

高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材

工 程 岩 土 学

主编 李 晶 尹洪峰
主审 李 波

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 李晶, 尹洪峰 2006

图书在版编目 (CIP) 数据

工程岩土学 / 李晶, 尹洪峰主编. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2006.8

(高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材)

ISBN 7-81102-297-4

I. 工... II. ①李... ②尹... III. ①道路工程: 岩土工程—教材 ②桥梁工程: 岩土工程—教材 IV. U4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 091085 号

出 版 者 : 东北大学出版社

地址 : 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编 : 110004

电话 : 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真 : 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail : neuph @ neupress.com

http : // www. neupress. com

印 刷 者 : 沈阳市第六印刷厂

发 行 者 : 东北大学出版社

幅面尺寸 : 184mm × 260mm

印 张 : 14.5

字 数 : 380 千字

出版时间 : 2006 年 8 月第 1 版

印刷时间 : 2006 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑 : 刘乃义 刘宗玉 张德喜

责任校对 : 李 莉

封面设计 : 唐敏智

责任出版 : 秦 力

定 价 : 35.00 元

序 言

辽宁省交通高等专科学校道路桥梁工程技术专业，已有 55 年的办学历史，具有深厚的专业积淀，培养了大批道路桥梁工程技术专业人才。

为了进一步适应公路交通行业发展的需求，我校在广泛深入调研的基础上，从 1999 年开始，进行了面向施工一线的教育教学改革，将道路桥梁工程技术专业特色定位为“精施工、懂设计、会管理”。2002 年，该专业被教育部确定为高等职业教育教学改革试点专业，同年，辽宁省交通厅以教学科研项目立项，资助该专业深入开展教育教学改革和建设研究，有力地推动了专业人才培养水平的提高。2005 年，该专业被辽宁省教育厅确定为示范专业。

高等职业教育专业教学改革和建设，核心是课程改革和建设。课程改革和建设的重点是教学内容的改革和建设，教材建设是最重要的方面，要充分体现应用性、先进性和实践性，兼顾现实应用能力与技术跟踪能力的培养，使教学内容与一线实际和今后发展接轨。正是出于上述考虑，我校道桥专业的教师及有关工程技术专家编写出这套专业规划教材。

这套规划教材的出版是课程改革和建设思想探索与实践的成果，是全体专业教师、工程技术专家、一线技术人员共同劳动的结晶，同时也为今后进行更深入的课程改革和建设，打下了很好的基础。

这套规划教材适用于道路桥梁工程技术专业，也可供相关专业选用，希望这套书能被多所院校所采用，供大家借鉴，并得以推广，使其发挥更大作用。

辽宁省交通高等专科学校校长



2006 年 5 月

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，不同层次的高等学校培养人才的目标较以前有了较大的改变，一些面向工程一线的高等职业技术教育逐渐发展起来，这就要求课程的设置也要有相当大程度的改变。为适应专业建设的需要，我们把道路与桥梁施工专业的工程地质课、土质学与土力学课程合并为岩土工程课程，为此特编写此教材。

本教材从内容和难度上充分考虑了高职高专学生的知识基础和道桥专业的要求，结合道桥专业的知识体系，尽量做到与道桥主干专业课相衔接，为基础工程和路基路面工程、桥梁工程、公路勘测设计等课程提供必要的相关知识，使学生在掌握工程岩土基本理论的基础上，具备工程地质条件的分析判断、岩土工程性质分析的能力，具备土工试验和岩土工程勘察的技能。

本门课程的先修课程为工程力学和测量学。

全书共 12 章，由辽宁交通高等专科学校李晶和长春工程学院尹洪峰编著，由辽宁交通高等专科学校李波审阅。具体分工为：导言、第 1 章至第 6 章、第 10 章由李晶编写，第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章由尹洪峰编写。

