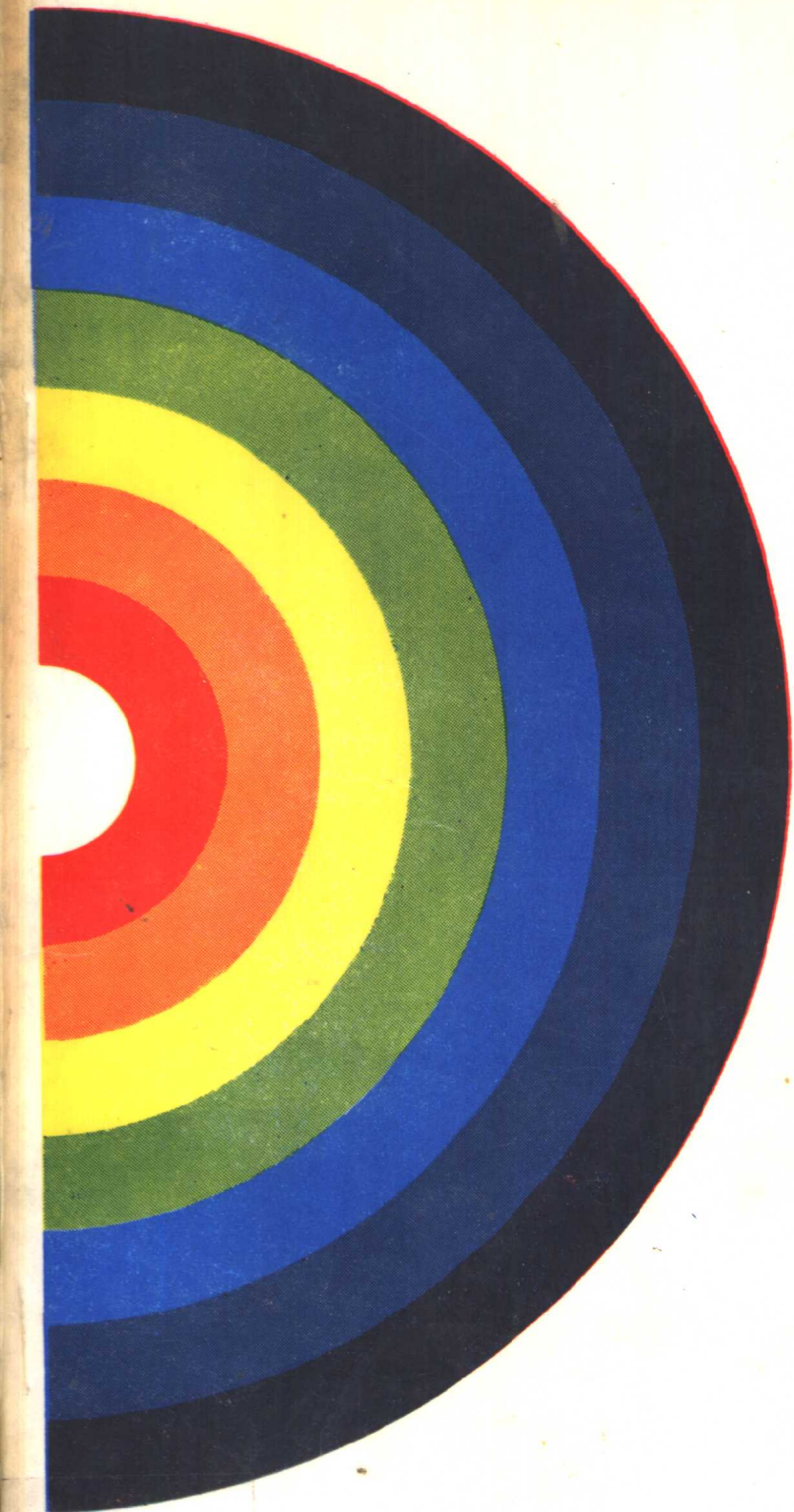


基础地质学

★ 苏文才 朱积安 合编

高等教育出版社



90723

P5
4404

基础地质学

苏文才 朱积安 编著

高等教育出版社

1986·北京

内 容 提 要

本书是根据国家教委关于利用卫星电视专用频道培训中学师资的计划编写的。其目的是使中学地理教师掌握必须具备的地质学基础知识、基本原理,了解地质现象的观察和分析方法。内容包括:地壳、矿物、岩石的概述;地壳运动与地质构造;火山与地震;海底扩张与板块构造理论;地壳发展简史;矿产资源;人类与地质环境;宇宙地质等。内容简明、文字流畅、图文并茂、便于自学。具有一定的深度、供达到大专水平的培训、自学、函授教育使用。也可供师专地理专业师生使用。

