

专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材

土木工程地质学

刘增荣 主编

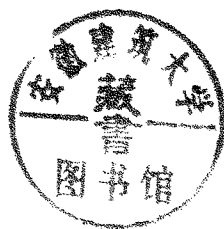


武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材

土木工程地质学

主 编 刘增荣
副主编 罗少锋



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书为高等院校土木工程类专业的专业基础课教材,内容包括:绪论、地球构造和地质作用、矿物与岩石、土的物理性质、地质构造、地下水、不良地质现象和工程地质勘察等。目的是使学生学习这些内容后,掌握土木工程地质学的基本概念、基本理论和基本方法,具有阅读和应用工程地质图的基本能力,具备分析和解决工程地质问题的初步基础,为今后工作中应用土木工程地质学的知识,解决实际岩土工程问题打下良好基础。

本书文字简明,循序渐进,内容丰富,图文并茂,重点突出,便于自学。

本书可作为高等院校土木工程类专业的专业基础课教材,也可供相关专业的设计、施工和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程地质学/刘增荣主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2018.8

ISBN 978-7-5629-5812-3

I. ①土… II. ①刘… III. ①土木工程-工程地质-高等学校-教材 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 191880 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:高 英

责任校对:李正五

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社有限责任公司

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:崇阳文昌印务股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:281 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版

印 次:2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

“土木工程地质学”课程是土木工程专业、交通工程专业、城市规划专业、给排水专业本科生的一门专业基础课。编写一本能够揭示地层及其构造、岩石与土的物理学性质、不良地质现象的特征、地下水的运动规律,以及阐述工程地质勘察原理与方法的土木工程地质学教材,满足土木工程类专业在校学生和在职岩土工程师的实际需求,具有重要的理论和实践意义。

本书共分8章,包括:绪论、地球构造和地质作用、矿物与岩石、土的物理性质、地质构造、地下水、不良地质现象和工程地质勘察等内容。

本书具有以下特点:

- (1) 突出基本概念、基本理论和基本方法的论述;
- (2) 注重学生阅读和应用工程地质和水文地质图能力的培养;
- (3) 注意结合土木工程实践活动阐述土木工程地质学的基本内容;
- (4) 注意从全国区域地形地貌入手分析工程地质和水文地质所带来的重要岩土工程问题;
- (5) 注重图文并茂,配合教材内容,以多幅珍贵的图片诠释了地球上所发生的各种地质现象,有助于学生掌握各种地质概念与理论,并加强对其的感性认识。

本书在编写过程中参考了大量国内外文献,引用了一些专家和学者的宝贵资料,在书末的参考文献中已予列出,在此特向各位专家和学者表示感谢。

希望本书能够对读者的学习和工作提供帮助。鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年5月31日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 地质学与工程	1
1.2 土木工程地质学与其他学科	1
1.3 本课程的内容和特点	1
第2章 地球构造和地质作用	3
2.1 地球的构造	3
2.1.1 地球的圈层构造	3
2.1.2 地球板块构造学说	7
2.2 地质作用	8
2.2.1 内力地质作用	8
2.2.2 外力地质作用	11
2.3 地质年代的概念及其确定	27
2.3.1 地质年代的概念	27
2.3.2 地质年代的划分	28
思考题及习题	29
第3章 矿物与岩石	30
3.1 主要造岩矿物	30
3.1.1 矿物的生成条件	30
3.1.2 矿物的主要物理性质	30
3.1.3 矿物的鉴定方法	32
3.2 岩石的成因类型和主要特征	32
3.2.1 岩浆岩的主要特征	33
3.2.2 沉积岩的主要特征	42
3.2.3 变质岩的主要特征	47
思考题及习题	48
第4章 土的物理性质	50
4.1 概述	50
4.2 土的形成	50
4.2.1 土的成因	50

