.4 地下洞室位址选择的工程地质 论证	291	19.2 可行性研究阶段勘察	352
16.5 地下洞室岩土工程勘察要点	291	19.3 初步设计阶段勘察	352
思考题	292	19.4 施工图设计阶段勘察	354
第17章 道路和桥梁	293	19.5 施工期中的勘察	355
17.1 道路(路基)岩土工程勘察	293	19.6 港口工程勘察手段与内容	355
		思考题	357

第5篇 新兴建筑岩土工程勘察 358

第20章 城市轨道交通	358	20.2 路基、高架线路和桥涵勘察	358
20.1 概述	358	20.3 地下隧道勘察	362

20.4 勘察报告中的要点	368	22.1 概述	373
思考题	369	22.2 初步可行性研究勘察	373
第 21 章 废物处理工程	370	22.3 可行性研究勘察	374
21.1 废物处理工程勘察的一般规定	370	22.4 初步设计勘察	375
21.2 工业废渣堆场勘察	371	22.5 施工图设计阶段和工程建造阶段 勘察	376
21.3 垃圾填埋场勘察	371	思考题	376
思考题	372	参考文献	377
第 22 章 核电厂	373		

绪 论

0.1 岩土工程与岩土工程勘察

岩土工程 (Geotechnical Engineering) 是欧美国家于 20 世纪 60 年代在前人土木工程实践基础上建立起来的一种新的技术体系, 它主要研究的是岩体和土体的工程问题。岩土工程勘察是在工程地质勘察的基础上特别注意与地基处理和基础工程施工有关的数据, 这些数据主要通过钻探、物探、试验、监测等手段获得。

岩土工程是以求解岩体与土体工程问题, 包括地基与基础、边坡和地下工程等问题, 作为自己的研究对象。它涉及岩体与土体的利用、整治和改造, 包括岩土工程的勘察、设计、施工和监测四个方面。这种为工程建设全过程服务的技术体制, 在房屋、道路、航运、能源、矿山和国防等建设工程中占有重要的地位, 在保证工程质量、降低工程造价、缩短工程周期以及提高工程经济效益、环境效益和社会效益方面起到了重要作用。

岩土工程以工程地质学、土力学、岩体力学和基础工程学为理论基础, 以解决在建设过程中出现的与岩体和土体有关的工程技术问题, 是一门地质与工程紧密结合的学科。可以认为, 岩土工程是由土木工程、地质、力学和材料科学等多学科相互渗透、融合而形成的边缘学科。就学科的内涵和属性来说, 岩土工程是一门服务于工程建设的综合性和应用性都很强的技术学科, 属于土木工程范畴。

工程建筑与岩土体之间处于相互依存又相互制约的矛盾中。研究两者之间的关系, 促使矛盾的转化和解决, 是岩土工程的基本任务。

在土木工程中, 各种建筑物以岩土体作为建筑材料、工程结构或建筑环境, 岩土工程的地位相当重要。而且, 随着工程规模愈来愈大, 岩土工程问题愈益突出和复杂, 给岩土工程师提出了各种新的、前所未有的研究课题。

就房屋建筑和构筑物而言, 目前世界上最高建筑物为阿拉伯联合酋长国的迪拜塔 (现已更名为哈利法塔), 设计高度 828m, 160 层; 我国最高建筑物为上海环球金融中心, 设计高度 492m, 101 层。显然, 一般天然土体是难以满足其荷载要求的, 为此需要采用桩基础或对地基土进行处理, 这就要研究桩身的尺寸、材料强度以及桩基持力层的选择和承载力等问题。此外, 施工时深基坑开挖支护和降水问题也很重要。岩土工程在此类工程的总造价和总工期中占 1/3 左右。当今世界上边坡工程规模也很大, 土质边坡最高的有 120m, 而岩质露天矿坑边坡则高达 1000 余米。在边坡工程中, 岩土体既是建筑材料, 又是工程结构。高边坡工程的稳定性问题十分突出, 尤其是岩质边坡, 分析它的稳定性时必须弄清楚岩体结构, 并采用工程地质和岩体力学理论分析其变形、破坏的机制, 对稳定性的现状和演化趋势作出科学的评价。对地下工程而言, 岩土体既是建筑材料, 又是工程结构和建筑环境。它的岩土工程问题更为复杂和多样, 诸如围岩稳定、施工开挖、涌水、瓦斯爆炸等, 尤其是在复杂地质条件下的大埋深、大跨度、高边墙的地下工程, 上述问题更具特殊性。

