

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GONGCHENG DIZHIXUE

工程地质学

刘忠玉 主 编

祝彦知 肖昭然 闫富有 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA

P642/39

2007

GONGCHENG DIZHIXUE
工程地质学

主 编 刘忠玉
副主编 祝彦知 肖昭然 闫富有
编 写 王志荣 石明生 刘起霞
常利武 马崇武
主 审 石林珂



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共分七章，主要内容包括矿物和岩石、地质构造、岩体的工程性质、土的形成及其工程地质特征、地下水及其对建筑工程的影响、不良地质现象及其工程地质问题、岩土工程勘察等。本书根据最新的技术规范编写，结合工程地质学学科近年来的发展，系统地介绍了工程地质学的基本原理和分析方法，注重基本理论、基本概念的阐述，强调基本原理的工程应用。

本书可作为普通高等院校土木工程专业及相近专业本科教材，也可作为土木工程研究人员和工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/刘忠玉主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5920-5

I. 工... II. 刘... III. 工程地质-高等学校-教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 104802 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 380 千字
印数 0001—3000 册 定价 25.20 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

工程地质学是土木工程专业重要的专业基础课之一。本书依据土木工程专业本科教育培养目标和方案以及工程地质学课程教学大纲编写。考虑到不同的方向其讲授内容有所区别,本书主要侧重于建筑工程方向,同时也适用于交通土建工程、岩土工程方向,也可作为桥梁工程、地下工程专业等相近专业的参考用书。本书在内容编制上,既注意先进性与实用性的协调,又注重新规范和新成果的引用,在满足培养要求和符合学生认知特点的基础上,力求遵循如下原则:

1. 强调基本概念、基本原理和基本方法

力求准确阐述本课程的基本概念和基本原理,使学生在理解和掌握基本原理的基础上,能正确处理 and 合理利用自然地质条件,能正确布置勘察任务并合理利用勘察成果解决设计和施工问题。同时在涉及到规范时,力求反映规范的基本原则和基本规定,以及与工程地质学的基本原理和基本概念的内在关系,有利于学生对基本原理的应用和提高。

2. 适当扩展学生的知识面

在传统的工程地质学内容的基础上,适当吸收国内外成熟的内容,以使学生较全面的认识和了解工程地质学的发展动态。

3. 内容层次分明,适应多层次教学要求

在章节安排上,力求层次分明,使全书各部分内容既相互关联具有系统性,又具有相对独立性,以适应不同学时、不同地区、不同类别教学的需要。

全书共分七章,其中绪论由郑州大学刘忠玉编写,第一章第一节~第四节由郑州大学闫富有编写,第一章第五节、第六节由东莞理工学院马崇武编写,第二章由中原工学院常利武编写,第三章由郑州大学刘忠玉、河南工业大学肖昭然编写,第四章由河南工业大学刘起霞编写,第五章由郑州大学王志荣编写,第六章由中原工学院祝彦知编写,第七章由郑州大学石明生编写。全书由刘忠玉统稿,由华北水利水电学院石林珂主审。

本书在编写过程中参考并引用了有关院校编写的教材,以及许多专家、学者在教学、科研、设计和施工中积累的宝贵资料,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 矿物和岩石	7
第一节 地壳及其物质组成	7
第二节 地质作用	9
第三节 矿物	13
第四节 岩石	21
第五节 岩石的物理力学性质	36
第六节 岩石的工程地质性质	40
思考题	42
第二章 地质构造	44
第一节 概述	44
第二节 地质年代	45
第三节 地层产状与地层接触关系	50
第四节 褶皱构造	53
第五节 断裂构造	59
第六节 地质图	67
思考题	74
第三章 岩体的工程性质	75
第一节 岩体及岩体结构	75
第二节 岩体的主要力学性质	83
第三节 工程岩体分级	90
第四节 岩体稳定性分析	97
思考题	112
第四章 土的形成及其工程地质特征	113
第一节 风化作用及残积物	113
第二节 地表暂时流水的地质作用及坡积物、洪积物	119
第三节 河流的地质作用及冲积物	122
第四节 海洋的地质作用及海相沉积物	127
第五节 其他地质作用及相应沉积物	129
思考题	132
第五章 地下水及其对建筑工程的影响	133
第一节 地下水的赋存	133
第二节 地下水的物理性质和化学成分	139

第三节	地下水的分类	142
第四节	地下水的运动	153
第五节	地下水对建筑工程的影响	161
思考题		166
第六章	不良地质现象及其工程地质问题	168
第一节	地震	168
第二节	崩塌	179
第三节	滑坡	181
第四节	岩溶和土洞	188
第五节	泥石流	196
思考题		199
第七章	岩土工程勘察	200
第一节	概述	200
第二节	工程地质测绘和调查	204
第三节	工程地质勘探方法	206
第四节	原位测试技术	209
第五节	室内试验及指标整理	221
第六节	现场监测	223
第七节	岩土工程勘察报告	229
第八节	勘察报告实例	231
思考题		241
参考文献		242

