

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



金属矿产地质学

JINSHU KUANGCHAN DIZHI XUE

张 燕 主 编
武俊德 副主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

金属矿产地质学

张 燕 主 编
武俊德 副主编

北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

全书共分三篇 11 章,内容涵盖了地质学基础知识(包括地球的形状和构造、地壳的物质组成、地质作用、矿物、岩石、地史、地质构造和地形地质图等);矿床学、水文地质学、矿产勘查和矿山地质学;矿产勘查资料的评审与应用;对各学科相关的基本概念、基础理论和基本方法等进行了系统的阐述。对近年来的地质学,特别是金属矿产资源勘查领域的进展进行了更新和补充,对矿产资源产业权、地质技术规范、地质勘查质量技术要求,相关典型实例等进行了补充。

本书可供高职高专采矿工程专业、矿物资源工程专业教学使用,也可供相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿产地质学/张燕主编. —北京:冶金工业出版社, 2011.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5603-0

I. ①金… II. ①张… III. ①金属矿床—地质学—
高等职业教育—教材 IV. ①P618.202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 110494 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5603-0

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 7 月第 1 版, 2011 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18.25 印张; 440 千字; 279 页

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言



为了适应地质科学的飞速发展以及满足金属矿业开发对高素质技能型人才的需求和专业调整的需要,本着科学性、实用性、系统性和实践性的原则,我们编写了本教材。

本书内容力求反映国内外金属矿业开发和地质科学的最新成就,并反映国土资源部最新系列规范标准的基础上,简要地阐述了地球的形状和构造、地质作用、矿物、岩石、地质构造、地质年代和地形地质图等地质学基础知识,介绍了矿床、矿产勘查和矿山地质工作、矿床水文地质等基本知识以及阅读、评审和应用地质资料的基本内容和方法。该教材内容简练、重点突出,可作为高职高专采矿工程专业、矿物资源工程专业以及相关专业的教学用书,也可用于矿山企业在职干部和技术人员业务培训的教材。

本书由云南锡业职业技术学院和云锡(控股)有限责任公司共同组织编写。内容共分三篇11章,其中第1~3章、第5章、第10章由张燕编写;第7章、第8章、第11章由武俊德编写;第9章由区茂云编写;第4章和第6章由汪旋编写。全书由张燕、武俊德整理定稿。

在编写过程中,得到了云锡公司有关专家和其他兄弟院校同仁的热情帮助、尤其得到了昆明理工大学张锦柱教授的认真指导,在此一并表示感谢!

由于编写时间短促,编者水平有限,在教材的体系和内容等方面一定还存在着不少问题,敬请专家给予批评指正。

编 者
2011年1月

目 录



绪论	1
----	---

第一篇 地质学基础

1 地球及其地质作用	3
1.1 地球及地球的构造	3
1.1.1 地球的形状和大小	3
1.1.2 地球的构造	4
1.1.3 地壳的物质组成	7
1.2 地球的主要物理性质	8
1.2.1 质量、密度和压力	8
1.2.2 重力	9
1.2.3 地磁	9
1.2.4 地热(温度)	10
1.3 地质作用概述	10
1.3.1 内力地质作用	11
1.3.2 外力地质作用	15
1.3.3 内外力地质作用的相互关系	17
2 矿物	19
2.1 矿物及晶体的概念	19
2.1.1 矿物的概念	19
2.1.2 晶质体和非晶质体的概念	19
2.2 矿物的形态	19
2.2.1 矿物的单体形态	20
2.2.2 矿物集合体的形态	21
2.3 矿物的物理性质	22
2.3.1 颜色	22
2.3.2 条痕	23
2.3.3 光泽	23
2.3.4 透明度	23

