



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

YANSHIWULIXUE JICHU

岩石物理学基础



● 编 孙建国

地质出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

岩石物理学基础

孙建国 编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是一本关于岩石物理学的基础教材,其主要目的是介绍岩石物理学的基本理论和实验结果,同时兼顾一些有关的测量方法。全书共分为八章。第一章主要介绍岩石物理学的学科特点、基本任务、研究方法和岩石物理学研究中的主要困难;第二章主要涉及岩石学中的一些基本概念和在岩石物理学中要用到的一些基础知识;第三章到第八章分别讨论岩石密度、岩石磁学、岩石电学、岩石声学、岩石热学和各种岩石物理参数之间以及岩石物理参数与其他参数之间的关系。

本书源于编者数年的授课笔记,可以作为应用地球物理学方向及有关专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石物理学基础/孙建国编. —北京:地质出版社, 2006. 9
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 7-116-04839-1

I. 岩... II. 孙... III. 岩石物理性质-高等学校-教材 IV. P584

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 041729 号

责任编辑:李凯明 陈 磊

责任校对:刘凤仁 郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324565 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $1/_{16}$

印 张:8.5

字 数:207 千字

印 数:1—3000 册

版 次:2006 年 9 月北京第一版·第一次印刷

定 价:11.00 元

ISBN 7-116-04839-1/P·2681

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

我与岩石物理学的接触始于1986年秋季。当时我刚刚在曼海姆歌德语言学院（Goethe Institut Mannheim）通过语言考试，进入联邦德国 Clausthal 工业大学（Technische Universitaet Clausthal）的地球物理研究所学习地球物理，并准备在著名地球物理学家 R. K. Bortfeld 教授的指导下攻读勘探地震学方向的博士学位。通过选修 J. Schopper 教授开设的岩石物理学课程，我对岩石物理学有了初步的了解。回国后，我从1998年秋季学期开始在原长春科技大学地球物理系为应用地球物理专业的本科生开设岩石物理学课程。由于原长春科技大学在此之前没有开设过此类课程，也没有与应用地球物理专业方向相适应的岩石物理学教材，所以我讲课的内容主要来自于以英文或德文写成的岩石物理学专著，兼有一些分布于各类教材和专业书籍中的有关岩石物理学的知识。从2000年起，我开始对我授课笔记中的内容进行整理和补充。经过几年的努力和三易其稿，并经过了两个学期的试用，终于在2005年6月完成了有关的整理和编写工作。

虽然本书源于教学实践，但在内容的取舍上难免受个人理解的限制，也难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

在本书即将出版之际，对曾给予我各种支持的同事们表示感谢。值得提到的是：杜晓娟副教授对于本教材的编写给予了很大的支持和推动；郝立波教授、邢立新教授和梁一鸿教授审阅了本书中关于矿物与岩石基础部分，并提出了相应的修改建议；甘树才教授帮助对教材中的有关单位制进行了换算；康国军教授、王雪秋讲师对本教材的第二稿和第三稿进行了审读；梁铁成高级工程师帮助处理了书中的全部插图。

最后，感谢地质出版社编辑们的辛勤劳动！没有编辑们的努力，本书不会达到现在的水平。

孙建国

2006年4月13日于长春

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
思考题与习题	(4)
第二章 基础知识和基本概念	(5)
第一节 矿物学和岩石学基础	(5)
一、矿物、岩石和矿石	(5)
二、几种常见矿物	(5)
三、岩石的分类原则和标准	(8)
四、岩石学中的一些基本概念	(8)
五、主要岩石类型(三大岩类)	(9)
第二节 多孔介质及其描述	(10)
第三节 岩石的孔隙度	(13)
一、孔隙类型及几种常用的孔隙度	(14)
二、孔隙度分级	(15)
三、影响孔隙度的因素	(15)
四、岩石中孔隙的微观结构	(16)
第四节 岩石中的流体及流体饱和度	(17)
一、流体的基本物理参数	(17)
二、地层水的分类及其物理性质	(18)
三、石油(原油)的分类及其物理性质	(20)
四、天然气的物理性质	(22)
五、岩石中流体的饱和度	(24)
第五节 岩石中的裂隙及其描述	(25)
一、裂隙的成因	(26)
二、裂隙的描述	(27)
第六节 岩石中的渗流与渗流基本定律	(28)
一、渗流的基本概念	(28)
二、Darcy 定律	(29)
第七节 影响岩石物理性质的主要因素	(30)
第八节 常用的岩石物理学模型	(31)
第九节 岩石标本采集	(32)
第十节 野外与室内观测数据的处理	(33)
思考题与习题	(33)
第三章 岩石的密度	(35)
第一节 矿物的密度	(35)
第二节 孔隙流体的密度	(36)
第三节 矿石和岩石的密度	(40)

