

面向 21 世纪教材

土木工程 地质学

主编 史如平 戚筱俊 张景德
主审 孔宪立

TUMU

GONGCHENG

DIZHIXUE

江西高校出版社



面向 21 世纪教材

土木工程 地质学

主编 史如平 戚筱俊 张景德
主审 孔宪立

TUMU
GONGCHENG
DIZHIXUE

图书在版编目(CIP)数据

土木工程地质学/史如平,戚筱俊,张景德主编.
南昌:江西高校出版社,2004.8
ISBN 7-81075-433-5

I.土… II.①史… ②戚… ③张… III.土木工程-工程地质学-高等学校-教材 IV.P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004) 第 074958 号

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道 96 号)

邮编:330046 电话:(0791)8592235,8504319

江西太元科技有限公司照排部照排

江西教育印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 15 印张 374 千字

印数:1~4000 册

定价:21.00 元

(江西高校版图书如有印刷、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(工民建、道桥、水利水电工程、城规、给排水工程、环境工程、港口工程、地下工程和建经等专业)本科学生提供了必需的地质学和工程地质学的基础理论和基本原理;系统阐述了土木工程中各类工程地质问题及其分析、评价方法,提供了与国家最新技术规范相衔接的技术知识。

全书共分十一章,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、不良地质体的加固和处理等。全书内容丰富、深入浅出、循序渐进,概念和思路交代严密清晰,有利于学生掌握要领、融会贯通。

本书除可作为高等院校土木类各专业本科教材外,还可供从事土木工程岩土工程研究和建设的广大工程技术人员和科研人员参考。

前 言

本书是国内首部能适应高等院校土木类各专业(工民建、道桥、水利水电工程、城规、给排水工程、环境工程、港口工程、地下工程和建经等专业)的“工程地质学”本科教材。编审组13名成员中有12名教授,均是国内各高校具有丰富教学经验的资深教授,可谓是强强组合。本书的章节内容经过精心系统设计,符合我国高校学科专业和课程体系大调整新要求及其大土木各专业本科新的培养目标和专业要求,是面向21世纪的高校本科特色教材。

本书由浙江工业大学史如平教授、清华大学戚筱俊教授和南昌大学张景德教授合作主编,同济大学孔宪立教授主审。

本书由戚筱俊教授、张景德教授统稿和定稿。

本书编写分工:浙江工业大学史如平教授编写绪论和第十一章,邱良佐教授编写第二章;清华大学戚筱俊教授、薛福副教授编写第一章;南京建筑工程学院毛丽珠教授编写第三章,贺大印教授编写第五章,魏琅教授编写第九章;大连理工大学金春山教授编写第四章;南昌大学张景德教授编写第六章;河海大学陆兆溱教授编写第七章;云南工学院张安康教授编写第八章;沈阳建筑工程学院陈曦教授编写第十章;戚筱俊教授、张景德教授编写各章思考题。

本书在编写、出版过程中得到了国内许多高校教师和工程地质界专家(黄乃安、马天骏、张元欣、刘培泰、臧传琦、陈克俭、黄成佳、王纯瑾、徐志伟、王乃光等人)的热情帮助,提供了许多宝贵意见和资料,在此深表诚挚感谢。

书中缺点错误在所难免,诚恳地欢迎广大师生不吝指正。

编著者

2004年7月于杭州

目 录

绪论	(1)
第一章 地质学概论	(3)
1.1 地球的构造	(3)
1.2 地质作用	(6)
第二章 岩石学基础	(18)
2.1 主要造岩矿物	(18)
2.2 岩石类型及其工程地质特征	(21)
第三章 土质学	(35)
3.1 土的成因类型及其工程地质特征	(35)
3.2 土的物质组成	(38)
3.3 土的物理性质和力学性质	(45)
3.4 中国特殊土的主要工程地质性质	(51)
第四章 地质构造	(57)
4.1 地壳运动	(57)
4.2 地质构造	(60)
4.3 地质图的阅读和分析	(71)
4.4 区域稳定性	(73)
第五章 地下水	(80)
5.1 地下水的基本概念	(80)
5.2 地下水的水质	(87)
5.3 地下水的运动	(91)
5.4 地下水与工程建设	(97)
第六章 岩体的稳定性分析	(103)
6.1 岩体结构分析	(103)
6.2 岩体的工程地质性质	(108)
6.3 岩体的质量分级和工程分类	(110)
6.4 岩基的变形特征和承载能力	(113)
6.5 岩体的稳定性分析	(119)

