

[美] Dana S. Ulmer-Scholle Peter A. Scholle 著
Juergen Schieber Robert J. Raine

著

张荣虎
曾庆鲁

斯春松
王俊鹏

苗继军
王波

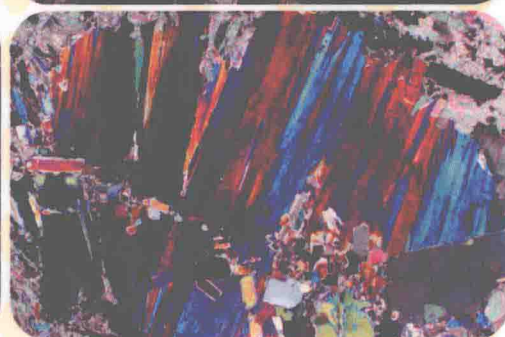
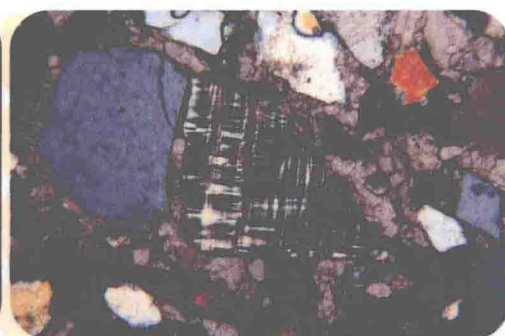
刘春
智凤琴

等译

碎屑岩岩相学

砂岩、粉砂岩、页岩及相关岩石

A Color Guide to the Petrography of
Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks



石油工业出版社

AAPG Memoir 109

碎屑岩岩相学

砂岩、粉砂岩、页岩及相关岩石

A Color Guide to the Petrography of
Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks

[美] Dana S. Ulmer-Scholle Peter A. Scholle 著
Juergen Schieber Robert J. Raine

张荣虎 斯春松 苗继军 刘 春 等译
曾庆鲁 王俊鹏 王 波 智凤琴



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一部细粒沉积岩的岩石学专著,通过大量图版分门别类介绍了砂岩、粉砂岩、页岩及相关岩石的颗粒、基质、胶结物、孔隙结构。通过岩石学这一工具,借助光学或电子显微镜,对砂岩、粉砂岩和泥岩的相关沉积特征进行了详细描述,极大提高了碎屑岩野外研究和岩心观察的效果,为地球化学研究提供了参考框架。

本书可供矿产、石油、煤炭、核工业等行业地质人员及相关院校师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

碎屑岩岩相学:砂岩、粉砂岩、页岩及相关岩石 /

[美] 达娜 S. 厄尔默-肖勒 (Dana S. Ulmer-Scholle),
[美] 彼得 A. 肖勒 (Peter A. Scholle) 等著; 张荣虎等译
. — 北京: 石油工业出版社, 2019.1

书名原文: A Color Guide to the Petrography of Sandstones,
Siltstones, Shales and Associated Rocks

ISBN 978-7-5183-3017-1

I . ①碎… II . ①达…②彼… ③张… III . ①碎屑岩
— 岩石学 IV . ① P588.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 260170 号

Translation from the English language edition: “A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks” by Dana S. Ulmer-Scholle, Peter A. Scholle, Juergen Schieber and Robert J. Raine, ISBN: 978-0-89181-389-7

Copyright 2014 By the American Association of Petroleum Geologists

All Rights Reserved

本书经 American Association of Petroleum Geologists 授权石油工业出版社有限公司翻译出版。版权所有, 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

编辑部: (010) 64523544 图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

889 × 1194 毫米 开本: 1/16 印张: 36

字数: 1060 千字

定价: 280.00 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

《碎屑岩岩相学： 砂岩、粉砂岩、页岩及相关岩石》

翻 译 人 员

张荣虎	斯春松	苗继军	刘 春	曾庆鲁
王俊鹏	王 波	智凤琴	张惠良	伍 劲
杨 钊	宋 兵	王 珂	李娴静	陈希光
陈 戈	余朝丰	赵继龙	卢文忠	刘少治
夏九峰	赵建权	桑宁燕	曹 鹏	吴李珊

中文版序

由著名岩石和沉积学家 Dana S. Ulmer-Scholle, Peter A. Scholle, Juergen Schielber 和 Robert J. Raine 等编著的《A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks》一书已由中国石油杭州地质研究院翻译成中文,即将由石油工业出版社出版。出版前本人有幸先睹其全部内容,全书充分应用美丽而五光十色的镜下图片,全面真实地揭示各类岩石的知识性、科学性,对一些十分神秘的现象和变化做出了恰似其分的成因分析。对我来说,真是大开了眼界、增长了知识,印象极深、受益匪浅。

全书共分为 24 章,其中第 1 章至第 4 章主要描述了造岩矿物,主要是石英和硅质、长石(包括斜长石和钾长石)、岩屑(包括沉积岩、变质岩和火成岩岩屑),还有副矿物(包括轻矿物、超稳定重矿物、中等稳定重矿物和不稳定重矿物)。特别值得一读的是对每种矿物的形态特征、颜色、结晶习性、解理,在单偏光、双偏光镜下的光学特性及埋藏过程中可能发生的变化都对照图片进行了详尽的描述、解释和说明,并给以来源的成因解释。

第 5 章至第 8 章,介绍了混杂碎屑颗粒和岩石(包括碳酸盐颗粒、硅质颗粒和岩石、磷酸盐颗粒和岩石、生物颗粒和岩石、蒸发岩颗粒和岩石等)、砂岩及砂岩的结构与分类及粉砂岩、泥岩和页岩等。同样,对不同颗粒或岩石的组成成分特征,在单偏光、双偏光镜下的岩石和颗粒的光学特性及染色后辨认的标志,埋藏过程中可能发生的溶蚀、交代、再沉淀等现象都有图片显示,并进行了详尽的描述、解释和说明。