绪 论

一、工程地质学的研究内容及任务

地球是人类赖以生息繁衍的共同家园。基于生活和生产等多方面的需要,人类对地球奥秘的探索始终没有中断过,并逐步形成了一门以固体地球为研究对象的学科——地质学。鉴于科学技术的发展水平、人类的认知能力和生存需要,当前地质学研究的重点主要是地壳,即固体地球的上层。随着人们对地球认识的不断深入,以及各学科之间的相互渗透、交叉,地质学已形成一个完整的学科体系,并形成了许多独特意义的分支学科。根据这些分支学科的研究对象、内容和任务的不同,可将其分为以下五类:①研究地球物质组成的学科,包括矿物学、岩石学、地球化学等;②研究地壳与地球构造特征及其变化规律的学科,包括构造地质学、区域地质学、地球物理学等;③研究地球及各地质时期生物的发展演变历史的学科,包括古生物学、地史学、岩相古地理学等;④研究地质学的研究方法手段的学科,包括同位素地质学、数学地质学、遥感地质学等;⑤研究以地质学原理解决资料探寻、环境地质分析和工程防灾问题的应用学科,它包括以下两个方面:一是指导人们寻找各类矿产资源的,如矿床学、石油地质学、煤田地质学、铀矿地质学等,二是指导人们防灾减灾,确保工程建设安全、经济和正常运行的,即工程地质学。因此,工程地质学是地质学的一个重要分支,是研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科,其主要任务就是防灾。

我们知道,人类的所有工程建筑都是在一定的地质环境中进行的,二者之间相互影响、相互制约,关系十分密切。首先,地质环境会以一定的作用方式影响到工程建筑的稳定和正常使用,对后者起着重要的制约作用。例如,软弱地基兴建工业和民用建筑常常遇到承载力不足以及沉降或不均匀沉降过大的问题,需要进行地基处理;大规模的崩塌、滑坡严重威胁公路、铁路的安全营运,并且常常因其难以治理而迫使道路改线;构造运动导致的强烈地震,顷刻间会将较大区域内的绝大多数建筑物夷为平地,给人民的生命财产造成毁灭性的损失,等等。因此,我们必须对工程建筑的地质环境进行足够的了解,特别是对严重制约工程建筑的不良地质作用和现象进行详细而深入的研究。其次,人类的工程活动又会以各种方式影响地质环境,甚至使自然地质条件恶化,从而又影响到工程建筑的稳定和正常使用,威胁到人类的生活和生存环境。例如,在城市过量抽取地下水会引起大范围的地面沉降或地面塌陷,这将严重影响沉降区建筑物和市政设施的正常使用;大型水库蓄水,改变了有关区域的水文地质条件,有可能造成库岸滑坡或诱发地震;开挖深路堑或修筑高填方路堤,有可能引起大范围的崩塌或滑坡;修筑桥墩或坝坝等构筑物改变了水流的运动状态,从而引起局部河段泥沙的冲淤变形,等等。这就要求我们应充分预估到一项工程,特别是重大工程的建设对地质环境的影响,并应有积极的预控措施,避免或减缓灾害的发生。因此,研究工程建筑与地质环境两者之间的相互制约关系,促使矛盾转化和解决,既保证工程安全、经济、正常使用,又合理开发和利用地质环境,就成了工程地质学研究的基本任务。

具体而言,工程地质学的任务包括五个部分:①评价工程地质条件,阐明地上和地下建筑工程兴建和运行的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑形式,保证规划、设计、

施工、使用、维修顺利进行；②从地质条件与工程建筑相互作用的角度出发，论证和预测有关工程地质问题发生的可能性、发生的规模和发展趋势；③提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施、加固岩土体和防治地下水的方案；④研究岩体、土体分类和分区及区域性特点；⑤研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。

工程地质学也十分重视工程地质勘察工作。工程地质勘察的目的就是为了取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料 and 进行工程地质论证。因此，选择勘察方法，研究勘察理论和新的技术方法，也是工程地质学研究的内容和任务之一。

综上所述，工程地质学是工程科学与地质科学相互渗透、交叉而形成的一门边缘科学。它把地质学原理应用于土木工程实践，通过工程调查、勘察和研究建筑场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体工程特性、水文地质和地表地质作用等工程地质条件，预测和论证有关工程地质问题发生的可能性并采取必要的防治措施，以确保建筑物的安全、稳定和正常运行。

二、工程地质条件和工程地质问题

要保证工程建筑的安全，就必须全面研究建筑场地及其周围地质环境的有关工程地质问题，以及施工期和工后因某些地质条件改变可能诱发的工程地质问题。

1. 工程地质条件

工程地质条件是指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。这些因素包括：

(1) 地层岩性。构成地层的岩土是建筑物的地基、建筑材料或建筑介质，其特性包括成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等，对建筑物的安全稳定有着重要的影响，因而是最基本的工程地质因素。

(2) 地质构造。地质构造包括褶皱、断层、节理构造的分布和特征，特别是形成时代新、规模大的活动性断裂，对地震等灾害具有控制作用，因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义。所以地质构造是工程地质工作研究的基本对象。

(3) 水文地质条件。水文地质条件包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分等。地下水是降低岩土体稳定性的重要因素，在工程建设中经常要予以特别重视。比如，地基承载力和沉降量的计算，要考虑地下水位的变化；为预防基坑工程中的基坑突涌、流土，堤防工程的管涌以及道路工程中的道路翻浆等，首先要考虑的也是地下水位的变化。另外，地下水对建筑材料的腐蚀性也是我们不得不面对的工程问题。

