

第3版

Collegial Planned Textbook for Civil Engineering

高等学校土木工程学科规划教材

公路工程地质

◎ 钱让请 钱芳 钱王苹 主编

Highway
Engineering
Geology

中国科学技术大学出版社



Collegial Planned Textbook for Civil Engineering
高等学校土木工程学科规划教材

(第3版)

HIGHWAY ENGINEERING GEOLOGY

公路工程地质

◎ 钱让请 钱芳 钱王革 主编

内 容 简 介

本书是国家教育部高等学校示范院校建设项目主要成果之一,是深入贯彻、执行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)、《公路隧道设计规范》(JTG D70/2—2014)、《公路工程抗震规范》(JTG B02—2013)、《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31—02—2013)等新标准、新规范的第一本教材。本书介绍了工程地质的任务及其在公路工程中的应用;岩石的成因类型和工程地质特征;地质构造与工程建筑;外力地质作用对工程的影响;地貌与公路工程;岩体结构和岩体的稳定性分析;环境工程地质研究;公路工程地质问题勘察、施工等。本书重点突出了山区高速公路建设所涉及的深路堑、高边坡、桥基、隧道、特殊土等方面的环境工程地质问题的勘察设计与治理技术,并结合实例进行了研究,能使学生在大量的工程实例中提高分析问题和解决问题的能力。

本书是国家教育部高等学校土木工程学科规划教材,内容丰富,实用性强,将教学与科研、生产紧密结合,另有工程地质勘察技能训练指导和公路工程地质多媒体教学信息系统配合教学,反映了最新的科研成果。本书可作为高等院校(含高职院校)土木工程学科公路与桥梁工程、公路与城市道路、市政工程、工程监理、隧道工程、实验检测等专业教材,亦可供工程建设勘察、设计、监理、施工、实验、检测技术人员和土建类师生及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程地质/钱让清,钱芳,钱王莘主编. —3版. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015.2
ISBN 978-7-312-03655-2

I. 公… II. ①钱…②钱…③钱… III. 道路工程—工程地质—高等学校—教材
IV. U412.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 311876 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 合肥市宏基印刷有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

印张 24.75

字数 634 千

版次 2003 年 6 月第 1 版 2015 年 2 月第 3 版

印次 2015 年 2 月第 4 次印刷

定价 49.80 元



高等学校土木工程学科规划教材

《公路工程地质》编委会

主任委员 常印佛(中国科学院院士、中国工程院院士、
中国科学技术大学教授、博士生导师)

副主任委员 秦 勤(安徽省公路管理局正高级工程师)
王建国(合肥工业大学土木与水利工程学院教授、
博士生导师)
张庆龙(南京大学地球科学与工程学院教授、
博士生导师)

杨树锋(浙江大学研究生院教授、博士生导师)
叶为民(同济大学土木工程学院教授、博士生导师)
刘松玉(东南大学交通学院教授、博士生导师)
章劲松(安徽交通职业技术学院土木工程系教授)

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁祖跃	王丰胜	王吉双	王传仁	王国体
王国强	王建国	王赐银	卞国炎	叶为民
孙东根	刘松玉	汪凡文	李益湘	张建仁
张庆龙	余宜林	苏新国	沈训龙	吴 俊
周文雅	周新民	杨树锋	杨晓勇	柏 林
洪吉安	段海澎	郭正言	钱让清	秦 卫
秦 勤	殷永高	殷治宁	常印佛	章劲松
曹建伟	黄志福	鲁圣弟	董春平	程华龙
程友明	程新春	盛明宏	樊其诚	瞿尔仁

“公路工程地质”课程建设
产学研合作指导委员会

- 主任委员** 常印佛(中国科学院院士、中国工程院院士、
中国科学技术大学教授、博士生导师)
- 副主任委员** 杨晓勇(中国科学技术大学教授、博士生导师)
- 秦 勤(安徽省公路管理局正高级工程师)
- 董春平(合肥市公路管理局正高级工程师)
- 王吉双(安徽省交通规划设计研究总院正高级工程师)
- 黄志福(安徽省交通投资集团有限责任公司正高级工程师)
- 苏新国(安徽省高等级公路控股集团有限公司
正高级工程师)
- 汪凡文(安徽省交通科学研究院正高级工程师)
- 余宜林(安徽宏泰交通工程设计研究院有限公司
正高级工程师)
- 葛折圣(华南理工大学交通学院教授、博士生导师)
- 盛明宏(安徽省路桥工程集团有限公司正高级工程师)
- 委 员** (略)

