

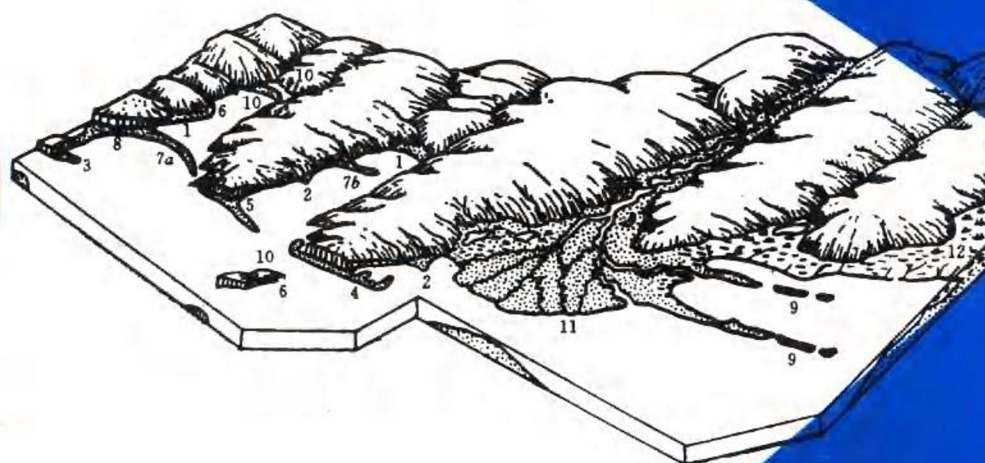
高等院校土木工程专业系列教材
GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

工程

主 编：刘春原
副主编：朱济祥 郭抗美
主 审：崔冠英

地 质 学

g o n g c h e n g d i z h i x u e



中国建材工业出版社

高等院校土木工程专业系列教材

工程地质学

主 编 刘春原

副主编 朱济祥

郭抗美

主 审 崔冠英

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/刘春原主编. -北京: 中国建材工业出版社, 2000

ISBN 7-80090-957-3

I. 工… II. 刘… III. 工程地质-高等学校-教材
IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 04702 号

内 容 提 要

本书系统地阐述了工程地质的基本原理、土木工程中的工程地质问题以及工程地质评价分析的方法。全书共分十章, 主要内容有地质学概论、地质作用及不同成因的岩土体、岩体工程的稳定分析及土体工程的评价分析等。书中除对有关理论作必要的阐明外, 对常见的工程地质问题作了详细讨论和定性定量的评价, 以便读者学习领会。

本书可作为高等学校土木工程专业的工程地质教科书, 还可供工程地质、水文地质专业技术人员及建筑工程设计人员及科研人员参考。

工 程 地 质 学

主 编 刘春原

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云红光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13.5 字数: 320 千字

2000 年 3 月第一版 2000 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-80090-957-3/TU · 242

土木工程专业系列教材编辑委员会

主 任：窦远明

副 主 任：姜忻良 许炳权

委 员：（按姓氏笔划排列）

王立久 王铁成 刘春原 史三元 戎 贤

朱赛鸿 吴建有 陆培毅 杨春风 苏幼坡

赵方冉 阎西康 窦远明 潘延龄 魏连雨

秘 书：刘春原 阎西康

顾 问：陈 环 顾晓鲁 黄世昌 陈章洪 崔冠英

前 言

随着国家建设形势的发展和 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国近期对高等教育专业设置进行了较大幅度的调整,其中新设置的土木工程专业取代了过去的建筑工程、交通土建工程第四个相近专业。根据国家教育部门的安排,全国各高校将从 1999 年按新专业目录进行新生录取工作,建设部专业指导委员会也于 1999 年初下达了新土木工程专业的课程设置指导意见。比较而言,土木工程专业较过去各专业覆盖面要广泛很多,涵盖了原来近 8 个专业的内容,因此新专业的教学计划、课程内容调整以及新教材的编写就成为当前一项较为紧迫的任务。为适应这一形势的发展,河北工业大学、天津大学、天津城市建设学院等院校经过充分协商和研究,本着“探索、科学、先进”的原则和符合“大土木”的专业要求,联合编写了一套系列教材,由中国建材工业出版社向全国出版发行。

本书主要介绍地质基础理论和知识,岩土体的工程性质,建筑工程中的工程地质问题和工程地质评价分析的方法。强调地质与工程的结合,在注意学科本身系统性的同时,还力求反映近年来工程地质理论和实践的发展水平。

本书由河北工业大学刘春原主编,天津大学朱济祥与河北工业大学郭抗美任副主编,天津大学崔冠英主审。

全书由刘春原和朱济祥统稿。

编写分工为;河北工业大学刘春原编写绪论和第十章;天津大学朱济祥编写第一章和第二章;河北工业大学郭抗美编写第三章和第四章;河北理工学院马亚洁编写第五章;河北建筑科技学院杜海金编写第六章和第九章;河北建筑科技学院杨万斌编写第七章;天津大学邱长林编写第八章。

本书在编写的过程中得到许多教师和勘察设计院的关心和支持,提出许多宝贵的意见,在此表示感谢。本书还会有许多不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2000 年 1 月

