



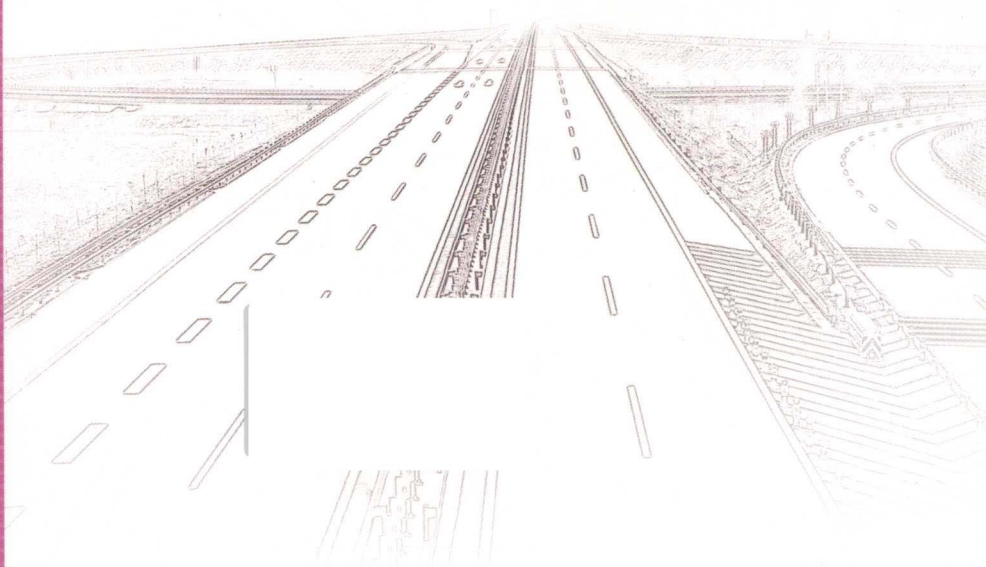
“十二五” 高等教育规划教材

L
LUJI GONGCHENG



路基工程

主编 李东侠
主审 徐光华



U213.1
15

“十二五”高等教育规划教材

路基工程

主 编 李东侠
副主编 张 伟 金鹏涛
参 编 付德才 刘玉欣
主 审 徐光华



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书根据教育部对高等教育的教学要求及最新的相关国家标准和行业标准编写而成, 主要介绍工程地基学的基础知识和铁路路基的构造、设计、施工及维护等内容。全书共分两篇, 第一篇为工程地质基础, 主要讲述工程地质学的基础知识, 包括矿物与岩石、地质构造、地质作用及地下水, 使学生对与路基工程关系密切的工程地质有一个大致的了解; 第二篇为铁路路基, 系统地介绍路基构造、路基排水、路基防护、路基病害及防治、挡土墙、路基基底处理、路基施工和高速铁路路基施工质量检测的有关原理及方法。

本书可作为高等院校交通铁道类专业的教学用书, 也可作为各类成人教育铁道类的专业教材, 同时还可作为铁路职工培训用书及工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

路基工程/李东侠主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5640-6706-9

I. ①路… II. ①李… III. ①铁路路基—铁路工程—高等学校—教材 IV. ①U213. 1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第196678号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1 / 16

印 张 / 22. 5

字 数 / 534千字

版 次 / 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

定 价 / 54. 00元

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 杨 露

责任印制 / 边心超

对本书内容有任何疑问及建议, 请与本书编委会联系。邮箱: bitdayi@sina.com

图书出现印装质量问题, 请与本社市场部联系, 电话: (010) 68944990

前言

Preface

高等教育的目标是培养高素质技能型专门人才，高质量的教材是达到这一目标的基本保证。高等院校教材应当满足高等教育改革发展的需要，应当根据技术领域和岗位群的任职要求，参照相关的职业资格标准、改革理论体系和学习内容，突出实际能力培养的特色。本书正是依据上述要求，根据教育部高等院校铁路线路课程教学基本要求编写而成的。

本书以培养学生具有铁路路基知识能力为目标，全面系统地介绍铁路路基工程的构造、设计、施工及养护等内容，纳入了高速铁路路基的设计、施工、基底处理及施工质量检测的有关原理及方法。本书紧密结合我国当前高速铁路路基发展的实际情况，吸取了近几年高速铁路路基发展的新技术、新工艺，力求与国际惯例接轨，具有科学性、先进性。全书内容新颖，简明扼要，注重实用性，在每章的开篇都有工程案例引入，强化了对知识的理解和应用。

由于编者水平有限，书中谬误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目录

Contents

绪 论 / 1

第1篇 工程地质基础 / 5

项目1 矿物与岩石 / 5

- 1.1 地壳的构成 / 6
- 1.2 主要造岩矿物 / 7
- 1.3 岩石 / 12
- 1.4 岩石的工程地质性质与工程分类 / 23
- 1.5 岩石的肉眼鉴定方法 / 29

