

# 工程地质学

牛琪瑛 李学武 编著

中国科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了工程地质学的基础理论、勘察手段、工程地质问题及处理措施,主要包括:岩土的物质组成及工程地质特性、地质构造、地下水特征、自然地质现象、工程地质勘察、原位测试技术、工程地质勘察报告编写及环境工程地质问题的成因和处理。书中借鉴和吸收了工程地质学界的最新研究成果,具有一定的基础性、学术性和实用性。

本书可供建筑工程专业的学生阅读,也可供从事工程抗震、工程建筑专业的技术人员借鉴和参考。

# 前 言

工程地质学是一门实用性很强的学科,在工程建设中具有重大的实际意义,也是工程建设中必不可少的组成部分。随着我国科学技术的迅速发展,工程建筑正向深、高、大、精的方向变化,从而与地质环境的相互作用也愈来愈强烈,愈复杂。为了保证建筑物既安全可靠又经济合理,首先要做好工程地质工作,使建筑物能利用有利的地质因素,减少昂贵的处理措施,降低工程投资,并做到建筑物不留有隐患,造成后期不必要的处理。此外,减轻因修建工程造成地质环境的恶化,真正实现人类社会与自然环境协调一致。这就是我们编写这本《工程地质学》的目的。

目前工程地质学已形成了自己的理论体系,即以工程地质条件研究为基础,以工程地质问题分析为核心,以工程地质评价为目的,以工程地质勘察为手段。本书是作者在多年从事教学和工程建设实践基础上按照以上体系编写的。书中不但阐述了工程地质的基础理论、工程地质勘察的内容及工作方法,而且分析了工程实际中出现的工程地质问题,并结合新规范提出了估价和处理措施,同时还介绍了目前工程界最关心的环境工程地质问题,如地面沉降、诱发地震、斜坡稳定等的成因和解决办法。本书对在校本科生、研究生的学习有一定的帮助,对从事工程建筑的科研人员具有一定的参考价值。

本书第一章至第五章由中国山西国际经济技术合作公司李学武执笔,绪论、第六章至十四章由太原理工大学牛琪瑛执笔,全书由牛琪瑛统稿。

本书出版过程中得到了中国科学技术出版社同志们热情支持和帮助,在此深表谢意。由于编写时间仓促,加之作者水平有限,难免有疏漏或错误,恳请读者批评指正。

作 者

2001 年 10 月

# 目 录

|                   |        |
|-------------------|--------|
| 绪 论               | ( 1 )  |
| 一、工程地质学及其研究对象     | ( 1 )  |
| 二、工程地质学研究的内容      | ( 2 )  |
| 三、工程地质学的主要任务和研究方法 | ( 3 )  |
| 第一章 地球演变          | ( 4 )  |
| 第一节 地球的总体特征       | ( 4 )  |
| 第二节 地球的内部构造       | ( 5 )  |
| 一、地壳              | ( 6 )  |
| 二、地幔              | ( 6 )  |
| 三、地核              | ( 6 )  |
| 第三节 地质作用          | ( 7 )  |
| 一、内力地质作用          | ( 7 )  |
| 二、外力地质作用          | ( 8 )  |
| 三、工程地质作用(人为地质作用)  | ( 8 )  |
| 第二章 岩石的基本知识       | ( 9 )  |
| 第一节 矿物            | ( 9 )  |
| 一、矿物的基本概念         | ( 9 )  |
| 二、矿物的形态特征         | ( 9 )  |
| 三、矿物的物理力学性质       | ( 11 ) |
| 四、常见的造岩矿物         | ( 12 ) |
| 第二节 岩石            | ( 14 ) |
| 一、岩浆岩             | ( 14 ) |
| 二、沉积岩             | ( 18 ) |
| 三、变质岩             | ( 24 ) |
| 第三章 地壳运动          | ( 29 ) |
| 第一节 地壳运动的基本特征     | ( 29 ) |
| 第二节 板块构造理论        | ( 30 ) |
| 一、板块构造            | ( 30 ) |
| 二、板块边界及相对运动       | ( 31 ) |
| 三、大洋壳与大陆壳的演变      | ( 34 ) |
| 四、板块构造学说面临的问题     | ( 35 ) |
| 第四章 地质构造          | ( 36 ) |
| 第一节 地质年代          | ( 36 ) |
| 一、相对地质年代          | ( 36 ) |
| 二、绝对地质年代          | ( 38 ) |
| 三、第四纪地质概述         | ( 41 ) |