基础地质学

苏文才 朱积安 编著

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

*

开本787 × 1092 1/16 印张16 字数368 000
1987年6月第1版 1988年4月第2次印刷
印数8 151—19 180

ISBN7-04-000040-7/K·1 定价2.85元

目 录

绪论	1	第三章 岩石	44
一、地质学的研究对象	1	第一节 岩浆作用和岩浆岩	44
二、地质学在经济建设和人民生活中的作用	1	一、岩浆和岩浆作用	44
三、我国地质事业的发展	2	二、岩浆岩的物质成分	45
四、地质学的研究方法	3	三、岩浆岩的结构和构造	48
五、本课程在高等师范专科地理专业中的地位和作用	4	四、常见的岩浆岩	49
第一章 地壳概述	5	第二节 外动力地质作用与沉积岩	53
第一节 地壳在地球内部结构中的位置	5	一、外动力地质作用概述	53
一、用地震波对地球内部结构的探测	5	二、沉积岩的物质成分	62
二、地球的内部结构	6	三、沉积岩的结构、构造和颜色	63
第二节 地壳的组成与结构	10	四、常见的沉积岩	66
一、地壳的化学组成	10	第三节 变质作用与变质岩	69
二、地壳结构与地壳类型	11	一、变质作用的因素和类型	69
第三节 推动地壳演化的地质作用	14	二、变质岩的物质成分和结构、构造	70
第四节 地壳演化的地质年代概述	15	三、常见的变质岩	73
第二章 矿物	19	第四节 岩石的转化	75
第一节 概述	19	第四章 地壳运动与地质构造	76
一、晶体和非晶质体	19	第一节 地壳运动的基本概念	76
二、矿物的化学组成	21	一、地壳的水平运动	76
第二节 矿物的形态	21	二、地壳的升降运动	76
一、矿物单体的形态	21	三、地壳运动的特点	77
二、矿物集合体的形态	23	四、新构造运动	78
第三节 矿物的物理性质	25	五、地壳运动历史的分析	79
一、矿物的光学性质	25	六、地壳运动构造阶段的划分	82
二、矿物的力学性质	27	第二节 应力和岩石变形	82
三、矿物的其它物理性质	29	一、应力的基本概念	82
第四节 矿物分类和常见的矿物特征	30	二、岩石变形的阶段	83
一、矿物的分类与命名	30	三、影响岩石力学性质与岩石变形的因素	84
二、常见的矿物特征	31	第三节 岩层产状	85
		一、水平岩层	85
		二、倾斜岩层	85
		第四节 褶皱构造	87
		一、褶皱的几何要素	88

二、常见的褶皱类型.....	88	第三节 板块构造与槽-台学说.....	135
三、褶皱构造的野外观测.....	91	一、地槽-地台学说基本概念.....	135
第五节 断裂构造.....	92	二、板块构造与槽-台说的关系.....	140
一、断层的几何要素.....	92	第七章 地壳发展简史	143
二、常见的断层类型.....	93	第一节 地史的研究方法与地质年代.....	143
三、断层的野外观测.....	94	一、地史的研究方法.....	143
四、断层时代的确定.....	97	二、地质年代.....	147
五、节理.....	97	第二节 生物的演化.....	149
第六节 岩浆岩体和变质岩体的构造.....	98	一、生命的起源与生物分类.....	149
一、岩浆岩体的产状.....	98	二、古生物的演化.....	151
二、侵入岩体的原生构造.....	100	第三节 前古生代.....	161
三、喷出岩体的原生构造.....	101	一、世界大地构造轮廓与古地理演变.....	161
四、变质岩体的构造.....	101	二、我国前古生代的地史特征.....	162
第五章 火山与地震	103	第四节 早古生代.....	164
第一节 火山作用.....	103	一、世界大地构造轮廓与古地理演变.....	164
一、火山现象与火山灾害.....	103	二、我国早古生代的地史特征.....	165
二、火山的喷发物.....	104	第五节 晚古生代.....	168
三、火山的类型.....	105	一、世界大地构造轮廓与古地理演变.....	168
四、火山的地理分布.....	107	二、我国晚古生代的地史特征.....	168
第二节 地震作用.....	108	第六节 中生代.....	172
一、地震概述.....	108	一、世界大地构造轮廓与古地理演变.....	172
二、地震的成因类型.....	109	二、我国中生代的地史特征.....	173
三、地震的地理分布.....	112	第七节 新生代.....	176
四、地震预报.....	114	一、世界大地构造轮廓与古地理演变.....	177
第六章 海底扩张与板块构造	116	二、我国新生代的地质特征.....	178
第一节 从大陆漂移、海底扩张到板块构造.....	116	第八章 矿产资源	184
一、大陆漂移说的由来和发展.....	116	第一节 有关矿床的一些基本概念.....	184
二、海底扩张说的建立.....	119	一、矿床和矿体.....	184
三、板块构造说的诞生.....	122	二、矿石与品位.....	186
第二节 板块构造说的基本概念.....	122	三、母岩与围岩.....	186
一、板块的划分.....	122	第二节 成矿作用和矿床的成因分类.....	187
二、板块边界的基本类型.....	123	一、内生矿作用与内生矿床.....	187
三、板块的扩张与俯冲.....	125	二、外生矿作用与外生矿床.....	193
四、裂谷的发展和海洋的演化旋回.....	127	三、变质成矿作用与变质矿床.....	198
五、板块构造与地质作用.....	128		
六、大陆古板块的认识标志.....	133		
七、板块运动的驱动力.....	134		

第三节 板块构造与成矿作用	199	三、废气废物, 造成地质环境污染	221
第四节 几种重要矿床的工业类型	200	第三节 地质环境对人体健康的影响	224
一、铁	200	一、人体中的元素含量	221
二、铜	201	二、地方病发生的环境因素	225
三、铅、锌	201	第四节 地质环境造福于人类	228
四、金	202	第十章 宇宙地质概述	230
五、钨	202	第一节 宇宙地质学产生的背景及其任务	230
六、盐类矿床	203	第二节 行星的表层特征及内部构造	231
第五节 地壳中的能源	204	一、行星的表层特征	231
一、煤	204	二、行星的内部构造	232
二、石油及天然气	209	第三节 月球的表层特征及物质组成	232
三、铀	213	一、月球的地形特征	233
四、地热	216	二、月球表面的褶皱和断裂	236
第六节 矿产资源的合理开采利用	219	三、月球表层的物质组成	236
第九章 人类与地质环境	221	四、月球的内部构造及物质组成	237
第一节 自然地质灾害对人类与地质环境		第四节 陨石	238
的影响	221	一、陨石的类型	238
一、地震灾害	221	二、陨石在研究地球形成史中的意	
二、火山灾害	221	义	239
第二节 人类工程——经济活动对地质环		附篇: 地质调查的一般野外工作方法。	
境的影响	223	241
一、开发资源, 破坏地质环境结构	223		
二、大型工程设施, 造成环境危害	223		

