

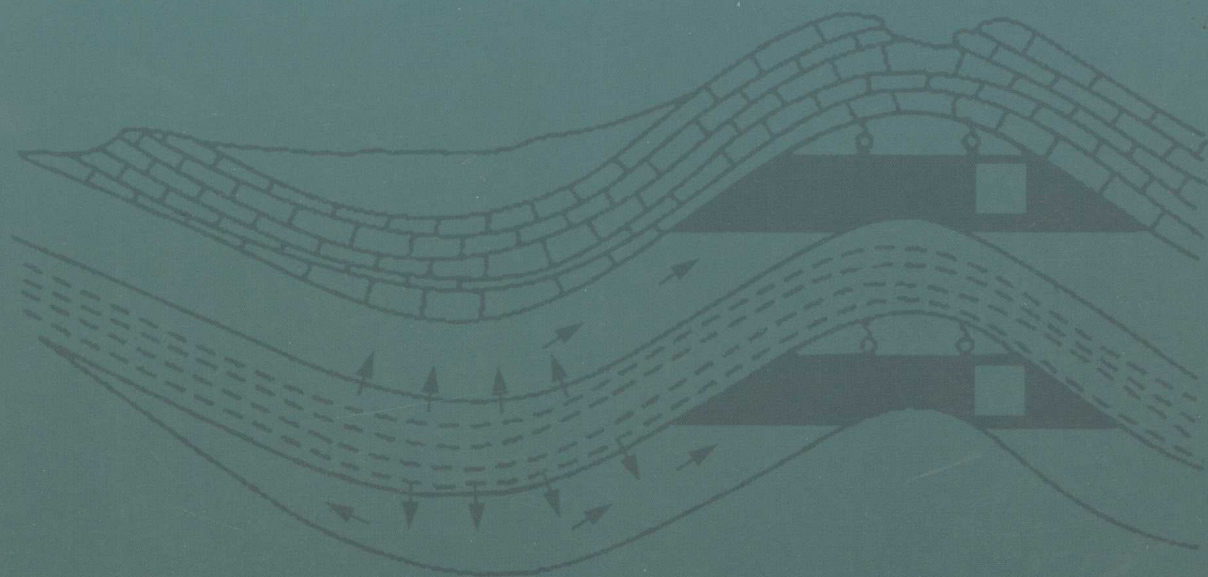
国外油气勘探开发新进展丛书 (五)
GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU

Petrophysics

Petrophysics

油层物理 (第三版)

[美] D. 佳布 E.C. 唐纳森 著
沈平平 秦积舜 等译



石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书(五)

油 层 物 理

(第二版)

[美] D. 佳布 E. C. 唐纳森 著

沈平平 秦积舜 等译

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了多孔岩石的性质及其与各种流体相互作用的概念、理论和测试过程。并通过用实验将油层物理和数学模型与现代方法及技术相结合进行研究。内容涵盖了矿物学和石油地质学中的孔隙度和渗透率、地层电阻率和含水饱和度、润湿性和毛管力、流体与岩石的相互作用、油藏岩石的应力效应、天然裂缝油藏及达西定律的应用等。

本书可供从事石油天然气开采研究的技术和管理人员参考,也可作为相关院校专业的学生教材。

图书在版编目(CIP)数据

油层物理/[美]D. 佳布 E. C. 唐纳森著;沈平平 秦积舜等译.
北京:石油工业出版社,2007.12

(国外油气勘探开发新进展丛书:5)

原文书名:Petrophysics(second edition)

ISBN 978-7-5021-6309-9

I. 油

II. ①D… ②沈…

III. 油气层物理化学-英文

IV. TE311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 164976 号

Copyright © 2004, Elsevier, Inc.

All rights reserved. This book, or any part thereof, can not be reproduced in any form without written consent of the publisher.

