



浙江省“十一五”重点建设教材

工程地质与水文

GONGCHENG DIZHI YU SHUIWEN

杨仲元 主 编

秦植海 许玮珑 副主编

黄志义[浙江大学] 主 审



人民交通出版社

China Communications Press

浙江省“十一五”重点建设教材

Gongcheng Dizhi yu Shuiwen

工程地质与水文

杨仲元 主 编

秦植海 许玮琰 副主编

黄志义[浙江大学] 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为浙江省“十一五”重点建设建材。全书共分十个学习项目,分别为:工程地质学认知、地貌及第四纪地质认知、地下水认知、岩体与边坡稳定性分析、地质图阅读、常见不良地质现象认知、工程地质勘察、水力学认知、水文学认知、小桥涵设计等。书末附有地质实训指导。全书内容注重吸收新的科技成果,紧密结合工程实际,重点突出,便于自学。

本书可作为高职高专院校交通土建专业及其成人高校相应专业的继续教育与职业培训教材,也可供建设、施工、监理单位的岩土工程专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质与水文 / 杨仲元主编. —北京: 人民交通出版社, 2010.8
ISBN 978-7-114-08488-1

I. ①工… II. ①杨… III. ①工程地质—教材②水文地质—教材 IV. ①P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 150116 号

浙江省“十一五”重点建设教材

书 名: 工程地质与水文

著 作 者: 杨仲元

责任编辑: 黎小东

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.cepress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18

字 数: 452 千

版 次: 2010 年 8 月 第 1 版

印 次: 2010 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08488-1

印 数: 0001 ~ 3000 册

定 价: 39.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

地球表层——地壳是人类赖以生存的活动场所,也是各类建筑工程的地质环境。修建公路、铁路、地下通道、水库、桥涵和民用建筑等工程活动,都与地质水文条件密切相关。为了拓宽交通土建类高职学生的知识面,提高其专业能力,有利于学生掌握工程地质学的基本知识,编者结合长期的工程经验和教学规律,编写了本书。

本书内容的选取紧紧抓住高技能人才培养所要求的“理论知识必须够用”的原则,构建了基于工程地质勘测设计单位对于工程地质勘测实际应用需求的教学内容和体系。教学内容包含工程地质基础知识、工程地质分析、水力水文基本知识、工程地质勘察和土的工程地质特征,期间融入工程地质勘测技能训练,使得课程充分体现理实一体化的教学实践。同时,本书注重实用,注重工程地质学概念的理解、地质现象的认知及工程地质性质分析等,可供建设、施工、监理单位的岩土工程专业技术人员参考使用。

本书共分十个项目,分别为工程地质学认知、地貌及第四纪地质认知、地下水认知、岩体与边坡稳定性分析、地质图阅读、常见不良地质现象认知、工程地质勘察、水力学认知、水文学认知、小桥涵设计等。书末附有地质实训指导。

参加本书编写工作的有:浙江交通职业技术学院杨仲元(绪论、项目1、项目4),浙江水利水电专科学校秦植海和河北工程技术高等专科学校张培成(项目2、项目3、项目6),浙江交通职业技术学院许玮珑(项目5、项目7),吉林铁道职业技术学院李瑞涛(项目8、项目9),浙江交通职业技术学院李林永(项目10),浙江省交通规划设计研究院俞华标(地质图片)。全书成稿后,由浙江大学黄志义教授审定。

本书编写过程中参考了有关书籍及文献,在此向作者表示衷心感谢。

本书电子课件、电子教案、习题试卷、教学大纲和图片资料等课程相关的教学资源,可登录“<http://jpkc1.zjvtit.edu.cn/dzgc/>”,注册后即可下载。

限于编者的水平和能力,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年6月

目 录

绪论	1
小结	4
复习思考题	5
项目1 工程地质学认知	6
1.1 地球的构造	6
1.2 地质作用	9
1.3 矿物	16
1.4 岩石	23
1.5 地质构造	44
小结	55
复习思考题	57
项目2 地貌与第四纪地质认知	58
2.1 概述	58
2.2 山岭地貌	61
2.3 流水地貌	66
2.4 平原地貌	74
2.5 第四纪地质	75
小结	87
复习思考题	88
项目3 地下水认知	89
3.1 概述	89
3.2 地下水的物理性质和化学成分	91
3.3 地下水类型	95
3.4 泉	103
3.5 地下水运动	104
3.6 地下水对土木工程的影响	106
小结	110
复习思考题	110
项目4 岩体与边坡稳定性分析	112
4.1 岩体结构	112
4.2 岩土体强度理论	119
4.3 岩体边坡稳定性分析与防治	122
小结	132
复习思考题	132
项目5 地质图阅读	134
5.1 地质图的类型与规格	134