绪 论

一、地质学的研究对象

地质学是一门研究地球的科学。在目前的科学技术条件下，人们还不能直接观测地球内部深处，因而地质学主要的研究对象是地球外层的岩石圈，它的物质组成、地质作用的发育过程和产物、地壳的结构和构造、地壳的发展历史、以及矿产的形成与分布规律，从而为利用和改造自然提供必要的地质依据和矿产资源，以造福于人类。随着生产发展的需要，近代地质学的各个部分，已形成了独立的学科体系，发展了很多分支学科，如：矿物学、岩石学、矿床学、构造地质学和大地构造学、古生物学、地层学和地史学、水文地质学和工程地质学，以及第四纪地质学等。近二三十年来，近代地质科学不断吸收当代自然科学的最新成就，产生了一些边缘学科，如数学地质学、地震地质学、遥感遥测地质学、同位素地质学、海洋地质学、深部地质学、天体地质学、环境地质学、地质经济学等。尤其是电子计算技术在地质各领域的广泛应用，获得了极其丰富的地质信息，使地质科学在宏观和微观两个领域都得到深化，逐步由定性向定量发展，标志着地质科学的发展进入一个新的阶段。

从高等师范专科地理专业的实际需要出发，本书只是对地球的结构、地壳的组成物质、地质构造、地球历史、矿产资源等方面的地质基础理论作一系统而概括的阐述。

二、地质学在经济建设和人民生活中的作用

当前世界范围的新技术革命正在蓬勃兴起，随着经济建设的高度发展和生活水平的提高，人类共同面临着资源、能源、环境等重大问题，这些问题都与地质科学有着十分密切的联系。地质学对上述问题的解决，促进国家和社会的繁荣，人民生活条件的改善，均有重要的作用。

首先，地质学在开发地下资源中起着巨大的作用。我们知道，发展工业首先要查明各种矿产资源和工程设施的地质条件，不探明必要的矿产资源，冶金、化工、建材等基础工业的发展，就是处于盲目的状态；搞工程建设先要弄清地质条件，不查明地质情况，铁道、电站、桥梁、水库坝址等就不能定线、定点和设计施工；国民经济发展所需的煤炭、石油等能源资源，也要通过地质调查探知其分布和储量。因此，地质工作是国民经济各部门发展的“尖兵”，必须走在各类建设的前面。

其次，地质学在人类与灾害性自然现象的斗争中，具有重要意义。地球是人类生存的场所。它的运动和变化，直接影响着人类的安危。一些突发性的地质事件，往往造成巨大的灾害，使人民的生命财产遭受重大损失，强烈的地震和火山喷发、大型的山崩和滑坡等就属此例。人类和这些自然灾害进行斗争，就必须应用地质学的知识，研究它们产生的机理和发展的规律，从而采取有效措施，进行防护，将自然灾害所造成的损失，减至最低程度。

第三，地质学与环境的保护和治理的关系至为密切。现在人类的活动已成为一种巨大的

地质营力。矿产的勘探和开采常造成环境的破坏和污染；水库的兴建常常引起岸坡再造和崩塌；过量开采地下水时常引起大面积地面沉降、海水入侵和土地盐碱化；森林的过度砍伐和草原的破坏又可导致水土流失和河湖淤积。地质环境的破坏和恶化，已严重威胁着人类的生活和生产的发展。此外，地质环境还与人体健康息息相关，一些地区的调查已证实，地方病的产生，往往和该地岩石和土壤中微量元素含量的异常，以及水质污染有关。我国有的地方癌症发病率高，也有类似的地质原因。因此，在利用、改造自然的过程中控制环境的破坏和恶化，是当前一项紧迫的任务。在保护和改善地质环境造福于人类的事业中，地质学有其重要的作用。

三、我国地质事业的发展

地质学是在生产实践中发展起来的一门科学，人们在长期的生产实践和与自然灾害的斗争中，积累了丰富的有关地球的知识，逐渐增加了对地球的认识。我国是世界文明古国之一，我国古代人民早就对地质现象有了认识，并应用地质知识于矿产的开采和利用。远在公元前十五世纪的商代，已在农业和生活上普遍采用了铜、锡、铅铸成的青铜器。公元前五世纪春秋战国时，便发现了煤、铁和金、银、锡、铜、磁铁矿、赤铁矿、雄黄等矿产原料，当时已在四川开始打深井，开采井盐，这些地质知识及其应用比欧洲早1600年。在地质原理的认识方面，我国也居于世界前列。我国历史上最早的一本地质书是“禹贡”，是铸在鼎上的，记载了大禹治水时了解到的各地物产情况，土壤性质和山川地形。此后，南宋的朱熹、北宋的沈括以及明代的徐霞客，对地质现象都有独到的见解，朱熹提出了山脉形成和硬结成岩作用的最初概念；沈括的“梦溪笔谈”，首先提出了化石的概念，并认为太行山麓出现的海滨蚌壳化石，乃是“沧海桑田”之变，他根据现实主义的原则，分析了华北平原的形成；徐霞客对喀斯特地貌作了详细的描述，正确地揭示了地下水的地质作用。

近代，我国地质学者也有重大的贡献。1912年章鸿钊首先开办了地质讲习班，积极培养地质人才，并成立了地质研究所。李四光对庐山第四纪冰川进行了详细考察，为我国第四纪冰川研究积累了丰富的资料，并应用力学的原理，研究地质现象，创建了地质力学。裴文中于1929年在周口店发现了中国猿人化石，对人类起源问题作出重大贡献。这些科学成就都受到了国内外学者的高度重视。