本书经 Elsevier, Inc. 授权翻译出版,

中文版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

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. cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京晨旭印刷厂

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:38

字数:965 千字

定价:185.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书(五)》

编 委 会

主 任：胡文瑞

副 主 任：赵政璋 杜金虎 张卫国

编 委：(按姓氏笔画排序)

刘德来 李忠兴 李相方

张义堂 张仲宏 张明禄

周家尧 章卫兵 魏国齐

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺,推动中国石油上游业务技术进步,本着先进、实用、有效的原则,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量,对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进,并翻译和出版。

从2001年起,在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上,从生产需求出发,通过优中选优已经翻译出版了四期22本专著。在这套系列丛书中,某些代表了某一专业的最先进理论和技术水平,有些非常具有实用性,也是生产中所亟需。这些译著发行后,得到了企业和科研院校广大生产管理、科技人员的欢迎,并在实用中发挥了重要作用,达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可。2002年丛书第2辑整体获得了中国出版工作者协会颁发的“引进版科技类优秀图书奖”,2006年丛书第4辑的《井喷与井控手册》再次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”,产生了很好的社会效益。

今年我们在前四期出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出了国外最新出版的6本专著,即《油层物理》、《钻井液处理手册》、《油井试井手册》、《气井试井手册》、《项目计划与控制》、《现代试井解释模型及应用》,以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校人员,使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版,并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

引 言

第一版简介

本书介绍了多孔岩石的性质及其与各种流体(气体、烃类化合物流体和水)相互作用的概念、理论和测试过程。多孔岩石的表面性质及其中的流体决定着流体流动的速度、原油开发过程中所使用的经济有效的开发方法和滞留在岩石孔隙中的残余油的数量。据估计,在全世界范围内,第一次和第二次采油结束后滞留在油层的剩余油量超过原有储量的 40%。要采出这些剩余的油需要更精细的了解油藏的特性(例如应用油层物理的理论和方法),强化二次采油和提高采收率。将油层物理和数学模型与现代方法及技术相结合,能够深入了解油藏的性质,并使接近废弃的油藏焕发新的生命。本书还收集了其他文献中的原理和方法,一并介绍给读者。

为了便于学习岩石性质和流体性质及其相互作用的关系,前两章简单介绍了矿物学、石油地质学和地质学的基本知识。第三章详细介绍岩石的两个性质,即石油工程中最重要和最常用的两个性质:孔隙度和渗透率。本章最后集中讲述多孔介质的孔隙度和渗透率的相互关系。第四章介绍了测井技术的基础,岩石的电阻率和含水饱和度。第五章讲述与岩石流体饱和度现象相关的毛管力和润湿性。例如由于流体被束缚在岩石中导致的残余饱和度、相对渗透率、影响产量的因素。由孔隙大小和润湿性决定的毛管力的测量和应用。第六章推导了达西定律并介绍其在线性流、径向流、层间流、涡流和多种孔隙度及渗透率岩石中的应用。第七章介绍岩石变形、压缩性和压力对孔隙度和渗透率的影响等问题。最后讨论了与各种地层伤害相关的岩石流体的相互作用。附录中介绍了确定岩石流体性质的 19 个实验和岩石流体的相互作用(本书第八章)。

作者在介绍每个实验过程中都列举了实例。起初本书是作为教科书和试验手册,但它还可以作为石油工程和地质工程的参考书或在油层物理实验室中应用。这是自 1960 年(J. W. Amyx, D. M. Bass, Jr., 和 R. L. 著 *Petroleum Reservoir Engineering*, New York, NY)以来出版的第一本在油层物理方面内容较为全面的书。随着石油工程技术不断的发展和进步,本书作为油层物理理论创新和应用技术基础的意义更加突出。这本书的独特之处归功于每位在油层物理理论发展做出贡献的石油工程师和石油地质师。

Djebbar Tiab
Erle C. Donaldson
George V. Cbilingar

第二版简介

第二版油层物理在第一版的基础补充了新的内容(第八章到第十章),同时补充了同事们和广大的无私读者提出的建议。

读者们可以发现,第一章补充了矿物的内容,为人们能更好的了解多种矿物和岩石提供了有益的帮助。第二章扩展了石油地质的内容,第七章丰富了达西定律的应用,第十章中的岩石与流体的相互作用的内容则保持了原貌。

