

GONG CHENG DI ZHI XUE

工程地质学



主编 © 朱建明 谢谟文 赵俊兰



中国建材工业出版社

工程地质学

主 编 朱建明 谢谟文 赵俊兰
主 审 高 谦

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/朱建明, 谢谟文, 赵俊兰主编. - 北京:
中国建材工业出版社, 2006. 9
ISBN 7-80227-145-2

I. 工... II. ①朱... ②谢... ③赵... 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 (2006) 第 104229 号

内 容 简 介

本书是按照教育部制订的土木工程专业大纲要求, 并结合近几年来大土木教学的经验而编写的。全书的主要特点是内容体系合理、深入浅出、逻辑性强、每章均附有学习指导和习题。本书与土木工程专业的土力学、基础工程等课程一起构成土木工程专业的岩土课程体系, 是近几年来从事土木工程地质学教学一线教师的主要教学研究成果。

全书包含九章。主要内容包括: 绪论, 地质作用与地质年代, 造岩矿物与岩石, 地质构造, 外力地质作用对工程的影响, 土的工程地质性质, 岩体的工程性质, 不良地质条件下的工程地质问题, 岩体工程稳定性问题, 工程地质勘察等。

本书可作为本科类土木工程专业工程地质学课程教材, 或为该课程的教学参考书, 以及作为参加全国土木工程岩土工程师资格考试的参考书。

工程地质学

主编 朱建明 谢谟文 赵俊兰

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 16

字 数: 402 千字

版 次: 2006 年 9 月第一版

印 次: 2006 年 9 月第一次

定 价: 25.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

自教育部将原建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程等多个专业合并为土木工程专业（也称大土木）以来，给新的土木工程专业的教学提出了新的挑战。如何适应我国快速发展的市场要求，培养出宽口径的人才，建立满足上述要求的土木工程教材和有效的教学手段，形成具有土木特色的教学体系十分重要。

为了适应上述的变化，绝大多数设有本科土木工程专业的院校都不同程度地将课程进行了调整，比较显著的就是将原合并在一起的土力学、工程地质学、基础工程三门课程，分开形成各自独立的一门课程。这主要是由于随着我国建筑向大深度方向发展，遇到的复杂地质条件越来越多，对土木工程地质和建筑物基础等提出了更高的要求。

目前工程地质学课程在大多数院校一般为 36 学时，有的学校还可能设为 27 或 45 学时。但要在有限的学时内，讲授出具有土木特色的工程地质课程就显得比较困难。主要有以下几点原因：

(1) 工程地质包括的范围广、内容多。许多院校的土木工程专业都是由原来的相近专业转过来或为新成立专业，对土木工程地质的教学内容和与之相关课程的关系认识不深，而且目前我国的土木工程地质的教材内容比较分散，有的教材甚至相差很大。

(2) 工程地质是一门理论与实践均很强的课程。虽然许多院校采用多媒体教学，在一定程度上提高了该课程的教学效果。但缺乏其他教学手段，如模型课、矿物标本、野外实习等教学手段，想获得好的教学效果也是十分困难的。

(3) 目前工程地质教学内容与土力学和基础工程相互重叠，分工不清楚，有的工程地质过分强调基础工程地质，没有土木工程特色；有的甚至将土工一些基本试验包括在里面；有的教材没有包括现场原位测试，而土力学一般也不包括，学生就学不到该部分内容，从而严重地影响土木工程地质的教学以及与其他课程的协调关系。

上述原因造成了工程地质学课程目前从教材到教学还没有形成一定的土木特色，导致有的学校对这门课程重要性认识不清，有的学校甚至还将该课程的学时一再压缩，这不仅与国际上土木工程专业的课程设置相违背，也不符合大土木的培养目标。因此编写具有土木特色的工程地质学教材十分重要。本书作者均为来自多年从事土木工程地质学教学的一线教师，具有丰富的教学经验，针对目前大多数学校开设的土力学、基础工程和工程地质三门课程之间的相互关系，对以前的工程地质课程的章节内容做了较大的调整，调整后的内容更符合土木专业的教学要求，具有更明显的土木特色，便于与其他两门课程如土力学和基础工程教学的衔接，也便于学生理解学习。

参加本书编写人员为：北京航空航天大学副教授朱建明博士（绪论，第 1，2，9 章）；北京航空航天大学教授姚仰平博士（第 5 章）；北京科技大学教授谢谟文博士（第 6，8 章）；浙江大学教授张忠苗博士（第 7 章）；北方工业大学副教授赵俊兰老师（第 3，4 章）。