在旧中国，生产发展滞缓，经济落后，地质科学和其他科学一样得不到应有的发展。直至中华人民共和国建国前夕，全国只有二百多名地质人员，十四台破旧钻机，仅对十几种矿产储量作了粗略估算。我国地质事业的真正发展，是在建国以后，国家规定了地质工作的根本性质和地质部门的基本职能，指出：地质部应该是地质调查研究工作部，是地下情况的侦察部，在党和政府的领导下，三十多年来我国地质工作取得了巨大成绩，保证了经济建设的进行。

目前世界上已知的一百五十种有用矿产，在我国都有发现，其中一百三十六种矿产探明了储量。稀土、钨、锡、铜、锑、铂、锌、铁、钼、锰、铅、金、汞、钒、钛、硫、磷、石棉、石墨、萤石、菱镁矿等二十几种矿产的储量，居于世界前列。煤和石油，在世界上也占

有重要地位。目前，我国煤的探明储量已超过六千四百亿吨；大庆油田是我国第一个高产油田，继大庆油田之后，在许多地区又陆续发现一大批油气藏。海洋勘查表明，我国海域大陆架沉积盆地，具有良好的成油气的地质背景，经钻探，已在莺歌海、渤海湾、珠江口等海域获得了工业油流，为石油资源的开发开拓了新的领域。

此外，在区域地质图的编制、海洋地质的调查与勘探、地下水资源评价和开发利用、地下水含水层储能、地热利用、矿产形成条件与成矿规律、沉积相与古地理、中国大地构造及其演化、中国地层与晚期前寒武系地层、环境地质、地震地质等方面的研究，也都取得了显著的成绩。

四、地质学的研究方法

地壳自形成以来，已经历了漫长的时间、据岩石同位素年龄测定，地壳的年龄约38亿年左右，地质作用的过程，一般都需要经历漫长的地质年代才能完成，今日所见的地壳，仅是地壳演化过程中的一个阶段。而自然地理环境和地壳结构具有明显的地区差异性，必须注意区域性的特征。同时，地质变动和地质作用又是极其复杂的，既有物理、化学或生物的变化，也包括了离子和原子的微观过程。总之，地质学的研究对象，具有历史性、地域性和复杂性的特点。针对这一特点，其研究方法也与其他自然科学有所区别，具有自己的一些独特方法：

第一，野外考察，这是地质学研究的基本方法，在野外考察时，要对各种地质现象进行深入细致的观察，取得大量的第一性资料，作为分析研究的基础。考察的方法，除通常的野外工作外，也可借助于遥感技术、航空测量及地球物理等现代手段。

第二，实验室分析与试验。在野外考察基础上，应用各种物理、化学的手段和现代仪器设备，进行室内实验和模拟试验。如用偏光显微镜、电子显微镜，对矿物、岩石的内部结构和构造进行观察研究；又如仿照矿床形成时的高温、高压环境，模拟矿床形成的过程；以及在室内模拟在漫长地质时期形成的褶皱山系的应力及形成过程等。

第三，综合分析研究，地质科学常采用“将今论古”的历史比较方法，对所取得的资料作综合研究，“将今论古”的含义是指根据研究现代地质作用所得出的规律，去认识和恢复地质时期中地质事件的过程。例如，在高山发现了含珊瑚化石的石灰岩，即可推断此高山曾经是浅海环境，因为现代珊瑚只能生活在温暖的浅海环境中，后来由于地壳运动抬升才成了高山。又如在现代火山活动地区，常可见到岩浆喷出地表、冷凝固结形成的火山岩。因而，当在某地发现火山岩时，就可得出结论，该地区在地质年代中曾经有过火山喷发活动。

但是，一个地质过程往往要经历漫长的地质时期才能完成，地质时期的自然条件，又并不完全和现在相同。例如，地壳形成的初期，火山活动强烈，空气中二氧化碳的含量比现在高得多，二氧化碳溶解于水，使水呈酸性，因此海水的酸度也比现在高。现代的胶体溶液铁矿，形成于浅海，而当时由于铁在酸度高的海水中溶解度大，可以搬运到离岸较远的地方，故多形成于深海中。因而，运用“将今论古”原则时，不能机械地将现代进行着的地质作用与过去类比，必须以辩证唯物主义和历史唯物主义的思想为指导，结合不同时期的其它条件才能正确地了解过去与认识现在。

五、本课程在高等师范专科地理专业中的地位和作用

地质学和地理学都是研究地球的科学，同属地学的范畴。地质学和自然地理学的联系特别密切，在漫长的地质历史中，地壳在不断演化，改造着地表形态，并使地球表面的水圈、大气圈和生物圈发生变化，从而形成新的自然地理环境。所以，地壳的演化对地表自然地理环境的形成和发展有着重要影响。因此地质学是地理专业中的一门重要的专业基础课。它与自然地理基础的其他内容—水文学、地貌学、土壤学和区域地理学等有密切的联系。例如，水系的发育，地表海洋、湖泊、山岳、平原的形成和变化，都受着地质构造的控制；土壤层的发育与性质，取决于（母）岩的物质组成；矿产资源的地理分布主要受成矿规律的支配，等等。总之，这些内容的学习，都需要具备地质学的基础理论。不仅如此，学习有关矿物、岩石、矿床、地质作用、地壳运动、地质发展史等地质基础知识，对今后从事初中地理教学，开展地学课外活动等，都是必不可少的。

复习思考题

1. 地质学的研究对象是什么？
2. 地质学有哪些分支学科？
3. 地质工作与国民经济和人民生活有什么联系？
4. 解放后我国地质工作取得了哪些重要成就？
5. 地质学研究中为什么要特别重视野外考察工作？
6. 师专地理专业的学生为什么要重视地质学的学习？

第一章 地壳概述

第一节 地壳在地球内部结构中的位置

地球是一个旋转椭球体。极半径为6356公里，赤道半径为6378公里，平均为6371.2公里，质量为 5.9×10^{27} 克。目前地球科学的研究已证明，地球的结构由地表到地心分为地壳、地幔和地核三个圈层（图1-1）。