第三章(孔隙度和渗透率)做了重大的调整。补充了以下内容:流动单元的概念,不同方向的渗透率,水平与垂直渗透率的相互关系,渗透率参数的平均技术,Dykstra - Parsons 渗透率变化指数等。第四章(储层电阻率和含水饱和度)也补充了新的知识,主要包括:黏土层流动单元的特性、识别等。本书第一版本的第五章分为两章:第五章(毛管力),第六章(润湿性)。这是因为在第一版出版以后在润湿性方面作了大量的工作。然而,毛管力和润湿性结合在一起是因为许多测试的基础和润湿性及其对原油采收率的影响的理论是毛管力决定流体饱和度。所以,深刻的理解毛管力对研究岩石润湿性的必要性就不言而喻了。

第八章(天然裂缝油藏)是新加的一章。事实上所有和我们联系的读者都建议应该详细的讨论岩石天然裂缝方面的内容。这一章主要介绍:天然裂缝的地质和工程分类,描述天然裂缝的参数,决定裂缝孔隙度和渗透率的因素,含裂缝岩石的强度系数,孔隙度分布指数,裂缝形状对渗透率的影响。在这一章中介绍了裂缝径向流的新概念。简单讨论了裂缝储存能力的测定方法和依靠测井数据求取基质孔隙度的方法。

在第九章(油藏岩石的应力效应)中补充了几个重要的内容:压力衰竭和补充、水平井和垂直井的临界井底压力、临界孔隙压力和由孔隙度数据估计的天然裂缝岩石的弹塑性导致的压力场的变化等。

在附录中包括油层物理试验,和前一版基本相同,因为试验研究油层物理的基本方法没有什么改变。最近发展的计算相对渗透率的常规方法也已经包括在附录 12 中。这个试验过程适用于测定相对渗透率的定压不稳定驱替过程。

Djebbar Tiab
Erle C. Donaldson

作者简介

Djebbar Tiab, Oklaboma 大学的石油工程系教授和石油工程高级顾问, Oklaboma 大学研究生院博士生导师。

Djebbar Tiab 先后于 1947 年 5 月和 1975 年 5 月获得新墨西哥矿业学院的石油工程学士和硕士学位, 1976 年 6 月获得 Oklaboma 大学石油工程博士学位。

Djebbar Tiab 在 Oklaboma 大学讲授包括试井分析、油层物理、油藏工程、天然气工程和油层流体性质等 15 门石油工程的基础和专业课程。他是一些石油公司的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。Djebbar Tiab 在阿尔及利亚油田的 Alcore SA 工作了两年, Alcore SA 是 Sonatrach 和 Core laboratories 技术协会。作为石油工程高级顾问, 他曾经在休斯顿为 Core laboratories 和 Western Atlas 工作 4 年。

作为 Oklaboma 大学的研究人员, Djebbar Tiab 与多个石油公司合作, 取得了大量研究成果。他在 Oklaboma 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)他提出了压力导数方法, 使不稳定试井解释得到革命意义的发展。他在油藏流体单元划分领域获得两项专利。Djebbar Tiab 博士是美国国家研究院院士、美国石油工程师协会会员, 岩心分析家协会会员, 入选美国数学名人录和科学家名人录。他还担任 SPEJ, Egyptian, Kuwaiti 和 U. A. E 杂志的工程部编委, 是 SPE 试井分析协会和 SPE 25 年俱乐部成员。

Djebbar Tiab 获得过美国杰出青年奖、教育成就 SUN 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以及 P&GE 杰出教授奖。由于其在石油工程领域的杰出成就, 在 2002 年当选俄罗斯自然科学院外籍院士。2002 年 10 月因为在石油工程领域的巨大贡献获得卡皮斯塔金奖。1995 年 SPE 授予他石油工程教师特殊贡献奖, 对他的评语是, Mr. Djebbar Tiab 出色的讲课技巧和培养学生的能力得到学生和同行的高度评价; 他是压力试井技术的先驱, 他的研究成果及发表的论文使人们对油层物理和储层特征有了更深的理解。由于其在评价模型领域对石油工程的巨大贡献, 他获得了 2003 年 SPE 的评价模型奖。

作为石油天然气研究小型试验区的经理, Erle C. Donaldson 在休斯顿开始了职业生涯。后来他受聘于美国国家的矿产石油研究中心, 担任表面处理技术、工业废物和油藏特性的项目经理。当该研究中心移交给美国能源部的时候, Donaldson 博士仍然是油藏特性研究项目的负责人。后来研究中心交给个人经营, 他则以教授的身份加入 Oklaboma 大学的石油与地质工程学院。1990 年从大学退休后, 他被多个石油公司、大学和研究机构聘为技术顾问, 其中包括世界环保组织, 美国海军指挥中心, 沙特阿拉伯皇家研究院和位于美国, 巴西, 委内瑞拉, 玻利维亚和泰国的多个公司。

