



工程地质 与土力学

袁正国 马秋红 于松楠 主 编
刘红军 主 审

东北林业大学出版社

工程地质与土力学

袁正国 马秋红 于松楠 主编
刘红军 主审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质与土力学/袁正国, 马秋红, 于松楠主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2008.3

ISBN 978 - 7 - 81131 - 173 - 0

I. 工… II. ①袁…②马…③于… III. ①工程地质—研究②土力学—研究
IV. P642 TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 026912 号

责任编辑: 张红梅

封面设计: 彭 宇



NEFUP

工程地质与土力学

Gongcheng Dizhi Yu Tulixue

袁正国 马秋红 于松楠 主编

刘红军 主审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张18 字数438千字

2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

印数1—1 000册

ISBN 978-7-81131-173-0

TU·42 定价: 30.00元

前 言

《工程地质与土力学》是高等院校工程管理专业及有关专业的一门重要的专业基础课。目前缺少适合本课程教学的教材,课程内容分布于土木工程专业用的土木工程地质、土力学、地基基础(基础工程)等教材中,这些教材的内容很多且深度、难度较大,不适合工程管理专业本科生教学。本书根据课程教学大纲、学生实际情况,有选择地整合重要知识点,力求使内容丰富、文字简明,符合教学要求和工程实际应用要求。本书结构简单,重点突出,实用性强,覆盖面较宽;书内配有大量图片,能给学生鲜活生动的感性认识;同时每章均有复习思考题和习题,便于学生自学。

本教材共分 11 章,其中 1~5 章为工程地质基础知识,主要包括岩石及其工程地质性质、地质构造、土的成因类型及特殊土、地下水、不良地质作用和地质灾害等;第 6 章为土木工程的一般地质问题;7~10 章为土的物理性质及工程分类、土中应力及地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力等;第 11 章为地基处理。

本书由东北林业大学袁正国、哈尔滨市市政工程设计院马秋红、东北林业大学于松楠主编,哈尔滨学院张田梅、黑龙江工程学院周宪伟参编。其中袁正国编写绪论、第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章;马秋红编写第 2 章、第 3 章、第 4 章;于松楠编写第 5 章、第 6 章;张田梅编写第 7 章;周宪伟编写第 1 章。东北林业大学刘红军副教授任本书主审,并提出了许多宝贵意见。

本书可作为高等院校工程管理、工程造价、建设与房地产等专业工程地质、土力学较少学时的教学用书,也可供有关专业及工程技术人员参考。

本书在编写过程中参考了有关高等院校新编的教材,以及精品课程资源,对于书中所引用文献和研究成果的众多作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中缺点与不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 12 月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 工程地质学与土力学的作用和任务	(1)
0.2 本课程的基本内容与学习要求	(5)
0.3 工程地质学与土力学的发展简况	(5)
1 岩石及其工程地质性质	(7)
1.1 地质作用	(7)
1.2 矿物	(12)
1.3 岩石	(18)
1.4 岩石的工程地质性质指标	(31)
复习思考题	(39)
2 地质构造	(40)
2.1 地质年代	(40)
2.2 地质构造	(43)
2.3 地质图	(56)
复习思考题	(63)
习题	(64)
3 土的成因类型及特殊土	(66)
3.1 风化作用及其松散堆积物	(66)
3.2 地面流水的地质作用及其松散堆积物	(73)
3.3 其他成因的松散堆积层	(81)
3.4 特殊土的工程地质特性	(83)
复习思考题	(91)
4 地下水	(92)
4.1 地下水的基本概念	(92)
4.2 地下水的物理性质与化学成分	(94)
4.3 地下水的类型	(97)
4.4 地下水与工程建设	(106)
复习思考题	(110)
习题	(111)
5 不良地质作用和地质灾害	(112)
5.1 概述	(112)
5.2 滑坡	(112)