工程岩土体是地质体的一部分, 其工程性质的形成和演化以及对建筑的适应性, 与它的物质组成、结构和赋存环境息息相关。因此, 岩土工程师在着手解决任何一项岩土工程问题时, 首先要查明岩土体的地质特征和场地工程地质条件, 尤其是地质条件比较复杂的重大岩体工程, 场地工程地质条件的研究更显得重要, 甚至会成为影响工程效益、投资抑或成败的

关键。可见,岩土工程师必须具备地质和工程地质的基本理论知识,要有较好的地质素养。可以认为,工程地质学是岩土工程的重要基础和支柱。

0.2 岩土工程勘察与工程地质勘察

岩土工程勘察(Geotechnical Engineering Investigation)是根据建设工程的要求,查明、分析、评价建设场地的地质、环境特征和岩土工程条件,编制勘察文件的活动。按其进行阶段可分为:预可行性阶段、工程可行性研究阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段、补充勘察、施工勘察等。根据勘察对象的不同,可分为:水利水电工程(主要指水电站、水工构造物的勘察)、铁路工程、公路工程、港口码头、大型桥梁及工业、民用建筑等。由于水利水电工程、铁路工程、公路工程、港口码头等工程一般比较重大、投资造价及重要性高,国家分别对这些类别的工程勘察进行了专门的分类,编制了相应的勘察规范、规程和技术标准等,通常这些工程的勘察称为工程地质勘察。因此,通常所说的“岩土工程勘察”主要指工业、民用建筑工程的勘察,勘察对象主体主要包括房屋楼宇、工业厂房、学校楼舍、医院建筑、市政工程、管线及架空线路、岸边工程、边坡工程、基坑工程、地基处理等。

工程地质勘察(Engineering Geological Investigation)是研究、评价建设场地的工程地质条件所进行的地质测绘、勘探、室内实验、原位测试等工作的统称。为工程建设的规划、设计、施工提供必要的依据及参数。工程地质勘察是为查明影响工程建筑物的地质因素而进行的地质调查研究工作。所需勘察的地质因素包括地质结构或地质构造、地貌、水文地质条件、土和岩石的物理力学性质、自然(物理)地质现象和天然建筑材料等,这些通常称为工程地质条件。查明工程地质条件后,需根据设计建筑物的结构和运行特点,预测工程建筑物与地质环境相互作用(即工程地质作用)的方式、特点和规模,并作出正确的评价,为确定保证建筑物稳定与正常使用的防护措施提供依据。

0.3 岩土工程勘察的任务

岩土工程勘察是岩土工程技术体制中的一个重要环节,是工程建设首先开展的基础性工作。它的基本任务,就是按照建筑物或构筑物不同勘察阶段的要求,为工程的设计、施工以及岩土体治理加固、开挖支护和降水等工程提供地质资料和必要的技术参数,对有关的岩土工程问题作出论证、评价。其具体任务归纳如下。

