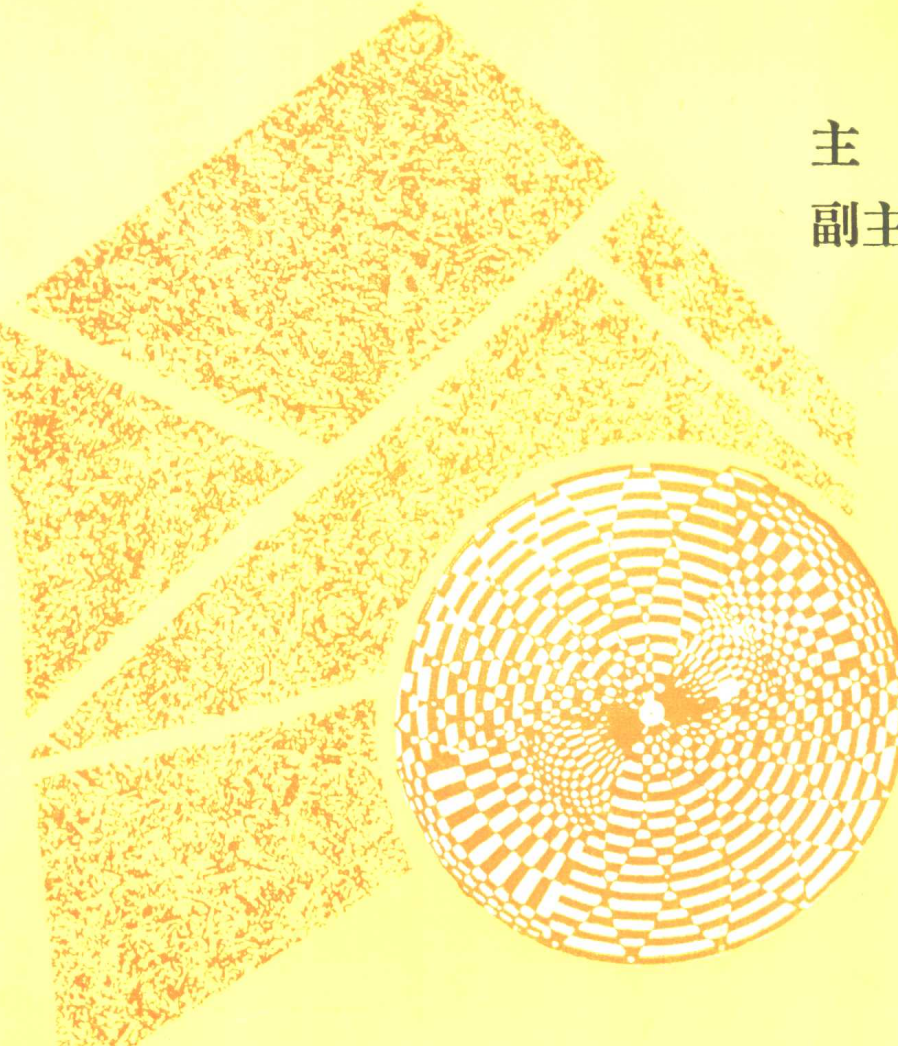


主 编 史如平
副主编 张景德
魏 琅



土木工程地质学

江西高校出版社

642
5011

土木工程地质学

Geology In Civil Engineering

史如平		主 编
张景德	魏 琅	副主编
戚筱俊	孔宪立	主 审

江西高校出版社

(赣)新登字第 007 号

书 名: 土木工程地质学
主 编: 史如平
出 版: 江西高校出版社(南昌市洪都北大道 16 号)
发 行: 江西震华公司照排中心
照 排: 江西震华公司照排中心
经 销: 各地新华书店
印 刷: 南昌市红星印刷厂
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 13.25
字 数: 300 千
印 数: 6000 册
版 次: 1994 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 9.00 元



ISBN 7—81033—398—4/TU·2

邮政编码: 330046

电话 331257、332093

(江西高校版图书凡属印刷、装订错误, 请随时向承印厂调换)

内容简介

本书为土木类各专业和水利类水工等专业本科学生提供了必须的地质学和工程地质学的基础知识,编写时吸取了国内外有关工程地质学的最新成果与讯息,并为学生提供了解决工程地质问题所必须的技术知识。

全书共十一章,主要内容有:地质学概论、岩石学、土质学、地质构造、地下水、工程岩体的稳定性分析、滑坡、喀斯特、不同类型工程的地质问题、工程地质勘察、不良地质体的加固与处理等。全书内容丰富,深入浅出,循序渐进,概念交待严密清晰,便于学生掌握要领、融会贯通。

本书可作高等院校土木类:工民建、城建、道桥、环境工程、给排水、地下工程和水利类水工等专业的本科教材,并可供土木与水利电力工程建筑的广大工程技术人员参考使用。

246 8107

前 言

本书是适应全国高等院校土木类专业的教学需要而编写的。国外的土木系都设有一门《工程地质学》的必修课程;长期以来,由于某些原因,特别是工业与民用建筑专业(国内高等院校中的一个专业)还缺少合适的教材,而有些教材内容又较狭窄,不适应当前大规模土木建设事业发展的要求,故尝试编写一本适应各类土木以及水利专业的教材。

本书由浙江工业大学史如平主编,南昌大学张景德与南京建筑工程学院魏琅任副主编;清华大学戚筱俊与同济大学孔宪立主审。

全书由史如平统稿。

编写分工为:史如平编写绪论和第十一章;清华大学薛福编写第一章;浙江工业大学邱良佐编写第二章;南京建筑工程学院毛丽珠编写第三章,贺大印编写第五章,魏琅编写第九章;大连理工大学金春山编写第四章;南昌大学张景德编写第六章;河海大学陆兆溱编写第七章;云南工学院张安康编写第八章;沈阳建筑工程学院陈曦编写第十章。

