

中等专业学校教学用书

石油地质基础

常兵民 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了地质基础和石油地质的基本理论、基本知识和基本技能，内容简明扼要、通俗易懂。本书除作为中等专业学校石油开采、石油钻井、地球物理测井、地球物理勘探、井下作业技术等专业的教材外，也可供石油现场工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

石油地质基础/常兵民主编.
北京:石油工业出版社,1997.4
中等专业学校教学用书
ISBN 7 - 5021 - 1960 - 4

. 石...
. 常...
. 石油天然气地质 - 专业学校 - 教材
. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02325 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787 × 1092 毫米 16 开本 14 印张 346 千字 印 1—2000
1997 年 4 月北京第 1 版 1997 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7 - 5021 - 1960 - 4/ TE·1649 (课)
定价: 15.00 元

前 言

本书是根据中国石油天然气总公司人事教育局 1994 年 6 月新疆会议的决定，以及同年 9 月大庆会议制订的中等专业学校非石油地质专业类的教学大纲编写的。

本书在编写中，力求内容的系统性、连贯性、条理性和逻辑性，并注意增加新的理论知识和新技术。在使用中，石油开采专业可免讲第十三章内容；石油钻井专业可免讲第十二章和第十一章的部分内容；地球物理测井、地球物理勘探、井下作业技术等专业，可根据本校的教学实际，选讲或免讲第十一章、第十二章及第十三章的部分内容。

本书由胜利石油学校常兵民任主编，并编写了绪论、第三章、第四章、第五章、第八章、第十一章和第三篇。第一章、第二章由华北石油学校马占恒编写，第六章、第十章由大港石油学校高嘉瑞编写，第七章、第十二章由辽河石油学校孙长林编写，第九章、第十三章由中原石油学校苏颂成编写。胜利石油学校崔廷主参加了第十一章和第三篇的部分编写工作，范春晖、刘焕成也参加了第三篇的部分编写工作。第三章、第四章、第五章、第七章、第八章、第十一章、第十二章和第三篇的插图由胜利石油学校牟珍宝清绘。并请吉林石油学校孙庆福高级讲师主审。

本书在编写过程中自始至终得到总公司石油地质学科指导委员会，以及王希峰高级讲师、贾致芳副教授的亲切关怀和热情支持，张传河高级讲师也做了许多有益的工作，并提出许多宝贵意见。此外，胜利石油学校的领导对该教材的编写给予了大力的支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，编写经验不足，加之时间短促，书中的错误和不当之处，殷切希望读者批评指正！

编 者

1995 年 11 月

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

第一篇 地质基础部分

第一章 地球.....	(2)
第一节 概述.....	(2)
第二节 地球的形状和物理性质.....	(3)
第三节 地球的圈层构造.....	(6)
第二章 地质作用.....	(9)
第一节 地质作用的概念.....	(9)
第二节 内力地质作用	(10)
第三节 外力地质作用	(16)
第三章 矿物	(28)
第一节 矿物的形态	(28)
第二节 矿物的物理性质	(30)
第三节 矿物的分类及常见矿物	(33)
第四章 岩浆岩和变质岩	(38)
第一节 岩浆岩	(38)
第二节 变质岩	(43)
第五章 沉积岩及沉积相	(46)
第一节 沉积岩的颜色和构造	(46)
第二节 沉积岩的分类	(49)
第三节 碎屑岩	(50)
第四节 碳酸盐岩	(55)
第五节 沉积相	(61)
第六章 古生物及地层	(69)
第一节 古生物及化石	(69)
第二节 地质年代单位及地层单位	(76)
第三节 地层的划分与对比的方法	(82)
第七章 地质构造	(88)
第一节 水平岩层及倾斜岩层	(88)
第二节 褶皱构造	(90)
第三节 断裂构造	(96)
第四节 地质图件的基本知识.....	(101)
第五节 含油气盆地及其构造单元划分.....	(104)

第二篇 专业地质基础部分

第八章 油气的生成.....	(108)
第一节 油、气、水.....	(108)
第二节 油气的生成.....	(112)
第三节 生油气层.....	(117)
第九章 油气藏的形成条件.....	(122)
第一节 生储盖组合.....	(122)
第二节 油气的运移.....	(128)
第三节 圈闭.....	(133)
第十章 油气藏的特征及分布.....	(139)
第一节 油气藏的类型.....	(139)
第二节 油气藏的分布.....	(145)
第十一章 油气储层研究.....	(148)
第一节 储层类型、分布及非均质性.....	(148)
第二节 油气储层的压力与温度.....	(154)
第三节 油气层对比及应用.....	(160)
第十二章 储量计算.....	(170)
第一节 储量的分类及分级.....	(170)
第二节 石油储量计算.....	(172)
第三节 天然气储量计算.....	(176)
第十三章 钻井地质录井.....	(178)
第一节 钻井地质设计.....	(178)
第二节 钻井地质录井.....	(180)
第三节 钻井地质总结.....	(189)

