



高等职业教育“十一五”规划教材

工程地质与桥涵水文

盛海洋 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业教育“十一五”规划教材

工程地质与桥涵水文

主编 盛海洋

参编 王飞跃 聂莉萍 沈秋雁

主审 夏克勤



机械工业出版社

本书分工程地质和桥涵水文两大部分,共十四章。第一部分工程地质,主要介绍了岩石及其工程地质性质、地质构造、地貌及第四纪地质物理地质作用及地质现象、地下水、岩体结构与稳定性分析、公路工程地质问题和公路工程地质勘察;第二部分桥涵水文,主要内容包括水力学基本知识、河川水文基础知识、公路桥涵布置、内河桥设计流量的确定、大中桥孔径计算和建桥河段的冲刷计算等。

本书注重吸收最新的科技成果,将教学与科研、生产紧密结合,以实用、够用为原则,强调高职特色。全书内容丰富、图文并茂、深入浅出、循序渐进、重点突出,并配套了工程地质与水文技能训练指导多媒体教学软件(待出版)以便于教师授课与学生自学。

本书可作为高职高专道路与桥梁工程技术、公路与城市道路、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的教材,亦可供工程建设勘察、设计、施工、监理、实验、检测技术人员及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质与桥涵水文/盛海洋主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 1

高等职业教育“十一五”规划教材

ISBN 7-111-18319-3

I. 工... II. 盛... III. ①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. ①P642②U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 001155 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李俊玲 责任编辑:陈 俞 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:姚 毅 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·18.75 印张·460 千字

0001—3000 册

定价:27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育“十一五”规划教材

(道路与桥梁、公路监理专业)

编 审 委 员 会

主 任 委 员	孟祥林	南京交通职业技术学院
副主任委员	钟建民	山西交通职业技术学院
	罗凤姿	湖南工程职业技术学院
委 员	王保群	山东交通学院
	田 平	河北交通职业技术学院
	白淑毅	广东交通职业技术学院
	务新超	黄河水利职业技术学院
	刘 武	江西交通职业技术学院
	周志坚	福建交通职业技术学院
	周传林	南京交通职业技术学院
	林丽娟	徐州建筑职业技术学院
	胡兴福	四川建筑职业技术学院
	李俊玲	机械工业出版社(兼委员会秘书)

出版说明

自 20 世纪 90 年代开始,我国公路建设步入了持续、快速发展的轨道。截至 2004 年年底,我国高速公路通车里程已达 3.42 万 km,年增长 21.2%,全国公路通车总里程也达到 185.6 万 km。公路交通建设的发展,使社会急需大量的素质高、应用能力强、富有创新精神的复合型人才,各高等职业院校面临着向社会输送合格的公路专门人才的紧迫任务。“教书育人,教材先行”,人才的培养,离不开优秀的教材。基于此背景和要求,机械工业出版社组织全国多所交通及土建类院校编写了这套针对道路与桥梁、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的系列教材。

本系列教材具有以下特点:

1. 贯彻了交通部发布的最新的行业标准规范,保证了时效性,使教学能与实际紧密结合。

2. 为突出高等职业教育的特点,本套教材的编写班子以双师型教师为主,并吸收了部分企业的技术人员参加教材的编、审工作,使教材更贴近实际,更能反映公路工程建设中最新的技术、工艺和方法。

3. 不追求教材的系统性和完整性,以够用、实用为原则,将理论知识与实际操作融为一体。基础理论知识以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学,重点培养学生的动手能力和思维方法。

4. 每本教材中都有“学时分配建议表”,供授课教师参考;每章前有“学习目标”,章后有“小结”、“思考题”、“习题(或操作实训)”,更利于学生学习和复习。

5. 以学生好学、教师上课方便为宗旨,将教学改革成果引入到教材中,并陆续配备电子教案、学习指导等,力争为一线教师提供较全面的立体化的教材。

6. 在教材内容的选取上,以三年制教学为主,也充分考虑了两年制教学的要求,可供三年制和两年制教学使用。

希望本系列教材的出版,能促进高等职业院校道路与桥梁等专业的教材建设,为培养符合市场需要的高技能人才起到积极的推动作用。

机械工业出版社

前 言

“工程地质与桥涵水文”是高等职业教育道桥类相关专业的专业基础课。本书根据该课程的教学要求，系统地阐述了工程地质与桥涵水文的理论、常见工程地质问题及防治措施等内容。