序 1

工程地质学是地质科学的一个分支,是研究与工程规划、设计、施工和运用有关的地质问题的学科。它的主要任务是:勘察和评价工程建筑场地的地质环境和工程地质条件;分析和预测工程建设活动与自然地质环境的相互作用和相互影响;选择最佳的场地位置;提出不良地质作用的工程措施,为工程建设的规划、设计、施工和运营提供可靠的地质依据。

各种土木工程,如公路、铁路、桥梁、隧道、房屋、港口、水利等工程都是修建在地表或地下的工程建筑。建筑场地的地质环境和工程地质条件(包括场地及周围的岩、土体类型和性质、地质构造、水的地质作用等),都与工程设计、施工和运营密切相关。在进行工程建设时,无论是总体布局阶段,还是个体建筑物设计、施工阶段都应当进行相应的工程地质工作。总体规划、布局阶段应进行区域性工程地质条件和地质环境的评价;场地选择阶段应进行不同建筑场地工程地质条件的对比,选择最佳工程地质条件的方案。在选定场地进行个体工程建筑物设计和施工阶段,应进行工程地质条件的定量分析和评价,提出适合地质条件和环境协调的建筑物类型、结构和施工方法等的建议,拟定改善和防治不良地质作用 and 环境保护的措施、方案等。为了做好上述各阶段的工程地质工作,必须通过地质调查、测绘、勘探、试验、观测、理论分析等手段,获得必要的地质资料,结合具体工程的要求进行研究、分析和判断,最终得出相应的结论。鉴于工程地质对工程建设的重要作用,国家规定任何工程建设必须在进行相应的地质工作、提出必要的地质资料的基础上,才能进行工程设计和施工工作。

在国内外工程建设实践中,重视工程地质工作使工程建设获得成功的经验和忽视工程地质工作引起工程建设失败的教训不胜枚举。

各类工程(公路、铁路、水利水电、工业与民用建筑等)对工程地质条件有不同的要求。由于公路工程是一种延伸很长的线型建筑物,又主要是一种表层建筑物,它会遇到各种各样的自然条件和地质问题,并易受频繁变化的大气物理作用的影响,因而,公路工程地质在研究对象和方法上都有自己的特点。在国内外,公路工程地质方面的教科书和专著仍寥若晨星。因此,钱让清、钱芳、钱王革、曹建伟、张素云、汪晗等同志编写的《公路工程地质》(第3版)一书,对本学科的教学以及科研和生产是十分有益的。本书的主要特点是:1. 吸收了近十年来工程地质和岩土工程学科中的新进展、新成就;2. 结合我国自然景观、地质条件和公路、桥梁与隧道工程的特点,综合应用地质学原理及20世纪90年代发展起来的新技术、新方法、新理论,较全面地论述了评价公路工程地质条件的各项内容;3. 反映了我国公路工程地质工作近十年来的部分重要进展和研究及实践的新成果,这些成果体现了科学技术服务于经济建设的宗旨,为

我国的公路建设提供了科学依据。可以认为本书是目前有关我国公路工程地质调查研究的成功实践的一份总结,具有广泛的应用价值。

深信本书对于推动我国公路工程地质的教学和勘察研究具有重要的意义,必将受到有关领域的教学、科研和工程技术人员的欢迎。

中国科学院院士、中国工程院院士

常印佛

2014年6月8日于合肥

序 2

本书是国家教育部高等学校土木工程学科规划教材,依据国家教育部关于“21 世纪高等学校课程改革”的精神和国家教育部关于高校土木工程学科、公路与桥梁工程专业高级应用型专业人才的培养目标以及“公路工程地质”教学大纲的要求编写而成。我和中国科学技术大学王奎仁教授、合肥工业大学王国强教授、同济大学叶为民教授审阅了全部书稿。