由于时间仓促，本书中肯定会有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 2 月

目 录

导 言.....	1
第 1 章 造岩矿物和岩石.....	4
1.1 地球概况	4
1.2 造岩矿物	7
1.3 岩 石.....	10
1.4 岩石的工程地质性质.....	20
复习思考题	29
第 2 章 地质构造	30
2.1 地质作用.....	30
2.2 地质年代.....	32
2.3 岩层产状.....	35
2.4 褶皱构造.....	37
2.5 断裂构造.....	39
2.6 地质图.....	43
复习思考题	48
第 3 章 地貌和地下水	49
3.1 地貌概述.....	49
3.2 山岭地貌.....	52
3.3 平原地貌.....	55
3.4 河谷地貌.....	57
3.5 地下水.....	60
复习思考题	64
第 4 章 常见不良地质现象	66
4.1 崩 塌.....	66
4.2 滑 坡.....	67
4.3 泥石流.....	74
4.4 岩 溶.....	77

复习思考题	79
第 5 章 土的组成与结构	80
5.1 土的三相组成.....	80
5.2 土的成分.....	83
5.3 土中的水.....	90
5.4 土的结构.....	91
复习思考题	94
第 6 章 土的工程性质	95
6.1 土的物理性质.....	95
6.2 土的水理性质	103
6.3 土的工程分类	110
复习思考题.....	116
第 7 章 土中的应力.....	117
7.1 概 述	117
7.2 自重应力	118
7.3 附加应力	119
复习思考题.....	126
第 8 章 土体的变形与地基沉降计算.....	127
8.1 土体的压缩变形	127
8.2 地基最终沉降量的计算	131
复习思考题.....	134
第 9 章 土体的强度与稳定性	136
9.1 土体的强度	136
9.2 地基容许承载力的确定	138
9.3 土压力	148
9.4 土坡稳定分析	154
复习思考题.....	157
第 10 章 土在动荷载下的力学性质	158
10.1 土的压实性.....	158
10.2 土在动荷载下的力学性质.....	166
10.3 砂土振动液化.....	171
复习思考题.....	174

第 11 章 特殊土简介	175
11.1 软 土.....	175
11.2 黄 土.....	178
11.3 膨胀土.....	180
11.4 盐渍土.....	183
11.5 冻 土.....	186
复习思考题.....	192
第 12 章 岩土工程勘察	193
12.1 岩土工程勘察的基本任务.....	193
12.2 岩土工程勘察的基本方法.....	196
12.3 岩土工程勘察的基本要求.....	210
12.4 岩土工程勘察成果报告.....	216
复习思考题.....	217
附 录.....	218
参考文献.....	221

导 言

《工程岩土学》是道路与桥梁工程专业的技术基础课程之一，与普通课及其他技术基础课有着某些知识之间的相互关联和渗透，对专业课的学习起着铺垫作用。它是专门针对高职教育的一门知识面较宽、实践性较强的多学科的课程，是为工程建设研究岩石和土的成分、结构、构造和工程地质性质的科学。位于地壳表层的岩体和土体在工程建设中往往作为建筑基础和建筑材料以及边坡工程和地下洞室的环境，所以土木工程技术人员必须具备工程岩土的基础知识与实践技能。本课程包含地质学、土质学及土力学等有关学科中的基础知识和技能，本书将分地质、土质及土力学几部分来讨论。

下面简单介绍一下本课程涉及的各门学科的内容和发展情况。

地质学

地质学是一门研究地球的科学，但就目前的研究水平，其主要研究对象还只能是地球的壳层——地壳。其研究内容包括地壳的物质组成、地壳的结构构造、地壳的发展历史及其各种地质作用、地壳中矿产的形成和分布规律，等等。简言之，地质学是一门为开发地下矿产资源和服务于国民经济建设、造福于人类的自然科学。

地质学作为一门独立的科学，是 18 世纪下半叶至 19 世纪 30 年代才逐渐形成的，至今已派生出许多分支学科。在理论地质学方面，有研究地壳物质组成的矿物学和岩石学，有研究各种地质作用的动力地质学，有研究地壳变动的构造地质学，有研究地质历史的地史学，以及地层学、矿床学，等等。在应用地质学方面，随着人类经济活动和科学技术的发展，也形成了一些独立的学科，如石油地质学、海洋地质学、煤田地质学、水文地质学、工程地质学，等等。