项目2 地质构造 / 32

- 2.1 地质年代 / 35
- 2.2 地质构造的类型 / 39
- 2.3 地质构造与工程的关系 / 49
- 2.4 工程地质勘测 / 53
- 2.5 地质图 / 56

项目3 地质作用 / 64

- 3.1 地质作用的概念及分类 / 65
- 3.2 风化作用及其对工程的影响 / 67
- 3.3 地表暂时性流水的地质作用 / 72
- 3.4 河流的地质作用 / 74

项目4 地下水 / 80

- 4.1 地下水的基本概念 / 81
- 4.2 地下水的类型和特征 / 83
- 4.3 地下水对工程建筑物的影响 / 90

第2篇 铁路路基 / 96

项目5 路基构造 / 96

- 5.1 路基工程的作用及特点 / 97
- 5.2 路基横断面的形式和组成 / 99
- 5.3 路基横断面的设计 / 102
- 5.4 路基标准横断面 / 112
- 5.5 高速铁路路基主要技术标准 / 116
- 5.6 高速铁路路基路桥过渡段 / 122

项目6 路基排水 / 126

- 6.1 地面排水设备及其养护 / 127
- 6.2 地下排水设备及其养护 / 134

项目7 路基防护 / 141

- 7.1 路基坡面防护 / 142
- 7.2 路基冲刷防护 / 157
- 7.3 土工合成材料在路基防护中的应用 / 166

项目8 路基病害及防治 / 173

- 8.1 基床病害及其防治 / 175
- 8.2 路基冻害及其防治 / 180
- 8.3 崩塌落石及其防治 / 184
- 8.4 滑坡及其防治 / 188
- 8.5 泥石流及其防治 / 193
- 8.6 特殊路基病害及其防治 / 195

项目9 挡土墙 / 203

- 9.1 挡土墙的分类 / 205
- 9.2 重力式挡土墙的设计与检算 / 208
- 9.3 重力式挡土墙施工 / 220
- 9.4 挡土墙养护与维修 / 223
- 9.5 轻型挡土墙 / 225

项目10 路基基底处理 / 231

- 10.1 高速铁路地基处理的特点及类型 / 232
- 10.2 换填垫层 / 233
- 10.3 强夯及强夯置换 / 237
- 10.4 CFG桩 / 241
- 10.5 挤密桩 / 247
- 10.6 水泥土搅拌桩 / 251
- 10.7 旋喷桩 / 258
- 10.8 桩网结构 / 261

项目11 路基施工 / 266

- 11.1 路基施工准备 / 269

11.2 路堤填筑 / 275

11.3 路堑开挖 / 281

11.4 路基防护施工工艺 / 289

11.5 高速铁路路堤基床施工 / 293

11.6 高速铁路路基过渡段施工 / 298

11.7 路基机械化施工简介 / 300

11.8 土石方工程数量计算 / 307

项目12 高速铁路路基施工质量检测 / 312

12.1 路基密实度检测 / 315

12.2 地基系数测试 / 330

12.3 二次变形模量测试 / 335

12.4 动态变形模量测试 / 341

12.5 地基承载力测试 / 345

参考文献 / 354

绪 论

项目描述

路基是轨道的基础，路基的坚实与稳固是线路稳定及列车平稳运行的重要保证。本项目主要阐述工程地质学在路基工程中的作用，路基工程的概念、加固、病害整治、施工等方面的内容，影响路基稳定性的因素及路基工程课程的任务和学习方法。

学习目标

- 了解工程地质学在路基工程中的作用；
- 了解路基工程的概念、加固、病害整治、施工等方面的内容；
- 了解影响路基稳定性的因素；
- 了解路基工程课程的任务和学习方法。

相关案例

路基工程技术的现状及发展

20 世纪 20 年代以前，路基填筑都按“自然沉落”法设计施工。直到 1930 年，美国人 Proctor 首先提出用标准击实试验控制路基填筑压实度。自此，各国开始制定路基填筑标准。随着生产力的发展，铁路运量和列车速度的不断提高，既有线铁路路基不断出现病害，各国也不断提高新建路基的设计标准。

一、我国铁路路基现状

长期以来，我国新建铁路没有把路基当成土工结构物来对待，而普遍冠名以土石方。在“重桥隧、轻路基，重土石方数量、轻质量”的倾向下，路基翻浆冒泥、下沉，边坡坍塌，滑坡等病害经常发生，以致新建铁路交付运营后乃至运营多年仍不能达到设计速度与运量，经济效益与社会效益较差。

运营铁路路基技术状态不佳、强度低、稳定性差，严重威胁铁路运输和安全，已成为铁路运输的主要薄弱环节，路基质量问题也逐渐被人们所认识与重视。由于我国铁路运输承担了全国 70% 左右的货物周转量和 60% 左右的旅客周转量，因此国家确定了发展重载列车及高速客运专线的技术政策。为了适应这一变化，必须提出与之相适应的高要求的路基设计标准，并严格控制工程质量。