5.3	崩塌及岩堆	(122)
5.4	泥石流	(127)
5.5	地震	(131)
5.6	岩溶	(138)
5.7	冻土	(145)
	复习思考题	(148)
6	土木工程的一般地质问题	(150)
6.1	城市规划工程地质	(150)
6.2	工业及民用建筑工程地质	(151)
6.3	公路工程地质	(161)
6.4	桥梁工程地质	(166)
6.5	隧道和地下硐室工程地质	(170)
	复习思考题	(172)
7	土的物理性质和工程分类	(174)
7.1	土的三相组成	(174)
7.2	土的结构	(182)
7.3	土的物理状态	(185)
7.4	土的工程分类	(194)
7.5	土的压实性	(198)
7.6	土的渗透性	(201)
	复习思考题	(207)
	习题	(208)
8	土中应力及地基变形计算	(210)
8.1	土的自重应力	(210)
8.2	基底压力	(212)
8.3	地基中的附加应力	(214)
8.4	土的压缩性	(224)
8.5	地基最终沉降量的计算	(227)
8.6	地基变形与时间的关系	(234)
	复习思考题	(238)
	习题	(238)
9	土的抗剪强度与地基承载力	(240)
9.1	土的抗剪强度与直接剪切试验	(240)
9.2	土的极限平衡条件和三轴压缩试验	(243)
9.3	地基承载力	(245)

复习思考题	(251)
习题	(251)
10 土压力	(252)
10.1 挡土墙上的土压力	(252)
10.2 朗金土压力理论	(254)
10.3 库伦土压力理论	(260)
10.4 挡土墙设计简介	(262)
复习思考题	(266)
习题	(266)
11 地基处理	(267)
11.1 软弱土地基处理	(267)
11.2 特殊土地基及其处理	(271)
复习思考题	(273)
习题	(273)
附录	(274)
参考文献	(279)

0 绪 论

0.1 工程地质学与土力学的作用和任务

工程地质学与土力学是研究地表及一定深度范围内岩石和土的工程性质的一门学科,它实际是两门不同性质、不同研究方法的学科。工程地质学是地质学的一个分支,是专门研究与工程建设有关的地质问题的一门学科。而土力学则是力学的一个分支,主要研究与工程建设有关的土的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性的一门学科。然而它们的研究目的是相同的,即都是为了保证建筑物地基的岩体、土体稳定和建筑物的正常使用提供可靠的地质论证和力学计算依据。因此这两门学科在工程实践中是互相依存、渗透与结合的。

0.1.1 工程地质学的作用和任务

一切土木工程建筑物,如建筑、道路、桥梁、水库、闸坝、隧洞等,都是建筑在地壳表层,都是存在于一定的地质环境中,二者之间关系密切,相互影响、相互制约。一方面,地质环境对工程建筑有制约作用,影响着工程建筑物的稳定和正常使用。如地震烈度的大小限制了城市的发展规模;大规模的滑坡、崩塌因难以治理而迫使道路改线;软土地基不能适应工程建筑物荷载要求需进行地基处理。另一方面工程活动也会以各种方式影响地质环境,使自然地质条件发生恶化。如城市过量抽取地下水引起地面沉降或地面塌陷,造成建筑、市政交通设施破坏和丧失效用;山区开挖深路堑时,有可能引发大规模的崩塌或滑坡;桥梁的修建改变了水流和泥砂的运动状态,使局部河段发生冲淤变形;水库周围地区可能会引起土壤盐渍化和沼泽化等问题。

因此,在工程设计之前,必须通过工程地质勘察来查明建筑场地的工程地质条件,为工程设计、施工和正常使用提供可靠的地质资料;论证可能存在的工程地质问题,选择最佳场地,对不良地质条件采取有效处理措施;预测工程修建后对地质环境的影响,提出既能保证工程安全、经济、正常使用,又能合理开发和利用地质环境的合理建议。以上就是工程地质学的基本任务。

工程地质条件即工程活动的地质环境,包括岩土类型及性质、地质构造、地形地貌、水文地质、不良地质作用和天然建筑材料等与工程建设有关的地质条件,是一个综合概念。

大量工程实践证明,重视工程地质工作就能使设计、施工顺利进行,工程建筑的安全运营就有保证。相反,忽视工程地质工作,则会给工程带来不同程度的影响。国内外有很多工程失败的实例。