公路工程地质是公路工程、桥梁工程、隧道工程、土木工程、地下工程等众多学科的专业基础课,是促进这些学科和相应工程不断发展的原动力。为适应目前土木工程学科公路与桥梁工程专业“公路工程地质”课程发展的需要,钱让清、钱芳、钱王革、曹建伟、张素云、汪晗等同志编写了《公路工程地质》(第 3 版)一书,并遵循如下四个基本原则:

一、突出“三基”

工程地质学和公路工程地质是由多学科交叉形成的新兴学科。它不仅涉及矿物岩石学、构造地质学、地球物理、地球化学等基础地质理论、方法,同时需要实验力学、数理统计等大量数学、力学理论,还涉及材料物理、信息论等相关学科理论,特别是一系列的现代科学理论。为了把浩如烟海的理论和知识以及工程实践成果浓缩在 36~48 学时内,首先要遵循的一个基本原则就是要突出“三基”,即基础理论、基本知识和基本技能的教育。基本知识主要包括进行公路工程地质勘察、设计、施工和维护所应掌握的知识,基本技能首先是实验的技能,因为科学实验是公路工程地质发展的基础,这些实验包括岩、土和岩体的物理力学性质实验、工程地质调查和现场稳定性监测等。

二、通用性

工程地质是有关工程领域的基础学科,为了适应社会主义市场经济发展和高等教育体制改革、学生分配制度改革的需要,拓宽学生毕业后的就业渠道和竞争能力,作者在编写《公路工程地质》(第 3 版)新教材时,本着增加教材的通用性原则,吸收了铁路、土木、建筑等有关行业工程地质理论和实践的特点。由于作者长期在高校从事教学、科研和技术开发工作,产学研结合,保证了新教材的通用性。

三、实用性

公路工程地质是一门应用性很强的工程学科,它具有一个特定的应用领域,在很长的一段时间里,工程地质学研究存在理论脱离实际的现象。在以往的工程地质学和公路工程地质教材中,也存在理论和工程实践脱节的现象。为此,作者在编写本书时,将理论和工程放在同等重要的位置。全书以突出篇幅介绍了工程地质基本知识在公路、桥梁工程中的应用,并从两个方面强调工程地质理论和公路工程相结合:一是如何运用工程地质理论指导公路、桥梁、隧道

工程的勘察、设计、施工和维护;二是如何在公路工程实践中不断产生公路工程地质的新理论、新技术,推动工程地质学不断向前发展。理论和工程紧密结合的教育,将能使学生在大量的工程范例中提高分析问题、解决问题的能力。这样,他们在走向工作岗位后,就能较快地适应工作需要,把学到的知识用到工程实践中去,起到独当一面的作用。

四、先进性

现代科学技术突飞猛进的发展和我国经济建设步伐的加快,尤其是我国交通公路建设的快速发展,对公路工程地质提出更高的要求,并促进了公路工程地质的不断发展。目前应用较为广泛的几本工程地质学和公路工程地质高校教材都是二十多年前编写的,与当前公路工程地质与公路工程的发展现状已经不相适应。钱让清教授等编写的《公路工程地质》(第3版)新教材把新理论、新技术和新的工作实践成果介绍给广大学生,为大学生今后深入学习和科技创新应用提供了正确的思路和难得的素材。

因此,此时此刻,钱让清教授等专家撰写的《公路工程地质》(第3版)对本学科的教学、科研和生产是十分有益的。此外,本书还有以下特点:

1. 本书采用了最新公布的公路工程标准和规范,如2014年实施的中华人民共和国行业标准《公路隧道设计规范》(JTGD70/2-2014)、《公路工程抗震规范》(JTGB02-2013)等,该书是贯彻执行以上新标准、新规范的第一部教材,吸取了交通行业和有关行业中近年来特殊地基和高边坡处理中的科研成果和新成就。使用创新的教材进行教学,必将有力地促进教育质量和公路工程质量的提高。

2. 本书紧密结合公路工程建设需要,体现了公路工程地质技术服务于交通公路建设的指导思想;同时对经济建设发展规划、工程建设与环境问题提供了丰富的基础资料。

3. 将地球化学、矿物岩石学、环境学、地震学中的一些重要新进展和新成果,有机地与公路工程地质融会到一起,丰富了工程地质学的内容,促进了工程地质学的发展。

4. 书中引用了作者多年来从事工程勘察、工程检测、岩土测试分析、矿物成因与矿物物理研究、水化学分析、工程地基处理技术、环境工程处理技术等方面的研究成果与心得,从而使本书的观念新颖,融会贯通,既具有大学教科书的完整体系,又带有公路工程地质方面的专著性质,相信所有关心工程建设、环境与工程问题及可持续发展的人都有可能成为其热心的读者。