第三篇 实验指导书

实验一 认识常见矿物.....	(192)
实验二 认识常见岩浆岩.....	(194)
实验三 认识常见的变质岩.....	(195)
实验四 认识常见的沉积岩——碎屑岩.....	(197)
实验五 认识常见的沉积岩——碳酸盐岩.....	(200)
实验六 古生物化石标本及模型的观察.....	(201)
实验七 构造模型或标本的观察.....	(203)
实验八 编制构造等值线图.....	(203)
实验九 油层对比图的编制.....	(205)
实验十 油层栅状对比图的编制.....	(207)
实验十一 小层平面图的编制.....	(210)
实验十二 岩心、岩屑描述.....	(213)
参考文献.....	(216)

绪 论

一、《石油地质基础》的性质及研究内容

《石油地质基础》是非石油地质专业的一门重要的技术基础课，是石油开采、石油钻井、地球物理勘探、地球物理测井、井下作业技术等专业学生必修的重要课程。掌握该课程，可为专业课的学习，以及毕业后走上工作岗位，打下坚实的地质基础，才能更好地发挥本专业的特长，为祖国石油和天然气的勘探及开发做出更大的贡献。因此，学好本课程具有重大的现实意义。

《石油地质基础》主要研究以下内容：地球的起源与年龄、地球的基本特征、地球的内力地质作用及外力地质作用；地球的物质组成及矿物特征、岩浆岩、变质岩、沉积岩特征；与油气有关的沉积相类型及其基本特征；不同地质时期中所形成的地层及化石特征，地层划分与对比的方法；地壳运动以及在地壳运动中所形成的褶皱、断层的类型和基本特征；含油气盆地及其构造单元的划分，常见地质图件的编制与分析方法。

在专业地质基础部分，主要研究油、气的生成、运移和聚集，圈闭和油气藏的类型及特征；储集层的类型、分布、非均质性及储层的压力与温度；油、气层对比与应用及储量计算的方法；钻井地质录井的基本方法。

二、《石油地质基础》在各专业中的作用

《石油地质基础》作为一门重要的技术基础课，其作用和意义显而易见。

对石油开采专业而言，如果没有必备的石油地质基础知识，怎能进行现场单井及井组动态分析，如何提出开发调整方案及提高采收率呢？也难以从事油、水井的生产和技术管理。况且，有些生产单位因工作需要，将采油专业人才安排在地质技术员的工作岗位，如此看来，更显得尤为重要。钻井工程技术人员，如果不懂地质，就无法根据不同的地层岩性，更换钻头，就难以控制进尺，也难以确定是否钻遇到油、气层及目的层，因此，就不能很好地与地质技术人员密切配合，圆满完成生产任务。对从事物探、测井的技术人员，若没有必备的石油地质基础知识，就难以从事生产及指挥生产，无从分析研究地震资料和测井资料。

综上所述，学好《石油地质基础》，不仅仅是在校期间完成一门课程的问题，而是关系到毕业后能否尽快地适应工作岗位，为油田的勘探和开发，为祖国石油工业的腾飞多做贡献的大问题。因此，殷切希望将《石油地质基础》学习好、掌握好。

第一篇 地质基础部分

第一章 地 球

第一节 概 述

一、天体和宇宙

宇宙由各星系组成，而星系是由不同天体所组成，如：恒星、行星、卫星、彗星、陨星等。宇宙中一切天体均按一定规律永无休止地运动和发生、发展、消失。它们既相互吸引又相互排斥，在万有引力下绕转运行：卫星绕行星运动；行星、小行星、彗星等绕太阳运行；太阳和其他恒星、星云等绕银河运动。整个宇宙是一个有序的、永恒的运动世界。

1. 宇宙中的天体

(1) 恒星

恒星一般都具有巨大的质量和很高的温度，自身能够发光、发热。太阳就是一颗恒星。宇宙间有无数个象太阳一样的恒星，只不过它们距离地球太遥远。

(2) 行星和卫星

行星和卫星都是质量较小的天体，由于它们质量比较小，温度比较低，所以行星和卫星都是不发光的。但是，它们可以反射自己附近恒星的光辉。地球就一颗绕太阳公转的行星，月球是绕地球公转的一颗卫星。行星和卫星除公转运动外，它们各自绕轴自转。