本书由朱建明、谢谟文和赵俊兰主编，北京科技大学教授高谦博士担任主审。本书还配有电子教案，如选择本教材的老师请通过电子信箱与编者联系。在本书的编写过程中得到了清华大学教授温庆博博士的指导和帮助，他认真地审阅了本书的初稿并提出了宝贵的意见，在此表示衷心感谢！此外，特别感谢日本岩石力学学会会长、京都大学教授大西有三博士，长崎大学教授蒋宇静博士，在他们帮助下所得的资料，较好地丰富了本书的内容。

由于编者的水平有限，本书不当之处在所难免，恳请广大师生读者不吝指正。

电子信箱：gongchengdizhi@126.com

编 者

2006 年 7 月

目 录

绪 论	1
0.1 工程地质学研究的对象和内容	1
0.2 工程地质学的发展概况	2
0.3 工程地质学在土木工程建设中的作用	3
0.4 本书的主要内容	3
0.5 本课程的学习要求和方法	4
第1章 地质作用与地质年代	5
1.1 地球的基本知识	5
1.2 地质作用	7
1.3 地质年代	8
学习要求	14
习题与思考题	14
第2章 造岩矿物与岩石	15
2.1 造岩矿物	15
2.2 岩石类型	21
2.3 岩石的工程地质性质	38
学习要求	50
习题与思考题	50
第3章 地质构造	52
3.1 岩层及岩层产状	52
3.2 水平构造与倾斜构造	54
3.3 褶皱构造	54
3.4 断裂构造	57
3.5 地质构造对工程建筑物稳定性的影响	64
3.6 地质图	66
3.7 活断层	71
学习要求	74
习题与思考题	74

第4章 外力地质作用对工程的影响	75
4.1 风化作用	75
4.2 地表水地质作用	81
4.3 地下水及其类型	85
4.4 地下水与工程建设	93
学习要求	98
习题与思考题	98
第5章 土的工程地质性质	99
5.1 土的成因类型	99
5.2 土的组成、结构和构造	102
5.3 土的物理性质指标	107
5.4 土的工程分类	114
5.5 特殊土的主要工程性质	115
学习要求	125
习题与思考题	125
第6章 岩体的工程特性	127
6.1 岩体及岩体结构	127
6.2 工程岩体分级	143
6.3 岩体稳定性分析	148
学习要求	156
习题与思考题	156
第7章 不良地质条件下的工程地质问题	157
7.1 滑坡与崩塌	157
7.2 泥石流	165
7.3 岩溶	169
7.4 地震	173
学习要求	179
习题与思考题	180
第8章 岩体工程稳定性问题	181
8.1 地下洞室围岩稳定性问题	181
8.2 岩石地基工程稳定性问题	194
8.3 边坡岩体稳定性问题	200
学习要求	209
习题与思考题	209

第9章 工程地质勘察	210
9.1 工程地质勘察任务及勘察阶段划分	210
9.2 工程地质测绘及调查	212
9.3 工程地质勘探	214
9.4 工程地质原位测试	215
9.5 现场检验与监测	232
9.6 勘察资料的内业整理	235
9.7 土木工程地质勘察要求	238
学习要求	243
习题与思考题	243
参考文献	244

绪 论

0.1 工程地质学研究的对象和内容

地球是浩瀚宇宙中一颗璀璨的行星，是养育亿万生灵的摇篮，也是人类赖以生息繁衍的唯一家园，它为人类的生存与发展提供了必要的物质基础。基于生活和生产的需要，探索地球奥秘、寻找开发资源、保护家园环境、维持自身发展便成为人类孜孜不倦的追求。在漫长的认识和探索地球的过程中，逐步形成了一门以地球为研究对象、内容颇为广泛的学问，这就是地球科学，简称地学。它与数学、化学、物理学、生物学、天文学等一起，构成了近代自然科学的六大基础学科。地球科学从它诞生之日起，就始终不渝地担当着探索地球奥秘、研究地球变化、编织地球故事、传播地球知识的重大使命。