(4) 地表地质作用。地表地质作用是现代地表地质作用的反映，与建筑区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关，主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河流冲刷与沉积等。它影响到建筑物的整体布局、设计和施工方法，对评价建筑物稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。

(5) 地形地貌。地形指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度及形态特征等，地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。平原区、丘陵区 and 山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征和地表地质作用现象都具有不同的特征，这些因素都会直接影响到建筑场地和线路的选择。

(6) 天然建筑材料。工程中常用的粘土、砂砾、石料等建筑材料的分布、类型、品质、开采条件、储量及运输条件等，都关系到场址选择、工程造价、工期长短等，有时甚至成为选择工程建筑物类型的决定性因素，因此也是工程地质条件的一个重要组成。

应强调指出,不能将上述诸多因素中的某一方面片面地理解为工程地质条件,而工程地质条件必须是这些诸多因素的综合。另外,工程地质条件具有明显的区域性分布规律,因此工程地质问题也有区域性分布的特点,这是区域工程地质学的研究内容。

2. 工程地质问题

工程地质问题是指由于已有的工程地质条件在工程建筑和运行期间发生了一些新的变化和发展,对工程建筑安全构成影响或威胁的地质问题。由于工程地质条件复杂多变,不同类型的工程对工程地质条件的要求也不尽相同,所以工程地质问题是多种多样的。对土木工程而言,主要的工程地质问题包括:

(1) 地基稳定性问题。这是工业与民用建筑中常遇到的主要工程地质问题,它包括地基承载力和地基变形两个方面。此外,岩溶、土洞等不良地质作用和现象也是影响地基稳定的因素。软弱地基上修筑公路、铁路遇到的路基稳定性问题也可归为此类。

(2) 边坡稳定性问题。在道路工程、水利工程、基坑工程等人类活动中遇到的边坡包括天然形成的自然边坡和人类工程活动形成的人工边坡(路堑、路堤、堤坝、河岸、基坑等),有可能发生滑坡、崩塌、泥石流等灾害。一般认为,地层岩性、地质构造特征是影响边坡稳定性的物质基础,风化作用、地应力改变、地震、地表水和地下水等对其中软弱结构面的作用往往是边坡失稳的诱因,而地形、地貌和气候条件则是影响其稳定的重要因素。

(3) 洞室围岩稳定性问题。地下洞室的开挖和建设,破坏了地下围岩的原始平衡条件,如处理不当,便会出现如围岩塌方、岩爆、地下水突涌等一系列失稳现象。工程实践经验表明,区域稳定性、围岩岩性及结构等是地下洞室稳定性的决定性因素。

(4) 区域稳定性问题。对大型水电工程、地下工程以及大中城市,区域稳定性问题也是受到普遍关注的工程地质问题,主要包括地震、震陷和液化以及活断层等。

三、工程地质学的研究方法

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法应是定性分析与定量分析相结合的综合研究方法,即地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等的密切配合。地质分析法是以地质学和自然历史的观点分析研究建筑场地及其周围工程地质条件的形成和发展,及其在工程建筑物作用下的发展变化,它是工程地质学的基本研究方法,也是进一步定量分析评价的基础。力学分析法就是在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,对其建立力学模型进行计算和预测,以此来指导工程建筑物的设计、施工和运用,例如地基承载力计算、地基沉降量计算、地震液化可能性计算、边坡稳定性计算等。工程类比法就是根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行定性评价。而实验法则是通过室内试验或现场测试(包括长期观测),取得定量分析所需要的岩土有关参数,它是力学分析法的前提,也可以用来验证力学分析法的预测结论。

四、工程地质学在土木工程建设中的作用

各种土木工程如房屋、铁路、公路、隧道、桥梁、港口以及堤坝等都是修建在地表或地下的工程建筑,即它们都以岩土为地基或材料,或以岩土为其周围的环境或介质。因此,建筑场地的工程地质环境和工程地质条件的优劣直接关系到工程的设计、施工和运营。这意味着工程地质工作就成了所有工程建设的先行工作。随着我国经济建设的日益发展,工程建设的规模和数量越来越大,工程地质工作的重要性也越来越突出。如果在工程建设中忽视工程地质工作,往往会给工程造成不同程度的影响,轻者修改设计、增加投资、延误工期,重者

导致工程建筑的部分或完全功能丧失,甚至突然破坏,酿成灾害,给人民生命和财产造成巨大损失。国内外工程失败的案例中,有许多是由于未经勘察或勘察不详,而盲目进行设计、施工造成的,其教训发人深思。

著名的案例之一就是加拿大特朗斯康谷仓。该谷仓平面呈矩形,由 65 个圆筒仓组成,南北向长 59.44m,东西向宽 23.47m,高 31.00m,自重 20000t,其下为钢筋混凝土筏板基础。谷仓地基土事先未进行勘察,仅根据邻近结构物基槽开挖试验结果,计算得到地基承载力为 352kPa,并应用于该谷仓。谷仓于 1913 年完工后,首次装入 31822m³谷物(基底压力为 329.4kPa)后,1h 内竖向沉降达 30.5cm,24h 内谷仓向西倾斜达 26°53′,西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m。事后查明,该谷仓基础下埋藏有厚达 12.2m 的冰河沉积的高塑性软粘土,地基实际承载力仅为 194~277kPa,远小于谷仓破坏时的基底压力,致使其丧失整体稳定性。

