



岩石物理学

Petrophysics

(第三版)

[美] Djebbar Tiab Erle C. Donaldson 著
周灿灿 胡法龙 李潮流 李霞 袁超 等译

石油工业出版社

岩石物理学

(第三版)

[美] Djebbar Tiab Erle C. Donaldson 著

周灿灿 胡法龙 李潮流 李霞 袁超 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了各种岩石物理参数(电学、声学、放射性、核磁共振等)测量方法与响应规律,涉及孔隙度、渗透率、润湿性、毛管压力、地应力参数等关键岩石物理实验原理与方法,并详细介绍各种计算模型特点、影响因素和使用条件,推导了各种地层参数计算公式,并配备相应实例与说明。

本书可供从事油气勘探和开发等专业的相关人员参考,也可作为大专院校相关专业的学生教材。

图书在版编目(CIP)数据

岩石物理学:第3版/(美)提阿卜(Djebbar Tiab),(美)唐纳森(Erle C. Donaldson)著;周灿灿等译. —北京:石油工业出版社,2016. 1

书名原文: Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties, Third Edition

ISBN 978-7-5183-0993-1

I. 岩…

II. ①提…②唐…③周…

III. 岩石物理学

IV. P584

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 281101 号

Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid

Transport Properties, Third edition

Djebbar Tiab, Erle C. Donaldson

ISBN: 978-0-12-383848-3

Copyright©2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright©2015 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2013-9044

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523736

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 41.5

字数: 1050千字

定价: 200.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《岩石物理学（第三版）》翻译人员名单

周灿灿 胡法龙 李潮流 李霞 袁超

刘忠华 王昌学 宋连腾 王贵文 王克文

李长喜 胡胜福 孔强夫 刘秘 周正龙

译者序

岩石物理学研究储层岩石在地表和地下等不同环境下的行为及其物理化学性质，既包括储层岩石本身的特性，也包括其与油、气、水的相互作用，是一门综合性的边缘学科，主要描述孔隙地质体的物理性质、不同流体与岩石孔隙表面的相互作用及孔隙介质内孔隙大小分布的基本原理。岩石物理学是测井、物探以及油藏工程的理论基础，也是油气勘探和开发专业认识储层的重要技术手段。随着勘探开发的储层对象从常规储层逐渐转向复杂碎屑岩储层、海相与陆相碳酸盐岩储层、致密油气与页岩油气等非常规储层，岩石物理学作为一门基础学科的作用越来越突出。

根据译者的工作体会，当前岩石物理学正在向多分支发展。传统的以提高采收率为主要目的的岩石物理学（也被称为油层物理学）注重研究岩石的渗流性质和岩石储集空间中的流体性质，可称为开发岩石物理；近些年发展较快的以地震精细勘探为主要目标的岩石物理学注重研究岩石本身及其含有不同流体时的声学性质，可称为地震岩石物理；唯独测井学科涵盖较全，除了涉及渗流和声学特性之外，还包括岩石的电磁学、光学、核物理与核磁共振等多方面的物理特性。长期以来，测井学科对储层岩石坚持不懈地开展物理性质研究，既奠定了将物理测量信息还原到岩石固有特征参数的理论基础，也促进了岩石物理学的飞速发展，因此可将这部分内容称为测井岩石物理。开发岩石物理、测井岩石物理和地震岩石物理是当前岩石物理学发展的热点，也是油藏工程、测井和物探专业应用技术研发的重要理论支撑。

中国石油勘探开发研究院测井与遥感技术研究所碎屑岩研究团队作为目前国内从事岩石物理研究的一支重要力量，以中国石油天然气股份有限公司测井重点实验室为平台，主要开展测井岩石物理与处理解释方法研究，涉及电阻率、声波、核磁共振等测井基础理论、基本方法、响应机理、资料处理和评价应用，取得了丰硕的研究成果。该团队多年来在研究工作中坚持岩石物理的主要方向，十分重视国内外技术信息的交流，特别是重视《Petrophysics》的工具书作用。