一、用地震波对地球内部结构的探测

限于科学技术水平，人们可以直接观测到的地下深度十分有限，现在世界上最深的矿井仅3公里，最深的钻孔约12公里，即使是火山喷溢出来的岩浆，也不过只有地面以下数十到一二百公里深度的物质。因此，目前了解地球的内部结构，主要是借助于地震波研究的成果。

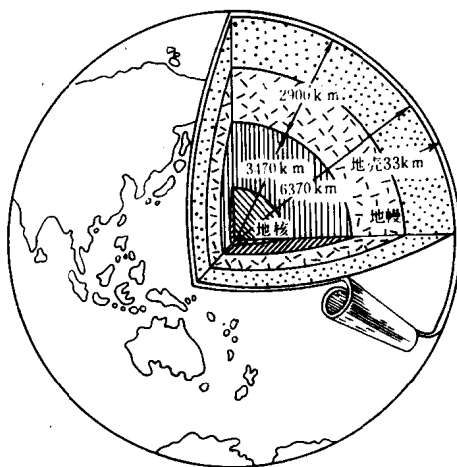


图 1-1 地球内部结构示意图

地震波在地球内部的传播是一种弹性波，它有体波和面波两种。体波，在地球的体积中传播，包括纵波和横波。纵波（P波）（图1-2），质点的振动方向和波的传播方向一致，波速较快。横波（S波），质点的振动方向和波的传播方向垂直，波速较慢。在地面和地球内部介质分界面上传播的波，则称为面波。根据地震学的原理和地震波的性质，地震波在介质内的传播，有两个重要特征。首先，在不同介质中传播的速度不同，传播的快慢与介质的密度和弹性有关；第二，在固体中，纵波和横波都可传播，而在液体中，横波不能通过，这就是说，纵波和横波在介质中的通过性能，与介质的存在状态有关。因此，当地震发生时，地震波从震源通过地球内部向四外传播。假如地球是一个均匀的各向同性的弹性球体，则它朝所有方向都沿直线传播，并且在任何方向和任何深度上，其传播速度应该相同。但据实际测量，在地球内部，地震波是沿着弯曲的途径传播的。不同深度的地震波的传播速度各不相同，这表明地球的内部物质是不均一的（图1-3）。

图 1-4 为地震波传播速度与地球内部结构图。从图中可看出，地震波在地球内部的传播有二个明显的速度突变处，形成不连续面，反映该深度上下的物质成分或状态有变化。在地下平均33公里处，纵波的速度从6.4—7.6公里/秒突变到均值为8.1公里/秒，出现了第一个不连续面。这一不连续面，是1909年由南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇首先发现的，故简称莫霍

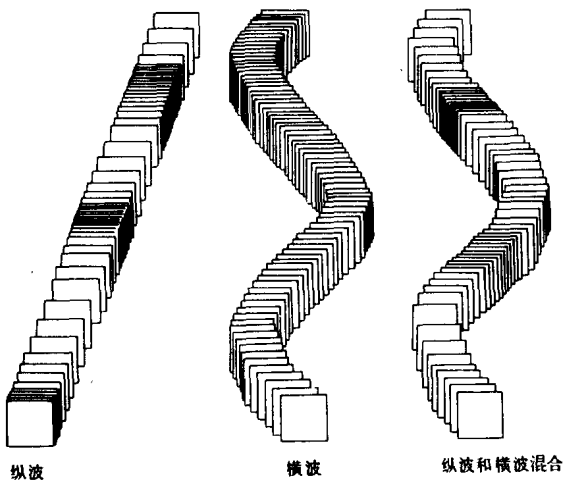


图 1-2 纵波和横波

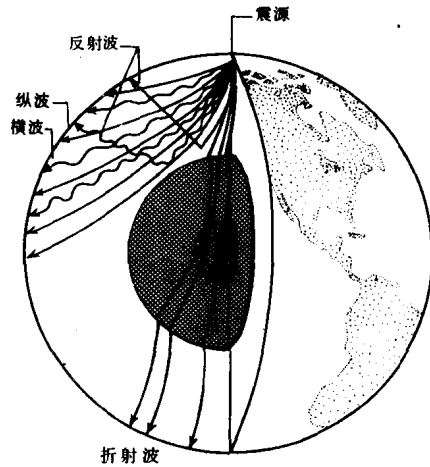


图 1-3 地球内部地震波传播的途径

面，它是地壳和地幔的分界面。第二个不连续面在地下2900公里深处，在此不连续面上，纵波的波速由平均值13.64公里/秒降到8.1公里/秒，且横波消失。这个不连续面是地幔和地核的分界面，1914年由美国地球物理学家古登堡首先发现，所以称为古登堡面。

除这二个一级不连续面外，还有几个次一级的不连续面（表1-1）。地下20公里左右的不连续面，为康拉德面，把地壳分为上下两层；地下约1000公里的不连续面为雷波蒂面，把地幔分为上地幔和下地幔；5000公里左右的不连续面，把地核分为内核和外核，近一二十年来还证明内核中有横波存在，平均波速为2.2公里/秒。此外，地下50—250公里深处，还存在一个地震波低速度带，称为古登堡低速层。

二、地球的内部结构

地震波在地球内部传播速度的不同，以及纵波和横波通过性能的差异，反映了地震波所通过的介质的组成及状态有很大差别。根据地震波的研究，以及室内实验等方法，人们对地球的结构已经有了概略的了解：

（一）地壳

地壳是地球表面的一层外壳。地壳的厚度，各地差异很大，从5公里到70多公里不等。例如我国藏北的地壳厚度就达70—75公里，相当于我国多数地区地壳厚度的一倍以上（图1-5）。地壳的表层为常温、常压；它的底部，温度增高到400°—1000℃，压力达9000个大气压。地壳在结构和组成上也是不均一的，大陆区和大洋区显著不同。