再如,始建于解放前的宝(鸡)天(水)铁路,由于忽视了前期的工程地质工作,施工中即发生大量崩塌、滑坡、河岸冲刷和泥石流等地质灾害问题,直到解放后一段时期内也不能正常通车运营,国家耗费巨资,历经数年对其进行维修、整治,乃至大段线路改线,才使之畅通。

因此,工程建设前,必须进行工程地质勘察工作,查明建筑场地的工程地质条件,并根据工程建设各个阶段的需要,提供可靠的工程地质资料,对有利的地质因素和不利的地质现象要做出正确的判断和分析,对影响建筑物施工和运营安全的主要工程地质问题要进行充分的论证和预测。只有这样,才能为工程建设的顺利进行奠定基础。例如,和前述宝天铁路形成鲜明对比的是成(都)昆(明)铁路的建设。该工程地处我国西南边陲,纵贯我国西南段横断山脉的断裂构造带,沿线气候、地形、地质条件异常复杂,以致当初某些外国专家实地考察后认为该铁路很难建成。但中央和铁道部高度重视,多次组织全国工程地质专家进行现场“会诊”和研究,动员和组织全路技术人员开展“大会战”,从而保证了成昆铁路的顺利建成通车。类似的例子还有很多。这都充分说明了工程地质在土木工程中的重要性。

五、工程地质学的发展简史

工程地质学是一门既古老而又年青的应用学科。说它古老,是因为人类进入文明社会以来,为了生存、社会发展和进步,修建了大量的土木工程,并成功地解决了某些工程地质问题。就以我国来说,我国古代劳动人民早在春秋时代就修建了许多大型工程,留下了令今人叹为观止的工程遗产。例如:始建于公元前 722 年,自河南省荥阳引黄入淮的鸿沟;始建于公元前 506 年,在江苏高淳县,沟通太湖与长江的伍堰;闻名于世的大运河,南起杭州,北达北京的通县,全长 1782km,其中江苏境内的仪征至淮安一段始建于公元前 485 年;驰名中外的古长城和都江堰,也都兴建于战国时期。以后,我国劳动人民修建了许多规模巨大的水利工程、桥梁,以及恢宏的宫殿寺院、灵巧的水榭楼台、巍峨高塔等,其中一些建筑物正常运行千年以上,至今仍然存在。此外,世界其他许多国家也有许多举世闻名的古建筑保留至今,如埃及的金字塔等。这都说明古代劳动人民不仅具有高超的建筑技巧,而且对建筑场地的工程地质环境已有相当程度的了解,然而这些还仅仅局限于工程实践经验,受到当时生产力水平的限制,未能形成系统的工程地质学和工程建设理论。

工程地质学理论的逐渐形成始于 18 世纪兴起工业革命的欧洲,那时,为满足资本主义工业化的发展和市场向外扩张的需要,工业厂房、城市建筑、铁路等大规模的兴建,提出了

许多与工程地质相关的问题,也积累了许多成功的经验和失败的教训。例如,美国于1831~1833年开始修建第一条铁路;法国于1857~1870年打通阿尔卑斯山萨尼峰的11km长的隧道等。但完整、系统的工程地质学理论体系,直到上世纪30年代才由原苏联地质学家提出来。1932年,苏联莫斯科地质勘探学院成立了世界上第一个工程地质教研室,标志着工程地质学的诞生。代表人物有:Ф. И. 萨瓦连斯基、H. B. 波波夫、T. H. 卡明斯基和B. A. 洛姆塔泽等,他们创立了比较完善的工程地质学体系。Ф. И. 萨瓦连斯基等明确指出:“工程地质学是地质学的分支学科,它论述将地质学运用于工程建设事业的有关的问题”,其基本任务是“……研究地质作用和岩土的物理力学性质,正是这些作用和性质决定了建筑物的建筑条件,决定着为保证天然土体稳定性而采取的工程地质措施的方向。”H. B. 波波夫也强调,“工程地质学研究建筑物修建和运行的地质环境,其研究对象是地质实体”,突出了对建筑物运行过程中地质环境的研究。同时,其他各国学者也为工程地质学的发展作出了巨大贡献。例如,1933年,法国学者M. Lugeon出版了《大坝与地质》一书,并最早提出了测定岩层渗透性的钻孔压水试验;1939年,R. F. Legget出版了《地质学与工程》;1951年,最早认识到岩体结构面影响的奥地利学者J. Stini和L. Müller创办了《地质与土木工程》杂志;1957年,法国学者J. A. Talbore出版了专著《岩石力学》,阐述了地质学与工程的关系;1972年,C. Jaeger出版了专著《岩石力学与工程》;1983年,R. F. Legget又出版了巨著《土木工程的地质学手册》,等等。