第 9 章至第 21 章,阐明了各类成岩作用,其中主要是压实作用、胶结作用、溶蚀作用、交代和重结晶作用及变形作用,并详细分章地描述了同沉积期和地表成岩特征、压实作用、胶结作用。其中,胶结作用包括石英和硅质胶结(包括石英次生加大、多晶石英胶结、隐晶硅质胶结)、长石胶结、黏土矿物胶结(包括鲕绿泥石、海绿石、高岭石/地开石、蒙皂石和伊利石/蒙皂石、伊利石/绢云母、绿泥石)、沸石胶结、碳酸盐胶结(包括方解石、菱铁矿、白云石、铁白云石的胶结)、硫酸盐和硫化物胶结(包括石膏、无水石膏和重晶石的胶结)、铁的氧化物和硫化物胶结及其他胶结物的胶结;交代和重结晶作用包括长石、碳酸盐、硫酸盐和其他物质,最后是变形作用。在研究成岩作用时,作者充分考虑埋藏过程的原始物质组成、长石变化、压力、温度、流体性质;应力场、烃类成熟度、水化学特征变化和经历的多次地质过程等各类因素,对图片中出现的各类让人眼花缭乱的色彩变化和不可思议的现象给以科学合理的解释,让人叹为观止。

最后第 22 章至第 24 章,围绕石油勘探和开发中最关键的孔隙度、渗透率等问题进行了讨论,对孔隙进行分类,并用彩色图片进行展示。论述了在成岩过程中孔隙的演化,并指出孔隙度变化的六个控制因素,并对研究各类岩石的岩相及各类成岩作用研究方法和仪器进行了简要的介绍,指出常发生的问题和可能发生的错误,这一切无论对具体鉴定者还是研究者都是十分有益的。这里也必须强调的是译者是几位年轻的沉积学家,他们花了极多的时间和精力,对译文反复推敲,使译文读来朗朗上口,做到了“信、达、雅”翻译三原则,确实难得。

顾家裕

2018 年春于北京

译者的话

随着“十三五”致密油气、页岩油气勘探开发不断地深入,数字露头、工业 CT、矿物元素分析 Qemscan、FMI 及 EMI 成像测井、激光共聚焦扫描、背散射电子探针等先进技术得到广泛应用,对砂岩、粉砂岩及泥岩等细粒沉积物的研究和认知显得更加迫切和重要了,其成果也被列入 2014 年全球十大石油科技进展之一。据在 2014 年第五届全国沉积学大会上姜在兴教授的介绍,细粒沉积岩分布很广,约占整个沉积岩的三分之二。与其他沉积岩相比,细粒沉积岩的沉积、成岩都是比较复杂的。由于粒度小,观察难度大,受超微观实验条件的限制,对细粒沉积物的研究一直很薄弱。目前,在细粒沉积研究方面需要解决的问题很多,诸如概念及术语、岩石学分类标准、沉积动力学过程及沉积模式、深水层序地层划分、埋藏成岩中的物质转化、储集空间及渗流机理等。

细粒沉积岩作为烃源岩,不但控制了常规油气藏的形成与分布,而且与致密油气、页岩油气等非常规油气资源密切相关。国外海相细粒沉积岩形成机理与岩石组构的创新认识,拓展了油气勘探领域,推动了北美非常规油气的勘探进程。近几年美国油气产量增长主要是非常规油气资源开发技术的不断创新,从而使成本不断降低。2015 年美国致密油产量为 2.1 亿吨、页岩气产量达到了 4250 亿立方米;2016 年页岩气产量 4447 亿立方米,占天然气总产量的 58.5%。非常规油气革命推动了美国实施“能源独立”战略,也打破了中东地区油气供应一极独大的传统格局,正在形成中东、中亚—俄罗斯、非洲、美洲多元发展的新格局。同时,许多国家和地区大力发展非化石能源,非化石能源供应正在发挥越来越重要的作用。

中国发育多期、多类型沉积盆地,演化历史长,致密碎屑岩储层广泛发育,决定了中国致密油气资源十分丰富。据第四次油气资源评价,常规、非常规天然气可达 57.46 万亿立方米。近年来,随着国际油价的持续低迷,天然气作为石油公司上游主营业务的地位凸显,中国中西部叠合盆地中上组合,尤其是中—新生界中浅层砂岩、粉砂岩及泥岩是国内效益勘探开发的关键领域。

本书为《A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks》一书的译著,主要集中于四个方面的研究,主题包括砂岩岩石颗粒的结构和分类、泥岩、成岩作用及其他,集成了一套典型的砂岩、粉砂岩、泥岩及相关岩石的岩相学特征图版及说明,全书共计二十四章。

该书的翻译工作主要由中国石油杭州地质研究院完成;美国得克萨斯大学奥斯汀分校苗继军教授参加译著校审和前期准备工作。具体分工为:第一章至第五章由刘春高级工程师完成;第六章至第八章由曾庆鲁高级工程师完成;前言及第九章至第十五章由张荣虎高级工程师完成;第十六章至第二十一章由王波高级工程师完成;第二十二章至第二十四章由王俊鹏高级工程师完成;附录由王珂博士完成。此外,宋兵、伍劲、杨钊工程师等都做了大量协助工作,智凤琴高级工程师、李娴静工程师完成译著结构编排及文字校正,斯春松、张荣虎、张惠良进行了全书统稿,张荣虎完成最终出版校正和审查。

本书资料基于全球致密砂岩气、页岩气勘探开发实践,研究内容涉及碎屑岩岩相学基础理论、基本概念和最新实验分析技术,值得国内相关研究人员学习和借鉴,书中丰富的碎屑岩储层地质学理论,对今后国内油气勘探起到重要的指导作用。本书在翻译过程中得到国内石油高校和研究机构许多知名专家和学者的悉心指导及帮助,在此表示衷心的感谢!