无论科研骨干，还是刚入学的研究生，都把该书作为必读书目。很多重要研究思路、研究方法以及原创成果都深受该书的启发和影响。

《Petrophysics》是国际上岩石物理学领域的著名论著，分别于 1996 年、2003 年和 2012 年出版了第一版、第二版和第三版。第三版在第一版和第二版的基础上，增加了油藏描述和测井解释基础两个章节的内容，并对其他章节做了进一步的完善和补充。为了让广大科研人员能够像碎屑岩研究团队一样受益于本书，更加方便阅读本书，中国石油勘探开发研究院测井与遥感技术研究所碎屑岩研究团队在紧张工作之余，历时近一年时间，查阅大量相关资料，完成了本书的翻译和三轮校对工作。真诚地希望译者的努力能够对岩石物理学领域的同仁有所启发和帮助。

在本书翻译过程，中国石油勘探开发研究院石油采收率研究所张祖波教授就开发实验装备和工艺内容的翻译给予悉心指导，在此表示诚挚的感谢。

由于本书内容从基础实验到油藏评价、从油气勘探到提高采收率，涉及学科较多，在本书的翻译过程中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

2015 年 10 月

前 言

本书在第二版的基础上补充了两章内容：第 10 章和第 12 章（包括 FORTRAN 程序）。补充章节通过对两个话题的讨论扩大了本书的研究范围，旨在向读者提供更加清晰的引导和更为广泛的知识。

很多读者对第二版提出宝贵意见，本书据此做了修改。第三章中更加深入地讨论了流体单元的概念。应用于页岩地层水平井钻探的水力压裂技术目前还在不断完善之中。本书在讨论岩石力学的第 8、第 9 章中作了相关内容的介绍。由于在世界页岩地层中找到了越来越多的天然气储量，岩石力学和水力压裂就显得更加重要。岩石物理实验研究与第二版相比没有变化，因此在本书未做任何修改。

本书旨在介绍用于描述孔隙型岩石及其与孔隙流体（气体、烃类液体及水溶液）相互作用的一些较为成熟的概念、方法和实验技术。地下多孔岩石及其所含流体的性质决定了所有经济可采储量在开采过程中流体的流速和开采结束后的残余量。在全世界范围内，经过一次采油和二次采油后残余在地下的油气大约为原始石油地质储量的 40%，这就是利用岩石物理学理论和方法进行精细油藏描述的巨大油气资源目标，据此，可以进一步提高二次采收率或实施三次采油技术（提高采收率）。岩石物理学与数学建模相结合的最新油藏描述方法给很多即将废弃的油藏带来了新的生机。本书汇集了大量散布于相关文献中的一些成熟理论和方法，以便为相关研究提供有益的参考。

Djebbar Tiab

Erle C. Donaldson

作者简介

Djebbar Tiab, 美国俄克拉何马大学石油工程系资深教授, 石油工程顾问。先后于 1974 年 5 月和 1975 年 5 月获得美国新墨西哥矿业学院石油工程学士和硕士学位, 1976 年 7 月获得俄克拉何马大学石油工程博士学位。俄克拉何马大学在阿尔及利亚研究生项目的指导老师。

Djebbar Tiab 在俄克拉何马大学讲授 15 门不同的石油和公选工程课程, 内容包括试井分析、岩石物理、油藏工程、天然气工程和油层流体性质等。Tiab 博士在一些石油公司担任技术顾问, 并为这些公司在美国和海外的机构开设石油工程培训课程。他在阿尔及利亚油田为阿尔及利亚国家油气公司 (Sonatrach) 和美国岩心公司 (CoreLab) 的技术协会 Alcore S A 工作了两年多。作为油藏工程高级顾问, 曾经在休斯敦为美国岩心公司和西方—阿特拉斯公司工作了 4 年。

