



高职高专路桥类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN LUQIAOLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

工程地质与水文

李中秋 杨仲元 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



高职高专路桥类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN LUQIAOLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

工程地质与水文

主 编 李中秋 杨仲元
副主编 张秀芳
主 审 齐丽云



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书系统地阐述了工程地质与桥涵水文的基础知识和基本原理,内容包括:矿物与岩石及其工程性质,地质构造,地貌及第四纪地质,地下水,岩体结构与稳定性分析,公路工程中常见的自然灾害及其防治措施,公路工程勘察的主要方法,水力学、水文基础知识,桥涵设计流量推算,桥涵孔径计算,桥下冲刷计算等内容。

本书是高职高专院校道路桥梁工程技术及相关专业的使用教材,也可以作为从事公路工程建设的技术人员及科技人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质与水文/李中秋,杨仲元主编. —北京:中国电力出版社,2009

高职高专路桥类专业规划教材

ISBN 978-7-5083-9063-5

I. 工… II. ①李…②杨… III. ①道路工程-工程地质-高等学校:技术学校-教材②桥涵工程-工程水文学-高等学校:技术学校-教材 IV. U412.22 U442.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第114480号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:王晓蕾 梁瑶 责任印制:陈焊彬 责任校对:付珊珊

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2009年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·18.25印张·451千字

定价:36.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010-88386685)

前 言

高等职业技术教育培养的是面向生产和管理第一线的应用型技术人才。如何培养适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有强烈创新意识、适应岗位工作快的高素质实用型人才是职业技术教育的重要任务。

本书以高等职业教育“实用、实际、实效”的原则，同时紧密跟踪工程地质与桥涵水文学科的新发展，并充分考虑结合教学规律，力求做到理论与实践并重，以有利于学生综合素质的提高。

本书共12章。主要介绍了矿物与岩石、地质构造、地貌及第四纪地质、地下水、岩体结构与稳定性分析、常见不良地质现象、公路工程地质勘察、水力学及水文基本知识、桥涵设计流量推算、桥涵孔径计算和桥下冲刷计算等内容。

本书由李中秋（河北交通职业技术学院）和杨仲元（浙江交通职业技术学院）担任主编，张秀芳（重庆交通大学）担任副主编，齐丽云（吉林交通职业技术学院）担任主审。具体编写情况如下：第1、5章杨仲元编写，第2、10～12章李中秋编写，第3、4章由曾凡稳（南京交通职业技术学院）编写，第6、7章张秀芳编写，第8章由李永华（河北交通职业技术学院）编写，第9章由李永华、李晓红（吉林交通职业技术学院）编写。

全书以深入浅出、循序渐进为指导，力求内容丰富、图文并茂、重点突出，适合于教师授课与学生自学。

由于编者的水平有限，时间仓促，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

在本次教材编写过程中，得到了中国电力出版社及兄弟院校的大力支持，参考了众多专家的作品和内容，在此对所有参考内容的作者表示感谢。

编 者

目 录

前 言

绪论	1
本章小结	4
复习思考题	4
第1章 矿物与岩石	5
1.1 概述	5
1.2 造岩矿物	15
1.3 岩浆岩	21
1.4 沉积岩	26
1.5 变质岩	30
1.6 岩石的工程地质性质	34
本章小结	43
复习思考题	44
第2章 地质构造	45
2.1 地质年代	45
2.2 水平构造和倾斜构造	49
2.3 褶皱构造	50
2.4 断裂构造与活断层	54
2.5 地质图及其阅读	61
本章小结	67
复习思考题	67
第3章 地貌及第四纪地质	68
3.1 地貌概述	68
3.2 山岭地貌	71
3.3 流水地貌	76
3.4 平原地貌	84
3.5 第四纪地质	86
本章小结	93
复习思考题	93
第4章 地下水	95
4.1 地下水概述	95
4.2 地下水的物理性质和化学成分	97
4.3 地下水的类型	98
4.4 地下水运动对土木工程的影响	107

