

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国叠合盆地油气成藏研究丛书

A Series of
Study on Hydrocarbon Accumulation
in Chinese Superimposed Basins

丛书主编 / 庞雄奇

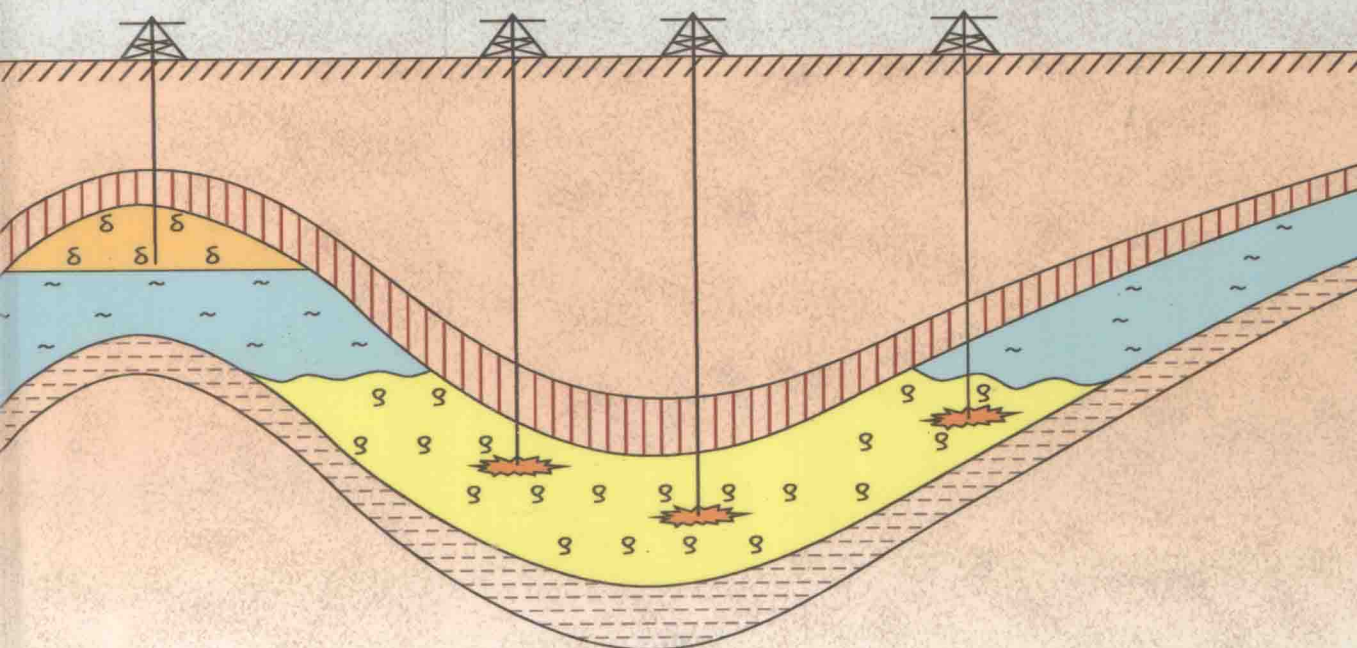


国家重点基础研究发展计划

库车拗陷致密砂岩气成因机制与分布预测

Genetic Mechanism and Distribution Prediction of Tight Sandstone Gas in the Kuqa Depression

姜振学 庞雄奇 杨海军 肖中尧 刘洛夫 等 著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国地质大学（北京）百年华诞
地质学系成立 100 周年纪念册