第四节 密度-深度及密度-压力关系	(42)
一、密度-深度关系	(42)
二、密度-压力关系	(42)
第五节 岩石密度的实验室测定及野外测定	(43)
思考题与习题	(44)
第四章 岩石磁学	(45)
第一节 物理学基础	(45)
一、基本物理量、场方程及测量单位	(45)
二、物质磁性的起源	(46)
三、物质磁性的分类	(47)
四、物质磁性的微观理论	(48)
五、物质的磁化过程	(50)
六、物质的退磁作用	(50)
七、铁磁性物质的热磁作用	(51)
第二节 矿物的磁性	(53)
第三节 岩石的磁性	(53)
第四节 岩石的剩余磁化强度	(55)
第五节 岩石磁化率计算	(56)
第六节 岩石磁性的野外和实验室测量	(57)
思考题与习题	(58)
第五章 岩石电学	(59)
第一节 物理学基础	(59)
一、基本物理量、场方程及测量单位	(59)
二、物质的导电和介电机理	(61)
三、物质的电性分类	(61)
四、退极化场	(62)
五、物质电导率理论简介	(62)
六、物质介电常数理论简介	(63)
七、介电弛豫	(65)
八、混合物介电常数的立方定律	(66)
九、复杂物质电导率和介电常数的宏观描述	(68)
第二节 岩矿石的电阻率	(68)
第三节 岩矿石导电性实验定律	(71)
第四节 岩石导电性理论	(73)
第五节 岩矿石的介电常数	(78)
第六节 岩石的介电常数的经验公式	(79)
第七节 岩石介电常数的宏观理论描述——分级组合电路模型	(80)
第八节 岩石的自然极化	(81)
第九节 岩石的激发极化	(83)
一、岩石的激发极化特性与描述	(84)
二、电子导电岩石的激发极化机制	(85)

三、离子导电岩石的激发极化机制	(86)
四、激发极化效应的频谱特征——Cole-Cole 模型	(87)
五、体积极化等效电路理论	(88)
六、影响岩矿石激发极化效应的主要因素	(89)
第十节 岩石电磁参数的野外及实验室测量	(91)
思考题与习题	(92)
第六章 岩石声学	(93)
第一节 物理学基础	(93)
一、弹性、塑性、黏弹性	(93)
二、应力	(93)
三、应变	(95)
四、应力-应变关系	(96)
五、弹性参数	(96)
六、弹性波的速度	(97)
七、相速度与群速度	(98)
八、固体的力学模型	(98)
第二节 孔隙流体的弹性参数	(101)
第三节 矿物和岩石的弹性——实验结果	(103)
第四节 岩石的弹性参数模型	(104)
第五节 孔隙流体的速度	(106)
第六节 矿物和岩石的速度——实验结果	(107)
第七节 地震波(声波)速度公式	(109)
第八节 影响岩石速度的主要因素	(111)
第九节 岩石对声波(地震波)能量的吸收	(114)
第十节 岩石声波速度的测量方法	(117)
思考题与习题	(118)
第七章 岩石热学	(119)
第一节 物理学基础	(119)
第二节 矿物和岩石的导热性质	(120)
第三节 热导率计算公式	(121)
第四节 岩石热导率和温度的测定方法	(122)
思考题与习题	(123)
第八章 岩石物理参数之间的关系	(124)
第一节 德拜温度和地震波速度	(124)
第二节 速度、弹性模量及泊松比	(125)
第三节 速度和密度	(125)
第四节 速度和电阻率	(126)
第五节 横波速度和纵波速度	(126)
思考题与习题	(128)
主要参考文献	(129)

第一章 绪 论

岩石是由矿物或类似矿物的物质组成的固体集合体,是地球表层和地球内部物质的基本组成部分。无论是在近地表还是在地球内部,岩石都处在复杂多变的地质环境之中,不断地经历各种各样的物理化学过程。即使是同一种岩石,由于空间位置和环境条件的变化也会显示出完全不同的物理性质。因此,研究岩石的物理性质可以帮助人类了解和认识在地球表层和内部所发生的各种物理化学过程,进而达到对地球的整体性质有所认识的目的。另外,对岩石物理学的研究还可以为资源开发、环境保护和自然灾害监测等领域提供坚实可靠的理论基础和强有力的技术支持。

1. 岩石物理学的内涵与外延

岩石物理学是专门研究岩石的各种物理性质及其产生机制的一门学科。在历史上,岩石物理学起源于物理学,其基本目的是为地球物理观测资料的推断解释提供理论基础。在地球科学中,早期以地球深部的结晶岩为研究对象的岩石物理学实验研究主要由岩石学家完成;而早期以地球浅部的沉积岩为研究对象的岩石物理学研究成果主要来自于油藏工程师和应用地质学家的工作。尽管如此,岩石物理学应隶属于地球物理学,因为它是地球物理学的专业基础之一,其研究方法和学科特点几乎与地球物理学的研究方法和学科特点完全一样。所以,岩石物理学既是物理学的一个独立分支,又是地球物理学的一个重要组成部分。