本章小结·····	110
复习思考题·····	111
第5章 岩体结构与稳定性分析·····	112
5.1 岩体的结构特性·····	112
5.2 岩体边坡稳定性评价方法·····	119
本章小结·····	134
复习思考题·····	135
第6章 常见不良地质现象·····	136
6.1 崩塌·····	136
6.2 滑坡·····	138
6.3 泥石流·····	146
6.4 岩溶·····	149
6.5 地震·····	153
本章小结·····	156
复习思考题·····	157
第7章 公路工程地质勘察·····	158
7.1 公路工程地质勘察的目的与任务·····	158
7.2 工程地质勘察方法·····	158
7.3 路基工程地质勘察·····	163
7.4 桥梁工程地质勘察·····	168
7.5 隧道工程地质勘察·····	170
7.6 公路工程地质勘察报告·····	173
本章小结·····	174
复习思考题·····	175
第8章 水力学基本知识·····	176
8.1 水流分类与水力要素·····	176
8.2 河流基本知识·····	184
8.3 水文调查·····	189
本章小结·····	197
复习思考题·····	198
第9章 水文基础知识·····	199
9.1 水文统计基本知识·····	199
9.2 经验频率曲线·····	201
9.3 理论频率曲线·····	205
本章小结·····	216
复习思考题·····	217
第10章 桥涵设计流量与水位计算·····	218
10.1 资料的准备和分类·····	218
10.2 有观测资料时规定频率流量计算·····	219

10.3 小桥涵设计流量推算	227
本章小结	237
复习思考题	238
第 11 章 桥涵孔径计算	239
11.1 公路桥涵布置的一般原则及桥位调查	239
11.2 桥孔长度和桥孔布设	240
11.3 桥面中心最低设计标高的确定	243
11.4 小桥孔径计算	247
11.5 涵洞孔径计算	261
本章小结	262
复习思考题	262
第 12 章 桥下冲刷	264
12.1 桥下一般冲刷	265
12.2 墩台局部冲刷计算	268
12.3 确定墩台基底最浅埋置深度	275
12.4 调治工程	280
本章小结	281
复习思考题	281
参考文献	283

绪 论

地球上现有的一切建筑物都是修建在地壳表层，修建在各种地质与水文环境中。各种地质和水文环境与工程建筑物之间必然相互关联和制约。研究建筑物的工程地质与水文条件，对其在设计、施工和使用等各个阶段都具有重要的意义。

一、工程活动与地质及水文的关系

（一）地质环境对工程活动的影响

不良的工程地质条件会影响工程建筑的稳定和正常使用。例如，崩塌和滑坡会带来相关建筑物的破坏，威胁建筑物的安全；岩土体的力学性质是桥墩占地基稳定要考虑的主要问题等。

复杂地质构造条件下的施工和不良地质现象的发生将威胁施工人员和场地的安全，因此需要采取相应的防患措施。

地质环境对工程造价的影响。在复杂地质条件下的建筑物，为了保证建筑物的安全，需对威胁建筑物安全的地质因素采取处理措施，或采用更为复杂的建筑结构，这将会提高工程造价。

（二）工程活动对地质环境的影响

人类的各种工程活动，会改变地质环境，使自然地质条件发生变化，影响建筑物的安全和正常使用。工程建筑荷载引起地基土压缩变形、建筑物沉降。过量抽取地下水造成大范围地面沉降，使沉降区建筑物的工作条件、市政设施的使用和人民生活受到严重影响。桥梁工程的水流条件改变使河流局部河段的冲刷和淤积规律发生变化。修建大型水库改变了区域的水文地质条件，会发生区域性塌岸或浸没，可造成平原地区沼泽化、黄土地区湿陷化及诱发地震等。因此应充分预计建筑工程，特别是重大工程对地质环境的影响，采取相应的措施，避免破坏或灾害的发生。