本书以地质学为基础,结合国内外工程实例,使学生了解地质发展的基本规律以及地质工作的各种方法,初步掌握解决工程地质问题的方法;由于本书兼容了城市建设、道路桥梁、水工建筑、海港工程、环境工程方面的内容,使学生能拓宽知识面,做到能借鉴、旁通。

本书文字简明、循序渐进、内容丰富、重点突出、便于自学。本书适用作土木类(工民建、城建、道桥、给排水)以及水利类专业的教材,也可供广大土木工程技术人员参考。

本书的出版得到了宁波大学、沈阳建筑工程学院、浙江工业大学、南昌大学、南京建筑工程学院、云南工学院、河海大学、大连理工大学、清华大学、同济大学、汕头大学、合肥工业大学、衡阳工学院等校领导和老师的支持,以及江西高校出版社的支持与努力,在此谨表衷心感谢。本人在瑞士工作期间,得到友人瑞士联邦岩土工程协会主席 F. Dèscœudres 教授和 P. Egger 博士的帮助,使有机会到欧洲有关国家考察,了解欧洲的工程地质和岩土工程的进展,所得资料丰富了本书的内容,对此亦表示感谢。

希望本书能得到读者的喜欢。

最后,诚恳地欢迎读者批评和指正。

史如平(Shi Ru-ping)

1993年11月于杭州

目 录

绪论	(1)	7.4 滑坡实例	(125)
第一章 地质学概论	(3)	第八章 喀斯特(岩溶)	(129)
1.1 地球的构造	(3)	8.1 岩溶的个体形态特征	(129)
1.2 地质作用	(6)	8.2 岩溶发育的基本条件	(130)
第二章 岩石学基础	(17)	8.3 岩溶的类型	(131)
2.1 主要造岩矿物	(17)	8.4 岩溶的发育、分布规律与发育程度分级	(132)
2.2 岩石类型及其工程地质特征	(20)	8.5 岩溶与工程建设	(135)
第三章 土质学	(31)	第九章 不同类型工程的地质问题	(142)
3.1 土的成因类型及其工程地质特征	(31)	9.1 城市规划和建设中的工程地质问题	(142)
3.2 土的物质组成	(34)	9.2 道路、桥基的工程地质问题	(148)
3.3 土的物理性质和力学性质	(40)	9.3 隧道、地下建筑的工程地质问题	(150)
3.4 中国特殊土的主要工程性质	(46)	9.4 水工建筑物的工程地质问题	(155)
第四章 地质构造	(51)	9.5 海港与离岸工程的工程地质问题	(157)
4.1 地壳运动	(51)	9.6 环境工程地质	(159)
4.2 地质构造	(54)	第十章 工程地质勘察	(162)
4.3 地质图的阅读和分析	(65)	10.1 概述	(162)
4.4 区域稳定性	(67)	10.2 工程地质测绘	(165)
第五章 地下水	(73)	10.3 工程地质勘探	(168)
5.1 地下水的基本概念	(73)	10.4 工程地质野外试验	(173)
5.2 地下水的水质	(80)	10.5 工程地质长期观测	(180)
5.3 地下水的运动	(85)	10.6 工程地质勘察资料的整理	(182)
5.4 地下水与工程建设	(90)	第十一章 不良地质体的加固及处理	(186)
第六章 岩体的稳定性分析	(94)	11.1 灌浆法	(186)
6.1 岩体结构分析	(94)	11.2 锚固法	(191)
6.2 岩体的工程地质性质	(99)	11.3 千斤顶法	(196)
6.3 岩基的变形特征与承载能力	(101)	11.4 其他方法	(198)
6.4 岩体的稳定性分析	(105)	参考文献	(201)
第七章 滑坡	(114)		
7.1 边坡变形破坏的类型	(114)		
7.2 滑坡的工程地质研究	(117)		
7.3 防治边坡变形破坏的工程措施	(123)		

绪 论

(Introduction)

地质学与工程相结合是工程建筑的需要,现代工程建筑规模越来越大,对地质的要求也越高,因而土木工程师对地质学的深入了解是很必要的。自然界的规律人们必须了解、服从,从很多古今中外的工程事例中可以说明土木系中开设《工程地质学》课程是很需要的。土木工程师应能解决工程中出现的地质问题。

1. 地质学与工程

很早就有人类的工程活动,在 15000 年以前的石器时代人类已开始在地地下开矿,公元 2000 年前埃及人已能应用砖砌沉井穿过砂层。埃及的金字塔,中国的长城、南北运河、新疆坎儿井都是著名的早期工程活动。

美国于 1831—1833 年开始修建第一条地铁,法国于 1857—1870 年打通穿越阿尔卑斯山的萨尼峰(Mont Cenis Tunnel)的 11 公里长隧洞。

1882—1912 年经历 32 年开挖的巴拿马运河,由于多次山崩、滑坡又多化费了 5 年的时间,加挖 $58 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的土石方(占总开挖量的 40% 以上),由于停航损失就达 10 亿美元,而当时的工程单位没有听取法国地质学家的预言。

世界上因地质问题而溃坝之事屡有发生,其损失是惨重的。

1959 年的法国马尔巴塞(Malpasset Arch Dam)薄拱坝破坏(一个村镇被毁)以及 1963 年的意大利 Vajont 的库岸大滑坡引起越顶溢洪冲毁了下游 2000 人的村镇,都使工程界震惊。