我国的工程地质学研究起步相对较晚。上世纪前半叶,我国的工程地质工作仅限于几个工程项目的勘察,没有系统的理论综合。新中国成立后,由于国家建设的需要,地质部成立了水文地质工程地质局和相应的研究机构,在地质院校中设置了水文地质专业,培养了一大批专门人才。随后,城建等其他各部门相继成立了勘察和研究机构。当时一些重大工程项目,如1957年建成的武汉长江大桥等,都进行了较详细的工程地质勘察。这些工作,特别是三峡工程的勘察促进了我国上世纪60年代以来工程地质学的大发展,形成了一些新的工程地质思想和理论。例如,谷德振提出的岩体结构概念,为研究工程岩体变形破坏机理提供了重要理论根据;刘国昌从区域工程地质条件出发,指出了区域稳定性的研究方向;胡海涛根据“安全岛”思想,坚持在活动区寻找相对稳定地块,等。改革开放以来,随着经济高速发展,大规模基础设施陆续修建,如举世瞩目的三峡工程动工修建,京九线、青藏铁路等一大批铁路、高等级公路、海港码头、桥梁等大量修建,以及大中城市的高层建筑群如雨后春笋般拔地而起,都为工程地质工作者提出了许多新的研究课题。可以说,这三十多年是我国工程地质学的高速发展时期,研究水平与世界同步,并具有自己的特色。

需要指出的是,工程地质学发展到今天,其研究的深度和广度已有很大的变化。上世纪60年代出现了一系列与人类活动有关,且大规模破坏环境的地质问题,如水库诱发地震、城市地面沉降等。人类的工程活动对地质环境的作用已达到与一定的自然地质作用相比拟的程度,甚至在某些地区,这种作用相当于甚至超过了一般的自然地质作用。因而提出了环境工程地质问题。现在工程地质学研究已明显地分为两个方向:一是传统工程地质学方向,继续着重研究原生地质环境对工程建设的影响;二是环境工程地质学方向,侧重于研究次生地质环境,即强调人类工程活动对原生地质环境的作用和影响及由此而引起的环境工程问题。

现在,随着各种土木工程等级标准的不断提高,各类工程建筑物对其工程地质条件的要求也会更高,同时人们对环境保护的呼声也越来越高涨。这必将促使工程地质学科进一步向

前发展。

六、本课程的学习方法和要求

工程地质学是土木工程专业的一门专业技术基础课。一般在土力学、基础工程等课程学习之前开设。由于其内容丰富、概念繁多、实践性很强，所以学习中一定要注意对基本概念、基本理论和分析方法的掌握，切忌死记硬背，应做到理论联系实际，学会具体问题具体分析，力争将学到的工程地质知识与其他课程知识紧密结合起来，去解决工程实际中的工程地质问题。

土木工程专业学生学习本课程的要求是：系统学习和掌握工程地质基础知识和理论；了解工程地质勘察的基本内容、工作方法；能正确提出勘察任务及要求，并运用勘察数据和资料进行设计与施工，以及依据工程地质勘察成果进行一般的工程地质问题分析和采取处理措施。

第一章 矿物和岩石

作为地质学的一个分支,工程地质学主要研究人类工程活动与地质环境的相互作用。因此,在系统学习工程地质学之前,必须具备必要的基础地质知识,如各种地质作用、地质现象、矿物、岩石、地质构造、水文地质等。本章作为地质学的基础知识,重点介绍地壳的物质组成、发展变化、主要矿物和岩石的蕴藏规律以及岩石的主要物理力学性质和工程地质性质等。

第一节 地壳及其物质组成

地球可近似地看作一个旋转的椭球体,平均半径约为 6370km,由表及里可分为外部圈层和内部圈层,二者各有不同的圈层构造,如图 1-1 所示。

一、地球的外部圈层

地球的外部圈层可分为大气圈、水圈和生物圈。

包围着地球外部的空气,成为地球最外面的一个圈层,称为大气圈或大气层。大气圈没有明显的上界,在赤道上方高 42000km 和两极上方高 28000km 的高空仍有大气存在的痕迹。

水圈是包围地面的一个连续水层,包括地表水、地下水、大气水和生物水。水圈是外动力地质作用的主要介质,是塑造地球表面形态最重要的角色之一。水体存在方式不同,其作用方式也有比较大的差别,按照水体存在的方式可以将水圈划分为:海洋、河流、地下水、冰川、湖泊等五种主要类型。

生物圈是地球上凡是出现并感受到生命活动影响的地区,是地表有机体包括微生物及其自下而上环境的总称。在地球表面的大气圈、水圈及地表岩石和土层中,都有大量的生物,包括动物、植物和微生物。生物圈是人类诞生和生存的空间,而生物圈与大气圈、水圈、岩石圈(地壳的表层岩土)又是相互依存和相互关联的,它们与人类的活动、特别是工程建设活动关系密切。

二、地球的内部圈层

根据地震波在地球内部传播速度的变化,发现地球内部存在着两个明显的分界面:一个在约 33km (陆壳)深处,纵波从 6.8km/s 增加到 8.1km/s,横波从 3.9km/s 增加到 4.5km/s,这个面称为莫霍洛维奇面,简称莫氏面,是地壳的下界面;另一个界面在约 2900km 深处,纵波从 13.7km/s 突然下降到 8.0km/s,而横波不能通过此面,称为古登堡面。