同时，由于数学、物理学、化学、天文学以及生物学的原理和方法逐渐应用到地质学领域，又形成了一些跨门类的边缘学科，如天体地质学、地球物理学、地球化学、地质力学、数学地质学、环境地质学等。

本课程主要涉及的地质学内容如下。

① 岩石学。主要介绍矿物的物理性质；常见的造岩矿物及其鉴定特征；三大类岩石的成因、产状、结构、构造、成分、常见岩性以及岩石的工程性质。

② 地质构造。主要介绍岩层及地质年代；褶皱构造和断裂构造的要素、类型、判别和工程性质等。

③ 地貌和地下水。主要介绍地貌的形成和发展、分级分类，平原地貌、山岭地貌、河谷地貌等的特征及工程性质，地下水的一般特征。

④ 不良地质现象。主要介绍与公路工程有关的崩塌、滑坡、泥石流、岩溶等的基本概念、形成条件以及预防措施。

土质学及土力学

土质学属于地质学科的一个分支,它是从土的成因出发,研究土的物理、化学性质和影响土的性质变化的主要原因,并根据土的主要工程特性进行科学的分类。土力学属于工程力学的一个分支,它是从土的力学性能(或称工程特性,包括土的压缩性、渗透性和抗剪强度)角度,研究土在外荷载作用下引起的力学方面的变化规律,讨论地基的承载力、基础的沉降量和作用在建筑物上的土压力等工程实际问题。由于土的非均质性、各向异性、因地而异,因此土力学有其学科特点:综合性强,经验性强。人们必须通过建立多种力学模型,并借助大量土工试验来获取对工程实践有用的计算参数或经验公式,因此土力学又是一门实践性很强的学科。

土质学作为一门独立学科,始于20世纪。早期土质学的著作,如П.Риклонский的《土质学》和Денисов的《黏性土的工程性质》,系统地论述了土质学的基本原理,为土质学的进一步发展奠定了基础,也对我国土的研究有很大的影响。近代的著作,如黄文熙的《土的工程性质》和Mitchell的《Fundamentals of Soil Behavior》代表了从两个不同角度深入研究土的工程性质所达到的新水平。土质学是一门综合性学科,由于土的性质很复杂,目前许多理论尚待今后发展和完善。

土力学,始于18世纪兴起了工业革命的欧洲。1773年,法国的库仑(Coulomb)发表了著名的砂土抗剪公式和土压力的滑楔理论。其后,英国的朗金(Rankine, 1869)又从强度理论方面提出了与库仑结果相同且能应用于黏性土中的土压力理论。此外,法国的布辛奈斯克(Boussinesq, 1885)得出了半无限弹性体在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解答;法国的达西(Darcy, 1856)通过水在砂土中的渗流试验,建立了达西定律;瑞典的费伦纽斯(Feelenius, 1922)为解决铁路塌方问题,提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法,为土力学成为一门独立学科奠定了初步的理论基础。

1925年,美国著名的土力学家太沙基(Terzaghi)的专著《土力学》问世,使土力学成为一门独立的学科。1936年,国际土力学和基础工程学会成立,并举行了第一次国际学术会议,以后每隔四年召开一次,至今已召开了数十次国际会议。每年还有若干次专题讨论会,提出了大量的论文和研究成果报告,使土力学得到了快速发展。特别是现代科技成就,尤其是电子技术渗入到了土力学基础工程的研究领域,使其在基本理论、计算方法、实验技术及设备等诸方面都得到了革命性的发展。基本理论方面,如岩土本构关系的研究,将各种应力—应变—时间的非线性模型应用于实际问题;在计算方法方面,广泛采用计算机,用数值计算方法,如有限元法、差分法等,解决了以往无法解决的复杂边界和初始条件以及不均匀土层问题;在实验技术和设备方面,采用静、动三轴仪,离心模型机,触探仪和旁压仪等,广泛用计算机程序控制试验过程,并自动采集和加工试验数据。

