

北大版·高职高专土建系列规划教材



21世纪全国高职高专土建 **立体化** 系列规划教材

工程地质与土力学

GONGCHENG DIZHI YU TULIXUE

主 编 杨仲元



- ◎ 设计典型工作任务分析，在实际操作中讲解理论
- ◎ 结合职业资格考试要求，增强职业能力培养
- ◎ 选择有代表性的野外地质实习和岩土试验，加深课程理解



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专土建立体化系列规划教材

工程地质与土力学

主 编	杨仲元			
副主编	陈武威	俞华标		
参 编	郑晓国	许玮珑	薛 倩	
主 审	丁伯阳			



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以交通土建类专业学生的就业为导向,根据行业专家对本专业所涵盖的岗位群进行的任务和职业能力分析,同时遵循高等职业院校学生的认知规律,紧密结合职业资格证书中相关的考核要求,确定本课程的工作模块和课程内容。为了充分体现“任务引领、实践导向”的课程思想,本书共分8个学习情境,主要包括工程地质认知、岩体与边坡稳定性分析、地质图阅读、常见不良地质现象分析、工程地质勘察、土质学认知、土的压缩及土压力计算、土体强度与地基承载力分析。同时,选择具有代表性的野外地质实习和岩土试验,以加深学生对课程内容的理解。此外,本书还根据技能培养与训练要求以及可持续发展的需要安排了必要的专业理论知识与能力训练项目。

本书主要供高等职业教育道路桥梁工程技术专业教学使用,也可作为土木工程技术人员培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质与土力学/杨仲元主编. —北京:北京大学出版社,2012.6

(21世纪全国高职高专土建立体化系列规划教材)

ISBN 978-7-301-20723-9

I. ①工… II. ①杨… III. ①工程地质—高等职业教育—教材②土力学—高等职业教育—教材
IV. ①P642②TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 118269 号

书 名: 工程地质与土力学

著作责任者: 杨仲元 主编

策 划 编 辑: 赖 青 王红樱

责 任 编 辑: 王红樱

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20723-9/TU·0240

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 488 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

北大版·高职高专土建系列规划教材 专家编审指导委员会

主 任： 于世玮（山西建筑职业技术学院）

副 主 任： 范文昭（山西建筑职业技术学院）

委 员： （按姓名拼音排序）

丁 胜（湖南城建职业技术学院）

郝 俊（内蒙古建筑职业技术学院）

胡六星（湖南城建职业技术学院）

李永光（内蒙古建筑职业技术学院）

马景善（浙江同济科技职业学院）

王秀花（内蒙古建筑职业技术学院）

王云江（浙江建设职业技术学院）

危道军（湖北城建职业技术学院）

吴承霞（河南建筑职业技术学院）

吴明军（四川建筑职业技术学院）

夏万爽（邢台职业技术学院）

徐锡权（日照职业技术学院）

战启芳（石家庄铁路职业技术学院）

杨甲奇（四川交通职业技术学院）

朱吉顶（河南工业职业技术学院）

特邀顾问： 何 辉（浙江建设职业技术学院）

姚谨英（四川绵阳水电学校）

北大版·高职高专土建系列规划教材

专家编审指导委员会专业分委会

建筑工程技术专业分委会

主任: 吴承霞 吴明军
副主任: 郝俊 徐锡权 马景善 战启芳
委员: (按姓名拼音排序)
白丽红 陈东佐 邓庆阳 范优铭 李伟
刘晓平 鲁有柱 孟胜国 石立安 王美芬
王渊辉 肖明和 叶海青 叶腾 叶雯
于全发 曾庆军 张敏 张勇 赵华玮
郑仁贵 钟汉华 朱永祥

工程管理专业分委会

主任: 危道军
副主任: 胡六星 李永光 杨甲奇
委员: (按姓名拼音排序)
冯钢 冯松山 姜新春 赖先志 李柏林
李洪军 刘志麟 林滨滨 时思 斯庆
宋健 孙刚 唐茂华 韦盛泉 吴孟红
辛艳红 鄢维峰 杨庆丰 余景良 赵建军
钟振宇 周业梅

建筑设计专业分委会

主任: 丁胜
副主任: 夏万爽 朱吉顶
委员: (按姓名拼音排序)
戴碧锋 宋劲军 脱忠伟 王蕾
肖伦斌 余辉 张峰 赵志文

市政工程专业分委会

主任: 王秀花
副主任: 王云江
委员: (按姓名拼音排序)
俞金贵 胡红英 来丽芳 刘江 刘水林
刘雨 刘宗波 杨仲元 张晓战

前 言

本书是在交通运输类高等职业院校积极践行和创新先进职业教育理论，深入推进“校企合作、工学结合”人才培养模式的大背景下，由浙江交通职业技术学院路桥学院根据新的课程标准，组织教师编写而成。