二、路基工程技术的发展

高速铁路、重载铁路和大运量铁路的兴建，对铁路线路的质量提出了新要求。因此，路基的性状必须与之一致。在确保路基稳定、线路养护维修允许的条件下，路基在各种因素作用下的变形应控制在确保线路不出现不良状态的范围内。近年来，在路基工程技术方面获得的进步主要表现在以下几个方面。

1. 设计、计算技术逐步提高,设计理念逐渐转变

设计、计算技术的发展促进了对岩土本构关系的研究,国内外出现了上百种非线性弹性、弹塑性土石本构关系模型,使人类对土石的变形和破坏机理的研究翻开了崭新的一页。

利用现有计算技术,能方便地对地基土石的物理力学指标进行概率统计处理,为工程施工可靠性设计奠定了基础。国内已有多个行之有效的计算机程序,可以完成路基的初步设计和施工图设计。在不断应用的过程中,这些计算机程序必然会日臻完善。

随着高速铁路的出现和发展,人们深化了传统的路基设计理念。由于高速行车对线路变形的严格要求,使路基设计由强度控制设计逐渐向变形控制设计转变。这是因为,一般在路基强度破坏之前,路基已经出现了不能容许的大变形。

2. 新工艺、新技术、新材料层出不穷

随着新材料、新工艺、新技术的不断出现,路基工程建设面貌一新。对滑坡的处理除采用重力式挡土墙外,经历了采用抗滑桩、仰斜排水孔、锚杆、应用预应力锚索及锚索桩的阶段;对软土地基的处理,从采用砂井、反压护道,经历袋装砂井、塑料排水板、真空预压,发展到粉喷桩、旋喷桩及土工合成材料加筋地基;对基床病害的处理经历了换填砂石料,敷设沥青面层,设盲沟排水等措施,发展到较普遍地应用土工合成材料进行加筋和隔离;边坡防护技术正在从工程防护向绿色生物防护发展。在相应工程中,技术人员可以因时、因地制宜,选用合理的处理方案。

使用高效施工机械,大大提高了施工速度和施工质量,减轻了工人的劳动强度;爆破技术的进步,减少了施工对路堑边坡的破坏;一些灾害报警装置性能的明显提高,使施工和行车安全有了保障;施工组织、管理水平也逐渐向世界先进水平靠拢。

3. 测试手段和设备进一步提高,检测方法更加合理

室内土工试验仪器精密化、自动化程度的提高,为研究土体的应力历史、应力路径,判别砂土液化的可能性,确定动荷载作用下土强度和变形等提供了条件。土工离心机模拟试验可直观显示构筑物因重力引起的应力、应变状态,以便于研究其破坏机理,现已用于研究软土地基上路堤临界高度、路堤沉降分析以及支挡结构物的作用机理等课题中。

利用原位测试手段了解现场土的物理力学状态,克服了取样试验的一些局限性。通过大量试验,对各试验指标之间及各试验指标与室内试验相应指标之间的相关关系研究取得了可以应用的成果。

路基施工质量的检测方法正在由以前单一的压实系数 K 指标逐渐向多指标(压实系数 K 、地基系数 K_{30} 、空隙率 n 、动模量 E_{vd})检测过渡。

4. 规范逐步完善和更新

制定规范可以说是各项建筑工程的“国策”,有了规范才有章可循。只有建设者遵守规范,才能加强工程设计和施工管理及统一验收标准,确保工程质量。在调查研究、总结经验、吸取科研成果的基础上,我国相继制定和修改了有关铁路路基勘测、设计、施工及质量评定的规范。如《客运专线铁路路基工程施工技术指南》(TZ 212—2005)、《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)、《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)、《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025—2006)、《铁路路基土工合成材料应用技术规范》(TB 10118—2006)、《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035—2006)、《客货共线铁路路基施工技术指南》(TZ 202—2008)、《高速铁路路基工程施工质量验收标准》(TB 10751—2010)、《新建时速

300~350公里客运专线铁路设计暂行规定》(2007)等。随着我国铁路建设事业的发展,各类规范本身也将不断改革和更新。

路基工程技术的进步,为使路基稳固、经济,把路基的变形控制在允许范围内奠定了基础。

一、工程地质学在路基工程中的作用

路基是轨道的基础,路基的坚实与稳固是线路稳定及列车平稳运行的重要保证。因此,路基必须持久地具有足够的强度和稳定性。路基作为一种土石结构,直接修筑在地表上,地表及其以下土层或岩层的性质、构造等工程地质条件无疑会对路基的变形和稳定产生很大的影响。因此,对从事路基工程的技术人员而言,掌握工程地质学的基本知识是十分必要的。在路基工程中,工程地质学的作用有:①查明对路基有影响的各种地质因素,如地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件及各种地质作用等;②判断路基修建后可能发生的工程地质问题(如基底下沉、边坡滑动坍塌、自然山体失稳等),为选择有利的线路位置、路基设计和施工方案提供地质依据;③对不良地质现象提出有效的整治措施,保证路基坚固稳定,正常使用。