由于译者水平有限,译文难免存在纰漏之处,敬请同行批评和指正。

作者简介

Dana S. Ulmer-Scholle

Scholle Petrographic, LLC, P. O. Box 386, Socorro, NM 87825 U. S. A. (e-mail: ulmerscholle@gmail.com)

Dana 在俄亥俄州辛辛那提市长大, 那里有典型的上奥陶统露头, 所以很早就对地质产生兴趣。她于 1981 年获得辛辛那提大学学士学位。1983 年于 Southern Methodist 大学完成硕士学位, 主要研究新墨西哥州密西西比河 Penasco 组。在 ARCO 勘探公司的工作结束之后, 她返回 Southern Methodist 大学完成博士学位 (1992 年)。她的论文关注于新墨西哥州、怀俄明州及格陵兰的上古生界碳酸盐岩、蒸发岩相关的成岩作用。

Dana 曾为 Amoco 油气公司、ARCO 勘探、ARCO 国际、美孚石油公司和 Maersk 油气公司等工作或担任顾问。目前, 她是 Scholle Petrographic 有限责任公司的合作伙伴, 该公司为岩石学类咨询公司。Dana 同时也是新墨西哥州矿业技术学院的助理教授, 讲授包括岩相和沉积 / 成岩模型在内的碳酸盐岩相关课程。她的主要研究领域包括碳酸盐岩和硅质岩系中 CO_2 在埋藏过程中的作用, 碳酸盐岩沉积和成岩作用、岩相学, 低温同位素和微量元素地球化学, 沉积岩流体分析等。在新墨西哥州矿业技术学院期间, Dana 参与了包括重金属生物降解和搬运中存在的环境问题的调查。她也是诸多论文、报告、书籍和数据资料的作者或联合作者。于 2005 年获得了 AAPG 的 Robert H. Dott 奖励。



Peter A. Scholle

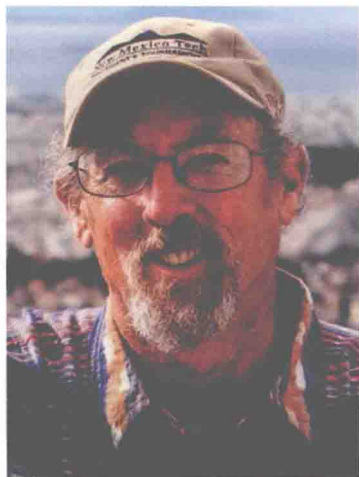
Scholle Petrographic, LLC, P. O. Box 386, Socorro, NM 87825 U. S. A. (e-mail: scholle1@gmail.com)

Peter 于 1965 年获得耶鲁大学地质学学士学位。分别在德国慕尼黑大学和得克萨斯奥斯汀大学学习一年之后, 于 1970 年在普林斯顿大学获得地质学博士学位。他的毕业论文研究内容为意大利亚平宁深水碳酸盐岩浊流, 导师为 Al Fischer。

Peter 教授的履历包括国家和联邦政府、石油公司及学校。曾有 5 年时间为各种石油公司 (城市服务公司、海湾石油公司和雪佛龙公司) 工作, 并为其石油公司担任多年顾问工作。曾有 9 年时间在雷斯顿和丹佛的美国地质调查局工作, 其中 3 年时间担任油气部门的主管。他曾在得克萨斯大学达拉斯分校任教 3 年, 从 1985—1999 年担任 Southern Methodist 大学地质系教授。自 1999 年至 2011 年, 他担任新墨西哥州地质专家, 并在新墨西哥州地质和矿业资源局担任主管。目前, 他是 Scholle Petrographic 有限责任公司的合作伙伴。

Peter 将大部分时间贡献给了碳酸盐岩研究和写作。他的主要研究兴趣是深水碳酸盐岩 (尤其是白垩) 和世界多个区域的二叠系成岩作用和油气潜力。他曾在近 30 个国家工作过, 并独著、合著或编辑过 9 本书、约 200 篇论文和摘要, 制作了 23 张 CD-ROM 以及众多计算机或音频产品。Peter 自 1976—1977 年就是 AAPG 及 SEPM 的会员, 而且是 AAPG 荣誉报告人。

Peter 教授于 1975—1976 年两次被授予 AAPG 主席奖、Sproule 纪念奖、AAPG 价值奖及 AGI Ian Campbell 地质学突出贡献奖 (2013)。曾任 SEPM 主席及特约编辑, AGI 和 AASG 主席。





Juergen Schieber

Indiana University, Department of Geological Sciences, 1001 E. 10th St.,
Bloomington, Indiana, 47405, U.S.A. (e-mail: jschiebe@indiana.edu)

Juergen, 1978 年获德国图宾根大学地质学学士学位, 1985 年获俄勒冈大学地质学博士学位, 研究盆地演化之间的关系和层状硫化物矿床成因、中央蒙大拿中元古界沉积。2002 年至今, 任印第安纳大学地质学教授, 曾于 1996—2002 年在得克萨斯大学阿灵顿分校任教。

Juergen 是一个页岩专家。他发表论著丰富 (100 篇论文、20 本指导书、两部专著、215 篇会议摘要), 受邀到美国、加拿大、欧洲和亚洲的研究机构、行业短期课程和专题讨论会上讲课。他的研究兴趣包括: Belt 盆地和美国东部泥盆纪盆地的分析和沉积学、页岩沉积学、黑色页岩的起源和沉积型矿藏沉积和演化、沉积物地球化学、行星地质学和火星沉积地质学。