岩石物理学是地球科学的一部分,是地球科学中许多分支学科的专业基础,起着联系地球物理学、岩石学、水文地质学、工程地质学、岩土力学等学科的纽带和桥梁作用。一方面,这些学科的需求为岩石物理学的产生和发展提供了动力;另一方面,岩石物理学的成果为这些学科的基础理论更新和应用技术改造提供了坚实的理论基础。

岩石物理学是一门综合性的边缘学科。除了地球物理学和地球科学的其他分支学科以外,与岩石物理学相关的学科还有:电介质物理学、胶体化学、电化学、物理化学、应用数学、计算数学、计算机数学、物质科学、材料科学等。由于岩石结构复杂,所以在现代岩石物理学研究中人们采用了最新的理论成果和实验设备,例如分形理论和高速采集设备等。

岩石物理学的主要应用领域是地球物理,此外,还应用于地质、采矿、采油、材料等诸多学科和工程领域中。由于各个领域所面临的问题不同,所涉及到的岩石物理参数也有所不同。即使是对同一个岩石物理学参数,不同的领域也会给出不同的名称和解释。因此,在多学科交叉协同的理论和应用研究中,应在基本的物理学原理和术语的基础之上统一认识,避免产生误解。

在过去的几十年里,岩石物理学在上述学科的推动下取得了很大的发展,对现代地球科学的发展和應用做出了不可磨灭的贡献。例如,通过研究地震波在岩石中的传播特性,人们发现岩石圈内存在有部分熔融和低速带现象;而对孔隙性岩石的导电机理和弹性波速度的研究导致了油储地球物理的诞生。

2. 岩石物理学研究的目的和意义

岩石物理学研究的最初目的有两个:①对所观测到的地球物理场进行合乎地质规律的

解释;②提出新的岩石物理参数,并在此基础之上提出新的地球物理方法。随着地球科学的发展,下列问题也已列入岩石物理学的研究目的之中:①在浅覆盖区内进行地质填图;②寻找隐伏矿体、隐伏岩体和隐伏的断裂构造;③板块和自然资源的形成条件;④地球内部的物理过程和物质状态;⑤工程评价和地质灾害防治。

岩石物理学研究对于地球物理学具有重大的意义。对于固体地球物理学,岩石物理学的研究结果既是建立新理论和提出新认识的基础,又是支持或否定某个理论或认识的依据。在应用地球物理学中,岩石物理学研究的结果既给出了方法系列选择和技术指标制定的依据,又提供了对观测资料进行数学物理和地质解释的基础。具体地讲,在地球物理学和地球科学的其他分支学科中,岩石物理学研究的意义在于:①对岩石进行分类;②对岩石中的物理现象进行分析解释;③对地球内部所发生的物理化学变化进行推断和解释;④找出地球内部能量和质量传递的规律。

对于地质工程以及与其相关的一些工程学科,岩石物理学研究同样具有重要的意义。例如在矿业工程中岩石物理学的研究结果可以直接用于解决下列问题:①石油和天然气的储集性质;②钻孔断面对比;③岩石的成岩及变质程度;④沉积物的年代;⑤物质迁移的方向;⑥岩石和矿石鉴定等。对于地质调查来讲,岩石物理学研究的意义远远超出了简单的物性参数测定。例如:根据岩石的磁性可以准确地划分地层和年代(磁性地层学);对于环境研究,利用岩石物理学资料可以确定环境变迁的过程,最成功的范例是利用在黄土中所保存的磁性信息来确定气候和环境的变化。

3. 岩石物理学的任务和研究内容

研究证明,岩石具有很多物理性质,例如:密度、弹性、导电性、导磁性、导热性等。在这些性质中,有些可以形成可观测的物理场,有些则不能。岩石物理学主要研究能形成物理场的岩石物理性质。

岩石物理学的基本任务是找出岩石的物理参数与岩石结构、组成成分之间的关系和规律。为此,要从理论和实验两个方面研究岩石的物理特性,探讨岩性、孔隙度、裂隙、流体类型、流体饱和度等因素对岩石中的稳定电流场、电磁波场和地震波场的影响,以及它们在地球物理观测数据中的反映。具体地讲,在岩石物理学中要完成下列任务:①通过现场和实验室观测确定岩石的物理性质和有关岩石物理参数的具体数值;②找出岩石的物理性质和地质、矿床、工程及工艺参数之间的关系;③为实测地球物理资料的解释工作提供基础数据。