作为俄克拉何马大学的研究人员, 从石油公司和很多美国机构获得数个研究项目。他在俄克拉何马大学指导了 23 名博士和 94 名硕士研究生, 发表 150 多篇会议论文和科技期刊论文。在 1975 年 (硕士阶段) 和 1976 年 (博士阶段) 提出了压力导数方法, 革新了不稳定试井解释。在油藏描述 (流体单元划分) 领域获得两项专利。Tiab 博士是美国国家研究委员会会员、美国石油工程师学会 (SPE) 会员、国际岩心分析家学会 (SCA) 会员, 并入选美国数学名人录和科学家名人录。他还担任 SPE、埃及、科威特和阿拉伯联合酋长国等机构和国家的多家杂志的技术编辑, 是 SPE 试井分析协会会员和 SPE 25 年俱乐部会员。

他曾获得过美国杰出青年奖、SUN 教育成就奖、Keer-McGee 杰出演讲人奖、工程学成就奖、哈里伯顿优秀演讲人奖、优尼科百年教授奖以及 P&GE 杰出教授奖。由于他在石油工程领域的杰出成就, 2002 年 10 月当选俄罗斯自然科学院外籍院士。同年 10 月, 他获得卡皮斯塔 (Kapista) 金奖。1995 年, 他获得著名的 SPE 石油工程教师特殊贡献奖, 获奖评语是, “Djebbar Tiab 先生培养学

生的能力和出色的讲课技巧得到同行的高度评价；他开辟了试井的压力导数技术，他的研究成果及发表的论文对理解岩石物理和油藏工程具有突出贡献”。由于在地层评价领域对石油工程的巨大贡献，他获得了 2003 年 SPE 地层评价奖。

Erle C. Donaldson，油气信息研究的试验区项目经理，在休斯敦开始了其职业生涯，随后受聘于俄克拉何马州巴特尔斯维尔的美国矿山石油研究中心，担任工业废物地下处理和油藏特性的项目经理。当该研究中心移交给美国能源部后，Donaldson 博士继续担任油藏特性项目的负责人。该研究中心交给个人经营后，他以副教授的身份加入俄克拉何马大学石油与地质工程学院。1990 年从该大学退休后，他被多家石油公司、大学和研究机构聘为技术顾问，其中包括美国国家环境保护局，美国海军兵器中心，沙特阿拉伯法赫德国王研究中心以及美国、巴西、委内瑞拉、玻利维亚和泰国的多家石油公司。目前他是 Tetrahedron 公司的高级顾问。

Donaldson 博士有四个学位：塞特多大学的化学学士、南卡罗来纳大学的有机化学硕士、休斯敦大学的化学工程学士和图尔萨大学的化学工程博士。他曾担任过 SPE、美国化学学会（ACS）和美国国内国际会议的委员或主席。他曾担任《石油科学和石油工程杂志》（Journal of Petroleum Science and Engineering）的主编 20 年。

鸣谢

特别感谢美国洛杉矶南加州大学 George V. Chilingar 教授对本书出版给予的帮助。

非常感谢他高效率的工作，他永远是我们的朋友。

目 录

1 矿物学简介	(1)
1.1 岩石矿物成分综述	(1)
1.2 沉积颗粒的性质	(9)
1.3 岩石物理研究进展	(12)
1.4 本书的目标和结构	(13)
参考文献	(16)
2 石油地质学概要	(18)
2.1 地球的组成	(18)
2.2 板块构造学	(20)
2.3 地质时间	(21)
2.4 沉积地质学	(22)
2.5 烃类圈闭	(26)
2.6 石油的成因	(28)
2.7 石油运移和聚集	(29)
2.8 地层流体性质	(32)
2.9 石油	(39)
2.10 石油化学特性	(44)
参考文献	(53)
3 孔隙度和渗透率	(55)
3.1 孔隙度	(55)
3.2 渗透率	(63)
3.3 渗透率和孔隙度的关系	(68)
3.4 油藏的非均质性	(117)
3.5 岩石特性的分布	(118)
3.6 统计分层技术	(139)
参考文献	(149)
4 地层电阻率和含水饱和度	(154)
4.1 地层因素	(154)
4.2 泥质(黏土质)油藏岩石的电阻率	(179)
参考文献	(223)
5 毛管压力	(227)
5.1 毛管压力	(227)
5.2 半渗透隔板法测量毛管压力	(233)
5.3 压汞法测量毛管压力	(234)