绪 论

地球体的表层——地壳是人类赖以生存的活动场所，它构成了一切工程建筑的环境和物质基础。为了使所修建的建筑物能够正常地发挥预期的效益，造价低廉，而且不会对周围的环境造成不良后果。在修建建筑物之前，必须根据实际需要深入研究地质环境，预测和评价可能产生的与建筑物及其周围环境有关的地质问题——工程地质问题（engineering geological problem）。因此要求土木工程人员对与工程建筑有关的地质条件（即工程地质条件）要有较深入的了解，并能解决建筑工程中出现的地质问题，这样才能对赖以生存的地质环境进行合理地利用和保护。

工程地质学（engineering geology）是介于地质学与工程学之间的一门边缘交叉学科，它是研究土木工程建筑与地质环境相互作用而产生的工程地质问题的学科。也就是研究在工程建筑设计、施工和运营的实施过程中正确地使用自然地质条件和合理的处理不良地质条件等地质问题，为建筑物的设计和施工提供必要而充分的地质依据。可见工程地质学是为了解决地质条件与人类工程活动之间矛盾的一门实用性很强的学科。

工程地质问题是多种多样的，取决于建筑物特点和地质条件。地质条件包括岩土体的工程性质、地质构造、地貌、水文地质和岩土体中的应力等五个方面，通常总称为工程地质条件（engineering geological condition）。土木工程人员不仅研究组成建筑物地基的地层、岩土性质（包括其物理、力学性质等），而且还要研究工程地质作用——建筑物场地的自然地质条件和不良地质现象对工程的影响。

对任何一个工程项目，土木工程人员只有在地质环境、土木工程技术水平和社会经济基础这三者的有机结合下，才能做出最佳的工程设计。地质环境对土木工程技术的制约是多方面的，既可以表现为以一定作用影响工程建筑运营的安全；还可以表现为由于某些地质条件不具备而提高了工程造价。在建筑场址选择上，必须事先将该地的工程地质条件勘察清楚，进行研究分析，选取较优的地质条件做为建筑场地。当场址确定后，设计人员必须按照当地的地质条件和地质环境进行设计。这时对发现的地质问题则进行整治和处理。可见，工程地质工作是很重要的，是设计之先驱，没有足够考虑工程地质条件而进行设计，只能是盲目的设计，不仅会导致建筑费用增高、工程量增大，还会造成施工期的延长，而在个别的情况下，建筑物将发生变形或破坏，甚至废弃使用。

另一方面，工程建筑又会以各种方式造成地质环境恶化。例如大量抽汲地下水或其它地下流体，降低了土体中的空隙液压结果引起大范围的地面沉降（上海、天津等地），使沉降区已有建筑物的正常工作条件受到影响；由于人为开挖或水的排灌不合理而造成斜坡发生滑坡等地质现象；修建在河道上的桥梁墩台，改变局部水流条件，从而使局部河段的侵蚀淤积规律发生变化；修高坝建水库，改变了大区域的水文动态和水文地质条件，不仅造成区域性的坍岸或浸没，还会产生水库诱发地震，较强的地震往往使较大区域内的建筑物受到危害。

建于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓（Transcona Grain Elevator）由 65 个圆筒仓组成，

长 59.44m、高 31m、宽 23.47m，其下为筏板基础。建成后初次储存谷物 31822m^3 （基底平均压力达到 320kPa ）时，谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧抬高 1.5m，仓身倾斜 27° ，地基发生了整体滑动。事故后经查，基础下埋藏有厚达 12.2m 的冰河沉积的高胶体高液性软粘土层，致使建筑物丧失稳定性。

1926 年建成的美国加利福尼亚州的圣弗朗西斯坝，两年后高约 70m 的混凝土大坝被冲垮。事后查明，坝基一部分位于倾向河谷的片岩上，坝基另一部分位于粘土充填的砾岩上，砾岩含有石膏脉。水库蓄水后，砾岩中的石膏遇水溶解，砾岩中的胶结物很快崩解，渗透水流将其淘蚀冲刷，引起大坝失事。

工程地质学是随着大量的工程经验和教训，引发了人们深入地去思考与工程有关的地质问题的实质，才促进了工程地质学科的发展。

工程地质学作为一门学科的形成，起始于本世纪 20 年代，作为本学科理论基础——土力学的发端，始于 18 世纪兴起的欧洲工业革命，最初的个别理论多与解决铁路路基问题有关。如 1773 年法国的 C. A 库仑 (Coulomb) 抗剪强度理论；1869 年英国的 W. J. M 朗肯 (Rankine) 土压力理论；1885 年法国 J. 布辛奈斯克 (Boussinesq) 的弹性解答和 1922 年瑞典 W. 费伦纽斯 (Fellenius) 的土坡稳定分析法等。在长达一个多世纪的发展中，许多研究者承继前人的研究总结了实践经验，为孕育本学科的雏形而作出贡献。1925 年美国学者 K. 太沙基 (Terzaghi) 归纳发展了以往的成就，发表了《土力学》(Erdbaumechanik) 一书，接着于 1929 年又与其他作者一起发表《工程地质学》(Ingenieurgeologie) 一书。这一本比较系统完整的科学著作的出现，带动了各国学者对本学科各方面的探索。1932 年，前苏联莫斯科地质勘探学院成立了世界上第一个工程地质教研室。1936 年 B. Л. 崔托维基出版了第一本《土力学》教科书，Ф. Л. 萨瓦连斯基、H. B. 波波夫、T. H. 卡明斯基和 B. A. 洛姆塔泽等创立了较完整的工程地质学理论体系，这标志着工程地质学的诞生。另外具有代表性的是由奥地利人 J. 斯提尼 (Stini) 和 L. 缪勒 (Müller) 在 1951 年创办《地质与土木工程》杂志。1983 年法国 R. F. 勒捷特 (Legget) 出版的巨著《土木工程的地质学手册》。