5.2 地质条件在地质图上的表示	136
5.3 地质图的阅读与分析	138
小结	141
复习思考题	141
项目6 常见不良地质现象认知	142
6.1 崩塌	142
6.2 滑坡	145
6.3 泥石流	153
6.4 岩溶	157
6.5 地震	162
小结	169
复习思考题	169
项目7 工程地质勘察	170
7.1 概述	170
7.2 工程地质勘察的目的与任务	173
7.3 工程地质勘察方法	175
7.4 各类土木工程地质勘察要点	185
小结	203
复习思考题	203
项目8 水力学认知	204
8.1 水力学的目的与任务	204
8.2 水流分类与水力要素	204
8.3 河流基本知识	214
8.4 形态勘测与水文调查	217
小结	223
复习思考题	223
项目9 水文学认知	225
9.1 水文统计基本知识	225
9.2 经验频率曲线	228
9.3 理论频率曲线	229
小结	240
复习思考题	241
项目10 小桥涵设计	242
10.1 小桥涵设计流量的推算	242
10.2 小桥涵择位布置的原则和要求	253
10.3 小桥涵孔径计算	257
小结	272
复习思考题	272
地质实训指导	274
参考教学大纲	277
参考文献	281

绪 论

地球表层——地壳是人类赖以生存的活动场所,也是各类工程建筑的地质环境。修建公路、铁路、地下通道、水库、桥涵和民用建筑等工程活动,都与工程地质和水文地质条件密切相关。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和水文地质条件,对其在设计、施工和使用等各个阶段都具有重要的意义。

1. 人类工程活动与地质环境的关系

1) 地质环境对工程活动的影响

人类工程活动的影响是多方面的,主要表现在工程地质条件各个因素的优劣及其是否对工程活动有利。其一,表现为地质环境以一定的作用影响工程建筑物的稳定和正常使用。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台地基稳定要考虑的主要问题等。其二,表现为地质环境以一定的作用影响工程活动的安全。例如,某地新建一个工厂,由于前期岩土工程勘察工作不够充分,把厂址放在洪积扇地下水溢出口上。这种地带的工程地质特征是地下水位高,地基土体位于地下水位以下,土体结构为黏性土层,性质软弱,承载力很低。建成后主要厂房地基沉降量过大,超过容许沉降值,以致严重影响工厂的正常运转。其三,还表现为由于某些地质条件不具备而提高工程造价。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,无论从哪个方面讲,工程建筑造价的提高是显而易见的。

2) 工程活动对地质环境的影响

人类工程活动与地质环境的相互作用表现为双向效应,即人类工程活动以各种方式反馈作用于地质环境,引起自然地质环境发生变化。一方面反馈影响到建筑物本身的安全稳定和正常使用;另一方面破坏周围,造成对人类生活与生产的不利或危害。

人类工程活动对地质环境的作用主要通过应力变化和地下水动力特征的变化表现出来的。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。

2. 工程地质问题

工程地质问题是指工程建筑与工程地质条件之间相互作用、相互制约而引起的地质问题。如建筑物所处地质环境的区域构造稳定问题、地基岩体稳定问题、地下洞室围岩稳定问题和边坡岩体稳定问题、水库渗漏问题、路堤渗流问题、边岸再造及坝下游冲刷问题,以及与上述问题相联系的建筑场地的规划、设计和施工条件等方面的问题。工程地质工作的基本任务在于对人类工程活动可能遇到或引起的各种工程地质问题作出预测和确切评价,从地质方面保证工

程建设的技术可行性、经济合理性和安全可靠性的。

由于不同类型的工程与工程地质条件,决定了工程地质问题是多种多样的,主要有区域稳定性问题、地基沉降变形问题、岩土体稳定性问题、渗流问题、地质灾害问题等五个方面。

(1)区域稳定性问题。主要涉及影响区域稳定性的各种因素和标志分析,包括区域地质环境、地壳结构、现今构造活动、地震活动、地层液化以及活断层等工程稳定性的影响。对于大型水电工程、地下工程、长大隧道和密集建筑群等,已经成为首要论证的问题。

(2)地基沉降变形问题。是指在上部结构的荷载作用下地基所产生的不同程度的沉降变形问题。不均匀或过大的沉降变形,会使建筑物发生裂缝、倾斜、坍塌,同时也影响其正常使用,甚至破坏。例如高速公路的地基承载力不足,便会发生路面的沉降、裂缝,甚至影响汽车行驶的安全性和舒适性。例如,地铁遇到的工程地质问题主要是不均匀沉降变形问题和涌水问题;高层建筑遇到的工程地质问题较多,包括深基开挖和支护、施工降水、坑底回弹隆起及坑外地面位移等。