|                   |      |
|-------------------|------|
| 第二节 地质构造          | (43) |
| 一、水平构造和倾斜构造       | (43) |
| 二、褶皱构造            | (44) |
| 三、断裂构造            | (46) |
| 第五章 地震            | (53) |
| 第一节 地震的一般概念       | (53) |
| 一、震源与震中           | (53) |
| 二、震级与烈度           | (54) |
| 三、地震波             | (57) |
| 第二节 地震的成因及类型      | (58) |
| 一、地震的成因           | (58) |
| 二、地震的类型           | (58) |
| 第三节 地震的分布         | (59) |
| 一、世界地震带的划分        | (59) |
| 二、我国的主要地震带        | (60) |
| 第四节 地震地质作用        | (61) |
| 一、地面裂缝、隆起及陷落      | (61) |
| 二、山体崩塌、滑坡         | (62) |
| 三、砂土和粉土液化         | (62) |
| 第六章 地下水           | (63) |
| 第一节 地下水的储存        | (63) |
| 第二节 地下水的物理性质和化学性质 | (63) |
| 第三节 地下水的类型        | (64) |
| 一、包气带与饱水带         | (65) |
| 二、上层滞水            | (66) |
| 三、潜水              | (66) |
| 四、承压水             | (68) |
| 五、泉               | (69) |
| 第四节 地下水的运动形式      | (70) |
| 第五节 地下水的工程地质问题    | (71) |
| 一、地面沉降            | (71) |
| 二、流砂              | (71) |
| 三、潜蚀              | (71) |
| 四、基坑突涌            | (71) |
| 五、地下水对混凝土的腐蚀      | (72) |
| 第七章 风化作用          | (75) |
| 第一节 风化作用的类型       | (75) |
| 一、物理风化作用          | (75) |
| 二、化学风化作用          | (77) |
| 三、生物风化作用          | (79) |
| 第二节 影响风化作用的因素     | (80) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 第三节 风化层的分带              | (82)  |
| 一、残积物及风化壳               | (82)  |
| 二、风化层的分带                | (83)  |
| 第四节 岩石风化的防治             | (84)  |
| 第八章 地表流水的地质作用           | (85)  |
| 第一节 暂时性流水地质作用           | (85)  |
| 一、雨蚀作用                  | (85)  |
| 二、片流地质作用                | (85)  |
| 三、洪流地质作用                | (86)  |
| 第二节 河流的地质作用             | (87)  |
| 一、流水中水质点的运动方式           | (87)  |
| 二、河流的侵蚀作用               | (89)  |
| 三、搬运作用                  | (91)  |
| 四、沉积作用                  | (91)  |
| 五、河谷地貌                  | (92)  |
| 第九章 块体运动                | (95)  |
| 第一节 崩塌                  | (96)  |
| 一、崩塌形成的条件               | (96)  |
| 二、崩塌形成的堆积物              | (97)  |
| 三、崩塌的防治                 | (98)  |
| 第二节 滑坡                  | (99)  |
| 一、滑坡的基本形态               | (99)  |
| 二、滑坡形成的条件               | (101) |
| 三、滑坡的分类                 | (102) |
| 四、滑坡稳定性验算               | (103) |
| 五、滑坡的野外识别与防治            | (105) |
| 第三节 泥石流                 | (106) |
| 一、泥石流发育的条件              | (107) |
| 二、泥石流的分类                | (108) |
| 三、泥石流的防治                | (109) |
| 第十章 岩溶(喀斯特)             | (110) |
| 第一节 岩溶发育的基本条件           | (110) |
| 一、岩溶发育的基本条件             | (110) |
| 二、影响岩溶发育的因素             | (111) |
| 第二节 岩溶地貌                | (112) |
| 一、地表岩溶地貌                | (112) |
| 二、地下岩溶地貌                | (114) |
| 第三节 岩溶的发育与分布规律          | (114) |
| 第四节 岩溶区的主要工程地质问题及工程处理措施 | (115) |
| 一、渗漏与突水问题               | (115) |
| 二、建筑物地基不均匀沉降            | (116) |



|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| <b>第十一章 黄土</b> .....           | (117) |
| <b>第一节 黄土的一般特性</b> .....       | (117) |
| 一、黄土的物质成分 .....                | (117) |
| 二、黄土的结构与湿陷性 .....              | (118) |
| 三、黄土的地层划分 .....                | (118) |
| <b>第二节 黄土地貌</b> .....          | (119) |
| 一、黄土侵蚀沟 .....                  | (119) |
| 二、黄土沟间地貌 .....                 | (120) |
| 三、黄土潜蚀地貌 .....                 | (121) |
| <b>第三节 湿陷性黄土的工程处理措施</b> .....  | (121) |
| <b>第十二章 岩体结构及岩体稳定性分析</b> ..... | (123) |
| <b>第一节 岩石的物理力学性质</b> .....     | (123) |
| 一、岩石的物理性质 .....                | (123) |
| 二、岩石的水理性质 .....                | (124) |
| 三、岩石的力学性质 .....                | (126) |
| <b>第二节 岩体结构</b> .....          | (128) |
| 一、结构面的成因类型及特征 .....            | (128) |
| 二、岩体结构 .....                   | (130) |
| <b>第三节 岩体稳定性分析方法</b> .....     | (132) |
| 一、赤平极射投影基本原理 .....             | (132) |
| 二、岩体稳定分析 .....                 | (134) |
| <b>第十三章 工程地质勘察</b> .....       | (137) |
| <b>第一节 概述</b> .....            | (137) |
| <b>第二节 工程地质测绘与调查</b> .....     | (139) |
| <b>第三节 工程地质勘探</b> .....        | (140) |
| 一、勘探 .....                     | (140) |
| 二、触探 .....                     | (141) |
| 三、测试 .....                     | (145) |
| <b>第四节 工程地质勘察报告的编写</b> .....   | (145) |
| <b>第十四章 环境工程地质</b> .....       | (147) |
| <b>第一节 环境与工程地质环境</b> .....     | (147) |
| <b>第二节 环境工程地质问题</b> .....      | (148) |
| 一、诱发地震 .....                   | (148) |
| 二、地面变形 .....                   | (149) |
| 三、斜坡岩土运动及其他 .....              | (150) |
| <b>参考文献</b> .....              | (152) |

