



尚岳全 王清 蒋军 孙红月 编著

地质工程学



清华大学出版社

地质工程学

尚岳全 王清 蒋军 孙红月 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书紧密联系工程建设需要,系统介绍地质工程调查与勘探测试技术、地质工程分析方法、地质工程监测技术和地质工程加固设计方法。本书以地质灾害防治为核心,全面总结地质工程学研究成果,强调地质基础理论与工程设计理论的有机结合和地质条件对工程安全的控制性作用,以满足工程建设需要为目标,注重讲解以工程措施对地质环境改造的方法和加固技术的应用。本书可作为高等院校地质工程、岩土工程、水利工程、公路工程、铁道工程、采矿工程、地下工程等专业的教材,也可作为广大从事地质工程和土木工程工作的科技人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

地质工程学/尚岳全,王清,蒋军,孙红月编著. —北京:清华大学出版社,2006.4

ISBN 7-302-12540-6

I. 地… II. 尚… III. 工程地质 IV. P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第009653号

出版者:清华大学出版社 地址:北京清华大学学研大厦
<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:刘建龙

文稿编辑:宋延清

排版者:王 婷

印刷者:北京市昌平环球印刷厂

装订者:北京国马印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:25.25 字数:600千字

版 次:2006年4月第1版 2006年4月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-12540-6/P·3

印 数:1~3000

定 价:35.00元

前 言

地质工程学主要是研究地质体的改造和利用问题，强调地质条件对工程安全的控制性作用，注重以工程措施对地质环境的改造和加固技术的应用。本书基于作者多年来的教学和科研工作经验，将地质基础理论、力学分析理论和工程设计理论有机地结合起来，系统地阐述了地质工程学的基本原理和设计计算方法。

地基、边坡、隧道等建设工程，不仅处于一定的地质环境中，还把地质体作为工程结构的一部分。由于地质体的结构和赋存环境的复杂性，使地质勘察成果往往具有不确定性，既增加工程设计的困难性，也必然增加工程的风险性。重大工程建设中出现的灾害性事故常常是因为对地质条件认识不足而造成的，其原因不但与勘察工作的深度和质量有关，更与设计工程师无法同地质工程师实现有效的沟通有关。为了解决地质调查与工程设计脱节问题，20世纪90年代提出了“地质工程学”的概念，并在教育部制定于1999年实施的新学科专业目录中，将相关专业合并与调整，设置了地质工程专业。

编写本书的基本指导思想是：①实现地质基础理论与工程设计理论的有机结合，以满足工程建设需要为目标；②按设计功能进行编写，使读者易于掌握地质工程设计的基本原理；③力图形成地质工程学的基本理论体系，为地质工程学科领域的发展起积极的促进作用；④在内容安排上，充分考虑当前土木工程类各专业和地质资源与地质工程类各专业的教学要求。

全书共12章。第1章、第7章第2节和第10章由浙江大学尚岳全编写，第3章、第4章、第7章第1节、第9章第4节由吉林大学王清编写，第9章第3节由王清和浙江省地震局叶建青编写，第5章、第8章、第11章和第12章由浙江大学蒋军编写，第2章、第6章及第9章第1、2节由浙江大学孙红月编写。全书由尚岳全统稿。

由于地质工程学是一门发展中的新兴学科，加之编写时间仓促，又限于编者水平，缺点和错误在所难免，热情欢迎读者提出批评指正。

尚岳全

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地质工程学的形成与发展.....	1
1.2 地质工程学研究对象和基本工程类型.....	2
1.3 地质工程学的研究方法.....	3
1.4 地质工程学与工程地质学的关系.....	4
第 2 章 地质学基础与地应力	5
2.1 地球的构造.....	5
2.2 岩石.....	6
2.2.1 岩浆岩.....	6
2.2.2 沉积岩.....	9
2.2.3 变质岩.....	12
2.3 地质构造.....	14
2.3.1 地质作用与地壳运动.....	14
2.3.2 岩层产状和地层接触关系.....	14
2.3.3 褶皱构造.....	16
2.3.4 断裂构造.....	17
2.4 地应力.....	20
2.4.1 地应力分布的基本规律.....	20
2.4.2 天然应力场的计算.....	22
第 3 章 岩体工程性质	24
3.1 岩石的物理性质.....	24
3.2 岩石的力学特性.....	25
3.2.1 岩石的变形性质.....	25
3.2.2 岩石的强度性质.....	30
3.3 岩体结构.....	33
3.3.1 结构面的成因类型.....	34
3.3.2 结构面特征及其对岩体力学性质的影响.....	34
3.3.3 软弱夹层.....	37
3.3.4 结构体特征.....	38
3.3.5 岩体的结构类型划分.....	38
3.4 岩体力学特性.....	39
3.4.1 结构面的变形特征.....	39
3.4.2 岩体变形参数的测定.....	40
3.4.3 岩体的强度特性.....	42
3.5 岩体工程分类.....	47
3.5.1 RQD 分类.....	47
3.5.2 巴顿岩体质量分类(Q 分类).....	48
3.5.3 岩体基本质量指标(BQ)分级.....	48
第 4 章 土体工程性质	50
4.1 土的物质组成与结构.....	50
4.1.1 土的基本组成.....	50
4.1.2 土的粒度成分与矿物成分.....	52
4.1.3 土的结构特征.....	56
4.2 土体物理特性.....	57
4.2.1 土的基本物理性质.....	57
4.2.2 细粒土的稠度和可塑性.....	59
4.2.3 土的胀缩性及崩解性.....	60
4.2.4 土的透水性及毛细性.....	60
4.3 土体力学特性.....	61
4.3.1 土的变形特性.....	61
4.3.2 土的抗剪强度特性.....	66
4.3.3 土体现场剪切试验.....	71
4.4 土的工程分类.....	73
第 5 章 地下水与降排水工程	75
5.1 地下水的类型与赋存条件.....	75
5.1.1 不同埋藏条件的地下水.....	75
5.1.2 不同介质中的地下水.....	76
5.2 岩土体的渗透性.....	77
5.2.1 基本概念.....	77
5.2.2 达西定律及其适用范围.....	78