(3)岩土体稳定性问题。平坦地段道路边坡,山区公路的边坡开挖过陡,将大大增加开挖工程量;开挖过陡,便可能引起边坡失稳破坏。公路隧道、大型地下管线和地下通道等工程,在开挖过程中或以后,由于改变了岩土体的原始平衡条件,而出现一系列不稳定现象。因此,对于这些不稳定问题,不给予必要的防治与加固措施,便难以保障建筑物的正常使用。

(4)渗漏、渗流问题。如水库、渠道及坝基的渗漏会造成水量的损失,使水库或输水管道不能达到预期的目的。这种渗流,有时候会影响地基、斜坡及围岩的稳定性。如河道旁的道路路基,由于渗流,地下水将路基填土带走,严重时形成管涌,并将淘空路基而发生道路开裂或坍塌。例如,水利水电工程可能遇到的工程地质问题有:水库渗漏问题、库岸稳定性问题、水库浸没问题、水库淤积问题、水库诱发地震问题、坝基抗滑稳定问题、坝基渗漏问题、坝基渗透稳定性问题、坝肩稳定性问题、输水隧洞围岩稳定性问题等。

(5)地质灾害问题。包括滑坡、泥石流、崩塌、岩溶和地震等。每年的雨季(7~9月份)在山地、高原及丘陵地区经常发生滑坡和泥石流。滑坡灾害和泥石流灾害的广泛发育和频繁发生使山区、城镇、农村、工矿企业、交通运输、河道航运及水利水电工程等受到严重危害。陡峭斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离坡体,迅速向下坠落,常使坡脚下的建筑物和铁路、公路被掩埋或遭到毁坏,阻塞交通、毁坏车辆,有时还造成人员伤亡。地震发生时,不仅使地壳内部的岩层发生褶皱、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。

3. 工程地质条件

工程地质条件即工程建筑所在地区或建筑场区的地质环境,包括如下内容:

(1)岩土类型和工程性质。包括建筑场区的岩土体成因、地质年代、岩性、产状、软弱夹层分布、接触关系及物理力学性质等。岩土性质的优劣对建筑物的安全经济具有重要意义,大型建筑物一般要建在性质优良的岩土上,软弱不良的岩土体工程事故不断、地质灾害多发,常需避开。

(2)地质结构与构造。包括地质构造、土体结构与岩体结构。地质构造确定了一个建筑场区的构造框架、地貌特征和岩土分布。断层尤其是活断层给建筑带来很大的影响,在选择建筑场区时必须注意断层的规模、产状及活动情况。土体结构主要是指土层的组合关系,即各层土的类型、厚度及其空间变化,它对地基承载力和建筑物的沉降起着决定性的作用。岩体结构是指结构面形态及其组合关系,尤其是层面、泥化夹层、不整合面、断层带、层间错动、节理面等

结构面的性质、产状、规模和组合关系。岩体结构面的空间分布,对建筑物的安全稳定有重要影响。

(3)水文地质条件。包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分,以及地表水的流量、渗透、冲刷等。地下水是降低岩土体稳定性的主要因素。在地下水位较高的建筑场区,一般对工程建筑带来不利影响,地基含水率大,黏性土处于液态甚至流态,地基承载力明显降低,道路易发生冻害,路堤浸没,隧道及基坑开挖需要进行排水。工程建设中经常要考虑水文地质条件,如计算地基沉降时要考虑地下水位的变化;在分析基坑突涌、流沙等工程地质问题时也要考虑地下水位的变化;河道侧旁的道路路基经常受到河道水流的冲刷,需要考虑路基排水设计及防治加固措施等。

(4)地形地貌。包括建筑场区的地表高低起伏状况,以及山坡陡缓程度、沟谷宽度及形态特征、土层厚薄和基岩出露等特征。平原区与山岭区的地形起伏、地表地质作用、土层厚薄等都具有不同的特征,并直接影响铁路、公路、运河渠道等路线方案。如何合理利用地形地貌条件,不但影响建筑物的合理布局、结构形式、规模以及施工方案等,而且对建筑物的安全以及工程造价具有重要的决定性因素。

(5)不良地质作用。主要包括风化、岩溶、滑坡、崩塌、泥石流、河流冲刷、地震等各种灾害地质作用。诸多灾害起因于不同的不良地质作用,这对建筑物的安全造成很大的威胁,所造成的破坏往往是大规模的,甚至是区域性的。它影响到建筑物的整体布局、设计和施工工艺。在这些不良地质作用面前,只考虑工程本身的坚固性是不够的,必须避让为先、因势利导,同时采取合理的防治措施。