Donaldson 有四个学位, 图尔萨大学的化学工程博士、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 The Citadel 大学化学学士。他曾经担任过石油工程师协会、美国化学学会和其他国内国际会议的主席。他是 SPE 25 年俱乐部的成员。目前,他是《石油科学和工程杂志》的主编。

鸣谢

特别感谢洛杉矶南加州大学的 George V. Chilingar 教授在本书编辑中给予的帮助。

我们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 油层物理研究进展	(12)
1.4 本书的目标和结构	(14)
习题	(15)
术语	(15)
参考文献	(17)
2 石油地质学概要	(19)
2.1 地球的组成	(19)
2.2 沉积地质学	(23)
2.3 石油的成因	(29)
2.4 油气运移和聚集	(30)
2.5 地层流体性质	(33)
习题	(52)
符号说明	(53)
参考文献	(55)
3 孔隙度和渗透率	(57)
3.1 孔隙度	(57)
3.2 渗透率	(64)
3.3 渗透率和孔隙度的关系	(66)
3.4 油藏的非均质性	(105)
习题	(130)
符号说明	(132)
参考文献	(135)
4 地层电阻率和含水饱和度	(139)
4.1 地层电阻率因子	(139)
4.2 页岩质(泥质)油藏岩石的电阻率	(165)
习题	(207)
符号说明	(210)
参考文献	(213)

5 毛管压力	(216)
5.1 毛管压力	(216)
5.2 半渗透隔板法测毛管压力	(222)
5.3 压汞法测毛管压力	(223)
5.4 离心法测毛管压力	(226)
5.5 孔隙大小分布	(235)
5.6 油藏饱和度剖面	(238)
5.7 毛管数	(241)
习题	(243)
符号说明	(244)
参考文献	(245)
6 润湿性	(247)
6.1 润湿性	(247)
6.2 评价润湿性	(253)
6.3 水—油—岩石系统的界面活性	(260)
6.4 润湿反转	(264)
6.5 电学特性对润湿性的影响	(269)
习题	(273)
符号说明	(274)
参考文献	(275)
7 达西定律的应用	(282)
7.1 达西定律	(282)
7.2 通过裂缝和溶洞的线性渗流	(288)
7.3 径向流	(294)
7.4 气体的径向流	(302)
7.5 气体的紊流	(306)
7.6 岩石的多重渗透率	(317)
习题	(323)
符号说明	(325)
参考文献	(327)
8 天然裂缝油藏	(329)
8.1 引言	(329)
8.2 碳酸盐岩渗透率的起因	(330)
8.3 天然裂缝的地质学分类	(330)
8.4 天然裂缝油藏的工程分类	(331)
8.5 天然裂缝的识别	(333)

8.6	裂缝的目测识别	(336)
8.7	天然裂缝岩石的油层物理性质	(337)
8.8	裂缝流动模型	(357)
8.9	由试井资料表征天然裂缝特征	(359)
	习题	(368)
	符号说明	(369)
	参考文献	(371)
9	油藏岩石的应力效应	(373)
9.1	静态应变—应力关系	(374)
9.2	岩石变形	(379)
9.3	岩石强度和硬度	(393)
9.4	岩石的压缩系数	(397)
9.5	应力对岩心数据的影响	(408)
9.6	孔隙度—渗透率—应力的关系	(413)
9.7	作用在裂缝上的应力效应	(424)
9.8	地下应力分布	(435)
9.9	应力变化对岩石破坏的影响	(440)
	习题	(451)
	符号说明	(454)
	参考文献	(456)
10	流体与岩石的相互作用	(461)
10.1	近井地带地层渗透率的重要性	(461)
10.2	渗透率伤害的机理	(463)
10.3	微粒运移对渗透率的影响	(470)
10.4	临界流速的概念	(485)
10.5	渗透率伤害机理的证明	(492)
10.6	水质对渗透率的影响	(502)
	习题	(519)
	符号说明	(519)
	参考文献	(521)
附录	岩石和流体性质的测量	(524)
附录1	干馏法确定岩石中流体的含量	(524)
	思考题	(526)
	参考文献	(526)
附录2	溶剂抽提法测量含水饱和度	(526)
	思考题	(528)