50 年代初期，工程地质学才被介绍到我国。随着国家建设的发展，尤其是基础设施的兴建，例如 1957 年武汉长江大桥的建成，以及大量的工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、隧道和水利水电工程勘察，尤其是三峡巨大的水电工程勘察，促进了我国工程地质学科的发展。我国的研究者在 70 年代形成和建立了新的工程地质学理论，并著有许多专著。如 1976 年陶振宇的《水工建设中的岩石力学问题》，1976 年谷德振的《岩体工程地质力学基础》和陈宗基对岩土流变学的研究，都为研究工程岩体变形破坏机理提供了重要理论根据。石根华的《Theory of Block》(块体理论) 推动了岩体稳定的力学分析。刘国昌区域工程地质研究和胡海涛“安全岛”的思想指出了区域稳定性的研究方向。同时我国学者在黄土、红粘土等特殊土体研究领域也取得了巨大成就。

综上所述，工程地质学还是一门比较年轻的学科，还有许多的问题急待研究。虽然在我国技术分工中，工程地质勘察不是由建筑工程设计人员进行，而是由工程地质技术人员进行的。但是土木工程人员应当对于工程地质勘察的任务、内容和方法有足够的知识基础。只有具备了工程地质方面的基础知识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的成果，才能较完整地考虑建筑中的地质条件和地质环境的因素，保证合理地进行设计和施工。

本书是根据土木工程专业指导委员会的精神编写的。针对土木工程学科所涉及的工程地质理论和知识进行编排。由于本课程是在土力学和基础工程学之前开设，同时又不同于传统的地质学课程。因而，为了教学目的在第三章之前对土质学的内容要做适当的叙述。但在教材的编写中未予体现。

应结合课堂教学开出有关矿物、岩石的实验课程。要使学生掌握肉眼鉴定矿物、岩石的方法。了解各类岩石形成的条件。安排短期的野外地质认识，参观勘探现场。

本书共十章，其中前四章是阐述地质学的基本内容，后三章是介绍工程地质勘察方法的内容。中间三章则是介绍岩体工程地质问题及分析方法，对不同专业方向的学生有些内容可留待学生自学。

目 录

绪论

第一章 造岩矿物和岩石..... (1)

第一节 地球的物理性质及构造..... (1)

第二节 造岩矿物..... (5)

第三节 岩浆岩..... (13)

第四节 沉积岩..... (19)

第五节 变质岩..... (25)

第二章 地质构造..... (30)

第一节 地质作用..... (30)

第二节 地质年代..... (32)

第三节 岩层产状..... (34)

第四节 褶皱构造..... (37)

第五节 断裂构造..... (41)

第六节 地质图..... (49)

第七节 活断层..... (53)

第八节 地震..... (55)

第三章 地表水流的地质作用..... (60)

第一节 风化作用..... (60)

第二节 暂时性水流地质作用及其堆积物..... (65)

第三节 河流地质作用及其堆积物..... (70)

第四节 第四纪沉积物成因类型及地貌形态..... (75)

第四章 地下水的地质作用..... (85)

第一节 地下水的物理性质及化学成分..... (85)

第二节 地下水的类型..... (89)

第三节 岩溶及岩溶水..... (94)

第五章 岩体的工程地质性质..... (100)

第一节 岩石的力学特性..... (100)

第二节 岩体的结构特性..... (106)

第三节 岩体的工程分类..... (110)

第六章 岩质边坡稳定性分析..... (113)

第一节 岩质边坡应力分布特征..... (113)

第二节 边坡的变形与破坏..... (115)

第三节 影响边坡稳定性的因素..... (122)

第四节	边坡稳定性评价的方法·····	(123)
第五节	保护边坡稳定性的措施·····	(130)
第七章	地下洞室围岩稳定性分析·····	(131)
第一节	围岩压力·····	(131)
第二节	围岩的变形与破坏·····	(140)
第三节	围岩的承载能力·····	(142)
第四节	影响围岩稳定的因素·····	(145)
第五节	保护洞室围岩稳定措施·····	(146)
第八章	工程地质勘察方法·····	(149)
第一节	工程地质测绘·····	(149)
第二节	工程地质勘探·····	(151)
第三节	野外试验·····	(156)
第四节	现场检验与监测·····	(183)
第五节	勘察资料的内业整理·····	(186)
第九章	工业与民用建筑工程地质勘察·····	(188)
第一节	一般工业与民用建筑岩土工程勘察·····	(188)
第二节	高层建筑岩土工程勘察·····	(192)
第十章	公路及桥梁工程地质勘察·····	(195)
概述	·····	(195)
第一节	公路工程地质勘察·····	(196)
第二节	桥梁工程地质勘察·····	(198)
第三节	隧道工程地质勘察·····	(200)