# 绪 论

## 一、工程地质学及其研究对象

工程地质学是研究工程建筑与地质环境相互作用的一门学科。它把地质科学应用到工程实践中,通过工程地质调查及理论性的综合研究,对工程建筑所在地区的工程地质条件进行评价,解决与工程建筑有关的工程地质问题,预测并论证工程建筑区域各种自然地质现象的发生、发展,提出改善和防治措施,为工程建筑的规划、设计、施工、使用和维护提供所需的地质资料和数据。同时要保证地质环境不会因工程的兴建而恶化,造成对工程建筑本身以及周围环境的危害。

工程建筑的类型很多,有城乡工业、民用建筑,铁路、公路建筑、水利水电工程、矿山、海港工程和近海石油开采工程以及国防工程等。这些工程建筑有的位于地面,有的埋于地下,总之都脱离不开地壳,因而无不与地质环境息息相关。它们的型式不同,规模各异,对地质环境的适应性以及对地质环境的作用也不一样。随着科学技术的发展,工程建筑物也正向深、高、大、精变化,与地质环境的相互作用也愈来愈强烈、愈复杂。工程建筑对地质环境作用的性质和强度,决定于建筑物的类型、规模和结构,同时也决定于场地的工程地质条件,而且在某些程度上工程地质条件起着决定性的作用。为了保证工程建筑稳定可靠,要求必须全面地研究与建筑物地基及其周围地质环境相关的工程地质条件,以及当工程建筑物建成后,某些地质条件可能诱发的工程地质问题。

工程地质条件是指与工程建筑有关的地质因素的综合,包括以下六方面的要素:①岩土类型。这是最基本的工程地质因素,包括岩土成因、形成年代、岩层产状、成岩过程、变质程度、风化特征、软弱夹层等。②地质构造。这是工程地质工作研究的主要对象,包括褶皱、断层、岩体结构面与结构体特征等,特别是形成时代新、规模大的断裂构造对地震等自然灾害具有控制作用,因而对建筑物的沉降、变形、安全、稳定等具有重要的意义。③水文地质条件。这是决定工程地质条件优劣的重要因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分的调查,以及了解地表水体的冲刷、侵蚀、沉积等对建筑物的作用。④地形地貌条件。地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度与沟谷宽窄及形态特征等;地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。地形地貌对线性建筑物如铁路、公路、运河、渠道等线路方案的选择意义重大。如能合理利用地形地貌条件,不但能大量节省土方量,节约大量投资,而且对建筑物群体的合理布局、结构型式、规模以及施工条件等也有直接影响。⑤自然地质现象,包括滑坡、泥石流、岩溶、黄土湿陷及地震等因素。这些现象对建筑物的威胁很大,并且造成的破坏往往是大规模的,甚至是区域性的,因此必须充分注意建筑物周围有哪些不良的自然地质现象存在,对工程建筑有何影响,如何防治。⑥天然建筑材料。指为建筑物提供所用的土料和石料。土坝、路基需用大量土料,石桥、石坝需用大量石料,拌合混凝土需要砂、砾石等作为骨料。为了节省运输费用,工程建筑往往就地取材。天然建筑材料的有无、远近直接关系到工程的造价。所以,天然建筑材料也是拟定工程建筑物的重要条件。以上六大要素的优劣



受地质环境制约,同时它也制约着工程建筑的施工、设计和使用。

已有工程地质条件在工程建筑施工和正常运行期间会产生一些新的变化和发展,构成威胁工程建筑安全的地质问题,称为工程地质问题。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又不尽相同,所以工程地质问题是多种多样的。主要的工程地质问题有:①地基稳定问题。这是工业、民用建筑工程常遇到的工程地质问题,包括强度和稳定性两个方面。此外,软土、湿陷性黄土、溶洞、土洞等不良地质现象的存在,直接影响地基的稳定性。铁路、公路、桥梁、水坝等也会遇到类似的地基稳定问题。②斜坡稳定性问题。自然界的地质岩体是经受长期的内外力地质作用达到相对的平衡。人类工程活动,如道路工程开挖路堑、填筑路堤、基坑开挖、开凿洞穴等,破坏了地质体的天然平衡,容易造成边坡滑移、崩塌、流砂、突水、管涌等,威胁建筑物的安全。地层岩性、地质构造、斜坡地形特征是影响其稳定性的物质基础,风化作用、地应力、地表水和地下水、地震等的作用往往促使斜坡岩土体变形。③区域稳定性问题。指地震引起震陷和液化,构造断裂带的活动——活断层,还有区域性的地面沉降等问题。地震液化从1976年唐山地震后越来越引起岩土界的重视。地面沉降也开始在一些大城市引起建筑物失效,海水内侵,一些港口、码头、堤岸因沉降而降低甚至丧失其效能。所以,对于一些大型水利水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区,区域稳定问题应该是首先要论证的问题。