（三）工程活动与水文

研究自然界中水体的存在、运行和变化规律的科学，称为水文学。河川水文学是其中的一个分支，主要研究从降水到径流入海的这一过程。公路桥涵构筑物要跨越河流、湖泊、溪流、季节性河流、灌溉渠道、运河以及水库等水面，桥位河段特征直接影响着跨河构筑物的布置与设计，跨河构筑物的建设又反过来引起河段特征的变化。

随着人类经济建设的不断发展以及建桥技术的不断提高，公路伸向了地球陆地的四面八方，跨越了更险峻的地形以及更宽阔的水面，沿海地区迫切需要修筑大桥或特大桥。桥梁总长在不断增加，单跨跨径也在不断增长。就单一的跨河工程而言，通常包含跨越河流本身的桥梁和将道路与桥梁衔接起来的桥头引道，桥头引道通常做成路堤形式伸入河床的滩地内。

二、工程地质条件

工程地质条件是指工程建筑所在地区或建筑场地的地质环境各项因素的综合,它包括土和岩石的工程性质、地质构造、地貌、水文地质、地质作用、自然地质现象和天然建筑材料等几个方面。其中最基本的因素是地层岩性,包括岩层产状、软弱夹层、接触关系及物理力学性能等,其次是对土木工程安全和稳定构成巨大威胁的褶皱、断层、节理等地质构造因素,还有地下水的成因、埋藏、分布、运动和化学成分等水文地质条件因素,再有就是与地形、岩性、地质构造和地表水、地下水的地质作用相关的地质现象以及地形地貌因素等。

不同工程地质条件因素,对工程建筑安全和正常使用至关重要。工程技术人员必须全面了解和认识不同工程地质条件与土木工程之间的关系,研究和解决不良工程地质条件下可能出现或诱发的工程地质问题。

三、桥位设计与水文

自然界的天然河道是该地水流、泥沙、土质等自然因素长期演变的产物,就当地的自然条件而言,它是最合理、最稳定的。但是河道会随着制约其变化的自然因素的改变而变化。通常,修筑一个跨河构筑物时,希望它能稳定地提供一个尽可能长的服务时间,因此,设计的跨河构筑物应能满足桥位河段自然因素的运行规律,在可见的一个有限周期内保证天然河水的顺利宣泄;同时还需预估建桥河段的自然演变趋势,并使其顺应这一演变趋势;或采取技术措施限制危及构筑物安全的演变发展;或预先设置应对构筑物,使其在天然河道发生自然演变后,跨河构筑物整体仍能发挥其应有的作用。

四、本课程的研究内容及方法

(一) 工程地质部分的主要研究内容及研究方法

(1) 研究土石分布规律、工程地质性质以及在自然和人类活动影响下的变化。

(2) 研究工程活动中工程地质问题的发生发展过程、规律、条件及力学机理,评价和防治它们可能造成的危害,以便采取有效防治措施。

(3) 研究和探讨新的工程地质勘察技术和调查研究方法,有效查明与工程活动有关的地质因素。

(4) 研究区域性工程地质条件的分布规律和工程地质问题区域性分布的特点。主要工作包括:

1) 调查、分析与工程活动有关的地质环境。

2) 评价工程所辖地区的地质环境和工程地质条件。

3) 解决工程建设中出现的工程地质问题,预测并论证工程建设中各种不良地质现象的发生发展,提出改善和防治的有效措施。

影响建筑物稳定的各种地质条件,都是自然历史演化的产物。各种地质现象既有其本身的特殊运动规律,各种地质现象间又有普遍的相互联系,所以是非常复杂的。为了分析影响建筑物稳定的各种地质条件和地质现象,就要用地质学的研究方法。即首先要直接或间接地取得大量的实际资料,然后通过对资料的整理、分析和归纳,找出其规律性和处理措施。