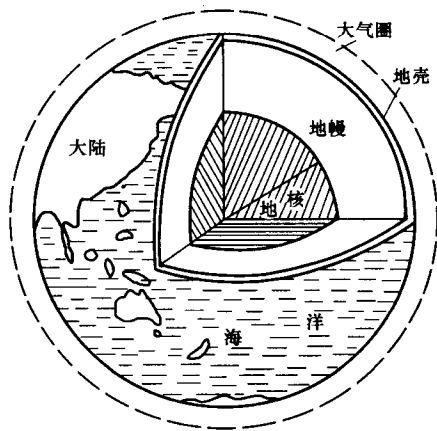


图 1-1 地球构造示意图

堡面。以这两个面为界面，把地球分为三个圈层：地壳、地幔和地核。这三个圈层在不同深度处，具有不同的物理性质。

地壳是地球固体圈层的最外层，是岩石圈的重要组成部分。其底面为莫氏面。大陆地壳厚度一般为 35~45km，其中，高山、高原地区地壳较厚，平原、盆地地壳相对较薄。大洋地壳则远比大陆地壳薄，厚度只有几千米。地壳上部的岩石平均成分相当于花岗岩类岩石，其化学成分以氧、硅、铝为主，称为硅铝层，此层在海洋底部很薄，甚至缺失，是不连续圈层。下部岩石平均成分相当于玄武岩类岩石，其化学成分除硅、铝外，富含铁和镁，称为硅镁层，在大陆和海洋均有分布，是连续圈层。

地幔位于莫氏面以下和古登堡面以上的地下约 33~2900km 之间，主要由铬、铁、镍、二氧化硅等物质组成，温度为 1000~3000℃。地幔占地球总质量的 67.8%，地球总体积的 82%。受地壳隔离，人们是直接看不到地幔的，只有当火山喷发时，地幔才将它的一部分“产品”——岩浆，送到地面上加以“展示”。

地幔以下直到地心的部分称为地核。地核的密度为 11~16g/cm³，主要由铁镍等物质组成，温度为 3000~5000℃。深度 2900~4642km 之间是具有金属流体或流塑性性质的外核，其下仍为具有金属固态性质的内核。

三、板块与板块运动

在距地球表面以下约 100km 的上地幔中，有一个明显的地震波的低速层，这是古登堡在 1926 年最早提出的，称之为软流圈。它位于地幔的上部，在洋底下面，约在 60km 深度以下，在大陆地区，约在 120km 深度以下，平均深度位于约 60~250km 处。现代观测和研究已经肯定了这个软流圈层的存在。也就是由于这个软流圈的存在，将地球外圈与地球内圈区别开来了。软流圈以上的物质均为固态，称为岩石圈。岩石圈具有较强的刚性，分裂成许多块体，称为板块。板块驮在软流圈上随之运动，即板块运动，也是构造运动发生的根源。

1968 年，法国地质学家勒皮顺把地球的岩石层划分为六大板块，即太平洋板块、欧亚板块、美洲板块、印度洋板块、非洲板块和南极洲板块。其中，除了太平洋板块全部浸没在海洋底部外，其他五个板块，既有大陆也有海洋。随着研究的深入，有人在这些大板块中又分出一些较小的板块，例如，把美洲板块分为北美洲板块和南美洲板块；从太平洋板块中分出东太平洋板块；从欧亚板块中分出以中国大陆为主体的东亚板块等等。所有这些板块，都漂浮在具有流动性的地幔软流层上。

随着软流层的运动，各个板块也会发生相应的水平运动。据地质学家估计，大板块每年可以移动 1~6cm 距离。这个速度虽然很小，但经过亿万年后，地球的海陆面貌就会发生巨大的变化：当两个板块逐渐分离时，在分离处即可出现新的凹地和海洋；相反，当两个大板块相互靠拢并发生碰撞时，就会在碰撞合拢的地方挤压出高大险峻的山脉。例如，大西洋形成于美洲板块与欧亚板块及非洲板块发生分离处，东非大裂谷发生在非洲板块内部张裂处，而喜马拉雅山却是三千多万年前由南面的印度板块和北面的欧亚板块发生碰撞挤压而形成的。有时，当两个坚硬的板块发生碰撞时，接触部分的岩层还没来得及发生弯曲变形，其中有一个板块已经深深地插入另一个板块的底部。由于碰撞的力量很大，插入部位很深，以至把原来板块上的老岩层一直带到高温地幔中，最后被熔化了。而在板块向地壳深处插入的部位，形成了很深的海沟。西太平洋海底的一些大海沟就是这样形成的。

有学者研究指出，全球绝大多数地震都分布在板块边界上，可见板块间的相互作用（撕

裂、推挤、摩擦错动等)可能是强烈地震的基本成因。

四、地壳的物质组成

根据大量岩石的化学成分分析,得知组成地壳的化学成分以 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等为主,这些元素在地壳中的平均质量分数(称克拉克值)也各不相同:

氧(O)	49.13	硅(Si)	26.00	铝(Al)	7.45
铁(Fe)	4.20	钙(Ca)	3.25	钠(Na)	2.40
钾(K)	2.35	镁(Mg)	2.35	氢(H)	1.00

可见这九种元素占了地壳总质量的 98.13%。其中氧几乎占了一半,硅占 1/4 以上,其他近百种元素只占 1.87%。所有元素除了少数如金刚石(C)、金(Au)等以自然元素产出外,绝大多数均以各种化合物出现,如石英(SiO_2)、方解石(CaCO_3)等。