5.2.3	渗透系数的影响因素.....	79	7.1.3	格里菲斯 (Griffith)	
5.2.4	渗流作用下土的 应力状态.....	81		强度理论及其应用	135
5.3	地下水的地质工程作用.....	82	7.1.4	剪应变能强度理论	137
5.3.1	地下水位升降引起的 地质工程问题.....	82	7.1.5	双剪应力强度理论	138
5.3.2	渗透变形破坏作用.....	84	7.1.6	有效应力理论	140
5.3.3	基坑突涌.....	88	7.2	地质工程数值分析.....	140
5.4	地下水的勘探.....	89	7.2.1	连续介质数值计算的 基本原理	141
5.4.1	地球物理勘探.....	89	7.2.2	地质工程问题的 基本特征	147
5.4.2	水文地质钻探.....	91	7.2.3	模型结构确定原则	149
5.4.3	水文地质参数的测定.....	91	7.2.4	边界条件确定方法	151
5.5	基坑降水.....	93	7.2.5	应用数值计算结果应 注意的问题	155
5.5.1	明沟排水.....	93	第 8 章	地质工程监测	158
5.5.2	井点降水类型.....	94	8.1	监测设计与监测资料分析.....	158
5.5.3	井点降水设计.....	100	8.1.1	监测内容与与方法	158
5.6	地下排水工程.....	106	8.1.2	地质工程监测设计原则	159
5.6.1	排除地下水的工程措施.....	106	8.1.3	监测资料的整理与分析	162
5.6.2	常用排水构筑物.....	106	8.2	监测仪器设备.....	165
第 6 章	地质调查与勘探.....	117	8.2.1	变形观测仪器	165
6.1	工程地质条件调查.....	117	8.2.2	压力测量仪器	176
6.1.1	地貌条件.....	117	8.2.3	地下水测量仪器	183
6.1.2	地层岩性.....	118	8.3	地下洞室工程监测.....	185
6.1.3	地质结构.....	121	8.3.1	监测项目选定与 仪器选型	186
6.1.4	水文地质条件.....	122	8.3.2	监测布置	188
6.1.5	不良地质现象.....	123	8.3.3	量测数据的分析处理	192
6.2	工程地质勘探.....	124	8.3.4	量测数据警戒值及围岩 稳定判断准则	195
6.2.1	工程地质勘探的 目的和任务.....	124	8.4	边坡工程监测.....	197
6.2.2	工程地质物探.....	124	8.4.1	边坡工程监测的内容	198
6.2.3	工程地质钻探.....	127	8.4.2	监测仪器与监测断面 选择原则	199
6.2.4	工程地质坑探.....	130	8.4.3	边坡工程监测方法	200
6.2.5	勘探布置及方法选择.....	131	8.5	基坑工程监测.....	204
第 7 章	岩土体稳定分析力学	132	8.5.1	基坑工程监测方法	204
7.1	岩土强度理论.....	132	8.5.2	基坑稳定判别准则	207
7.1.1	最大正应变理论.....	132			
7.1.2	莫尔-库仑强度理论	133			

第9章 地质工程分析	209	10.2.4 不同锚固体传力方式的锚杆	282
9.1 边坡工程	209	10.2.5 不同锚固体形态的锚杆	284
9.1.1 边坡的变形与破坏	210	10.3 锚固工程设计	284
9.1.2 崩塌	211	10.3.1 锚杆的配置	285
9.1.3 滑坡	214	10.3.2 锚杆结构设计	285
9.1.4 边坡变形破坏的地质模式	218	10.3.3 锚杆的腐蚀与防腐	289
9.1.5 影响边坡稳定性的环境因素	221	10.3.4 锚杆的初始张拉锁定荷载	291
9.1.6 边坡稳定性分析评价	223	10.4 边坡锚固工程	292
9.1.7 边坡变形破坏的防治	229	10.4.1 边坡锚固机理	293
9.2 地下洞室工程	234	10.4.2 边坡稳定所需锚固力的计算	294
9.2.1 洞室围岩的重分布应力	234	10.4.3 边坡锚固方案与结构形式选择	296
9.2.2 洞室围岩的变形与破坏	239	10.5 地下洞室锚固工程	298
9.2.3 围岩压力	242	10.5.1 地下洞室锚固作用原理	298
9.2.4 洞室支护	253	10.5.2 地下洞室锚固工程设计	300
9.2.5 洞室施工的超前地质预报	255	10.6 锚固工程的试验及监测	308
9.3 地震地质灾害	256	10.6.1 锚杆试验	308
9.3.1 地震的基本概念	256	10.6.2 锚杆预应力监测	309
9.3.2 地震区划及地震危险性分析	260	第11章 抗滑桩工程	312
9.3.3 场地地震效应	263	11.1 抗滑桩的类型及适用条件	312
9.3.4 地震区抗震设计原则	265	11.1.1 抗滑桩类型	312
9.4 区域性地质灾害	266	11.1.2 各类桩型的特点及适用条件	313
9.4.1 地面沉降	266	11.2 抗滑桩的设计要求与步骤	316
9.4.2 砂土振动液化	269	11.2.1 抗滑桩的设计要求及设计内容	316
9.4.3 地表塌陷	273	11.2.2 抗滑桩的设计步骤	316
第10章 岩土锚固工程	276	11.3 抗滑桩设计荷载的确定	317
10.1 锚固工程概述	276	11.3.1 抗滑桩上的作用力系	317
10.1.1 锚杆的基本结构	276	11.3.2 滑坡推力的确定	317
10.1.2 岩土锚固的特点	277	11.3.3 地基反力的确定	319
10.1.3 锚固的应用	277	11.3.4 锚固段的地基反力	324
10.2 锚杆基本类型	279	11.4 抗滑桩的设计	325
10.2.1 岩石锚杆和土层锚杆	280	11.4.1 抗滑桩的布置	325
10.2.2 预应力锚杆和非预应力锚杆	280		
10.2.3 不同锚固机理的锚杆	281		