① 阐述建筑场地的工程地质条件,指出场地内不良地质现象的发育情况及其对工程建设的影响,对场地稳定性作出评价。

② 查明工程范围内岩土体的分布、性状和地下水活动条件,提供设计、施工和整治所需的地质资料和岩土技术参数。

③ 分析、研究有关的岩土工程问题,并作出评价结论。

④ 对场地内建筑总平面布置、各类岩土工程设计、岩土体加固处理、不良地质现象整治等具体方案作出论证和建议。

⑤ 预测工程施工和运行过程中对地质环境和周围建筑物的影响,并提出保护措施的建议。

⑥ 根据勘察结果,选择最适宜的建筑场址,计算地基和基础的承载力、变形和稳定性。

下面解释一下任务中提到的几个术语的含义。

(1) 工程地质条件 定义为与工程建设有关的地质因素的综合。这些因素包括:岩土类型及其工程性质、地质构造及岩土体结构、地貌、水文地质、工程动力地质作用和天然建筑

材料等方面。显然,工程地质条件是一个综合概念,它直接影响到工程建筑物的安全、经济和正常运行。所以,任何类型的工程建设,进行勘察时必须查明建筑场地的工程地质条件,并把它作为岩土工程勘察的基本任务。工程地质条件是在自然地质历史发展演化过程中客观形成的,因此必须依据地质学的基本理论采用自然历史分析方法去研究它。

(2) 岩土工程问题 指的是工程建筑物与岩土体之间所存在的矛盾或问题。在岩土工程施工以及工程建筑物建成使用过程中,工程部位的岩土体和地下水与建筑物发生作用,导致岩土工程问题的出现。由于建筑物的类型、结构和规模不同,其工作方式和对岩土体的负荷不同。因此,岩土工程问题是复杂多样的。例如,工业与民用建筑主要的岩土工程问题是地基承载力和沉降问题。但是,由于建筑物的功能和高度不同,对地基承载力要求的差别较大,允许沉降的要求也不同。此外,高层建筑物深基开挖和支护、施工降水、坑底回弹隆起及坑外地面位移等各种岩土工程问题较多。而地下洞室主要的岩土工程问题是围岩稳定性问题;除此之外,还有洞脸边坡稳定、地面变形和施工涌水等问题。岩土工程问题的分析、评价,可以说是岩土工程勘察的核心任务,每一项工程进行岩土工程勘察时,对主要的岩土工程问题必须作出确切的评价结论。

(3) 不良地质现象 定义为对工程建设不利或有不良影响的动力地质现象。它泛指地球外动力作用为主引起的各种地质现象,如崩塌、滑坡、泥石流、岩溶、土洞、河流冲刷以及渗透变形等,它们既影响场地稳定性,也对地基基础、边坡工程、地下洞室等具体工程的安全、经济和正常使用不利。所以,在复杂地质条件进行岩土工程勘察时,必须查清它们的分布、规模、形成机制和条件、发展演化规律和特点,预测其对工程建设的影响或危害程度,并提出防治对策和措施。

0.4 我国岩土工程勘察现状

新中国成立后,由于国民经济建设的需要,在地质、城建、水利、电力、冶金、机械、铁道、国防等部门,按原苏联的模式,相继设立勘察、设计机构,开展了大规模的工程地质勘察研究工作,为工程规划、设计和施工提供了大量的地质资料,使得一大批重要工程得以顺利施工和正常运行。但是,由于工程地质勘察体制的局限,其明显的弊病和缺陷,一是侧重于定性分析,定量评价不够;二是侧重于“宏观”研究,结合工程具体较差,在建筑结构、基础方案和地基处理措施等方面,往往缺乏权威性意见和建议。这反映了勘察与设计、施工在一定程度上是脱节的,影响了勘察工作社会地位和经济效益的提高;它尤其不能适应市场经济的需要。

针对工程地质勘察的缺陷,中国城建、冶金部门的一些工程勘察单位自 20 世纪 80 年代初期,引进了岩土工程体制。这一技术体制是为工程建设全过程服务的,因此很快就显示了它突出的优越性。之后,各部门相继推广。此时,由于国内地质找矿市场逐渐萎缩,不少原从事找矿地质勘察的地质队也纷纷转产,从事岩土工程勘察。因而形成了一支庞大的岩土工程勘察队伍,它们遍布全国各大、中城市,主要从事工业与民用建筑和市政设施的勘察。由于高层建筑,尤其是超高层建筑的涌现,对天然地基稳定性计算和评价、桩基计算与评价、基坑开挖与支护、岩土加固与改良等方面,都提出了新的研究课题,要求对勘探、取样、原位测试和监测的仪器设备、操作技术和工艺流程等不断创新。由于勘察工作与设计、施工、监测结合紧密,勘察真正成为工程咨询性的工作,为保证工程安全和提高经济效益作出了很大的贡献,并积累了许多勘察经验和资料。可以认为:勘察与设计、施工、监测的紧密结合,是岩土工程技术体制的最大优越性。勘察工作存在的问题,主要是缺乏法定的规范、规程和技术监督不足;此外,某些地区工程勘察市场比较混乱,勘察质量不高。