在地壳中,由于各种地质作用而形成的,具有一定化学成分和物理性质的自然元素或自然化合物,称为矿物,如上述的石英、方解石等。目前,自然界中已发现的矿物大约有 3000 多种,他们不仅有一定的化学成分,而且有其固定的物理性质。由一种或多种矿物所组成的集合体,称为岩石,如花岗岩由石英、长石、云母等矿物组成,大理岩主要由方解石组成。因此,矿物和岩石是组成地壳的基本单位。

第二节 地质作用

地球自形成以来,其物质组成、内部结构和表面形态,一直都在进行演变和发展。促使地壳演变和发展的各种作用,统称为地质作用。过去的大海经过长期的演变而成陆地、高山;陆地上的岩石经过长期的日晒、风吹逐渐破坏粉碎,脱离原岩而被流水携带到低洼地方沉积下来,结果高山被夷为平地。这些变化,有的速度快而强烈,为我们所察觉,如火山爆发、地震等,有的却十分缓慢不易被察觉,如山脉上升、海底扩张等。引起这些变化的自然动力,称为地质营力。

地质作用,按其能量来源不同,可以分为内动力地质作用和外动力地质作用两大类。

一、内动力地质作用

内动力地质作用是指由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能产生的地质营力所引起的地质作用。它们主要是在地壳中或地幔中进行的,其表现方式有构造运动、岩浆作用、变质作用和地震。岩浆岩、变质岩及其与之有关的矿产,是内动力地质作用的产物。

(一) 构造运动

使地壳改变相对位置和内部构造的动力作用称为构造运动,又称为地壳运动。按地壳运动的方向,可分为升降运动和水平运动。

水平运动是地壳演变过程中相对表现得较为强烈的一种运动形式,被认为是形成地壳表层各种构造形态的主要原因。由于水平运动,使地壳各部分受到挤压、拖拽、旋扭等种种作用,从而使地壳岩层发生强烈的褶皱和断裂。

升降运动是地壳演变过程中表现得比较缓慢的一种运动形式。在同一时期内,地壳在某一地区,表现为上升隆起,而在其他地区则表现为下降沉陷。地壳的升降运动,对沉积岩的形成有很大影响,不仅控制了沉积岩物质成分的来源和性质,同时也影响沉积岩的厚度和分布范围。这是因为,上升运动的隆起区是形成沉积岩的物质成分的供给区,而降沉区则是这

些物质形成沉积物，并转化为沉积岩的场所。

水平运动和升降运动二者相互联系，密不可分。另外，构造运动在空间上和时间上的发展也是不均衡的。在同一地质时期，不同地区构造运动的方式和强度不同，有的地区运动强度大，称为活动区，有的地区运动强度小，称为稳定区。在同一地区，不同地质时期构造运动的方式和强度也不同，有时表现为比较稳定的、缓慢的运动，有时则表现为比较活跃的、剧烈运动。在漫长的地质历史中，构造运动具有一定的规律性，总是由长期缓慢运动转化为急速剧烈运动，使地壳发展历史显示一定的阶段性。此外，构造运动还促进岩浆作用、变质作用和地震。总之，地壳运动是地壳发展演化的主导因素，也是最主要的内动力地质作用。

（二）岩浆作用

岩浆是地壳深处富含挥发性物质的高温高压的黏稠硅酸盐熔融体，其中含有一些金属硫化物和氧化物。岩浆按 SiO_2 的含量不同，可分为超基性岩浆 ($<45\%$)、基性岩浆 ($45\% \sim 52\%$)、中性岩浆 ($52\% \sim 65\%$) 和酸性岩浆 ($>65\%$)。基性岩浆 SiO_2 含量低，含 Fe、Mg 氧化物较高，颜色较深，比重较大，含气体少，粘度较小，易流动。酸性岩浆 SiO_2 含量较高，含 Fe、Mg 氧化物较少，颜色较浅，比重较小，含气体多，粘度较大，不易流动。在地壳运动的影响下，由于外部压力的变化，岩浆向压力减小的方向移动，上升到地壳上部或喷出地表冷却凝固成为岩石的全过程称为岩浆作用。由岩浆作用形成的岩石叫岩浆岩。岩浆作用有喷出作用和侵入作用两种方式。

喷出作用是指岩浆直接喷出地表。喷出地表的岩浆冷凝后形成的岩石叫喷出岩。岩浆喷出地表时有液体、固体和气体三种物质。气体组分主要来自于地下的岩浆，小部分为岩浆上升过程中与围岩作用产生，其中水蒸气占 $60\% \sim 90\%$ ，其次是 CO_2 、CO、 SO_2 、 NH_3 、 NH_4 、HCl、HF、 H_2S 等。液体物质称为熔岩流，是岩浆喷出地表后，损失了大部分气体而形成的，成分与岩浆类似。固体物质是熔岩喷射到空中冷却凝固或火山周围岩石被炸碎而形成的碎屑物质，称为火山碎屑物。