3.6 岩石小结	75
3.6.1 三大类岩石的相互转化关系	75
3.6.2 三大类岩石的区别	76
4 地质构造	77
4.1 岩层产状及其测定	77
4.1.1 不同产状的岩层	77
4.1.2 岩层的产状要素	78
4.1.3 岩层的厚度和出露宽度	79
4.1.4 岩层产状要素的测定及表示方法	80
4.2 岩石变形的力学分析	81
4.2.1 岩石变形的概念	81
4.2.2 岩石的变形过程	82
4.2.3 岩石破裂形式	83
4.3 褶皱构造	84
4.3.1 褶皱的概念	84
4.3.2 褶曲要素	84
4.3.3 褶曲分类及力学分析	86
4.4 断裂构造	89
4.4.1 节理	89
4.4.2 断层	92
4.5 地质构造与成矿的关系	97
4.5.1 概述	97
4.5.2 层状构造与成矿的关系	98
4.5.3 褶皱构造与成矿的关系	99
4.5.4 断裂裂隙构造与成矿的关系	100
4.5.5 地质构造对矿山开采的影响	102
4.6 个旧矿区地质构造	104
4.6.1 个旧矿区地质背景	104
4.6.2 个旧矿区地质构造与成矿的关系	105
5 地质年代及地层系统	108
5.1 确定地质年代的方法	108
5.1.1 相对地质年代确定法	108
5.1.2 同位素地质年龄确定法	111
5.2 地质年代及地层系统	111
5.2.1 地质年代及地层单位的划分	111
5.2.2 地质年代表	112
5.2.3 我国地史概述	112

6 地形地质图及其阅读	116
6.1 地形图简介	116
6.1.1 地形等高线	116
6.1.2 地形图的比例尺	118
6.1.3 地形图的坐标系统	119
6.1.4 图的方向	120
6.1.5 地形图图式	120
6.2 矿区(矿床)地形地质图	121
6.3 地形地质图的读图步骤	122
6.3.1 常用地质图例	122
6.3.2 地形地质图的阅读方法	122
6.4 不同产状的岩层在地形地质图上的表现	123
6.4.1 水平岩层在地形地质图上的表现	123
6.4.2 直立岩层在地形地质图上的表现	123
6.4.3 倾斜岩层在地形地质图上的表现	124
6.5 不同构造在地形地质图上的表现	125
6.5.1 褶皱构造在地形地质图上的表现	125
6.5.2 断层构造在地质图上的表现	127
6.6 地质剖面图及其绘制方法	128
6.6.1 实测剖面的填绘方法	128
6.6.2 图切剖面的制图方法	129

第二篇 矿 床

7 矿床概述	131
7.1 矿床的基本概念	131
7.1.1 矿床、矿体和围岩	131
7.1.2 矿体的形状和产状	132
7.1.3 矿石的组分、品位及品级	133
7.1.4 矿石的结构和构造	133
7.1.5 成矿作用与矿床的成因分类	134
7.2 内生矿床	135
7.2.1 概述	135
7.2.2 岩浆矿床	135
7.2.3 伟晶岩矿床	139
7.2.4 接触交代矿床	142
7.2.5 热液矿床	147

7.2.6 火山成因矿床	154
7.3 外生矿床	161
7.3.1 概述	161
7.3.2 风化矿床	162
7.3.3 沉积矿床	168
7.4 变质矿床	173
7.4.1 概念、成矿作用及工业意义	173
7.4.2 变质成矿作用及变质矿床分类	174
7.5 层控矿床	175
7.5.1 层控矿床的概念	175
7.5.2 层控矿床分类	175

第三篇 矿产勘查与矿山地质工作

8 矿产勘查	177
8.1 矿业权	177
8.1.1 矿业权的概念	177
8.1.2 矿业权的法律特征	177
8.1.3 矿业权与矿产资源所有权	177
8.1.4 矿业权价值	178
8.2 矿产资源/储量分类	178
8.2.1 矿产资源的基本概念	178
8.2.2 固体矿产资源/储量的分类	179
8.3 矿产地质研究及矿产勘查	180
8.3.1 矿产地质研究	180
8.3.2 矿产的勘查	183
8.4 原始地质编录和矿产取样	194
8.4.1 原始地质编录	194
8.4.2 矿产取样	197
8.5 矿产地质勘查资料的综合及研究	200
8.5.1 综合地质编录简介	200
8.5.2 矿山常用综合地质图件	201
8.6 矿产资源/储量估算	202
8.6.1 矿床工业指标及其确定方法	202
8.6.2 储量计算的基本参数	203
8.6.3 储量计算方法	204
8.7 地质综合研究简介	205
8.7.1 地质勘查综合研究	205