建筑工程的很多事故都是由于未经勘察,盲目进行设计、施工造成的。例如:南京东南大学太平北路6层教工住宅,施工前未做地质勘察,而是借用住宅北侧相隔仅20余米远已经建成的住宅楼的地质资料,结果在建成钢筋混凝土筏板基础后,发生整块板基断裂。事后停工补做勘察,发现板基断裂一侧地基中存在软弱淤泥层。经考古查明曾有一条铁路从此通过,路基坚实,但路基两侧排水沟因常年积水,沟底形成淤泥。板基横跨路基与排水沟,因

土质软硬悬殊而断裂。又如清华大学第三教室楼配电站是单层平房,因墙体裂缝严重,长期不敢使用(图 0-1)。原因也是未经勘察,不了解下面有一条人防通道斜向贯穿。人防通道土体挖出形成临空,地基局部超量沉降,墙体开裂不可避免。

有些工程虽做过勘察,但工作粗略,同样导致工程事故。例如,清华大学供应科办公库房楼因钻孔深度太浅,未发现地基中部厚层高压缩性泥炭层,导致墙体开裂,大裂缝达 33 条,成为危房(图 0-2)。云南民族学院 10 号教工住宅,地基中存在局部淤泥与泥炭土未被发现,导致墙体严重开裂,多次加固无效,最后被迫拆除。



图 0-1 清华大学第三教室楼配电站墙体开裂



图 0-2 清华大学供应科库房楼墙体开裂情况

道路工程方面的实例如: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,施工中即发生了大量崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害问题,直到解放后一段时间也不能正常通车运营,被称为铁路的“盲肠”。国家为此拨调大量资金进行维修、整治,历经数年耗费巨资进行了大段线路改线后才畅通。

与宝(鸡)天(水)铁路形成鲜明对比的是,地处我国西南边陲的成(都)昆(明)铁路。由于它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,曾被称为“世界地质博物馆”。某些外国专家实地考察后认为成昆铁路很难建成。中央和铁道部非常重视这些复杂和困难的条件,多次组织全国工程地质专家进行现场“会诊”和研究,并且组织了全路工程地质专家和技术人员开展“大会战”,保证了成昆铁路的顺利通车。还有许多在地质复杂地段进行线路位置选择和重大工程设计、施工获得成功的实例。

水利方面的实例,如西班牙的蒙特哈水库,建成后不能蓄水,库水通过库周石灰岩裂隙和岩溶而漏光,使 72m 高的大坝起不到挡水作用,耸立在干枯的河谷上。国际大坝委员会曾于 1973 年对世界 110 个国家和地区已建大坝(坝高 15m 以上的约 12 900 余座)进行了调查,从统计资料看,发生过事故的 589 座中,大多数与不良地质条件有关。美国的圣·法兰西斯混凝土重力坝,坝高 62.6m,建于 1927 年,由于坝基中含石膏黏土质砾岩,被水浸后软化溶解,引起坝基漏水,于 1928 年失稳破坏。类似的例子还可以举出很多,如北京十三陵水库,坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲积物,建坝时未做好垂直防渗处理,水库至今不能满库运行,未能发挥设计预期效益。

以上实例从正反两方面说明了工程地质在土木工程中的重要性,应从上述实例中吸取经验教训,认真做好工程地质工作。

0.1.2 土力学的作用与任务

土力学的研究对象是土,是专门解决工程中有关土的问题的学科。土是自然环境下生成的堆积物,是地表岩石经长期风化作用,不断碎裂、分解形成的碎屑和矿物颗粒——土粒,经过各种介质(如水、风)搬运或残留在原地堆积而成的松散堆积物。其主要特征是多孔性、松散性(土粒间没有联结或联结甚小)、易变性。

在工程建设中,土被广泛用做各种建筑物的地基(groundwork)(如厂基、坝基、路基)、建筑材料(constructional materials),周围介质和环境(construction condition)。许多建筑物如房屋、堤坝、涵洞、桥梁等都是建造在土层之上,土支撑着建筑物的全部荷载,这时在土层内一定范围的应力将发生变化,我们把应力状态变化的这部分土体称为建筑物的地基,而建筑物的地下承重部分称为基础(图0-3),基础一般埋置在强度较高的土层上,并将建筑物的荷载传递到地基中去。土也是一种廉价的建筑材料,用来修筑堤坝、路基以及其他土工建筑物(图0-4、图0-5)。在天然土层中修建涵洞、隧洞、渠道及各种地下硐室时,土又是建筑物周围的介质(图0-6)。