5.4	离心法测量毛管压力	(237)
5.5	孔隙大小分布	(246)
5.6	油藏垂直饱和度剖面	(248)
5.7	毛管数	(252)
	参考文献	(256)
6	润湿性	(258)
6.1	润湿性	(258)
6.2	润湿性评价	(264)
6.3	水—油—岩石系统的界面活性	(270)
6.4	改变岩石的润湿性	(274)
6.5	润湿性对电学特性影响	(279)
	参考文献	(284)
7	达西定律的应用	(291)
7.1	达西定律	(291)
7.2	通过裂缝和溶洞的线性渗流	(297)
7.3	径向流	(303)
7.4	气体的径向流	(311)
7.5	气体的紊流	(315)
7.6	多重渗透性岩石	(327)
	参考文献	(336)
8	天然裂缝性储层	(339)
8.1	碳酸盐岩渗透率	(340)
8.2	天然裂缝的地质学分类	(340)
8.3	天然裂缝性储层的工程分类	(342)
8.4	天然裂缝的识别	(344)
8.5	直接识别裂缝	(347)
8.6	天然裂缝岩石的岩石物理性质	(348)
8.7	裂缝中的流动模拟	(374)
8.8	试井资料表征天然裂缝	(376)
	参考文献	(388)
9	应力对油藏岩石特性的影响	(391)
9.1	静态应变—应力关系	(392)
9.2	岩石变形	(396)
9.3	岩石强度和岩石硬度	(408)
9.4	孔隙型岩石的压缩系数	(412)
9.5	应力对岩心数据的影响	(422)
9.6	孔隙度—渗透率—应力的关系	(428)
9.7	应力对压裂施工的影响	(437)
9.8	地下应力分布	(447)
9.9	应力变化对岩石破裂的影响	(451)

参考文献	(467)
10 油藏描述	(471)
10.1 油藏规模	(472)
10.2 流动单元	(477)
10.3 油藏动态分析	(482)
10.4 FORTRAN 程序分析压降曲线实例	(494)
参考文献	(504)
11 流体与岩石的相互作用	(506)
11.1 近井眼地层渗透率的重要性	(506)
11.2 渗透率伤害的本质	(508)
11.3 微粒运移对渗透率的影响	(514)
11.4 临界流速的概念	(529)
11.5 渗透率伤害机理识别	(535)
11.6 水质对渗透率的影响	(543)
参考文献	(561)
12 测井解释基础	(564)
12.1 地温梯度	(565)
12.2 自然电位测井	(565)
12.3 伽马测井	(567)
12.4 声波测井	(569)
12.5 密度测井	(569)
12.6 中子测井	(570)
12.7 微电极测井	(571)
12.8 微侧向测井和邻近侧向测井	(572)
12.9 定量计算油气	(573)
附录 岩石和流体性质测量	(585)
附录1 干馏法确定岩石中流体的含量实验	(585)
附录2 溶剂萃取法测量含水饱和度实验	(587)
附录3 密度、相对密度及 $^{\circ}\text{API}$ 实验	(588)
附录4 气体相对密度实验	(590)
附录5 黏度实验	(592)
附录6 荧光性实验	(594)
附录7 绝对孔隙度和相对孔隙度实验	(595)
附录8 颗粒大小分布实验	(602)
附录9 沉积物的表面积实验	(605)
附录10 绝对渗透率实验	(611)
附录11 验证 Klinkenberg 效应实验	(617)
附录12 相对渗透率实验	(619)
附录13 测井岩石物理基本参数实验	(624)
附录14 表面张力和界面张力实验	(627)

附录 15	毛管压力实验	(630)
附录 16	孔隙大小分布实验	(638)
附录 17	非理想气体 Z 因子的确定实验	(641)
附录 18	测量原油的沉淀物和水实验	(643)
附录 19	点载荷强度实验	(644)
附录 20	常用方法介绍 (UTILITIES)	(645)