为了在市场经济体制下,使岩土工程勘察能贯彻执行国家有关的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、确保工程质量和提高经济效益,由国家建设部会同有关部门,共同制订了中华人民共和国国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021—94,作为强制性国家标准于1995年3月1日正式颁布施行。该规范是对原《工业与民用建筑工程地质勘察规范》TJ 21—77的修订,它既总结了我国40多年来工程实践的经验和科研成果,又注意尽量与国际标准接轨。该规范中提出了岩土工程勘察等级,以便在工程实践中按照工程的复杂程度和安全等级区别对待;对工程勘察的目标和任务提出了新的要求,除提供地质资料外,更多地涉及场地岩土体的利用、整治和改造的分析论证;扩大了工程勘察的范围和内容;加强了岩土工程评价的针对性,除规定评价原则外,还分别对各类岩土工程如何结合具体工程进行分析、计算与论证,作了相应的规定。

2009年,根据建设部建标[1998]244号文的要求,对1994年发布的国标《岩土工程勘察规范》进行了修订。目前最新版本是《岩土工程勘察规范(2009年版)》GB 50021—2001。该规范基本上保持了1994年发布的《规范》的适用范围、总体框架和主要内容,作了局部调整。现分为14章:1.总则;2.术语和符号;3.勘察分级和岩土分类;4.各类工程的勘察基本要求;5.不良地质作用和地质灾害;6.特殊性岩土;7.地下水;8.工程地质测绘和调查;9.勘探和取样;10.原位测试;11.室内试验;12.水和土腐蚀性的评价;13.现场检验和监测;14.岩土工程分析评价和成果报告。

从目前国内大量的实践可看出,岩土工程勘察侧重于解决土体工程的场地评价和地基稳定性问题,而对地质条件较复杂的岩体工程,尤其是重大工程(如水电站、核电站、铁路干线等)的区域地壳稳定性、边坡和地下洞室围岩稳定性的分析、评价,仅由岩土工程师是无法胜任的,必须有工程地质人员的参与才能解决。这就要求岩土工程与工程地质在发挥各自学科专业优势的前提下,互相渗透、交叉,两者互为补充而相得益彰。

0.5 本书的内容和学习要求

本书是为岩土工程专业本科生开设的专业课“岩土工程勘察”而编写的教材,其宗旨是为了使该专业学生能掌握岩土工程勘察的基本原理和方法,为毕业后从事勘察工作打好基础。

教材内容共四篇,分别为岩土工程勘察方法、特殊性岩土的勘察、不良地质作用和地质灾害评价与勘察以及各类建筑岩土工程勘察。

第1篇为岩土工程勘察的技术方法。讨论岩土工程勘察的基本技术要求、工程地质测绘与调查、勘探与取样、岩土体原位测试、现场检验与监测、勘察成果整理等。

第2篇为特殊性岩土的勘察,讨论湿陷性土、红黏土、软土、混合土、填土、多年冻土、膨胀岩土、盐渍岩土、风化岩和残积土、污染土的工程性质及勘察要点。

第3篇为不良工程地质场地勘察。讨论各种不同地质作用和地质灾害中的评价方法和勘察要点,包括斜坡场地、岩溶场地、强震区场地及泥石流场地等,以场地稳定性评价为主,讨论其评价准则和方法,不良场地的整治措施。