地质学是地球科学的一个重要组成部分，其主要研究对象是固体地球。鉴于科学技术的发展水平、人类的认知能力和生存需要，当前研究的重点是固体地球的表层——地壳（或岩石圈）。随着生产的发展、科学技术的进步以及人类认知水平和能力的不断提高，人们对地球的认识不断深入，加之各学科之间的相互利用、渗透与结合，地质学已发展成为一个完善的学科体系并在纵向分化深入和横向交叉拓展中形成了许多具有独特意义的分支学科。根据这些分支学科主要研究对象、内容和任务的不同可将其分为以下五类地学分科：①以地球物质组成为主要研究对象的矿物学科；②以地球运动和变形规律为主要研究对象的构造地质学科；③以远古地球特征和发展演变历史为主要研究对象的古生物及地史学科；④以地球资源及其勘察方法为主要研究对象的矿产地质学科；⑤以地球环境等为主要研究对象的工程地质学科。由此可见，工程地质学就是上述五类分科中的一个分支，是研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科，它与人类的各种活动紧密相关。

首先，人类的所有工程建造于地壳表层一定的地质环境中，地质环境会以一定的作用方式从安全、经济和正常使用三方面影响制约人类的工程建设。例如，工业与民用建筑遇到的问题承载力与沉降问题；崩塌、岩体滑动和滑坡会带来相关建筑物的破坏和威胁公路、铁路的安全；围岩稳定性是地下洞室要考虑的主要问题；在活动断裂带或强震区的建筑物场地选择不当，构造活动或伴随断层活动的强烈地震会造成建筑物的损坏或破坏；石灰岩地区的洞穴会造成水库水的漏失，使其不能正常使用等。因此，人类必须要很好地研究工程场地的地质环境，尤其是对工程建设有严重制约作用的地质作用和现象一定要进行详细、深入的研究。

其次，人类的各种活动，又会反作用于地质环境，使自然地质条件发生变化，影响工程设施的稳定和正常作用，甚至威胁到人类的生活和生存环境。例如，过量抽去地下水会造成大范围的地面沉降，使沉降区建筑物的工作条件、市政设施的使用和人民生活受到严重影响。修建大型水库，改变了区域的水文地质条件，会发生区域性塌岸或浸没，造成平原地区

沼泽化、黄土地区湿陷及诱发地震等。因此,人类应充分预计到一项工程,特别是重大工程建设对地质环境的影响,并采取积极措施,避免破坏或灾害的发生。

工程地质学正是为了满足上述人与自然和谐一致而形成的一门科学,也就是说工程地质学是研究工程设计、施工和运行过程中,合理地利用自然地质资源、正确地改造不良地质条件和最大限度地避免地质灾害等问题的科学。它是工程科学与地质科学相互渗透、交叉而形成的,服务于工程建设的一门边缘科学。

工程地质学研究的主要内容有:

1. 岩土体的分布规律及其工程地质性质的研究:在进行工程建设时人们最关心的是建筑地区和建筑场地的工程地质条件,特别是岩体、土体的空间分布及其工程地质性质,以及在工程作用下这些性质的变化趋势。

2. 不良地质现象及其防治的研究:分析、预测在建筑地区和场地可能发生的各种不良地质现象和问题,例如崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、比表塌陷、地震等的形成条件、发展过程、规模和机制,评价它们对工程建筑物和环境的危害,研究防治不良地质现象的有效措施。

3. 工程地质勘察技术的研究:为了查清各种不同类型的建筑地区和场地的工程地质条件,分析预测不良地质作用,评价工程地质问题,为建筑物的设计、施工、运营提供可靠的地质资料,就需要进行工程地质勘察,选择勘察方法,研究勘察理论和新的技术方法,特别是随着国民经济的发展,大型、特大型工程越来越多,如跨流域的南水北调工程、大型水电站、深部采矿、超高层建筑、海峡隧道、海洋工程等,都需要对勘察技术进行研究。

4. 区域工程地质研究:研究工程地质条件的区域分布和规律,为工程规划设计提供地质依据。

0.2 工程地质学的发展概况

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长隧道。英吉利海峡隧道和日本青函隧道的建成使人类隧道开凿达到了新水平。随着人类工程活动的进行,促使人们不断去思考地质问题的实质,使工程地质学这门学科得到逐步充实和发展。

1912年瑞士地质学家A. Heim提出了地压理论;1933年在瑞士工作的法国人M. Lugeon写了《大坝与地质》一书,并最早提出测定岩层渗透性的钻孔压水试验;1939年R. F. Legget写出了《地质学与工程》一书;奥地利人J. Stini和L. Müller最早认识岩体结构面的影响,并于1951年创办了《地质与土木工程》杂志;法国人J. A. Talbore于1957年写出了《岩石力学》专著,阐述了地质学与工程的关系;C. Jaeger于1972年写出了《岩石力学与工程》专著;1983年R. F. Legget又出版了巨著《土木工程的地质学手册》。