4. 岩石物理学的研究方法和主要困难

岩石物理学采用物理学的研究方法,即观察、实验、归纳、总结。这里,观察是指对岩石中的物理现象的观察,既包括在野外的现场观察,也包括在室内的实验观察。由于现场观察只能在地表、坑道或钻孔中进行,所以不能了解岩石在地球深部所表现出的物理性质。尽管近代的大陆深钻为岩石物理学的现场观察研究提供了一个良好的场地,但由于地球内部物质的非均匀性,所谓的“一孔之见”难以说明大区域内的岩石物理性质变化。因此,在人工模拟条件下对某一种岩石物理现象进行反复的实验观察就成为研究地球内部物性分布和变化规律的重要手段。

无论是现场观察还是实验室内观察,得到的都是一些具体的观测数据。要想找出岩石物理性质的变化规律,还必须对这些数据进行分析、归纳和总结。与物理学中的其他分支学科一样,按照对数据采集和利用方式可将岩石物理学分为两部分,即实验岩石物理学和理论

岩石物理学。在实验岩石物理学中,主要工作是观测和分析数据,并根据数据分析的结果了解岩石的物理性质及其变化规律。在理论岩石物理学研究中,主要的工作是建立能解释观测数据的岩石物理学模型,并根据模型的数学表达来找出岩石物理参数与岩石结构、组成成分之间的关系,进而对岩石物理参数的产生机制提出解释。

岩石一般是由多种矿物组成的混合物。一方面,这些矿物的物理性质各不相同;另一方面,这些矿物的空间排列没有规律,基本上处于一种无序的状态。因此,如果对岩石中所含有的矿物分别进行研究,然后再考虑其综合影响,则将使问题变得过分复杂。另外,地球内部是高温、高压的物理化学环境,就目前的实验技术水平而言,还无法对这种环境进行精确的模拟和再现。

在岩石物理学研究中存在着不同的尺度。在研究产生某些岩石物理现象的机制问题时,人们所关心的尺度与矿物颗粒的尺度处于同一级别。在这种尺度下,岩石一般是非均匀的,所以要考虑颗粒与颗粒之间及颗粒与孔隙充填物之间的相互作用,也要考虑孔隙的几何形状。在实验室标本观测中,所考虑的是岩石标本的整体效应,而单个矿物颗粒和单个孔隙的影响将被观测过程所平均。在野外测量过程中,实测物理量是各个岩层的综合效应。因此,野外观测的结果可能会由于尺度的不同而无法与实验室内得到的结果进行对照。

与尺度问题相类似的另一个问题是观测频率问题。以地震波观测为例,在天然地震研究中,信号的频率为 $0.1 \sim 1 \text{ Hz}$;在人工地震中,信号的频率为 $10 \sim 100 \text{ Hz}$;在声波测井中,信号的频率为 $10^4 \sim 10^5 \text{ Hz}$;在实验室观测中,信号的频率为 10^6 Hz 以上。根据理论物理学中的有关结论,不同频段中所出现的物理现象是不同的。因此,有些在实验室内得到的结果难以用来解释野外观测数据。

上述各点代表着岩石物理学研究中的主要困难。为了克服这些困难,人们采取了很多措施,其中最重要的一个就是在研究某些物理性质时只考虑宏观现象而不去分析其物理机制。这意味着要抛弃在原子和分子水平上的尝试。在这类唯象理论中,无序的岩石首先被等效(模型化)为具有简单结构的介质(模型),然后再利用宏观物理定律去进行分析和计算。一般来讲,只有部分物理量可以被精确地描述,因此,人们为达到分析和计算的目的而采用了取平均的策略。对于相同的模型可以采取不同的平均方法。例如,在水平层状介质模型中既可以采用算术加权平均(对不同层的物理量按它们所占有的体积分数进行加权,然后再对各层的影响简单地求和),又可以采用对数加权平均法(对各层的物理参数先取对数,然后再求平均)。

5. 岩石物理学研究的简要历史轨迹

岩石物理学研究历史可追溯到 19 世纪。早在 1832 年, Mohs 就提出了矿物的硬度分级概念,开创了利用岩石和矿物的物理性质进行岩石和矿物分类的先河。在 20 世纪 30 年代以前,推动岩石物理学发展的动力主要来自于岩石学。为了对岩石和矿物进行分类,岩石学家利用了密度、磁性和硬度等物理性质。即使是在现代,这些性质仍然是野外识别和划分岩石和矿物的主要依据。在 20 世纪 30 年代以后,为满足人类对石油和固体矿产资源的需求而诞生的勘探地球物理学成为推动岩石物理学发展的主要动力。由于要对实际观测资料进行数学物理和地质解释,人们系统地研究了岩石的导电性、导磁性、弹性、非弹性、放射性以及岩石对声波、流体和热能的传导特性,提出了一系列基于实验室观测和物理学理论的岩石物理学定律。