第七章 滑坡和边坡岩体稳定性分析	(129)
7.1 边坡变形破坏的类型	(129)
7.2 滑坡的形态特征和分类	(132)
7.3 地质分析法判识滑坡	(135)
7.4 滑坡勘察和监测	(137)
7.5 边坡岩体稳定性分析	(139)
7.6 防治边坡变形破坏的工程措施	(147)
7.7 滑坡实例	(148)
第八章 喀斯特(岩溶)	(153)
8.1 岩溶的个体形态特征	(153)
8.2 岩溶发育的基本条件	(154)
8.3 岩溶的类型	(155)
8.4 岩溶的发育、分布规律和发育程度分级	(156)
8.5 岩溶与工程建设	(160)
第九章 不同类型工程的地质问题	(168)
9.1 城市规划和建设中的工程地质问题	(168)
9.2 道路、桥基的工程地质问题	(175)
9.3 隧道、地下建筑的工程地质问题	(177)
9.4 水工建筑物的工程地质问题	(182)
9.5 海港及离岸工程的工程地质问题	(184)
9.6 环境工程地质	(186)
第十章 工程地质勘察	(190)
10.1 概述	(190)
10.2 工程地质测绘	(193)
10.3 工程地质勘探	(196)
10.4 工程地质野外试验	(201)
10.5 工程地质长期观测	(208)
10.6 工程地质勘察资料的整理	(210)
第十一章 不良地质体的加固和处理	(215)
11.1 灌浆法	(215)
11.2 锚固法	(220)
11.3 千斤顶法	(227)
11.4 场地土的改善	(228)
参考文献	(232)

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,对地质的要求也越来越高,因而土木工程师对地质学进行深入了解是很必要的。自然界的规律人们必须了解、利用和因势利导,很多古今中外的工程事例可以说明土木系中开设工程地质学这门课程是很需要的。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 地球上很早就有人类的工程活动,在 15000 年以前的石器时代人类已经开始在地下开矿,公元前 2000 年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,由于当时的工程单位没有听取法国地质学家的预言,使运河多次出现山崩、滑坡,多花费了 5 年的时间,加挖了 $5.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 的土石方(占总开挖量的 40% 以上),仅停航损失就达 10 亿美元。

世界上因地质问题而溃坝之事时有发生,其损失是惨重的。

1959 年法国马尔巴塞薄拱坝(Malpasset Arch Dam)的破坏(一个村镇被毁)以及 1963 年意大利 Vajont 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 年瑞士地质学家 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 年法国人 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,每年 10 月大型欧洲工程地质学术会议在奥地利的 Saltzberg 举行;法国人 J. A. Talbore 于 1957 年写出《岩石力学》专著,阐述岩石的力学特性与工程的关系;1972 年 C. Jaeger 在英国写出《岩石力学与工程》一书;1983 年 R. F. Legget 又出巨著《土木工程的地质学手册》。

我国学者于 20 世纪 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》;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,建设者将得心应手地解决可能遇到的地质问题,避免工程的重重大失误。

2. 工程地质学与其他学科的关系 工程地质学是土木类各专业学生的技术基础课程,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;工程地质学侧重阐述前第四系地质体环境与工程建设的关系及有关的地质问题,而土力学则侧重阐述第四系土体环境与工程建设的关系及有关的地基问题,两者均是土木类各专业学生必须学习的知识,它们均是基础工程学的基础知识,而岩石力学则侧重阐述工程建设物与地质岩体之间有关力学问题的专门知识。

土木工程地质学是作为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。

此外,与本学科较密切的学科还有:水文地质学、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. 学习要求和方法 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,要求能鉴别二十余种常见岩、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实习,踏勘工程现场,参观勘探现场,了解和分析地貌、地质构造、岩土类别、工程特性、利用方法,有条件时最好结合已有的地质图或已有的工程进行分析。