(3) 流星、彗星和陨石

流星和彗星是更小的一类天体。流星本是绕太阳公转的小天体，它广泛的分布在星际空间，由于在运动过程中，接近较大天体被吸引而改变自己的运行轨道，坠落到较大天体之上。当流星以极高速率坠落地球时，由于与空气强烈摩擦，产生高温而燃烧发光，形成一闪即逝的现象。多数流星在燃烧中化为灰烬，只有少部分燃烧未尽而落入地面。这种燃烧未尽的流星残骸，称为陨石。流星坠落地球现象不仅现在有，而且在地质历史时期也存在。

彗星由彗核、彗发、彗尾构成，在外形上的特征是有一条长尾。它和行星一样绕太阳运行，轨道为椭圆形或抛物线形，公转方向绝大多数是顺时针运行，越接近太阳时尾越长，而总是背离太阳方向。

在宇宙中还有由气体和尘埃物质组成的、具有云雾状外表的星云，以及近代射电望远镜发现的类星体和脉冲星等天体。

2. 太阳系及其构成

太阳是离地球最近的一颗恒星。它的直径约为 140 万 km，为地球直径的 109 倍，它的体积约为地球体积的 130 万倍，质量为地球质量的 33.3 万倍，但密度却只有地球密度的 1/4。

太阳系总共有九大行星，自内向外依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。所有行星都围绕太阳向同一方向公转，公转轨道近于圆形，并几乎在同一个平面上，水星距太阳最近，为 58×10^6 km，冥王星距太阳最远为 5900×10^6 km，地球距太阳为 149.5×10^6 km。在九大行星中，除了水星、金星和冥王星之外，各行星周围又有较小的星体围绕它们旋转，这些小的星体就是卫星。例如：天王星有 5 个卫星，土星有 10 个卫星，木星有 13 个卫星，地球只有 1 个卫星——月亮。在火星和木星轨道之间还有由 1779 个小行星组成的小行星带。此外太阳系中还有彗星和数不清的微小颗粒。

3. 银河系及河外星系

在宇宙中除了太阳系之外，还有很多的恒星系统，如在夏夜无月的晴空看到有一条宽窄不等南北向的银白色光带，这是一个巨大的恒星体系，这个恒星体系就是银河系。银河系从侧面看中间厚边缘薄，从正面看呈旋涡状。银河系非常庞大，它的直径达 10 万光年，厚度也达 1 万光年，约有 1400 颗恒星组成，太阳系就是其中的一员。

在银河系之外，还有许许多多类似于银河系的恒星系统，它们称之为河外星系。目前人们借助于天文工具能够观测到的范围半径达 100 亿光年，可观测到 10 亿个星系。全部观测到的星系范围叫总星系，总星系之外还有没有其它星系？肯定有。可见我们所在的太阳系在整个宇宙空间是何等渺小。

二、地球的起源与年龄

在 1543 年哥白尼提出“日心地动说”后，天体的演化学说冲破了宗教迷信的桎梏，开展了太阳系起源问题的科学探讨，相继提出了各种假说。而被人们认为解释较为合理的是德国哲学家康德（I. Kant, 1724 ~ 1804）提出的“微粒假说”和法国数学家拉普拉斯（P. S. de Laplace, 1749 ~ 1827）提出的“星云假说”，这两种假说的内容基本相似，概括如下：

太阳系起源于一团巨大的、旋转的星云，随着星云的收缩旋转速度越来越快，相应离心力也不断增大，星云开始从它快速旋转的赤道方向抛出一个物质环，这个物质环带走了一部分角动量，从而星云剩下的部分转动变慢。随着星云继续收缩，再次达到某种转速，星云又抛出另外一个物质环。这样，原始的太阳系中就形成了一系列的圆环。这些物质环，受惯性的支配，继续围绕大星云旋转，同时逐渐凝聚和收缩，形成了各个行星。而这些行星本身也按同样的方式抛出一系列小的圆环，这样便形成了它们的卫星。

在康德和拉普拉斯之后，先后又出现过十几种地球与太阳系起源的假说，这些假说也从不同的方面对太阳系成因作出一些解释，但是作为假说阶段的学说都存在一些缺陷和不足。

关于地球形成年龄问题，目前也只是限于推测阶段。一般人们认为：地球形成的年龄大约在 45 亿年以上。

随着科学技术的发展，人们对大自然的认识也将不断的深化，有关天体的演化和地球的起源问题，最终会得到合理的解释。

第二节 地球的形状和物理性质

一、地球的形状、大小及表面形态

1. 地球的形状

过去人们认为“天方地圆”，也就是说半圆形的天罩住方形的地。随着人类长期的生产实践，逐渐认识到地球是一个球体，直至 16 世纪初，葡萄牙人麦哲伦第一次的环球航海旅

行，才证实了地球是一个球体。

随着科学技术的发展，人们对地球形状的认识不断加深，18世纪中叶，科学家们在进行大地测量时发现：地球的赤道半径较为长（约为6378km），地球的两极半径较为短（约为6357km）。从而人们认为地球是一个扁球体或二轴椭球体。以后又发现，赤道面也不是一个圆，而是一个椭圆，相差200m，证明地球是一个三轴椭球体。近年来，大地测量工作者们通过人造地球卫星对地球观测到的有关数据分析，认为地球既不是一个规则的球体，也不是一个扁球体或三轴椭球体，而是一个梨状体（图1-1）。若以赤道海平面至地心为半径作圆，则北极海平面高出此圆18.9m，而南极海平面低于此圆25.8m。

