

基础理论篇

陆相盆地

高精度层序地层学

——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践

● 蔡希源 李思田 等著



地质出版社

华北水利水电学院图书馆



209797424

P539.2

C060

陆相盆地高精度层序地层学

——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践

基础理论篇

蔡希源 李思田 等著



QA49/0/

地质出版社

· 北 京 ·

979742

内 容 简 介

本专著是在中石化重点科技攻关项目“高精度层序地层学与隐蔽油气藏勘探研究”的基础上总结、提炼而成的,是对近年来隐蔽油气藏勘探实践的总结与升华,是结合陆相盆地特征对层序地层学理论的丰富与发展。专著共分三篇:基础理论篇、技术方法篇和应用实践篇。全书集基础理论、技术方法、应用实践于一体,具有理论的科学性、技术的先进性和方法的实用性。

基础理论篇系统地阐述了陆相层序地层发育特征和控制因素,以及与海相层序地层的区别,并在此基础上总结出陆相盆地多种层序构成模式,指出隐蔽油气藏在不同层序模式中发育的部位。

本书对广大油气勘探工作者有很大参考价值和实用价值,对大专院校师生也是一部很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

陆相盆地高精度层序地层学:隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践.基础理论篇/蔡希源、李思田等著.-北京:地质出版社,2003.12(2004.8重印)

ISBN 7-116-03994-5

I. 陆… II. ①蔡… ②李… III. 陆相-构造盆地-地层层序 IV. P539.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第002550号

LUXIANG PENDI GAOJINGDU CENGXU DICENGXUE

责任编辑:祁向雷 牟相欣 郁秀荣

责任校对:关风云

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) 82324577(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889 mm × 1194 mm¹/₁₆

印 张:18

字 数:506千字 彩图:6页

印 数:701—2700册

版 次:2003年12月北京第一版·2004年8月第二次印刷

定 价:66.00元

ISBN 7-116-03994-5/P·2447

(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)

陆相盆地高精度层序地层学

——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践

编 委 会

主 任 牟书令

副主任 李干生 何生厚 蔡希源

委 员（按姓氏笔画排序）

王 华 毛凤鸣 方志雄 邓宏文

冯建辉 朱筱敏 刘金辉 纪友亮

李丕龙 李思田 陈开远 邱荣华

宋国奇 林畅松 郑和荣 姜在兴

钟 瑞 钱 基 焦大庆 谢晓安

樊太亮 潘元林

序 一

1998年，中国石油、石化实现了战略重组。重组后，中国石油化工集团公司（以下简称“中石化”）站在国家石油安全的高度，始终坚持将资源战略列为四大发展战略之首。为把资源战略落到实处，中石化抓住西部大开发机遇，利用国家油气探矿权登记的优惠政策，在塔里木、准噶尔以及南方诸盆地新登记一批有利勘探区块，使中石化油气探矿权由重组初期的6.6万平方公里，增加到87.0万平方公里；探区内油气资源量由201亿吨，上升到455亿吨（油气当量）。在这样的形势下，通过“1999年勘探开发技术座谈会（东营）”、“2000年勘探潜力论证会（大理）”、“2001年勘探技术研讨会（青岛）”等多次会议，经过反复论证，达成共识，确定了“稳定东部，发展西部，准备南方，开拓海外”的中石化上游“十五”发展思路，并相继成立了中石化国际勘探开发公司、西部新区勘探指挥部、南方勘探公司等单位，有力地推进了中石化上游企业的发展。经过几年的实践，东部老区油气储量、产量稳中有升，西部、南方等新领域相继取得战略性突破，中石化在国外的油气勘探也开始起步。

尽管西部、南方、海外等新区勘探都取得了实质性进展，展现出了广阔的前景，但资源量转化为储量、产量毕竟还有一个过程，从勘探发现到实现真正意义上的战略接替还需要时间准备。在一段时期内，东部老区仍是主阵地，必须不断地投入新的资源量，必须打一场增储稳产攻坚战，为新区实现接替赢得时间。因此，稳定东部是中石化上游企业发展的基础。