1 矿物学简介

岩石物理学是研究岩石性质及其与油、气、水相互作用关系的一门学科。地下油气聚集所必需的地质条件是具有相互连通的三维孔隙网络系统,以使储层能够储集流体并能在其中流动。因此,就流体的储集和运移而言,储层孔隙度和渗透率是其最基本的物理性质。对于任何油气藏,准确了解孔隙度、渗透率及流体性质是油田有效开发、管理和动态预测的基础。

本书的目的是提供关于孔隙性地质体的物理性质、不同流体与岩石孔隙表面的相互作用和孔隙介质内不同尺寸孔隙分布的基本认识。岩石物理性质测量的方法与规范也是本书的一个重要组成部分。将基本物理特性应用于地下地层岩石时还要分析在地层条件下岩石物理特性的变化。

本书的重点主要介绍小的岩石样品测试,据此揭示其岩石物理性质及其与不同流体的相互作用关系。对于岩石及其中流体的流动特性,已经通过对刻蚀孔隙网络的玻璃板和玻璃珠填制的岩心柱等人造样品的研究以及疏松砂岩、常规砂岩和石灰岩等露头样品的研究获得了相当多的认识。这些研究成果可帮助人们建立更加复杂的储层岩石样品在地层条件下的岩石物理和流体流动特性的认识。人造岩心、露头岩石和地下岩石的实验分析资料和研究结果进一步丰富了岩石物理知识。尽管本书着重分析小样品,但是其结果与油气藏的宏观特征是相关联的。如果将油藏作为一个整体考虑,人们所遇到的问题是储层或层系中这些特性的分布情况。地层厚度、孔隙度、渗透率及其他与地层各向异性有关的特征的定向分布决定了流体流动的自然形态。对这种自然流体流动形态的认识,有助于设计最有效的注采系统,高效、经济地开发地下资源和获取最大的产量^[1]。

岩石物理学与矿物学、地质学本质上有着密切关系,其根本原因在于地球上大多数的石油是在孔隙性沉积岩中发现的。这些沉积岩由火成岩、变质岩和其他沉积岩的碎屑颗粒组成。这些碎屑颗粒经过频繁发生的机械和化学破坏作用,在风和地面河流的作用下被运移到其他地方,并沉积形成新的沉积岩。因此岩石物理性质主要依赖于沉积环境,沉积环境控制着岩石的矿物成分、粒度、方向性或者填充、胶结和压实程度。

1.1 岩石矿物成分综述

岩石的物理性质是其矿物成分的反映。这里定义的矿物是天然存在的化学元素或者由无机作用过程形成的化合物。对6块砂岩样品开展发射光谱仪和X射线散射扫描电镜^[2]分析,结果显示岩石仅由少量几种化学元素构成。岩石发射光谱分析的是岩石骨架化学组成,因为在分析中把岩石和锂熔合后使各种元素都溶解在水中,然后进行总发射光谱分析。X射线扫描电镜分析的是岩石断面上的一小块区域。整体样品化验分析结果与样品表面微观分析结果的差异对岩石—流体之间的相互作用的研究来说是非常值得注意的。岩石表面上的过渡金属元素导致其表面润湿性为油湿,原因是原油中的极性有机化合物与裸露在孔隙表面上的过渡

金属元素发生了 Lewis 酸基反应^[3]。表 1.1 中，铝元素的表面分析浓度偏高可能是由于砂岩中普遍存在黏土矿物。

Foster 对上千个地壳样品分析的数据取平均值^[4]（表 1.2）后进一步证实了表 1.1 中列出的元素是沉积岩中的主要成分。表 1.1 前 7 行中的 8 种元素（包括氧）占地壳总质量的 99% 以上。尽管地壳中的矿物和岩石类型具有非均质性，但是大部分构成岩石的矿物由硅、氧和铝以及一种或几种表 1.2 中列出的其他元素组成。