一项工程建筑在兴建之前必须研究能否适应它所处的地质环境,又要分析工程建筑兴建之后产生哪些工程地质问题,还要预测工程地质条件对建筑物造成哪些危害,制定消除这些危害的措施等。这就是工程地质学的研究对象。

## 二、工程地质学研究的内容

工程地质学包括岩土工程性质、工程地质分析、工程地质勘察及环境工程地质四个基本部分,它们都已形成分支学科。

1. 岩土工程性质。主要研究土石的工程地质性质,这些性质的形成和它们在自然或人类工程活动影响下的变化。任何工程建筑都离不开土石,或作为地基,或作为围岩介质,或作为建筑材料,都要取得土石物理力学性质的精确指标。工程地质学研究土石,不仅从认识土石的成因、分布规律入手,还要重点研究其结构特性,尤其要研究特殊土的工程特性及地基处理、岩体结构对工程建筑的影响。如黄土的湿陷性、软弱结构面的错动、断层的活动等,都是工程地质学研究的重要内容。

2. 工程地质分析。主要对工程建筑地段的自然地质现象,如岩石风化、冲沟、泥石流、河流冲刷、滑坡、崩塌、岩溶、地下水腐蚀、砂土粉土液化等引起的工程地质问题进行研究,研究其产生的地质条件、力学机制及其发展演化等对工程建筑产生的变形破坏,以及对其作出的评价和提出有效的防治措施。

3. 工程地质勘察。工程地质勘察的主要任务是查明工程建筑场地的工程地质条件,提出满足各种设计和施工需要的地质资料和计算参数。其内容有勘察方法的选择,勘察仪器、勘察技术及规范的采用、勘察工作的布置、勘察资料的整理等。我国勘察技术手段和仪器设备还比较落后,进一步改进技术方法,引进新的仪器设备,提高工作质量也是工程地质学加以研究的内容。

4. 环境工程地质。环境工程地质问题是目前国内、国际学术界提出的最新研究课题,也

是工程地质学研究的新内容。环境工程地质学主要研究工程建筑对地质环境的影响问题,同时也研究工程建筑与地质环境相互作用表现出来的双向效应。如水库诱发地震、地面沉降、斜坡运动等等一系列由工程建筑引起的工程地质问题,这些问题已经对人类生命财产造成危害或潜在着威胁。所以,在研究开发利用地质环境的同时,我们还要研究保护和治理地质环境,这已是工程地质学义不容辞的职责。

### 三、工程地质学的主要任务和研究方法

工程地质学在经济建设和国防建设中应用非常广泛,并且在工程建设中占有重要的地位。通过工程地质勘察和理论性研究,阐明建筑场地的工程地质条件,解决与建筑物有关的工程地质问题,提供设计、施工所需的地质资料,以保证建筑物的稳定、经济和正常使用。纵观各种规模、各种类型的工程,工程地质学的主要任务是:①为修建建筑物选择地质条件最优越的工程建筑场地。②阐明建筑场地的工程地质条件,并提出定性与定量的评价。③解决或预测与建筑物有关的工程地质问题,并作出结论与建议。④拟定改善和防治不良地质条件的措施。⑤指出工程建筑物建成后,给环境带来的问题,并提出改善的措施。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体。所以,其研究方法应是地质分析法、力学分析法、工程类比法与科学实验法等密切结合,即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。①地质分析法,该方法运用地质学和自然历史的观点分析研究工程建筑物周围的自然因素和条件,认识地质条件的成因、发展趋势,并定性评价在地质历史时期自然地质条件对工程建筑物的影响和制约的程度。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。②力学分析法。对工程建筑物的设计和运用要求来说,只有定性的地质论证是不够的,还要求对一些工程地质问题如地基强度和稳定性、边坡稳定、地面沉降、地震液化可能性判定等建立一些模型,运用数学、力学理论进行计算和预测,做出定量的评价,称为力学分析法。③工程类比法。当地质条件十分复杂时,还要根据条件类似地区研究过、实验过的资料对研究区的工程地质问题进行综合定量预测,这就是工程类比法。此方法的优点在于评价各种复杂的工程地质条件时,将这些现象视为多种因素整体作用的结果。④科学实验法。采用定量分析论证地质问题时都需要采用实验测试方法,即通过室内岩土试验或野外现场观测和现场原位测试等取得所需要的岩土物理性质、水理性质、力学性质的数据,为全面定性定量评价工程地质条件提供可靠的计算资料,对可能发生的工程地质问题制定合理的防治对策。

# 第一章 地球演变

地球是宇宙的一颗行星,自形成以来已经历了漫长的演变时期,地质作用促进了这个演变。地球是地质作用的物质基础,地球物质的物理、化学性质又影响地质作用的发生和进行;其他天体与地球又有互相联系和互相影响,也促进了地质作用对地球的继续变化和发展。

## 第一节 地球的总体特征

地球是一个不标准的旋转椭球体,赤道半径较长(6378 km),极地半径较短(6357 km),平均半径 6371 km。地球表面参差起伏,大约有 70.8% 的面积为海域,有 29.2% 的面积为陆地。

