

油气层序地层学

——优质储层分析预测方法

〈 第二版 〉

吴因业 顾家裕 郭彬程 吴洛菲 彭飞飞 等著



石油工业出版社

油气层序地层学

——优质储层分析预测方法

(第二版)

吴因业 顾家裕 郭彬程 吴洛菲 彭飞飞 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

油气层序地层学是沉积学与地层学有机结合的产物,两者融合的深度和广度决定了优质储层预测的准确度和可信度。全书分五篇共 26 章,第一篇介绍油气层序地层学理论与技术方法,第二篇至第五篇是层序地层学方法在全球不同类型盆地中的应用实践。油气层序地层学理论包括了基准面变化和滨线迁移轨迹,沉积层序与体系域,准层序与准层序组等重要内容;技术方法也不断进步,如层序地层学的沉积体系域表征技术和储层地震沉积学方法等。层序地层学研究在三维地震技术的应用、盆地深水区岩性地层油气藏勘探和前陆盆地层序沉积学研究和优质储层预测方面取得了重要进展。

本书可作为从事石油地质勘探与开发的科研人员,沉积学与层序地层学研究者,地质与地球物理勘探工作者,油藏工程师以及相关高等院校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气层序地层学/吴因业等著. —2 版.

北京:石油工业出版社,2015.10

ISBN 978-7-5183-0891-0

I. 油…

II. 吴…

III. 地层油气藏

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 238844 号

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) 64523543

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

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 34.75

字数: 890 千字

定价: 160.00 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

前言 (第二版)

油气层序地层学是面向石油工业需求的沉积学与地层学有机结合的产物,两者融合的深度和广度决定了优质储层预测的准确度和可信度。含油气盆地层序地层与沉积学关键问题主要包括8个方面:(1)陆相湖盆碎屑岩沉积砂体的沉积学与层序地层研究,特别关注浅湖滩坝体系和深水重力流沉积;(2)海相—陆相湖盆的碳酸盐岩沉积学与层序地层研究,特别关注碳酸盐岩—碎屑岩混积体系;(3)细粒岩沉积学与层序地层学;(4)层序地层格架下的优质储层形成与分布;(5)层序格架内非常规储层的形成与分布;(6)地震沉积学方法与应用;(7)层序地层与储层的地球物理描述与预测技术;(8)火山碎屑沉积体系。

本书除了常规石油地质勘探应用之外,对非常规资源勘探也可以提供参考,定会在国民经济的能源建设中发挥重要作用。本书的学术价值在于:

(1)多种方法开展成熟盆地碎屑岩—碳酸盐岩的沉积环境分析,以层序地层学、沉积储层及石油地质成藏条件分析为基础,开展区带评价和目标优选,并对碳酸盐岩—碎屑岩混积体系的优质储层和超低孔渗性油藏的勘探提出建议。

(2)通过全球对比和区域层序演化规律的研究,查明纵向上区域生储盖组合规律,明确勘探主攻目的层序,探索全球层序旋回重建和油气勘探新领域。

(3)通过高分辨率层序地层学研究,查明目标区的勘探开发目的层,在层序体系域格架约束下进行砂体微相编图和开发储层分析,综合评价有利砂体和储层物性、含油气性和非均质性等参数,指导油气田开发和挖潜。

本书对“十三五”及未来国家科技攻关项目研究,以及中国石油、中国石化集团等系统的碳酸盐岩—碎屑岩油气重大专项研究和致密油页岩气等非常规油气资源勘探研究有重要参考价值。

全书分五篇共26章,第一篇介绍油气层序地层学理论与技术方法,第二篇至第五篇是层序地层学方法在全球不同类型盆地中的应用实践。全球油气勘探的新问题与新思维以及石油工业的需求,使这一学科不断创新。油气层序地层学理论包括了基准面变化和滨线迁移轨迹,沉积层序与体系域,准层序与准层序组等重要内容,技术方法也不断进步,如层序地层学的沉积体系域表征技术和储层地震沉积学方法等。层序地层学研究在三维地震技术的应用、盆地深水区岩性地层油气藏勘探和前陆盆地层序沉积学研究和优质储层预测方面取得了重要进展。本书在2002年第一版的基础上,结合近年来的科研新进展新认识和集团公司新技术培训以及研究生的授课需求,补充了层序地层学新理论和油气勘探开发中的实践探索。