英吉利海峡隧道以及日本青函隧道的开通使隧道开凿达到了新的水平。

我国的成昆铁路上的桥梁、隧道所遇的施工地质问题也是十分棘手的。

金川露天镍矿以及山西露天煤田的深开挖都给工程带来诸多的地质问题。

我国山区村、镇还时常受到滑坡(如甘肃洒勒山)、崩塌(如长江新滩)和泥石流(如浙江平阳)的袭击。

一些沿海、平原城市以及地下采空区上的建设受到地面沉降、塌陷的困扰。在一些喀斯特地区也常发生这些问题。

工程地质学随着工程的经验和教训得到了发展,使人们深入去思考地质问题的实质。

1912 年瑞土地质学家 A. Heim 的地压理论影响深远;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(Lugeon water pressure Test);1939 年 R. F. Legget 写出《地质学与工程》一书;奥地利人 J. Stini 和 L. Müller 最早认识到岩体结构面的影响,并于 1951 年创办《地质与土木工程》杂志。在奥地利 Saltzberg 每年 10 月举办大型欧洲工程地质学术会议;法国人 J. A. Talbore 于 1957 年写出《岩石力学》专著,阐述地质学与工程的关系;C. Jaeger 于 1972 年写出《岩石力学与工程》;1983 年 R. F. Legget 又出巨著《土木工程的地质学手册》。

我国学者于 70 年代后期写出许多专著,如 1976 年陶振宇写的《水工建设中的岩石力学问题》,1976 年谷德振写的《岩体工程地质力学基础》专著。陈宗基对岩土流变学的研究是众所周知的,并创办了武汉的岩土力学研究所;石根华写的《Theory of Block》(块体理论)推动了岩体

稳定的力学分析。

随着事业的发展,我国已有一支水平较高的工程地质专业的队伍,将为未来的建设挑起重担;随着工程地质知识的提高,建设者将得心应手,解决可能遇到的地质问题,避免工程的重大失误。

2. 工程地质学与其他学科的关系

工程地质学是土木系低年级学生的课程,一般是在土力学、岩石力学、基础工程学之前开设的。但是本课程又不同于传统的地质学课程,是地质学与工程之间相互沟通的桥梁。地质学是本课程的基本内容,学生要了解地质的发生、发展规律和地质工作的方法;但是与土力学、岩石力学又密切相关,因而为了教学的目的,介绍了土质学内容,考虑到一些院校不开出岩石力学课程,而地质学又与岩石关系密切,对此作了适当的叙述。

《土木工程地质学》是阐述土木工程活动与地质环境相互关系的学科,它是由地质学派生的,与其相近的有《环境工程地质学》、《海洋工程地质学》、《军事工程地质学》以及《地震工程地质学》等分支学科。

与课程较密切的学科有:土力学、岩石力学、水文地质学、基础工程学、施工技术、地下工程、各类构筑物、勘察技术、岩土试验技术、地质力学模型试验、地震工程学等。

3. 学习要求与方法

为了学好这门课程,应结合课堂教学开出有关矿物、岩石的实验课程,要求能鉴别、分别认识 20 余种常见岩、矿;要使学生掌握肉眼鉴定的方法,了解各类岩石形成的条件;安排短期的野外地质踏勘,参观勘探现场,对了解地貌、地质构造、岩土类别有帮助,有条件时最好结合已有的地质图或已有的工程进行分析。

要培养学生有阅读地质图和分析地质条件的能力。要求学生对工程地质问题能进行初步评价,避免死记地质学的术语。引起学生对地质学的重视和兴趣是教学的成功所在。

本书共十一章,其中有八章是阐述地质学的基础内容,也结合工程进行分析;后三章是介绍与工程有关的问题,地质工作的方法,以及解决地质问题的一些具体方法。

对不同专业的学生可以适当取舍,教学时间也可伸缩,有些内容可留待学生自学。

地质学是人民的科学,人类生存的地球是人们的巨大实验室。千变万化的山川、平原、海洋是人类活动的舞台,人类的工程活动将改变地质环境使更适合于人类的生活,奇异多彩的大地景观吸引着人们去观赏和探索。

第一章 地质学概论

(Introduction of Geology)

地质学是研究地球的一门学科,而工程地质学是研究工程建筑与地质环境相互关系的学科。大量的工程建筑都在地球的表层,地貌形态的千差万别都是各种内、外地质作用的结果。现在的地球外貌是经历漫长的地质历史发展、演变而成的。为此工程建设者对地质学的了解是很必要的。

1.1 地球的构造 (The Structure of Earth)

地球是太阳系的一员,而太阳只不过是银河系中的一颗普通恒星;地球是绕太阳转动的一颗普通的行星,是无限宇宙中的成员之一。

1.1.1 地球的形状和大小

19 世纪以来,人们已认识地球是一个两极扁平、赤道突出的椭球体;但经卫星测试,地球外形像一个“梨状体”(图 1-1),其南极内凹 24m,北极外突 14m。

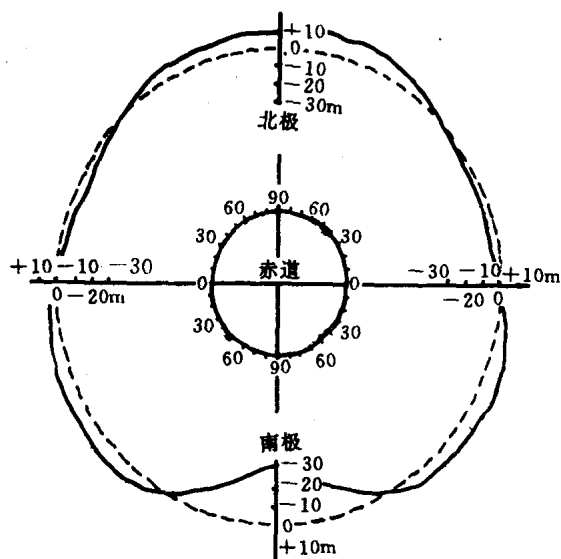


图 1-1 地球体剖面(实线)与旋转椭球体(虚线)的关系示意图(形状是夸张的)