本书在编写过程中，力求理论联系实际，在内容上反映工程地质与桥涵水文学科的新理论、新成果，反映相关学科的新规范和新规定，并注意吸收国内外同类教材的有益经验，以体现高职教材特色。本书编写以必需、够用、实用为原则，力求内容丰富、深入浅出、循序渐进、重点突出、深浅适度。为了方便学生学习，本书每章前都附有学习目标、本章重点、本章难点；每章后附有小结和一定数量的思考题与习题，以使学生更好地掌握本章核心内容。各章学时分配建议见下表。

学时分配建议表

章 号	教 学 内 容	学时	实验	训练	小计
	绪论	1			1
第一章	岩石及其工程地质性质	6	4		10
第二章	地质构造	12		2	14
第三章	地貌及第四纪地质	4			4
第四章	物理地质作用及地质现象	8			8
第五章	地下水	6			6
第六章	岩体结构与稳定性分析	6			6
第七章	公路工程地质问题	5			5
第八章	公路工程地质勘察	4			4
第九章	水力学基本知识	1			1
第十章	河川水文基础知识	10			10

(续)

章 号	教 学 内 容	学时	实验	训练	小计
第十一章	公路桥涵布置	1			1
第十二章	内河桥设计流量的确定	4			4
第十三章	大中桥孔径计算	6			6
第十四章	建桥河段的冲刷计算	5			5
合 计		79	4	2	85

注：本学时分配是建议性的，完成本教学基本要求的最少学时数为 60 学时。

在使用本书进行教学时，由于学时所限和地区性差异以及各学校具体情况不同，教师在讲授中可对书中内容作适当增删。

本书由南京交通职业技术学院盛海洋主编，成都理工大学夏克勤主审。

本书具体编写情况如下：前言、绪论、第一至四章、第六、七章和第十一章的部分内容由盛海洋编写；第五章、第八章由黄河水利职业技术学院王飞跃编写；第九、十、十二章和第十一章的部分内容由江西交通职业技术学院聂莉萍编写；十三、十四章由南京交通职业技术学院沈秋雁编写。

本书在编写过程中，曾广泛征求过有关院校及勘察设计单位同行对编写大纲的意见，并得到了机械工业出版社相关编辑，南京交通职业技术学院孟祥林、王晓农、周传林、蒋玲、何玉宏，成都理工大学李勇、刘惠军，成都地质调查院白宪洲等的指导和帮助。同时附于书末的参考文献作者们对本书完成给予的支持，在此一并衷心致谢。