表 1.1 由发射光谱仪和扫描电镜测得的 6 个砂岩样品元素含量平均值
(以阳离子氧化物的形式记录)

矿物氧化物	整体分析 (发射光谱仪)	表面分析 (扫描电镜)	矿物氧化物	整体分析 (发射光谱仪)	表面分析 (扫描电镜)
二氧化硅 (SiO ₂)	84.1	69.6	氧化钙 (CaO)	0.70	2.1
三氧化二铝 (Al ₂ O ₃)	5.8	13.6	氧化镁 (MgO)	0.50	0.00
氧化钠 (NaO)	2.0	0.00	氧化钛 (TiO)	0.43	1.9
三氧化二铁 (Fe ₂ O ₃)	1.9	10.9	氧化锶 (SrO)	0.15	0.00
氧化钾 (K ₂ O)	1.1	3.0	氧化锰 (MnO)	0.08	2.0

表 1.2 地壳中主要元素的质量和体积

元素	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)	元素	质量百分比 (%)	体积百分比 (%)
氧	46.40	94.05	钙	4.15	1.19
硅	28.15	0.88	钠	2.36	1.11
铝	8.23	0.48	镁	2.33	0.32
铁	5.63	0.48	钾	2.09	1.49

资料来源: Courtesy C. E. Merrill Publishing Co., Columbus, OH.

表 1.3 和表 1.4 中给出一些矿物的化学成分和定量描述。其中一些矿物非常复杂，其分子式在不同出版物中不尽相同，在这种情况下应选用最常见的化学分子式。

表 1.3 主要沉积岩列表

形成机理	岩层	成 分
机械 风化	砂岩	石英——石英颗粒，源自三角洲
		长石——长石颗粒含量超过 20%
		杂砂岩——分选差的其他岩石颗粒，含有长石和黏土
		石灰岩——石灰石碎片
	易碎砂岩	碎屑——其他岩石颗粒疏松胶结而成
	疏松砂岩	碎屑——来自其他岩石的疏松砂岩颗粒
	粉砂岩	碎屑——由小于 1/16mm 的颗粒压实、胶结的细粒的碎屑岩
	砾岩	砂砾和或巨砾与泥和粉砂胶结

形成机理	岩层	成分
化学风化	页岩	黏土——由粒度小于 1/256mm 的细颗粒压实而成。通常以一定的水平成层沉积。油页岩中含有机物（干酪根）
	蒸发岩	盐和一些石灰岩、石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、硬石膏（ CaSO_4 ）、燧石（ SiO_2 ）、岩盐（ NaCl ）、石灰岩（ CaCO_3 ）
	白云岩	碳酸盐——与石灰岩发生化学反应 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$
	石灰岩	碳酸盐——来自生物的钙和沉积的 CaCO_3
生物成因	礁岩	碳酸盐——海水中有有机体的化石残留
	硅藻	硅酸盐——微小植物中的硅酸盐残留

表 1.4 矿物组成与描述

矿物名称（俗名）	分子式 ^①	命名	色泽形状描述	硬度 ^②
玛瑙（玉髓）	SiO_2	二氧化硅	不同颜色，蜡质光泽	7
无水石膏	CaSO_4	硫酸钙	白色—灰色	2
磷灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	氟酸盐		4
石棉（蛇纹石）	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	含水硅酸镁	浅绿色到暗灰色，油质或蜡质	3
斜辉石（辉石簇）	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mg})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$	亚铁镁硅酸盐	暗绿色到黑色，解理；复杂矿物组	5
重晶石	BaSO_4	硫酸钡	白色、浅蓝色、黄色或红色，珍珠光泽	3
绿柱石	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	铍族矿物	纯净绿柱石呈蓝绿色、绿色和祖母绿色，解理	7~8
黑云母	$\text{K}(\text{Fe}, \text{Mg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	含水钾亚铁镁硅酸铝	暗绿色到黑色，玻璃质，层理，成岩矿物	3
方解石	CaCO_3	碳酸钙	无色或白色到浅褐色，玻璃质；遇稀盐酸起泡	3
天青石	SrSO_4	硫酸锶	无色	3
白垩	CaCO_3	碳酸钙	白色，微小贝类形成的软细粒石灰石；遇稀盐酸起泡	2~3
绿泥石	$(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_6(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	含水亚铁镁硅酸铝	暗绿色，解理，成岩矿物	3
辰砂	HgS	硫化汞	红色到褐红色，光泽暗淡；汞元素唯一重要的矿物	2.5
堇青石	$\text{Al}_4(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Si}_5\text{O}_{18}$	亚铁镁硅酸铝	蓝色，玻璃质	7
刚玉	Al_2O_3	宝石	红色、蓝色	9
硅藻土	SiO_2	硅土	白色；遇稀盐酸不冒泡而与白垩区别	1~2
白云石	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	碳酸钙镁	粉红色或浅褐色，玻璃质—珍珠质；遇稀盐酸起泡	3