20 世纪 70 年代以来,随着石油工业的发展,人们将岩石物理学研究的重点放到了确定储集性岩层的物理性质上。除了研究岩石的物理性质在静态条件下的变化规律外,还研究了在人工干预条件下岩石物理性质的动态(随时间的)变化规律,取得了一定的进展。此外,由于便于开采的常规油气田已到了走向枯竭的阶段,复杂油气藏的勘探开发问题日益得到重视,所以对裂隙性岩石的物理性质的研究得到了很大的发展。

本书以介绍岩石物理学的基本理论和实验结果为主要目的,同时兼顾介绍一些有关的实验方法。在第二章中,我们将简要地回顾一下岩石学中的基本概念和一些有关的基础知识;在第三章到第八章中,我们将分别讨论岩石密度、岩石磁学、岩石电学、岩石声学、岩石热学、各种岩石物理参数之间以及岩石物理参数与其他参数之间的关系。

思考题与习题

- (1) 岩石物理学的内涵与外延。
- (2) 岩石物理学的研究方法。
- (3) 岩石物理学研究的目的和意义。
- (4) 岩石物理学研究的主要任务。
- (5) 岩石物理学研究的主要困难。

第二章 基础知识和基本概念

岩石物理学建立在物理学、矿物学、岩石学、电子学和材料科学的成就之上,用到了其中的许多概念。本章的基本目的是对这些概念中的主要部分进行简要的回顾,为下一步的学习打下基础。另外,我们还将在本章中介绍一些与岩石物理学有关的地质学背景知识。为了使书中的各章节具有相对的独立性,与具体的物理性质有关的背景知识将在相应的章节中分别加以介绍。

第一节 矿物学和岩石学基础

矿物和岩石是岩石物理学研究的基本对象。因此,有必要对矿物和岩石有一个基本的了解。

一、矿物、岩石和矿石

矿物是在地质作用中形成的天然单质或化合物,具有相对固定的化学成分、物理性质和结晶构造,是岩石和矿石的基本组成部分。在自然界中,矿物的总数在 3000 种以上,但常见的、组成岩石的矿物只有几十种。组成岩石的一类矿物被总称为造岩矿物。在造岩矿物中,最重要的是硅酸盐矿物,其他的造岩矿物有氧化物、碳酸盐等。矿物的物理性质和含量对岩石和矿石的物理性质有直接的影响。

岩石是在地质作用下形成的、由一种或多种矿物组成的集合体,是地球物质的重要组成部分。除了矿物等固体物质外,岩石中还有未被固体物质所占据的空间,称为孔隙或空隙。在自然界中,没有孔隙的岩石是不存在的,但不同岩石类型中的孔隙在大小、形状和发育程度等方面的差异很大。岩石孔隙的大小、形状、连通及发育程度直接影响岩石的物理性质。

岩石中的孔隙可分为连通型和不连通型两类。在自然条件下,孔隙中一般充有液体、气体或液体和气体的混合物。在一定的岩层压力差下,流体可以在连通孔隙中流动。除了孔隙以外,岩层中的流体还可以通过岩石中的裂隙流动。有无裂隙存在,对岩石的物理性质有很大的影响。

矿石是可以从中提取有用元素、化合物或矿物的天然矿物集合体。存在于地壳之中,具有一定规模的、有开采价值的矿石形成了矿床。

二、几种常见矿物

造岩矿物中的大多数是硅酸盐矿物。所以要了解地球上岩石的种类、物理化学性质以及成因等方面的知识,首先要研究硅酸盐矿物的性质。

(一) 常见的硅酸盐矿物

1. 斜长石

斜长石是指从钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)到钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)之间的固溶体,其化学组成在钠长石与钙长石之间连续变化。随着化学组分的变化,分别称其为钠长石、更(奥)长石、中长石、拉长石、倍长石和钙长石。除超基性岩和碱性岩浆岩的一部分外,所有的岩浆岩中都含有斜长石,大部分的变质岩和沉积岩中也含有斜长石。

2. 碱性长石

碱性长石是钾长石(KAlSi_3O_8)和钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)之间的固溶体。以钾长石成分为主的矿物有透长石、正长石和微斜长石。正长石主要产于酸性岩浆岩和碱性侵入岩中,如花岗岩、正长岩、二长岩和碱性辉长岩等。透长石多产于流纹岩、粗面岩等火山岩中。微斜长石主要产于花岗岩、正长岩、伟晶岩等岩石中。

3. 云母族矿物

云母族矿物是在地壳中分布最广泛的造岩矿物之一,为含有钾、锂、镁、铁、铝的硅酸盐矿物,有白云母、黑云母、锂云母等。白云母是花岗岩或其他酸性火成岩和伟晶岩中极为普通的矿物,也产于原岩为泥岩的结晶片岩、片麻岩、千枚岩等变质岩中。非常细粒的白云母有时特别称之为绢云母。黑云母是花岗岩的主要造岩矿物之一,也是区域变质岩与接触变质岩中极普通的矿物,另在火山岩,尤其是在酸性火山岩中大量存在。锂云母又被称为鳞云母,主要产于花岗伟晶岩中。