二、路基工程概述

路基是以天然土石修筑而成的条形建筑物,它分布在广阔地区,处在各种地质、水文、气候等复杂的自然环境下,它的强度和稳定性受到地质条件及雨、雪、水流、气温等各种自然因素的影响。

水的活动是促使路基病害发生、发展的重要原因。为使路基不致遭受地面水、地下水的侵蚀破坏,路基应有良好的排水、防护及加固建筑物。

在雨季,铁路路基常受到洪水的侵袭,因此应加强路基的防洪工作,当路基发生水害,应根据水害的具体情况,采用合适的方法抢修。

既有铁路路基在列车荷载作用及各种自然因素的影响下,会产生各种变形和路基病害,因此,应对路基加强养护与维修,并对不稳定边坡进行防护与加固,以减弱或消除各种路基病害,保证路基稳定及行车安全与舒适。对于路基病害,必须贯彻“以防为主,防治结合”,“一次整治,不留隐患”的原则,并采取合理的整治方案及有效的工程措施。

路基的工程数量极为庞大,施工需用大量的劳动力、工程材料、施工机具和建设资金。大量土石方集中地段常常影响着整个铁路的施工期限。因此,在路基施工中应认真做好土石方调配,合理选择施工方法,以保证工程质量,加速施工进度,降低工程造价,提高经济效益。同时,在施工中还应注意节约用地,少占农田,少破坏自然地貌和植被,以免导致水土流失。

高速铁路运行速度快、技术标准高,对轨道变形有严格的要求。路基是轨道的基础,控制路基变形已成为高速铁路路基的最大特点。因此,高速铁路对路堤的地基条件、填料、压实标准、基床和路桥过渡段的刚度等方面均提出了更高的要求。

三、影响路基稳定性的因素

路基是一种线性结构物,具有线路长、与大自然接触面广的特点,其稳定性在很大程度上由当地自然条件所决定。路基的稳定性与下列因素有关。

1. 地理条件

铁路沿线的地形、地貌和海拔高度不仅影响路线的选定,也影响到路基的设计。平原、丘陵、山岭各区地势不同,路基的水文情况也不同。平原区地势平坦、排水困难、地表易积水、地下水位相应较高,因而路基需要保持一定的最小填土高度,路面结构层应选择水稳定性良好的材料,并采取一定的结构排水设施;丘陵区 and 山岭区地势起伏较大,路基排水设计至关重要,否则会导致稳定性下降,出现破坏现象,影响路基路面的稳定性。

2. 地质条件

铁路沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理,风化程度和裂隙情况,岩石走向,倾向、倾角、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层,以及有无断层或其他不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震等)都对路基的稳定性有一定的影响。

3. 气候条件

气候条件如气温、降水、湿度、冰冻深度、日照、蒸发量、风向、风力等都会影响线路沿线地面水和地下水的状况,并且影响到路基的水文情况。

在一年之中,气候有季节性的变化,气候还受地形的影响,例如山顶与山脚、山南坡与山北坡气候就有很大差别。这些因素都会严重影响路基的稳定性。

4. 水文和水文地质条件

水文条件是指线路沿线地表水的排泄,河流洪水位和积水时期的长短,河岸的淤积情况等。水文地质条件是指地下水位及地下水移动的规律,有无层间水、裂隙水、泉水等。所有这些地面水及地下水都会影响路基的稳定,如果处理不当,常会引起各种病害。

5. 土的分类

土是建筑路基的基本材料,不同的土类具有不同的工程性质,会直接影响路基的强度与稳定性。

不同的土类含有不同粒径的土颗粒,砂粒成分多的土,强度构成以内摩擦力为主,强度高,受水的影响小,但施工时不易压实。较细的砂,在渗流情况下,容易流动,形成流砂。黏粒成分多的土,强度形成以黏聚力为主,其强度随密实程度的不同,变化较大,并随湿度的增大而降低。粉土类土毛细现象强烈,路基的强度和承载力随着毛细水上升、湿度增大而下降,在负温度坡差作用下,水分通过毛细作用移动并积聚,使局部土层湿度大幅度增加,造成路基冻胀,最后导致路基翻浆,路面结构层断裂等各种破坏。

四、本课程的任务和学习方法

本课程涉及工程地质及铁路路基设计、施工和养护维修等学科领域,内容广泛,综合性强。学习时必须理论联系实际,突出重点,兼顾全面。一方面要认真领会本课程的基本理论、基本概念;另一方面,要通过试验、实习和课程设计,认真动手动脑,反复练习。学会识别常见的矿物和岩石,辨别一般地质构造形态,分析各种地质构造与工程的关系;掌握路基构造、排水、加固与防护、施工、养护维修的基本知识和技能;能进行重力式挡土墙的设计与检算;掌握各种路基病害的成因及防治措施;同时了解高速铁路路基施工质量检测的方法。在学习过程中要注意锻炼自己观察、计算和收集资料的能力,从而提高自己分析问题和解决问题的能力。