本书的编著工作主要由中国石油勘探开发研究院、中国石油大学(北京)、中国石油杭州地质研究院、中国矿业大学(北京)、中国地质大学(北京)、北京大学、长江大学等单位的教授级高工、教授、高级工程师、博士(生)等总计20余名科技工作者完成。

具体主要编写人员及分工如下:第一章由吴因业编写;第二章由吴因业、顾家裕、郭彬程编写;第三章由寿建峰、吴因业编写;第四章由吴因业、季汉成、胡社荣、张建平、杜业波、张天舒编写;第五章由吴因业、刘震、崔化娟、侯宇安编写;第六章由吴因业、吴洛菲、彭飞飞编写;第七章由吴因业、张敏、金振奎、张天舒编写;第八章至第十一章由吴因

业、刘震、李志、李维莲编写；第十二章至第十六章由吴因业、罗平、胡社荣、郭宏莉编写；第十七章至第二十章由吴因业、郭彬程、崔化娟、刘忠、侯宇安编写；第二十一章至第二十六章由顾家裕、吴因业、Cedric Griffiths、申银民、黄秀编写；参考文献、图版及图版说明由吴因业、岳婷、冯荣昌编写。

本专著的完成，得到了中国工程院胡见义院士，以及中国石油天然气集团公司、中国石油勘探开发研究院有关领导和专家的大力支持，在此一并致谢！

由于本书内容涉及面广，特别是层序地层学新术语方面名词繁杂，加上时间紧迫，不当和遗漏之处，敬请读者批评指正。



于北京海淀

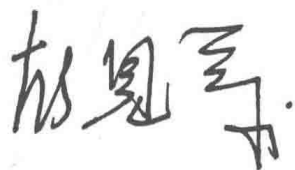
2014年12月20日

序（第一版）

“层序地层学”是国际油气地质学界近十几年研究的热点之一。应用层序地层学研究含油气盆地是油气勘探中的新方法，也是识别和预测油气储层与油气藏重要的一个手段。层序地层学研究为油气勘探提供了沉积地质基础，可指导隐蔽圈闭的油气藏勘探。中国陆上石油工业发展顺利，陆续发现了许多大型油气田，诸如大庆油田、胜利油田、新疆油田、塔里木油田、长庆油气田、四川油气田等。面对国家经济发展对能源的需求，迫切要求我们寻找后备资源，不断发现更多新的油气田。要使油气勘探获得新的突破，需要不断使用新理论和新技术。

《油气层序地层学》一书乃作者多年来从事含油气盆地层序地层学和沉积储层研究成果的升华和结晶。该书是在吴因业等编著的《含油气盆地层序解释技术与应用》基础上经过补充修订而成，表现在以下几方面：①对层序地层学的基本原理和术语作了进一步补充和修订，尽可能与国际接轨；②增补了层序地层学建模技术方面的内容；③增加了中国海相层序地层学应用和计算机工作站层序地层学解释与准层序建模的研究实例；④提出了中国特色的陆相层序地层学方法和技术。《油气层序地层学》对含油气沉积盆地的层序地层学理论与技术进行了深入总结、探讨，并且具有不同类型盆地如陆相裂谷盆地、含煤盆地和海相盆地的层序地层学应用实例，是一部理论与实际相结合的著作，必将对油气勘探领域的生产与实践产生指导作用，促进石油地质理论的发展，具有重要的学术意义和实用价值。

中国工程院院士



2002年6月

前言 (第一版)

《油气层序地层学》一书乃笔者十几年来从事国内外含油气盆地层序地层学和沉积储层的研究成果,结合志同道合者的学术认识,对含油气沉积盆地的层序地层学理论与技术进行了深入总结、探讨,并且具有不同类型盆地如陆相裂谷盆地、含煤盆地和海相碎屑岩盆地的层序地层学应用实例,试图集理论性、实用性和信息性为一体,对油气勘探领域的生产与实践进行指导,促进石油地质理论的发展。《油气层序地层学》一书是在吴因业等编著的《含油气盆地层序解释技术与应用》基础上经过补充修订而成,表现在以下几方面:①对层序地层学的基本原理和术语作了进一步补充和修订,尽可能与国际接轨;②增补了层序地层学建模技术方面的内容;③增加了中国海相层序地层学应用实例和计算机工作站层序地层学解释与准层序建模的研究实例;④提出了中国特色的陆相层序地层学研究方法和技术。