中石化东部老探区油气勘探历史悠久，是我国目前主要油气生产基地，油气资源探明程度较高，多数已由构造油气藏勘探阶段转为复杂的隐蔽油气藏勘探阶段，勘探难度不断加大，完成储量任务变得越来越难，严重威胁着中石化油气的稳产和中石化上游近期发展的基础。事关重大，能否稳定？如何稳定？是中石化上下关注的焦点。但是，东部探区多数为富油凹陷，新一轮油气资源评价证实，剩余油气资源丰度高，勘探潜力依然很大，是稳定东部坚实的物质基础。稳定东部勘探的关键是要有新理论、新技术、新方法。层序地层学为东部探区的深化勘探提供了理论和技术支持。十分可喜的是，中石化广大石油勘探工作者从20世纪90年代以来，运用层序地层学基本原理，结合陆相含油气盆地特征，进行了积极的探索，并获得了一系列可喜的成果，使得东部老区油气储量保持了强劲的增长势头，隐蔽油气藏在新增储

量构成中占有重要地位，已经占到 50% 左右。同时，在勘探实践中逐步加深了对隐蔽油气藏的认识，探索出一套针对不同类型隐蔽油气藏勘探的技术、方法。

本书就是在中石化重点科技攻关项目“高精度层序地层学与隐蔽油气藏勘探研究”的基础上，历时三年，总结、提炼出来的，应该说也是对近年来隐蔽油气藏勘探实践的总结、升华，是结合陆相盆地特征对层序地层学理论的丰富与发展。本书共分三篇，第一篇为基础理论篇，系统地阐述陆相层序地层发育特征和控制因素，以及与海相层序地层的区别，并在此基础上总结出陆相盆地多种层序构成模式，指出隐蔽油气藏在不同层序模式中发育的部位；第二篇为技术方法篇，主要介绍了野外露头区和盆地覆盖区的研究流程和方法，尤其是重点介绍了在陆相盆地寻找隐蔽油气藏行之有效的高精度地球物理技术和隐蔽油气藏识别、描述技术系列；第三篇为应用实践篇，主要介绍东部陆相盆地各探区隐蔽油气藏勘探典型实例。全书集基础理论、技术方法、应用实践于一体，具有理论的科学性、技术的先进性和方法的实用性。对广大油气勘探工作者有很大参考价值和实用价值，对大专院校师生也是一部很好的参考书。相信本书的出版会推动陆相层序地层学研究进一步向前发展，中石化以陆相高精度层序地层学为核心的隐蔽油气藏勘探技术系列日趋完善，对中国陆相盆地隐蔽油气藏勘探将起到推动作用。

书
9-20/03

序 二

中国油气资源在供求关系上现在正面临着十分严峻的形势。中国的主力油田集中分布于松辽盆地和渤海湾盆地地区，但是这个地区的大庆、胜利、辽河等采区经过多年高强度的开发均已进入了晚期或中晚期阶段，在这种情况下，“稳定东部、加快开发西部”已经成为石油勘探部门的主要战略。目前在东部主要含油气盆地寻找较易发现的构造圈闭已是十分困难，因而隐蔽圈闭勘探已经逐渐上升为主攻方向。在这一高难度勘探领域中的突破需要有正确的理论指导和先进的行之有效的技术方法。根据近年国际和国内的经验，高精度层序地层学研究与现代地球物理技术的相互结合已被证明是寻找隐蔽圈闭的有效手段和权威工具。

层序地层学的系统理论与方法体系形成于20世纪80年代并已逐渐成熟，成为当代地层和沉积领域最为引人注目的理论和方法体系。国际上在这一领域的成熟模式和经验都是来源于海相盆地，而我国则是以陆相含油气盆地占主要地位为特色的国家。陆相盆地层序地层的发育特征和控制因素有其独特之处，与海相盆地相比，有明显的差异。对海相的模式和工作方法只能借鉴其核心思路而不能简单套用。因此，探索和试行建立一套陆相盆地层序地层研究的概念体系、模式和方法就成为中国当前的油气勘探工作必须解决的前提。《陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践》专著的编写正是在这个背景下创意并进行的。因而专著的出版就成为当前中国石油地质界和油气能源界的一件大事。