“工程地质与土力学”是高职道路桥梁工程技术专业的课程之一，是以工程地质学和土力学的基本理论为基础，研究工程结构和基础工程设计与计算问题的一门学科。本书紧紧围绕教学目标和教学要求设置了8个学习情境，使学生能从技术的角度去认识 and 解决有关工程地质方面的问题；通过教学、实训和试验能得到一些基本技能的训练，学习搜集、分析和运用有关地质方面资料、图件，并结合其他专业课的学习对一般的工程地质问题进行初步评价；从土的成因出发，分析土的物理力学性质和影响土的性质变化的主要原因，并根据土的主要工程特性进行科学的分类；同时，培养学生诚实、守信、善于沟通和合作的品质，为综合职业能力奠定良好的基础。

本书由浙江交通职业技术学院杨仲元担任主编，浙江工业大学丁伯阳教授担任主审。本书编写人员的分工如下：学习情境1、学习情境2和学习情境3由浙江交通职业技术学院杨仲元编写；学习情境4由浙江交通职业技术学院许玮琰编写；学习情境5由临安市交通局陈武威编写；学习情境6由浙江省交通规划设计院俞华标编写；学习情境7由浙江交通职业技术学院郑晓国编写；学习情境8由浙江交通职业技术学院薛倩编写。

限于编者水平，书中难免有不足之处，诚挚地希望广大读者在学习使用过程中批评指正。

编 者

2012年3月

目 录

学习情境 1 工程地质认知	1	任务 5.2 野外地质勘察	186
任务 1.1 工程地质学认知	2	小结	192
任务 1.2 地貌与第四纪地质认知	50	复习思考题	193
任务 1.3 地下水分析	70	能力训练	193
小结	87	学习情境 6 土质学认知	194
复习思考题	90	任务 6.1 土的三相组成	195
能力训练	91	任务 6.2 土的工程性质分析	203
学习情境 2 岩体与边坡稳定性分析	93	任务 6.3 土的工程分类	213
任务 2.1 岩体结构与边坡破坏分类	94	任务 6.4 含水率、密度与液塑限 试验	219
任务 2.2 岩质边坡的稳定性分析	102	小结	233
小结	116	复习思考题	234
复习思考题	116	能力训练	235
能力训练	117	学习情境 7 土的压缩及土压力 计算	236
学习情境 3 地质图阅读	118	任务 7.1 土的应力分布与计算	237
任务 3.1 地质图分类	119	任务 7.2 土的压缩性及变形计算	242
任务 3.2 地质图的阅读与分析	123	任务 7.3 土压力计算	258
小结	126	任务 7.4 土的压缩试验	289
复习思考题	126	小结	290
能力训练	126	复习思考题	291
学习情境 4 常见不良地质现象分析	127	能力训练	291
任务 4.1 崩塌分析	128	学习情境 8 土体强度与地基承载力 分析	294
任务 4.2 滑坡分析	132	任务 8.1 土的强度指标与测定	295
任务 4.3 泥石流分析	140	任务 8.2 地基承载力分析	307
任务 4.4 岩溶分析	144	任务 8.3 土的直剪试验	318
任务 4.5 地震分析	150	小结	322
小结	157	复习思考题	322
复习思考题	158	能力训练	322
能力训练	158	参考文献	323
学习情境 5 工程地质勘察	159		
任务 5.1 工程地质勘察概论	160		

学习情境1

工程地质认知

教学目标

1. 能描述地球的圈层构造、地质作用、地质的代。
2. 能描述三大类岩石的分类及岩石的工程性质。
3. 能鉴定常见的矿物与岩石。
4. 能完成岩层产状的测定的表示方法。
5. 能描述断层、节理、褶皱等地质构造。
6. 能描述山岭地貌、地表流水地貌、平原地貌的工程地质特征。
7. 能描述地下水类型，并会分析地下水对工程的影响。

教学要求

能力目标	知识要点	权重
地质作用认知	地球的圈层构造	B
	地壳板块构造	B
	地质年代	C
	内力地质作用的类型与特征	A
	外力地质作用的类型与特征	A
矿物鉴定	造岩矿物的种类与特征	B
	矿物的主要性质	C
	矿物的鉴定方法	A
	岩浆岩、沉积岩和变质岩的矿物成分	C
岩石鉴定	常见岩石的种类与特征	B
	岩石的物理力学性质及工程分类	B
	岩石的鉴定方法	A
	岩层产状及产状要素	A
地质罗盘仪实训	断层与节理的含义及特征	B
	褶皱构造的几何要素与分类	C
	用地质罗盘仪测定岩层的产状	A
	地貌类型的划分	A
地貌类型划分	山岭地貌、地表流水地貌、平原地貌的工程地质特征	C
	第四纪沉积物的主要成因类型	B
	地下水及其类型	A
地下水分析	地下水物理性质和化学成分	B
	地下水运动规律	C

注：权重表示知识要点的重要程度，A>B>C(全书下同)。



章节导读

本学习情境由工程地质学认知、地貌与第四纪地质认知和地下水认知三部分组成。工程地质学认知介绍了地球的圈层构造、地壳板块构造、相对地质年代和内外力地质作用的类型,同时也阐述了矿物的鉴定方法、岩石的鉴定方法和地质罗盘仪的正确操作方法。地貌与第四纪地质认知主要介绍了地貌类型的划分和第四纪沉积物的主要成因类型。地下水认知介绍了地下水的分类、特征以及地下水运动的基本规律和地下水运动对土木工程的影响。