Juergen 的研究特点是整体分析页岩, 为了理解页岩形成所涉及的种种因素, 综合野外研究 (岩相、地层学) 与实验室 (薄片、电镜和地球化学) 相结合。其关注的关键工作是水槽页岩沉积学的实验研究和相关工作。研究经费由政府机构提供 (NSF、美国能源部和美国宇航局)、基金会 (石油研究基金)、印第安纳大学页岩研究协会 (埃克森美孚国际公司、阿纳达科、马拉松、壳牌、雪佛龙公司、康菲石油公司、温特沙尔、鲑鱼、挪威国家石油公司) 和独立研究协议 (斯伦贝谢 / TerraTek、先锋自然资源)。他讲授有关页岩沉积学、页岩结构和孔隙结构的短期课程, 也教授页岩沉积学、岩相分析以及显微镜下的岩相学。

Robert J. Raine

Geological Survey of Northern Ireland, Belfast, Ireland, United Kingdom BT9
5BF (email: robertr@bgs.ac.uk)

Rob, 2003 年毕业于伯明翰大学, 获地质学硕士学位, 继续攻读地质学博士学位。他研究了寒武纪和奥陶纪碳酸盐岩沉积学和苏格兰西北部劳伦系被动陆缘沉积的地层学。在此期间, 他担任拉普沃思地质博物馆的馆长助理, 作为管理员而工作了一段时间。

2008 年, Rob 作为沉积学家和岩相学家加入 Ichron 有限公司, 主导研究来自印度、斯里兰卡、阿尔及利亚、英国和挪威北海的海洋、湖泊和陆地沉积物, 他还为葡萄牙和其他的石油公司开展了大量的野外考察, 在印度开设岩心测井课程。

Rob 最近作为石油和能源地质学家, 加入了北爱尔兰地质调查局, 为企业、贸易和投资石油许可提供科学支持, 指导促进北爱尔兰石油和地热勘探潜力的研究。他的主要研究兴趣是环湖坪型碳酸盐岩和碳酸盐、硅质碎屑混合环境中的蒸发岩, 湖坪及湖相微生物岩, 河流及风成沉积储层质量及成岩作用, 二叠纪和三叠纪成岩及环境研究。



前言

本书涵盖了砂岩、泥岩和相关岩性的微观研究，但不包括 AAPG 出版 (Scholle 和 Ulmer-Scholle, 2003) 的碳酸盐岩。砂岩岩相学和普通意义上的沉积岩石学被认为是一门正在衰落的学科，因此，在大学中，这两门学科教学用时较少，而且受关注度也较少。

实际上碎屑岩岩石学仍然是一个重要的研究领域，有助于学术理论和应用经济的发展。这是一个正在转型的学科。在 20 世纪中期，研究主要侧重于物质搬运过程、沉积环境、矿物鉴定以及岩石类型来判断古气候和古构造环境。从那时起，研究前沿就转向了砂岩的成岩研究，以及对更细粒度的泥岩和页岩的认识 (参见 the insightful historical review by Steel and Milliken, 2013)。这一过渡主要是由于油气勘探转向更深层次的目标、更多的地层和非常规以及更细粒度的储层岩石的转变。

石油研究重点的转移，导致砂岩成岩过程的特征、程度和变化及孔隙度保留、损失或建造预测模型的发展。同时，对地层变化重要性的认识，迫使人们重新评估长期以来基于岩相确定沉积物组成的物源原则。现在，岩石组成被更清楚地理解为不仅是由物源表面风化、搬运和沉淀的源岩产物。成岩作用永久地或至少同等作用的通过埋藏溶解、交代过程来控制砂岩的最终结构和成分 (见表)。

砂和砂岩演化历经的主要阶段 (确定影响岩石最终成分和物源的因素更加困难)

阶段	主要特征
出生：物源条件	最初的影响是源岩成分和暴露前 (岩石外部) 的变化。选择性风化、破裂和侵蚀，以及构造、地形和气候影响，进一步形成初始的沉积物组成
离家：搬运	破裂、磨损和地球化学变化，以及分选和混合、选择性的变化。可能的临时沉积或暴露事件 (再次，强烈的构造 / 地形和气候控制)，可以进一步改变沉积物特征
定居：沉积	地表的持续风化和磨损；海洋中的局部海底成岩作用；潜在的粒内局部衍生，碳酸盐骨架或鲕粒化学组分 / 生物化学沉积物 (石灰岩、蒸发岩、绿色砂岩或含铁岩石) 的形成
首次工作：早期埋藏深度 <500m (1600ft)、温度 <40℃	相当大的脱水和压实作用；潜在成土作用、淡水、盐水或混合水成岩作用 (部分完全溶解不稳定矿物；方解石、白云石、菱铁矿及高岭石、亚氯酸盐以及沸石的胶结和交代)，某些情况下有机物的生物 (微生物) 变化
逐渐成熟：中等埋藏深度 0.5~2.5km (1600~8200ft)、温度 40~100℃	压实较弱但加速成岩作用 (石英和伊利石黏土增加了胶结；部分溶解或交代了不稳定的钙和钾长石，蒙皂石黏土和不稳定到中等稳定的重矿物)。蛋白石对蛋白石 -CT 的热化学改变及油气的生成
逐渐衰老：深埋藏深度通常为 2.5~10km (8200~33000ft)、温度为 100~250℃	残余不稳定长石和重矿物的大量溶解；蒙皂石近乎完全转化为伊利石 (和纯伊利石的变形)；高岭石转变为伊利石；稳定和完全岩化的石英、钠长石、伊利石组合或在某些情况下转化为“成岩石英岩”的整体形成，蛋白石转化为石英 (燧石或玉髓)，热化学生烃和硫酸盐还原 (具有方解石溶解和鞍形白云石形成的潜力) 的高峰期
死亡 (或回到表面进行再生)：埋藏深度 >10km (33000ft)、温度 >250℃	以绿泥石和云母形成的低变质作用开始，或抬升暴露、剥蚀