应当指出，中国石油化工集团公司的领导一向具有远见卓识，高度重视科学理论的重要作用。近年将层序地层研究列为东部油气勘探的先导性科研项目，并给以专项拨款，组织各地区油公司与高等院校、研究部门组成一支产、学、研相结合的队伍。一大批在国内层序地层学术研究领域有经验、有造诣的专家被邀参加研究，所获成果已经在勘探实践中见到显著成效。现在以专著的形式对这些宝贵的实践经验和科研成果予以系统总结是非常重要和十分及时的。

专著由三篇组成，包括基础理论篇、技术方法篇和应用实践篇，结构完整合理。第一篇对陆相层序地层发育的特征和控制因素作了精辟的阐述，指出了它们与海相盆地，特别是稳定型海相盆地之间的明显区别，并在大量实践基础上提出了多种盆地的层序构成模式。第二篇介绍了与层序地层学相关

的方法技术，特别是在勘探中行之有效的地球物理及约束反演技术。第三篇介绍了在中国东部典型盆地中从露头到地下应用层序地层学理论寻找隐蔽圈闭的成功经验。总的说，专著集理论性、方法性和典型经验于一体，对广大从事油气勘探的人员有很大的实用价值和启发意义；对大专院校沉积学与能源专业的师生也是一部不可多得的参考书。

多年以前中国的陆相生油观点就在国际上引起注意，独树一帜。数十年的勘探实践不断地扩展了这一研究领域，形成了较完整的陆相石油地质理论。陆相层序地层学的大量研究成果将在很大程度上进一步丰富陆相石油地质理论和方法体系，使它更趋完善；同时，对在我国寻找隐蔽油气藏也将是具有理论和实践双重意义的重要贡献。

我十分赞赏中国石油化工集团公司关于逐步形成以高精度层序地层学为核心的一整套寻找隐蔽圈闭的勘探技术方法，并使其成为一项有特色的权威性技术的设想。我相信，长期坚持深入研究，坚持产、学、研相结合的途径，这个目标就一定能够实现，本专著也将成为实现这个长远目标的第一个里程碑。我在此衷心祝贺专著的出版，对专著的全体著者表示由衷的敬意。

王传德

二〇〇三年七月

前 言

中国石油化工集团公司（以下简称“中石化”）在 1998 年重组后，为确保国家石油战略安全，应对国家当前石油供求关系紧张的形势和日趋激烈的国际油气市场竞争，提出了“稳定东部，发展西部，准备南方，开拓海外”的油气资源发展战略。东部能否稳定、如何稳定是中石化资源战略目标实现的关键。

中石化东部探区主要包括济阳拗陷、东濮凹陷、苏北、江汉、南襄、百色等盆地。这些盆地（凹陷）油气勘探历史悠久，油气资源探明程度高，因而，油气勘探形势越来越严峻，勘探对象日趋复杂，勘探难度日益增大。勘探目标已由过去大型的、简单的油气藏转向规模较小的、隐蔽的、复杂的油气藏。虽然这些盆地（凹陷）已处于较高成熟勘探阶段，但多数为富油盆地（凹陷），剩余油气资源丰富，三轮油气资源评价还有 16 亿~25 亿吨待探明地层-岩性油藏储量，其勘探潜力巨大，但都具有隐蔽性和高难度。因此，在这些高难领域实现勘探新突破是有资源基础和希望的，但需要有正确的理论指导和先进的、适用的方法技术系列。根据国内外勘探实践，证实高精度层序地层学与高精度地球物理技术相结合是寻找隐蔽油气藏的有效手段和权威工具。