根据牛顿的万有引力定律,算出地球的平均密度为  $5.52 \text{ g/cm}^3$ ,按实际测得地表岩石的平均密度为  $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ,覆盖地表面积约  $3/4$  的水的密度为  $1 \text{ g/cm}^3$ ,都比平均密度小得多,因而推测地球内部必定有较高密度的物质。

地球内部压力主要是静压力,这是由上覆地球物质的重量所产生。按静力平衡公式  $P = h \cdot \rho_h \cdot g_h$  (静力  $P$  等于某深度  $h$  和该深度以上的地球物质平均密度  $\rho_h$  与平均重力加速度  $g_h$  的连乘积)计算出来的数值大致为一匀滑曲线。地下深 10 km 处的压力大致有 3000 个大气压,35 km 深度有 1 万个大气压,岩石在这个静压力下要变软。在 2900 km 深处可达 150 万个大气压。地心高达 370 万个大气压,物质的原子结构完全破坏了。

地球表面的重力指地面某处所受地心引力和该处的地球自转离心力的合力(图1-1)。地球引力与质量成正比,与地心距离的平方成反比,因此地心引力以赤道最小,两极最大;而地面某处的离心力和该处地球自转线速度的平方成正比,因此,赤道的离心力最大,两极的离心力为零。以海平面为基准计算出来地面重力场是代表地球物质在均匀状态下的标准重力场。实际上由于地球物质分布不均匀,各处密度不同,就出现实测值与标准值(或理论值)不符合的情况,这种现象叫重力异常。实测值大于标准值的是正异常,小于标准值的是负异常。在埋藏有密度较小的物质如石油、煤、盐等非金属矿以及沉积岩、酸性岩等的地区就显示出负异常,而在埋藏有密度较大的物质如铁、铜、铅、锌等金属矿以及基性岩等的地区就出现正异常。在地面有厚层覆盖土和植被覆盖区利用重力异常来探测地下的矿产、岩石的构造是很有效的,这是地球物理勘探法之一,叫重力勘探。

放射性元素在地表的岩石、水、大气、生物中都有存在,地球内部也有存在,但主要集中在地球上部特别是酸性岩浆岩中。放射性元素蜕变放出的热量,是地热的主要来源之一。寿命长的放射性元素铀、钍、钾等,它们的半衰期长,可与地球年龄相比。利用寿命长的放射性元素衰变速度稳定的特点,可确定含该元素的岩石的形成年龄。使用放射性方法,计算出最早地壳物质形成的年龄大约是 46 亿年。

深矿井温度增高、地下流出温泉和火山喷出炽热物质,这些现象都告诉人们地内是热的。根据地内温度分布状况可以分三层:①外热层(变温层)。这是吸收太阳辐射热的地球表层,其温度随昼夜和季节而变化,影响深度一般为10~20 m。在内陆地区可达30~40 m。②常温层(恒温层)。这是外热层的最下界,温度年变化幅度为零,常年保持不变,等于当地年平均气温。③内热层(增温层)。这是受地内热主要是放射热的影响,温度随深度增加而增加,且增温是有规律的,即每深下一定深度便增高一定温度。计量这种增温的大小通常有两种表示方法:①地温梯度(地热增温率),即深度每增加100 m所升高的温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。②地温级(地热增温级),即温度每升高 $1^{\circ}\text{C}$ 所增加的深度,以m表示。地球上不同地区的地温梯度是不相同的,一般变化在 $0.9\sim 5.2^{\circ}\text{C}$ ,这主要与地区的地热源和岩石的导热率有关。

地球是一个磁化球体,地磁场包围着整个地球,其范围可以延伸到10万 km以上的高空。由于地磁极和地理极不相吻合,从而地磁轴和地球自转轴也不相重合,两者有 $11.5^{\circ}$ 交角,因此地磁子午线与地理子午线之间也就有交角,这个交角叫磁偏角。地磁角与地理极之间的相对位置曾经并正在不断改变,地磁极的迁移可能是地内深部物质运动引起的。岩浆岩或熔岩冷却后常常保留有古地磁,含有多量磁性矿物的沉积岩也常常保留有古地磁,如果这些岩石的形成时间和地点已知,便可恢复当时的古地磁场状况。

地球是具有弹性的,表现在能传播地震波,因为地震波是弹性波。固体地球在一定条件下还表现为塑性。例如我们在野外看到很多岩体发生剧烈而复杂的弯曲却没有断裂开,就是岩体的塑性表现。这两种性质在不同条件下可以转化:在作用速度快、持续时间短的力(如地震波、潮汐力)的条件下,地球表现为弹性体;在作用缓慢、持续时间长的力(如地球旋转、重力)的条件下则表现为塑性体。

地球并不是一个均质体,而是具有圈层结构。以地表为界分为内圈和外圈。内圈通常分为地核、地幔和地壳;外圈分为生物圈、水圈和大气圈。每个圈层又都有自己的物质运动特征和物理、化学性质,对动力地质作用又各有程度不同的、直接或间接的影响。