由于编写时间和编者水平所限，书中难免存在错误及不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

绪论 1

小结 4

思考题 4

第一章 岩石及其工程地质性质 5

第一节 地壳及地质作用 5

第二节 造岩矿物 9

第三节 岩浆岩 15

第四节 沉积岩 22

第五节 变质岩 29

第六节 岩石的工程地质性质评述 34

小结 35

思考题 36

第二章 地质构造 38

第一节 地壳运动概述 38

第二节 水平构造和倾斜构造 40

第三节 褶皱构造 42

第四节 断裂构造 45

第五节 地震 54

第六节 地质年代 62

第七节 地质图 67

小结 74

思考题 75

第三章 地貌及第四纪地质 77

第一节 地貌 77

第二节 第四纪地质 80

小结 87

思考题 88

第四章 物理地质作用及地质现象 89

第一节 风化作用 89

第二节 河流地质作用 92

第三节 岩溶 97

第四节 崩塌与滑坡 103

第五节 泥石流 107

小结 110

思考题 111

第五章 地下水 112

第一节 地下水的基本概念及研究意义 112

第二节 地下水的物理性质和化学成分 113

第三节 地下水的类型 115

第四节 泉 123

第五节 地下水运动 124

小结 126

思考题 126

习题 127

第六章 岩体结构与稳定性分析 128

第一节 岩体的结构特性 128

第二节 岩体边坡稳定性评价方法 135

小结 145

思考题 146

习题 146

第七章 公路工程地质问题 147

第一节 公路选线的工程地质论证 147

第二节 路基工程地质问题 150

第三节 桥梁工程地质问题 151

第四节 隧道工程地质问题 154

小结 164

思考题 164

习题 165

第八章 公路工程地质勘察	166	小结	239
第一节 公路工程地质勘察的任务和 阶段划分	166	思考题	240
第二节 公路工程地质勘察的主要方法	168	第十二章 内河桥设计流量的确定	241
小结	177	第一节 有观测资料时设计流量的推算	241
思考题	178	第二节 缺乏观测资料时设计流量的 推算	244
第九章 水力学基本知识	179	第三节 桥位断面设计流量、设计水位 的推算	248
小结	184	小结	248
思考题	185	思考题	249
习题	185	第十三章 大中桥孔径计算	250
第十章 河川水文基础知识	186	第一节 桥孔最小净长计算	250
第一节 河川水文现象的特点与桥涵 水文的研究方法	186	第二节 桥面中心和引道路堤最低设计 标高的确定	253
第二节 河流、流域及河川径流	187	小结	267
第三节 形态勘测与水文调查	194	思考题	267
第四节 水文统计基本知识	203	第十四章 建桥河段的冲刷计算	268
第五节 经验频率曲线的绘制	208	第一节 桥下一般冲刷计算	268
第六节 理论频率曲线的绘制	212	第二节 桥墩局部冲刷计算	272
第七节 相关分析	225	第三节 确定墩台基底最浅埋置深度	278
小结	231	第四节 调治构造物	284
思考题	232	小结	287
习题	233	思考题	288
第十一章 公路桥涵布置	235	参考文献	289
第一节 桥涵分类及其布置原则	235		
第二节 桥位选择与桥位调查	236		

绪 论

一、工程地质学的任务及工程地质学在工程建设中的作用

(一) 工程地质学的任务

地质学一词是由瑞士人索修尔(Saussure H. B. de)于1779年提出的,意指“地球的科学”。地质学就是研究地球的科学。

限于目前的科学技术水平,地质学现阶段以地球的表层(地壳)作为主要研究对象——主要研究地壳的物质组成(矿物岩石学等)、促使地壳运动变化的各种地质作用(动力地质学等)、地壳的发展历史(地史学、古生物学等)及地质学在有关领域中的应用等。随着生产实践需要的发展和科学的发展,地质工作的范围越来越广,地质学也相应发展成许多分支,如工程地质学、水文地质学等。

工程地质学作为其中的一个分支,是研究与工程规划、设计、施工和运营有关的地质问题的学科。工程地质学是地质学与工程学的边缘学科,是一门应用地质学。它广泛应用于各类工程,如公路工程、铁路工程、水电工程、工民建工程、矿山工程、港口工程等。随着生产的发展和研究的深入,又出现一些新的分支学科,如环境工程地质、海洋工程地质、地震工程地质等。工程地质学的特点是始终与工程实践紧密联系。

工程地质学的研究对象是工程地质条件和工程活动的地质环境。它的主要任务是研究人类工程活动与地质环境(工程地质条件)之间的相互作用,以便正确评价、合理利用、有效改造和完善保护地质环境。具体地说,工程地质学在工程建设中的任务包括如下几个方面:

- 1) 阐明建筑地区的工程地质条件,并指出对建筑物有利和不利因素。
- 2) 论证建筑物所存在的工程地质问题,进行定性和定量的评价,并作出确切的结论。
- 3) 选择地质条件优良的建筑场地,并根据场地工程地质条件对建筑物配置提出建议。
- 4) 研究工程建筑物兴建后对地质环境的影响,预测其发展趋势,提出利用和保护地质环境的对策和建议。
- 5) 根据所选定地点的工程地质条件和存在的工程地质问题,提出有关建筑物类型、规模、结构和施工方法的合理建议,并提出为保证建筑物正常施工和使用所应注意的地质要求。
- 6) 在拟定改善或防治不良地质作用的措施时提供地质依据。

总之,工程地质学的任务就是查明建筑物及与之有关地区的工程地质条件,指出可能出现的工程地质问题,并提出解决这些问题的建议,为工程设计、施工和正常运营提供可靠的地质资料,以保证建筑物修建得经济合理且安全可靠。