本课程主要涉及的土质与土力学内容如下。

① 土的组成和结构。主要介绍土的固、液、气三相组成,土的颗粒特征,土中水的存在形式,土的结构等基础知识。

② 土的工程性质。主要介绍土的物理性质指标及换算,土的毛细性、渗透性及土的稠度和塑性,土的工程分类等知识。

③ 土中应力计算。主要介绍地基土的自重应力和建筑物荷载下的附加应力的计算方法。

④ 土体的变形和地基沉降计算。主要介绍土体的压缩变形性和地基沉降的常用计算方法。

⑤ 土体的强度与稳定性。主要介绍土体强度的概念，库仑定律，极限平衡理论；地基容许承载力的确定；土压力的计算及土坡稳定分析。

⑥ 土在动荷载下的力学性质。主要介绍土的压实特性，土在动荷载下的力学性质，砂土液化的一般知识。

⑦ 特殊土简介。主要介绍软土、黄土、膨胀土、盐渍土、冻土的一般特性以及工程处治措施。

⑧ 工程岩土勘察。主要介绍工程岩土勘察的基本任务、方法、要求以及编写成果报告等内容。

第 1 章 造岩矿物和岩石

1.1 地球概况

地球是沿着近似圆形轨道绕太阳旋转的九大行星之一。它的形状、大小及其运转和物理、化学等方面的基本原理和基本数值，是地质学理论发展的基础，也是人类工程活动和工程计算中不可忽视的重要依据。

1.1.1 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。

赤道半径 a	6378.140km	极半径 b	6356.755km
平均半径	6371.004km	扁率 $d = (a - b) / b$	1/298.257
赤道周长	40075.04km	子午线周长	40008.08km
表面积	$5.11 \times 10^8 \text{km}^2$	体积	$1.083 \times 10^{12} \text{km}^3$

通过人造卫星从外观上看地球，其大地水准面酷似一个北极略为凸起，南极略为凹陷的梨形。因此地球可以概括为“梨状三轴旋转椭球体”。

1.1.2 地球的物理性质

(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做重力，地球周围受重力影响的空间称为重力场，地表上某一点的重力场强度就相当于该点的重力加速度。由于地心引力随纬度而变化，因此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近海拔高度的差异，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

用地球的质量除以地球的体积便可求得地球的平均密度为 5.51g/cm^3 。根据实际测定，固体地球表面岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{g/cm}^3$ ，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。根据布伦(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 9.989g/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的变化。

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,所以在它的周围空间存在着磁场,称为地磁场。地球上某一点的磁场强度,称为该点的总磁场强度(F),总磁场强度是一个矢量。它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称为磁偏角。总磁场强度的垂直分量称为垂直磁场强度(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、长期变化和突然性变化。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性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所产生的温度称为地热增温率(地热梯度),一般为 $0.9 \sim 5^\circ\text{C}$,而把温度每升高 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。地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了广泛应用。

(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。

1.1.3 地球的构造

(1) 地球外部圈层

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%)以及水蒸气,并含少量尘埃微粒。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。根据气温的垂直变化,由下至上可将大气圈进一步划分为对流层、平流层、电离层(暖层)和扩散层,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。水蒸气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。水蒸气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,其温区基本不受地面温度的影响。平流层中存在大量臭氧,臭氧吸收太阳的大量紫外线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 $14 \times 10^8 \text{ km}^3$,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。水圈中水可以构成一个水循环,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。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物总量约为 $11.4 \times 10^{12} \text{ t}$,为地壳总质量的 $1/40^5$ 。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

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,地震波速度突然增加,此界面由南斯拉夫学者莫霍洛维奇 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,纵波急剧下降,横波突然消失。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。

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(花岗岩质层)、下部为硅镁层(玄武岩质层)的双层结构,厚度为 15~20km。大洋地壳厚度较薄,平均仅 5~6km,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,依次为氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛、氢,它们占地壳总质量的 99.96%,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、古登堡面以上的部分,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 60~250km 处

存在“低速带”，尤其是100~150km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 $5.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。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2885~4170km之间，平均密度约 $10.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。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4170~5155km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至地心的部分，由以铁、镍等成分为主的固态物质组成。