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 6378.160km;极半径 6356.755km;扁平率 $1/298.25$;表面积 $51 \times 10^8 \text{ km}^2$;体积 $10820 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。

1.1.2 地球的圈层构造

工程活动常在地球表面进行,如工业与民用建筑一般在浅层(深几十米以内),地下工程有时深达几百米(如深埋隧道)至上千米,井巷工程则深达上千米,而油井的深度可深达几千米。实际上是活动在地壳的表层,而地壳表层是岩土构成。对地球各圈层的了解,可以认识地球的发展。

1. 地球圈层的分化 地球内部可明显地分为地核、地幔和地壳 3 个部分。地核由比重大的 Fe、Ni 组成;地幔由中等比重的 Fe、Mg 的硅酸盐组成;地壳由比重轻的 Si-Mg、Si-Al 质组成。

地球内的一切元素都源于恒星的演化。数十亿年前,从太阳星云中分化出来的原始地球是一个较均质的物体。主要由 C、O、Mg、Si、Fe、Ni 等元素组成的各种物质没有明显的分层。随后圈层的分化与温度变化关系密切。放射性元素的辐射能在地球内部积累,从而温度升高,使物质具可塑性,再加上重力作用,物质发生分异,形成性质不同的圈层。

由于向地球深处升温($33.03^{\circ}\text{C}/\text{km}$)，一定深度处的物质发生熔融，其中 Fe、Ni 首先熔融，其余的 Fe、Mg 硅酸盐成分发生转化。在热胀和引力收缩作用下，内部物质开始对流、分异，比重大的 Fe、Ni 呈熔融状沉向地心，同时发生压缩，又使地球局部增温、熔化。在 $500\sim 1000\text{km}$ 深处形成一个熔融带，导致更大规模的对流和分异。最后，约占地球质量三分之一的 Fe、Ni 物质分化后，在地心聚积而成地核。Fe、Mg 硅酸盐物质上浮，集中于地球的上层，形成地幔。地幔的表层，由于放射热散失及挥发性物质的逸散，迅速冷却而形成厚度很薄及刚性不大的硬壳，它就是地壳的胚胎。它覆盖在地幔之上，很不稳定，受到从地幔中分熔出来的物质继续冷凝后，便逐渐演变成地壳。

在上述分化过程中，逸散出的气体形成了地球最外圈的大气圈。地球形成之初，其原始大气主要是由 CO_2 、 CO 、 CH_4 和 NH_3 等组成的。绿色植物出现以后，植物在光合作用中放出的游离氧对原始大气发生缓慢的氧化作用，使 CO 变为 CO_2 ， CH_4 变为水汽和 CO_2 ， NH_3 变为水汽和 N_2 。光合作用持续进行， O_2 又从 CO_2 中逐渐分离出来，最终形成了以 N_2 和 O_2 为主要成分的现代大气。

地球上的水主要从大气中分出来。早期大气含有大量水汽。由于温度逐渐降低，及大气中含有大量尘埃微粒，一部分水汽便凝结成液态水降落地面，然后汇聚在洼槽中，形成原始水圈。后来，由于水量增加和地表形态变化，原始水圈逐渐演变成为像今天的海洋和河湖沼泽。

在原始的地壳、大气圈和水圈中，早就存在着碳氢化合物。后来，原始生物出现了，它们逐渐扩展到陆地和低层大气中，演变、进化，形成了生物圈。

根据地球物理学、地球化学和其他地球科学的研究，现在已经获得了大量有关地球构造的知识。地球从外部边缘到地心的圈层构造，如表 1-1。

表 1-1 地球的圈层

层 次	厚 度 (km)	体 积 ($\times 10^{27}\text{cm}^3$)	平均密度 (g/cm^3)	质 量 ($\times 10^{27}\text{g}$)	质 量 (%)
大 气 圈				0.000005	0.00009
水 圈	3.80	0.00137	1.03	0.00141	0.024
生 物 圈*					
地 壳	35	0.015	2.8	0.043	0.7
地 幔	2865	0.892	4.5	4.054	67.8
地 核	3471	0.175	10.7	1.876	31.5
全部地球	6371	1.083	5.52	5.976	100.0

* 生物圈质量很小，并渗透于水圈、大气圈等圈层中。

2. 地球的外圈层 外圈层指大气圈、水圈和生物圈。

1) 大气圈 是地球的最外圈层，其上界可达 1800km 或更高的空间。

自地表到 $10\sim 17\text{km}$ 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。它对地球上生物生长、发育和地貌的变化起着极大的影响。

大气圈的主要成分是 N_2 (78%) 和 O_2 (21%)，其次是 Ar (0.93%)、 CO_2 (0.03%) 和水蒸汽等。大气圈提供生物需要的 CO_2 和 O_2 等，在适宜于生命活动的温度、湿度条件下，保护生物免受宇宙射线和陨石的伤害。约在 4 亿多年前，高空的臭氧层形成，遮挡了对生物有害的大量紫外线，为陆生植物的生长创造了有利条件。