4.2.2 地形和地貌	57
4.2.3 我国区域地貌特征及其地层特征	58
4.3 土的组成	59
4.3.1 土的固体颗粒	59
4.3.2 土中的水和气	62
4.3.3 土的结构和构造	65
4.4 土的三相比比例指标	66
4.4.1 指标的定义	66
4.4.2 指标的换算	69
4.5 无黏性土的密实度	71
4.6 黏性土的物理特性	72
4.6.1 液限、塑限、缩限界限含水量的测定	73
4.6.2 黏性土的塑性指数与液性指数	74
4.6.3 黏性土的灵敏度和触变性	75
4.7 土的压实原理	76
4.7.1 最优含水量和最大干密度	76
4.7.2 击实曲线	76
4.7.3 与最优含水量 w_{op} 相关的因素	76
4.8 地基土的分类	77
4.8.1 岩石的工程分类	77
4.8.2 土的分类	78
4.8.3 特殊土	79
思考题及习题	80
第5章 地质构造	82
5.1 地质构造与地壳运动	82
5.2 地层接触关系	82
5.2.1 层状地层的接触关系	82
5.2.2 岩浆岩与周围地层的接触关系	82
5.3 地质构造的基本类型	84
5.3.1 单斜构造	84
5.3.2 褶皱构造	90
5.3.3 断裂构造	93
5.4 地质图的阅读和分析	102
5.4.1 地质图的基本类型	102

5.4.2 看地质图的步骤和方法	103
5.4.3 阅读地质图例	104
思考题及习题	106
第6章 地下水	109
6.1 地下水的基本概念	109
6.1.1 岩土的空隙性	109
6.1.2 土的水理性质	110
6.1.3 含水层、隔水层与滞水层	110
6.1.4 地下水的埋藏类型	111
6.1.5 孔隙水、裂隙水和岩溶水	117
6.2 地下水的物理性质及化学性质	119
6.2.1 地下水的物理性质及主要气体成分	119
6.2.2 地下水的化学性质	119
6.2.3 地下水对混凝土的侵蚀性	120
6.3 地下水的运动	120
6.3.1 渗流	120
6.3.2 地下水运动的基本规律	123
6.4 地下水的渗透变形	125
6.4.1 动水压力	125
6.4.2 流砂	126
6.4.3 潜蚀	127
6.5 渗透系数的测定	127
6.5.1 土的渗透性	127
6.5.2 渗透系数的测定方法	127
6.6 地下水引起的工程地质问题	129
6.6.1 地下水引起的地面沉降和塌陷及突涌	129
6.6.2 不同地貌下地下水的特征及其所带来的岩土工程问题	130
6.6.3 不同地貌单元上不同地层组合条件下基坑支护与防水设计的一些宏观控制概念	131
思考题及习题	133
第7章 不良地质现象	135
7.1 边坡变形破坏的类型	135
7.1.1 松弛张裂	135
7.1.2 倾倒	135

7.1.3 蠕动	135
7.1.4 崩塌	135
7.1.5 滑坡	136
7.2 泥石流	138
7.3 岩溶	139
7.4 土洞	140
7.5 崩塌和蠕动示例	140
思考题及习题	141
第8章 工程地质勘察	142
8.1 概述	142
8.2 地基勘察的任务和内容	142
8.2.1 地基勘察与岩土工程等级的关系	142
8.2.2 选址勘察(可行性研究勘察)	144
8.2.3 初步勘察	144
8.2.4 详细勘察	144
8.2.5 勘察任务书	145
8.3 工程地质勘察方法	145
8.3.1 测绘与调查	145
8.3.2 勘探方法	146
8.3.3 测试工作及指标整理	154
8.4 地基勘察报告书	155
8.4.1 地基勘察报告	155
8.4.2 勘察报告的阅读和使用	157
8.4.3 勘察报告实例	158
思考题及习题	163
参考文献	164

第 1 章 绪 论

1.1 地质学与工程

工程与地质学是密不可分的。任何土木工程都与地质条件相关。我们建造一座大楼，大楼须以地层为依托，而大楼所依托的地层条件如何，就涉及地质学的知识。类似的工程与地质学的密切相关的问题太多。例如，公路涉及路基的地质问题，铁路所穿过的山洞涉及山洞洞壁岩石的地质问题，运河的开挖涉及河道底部两侧地层的地质问题，水库大坝涉及坝基的地质问题。因而言任何工程人员都必须面对地质问题，都无法逃避地质问题的困扰和质疑。

1.2 土木工程地质学与其他学科

地质学是一门研究地球的科学。地球的表层——地壳是地质学主要的研究对象。工程地质学是地质科学的一个分支，是研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科。