2. 地球的大小及表面形态

地球虽然在宇宙中是非常渺小的，但是，地球与人们日常生活中接触的事物相比却非常庞大。地球的面积约为 $510 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，体积约为 $108 \times 10^{10} \text{ km}^3$ 。

地表形态基本可分为海洋和陆地两大单元。海洋面积占地球总面积的70.9%；陆地面积占地球总面积的29.1%。陆地多集中在北半球，海洋多集中在南半球。

(1) 陆地的表面形态

地球上的陆地被海水分割为许多巨大的陆块和较小的陆块，前者称大陆，后者称岛屿。陆地表面形态十分复杂，按高程和地形起伏变化可以分为：山地、高原、丘陵、盆地、平原和洼地等地形。

图1-1 地球形状——梨状体示意图

1) 山地 山地是海拔高度在500m以上的起伏很大地形。平行排列并且延伸很长的山岭称为山脉。

2) 高原 高原是海拔较高、面积较大、比较完整的高地。世界上高原海拔大都在1000m以上。

3) 丘陵 丘陵是地形起伏，但相对高差常常小于200m的地形。

4) 盆地 盆地是周围山岭环峙、中间地势低平、外形似盆的地形。

5) 平原 平原是地势平坦、起伏较小、海拔在200m以内的广大平地。

6) 洼地 洼地是指陆地上地势较低、高程在海平面以下的地形。

(2) 海底地形

从海洋的岸边到大洋的中心，依次可分为：大陆边缘、大洋盆地、大洋中脊三个单元。

1) 大陆边缘 大陆边缘是指大陆与海洋连接的边缘地带，是大陆地壳在海水下的延伸部分。它包括大陆架、大陆坡、大陆基（图1-2）。这里把大陆地壳与大洋地壳分界的过渡地带的海沟和岛弧暂包括在大陆边缘的范畴。

a. 大陆架：大陆架又称陆棚区，它是围绕大陆的浅水海底平原，这个地区地势平坦，水深一般小于200m，平均深度为133m，平均坡度为0.1°。这里较多的沉积物，绝大部分是由邻近大陆通过河流输送而来，该地区是石油和天然气埋藏非常丰富的地区。

b. 大陆坡：大陆坡位于大陆架以下较陡的斜坡地带。平均坡度为4.3°，最大坡度可达20°以上，深度可达3200m。宽度不等，较窄地区约为20km，最宽可达90km。目前，在

这个地区也有油气被发现。

c. 大陆基：大陆基位于大陆坡的外缘，与大陆坡相比，地势显得较为平缓，坡度不足 0.5° ，但海水深度明显加深约为 $2\,000 \sim 5\,000\text{m}$ 。它在宏观上类似于大陆上山麓的坡积扇。

d. 海沟与岛弧：太平洋西北部的千岛群岛、日本群岛、菲律宾群岛从宏观上看呈弧形，故称为岛弧。岛弧靠大洋一侧常发育有一条长条状的巨型凹地，深度超过 $6\,000\text{m}$ ，因为它长而深，故称海沟。

图 1 - 2 大陆边缘示意图

2) 大洋盆地 大洋盆地是海洋的主体，它约占海洋总面积的 45% ，其中最主要的部分是水深在 $4\,000 \sim 5\,000\text{m}$ 的开阔水域，称为深海盆地。在深海盆地中既有地势平坦的深海平原，又有地势比较突出的海山，还有比较开阔的隆起区、无地震活动的海岭。

3) 大洋中脊 大洋中脊是海底中部崎岖隆起的地带，规模很大，它可超过陆地上最大的山系，较高的山峰可高出海底 $1\,000 \sim 3\,000\text{m}$ ，宽可达 $1\,400 \sim 4\,000\text{km}$ 。

二、地球的物理性质

1. 地球的质量和密度

根据万有引力定律计算，地球的质量为 $5.976 \times 10^{24}\text{kg}$ 。平均密度为 5.517g/cm^3 ，地表岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8\text{g/cm}^3$ ，地球内部密度随深度的增加而不均匀的增加。