细粒沉积物 (页岩和粉砂岩) 的研究推动了对非常规油气藏的发现，其中许多是使用光学和电子显微镜进行的。一方面，当对砂岩和碳酸盐岩进行研究时，露头可以提供一系列有意思的观察结果。这些特征能够揭示沉积物搬运过程中的沉积环境和沉积历史，且易于观察到。当从这些露头离开的时候，已经得到了一些初步的岩石评价结论。另一方面，细粒岩由于极易风化，在露头不易保存，只有通过薄片和 SEM 观察才能真正揭示其特征。

100 多年前，H. C. Sorby (1908) 指出，“在自然环境条件下足以证明黏土的结构有很大的不同，并表明其形成环境也不同；但未经薄片观察时，在沉积组构方面总是还有些疑问”。这一现象如今没有任何改变。

在准备良好的页岩薄片上，可以轻松地观察到空间环境中的不同层次和不同岩石类型，并且具有十分详细的接触关系。通过这些观察，可以从几平方厘米的横截面中得出关于沉积过程和环境的关键认识。页岩薄片具有提供大量沉积学意义的潜力，就如同在砂岩和碳酸盐岩露头获得大量信息一样。当研究页岩时，薄片和 SEM 视图对于恢复沉积过程、沉积环境和成岩历史是不可或缺的。

细粒岩的成岩问题和地下性质研究，与分析化学方面的科学性和工艺性进展紧密相连。这反过来又证实了岩石学不仅仅是一个“独立”的学科，更是一个“综合”学科。各种各样的电子显微镜已经将岩相检测的范围扩大到亚微米范围。更复杂和自动化的 X 射线衍射、微探针、离子探针、阴极发光和其他分析技术，以及激光和其他微量采样方法，可以获取微观尺度上地球化学数据。

这些技术毫无疑问有用而复杂，岩石学（光学和电子成像级别）研究仍然依赖这些基础科学。在最简单的形式下，需要在分析之前了解要分析的对象，例如，是碎屑还是自生矿物？通过微观成像和定量分析能够对单一颗粒进行元素和同位素研究，这一点尤其重要。

总的来说，从现有的各种分析数据可以看出，从常规 X 射线数据到详细的光谱化学分析，再到更为复杂（和昂贵的）的研究，例如黏土和稳定的碎屑重矿物的辐射测量或裂变径迹测量（如锆石、电气石和磷灰石），这些分析可以很好地确定年龄，厘定成岩序列中的特定事件，并定量提供关于源岩的年龄和组成的信息。

从根本上来说，岩石学仍然是至关重要的，在石油化工行业中日益广泛地应用。以一个具体的例子来说明岩石学和地球化学“组合”对于应用沉积学的价值。对于某一细粒岩石样品，假设 X 射线或地球化学结果为 48% 的石英、7% 的斜长石、3% 的正长石、3% 的方解石、39% 的黏土。那么这些石英包括哪些组合又来源于哪里呢？主要是碎屑石英颗粒、富石英岩碎屑、蚀变的浮游生物（放射虫或硅藻）、微晶石英（燧石）、石英次生加大或其他矿物？你不会知道石英是什么意思，除非你学了岩石学，就能了解岩石的不稳定性和石英与油气生成的关系。黏土呢？它们是分选不好的砂岩中的碎屑沉积还是成岩沉淀物？对于这些问题不同的人有不同的认识，但无论如何没有岩石学是不成的。

本书简介

沉积岩石学既是一门科学又是一门艺术，其核心内容是，你可以通过该书介绍，能区分岩石的颗粒、基质、孔隙、主要矿物成分，且每部分都有一个或多个章节去阐述，而且有相应的照片说明。大多数砂岩的岩石成分为石英和长石，鉴定这些岩石类型是本书的主要内容，且还有一些常见的矿物也一起做了研究。

颗粒鉴定能够分析沉积物来源。除此之外，还能够了解沉积物的结构参数（大小、分选、粒度等），区分碎屑基质与假基质和黏土的不同。随着话题的展开，读者还可以了解陆源碎屑沉积物的分类。有许多不同的分类方法，特别是在“新命名时代”（20世纪50—70年代）。最后，成岩作用的复杂性，曾经不甚了解或者主要局限于研究近地表变化，现在已经得到更好、更深入的理解。所以压实、胶结、溶解和交代的章节将帮助人们更好地理解成岩产物，以及原生和次生孔隙的区别。

本书提供了许多有用的知识和照片。第6章列出了标准粒度和分选术语的综合效用表，以及分选、排序、形状和磨圆度的视觉对比图。后边还提供了视觉颗粒百分比估计对比图。本书附录还提供了术语表和 Michel-Lévy 折叠色彩图为沉积岩中大多数矿物提供了准确的双折射颜色。

本书的首要目的不是作为沉积学教科书，而是成为碎屑岩微观研究的应用指南——为读者提供有关碎屑岩颗粒、基质、胶结物、孔隙、结构和纹理的注释插图，读者可以学习并自己识别这些特征。我们试图在照片中提供好的、清晰的但不是特殊的例子，这样你在书中看到的同你在研究中看到的一样。然而，本书没有过多讲述光学显微镜或矿物学相关知识，但针对那些没有任何经验的人，本书对这两门学科都有一些背景介绍。