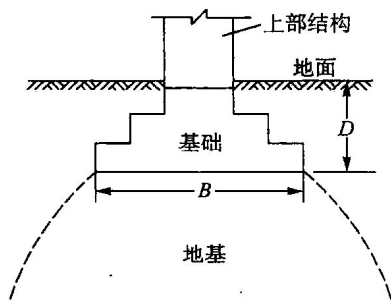


图0-3 地基、基础和上部结构示意图
B—基础宽度；D—基础埋置深度

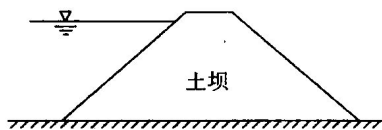


图0-4 土坝

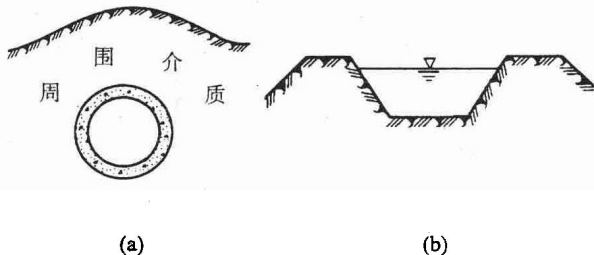
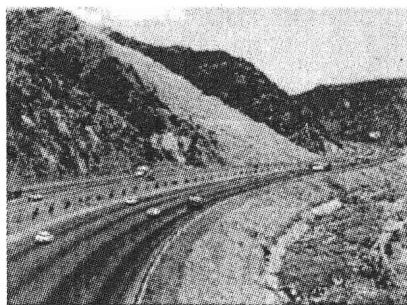


图0-6 土作为隧洞、渠道和地下硐室的建筑环境

(a) 隧洞；(b) 土渠道；(c) 地下硐室

为保证建筑物施工期间及竣工后的安全和正常使用,土力学学科需要解决工程中的三

大类问题。一是土体稳定问题,就是研究土体的应力和强度,包括地基、边坡、挡土墙、基坑和土坝的稳定等问题。当土体的强度不足时,将导致建筑物失稳或破坏,如加拿大特朗斯康大谷仓因地基强度不足引起事故(图0-7)。该谷仓高31m,平面尺寸60m×23m,钢筋混凝土结构,由于设计时不了解地基下部有软弱土层,致使该谷仓建成后在首次装料时,就因地基失稳而发生严重倾斜,谷仓一侧陷入土中8.8m,整个谷仓倾斜达27°之多,完全不能使用。二是土体变形破坏问题,即土体具有足够的强度能保证自身的稳定,而土体的变形尤其是地基的沉降(竖向变形)和不均匀沉降不应超过建筑物的允许值,否则,轻者导致建筑物的倾斜、开裂,降低或失去使用价值,重者将会酿成毁坏事故。著名的意大利比萨斜塔就是由不均匀沉降造成的(图0-8)。三是渗透破坏问题,包括流砂在、管涌、冻胀、溶蚀等问题。

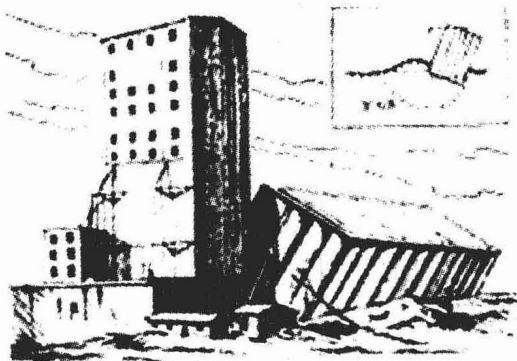


图0-7 加拿大特朗斯康大谷仓

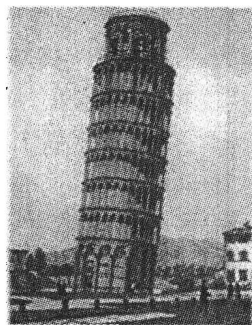


图0-8 意大利比萨斜塔

对于土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡)和水工建筑物地基,或其他挡土挡水结构物,除了载荷作用下土体要满足强度和变形要求外,还要充分研究渗流对土体变形和稳定的影响。渗透破坏的程度和范围都很大,如图0-9所示1998年大洪水时长江堤防武汉段发生多处渗透变形。为解决上述工程问题,就要研究土的物理性质及应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为,找到它们的内在规律,作为解决土体稳定、变形和渗透破坏问题的基本依据。