11.4.2	桩的截面及其计算	12.1.2	挡土墙的构造	344
	宽度的确定	12.1.3	挡土墙的布置	349
11.4.3	桩的锚固深度及桩底	12.2	土压力的计算	350
	支承条件的确定	12.2.1	静止土压力	352
11.4.4	桩型选择	12.2.2	朗肯土压力理论	353
11.4.5	桩的内力和变形计算	12.2.3	库仑土压力理论	358
11.4.6	桩的配筋计算和	12.2.4	影响土压力计算的	
	构造设计		主要因素	363
11.5	抗滑桩的计算	12.2.5	朗肯理论和库仑理论	
11.5.1	刚性桩的计算		的比较	366
11.5.2	弹性桩的计算	12.3	挡土墙的设计	367
11.5.3	$p \sim y$ 曲线法	12.3.1	重力式挡土墙设计	367
第 12 章	挡土墙工程	12.3.2	悬臂式挡土墙设计	381
12.1	挡土墙的类型和布置	12.3.3	加筋土挡土墙设计	385
12.1.1	挡土墙的类型	主要参考文献		392

第1章 绪 论

工程活动都是在一定的地质环境中进行的,有时甚至把地质体作为工程结构的一部分——例如地基工程、边坡工程、隧道工程等都是直接对地质体进行改造和利用。这些工程活动与地质条件紧密联系,设计工程师不仅需要设计对象的功能有正确的认识,而且应充分掌握地质环境条件。

由于地质条件的复杂性和不可确知性,这些工程问题涉及的地质条件往往无法在勘察设计阶段完全解决。对于复杂的地质体来说,即便投入大量的前期地质勘察研究工作,但往往仍然存在不确定性。把地质勘察的不确定性带到设计中来,必然会增加工程的不可靠性和风险性。面对大型边坡、大型地下工程等复杂问题,大量的地质资料往往使传统的设计人员无从下手,而地质人员确实无法按照传统从大量的地质信息中凝缩出几个所谓的“参数”供设计人员使用。

大量的工程实践表明,复杂的地质条件是难以查明的,基本设计参数的确定也带有很大的为主观因素,其结果就是人们无法确认工程的最终安全性等级,也无法确认工程建成后可安全使用多少年。面对这种困惑的局面,人们在思考更有效的工程安全保障方法,探索更合理的工程建设技术路线;这就要求地质、设计与施工有机结合,并以地质研究为主线贯穿始终。地质工程学正是适应这样的需求而产生的。

地质工程学是适应大规模地质工程建设而形成的新学科,强调以地质调查研究为基础,以地质条件改造和地质灾害治理为核心,以监控量测和反分析研究来保障工程安全。地质工程学强调地质条件对工程安全的控制性作用,强调以工程措施对地质环境进行改造,并重视对技术方法和作用效果的研究。因此,地质工程学是地质学与工程学交叉的新兴学科。

1.1 地质工程学的形成与发展

伴随着工程建设经验的积累和工程建设技术水平的提高,人们利用和控制地质环境的能力得到了很大的提升。同时受建设场地资源的制约,始终有大量的工程建设处于复杂的地质环境条件中。为了确保工程建设成功,不仅需要深入研究地质条件,更需要有效地利用和改造地质环境。地质工程学正是在这样的背景下形成和发展的。地质工程的思想是在工程实践中产生的。

1974年, E. Hoek和J.W.Bray合著的《Rock Slope engineering》一书,首次把岩石边坡作为工程来研究,强调了根据基本地质资料分析与良好的工程知识的结合,提出解决岩石边坡设计问题的方法,体现了地质工程设计的一些基本思想。

1976年,美国工程地质学家R.E.Goodman在《Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock》著作中,首次使用了“地质工程(Geological Engineering)”这个术语,提出了地质工程的概念。认为地质工程的主要任务是调查和评价地质条件,对不良地质条件进行处理,同时将岩体看作工程结构的一部分。但在Goodman的研究中,地质工程仍停