第一章 造岩矿物和岩石

第一节 地球的物理性质及构造

地球是绕太阳旋转的九大行星之一。具有一定的圈层构造，其固体部分可分为地壳、地幔和地核三个圈层，外部则有水圈、大气圈和生物圈。

一、地球的外部形态

1. 地球的形状和大小

地球的形状和地表形态既是其内部物质状态及其运动的结果，也受到地球表层的水和大气的运动以及生物生命活动的重要影响。通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状。而大地水准面是平均海平面并通过大陆延伸所形成的封闭曲面。目前通过人造卫星观测及卫星轨道变化推算，获得了下列关于地球形状的数据（据 IUGG，1975）。

赤道半径 (a)	6378.140km	赤道周长	40075.24km
两极半径 (c)	6356.779km	子午线周长	40008.08km
平均半径 (a^2c) ^{1/3}	6371.012km	表面积	$5.1007 \times 10^8 \text{km}^2$
扁率 ($d = \frac{a-c}{c}$)	1/298.275	体积	$1.0832 \times 10^{12} \text{km}^3$

根据以上数据可知地球形状为扁率不大的三轴椭球体，这是地球自转的结果，说明了地球具弹塑性。又据人造卫星精密测量发现，地球南、北两半球并不对称，北极比理想椭球体突出约 10km，南极内凹约 30km，见图 1-1。

2. 地球的表面特征

固体地球表面最显著的特征是高低起伏不平，可分为陆地和海洋两大部分。陆地只占地球表面面积的 29.1% ($1.48 \times 10^8 \text{km}^2$)，海洋占 70.9% ($3.62 \times 10^8 \text{km}^2$)。

(1) 大陆表面形态

大陆上的最高点在喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰（海拔 8848.13m），最低点是约旦境内的死海（海拔为 -392m），平均高度为 875m。按照高程和起伏特征，大陆表面可分为山地、丘陵、平原、高原和盆地等地形类型。

山地指高程大于 500m、地形起伏较大、相对高差在 200m 以上的地区。按高程分为低山（海拔 500~1000m）、中山（1000~3500m）、高山（3500~5000m）和最高山（>5000m）。低于海拔 500m，相对高差在 200m 以下的高地称为丘陵。平原是面积较大

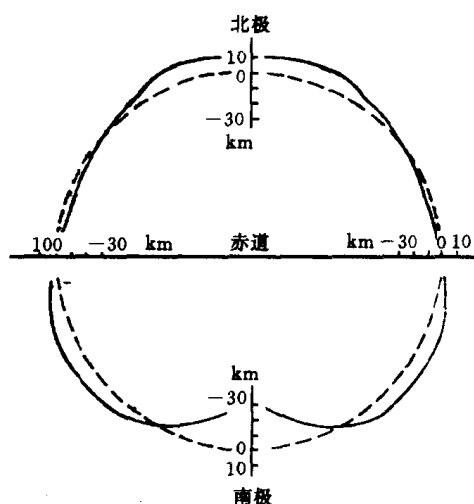


图 1-1 大地水准面（实线）和理想椭球面（虚线）

的地势平坦或地形略具起伏的地区，其内部相对高差一般不超过数十米。高原为海拔在600m以上，表面较为平坦或有一定起伏的广阔地区。

(2) 海底地形特征

海洋是由海和洋组成的。洋是远离大陆、面积宽广、深度较大的水域。海则是与陆地毗邻，位于大洋边缘并与洋有一定程度隔离的水域。

海底地形也是起伏不平的。海洋的最深处是海沟，马里亚纳海沟最深点为-11033m，海底平均深度为3729m。据海底地形特征，可分为大陆边缘，大洋盆地及大洋中脊三个大的地形单元。其中大洋盆地的面积约占海洋面积的二分之一，大洋中脊则约占三分之一。

大陆边缘为大陆至大洋深水盆地之间的地带。包括大陆架、大陆坡、大陆基，见图1-2。

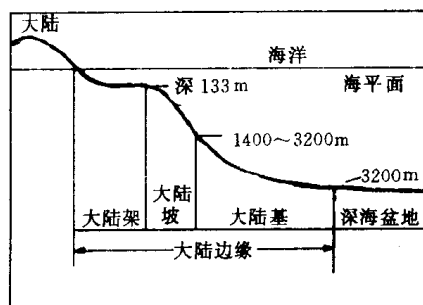


图 1-2 大陆边缘地形示意图
(垂直比例夸大)

大陆架是海与陆地接壤的浅海平台，其范围是由海岸线向外海延伸，直至海底坡度显著增大的转折处。大陆架部分海底坡度平缓，水深一般小于200m，平均为130m。宽度变化很大，平均为75km。大陆坡是位于大陆架外缘到深海海底地形明显变陡的地带，其水深一般不超过2000m，平均坡角为4.25°，平均宽度为28km。大陆基为大陆坡从坡脚处坡度逐渐变缓，到大洋盆地之间的过渡地带。由海洋沉积物组成。但太平洋中这一带不明显。

大洋盆地是介于大陆边缘及洋中脊之间的较平坦地带，一般水深为4000~6000m。大洋中脊是绵延在大洋中的海底山脉（海岭），常发生地震和地壳运动较强烈的海岭称为洋中脊。洋中脊轴部常有巨大的中央裂谷。