因此，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。

土木工程地质学与土力学、基础工程学、施工技术等课程具有较为密切的关系。学好土木工程地质学，可为这些后续课程的学习打下较好的基础。

1.3 本课程的内容和特点

土木工程地质学是揭示地层及其构造、岩石与土的物理学性质、不良地质现象的特征、地下水的运动规律以及阐述工程地质勘察原理与方法的一个重要科学分支。通过本课程的教学和相应的实践性教学环节，使学生掌握工程地质所涉及的地质学、岩石学、土质学、地质构造、地下水等方面的基础理论及工程地质勘察和应对不良地质现象的基本方法，培养学生分析和解决工程地质问题的初步能力，为学生毕业后能够针对建筑物和构筑物地基、交通车辆路基、城市地下建筑结构周围地层的具体工程地质条件，提出相应的基础或地层处理方案，获取施工图设计和施工所需要的依据和设计计算参数，奠定良好的基础。

学生学习这门课程后，应能够达到以下要求：

- (1) 掌握地质学、岩石学、土质学、地质构造、地下水等工程地质学的基本理论。
- (2) 熟悉各类地质现象和问题对建筑物和建筑场地的影响。
- (3) 具备阅读和应用地质图以及分析场地地质条件的能力。

(4) 熟悉我国区域地形地貌特征,掌握不同区域所存在的主要岩土工程问题,提出相应的解决问题的方案。

(5) 掌握工程地质勘察的程序和方法,能够编制和分析应用工程地质勘察报告;根据场地地层条件,提出地基基础设计方案;了解各类工程地质事故的来源、作用和形成原因。能根据勘察报告结果,对工程地质问题进行分析,对不良地质现象采取正确的措施,合理地根据地质资料进行设计和施工。

第2章 地球构造和地质作用

2.1 地球的构造

自19世纪以来,人们一直认为地球是绕太阳旋转的一颗行星,是一个两极扁平、赤道突出的扁球体。但经卫星测试,地球的外形与以往的认识稍有区别。地球的外形实则是一个南极内凹24 m,北极外凸14 m的“梨状体”(图2.1)。

有关地球的数据为:

赤道半径 6378.16 km;

极半径 6356.755 km;

扁平率 $1/298.25$;

表面积 $51 \times 10^8 \text{ km}^2$;

体积 $10820 \times 10^8 \text{ km}^3$;

平均密度 5.517 g/cm^3 ;

质量 $5.976 \times 10^{12} \text{ t}$ 。

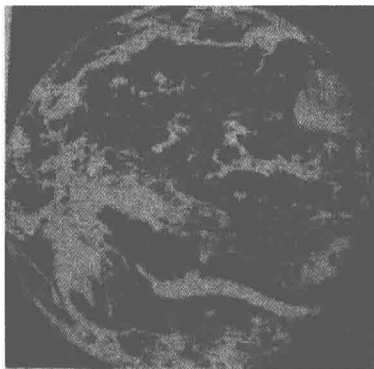


图2.1 卫星拍摄的地球照片

2.1.1 地球的圈层构造

地球是由外圈层(大气圈、水圈、生物圈)和内圈层(地壳、地幔、地核)组成的。

地球内部的一切元素都源于恒星的演化。约10亿年前,从太阳星云中分化出来的原始地球是一个比较均质的物体,主要由C、O、Mg、Si、Fe、Ni等元素组成。后来,地球内部放射性元素的辐射能在地球内部的积累,导致物质浓度升高,再加上重力作用,使得物质熔融、对流、分异,从而形成性质不同的圈层。

由于地球温度从外向内升高(每千米升高 33.03°C),因而在地球内部一定深度处的物质发生熔融,一般是Fe、Ni首先熔融,Fe、Mg、硅酸盐成分发生融化,然后在热能和引力、收缩作用下,这些物质发生对流、分异。

比重较大的含Cr、Fe、Ni的物质受高温熔融后在地心聚集而成地核;比重较轻的由Fe、Mg与硅酸根所形成的硅酸盐物质在高温作用下上浮,集中于地球的上层形成地幔。而在地幔的表层,由于放射热的散失和挥发性物质的逸散,地幔中分融出来的物质迅速冷却而形成厚度很薄和刚性不大的硬壳(地壳的胚胎),这层硬壳逐渐演变形成地壳。

在地球圈层的分化过程中,逸散出的气体形成了地球外圈层中的大气圈。地球形成之初,其原始大气主要由 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 NH_3 所组成。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,最终形成了以 N_2 、 O_2 为主的现代大气。