总之,本书与科研、生产紧密结合,反映了本学科最新的科研成果和发展动态。为此,我深信,本书对我国公路工程地质的教学、科研和生产必将起到重要的推动作用。

南京大学教授、博士生导师

张庆山

2014年6月18日

第3版前言

工程地质学是地质学中的一个分科。它是调查、研究、解决与兴建各类工程建筑有关的地质问题的科学。做好工程地质工作,对进一步提高工程质量,提高地质科技水平,提高各类工程的规划、勘察、设计、施工建设水平都具有重要意义。

本书是国家教育部高等学校土木工程学科规划教材。受中国科学技术大学出版社的委托,安徽省地质学会、公路学会组织成立了教材编写指导委员会(简称编委会),由国内著名专家担任编委会主任委员和副主任委员,指导《公路工程地质》的撰写工作。作者在撰写过程中系统总结了自己30多年来从事公路工程地质、岩矿鉴定分析、工程检测、环境检测等科研和教学工作的成果,同时吸收了国内外有关环境学、环境工程地质学的研究成果。本书也是公路工程地质理论和实践紧密结合所取得的研究成果与体会。

本书第1版、第2版自出版以来深受学生喜爱和工程界的好评。2012年3月至10月,南京大学王赐银教授、张庆龙教授,浙江大学杨树锋教授,同济大学叶为民教授,东南大学刘松玉教授,合肥工业大学瞿尔仁教授、王国强教授等热情指导修改并积极推荐本书再版。本版在第1版、第2版基础上增加了一些最新的研究成果,并经张庆龙教授、王国强教授、叶为民教授等详细审阅。

本书教材与第1版、第2版相比,主要内容变动有:(1)为贯彻落实2014年实施的《公路隧道设计规范》(JTG D70/2—2014)、《公路工程抗震规范》(JTG B02—2013)等新规范,将有关内容作了相应的修改更新;(2)增加了多年冻土病害处治技术;(3)增加了山区高速公路建设中深路堑、高边坡等特殊地质处理技术;(4)补充了桥梁工程地质勘察设计、隧道工程勘察设计。深信本书对于推动教育教学改革,促进教育教学质量和公路工程质量的提高具有重要意义。

本书在撰写过程中力求运用唯物主义观点,注意贯彻理论和实际相结合的原则,着重讲清工程地质的基本概念、原理和方法,取材紧密结合公路工程的主要地质问题,并与现代信息技术紧密结合进行教学。

在使用本书进行教学时,若由于学时所限(或相近专业),不能教授全部教材内容,可在该书的第七、八、九、十章中进行有针对性的选择。有的章节应结合实验和野外实习进行教学,不占校内理论教学时间。

参加本书撰写工作的有钱让清(撰写绪论、第二章),钱芳(撰写第一章、第三章、第九章),钱王苹(撰写第五章、第八章),曹建伟(撰写第七章、第十章),章素云(撰写第四章、附录),汪晗(撰写第六章)。全书由钱让清担任第一主编,钱芳担任第二主编,钱王苹担任第三主编,曹建

伟、张素云、汪晗担任副主编。本书撰写完成后由钱让清统稿和校对。

中国科学院院士、中国工程院院士、中国科学技术大学博士生导师常印佛教授和南京大学博士生导师张庆龙教授在百忙中审阅了全部书稿并欣然为本书作序(序1、序2)。对本书的撰写和调研,南京大学、中国科学技术大学、同济大学、东南大学、合肥工业大学、安徽省交通运输厅、安徽省公路学会、安徽省地质学会均给予了大力支持。此外,本书撰写过程中得到杨晓勇教授,正高级工程师郭正言、殷永高、周文雅、殷治宁、卞国炎、汪凡文等提供的有关地质质检资料。全书图件由钱芳、周满兵、钱小中同志绘制。