本书主要对陆源碎屑沉积物的组成进行鉴定和识别，其次才是解释成因。在这方面，与碳酸盐岩的研究重点类似。这些特征有助于识别物源特征，或者区分原生（碎屑）和次生（成岩作用）物质。然而，对所有的颗粒和组构的充分诠释超出了本书的范围，特别是因为许多解释仍然存在争议。因此，在每章的最后提供相关引用的文献，包含各种论文、专题概述、详细科学研究以及涵盖该数据从薄片到更广泛地质问题的研究。概述论文尤其值得一读，因为它们提供了许多额外的参考资料，这将有助于您进一步了解本书的主题。

本书部分章节阐述了一些分析技术：微观的、地球化学的和其他方面的补充，其通常与岩石学相结合。这些章节简单地介绍了一系列丰富多彩的工具——整本书前前后后介绍了许多这方面的技术，所以不再专门进行详细阐述。本书还展示了一些更直接的实用岩石学技术的照片，如阴极发光或荧光显微镜。

关于本书的照片——与本书的前传 Memoir 28 不同，几乎完全以数字格式进行拍摄。数码摄影已经彻底改变了岩相资料，允许人们以较低的光照水平拍摄。数字格式还允许以后再在诸如 Adobe Photoshop 之类的软件中编辑图像。为了真实呈献，这本书中几乎所有的照片都没有进行色彩校正、对比度校正或裁剪，以便使照片与显微镜下实际看到的相符。平面和正交偏光照片已经被数字化组合共同展示。在有些情况下，薄片的气泡等不相干和分散的瑕疵被删除，这样做才不会改变照片中的任何关键特征。

微观薄片说明

PPL——透射，平面偏振光

XPL——透射，正交偏振光

PXPL——透射，部分正交偏振光

RL——入射反射光（使用反射光显微镜）

ORL——倾斜反射光（使用与透射光学显微镜相邻的外部光源）

GP——镶嵌有正交偏振光的石膏（或石英红 I）板

PPL & RL——组合透射和反射光

PPL | XPL——用平面和正交偏振光图像分割图像

其他成像技术

MAC——宏观照片（不使用显微镜）

CL——使用标准阴极发光激发成像

CCL——用 Gatan ChromaCL 仪器获得的阴极发光图像

FL365——以 365nm 波长为中心的 Epi 荧光激发

FL470——以 470 nm 波长为中心的 Epi 荧光激发

SEM——扫描电子显微镜

Col SEM——手工彩色扫描电镜

SE (SEM) ——二次电子 (SEM) 成像

BSE (SEM) ——背散射电子成像 (SEM)

BSE (MP) ——背散射电子成像（在微探针上）

SE-CCI (SEM) ——二次电子 / 二次电子成像（在 SEM 上）

CCI (SEM) ——带电二次电子成像 (SEM)