我国学者陶振宇于1976年写出了《水工建设中的岩石力学问题》,同年谷德振出版了《岩体工程地质力学基础》一书。陈宗基对岩土流变学进行了深入研究,并亲手创办了武汉岩土研究所,石根华写的《Theory of Block》(块体理论)推动了岩体稳定的力学分析。

我国工程地质学是在新中国成立后才发展起来的。20世纪50年代初由于经济和国防建设的需要,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,培养专门人才。当时一些重大工程项目,如三门峡水库、武汉长江大桥、新安江

水电站等,都进行了较详细的工程地质勘察。随之,城建、冶金、水电、铁道、机械、化工、国防等部门相继成立了勘察和研究机构,在相应的院校中开设了有关专业。50多年来,我国在水利水电、铁路桥梁、城市规划、工业与民用建设、矿山工程与国防工程等方面进行大量工程地质工作,为工程的规划、设计、施工和正常运行提供了较充分的地质依据。这不仅保证了工程建设的顺利进行,也丰富了工程地质学的理论宝库。

21世纪,不论是建筑业还是其他行业如公路桥梁等,随其等级标准的不断提高,其各类工程建筑物的工程地质条件要求也更高,其新理论、新方法、新技术将得到更广泛的应用,从而必将推动工程地质学科的进一步向前发展。

0.3 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、公路、铁路、隧道、桥梁、港口、水利水电等都是修建在地表或地下的工程建筑。建筑场地的地质环境和工程地质条件与工程的设计、施工和运营密切相关。随着我国经济建设日益发展,工程建设的规模和数量也越来越大,出现了许多呈现“长隧道、深基坑、高边坡”的巨型工程,因此,作为工程建设的基础工作,工程地质工作的重要作用客观存在和被实践证明了的。如果在工程建设中对工程地质工作重视不够,或工作粗糙,留下隐患,则会产生严重的后果。这方面的经验教训是值得我们深思的。

建于1913年的加拿大特朗斯康谷仓(Transcona Grain Elevator)由65个圆筒仓组成,长59.44m、高31m、宽23.47m,其下为筏板基础。建成后初次储存谷物 31822m^3 (基底平均压力达到 320kPa)时,谷仓西侧突然陷入土中8.8m,东侧抬高1.5m,仓身倾斜 27° ,地基发生了整体滑动。事故后经调查,基础下埋藏有厚达12.2m的冰河沉积的高胶体高液性软黏土层,致使建筑物丧失稳定性。

1926年建成的美国加利福尼亚州的圣弗朗西斯坝,两年后高约70m的混凝土大坝被冲垮。事后查明,坝基一部分位于倾向河谷的片岩上,坝基另一部分位于黏土充填的砾岩上,砾岩含有石膏脉。水库蓄水后,砾岩中的石膏遇水溶解,砾岩中的胶结物很快崩解,渗透水流将其淘蚀冲刷,引起大坝失事。

我国建国初期修建的宝成铁路,限于20世纪50年代初期的设计水平,对工程地质条件认识不足,致使铁路的某些地段质量不高,给施工运营带来了困难。宝成铁路上存在的路基冲刷、滑坡和泥石流问题给我们留下了深刻的教训。

因此,进行大规模的工程建设,必须进行工程地质调查和勘探工作,查明工程建筑地区的工程地质条件,对有利的地质因素和不良的地质现象要作出正确的分析,针对影响建筑物安全的主要工程地质问题要进行论证,预测工程建设后引起的环境工程地质问题,才能为工程建设的规划、选址、设计、施工与管理等各个阶段,提供可靠的工程地质资料。

0.4 本书的主要内容

工程地质学的内容是相当广泛的。本书是为土建类专业学生开设的综合工程地质课程而编写的教材,与该课程密切相关的课程主要有土力学、岩石力学、基础工程、施工技术、地下工程等。目前在大多数土建类院校,上述相关课程中的土力学、基础工程、施工技术和土木工程地质等课程一般均为独立开设。因此,如何编写出一本与土力学、基础工程、施工技术课程相适应的土木工程地质教材,又能适应目前大土木专业的特点,实现宽口径的培养目

标,是本书编写的出发点。基于此,本书主要包含了地质学基础、地表水和地下水、工程地质三部分内容。

地质学基础部分:主要研究地球的组成、构造、发展历史和演化规律。这部分主要考虑土建类专业学校一般不再开设基础地质类课程,本教材的前几章主要对矿物、岩石、地质构造和地质作用等基础地质知识并对岩石的工程地质特性作了介绍。