（二）桥涵水文部分的主要研究内容及研究方法

1. 设计流量的确定

主要包括河床任一断面某一洪峰流量及年最大洪峰流量的确定方法。就某一河床断面而言，在洪峰流量通过时需要的过水面积、洪水水面可能达到的标高、洪峰通过此断面时的流速及河床可能遭到的最大冲刷等均是流量的函数，也就是说，流量的确定是确定上述各要素的先决条件。当在河床断面上进行桥涵设计时，设计流量确定过大，所设计的桥梁是不经济的；但当设计流量确定的过小时，以此为参数设计的桥梁是不安全的。所以设计流量是桥涵设计中必须确定的最重要的设计参数之一。

2. 跨河构筑物孔径的确定

主要包括跨径、桥孔的布置方法及跨河构筑物高度设置。跨河构筑物建成之后，水流、水流所夹带的泥沙及水流表面的漂浮物（流冰、流木、航船）等天然河流的动态不会因跨河构筑物的建成而改变，因此，跨河构筑物的设计必须要保证它们的顺利宣泄与通过。这就需要确定跨河构筑物的跨径与高度，以保证在设计流量发生时洪峰可以顺利从桥下通过，并保证在设计洪峰水位发生时，水位与跨河构筑物的结构底面之间的距离能满足水面漂浮物的通过。如跨径过大或梁底过高，则需付出较大的建造费用；但如跨径过小或梁底过低，轻则限制了建桥河段乃至整个桥位上游航运的发展，重则会危及跨河构筑物的稳定与安全。

3. 跨河构筑物基础埋深

河道在水流、泥沙的综合作用下会有冲刷与淤积，当桥位河段修筑了跨河构筑物时，由于跨河构筑物压缩河道，缩小了洪水期间桥位断面的过水面积，因此桥下流速会加大，从而加剧了冲刷的程度；另外，由于桥梁墩台的局部阻水作用，使桥梁墩台处的水流产生复杂的变化，如产生绕流、底流等水流的紊乱现象，从而造成对桥梁墩台附近的局部冲刷。桥梁墩台基础的埋置深度与跨河构筑物的安全有着极密切的联系。本部分将论述河床断面的冲淤规律，以及河床部位冲刷深度值的计算及设计取值。

4. 河道中调治构筑物的设计

天然河道在行洪阶段会产生冲刷，修筑了跨河构筑物后，会加剧冲刷的进程；冲刷又会在墩台的局部部位增大。桥梁工程设计是在于行洪阶段洪水能从设置的桥孔中顺利宣泄；而且在宣泄时不对桥梁墩台产生冲刷，或将冲刷限制在设计允许范围内。河道的冲、淤以及河床的变化是必然的，是符合江河自然演变规律的，因此，在桥涵设计中，就有一个引导问题。能否使冲刷不要集中地发生在跨河构筑物的墩台附近，而将冲刷引导到设计通航孔道中，能否引导水流的主流流通过通航孔或预留通航孔，并在上述部位避免淤积的产生，而将必然产生的淤积引导到非通航孔下，这些可以通过在河道中设置调制构筑物来达到，这一部分内容也是本部分讲述的内容。

桥涵水文的研究基础是基于对所研究问题的认识程度和对与之关联的水文信息资料的掌握程度，选择适当的数学方法以解决所研究的桥涵水文问题。水文数理统计法主要根据河流流量、水位等水文现象特征值的统计特性，利用概率、统计方法，随机过程理论，时间序列分析方法等应用数学方法挖掘水文观测、试验和调查资料中的信息，从而得出水文现象的统计规律，然后用于桥涵工程设计中。它的立足点在于对水文现象的试验或观察，观测的年代越长，收集的资料越丰富，统计规律越能反映实际情况，这样分析计算的结论就越可靠。