留于工程地质勘察领域,只是更强调岩体的工程特性而已。

我国将地质工程作为一个命题首先进行探讨的是孙广忠教授。他在1984年提出了岩体改造原理,强调工程地质、岩石力学和地质工程三位一体。1993年出版了《工程地质与地质工程》专著,对地质工程的定义、特性、工作内容、工作方法进行了论述。1996年出版了《地质工程理论与实践》,论述了地质工程的概念、定义、理论和方法,提出地质工程的基本原理是地质控制论。2004年出版了《地质工程学原理》,提出“地质工程是以地质体做建筑材料、以地质体做工程结构或以地质体赋存环境做建筑环境建筑起来的一种特殊工程,如地基、边坡、地下工程、钻井、地质灾害防治、地质环境整治等可以统称为地质工程”。他论述了地质工程基本理论:地质构造控制论、岩体结构控制论、土体结构控制论、地质环境因素控制论。

胡海涛教授于1992年提出了狭义和广义地质工程的划分。狭义的地质工程指各类工程,如建筑、土木、水利、道路和采矿都不可避免地要进行地基、边坡和地下洞室开挖以及防渗、排水等。在这一层次上,地质工程基本上等同于岩土工程。广义地质工程,主要对地质体进行改良——强化或弱化,或对一个地区的资源开发、地质灾害防治和地质环境保护等进行改善地质环境的各项工程。

罗国煜教授于1992年在对地质工程的研究中,强调了充分利用地质体潜能和对地质体进行改造的观点。地质工程立足于地质体特性,应用的不是—般工程技术,而是具有鲜明特色的地质工程技术。他认为地质工程服务于三个层次:全球性系统、地区性系统和地带性系统。它是减缓地质灾害的有力武器。

殷跃平教授在1994年认为,地质工程是工程地质的新拓展,它是与岩土工程密不可分的一种技术。岩土工程主要解决建立于工程岩体之上的地基稳定,以及一般边坡和洞室稳定的评价、改造和控制问题,岩土体结构是岩土工程的核心。地质工程面对的是复杂地质体,并且这种地质体处在不断的变形破坏过程中,它解决的是建立于复杂地质体之上的山体稳定性和区域地壳稳定性的评价、改造与控制问题。地质工程的理论基础是“工程地质过程改造与控制论”。

从上述不同学者对地质工程学的论述中可以看出,地质工程学是在岩体力学和工程地质学的基础上形成和发展的,虽然从不同的角度对地质工程的定义进行了阐述,但都强调地质工程研究的对象是地质体。

我们认为地质工程应包括两个基本点:一是地质条件对工程安全的控制性作用,二是地质灾害防治技术的开发和应用。地质工程学的研究对象是以地质体为主要工程结构的一类特殊工程,如边坡工程、地下洞室工程、地基工程等。地质工程学研究的基本思路是以地质条件研究为基础,有针对性地提出合理的工程施工方法和加固治理工程措施及防灾设计。地质工程学研究的目标是防止地质灾害的发生、保障工程的安全使用。

1.2 地质工程学研究对象和基本工程类型

地质工程学研究对象是地质体。地质体处于一定的地质环境中,受断层、节理、片理、接触界面等宏观地质界面切割而具有复杂的结构特征,这些地质界面统称为结构面或不连续面。由于地质体在其形成和存在的整个地质历史时期中,经受过各种复杂的地质作

用,使其工程性质变得十分复杂,主要表现为如下3个方面。

- (1) 不连续性:由于地质体中存在着各种结构面,使得力学性质上具有不连续性。
- (2) 非均匀性:地质体的物理力学性质随空间位置不同而具有差异。
- (3) 各向异性:地质体的性质随结构面分布和物质成分变化的方向性而变化。

另外,由于地质体赋存于一定的地质环境中,具有特定的地下水渗流场、温度场和初始地应力场。环境场特征对地质工程问题分析具有重要的意义。

目前对地质工程基本类型的划分还有不同的看法。胡海涛教授(1992)将地质工程分三类:采掘地质资源工程、防治地质灾害工程和保护地质环境工程。梁炯鋈等(1992)按空间位置,并结合岩(土)工程分类习惯,将地质工程分为:①地下建筑地质工程,如交通隧道、人防工程、城市地下建筑隧道等;②地面建筑地质工程,如建筑基础、河道建筑、露天开采等;③特殊建筑地质工程,如核废料存储工程、水封油库工程等。殷跃平教授(1994)认为,从地质工程的任务,即对山体稳定性和区域地壳稳定性进行评价、改造与控制出发,可初步划分出以下基本类型:采矿地质工程,防灾地质工程,环境改良地质工程,水能开发和跨流域引水地质工程,过江或深埋隧道地质工程,核废料地下处置和活动断裂防治等其他类型地质工程。孙广忠教授(2004)从工程类型角度进行了划分:土木建筑行业中的地基、边坡、隧道、地下洞室、建筑基坑工程;国防工程中的各类掩体工程;地质资源勘察工作中的钻探工程、山地工程;地质资源开发中地面开采的露天矿坑工程、地下开采的井巷工程;石油开采中的油井工程;地下水采取中的水井工程;天然气开采中的采气井工程;地质灾害防治工程、地质环境治理工程等。