层序地层学研究是沉积学和石油地质学的重要组成部分,作为一种成功的全球性理论,取得了飞速发展,在成熟、非成熟盆地的资源勘探与开发实践中,正发挥着巨大的作用。层序地层学以及油气系统研究最终都是为油气勘探服务,层序地层学是一切的基础,包括油气的生成和运移与聚集。油气勘探储量和产量的增加,总是离不开新技术的突破和新思维的产生,层序地层学正是一种新思维,它使人们在构造圈闭勘探遭遇困难的情况下看见了一道曙光,帮助人们寻找隐蔽油气藏。

该书共分五篇二十六章,第一篇分七章,主要介绍油气层序地层学理论、术语和层序解释方法与技术。第二篇到第五篇主要介绍层序解释方法与技术在具体含油气盆地或研究区块中的应用实例,后四篇的章节内容主要包括层序地层格架与体系域、沉积体系和储集体分布、层序演化与层序的生储盖组合以及油气储层的预测与评价。

油气勘探理论和技术的进步是解决各种地质问题的基础,而人才的培养是使得科技理论成为现实的关键(胡见义,2001)。本书的主体内容已经自1998年以来分别在CNPC研究生部开设的《层序地层学》课程和Petrochina新技术培训中,给硕士研究生、博士生和部分研究人员及工程技术人员讲授。

全书由吴因业博士和顾家裕教授编著,胡社荣教授、张建平教授、寿建峰教授、刘震教授和Cedric G. 博士等参与了部分章节的编写工作,吴因业负责最后统稿。

本书的出版得到了胡见义院士、中国石油天然气股份有限公司贾承造总地质师和中国石油天然气集团公司方朝亮处长等的大力支持。中国石油勘探开发研究院沈平平院长、赵文智副院长等和相关油田公司孙龙德副总经理等在研究工作中给予极大帮助。中国科学院刘光鼎院士等给予很大鼓励。书中引用了部分前人的研究成果与图件,在此一并表示谢忱。

但愿本书的出版能对广大石油地质工作者尤其是从事层序地层学研究、油气储层沉积学研究及油气勘探的同仁有所裨益。由于笔者水平和经验所限,书中难免存在缺点错误,欢迎读者批评指正。

吴因业* 于北京2002年6月

* 北京市海淀区910信箱(100083), wyy@petrochina.com.cn

目 录

第一篇 油气层序地层学理论与技术

第一章 全球油气勘探的新问题与新思维	(3)
第一节 石油工业需求与学科创新	(3)
第二节 从层序地层学到层序沉积学的发展	(4)
第三节 全球油气勘探与层序沉积学的应用	(9)
第二章 油气层序地层学理论	(12)
第一节 层序地层学发展历史	(12)
第二节 沉积盆地类型与沉积演化	(20)
第三节 基准面和滨线轨迹	(32)
第四节 沉积层序和体系域	(36)
第五节 准层序与准层序组	(45)
第六节 层序地层学的基本研究内容	(50)
第三章 层序地层、成岩作用和油气系统	(60)
第一节 层序地层格架单元的建立	(60)
第二节 层序格架内的成岩作用分析	(63)
第三节 层序地层格架单元内的含油气系统事件	(71)
第四章 层序地层学的沉积地质分析方法	(78)
第一节 沉积地质基础：沉积环境、相序相模式和沃尔索相律	(78)
第二节 露头高分辨率层序分析技术	(87)
第三节 岩心沉积层序的描述与分析	(107)
第四节 古生物化石遗迹相分析	(117)
第五节 层序体系域中的煤相有机相分析	(127)
第六节 油气储集体的成岩相分析	(140)
第五章 层序地层学的地球物理分析方法	(147)
第一节 测井层序分析	(147)
第二节 地震层序和地震相分析	(151)
第三节 地震数据体的处理与分析	(157)
第四节 地震沉积学方法	(165)
第五节 体系域格架内的地震反演和储层预测	(167)
第六章 油田开发阶段的层序地层学方法	(175)
第一节 高分辨率层序地层学研究进展	(175)
第二节 高分辨率层序地层学方法的研究内容	(176)
第三节 高分辨率等时地层格架建立	(178)