本书是国家教育部高等学校示范院校建设项目主要成果之一、国家教育部公路与桥梁工程专业产学研合作研究与实践项目(教高2002—282)、国家交通部科技计划科研项目(2003—40)的主要成果,曾获2012年度国家交通运输部优秀教育教学成果一等奖、2010年度国家教育部优秀教学成果二等奖,出版得到国家攀登计划重点科技攻关项目(A—30—12B)、国家科技部重点科技攻关项目(G1999043204)、国家自然科学基金项目(40473021)、国家自然科学基金项目(40302007)、安徽省省级教学研究重点项目(2005102)、国家教育部公路与桥梁合作研究与实践项目(教高2002—282)、安徽省省级教学研究项目(97YB055、2005360)、安徽省交通科技进步计划项目(1998—16、2001—15、2003—41、2004—28、2005—05、2005—13、2006—10、2007—21、2008—03)的资助,同时得到中国科学技术大学出版社的帮助。在此一并表示衷心的感谢。

本书在编写过程中曾对编写大纲广泛征求过有关兄弟院校(如南京大学、浙江大学、北京交通大学、同济大学、东南大学、合肥工业大学、西南交通大学、长安大学、长沙理工大学、安徽理工大学、安徽建筑工业大学等)同行的意见,许多老师都提出了很好的意见和建议,在此谨向关心、帮助过本书撰写工作的老师致以诚挚的谢意。

对于本书存在的缺点或错误,诚恳希望读者提出宝贵意见,以便再版时更正。

《公路工程地质》编委会

目 次

序 1	(I)
序 2	(III)
第 3 版前言	(V)
绪论	(1)
第一章 岩石的成因类型和工程地质特征	(6)
第一节 概述	(6)
第二节 主要造岩矿物	(6)
第三节 岩石	(9)
第四节 岩石的工程地质性质	(28)
第二章 地质构造与公路工程	(35)
第一节 地壳运动的概念	(35)
第二节 地质年代	(37)
第三节 地质构造	(40)
第四节 活断层	(52)
第五节 地质图	(56)
第六节 地质构造对公路工程的影响	(62)
第三章 外力地质作用对工程的影响	(66)
第一节 风化作用	(66)
第二节 地表流水的地质作用	(76)
第三节 地下水的地质作用	(83)
第四章 地貌与公路工程	(100)
第一节 地貌概述	(100)
第二节 山岭地貌	(103)
第三节 平原地貌	(108)
第四节 河谷地貌	(109)
第五章 岩体结构和岩体的稳定性分析	(114)
第一节 岩体和岩体结构	(114)
第二节 岩体稳定性分析	(119)

第六章 公路工程地质勘察与设计	(129)
第一节 公路工程地质勘察阶段与内容	(129)
第二节 公路工程地质问题与勘察	(132)
第三节 公路工程地质勘察报告编制	(134)
第四节 山区路基工程地质勘察设计	(136)
第七章 桥梁工程地质勘察与设计	(158)
第一节 桥梁工程地质问题	(158)
第二节 桥梁工程地质勘察的主要任务	(159)
第三节 桥梁工程地质勘察要点	(159)
第四节 桥梁工程地质勘察与设计	(160)
第八章 隧道工程地质勘察与设计	(178)
第一节 隧道工程地质问题	(178)
第二节 隧道工程地质勘察要点	(183)
第三节 隧道工程地质勘察与设计	(184)
第九章 环境工程地质研究	(192)
第一节 滑坡治理技术	(192)
第二节 崩塌、岩堆与隧道塌方治理技术	(212)
第三节 泥石流勘察与治理技术	(229)
第四节 岩溶工程地质问题及防治措施	(242)
第五节 地震震害与防震原则	(248)
第十章 特殊地质问题勘察与处治技术	(259)
第一节 膨胀土工程地质勘察与处治技术	(259)
第二节 黄土工程地质勘察与处治技术	(285)
第三节 多年冻土工程地质勘察与处治技术	(301)
第四节 软土工程地质勘察与处治技术	(322)
第五节 红黏土与高液限土处治技术	(364)
第六节 芜湖长江大桥双壁钢围堰大直径钻孔灌注桩施工技术	(366)
附录 公路工程地质实验内容与要求	(373)
主要参考文献	(381)