4. 粘土矿物

粘土矿物大量地存在于沉积岩中,也出现在变质的火成岩中。粘土矿物有许多种类,代表性的有高岭石、蒙脱石、伊利石等。

(1)高岭石:高岭石化学组成是 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$,是长石、似长石等硅酸盐矿物风化后的产物,形态多为细粒集合体。另外,高岭石还可以在低温热液围岩蚀变的条件下生成。

(2)蒙脱石:蒙脱石由火山灰在蚀变或风化后形成,是膨润土中的主要矿物。蒙脱石的形态多为细粒的土状或块状矿物集合体,化学组成近似为 $[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

(3)伊利石:伊利石是构成泥岩和页岩的主要矿物,由长石风化而成。伊利石有着与白云母近似的构造。和白云母相比,伊利石中的钾少、硅多。化学组成是 $\text{KAl}_2(\text{OH})_2\text{AlSi}_3(\text{O}, \text{OH})_{10}$ 。

5. 海绿石

海绿石一般产于砂岩和石灰岩中,尤其是多产于绿色砂岩中,其化学组成比较复杂。

6. 辉石族矿物

辉石族矿物分属两个晶系:斜方晶系和单斜晶系。斜方晶系的辉石是由顽火辉石和斜方铁辉石组成的固溶体系列;单斜辉石包括透辉石、普通辉石、易变辉石、钙铁辉石、绿辉石和锂辉石等。

(1)斜方辉石:斜方辉石为基性的火成岩、高温生成的变质岩和陨石中的主要矿物。

(2)透辉石和钙铁辉石:透辉石常产于基性和超基性岩浆岩中,为矽卡岩中的特征矿物。

(3)普通辉石:普通辉石产于基性火成岩,也产于超基性岩和变质岩中。

(4)易变辉石:易变辉石产于玄武岩、粗玄岩等火山岩中。

7. 角闪石族矿物

角闪石族和辉石族一样,分为两个晶系。属于斜方晶系的主要有直闪石和铝直闪石,其

他都属单斜晶系。按化学成分,可大致将角闪石分为三大类,即镁铁角闪石类、钙角闪石类和碱性角闪石类。镁铁角闪石包括斜方晶系的直闪石和单斜晶系的镁铁闪石、铁闪石;钙角闪石中有透闪石、阳起石、普通角闪石、钛角闪石和棕闪石;碱性角闪石包括蓝闪石、钠闪石和钠铁闪石等。

(1)直闪石:直闪石只产在变质岩中,呈放射状或纤维状集合体。

(2)镁铁闪石和铁闪石:镁铁闪石和铁闪石产于变质岩中。镁铁闪石经常少量含于角闪岩中,在火成岩中非常少见;铁闪石产于原岩为多铁沉积岩的变质岩中。

(3)普通角闪石:普通角闪石的组成非常复杂,产于各种变质岩、闪长岩、角闪岩及各种钙碱性系列的火成岩中。

8. 橄榄石

常见的橄榄石是铁和镁的硅酸盐,是超基性岩浆岩和地幔岩的主要组分,也经常出现在基性的火成岩中。

(二)常见的硅酸盐以外的造岩与非造岩矿物

1. 石英

石英的化学组分是 SiO_2 。石英主要产在:①以流纹岩、石英安山岩、闪长岩、花岗岩为代表的酸性和中酸性火成岩中;②以片岩、浅粒岩为主的多数变质岩中;③以砂岩为主的多数沉积岩中。石英没有磁性,是良好的绝缘体,相对介电常数约为 1.553。

2. 方解石

方解石的化学组成是 CaCO_3 。方解石是灰岩和大理岩中的主要矿物。在火成岩中,方解石作为次生矿物出现。方解石也产于热液脉中。

3. 白云石

白云石的化学组成是 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ 。白云石在灰岩受含镁热液的交代作用后产生,或者在盐度很高的湖泊中作为原生沉积物生成,也可以产在热液脉中。