工程地质学的上述任务, 必须要求对工程活动的地质环境(或称工程地质条件)进行深入研究。工程地质条件包括地层岩性、地质构造、地貌、水文地质条件、岩土体的工程性质、物理地质现象和天然建筑材料等几个方面。研究岩土体的工程性质及其在自然或人类活动影响下的变化是工程岩土学的基本任务; 研究工程活动与地质环境相互制约的主要形式(即工程地质问题), 并分析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其不良影响是工程地质学另一专门分支工程地质分析的基本任务; 查明工程地质条件并研究查明工程地质条件的方法和手段是工程地质勘察的基本任务。上述三个专门分支学科是工程地质学的理论基础。

(二) 工程地质学在工程建设中的作用

大量的国内外工程建设实践证明, 工程地质工作做得好, 设计、施工就能顺利进行, 建筑物的安全运营就有保证。相反, 对工程地质工作忽视或重视不够, 使一些严重的地质问题未被发现或发现了而未进行可靠的处理, 都会给工程带来不同程度的影响, 轻则修改设计方案、增加投资、延误工期, 重则使建筑物完全不能使用, 酿成灾害。

例如成(都)昆(明)铁路, 沿线地形险峻, 地质构造极为复杂, 大断裂纵横分布, 新构造运动十分强烈, 有约 200km 的地段位于 8~9 度地震烈度区, 岩层十分破碎, 再加上沿线雨量充沛, 山体不稳, 各种不良地质现象十分发育, 被誉为“世界地质博物馆”。中央和铁道部对成昆线的工程地质勘察工作十分重视, 提出了地质选线的原则, 动员和组织了许多工程地质专家和技术人员进行大会战, 并多次组织全国工程地质专家进行现场考察和研究, 解决许多工程地质难题, 从而保证了成昆铁路顺利建成通车。

相反, 建国初期修建的宝(鸡)成(都)铁路, 限于 20 世纪 50 年代初期的设计水平, 对工程地质条件认识不足, 致使线路的某些地段质量不高, 给施工和运营带来了困难。宝成铁路上存在的路基冲刷、滑坡和泥石流问题给工程地质人员留下了深刻教训。又如解放前修建的宝(鸡)天(水)铁路, 当时根本不重视工程地质工作, 设计开挖了许多高陡路堑, 致使发生了大量崩塌、滑坡、泥石流病害, 使线路无法正常运营, 被称为西北铁路线上的盲肠。

国外也存在许多工程地质问题给工程带来影响的例子。例如, 加拿大的特朗斯康谷仓是建筑物地基失稳的典型例子。该谷仓由 65 个圆柱筒仓组成, 每个筒仓长 59.4m, 宽 23.5m, 高 31.0m, 采用钢筋混凝土片筏基础, 基础厚 2m, 埋置深度 3.6m。谷仓于 1913 年秋建成, 1913 年 10 月初贮存谷物 2.7 万 t 时发现谷仓明显下沉, 谷仓西端下沉 8.8m, 东端上抬 1.5m, 最后, 整个谷仓倾斜 27°。由于谷仓整体刚度较强, 在地基破坏后, 筒仓仍保持完整, 无明显裂缝。事后经勘察了解, 该建筑物基础下埋藏有厚达 16m 的高塑性淤泥质软粘土层。谷仓加载使基础底面上的平均荷载达到 330kPa, 超过了地基的极限承载力 280kPa, 因而使地基发生强度破坏而使谷仓整体滑动。为修复谷仓, 在基础下设置了 70 多个支承于深 16m 以下基岩上的混凝土墩, 使用 338 个 500kN 的千斤顶, 逐渐把谷仓纠正过来。修复后谷仓的标高比原来降低了 4m, 且处理费用十分昂贵。加拿大特朗斯康谷仓发生地基强度破坏的主要原因是事先对谷仓地基土层未作勘察、实验与研究, 采用的设计荷载超过地基土