8.7.2 矿山地质综合研究	206
9 矿山地质工作	207
9.1 生产勘探	207
9.1.1 生产勘探工程手段的选择	208
9.1.2 生产勘探工程的总体布置	214
9.1.3 生产勘探工程的间距(网度)及施工顺序	215
9.1.4 生产勘探中的探采结合	220
9.1.5 坑道水平钻在矿山找矿中的应用	223
9.2 矿山地质管理	224
9.2.1 矿产资源储量管理	224
9.2.2 矿石质量管理	228
9.2.3 现场施工生产中的地质管理	231
9.2.4 采掘单元停采或结束时的地质工作	232
9.2.5 矿石贫化与损失的计算及管理	233
10 矿床水文地质	241
10.1 地下水的基本知识	241
10.1.1 地下水的赋存状态	241
10.1.2 地下水的化学成分	243
10.1.3 地下水的水质评价	244
10.1.4 地下水的基本类型及特征	245
10.2 矿区(矿床)水文地质图	247
10.2.1 矿区(矿床)水文地质图的概念	247
10.2.2 矿区水文地质图的阅读	248
10.3 地下水涌水量预测和防治	250
10.3.1 地下水动态观测	250
10.3.2 地下水向井运动的基本规律	251
10.3.3 矿坑涌水量的预测方法简介	252
10.4 矿坑涌水量的测量方法	255
10.4.1 直接观察法	255
10.4.2 堰测法	255
10.4.3 容积法	256
10.4.4 水仓水泵观测法	256
10.5 矿坑水害的防治	256
10.5.1 矿区地面防排水	256
10.5.2 矿床地下水疏干的原则	257
10.5.3 矿床常用的地下水疏干方法	258
10.5.4 注浆堵水	260

10.5.5 漏水钻孔封堵·····	261
10.5.6 矿坑酸性水的防治与处理·····	261
11 固体矿产勘查资料的整理、评审及应用·····	263
11.1 固体矿产勘查资料的评审及应用·····	263
11.1.1 固体矿产勘查资料完善程度的评审·····	263
11.1.2 勘探和研究程度的评审·····	269
11.1.3 其他方面的评审·····	270
11.1.4 矿产勘查资料的在矿山建设中的应用·····	271
11.2 矿山地质资料的评审及应用·····	272
11.2.1 矿山地质资料的种类·····	272
11.2.2 矿山地质资料的应用及完备程度的评审·····	273
11.2.3 生产勘探程度及其他工作质量的评审·····	275
参考文献·····	278

绪 论

自然科学的基础学科分为数学、物理学、化学、生物学、地学和天文学6大门类。地质学是地学（即地球科学）的重要组成部分。

地质学是研究地球（主要是研究地球的固体表层地壳或岩石圈）的一门自然科学。具体来讲，它是研究地壳或岩石圈的构造、物质组成、发展变化以及矿产的形成和分布规律等内容的科学。地质学是在人类开采矿产资源和进行某些与地质条件有关的工程建设（如水利建设、交通建设）等生产实践活动中发展起来的。它的发展推动了采矿工业和某些工程建设的发展，而这些生产实践活动又为地质学的研究和发展积累了更丰富的实际资料。矿产资源是埋藏在地壳内，目前在技术上、经济上可以利用的天然物质。矿产资源的勘查研究和矿业的开发工作，必须运用地质学的理论和方法来进行。

地质学主要研究的对象是地壳或岩石圈，它既是与人类生活和生产密切相关的部分，也是容易直接观测和研究历史最久的部分，研究它主要是从野外现场和实验室两个方面入手。野外地质调查是以广阔的大自然作为实验室，直接积累丰富的原始地质资料，并收集各种岩矿标本或样品，为室内鉴定、化验及综合研究提供依据。在室内研究中，一方面对现场收集的矿物、岩石、矿石标本或样品进行鉴定、化验和分析；另一方面还要对现场调查所收集的文字记录和图纸等资料进行综合整理，并结合室内岩矿鉴定和化验结果，研究总结出规律性的结论，再用于指导实践。