以上分析使我们认识到,土是岩石风化的产物,其性质复杂多变,修筑工程建筑物时,土作为地基或建筑材料使用以及充当周围介质,都必须全面研究分析土的物理力学性质和土的渗透、变形、强度和稳定的特性,要求作用在地基上的荷载强度不超过地基的承载力,保证地基在防止剪切破坏方面有足够的安全系数。控制地基的沉降量不超过地基变形的容许值,保证建筑物不会因沉降过大而损坏或影响正常使用。对水工建筑物,还要控制渗流,确保不发生渗流破坏。



图0-9 长江堤防武汉段
在1998年大洪水时发生多处渗透变形

0.2 本课程的基本内容与学习要求

本课程作为一门专业基础课,一方面使学生获得工程地质和土力学方面的基本理论知识,能够分析和解决土木工程中常见的相关问题;另一方面也为后续的其他课程如道路工程学、施工技术、施工组织与管理等打下良好基础。

0.2.1 基本内容

(1)掌握岩石及其工程地质性质、地质构造、土的成因类型和特殊土、地下水的基本概念及对工程建筑的影响。

(2)了解不良地质作用和地质灾害以及土木工程的一般地质问题。

(3)掌握土的基本物理性质(土的三相组成、密度、湿度、可塑性等),以及土所处的物理状态和土的工程分类。掌握土的力学性质,即土在外力作用下所表现的渗透性、压缩性和抗剪强度等及其指标的测定方法。

(4)掌握地基应力、变形和地基承载力的计算原理和一般计算方法。

(5)了解土木工程的地基处理的方法和原理。

0.2.2 学习要求

本课程是一门理论与实践相结合的课程,实践性较强,在学好基础理论的同时,对工程地质部分,应重视地质现象的观察、识别及其对工程建设的影响。对土力学部分应注意各种计算方法的适用范围及简化、假设可能引起的误差范围,通过学习土工试验规程,掌握室内土工实验的基本方法,了解野外原位测试的新技术,提高分析解决实际问题的能力。

0.3 工程地质学与土力学的发展简况

工程地质学与土力学是与工程建设紧密联系的两门学科,是随着国家经济建设的发展而发展的。

完整、系统的工程地质学理论直到20世纪30年代才由原苏联地质学家提出。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,并创立了比较完善的工程地质学体系,这标志着工程地质学的诞生。

1949年新中国成立后,为了适应社会主义事业建设需要,在工业与民用建筑、铁路、公路、水利水电及国防工程等部门都积极开展了工程地质工作。可以说,近20年来,是我国工程地质学高速发展时期,研究水平与世界同步,并具有自己的特色。

为了适应科学技术的发展和生产建设的需要,加强对本学科基础理论的研究,广泛采用先进的勘探技术和测试手段(如地震勘探法、电视测井、遥控遥感技术应用等),以加快勘探速度,降低成本,提高测试数据精度,是今后迫切需要解决的问题。

土力学既是一门古老的工程技术,又是一门新兴的应用科学。在学科形成之前,人们在工程实践中已经积累了丰富的土在工程建设方面的特性,但是直到18世纪中叶,仍停留在

感性认识阶段。

18 世纪工业革命以后,大规模的城市建设和水利、铁路的兴建面临着许多与土有关的问题,从而促进了土力学理论的产生和发展。1773 年,法国库伦(Coulomb)根据试验创立了著名的土的抗剪强度的库仑定律和土压力理论。1857 年,英国朗金(Rankine)又从另一途径提出了挡土墙土压力理论,这对后来土体强度理论的发展起了很大的促进作用。此外,1885 年法国布辛奈斯克(Boussinesq)求得了在弹性半空间表面作用竖向集中力的应力和变形的理论解;1922 年瑞典费兰纽斯(Fellenius)为解决铁路滑坡,完善了土坡稳定分析圆弧法。这些古典的理论和方法,至今仍在广泛应用。