应该注意到地质工程研究对象的基本属性是工程建设项目,这类项目的特殊性在于结构的安全性,关键是地质体的变形与稳定。控制地质体变形的关键因素是地质结构和地质环境,这些因素往往随空间位置而发生明显变化,地下工程与地面工程的地质环境有很大差别,区域尺度上的地质结构与小尺度范围的地质结构也有很大差别。另外,从工程结构和功能上看,地下工程与地面工程有很大的差别,区域性工程与局部性工程在功能上有很大的差别。综合考虑地质因素和工程因素,我们认为地质工程的基本类型可划分为三大类:①地下建筑地质工程,如隧道、地下洞室、人防工程、城市地下建筑等;②地面建筑地质工程,如建筑基础、边坡、崩塌和滑坡及泥石流防治工程等;③区域地质环境治理工程,如区域地面沉降、抗震防灾工程等。

1.3 地质工程学的研究方法

由于研究对象差异和解决问题方式的不同,地质思维和工程思维之间存在着很大的差异。地质学家所关注的是地质体的成因和历史演化过程,而工程专家则总是注意到建筑物的结构、尺寸和荷载,并考虑材料应力、变形和强度。解决地质工程问题需要这两类思维的融合与相互渗透。在地质工程问题研究中,需要把握地质体的形成演化过程,从整体上掌握地质体结构特征和在空间上的变化规律,并据此确定防灾治理方案。但在实施地质体加固设计时,又需要有工程思维,充分考虑材料应力、变形和强度。

地质工程的主体是地质体,但在这类工程中地质体往往与建筑结构相互作用而构成一个整体,如坝体与坝基、隧道围岩与衬砌、边坡与加固支挡系统等。从整个工程以及科技

发展的成熟程度来看,地质体常常成为大型地质工程的主要矛盾,也就是说地质体对工程的经济与技术起控制作用。对于开挖和加载后的地质体稳定性来说,地质因素往往是构成矛盾的主要方面。地质分析不仅能为其他分析方法的正确使用提供资料,而且能直接对地质体的变形破坏发展过程作出定性的判断。只有重视地质条件分析,才能正确评价潜在的地质灾害问题,确定合理的加固防灾方案。

为了有效解决地质工程问题,仅仅停留在地质分析上是不够的。毫无疑问,无论是对岩体结构等影响地质体变形和稳定等内在因素的力学作用分析,还是对降雨和荷载作用等外部影响因素的分析,都需要通过定量的力学计算来实现。地质工程问题的最基本目标与其他工程结构是相同的,都是要实现对结构变形和破坏的有效控制。这里最根本的差异是地质体结构的复杂性和力学特性的不可确知性。因此,为了实现地质工程问题的正确分析,应该在地质分析的基础上开展定量的试验研究和数学力学计算分析,达到从现象分析到内在力学作用机理分析的有机结合。事实上,地质工程问题的监测和反分析研究常常是必需的,只有通过反复修正认识才能获得较为可靠的分析结果。

地质工程不仅要查明问题,更需要针对问题采取合理的工程措施进行加固,防止产生过大的变形和地质体的破坏,确保工程的使用功能和有效期内的安全性。为了全面提升地质工程的技术水平,一方面我们要强调地质调查分析的基础性地位,另一方面我们需要大力发展工程加固技术和地质因素控制技术,如锚固技术、支撑技术、抗滑技术、排水技术和监测技术等。发展这些技术是达到地质工程建设目标的保证条件。因此,地质工程学研究应实现分析与技术的统一:一是要认识到地质条件对工程安全的控制性作用,全面认识地质环境特征,让地质研究贯穿于工程建设的始终;二是重视对不稳定地质体加固和地质灾害防治技术的开发和利用,提高工程技术措施的有效性,实现工程建设的功能要求和安全目标。

1.4 地质工程学与工程地质学的关系

地质工程学研究地质体的改造和利用,其基本目标是确保地质体的稳定,防止因地质体变形和破坏对工程结构安全产生影响。地质工程学强调地质条件对工程安全的控制性作用,注重工程措施对地质环境的改造技术方法和作用效果研究。因此,地质工程研究不仅要查明地质条件,更需要针对地质体的特点采取合理的工程措施,控制地质体的变形和破坏,确保工程的应用功能和有效期内的安全性。

工程地质学的任务是研究与工程建设有关的地质问题,其基本任务是查明岩土性质、地质构造、地貌、水文地质条件、自然地质现象和天然建筑材料等工程地质条件,并依据工程地质条件分别对岩土体稳定性进行分析评价。

地质工程学是在工程地质学研究的基础上发展起来,是工程地质学的新拓展。在工程实践上,工程地质工作是认识自然环境,地质工程工作则是在认识自然环境的基础上改造与保护自然环境。因此,工程地质工作是地质工程工作的一个重要组成部分。地质工程工作必须建立在查明建筑区域工程地质条件的基础上,从地质结构控制论的观点出发进行工程设计与施工。

第2章 地质学基础与地应力

地基、边坡、隧道等建设工程，不仅处于一定的地质环境中，还把地质体作为工程结构的一部分，地质条件对工程安全具有控制性作用。正如工程建设中需要充分掌握建筑材料的强度、变形和化学稳定性等工程性质一样，在地质工程问题研究中也需系统全面地掌握地质体的基本特性，正确认识地质体的结构和物理力学特性，只有这样才能合理地利用和改造地质环境，确保工程的安全稳定。岩石、构造和地应力场环境是反映地质环境条件的基本要素。

2.1 地球的构造

地球的外形呈“梨形”，其赤道半径为 6378.137km，两极半径为 6356.752km。地球的表面起伏不平，约有 70.9% 的面积为海洋，29.1% 的面积为陆地。地球具有圈层构造(图 2-1)，从地表到地球中心，由化学成分、密度、压力、温度等不同的具有同心圆状的 3 个圈层所组成，分别称为地壳、地幔和地核。