绪 论

地质学是研究地球的结构、物质成分、形成过程及其发展历史的综合科学。工程地质学是地质学的一个分支,它研究与工程建设有关的地质理论,应用于工程规划、勘察、设计、施工与正常使用。因此,工程地质学是地质学与工程学科交叉渗透的产物。我国的工程地质学是从20世纪50年代开始不断发展而逐渐完善的一门学科,随着地质科技人员的不断扩大,勘探、测试手段逐渐完善,新技术、新方法、新理论在地质学研究的各个领域广泛采用,而得到了蓬勃发展。由于地质现象错综复杂,千变万化,只有用科学的态度,以唯物辩证的观点深入实际,调查研究,分析和揭露地壳内部矛盾,认识和掌握其规律,才能主动地改造自然、利用自然,为祖国的工程建设作出贡献。

一、地球概述

地球是太阳系的一颗行星,是一个不标准的旋转椭球体,根据国际大地测量与地球物理学会1980年公布的资料^[97]知道,地球赤道半径(a)为6 378.137 km,两极半径(c)为6 356.752 km,平均半径(R)为6 371.012 km,地球的扁率($\frac{a-c}{a}$)为0.003 352 859(约为 $\frac{1}{298}$),赤道周长($2\pi a$)为40 075.7 km,表面积($4\pi R^2$)为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$,体积($\frac{4\pi R^3}{3}$)为 $1.083 2 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。地球并不是一个均质体,具有圈层结构。以地表为界分为内圈和外圈,它们又再分几个圈层,每个圈层都有自己的物质运动特征和物理、化学性质,对地质作用各程度不同的、直接或间接的影响。

(一)地球外圈

地球表面以上,根据物质性状可以分为大气圈、水圈和生物圈。它们各自形成连续完整的外圈。

(二)地球内圈

根据地震波传播速度的突变,可以确定地球内部的分界面,地球物理学上称为不连续面或界面。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,这个界面叫莫霍洛维奇不连续面,简称莫霍面,是前南斯拉夫莫霍洛维奇1909年发现的。第二个界面在地表下约2 900 km处,叫古登堡不连续面,简称古登堡面,是美国古登堡1914年提出的。根据这两个界面把地球内部分为三圈,即地壳、地幔和地核(见图0-1)。

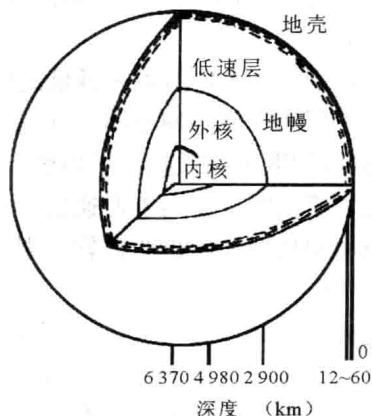


图0-1 地球内部的分层结构图
(据刘世凯等,2000)

1. 地核

古登堡面以下为地核,半径为 3 471 km,体积占地球总体积的 16.2%,平均密度超过 10g/cm^3 。形成这么巨大密度的地核,存在着高密度物质,最合理的物质是金属。对陨石*分析表明,构成行星的物质中铁是最常见的,在铁陨石中,铁与少量的镍形成合金。因此,大多数地质学家都认为,地核的成分很可能是铁—镍合金。根据地震波传播的变化,地核可分出内核、过渡层和外核三个次一级的圈层。

(1) 内核。研究穿过地核内部的纵波,肯定内核是固体。

(2) 过渡层。波速变化复杂,并测到速度不大的横波,是液态向固态过渡的象征。

(3) 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,地球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。

2. 地幔

莫霍面与古登堡面之间为地幔,厚 2 800 km,占地球总体积的 83%。地幔的平均密度为 4.5g/cm^3 ,说明地幔是由岩石组成的,而不是由金属物质组成的。根据地震波速变化情况,可分为下地幔、过渡带和上地幔三个圈层。根据对陨石成分的比较,一般认为铁陨石相当于下地幔成分,而石陨石则相当于上地幔成分。

(1) 下地幔。由地球内 700 km 深度延伸到古登堡面为下地幔。平均密度为 5.1g/cm^3 。下地幔能传播横波(S波,即是由震源传出的剪切波),说明其组成物质基本上是固体。