## 第二节 地球的内部构造

根据地震波传播速度的明显变化,确定地球内部的分界面,地球物理学上称为不连续面或叫界面。地球内部有两个波速变化最明显的界面,第一个界面深度很不一致,在大陆区较深,最深可达60 km以上,在大洋区较浅,最浅不足5 km,这个界面是南斯拉夫地球物理学家莫霍罗维契奇(1857~1936)于1909年发现,所以叫莫霍罗维契奇不连续面,简称莫霍面。第二个界面深度在2883 km,是由美国地球物理学家古滕堡(1889~1960)于1914年提出的,所以叫古滕堡不连续面,简称古滕堡面。根据这两个界面把地球内部分为三大圈,即地壳、地幔和地核(图1-2)。再根据次一级界面把地幔分为上地幔和下地幔,把地核分为液态外部

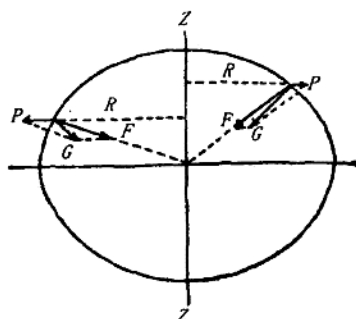


图1-1 重力与地心引力和离心引力的关系(示意图)

ZZ - 地球自转轴 G - 重力  
F - 地心引力 P - 离心力  
R - 纬度圆半径

地核和固态内部地核。

## 一、地壳

地壳是固体地球最外的一圈。表面在陆地上直接暴露出来,有水体的地方特别是海洋区则被水圈覆盖。地壳由固体岩石构成,下界为莫霍面。地壳的厚度变化很大,大洋地壳较薄,大陆地壳较厚,整个地壳平均厚度为 16 km,只有地球半径的 1/400,体积只有地球体积的 0.3%。上地壳一般叫硅铝层,平均厚度 10 km,最高的珠穆朗玛峰海拔高度超过 8.8 km。其主要成分是硅(73%)、铝(13%);密度为  $2.7 \text{ g/cm}^3$ 。这一层并不连续,只有大陆才有,大洋底缺失。过去习惯叫花岗岩层。

下地壳一般叫硅镁层,主要成分是硅(49%)、镁和铁(18%)、铝(16%);密度为  $3.1 \text{ g/cm}^3$ 。这一层连续分布,大陆和大洋底都有,过去习惯叫玄武岩层。

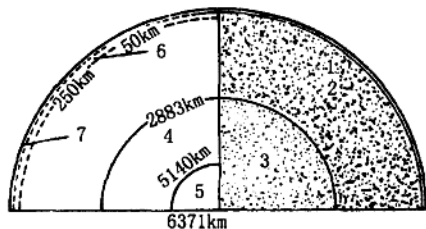


图 1-2 地球内部层圈

- 1-地壳 2-地幔 3-地核 4-液态外部地核  
5-固态内部地核 6-软流圈 7-岩石圈

## 二、地幔

地壳下面是地幔,介于莫霍面和古滕堡面之间,厚度约为 2800 km。密度为  $3.32 \sim 4.64 \text{ g/cm}^3$ ,占地球总体积的 83.4%,占地球总质量的 2/3。地幔横向变化比较均匀。根据地震波速变化情况,以 1000 km 激增带为界面,又把地幔分为上、下两层。

深度 1000 km 以上叫上地幔,厚度 900 多 km,平均密度  $3.5 \text{ g/cm}^3$ ,上地幔能传播横波,因此它必定大部分是固体。上地幔的成分一般认为是超基性岩。这是根据上地幔地震波速和密度的数据,经与实验室对各种硅酸盐矿物按不同比例组合,在高温高压下测得的波速和密度数据对比,推测上地幔为石榴石成分,即橄榄石、辉石和石榴子石的混合物也就是超基性岩。根据火山喷出物有些是超基性岩,这种超基性岩地壳中很少见到,那末应该主要存在于地幔,这也可能就是岩浆发源地。

上地幔最显著的特点是低速层。该层的纵波、横波速度要比其上、下的物质的速度都低,一般深度为 50~250 km。该带约有 5% 的物质为熔融状态,易于发生塑性流动,给其上的固体岩石(岩石圈)的活动创造了条件,所以在构造地质学上叫低速层为软流圈。板块构造学称具有较强的刚性,并分裂成许多块体的岩石圈为板块。板块驮在软流圈上随之运动,这就是板块运动,也是构造运动发生的根源。

下地幔从 1000 km 到古滕堡面,平均密度  $5.1 \text{ g/cm}^3$ ,成分比较均匀,物质结构没有变化,只是铁的含量更多一些,下地幔能传播横波,说明组成物质基本是固体。

## 三、地核

古滕堡面以下为地核,半径为 3468 km,占地球体积 16.3%,占地球总质量 1/3,根据地震波速度的变化又分为液态外部地核和固态内部地核。根据地核的密度在  $11 \sim 16 \text{ g/cm}^3$  之间,大多数地质学家认为,地核的成分很可能是铁镍合金。外核纵波速度急剧降低,横波不

能通过,说明外核是液体。有人认为,外核熔融铁的运动就像一架巨大的直流发电机,它必定是地球磁场的来源。纵波穿入内核时转换成横波,穿出内核时又转换成纵波。因此内核肯定是固体。