地表水和地下水部分:主要研究水流的地质作用、河谷地貌、沉积层的主要类型及工程地质特性;阐明地下水的埋藏条件、成因类型和运动规律、研究岩石风化、岩溶、滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象及作用过程。

工程地质部分:主要由岩土的稳定性和工程地质勘察两大部分组成。岩土的稳定性和分析部分主要研究土的工程地质特性、岩体的结构特征,阐明岩体结构面和结构体的基本特性;并对常见的地下洞室、岩坡和岩基三类工程的稳定性进行了分析评价。工程地质勘察部分主要研究工程地质勘察的目的、任务和方法,了解工程地质报告中应包括的主要内容,以及城镇与工业民用建筑、道路桥梁、地下洞室、机场建设等工程的地质勘察要求。

0.5 本课程的学习要求和方法

本课程是高校土木工程学科土建类专业的一门专业技术基础课。作为土木工程师,必须具备一定的工程地质科学知识。该课程结合了我国城市建筑工程和市政地下工程建设的特点,为学习专业和开展有关问题的科学研究,提供必要的工程地质学基本知识,同时,通过一些基本技能的训练,懂得搜集、分析和运用有关地质资料,对一般工程地质问题具体分析。在学习本课程时,切忌死记硬背,而是学会具体问题具体分析。将学到的工程地质知识和专业知识与其他课程知识紧密的联系起来,去解决工程实际中的工程地质问题。

第 1 章 地质作用与地质年代

1.1 地球的基本知识

地质学 (geology) 一词是由瑞士人索修尔 (Saussure H. B. de) 于 1779 年提出的, 意指“地球的科学”。虽然地质学就是研究地球的科学, 但由于科学技术水平的限制, 地质学当前研究的主要是地壳。由于大量的工程建筑都在地球的表层, 为此工程建设者对地质学的了解是十分必要的。

1.1.1 地球的外部形态

地球是一个不规则的扁球体。它绕太阳公转, 并绕自转轴由西向东旋转。19 世纪后期, 人们认识地球是一个两极扁平、赤道突出的椭球体。后来经卫星测定, 地球外形像一个梨状体 (图 1-1)。其北极外凸 10m, 南极内凹 25.8m。

通过大地测量及地球卫星测量, 有关地球的主要数据为: 赤道半径约为 6378.16km, 极地半径约为 6356.8km, 平均半径约为 6371.017km; 扁平率为 1/298.257; 表面积约为 $5.1007 \times 10^8 \text{ km}^2$; 地球体积为 $1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$; 平均密度为 5.52 g/cm^3 。

1.1.2 地球的圈层构造

1.1.2.1 地球的内圈层

地球是由不同状态、不同物质的圈层构成的, 地球的内部由地壳、地幔和地核三个圈层组成 (图 1-2)。

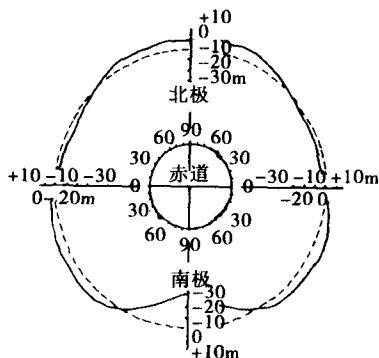


图 1-1 地球梨状体剖面 (实线)
与旋转椭球体剖面 (虚线) 的
关系示意图

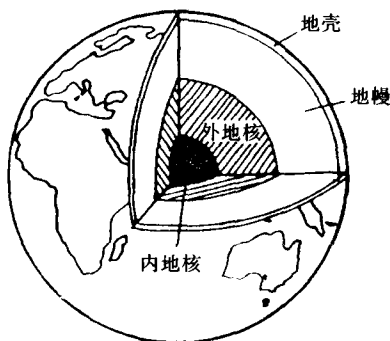


图 1-2 地球的内部结构

(1) 地壳

地球表面固体的薄壳, 平均厚度为 33km, 大洋地壳较薄, 约 5~10km, 大陆地壳较厚, 约 15~80km; 整个地球的地壳平均厚度为 16km。人类的工程活动多在地壳的表层进行, 如土木工程建筑一般在浅层(深几十米以内), 地下工程有时深达几百米至上千米, 而石油、天然气井钻探深度可达 7km 以上。