第1篇 工程地质基础

项目1 矿物与岩石

项目描述

岩石是地壳的主要物质成分,是建造各种工程结构物的地基、环境的天然建筑材料。岩石是由矿物组成的。本项目主要阐述造岩矿物的形态,主要物理性质及鉴定特征,岩浆岩、沉积岩、变质岩等三大类岩石的成因、产状、特征及常见类型,岩石的工程地质性质与工程分类,岩石的肉眼鉴定方法等。

学习目标

- 了解矿物、岩石的概念、造岩矿物的形态、主要物理性质及常见造岩矿物的鉴定特征;
- 了解岩浆岩、沉积岩、变质岩等三大类岩石的成因、产状、结构及构造特征,三大类岩石的分类、鉴定特征等;
- 掌握岩石的工程地质性质与工程分类;
- 掌握岩石的肉眼鉴定方法。

相关案例

【案例 1-1】 有一块含有大量石英、颜色浅红、全晶质中粒结构和块状构造的岩石,需要鉴定出它的名称。首先,从结构和构造上来看,该块岩石具有明显的全晶质中粒结构和块状构造,属于岩浆岩的构造特征。其次,浅红色属浅色,一般是偏于酸性的,全晶质中粒结构和块状构造,可以肯定是深成岩。但究竟是花岗岩还是正长岩,需要在仔细分析岩石的主要矿物成分之后,才能得出正确结论。两种岩石都含有大量的正长石和少许的黑云母与角闪石,但花岗岩含有大量的石英而正长岩不含石英或仅含有少许的石英。现在根据矿物成分含有大量石英的这一重要特征,说明被鉴别的这块岩石是花岗岩。

【案例 1-2】 有一块由碎屑和胶结物质两部分组成的岩石,碎屑粒径介于 0.25~0.5 mm,点盐酸起泡强烈,说明这块岩石是钙质胶结的中粒砂岩。进一步分析碎屑的主要矿物成分,发现这块岩石除含有大量的石英外,还含有 30% 左右的长石。最后可以确定,这块岩石是钙质中粒长石砂岩。

【案例 1-3】 有一块具有片理构造的岩石,其片理特征既不同于板岩的板状构造,也不同于云母片岩的片状构造,而是一种粒状的浅色矿物与片状的深色矿物,断续呈条带状分布,因此可以判定为片麻构造。经观察分析,浅色的矿物主要是石英和正长石,片状的深色矿物是黑云母,还有少量的角闪石,因此,可以肯定这块岩石是花岗片麻岩。

1.1 地壳的构成

学习任务

通过对地壳的构成的学习，能够完成以下任务：

- (1)明确矿物的概念；
- (2)明确岩石的概念。

地球是一个平均半径约为 6 371 km 的旋转椭球体。其内部构造是非常复杂的。根据物质成分、状态和性质的不同，地球内部一般分为地壳、地幔和地核三个圈层，如图 1-1 所示。

(1)地壳：地球表面一层坚硬的壳体，由岩石组成。地壳平均厚度为 33 km，大陆地壳较厚，我国青藏高原地区地壳厚达 70~80 km，海洋底部的地壳较薄，太平洋西部马里亚纳海沟处地壳仅厚 5~6 km。人类的工程活动都是在地壳表层进行的，一般不会超过 1 km 深，最深的金矿矿井和钻孔深度也都在 12 km 以内。

(2)地幔：也称中间层，地表以下 33~2 900 km 之间部分，其体积占地球总体积的 83%，质量占 68.1%，是地球的主体部分，主要由铁、镁硅酸盐物质组成。压力由几千兆帕到 14 万兆帕，温度为 1 500~3 000 °C，密度为 3.32~5.66 g/cm³。

(3)地核：地幔以下 2 900 km 至地心，它占地球总体积的 16%，占总质量的 31.5%，主要由铁、镍等金属物质组成。推测其压力可达 36×10^4 MPa，温度为 3 000~5 000 °C，密度为 16~18 g/cm³。

地壳是由岩石组成的，岩石是由矿物组成的，矿物则是由各种化合物或化学元素组成的。目前，在地壳中已发现 90 多种化学元素，它们在地壳中的含量和分布都很不均匀，其中氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛和氢十种元素按重量计占元素总量的 99.96%，而氧、硅、铝三种元素就占了 88.17%(表 1-1)。

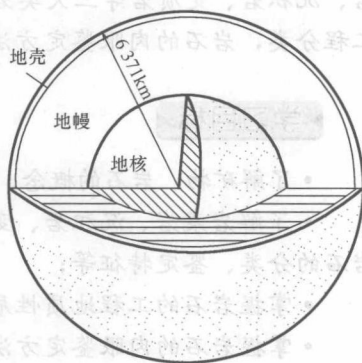


图 1-1 地球内部圈层构造

表 1-1 地壳主要化学元素重量百分比

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

地壳中的化学元素多数以化合物状态出现，少数以单质元素状态存在。因此，多数矿

物由化合物组成,例如石英(SiO_2)、方解石(CaCO_3)等,少数由单质元素组成,例如石墨(C)和天然硫(S)等。

矿物是天然生成的、具有一定物理性质和一定化学成分的物质,是组成地壳的基本物质单位。矿物在地壳中按一定的规律共生组合在一起,形成由一种或几种矿物组成的天然集合体,这种天然矿物的集合体称为岩石。主要由一种矿物组成的集合体称单矿岩,例如由石英组成的石英岩和由方解石组成的石灰岩等;由两种或更多种矿物组成的集合体称复矿岩,例如由石英、正长石及少量角闪石、黑云母组成的花岗岩等。