的抗剪强度,从而导致了这一严重事故的发生。

公路工程是一种延伸很长的线形建筑物,又主要建筑在地表(壳)上。因此,公路在兴建和使用的过程中,必然会遇到各种各样的自然条件和地质问题。如果对地质工作重视不够,会给工程带来不同程度的影响。例如在开挖高边坡时,如果忽视地质条件,可能会引起大规模的崩塌或滑坡,那样不仅会增加工程量,而且会延长工期和提高造价,严重时甚至会危及施工安全,造成生命和财产的损失。我国台湾基隆河畔某地修筑高速公路时,因在河岸旁的山腰处进行开挖,切断了层状岩体,导致该地于1974年9月发生滑坡,破坏了周围的村庄、道路,阻断了河流。又如沿河谷布线时,若不分析河道形态、河流流向以及水文地质特征,就有可能造成路基被水冲毁的事故。

综上所述,作为工程建设的基础工作,工程地质工作已成为工程建设中不可缺少的一个重要组成部分,其重要作用是客观存在和被实践证明了的。随着我国经济建设的日益发展和科学技术的日益进步,工程建设的规模和数量也越来越大。数十公里长的隧道、数百米高的高楼大厦、数百米高的露天采矿场边坡、二滩和三峡水利枢纽工程等所谓“长隧道、深基坑、高边坡”巨型重大工程建设与工程地质的关系更趋密切。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。

二、工程地质课程教学要求及其特点

一般来讲,进行公路工程建设时,地质工作主要由专业地质人员进行。但作为一名公路工程师,必须掌握公路工程地质的基本理论和工程地质勘察的基本技能,才能够正确地提出勘察任务和要求,才能正确地利用工程地质勘察成果和正确处理公路建设与自然地质条件的关系,才能胜任本职工作。

学习本课程的目的使学生了解工程建设中的工程地质现象和问题,以及这些现象和问题对工程设计、施工和使用各阶段的影响;能正确处理各种工程地质问题,并能合理利用自然地质条件;了解各种工程地质勘察要求和方法,能布置勘察任务,合理利用勘察成果解决设计和施工中的问题,并为学习专业课和今后从事实际工作打下基础。总的来说,通过学习本课程,学生应能:

- 1) 掌握与公路工程有关的常见岩土的工程地质性质、地质构造、地貌、物理地质现象、水文地质等基本地质知识。
- 2) 初步学会对道路选线的工程地质条件和路基、桥梁、隧道的工程地质问题进行分析 and 评价的方法。
- 3) 了解工程地质的勘察原则和方法,并熟悉其应用条件;学会阅读和分析常用工程地质及水文地质资料(报告书及地质图)。

以上教学要求是相互关联和逐步联系专业实际的,只有在理论联系实际、地质联系工程的基础上,进行教与学,才能达到预期的教学目的。

本课程是一门实践性比较强的专业基础课,为加强地质实践性教学,除讲课及自学外,还应安排课堂实习或实验、课外作业以及野外地质教学实习,以巩固和印证课堂所学的理论知识,培养学生实际动手的技能,学会应用工程地质资料为工程设计、施工等服务。

在教学过程中,应运用辩证唯物主义观点,由浅入深、循序渐进地进行教学,并尽量采用多媒体教学方法,应用有关地质科教片、录像片、幻灯片、挂图、模型、标本等直观教具,以增强地质感性认识,提高教学质量。学生在学习过程中要善于思考,切忌生吞活剥、死记硬背,应掌握分析研究问题的思路和方法,以便在以后的实际工作中用以解决所遇到的问题。

小 结

工程地质学是将地质学的原理应用于解决工程地质问题的一门学科。工程地质学主要是通过调查、勘察和研究建筑物场地的岩土工程地质性质、地质构造、地貌、地下水、物理地质现象和天然建筑材料等工程地质条件,预测和论证有关工程地质问题发生的可能性并采取必要的防治措施,以确保建筑物的安全、稳定和正常运行。

工程地质课程是一门实践性比较强的专业基础课,在教学过程中,要加强地质实践性教学环节,以巩固和印证课堂所学的理论知识,培养学生实际动手的技能,使学生学会应用工程地质资料为工程设计、施工等服务。

思 考 题

- 0-1 什么是工程地质学?
- 0-2 什么是工程地质条件?
- 0-3 工程地质学的任务是什么?
- 0-4 工程地质课程的基本要求是什么?