### 第三节 地质作用

经地质学家研究证实,地球形成之初,地表像现在的月球,并不存在水,也没有海陆之分。大气成分中也没有二氧化碳和氧气。地球在距今 46 亿年的历史中逐渐发展和演化成今天的面貌。同时,今天的地球仍以人们不易觉察的速度和方式在继续变化中。目前人们对地壳发展演化的研究最为详细,将自然动力所引起地壳物质组成、内部结构和地表形态变化与发展的作用称为地质作用。

地质作用一方面不停息地破坏着地壳中已有的矿物、岩石、地质构造和地表形态;另一方面又不断地形成新的岩石、矿物、地质构造和地表形态。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。就一条河流来说,流水对所流经的河谷和沿岸进行冲刷破坏,又把冲刷下来的泥沙、砾石,经过分选,在适宜的场所堆积起来,最后形成河漫滩、三角洲和各种沉积砂矿床等。

地质作用的动力来源,一是由地球内部放射性元素蜕变产生的热能、地球自转产生的旋转变能、重力作用形成的重力能,此外还有结晶能和化学能等;二是来自太阳辐射和日月引力能等。只要引起地质作用的动力存在,地质作用就不会停止。考虑动力来源的不同,地质作用常被划分为内力地质作用与外力地质作用。按地质灾害成因的不同,工程地质学又把地质作用划分为自然地质作用和工程地质作用。自然地质作用包括内力和外力地质作用。工程地质作用即人为地质作用。

#### 一、内力地质作用

地球的旋转变能、重力能和地球内部的热能、化学能等引起整个地壳物质成分、地壳内部构造、地表形态发生变化的地质作用称为内力地质作用,它包括地壳运动、地震作用、岩浆作用和变质作用。

1. 地壳运动。使地壳发生变形变位的地质作用。按其运动方向分为水平运动和升降运动,两者不能截然分开,无论在空间上时间上都是相互联系又相互制约的,只是在不同地区、不同的时间有主从关系而已。

2. 地震作用。由地震引起的地壳物质迁移、地表形态变化的地质作用。按地震产生的原因可分为构造地震作用、火山地震作用和陷落地震作用。

3. 岩浆作用。岩浆沿地壳软弱地带上升时发生的一系列物理化学变化直至冷凝成岩的作用。当岩浆喷出地面叫喷出作用(火山作用),岩浆尚未到达地表,仅在地壳中活动时称为侵入作用。

4. 变质作用。地壳运动和岩浆活动过程中,已有的岩石受温度、压力或化学活动性流体的作用,在固体状态下改变其成分、结构和构造形成新的岩石的作用。按变质作用原因分为气体热液变质作用、动力变质作用、接触变质作用和区域变质作用。



## 二、外力地质作用

作用在地壳表层,主要由地球以外的能——太阳辐射能、日月引力能所引起的地质作用,称为外力地质作用。它能使地表形态发生变化和地壳表层化学元素的迁移、分散和富集。按其作用方式分为:

1. 风化作用。暴露于地表的岩石,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的作用。按其性质分为物理风化、化学风化和生物风化作用。

2. 剥蚀作用。风、流水、冰川、湖、海中的水在运动状态下对地表岩石、矿物产生的破坏作用,并把破坏了的产物搬离原地。按动力来源分为风的吹蚀作用、流水的剥蚀作用、地下水的潜蚀作用、冰川的剥蚀作用等。

3. 搬运作用。风化、剥蚀作用的产物被移到它处。由于搬运介质的不同,可分为风的搬运作用、流水搬运作用、冰川搬运作用等。

4. 沉积作用。当搬运动力的动能减小,搬运介质的物理化学条件发生变化或者在生物的作用下,被搬运的物质在新的环境下堆积起来。

5. 固结成岩作用。刚堆积的物质是松散多孔并富含水分,被后来的沉积物覆盖埋藏后,在重压下排出水分,孔隙减小并被胶结,由松散堆积物渐变为坚硬的沉积岩。可分为胶结作用、压实作用和结晶作用。

## 三、工程地质作用(人为地质作用)

工程地质作用或人为的地质作用是指由人类活动引起的地质效应。例如:采矿特别是露天开采移动大量岩体引起地表变形、崩塌、滑坡,人类在开采石油、天然气和地下水时因岩土层疏干排水造成地面沉降;特别是兴建水利工程,造成土地淹没、盐渍化、沼泽化或者是库岸滑坡、水库诱发地震等。

### 思考题

1. 地球的外部圈层和内部圈层各包括哪些?内部圈层的特点是什么?
2. 内力地质作用包括哪几种?
3. 外力地质作用包括哪几种?