第4篇为各类建筑岩土工程勘察,包括房屋建筑与构筑物、地下洞室、道路与桥梁、水利水电工程的岩土工程勘察。以各类建筑主要的岩土工程问题分析、评价为中心,讨论勘察工作布置原则、工作量安排、各勘察阶段所要求的成果。

第5篇为新兴建筑岩土工程勘察,主要针对现代城市化进程中新兴工程的岩土工程勘察,包括城市轨道交通、垃圾填埋场和核电厂工程的岩土工程勘察。在传统场地稳定性评价的基础上,特别注意场地对环境的影响,有针对性地讨论勘察工作的要点。

本课程是土木工程专业岩土工程方向的必修专业课，它的理论性和实践性都比较强。通过本课程学习，要求学生熟练地掌握岩土工程勘察的理论基础和技术方法，为今后从事生产实际工作或科学研究打好基础。课程以讲授为主，并辅以必要的实践性教学内容。

思 考 题

1. 何为岩土工程、岩土工程勘察？岩土工程勘察包含哪些工作内容？
2. 岩土工程勘察的目的和任务有哪些？
3. 如何理解工程地质条件、岩土工程条件、不良地质作用等基本概念？

第 1 篇 岩土工程勘察的技术方法

第 1 章 岩土工程勘察基本技术要求

1.1 岩土工程勘察分级和岩土分类

岩土工程勘察等级划分的主要目的，是为了勘察工作量的布置。显然，工程规模较大或较重要、场地地质条件以及岩土体分布和性状较复杂者，所投入的勘察工作量就较大，反之则较小。

按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) 规定，岩土工程勘察的等级，是由工程重要性、场地和地基的复杂程度三项因素决定的。首先应分别对三项因素进行分级，在此基础上进行综合分析，以确定岩土工程勘察的等级划分。下面先分别论述三项因素等级划分的依据及具体规定，随后综合划分岩土工程勘察的等级。

1.1.1 岩土工程重要性等级

按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) 岩土工程重要性等级划分是根据工程的规模和特征，以及由于岩土工程问题造成工程破坏或影响正常使用的后果，可分为三个工程重要性等级（表 1-1）。

表 1-1 岩土工程重要性等级划分

重要性等级	破坏后果	工程类型
一级	很严重	重要工程
二级	严重	一般工程
三级	不严重	次要工程

对于不同类型的工程来说，应根据工程的规模和重要性具体划分。目前房屋建筑与构筑物的重要性等级，已在国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 中明确规定根据地基的复杂程度，建筑物规模和功能特征以及由于地基问题造成建筑物破坏及影响正常使用的程度将地基基础设计分为三个设计等级（表 1-2）。此外，各产业部门和地方根据本部门（地方）建筑物的特殊要求和经验，在颁布的有关技术规范中也划分了适用于本部门（地方）的工程重要性等级，一般均划分为三级。

表 1-2 地基基础设计等级

重要性等级	工程规模	建筑及地基类型
甲级	重要工程	重要的工业与民用建筑物；30 层以上的高层建筑；体型复杂，层数相差超过 10 层的高低层连成一体的建筑物；大面积的多层地下建筑物（地下车库、商场及运动场等）；对地基变形有特殊要求的建筑物；复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡）；对原有工程影响较大的新建建筑物；场地和地基条件较复杂的一般建筑物；位于复杂地质条件及软土地区的二层或二层以上的地下室的基坑工程
乙级	一般工程	除甲级及乙级以外的工业与民用建筑
丙级	次要工程	场地和地质条件简单荷载分布均匀的七层及七层的一般民用建筑物及一般的工用建筑；次要的轻型建筑物

目前，地下洞室、深基坑开挖、大面积岩土处理等尚无工程安全等级的具体规定，可根据实际情况划分。大型沉井和沉箱、超长桩基和墩基、有特殊要求的精密设备和超高压设备、有特殊要求的深基坑开挖和支护工程、大型竖井和平洞、大型基础托换和补强工程，以及其他难度大、破坏后果严重的工程，以列为一级重要性等级为宜。