2) 水圈 是由大气圈的大量水蒸汽形成的。水圈主要是由海水构成。

海洋面积占地球总面积的 71%, 为 $36200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在陆地分别有河流、湖泊, 还有地下水。因此, 也应将水圈看成是地球的一个具有连续性分布的圈层。地球表面水圈的存在, 对生命的起源, 生物界的演化、发展曾起过十分重要的作用。水与大气及地表岩石中的各种物质相互作用, 产生各种沉积物、矿物及可溶性盐。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 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 $1/1000000$ 。但是, 生物圈对于改变地球的地理环境却起着重要的作用。生物所生产的物质是人类的重要财富。生物富集的化学元素主要是 H、O、C、N、Ca、K、Si、Mg、P、S、Al 等。有机界和无机界在地表的相互作用还形成一个独特的土壤层。

3. 地球的内圈层 根据对地震波在地下不同深度传播速度的分布的研究, 地球内部的圈层构造可以分为 3 层, 即地壳、地幔和地核。

1) 地壳 是指地表至莫霍面之间厚度极不一致的岩石圈的一部分。地壳下部, 地震波的传播发生突变, 说明那里存在着一个界面。南斯拉夫的地球物理学家(A·Mohorovičić, 1857—1936)首先发现这个分界面, 所以现在通称莫霍洛维奇面, 简称莫霍面(Moho)。应该指出, 莫霍面虽是全球性的, 但其深度在各地并不一致, 在大陆下较深, 约为 $20 \sim 70 \text{ km}$, 大洋底下平均为 $5 \sim 8 \text{ km}$ 。因而各处地壳厚度不同, 大陆地壳厚而大洋地壳薄。大陆的地壳平均厚度为 35 km , 我国的青藏高原, 地壳厚度达 70 km 左右。

2) 地幔 莫霍面以下, 深度为 $35 \sim 2900 \text{ km}$ 的圈层, 就是地幔。地幔分上下两层。上地幔深度 $35 \sim 1000 \text{ km}$, 主要由橄榄岩质的超基性岩石组成。这层岩石比较软, 是高温熔融的岩浆发源地, 也称为软流层。下地幔深度 $1000 \sim 2900 \text{ km}$, 可能比上地幔含有更多的铁。由上地幔到下地幔, 密度由 3.31 g/cm^3 增加到 5.62 g/cm^3 。

3) 地核 分为两层, 地表以下 $2900 \sim 4980 \text{ km}$, 叫外地核, 据推测可能是液态的, 主要由熔融的铁和镍的混合物组成, 其中还包含少量的 Si 及 S 等轻元素。 $4980 \sim 5145 \text{ km}$ 深处, 是内外两层的过渡带。而由 5145 km 直到地心则为固体的内地核, 据推测, 组成内地核的物质的化学成分与铁陨石相似(图 1-2)。

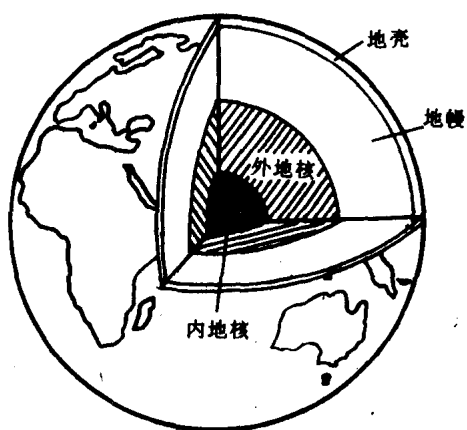


图 1-2 地球的内部构造

按照新的板块构造学说, 全球地壳并不是一个整体, 而是被一些构造活动带如大洋中脊和裂谷、海沟、转换断层等分割成若干个相互独立的巨大构造单元。这些构造单元, 称为板块。这些板块彼此间又分别以不同的方向和速度, 在地幔软流层上漂移, 滋生出许多地壳运动。目前认为, 对全球构造的基本格局起控制作用的有 6 大板块: 太平洋板块, 欧亚板块, 美洲板块, 非洲板块, 大洋洲板块和南极洲板块。除这 6 大板块外, 还可划分出许多较小的板块(图 1-3)。

地壳运动主要起因于地幔物质的对流。对流发生在地幔上部的软流层。虽然地震波资料表明地幔是固态的, 但如果考虑到地幔岩石在长时间(几百万年以上)的高压力持续作用下, 则即使是固体也可能发生流动。因而地幔软流层中的物质在温度差和密度差的影响下就能发生对流, 其速度约每年 1 厘米至几厘米。



图 1-3 地球表层巨大板块的划分

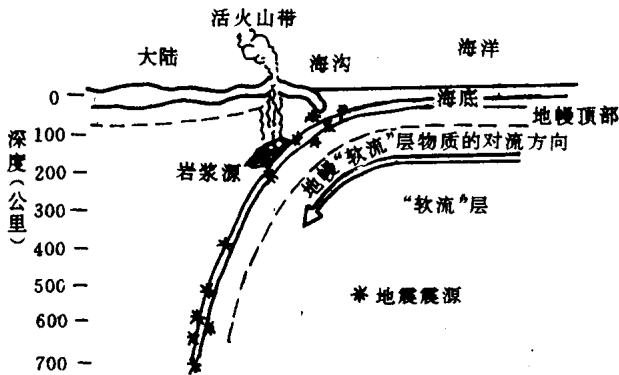


图 1-4 海底连同地幔顶部在海沟处重新返回地幔深部示意图

直接证据,有些问题尚缺少完备的论述,或者尚未圆满解决,总之,板块构造学说并不是十全十美的,还有待于进一步探索。

1.2 地质作用(Geological Function)