大部分用于本书的阴极发光显微照片是用 Gatan ChromaCL 系统在 FEI QuantaFEG 400 SEM 完成的

染色和浸渍

AS——茜素红 -S 染色碳酸盐（方解石粉红色或红色）

AFoS——茜素红 -S 加铁氰化钾对碳酸亚铁染色

PFS——斜长石样品染色

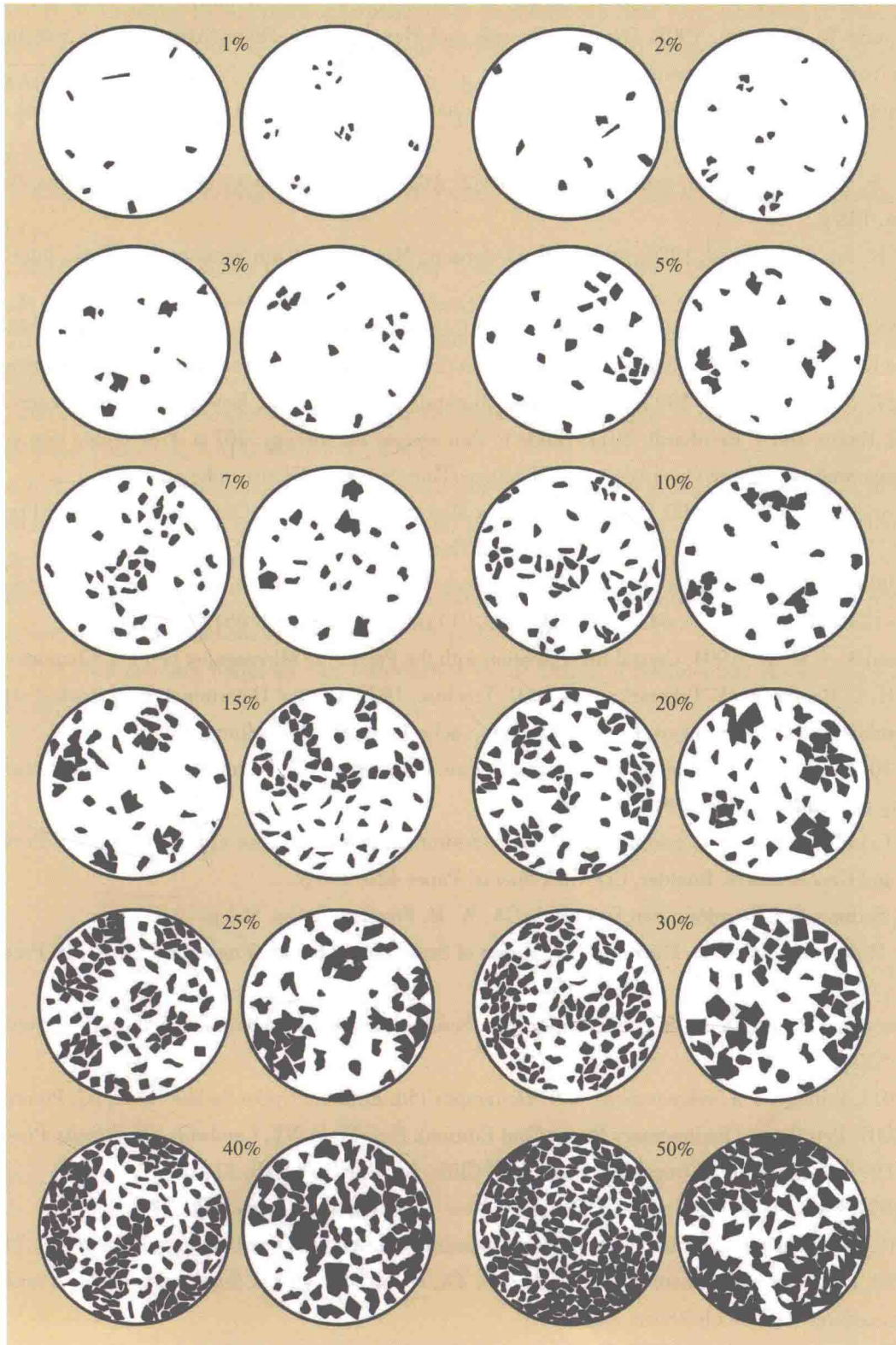
KFS——钾长石样品染色

BDI——孔隙中的蓝色（或蓝绿色）染色浸渍材料

RDI——孔隙中的红色（或粉红色）染色浸渍材料

图像尺寸

所有照片在右下角具有相同的比例尺（比例尺是整个照片水平长度的 1/10），并且图中比例尺的刻度在每个照片文字说明的底部给出。



视觉百分比估计的相对图版（据 Terry 和 Chilingar, 1995）

参考文献

General petrography and optical mineralogy:

- Deer, W. A., R. A. Howie, and J. Zussman, 1992, *An Introduction to the Rock-forming Minerals* (2nd Edition): London, Longman Group Ltd., 696 p.
- Hurlbut, C. S., and W. E. Sharp, 1998, *Dana's Minerals and How to Study Them* (After Edward Salisbury Dana), 4th Edition: New York, John Wiley & Sons, 336 p.
- Larsen, E. S., and H. Berman, 1934, *The microscopic determination of the nonopaque minerals* (2nd Edition): USGS Bulletin 848, 209 p.
- MacKenzie, W. S., C. H. Donaldson, and C. Guilford, 1982, *Atlas of Igneous Rocks and their Textures*: New York, John Wiley & Sons, 148 p.
- MacKenzie, W. S., and C. Guilford, 1980, *Atlas of Rock-forming Minerals in Thin Section*: New York, John Wiley & Sons, 98 p.
- Nesse, W. D., 2003, *Introduction to Optical Mineralogy* (3rd Edition): New York, Oxford University Press, 348 p.
- Perkins, D., and K. R. Henke, 2003, *Minerals in Thin Section* (2nd Edition): Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 176 p.
- Pichler, H., and C. Schmitt-Riegraf, 1997, *Rock-forming Minerals in Thin Section*: New York, Chapman and Hall, 220 p.
- Raith, M. M., P. Raase, and J. Reinhardt, 2011, *Guide to thin section microscopy*: 107 p. Free online download at: <http://www.minsocam.org/msa/content/OpenAccess_publications/Thin_Section_Microscopy.pdf>
- Rost, F. D. W., and R. J. Oldfield, 2000, *Photography with a Microscope*: New York, Cambridge University Press, 288 p.
- Saggerson, E. P., 1975, *Identification Tables for Minerals in Thin Sections*: New York, Longman, 378 p.
- Sorby, H. C., 1908, On the application of quantitative methods to the study of the structure and history of rocks: *Quarterly Journal of the Geological Society*, v. 64, p. 171–233, doi: 10.1144/GSL.JGS.1908.064.01–04.12.
- Stoiber, R. E., and S. A. Morse, 1994, *Crystal Identification with the Polarizing Microscope*: London, Chapman & Hall, 358 p.
- Tröger, W. E., H. U. Bambauer, F. Taborszky, and H. D. Trochim, 1979, *Optical Determination of Rock-Forming Minerals. Part 1: Determinative Tables*: Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 188 p.
- Vernon, R. H., 2004, *A Practical Guide to Rock Microstructure*: Cambridge, UK, Cambridge University Press, 606 p.

Sedimentology and sedimentary petrography:

- Arribas, J., S. Critelli, and M. J. Johnsson, eds., 2007, *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*: Boulder, CO, GSA Special Paper 420, 396 p.
- Blatt, H., 1982, *Sedimentary Petrology*: San Francisco, CA, W. H. Freeman & Co., 564 p.
- Blatt, H., G. V. Middleton, and R. C. Murray, 1980, *Origin of Sedimentary Rocks*: Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall Inc., 782 p.
- Blatt, H., R. Tracy, and B. Owens, 2006, *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic* (3rd Edition): New York, NY, W. H. Freeman, 530 p.
- Boggs, S., Jr., 2011, *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (5th Edition): Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 600 p.
- Boggs, S., Jr., 2009, *Petrology of Sedimentary Rocks* (2nd Edition): New York, NY, Cambridge University Press, 610 p.
- Carozzi, A. V., 1993, *Sedimentary Petrography*: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 330 p.
- Carver, R. E., 1971, *Procedures in Sedimentary Petrology*: New York, Wiley-Interscience, 672 p.
- Folk, R. L., 1951, A comparison chart for visual percentage estimation: *Journal of Sedimentary Research*, v. 21, p. 32–33.
- Folk, R. L., 1980, *Petrology of Sedimentary Rocks*: Austin, TX, Hemphill's Book Store, 184 p. [free download at: <https://www.lib.utexas.edu/geo/folkready/entirefolkpdf.pdf>]
- Füchtbauer, H., and G. Müller, 1970, *Sedimente und Sedimentgesteine*: Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 726 p.