第一章 岩石及其工程地质性质

学习目标

1. 掌握矿物、造岩矿物的概念及矿物的主要物理性质。
2. 掌握火成岩、沉积岩及变质岩的矿物成分、结构和构造。
3. 了解火成岩、沉积岩及变质岩的分类及常见岩石的地质特征。
4. 结合矿物和岩石实验，掌握肉眼鉴定矿物及火成岩、沉积岩、变质岩三大类岩石的方法，并能对矿物及岩石的工程地质性质进行正确描述。

本章重点

矿物的物理性质；岩石的矿物成分、结构和构造；矿物及岩石的工程地质性质；肉眼鉴定矿物、岩石的方法。

本章难点

矿物的物理性质；岩石结构和构造。

第一节 地壳及地质作用

一、地壳

地球是太阳系行星家族中的一个壮年成员(约 50 亿年,恒星约 100 ~ 150 亿年),是一个具有圈层结构的旋转椭球体。

太阳系的主要成员除太阳外,是九大行星和它们的卫星以及(哈雷)彗星、流星体。

九大行星按其 与太阳的距离,由近及远分别是:水星、金星、地球、火星(其物理性质近似地球,称类地行星,且其体积较小、密度较大、自转速度慢、卫星数较少)、木星、土星、天王星、海王星(称类木行星,物理性质与类地行星相反)、冥王星(与类地行星相似),如图 1-1 和图 1-2 所示。

地球由表及里可分为外圈和内圈。外圈又分为大气圈、水圈

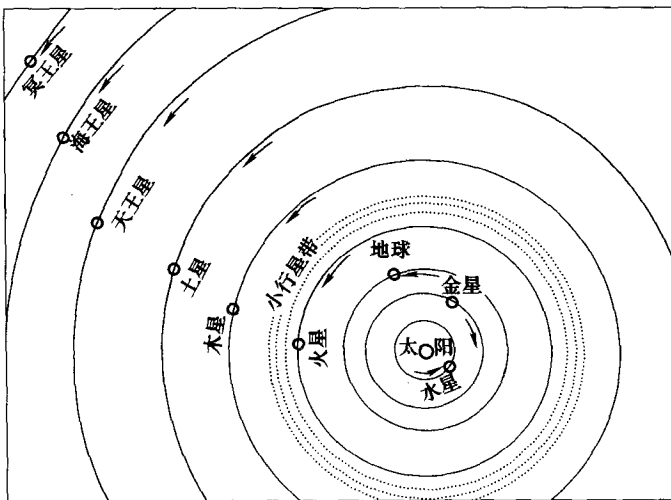


图 1-1 太阳系(行星轨道位置按比例表示)

和生物圈。内圈平均半径6371km, 根据火山喷发和物理勘探中的地震波传播速度的突变, 将其分为地壳、地幔及地核, 如图 1-3、图 1-4、图 1-5 和表 1-1 所示。

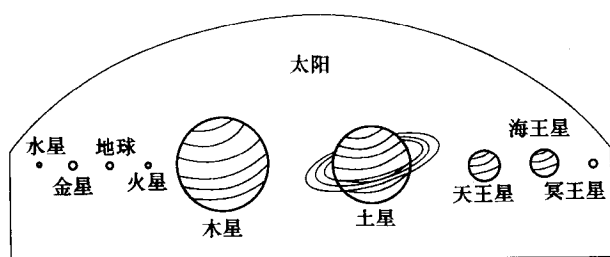


图 1-2 太阳系行星大小比较

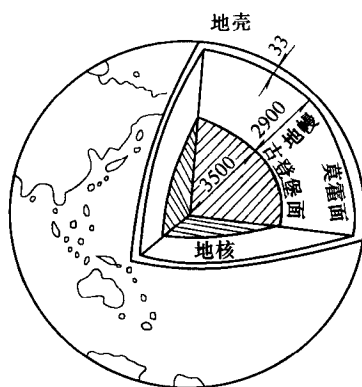


图 1-3 地球的内部构造(单位:km)