层序地层学形成于 20 世纪 80 年代，是在地震地层学研究的基础上发展起来的地学新领域，早期起源于被动大陆边缘海相沉积地层研究。由于它对地层成因、地层格架内沉积体系时空展布规律等提出了全新的概念，提供了新的地层划分对比方法和油气预测模式，引发了沉积学和地层学的具有革命意义的进展，因而在油气勘探中被世界许多大的油公司视为一种“权威性的工具”。随着不同类型盆地中的大量实践和勘探技术的进步，层序地层学理论、方法体系日渐成熟。但是，国际上在这一领域的成熟模式和经验都来源于海相盆地，而我国则是以陆相含油气盆地占主要地位的。陆相盆地层序地层的发育特征和控制因素，以及层序构成模式与海相相比有较大差异。不能简单地套用已成熟的海相层序构成模式和工作方法，而只能借鉴其核心思路，探索和建立一套陆相层序地层学理论和方法体系，以及陆相盆地隐蔽油气藏勘探技术系列，用以指导我国陆相盆地隐蔽油气藏勘探。

本书是在中石化科技攻关项目“高精度层序地层学与隐蔽油气藏勘探研究”的基础上，经系统总结、提炼而完成的。该项目下设六个子课题，涵盖

中石化胜利、中原等六个老油田，历时三年。可概括为三个结合：一是产、学、研相结合。在研究人员组成上，邀请中国地质大学、石油大学在层序地层学研究领域颇有建树的知名学者、教授和油田研究人员有机地结合，进行联合攻关，形成优势互补；二是多学科相结合，以油田为单位成立项目组，每个项目组都由地质、地震、测井三方面专业人员组成，专业间相互渗透，综合集成；三是研究与勘探生产紧密结合，视生产急需确定重点解剖区块。研究成果及时用于井位部署和寻找油气储量的过程中，在生产上取得了显著效果。通过攻关项目的实施，打开了中石化东部探区隐蔽油气藏勘探新局面，充分挖掘东部探区油气资源潜力，变潜在优势为现实优势，东部探区又重新焕发了青春，在油气资源接替中继续发挥重要作用，使中石化年度上缴探明石油储量由重组初期的 1.4 亿吨上升到现在的 2.2 亿吨。同时也取得了如坡折带、弯折带控制岩性体分布及油气成藏规律等一系列令人瞩目的科研成果，极大地丰富了陆相层序地层学理论和方法体系。

编写这套《陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践》专著的目的，不仅是要全面展示中石化系统隐蔽油气藏勘探攻关研究的成果，更重要的是要向广大的油气勘探工作者系统介绍陆相层序地层学理论精髓和发展动向、隐蔽油气藏勘探的方法技术系列，客观总结我国近年来在层序地层学研究领域的经验教训，为广大油气勘探工作者提供一部实用的参考书，让读者阅后既可以增长理论知识，又能找到有益的参考实例，开阔思路，拓宽视野，在实际研究工作中少走弯路，提升隐蔽油气藏勘探研究整体水平，为提高我国隐蔽油气藏勘探效益做出重要贡献。

为使专著的理论、方法体系更趋完善，本书在中石化攻关成果的基础上，吸取了部分松辽盆地层序地层学优秀研究成果。

专著共分三篇，第一篇为基础理论篇，论述了层序地层学的发展历史及新进展。陆相层序、沉积体系发育特征和控制因素，各种类型盆地层序构成模式，以及岩性圈闭的分布规律；第二篇为技术方法篇，系统地介绍了陆相层序地层学研究工作方法和工作流程，与岩性圈闭识别、描述密切相关的高分辨率地震采集、处理技术，地震特殊处理正、反演技术，地震属性分析技术，以立体显示为主的多学科地震解译技术，测井层序分析技术；第三篇为应用实践篇，主要是陆相各种类型盆地层序地层研究与隐蔽油气藏勘探典型实例介绍。充分展现了中国东部老油田应用层序地层学理论在陆相断（坳）陷盆地以及盐湖盆地寻找隐蔽油气藏的最新成果。