莫霍面是地壳与地幔的分界面，它是南斯拉夫地震学家 A.莫霍洛维奇于 1909 年发现的，它的平均深度在大陆上约为 33km，在大洋底为 6~7km。地震波在穿过莫霍面时，波速突然增大，地震纵波速度 V_p 由 6~7km/s 突然增至 8km/s。古登堡面为地幔和地核的分界面，由美国地球物理学家 B.古登堡于 1914 年提出。古登堡面位于 2900km 左右的深处，地震波穿过此界面时，波速突然降低，地震纵波速度 V_p 由 13.23km/s 突然降至 8.1km/s，地震横波速度 V_s 降为 0，即不能穿过。这表明古登堡面以下的地核部分的物质为液态。

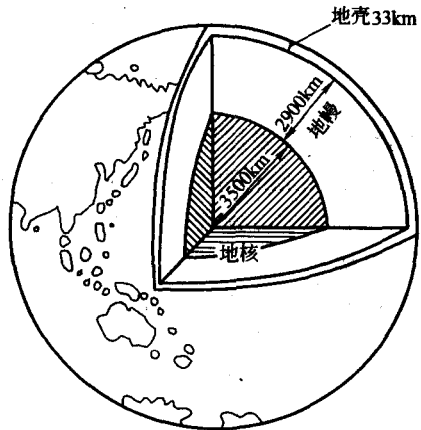


图 2-1 地球的圈层构造

地壳是地球表面的固体硬壳，大陆地壳平均厚度约 33km。各处厚度不一，其中高山、高原区地壳厚度大，如青藏高原地壳最厚的可达 70km。在大陆地区和大洋地区，地壳的厚度和结构有明显的差异，如图 2-2 所示。陆壳的特征是厚度大，具有硅镁层(玄武质)和硅铝层(花岗质)的双层结构，地质构造复杂，地形起伏大。洋壳的特征是厚度小，具有硅镁层(玄武质)单层结构，地质构造简单，地形起伏较小。

地幔是莫霍面以下处于地壳和地核之间的过渡层，或称中间层，它由中等比重的铁、镁的硅酸盐所组成。地幔上层主要由橄榄岩质的超基性岩石组成，这层岩石较软，是高温熔融的岩浆发源地，也称软流层；而地幔的下层，指深度在 1000~2900km 之间的层，主

要由金属氧化物和硫化物组成。

地核主要由比重较大的铁、镍组成，又称铁镍核心。

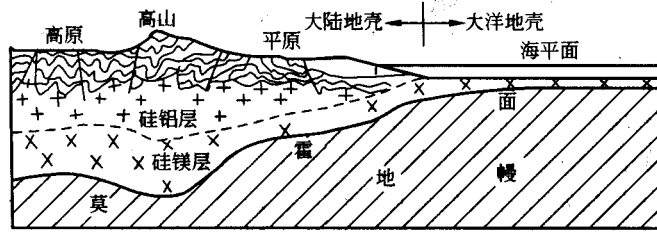


图 2-2 大陆地壳和大洋地壳

地壳、地幔和地核属于地球的内部圈层，地球还有一个外圈层，也是包围着固体地球表层的地球组成部分，根据其物理性质和状态的不同可分为大气圈、水圈和生物圈，外圈层中有人们生活的各种环境，也是外动力地质作用的主要场所。大气圈是由包围在固体地球表面最外部的气体组成，主要成分为氮(占 78.10%)、氧(占 21.0%)、二氧化碳(占 0.03%)及水蒸气(占 0~4%)，厚度大于几万公里。水圈由地球表层的水体组成，水大部分是在海洋里，其余分布在大陆的河流、湖泊及近地表的岩石和土壤的孔隙中，或以固体形式分布在两极和高山地区。水圈的总体积约 $1370 \times 10^6 \text{ km}^3$ ，其中海水占总体积的 97.2%，大陆水体占 2.8%。在大陆水体中极地和高山地区的冰体约占 78.6%。水圈中的水受太阳辐射热而大量蒸发，形成水蒸气进入大气圈的对流层，在一定条件下凝结成雨雪等降落到地面，又可在重力作用下沿地表或地下流入海洋，不断进行水的循环。水圈是外动力地质作用的主要动力来源。

生物圈是地球表层生物(包括动植物和微生物)分布和活动的圈层，从 3km 深的地壳深处和深海底至 10km 的高空均有生物生存，与大气圈、水圈和地壳之间无截然的界线，但大量生物主要集中在地表和水圈中。生物对外动力地质作用意义重大，因其不仅通过生命活动不断直接和间接地改造大气圈和水圈，使碳、氢、氧、氮及钾、钠、硅、镁等元素产生复杂的化学循环，改变地壳表层的物质成分和结构，还直接参与风化和成岩等一系列地质作用。

2.2 岩 石

岩石是地壳的基本组成物质，大量出露于地表，构成山川峡谷，是人类工程活动的基本载体和环境。岩石是内外动力地质作用的产物，按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。不同岩石类型的物理力学性质有很大的差异。

2.2.1 岩浆岩

岩浆冷凝固化后形成的岩石称为岩浆岩。地下深处高温高压状态的岩浆，在地壳运动的过程中沿着地壳的软弱带或深大断裂，向压力较小的地方移动，侵入到地壳的不同部位，甚至喷出地表形成火山，同时由于温度和压力的降低，岩浆以不同的速度冷却凝固而形成