4. 磁铁矿

纯磁铁矿的化学组成是 Fe_3O_4 。磁铁矿是火成岩中的常见副矿物,大量产出于沉积变质的条带状磁铁矿石岩中。磁铁矿具有很强的磁性,是典型的铁磁性矿物。

5. 钛铁矿

钛铁矿的化学组成是 FeTiO_3 。钛铁矿与磁铁矿相同,也是火成岩中常见的副矿物,但其含量很少。

6. 赤铁矿

赤铁矿的化学组成是 Fe_2O_3 。赤铁矿产于胶体沉积作用、沉积铁矿的区域变质作用和热液矿床中。

7. 黄铁矿

黄铁矿的化学组成为 FeS_2 。黄铁矿是地壳中分布最广的硫化物,见于各种含硫化物的矿石中,有时也产于沉积岩中。

8. 萤石

萤石化学组成为 CaF_2 。萤石大量产于热液脉中,与石英、方解石共生;少量见于沉积岩中,呈土块状体。

9. 石墨

石墨的化学组成为单质 C。石墨经常出现在原岩为泥质岩石的变质岩中,但数量很少,也出现在灰岩与岩浆岩的接触带附近。

三、岩石的分类原则和标准

岩石的分类原则和标准有许多种,常规使用的是地质学的分类原则和标准。在岩石物理学中,还用到了岩石的物理学分​​类原则和标准。

1. 地质学分类原则

在历史上,早在古罗马时代人们就已经注意到了岩石有各种类型。到了 18 世纪,人们开始了系统的岩石分类研究,逐渐形成了以下岩石分类命名原则:①根据岩石的矿物组成和含量;②根据岩石的结构和构造;③根据岩石的地质产状和成因;④根据明显影响岩石物理性质的因素,例如次生蚀变现象、破坏现象等。

按成因,一般把岩石分为三大类:火成岩、沉积岩和变质岩。这种三分方法是由 B. von Cotta 在 1862 年提出来的。但是在 20 世纪以前,这种方法没有得到广泛的应用。

火成岩定义为岩浆凝固后形成的岩石。变质岩是经过改造的岩石。注意,这里所说的改造主要指的是在热力学环境下的改造,而不是机械的改造。沉积岩是在水或空气中由沉积作用和其后的成岩作用形成的岩石。

2. 物理学分类原则

岩石的物理学分​​类是利用了岩石在岩石学和物理学方面的一些重要性质,具体的分类原则是:①根据岩石的成因类型;②根据岩石中造岩矿物的含量和组分;③根据岩石的结构和构造特征;④根据岩石的物理参数特征(平均值、方差、统计分布规律、属性);⑤根据铁磁性和电子导电矿物的组分;⑥根据成岩作用的类型;⑦根据岩浆岩的建造归属。

按照岩石的物理性质对岩石进行分类的优点和合理性在于能够得到完整的岩石特征。但是由于不同类型的岩石可以具有相同的物理性质,所以仅仅依据岩石的物理性质所做的分类是不充分的。

四、岩石学中的一些基本概念

1. 结构

岩石的结构是指岩石的结晶程度、颗粒大小、形状特征及其相互结合的关系。当组成岩石的矿物颗粒的大小大致相等时,称其为等粒状结构;由连续的、各种各样大小的矿物集合构成的称为不等粒结构;粗粒矿物和细粒矿物能明显地分开时,就称其为似斑状结构;由粗粒矿物和隐晶质组成的称为斑状结构,粗粒的矿物称为斑晶,隐晶质矿物称为基质。

2. 构造

岩石的构造是指岩石中的矿物或矿物集合体在空间上的排列、配置和充填方式。

3. 叶理

叶理指岩石中均匀分布的、具有细密间隔的、平行分布的面状构造,包括片理和劈理。

4. 片理

当变质岩中大量片状矿物呈平行状排列时,称其为片理。片理构造是变质岩(尤其是片岩)中的一种典型构造。

5. 劈理

劈理是在岩石中发育的一组平行排列的、具有细密间隔的、均匀分布的破裂面或潜在的破裂面。沿着这些破裂面或潜在破裂面,岩石可以劈开成薄板状。

6. 节理

节理是由英国的矿工提出的术语,原意为岩块的接缝或结合。在构造地质学中,节理被作为岩石的一种破坏形式,描述岩石中没有明显位移的断裂。当节理面与最大剪应力作用面平行时,称其为剪节理;当节理面与最大张应力面平行时,称其为张节理。

7. 层理

层理是沉积岩中的成层现象。由于成岩物质的密度和粒度不同,在地球重力场中它们将以不同的速度沉积,由此形成了不同物质、不同粒度和不同颜色的层,层间的瞬间时间断面就是层面。

8. 裂隙、裂缝、裂纹

裂隙、裂缝和裂纹均描述岩石裂开后呈现出的裂口。其区分原则是裂口形成的空隙:裂隙开裂的空隙明显;裂缝开裂的空隙不明显;而裂纹开裂的空隙则是隐约可见的。

9. 粘土

粘土是一种颗粒非常细的天然沉积物或软岩石,由直径小于 0.005 mm 的颗粒组成。其主要成分是粘土矿物,含有少量的细粒石英、风化的长石、天然有机碳、铁的氧化物和其他一些杂质。粘土矿物的化学成分是铝的硅酸盐,有时有少量的铁和镁。在地层中,粘土形成黏塑性的不可渗透层。

10. 粉砂

粉砂是岩石碎屑或碎屑颗粒,其直径在 0.05 ~ 0.005 mm 之间。一般来讲,粉砂含有大量的粘土矿物,并伴有石英、长石、云母和一些重矿物,如锆石、金红石等。