2. 地球的压力和重力

地球外部的压力随海拔高度的增加而减小，而地球内部的压力（主要是静压力）随深度的增加而较均匀地增加。

地球的重力是指地球表面物质所受地球引力和地球在自转中产生的离心力的合力（图 1 - 3）。地球引力是常量，地球重力主要取决于离心力。赤道离心力大，因而重力在赤道最小；两极地区离心力为零，因而地球的重力也就最大。

地球重力也是变化的，以海平面为基准计算地面重力场，重力随纬度的增加而增加，随高度的增加而减小。这个重力场是代表地球物质在均匀状态下的标准重力场，也称为理论重

图 1 - 3 重力与地心引力和离心力关系示意图

Z—地球自转轴；g—重力；F—地心引力；

P—离心力；R—纬度圆半径

力场。由于地球内部的物质密度的不同，在实际测量重力值的过程中，得到的实测重力值与理论重力值之间就会出现一定的差别，这种现象称之为重力异常。如果实际测量的重力值大于理论值为正重力异常，反之，则为负重力异常。在密度较小的煤、石油、天然气、地下水等矿区，常会出现重力负异常；而在密度较大的铜、铁、铅、锌矿产及某些岩浆岩区常会出现重力正异常。根据这个原理，可以进行找矿，这种找矿方法，称为重力探矿法。

3. 地球的温度和磁力

地球内部存在着巨大的热能，从火山喷出的炽热岩浆到温泉涌出的热水，都证明地球内部是热的。地球内部的热量来源有两方面：一是来自太阳的辐射热；而另一部分主要来自地球内部放射性元素蜕变所产生的热能。

地表温度主要受太阳辐射能的影响，随昼夜和四季的变化而变化，也随地表纬度升高而降低。但这些变化的影响深度并不大，一般不超过 20 ~ 25 m，在此深度附近的岩石温度，不再受太阳辐射热变化的影响，这个地带，称为常温层。常温层以下的岩层则受地球内部热源的影响，温度随深度的增加而升高。通常把每向下增加 100 m 的深度所升高的温度称之为地热增温率（或地温梯度）。

常温层和地热增温率是变化的。常温层的深度在各地并不一致，它主要受当地年温度变化率的影响。中纬度地区及内陆地区因年温度变化率大，常温层的深度也较大，低纬度及沿海地区则较浅。地热增温率的平均值为 3℃/100m，但各地区也不尽相同，如：华北平原约为 1 ~ 2℃/100m，大庆油田可达 5℃/100m，一般地热增温率的大小主要受岩石的密度、导热率以及距离热源远近的影响。一般地壳相对活动、火山活动地区，地热增温率出现高值；而在地壳相对稳定地区，出现低值。

地球是一个大磁体，在它的周围存在着磁场，这个磁场称为地磁场。地磁场是一个偶极磁场，它有两个磁极，也就是磁北极（S）和磁南极（N）。地磁南北极与地理南北极的位置距离比较接近，但是，并不重合，因此地磁子午线与地理子午线之间也就有夹角，这个夹角称为磁偏角。用罗盘测量的方位角是磁方位，所以，必须经过偏角校正，才能获得地理方位角。磁针与水平面的夹角称磁倾角，磁倾角在各地是不一样的，在赤道部位为零，在两极地区为 90°。

磁偏角、磁倾角、地磁场强度为地磁场的三个要素，利用其异常可以进行探矿，还可以了解地下地质构造的基本情况。

第三节 地球的圈层构造

地球不是一个均质体，它是一个由不同物质、不同状态组成的若干个同心圈层构成的球体。由于每个圈层都有自己的物质运动特征和物理、化学性质，它们对地质作用的发生、发展各有不同程度的、直接或间接的影响，所以，我们必须了解它们的基本特征，才能更深刻地理解地质作用的原理。根据地球不同部位的物质成分、物理性质等方面的特征，我们以地表为界，把地球分为外部圈层构造和内部圈层构造。

一、地球的外部圈层构造

在地球表面以上的外部圈层构造，根据不同部位的特征，又可分为：大气圈、水圈、生物圈。这三个圈层包围在地球的外部，构成连续、完整的外部圈层构造。

1. 大气圈

大气圈是地球最外部的圈层，由各种气体包围着，从地面到 100 km 高的范围集中了大气 1/4 的质量，而且有一半又集中在地面到 10 km 高的范围内，随着高度的增加，大气的密度逐渐减小。往高层空间空气逐渐稀薄而过渡到宇宙气体，所以，大气圈并没有明确的顶界；在地表附近的岩石或土壤中也有气体，所以，也没有严格的底界。自然界中的风、云、雨、雪、闪电、雷鸣等现象都发生在地表到 10 km 的范围。在地壳发展过程中的各种外力作用都与这一层有密切关系。