各种岩石。岩浆侵入地壳内部所形成的岩石称为侵入岩，岩浆喷出地表后冷凝或堆积而成的岩石称为火山岩。

2.2.1.1 岩浆岩的产状

岩浆岩的产状是指岩体的大小、形态及与围岩的接触关系。图 2-3 给出了岩浆岩的产状类型。按岩浆侵入地壳的深度和是否喷出地表，还可将岩浆岩分为喷出岩、浅成岩和深成岩，它们具有不同的产状特征。

喷出岩是岩浆沿地壳裂缝一直上升喷出地表而形成的岩体。在地表条件下，温度和压力迅速降低，矿物来不及结晶或结晶较差。喷出岩常见的产状有熔岩锥、熔岩流和熔岩被等。熔岩锥是在火山口附近形成的锥状岩体，熔岩流是岩浆沿洼地、河谷流动形成的长条状岩体，熔岩被是岩浆沿平坦斜坡流动形成的大规模覆盖地表的被席状岩体。

浅成岩是岩浆侵入到地下 3km 至近地表部位冷凝形成的岩体。因浅成岩形成时规模小，岩浆压力小，温度降低较快，故组成岩石的矿物结晶较细小。浅成岩产状有岩床、岩盆、岩脉和火山颈。岩床是指岩浆沿围岩层面侵入冷却

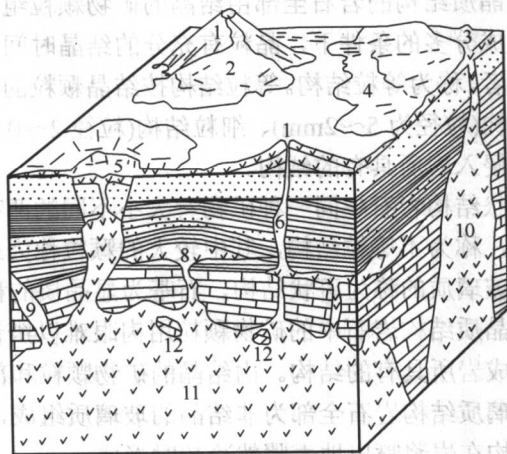


图 2-3 岩浆岩产状类型

- 1—火山锥；2—熔岩流；3—火山颈；4—熔岩被；
5—破火山口；6—火山颈和岩墙；7—岩床；8—岩盆；
9—岩墙；10—岩株；11—岩基；12—捕虏体

而形成的与围岩层理平行的板状岩体，厚度数厘米至数十米，分布面积较大；岩盆是指岩浆顺岩层层理侵入并将上覆岩层拱起而成的中间隆起、边缘变薄的穹隆状岩体；岩脉是指岩浆沿着岩石裂隙侵入形成的板状岩体，宽度常介于数厘米至数十米之间，长度可延伸数十米、数千米甚至数十千米以上；火山颈是火山通道岩浆冷凝形成的柱状岩体。

深成岩是岩浆侵入到距地表的距离大于 3km 的地壳深处冷凝而成的岩体。深成岩在冷凝成岩过程中，由于岩浆压力和温度高，温度降低缓慢，故组成岩石的矿物结晶良好。常见的深成岩产出状态有岩基和岩株。岩基是指面积大于 100km² 的规模巨大的侵入体，形态不规则，边界弯曲，大多为花岗岩岩基；岩株是指面积为数十平方公里以内的侵入体，平面上多近于圆形，向下往往呈树干状延伸。岩浆侵入过程中与围岩相互作用，围岩的碎块常被带到岩浆中，成为岩浆岩的捕虏体。

2.2.1.2 岩浆岩的基本特征

(1) 岩浆岩的物质成分

岩浆岩的化学成分较为复杂，组成地壳的各种化学元素在岩浆岩中均能找到，常以各种氧化物的形式出现，其中尤以 SiO₂ 的含量最大，因此岩浆岩是一种硅酸盐岩石。根据 SiO₂

含量的多少,分为超基性岩类(SiO_2 含量 $<45\%$,岩石颜色很深,比重很大)、基性岩类(SiO_2 含量 $45\% \sim 52\%$,岩石颜色深,比重较大)、中性岩类(SiO_2 含量 $52\% \sim 65\%$,岩石颜色较深,比重较大)、酸性岩类(SiO_2 含量 $>65\%$,岩石颜色浅,比重小)。

(2) 岩浆岩的结构

岩浆岩的结构是指组成岩石的矿物的结晶程度、结晶颗粒的大小、形态及晶粒之间或晶粒与玻璃质之间的相互关系的特征。常见的有全晶质结构、斑状结构、隐晶质结构和玻璃质结构。

全晶质结构的岩石全部由结晶的矿物颗粒组成,它是在温度下降缓慢、压力高而岩浆中挥发成分多的条件下,晶粒有充分的结晶时间而形成的。其中同一种矿物的结晶颗粒大小近似者,称为等粒结构。等粒结构按结晶颗粒的绝对大小,分为粗粒结构(粒径大于 5mm)、中粒结构(粒径为 $5 \sim 2\text{mm}$)、细粒结构(粒径 $2 \sim 0.2\text{mm}$)和微粒结构(粒径小于 0.2mm)。主要为深成侵入岩所具有的结构。