第四节 层序格架下的砂体微相和储层构型研究 (180)

第五节 开发后期油藏改造后的储层精细描述 (185)

第六节 油藏多属性匹配井网优化与调整 (189)

第七章 层序地层学与全球油气资源战略 (191)

第一节 全球油气资源勘探热点领域 (191)

第二节 全球大规模海侵事件与油气烃源岩分布 (193)

第三节 全球岩相古地理与油气储层分布 (197)

第二篇 层序地层学应用：非洲 XX 白垩系陆相裂谷盆地

第八章 区域地质背景 (205)

第一节 基本构造特征 (205)

第二节 古生物地层分布 (207)

第九章 区域层序地层格架 (211)

第一节 沉积层序特征 (211)

第二节 层序地层格架 (221)

第三节 地震相分析 (224)

第十章 沉积体系演化与生储盖 (229)

第一节 层序 SQ₁ 沉积体系 (229)

第二节 层序 SQ₂ 沉积体系 (236)

第三节 层序 SQ₃ 沉积体系 (240)

第四节 层序的生储盖组合预测与评价 (242)

第五节 储集体类型与分布 (245)

第六节 沉积中心与生油中心 (246)

第七节 层序演化与有利勘探方向 (247)

第十一章 三维目标区块的油气储集体预测 (248)

第一节 三维区块的层序体系域格架特征 (249)

第二节 三维区块的岩相古地理 (251)

第三节 三维区块有利储集相带类型 (252)

第四节 FF 地区全三维层位追踪和地震属性分析 (253)

第五节 不同层序体系域的沉积砂体分布 (255)

第六节 FF 地区有利储集体预测 (257)

第三篇 层序地层学应用：西北侏罗系含煤盆地

第十二章 区域地质背景 (265)

第一节 西北地区侏罗系分区 (265)

第二节 侏罗纪构造演化 (269)

第十三章 层序边界及等时层序格架 (273)

第一节 新疆地区侏罗系盆地层序分析 (273)

第二节 西北青甘宁地区侏罗系沉积层序分析 (275)

第三节 陆相盆地层序与体系域的划分 (278)

第十四章	岩相古地理展布	(281)
第一节	侏罗系沉积特征和沉积相类型	(281)
第二节	不同盆地群的岩相古地理	(290)
第三节	盆地沉积体系	(294)
第十五章	西北侏罗系煤相分析	(308)
第一节	新疆地区侏罗系煤相分析	(308)
第二节	西北青甘宁侏罗系煤相分析	(315)
第三节	植物残体、孢粉及角质层分析	(326)
第四节	泥炭沼泽类型与沉积环境关系的初步讨论	(331)
第十六章	西北侏罗系储层特征与有利区带	(333)
第一节	储层特征	(333)
第二节	影响储层储集性因素分析	(353)
第三节	侏罗系储层评价及有利区带的分布	(357)

第四篇 层序地层学应用：柴达木盆地古近系柴西南区块

第十七章	区域地质背景	(367)
第一节	区域概况	(367)
第二节	构造演化特征	(369)
第三节	地层及沉积体分布	(371)
第十八章	层序地层格架及成因分析	(374)
第一节	层序地层格架特征	(374)
第二节	地震层序划分与对比	(377)
第三节	层序成因分析与沉积模式	(378)
第十九章	区带评价阶段的层序地层学研究	(381)
第一节	体系域与准层序组划分与对比	(381)
第二节	测井相和地震相分析	(384)
第三节	沉积相与砂体微相研究	(395)
第二十章	体系域与油气聚集	(398)
第一节	体系域与沉积砂体分布	(398)
第二节	油气储层与储盖组合	(402)
第三节	有利储层评价与油气藏预测	(408)

第五篇 层序地层学应用：塔里木盆地海相石炭系 MM 区块

第二十一章	区域地质背景	(415)
第一节	基本构造特征	(416)
第二节	区域地层和构造层	(417)
第三节	区域沉积特征	(422)
第二十二章	层序地层格架	(425)
第一节	东河砂岩及下石炭统沉积层序分析基础	(425)
第二节	测井层序分析	(439)