地质工作贯穿于整个矿业开发过程中。在矿山企业设计前，采矿工程师要详细、全面阅读和审查地质勘查报告，运用地质资料了解和分析矿区地质条件，包括矿体的赋存特点、形状和产状、矿石质量、开采技术条件等，以便做出合理的设计，指导矿山基建和生产。比如在开采方面，是选择露天开采还是地下开采；若选择地下开采，是用平硐开拓还是竖井或是斜井开拓，以及采用何种采矿方法等，这些问题都要依据地质条件制定合理的方案。矿山投入基建和生产后，采矿工程师还要配合矿山地质工程师进一步查明矿床地质条件，为采矿设计、采掘进度计划编制提供更为详细和可靠的地质资料。同时，还要经常深入现场，及时调查生产中出现的地质问题，如矿体的突然错失或尖灭；矿体形状、产状、质量的急剧变化等而引起生产技术条件的改变；巨大破碎带的出现，意外的涌水、片帮、冒顶等可能造成的不安全问题；开采过程中采矿贫化损失率的突然增大；由于采空区处理不当或矿山大量排水而造成的地压陷落；有可能出现的工程地质或水文地质等问题的合理解决，都需要地质工作先行一步，再由地质、测量、采矿三个方面人员共同研究，针对具体问题采取适当措施予以解决。此外，矿产资源的综合利用问题，矿山生产过程的环境治理问题，也都离不开地质工作。因此，地质工作在矿业开发过程中的地位十分重要。

“金属矿产地质学”是矿物资源工程、采矿工程专业的技术基础课，其主要内容包括：

(1) 地质学基础知识。着重阐述地质作用所产生的各种地质现象，常见矿物、岩石的各种特征及其肉眼鉴定方法，常见地质构造的基本特征及观察方法。

(2) 矿床 重点阐述主要类型矿床的成矿过程、开采条件和地质特征。

(3) 矿产勘查和矿山地质。主要阐述矿产勘查工作和矿山地质工作的主要内容与方法、矿床水文地质工作以及矿产勘查资料的评审及应用等。

通过本课程的学习,其目的是使学生掌握必要的地质学基础知识和有关地质工作的基本知识,了解地质作用所产生的主要地质现象;初步掌握常见矿物、岩石的各种特征及其肉眼鉴定方法;了解常见地质构造的基本特征和主要类型矿床的成矿过程和地质特征;概略了解矿产勘查工作和矿山地质工作的主要内容与方法;了解影响矿山生产的主要地质因素,如矿体形状、产状、围岩性质、地质构造和水文地质条件等;阅读和使用各种地质资料(尤其是图纸资料),根据已有的地质图件,绘制采矿工程所需的主要地质剖面图;能进行局部(如矿块)的储量计算等。

地质学基础

1

地球及其地质作用

地球是人类居住的地方，人们开采的各种矿产赋存在地壳或岩石圈之中，各种矿产的形成是地壳物质运动和演变的结果。这些运动和变化不是孤立地进行的，而是与地壳内部和外部的物质及其运动有密切关系。因此，在学习地质学主要内容之前，应当对地球的构造，地壳及其运动有一个概略了解。

1.1 地球及地球的构造

1.1.1 地球的形状和大小

通常所说的地球形状是指地球固体外壳及其表面水体的轮廓。

人类在长期生产实践中，对于地球形状的认识经历了反复曲折的过程。当初人们确认地球的形状为圆球形。到 18 世纪末，人们普遍认识到地球为极轴方向扁缩的椭球。到 20 世纪 70 年代，由于人造地球卫星等空间技术的发展，大大推动了关于地球形状的深入研究。从地球卫星拍摄的地球照片和取得的数据可以确定出地球的确是一个球状体。它的赤道半径稍大（约 6378km），两极半径稍小（约 6357km），两者相差 21km。其形状与旋转椭球体很近似，但大地水准面不是一个稳定的旋转椭球体，而是有地方隆起，有地方凹陷，相差可达 100m 以上（图 1-1）；赤道面不是地球的对称面，从包含南北极的垂直于赤道平面的纵剖面来看，其形状与标准椭球体相比较，位于南极的南大陆比基准面凹进 30m，而位于北极的没有大陆的北冰洋却高出基准面 10m，同时，从赤道南纬度 60° 之间高出基准面，而从赤道到北纬 45° 之间低于基准面。用夸大的比例尺来看，这一形状是一