知识点滴

地壳是由岩石和岩体组成的。自然界岩石的种类很多,按形成原因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。人类目前使用的多种自然资源如各种金属与非金属矿产以及石油等蕴藏于岩石中,并且与岩石具有成因上的联系。在工程上,岩石通常作为建筑物或构筑物的基础持力层,其物理力学性质对这些工程建筑起到至关重要的作用。岩石也是构成各种地质构造和地貌的物质基础,对指导找矿勘探、开发地下资源、工程建筑设计,以及交通运输、国防工程的建设等都具有极其重要的研究价值。

各种不同的地貌及第四纪地质,关系到公路勘测设计、桥隧位置选择的技术经济问题和养护工程等。

埋藏在地表以下岩石(包括土层)的空隙(包括孔隙、裂隙和空洞)中的各种状态的水称为地下水。自然界存在于岩土空隙中的地下水有气态、液态和固态三种,其中以液态为主。

任务 1.1 工程地质学认知



引例

地壳在地质历史中,受地球内、外力地质作用的影响,不停地运动和演变。自地球形成以来,整个地壳一直处于运动、变化和发展之中,但运动、变化和发展的速度、幅度、范围 and 方向,在不同的时间和地点,往往是不相同的。如地壳的上升或下降,挤压或拉伸运动是极其缓慢的,而地震却是十分剧烈的。

喜马拉雅山上发现鱼、海螺、海藻等海洋生物化石如图 1.1 所示。这说明在很久之前,喜马拉雅山地区是一片汪洋大海,后来由于地壳运动,使这个地区的海底抬升成为陆地,地表形态也发生了巨大的变化。那么,地壳为何运动?地表形态为什么会不断地发生变化?运动和变化的力量来自哪里?

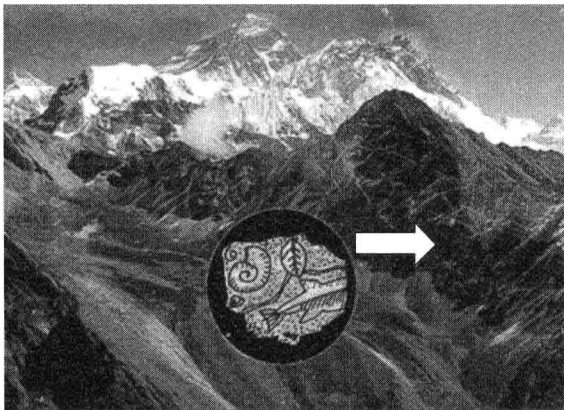


图 1.1 喜马拉雅山上的海洋生物化石

1.1.1 地球的构造

1. 地球的形状

地球是人类居住的星球。根据地球内部放射性同位素蜕变速度测定,地球从形成至今大约经历了 46 亿年。地球的形状为不规则的椭球体,由于地球椭球体的扁率很小,故在一般计算时,常视地球为一圆球体,取其平均半径值为 6371km。地球表面高低不平,最高的山峰海拔达到 8844.43m,最深的海沟深达海平面之下 11035m。地球的平均半径为 6371km,体积为 $1.083 \times 10^{21} \text{ m}^3$ 。地球的自然表面积约为 $5.11 \times 10^{14} \text{ m}^2$,赤道周长为 40075.04km。

在漫长的地质历史进程中,地球一直处在不断运动之中,其成分和构造时刻都在变化。过去的海洋经过长期的演变而成为陆地、高山;陆地上的岩石经过长期风吹、日晒、雨淋之后逐渐破坏粉碎,脱离原岩而被流水携带到低洼处沉积下来,结果高山被夷为平地。海枯石烂、沧海桑田,地壳面貌不断改变,从而形成了今天的外部形态特征。

2. 地球的结构

由于组成物质和物理性质不同,地球从地表到地心呈圈层状分布,这种现象称为地球的圈层结构。根据地震波在地球内部的传播速度和传播特征,一般把地球划分为地壳、地幔、地核三个圈层如图 1.2 所示。