(6)天然建筑材料。包括土料和石料。路堤、土坝需要大量的土料,海堤、石拱桥、挡土墙等需要大量的石料,拌制混凝土需要用砂、碎石作为骨料。为了节省运输费用,应该遵循“就地取材”的原则,以降低工程造价和保证工程进度。不同地质条件的建筑材料适合于不同的工程需要,因此把握天然建筑材料的地质成因、岩性和物理力学性质指标,显得十分重要。

4. 水文与桥位设计

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设与设计,跨河构筑物的建设又反过来引起河段特征的变化。

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。

5. 本课程的学习方法及要求

1) 工程地质部分的学习方法

(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,提出防治和改善的有效措施。

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。

2)桥涵水文部分的学习方法

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。

3)学习本课程的要求

工程地质与水文是土木工程专业的一门专业基础课,一般是在土力学、基础工程等课程学习之前开设的。课程特点是内容广、概念多、实践性强,学习中要注意弄清概念,掌握分析方法,要理论联系实际,重在工程应用。学习本课程的要求是:

(1)掌握工程地质的基础知识,包括矿物、岩石、岩土工程性质、地质年代、地质构造、地质作用及地貌、地下水、地质灾害、岩体结构等的基本知识。只有掌握这些基本知识,才能够进行工程地质条件的分析与研究。

(2)系统掌握工程地质分析的基本理论和方法。了解工程地质勘察的基本内容、具体要求和工作方法,具有从事工程地质勘察野外作业和室内整理资料、编制报告的基本能力。根据工程地质勘察数据和资料,进行实际工程的初步工程设计与施工。

(3)能够阅读一般地质资料。根据地质资料在野外辨认常见的岩石;了解岩石的主要工程性质;辨认基本地质构造及明显的不良地质现象;了解不良地质现象对工程建筑的影响。

(4)掌握水力学基础知识和水文基础知识。了解和掌握有关河床演变和泥沙运动的发展趋势、洪水情况、水流自身以及对结构物的作用规律。学习水文统计基本知识,是要运用经验频率曲线和理论频率曲线,为设计流量的推算做好基础准备。

(5)应用水力学基础知识和水文基础知识,进行中小桥涵设计流量推算、中小桥涵孔径计算和桥下冲刷计算。

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。一方面表现为地质环境以一定的作用

影响工程建筑物的稳定和正常使用,影响工程活动的安全,或造成工程造价提高;另一方面,人类工程活动与地质环境的相互作用表现为双向效应,即人类工程活动以各种方式反馈作用于地质环境,引起自然地质环境发生变化,影响到建筑物本身的安全稳定和正常使用,或造成地质环境恶化。

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。

工程地质问题主要有区域稳定性问题、地基沉降变形问题、岩土体稳定性问题、渗流问题、地质灾害问题等五个方面。工程地质条件即工程建筑所在地区或建筑场区的地质环境,包括岩土类型和工程性质、地质结构与构造、水文地质条件、地形地貌、不良地质作用、天然建筑材料。

复习思考题

1. 本课程的主要内容有哪些?
2. 列举常见的工程地质问题。
3. 工程地质条件主要包括哪些内容?
4. 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。

项目1 工程地质学认知

知识目标

1. 了解地球的圈层构造;
2. 掌握内力地质作用和外力地质作用;
3. 掌握矿物的概念及主要性质;
4. 掌握岩浆岩、沉积岩和变质岩的矿物成分、结构和构造特征;
5. 三大类岩石的分类及工程地质特征;
6. 三大类岩石的鉴定方法;
7. 岩石的物理力学性质及工程分类;
8. 掌握相对地质年代及绝对地质年代的含义,了解岩层相对地质年代的划分,熟悉地质年代表;
9. 掌握岩层产状及产状要素的含义,了解岩层产状的测定和表示方法;
10. 掌握褶皱的几何要素与分类;
11. 能够描述断层与节理的含义及特征。

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。

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。

1.1 地球的构造

1.1.1 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 6 371km。地球表面高低不平,最高的山峰海拔达到 8 844. 43m,最深的海沟深达海平面之下 11 035m。地球的平均半径为 6 371km,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 40 075. 04km。