通过许多研究者的不懈努力、经验积累,到 1925 年,美国土力学家太沙基(Terzaghi)在归纳发展以往成就的基础上,发表了第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。从 1925 年至今,时间虽短,但土力学的发展速度是惊人的。目前土力学又发展出许多分支,如土动力学、冻土力学、海洋土力学等。特别是近年来世界各国在超高土坝(坝高超过 200m)、超高层建筑与核电站等巨型工程的设计与兴建中,运用计算机技术,进一步发展、完善了土力学理论,使土力学的理论和实际工程的结合又产生了新的飞跃,对土力学的发展又向前推动了一步。

回顾新中国成立后的 50 多年,围绕着解决工程建设中提出的问题,工程地质与土力学学科在我国得到了广泛的传播和发展。尤其是改革开放以后,国家大规模的建设促进了本学科的发展,工程地质与土力学在理论、工程实践方面均取得了令世人瞩目的划时代进步,为国民经济发展做出了贡献。许多林立的高楼大厦、大型厂房,绵延万里的高速公路、大型桥梁、地下空间的开发利用、许多大型水利工程、核电站工程、万吨级码头等,都呈现了本学科理论和实践的巨大成就。工程建设需要学科理论,学科理论的发展离不开工程建设。21 世纪人类将面对资源和环境这一严酷生存问题的挑战,各种各样岩土工程问题需要解决,这恰恰是青年学生将来要肩负的任务。

1 岩石及其工程地质性质

1.1 地质作用

地球是人类生活和从事工程活动的场所。据资料分析,地球内部是具有同心圆状的圈层构造。从地表往下依次可分为:地壳、地幔、地核(图 1-1)。

地壳(crust):由固体岩石构成,大陆厚 70 多 km,海洋仅 10 多 km,平均厚度 33km。主要成分是硅铝层(花岗岩层)和硅镁层(玄武岩层)。

地幔(mantle):上地幔是熔融状态物质,可能是岩浆的发源地;下地幔主要是由铁镁氧化物和硫化物组成。

地核(core):由比重较大的铁镍成分组成。

地球的外部可分为三圈:大气圈、水圈、生物圈(图 1-2)。

大气圈(atmosphere):是地球以外的空间,提供生物需要的 CO_2 和 O_2 ,对地貌形态变化起着极大的影响。

水圈(hydrosphere):由地球上广泛分布的江河湖海及地下水组成。水在运动的过程中与地表岩石相互作用,作为一种最活跃的地质营力促进各种地质现象的发育。

生物圈(biosphere):由生物及生命活动的地带所构成的范围,它渗透在水圈、大气圈下层和地壳表层的范围之中。生物通过新陈代谢方式,形成一系列生物地质作用,从而改变地表的物质成分和结构,是改造地表的主要动力之一。

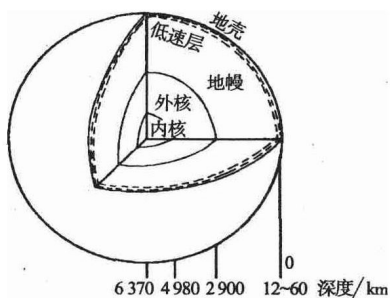


图 1-1 地球内部分层构造



图 1-2 地球外部分圈

地球一直处于不断地运动和变化之中,从而引起地壳构造和地表形态不断发生演变。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(geological process)。按其动力来源的不同,可分为内力地质作用和外力地质作用两类。

1.1.1 内力地质作用(endogenic geological process)

内力地质作用是由地球内部的能量如地球的旋转能、重力能和放射性元素蜕变产生的热能所引起的,包括以下几种:

1.1.1.1 地壳运动(tectonism)

地壳运动是指由地球内动力所引起地壳岩石发生形变、变位(如弯曲、错断等)的机械运动。残留在岩层中的这些变形、变位现象叫做地质构造或构造形迹。地壳运动产生各种地质构造,因此,在一定意义上又把地壳运动称为构造运动。地壳运动按其运动方向可以分为水平运动和垂直运动两种形式(图1-3):