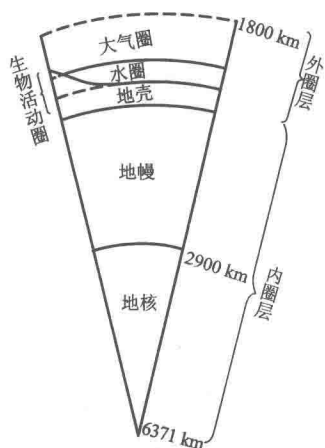


图 2.2 地球的圈层构造

汇聚在地球上的水主要从大气中分离出来。早期大气含有大量的水汽。由于温度的逐渐降低和大气中含有大量的尘埃微粒，一部分水汽便凝结成液态水降落地面，然后汇集在洼槽中形成原始水圈。后来由于水量的增加和地形的变化，原始水圈逐渐演变成为今天的海洋和河湖沼泽。这就是水圈的形成。

在原始地壳、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，这些原始生物逐渐扩展到陆地和底层大气中，不断演变、进化，形成了生物圈。地球上的动物、植物和微生物生存和活动的圈层称为地球生物圈。

地球内外圈层的分布特征见图 2.2。

2.1.1.1 地球的外圈层

地球的外圈层有：大气圈、水圈、生物圈。

(1) 大气圈

大气圈是地球的最外层圈，其上层可达 1800 km 或更高的空间。

自地表以上 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，并且，大气圈层总质量的 75% 全集中在这一层。它对地球上生物生长发育和地貌的变化有着极大的影响。大气圈的主要成分是：氮气（78%）、氧气（21%），其次是氩气（0.93%）、二氧化碳（0.03%）和水蒸气等。大气圈提供生物所需的二氧化碳和氧气等，在适宜生命活动的温度、湿度下，保护生物免受宇宙射线和陨石的伤害。

(2) 水圈

水圈由大气圈的水蒸气组成，主要由海水构成。

海洋面积占地球面积的 71%，除海洋以外，水圈还包括陆地上的河流、湖泊、地下水。水圈不仅对于生命的起源、生物的演化起到重要的作用，还能促进各种地形、地貌的发育。

水圈的主体是海洋，近年来获得的资料表明，海底地形也和陆地上的一样，同样是十分复杂的。大洋中有峻峭的海岭，高出海底达几千米，绵延长达几万千米；还有高地、海底峡谷、海底火山、平顶山、珊瑚岛、深海沟等。

海洋总的分区情况和主要地质特征如下(图 2.3)：

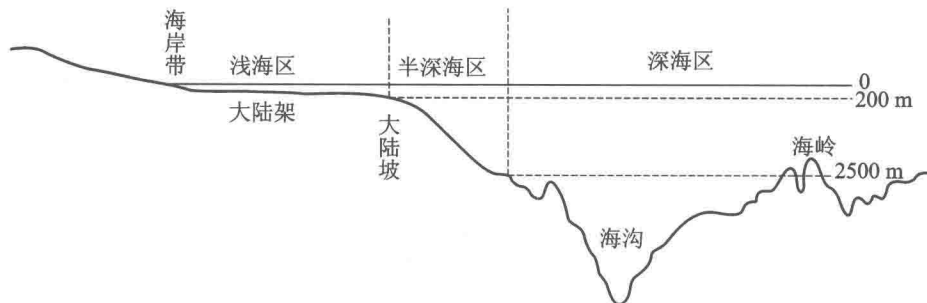


图 2.3 海洋分区及海底地形示意图

① 海岸带

海岸带即海边水深在 20 m 以内的地带。其特点是落潮时可露出水面,涨潮时又被海水所淹,经常受到海浪的冲击。

② 大陆架

大陆架是大陆边缘的延展部分,它是大陆上搬运来的物质大量堆积的场所,其海水深度不超过 200 m,所以这一带的海称为浅海。由于空气和阳光充足、营养丰富,所以大陆架是海洋中生物繁殖最多的地方。由于这种有利条件,大陆架的沉积物中常蕴藏着丰富的石油。因此,近年来许多国家都在大力开展对大陆架的研究。

③ 大陆坡

由大陆架再向外洋延伸,海底坡度突然加大(可由几度到二十多度)、水深为 200~2500 m 的地带为大陆坡,这一带的海称为半深海。

大陆坡是地球的一个十分重要的表面特征。地球物理勘探的结果表明,海洋岩石与大陆岩石的密度、磁化强度等均有明显差异,而这两大类岩石分布的边界就出现在大陆坡上。因此,大陆坡才是陆壳和洋壳之间的边界。