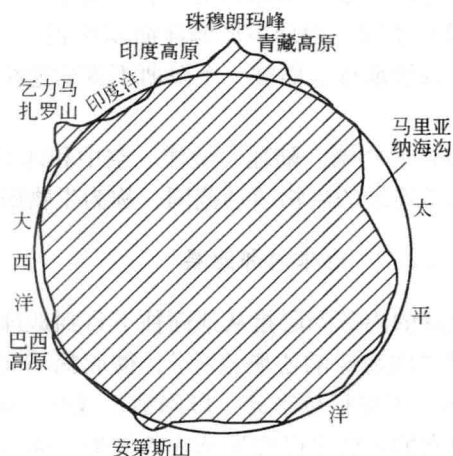


图 1-1 大地水准体（实线包围部分）和地球真实形状（引自王维，《地球的形状》）

个近似“梨”的形状（图 1-2）。

地球围绕通过球心的地轴（连接地球南北极理想直线）自转，自转轴对着北极星方向的一端称为北极，另一端称为南极。地球表面上，垂直于地球自转轴的大圆称为赤道，连接南北两极的纵线称为经线，也称为子午线。通过英国伦敦格林威治天文台原地的经线为零度经线，也称为本初子午线。从本初子午线向东分作 180°，称为东经，向西分作 180°，称为西经。地球表面上，与赤道平行的小圆称为纬线。赤道为零度纬线。从赤道向南向北各分作 90°，赤道以北的纬线称为北纬，以南的纬线称为南纬。

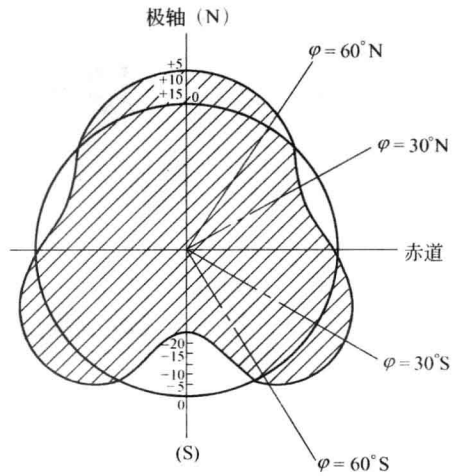


图 1-2 根据卫星测量所得出的地球形状（夸大）（φ 表示纬度）（引自王维，《地球的形状》）

1.1.2 地球的构造

地球不是一个均质体，而是一个由不同状态与不同物质的同心圈层组成的球体。这些圈层可以分为地球外部圈层和地球内部圈层。

1.1.2.1 地球外部圈层

包围在地球外面的圈层有大气圈、水圈和生物圈，这些圈层我们都能直接观察到。

(1) 大气圈。大气圈是包围着地球的空气圈。大气圈的上界为 1200km，称其为大气的物理上界（根据大气中才有的而星际空间中没有的物理现象——极光确定的大气上界）。但空气全部质量的 80% 左右集中在距地面 10 多公里的大气层底层。风、云、雨、雪等常见的气象现象都在这一层中发生。

(2) 水圈。地球表面海洋面积约占 71%，陆地上还有河流、湖泊和地下水等分布，因此可以说地球表面被一个厚薄不等的连续的水层包围着。这一连续包围地球的水层称为水圈。

(3) 生物圈。陆地、海洋、空中和地下土层中都有各种生物存在和活动，这个包围地球几乎连续的生物活动范围，称为生物圈。

1.1.2.2 地球内部圈层

地球的内部圈层指从地面往下直到地球中心的圈层，包括地壳、地幔和地核。虽然人们渴望“向地球的心脏进军”，彻底搞清楚地球内部的状况，但目前世界上深井记录为 12000m（苏联科拉半岛一口深钻，截至 1986 年）只占地球半径的 1/530，所以还不能直接用观察的方法来研究地球内部构造。通常采用地球物理方法，更主要的是利用地震波的传播变化来研究地球内部构造情况。地震波分为纵波（P）和横波（S）。纵波可以通过固体和流体，速度较快；横波只能通过固体，速度较慢。同时地震波的传播速度随着所通过介质的刚性和密度的变化而改变。

地震波速度变化明显的深度，反映了那里的地球物质在成分上或物态上有显著变化。这个深度，可以作为上下两种物质的分界面，称为不连续面，或称为界面。在地球内部最显著的不连续面是在大约 2900km 的深度处，S 波传播到此深度终止，P 波速度在此处也急剧降低。这个界面是古登堡在 1914 年提出的，所以又称为古登堡面，它构成地幔和地核的分界面。地震波的另一个显著不连续面，一般位于地表之下平均深度为 33km 处，这个界面是莫霍洛维奇在 1909 年发现的，因而称为“莫霍面”，它被确定为地壳和地幔的分界面，这样，通常根据古登堡面和莫霍面把固体地球分三大圈层，即地壳、地幔和地核（图 1-3 及表 1-1）。