组成地壳的物质主要是地球中比较轻的硅镁和硅铝等物质。大陆地壳具有上部为硅铝层(花岗岩质层), 下部为硅镁层(玄武岩质层)的双层结构。硅铝层的密度为 2.7g/cm^3 , 硅镁层的密度为 2.9g/cm^3 。地壳的下表面是莫霍(Moho)面, 地震波在该处发生突变, 该面以首先发现其存在的南斯拉夫地球物理学家命名。地壳与地球半径相比仅 1/400, 是地球表层极薄的一层硬壳, 只有地球体积的 0.8%。

(2) 地幔

地幔是自莫霍面以下至深度约 2900km 的范围, 约占地球体积的 83.3%。根据地震波的变化情况, 以地下 1000km 激增带为界面, 又可把地幔分为上下两层。上地幔深度为 33~1000km, 主要由橄榄质的超基性岩石组成, 其中上半部分是高温熔融的岩浆岩发源地, 也称软流圈。下地幔深度 1000~2900km, 主要成分为硅酸盐、金属氧化物和硫化物, 铁、镍含量增加, 密度为 5.1g/cm^3 , 物质呈固态。

(3) 地核

位于地幔以下, 是地球的核心部分。被分为外地核、过渡层、内地核。地表以下 2900~4642km 范围内为外地核, 主要由熔融状态的铁、镍混合物及少量 Si、S 等轻元素组成, 密度约为 10.5g/cm^3 。内核厚度为 1216km, 主要成分是铁、镍等重金属, 平均密度为 12.9g/cm^3 , 其刚性很高。位于内、外核之间的过渡层厚度约 515km, 物质状态从液态过渡到固态。

一般认为地壳和软流圈以上的部分上地幔一起组成岩石圈, 岩石圈才是固体地壳真正的外壳。软流圈以下的上地幔一般称为过渡带或相变带。因此岩石圈、软流圈、过渡带、下地幔、外地核、内地核是地球内部十分重要的六个主要层圈, 其中岩石圈和软流圈对理解地球的板块运动理论十分重要。

1.1.2.2 地球的外圈层

外圈层指大气圈、水圈和生物圈。

(1) 大气圈

大气圈是地球的最外圈, 其上界可达 1800km 或更高的空间。

自地表到 10~17km 的高空为对流层, 所有的风、云、雨、雪等天气现象均发生在这一层, 它对地球上生物的生长、发育和地貌的变化有着极大的影响。

(2) 水圈

水圈是由大气圈的大量水蒸气形成的, 水圈主要由海水构成。

海洋面积占地球总面积的 71%, 在陆地分别有河流、湖泊, 还有地下水。地球表面水圈的存在, 对生命的起源, 生物的演化、发展曾起到十分重要的作用。水与大气地表岩石中的各种物质相互作用, 产生各种沉积物、矿物及可溶盐。水还作为最活跃的营养力促进各种地质地貌的发育。

(3) 生物圈

生物圈是指地球生物渗透在水圈、大气圈下层和地壳表层的范围之中。

生物圈的质量很小,有人估计相当于大气圈的 $1/300$,水圈的 $1/7000$ 或上部岩石圈的 $1/1000000$ 。但对于改变地球的地理环境却起到重要作用,生物所产生的物质是人类重要的财富。有机界和无机界相互作用还形成一个独特的土壤。

1.2 地质作用

地球形成以来,一直处于不断运动和变化之中。今日的地球,只是它运动和发展过程中的一个阶段。就地壳而言,虽然它只能代表地球演变的一部分,但它的表面形态、内部结构和物质成分也是时刻在变化着。坚硬的岩石破裂粉碎成为松软泥土,而松软泥土又不断沉积形成新的岩石。在地质历史发展的过程中,由自然动力引起的地球和地壳物质组成、内部结构及地表形态不断变化发展的作用,称为地质作用。

地质作用的动力源泉,一是地球内部放射性元素蜕变产生的内热;二是来自太阳辐射热,以及地球旋转力和重力。只要引起地质作用的动力存在,地质作用就不会停止。地质作用实质上是组成地球的物质以及由其传递的能量发生运动的过程。因此地质作用按其能量的来源不同,可分为外力地质作用和内力地质作用两类。