2. 水圈

地球表面有近 71% 的面积被海水覆盖，陆地上也有许多河流、湖泊、冰川以及地下普遍存在的地下水，构成了一个包围地球表层的连续的水层，这个连续的水层称为水圈。自然界的水，在太阳辐射的影响下，不断地进行水的循环和运动，形成巨大的动力，不断地改变着地貌特征。

3. 生物圈

在天空、在水里、在岩石的孔隙、裂缝和土壤里，都有大量的生物繁殖和存在，所以，生物在地表附近的分布构成一个圈层，这就是生物圈。生物圈有动物、植物、微生物，它们的存在和活动对地壳的发展和变化有着密切的关系。

二、地球的内部圈层构造

人们通过研究地震波，发现在传播过程中的波形在纵向上变化较大，地震波变化明显的深度，反应了该深度上下的物质成分或物质状态上有变化，这个深度就可作为上下两种物质的分界面。地球内部有两个波形变化明显的界面，第一个界面深度大约在 15 km 处，简称莫霍面。第二个界面深度在 2 898 km，称古滕堡面。根据这两个不连续面把地球内部分为三个圈层，即地壳、地幔和地核。再根据次一级界面把地幔分为上地幔和下地幔，把地核分为外核、过渡带和内核。三个圈层内部的各自的特征有明显的变化（图 1 - 4）。从图上可以看出：地球的温度、压力、密度随深度的增加而增加；而重力则相反，随深度增加而减小。

图 1 - 4 地球内部构造及物理性质变化曲线

1. 地壳

地壳是由岩石组成的地球最外的岩石硬壳。它分布的范围从地表到莫霍面。地壳的厚度变化很大，最厚可达 70 km（如青藏高原地区），最薄部位不到 5 km。一般陆壳厚、洋壳薄，整个地壳平均厚度为 16 km。根据地震波及重力分析，地壳可以分为上、下两层（图 1 - 5）。上层又称硅铝层，平均厚度为 10 km，其主要成分为硅和铝，相当于花岗岩层。这一层在地

球内部并不连续，只分布在大陆地区，而大洋底部缺失；下层又称硅镁层，其主要成分是硅、镁、铝、铁，相当于玄武岩层，这一层连续分布，大陆和大洋底部都有分布。

图 1 - 5 地壳结构示意图

2. 地幔

地幔位于莫霍面和古滕堡面之间，厚度达 2 800 km。从莫霍面到 1 000 km 的范围为上地幔，它的物质组成一般认为相当于超基性岩的成分。在上地幔的 60 ~ 250 km 之间，地震波速度变小，为一低速带，一般认为低速带内温度增高，接近于岩石的熔点，局部地带处于熔融状态，是地壳中岩浆的发源地。

1 000 ~ 2 898 km 的范围为下地幔，它的成分比较均匀，物质结构没有变化。只是铁的成分更多一些。

3. 地核

从 2 898 km 至地心的范围为地核。根据地震波速的变化，以 4 640 km 和 5 155 km 两处地震波形变化较为突出为界，把地核又分为外核、过渡层和内核。地核物质一般是由铁镍组成的。

第二章 地质作用

第一节 地质作用的概念

一、地质作用

众所周知，地球的发展和变化贯穿于地球历史的全过程。地球在开始形成的天文时代，经过局部的熔融、脱气和分异，首先形成了原始的地壳，之后，出现了所有的地质过程而进入地质时代。在地质时代发展过程中出现了岩石的风化、风化物质的搬运和沉积、岩石的熔融、火山的喷发和地震的发生等。在地球漫长的发展过程中，伴随着地质过程的进行，地球面貌不断的被改造，使之形成了地球今日多姿多彩、纷繁复杂的形态。

虽然人类的发展历史并没有伴随地球整个发展过程，但是在地球整个发展过程当中，遗留下发展、变化的踪迹，这使人们可以根据它分析、判断地球发展、演化的全过程。例如古火山的存在、岩石的弯曲变形、在高山地区的岩石中存在的海生生物的化石、山峰被埋藏在地下等，都是地球发展变化的佐证。

当今，人们依然目睹和感受到地球的发展和变化，例如：山洪爆发的洪水对地面的冲刷和破坏，河水切割上游的岩石形成的峡谷、急流和瀑布，在下游冲积形成的广阔平原，汹涌澎湃的海浪对岩石的冲击，每年发生的 500 万次地震和经常不断的火山喷发，某些沿海地区缓慢的上升和下沉，美国圣安德列斯大断层的活动等。