本专著是“高精度层序地层学与隐蔽油气藏勘探研究”课题组全体科技人员集体劳动成果的结晶。各篇、章执笔人员是：前言由蔡希源执笔。第一篇分七章，第一章樊太亮、刘金辉执笔，第二章李思田、冯有良执笔，第三

章林畅松、朱筱敏执笔，第四章邓宏文执笔，第五章纪友亮、焦大庆执笔，第六章按层序模式分工执笔：李思田（第一、二节）、蔡希源、辛仁臣（第三节）、邓宏文（第四节）、陈开远（第五节），第七章蔡希源、樊太亮执笔；第二篇分四章，第一章王华执笔，第二章宋玉龙、王延光、吕公河、华勇执笔，第三章宋国奇、刘书会执笔，第四章张少军、李宝同执笔；第三篇以论文集形式汇编，执笔人员见各篇论文。

李思田负责第一篇统编，宋国奇、王华、刘书会负责第二篇统编，郑和荣、邓宏文负责第三篇统编，蔡希源对全书进行了统编和审定。

李千生副总工程师参加编写提纲的讨论，并提出有益的修改意见。牟书令高级副总裁对专著的编写工作非常关心，多次指示要写好这部专著，并亲自审阅编写提纲和拨冗为专著作序。王鸿祯院士在百忙中挤出宝贵时间为本书作序，肯定了该书的出版将使我国陆相石油地质理论和方法体系进一步丰富和完善，对陆相含油气盆地勘探将具有理论和实践双重指导意义。在此一并表示衷心感谢！

目 录

序 一

序 二

前 言

第一章 层序地层学研究现状及其应用 (1)

第一节 层序地层学的概念体系、发育简史及研究现状 (3)

一、层序地层学理论及其概念体系 (4)

二、层序地层学的发展与主要学派 (13)

三、层序地层学研究现状 (17)

第二节 层序地层学在油气勘探中应用现状 (21)

一、等时地层格架与沉积体系时空配置研究 (21)

二、生油岩层序地层学 (22)

三、储层层序地层学 (23)

四、油田开发中储层建模 (25)

五、隐蔽油气藏勘探 (26)

六、层序地层学的发展趋势 (28)

第二章 陆相盆地层序地层序列和等时地层格架 (31)

第一节 陆相盆地层序形成的地质背景 (33)

一、中生代陆相盆地的动力学特征及其对沉积充填的控制 (33)

二、区域古地理格局与古湖盆特征 (35)

三、湖盆对古气候变化的敏感性 (35)

第二节 陆相盆地的层序级别及其地质意义 (36)

一、巨层序 (Megasequence) (36)

二、超层序 (Supersequence) 和超层序组 (Supersequence set) (37)

三、层序或称三级层序 (Third-order sequence) (37)

四、沉积体系域 (Depositional system tract) (38)

五、四级层序 (Fourth-order sequence) (39)

六、五级层序地层单元 (Parasequence) (40)

第三节 层序地层序列和等时地层格架	(41)
第四节 陆相盆地层序界面识别标志	(45)
一、层序界面的主要识别标志	(45)
二、层序界面的辅助识别标志	(49)
第五节 适用于储层预测的高频层序地层学概述	(53)
一、适合于储层预测的高频层序地层学基本概念和研究方法	(53)
二、东营凹陷沙河街组三段三角洲体系适合于储层预测的高频层序地层研究实例	(57)
第三章 陆相盆地层序发育的控制因素	(67)
第一节 陆相盆地分布和古地理类型	(69)
一、陆相盆地分布	(69)
二、陆相湖盆古地理类型	(71)
第二节 可容纳空间的概念及其控制因素	(72)
一、可容纳空间的概念	(72)
二、陆相湖盆可容纳空间控制因素分析	(73)
第三节 古气候因素对湖盆沉积层序发育的影响	(80)
一、古气候变化对湖平面和沉积体系域构成的影响	(80)
二、米兰科维奇天文周期与高频的湖泊沉积旋回	(81)
第四节 构造因素对断陷湖盆沉积体系和层序发育的影响	(84)
一、盆地充填序列与构造演化	(85)
二、不同构造演化阶段的沉积层序特征	(85)
三、断陷湖盆沉积层序和层序界面的构造成因	(87)
第五节 构造坡折带及古地貌对沉积体系的控制	(94)
一、构造坡折带与构造古地貌的概念	(95)
二、断陷湖盆的断裂坡折带与砂体分布样式	(96)
三、断裂坡折带与砂岩油气藏预测	(102)
第四章 高频基准面旋回研究及储集砂体精细对比	(107)
第一节 基准面的概念及其内涵	(109)
一、基准面与基准面旋回	(109)
二、基准面旋回与 A/S 比值	(110)
三、基准面旋回与体积分配	(113)
四、体积分配与“相”分异	(117)
第二节 高频基准面旋回的概念与研究基础	(119)
一、对层序地层学中高频层序的不同认识	(119)
二、高频基准面旋回研究的沉积学基础	(123)