二、地球的物理性质

地球的物理性质包括地球内部的密度、压力、重力、地磁、弹性及地热等。

1. 重力

重力是垂直地球表面使物体向下的一种天然作用力。它实际上是地心引力和由地球自转而产生的惯性离心力的合力。由于离心力与地心引力相比相对微弱（如赤道处的离心力约为地心引力的1/289），因此可将地心引力近似当作重力。地球周围受重力影响的空间称重力场。地表上某一点的重力场强度就相当于该点的重力加速度（单位为 m/s^2 ）。由于地心引力随纬度而变化，故地表重力分布以赤道地区为最小（ $9.78m/s^2$ ），两极最大（ $9.83m/s^2$ ），平均为 $9.80m/s^2$ 。加之地下组成物质的不同以及海拔高度的差异，各地测得的重力值并不同于理论值。这种现象称为重力异常。

2. 密度和压力

用前述地球的体积除以地球的质量，便可求得地球的平均密度为 $5.516g/cm^3$ 。根据实际测定的固体地球表面岩石的平均密度为 $2.7\sim 2.8g/cm^3$ ，而覆盖地球表面达3/4的水的密度为 $1g/cm^3$ ，可以推测地球内部物质应具有比地表更大的密度。据布伦（1975）“A模型”，地壳表层的密度为 $2.7g/cm^3$ ；地内33km处为 $3.32g/cm^3$ ；2885km处密度由 $5.56g/cm^3$ 陡增至 $9.98g/cm^3$ ；至地心处达 $12.51g/cm^3$ 。密度变化显著的深度处反映出该处地球内部物质成分和存在状态有明显变化。

地内压力随深度加大,并与地内物质的密度及该处的重力有关。地下10km处压力约为304MPa,2900km处可达 1.52×10^5 MPa,地心则高达 3.55×10^5 MPa。

3. 地磁场

地球类似一个巨大的磁铁,所以在它周围空间存在着磁场,称为地磁场。地磁场是一个弱磁场,其平均磁场强度为 $0.6 \times 4\pi \times 10^{-3}$ A/m。地球上某一点的磁场强度是一个矢量,称为该点的总磁场强度(F)。总磁场强度的水平分量称为水平磁场强度(H),它的方向就是磁子午线的方向。地磁子午线与地理子午线的夹角为磁偏角。总磁场强度的垂直分量称垂直磁场强度(Z)。总磁场强度方向与水平面的交角称为磁倾角。

地磁场随时间变化,有日变化、年变化、长期性和突然性变化。地质历史时期的磁场称为古地磁。近年来人们通过研究不同时间岩石中的剩余磁性的大小和方向,从而追溯地质历史时期地磁场的特征和变化以及磁极移动情况。这一研究对解决大规模的构造运动历史、古气候及探索地球起源等问题有重要意义。

4. 地热

地热是指地球内部的热能。根据大陆地表以下地温的来源和分布状况,可以把地下温度分为三层。变温层是固体地球表层大陆上的一个温度层,温度主要来自太阳的辐射热能,它随纬度高低、海陆分布、季节、昼夜、植被等的变化而不同,该层平均深度为15m左右。常温层是指温度与当地平均温度一致的地带。增温层位于常温层以下,其热能主要来自于放射性元素蜕变产生的热能,其次是重力能、旋转能转化产生的热量。通常把每向下加深100m所升高的温度称为地热增温率(地热梯度),一般为 $0.9 \sim 5^\circ\text{C}$ 。而把温度每增高 1°C 所增加的深度称为地势增温级。两者互为倒数。

地球内部的热能除由温泉、火山、岩浆侵入活动等直接带至地表外,还可通过传导、辐射和对流等方式不断地传至地表。将单位时间内通过单位面积的热量称为地热流。热流较高的地区称为地热异常区。这些地区内常可用地下热气、热水发电(地热发电)。此外,地下热水在工农业、医疗、生活用水等方面也得到广泛应用。

5. 弹性

固体地球能传播地震波(弹性波)说明地球具有弹性。通过地震波在地球内部传播速度的变化,能确定出地球内部物质状态的变化。

三、地球的构造

1. 地球外部圈层及其主要特征

(1) 大气圈

大气圈是地球最外面的一个圈层,由包围在固体地球外面的各种气体构成。大气的主要成分有氮(体积百分比为78.10%)、氧(占21.0%)、二氧化碳(占0.03%)及水蒸气(占0~4%),并含少量尘埃微粒,总质量为 5.6×10^9 g,它主要集中在100km高度以下的范围内。大气的密度和压力随高度增高而降低。据气温的垂直变化,由下到上可将大气圈进一步划分成对流层、平流层、中间层、电离层(暖层)和逸散层。其中以对流层和平流层对地面影响较大。对流层中的氮是植物制造蛋白质的主要原料。氧是生物生命活动的重要条件,也是促进岩石等氧化分解的重要成分。位于大气圈最底部的二氧化碳主要来自有机物的氧化(燃烧)和生物的呼吸,它强烈吸收地面长波辐射并放出热量,因而对地表起着一种保温的作用,同时也是促进岩石风化分解的重要因素之一。水汽主要来自水圈的蒸

发,它润湿大气,并能吸收地面长波辐射的热能。水汽以固态物质为中心凝集成云、雾、雨、雪等,在气候变化中扮演了重要角色。对流层的温度主要来自地面辐射。对流层直接影响大气圈下的生物生长和对地球表层的改造。