斑状结构岩石中同一种矿物有大小不同的两种颗粒,较大的晶体颗粒散布在较细的物质中间,称为不等粒结构,其中较大的颗粒称为斑晶,较细的物质称为石基。如石基为隐晶质或玻璃质的称为斑状结构,石基为显晶质的称为似斑状结构。

隐晶质结构岩石中的矿物颗粒用肉眼难以辨认,只有在显微镜下才能分辨,常为喷出岩及浅成岩所具有的结构。由结晶的矿物颗粒和部分未结晶的玻璃质组成。

玻璃质结构岩石全部为非结晶的玻璃质组成,在显微镜下也观察不出结晶颗粒的存在。这种结构在岩浆喷出地表骤然冷却时形成。

(3) 岩浆岩的构造

岩浆岩的构造是指岩石中不同矿物集合体之间、岩石各个组成部分之间的相互关系特征。构造的特征,主要取决于岩浆冷凝时的环境。岩浆岩常见的构造有块状构造、流纹状构造、气孔状构造和杏仁状构造。

块状构造的岩石中矿物颗粒排列比较均匀,且是不显示一定方向性的构造,如花岗岩、花岗斑岩等深成岩与浅成岩的构造。流纹状构造是指岩石中不同颜色的物质、矿物晶体或气孔呈一定方向的流动状排列,它是岩浆溢出地表后,在边流动边冷凝的过程中形成的构造,故这种构造仅出现于喷出岩中,如流纹岩所具的构造。气孔状构造是指岩石中留下各种大小不一的圆形或椭圆形气孔的构造,出现在溢出地表的熔岩和部分接近地表的浅成侵入岩中,由于压力和温度的骤然降低,挥发分物质不断逸出而形成大量气孔。杏仁状构造是岩石中的气孔为后期矿物如方解石、石英等充填所形成的一种形似杏仁的构造,如某些玄武岩和安山岩的构造。

2.2.1.3 岩浆岩的分类

在不同的岩浆来源和不同的岩浆侵入环境的共同作用下,形成了成分、结构、构造和产状各异的岩浆岩。为了总结它们的共性和个性,需要对岩浆岩进行分类,按组成物质中 SiO_2 的含量多少将其分为酸性岩、中性岩、基性岩和超基性岩四大类,然后按岩石的成因将每类岩石划分为深成岩、浅成岩和喷出岩等不同类型,见表2-1。

表 2-1 岩浆岩分类表

岩石类型	酸性	中性		基性	超基性	
SiO ₂ 含量(%)	>65	65~52		52~45	<45	
颜色	浅色(灰白、浅红、褐黄等)→深色(深灰、黑、暗绿等)					
矿物成分	正长石、石英、 云母、角闪石	正长石、黑云 母、角闪石、 辉石	斜长石、黑云 母、角闪石、 辉石	斜长石、角闪 石、辉石、橄 榄石	辉石、橄榄石	
成因 环境	喷出 岩	玻璃状或碎屑状: 黑曜岩、浮石、火山凝灰岩、火山碎屑岩、火山玻璃				
		流纹岩	粗面岩	安山岩	玄武岩	未遇到
	浅成 岩	花岗斑岩	正长斑岩	玢岩	辉绿岩	未遇到
深成 岩	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩	橄辉岩、辉岩	

2.2.2 沉积岩

沉积岩是地表及地表以下不太深的地方形成的地质体,由风化作用、生物作用和火山作用等形成的产物经介质的搬运、沉积作用所形成的松散堆积物,在常温常压下经压实、胶结等作用而形成的一种层状岩石。沉积岩的形成一般可分为四个阶段,即风化阶段、搬运阶段、沉积阶段和固结成岩阶段。

2.2.2.1 沉积岩的基本特征

(1) 沉积岩的物质组成

沉积岩的组成物质来源于先期形成的各种原岩碎屑、造岩矿物及溶解物质,主要由碎屑物质、黏土矿物、化学沉积物质和有机物质等组成。碎屑物质主要是原岩风化的产物,可以是原岩经破坏后的残留碎屑,也可以是原岩经物理风化后,残留下来的抗风化能力较强的矿物碎屑,如石英、长石、白云母等。黏土矿物主要是含铝硅酸盐岩石经强烈化学风化后所形成的粒径小于0.005mm的矿物,如高岭石、蒙脱石、水云母等。化学沉积物质主要有CaCO₃、CaSO₄等原岩中的成分,被水溶解后被带入湖泊、海洋内,当达到一定浓度后,又从水溶液中析出或结晶而形成新矿物,如方解石、白云母、石膏等。有机物质指由生物作用或生物遗骸堆积经地质变化而成的物质,如贝壳、石油、泥炭等。

(2) 沉积岩的结构

沉积岩的结构是指岩石组成部分的颗粒大小、形状及胶结特性。常见的结构有碎屑结构、泥质结构、晶粒结构和生物结构。碎屑结构是母岩经物理风化产生的碎屑经搬运沉积后被胶结起来所形成岩石的结构,组成岩石的碎屑50%以上直径大于0.005mm,按照岩石中主要碎屑物质颗粒的大小,可进一步细分为砾状结构、角砾状结构和砂状结构。由粒径大于2mm,外形被磨圆成球状、椭圆状的砾石胶结而成的结构称为砾状结构;由粒径大于2mm,外形未经磨圆的、棱角状颗粒胶结而成的结构称为角砾状结构;由粒径介于2~