地球形成以来,一直处于不断地运动和变化之中。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。“沧海桑田”已成为古人之见。坚硬的岩石破裂粉碎成为松软泥土,而松软泥土又可不断沉积形成新的岩石。由自然动力引起地球和地壳物质组成、内部结构和地壳形态不断变化和发展的作用,称为地质作用。

有些地质作用进行得十分迅速,在短时期内就发生急剧的变化。如地震和火山爆发;有些地质作用却进行得非常缓慢,往往不易被察觉。如华北大平原据钻探资料证实从第四纪(200万年)以来,已下沉达 1000 多米。许多自然现象证明:各种地质作用既有破坏性,又有建设性。在破坏中进行新的建设,在建设中又同时遭到破坏。地质作用是靠自然动能引起的,这种动能可来自地球外部,也可来自地球本身。按照自然动能的来源不同,地质作用可以简分为内力地质作用和外力地质作用。内力地质作用的能源,主要是地球的公转及自转产生的旋转能、重力作用形成的重力能、放射性元素蜕变等产生的辐射热能。此外,尚有各种岩石生成时的结晶能和化学能等。外力地质作用是来自地球以外的动能所造成的,其中主要是太阳的辐射能。因为

海洋中海岭是对流物质的上升区。地幔对流层中的物质由此上升涌出,形成新的海底,并向两侧扩张,而将旧的海底推向对流物质的下降区,也就是海洋中的海沟或活动的大陆边缘。海底及其上面的沉积物一部分受到挤压、变质,与大陆熔结在一起。另一部分则又沉没到地幔中去,返回软流层。海底及地幔顶部随同其下的软流层向大陆板块俯冲,导致海沟及其边缘的岛弧发生强烈地震和火山活动(图 1-4)。

以上简单地介绍了地球内部的 3 个圈层和板块学说的基本观点。板块构造学说是全球构造的理论,标志着地质学的革命性变革。它刷新了人们对建立在大陆地质研究基础上形成的许多分离的地质学分科,又纳入到综合研究的轨道。它发现了过去认为各自独立的地质作用之间的内部联系,对这些地质现象作出了合理的解释,把地质科学的发展推到一个崭新的阶段。然而,科学是无止境的,在发展的道路上总会遇到新问题,板块构造学说也同样如此。有些问题缺乏

有了太阳的辐射能,才产生大气环流,形成水的循环,动植物的生长和演变,冰川才能运动,海洋才能发生波涛等等。大气圈、水圈和生动物圈的运动,必然引起岩石圈,特别是引起地壳上矿物和岩石的破坏、搬运和堆积的作用。使高山夷为平原,并不断向海洋发展。此外,日月引力也能产生外力地质作用,如月球对地球的吸引产生潮汐作用。

1.2.1 内力地质作用

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

1. 地壳运动 是指地壳的隆起和拗陷,海、陆轮廓的变化,山脉、海沟的形成,以及褶皱、断裂等各种地质构造的形成和发展。地壳运动按其运动方向可以分为水平运动和升降运动。

1) 水平运动 是地壳大致沿地球表面切线方向的运动。水平运动表现为岩石圈的水平挤压或引张,以及形成巨大的褶皱山系和地堑、裂谷等。

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,一致认为它在大约1000万年时间里,断层西盘向西北方向移动了400~500km,现代仍在继续变形和位移。我国的郯一庐大断裂也有过巨大的水平的错动。

2) 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,形成大型的隆起和拗陷,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。在同一个地区不同时期内,上升运动和下降运动常交替进行。最明显的例子是意大利那不勒斯湾的塞拉比斯庙废墟。在其残留的3根大理石柱(高12m)上记录了自公元前105年至1955年的地质遗迹,反映了两千多年中的沧桑(火山活动、海陆变迁)。

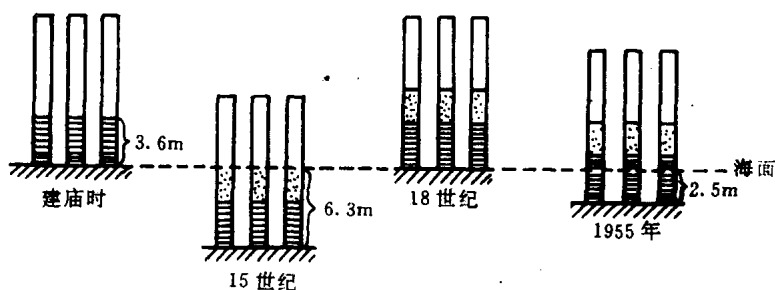


图 1-5 三根大理石柱的升降变化示意图

石柱上横线代表被火山灰覆盖部分;小点代表被海生动物钻孔部分。升降或水平运动在各地质时期是不同的,板块运动理论认为地壳以水平运动为主导,升降运动是伴生现象。

2. 岩浆作用 火山观察可知,岩浆温度高达1000℃,由硅酸盐及部分金属氧化物、硫化物和挥发组分组成的熔融物质,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。从岩浆的形成、运动、演化、冷凝形成火成岩的全部过程称岩浆作用。岩浆喷出地表的现象称火山作用。火山作用有2种,从火山口喷出时称中心式喷发,形成的锥形体称火山锥;另一种称裂隙式喷发,形成熔岩或熔岩高原;熔融岩浆冷凝后形成熔岩或火山岩。在其它地层内侵入、冷凝形成的岩石称侵入岩。

3. 变质作用 已经形成地壳的各种岩石,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变质岩。

4. 地震作用 地壳中发生的地震绝大部分是由地质构造作用引起;另外,火山作用、喀斯特区及地下开采区的塌陷、人工爆破(如地下核爆破)都可产生地面的振动,称为地震。

世界每年发生有 500 万次人们不易觉察的小震,而破坏性的地震每年约有几十次,给人类造成灾难,世界性的有灾地震见表 1-2。

表 1-2 世界灾难性的地震(据 J. E. Sanders)