平流层是自对流层顶到 50km 高空的大气层,它的特点是大气以水平移动为主,其温度基本不受地面温度影响。平流层中存在大量臭氧,臭氧吸收太阳的大量紫外辐射而使大气温度随高度增加到 0℃以上。平流层中臭氧对太阳辐射紫外线的强烈吸收构成了对生物的有效天然保护。

(2) 水圈

水圈由地球表层的水体组成,其总体积为 $14 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。其中海水占总体积的 97.2%,大陆水体占 2.8%。大陆水体中极地和高山冰川约占 78.6%,其余 21.4%为河流、湖泊、沼泽中的水以及地下水。水圈中的海水在太阳辐射能的驱使下大量蒸发,形成水蒸气进入大气圈中的对流层内,随空气对流带至大陆上空,在一定条件下便凝结成雨、雪等落到地面。落到地面的大气降水在重力作用下沿地表和地下流回海洋,构成水的循环。河流、冰川、地下水等水体在其流动过程中,不断改造地表,塑造出各种地表形态。同时水圈也为生物的生存、演化提供了必不可少的条件,因此水圈是外动力地质作用的主要动力的来源。

(3) 生物圈

生物圈是生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层。生物主要集中在地表和水圈中,特别是阳光、空气和水分充足而温度又适宜的地区。生物圈中生物和有机体总量约为 $11.4 \times 10^{12} \text{ t}$,为地壳总质量的 $1/10^5$ 。生物在其生命活动过程中,通过光合作用、新陈代谢等方式,形成一系列生物地质作用,从而改变地壳表层的物质成分和结构,如促使某些分散的元素或成分富集,并在适当条件下沉积下来形成铁、磷、煤、石油等有用矿产。

2. 地球内部圈层及主要特征

根据地球物理勘探资料,如波、重力及介质的弹性参数等,可归纳出较为完善的地球内部圈层结构模式。据实测,地内有两个明显的地震波波速不连续面,第一个界面位于 5~60km 深处,大陆部分平均深 33km,大洋区平均为 11~12km。在界面附近,纵波速度 V_p 由 7.6km/s 突增至 8.1km/s,横波速度 V_s 由 4.2km/s 突变为 4.6km/s。此界面由南斯拉夫学者 A. 莫霍洛维奇于 1909 年发现,故称为“莫霍洛维奇不连续面”,简称“莫霍面”。另一明显界面位于 2885km 深处,是美国学者 B. 古登堡于 1914 年发现的,称为“古登堡不连续面”,简称“古登堡面”。地震波穿过此界面时, V_p 由 13.64km/s 变为 7.98km/s, V_s 由 7.23km/s 突然消失。根据这两个界面将地球内部由地表至地心分为地壳、地幔和地核三个主要圈层,见图 1-3。再据一些次一级界面还可将地幔、地核进一步划分为上地幔、下地幔、外地核、过渡层及内地核等几个圈层。

(1) 地壳

地壳是莫霍面以上固体地球的表层部分,平均厚度约为 16km,为地球半径的 $1/400$ 。地壳体积占地球总体积的 1.55%,占总质量的 0.8%。大陆地壳和大洋地壳在结构及演变历史上均有明显差异。大陆地壳具有上部为硅铝层

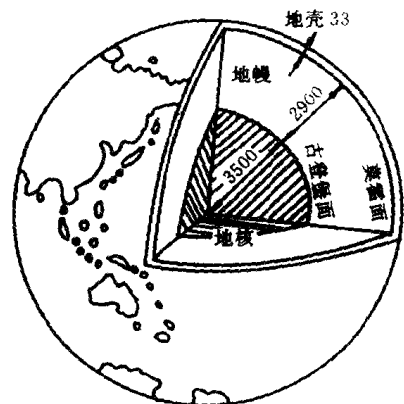


图 1-3 地球内部圈层
(厚度单位: km)

(花岗岩质层)、下部为硅镁层(玄武岩质层)的双层结构。硅铝层的 V_P 为 $6.0\sim 6.2\text{km/s}$, 密度为 $2.6\sim 2.7\text{g/cm}^3$, 一般厚 $15\sim 20\text{km}$ 。硅镁层的 V_P 为 $6.4\sim 7.8\text{km/s}$, 密度为 3.3g/cm^3 , 厚度为 $15\sim 20\text{km}$ 。大洋地壳厚度较薄, 平均仅 $5\sim 6\text{km}$, 一般缺乏硅铝层, 硅镁层直接出露于洋底。

组成地壳的化学元素有百余种, 但各元素的含量极不均匀, 其中最主要的是下列几种, 它们占地壳总质量的 99.96% 。

氧 (O)	46.95	硅 (Si)	27.88	铝 (Al)	8.13	铁 (Fe)	5.17
钙 (Ca)	3.65	钠 (Na)	2.78	钾 (K)	2.58	镁 (Mg)	2.06
钛 (Ti)	0.62	氢 (H)	0.14				

其余的是磷、锰、氮、硫、钡、氯等近百种元素。地壳中的化学元素常随环境的改变而不断地变化。元素在一定地质条件下形成矿物, 矿物的自然集合体则是岩石。组成地壳的岩石按成因可分为岩浆(火成)岩、沉积岩、变质岩。有关矿物、岩石的内容将在下面几节阐述。