要培养学生阅读地质图和分析地质条件的能力。要求学生能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。

本书共分十一章,其中有八章阐述地质学的基础内容,也结合工程进行分析;后三章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巨大的实验室。千变万化的山川、平原、海洋是人类活动的舞台,人类的工程活动将利用和改变地质环境,使其更适合人类的生活,使奇异多彩的大地景观更吸引着人们去观赏和探索。

思考题

1. 简述地质学与土木工程的关系。
2. 简述何谓土木工程地质学。
3. 简述工程地质学与其他学科的关系。

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进行了解是很必要的。

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。

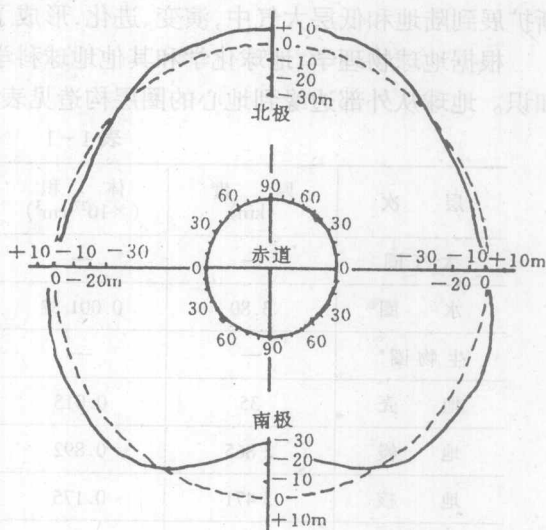
1.1.1 地球的形状和大小

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”,其南极内凹 24 m,北极外突 14 m(图 1-1)。

通过大地测量及地球卫星测量,有关地球的主要数据为:赤道半径为 6378.160 km,极半径为 6356.755 km,扁平率为 $1/298.25$,表面积为 $51 \times 10^8 \text{ km}^2$,体积为 $10820 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。

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(如深埋隧道)有时深达几百米至上千米,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,工程活动在地壳的表层进行,而地壳表层是岩土构成的。通过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、地幔和地壳三个部分。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,地壳由比重小的 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,使物质具有可塑性,再加上重力作用,物质发生分异,形成性质不同的圈层。

由于地球深处温度升高(平均 33.03 ℃ /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 500~1 000km 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,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,逸散出来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 CO₂、CO、CH₄ 和 NH₃ 等组成的。绿色植物出现以后,植物在光合作用中释放的游离氧对原始大气发生缓慢的氧化作用,使 CO 变为 CO₂, CH₄ 变为水汽和 CO₂, NH₃ 变为水汽和 N₂。光合作用持续进行, O₂ 又从 CO₂ 中逐渐分离出来,最终形成了以 N₂ 和 O₂ 为主要成分的现代大气。

地球上的水主要是从大气中分离出来的。早期大气中含有大量的水汽。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见表 1-1。

表 1-1 地球的圈层

层 次	厚 度 (km)	体 积 (×10 ²⁷ cm ³)	平均密度 (g/cm ³)	质 量 (×10 ²⁷ g)	质 量 (%)
大 气 圈	—	—	—	0.000 005	0.000 09
水 圈	3.80	0.001 37	1.03	0.001 41	0.024
生 物 圈*	—	—	—	—	—
地 壳	35	0.015	2.8	0.043	0.7
地 幔	2 865	0.892	4.5	4.054	67.8
地 核	3 471	0.175	10.7	1.876	31.5
全部地球	6 371	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 外圈层是指大气圈、水圈和生物圈。

(1)大气圈 是地球的最外圈层,其上界可达 1800 km 或更高的空间。

自地表到 10~17 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作用。

大气圈的主要成分是 N₂(78%)和 O₂(21%),其次是 Ar(0.93%)、CO₂(0.03%)和水蒸气等。大气圈提供生物需要的 CO₂ 和 O₂ 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。大约在 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%,为 $36200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在陆地上分别有河流、湖泊以及地下水。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。岩石圈由岩浆岩、沉积岩、变质岩构成。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. Mohorovicic, 1857-1936 年)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,但其深度在各处并不一致,在大陆下较深,为 $20 \sim 70 \text{ km}$,大洋底下为 $5 \sim 8 \text{ km}$ 。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 ,我国青藏高原的地壳厚度达 70 km 左右。