1.1.2 场地复杂程度等级

场地复杂程度是由建筑抗震稳定性、不良地质现象发育情况、地质环境破坏程度、地形地貌条件和地下水条件五个条件衡量的，也划分为三个等级（表 1-3）。

表 1-3 场地复杂程度等级

等级	一级	二级	三级
建筑抗震稳定性	危险	不利	有利(或地震设防烈度≤6度)
不良地质现象发育情况	强烈发育	一般发育	不发育
地质环境破坏程度	已经或可能强烈破坏	已经或可能受到一般破坏	基本未受破坏
地形地貌条件	复杂	较复杂	简单
地下水条件	有影响工程的多层地下水,岩溶裂隙水或其他水文地质条件复杂,需专门研究	基础位于地下水位以下	地下水对工程无影响

注：一、二级场地各条件中只要符合其中任一条件者即可。

下面讨论一下场地条件的判别。

1.1.2.1 建筑抗震稳定性

按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）规定，选择建筑场地时，对建筑抗震稳定性地段的划分规定如下。

① 危险地段地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流及发震断裂带上可能发生地表位错的部位。

② 不利地段软弱土和液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡、河岸和斜坡边缘，平面分布上成因、岩性和性状明显不均匀的土层（如故河道、断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷及半填半挖地基）等。

③ 有利地段岩石和坚硬土或开阔平坦、密实均匀的中硬土等。

上述规定中，场地土的类型按表 1-4 划分。

表 1-4 场地土的类型划分

场地土类型	土层剪切波速/(m/s)	岩土名称和性状
坚硬场地土	$v_s > 500$	稳定的岩石,密实的碎石土
中硬场地土	$500 \geq v_{sm} > 250$	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_k > 200$ 的黏性土和粉土
中软场地土	$250 \geq v_{sm} > 140$	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_k \leq 200$ 的黏性土和粉土, $f_k \geq 130$ 的填土
软弱场地土	$v_{sm} \leq 140$	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近代沉积的黏性土和粉土, $f_k < 130$ 的填土

注：1. v_s 、 v_{sm} 分别为土层的剪切波速和平均剪切波速，后者取地面以下 15m 且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层的剪切波速，按土层厚度加权的平均值计。

2. f_k 为地基土静承载力标准值，kPa。

1.1.2.2 不良地质现象发育情况

不良地质现象泛指由地球外动力作用引起的，对工程建设不利的各种地质现象。它们分布于场地内及其附近地段，主要影响场地稳定性，也对地基基础、边坡和地下洞室等具体的岩土工程有不利影响。

“强烈发育”是指由于不良地质现象发育导致建筑场地极不稳定，直接威胁工程设施的安全。例如，山区崩塌、滑坡和泥石流的发生，会酿成地质灾害，破坏甚至摧毁整个工程建

筑物。岩溶地区溶洞和土洞的存在,所造成的地面变形甚至塌陷,对工程设施的安全也会构成直接威胁。“一般发育”是指虽有不良地质现象分布,但并不十分强烈,对工程设施安全的影响不严重;或者说对工程安全可能有潜在的威胁。

1.1.2.3 地质环境破坏程度

由于人类工程经济活动导致地质环境的干扰破坏,是多种多样的。例如,采掘固体矿产资源引起的地下采空;抽汲地下液体(地下水、石油)引起的地面沉降、地面塌陷和地裂缝;修建水库引起的边岸再造、浸没、土壤沼泽化;排除废液引起岩土的化学污染等。地质环境破坏对岩土工程实践的负面影响是不容忽视的,往往对场地稳定性构成威胁。地质环境的“强烈破坏”,是指由于地质环境的破坏,已对工程安全构成直接威胁,如矿山浅层采空导致明显的地面变形、横跨地裂缝等。“一般破坏”是指已有或将有地质环境的干扰破坏,但并不强烈,对工程安全的影响不严重。