(2) 地幔

地幔是地球的莫霍面以下、古登堡面以上部分, 厚约 2900km , 其体积约占地球总体积的 82.3% , 质量占 67.8% 。是地球的主体部分, 主要由固态物质组成。以 650km 为界, 分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔的平均密度为 3.5g/cm^3 , 顶部 V_P 为 8.0km/s , 与地壳有明显差别。根据密度、波速资料、与陨石对比以及对火山喷出物内发现的只能形成于地幔中的岩石的分析, 上地幔的物质成分是由含铁、镁多的硅酸盐矿物组成的, 与超基性岩类似。对地幔中地震波传播特征的研究发现, 在 $60\sim 250\text{km}$ 处存在“低速带”, 尤其是 $100\sim 150\text{km}$ 深度处波速降低得最多。一般认为低速带是由于该带内温度增高至接近岩石的熔点, 但尚未熔融的物态引起的。又据低速带内有些区域不传播横波, 推断这些区域的温度已超过岩石熔点形成液态区。由于低速带距地表很近, 这些液态区很可能是岩浆的发源地。鉴于低速带的塑性较大, 它为上部固态岩石的活动创造了有利的条件, 故在构造地质学中称其为软流圈。而将软流圈以上的上地幔和地壳合称为岩石圈。下地幔地震波速平缓增加, 密度已达 5.1g/cm^3 。一般认为其物质成分虽然仍以铁、镁的硅酸盐为主, 但相当于超基性岩的超高压相矿物组成的岩石。

(3) 地核

地核是地球内自古登堡面至地心的部分, 其厚度为 3473km , 占地球总体积的 16.2% , 总质量的 31.4% 。按地震波速分布, 分为外核、过渡层和内核三层。外核分布于 $2885\sim 4170\text{km}$ 之间, 平均密度约 10.5g/cm^3 , 根据横波不能通过外核的事实, 推断外核是由液态物质组成的。分布于 $4170\sim 5155\text{km}$ 之间的过渡层, 波速变化复杂, 可能是由液态开始向固态物质转变的一个圈层。内核为 5155km 至地心部分, 由以铁、镍等成分为主的固态物质组成。

第二节 造 岩 矿 物

地壳中的矿物, 是指在各种地质作用中所形成的天然单质元素或化合物。它们具有一定的化学成分和内部结构, 从而有一定的外部形态、物理性质和化学性质。绝大多数矿物

为固态，只有极少数呈液态（自然汞）和气态（如火山喷气中的 CO_2 、 SO_2 等）。已发现的矿物有 3000 多种，但组成岩石的主要矿物仅 30 余种，这些组成岩石的主要矿物称为造岩矿物，如石英、方解石及正长石等。

一、矿物的形态

矿物的形态是指矿物单体及同种矿物集合体的形态而言的。矿物形态受其内部结构、化学成分和生成时的环境制约。

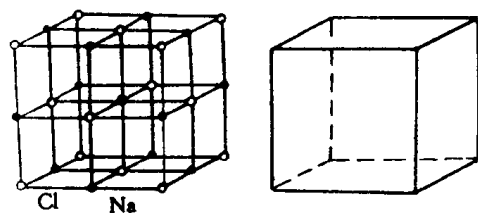


图 1-4 岩盐的晶体构造

（一）矿物单体形态

1. 结晶质和非结晶质矿物

造岩矿物绝大部分是结晶质，其基本特点是组成矿物的元素质点（离子、原子或分子）在矿物内部按一定的规律重复排列，形成稳定的结晶格子构造（图 1-4）。具有结晶格子构造的物质叫做结晶质。结晶质在生长过程中，若无外界条件限制、干扰，则可生成

被若干天然平面所包围的固定几何形态。这种有固定几何形态的晶质称为晶体，如岩盐呈立方体，水晶呈六方柱和六方锥等，见图 1-5。在结晶质矿物中，还可根据肉眼能否分辨而分为显晶质和隐晶质两类。

非晶质矿物内部质点排列没有一定的规律性，所以外表就不具有固定的几何形态，例如蛋白石（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）、褐铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）等。非晶质可分为玻璃质和胶质两类。