（二）地幔

地壳以下到深2900公里的这一层，称地幔。它占地球体积的83.4%，占地球质量的2/3。其中地壳以下至约1000公里深处为上地幔，平均密度3.5克/立方厘米，温度为2000—3000℃，压力可达38万个大气压。人们模拟分析上地幔地震波的波速，与橄榄石55%+辉石35%+石榴

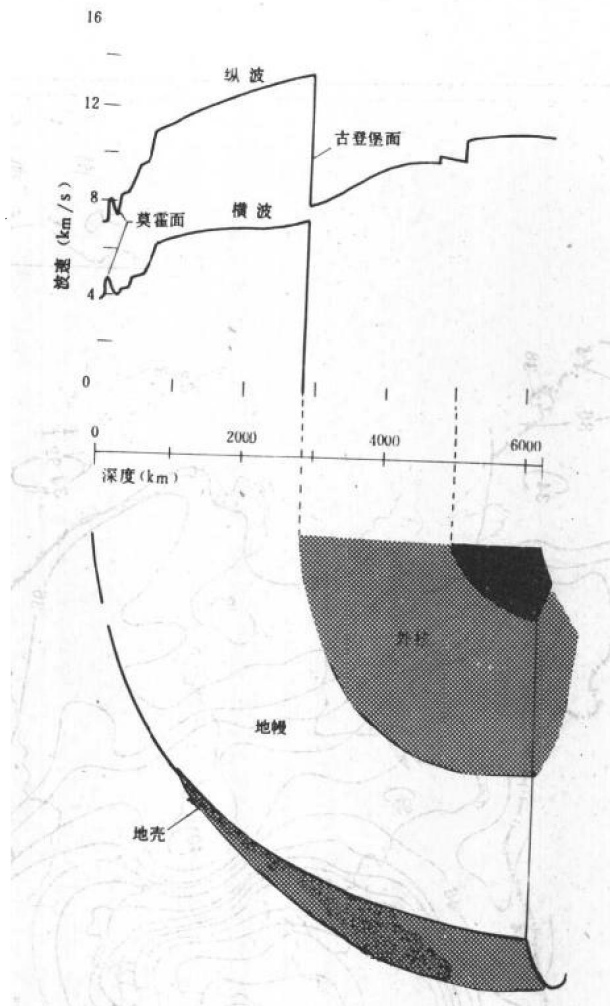


图 1-4 地震波传播速度与地球内部构造

子石10%的混合物的波速十分接近，所以上地幔的物质组成一般认为是橄榄岩、榴辉岩，或与橄榄岩相似的超基性岩。其化学成分主要为 SiO_2 (44%)和 MgO (41%)。一般认为上地幔是固态的，但近期的研究表明，在地下50—250公里的深处，有一个软流带，该带内温度已接近岩石熔点，物质呈潜柔状态，可以缓慢地移动与对流，给其上覆固体岩石的活动创造了条件，因此软流带也称为软流圈，其部位与古登堡低速层相当。由于软流圈离地壳很近，当上覆压力减低时，物质就会由潜柔状态转化为液态，成为岩浆的发源地。地质学上把软流圈以上的上地幔顶部和地壳合称为岩石圈。

由1000公里到2900公里深处为下地幔。下地幔为固体物质，结构较均匀，平均密度5.6克/立方厘米，温度3000—4400℃，压力可达137万个大气压，物质成分与金属硫化物和氧化物相当。与上地幔相比，更富含铁。所以有些学者认为，如果上地幔中 FeO 与 MgO 之比为1:10，那末在下地幔中两者之比就应是1:3.3。由于 FeO 在深处的相对集中，使得下地幔物质的