1.1.2.4 地形地貌条件

主要指的是地形起伏和地貌单元(尤其是微地貌单元)的变化情况。一般地说,山区和丘陵区场地地形起伏大,工程布局较困难,挖填土石方量较大,土层分布较薄且下伏基岩面高低不平。地貌单元分布较复杂,一个建筑场地可能跨越多个地貌单元,因此地形地貌条件复杂或较复杂。平原场地地形平坦,地貌单元单一,土层厚度大且结构简单,因此地形地貌条件简单。

1.1.2.5 地下水条件

地下水是影响场地稳定性的重要因素。地下水的埋藏条件、类型、地下水位直接影响工程及其建设。其化学成分对工程岩土体及建筑物和构筑物的建筑材料具有重要影响。

1.1.3 地基复杂程度等级

地基复杂程度按规定划分为三个地基等级。

(1) 一级地基(复杂地基) 符合下列条件之一者即为一级地基:

① 岩土种类多,很不均匀,性质变化大,且需特殊处理;

② 严重缺陷、膨胀、盐渍、污染严重的特殊性岩土,对工程影响大、需作专门处理的岩土。

(2) 二级地基(中等复杂地基) 符合下列条件之一者即为二级地基:

① 岩土种类较多,不均匀,性质变化较大;

② 除上述一级地基第二条规定之外的特殊性岩土。

(3) 三级地基(简单地基) 符合下列条件者即为三级地基:

① 岩土种类单一,均匀,性质变化不大;

② 无特殊性岩土。

1.1.4 岩土工程勘察等级

综合上述三项因素的分级,即可划分岩土工程勘察的等级(表1-5)。

1.1.5 岩石的分类和鉴定

1.1.5.1 岩石的分类

在进行岩土工程勘察时,应鉴定岩石的地质名称和风化程度和进行岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分。因岩石的工程性质极为多样,差别很大,进行工程分类十分必要。岩石的分类可以分为地质分类和风化程度,地质分类主要根据其地质成因、矿物成分、结构构造和风化程度,可以用地质名称(即岩石学名称)加风化程度表达,如强风化花岗岩、微风化砂岩等。这对于工程的勘察设计师是十分必要的。岩石的工程分类主要根据岩体的工程性状,使工程师建立起明确的工程特性概念。地质分类是一种基本分类,工程分类应在地质分类的基础上进行,目的是为了较好地概括其工程性质,便于进行工程评价。

表 1-5 岩土工程勘察等级的划分

勘察等级	确定勘察等级的因素		
	工程重要性等级	场地程度等级	地基程度等级
一级	一级	任意	任意
	二级	一级 任意	任意 一级
二级	二级	二级 三级	二级或三级 二级
		一级 任意	任意 一级
	三级	二级	二级
		三级	三级
三级	二级	三级	三级
	三级	二级 三级	三级 二级或三级

岩石的工程分类有定性和定量两种划分标准和方法。进行定量分类的工程性质主要包括岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级，其中岩石坚硬程度主要依据饱和单轴抗压强度划分等级，岩体完整程度主要依据完整性指数划分等级，而岩体基本质量指标则是依据岩石的坚硬程度和岩体的完整程度来划分等级的。岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的定量划分见表 1-6～表 1-8 所列。

表 1-6 岩石坚硬程度分类 单位：MPa

坚硬程度	坚硬岩	较硬岩	较软岩	软岩	极软岩
饱和单轴抗压强度	$f_r > 60$	$60 \geq f_r > 30$	$30 \geq f_r > 15$	$15 \geq f_r > 5$	$f_r \leq 5$

注：1. 当无法取得饱和单轴抗压强度数据时，可用点荷载试验强度换算，换算方法按现行国家标准《工程岩体分级标准》（GB 50218）执行。

2. 当岩体完整程度为极破碎时，可不进行坚硬程度分类。

表 1-7 岩体完整程度分类

完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
完整性指数	> 0.75	$0.55 \sim 0.75$	$0.35 \sim 0.55$	$0.15 \sim 0.35$	< 0.15