④ 大洋盆地

大洋盆地的海水深度为 2500~6000 m,这部分的海称为深海或大洋。在大洋盆地的中部常分布着海下山脊,称为海岭。

⑤ 海岭

海岭又称大洋中脊。近年来,随着海洋考察工作的进展,在大西洋、太平洋及印度洋中都发现有海岭。例如,大西洋中央的海岭北起北极海、纵贯大西洋,向南绕经好望角,直向印度洋中延伸。其高度可达 3000 m,宽度超过 200 km。与陆上的山脉常是受挤压而形成的成因相反,海岭与火山相似,具有张裂的特点。在大西洋海岭的中央,有一条深 2000 m、宽 50 多千米的断裂谷。海洋中浅源地震的震源大多沿海岭分布,海岭的热流值也较高。所以,近年来新兴的海底扩张假说认为:来自地幔上层的物质正是从海岭中的裂口涌出,并向两侧扩张形成新的海底。

⑥ 海沟

在大洋(主要是太平洋)的边缘分布着的深沟称为海沟。其海水的深度一般为 8000~10000 m。世界上最深的海沟在菲律宾群岛以东,深达 11000 m。这些海沟在地质上也有很大的重要性,因为地球上最强烈的地震和火山活动都发生在它们的附近(靠大陆的一侧)。

(3) 生物圈

生物圈渗透在水圈、大气圈和地壳表层的范围之内。生物圈的质量总和很小,仅为大气圈的 1/300、水圈的 1/7000、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重要作用。

2.1.1.2 地球的内圈层

根据地震波在地下不同深度处传播速度的变化(图 2.4),可得地球的内圈层分为:地

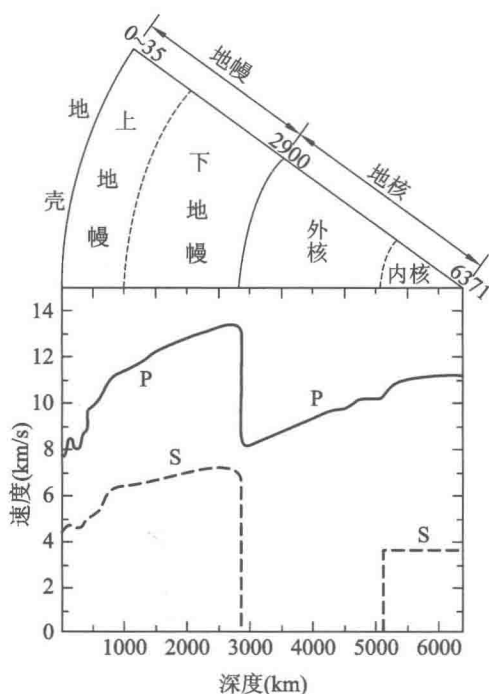


图 2.4 地震波速度变化与地球内部分层

壳、地幔和地核。

(1) 地壳

在地下几十千米深度处,地震波速度突然增大,表明在此处存在一个界面,其上下的物质有着显著的差别。这个界面最先由南斯拉夫的莫霍洛维奇在 1909 年发现,全称为莫霍洛维奇面,简称莫霍面(M 界面)。在这个界面以上的部分是地壳,以下部分是地幔。

莫霍面位于地表以下的深度在大陆下较深,为 20~70 km,在大洋底下较浅,平均为 5~8 km。由于莫霍面在全球各处位于地表以下的深度不同,所以各处地壳厚度不同,大陆地壳厚,而大洋地壳薄。一般大陆地壳的平均厚度为 35 km。

组成地壳的物质从元素成分来看,大致可分为上、下两层:

① 上层 密度较轻(约 2.6~2.7 g/cm³),成分以硅、铝为主,所以常称为硅铝层。

② 下层 密度较大(约 2.8~2.9 g/cm³),成分除硅、铝以外,还包含较多的铁、镁,所以常称为硅镁层。

在大陆地区的地壳一般均有这两层物质,而在海洋地区,其地壳的硅铝层往往很薄,有的地区(如太平洋)甚至完全缺失,而只有硅镁层。地壳厚度和物质组成的变化情况见图 2.5。