(2)地幔 在莫霍面以下,深度为 $35 \sim 2900 \text{ km}$ 的圈层,就是地幔,下界面称为古登堡面。地幔分上下两层。上地幔深度为 $35 \sim 1000 \text{ km}$,主要由橄榄岩质的超基性岩石组成。这层岩石比较软,呈热塑状态或熔融状态,是高温熔融的岩浆发源地,也称为软流层。下地幔深度为 $1000 \sim 2900 \text{ km}$,可能比上地幔含有更多的铁,呈热塑状态。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 $2900 \sim 4980 \text{ km}$ 叫做外地核,由于温度更高,据推测外地核可能是液态的,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。 $4980 \sim 5145 \text{ km}$ 的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)。

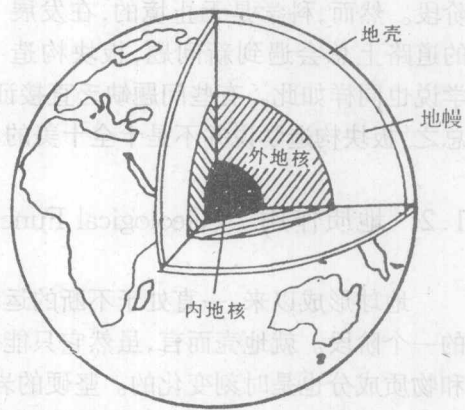


图 1-2 地球的内部构造

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的脊、裂谷、海沟和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(由高温热塑状态的岩石和高温熔融状态的岩浆构成)。地幔软流层中的物质在温度差和密度差的影响下发生对流,其速度为每年1厘米至几厘米。

海洋中的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,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屿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个圈层和板块构造学说的基本观点。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。它使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被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了一个崭新的阶段。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。



图1-3 地球表层巨大板块的划分

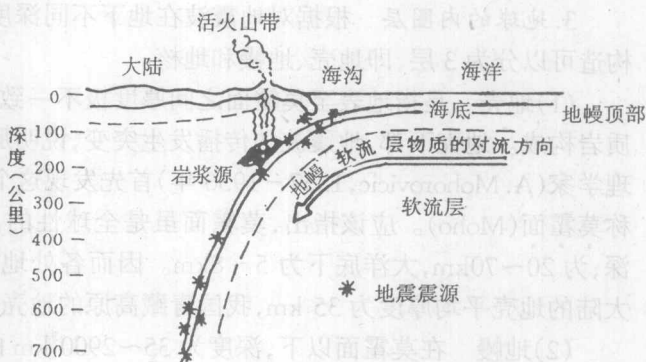


图1-4 海底连同软流层在海沟处重新返回地幔深部示意图

1.2 地质作用 (Geological Function)

地球形成以来,一直处于不断的运动和变化之中。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,但是它的表面形态、内部结构和物质成分也是时刻变化的。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的地壳物质组成、内部结构和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,在短时期内就会发生急剧的变化,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。例如,据钻探资料证实,华北大平原从第四纪(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,在建设的同时又遭到破坏。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、热能等所造成的,其中主要是太阳的辐射能。因为有了太阳的辐射能,才能产生大气环流,形成水的循环,动植物才能生长和演变,冰川才能运动,海洋才能产生波涛,等等。大气圈、水圈和生物圈的运动,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。它包括地壳运动、岩浆及火山作用、变质作用和地震作用。

1.地壳运动 是指地壳的隆起和凹陷,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 是指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,在大约 1000 万年的时间里,断层西盘向西北方向移动了 400~500 km,现代仍在继续变形和位移。我国的郯城—庐江大断裂也有过巨大的水平错动。

(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(图 1-5)。在残留的 3 根大理石柱(高 12 m)上,记录了自公元前 105 年至公元 1955 年的地质遗迹,反映了两千多年的沧桑(火山活动、海陆变迁)。