日 期	地 点	震 级	日 期	地 点	震 级
1456	意大利那不勒斯		1923	日本	8.2
1556	中国陕西		1933	日本	8.5
1716	阿尔及利亚		1939	智利康塞普西翁	8.3
1755	葡萄牙里斯本		1950	印度北阿萨姆	8.6
1759	黎巴嫩巴勒贝克		1960	智利(三个主震)	8.3-8.9
1783	意大利卡拉布里亚		1964	阿拉斯加威廉王子海峡	8.6
1891	日本		1970	秘鲁	7.8
1899	阿拉斯加亚库塔特	8.6	1972	尼加拉瓜乌那瓜	5.7
1905	印度坎格拉	8.6	1974	巴基斯坦	6.3
1906	哥伦比亚安第斯山	8.6	1975	土耳其安卡拉	6.8
1906	智利	8.4	1975	夏威夷希洛	7.3
1906	美国旧金山	8.25	1976	危地马拉	7.9
1908	意大利黑西拿	7.5	1976	中国唐山	7.8
1911	中国天山	8.4	1977	罗巴尼亚费朗恰	7.2
1915	意大利阿韦塞诺		1978	伊朗塔巴斯	7.7
1920	中国甘肃	8.5			

内力地质作用形成了地球的外部轮廓和内部的构造,但还在不断演变之中。

1.2.2 外力地质作用

外力地质作用的因素是大气、水、生物、人类的工程活动。受到太阳辐射能、重力、日月引力的控制。这些作用,使岩石破坏,剥蚀构造作用形成各种地貌,并使岩石破坏后的产物(碎石、土)经各种营力(水流、风、冰川、海洋波浪、洋流)的作用,将物质搬运,然后沉积下来。

外力地质作用起到了地球雕塑家的作用。

1. 风化作用 在地表或接近地表的条件下,自然界的岩石和矿物受大气、水和生物等因素影响,在原地发生机械崩解或化学分解,从而形成松散或松软堆积物的过程称为风化作用。

暴露在地表或接近地表的自然环境与地下深处的自然环境迥然不同,即岩石所处条件由高温高压、缺乏游离氧,变为常温常压,温度年、日变化频繁,又有充足的 O_2 、 CO_2 、 H_2O 及生物的作用,因而岩石不稳定,逐渐产生变化或破坏。这种变化或破坏表现为整块岩石变为碎块或碎屑,或岩石的化学成分和矿物成分发生改变,从而使坚硬的岩石最终变成松散或松软的碎屑和土。有人类以来古建筑墙垣的圯颓,岩壁上古代的雕刻以及墓碑的字迹变模糊,也是由风化作用所造成的。根据风化作用方式的不同,可分为物理风化、化学风化及生物风化作用 3 类。

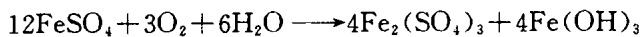
1) 物理风化作用 又称机械风化作用。是指岩石、矿物在地表自然环境中原地产生单纯的机械破碎。发物理风化作用的因素很多,其中最主要是岩石释重和温度的变化。岩石释重会引起岩石膨胀,温度的变化会引起岩石的膨胀与收缩。此外水的冻结与融化、盐类的结晶与潮

用,使 Fe^{2+} 变成 Fe^{3+} ,如黄铁矿经氧化可变成褐铁矿。



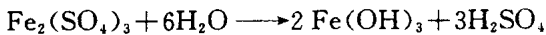
黄铁矿

硫酸亚铁



硫酸铁

褐铁矿

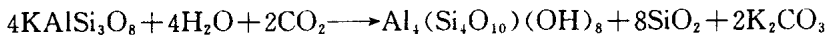


褐铁矿

硫酸

在地壳表层的岩石和土,风化后其表面多呈现黄褐(铁锈)色就是含有褐铁矿的缘故。

⑤碳酸化作用 正长石变为高岭土也可经碳酸化作用而形成。



正长石

高岭土

即当水中有 CO_2 时形成的弱酸 H_2CO_3 可对正长石发生变化,变化后除高岭土留在原地外, K_2CO_3 和 SiO_2 (胶状) 均被水带走。

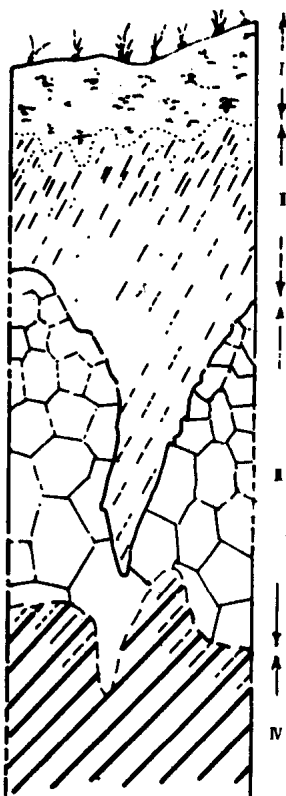


图1-8 周口店花岗闪长岩的风化壳(据胡家杰)

I—土壤; II—残积层;

III—半风化岩石; IV—

基岩

3)生物风化作用 生物在地表的风化作用相当广泛,它对岩石的破坏既有物理的,又有化学的。

如植物根楔入岩石裂隙而使岩石崩裂,植物根不断生长,其根系不断深入的破坏称为根劈作用。

动物对岩石也能破坏,一些动物如穿山甲、田鼠、獾等穴居动物以及蚂蚁、蚯蚓不停地穿凿、翻土;人类的生产活动对岩石的破坏更为严重,如大规模地砍伐森林,使岩石更易发生风化,并产生水土流失,有时成为发生洪水和泥石流的原因之一。另外,生物的新陈代谢、其遗体以及其产生的有机酸、碳酸、硝酸等均能对岩石产生腐蚀作用。