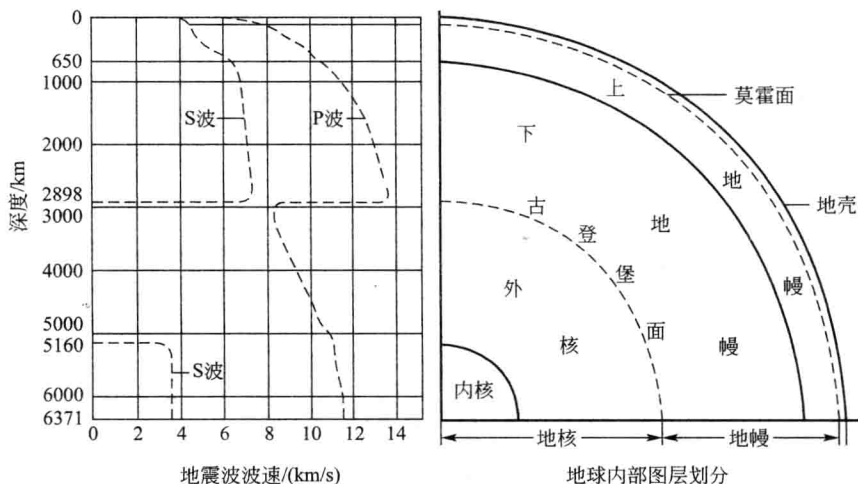


图 1.2 地球的圈层构造及 P 波和 S 波的速度分布

地球的赤道半径为 6378.137km,两极半径为 6356.752km。地球的表面起伏不平,约有 70.9%的面积为海洋,29.1%的面积为陆地。

地壳是固体地球的表层部分,以莫霍面为其下界面,平均厚度为 33km。地壳的密度为 $2.7 \sim 2.9 \text{ g/cm}^3$,由各种岩石组成,大陆型地壳主要由沉积岩、花岗岩和变质岩组成,大洋型地壳主要由玄武岩类组成。

地幔是指莫霍面以下至古登堡面以上的圈层(33~2900km),其密度为 $3.3 \sim 4.6 \text{ g/cm}^3$ 。

其中又分为上地幔和下地幔两个部分：上地幔指莫霍面至 670km 深度处的地幔上部(33~670km)；下地幔指 670~2900km 范围的地幔下部。整个地幔物质成分，一般认为与球粒陨石相近，即以铁、镁、硅酸盐为主。

地核是指古登堡面以下的地球核心部分(2900~6371km)，其密度为 $11\sim 16\text{g/cm}^3$ 。其中又分为外地核和内地核两部分；外地核分布范围为 2900~5155km；内地核分布范围为 5155~6371km，即位于地球核心部位。因横波不穿过外地核和地震纵波吸收得很少等，认为外地核为铁、硅、镍组成的熔融体。内地核的物质组成为铁镍合金。

3. 地壳的板块构造

1915 年，德国魏格纳提出“大陆漂移说”，认为大约距今 1.5 亿年前，地球表面有个统一的大陆——联合古陆。联合古陆周围全是海洋，从侏罗纪开始，联合古陆分裂成几块并各自漂移，最终形成现今大陆和海洋的分布格局。奥地利地质学家休斯对“大陆漂移学说”作了进一步推论，认为古大陆不是一个而是两个，北半球的一个称劳亚古陆，南半球的一个称冈瓦纳大陆。“大陆漂移说”的主导思想是正确的，但限于当时地质科学发展水平而未得到普遍接受。

直到 20 世纪 60 年代末，根据大量科学观测资料，将大陆、海洋、地震、火山以及地壳以下的上地幔活动有机地联系起来，才形成一个完整的“地壳板块构造学说”。

板块构造学说认为：刚性的岩石圈分裂成 6 个大的地壳块体(板块)，它们驮在软流圈上作大规模水平运动。各板块边缘结合地带是相对活动的区域，表现为强烈的火山(岩浆)活动、地震和构造变形等，而板块内部则是相对稳定区域。

研究表明，全球可划分出 6 个大的板块(太平洋板块、非洲板块、美洲板块、印度洋板块、南极洲板块、欧亚板块)和 6 个小型板块(菲律宾板块、富克板块、可可板块、澳大利亚-印度板块、纳兹卡板块、加勒比海板块)，共 12 个板块如图 1.3 所示。

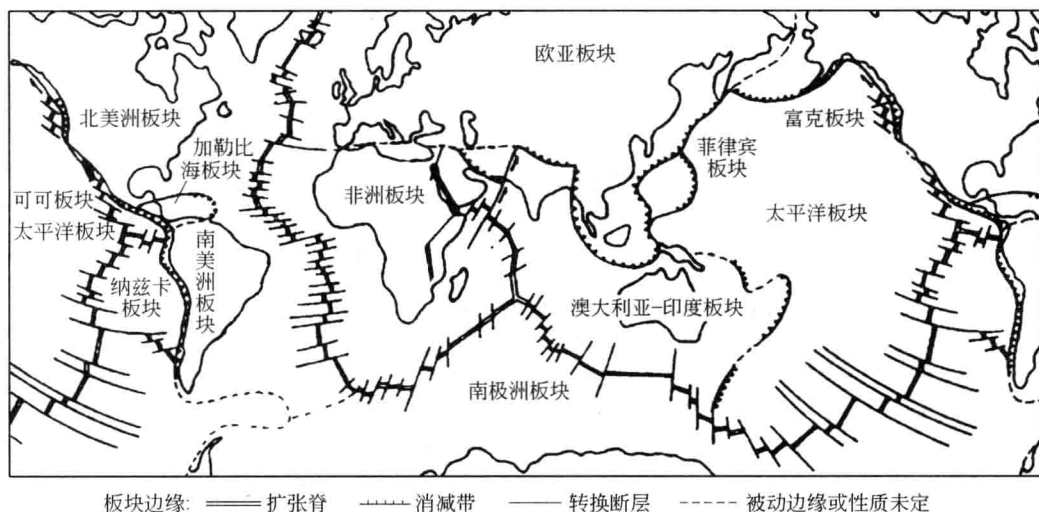


图 1.3 地壳的板块构造

**特别提示**

大陆内部也可以划出一些次一级的板块。板块之间,分别以海峡或海沟、造山带为界。一般说来,板块内部地壳比较稳定;板块与板块交界处是地壳比较活动的地带,其活动性主要表现为地震、火山、张裂、错动、岩浆上升、地壳俯冲等。世界上的火山、地震活动,几乎都分布在板块的分界线附近。