2. 矿物的结晶习性

在相同条件下生长的同种晶粒，总是趋向于形成某种特定的晶形的特性叫做结晶习性。

尽管矿物的晶体多种多样，但归纳起来，根据晶体在三度空间的发育程度不同，可分为以下三类。

（1）一向延长：晶体沿一个方向特别发育，其余两个方向发育差，呈柱状、棒状、针状、纤维状等，如角闪石和辉石（图 1-5）、石棉、纤维石膏、文石等。

（2）二向延长：晶体沿两个方向发育，呈板状、片状、鳞片状等。如板状石膏（图 1-5）、云母、绿泥石等。

（3）三向延长：晶体在三度空间发育，呈等轴状、粒状等。如岩盐（图 1-4）、黄铁矿、石榴子石等（图 1-5）。

（二）矿物集合体形态

同种矿物多个单体聚集在一起的整体就

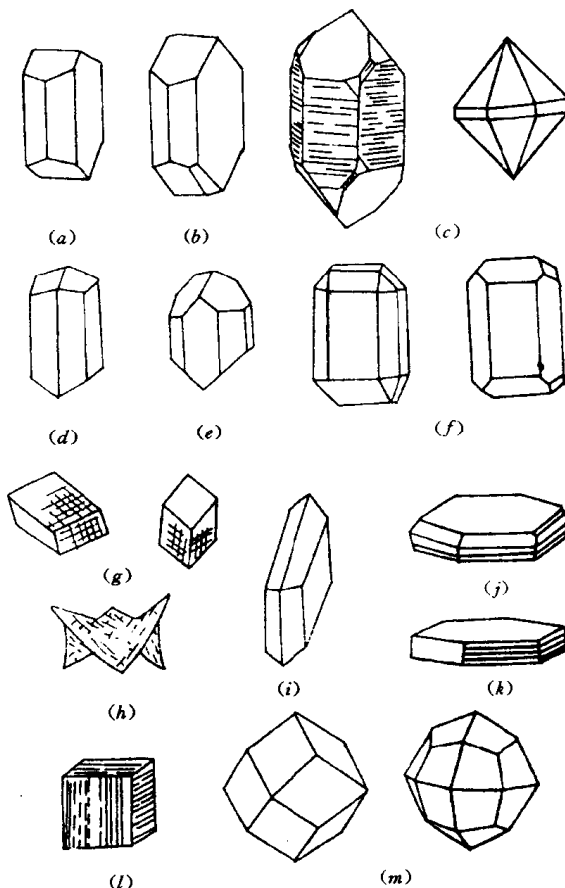


图 1-5 常见矿物晶体的形态

(a) 正长石；(b) 斜长石；(c) 石英；(d) 角闪石；
(e) 辉石；(f) 橄榄石；(g) 方解石；(h) 白云石；
(i) 石膏；(j) 绿泥石；(k) 云母；(l) 黄铁矿；
(m) 石榴子石

是矿物集合体。矿物集合体的形态取决于单体的形态和它们的集合方式。集合体按矿物结晶粒度大小进行分类，肉眼可辨认其颗粒的叫显晶矿物集合体，肉眼不能辨认的则叫做隐晶质或非晶质矿物集合体。

显晶集合体形态有规则连生的双晶集合体，如接触双晶和穿插双晶以及不规则的粒状、块状、片状、板状、纤维状、针状、柱状、放射状、晶簇状等。其中晶簇（图 1-6）是以岩石空洞洞壁或裂隙壁作为共同基底而生长的晶体群。

隐晶和胶态集合体可以由溶液直接沉积或由胶体沉积生成。主要形态有球状、土状、结核体、鲕状、豆状、分泌体、钟乳状、笋状集合体等。其中结核体是围绕某一中心自内向外逐渐生长而成，钟乳状集合体通常是由真溶液蒸发或胶体凝聚，由同一基底逐层堆积而成，可成葡萄状、肾状、石钟乳状等。分泌体是在形状不规则或球状孔洞中，胶体或晶质矿物由洞壁向中心逐层沉淀填充而成。

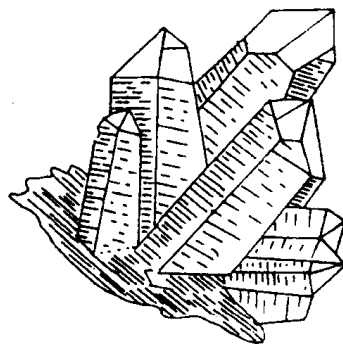


图 1-6 石英晶簇

二、矿物的物理性质

由于成分和结构的不同，每种矿物都有自己特有的物理性质。所以矿物物理性质是鉴别矿物的主要依据。

1. 颜色

颜色是矿物对不同波长可见光吸收程度不同的反映。它是矿物最明显、最直观的物理性质。据成色原因可分为自色和它色等。自色是矿物本身固有的成分、结构所决定的颜色，具有鉴定意义，例如黄铁矿的浅铜黄色。它色则是某些透明矿物混有不同外来带色杂质或其它原因引起。常以标准色谱的红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫以及白、灰、黑来说明矿物颜色，也可以依最常见的实物颜色来描述矿物的颜色，如砖红色、桔黄色、橄榄绿色等。

2. 条痕

条痕是矿物粉末的颜色，一般是指矿物在白色无釉瓷板（条痕板）上划擦时所留下的粉末的颜色。某些矿物的条痕与矿物的颜色是不同的，如黄铁矿的颜色为浅黄铜色，而条痕为绿黑色。条痕色去掉了矿物因反射所造成的色差，增加了吸收率，扩大了眼睛对不同颜色的敏感度，因而比矿物的颜色更为固定，但只适用于一些深色矿物，对浅色矿物无鉴定意义。

3. 透明度

透明度是指矿物透过可见光波的能力，即光线透过矿物的程度，透明度受厚度影响，故一般以 0.03mm 的规定厚度作为标准进行对比。肉眼鉴定矿物时，一般可分成透明、半透明、不透明三级。这种划分无严格界限，鉴定时用矿物的边缘较薄处，并以相同厚度的薄片及同样强度的光源比较加以确定。

4. 光泽

光泽是矿物表面的反光能力。根据矿物表面反光程度的强弱，用类比方法常分为四个等级：金属光泽，反光很强，犹如电镀的金属表面那样光亮耀眼；半金属光泽，比金属的亮光弱，似未磨光的铁器表面；金刚光泽及玻璃光泽。另外，由于矿物表面不平、内部裂纹，或成隐晶质和非晶集合体等，可形成某种独特的光泽，如丝绸光泽、油脂光泽、蜡状光泽、珍珠光泽、土状光泽等。矿物遭受风化后，光泽强度就会有不同程度的降低，如玻