参考文献 (528)

附录 3 密度、相对密度及 API 重度 (528)

思考题 (530)

参考文献 (530)

附录 4 气体的相对密度 (530)

思考题 (532)

参考文献 (532)

附录 5 原油的黏度 (532)

思考题 (534)

参考文献 (534)

附录 6 荧光性 (534)

思考题 (535)

参考文献 (535)

附录 7 绝对孔隙度和相对孔隙度 (535)

思考题 (543)

参考文献 (543)

附录 8 颗粒大小分布 (543)

思考题 (547)

参考文献 (547)

附录 9 沉积物的表面积 (547)

思考题 (553)

参考文献 (553)

附录 10 绝对渗透率 (553)

思考题 (559)

参考文献 (559)

附录 11 验证 Klinkenberg 效应 (559)

思考题 (561)

参考文献 (561)

附录 12 相对渗透率 (561)

思考题 (565)

参考文献 (566)

附录 13 基础测井油层物理学参数 (566)

思考题 (569)

参考文献 (569)

附录 14 表面张力和界面张力 (570)

思考题 (572)

参考文献	(572)
附录 15 毛管压力	(572)
思考题	(579)
参考文献	(580)
附录 16 孔隙大小分布	(580)
思考题	(582)
参考文献	(582)
附录 17 非理想气体因子的确定	(583)
思考题	(585)
参考文献	(585)
附录 18 石油储罐底部的沉积物和水	(585)
思考题	(586)
参考文献	(586)
附录 19 点载荷强度实验	(586)
思考题	(587)
参考文献	(587)
常用方法介绍(UTILITIES)	(587)
参考文献	(589)
单位换算表	(590)

1 矿物学简介

油层物理学是研究储油气层岩石物理性质及其与油、气、水相互作用关系的科学。

油气藏是深埋地下、赋存于岩石孔隙空间中的可以流动的烃类物质矿藏。形成油气藏的地质体应该是具有相互连通的三维孔隙(网络)系统,它是存储流体及流体运移或流动的基础。就流体的存储和运移而言,孔隙度和渗透率是描述油气藏岩石特征最基础的物理性质。因此,对于任何油气藏,准确了解岩石孔、渗性质和流体性质是油田合理开发、管理和动态预测的基础。

本书的目的是阐述储油气层岩石(孔隙介质)的物理性质、不同流体与岩石孔隙表面的相互作用关系和岩石中孔隙大小分布的基本原理。岩石物理性质的测量方法与规范也是本书的一个重要组成部分。对储层基本特征的描述则是建立在岩石物理性质分析基础之上的。

本书的重点之一是介绍岩石样品的主要测试方法及其结果分析,并据此诠释岩石的物理性质和岩石与不同流体的相互作用关系。对于岩石及其中流体流动的特性是通过对疏松砂、砂岩和石灰岩等露头的岩样分析获得的;也可用非天然岩石样品,例如刻蚀孔隙网络的玻璃板、玻璃珠填制的岩心柱,以实验分析得到。通过上述研究扩展了人们对油层岩石及其流体流动特征的认识,解释了复杂的地层岩石性质与油气藏的密切关系。人造岩石、露头岩石和地层岩石的实验分析资料丰富了油层物理的知识。本书着重介绍了部分样品的分析与研究,这些与油气藏宏观特征相关的数据和资料具有较为广泛的适用性。将油藏作为一个整体考虑,人们所遇到的问题是把如何把单个样品的物理性质赋予到整个油藏和地层。与非均质性有密切关系的地层厚度、孔隙度、渗透率和地质特征的方向性等的分布决定了流体流动的实际方式。对这种流动方式的认知有助于设计最佳的注采系统,高效、经济地开发地下资源和获取最大的产量^[1]。