1.2.1 内力地质作用

由地球内部能源所引起的岩石圈物质成分、内部构造、地表形态发生变化的作用称为内力地质作用。它包括:地壳运动、岩浆及火山作用、地震作用和变质作用。

1.2.1.1 地壳运动

地壳运动是指地壳或岩石圈隆起和凹陷,海、陆轮廓的变化,山脉、海沟的形成,以及褶皱、断层等各种地质构造的形成和发展。地壳运动产生各种地质构造,地壳运动又称为构造运动。所以地壳运动按其运动方向可分为水平运动和升降运动。

(1) 水平运动

水平运动是指地壳或岩石圈块体沿水平方向移动,如相邻块体分离、相向相聚和剪切、错开。它使岩层产生褶皱、断裂,形成裂谷、盆地和褶皱山系。现代水平运动的典型例子是美国西部的圣安德列斯断层。地质学家经过多年研究,一致认为大约是大约 1000 万年时间里,断层西盘向西北方向移动了 400 ~ 500km,现在仍在继续位移。我国的横断山脉、喜马拉雅山、天山、祁连山等均为褶皱山系。

(2) 升降运动

升降运动是指地壳运动垂直于地表,即沿地球半径方向的运动。表现为大面积的上升运动和下降运动,形成大型隆起和凹陷,产生海退和海侵现象。一般来说,升降运动比水平运动更为缓慢。在同一地区不同时期内,上升运动和下降运动常交替进行。所谓“沧海桑田”即是古人对地壳升降运动的直观表述。

1.2.1.2 岩浆作用

火山观察可知,岩浆的温度高达 1000°C ,由硅酸盐及部分金属氧化物、硫化物和挥发成分组成的熔融物质,称为岩浆。由于巨大的压力,使活动性很大的岩浆顺地壳的薄弱带侵入甚至喷出地表。因此岩浆的形成、运动、演化、冷凝形成火成岩的全部过程称为岩浆作用。

岩浆由地下深处侵入地壳中的冷凝成岩的全过程,称为侵入作用。由此形成的岩石为侵

入岩。侵入岩又可根据岩浆凝结时所处的部位距地表的深浅分成深成岩和浅成岩。深成岩侵入深度大于 3km, 浅成岩侵入深度小于 3km。有时岩浆可以一直上升穿透上覆岩石, 喷出地表形成火山。岩浆喷出地表的全过程称为火山作用。由此冷凝而成的岩石称为喷出岩。

1.2.1.3 变质作用

已经形成的地壳的各种岩石, 当在高温、高压下并有化学物质参与下发生成分(矿物、化学物质)、结构、构造变化的地质作用称变质作用, 在该条件下生成的岩石称为变质岩。

1.2.1.4 地震

地壳中发生的绝大多数地震是由地质构造作用引起的。为了解释这类地震的成因, 1911 年美国学者李德(H. F. Reid)提出了弹性回跳理论。该理论认为, 由于构造应力的影响, 在岩石圈的一定地区内, 岩石发生弹性弯曲, 并因此产生了弹性应变能的积累。当应变能超过弹性极限时, 岩石发生错断并弹回原来的位置, 同时使积累的能量得到突然的释放。岩石错断时, 能量主要以地震波的形式释放。地震波从断裂处向四周传播, 当其到达地表时引起地表的振动。除此之外, 火山作用、喀斯特区及地下开采的塌陷、人工爆破(如地下核爆破)都可产生地表的振动, 这些均称为地震。

世界上的地震主要集中在环太平洋地震带、阿尔卑斯山-喜马拉雅山地震带、洋脊和裂谷地震带及转换断层地震带上。我国的地震分布主要与前两个地震带有关。

1.2.2 外力地质作用

由地球外部能源引起的地质作用称为外力地质作用。主要发生在地表, 它的能量主要来自太阳的热能、太阳和月球的引力能及地球的重力能等。外力作用的方式, 可以概括为以下几种:

(1) 风化作用 暴露地表的岩石, 在温度变化以及水、二氧化碳、氧气及生物等因素的长期作用下, 发生化学分解和机械破碎。风化作用使岩石强度和稳定性大为降低。

(2) 剥蚀作用 河水、海水、湖水、冰川及风等在其运动过程中对地表岩石造成的破坏, 其破坏产物随其运动而搬走。例如: 海岸、河岸因受海浪和流水的撞击、冲刷而发生后退。

(3) 搬运作用 岩石经风化、剥蚀破坏后的产物, 被流水、风、冰川等介质搬运到其他地方的作用。

(4) 沉积作用 被搬运的物体, 由于搬运介质的搬运能力减弱, 搬运介质的物理化学条件发生变化, 或由于生物的作用, 从搬运介质中分离出来, 形成沉积物的过程, 称为沉积作用。