1.2 造岩矿物

1.2.1 矿物的概念

地壳中的矿物，是指在各种地质作用中所形成的具有一定化学成分和物理性质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)。矿物是构成岩石的基本单元。目前自然界已发现的矿物有3300多种，常见的矿物有200多种，其中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、方解石以及正长石等。

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。各种矿物常具有不同的形态，常见的几种单体和集合体形态有：片状，如云母；放射状，如电气石；板状，如石膏；柱状，如角闪石；结核状，如褐铁矿；纤维状，如石棉；鲕状或肾状，如赤铁矿；鳞片状，如石墨。矿物的外形特征和物理性质常常是化学成分和内部构造的反映，是矿物的重要鉴定依据。

1.2.2 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，所以矿物的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。据成色原因可分为如下几种。

① 自色。自色是矿物本身固有的成分结构所决定的颜色，具有固定性，因此具有鉴定意义。

② 他色。他色是某些透明矿物混有不同外来带色杂质或其他原因引起的，与矿物本身成分无关，随混入物的不同而不同，无鉴定意义。

③ 假色。假色是由于物理原因(主要是光的内反射、内散射、干涉等)所引起的颜色,对某些矿物有鉴定意义。

矿物颜色繁多,鉴别时要求简明、通俗,主次分明(前次后主),一般用标准色谱的红、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、橘黄色、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) 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,可将光泽分为如下四个等级。

- ① 金属光泽。反光很强,犹如电镀的金属表面那样光亮耀眼,如黄铁矿、方铅矿等。
- ② 半金属光泽。比金属的亮光弱,似未磨光的金属表面的光亮,如磁铁矿、辰砂等。
- ③ 金刚光泽。像金刚石、宝石磨光面的光亮,如金刚石。
- ④ 玻璃光泽。像平板玻璃面的光亮,如方解石、长石等。

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,如丝绢光泽、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,如玻璃光泽变为油脂光泽等。

(4) 解理和断口

矿物在外力作用(敲打或挤压)下,严格沿着一定方向破裂成光滑平面的性质称为解理。这些平面叫解理面。根据解理产生的难易程度,可将矿物的解理分成如下五个等级。

- ① 极完全解理。解理面极完好,平坦而极光滑矿物晶体和劈成薄片,如云母等。
- ② 完全解理。矿物晶体容易劈成小的规整的碎块或厚板块,解理面完好、平坦、光滑,如方解石等。
- ③ 中等解理。破裂面不甚光滑,往往不连续,如辉石等。
- ④ 不完全解理。一般难发现解理面,偶尔可见小而粗糙的解理面。

不同种类的矿物,由于其解理发育程度不同,有些矿物无解理,有些矿物有一组或数组程度不同的解理,如云母有一组解理,长石有两组解理,方解石则有三组解理。

如果矿物受外力作用,无固定方向破裂成各种凹凸不平的断面,如贝壳状、参差状等,则叫做断口。

(5) 硬度

硬度是指矿物抵抗外力的刻划、压入或研磨等机械作用的能力。这里只介绍刻划硬度,它是矿物对外来刻划的抵抗能力,是组成矿物的原子间连接力强弱的一种表现。在鉴定矿物时,常用一些矿物互相刻划比较来测定其相对硬度,一般用 10 种矿物,分为 10 个相对等级作为标准,称为摩氏硬度计。见表 1-1。