以上事实可以看出，地球始终处于永恒的、不断的发展和变化之中，地壳是地球的最表层，它的变化更明显。这种无时无刻促使地壳和地球内部不断发展和变化的作用，称之为地质作用。引起地质作用的力称为地质营力。由地质作用产生的现象称为地质现象。

地质作用是永恒的和普遍的，它不受地域的限制和内外的影响，也不受时间的约束，随时随地都在进行。只是有的进行得快一些，有的进行得很慢。

二、地质作用的分类

地质营力按照能量的来源分为地质内营力（简称内营力）和地质外营力（简称外营力）。内营力的能源来自于地球本身，主要有地球自转产生的旋转能、重力作用形成的重力能、放射性元素蜕变产生的热能、地壳内部物质在结晶过程中产生的结晶能和化学能等；外营力的能源来自于地球以外，主要是太阳辐射能和日月引力能，此外还有恒星及行星的辐射、宇宙射线等。

由内营力引起的地质作用称为内力地质作用。内力地质作用能使岩石圈板块分裂、碰撞以及下沉到地幔中去，以致产生地震、火山、岩浆活动和地表形态变化等。由外营力引起的地质作用称为外力地质作用。外力地质作用主要是在地壳的表层进行的，它使地壳表层原有的矿物和岩石，不断地遭受破坏，同时又不断地形成新的岩石和矿物，使化学元素不断地分散和富集，并形成新的矿产，外力地质作用也能引起地壳表面形态的变化。

外力地质作用又可分为：风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用；内力地质作用分为：地壳运动、岩浆活动、变质作用和地震作用。进一步分类如表 2 - 1 所示。

表 2 - 1 地质作用分类

地质作用	内力地质作用	地壳运动	地壳水平运动 地壳垂直运动
		岩浆作用	侵入作用 火山作用
		变质作用	
		地震作用	
		风化作用	物理风化作用 化学风化作用 生物风化作用
		剥蚀作用	风的剥蚀作用 流水的侵蚀作用 地下水的潜蚀作用 海水的侵蚀作用 湖水的湖蚀作用 冰川的冰蚀作用
	外力地质作用	搬运作用	风的搬运作用 河流的搬运作用 海洋的搬运作用 冰川的搬运作用
		沉积作用	风的沉积作用 河流的沉积作用 地下水的沉积作用 湖泊的沉积作用 海洋的沉积作用 冰川的沉积作用
		成岩作用	压固脱水作用 胶结作用 重结晶作用 交代作用

第二节 内力地质作用

一、地壳运动

1. 地壳运动的基本概念

在我们的日常生活中虽然没有感觉到地壳在运动，这是因为大多数地壳运动的速度是极其缓慢的。科学家应用古地磁、古气候资料、古生物化石的分析、研究和大地测量等工作方法，科学地论证了距今 3 亿年以前，现在的大陆是一个整体。在地壳运动的作用下，经过漫

长的地质年代，原来完整的大陆逐渐破碎，慢慢漂离，形成目前海洋和大陆的分布特征。最直观、最典型的例子是通过世界地图观察南美和非洲大陆的基本轮廓可以发现：非洲西海岸线与南美东海岸线的轮廓极为相似，好象一张撕裂的纸，可以重新拼合起来。科学研究发现：两大陆古生物群落的化石有相同的特征；非洲巨大片麻岩高原与巴西的片麻岩高原十分相似；南非尼日利亚河上游与巴西东北部的亚马逊河，只要略加旋转一个角度，上述两条河流的走向就完全一致。通过以上事实科学家们认为：非洲大陆和南美大陆在侏罗纪（距今1.4亿年）以前是合为一体的。

天文测量和大地测量证明：英国的格林威治与美国华盛顿之间的距离平均每年缩短0.7 m。北欧斯堪的那维亚半岛是现代地壳还在上升的典型地区，平均每年上升1 cm。而地壳下沉使得荷兰人民几百年来用围海造田与海水斗争。据研究，我国舟山群岛、台湾岛、海南岛在第四纪早期与大陆相连，后来，由于台湾海峡地区的地壳长期下沉才分开的。我国大连附近、山东荣成、福建漳州和雷州半岛等地的古海滩，都已高出现代海平面40~80 m。

总之，自古到今地壳都在不停的运动，而且是非常普遍的。这种缓慢的、引起地壳结构改变的运动称为地壳运动。由于地壳运动使早期形成的地层发生变形和变位，形成各种各样的构造形态，所以，将地壳运动称为构造运动。

2. 地壳运动的方向

地壳的运动方向有两个，一是平行于地球表面，沿水平方向的运动称地壳的水平运动，简称水平运动；一是垂直于地球表面，沿地球半径方向而运动称为地壳的垂直运动，简称垂直运动。水平运动造成巨大的陆块断裂和漂移，形成强烈而巨大的褶皱构造和平移断层。升降运动可以使地壳上拱和下拗，形成大型构造隆起和拗陷。