第三节 地震层序分析 (448)
 第四节 层序地层格架 (452)
 第二十三章 沉积相与沉积层序演化 (454)
 第一节 高分辨率层序框架与准层序组 (454)
 第二节 SQ₂ 层序薄层砂体沉积相分析..... (457)
 第三节 SQ₁ 层序东河砂岩沉积相分析..... (458)
 第四节 MM 油田的砂体展布特征..... (459)
 第五节 体系域与沉积层序演化 (460)
 第二十四章 东河砂岩和上部薄砂体储层特征 (465)
 第一节 单井储层基本特征 (465)
 第二节 成岩作用及成岩演化史 (481)
 第三节 储层质量控制因素分析 (485)
 第四节 储层综合评价 (486)
 第二十五章 准层序组建模技术与应用 (495)
 第一节 层序地层模拟现状 (495)
 第二节 准层序组建模的基本原理 (498)
 第三节 SedSim 三维正演模拟 (509)
 第四节 实际与模拟结果比较 (515)
 第二十六章 层序演化与油气储盖组合 (522)
 第一节 沉积层序与油气储盖组合 (522)
 第二节 有利勘探区带 (528)
 参考文献 (530)
 图版及图版说明 (537)

第一篇 油气层序地层学 理论与技术

中国是一个陆相油气资源十分丰富的国家。研究证明属陆相石油的烃源岩绝大多数为湖盆沉积。层序地层学研究可以对盆地建立层序地层格架,分析沉积体系类型与分布,查明储集体的展布规律,提高生油中心与储集体的预测能力和精度,为油气勘探方面提供沉积地质基础。中国陆相层序地层学基本特征表现为陆相湖盆层序成因中,构造控制二级层序,气候控制四级层序。三级层序中湖盆体系域可以有4种:湖盆低位体系域、湖侵体系域、高位体系域和湖退体系域。陆相湖盆沉积中心区域往往沉积很厚的湖盆凝缩段,为陆相生油提供物质基础。准层序组界面的识别与对比是应用层序地层学的关键。含煤盆地区域性分布的等时煤层可作为准层序组界面。陆相湖盆具有多种层序地层模式,如坳陷型盆地层序模式、断陷型盆地层序模式和含煤盆地层序模式。陆相层序地层学研究可以指导隐蔽圈闭中的地层岩性油气藏勘探。

全球化的今天,对于世界上任何类型的含油气盆地,层序地层学方法将在油气勘探中发挥重要作用。



第一章 全球油气勘探的新问题与新思维

第一节 石油工业需求与学科创新

地层因沉积环境的变化为油气生成运移和聚集成藏提供了必要条件,是油气勘探的基本单元。石油工业的内在需求是沉积学发展的强劲动力,石油工业的兴旺发展也有力推动了沉积学的进步和发展。随着油气勘探从以构造油气藏为主向以岩性—地层油气藏为主转变;勘探领域从常规油气资源向非常规油气资源拓展;成熟盆地勘探找油气目标越来越精细化;层序地层学和沉积储层地质学越来越重要。历经半个多世纪的发展,在几代沉积学家与储层地质学家的共同努力下,中国沉积学理论已经取得了飞速发展,形成了有中国特色的层序地层学、沉积学与储层地质学理论,并有力的指导和推动了中国石油工业的健康发展(赵文智, 2014)。

随着油气勘探向岩性—地层油气藏、深层和非常规油气目标的发展,层序地层学、沉积学、储层地质学在油气勘探发现中的地位越来越重要,已经成为有效发现油气储量、降低成本的重要工具。当前,我国陆相沉积盆地和叠合沉积盆地的深层、经多期改造的海相沉积层序中,勘探目标更具多样性和复杂性,岩性和地层因素对油气成藏分布有重要影响。此外,从沉积学、储层地质学角度看,很多方面已经不能用传统沉积学和储层地质学的理论和方法来解释,比如深层优质和有效储层的保持机理,既关系到温压条件作用下的胶结作用,也有构造因素的影响,更有异常温压与埋藏环境中成岩演化偏离常规趋势的异端;又如在某些有中国特定构造约束的沉积盆地中,某些水上沉积体系的超大规模发育,以及淌流湖盆中心区有规模的牵引流沉积体系的广泛发育等,都不能用传统的观点来解释,需要创新发展新理论。此外,叠合盆地深层有规模的储层呈多层段发育,为叠合盆地出现勘探多“黄金带”提供了条件,这些都是新形势下需要认真研究的课题,都急需层序地层与沉积储层领域的学者,用创造性的工作去突破认识盲区和技术盲区,最大限度地发现潜藏在地下的油气资源,以促进国家的经济发展。