4. 地球外部圈层概述

地球的外部圈层,主要是大气圈、水圈和生物圈。

1) 大气圈

大气是人类和生物赖以生存的物质条件。根据大气在垂直方向上的温度、成分、密度、电离等物理性质和运动状况,可把大气圈分为5层:对流层(自地面到8~18km高空)、平流层(从对流层顶至离地面50~55km高空)、中间层(从平流层顶至离地面80~85km高空)、热层或暖层(从中间层顶至离地面800km高空)、外层或逸散层(800km以上高空)。低层大气(0~25km高空)主要由氮(质量百分比75.523%)、氧(23.142%)、氩(1.280%)、二氧化碳(0.050%)以及少量的臭氧和氢、氦、氖、氪、氙等组成。

2) 水圈

水圈是指由地球表层水体所构成的连续圈层。地球上水的总体积约为 $13.6 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。按天然水所处的环境不同,水圈的水可分为海洋水(咸水)、陆地水(绝大部分为淡水)、大气水(存在于大气圈中的气态水)3种类型。海洋水约占水圈总体积的97.2%;陆地水约占水圈总体积的2.799%;大气水约占水圈总体积的0.001%。

3) 生物圈

生物圈是指地球表层由生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层,是地球上所有生物及其生存环境的总称。据目前研究资料显示,生物圈中的90%以上的生物都活动在从地表到200m高空,以及从水面到水下200m水域范围内,这部分空间是生物圈的主体。构成生物圈的生物种类极其繁多,现今地球上已被发现、鉴定、定名的就达200万种,其中动物150万种,植物50万种。

1.1.2 地质作用

在地质历史发展过程中,由自然动力引起地壳物质组成、内部结构及地表形态变化和发展的自然作用,统称为地质作用。按其动力能量的不同,地质作用可分为内力地质作用和外力地质作用。

1. 内力地质作用

内力地质作用简称为内力作用,是由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能等所引起,主要是在地壳或地幔中进行。内力地质作用包括构造运动、岩浆作用、地震作用和变质作用等。

1) 构造运动

由地球自转速度的改变等原因,使得组成地壳的物质不断运动,并改变它的相对位置

和内部构造的过程,称为构造运动,又称为地壳运动。它是内力地质作用的一种重要形式,也是改变地壳面貌的主导作用。

按构造运动的作用方向,可分为水平运动和垂直运动。

(1) 水平运动。是地壳演变过程中表现得较为强烈的一种运动形式。一般认为,水平运动是形成地壳表层各种地质构造形态的主要原因。地球是一个旋转着的椭球体,当其旋转时,产生巨大的离心力,它和地球的重力都在对地壳起作用,它们相互抵消后,还产生一种指向赤道的水平方向的挤压力。当地球自转角速度变化时,产生一种与变化方向相反的力,称惯性力。所有这些力都在对地壳施加影响,且地壳各圈层的物质成分及其物理化学状态等都存在着差异。水平运动使地壳岩层地受到挤压、拖曳、旋扭等,从而使地壳岩层发生强烈的褶皱和断裂,形成裂谷、盆地及褶皱山系,如我国的喜马拉雅山、天山等。

(2) 垂直运动。是地壳演化过程中表现得较为缓慢的一种运动形式。地壳历经几度海陆变迁,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。例如,芬兰南部海岸以每年 $1\sim 4\text{mm}$ 的速度上升;丹麦西部海岸则以每年 1mm 的速度下降;我国西沙群岛的珊瑚礁,现已高出海面 15m ,本来珊瑚礁是在深 $0\sim 80\text{m}$ 的海水中生长的,这说明西沙群岛近期是处于缓慢上升的。喜马拉雅山上大量新生代早期的海洋生物化石的存在,反映了五六千万年前,这里曾是汪洋大海,由此可见垂直运动幅度之大。喜马拉雅山的珠穆朗玛峰,近一百万年来,升高了约 3000m ,平均每年升高 3mm ,这都是人们感觉不到的。也就是说,缓慢的地质变化过程,如果经历漫长的时间,也能引起地壳发生显著的变化。

2) 岩浆作用

岩浆在高温高压下常处于相对平衡状态,但当构造运动使地壳出现破裂带,或其上覆岩层受外力地质作用发生物质转移时,岩浆会向压力减小的方向移动,这种现象称为岩浆活动。岩浆的形成、运移、聚集、变化及冷凝形岩的全过程称为岩浆作用。岩浆侵入地壳上部或喷出地表冷凝而成的岩石称为岩浆岩。

