

技术方法篇

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 宋国奇 等著



地质出版社

华北水利水电学院图书馆



209797479

P539.2

C0601

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

技术方法篇

蔡希源 宋国奇 等著



0A049/03

地质出版社

· 北 京 ·

979747

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。

本卷为技术方法篇,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。

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. 技术方法篇/蔡希源、宋国奇
等著. —北京:地质出版社, 2004.5

ISBN 7-116-04157-5

I. 陆... II. ①蔡... ②宋... III. ①陆相-构造盆地-地层
层序②油气勘探-方法 IV. P539.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063435 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 mm $1/16$

印 张:19.75

字 数:593 千字 彩图:6 页

印 数:1—2000 册

版 次:2004 年 5 月北京第一版·第一次印刷

定 价:70.00 元

ISBN 7-116-04157-5/P·2489

(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的和十分及时的。

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坳陷、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。

李干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 层序地层学研究方法、流程和编图 (1)

第一节 层序地层学的研究内容 (3)

一、地下层序地层学的研究内容 (3)

二、露头层序地层学的研究内容 (5)

第二节 层序地层学的研究方法 with 流程 (9)

一、勘探工作中层序地层学的研究方法 (9)

二、露头层序地层学的研究方法 (12)

三、层序地层学的研究流程 (13)

第三节 层序地层学研究的编图系列 (16)

一、层序地层学 (地下地质) 研究的编图系列 (17)

二、露头层序地层学研究的编图系列 (25)

第二章 高精度地震勘探野外采集及目标处理技术 (33)

第一节 基于模型的设计技术 (35)

一、地震地质资料收集 (36)

二、精细采集参数论证 (36)

三、观测系统设计及属性分析 (45)

四、正演模拟论证 (52)

第二节 高精度地震勘探激发、接收和录制技术 (54)

一、精细表层调查技术 (54)

二、高精度地震波激发技术 (60)

三、高精度地震波接收技术 (71)

四、地震信号录制技术 (78)

五、干扰波压制技术 (83)

六、高精度地震勘探采集效果 (87)

第三节 基于地质模型的处理技术	(89)
一、折射波静校正	(90)
二、叠前深度偏移处理技术	(94)
第四节 精细速度分析技术	(99)
一、优化速度分析, 提高速度分析精度	(100)
二、高精度三参量速度分析	(103)
第五节 叠前处理技术	(106)
一、叠前噪音衰减技术	(106)
二、叠前地表一致性处理技术	(110)
三、分频地表一致性剩余静校正	(118)
四、三维倾角约束 DMO	(122)
五、叠前时间偏移技术简介	(125)
第六节 高精度叠加及叠后处理技术	(127)
一、高精度叠加技术	(127)
二、叠后提高信噪比处理技术	(131)
三、叠后提高分辨率处理技术	(135)
四、叠后道内插	(138)
五、叠后时间偏移	(139)
六、常规目标处理流程	(142)
第三章 层序划分与砂岩储层综合预测技术	(147)
第一节 地震地质综合标定技术	(149)
一、地震反射界面的意义	(150)
二、地震反射界面、岩性界面与地质界面的关系	(151)
三、地震地质综合标定的方法	(151)
四、地震地质综合标定	(160)
第二节 地震相分析技术	(161)
一、地震相分析	(161)
二、地震相划分标志	(162)
三、陆相湖盆主要砂岩沉积体地震相特征	(165)
四、地震相的解释	(171)
第三节 储集体地震模型正演技术	(172)
一、地震模型正演技术的基本方法和原理	(172)
二、砂岩储集体的正演模型	(174)
第四节 储层预测地震反演技术	(178)
一、反演的基本方法	(179)

二、储层地震反演的基本步骤	(184)
三、反演结果解释	(187)
四、根据不同的储集体类型和地质目的选择合适的反演方法	(188)
第五节 储层定量综合解释技术	(190)
一、储层几何形态解释技术	(190)
二、储层物性参数解释技术	(194)
第六节 地震油气检测技术	(197)
一、地震属性的分类	(197)
二、油气检测的地震地质基础	(197)
三、“亮点”技术	(201)
四、AVO 油气检测技术	(202)
五、多属性联合解释技术	(207)
六、地震油气检测技术适用的地质条件	(209)
第七节 储集体立体识别技术	(210)
一、三维可视化解释技术的基本原理	(211)
二、三维可视化解释技术工作流程	(212)
三、三维可视化解释技术应用	(213)
四、三维可视化解释技术的适用性和发展方向	(216)
第八节 砂岩储集体综合预测的基本原则	(217)
一、针对不同勘探阶段要采用不同的预测技术	(217)
二、应用各项预测技术要根据其适用条件	(218)
三、对不同成因类型的砂体技术应用要有所侧重	(219)
第四章 测井层序地层分析技术	(225)
第一节 概述	(227)
一、测井层序地层分析的主要内容	(227)
二、测井资料在层序地层学中的作用	(228)
三、测井层序地层分析工作的技术要求	(230)
第二节 测井层序地层分析原理与方法	(231)
一、测井曲线的预处理方法	(232)
二、测井划分单井岩性剖面的方法	(232)
三、测井沉积旋回的定性分析	(235)
四、测井曲线变化趋势的数学分析	(236)
五、测井曲线的分形特征研究	(237)
六、测井曲线 Milankovich 周期分析	(239)
七、岩层压实作用的测井研究	(239)

八、判别不同级别不整合界面的测井分析方法	(241)
九、烃源岩的测井判别方法及原理	(241)
十、地震层序标定测井层序级次的方法原理	(244)
十一、测井分析处理提取层序界面特征的实例	(244)
第三节 高分辨率测井资料在层序地层学中的应用	(247)
一、高分辨率地层倾角测井资料的处理解释及应用	(248)
二、成像测井资料的处理解释及应用	(259)
第四节 高分辨率沉积旋回界面识别技术	(263)
一、高精度沉积旋回界面的测井特征	(264)
二、高精度湖相层序地层界面测井识别技术	(276)
第五节 高分辨率沉积旋回对比技术	(280)
一、地层沉积旋回对比规模及测井曲线的选择	(280)
二、传统的测井地层对比	(283)
三、层序地层对比的理论基础	(286)
四、层序地层对比的方法	(293)
五、济阳凹陷八面河油田广北沙四段高分辨率旋回对比实例	(296)
参考文献	(303)

第一章

层序地层学研究方法、 流程和编图