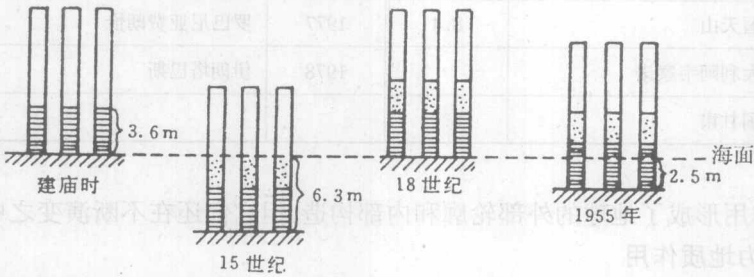


图 1-5 三根大理石柱的升降变化示意图

石柱上横线代表被火山灰覆盖的部分,小点代表被海生动物钻孔的部分。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.岩浆及火山作用 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、冷凝到形成火成岩的全部过程称为岩浆作用。岩浆喷出地表的现象称为火山作用。火山作用有 2 种,从火山口喷出时称为中心式喷发,形成的锥形体称为火山锥;另一种称为裂隙式喷发,形成熔岩或熔岩高原。熔融岩浆冷凝后形成熔岩或火山岩。在其他地层内侵入、冷凝形成的岩石称为侵入岩。

3.变质作用 已经形成地壳的各种岩石,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为变质作用,在该条件下生成的岩石称为变质岩。

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 500 万次人们不易觉察的小震,而破坏性的地震每年有几十次,给人类造成了灾难,世界灾难性的地震见表 1-2。

表 1-2 世界灾难性的地震(据 J. E. Sanders)

日期(年)	地 点	震 级	日期(年)	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	尼加拉瓜马那瓜	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	意大利阿韦察诺		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构造,但它们还在不断演变之中。

1.2.2 外力地质作用

外力地质作用的因素是大气、水、生物和人类的工程活动,并受到太阳辐射能、重力和日月引力的控制。这些作用,使岩石破坏,构造剥蚀,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、水和生物等因素的影响,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 O₂、CO₂、H₂O 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倾圮,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。根据作用方式的不同,风化作用可分为物理风化作用、化学风化作用及生物风化作用 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。发生物理风化作用的因素很多,其中最主要的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、盐类的结晶与潮解,也会使岩石发生崩解。常见的物理风化作用有以下几种:

①剥离作用 岩石是热的不良导体,在阳光、气温的影响下,表面热胀冷缩变化很大,且往深部迅速减小,一般 1 m 以下就完全不受昼夜温差变化的影响。这样就使岩石表层和内部胀缩变化不协调,产生从表层向内部层层剥落的现象,称为剥离作用,使岩石由大块变成小块以致完全碎裂(图 1-6)。一些火成岩或中厚层的岩石,剥离作用往往沿节理从几个方向进行,造成球状或椭球状的剥离,叫做球形风化,如花岗岩、石英砂岩等。

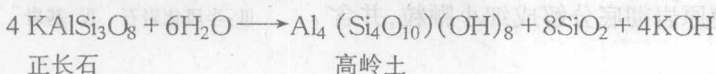
②冰劈作用 在寒冷和高山地区,渗入岩石空隙中的水在温度低于 0°C 时结冰,体积要比原来水的体积增大 $1/11$ 左右,产生的胀压力可达 96 MPa 。随着温度的变化,水反复冻结与融化,致使岩石裂隙不断加深扩大,最后崩裂破碎,这种过程称为冰劈作用(图 1-7)。

③结晶胀裂作用 岩石中含有的潮解性盐类,在夜间因吸收大气中的水分而潮解,变成溶液渗入岩石内部,并将沿途所遇到的盐类溶解;白天在烈日日晒下,水分蒸发,盐类又结晶出来,结晶时体积增大,产生很大的膨胀压力。如此反复进行,使岩石裂隙扩大而造成破坏,称为结晶胀裂作用。这种作用多发生在气候干旱、半干旱地区。如石膏质岩石就有这种作用。

(2)化学风化作用 是指地表岩石受 H_2O 、 O_2 、 CO_2 以及各种酸类的影响,发生化学反应而使岩石破坏,并产生新矿物的作用。化学风化作用有以下几种方式:

①溶解作用 水是一种溶液,常含有 O_2 、 CO_2 以及其他盐类,有一定的溶解能力。很多矿物能溶解于水,但其溶解度大小不同。常见矿物的溶解度由大到小依次为:岩盐、石膏、方解石、橄榄石、角闪石、正长石、黑云母、石英。岩石中含易溶矿物愈多,愈易受风化。