本章小结

人类工程活动与地质环境、水文条件关系密切,各种工程活动都是在一定的地质环境与水文条件下进行的,它们相互影响、相互关联又相互制约。工程地质条件是指工程建筑所在地区或建筑场地地质环境各项因素的综合。它包括土和岩石的工程性质、地质构造、地貌、水文地质、地质作用、自然地质现象和天然建筑材料等几个方面。工程地质与水文的主要研究内容包括:土石的工程地质性质以及在自然和人类活动影响下的变化;工程活动中工程地质问题的研究;工程地质勘察技术和调查研究方法;跨河构筑物跨河点的选择与确定,孔径及基础埋深的确定;设计流量的确定;河道中调治构筑物的设计等。

复习思考题

1. 本课程的主要内容有哪些?
2. 结合已学课程及已了解的专业知识,论述学习本课程的重要性及必要性。

第1章 矿物与岩石

人类的工程活动与组成地壳的岩石密切相关,当岩石作为地基或建筑材料时,其强度和稳定性影响着工程结构物的造价、正常使用与安全。各类岩石具有不同的矿物成分、结构构造及成因等特征,这些特征影响着岩石的强度与稳定,也在一定程度上影响岩石风化以后的产物——土的性质。各种矿物的成分、性质及其形成环境等因素的不同,也会对岩石的强度和稳定性产生影响。本章主要介绍地壳、地质作用、矿物的形态性质、岩石的物质组成与结构构造特征以及岩石工程地质性质等。

地壳和地球内部的化学元素,除极少数呈单质存在外,绝大多数是以化合物的形态存在。这些具有一定化学成分和物理性质的自然元素和化合物,称为矿物。由一种矿物或多种矿物组成的自然集合体称为岩石,它是组成地壳的主要物质成分,是地壳发展过程中各种地质作用的自然产物。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。

1.1 概述

地球是梨状的椭球体,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。

地球是宇宙中的一个运动着的球状体。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。

在这漫长的地质历史进程中,它一直处在不断运动之中,其成分和构造时刻都在变化着。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,形成了今天的外部形态特征。

1.1.1 地壳

地球赤道半径为 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。

目前把地球内部构造分为地壳、地幔和地核三个圈层(图 1-1)。从地表到地球中心,由化学成分、密度、压力、温度等不同的具有同心圆状的 3 个圈层所组成,分别称为地壳、地幔和地核。莫霍面是地壳与地幔的分界面,它是南斯拉夫地震学家 A.莫霍洛维奇于 1909 发现的,它的平均深度在大陆上约为 33km,在大洋底为 6~7km。地震波在穿过莫霍面时,波速突然增大,地震纵波速度 v_p 由 6~7km/s 突然增至 8km/s。古登堡面为地幔和地核的分界面,由美国地球物理学家 B.古登堡于 1914 年提出。古登堡面位于 2900km 左右的深处,地震波穿过此界面时,波速突然降低,地震纵波速度 v_p 由 13.23km/s 突然降至 8.1km/s,地震横波速度 v_s 降为 0,即不能穿过。这表明古登堡面以下的地核部分的物质为液态。