在地壳运动过程中，地壳的垂直运动和水平运动往往不是单一进行的，而是互相关联和互相影响的。任何垂直运动都不可避免地会引起水平运动的发生，反之，任何水平运动也会导致垂向运动的产生。在一定条件下，垂直运动和水平运动是可以互相转换的，即某一时期，某一地区以垂直运动为主，而在另一时期，则以水平运动为主。

对于地壳运动的方向问题归纳起来有两种观点，一是认为海、陆的发展和地球上部的运动，主要表现为地面的隆起和沉降，地壳运动以垂直方向运动为主，水平运动次要，这是传统地质学派的观点。另一派是新兴的板块构造学说为代表，认为地壳运动以水平运动为主，而垂直运动是地壳在水平运动过程中派生的。海洋和大陆在地质时期不是固定不动的，它们彼此之间和它们各自的内部都发生着动力构造作用。我国地质学家李四光的地球自转速率学说基本是水平运动的观点。

二、岩浆作用

在地壳深处的局部地段和上地幔中，由于温度和压力都很高，这里的物质处于一种过热的潜柔状态，这种潜柔状态的物质具有极大的潜在膨胀力，这种状态也是不稳定的，只要上覆岩层压力一旦降低，过热的物质，就会转变为高温的熔融体。这种在地下深处、富含挥发组分、成分复杂的硅酸盐高温高压熔融体，称为岩浆。具有巨大压力的岩浆，从地壳深处向压力减低的方向流动，侵入到地壳上部，甚至喷出地表。在岩浆整个移动过程中，岩浆的温度和压力逐渐降低，同时与围岩相互作用，不断改变着自身的化学成分和物理性质。这种从岩浆的形成、活动、演化直至冷凝形成岩浆岩的全部过程，称为岩浆作用。

岩浆作用有两种方式，一种是岩浆上升到一定深度，因上覆地层的压力大于岩浆具有的压力而停留在地层当中，这种岩浆作用的方式，称为岩浆的侵入作用。另一种是岩浆冲破上

覆地层的压力，喷出地表，这种岩浆作用的方式，称为岩浆的喷出作用，即火山喷发。岩浆侵入冷凝而形成的岩石称为侵入岩；岩浆喷出地表冷凝而成的岩石称为喷出岩，侵入岩和喷出岩统称为岩浆岩。

岩浆侵入地壳，形成各种形状的侵入岩体，包围侵入岩体的岩石，称为围岩。如果岩浆侵入到距地表深度不到 3 km 的称浅成侵入，形成浅成岩；如果岩浆侵入距地表深处超过 3 km 的称为深成侵入，形成深成岩。

侵入岩体的形状、大小及其与围岩的关系，称为侵入岩的产状（图 2 - 1）。

1. 深成侵入体产状及其特征

(1) 岩基

岩基是一种形状不规则的巨大的侵入岩体，其面积大于 100 km²，出露地表时常呈浑圆状，向深处扩大，目前尚不知底部的情况，顶面高低不平。组成岩体的成分主要是花岗岩和花岗闪长岩，与围岩呈不整合接触，围岩中有较强的变质现象，在岩基的边缘部分常见有围岩碎块成分的捕虏体。

(2) 岩株

岩株是规模较小的侵入岩体，其面积小于 100 km²，下部与岩基相连，是

图 2 - 1 岩浆岩的产状

1—岩基；2—岩株；3—岩脉；4、5—岩床；
6—岩盘；7、8—火山颈；9—火山口；10—熔岩流

岩基上面凸起的部分，围岩中亦有变质现象。岩株的形状一般为枝状或柱状，其成分主要为中、酸性岩类，如花岗岩、闪长岩等。

2. 浅成侵入岩体的产状及其特征

(1) 岩盘

岩盘是岩浆顺围岩岩层侵入形成的，它的顶部呈穹窿状，两侧向外倾斜，其底部与围岩平行，并近于水平（图 2 - 2）。

(2) 岩盆

岩盆与岩盘成因相同，但岩盆的顶面近于水平，与围岩层面平行，两侧岩体产状向中心倾斜，呈盆状（图 2 - 3）。岩盘与岩盆的规模有大有小，面积可达几百平方公里，小者有几平方公里。它们多由中性岩到基性岩组成。

(3) 岩床

岩床是岩浆顺围岩层面侵入冷凝而成的板状侵入体，其上、下面均与围岩平行（图 2 - 4）。岩床厚度差别较大，从几十厘米至几百米，常见的为几米。多由粘性较小的基性岩或中性岩组成。

(4) 岩墙与岩脉