野外鉴别时可以用常见的物品来大致测定矿物的相对硬度。如指甲硬度为 2~2.5,玻璃约为 5.5~6,小刀为 5~5.5,钢刀为 6~7。

(6) 其他性质

相对密度、磁性、发光性、放射性、弹性、挠性、脆性等对于鉴定某些矿物有时也是十分重要的。

表 1-1

摩氏硬度计表

① 石英	⑥ 正长石
② 石膏	⑦ 石英
③ 方解石	⑧ 黄玉
④ 萤石	⑨ 刚玉
⑤ 磷灰石	⑩ 金刚石

1.2.3 常见的造岩矿物

常见的造岩矿物及其物理性质，见表 1-2。

表 1-2

常见的造岩矿物物理性质简表

矿物名称及化学成分	形 状	物理性质				主要鉴定特征
		颜色	光泽	硬度	解理、断口	
石英 SiO_2	六棱柱状或双锥状、粒状、块状	无色、乳白或其他色	玻璃光泽、断口为油脂光泽	7	无解理，贝壳状断口	形状，硬度
正长石 $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	短柱状、板状、粒状	肉色、浅玫瑰或近于白色	玻璃光泽	6	二向完全解理，近于正交	解理，颜色
斜长石 $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	长柱状、板条状	白色或灰白色	玻璃光泽	6	二向完全解理，斜交	颜色，解理面有细条纹
白云母 $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} \text{I}(\text{OH})_2]$	板状、片状	无色、灰白至浅灰色	玻璃或珍珠光泽	2~3	一向极完全解理	解理，薄片有弹性
黑云母 $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10} \text{I}(\text{OH})_2]$	板状、片状	深褐、黑绿至黑色	玻璃或珍珠光泽	2.5~3	一向极完全解理	解理，颜色，薄片有弹性
角闪石 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	长柱状、纤维状	深绿至黑色	玻璃光泽	5.5~6	二向完全解理，交角近 56°	形状
辉石 $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$	短柱状、粒状	褐黑、棕黑至深黑色	玻璃光泽	5~6	二向完全解理，交角近 90°	形状
橄榄石 $(\text{Fe}, \text{Mg})_2[\text{SiO}_4]$	粒状	橄榄绿、淡黄绿色	油脂或玻璃光泽	6.5~7	通常无解理，贝壳状断口	颜色，硬度

续表 1-2

矿物名称及化学成分	形 状	物理性质				主要鉴定特征
		颜色	光泽	硬度	解理、断口	
方解石 CaCO_3	菱面体、块状、粒状	白、灰白或其他色	玻璃光泽	3	三向完全解理	解理，硬度，遇盐酸强烈起泡
白云石 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$	菱面体、块状、粒状	灰白、淡红或淡黄色	玻璃光泽	3.5~4	三向完全解理，晶面常弯曲呈鞍状	解理，硬度，晶面弯曲，遇盐酸起泡微弱
石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	板状、条状、纤维状	无色、白色或灰白色	玻璃或丝绢光泽	2	一向完全解理	解理，硬度，薄片无弹性和挠性
高岭石 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	鳞片状、细粒状	白、灰白或其他色	土状光泽	1	一向完全解理	性软，黏舌，具可塑性
滑石 $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	片状、块状	白、淡黄、淡绿或浅灰色	蜡状或珍珠光泽	1	一向完全解理	颜色，硬度，触抚有油腻感
绿泥石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}[\text{Si}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	片状、土状	深绿色	珍珠光泽	2~2.5	一向完全解理	颜色，薄片无弹性有挠性
蛇纹石 $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	块状、片状、纤维状	淡黄绿、淡绿或淡黄色	蜡状或丝绢光泽	3~3.5	无解理，贝壳状断口	颜色，光泽
石榴子石 $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr})_2[\text{SiO}_4]_3$	菱形十二面体、二十四面体、粒状	棕、棕红或黑红色	玻璃光泽	6.5~7.5	无解理，不规则断口	形状，颜色，硬度
黄铁矿 FeS_2	立方体、粒状	浅黄铜色	金属光泽	6~6.5	贝壳状或不规则断口	形状，颜色，光泽

1.3 岩 石

1.3.1 岩石的概念

岩石是地壳发展过程中，由一种或多种矿物组成，在成分和结构上具有一定规律的集合体。由一种矿物组成的岩石叫单矿岩，如橄榄岩主要由橄榄石构成；由多种矿物组成的岩石叫复矿岩，如花岗岩是由长石、石英、角闪石和黑云母多种矿物组成的。

岩石是构成地壳的最基本单位。按其成因，可将地壳的岩石分为三大类：岩浆岩类、沉积岩类和变质岩类。根据地球发展的历史，一般认为地壳最初由岩浆冷凝而成，把岩浆岩称为原生岩石。而后，有了大气和水，在地质外力作用下形成了沉积岩。已经形成的岩浆岩和沉积岩又在内动力地质作用下，导致成分和结构上的变化而形成变质岩。因此，沉积岩和