第三节 高频基准面旋回的识别与对比	(127)
一、高频基准面旋回对比的理论基础	(127)
二、高频基准面旋回的划分与对比	(128)
第四节 储集砂体精细对比实例	(131)
一、高频基准面旋回的识别	(132)
二、高频基准面旋回的构成	(132)
第五章 陆相盆地与形成隐蔽圈闭相关的主要沉积体系	(137)
第一节 沉积体系的概念及研究方法概述	(139)
第二节 冲积扇体系	(140)
第三节 河流沉积体系	(143)
一、辫状河沉积体系及其沉积特征	(143)
二、曲流河沉积体系及其沉积特征	(145)
第四节 扇三角洲沉积体系	(149)
第五节 湖泊三角洲沉积体系	(153)
第六节 湖盆水下扇(湖底扇)	(159)
第六章 陆相盆地的层序构成模式	(161)
第一节 断陷湖盆层序构成模式	(163)
第二节 坳陷浅水湖盆层序构成模式——以侏罗纪鄂尔多斯盆地为例	(168)
一、鄂尔多斯中生代盆地演化的构造背景	(168)
二、侏罗纪早中期古地理背景及层序构成特征	(168)
第三节 坳陷深水湖盆层序构成模式——以松辽盆地为例	(174)
一、地质背景	(174)
二、层序构成特征	(177)
三、岩性圈闭分布	(183)
第四节 坳陷型冲积盆地层序构成模式	(184)
一、冲积河流相层序地层构成模式	(186)
二、冲积相层序地层分析——以渤海湾盆地馆陶组为例	(192)
第五节 蒸发盐湖盆地层序构成模式	(195)
一、盐湖盆地地质背景	(195)
二、盐湖盆地的体系域发育特征	(198)
三、盐湖层序的地球化学特征	(200)
四、东濮凹陷沙三段湖平面变化频繁的证据	(204)
五、盐湖盆地层序构成模式	(206)
第七章 陆相盆地隐蔽圈闭及其与层序地层格架的关系	(215)
第一节 陆相盆地隐蔽圈闭的主要类型	(217)

一、圈闭分类	(217)
二、圈闭类型及特征	(218)
第二节 断陷盆地隐蔽圈闭与层序地层格架的关系	(220)
一、层序地层格架中的生、储、盖组合	(221)
二、层序地层格架中的隐蔽圈闭分布模式	(227)
第三节 大型坳陷盆地隐蔽圈闭与层序地层格架的关系	(235)
一、大型坳陷湖盆层序地层格架中的生、储、盖层发育规律	(235)
二、层序地层格架中隐蔽圈闭类型及分布模式	(242)
第四节 隐蔽圈闭成藏条件分析与典型实例剖析	(247)
一、岩性圈闭成藏条件与典型实例	(247)
二、地层圈闭成藏条件与典型实例	(253)
三、古地貌圈闭成藏条件与典型实例	(257)
主要认识与展望	(263)
参考文献	(267)

第一章

层序地层学研究 现状及其应用