布伦在 1955 年根据地震波速度的变化和地球内部的密度变化，把固体地球分为七个圈层，分别称 A、B、C、D、E、F、G 层（表 1-1）。

值得注意的是地震波分布情况表明，在上地幔中，有一个明显的低速层。这个低速层是古登堡最初于 1926 年提出来的。近年来，随着观测技术的发展和电子计算机的运用，确定低速层存在于 60~250km 的范围，并且具有明显的区域性。它是一个具有软塑性和流动性的层次，通常称为软流圈。

软流圈的存在及其发现为地球的分圈提出了新的思考。直到现在，“地壳”这个术语仍然被用于标明莫霍面以上的固体地球部分，但是地球完整的刚性外壳，并不只是达到莫霍面，而是一直向下延伸到软流圈为止。这个完整的刚性部分，是固体地球的真正外壳。这样，现在有些学者提出了一种新的固体地球基本结构的划分方案：即岩石圈、软流圈、地幔圈（即软流圈之下至外核的部分，为一固体圈层）、外核液体圈（简称外核）和内核固体圈（简称内核）（表 1-1）。

(1) 地壳。莫霍面以上由固体岩石组成的地球最外圈层称为地壳。地壳的厚度相差很大，平均为 33km，一般是大陆高山区较厚，可达 70~80km，平原地区厚度约为 30~45km，海洋地区较薄，有的地方仅有数公里。地壳的大陆部分和大洋部分在结构和演化历史上均有明显差异，因此，它可以分为大陆型地壳和大洋型地壳。大陆型地壳（简称陆壳）是指大陆及大陆架部分的地壳，它是具有上部为硅铝层和下部为硅镁层的双层结构（图 1-4）。

硅铝层的物质组成与大陆出露的花岗岩成分相似，也称花岗质层。硅镁层的物质组成则与玄武岩成分相似，也称玄武岩质层。硅铝层与硅镁层之间的界面，称为康拉德面。康拉德面并不是一个普遍存在的不连续面。大陆型地壳是在原始古老地壳基础上发展起来的，最古老的岩石估计形成于 41 亿年以前。大陆型地壳由于经历多期的地壳运动，大部分岩石也发生了变形（褶皱、断裂等）。

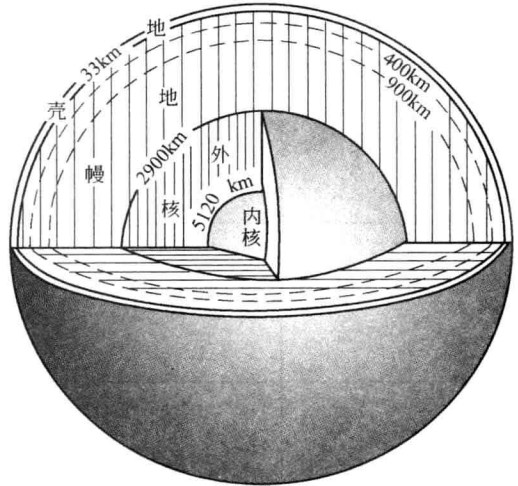


图 1-3 地球内部圈层

表 1-1 地球的内部圈层和主要物理数据

名称	圈层	代号	深度/km	地震波速度/km·s ⁻¹		密度/g·cm ⁻³	重力加速度/ 10 ² ·m·s ⁻²	压力/×10 ¹¹ Pa	温度/°C						
				纵波 v _p	横波 v _s										
岩石圈	地壳	A	大陆 33	5.6~7.0	3.4~4.0	2.6~3.0	981	1×10 ⁻⁶	14						
										莫霍面					
软流圈	上地幔	B	60	8.0	4.4	3.32	984	0.01	1000						
										B'					
		C	100	8.2	4.6	3.34	984.7	0.019	500~1100						
										B''					
										150	4.2	3.4	~	700~1300	
250	4.0	3.5	989	0.049	800~1400										
400	4.55	3.6	994	0.068	1000~1600										
地幔	下地幔	D	1000	9.0	4.98	3.85	994	0.14	1200~2000						
										10.2	5.65	4.1	995	0.218	1300~2250
地幔圈	下地幔	D	1000	11.43~13.32	6.35~7.11	4.6~5.7	986	0.4~1.34	1850~3000						
										2898	1050	2500~3900			
外核液体圈	外核	E	3500	8.1	0.0	9.7	880	1.93	3700~4700						
										8.9	0.0	10.4	2800~4300		
内核固体圈	内核	G	5500	10.4	2.07	12.0	610	2.98	4500~5500						
										4640	11.3	13.0	0	3.7	5000~6000
										4900	1.24	12.5	300	3.2	4700~5700
内核固体圈	内核	G	5500	11.2	3.7	12.9	300	3.5	4900~5900						
										5155	3.6	12.7	430	3.32	4720~5720
内核固体圈	内核	G	5500	11.2	3.7	12.9	300	3.5	4900~5900						
										6371	3.7	13.0	0	3.7	5000~6000