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。

1.1.2 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(图 1-1)。

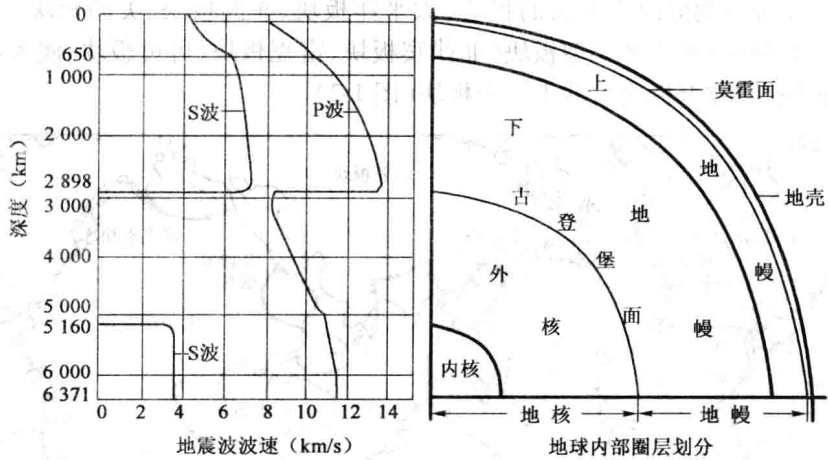


图 1-1 地球的圈层构造及 P 波和 S 波的速度分布

地球的赤道半径为 6 378. 137km,两极半径为 6 356. 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 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。

地幔是指莫霍面以下至古登堡面以上的圈层(33 ~ 2 900km),其密度为 $3.3 \sim 4.6 \text{g/cm}^3$ 。其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 ~ 2 900km 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(2 900 ~ 6 371km),其密度为 $11 \sim 16 \text{g/cm}^3$ 。其又分为外地核和内地核两部分,外地核分布范围为 2 900 ~ 5 155km;内地核分布范围为 5 155 ~ 6 371km,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。

1.1.3 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,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六个大的地壳块体(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,全球可划分出六个大的板块(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)和六个小型板块(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),共十二个板块(图 1-2)。

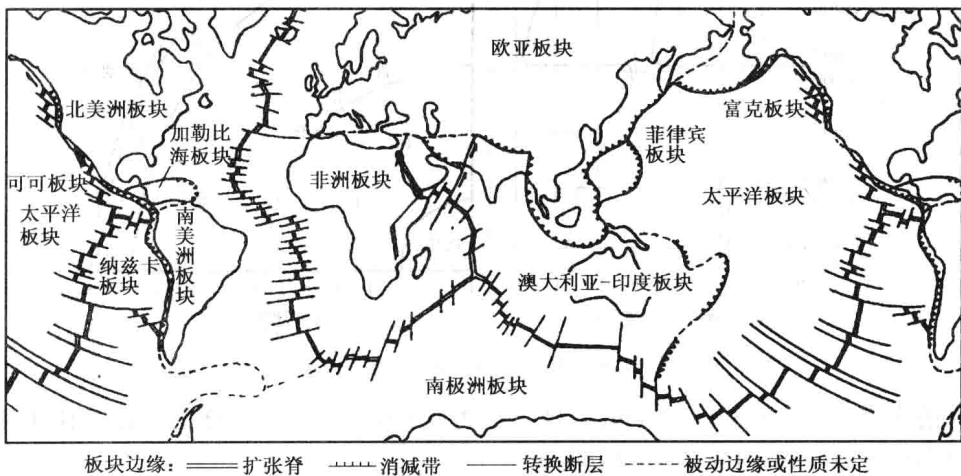


图 1-2 地壳的板块构造

1.1.4 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。因地球引力而聚集在地表周围的气体圈层。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,可把大气圈分为五层: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(重量百分比 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、氫等组成。

(2)水圈。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 亿 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)等三种类型。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。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,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及其繁多,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。

1.2 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。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。

1.2.1 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

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。

构造运动在空间、时间上的发展是不均衡的。在同一地质时期,不同地区构造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,不同地质时期构造运动的方式和强度亦不同。有时表现为状态比较稳定的长期缓慢运动,有时表现为状态比较活跃的急速剧烈运动。在漫长的地质历史中,构造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,构造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,构造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,构造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。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。

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。

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。

构造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,构造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,构造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 等氧化物形式表现。 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,称岩浆岩。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 $60\% \sim 90\%$;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,亦可根据 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称活火山。人类历史中无喷发记载的火山称死火山,人类历史中有过记载而现在停止活动的火山称休眠火山。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) 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。但这些地震规模小,且影响范围也小。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皱、断裂、地面隆起和陷落,而且地表还可能出現滑坡、山崩或使河流改道等不良地质现象。1960年5月22日智利发生了全球最大的一次地震(8.9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。汶川地震主要由印度洋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,致使余震向东北方向扩张;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。由变质作用形成的岩石称变