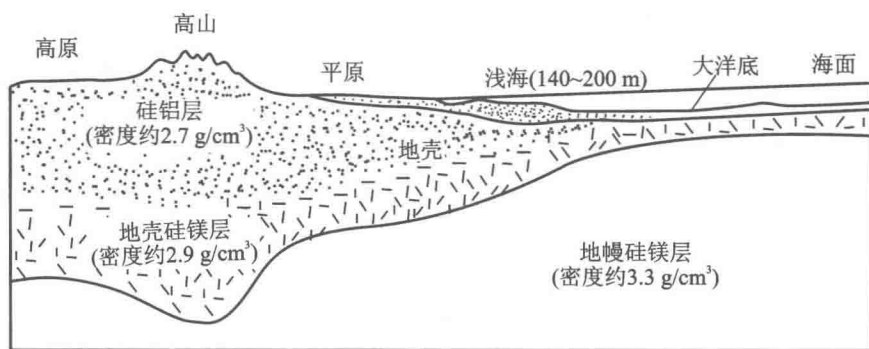


图 2.5 地壳厚度和物质组成的变化

虽然已发现的地壳中的化学元素达百余种,但它们在地壳中的分布是极不均匀的,各元素所占的百分比相差也极悬殊。占最主要地位的十种元素在地壳中的平均重量百分比见表 2.1。

表 2.1 主要元素在地壳中的平均质量百分比

元素	平均质量百分比(%)	元素	平均质量百分比(%)
氧(O)	46.60	钠(Na)	2.83
硅(Si)	27.72	钾(K)	2.59
铝(Al)	8.13	镁(Mg)	2.09
铁(Fe)	5.00	钛(Ti)	0.44
钙(Ca)	3.63	氢(H)	0.14

(2) 地幔

莫霍面以下、地表以下深度为 35~2900 km 的圈层称为地幔。地幔又有上、下地幔之分。上地幔位于地表以下 35~1000 km, 密度为 3.31 g/cm^3 , 主要由橄榄岩质的基性岩石组成。其岩石较软, 称为软流层, 是高温熔融的岩浆发源地。下地幔位于地表以下 1000~2900 km, 密度为 5.62 g/cm^3 , 比上地幔含有更多的铁。

(3) 地核

地核又可分为内、外地核。外地核位于地表下 2900~4980 km, 呈液态, 主要由熔融的铁和镍的混合物组成。地表下 4980~5145 km 部分为内、外地核的过渡带。地表下 5145 km 至地心部分为内地核。组成内地核的化学物质与组成陨石的相类似。

2.1.2 地球板块构造学说

地球板块构造学说认为: 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、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飘逸, 滋生出许多地壳运动。对全球构造的基本格局起控制作用的有六大板块: 太平洋板块、亚欧板块、美洲板块、非洲板块、印度洋板块和南极洲板块, 除此之外还有一些很小的板块, 如中国板块、印度-澳大利亚板块等(图 2.6)。



图 2.6 地球表层板块的划分

按照板块构造学说,地壳运动就是各个板块在地幔软流层上按各自的方向和速度移动。地壳运动主要起源于地幔物质的对流。对流一般发生在地幔上部的软流层。

海岭是对流物质的上升区。地幔软流层中的物质由海岭处上升流出,形成新的海岭,新海岭向两侧扩张,将旧的海岭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。海底及软流层物质向大陆板块俯冲,导致海沟及其边缘的岛屿发生地震或火山活动(图 2.7)。

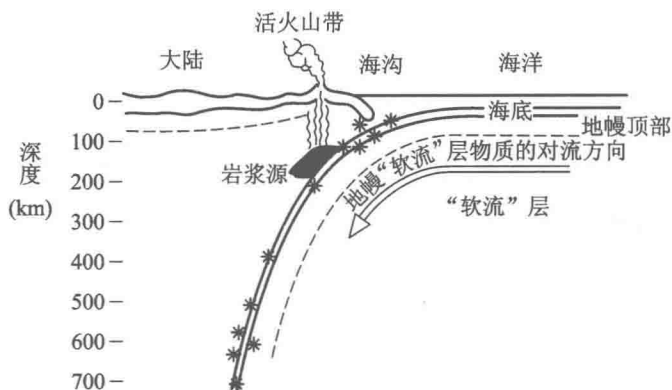


图 2.7 海底连同地幔顶部物质在海沟处重新返回地幔深部示意图

图中“*”代表地震震源

2.2 地质作用

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形成的作用称为地质作用。地质作用由自然动力所引起。按照自然动力来源的不同,地质作用可分为内力地质作用和外力地质作用。内力地质作用的能源来自地球内部,作用场所在地幔和地壳;外力地质作用的能源来自地球的外部,作用场所在地表及地表附近。这两类地质作用虽然在进行的场所及能源方面彼此间有所区别,但是它们之间相互依存、相互影响,又都受重力和地球本身的旋转运动的控制。