岩浆作用有两种方式:喷出作用和侵入作用。

(1) 喷出作用。地下深处的岩浆直接冲破地壳喷射或溢流出地面冷却成岩石的过程,称为喷出作用,也称火山作用。火山喷发时,一般是先有大量的气体、固体物质喷射到天空,引起雷电交错、狂风暴雨,并伴有地鸣、地震现象,接着喷溢出大量的岩浆,随后慢慢停息而趋于平静。

通常把人类历史有过喷发记载且至今正在活动的火山叫做活火山。人类历史中无喷发记载的火山叫做死火山。人类历史中有过记载而现在停止活动的火山叫做休眠火山。例如,我国黑龙江省德都县五大连池火山,是 $1719\sim 1721$ 年间先后数次喷发而形成的,至今处于休眠状态。

(2) 侵入作用。岩浆从地下深处沿各种软弱带上升,往往由于热力和上升力量的不足,或因通道受阻,不能到达地表,只能侵入到地下一定深度冷凝成岩石,这一过程称为侵入作用,所形成的岩浆岩称为侵入岩。岩浆在侵入过程中,可以在不同深度下凝固。在地壳不太深处冷凝形成的称为浅成侵入岩,在地下深处冷凝形成的称为深成侵入岩。

由于岩浆岩形成深度不同,直接影响到岩浆冷凝时温度的高低、压力的大小、冷凝速度的快慢以及对挥发物质的散失等。因此,喷出岩、浅成侵入岩、深成侵入岩3种岩浆岩的成分、结构和构造等都有明显的差别。

3) 地震作用

地震是地壳快速振动的现象,是构造运动和岩浆作用的一种强烈表现。火山喷发可引起火山地震,地下溶洞或地下采空区的塌陷可引起陷落地震,山崩、陨石坠落等也可引起地震。这些地震规模小,且影响范围不大。而绝大多数地震是由构造运动造成的,称构造地震。地壳内各部分岩石都受到一定的力(即地应力)的作用,地应力作用未超过岩石弹性极限时,岩石产生弹性变形,并把能量积蓄起来;当地应力作用超过地壳内某处岩石强度极限时,就会发生破裂,或使原有的破碎带重新活动,所积蓄的能量突然急剧地释放出来,并以弹性波的形式向四周传播,从而引起地壳振动,产生地震。可见地震是一种自然现象,是由地应力引起岩石积蓄能量和急剧释放能量的地质作用。

构造地震活动频繁、影响范围大、破坏性强,对人类生存造成巨大的危害。全球每年约发生500万次地震,绝大多数属于微震,有感地震约5万次,造成严重破坏的地震十余次。地震发生时,不仅使地壳内部的岩层发生褶曲、断裂、地面隆起和陷落,而且地表还可能出现滑坡、山崩或使河流改道等不良地质现象。1960年5月22日智利发生的一次地震(9.5级),灾情极为严重,由地震引起的特大海啸浪高20m,海啸横穿太平洋,5月24日到达日本东海岸,浪高4~7m,伤亡数百人,沉船109艘。2008年5月12日14时28分四川省汶川发生了8.0级地震,余震上千,伤亡人数超过6.9万人。汶川地震主要是由印度板块与亚欧板块的挤压造成的。根据有关地质专家的调查监测和评价研究结果:一是印度板块向亚洲板块俯冲,造成青藏高原快速隆升。高原物质向东缓慢流动,在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压,遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡,造成构造应力能量的长期积累,最终在龙门山北川—映秀地区突然释放。二是逆冲、右旋、挤压型断层地震。发震构造是龙门山构造带中央断裂带,在挤压应力作用下,由南西向北东逆冲运动;这次地震属于单向破裂地震,由南西向北东迁移,致使余震向北东方向扩张;挤压型逆冲断层地震在主震之后,应力传播和释放过程比较缓慢,可能导致余震强度较大,持续时间较长。三是浅源地震。汶川地震不属于深板块边界的效应,发生在地壳脆-韧性转换带,震源深度为10~20km,因此破坏性巨大。

4) 变质作用

在地壳演变过程中,地下一定深度的岩石受到高温、高压及化学成分加入的影响,在固体状态下,发生一系列变化,形成新的岩石,这一过程称为变质作用。

影响变质作用的主要因素为温度、压力和化学成分的增加。

(1) 温度。是岩石产生变质作用的基本因素。温度增高,大大增强了岩石中矿物分子运动的速度和化学活动性,使矿物在固态条件下发生重结晶作用,重新组合形成新矿物。地下温度增高,是由地热、岩浆热和动力热引起的。

(2) 压力。地壳某一深处的压力,由静压力和动压力组成。静压力是上覆岩层对下覆岩层的压力,随深度而增加,其结果使岩石体积缩小,密度增大。动压力是由构造运动产生的,具有一定的方向性,可以使岩石破裂、变形或发生塑性流动。