物理风化、化学风化结果使地表岩石彻底破坏,最后变为土层。

4)风化壳 经风化后的岩石形成的风化产物在地表成一个不连续的不厚的覆盖岩土层称为风化壳。

风化壳上面是土壤层,其下为风化层,其厚度自数厘米至数十米,甚至百米以上,它的厚度与地形、气候、岩性、构造密切相关。风化作用总是从地面向地下深处渐减的,所以风化壳有垂直分带性,一般分3个带(图1-8)。

①土壤层 经造壤作用使原岩彻底分解成细小颗粒,并含有细菌、腐植质、水及空气;②残积层 在土壤层之下,由残留的岩屑、粘土、未彻底风化的矿物等组成。湿热地区的残积层非常厚;③半风化岩石 残积层之下,岩石受风化作用逐渐减弱,还大致保留岩石结构和构造,或由未经化学风化的岩块、碎石组成,岩石由强风化、中等风化、微风化而至新鲜基岩。

(5)岩石风化程度的划分 按岩石风化后的工程性质,建筑地基基础设计规范规定分为3类,即微风化、中等风化和强风化,表1-3。当岩石全部风化即变为残积土;水利工程将岩石风化分为5个等级。

表1-3 岩石风化程度的划分

风化程度	特 征
微风化	岩质新鲜,表面稍有风化迹象
中等风化	1. 结构和构造层理清晰 2. 岩体被节理、裂隙分割成块状(20~50cm),裂隙中填充少量风化物。锤击声脆,且不易击碎 3. 用镐难挖掘,岩芯钻方可钻进
强风化	1. 结构和构造层理不甚清晰,矿物成分已显著变化 2. 岩体被节理、裂隙分割成碎石状(2~20cm),碎石用手可以折断 3. 用镐可以挖掘,手摇钻不易钻进

多数情况,岩石的风化分带有渐变性,有时缺少其中某一类。它的垂直风化分带有时是不规则的,而这决定于岩性和构造条件。从工程角度,岩石随着风化程度的加深而工程性质变差。

4. 地表流水的地质作用 大气降水在汇水区域形成的水流顺地面的最大坡向流动,有片流、洪流和河流3种方式。

在地面汇合成网状薄水层顺自然坡均匀流动的水流称片流。片流冲刷松散的土层,水流搬运物质在坡脚堆积形成坡积物。当水流在刻出的沟槽中流动,逐渐汇成洪流,其水流的冲刷能力加强,洪流中携带的碎屑物质在山前或山坡的低平地带形成扇形堆积,称洪积扇。当水源补给充足,流水在冲沟中长年流动逐渐形成河流。河流水源可能是地表水、融雪水、湖水和地下水

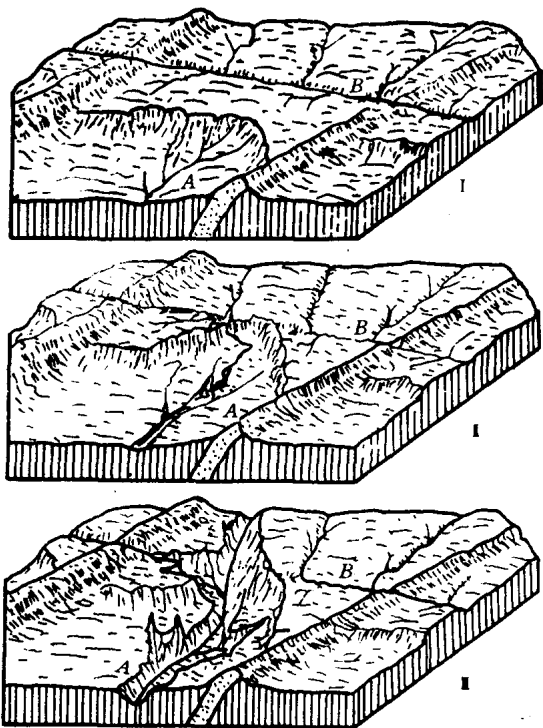


图1-9 河流袭夺原理(据 W. M. Davis)

1 支流 A 向源侵蚀; 2 B 河流被袭夺; 3 A 河河谷加深、延长

河流的发展受地形、地质、气候、岩性、构造等自然条件的控制,在不同地区、不同部位形成不同的河谷地貌。

1) 河流的侵蚀作用 河流自高处流向低处,以其动能不断破坏河床,这个过程叫侵蚀作用。

①侵蚀方式 在可溶盐岩石分布地区,长期水流可对其产生溶蚀作用;水流的冲击力可刻蚀岩石,当岩石越松碎,水流速越大,其破坏越强烈;河水携带固体泥沙不断磨蚀河床。

②侵蚀方向 水流向河床底部侵蚀,可形成急流和瀑布,并有溯源侵蚀倾向。

由于河流的水量、地面坡度、岩性、构造等因素,各条河流向源侵蚀的速度不同,当在分水岭处,侵蚀能力大的河流会袭夺侵蚀能力小的河流,使谷底高的河流注入,图1-9。

河流不断侵蚀的下限是海平面,称侵蚀基准面。

除了垂向侵蚀以外,由于水流的惯性以及地球自转产生的科氏力,使河流侧向侵蚀,形成凸岸和凹岸,以及蛇曲现象,裁弯取直后又