2.2.1 内力地质作用

内力地质作用是在地壳或地幔中进行的地质作用。内力地质作用的能源主要是地球公转及自转产生的旋转能、重力作用形成的重力能、放射性元素产生的辐射热能以及岩石形成时的结晶能和化学能。由地球内部这些能源所引起地壳物质成分、内部构造以及地表形态发生变化的地质作用,称为内力地质作用,包括地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震作用。

2.2.1.1 地壳运动

地壳运动是指地壳的水平运动和升降运动。水平运动表现为地壳岩层的水平移动,使

岩层产生各种形态的褶皱和断裂。升降运动表现为地壳的上拱和下拗,形成大型的构造隆起和凹陷。

地壳运动对地球表面的基本轮廓、地壳中岩层的形态和构造等的变化起决定性的影响。此外,地壳运动还为其他各种内、外力地质作用的进行创造条件。所以它在各种地质作用中又居于主导地位(图 2.8)。

(1) 水平运动

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挤压、扩张,以及形成巨大的褶皱山系和地堑、裂谷等。

地球急速旋转产生离心力,其和地球的重力抵消后产生指向赤道的水平方向的挤压力。当地球自转速度变化时,这些力的大小和方向也随之变化,同时产生一种与变化方向相反的惯性力,这些力都在对地壳施加影响。水平运动使地壳岩石受到挤压、拉伸、旋扭等,从而使地壳岩层发生强烈的褶皱和断裂。例如:美国的圣安德列斯断层,1000 万年间断层层面曾向西北方向移动了 400~500 km。

(2) 升降运动

升降运动是指地壳运动垂直于地表、沿地球半径方向的运动,一般表现为大面积的上升和下降运动,形成大型的隆起和凹陷。另外,在同一地区内,上升运动和下降运动又常交替进行。意大利那不勒斯海湾古庙所残留的三根石柱(图 2.9),即为地壳升降运动的产物。

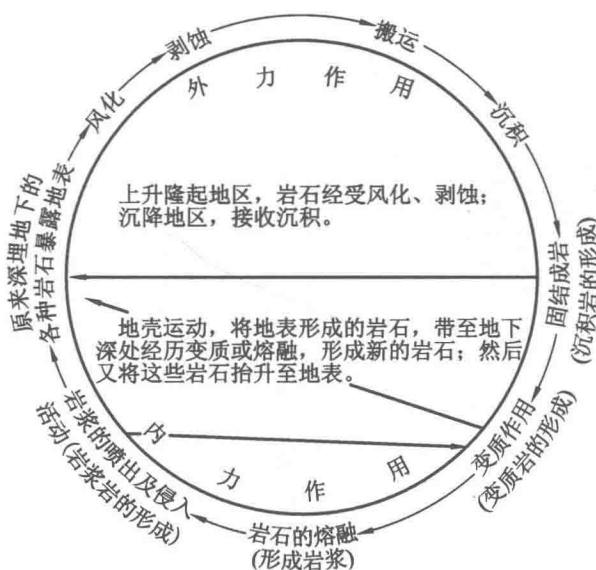


图 2.8 地壳运动在各种地质作用中的主导地位

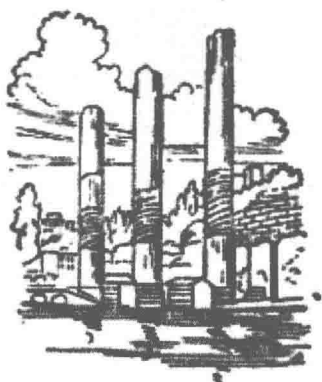


图 2.9 意大利那不勒斯海湾古庙的岩柱

升降运动是地壳演化过程中表现得比较缓和的一种形式。地壳的升降运动对地壳表层沉积岩的形成有很大影响,不仅控制了沉积岩成分的来源和性质,同时也影响沉积岩的厚度和空间分布。因为,地壳上升形成的隆起区是生成沉积岩物质成分的供给区;地壳下