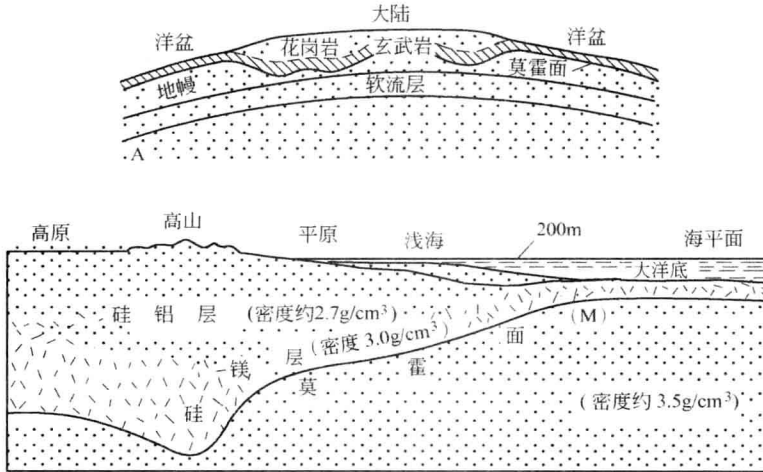


图 1-4 地壳的双层结构

大洋型地壳（简称洋壳）往往缺失硅铝层，仅仅发育硅镁层，不具双层结构，见图 1-4。大洋型地壳除上部覆盖着极薄的沉积物之外，几乎完全由富含 Fe、Mg 的火山岩、橄榄岩（硅镁层）组成。洋壳的岩石一般较年轻，最老的岩石形成于 2 亿年前，大部分岩石则是 1 亿年前以后形成的。

(2) 地幔。地幔是指莫霍面到古登堡面以上的圈层。根据波速在 400km 和约 670km 深处上存在着两个明显的不连续面，可将地幔分成由浅至深的三个部分：上地幔、过渡层和下地幔。上地幔深度为 20 ~ 400km。目前研究认为，上地幔的成分接近于超基性岩即二辉橄榄岩的组成。在深度 60 ~ 250km 范围内，地震波速度明显下降，这一层称为低速层（软流圈）。目前人们认为，存在于软流圈中的熔融物质，是炽热的和熔融的，是能够发生某种形式的对流运动的。软流圈实际上是大规模岩浆活动的策源地，中源地震（70 ~ 300km）也发生于此。过渡层深度为 400 ~ 670km。地震波速度随深度加大的梯度大于其他两部分，是由橄榄石和辉石的矿物相转变吸热降温形成的。下地幔深度为 670 ~ 2900km，目前认为下地幔的成分比较均一，主要由铁、镍金属氧化物和硫化物组成。

(3) 地核。古登堡面以下直至地心的部分称为地核。它又可以分为外核、过渡层和内核。外核只有 P 波才能通过，呈液态。过渡层和内核有 S 波出现，呈固态。地核的物质一般认为主要是铁，特别是内核，可能基本上是由纯铁组成。由于铁陨石中常含少量的镍，所以一些学者推测地核的成分中应含少量的镍。

1.1.3 地壳的物质组成

地壳乃至整个岩石圈是由固体岩石组成的，岩石是由矿物组成，而矿物又是由自然元素组成。如石英（ SiO_2 ）这种矿物是由硅和氧两种化学元素组成的，所以说，化学元素是组成地壳的基本物质。

对地壳化学成分的研究，目前所能直接取得的资料仅来自地壳表层。许多研究者曾采集各地具有代表性的岩石标本进行分析，以求得地壳中各种元素的平均重量百分比。据克