(2) 过渡带。400~700 km 深为过渡带。带内波速的变化可能与成分的变化无关,而与体结构的变化即相变有关,故亦称相变带。

(3) 上地幔。莫霍面以下到 400 km 深为上地幔。这一层对研究地球表面的地质是重要的,因为它的运动和历史与地壳的运动和历史有关。上地幔的平均密度为 3.3g/cm^3 。上地幔能传播 S 波,因此它必定大部分是固体。

根据陨石成分,得出上地幔地震波速度和密度的数据,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,推测上地幔主要由橄榄石、辉石和石榴石组成。

上地幔最显著的特点是其低速层,该层的纵波、横波速度要比其上、下的物质的速度都低。低速层顶部的深度各地不同,一般是从 80 km 到 120 km,其厚度大约为 100~200 km。低速层波速低,说明其物质接近于熔融。低速层内有些区域不传播横波,表明那里已形成液态区,可能是岩浆发源地。由于低速层岩石塑性较大,给其上固体岩石的活动创造了条件,所以在构造地质学中把低速层也叫作软流圈。

3. 地壳

地壳由固体岩石构成,平均密度为 2.8g/cm^3 ,下界面为莫霍面,表面在陆地上直接暴露于地表。地壳平均厚度约为 33 km,地壳的厚度变化很大,大洋地壳较薄,大陆地壳较厚。由于海洋和陆地下面的地壳各有特色,故可分为大洋壳和大陆壳两种基本类型。

(1) 大洋壳。海洋约占地壳面积的 65%,大洋壳上平均覆盖 4 km 深的海水。有些地方大洋壳的岩浆岩基底裸露在海水中,在另一些地方,特别是在大陆边缘,大洋壳的岩浆岩基底

* 一般认为陨石是行星爆炸遗留物,保留着太阳系原始成分较多,而地幔和地核也是地球的原始成分,故可对比。

被很厚的沉积物深深地埋在下面(一般说来,大洋壳上平均覆盖 0.5 km 的沉积物),其平均厚 6 km,最厚约为 8 km,最薄处不到 5 km。大洋壳的主要组成物质是铁镁质的,相当于玄武岩或辉长岩。

(2) 大陆壳。大陆壳与大洋壳不同,大陆壳平均厚 35 km,最厚处可达 70 km(青藏高原),最薄处不到 25 km。最高的珠穆朗玛峰海拔高度超过 8.8 km,但是大陆地表的平均海拔高度大约只有 800 m。大陆壳的构造不是简单和均匀的。能直接观察到的地壳上部是由沉积岩、岩浆岩和变质岩组成的复杂的混合物。大陆壳下部的地震波速度要比上部高,这种情况可能反映了成分上的变化,也可能是成分大致不变而发生了相变的结果。大陆壳和大洋壳不仅在高程、厚度和构造等方面很不相同,他们的总成分也有很大的差别。大陆壳与大洋壳相比,硅和钾较多,而铁、镁和钙较少。大陆壳具有与安山岩、花岗闪长岩类似的中性成分,而不是大洋壳的玄武岩成分。

二、地质作用

地球一直处在不停的运动和变化之中,因而引起地壳构造和地表形态不断地发生演变。在地质历史发展的过程中,促使地壳的组成物质、构造和地表形态不断变化的作用,统称为地质作用。地质作用按其能源的不同,可分为外力地质作用和内力地质作用两类。

(一)外力地质作用

由太阳辐射能、生物能和日月引力所引起的地质作用,主要在地壳表面进行称为外力地质作用,简称外力作用。外力作用的方式,可以概括为以下几种:

(1) 风化作用。在温度变化、气体、水及生物等因素的综合影响下,促使组成地壳表层的岩石发生破碎、分解的一种破坏作用。风化作用使岩石强度和稳定性大为降低。

(2) 剥蚀作用。将岩石风化破坏的产物从原地剥离下来的作用。它包括除风化作用以外的所有方式的破坏作用,诸如河流、大气降水、地下水、海洋、湖泊以及风等的破坏作用。

(3) 搬运作用。岩石经风化、剥蚀破坏后的产物,被流水、风、冰川等介质搬运到其他地方的作用。

(4) 沉积作用。被搬运的物质,由于搬运介质的搬运能力减弱,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,形成沉积的过程,称为沉积作用。