11. 骨架

骨架泛指岩石中除泥质之外的固体部分。最简单的骨架由单矿物组成,复杂的骨架由多种不同的矿物组成。

五、主要岩石类型(三大岩类)

目前被广泛采用的岩石分类原则是岩石的成因。在这个原则下岩石被分成了三大类,即火成岩、沉积岩和变质岩。

1. 火成岩

火成岩是由岩浆(以硅酸盐为主要成分的高温熔融体)固结而成的岩石。如果岩浆在凝固时温度下降的速度很快,则形成玻璃质或结晶颗粒很小的岩石。这时,岩石的化学成分与岩浆的化学成分大致相同。由于在岩浆固结的过程中挥发分可能会散失掉,所以严格说来岩浆和由它固结所形成的岩石在化学组成上是不完全相同的。

如果岩浆在固结的过程中温度是缓慢下降的,则固结成岩过程将变得很复杂。随着岩浆的冷却,岩浆中的物质按一定的顺序结晶。一般来讲,由岩浆中结晶出的晶体的化学组成不同于岩浆的化学组成。当结晶出来的晶体聚集在一起形成岩石时,岩石的化学组分和原来的岩浆的化学组分也不完全一样。

由于岩浆的原始成分不同以及岩浆在缓慢冷却固结的过程中其化学组成要发生一定的

变化,所以由岩浆逐渐冷却所形成的火成岩种类具有多样性。

2. 沉积岩

沉积岩是在地球表面上,在温度和压力都比较低的表生作用条件下,由沉积的物质形成的。一般来讲,沉积作用发生的地点是河流、湖泊和海洋。

沉积岩中最显著的构造是层理。一个连续的,大致由相同的岩石构成的,成为构成地层最小单位的层称单层。单层的上下界面称为层理面。在单层内,沉积物的性质和组成可以稍有不同,由此所形成的条带状构造称为纹理。

沉积物在沉积以后,先呈松散的堆积状,颗粒与颗粒之间有许多空隙。当新的沉积物压在其上时,由于静压力的存在,颗粒被压实。另外,颗粒中的一些矿物在水的作用下被溶解,然后又形成新的沉淀。在沉积后的颗粒之间沉淀新矿物的过程成为胶结作用。由于压实、胶结及其他的一些成岩作用,沉积物逐渐固结和硬化,最终形成沉积岩。

沉积岩可以简单分为碎屑沉积岩、粘土岩和化学-生物沉积岩。在岩石物理学中常见的沉积岩有:砂岩、泥质沉积岩和钙质沉积岩。砂岩是以砂为主的碎屑沉积岩,一般富含石英颗粒,在砂粒之间有自生矿物发生的胶结作用。最常见的胶结物是方解石、白云石、菱铁矿、石英、玉髓和蛋白石等。

泥质沉积岩是由粘土经固结后形成的岩石。具有显著的层理构造的泥质沉积岩称为页岩,反之称为泥岩。泥质岩石由不同起源的物质构成。首先是风化生成的物质,主要是高岭土族和蒙脱石族的粘土矿物;其次是在风化解后剩余的原矿物,主要是石英、长石和云母等;最后是作为自生矿物的方解石、白云石、蛋白石、玉髓、黄铁矿和海绿石等。

钙质沉积岩有灰岩和白云岩。灰岩主要由方解石构成,白云岩主要由白云石类的矿物构成。在灰岩和白云岩之间,有各种中间类型的岩石。含有少量白云石的灰岩称为白云质灰岩,含有少量方解石的白云岩称为灰质白云岩。

除碳酸盐矿物外,钙质沉积岩中也含有其他矿物。最常见的是碎屑石英和粘土矿物。方解石和泥质物质含量大体相当的岩石称为泥灰岩。

硅质沉积中的矿物有蛋白石、玉髓、石英等。

3. 变质岩

变质岩是火成岩或沉积岩在变质作用条件下形成的新岩石。在变质作用过程中,岩石基本上处于固态,但矿物成分或结晶状态发生了变化。

第二节 多孔介质及其描述

多孔介质是含有大量空隙的固体。在岩石中,空隙由孔隙、微小的裂缝及各种类型的毛细管组成。

从岩石物理学的角度,可以从以下几个方面来定义和描述多孔介质:

(1) 多孔介质是多相介质占据的空间,其中的固相部分称为固体骨架,被非固相部分所占据的空间称为孔隙。非固相部分可以是气体或液体,也可以是多相混合的流体。

(2) 固相骨架和孔隙均应遍布在整个介质中。如果在介质中任意取一个适当大小的体积元,则在该体积元内必定含有一定比例的固体颗粒和孔隙。

(3) 由孔隙所占据空间的部分或大部分必须是相互连通的。换句话说,流体应能在部