近年来,以下几个方面取得了重大进展:(1)陆相湖盆碎屑岩沉积砂体的沉积学与层序地层研究;(2)陆相湖盆的碳酸盐岩沉积学与层序地层研究;(3)海相沉积层序与储层预测;(4)页岩气与细粒岩沉积学与层序地层学;(5)层序地层格架下的优质储层形成与分布;(6)层序格架内非常规储层的形成与分布;(7)地震沉积学方法与应用;(8)层序地层与储层的地球物理描述与预测技术;(9)断陷湖盆沉积成藏研究与油气勘探。

具体而言,表现为:

(1)海相古老小克拉通碳酸盐岩台地模式的建立。以我国塔里木、鄂尔多斯和四川三大盆地为重点,建立的我国海相古老小克拉通碳酸盐岩台地模式十分重要,指导了碳酸盐岩勘探的选区与部署。

(2)陆相细粒沉积体系与储层分布预测。过去主要研究粗粒沉积,但细粒沉积岩分布

广泛, 约占沉积岩的三分之二。由于粒度小、观察难度大, 以及受超微观实验条件限制, 对细粒沉积研究重视不够。随着致密油气及页岩油气的勘探开发, 细粒沉积研究必将成为未来研究的热点和重要学科前缘。

(3) 碳酸盐岩岩溶风化壳、缝洞储层形成与分布。塔里木、鄂尔多斯和四川三大盆地都发育缝洞碳酸盐岩储层, 形成了准层状的特大型油气田。区域储层分布机理与预测研究, 对安岳等特大型气田的发现发挥了重要指导作用。

(4) 非常规微纳米储层评价与表征。常规油气主要研究毫微米渗流。随着技术进步, 用纳米 CT 等新技术发现了致密储层纳米级孔隙占 70%~90% 的储集空间, 使过去认为的“磨刀石”类储层焕发了青春, 指导并开辟了非常规储层新领域。

(5) 深部储层机制与评价。中国在塔里木、四川等盆地 4500~7500m 发现了超深优质储层, 主要是碎屑岩的晚期埋藏、碳酸盐岩的风化和岩溶改造, 为深层、超深层勘探提供了直接理论依据。

(6) 地震沉积学的发展。地震沉积学是沉积学与地球物理学紧密结合产生的新兴交叉学科, 是薄储层预测与沉积演化研究的有效工具, 有较强的实用性, 在沉积储层研究中发挥了重要作用。

(7) 遥感、地震、纳米 CT 等不同尺度研究方法。从宏观的千米到微观的纳米尺度, 配套的方法手段为学科发展提供了研发工具, 对支持学科发展极其重要。

(8) 提出了一些新的重要概念。如细粒沉积、混积岩、重力碎屑流、泥岩与页岩的异同、决口三角洲、汉口化与并口化等。这些概念值得研究重视, 并要进一步明确概念、分类、分布模式、储层的特征等基本内容, 它们代表了学科发展的重要方向。

我国石油工业对层序沉积储层的需求和学科创新主要以四大领域为重点: (1) 岩性—地层油气藏——包括大面积斜坡凹陷岩性油气藏和区域性风化壳的地层油气藏; (2) 深层超深层油气——包括碳酸盐岩、碎屑岩、火山岩油气等; (3) 海洋深水油气——包括大型三角洲与重力流油气; (4) 非常规油气——包括致密油和气、页岩油和气。要形成中国特色层序沉积储层学科体系, 以下几个方面需要关注:

- (1) 陆相与海相层序地层学标准化及工业化应用;
- (2) 大型湖盆碎屑岩—碳酸盐岩混积体系;
- (3) 海相古老小克拉通沉积储层研究;
- (4) 非常规储层地质学;
- (5) 火山岩储层地质学;
- (6) 地震沉积储层研究;
- (7) 陆相细粒沉积学。

第二节 从层序地层学到层序沉积学的发展

常规与非常规油气资源勘探中的沉积砂体研究和我国湖盆优质储层勘探, 面临许多重大的科学问题。这些问题包括混积岩和混积体系、淌流湖盆中心区的牵引流—碎屑流沉积体系等。以四川盆地侏罗系为例, 用于优质储层勘探的层序沉积学工作方法包括三个方面: 即高分辨率层序地层学研究方法 (准层序级别层序体系域格架的建立)、砂体微相沉积学研究方法 (砂体成因—沉积作用过程分析) 和优质储层的评价与预测技术 (成岩作用—地震沉积

学的油气储集体预测)。

一、国际沉积学和层序地层学进展

2014 年 8 月 18 日至 8 月 22 日第 19 届国际沉积学年会在瑞士日内瓦召开。来自世界 40 余个国家的 1000 多名沉积学专家参加了年会。瑞士日内瓦的会议由 IAS 组织 (国际沉积学家协会——International Association of Sedimentologist) 举办, 每 4 年举行 1 次。会议期间组织了瑞士—法国 ALPS 的冲积扇砾岩—砂质碳酸盐岩—生屑灰岩混积体系的沉积考察。本次大会有陆相沉积环境、海洋和滨岸沉积环境、沉积过程、盆地分析、从沉积物到岩石 (成岩作用、生物作用)、应用和资源沉积学、模拟 (预测) 沉积过程及其可视化、火山作用与沉积学 (火山沉积学)、深时 (Deep Time) 气候和地表环境、有机沉积学 10 个主题。本次会议的热点包括: 全球气候与冰川演变 (深海钻探计划); 沉积物源 (水系)、沉积过程和沉积结构 (源—渠—汇); 深时计划与研究 (气候与地表环境变化、海平面变化); 碳酸盐岩台地及其沉积 (北极、深水沉积、微生物、混积岩); 陆架边缘三角洲和重力流沉积 (海平面、气候、地貌); 地震与事件沉积 (海啸岩); 块体搬运过程与沉积 (河流—峡谷—扇系统、异重流、古地震、水动力跳跃、事件沉积学); 泥岩沉积动力学及其控制因素 (泥质沉积物形成过程); 中生代特提斯域沉积 (欧洲); 环境沉积学; 沉积速率测定、沉积过程模拟和古地貌恢复 (湖泊); 地震地貌学 (地震沉积学) 等。

国际上关于混积岩的定义, 混积岩 (Hybrid Sedimentary Rocks) 是指由多种成因的组分 (碎屑、黏土、生物化学组分) 组成的岩石。其中每一种组分的含量均不超过 50%。通常意义上, 混合沉积物是指陆源碎屑与碳酸盐 (包括异化粒等) 在沉积上的混合。混合沉积可分为狭义的和广义的: 狭义的是指陆源碎屑与碳酸盐组分的混合 (在同一岩层内), 广义的混合则包括了陆源碎屑岩层与碳酸盐岩层构成交叠互层或夹层的混合。

本文的碎屑岩—碳酸盐岩混积体系指广义的概念, 即包含湖盆碳酸盐岩的多个沉积旋回的组合, 在中国四川盆地侏罗系、柴达木盆地古近—新近系和渤海湾盆地等广泛发育。

以瑞士—法国 ALPS 混积岩和混积体系为例, 野外地质路线考察显示, 始新统到渐新统序列是向上水体加深的相序, 包括底部的陆上沉积 (河流和湖泊), 向上渐变为河口湾和潟湖沉积、浅水碳酸盐岩、半深海泥灰岩, 最后变为深水浊积体和海底斜坡沉积。Delamette (1993)、Viard (1998) 和 Piguet (1998) 等从底部到顶部识别出以下岩性:

粗砾岩 (中—晚始新世): 不管是杂基支撑还是碎屑颗粒支撑, 这些多成因的砾岩都形成了米级的悬崖景观, 包含有砂岩基质中的磨圆砾石。碎屑颗粒大多来自下伏的 Seewen 地层和 Urgonian 地层, 其为辫状河和冲积扇沉积 (图 1-1)。