续表

矿物名称 (俗名)	分子式 ^①	命名	形状描述色泽	硬度 ^②
正长石	KAlSi_3O_8	钾长石	白色到粉红色, 玻璃质; 大晶体有不规则纹理, 解理, 成岩矿物	6
斜长石	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 和 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	钠长石	白色到绿色, 玻璃质, 解理, 成岩矿物	6
萤石	CaF_2	氟化钙		4
方铅石	PbS	硫化铅	铅灰色, 亮金属光泽	2.5
石墨	C	碳	灰色—黑色, 金属光泽	2
石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	含水硫酸钙	透明到白色或灰色, 玻璃质—珍珠质—丝质	2
岩盐	NaCl	氯化钠	无色到白色, 玻璃质—珍珠质	2
赤铁矿	Fe_2O_3	三氧化二铁	矿石, 红褐色—褐色到黑色或灰色	6
角闪石	$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})(\text{Al}, \text{Si})_8(\text{O}, \text{OH})_2$	含水碱亚铁 镁硅酸铝	暗绿色到黑色, 解理, 铁和镁形成暗色	5
伊利石	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_4$	含水硅酸钾铝	光亮到浅绿色, 玻璃质, 与白云母成分大致相同	2.5
高岭石	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_4$	含水硅酸铝	浅色	1~2
褐铁矿	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	含水氧化铁	黄色—褐色到暗褐色	5
磁铁矿	Fe_3O_4	四氧化三铁	黑色, 金属光泽; 强磁性铁矿	6
蒙皂石	$(\text{CaNa})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_4(\text{Si}, \text{Al})_8(\text{OH})_8$			1
白云母	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	含水硅酸钾铝	光亮到浅绿色, 玻璃质, 成岩矿物	2.5
橄榄石	$(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$	硅酸亚铁镁	光亮到浅绿色, 不同暗绿色到黄色, 岩石内水晶成玻璃质	7
蛋白石	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	含水二氧化硅	各种颜色, 玻璃光泽	5
黄铁矿	FeS_2	硫化铁	灰黄色, 亮金属光泽	6
石英	SiO_2	二氧化硅	透明, 不纯净者有不同颜色(紫水晶, 黄水晶, 粉石英, 褐色烟石英, 雪白燧石, 多色玛瑙), 玻璃光泽	7
蛇纹石	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	含水硅酸镁	浅褐色	3
菱铁矿	FeCO_3	碳酸亚铁	浅色到褐色或黑色	3~4
闪锌矿	ZnS	硫化锌	黄色到暗褐色或黑色, 树脂光泽, 解理, 锌矿	3
硫	S		黄色, 树脂质	1~2
钾盐	KCl	氯化钾	无色到白色	1~2
滑石	$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	含水硅酸镁	绿色、灰色或白色, 触感滑腻	1
黄玉	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Fe}, \text{OH})_2$		黄色、粉色、蓝色—绿色, 解理	8
绿松石	$\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		蓝色或绿色	5
蛭石	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	含水硅酸镁	浅色	1

①圆括号标注代表其中的原子个数可能不同;

②硬度 H 参见本章术语。