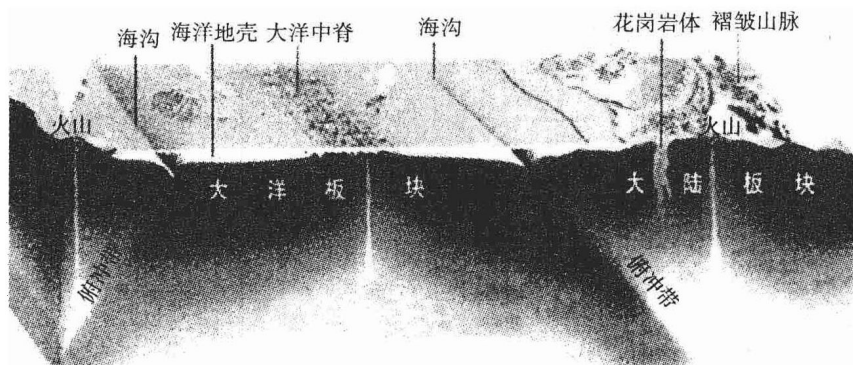


图1-3 地壳运动示意图

(1)水平运动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、盆地及褶皱山系,如我国的横断山脉、喜马拉雅山、天山、祁连山等均为褶皱山系。

(2)垂直运动指地壳或岩石圈相邻块体或同一块体的不同部分做差异性上升或下降,使某些地区上升形成山岳、高原,另一些地区下降,形成湖、海、盆地。所谓“沧海桑田”即是古人对地壳垂直运动的直观表述。

1.1.1.2 岩浆作用(magmatism)

地壳内部的岩浆,在地壳运动的影响下,向外部压力减小的方向移动,上升侵入地壳或喷出地面,冷却凝固成为岩石的全过程,称为岩浆作用(图1-4)。岩浆作用形成岩浆岩,并使围岩发生变质现象,同时引起地形改变。

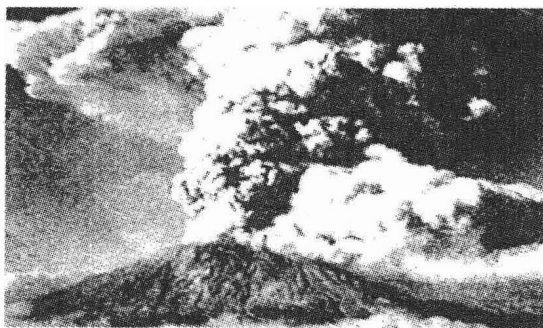


图1-4 岩浆作用示意图

1.1.1.3 变质作用(metamorphism)

由于地壳运动、岩浆作用等引起物理和化学条件发生变化,促使岩石在固体状态下改变其成分、结构和构造的作用,称为变质作用。变质作用形成各种不同的变质岩(图1-5)。

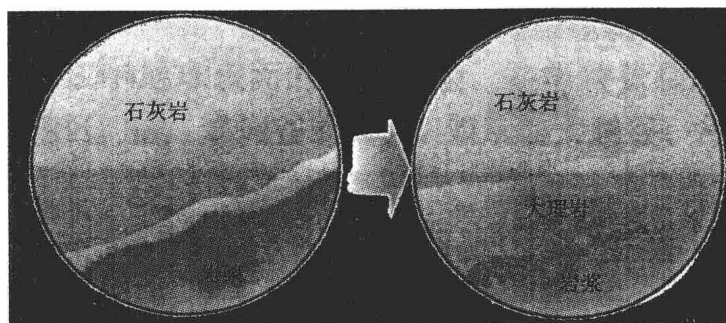


图 1-5 变质作用示意图

1.1.1.4 地震作用 (earthquake)

地震一般是由于地壳运动引起地球内部能量的长期积累,达到一定的限度而突然释放时,导致地壳一定范围的快速颤动。按产生原因,可分为构造地震、火山地震和陷落地震、激发地震等。地震作用如图 1-6 所示。

各种内力地质作用相互关联,地壳运动可以在地壳中形成断裂,引发地震,并为岩浆活动创造通道。而地壳运动和岩浆活动都可能引起变质作用。由此可见,地壳运动在内力地质作用中常起主导作用。