地壳指地球外表的一层薄壳,主要由固体岩石组成。根据岩石的物质组成,地壳可分硅

铝层和硅镁层两层, 构成硅铝层的岩石相当于花岗岩类, 又称花岗岩质层; 构成硅镁层的岩石相当于玄武岩类, 又称玄武岩质层。按分布状态分为大陆地壳和大洋地壳。

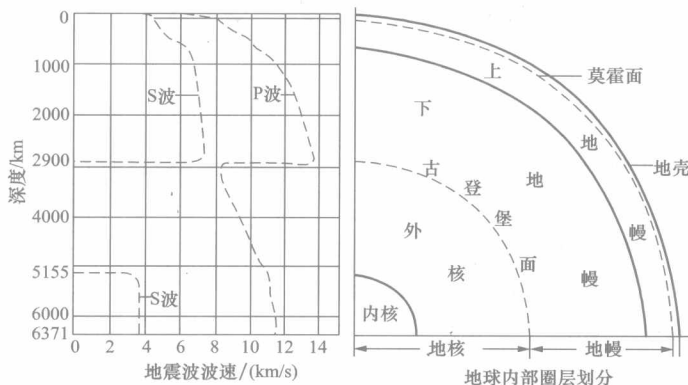


图 1-1 地球的圈层构造

地壳各处厚度不一, 其中高山、高原区地壳厚度大, 如青藏高原地壳最厚的可达 70km。在大陆地区和大洋地区, 地壳的厚度和结构有明显的差异, 如图 1-2 所示。大陆地壳的特征是厚度大, 具有硅镁层(玄武质)和硅铝层(花岗质)的双层结构, 地质构造复杂, 地形起伏大。洋壳的特征是厚度小, 具有硅镁层(玄武质)单层结构, 地质构造简单, 地形起伏较小。

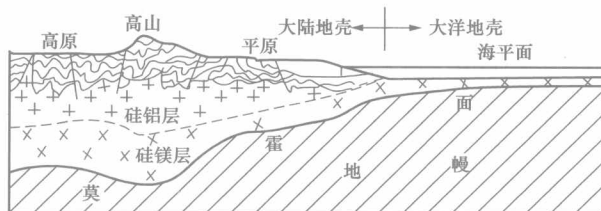


图 1-2 大陆地壳和大洋地壳

地幔是地球的 33~2900km 部分, 是莫霍面以下处于地壳和地核之间的过渡层, 或称中间层。地幔的体积约占地球总体积的 83%, 质量占 68.1%。它是地球的主体部分, 主要由中等相对密度的铁、镁的硅酸盐固态物质所组成。地幔上层主要由橄榄岩质的超基性岩石组成, 这层岩石较软, 是高温熔融的岩浆发源地, 也称软流层。

地幔下界至地心部分, 其深度在 1000~2900km 之间的层称为地核。它占地球总体积的 16%, 占总质量的 31.5%。根据横波不能通过外核的事实, 推断外核是由液态物质组成的。分布于中间的过渡层, 波速变化复杂, 可能是由液态开始向固态物质转变的一个圈层。内核一般认为由铁、镍等成分为主的固态物质组成。

地壳自形成以来, 一直处在不停的运动和变化之中, 一些变化速度快, 易为人们感觉到, 如地震和火山喷发等; 另一些变化则进行得很慢, 不易被人们发现, 如地壳的缓慢上升、下降等。虽然这些活动缓慢, 但经过漫长的地质年代, 可导致地球面貌的巨大变化。

1.1.2 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1个而是2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。

20世纪50~60年代，大量科学观测资料的支持使“大陆漂移说”重新抬头。直到60年代末形成板块构造理论，把大陆、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，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），它们骑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、加勒比海板块、纳兹卡板块），共12个板块（图1-3）。