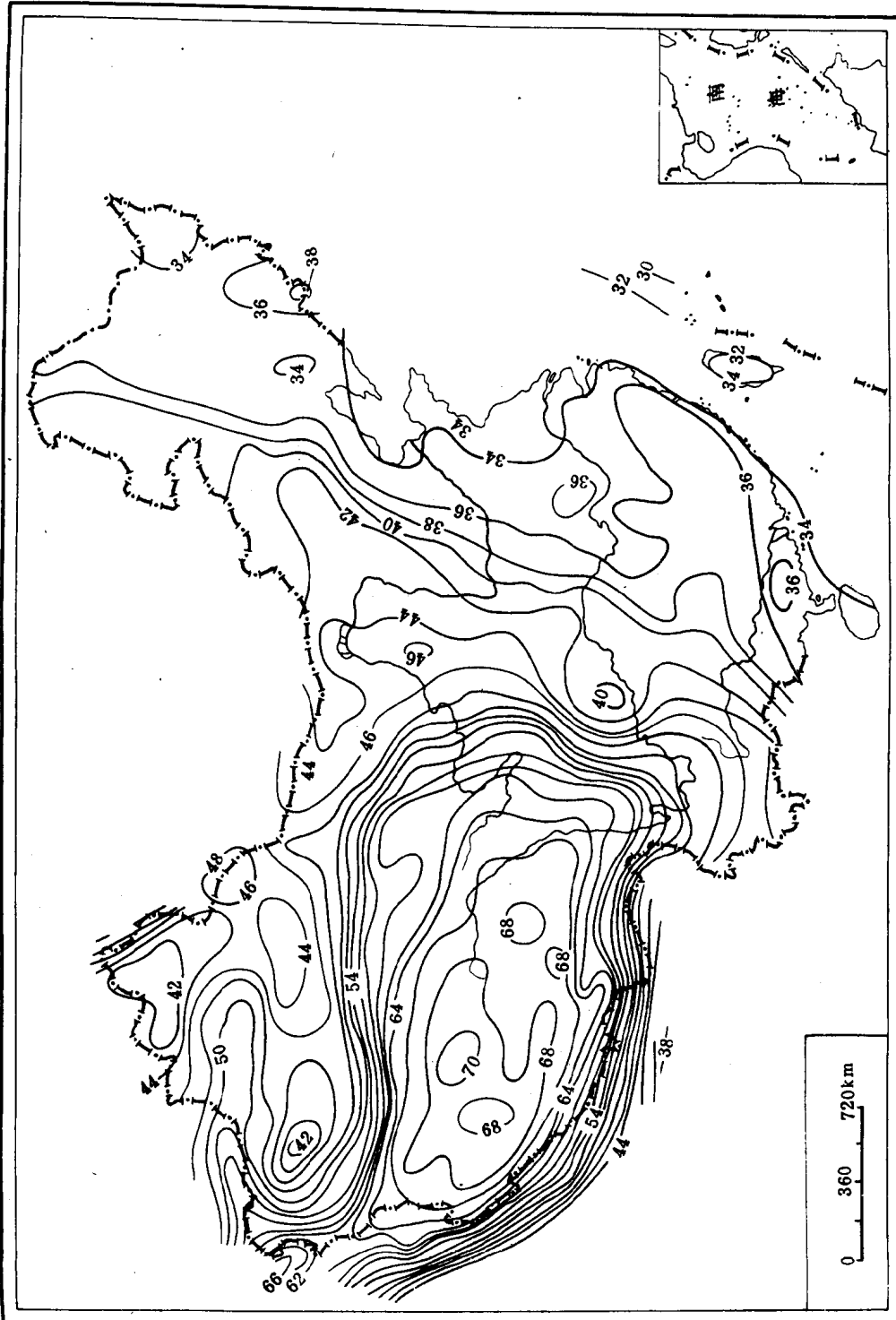


图 1-5 中国地壳等厚图

表 1-1 地球内部分层结构

分 层	不连续面	深度 (半径) (km)	位置 深度 (km)	纵波速 度 (P) (km/s)	横波速 度 (S) (km/s)	密 度 (g/cm ³)	压 力 (大气压)	附 注		
地 壳		海平面 (6371)	地面	5.5	3.2	2.7		岩石圈		
	— 康拉德界面 —	(6351)	10—15	5.6	3.2					
			—20—	—6.4—	—3.7—	—2.8—				
— 莫霍界面 —		(6338)	—33—				9.000	软流圈		
上 部 地 幔	古登堡低速层	地下50 } 低速 至 } 速度 250 } 带	80	8.1	4.6	3.32				
			150	7.8	4.5	3.37				
			190	7.9	4.4	3.42				
			270	8.1	4.4**	3.47				
			270	8.4**	4.6	3.53				
— 拜尔勒界面 —	(5958)	—413—	—8.97—	—5.0—	—3.64—	—140.000—				
下 部 地 幔	高里村高速层	720(最深地震)	900	11.3	6.3	4.60	270.000			
			— 雷波蒂界面 —	(5387)	—984—	—11.42—	—6.3—		—4.64—	—382.000—
			1800	12.5	6.8	5.13				
			2700	13.6	7.3	5.60				
			2700	13.64	7.3	5.66				
— 古登堡界面 —		(3473)	—2898—				—1.368.000—	液态		
外 核 — 过 渡 层 — 内 核	速度降低	(1667)	—4703—	8.1	—	9.71				
			4980	—	—	—11.7—	—3.180.000—			
			5120	10.4	—	12.0				
			—(1216)—	11.2	—	15.0				
			—5154—	—	—	—约16—	大约3.300.000			
		(中心)	5200	9.6	2.2					
			6371	11.3		17.9	大约3.600.000			

* 表示大于此值

—— 一级不连续面

— — 二级不连续面

[据李四光：天文、地质、古生物资料摘要（初稿），略作补充]

对流十分困难。

(三) 地核

由2900公里深处直到地心的部分为地核。它位于地球的最内部，以古登堡面与地幔分界。半径约3500公里，虽然按体积只占地球的16.3%，但按质量却占了地球总质量的1/3。地心温度高达5000—6000℃，压力约360万个大气压。

地核可分为外核和内核。外核由2900公里至4700公里深处，平均密度10.5克/立方厘米，由于横波突然中断，不能在其间通过，故物质状态推测为液态，原因可能是温度超过了物质的熔点。内核由5100公里至地心，密度16—17.9克/立方厘米，根据地震波横波能通过的特性，其物质状态应为固态，但此层物质是处于超高压状态下。据实验分析，地心处于如此巨大的压力下，其原子结构被破坏，原子核、原子都高度集中在小体积内，失去一切化学性能，因而而是特殊的“超固态”。在内核和外核之间，还存在一过渡层。

地核的物质成分，一般认为主要由铁和镍组成，这是因为：①按地震波纵波的传播速度及密度值，均与铁和镍相当。②地球是一个磁性体，地磁来源于高磁性的地核铁、镍物质。

③宇宙天体的物质组成是统一的。目前发现的来自宇宙间的陨石，按其成分，有铁陨石(铁、镍组成)、石陨石(铁、镍、硅、酸、盐组成)和铁石陨石(铁、陨石和石、陨石混合组成)三种，这三种陨石，大致相当于地球内部地核、地幔和地壳三个圈层的物质组成。

地球内部各个分层的特性，如表 1-1 所示。

综上所述，地球内部的结构是成层的，呈数个同心圈状，一层重叠一层，核部是地核，中间是地幔，最外面一层即是地壳。地壳的厚度与整个地球相比，只不过是一层薄薄的外壳，其体积不到地球的 1%。但是，地壳和人类的生活和生产活动关系极为密切，因而也是地质学研究的主要对象。