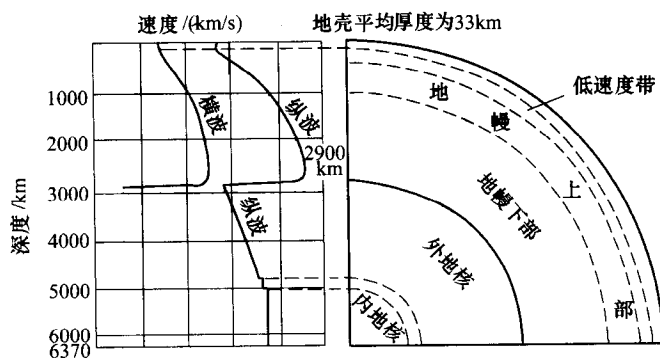


图 1-4 地球的圈层构造及地震波传播速度

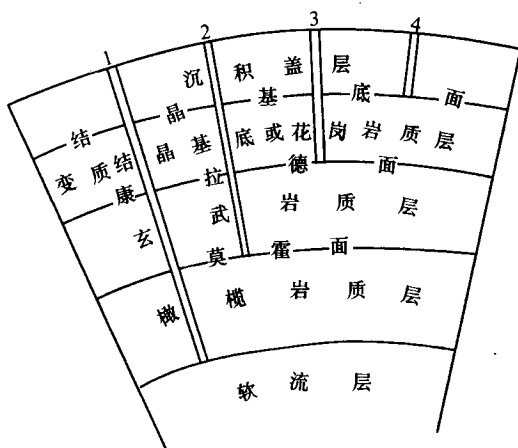


图 1-5 地球内部圈层结构

1—岩石圈断裂 2—地壳断裂 3—基底断裂 4—盖层断裂

表 1-1 地球内部圈层构造及有关数据

分 层	深度(半径)/ km	纵波(P)速度/ (km/s)	横波(S)速度/ (km/s)	密度/ (g/cm ³)	压力/ Pa
地壳(大陆)	海平面(6 371)	5.5 6.8	3.2 3.6	2.7 2.8 2.9	
莫霍分界面	33(6 338)				$9.119\ 25 \times 10^8$
地 幔	上地幔	70 } 低速带	7.9~8.1	4.4	3.32
		250 }			
		413(5 958)			
	下地幔	720(最深地震)	8.97	3.64	$1.418\ 55 \times 10^{10}$
		984(5 387)			
		11.42			
古登堡面	2 898(3 473)	13.64	7.3	5.56	$3.850\ 35 \times 10^{10}$
地 核	外部地核	速度降低	8.10	通不过	9.71
	过渡层	9.7	通不过	11.76	$3.222\ 135 \times 10^{11}$
		4 703(1 668)			
	内部地核	5 125(1 246)	10.31	约 14	约 $3.343\ 725 \times 10^{11}$
		6 371(中心)	11.23	约 16	约 $3.647\ 7 \times 10^{11}$

注：表中“？”表示没有数据，情况不明。

地球最内部的核心部分称为地核。地核位于古登堡面以下，包括内核、过渡层和外核三部分，厚约 3 473km，其体积约占地球总体积的 17%。据推测，地核密度为 $9.71 \sim 17.9\text{g/cm}^3$ ，温度在 $2\ 000 \sim 3\ 000^\circ\text{C}$ 之间，压力可达 $300 \sim 360\text{GPa}$ （约 $10\ 000\text{atm}$ ），主要由含铁、镍量很高（少量硅、硫等轻元素）、成分很复杂的物质组成。外核物态为液态，其成分除铁镍外，可能还有碳、硅和硫；内核物态为固态，其成分为铁镍物质。

地幔介于地核和地壳之间，又称中间层，可分上下两层，其上部与地壳的分界面为莫霍洛维奇（Mohorovicic）面，地幔下部与地核的分界面为古登堡（Gutenberg）面。地幔厚约 2 800km，其体积约占地球总体积的 82%，密度从 3.32g/cm^3 递增到 5.66g/cm^3 ，平均密度为 4.5g/cm^3 ，温度一般为 $1\ 200 \sim 2\ 000^\circ\text{C}$ ，压力随深度增加而增加，界面上压力约为 140GPa ，主要由铬、铁、镍、二氧化硅等物质组成。根据次级界面地幔可分为上地幔和下地幔。上地幔从莫霍面至地下 1 000km，平均密度为 3.5g/cm^3 ，成分主要为含铁镁质较多的超基性岩。在上地幔的上部 100~350km 存在一个由柔性物质组成的圈层称为软流圈（地震波的低速带）。此软流圈之上的固态岩石圈层称为岩石圈。下地幔为从地下 1 000km 至古登堡面之间，平均密度增大为 5.1g/cm^3 ，成分仍为含铁镁质的超基性岩，但铁质的含量增加。