细粒灰岩 (晚始新世): 在有限的范围内, 这些地层含有淡水腹足动物、

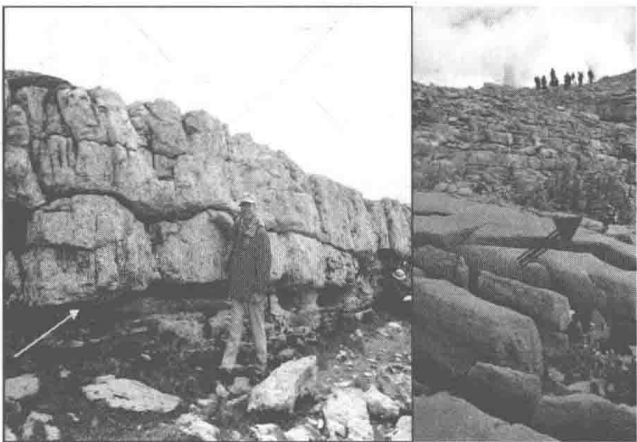


图 1-1 瑞士—法国 ALPS 白垩系—古近系的冲积扇砾岩—砂质碳酸盐岩—生屑灰岩混积体系的沉积层序特征 (FLAINE 地区 K—E 露头, 2014)

介形虫、Charophyte 藻，还含有 Crustacean 钻孔 (Thalassinoides 遗迹化石)。在沉积物局部也发现了海龟碎片和少量陆地猛犸象的牙齿。它们被解释为湖泊沉积。

蟹守螺层 (“couches des diablerets”，晚始新世)：米黄色的泥质灰岩层中含有大量的软体动物 (如牡蛎、腹足类) 的壳体或碎片，少量的哺乳动物或爬行动物的牙齿或骨骼碎屑。某些地方发育来自 Seewen 组的具有生物侵蚀结构的砾石薄层。在局部地区发现了煤层，似咸水环境沉积 (潟湖、河口湾)。

含有小货币虫的泥质粉砂岩 (晚始新世)：灰色到棕色岩溶地层发育有海相生物群，包括大型的底栖有孔虫，如货币虫、圆旋虫、龙介虫 (轮介虫)、海胆纲、单体珊瑚，还有稀少但很清晰的鸚鵡螺类动物。石英颗粒似来源于下伏的白垩系 Aravis 组砂岩 (Delamette, 1988)。砂质灰岩表明硅质碎屑颗粒和碳酸盐沉积物能够同时形成于台地内部。

藻灰岩 (晚始新世)：白色的石灰岩层含有大量的红藻碎片、大型的底栖有孔虫 (货币虫、圆旋虫) 和枝珊瑚，这些生物在局部地区能够形成米级的生物礁，沉积于碳酸盐岩斜坡的中部。碳酸盐颗粒组合是自养生物到异养生物之间的过渡类型，表明碳酸盐岩沉积时期是亚热带向地中海气候的过渡 (Viard, 1998)。

抱球虫泥灰岩 (晚始新世—早渐新世)：蓝灰色的泥质灰岩含有大量的抱球虫目生物，还有大量的腰鞭毛虫和非化石的钙质颗粒。浮游有孔虫生物组合表明不是在热带地区沉积。局部地区有大规模的生物扰动，表明其可能沉积于安静的半深海，位于碳酸盐岩斜坡的远端，水深在 200m 左右。

Taveyannaz 砂岩 (复理层；早渐新世)：该层较厚，下部以浅棕色含云母页岩层和薄砂岩层为特征，向上变厚、变多。砂岩，更准确地说是杂砂岩，为绿色，含有大量的安山岩碎屑，其来源已经被讨论 (Vuagnat, 1983; Ruffini 等, 1995)。该层有大量的密度流的沉积构造，因而被解释为深水环境中的浊流沉积 (Lateltin, 1988) (图 1-2)。



图 1-2 瑞士—法国 ALPS 白垩系—古近系的混积体系：从斜坡砂质碳酸盐岩 (A)、台地生物碎屑灰岩 (B) 到深水浊积体 (C) (FLAINE 地区 K—E 露头, 2014)