②水解作用 矿物与水作用后形成带有 OH^- 的矿物称为水解作用,造岩矿物大部分都能发生水解,如正长石经水解变为高岭土(Kaolinite)。



正长石

高岭土

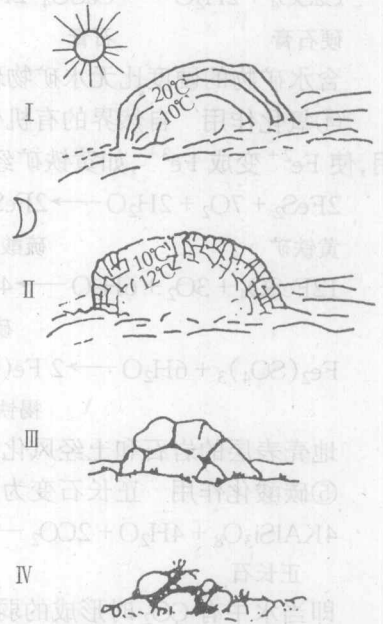


图 1-6 温度变化引起岩石胀缩不均而崩解的过程示意图

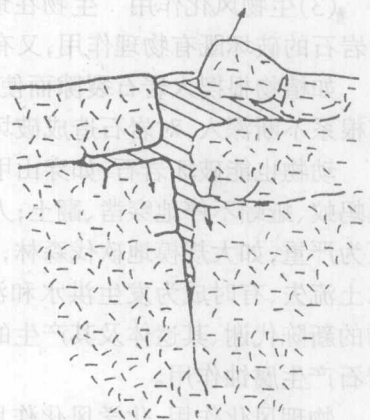
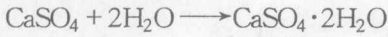


图 1-7 冰壁作用示意图

③水化作用 有些能吸水的矿物,经过反应参加到矿物晶格中,形成含结晶水的矿物,如硬石膏经水化变成石膏。

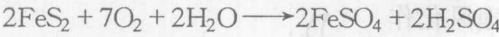


硬石膏

石膏

含水矿物的硬度比无水矿物低,同时水化后矿物体积膨胀,可以加速岩石的崩解。

④氧化作用 自然界的有机化合物、低价氧化物和硫化物在水的参与下最易发生氧化作用,使 Fe^{2+} 变成 Fe^{3+} ,如黄铁矿经氧化可变成褐铁矿。



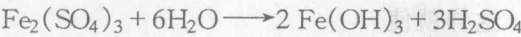
黄铁矿

硫酸亚铁



硫酸铁

褐铁矿

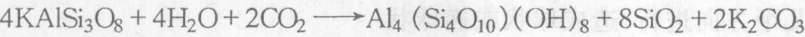


褐铁矿

硫酸

地壳表层的岩石和土经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 可对正长石产生作用,除高岭土仍然留在原地外, K_2CO_3 和 SiO_2 (胶状)均会被水带走。

(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作用,又有化学作用。

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,对岩石造成破坏,称为根劈作用。

动物也能破坏岩石,如穿山甲、田鼠、獾等一些穴居动物以及蚂蚁、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。

物理风化作用、化学风化作用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呈一个不连续的、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、腐殖质、水和空气。

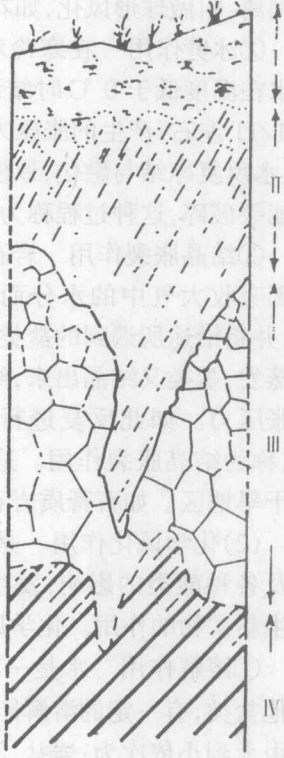


图1-8 周口店花岗闪长岩的风化壳(据胡家杰)

I:土壤层 II:残积层

III:半风化岩石 IV:基岩