从地表至莫霍面的固体外壳称为地壳，它主要由各种岩石组成。地壳的厚度很不均匀，各地有很大差异。地壳分为大陆型和大洋型两种类型。大陆型地壳分布在大陆及其边缘地区，其厚度较大，平均厚度为 33km，愈向高山区其厚度愈大，如我国青藏高原地区，厚度可达 70km 以上。大洋型地壳厚度较小，平均厚度只有 6km，如大西洋和印度洋厚度为 10~15km，而太平洋中央部分厚度为 5km，最薄处西太平洋的马里亚纳海沟（深 11 034m）处地壳厚仅为 1.6km。

地震波变化表明，地壳内存在着一个次一级的不连续面，称为康拉德面，它将地壳分为

两层，上层为硅铝层(不连续)，下层为硅镁层。

(一) 硅铝层(花岗岩层)

硅铝层是地壳上部分布不连续的一层，平均厚度约为 10km，化学成分以硅、铝为主，故称硅铝层。硅铝层密度较小，平均为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。地震波在硅铝层的传播速度与花岗岩近似，其物质成分类似花岗岩，故又称花岗岩层。该层厚度各地不一，山区有时厚达 40km，海陆交界处变薄，海洋地区则显著变薄，在太平洋中部此层甚至缺失，如图 1-6 所示。

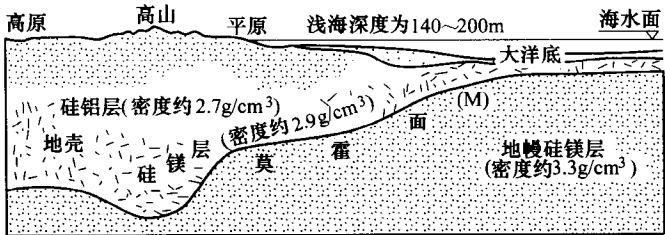


图 1-6 地壳结构示意图

(二) 硅镁层(玄武岩层)

硅镁层主要化学成分除硅、铝外，铁、镁相对增多，故称硅镁层。硅镁层密度较大，平均为 $2.9\text{g}/\text{cm}^3$ 。因硅镁层平均化学成分、地震波传播速度均与玄武岩相似，故又称玄武岩层。硅镁层是地壳下分布连续的一层，在大陆及平原区厚度可达 30km，海洋区仅厚 5~8km。

地壳是由各种化学元素组成的，根据地球化学分析，在地壳中已发现有 90 多种元素，但各种元素含量差异很大，其中以 9 种元素为主。在国际上，把各种元素在地壳中的平均含量称为克拉克值(如表 1-2 所示)。

表 1-2 地壳主要化学元素平均含量

元素	克拉克值(%)	元素	克拉克值(%)
O	46.95	Na	2.78
Si	27.88	K	2.58
Al	8.13	Mg	2.06
Fe	5.17	Ti	0.62
Ca	3.65	H	0.14

地壳中的化学元素，往往集聚成各种化合物或以单质出现，形成矿物。矿物的自然集合体又形成岩石。因此，矿物和岩石是组成地壳物质的基本单位，它们都是在地壳发展过程中各种地质作用的产物。

二、地质作用

地球形成至今，经历了大约 50 亿年的发展历史，在这漫长的地质历史中，地球一直处在不停地运动、变化和发展中。例如，有些时候一些地方遭受挤压褶皱形成高山，而另一些地方就会凹陷形成海洋；高山不断遭受剥蚀被夷为平地，沧海又不断被泥土充填变成桑田；坚硬岩石破碎成为松软泥沙，而松软泥沙不断沉积形成新的岩石。这种由于自然动力引起地