- Greensmith, J. T., 1988, *Textbook of Petrology, Vol 2: Petrology of the Sedimentary Rocks* (7th Edition): London, Unwin Hyman, 262 p.
- Larsen, G., and G. V. Chilingar, eds., 1979, *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks*: New York, Elsevier Scientific Publishing, 579 p.
- Larsen, G., and G. V. Chilingar, eds., 1983, *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks, 2*: New York, Elsevier Scientific Publishing Co., 572 p.
- Lewis, D. W., and D. McConchie, 1994, *Practical Sedimentology* [2nd Edition]: New York, Chapman & Hall, 213 p.
- Milliken, K. L., S.-J. Choh, and E. F. McBride, *Sandstone Petrology: A Tutorial Petrographic Image Atlas* (2nd Edition): Tulsa, OK, AAPG/ Datapages Discovery Series, No. 10, PC-based CD.
- Milner, H. B., 1962a, *Sedimentary Petrography. Volume I, Methods in Sedimentary Petrography* (4th Edition): London, George Allen & Unwin, 643 p.
- Milner, H. B., 1962b, *Sedimentary Petrography. Volume II, Principles and Applications* (4th Edition): London, George Allen & Unwin, 715 p.
- Pettijohn, F. J., 1957, *Sedimentary Rocks* (2nd Edition): New York, Harper Brothers, 718 p.
- Pettijohn, F. J., P. E. Potter, and R. Siever, 1987, *Sand and Sandstones* (2nd Edition): New York, Springer-Verlag, 553 p.
- Scholle, P. A., 1979, *A Color Illustrated Guide to Constituents, Textures, Cements, and Porosities of Sandstones and Associated Rocks*: Tulsa, OK, AAPG Memoir 28, 201 p.
- Scholle, P. A., and D. S. Ulmer-Scholle, 2003, *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*: Tulsa, OK, AAPG Memoir 77, 474 p.
- Steel, R. J., and K. L. Milliken, 2013, Major advances in siliciclastic sedimentary geology, 1960—2012., *in* M. E. Bickford, ed., *The Web of Geological Sciences: Advances, Impacts, and Interactions*: Boulder, CO., GSA Special Paper 500, p. 121–167, doi: 10.1130/2013.2500(04).
- Terry, R. D., and G. V. Chilingar, 1955, Summary of “Concerning some additional aids in studying sedimentary formations,” by M. S. Shvetsov: *Journal of Sedimentary Research*, v. 25, p. 229–234.
- Tucker, M. E., 2001, *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks* (3rd Edition): Oxford, Wiley-Blackwell, 272 p.

目 录

中文版序	I
译者的话	II
作者简介	III
前言	V
本书简介	VII
微观薄片说明	VIII
图像尺寸	IX

第一篇 颗粒

1 石英和二氧化硅	3
1.1 主要特征	4
1.2 物源指标	4
1.3 普通包裹体及其来源	4
2 长石	23
2.1 主要特征	24
2.2 长石矿物	24
2.3 可能具有相似外观和差异的矿物	25
3 岩屑	44
3.1 沉积岩岩屑	45
3.2 变质岩岩屑	60
3.3 火山岩岩屑	70
4 副矿物	85
5 混杂碎屑颗粒及相关岩石类型	114
5.1 碳酸钙 (石灰岩)	115
5.2 二氧化硅 (层状燧石)	115
5.3 磷酸盐 (磷灰石)	115
5.4 有机矿物 (煤、泥炭、有机泥岩)	115
5.5 蒸发盐	116
5.6 绿色海洋黏土 (绿石 / 海绿石相)	116
5.7 铁矿石 / 含铁地层	116
5.8 凝灰质团块	116

第二篇 砂和砂岩

6 砂和砂岩结构	159
7 砂岩分类	180
8 粉砂岩、泥岩和页岩	196

第三篇 成岩作用

9 同沉积期和近地表成岩作用特征	231
10 压实作用	246





11 胶结作用：石英和硅质胶结·····	265
11.1 概述·····	266
11.2 石英和硅质胶结·····	269
12 胶结作用：长石胶结物·····	287
12.1 长石胶结物的光学特征和识别·····	288
12.2 成因控制因素·····	288
13 成岩作用：黏土矿物·····	296
13.1 黏土胶结物的光学性能和识别·····	297
13.2 成因控制因素·····	298
14 成岩作用：沸石胶结物·····	322
15 胶结作用：碳酸盐胶结物和自生沉淀物·····	336
16 胶结作用：硫酸盐、卤化物胶结物和自生沉淀物·····	364
17 胶结作用：硫化铁、氧化铁和氢氧化铁胶结物·····	377
18 胶结作用：其他胶结物·····	392
19 溶蚀作用·····	405
20 交代和重结晶作用·····	428

第四篇 其他

21 变形特征·····	455
22 孔隙类型及孔隙度·····	481
23 成岩序列·····	507
24 新兴技术·····	522
24.1 阴极发光·····	523
24.2 自动化矿物学和岩相学分析·····	525
24.3 数字岩石物理学多元素分析·····	528

附 录

一、Michel-Lévy 颜色图版·····	539
二、术语表·····	540