第二节 地壳的组成与结构

一、地壳的化学组成

根据地壳 16 公里以上所采的几千个岩石样品的分析，组成地壳最主要的化学元素是 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等九种元素。它们共占地壳总重量的 98.13%，其中氧为 49.13%，硅为 26%，这两者占了地壳元素总重量的大部分。而 Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 共占 23%，在已知地壳中 90 余种元素中，其余 80 余种元素合起来才占 1.87%，因而地壳中元素的比例是极不均匀的(表 1-2)。

表 1-2 主要化学元素的克拉克值* (按重量%计) (据 A、E 费尔斯曼)

I	O	49.13	IV	Fe	0.08	VI	Cd	$5 \cdot 10^{-11}$		
	Si	26.00		Ba	0.05		As	$5 \cdot 10^{-11}$		
II	Al	7.45	V	N	0.04	VII	u	$4 \cdot 10^{-11}$		
	Fe	4.20		Sr	0.035		Ar	$4 \cdot 10^{-11}$		
	Ca	3.25		Cr	0.03		Hg	$1 \cdot 10^{-11}$		
	Na	2.40		Zr	0.025		I	$1 \cdot 10^{-11}$		
	K	2.35		V	0.02		Ga	$1 \cdot 10^{-11}$		
	Mg	2.35		Ni	0.02		Se	$8 \cdot 10^{-5}$		
	H	1.00		Zn	0.02		Sb	$5 \cdot 10^{-5}$		
III	Ti	0.61	VI	B	0.01	VIII	Nb	$3 \cdot 2 \cdot 10^{-5}$		
	C	0.35		Cu	0.01		Ta	$2 \cdot 4 \cdot 10^{-5}$		
	Cl	0.20		VII	Sn		0.008	Pt	$2 \cdot 10^{-5}$	
	P	0.12			W		0.007	Bi	$1 \cdot 10^{-5}$	
	S	0.10			Li		0.005	Ag	$1 \cdot 10^{-5}$	
	Mn	0.10			Be		0.003	In	$1 \cdot 10^{-5}$	
					Ce		0.002	IX	He	$1 \cdot 10^{-6}$
					Pb		0.0016		Te	$1 \cdot 10^{-6}$
					Mo		0.001	X	Au	$1 \cdot 10^{-7}$
					Cs		0.001		Re	$1 \cdot 10^{-7}$
		Br	0.001							
		Th	0.001							
						Ra	$1 \cdot 10^{-10}$			

注：百分含量 10 以上为 I 级，1 以上为 II 级，0.1 以上为 III 级，……依次类推

* 国际上把某种元素在地壳中的重量百分比，称为克拉克值。

地壳中不同地区和不同层次的化学组成，均有差异，表 1-3 表明，大陆区和大洋区地壳的平均成分有很大不同。大洋区的地壳，硅、铝含量比大陆区地壳低，但铁、镁、钙含量却显著增高。

表 1-3 地壳主要分层的平均化学成分（按重量%计）

地壳类型	大 陆				大 洋			
	沉积岩层	花岗岩质层	玄武岩质层	总 计	层 1	层 2	玄武岩质层	总 计
SiO ₂	50.0	63.9	58.2	60.2	40.6	45.5	49.6	48.7
TiO ₂	0.7	0.6	0.9	0.7	0.6	1.1	1.5	1.4
Al ₂ O ₃	13.0	15.2	15.5	15.2	11.3	14.5	17.1	16.5
Fe ₂ O ₃	3.0	2.0	2.9	2.5	4.6	3.2	2.0	2.3
FeO	2.8	2.9	4.8	3.8	1.0	4.2	6.8	6.2
MnO	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2
MgO	3.1	2.2	3.9	3.1	3.0	5.3	7.2	6.8
CaO	11.7	4.0	6.1	5.5	16.7	14.0	11.8	12.3
Na ₂ O	1.6	3.1	3.1	3.0	1.1	2.0	2.8	2.6
K ₂ O	2.0	3.3	2.6	2.9	2.0	1.0	0.2	0.4
P ₂ O ₅	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
有机物	0.5	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0
CO ₂	8.3	0.8	0.5	1.2	13.3	6.1	—	1.4
S	0.2	0.0	0.0	0.0	—	—	0.0	0.0
Cl	0.2	0.1	0.0	0.1	—	—	0.0	0.0
H ₂ O	2.9	1.5	1.0	1.4	5.0	2.7	0.7	1.1

（据罗诺夫和亚罗谢夫斯基，1969）

二、地壳结构与地壳类型

地壳由固体岩石构成。据地震波传播速度的测定及钻探资料分析，地壳上层，由沉积岩层和花岗岩质层组成。因这些岩类的主要成分是硅（SiO₂占62%）和铝（Al₂O₃占14.1%），所以地壳的上层也称硅铝层。这层的平均密度为2.7克/立方厘米，仅在大陆上存在，是一个不连续圈层。地壳的下层，由玄武岩质组成，其主要成分是硅（SiO₂占49.6%），铁（Fe₂O₃·FeO 占8.8%）、镁（MgO 7.2%），因而也称为硅镁层，平均密度约2.9克/厘米³，不论陆地与洋底均有分布，是一个连续圈层（图 1-6）。

根据地壳厚度、结构和组成的差异，可将地壳分为两大类型：大陆地壳（简称陆壳）和大洋地壳（简称洋壳）

（一）大陆地壳

陆壳分布较广，占地壳面积的70%。它的厚度变化较大，自5—70余公里。一般说来，海拔越高，褶皱带越年轻，地壳就越厚。

陆壳的表层广泛分布着各种沉积岩，厚度不大，是地球外力作用的产物。沉积层下面，是由岩浆岩和变质岩组成的结晶质的基底，其组分主要为花岗岩和片麻岩，平均厚度达16.9公里。按体积计算，岩浆岩和变质岩占整个上地壳的95%以上，因此是陆壳上部的主体。下部陆壳，据地震波速的测定，其密度与玄武岩和辉长岩相近，故一般认为是玄武岩质层，平均