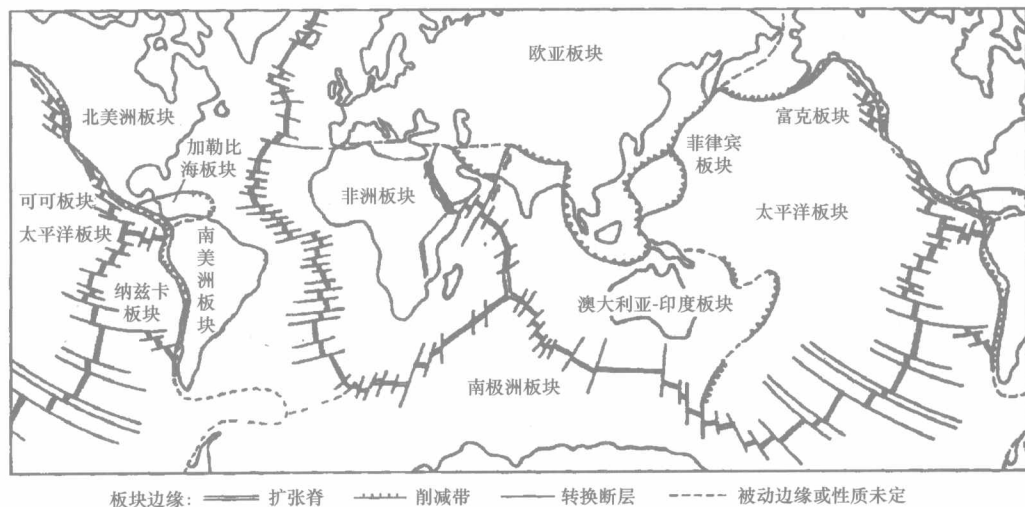


图 1-3 地壳的板块构造

1.1.3 地质作用

由自然动力引起地壳物质组成、内部结构和地表形态变化和发展的自然作用，统称为地质作用。

有些地质作用进行得很快、很剧烈，如山崩、地震、火山喷发等，可以在瞬间发生，造成地质灾害。有些地质作用进行得十分缓慢，不易被人们所察觉。如，近百年中，荷兰海岸下降了21cm，平均每年下降2mm。我国喜马拉雅山的珠穆朗玛峰，近100万年以来，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。

地质作用按其动力能量的主要来源和作用部位的不同，可分为内力地质作用和外力地质作用两大类。

1.1.3.1 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。内力地质作用包括地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震作用等。

1. 地壳运动

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,称为地壳运动(又称构造运动)。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。

按地壳运动的作用方向,可分为水平运动和垂直运动。

(1) 水平运动

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。

地壳运动在空间、时间上的发展是不均衡的。在同一地质时期,不同地区地壳运动的方式和强度不同。有的地区运动强度大,称为活动区;有的地区运动强度小,称为稳定区。在同一地区,不同地质时期地壳运动的方式和强度也不同。有时表现为比较稳定状态的长期缓慢运动,有时表现为比较活跃状态的急速剧烈运动。在漫长的地质历史中,地壳运动有一定的规律性,总是由长期缓慢运动转化为急速剧烈运动,使地壳发展历史显示一定的阶段性。总之,地壳运动使岩层受到强烈的挤压、拉伸和扭转,形成一系列褶皱带和断裂带,并在地壳表面造成大规模的隆起区和沉降区,形成大陆、高原、山岭、海洋、平原、盆地等高低起伏的构造地貌,并促使地表不断发生海陆变迁的演变和全球气候的变化。此外,地壳运动还促进岩浆作用、变质作用和地震作用的发展演化。因此,地壳运动是地壳发展演变的主导因素,是最主要的内力地质作用。

(2) 垂直运动

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 ,本来珊瑚礁是在海水深 $0\sim 80\text{m}$ 内生长的,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。目前,我国地势西部总体相对上升,而东部相对下降。在同一地质时期内,地壳在某一地区表现为上升隆起,而在相邻地区则表现为下降沉陷。隆起区与沉降区相间分布,此起彼伏、相互更替。

地壳的垂直运动,对地壳表层沉积岩的形成有很大影响,不仅控制了沉积岩物质成分的

来源和性质,同时也影响沉积岩的厚度和空间分布。因此地壳上升形成的隆起区,是生成沉积岩物质成分的供给区;地壳下降形成的凹陷区,是沉积物堆积并转化为沉积岩的场所。

同一地区构造运动的方向随着时间推移而不断变化,某一时期以水平运动为主,另一时期则以垂直运动为主,且水平运动的方向和垂直运动的方向也会发生更替。

地壳运动不断地改变地壳的原始状态,当地壳受到挤压、拉张、扭转等应力时,便形成各种各样的构造形态。在内力地质作用中地壳运动是诱发地震作用,影响岩浆作用和变质作用的重要条件,也影响外动力地质作用的强度和变化。因此,地壳运动在地质作用的总概念中是带有全球性的主导因素。