油层物理学与矿物学和地质学有着密切的关系,其根本原因是地球上大多数的石油是在具有孔隙性的沉积岩中发现的。这些沉积岩是由各种岩石——火成岩、变质岩和其他沉积岩的碎屑颗粒组成。这些碎屑颗粒产生于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,这些碎屑颗粒不断的被运移到其他位置,并沉积形成新的沉积岩。因此岩石的油层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。由发射光谱仪和X射线扫描电镜分析^[2]的6个砂岩的化学成分显示:岩石是由少量的化学元素构成。发射光谱分析是把岩石和锂熔合后使各种元素都溶解在水中,然后对整个发射光谱进行分析得到物质的化学成分。X射线扫描电镜能分析岩石破

碎表面上细微的部分。整体样品分析结果与样品表面微观分析相结合,对于考察岩石一流体之间的相互作用是非常有意义的。岩石表面上的过渡金属元素导致其表面油润湿,原因是原油中的极性物质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高于整体分析浓度,表明砂岩中普遍存在黏土矿物。

表 1.1 中所给的元素是沉积岩中的主要成分,表 1.1 前 7 行中的 8 种元素占地壳总质量的 99% 以上。Foster 对上万个地壳样品分析数据取平均值后证实了这一点^[4](表 1.2)。对 6 个砂岩分析发现岩石矿物中都含有氧。尽管矿物和岩石类型在地壳中的分布是不均匀的,但是构成岩石的主要矿物中包括:硅、氧、铝元素,以及列在表 1.2 中的其他元素。

表 1.1 由发射光谱仪和扫描电镜测得的 6 个砂岩样品的成分平均值^[2]

元素化合物	整体分析 (发射光谱仪)	表面分析 (扫描电镜)	元素化合物	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(Na ₂ O)	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 地壳中重量和体积上占主要的元素

元素	质量百分数,%	体积百分数,%	元素	质量百分数,%	体积百分数,%
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

(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。这些矿物是非常复杂的,它们的分子式在不同的出版物中不尽相同。因此,在附录中可以查出最常见的分子式。

表 1.3 主要的沉积岩列表

沉积岩		
形成机理	岩层	成 分
机械剥蚀	砂岩	石英——石英颗粒,源自三角洲;长石——20% + 长石颗粒;硬砂岩——分选差的其他岩石带有长石和泥岩;石灰岩——石灰石碎片
	易碎砂岩	碎屑岩——疏松胶结的其他岩石颗粒
	疏松砂岩	碎屑岩——来自其他岩石的疏松砂岩颗粒
	粉砂岩	碎屑岩——由小于 1/16mm 的颗粒压实、胶结的碎屑岩
	砾岩	砂砾和漂砾与泥和粉砂胶结

续表

沉积岩		
形成机理	岩层	成 分
化学侵蚀	页岩	泥岩——由小于 1/256mm 的粉颗粒压实。通常在有限的水平岩床面碾压。油页岩中含有有机物(干酪根)
	蒸发岩	盐和一些石灰岩;石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);无水石膏(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——生物提取钙和沉积 CaCO_3
生物成因	礁岩	碳酸盐——海水中有机体的化石残留
	硅藻	土硅酸盐——微小植物中的硅酸盐残留

表 1.4 矿物组分和描述,插入的分子式意味限定的元素可以存在不同的量

矿物名称(俗名)	分子式	命名	形状描述色泽	硬度*
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—灰	2
磷灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	氟酸盐		4
石棉(蛇纹岩)	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	含水硅酸镁	浅绿到暗灰;油质或蜡质	3
斜辉石(辉石簇)	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mg})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$	亚铁镁硅酸铝	暗绿到黑,解理;复杂矿物组	5
重晶石	BaSO_4	硫酸钡	白,浅蓝,黄,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、绿和祖母绿色,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	暗绿到黑,玻璃质,层理;岩成矿物	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,解理岩成矿物	3
辰砂	HgS	硫化汞	红到褐红色,光泽暗淡;汞元素唯一重要的矿物	2.5
堇青石	$\text{Al}_4(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Si}_5\text{O}_{13}$	亚铁镁 硅酸铝	蓝色;玻璃质	7
刚玉	Al_2O_3 宝石		红,宝石蓝	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	$\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2$	碳酸钙镁	粉红或浅褐色,玻璃质—珍珠质;遇稀盐酸起泡	3
正长石	KAlSi_3O_8	钾长石	白到粉红,玻璃质;大晶体有不规则纹理,解理,岩成矿物	6