1.2 主要造岩矿物

学习任务

通过对主要造岩矿物的学习,能够完成以下任务:

- (1)认识矿物的形态及主要物理性质;
- (2)明确主要造岩矿物及其鉴定特征,并能够识别常见的主要造岩矿物。

自然界中已被发现的矿物约 3 000 种,其中大部分矿物数量很少,分布也很分散,而且这些矿物对岩石性质影响不大,对鉴定岩石也没有普遍意义。在岩石中常见而且显著影响岩石性质,对鉴定和区别岩石种类起重要作用的矿物有 20 多种,称之为造岩矿物。

一、矿物的形态及主要物理性质

矿物的形态和矿物的物理性质取决于其化学成分和晶体格架的特点,因此,它们是鉴别矿物的重要依据。在实际工作中,一般用肉眼观察并借助简单的工具和试剂鉴定矿物。

(一)矿物的形态

1. 结晶质矿物与非晶质矿物

绝大多数矿物呈固态,有极个别矿物呈液态(如石油和天然汞等)和气态(如天然气)。固态矿物又可分为结晶质和非晶质两大类,主要造岩矿物多为固态结晶质矿物。

结晶质矿物的内部质点(原子、分子和离子)在三维空间呈有规律的周期性重复排列,形成空间结晶格子构造。因此,当晶体生长速度较慢、周围又有自由空间时,就能形成由自生晶面包围的、固有规则几何外形的晶体,称为自形晶或单晶体。但是,在自然界中这种发育良好的自形晶体很少见到,因为在晶体生长过程中,受生长速度和周围环境的限制,晶体往往发育不完整,形成了不规则外形的晶粒,称为他形晶体。造岩矿物多为粒状他形晶体的集合体,它们虽然不具有规则的几何外形,但仍具有不受颗粒大小和形状影响的内部结晶构造。

非晶质矿物的内部质点排列没有一定规律,故不具有规则的几何外形。非晶质矿物分为玻璃质矿物和胶体质矿物两种。前者是高温熔融体迅速冷凝而成,如火山喷出的岩浆迅速冷凝生成的黑曜岩,就属于火山玻璃质矿物;后者是由胶体溶液沉淀或干涸而成,如硅

质胶体沉淀而成的蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。

2. 矿物的形态

(1) 常见的单晶体矿物形态有：

- ①片状、鳞片状，如云母、绿泥石等；
- ②板状，如长石、板状石膏等；
- ③柱状，如长柱状的角闪石和短柱状的辉石等；
- ④立方体状，如岩盐、黄铁矿、方铅矿等；
- ⑤菱面体状，如方解石等；
- ⑥菱形十二面体状，如石榴子石等。

(2) 常见的矿物集合体形态有：

①粒状、块状、土状，即矿物在空间三个方向上接近等长的集合体形态。晶粒间边界较明显的称粒状集合体，如橄榄石等；肉眼不易分辨晶粒边界的称块状集合体，如石英等；疏松多孔的块状称土状集合体，如高岭土等。

②鲕状、豆状、肾状，即具有同心构造、近圆球或椭圆形的集合体形态。像鱼卵大小的集合体称鲕状，如方解石等；近似黄豆大小的集合体称豆状，如赤铁矿等；比豆状更大的则为肾状，不规则球形的集合体可称葡萄状等。

③纤维状，如石棉、纤维石膏等。

④钟乳状，如钟乳石(方解石)、褐铁矿等。

(二) 矿物的光学性质

1. 矿物的颜色和条痕

矿物的颜色是矿物对光线吸收和反射的物理性能的表现，矿物的化学成分和内部结构决定了矿物固有的颜色。例如黄铁矿是铜黄色，橄榄石呈橄榄绿色，磁铁矿则为黑色等。矿物的固有颜色称自色；由于矿物是天然产出的，很容易混入少量其他杂质，从而改变了矿物的固有颜色，呈现出受杂质影响的颜色，称为他色。例如石英纯质时是无色透明的，含有不同杂质时可呈现出乳白、灰色、紫色、烟黑等他色。自色可作为鉴定矿物的特征之一，不可用他色鉴别矿物。观察矿物颜色时应取岩矿标本的新鲜面，不可在风化面上观察。颜色的描述可采用标准色谱(红、橙、黄、绿、青、蓝、紫)或对比实物颜色(如玫瑰红、砖红、乳白、草绿等)。