(5) 成岩作用。沉积下来的各种松散堆积物,在一定条件下,由于压力增大、温度升高以及受到某些化学溶液的影响,发生压缩、胶结及重结晶等物理化学过程,使之固结成为坚硬岩石的作用,称为成岩作用。

外力地质作用,一方面通过风化和剥蚀作用不断地破坏出露地面的岩石,另一方面又把高处剥蚀下来的风化产物通过流水等介质,搬运到低洼的地方沉积下来重新形成新的岩石。外力地质作用总的趋势是切削地壳表面隆起的部分。填平地壳表面低洼的部分,不断使地壳的面貌发生变化。在地表主要形成戈壁、沙漠、黄土堆、泥石流、滑坡、深切谷、冲积平原等现象。

(二)内力地质作用

内力地质作用简称内力作用,是由地球的转动能、重力能和放射性元素蜕变产生的热能所引起,主要是在地壳或地幔内部进行。内力地质作用包括以下几种:

(1) 地壳运动。地壳运动引起海陆变迁,产生各种地质构造。因此,在一定意义上又把地壳运动称为构造运动。发生在晚第三纪末和第四纪的构造运动,在地质学上称为新构造运动。

伴随地壳运动,常常发生地震、岩浆作用和变质作用。

(2) 岩浆作用。地壳内部的岩浆在地壳运动的影响下,向外部压力减小的方向移动、上升侵入地壳或喷出地面,冷却凝固成为岩石的全过程,称为岩浆作用。岩浆作用形成岩浆岩,并使围岩发生变质现象,同时引起地形改变。

(3) 变质作用。由于地壳运动、岩浆作用等引起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,称为变质作用。变质作用形成各种不同的变质岩。

(4) 地震。地震是地壳快速震动的现象,是地壳运动的一种表现形式,地壳运动和岩浆作用都能引起地震。

内力作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造型态和地壳表面大型的高低起伏。它一方面起着改变外力地质过程的作用,同时又为外力作用的不断发展提供新的条件。内力作用与外力作用紧密关联、互相影响,始终处于对立统一的发展过程中,成为促使地壳不断运动、变化和发展的基本力量。

三、工程地质学研究任务与内容

人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,两者之间有密切的关系,并且是相互影响、相互制约的。

工程活动的地质环境亦称工程地质条件,一般认为它应包括岩土类型及其工程性质、地质构造、地形地貌、水文地质、物理地质现象和天然建筑材料等。

研究人类工程活动与地质环境之间的相互制约关系,以便做到既能使工程建筑安全、经济、稳定,又能合理开发和保护地质环境,这就是工程地质学的基本任务。而在大规模的改造自然环境的工程中,如何按地质规律办事,有效地改造地质环境,提出保证建筑物的稳定性和正常使用的有效措施,则是工程地质学面临的主要任务。

工程地质学是把地质科学应用于工程实践,通过工程地质调查及理论性的综合研究,对工程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,预测并论证工程区内各种物理地质现象的发生、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。

工程地质学包括工程岩土学、工程地质分析、工程地质勘察三个基本部分,它们都已形成分支学科。工程岩土学的任务是研究土石的工程地质性质,研究这些性质的形成和它们在自然或人类活动影响下的变化。工程地质分析的任务是研究工程活动的主要工程地质问题,研究这些问题产生的地质条件、力学机制及其发展演化规律,以便正确评价和有效防治它们的不良影响。工程地质勘察的任务是探讨调查研究方法,应用先进的勘探、测试手段,以便有效查明有关工程活动的地质因素及各种地质条件。

由于工程地质条件有明显的区域性分布规律,因而工程地质问题也有区域性分布的特点,研究这些规律和特点的分支学科称为区域工程地质学。

随着建设和科学研究的深入,一些新的分支学科正在形成,如环境工程地质学、海洋工程地质学与地震工程地质学等。

各类工程(交通、矿山、水利水电、工业与民用建筑等)对工程地质条件有不同的要求,主要工程地质问题亦不同,由于各地工程地质条件复杂多变,决定了工程地质问题千差万别。

由于公路工程(含公路路基、桥基和隧道等)是一种延伸很长的线型建筑物,它会遇到各种