(5) 成岩作用 刚堆积的物质是松散多孔的并富含水分, 被后来的沉积物覆盖埋藏后, 在重压下排出水分, 孔隙减少并被胶结, 由松散堆积物逐渐变为坚硬的岩石, 也就是沉积岩。

内力地质作用和外力地质作用紧密关联、相互影响, 始终处于对立统一的发展过程中, 成为促使地壳不断运动、变化和发展的基本动力。

1.3 地质年代

在野外, 我们经常可以看到一层又一层的沉积岩, 它们是地壳在其漫长的发展历史中某一时期形成的产物。地史学中, 将各个地质历史时期形成的岩石, 称为该时代的地层。层层

叠叠的地层构成了地壳历史的天然记录和物质见证。地质年代就是从地质学的观点出发,根据地球上的生物演化过程、地层的沉积环境和地壳的发展演变过程等划分的,用以描述地层形成历史的时代段落。这种地质年代也称相对地质年代,另一种是绝对地质年代。

1.3.1 绝对地质年代

绝对年代法是指用各种仪器和方法,经过测定某一时刻的岩石样品中某些物质及其特性指标后,得到的该岩石的形成至今的时间长短。

确定地层形成时的准确时间,主要是通过测定地层中的放射性同位素年龄来确定。放射性同位素(母同位素)是一种不稳定元素,在天然条件下发生蜕变,自动放射出某些射线(α 、 β 、 γ 射线),而蜕变成另一种稳定元素(子同位素)。放射性同位素的蜕变速度是恒定的,不受温度、压力、电场、磁场等因素的影响,即以一定的蜕变常数进行蜕变。主要用于测定地质年代的放射性同位素的蜕变常数,见表1-1。

表1-1 常用同位素及其蜕变常数

母同位素	子同位素	半衰期	蜕变常数
铀 (U^{238})	铅 (Pb^{206})	$4.4 \times 10^9 a$	$1.54 \times 10^{-10} a^{-1}$
铀 (U^{235})	铅 (Pb^{207})	$7.1 \times 10^8 a$	$9.72 \times 10^{-10} a^{-1}$
钍 (Th^{232})	铅 (Pb^{208})	$1.4 \times 10^{10} a$	$0.49 \times 10^{-10} a^{-1}$
铷 (Rb^{87})	锶 (Sr^{87})	$5.0 \times 10^{10} a$	$0.14 \times 10^{-10} a^{-1}$
钾 (K^{40})	氩 (Ar^{40})	$1.5 \times 10^9 a$	$4.72 \times 10^{-10} a^{-1}$
碳 (C^{14})	氮 (N^{14})	$5.7 \times 10^3 a$	

当测定岩石中所含放射性同位素的质量 m_1 , 以及它蜕变产物的质量 m_2 后, 就可利用蜕变常数 λ , 按下式计算其形成年龄:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \quad (1-1)$$

目前世界各地地表出露的古老岩石都已进行了同位素年龄测定, 如南美洲圭亚那的角闪岩为 $4130 \pm 170 Ma$, 我国冀东络云母石英岩为 $3650 \sim 3770 Ma$ 。

1.3.2 相对地质年代

相对年代法是通过比较各地层的沉积顺序、古生物特征和地层接触关系来确定其形成先后顺序的一种方法。因无需精密仪器, 故被广泛采用。

1.3.2.1 地层层序法

地层层序法是确定地层相对年代的基本方法(图1-3)。沉积岩能清楚地反映岩层的叠置关系。一般情况下, 先沉积的老岩层在下, 后沉积的新岩层在上。简言之, 原始产出的地层具有下老上新的规律。若岩层经剧烈的构造运动, 地层层序倒转, 就需利用沉积岩的泥裂、波痕、雨痕、交错层等构造特征, 来恢复原始地层的层序, 以便确定其新老关系。

1.3.2.2 古生物层序法

地质历史上的生物称为古生物。其遗体 and 遗迹可保存在沉积岩层中, 一般被钙质、硅质充填或交代变质, 形成化石。生物的演化从简单到复杂, 从低级到高级不可逆转地不断发展。因此, 年代越老的地层中所含的生物越原始、简单、低级。反之, 年代越新的地层中所含的生物越进步、复杂、高级。即埋藏在地层中的生物化石结构越简单, 地层时代越老, 化石结构越复杂, 地层时代越新。这样, 可依据不同的标准化石, 确定地层年代。标准化石是