2. 岩浆作用

岩浆是地壳深处或地幔上部的一种富含挥发性物质、处于高温高压状态的黏稠硅酸盐熔融体,其中含有一些金属硫化物和氧化物。岩浆的化学成分以 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、Mg、K、H 等为主,通常以 SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物形式出现。 SiO_2 是岩浆中含量最多的组分,根据 SiO_2 含量的不同,可分为酸性岩浆和基性岩浆。岩浆中所含的挥发性组分以 H_2O 为主,此外还有 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 等。

岩浆在高温高压下常处于相对平衡状态,但当地壳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,岩浆向压力减小的方向移动,引起地形改变;岩浆侵入地壳上部或喷出地表冷凝而成的岩石,统称为岩浆作用。

由岩浆作用形成的岩石,叫岩浆岩。岩浆作用有两种方式:

(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,一般情况下是先有大量的气体、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,随后慢慢停熄而趋于平静。

岩浆喷出时有液体、固体、气体三种物质。气体成分主要来自地下的岩浆,部分为岩浆上升过程中与围岩作用产生,主要是水蒸气,占 60%~90%;其次是 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 NH_3 、 NH_4 、 HCl 、 HF 、 H_2S 等。液态物质称熔岩流,是岩浆喷出地表后,损失了大部分气体而形成的,其成分与岩浆类似,也可根据 SiO_2 含量多少分为基性熔岩和酸性熔岩。固体物质是由熔岩喷射到空中冷却凝固或火山周围岩石被炸碎而形成的碎屑物质,故称火山碎屑物。由熔岩和碎屑物堆积形成特有的火山地貌,其形成和发展受到岩浆作用的影响。

通常把人类历史有过喷发记载且至今正在活动的火山叫活火山。人类历史中无喷发记载的火山叫死火山,人类历史中有过记载而现在停止活动的火山叫休眠火山。例如,我国黑龙江省德都县五大连池火山,是 1719~1721 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、深成侵入岩三种岩浆岩的成分、结构和构造等都有明显的差别。

3. 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。由变质作用形成的岩石叫变质岩。

(1) 影响变质作用的因素

影响变质作用的主要因素是温度、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伏岩层的压力,随深度而增加,其结果使岩石体积缩小,密度增大。而动压力是由地壳运动而产生的,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。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。如地壳运动除了产生动压力外,还将动能转化为热能。地壳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) 变质作用的类型

由于地壳运动、岩浆作用等引起地壳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。变质作用形成各种不同的变质岩。

根据引起变质作用的基本因素,可将变质作用分为三个类型:

1) 接触变质作用。是指岩浆侵入到围岩中,由于岩浆的热力与其分化出来的气体和液体,使围岩发生变质。因此,引起接触变质作用的主要因素是温度和化学成分的增加。前者表现为重结晶作用,如砂岩变成石英岩、石灰岩变成大理岩等。后者则是岩浆分化出来的气体和液体渗入到围岩裂隙或孔隙中,发生交代作用,如石灰岩变成矽卡岩等。

2) 动力变质作用。因地壳运动而产生的局部应力使岩石变形和破碎,但成分上很少发生变化。动力变质作用主要影响因素是压力,温度次之。动力作用使岩石破裂而形成断层角砾岩和糜棱岩等;同时,矿物也发生重结晶现象。动力变质作用多发生在地壳浅处,且常见于较坚硬的脆性岩石中。

3) 区域变质作用。区域变质作用通常在大的区域范围内发生,是一种与强烈地壳运动密切相关的变质作用。其深度由几千米至几十千米,压力为 10kPa 以上,除了静压力外,还与由地壳运动引起的流体压力叠加;温度为 150~900℃,热量来源主要有地幔上升的热流、局部的动力热和岩浆热。

因此,区域变质作用是地壳深处的岩石在高温高压下发生的变化,并有外来化学组成的加入的影响,是各种因素的综合。所形成的变质多具片理构造,如片岩等。

4. 地震作用

地震是地壳快速振动的现象,是地壳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。但这些地震规模小,且影响范围也小。而绝大多数地震是由地壳运动造成的,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,