图 1-6 地震作用示意图

1.1.2 外力地质作用 (exogenic geological process)

外力地质作用是由地球外部能量引起的。主要来自太阳的辐射热能,它引起大气圈、水圈、生物圈的物质循环运动,形成了河流、地下水、海洋、湖泊、冰川、风等地质营力,从而产生各种地质作用。在太阳辐射作用下,水从海洋表面蒸发,被气流带到陆地上空,通过大气降水落到地面,一部分渗入地下,然后以地表或地下水的形式流回海洋(图 1-7)。

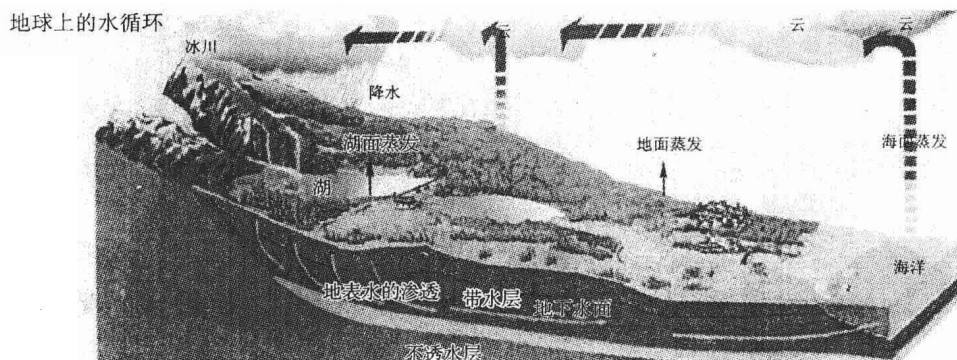
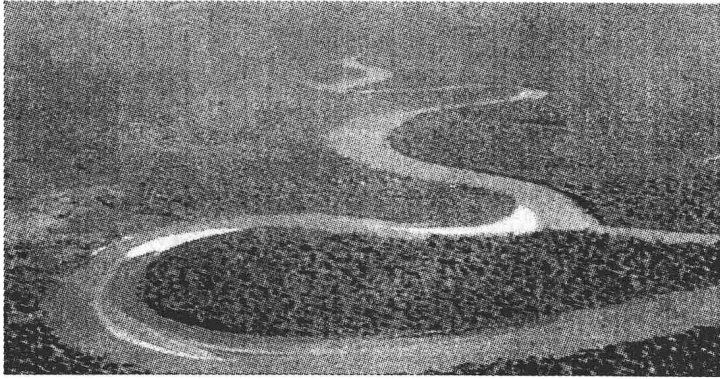


图 1-7 水圈的循环示意图

按地质营力,外力地质作用可分为:河流的侵蚀(图 1-8)、地下水的潜蚀(图 1-9)、湖泊和海洋的冲蚀(图 1-10)、风的吹蚀(图 1-11)、冰川的刨蚀(图 1-12)等。



亚马孙河流域

图 1-8 河流的侵蚀

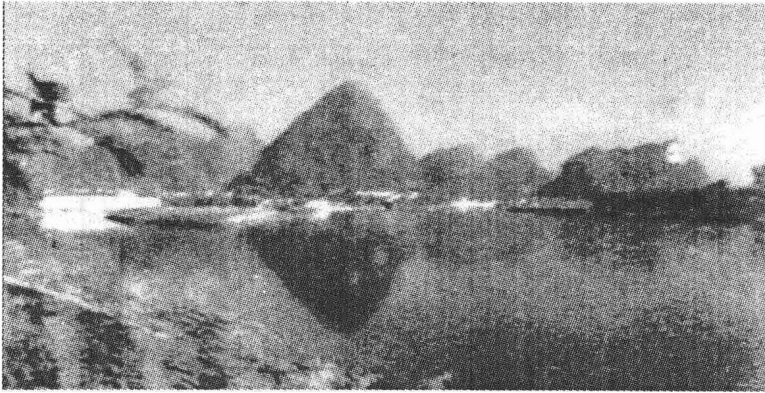


图 1-9 地下水的潜蚀



图 1-10 湖泊的冲蚀