(3) 化学成分的增加。主要是岩浆分化出来的气体和液体与围岩发生交代作用,生成



新的矿物,如岩浆中的 F、Cl、B、P 等成分与围岩发生化学反应生成萤石、电气石、方柱石和磷灰石等。

上述三种影响变质作用的因素不是孤立的。如构造运动除了产生动压力外,还将动能转化为热能。构造运动又常伴有岩浆活动,而引起新的化学成分的加入,并带来大量的岩浆热。

2. 外力地质作用

外力地质作用是由来自外部能源所引起的地质作用,主要有太阳辐射能以及太阳和月球的引力等。其具体表现方式有风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和固结成岩作用。外力地质作用的总趋势是削高补低,使地面趋于平坦。各类土层和沉积岩就是外力地质作用的产物。

1) 风化作用

组成地壳的岩石,由于温度的变化,大气、水溶液和生物的作用,使之在原地发生物理、化学变化的现象,称为风化作用。风化作用使岩石逐渐破裂,转变为碎石、砂和粘土。

按其性质和因素不同可分为 3 种类型。

(1) 物理风化作用。在地表或接近地表条件下,岩石、矿物在原地发生机械破碎而不改变其化学成分的过程叫做物理风化作用。岩石内部温度的变化、岩石裂隙中水的冻结与融化、盐类的结晶与潮解等,都能促使岩石发生物理风化作用。其作用方式可归纳为 3 种。

① 剥离——热胀与冷缩。剥离是引起物理风化作用的最主要因素,由于岩石为热的不良导体,在太阳辐射热的影响下,表层随气温升降产生体积胀缩不一,导致岩石呈层状脱落、剥离现象。

② 冰劈——冻结与融化。在高纬度高寒地区,因季节性或昼夜的温差变化,使岩层裂隙和孔隙中的水在气温降到 0°C 时,冻结成冰,当气温回升至 0°C 以上时,冰体融化。岩石在这样时而冻结时而融化的反复作用下,裂隙可不断扩大、加深,从而使岩石崩裂成碎块。

③ 晶胀——结晶与潮解。在降水量少、蒸发剧烈的干旱或半干旱地区,渗透到岩土裂隙中的水,往往溶解了一些盐类物质。当水分蒸发,水溶液中的盐分浓度增大至过饱和时,盐类物质便要结晶。结晶后,体积随之膨胀,于是对周围岩石产生压力,而且体积增大会产生晶面胀压力,使岩土裂隙扩大或胀裂成碎块(如明矾从过饱和溶液中结晶时,体积增大 0.5% ,晶面胀压力可达 4MPa)。夜间气温降低,结晶盐类物质又从大气中吸收水分重新变成盐溶液,即潮解,于是体积缩小,再次吸取含盐类溶液来填充裂隙,使之不断扩大,最终导致岩土胀裂。

(2) 化学风化作用。岩石在大气和水溶液的影响下,岩石、矿物在原地发生化学反应并可产生新矿物的过程叫做化学风化作用。引起化学风化作用的主要因素是水和氧等。水溶液可通过溶解、水化、水解、碳酸化等方式促使岩石发生化学风化。

① 溶解作用。矿物质与水溶剂发生反应生成溶液的过程,称为溶解作用。首先最容易溶解的是卤化盐类(岩盐、钾盐等);其次是硫酸盐(石膏、硬石膏等);最后是碳酸盐类(石灰岩、白云岩等)。

溶解作用的结果是使易溶解的物质流失,难于溶解的物质残留原地,使岩石孔隙增加,削弱其坚固性,有利于物理风化作用的进行。在可溶岩分布地区,由于水对岩石的溶解作用,常常形成溶洞、溶穴等溶蚀地貌。

② 碳酸化作用。当水中溶有 CO_2 时,水溶液中除有 H^+ 和 OH^- 外,还有以 CO_3^{2-} 为主的阴离子,它能使某些矿物生成碳酸盐类的新矿物,故称为碳酸化作用。

花岗岩中的正长石经碳酸化作用后,生成 K_2CO_3 溶于水而流失,胶体的复硅酸失水变成石英类矿物,坚硬的正长石变成了疏松的高岭石,花岗岩就被风化分解了。

③ 水化作用。某些矿物和水反应生成新的含水矿物的过程,称为水化作用。含水矿物的硬度往往比原来无水时要低,从而使岩石抵抗风化的能力减弱。由于在水化过程中结合了一定数量的水分子进入矿物的成分之中,改变了原有矿物的成分,会引起体积膨胀,产生很大的压力,对岩石也具有一定的破坏作用。尤其在隧道施工中,这种压力甚至能引起支撑倾斜,衬砌开裂,应当引起足够的注意。

④ 水解作用。某些矿物和水反应后生成带 $[\text{OH}]^-$ 的新矿物的过程,称为水解作用。如在湿热气候条件下,花岗岩中的正长石在水解作用下,经过脱水去硅、吸水,先变成高岭石,再进一步分解为铝矾土。

⑤ 氧化作用。氧化作用是化学风化中极为普遍的主要方式之一,尤其在水的参与下,显得更为强烈。通常把地壳表层、地下水位之上凡能进行氧化作用的范围,称氧化带。

黄铁矿经氧化形成褐铁矿,颜色由铜黄色变为褐黄色,硬度、密度变小。同时产生的硫酸对岩石腐蚀性极强,可使岩石中某些矿物分解形成洞穴和斑点,并产生一些新矿物。因此,岩石中含有较多黄铁矿时,不适宜作建筑材料。