侵入作用是指岩浆未上升到地面，仅由地壳深部上升到地壳上部的活动。由侵入作用形成的岩石称为侵入岩。岩浆在侵入过程中，可以在不同的深度下凝固，在地表不太深的位置冷凝形成的岩石叫浅成侵入岩；在地下深处冷凝形成的岩石叫深成侵入岩。

（三）变质作用

在地壳形成发展过程中，早先形成的岩石（包括岩浆岩、沉积岩和先形成的变质岩），为了适应新的地质环境和物理化学条件的变化，在固态情况下发生矿物成分、结构构造的重新组合，甚至包括化学成分的改变，这个变化过程称为变质作用。由于变质作用形成的岩石称为变质岩。

1. 影响变质作用的因素

（1）温度。温度是变质作用的基本因素，主要来自地热、岩浆热和动力热。温度升高，增强了岩石中矿物分子的运动速度和化学活动性，可使矿物在固体状况下，发生重结晶作用或重新组合产生新的矿物。

（2）压力。一种是上层岩石对下伏岩石的压力，为静压力，随深度而增加，可使岩石体积缩小，密度增大。另一种是由于地壳运动产生的动压力，它具有一定的方向性，可使岩石破裂、变形或发生塑性流动。岩石在定向压力作用下，矿物可在垂直压力作用方向发生局部的细微的溶解，向平行压力方向流动而结晶。新生成的柱状或片状矿物的长轴垂直于压力方

向排列,就形成了变质岩所特有的片理构造。

(3) 化学成分的加入。外来物质主要来自岩浆。岩浆的热力使围岩结构构造发生变化,而岩浆分离出来的气体和液体可与围岩发生交代作用,生成新的矿物。如岩浆中的 F、Cl、B、P 等成分与围岩发生化学反应生成萤石、电气石、方柱石和磷灰石等。

2. 变质作用的基本类型

上述三种影响因素不是孤立的,而是相互伴随发生的。根据引起变质作用的基本因素,可将变质作用分为接触变质作用、动力变质作用和区域变质作用三种类型。

(1) 接触变质作用。接触变质作用是指岩浆侵入时,岩浆和围岩的接触带受到岩浆的热力与其分化出的气体和液体作用,使围岩发生变化而引起的变质作用。

引起这类变质作用的主要因素是温度和化学成分的加入,前者称为接触热变质作用,表现为重结晶作用,如石英砂岩变成石英岩,石灰岩变成大理岩等;后者称为接触交代作用,指岩浆侵入围岩时,侵入体与围岩交换某些组分发生化学反应而形成新矿物的地质作用,发生在侵入体与围岩接触带附近,与前者的显著区别在于有组分的交换,即有交代作用。常见的有,中酸性侵入体与碳酸岩围岩接触时,侵入体中富含挥发性组分的气体和溶液进入围岩,带入 SiO_2 、 Al_2O_3 等组分,而围岩中一部分 CaO 、 MgO 组分被带入侵入体,接触带附近的围岩和侵入体都要发生成分、结构、构造的变化,形成一系列接触交代成因的矿物,它们组成交代成因的矽卡岩。当围岩富含镁时,如白云岩或白云质灰岩,形成由镁橄榄石、尖晶石、透辉石、镁铝榴石及后期热液蚀变硅镁石、斜硅镁石、蛇纹石、金云母等组成的镁质矽卡岩;当围岩为富钙的灰岩时,则出现由钙铝榴石、钙铁榴石、透辉石、钙铁辉石、硅灰石、方柱石、符山石及后期热液蚀变的透闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石等组成的钙质矽卡岩。这是一种局部变质作用,仅限于接触带附近,具有高温、低压的特点。

(2) 区域变质作用。区域变质作用指伴随着区域构造变动而发生的大面积的变质作用。造成变质的直接因素是地壳变动时出现的高温、高压及以 H_2O 、 CO_2 为主要活动组分的流体,使原有岩石和矿物所处的物理化学条件发生了很大的变化,原有岩石在结构、构造和矿物成分上调整改造,以适应新的物理化学条件,从而导致了新矿物的生成。

区域变质作用是分布最广泛、变质因素最复杂的一种变质作用,一般具有比较大的规模,分布面积可以达到数百、甚至数千平方公里。高温和定向构造应力是引起区域变质作用诸多因素中的主要因素。

(3) 动力变质作用。动力变质作用是因地壳运动而产生的局部应力使岩石破碎和变形,其中机械过程占主导的一种变质作用。这种变质作用以压力为主,温度次之,大部分发生在地壳活动地带,与断裂构造有关,出现在断裂带两侧,常见于比较坚硬的脆性岩石。主要表现为岩石破裂、韧性变形和矿物重结晶。

3. 变质作用和岩浆作用的主要区别

区别之一在于它们的形成过程不同。变质作用本身是一个升温的过程,早先形成的岩石因为温度上升发生各种变质反应,形成新的矿物组合。而岩浆作用主要是个降温过程,是在温度下降的条件下,不断冷凝、结晶形成矿物的过程。

另一个区别在于矿物的形成环境不同。在变质作用过程中的矿物转变是在固态情况下完成的,而岩浆作用形成的矿物是从液态中结晶的,先结晶的矿物晶体形态好,也就是说晶体长得完整规则;结晶晚期形成的矿物往往没有一定的形状。变质作用的矿物颗粒生长得是否