矿物的条痕是指矿物粉末的颜色。浅色矿物的条痕大多为无色或与矿物本身颜色相同的浅色。深色矿物的条痕则有两种类型：一种是矿物颜色与条痕颜色相同，如磁铁矿颜色与条痕均为黑色。另一种是矿物颜色与条痕有较大差别，如黄铁矿为铜黄色，条痕为黑色；角闪石为黑绿色，条痕为淡绿色；辉石为黑色，条痕为浅棕红色等。因此，条痕只对某些深色不透明或半透明矿物有鉴定意义。

2. 矿物的透明度

矿物能够透过光线的程度称矿物的透明度。透明度大小与矿物吸收和反射光线的能力密切相关，吸收和反射能力越强，透过的光线越少。根据透明度大小，矿物可分为三类。

(1) 透明矿物。多数非金属矿物为透明矿物，如单晶石英组成的水晶、纯净方解石组成的冰洲石等。



- (2)半透明矿物。部分非金属矿物为透明与不透明之间的矿物，如滑石等。
 - (3)不透明矿物。全部金属矿物为不透明矿物，如黄铁矿、磁铁矿、方铅矿等。
- 观察对比矿物的透明度，应在相同厚度条件下进行，肉眼观察可在矿物碎片边缘进行。

3. 矿物的光泽

矿物表面反射光线的能力称光泽。按反射光线的强弱，矿物光泽可有下列几种。

- (1)金属光泽：反光强烈，光辉闪耀，如黄铁矿、方铅矿等。
- (2)半金属光泽：反光较强，如磁铁矿等。
- (3)非金属光泽：为大多数透明和半透明矿物的光泽，又可分为金刚光泽、玻璃光泽、油脂光泽、珍珠光泽、丝绢光泽、蜡状光泽和土状光泽等。

一般具有金属和半金属光泽的矿物都是不透明矿物。

(三)矿物的力学性质

1. 矿物的硬度

矿物抵抗外力刻划和摩擦的能力称硬度。目前应用最广泛的鉴别矿物硬度的方法，是对比摩氏硬度计(表 1-2)中十种已定硬度的矿物来确定待定矿物的相对硬度。在野外鉴别矿物硬度时，还可采用简易鉴定方法来测试其相对硬度，即利用指甲(2~2.5)、小刀(5~5.5)、玻璃片(5.5~6)和钢刀(6~7)等粗略判定。矿物的硬度是指单个晶体的硬度，而纤维状、放射状等集合方式对矿物硬度有影响，难以测定矿物的真实硬度。

表 1-2 摩氏硬度计

硬度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

2. 矿物的解理与断口

解理是矿物受打击后，能沿一定晶面裂开形成光滑平面的性质。其裂开的晶面一般平行成组出现，称为解理面。根据其解理发育的程度，矿物的解理分为极完全解理、完全解理、中等解理和无解理。

- (1)极完全解理：极易裂开成薄片，解理面大而完整，平滑光亮，如云母。
- (2)完全解理：常沿解理方向开裂成小块，解理面平整光亮，如方解石。
- (3)中等解理：既有解理，又有断口，如长石。
- (4)无解理：常出现断口，解理面很难出现。

能被解理的矿物严格受其内部格子构造的控制，根据解理出现方向数目，沿着一组平行方向发育的称为一组解理，沿两组方向发育的称为二组解理，沿三个方向发育的称为三组解理。

矿物在外力打击下，沿任意方向发生的不规则裂口称为断口。对于某种矿物来说，解理与断口的发生常互为消长，越容易出现解理的方向越不易发生断口。

(四)其他性质

少数矿物具有某些特殊的物理化学性质，应用这些特殊性质鉴定个别矿物则是简便有效的，如磁性、弹性、挠性、发光性、人的感官感觉等，这些性质对某些矿物的鉴别而言十分重要。

二、主要造岩矿物及其鉴定特征

1. 石英(SiO_2)

石英无色,因含杂质等可呈各种颜色,无解理,断口有油脂光泽,硬度等级为7,透明度较好,发育良好的石英单晶为六方锥柱,如图1-2所示,通常为块状或粒状集合体,纯净透明的石英晶体称水晶,玻璃光泽。石英化学性质稳定,抗风化能力强。含石英越多的岩石,岩性越坚硬。石英广泛分布在各种岩石和土层中,是重要的造岩矿物。



图1-2 石英晶体形态

2. 正长石(KAlSi_3O_8)

长石是地壳中分布最广的矿物,约占地壳重量的50%。

长石是一大族矿物,包括三个基本类型:钾长石、钠长石、钙长石。钾长石中最常见的是正长石,钠长石和钙长石以不同比例混熔而组成各种斜长石。

正长石单晶为短柱状或厚板状,集合体为粒状或块状,在岩石中常呈肉红、浅黄、浅玫瑰色,玻璃光泽,硬度等级为6,中等解理,两组解理面近于 90° 正交。正长石易于风化,完全风化后形成高岭石、绢云母、铝土矿等次生矿物。