注：完整性指数为岩体压缩波速度与岩块压缩波速度之比的平方，选定岩体和岩块测定波速时，应注意其代表性。

表 1-8 岩体基本质量等级分类

完整程度 坚硬程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎
坚硬岩	I	II	III	IV	V
较硬岩	II	III	IV	IV	V
较软岩	III	IV	IV	V	V
软岩	IV	IV	V	V	V
极软岩	V	V	V	V	V

当缺乏有关试验数据时，可采用定性方法进行岩石坚硬程度和岩体完整程度的分类（表 1-9、表 1-10）。

划分出极软岩和极破碎岩石具有非常重要的工程意义。有些岩石不仅极软，而且常有特殊的工程性质，例如某些泥岩具有很高的膨胀性；泥质砂岩、全风化花岗岩等有很强的软化性（单轴饱和抗压强度可等于零）；有的第三纪砂岩遇水崩解，有流沙性质。破碎岩体有时开挖时很硬，暴露后逐渐崩解。片岩各向异性特别明显，作为边坡极易失稳。当软化系数等于或小于 0.75 时，应定为软化岩石；当岩石具有特殊成分、特殊结构或特殊性质时，应定为特殊性岩石，如易溶性岩石、膨胀性岩石、崩解性岩石、盐渍化岩石等。

表 1-9 岩石坚硬程度等级的定性分类

坚硬程度等级		定性鉴定	代表性岩石
坚硬岩	硬质岩	锤击声清脆,有回弹,震手,难击碎,基本无吸水反应	未风化-微风化的花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆,有轻微回弹,稍震手,较难击碎,有轻微吸水反应	1. 微风化的坚硬岩 2. 未风化-微风化的大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等
软质岩	较软岩	锤击声不清脆,无回弹,较易击碎,浸水后指甲可刻出印痕	1. 中等风化-强风化的坚硬岩或较硬岩 2. 未风化-微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	锤击声哑,无回弹,有凹痕,易击碎,浸水后手可掰开	1. 强风化的坚硬岩或较硬岩 2. 中等风化-强风化的较软岩 3. 未风化-微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
极软岩		锤击声哑,无回弹,有较深凹痕,手可捏碎,浸水后可捏成团	1. 全风化的各种岩石 2. 各种半成岩

表 1-10 岩体完整程度的定性划分

完整程度	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距/m			
完整	1~2	>1.0	结构好或结合一般	裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1~2	>1.0	结合差	裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	0.4~1.0	结合好或一般		块状结构
较破碎	2~3	0.4~1.0	结合差	裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.2~0.4	结合好		镶嵌碎裂结构
			结合一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.2~0.4	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂状结构
极破碎	无序		结合很差		散体状结构

进行岩石的地质分类时用地质名称加风化程度表述，其地质名称按照岩石定名规则确定，风化程度可按表 1-11 划分。

表 1-11 岩石风化程度分类

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 K_v	风化系数 K_f
未风化	岩质新鲜,偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构基本未变,仅节理面有渲染或略有变色,有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9
中等风化	结构部分破坏,沿节理面有次生矿物,风化裂隙发育,岩体被切割成岩块。用镐难挖,岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙很发育,岩体破碎,用镐可挖,干钻不易钻进	0.4~0.6	<0.4
全风化	结构基本破坏,但尚可辨认,有残余结构强度,可用镐挖,干钻可钻进	0.2~0.4	—
残积土	组织结构全部破坏,已风化成土状,锹镐易挖掘,干钻易钻进,具可塑性	<0.2	—

注：1. 波速比 K_v 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比。
2. 风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比。
3. 岩石风化强度，除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分。
4. 花岗岩类岩石，可采用标准贯入试验划分， $N \geq 50$ 为强风化； $50 > N \geq 30$ 为全风化； $N < 30$ 为残积土。
5. 泥岩和半成岩，可不进行风化程度划分。

1.1.5.2 岩石和岩体的描述

岩石的描述应包括地质年代、地质名称、风化程度、颜色、主要矿物、结构、构造和岩