(3) 生物风化作用。地表岩石在动植物及微生物影响下发生的破坏作用,称为生物风化作用。生物对岩石的破坏有两种方式。

① 生物的机械破坏。植物根部在岩石裂隙中生长,迫使裂隙扩大,引起岩石崩解的过程,称为根劈作用。如植物根系在岩石裂隙中生长,不断楔裂岩石,使裂隙扩大,从而引起岩石崩解。

② 生物的化学破坏。生物通过新陈代谢及生物死亡后对岩石进行分解的过程,称为生物化学风化作用。植物和细菌在新陈代谢中常分泌出有机酸、硝酸(HNO_3)、碳酸(H_2CO_3)、亚硝酸(HNO_2)、氢氧化铵(NH_4OH)等溶液。一方面植物通过它们吸取岩土中的某些成分作为养分;另一方面这些酸类溶液使岩石受到腐蚀,从而改变岩石、矿物的性质、结构和成分。

2) 剥蚀作用

通过风力、地面流水、地下水、湖泊、海洋和生物等各种外动力因素,把风化后的松散物从岩石表面剥离下来的破坏过程,统称为剥蚀作用。剥蚀作用在破坏组成地壳物质的同时,也不断地改变着地表的基本形态。按动能性质不同,可以分为风的吹蚀作用、流水的侵蚀作用、地下水的潜蚀和溶蚀作用、湖和海水的冲蚀作用、冰川的刨蚀作用等。

剥蚀作用与风化作用的区别在于剥蚀作用是各种地质作用在运动过程中所引起的。但它们之间又有着密切的联系,风化作用为剥蚀作用提供了容易剥离的岩石表层

松散物质；剥蚀作用又为风化作用提供了裸露的新鲜岩石，为进一步风化创造了有利条件。

3) 搬运作用

风化剥蚀的产物，通过风力、流水、冰川、湖水、海水以及生物的动力，被搬离母岩后而转移空间的过程，称为搬运作用。搬运与剥蚀往往是在同一种动力下进行的。例如风和流水在剥蚀着岩石的同时，又将剥蚀下来的岩屑搬走。按搬运动力的因素不同，可以分为：风的搬运作用、流水的搬运作用、冰川搬运作用等，其中以流水为主要搬运力。

4) 沉积作用

被搬运的物质，由于搬运能力减弱、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。按其沉积方式可以分为：机械沉积、化学沉积和生物沉积。

(1) 机械沉积作用。由于搬运介质搬运能力的减弱，将拖曳或悬浮的物质按颗粒大小、形状和密度在适当的地段依次沉积下来，这种现象称为机械沉积作用。

(2) 化学沉积作用。呈真溶液或胶体溶液状态被搬运的物质，由于某种化学反应，使溶液中的溶质达到过饱和；或因胶体的电荷被中和而发生沉积，这种现象称为化学沉积作用。在化学沉积作用中，首先沉积下来的是最难溶解并易于沉积的物质，而易溶物质只是在有利于沉积作用的特殊条件下才发生沉积。

(3) 生物沉积作用。湖沼和浅海是生物最繁盛的地带，生物沉积作用极其显著。这一作用包括：生物在其生活历程中所进行的一系列生物化学作用(如改变水的 pH 值等)和生物大量死亡后，生物的骨骼直接堆积下来的过程。

5) 固结成岩作用

使松散堆积物固结为岩石的过程，称为固结成岩作用。在固结过程中，要经历物理的压实作用和化学的胶结作用。成岩作用包括如下几方面。

(1) 压实作用。当沉积物达到一定厚度时，上覆沉积物的静压力使矿物颗粒互相靠紧，发生脱水，孔隙减小，体积压缩，密度增大，逐渐被压实、固结，使沉积物转变为沉积岩。由粘土沉积物变为粘土岩，碳酸盐沉积物变为碳酸盐岩，主要是压实作用的结果。

(2) 胶结作用。水溶胶结物质的化学沉淀，将松散碎屑物胶结、凝聚起来，形成泥质、钙质、铁质、硅质等沉积物。这些物质充填于碎屑沉积物颗粒之间，在上覆沉积物等外界压力的作用下，经过压实，碎屑沉积物的颗粒借助于化学沉积物的粘结作用而固结变硬，形成碎屑岩。

(3) 重结晶作用。随着沉积物的埋深而升温、加压，借溶解或固体扩散等作用，使物质质点发生重新排列组合，颗粒增大，称为重结晶作用。重结晶作用主要出现于粘土岩和化学岩的成岩过程中。例如，化学沉积的方解石、白云石、石膏，胶体沉积的粘土矿物、二氧化硅(蛋白石)，都容易发生重结晶作用，使颗粒增大，使疏松沉积物固结成岩。

3. 内外力地质作用的相互关系

内力地质作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造形态和地壳表面大型的高低起伏，