3. 斜长石 $[\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) - \text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)]$

单晶为板条状或长柱状,集合体呈粒状;白色或灰白色,玻璃光泽,硬度等级为6,中等解理,两组解理面呈 86° 左右斜交。斜长石易于风化,解理面上有细条纹。成分中以Na离子为主的称酸性斜长石,成分中以Ca离子为主的称基性斜长石,成分中Na离子、Ca离子含量相当的为中性斜长石。斜长石是构成岩浆岩最主要的矿物。

4. 白云母 $\{\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2\}$

白云母呈片状、鳞片状,薄片无色透明,珍珠光泽,硬度等级为2~3,有弹性,细鳞片状集合体则称为绢云母。一组极完全解理,具有较高的电绝缘性。抗风化能力较强,主要分布在变质岩中。

5. 黑云母 $\{\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2\}$

黑云母呈片状或板状,颜色深黑,其他性质与白云母相似,易风化,成分中富铁的称铁黑云母,富镁的称金云母。集合体通常为黑色,一个方向劈开极完全,珍珠光泽,硬度等级为2.5~3。

6. 角闪石 $\{\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5[\text{Si}, \text{Al}]_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2\}$

单晶呈长柱状、针状,集合体呈粒状或块状。颜色暗绿至黑色,玻璃光泽,硬度等级为6,中等解理,两组解理交角为 56° 。较易风化,风化后可形成黏土矿物、碳酸盐及褐铁矿等。角闪石多产于中、酸性岩浆岩和某些变质岩中。

7. 普通辉石 $\{(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]\}$

单晶或集合体常呈短柱状或粒状,集合体有时呈块状,黑色,玻璃光泽,中等解理,两组解理交角为 87° 。硬度等级为5.5~6。

角闪石与辉石的许多性质接近,主要区别是:角闪石多黑绿、晶体细长、横断面呈六

边形、两组劈开面斜交，常见于中、基性侵入岩和变质岩中。辉石多黑色、晶体短粗、横断面呈八边形、两组劈开面接近正交，常见于基性、超基性岩中。

8. 橄榄石 $\{(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]\}$

橄榄石通常呈粒状集合体出现；浅黄绿至橄榄绿色；晶面玻璃光泽，断口油脂光泽；中等劈开，断口呈贝壳状；硬度为 6.5~7；比重为 3.3~3.5；性脆。

9. 方解石 (CaCO_3)

标准单晶为菱形六面体，集合体多为粒状，无色或乳白色，玻璃光泽，硬度等级为 3，三组完全解理，与稀盐酸有起泡反应。方解石是造成石灰岩的主要成分，用于制造水泥和石灰等建筑材料，也可作电气及炼钢的熔剂等。

10. 白云石 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$

晶体形态同方解石；纯者白色，含杂质者可呈浅黄、灰褐等色；玻璃光泽；硬度等级为 3.5~4；滴热盐酸有起泡反应，滴冷盐酸起泡不明显，但再滴紫红色镁试剂可变蓝色。

11. 石膏 $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$

石膏单晶呈板、柱、片状，集合体有纤维状或块状等。一般白色，平面反光为玻璃光泽，纤维状反光为丝绢光泽，一组完全解理，硬度等级为 2。

12. 黏土矿物

黏土矿物泛指各种形成黏土的矿物，主要有以下几种类型。

(1) 高岭石 $[\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ ：单晶极细小，肉眼不可见，集合体多为土状或块状；纯者白色，土状光泽；硬度等级为 1~2，干燥块体有粗糙感，易捏碎成粉末，吸水性强，潮湿时具有可塑性。

(2) 蒙脱石 $\{[\text{Al}_2\text{Mg}_3](\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$ 。集合体常为粒状或块状，白色，土状光泽，硬度等级为 1。吸水性很强，吸水后体积可膨胀几倍至十几倍，具有很强的吸附力和阳离子交换性能。

(3) 伊利石 $\{ \text{K}_1\text{Al}_2[(\text{Al}, \text{Si})\text{Si}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \}$ 。集合体呈块状，白色，不具膨胀性，因产于美国伊利诺伊州而得名。

13. 滑石 $[\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$

集合体呈致密块状，纯净者为白色，常带有浅黄、浅绿、浅褐等色，玻璃光泽，断口呈油脂光泽；有一组中等解理，硬度等级为 1；薄片透明或半透明；无弹性而具有挠性；有滑腻感。

14. 绿泥石 $\{(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8\}$

集合体为隐晶质土状或片状，浅绿到深绿色，玻璃光泽，一组中等解理，硬度等级为 2~2.5，薄片有挠性，强度较低。绿泥石与滑石、云母类矿物的特性有很多相近性，由这些矿物为主组成的岩石强度低且易风化。

15. 蛇纹石 $[\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$

通常为块状或纤维状集合体，一般为深绿色，条痕为白色或淡绿色，因类似蛇皮而得名。油脂光泽或丝绢光泽；断口贝壳状；硬度等级为 2.5~3。