## 第二章 岩石的基本知识

自然界有各种各样的岩石,按成因分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。由于岩石是由矿物组成,所以要认识岩石,分析岩石在各种自然条件下的变化,进而对岩石的工程地质性质进行评价,就必须先从矿物讲起。

### 第一节 矿 物

#### 一、矿物的基本概念

在地壳中有一定的化学成分和物理性质的自然元素或化合物称为矿物。矿物是地壳中的各种化学元素在各种地质作用下形成的产物。一般说来,矿物都具有一定的化学成分和内部结构(特别明显的是结晶物质),因而矿物具有一定的外表形态及物理化学性质。例如:岩盐( $\text{NaCl}$ )是由氯( $\text{Cl}$ )和钠( $\text{Na}$ )两种元素组成的化合物,常呈立方体形态,用小刀能刻划,易溶于水,有咸味(图 2-1)。自然金( $\text{Au}$ )有耀眼的金黄色,既软又重,富延展性。

矿物在地壳中大部分呈固态,也有呈液态和气态。呈液态的如水银(汞)、石油、水等;呈气态的如天然气、硫化氢等。

地壳中人们已发现的矿物有 3000 多种,常见的约 200 余种。构成岩石成分的主要矿物叫造岩矿物,常见的约 20 余种。

#### 二、矿物的形态特征

呈固体状态的矿物,当其内部质点作有规律的排列成结晶体或结晶物质时,其外表常为规则的几何多面体。不同的矿物,由于其化学成分和构造的不同,晶形各异,如石英和岩盐。但有时矿物成分相同,由于生成条件的不同,内部排列构造各异,因而呈现出晶体外形完全不同,如石墨和金刚石。

常见的矿物形态特征分为以下几类:

##### 1. 单体矿物形态。

(1) 单向延长类型。晶体向一个方向发育,形成柱状、针状、纤维状晶体。如纤维状石膏、角闪石、石棉、绿柱石(图 2-2)。

(2) 双向延长类型。晶体向两个方向发育,形成板状、片状晶体。如板状石膏、云母等(图 2-2)。

(3) 三向延长类型。晶体在三个方向发育均等,形成立方体、八面体等粒状晶体,如黄铁矿、橄榄石、石榴子石等(图 2-2)。

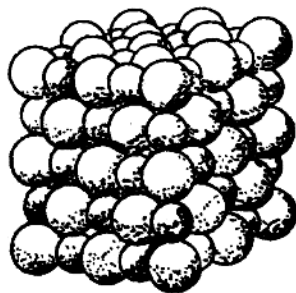


图 2-1

岩盐晶体结构中质点的有序排列

大球  $\text{Cl}^-$  小球  $\text{Na}^+$

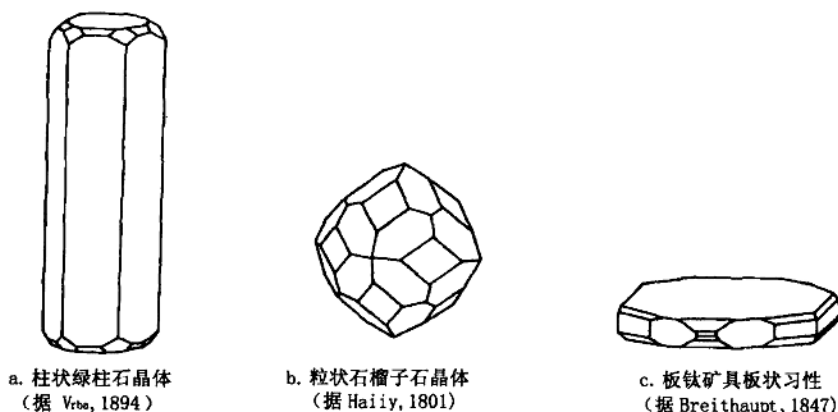


图 2-2 晶体的形态

## 2. 集合体的形态。

自然界常常有一些同类矿物聚集在一起而呈集合体的状态。常见的集合体有：

(1) 晶簇。这种矿物集合体在岩石空洞或裂隙中以共同的基底生长许多单个晶体的集合体，如石英晶簇、方解石晶簇。

(2) 纤维状。由很多针状矿物或柱状矿物平行排列成纤维状，如石棉、纤维石膏。

(3) 粒状。大小略等、不具一定规律的晶体聚合成粒状。按颗粒大小分为粗粒状、细粒状。

(4) 鲕状。胶体物质围绕着一个质点凝聚而成一个结核，一个个细小的结核聚合成集合体，形似鱼卵，如鲕状赤铁矿。结核颗粒比鲕状大、形如肾状者，称肾状集合体，如肾状赤铁矿、肾状硬锰矿等。

(5) 钟乳状。在石灰岩溶洞内，钙质溶液由中心向外凝聚，形成圆锥状或圆柱状的矿物集合体，如石钟乳、石笋等(图 2-3)。

(6) 土状。均匀细小的矿物颗粒的集合体，如高岭土。

(7) 块状。矿物集合在一起，细致紧密，无什么排列形状，如块状石英、蛋白石等。

(8) 放射状。由很多针状矿物或柱状矿物呈放射状排列，如红柱石(图 2-3)。

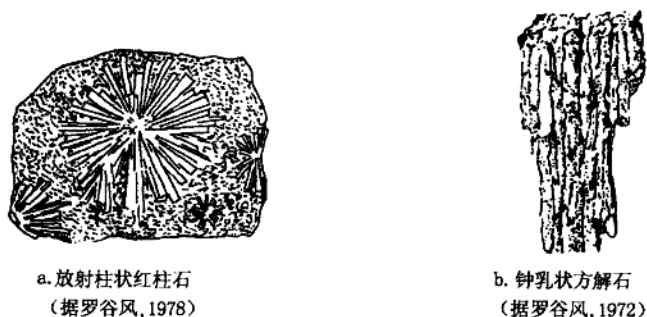


图 2-3 集合体形态