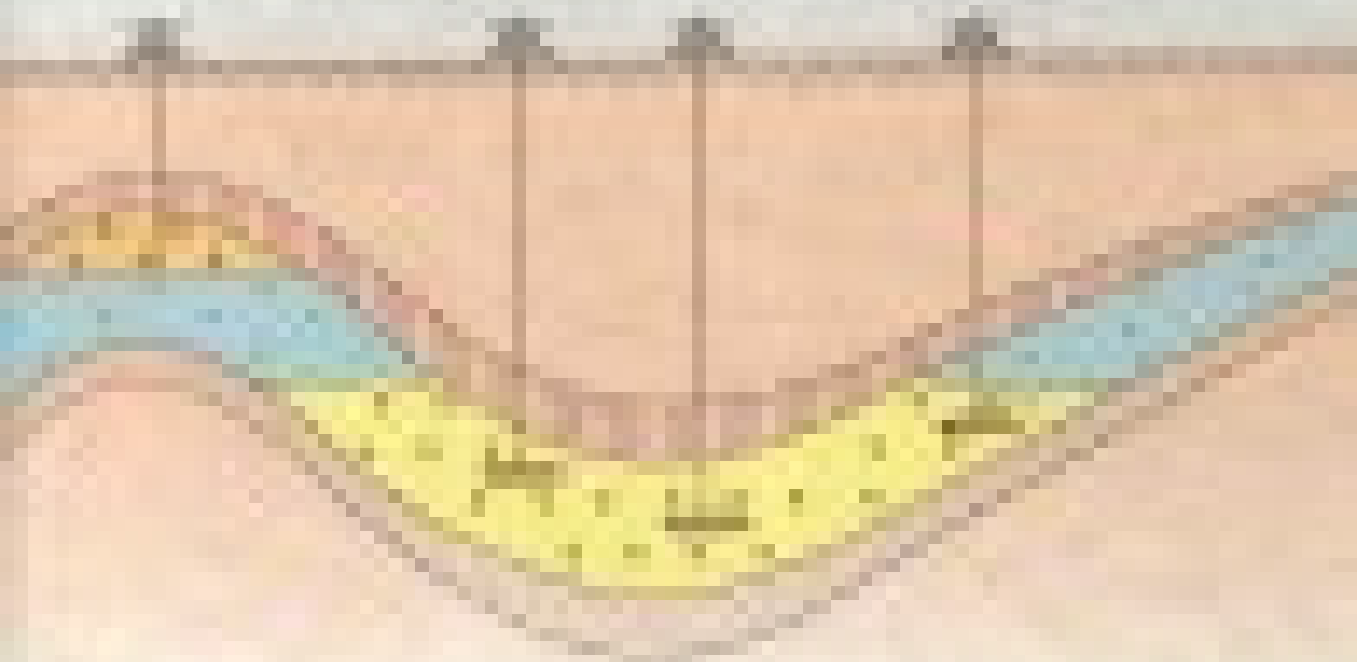


中国地质大学（北京）地质学系百年华诞纪念册

2012—2012

百年地质与地学：地质学系百年华诞纪念册

地质学系 100 周年纪念册 1912—2012



“十二五”国家重点图书出版规划项目



中国叠合盆地油气成藏研究丛书

A Series of
Study on Hydrocarbon Accumulation
in Chinese Superimposed Basins

丛书主编 / 庞雄奇

库车拗陷致密砂岩气成因机制与分布预测

Genetic Mechanism and Distribution Prediction of Tight Sandstone Gas in the Kuqa Depression

姜振学 庞雄奇 杨海军 肖中尧 刘洛夫 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是塔里木盆地库车拗陷致密砂岩气地质研究的第一部专著,系统介绍库车拗陷致密砂岩气藏成因机制、成因分类、发育模式和分布预测等方面的研究成果。

本书共分五章。第一章介绍库车拗陷天然气勘探概况与科学难题、研究思路与技术路线、研究创新成果与勘探成效。第二章介绍库车拗陷致密砂岩气藏形成条件与发育特征,包括生储盖组合特征、致密储层分布特征、烃源岩特征与油气资源潜力。第三章介绍库车拗陷致密砂岩气藏分布特征与主控因素、地质特征与成因机制、成因分类与判别标准。第四章介绍库车拗陷致密砂岩气藏发育模式、分布预测和资源储量评价。第五章介绍库车拗陷致密砂岩气富气“甜点”的基本概念、分布预测、钻探成效与评价。

本书理论与实践相结合,既可以供油田等生产单位使用,也可以作为石油大专院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

库车拗陷致密砂岩气成因机制与分布预测=Genetic Mechanism and Distribution Prediction of Tight Sandstone Gas in the Kuqa Depression/姜振学等著. —北京:科学出版社,2015.8

(中国叠合盆地油气成藏研究丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-044817-0

I. ①库… II. ①姜… III. ①致密砂岩-砂岩油气藏-油气成因-研究
②致密砂岩-砂岩油气藏-分布-预测 IV. ①P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124411 号

责任编辑:吴凡洁 李 静 / 责任校对:张怡君

责任印制:张 倩 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年8月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:250 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》 学术指导委员会

名誉主任：邱中建 刘光鼎 王 涛

主任：贾承造 王铁冠 张一伟

委员：（以下按姓氏拼音排序）

贝 丰	柴育成	常 旭	陈 伟	陈新发	戴金星	方朝亮	冯志强
傅承德	高瑞祺	龚再升	关德范	郝 芳	胡见义	金之钧	康玉柱
李思田	李 阳	黎茂稳	刘池阳	刘可禹	罗治斌	马永生	马宗晋
毛宗强	彭平安	彭苏萍	宋 岩	孙龙德	汪集旸	王清晨	袁士义
张大伟	张国伟	赵文智	朱日祥	朱伟林			

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》 编委会

主 编：庞雄奇

编 委：（以下按姓氏拼音排序）

鲍志东	蔡春芳	陈践发	陈建平	陈建强	董月霞	符力耘	何登发
黄捍东	黄志龙	纪友亮	贾希玉	姜振学	金振奎	康永尚	况 军
匡立春	雷德文	李丕龙	李启明	李素梅	李 勇	李 忠	林畅松
卢双舫	罗 平	罗晓容	漆家福	邱楠生	寿建峰	史基安	孙永革
孙赞东	王绪龙	王招明	夏庆龙	肖立志	肖中尧	谢会文	谢文彦
杨长春	杨海军	杨文静	于炳松	曾溅辉	张宝民	张年富	张善文
张水昌	张枝焕	赵俊猛	钟大康	钟宁宁	周世新	周新源	朱筱敏

丛书序一

油气藏是油气地质研究的对象，也是油气勘探寻找的最终目标。开展油气成藏研究对于认识油气分布规律和提高油气探明率，揭示油气富集机制和提高油气采收率，都具有十分重要的理论意义和现实价值。《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》是“九五”以来在国家 973 项目、中国三大石油公司研究项目及其相关油田研究项目等的联合资助下，经过近 20 年的努力取得的重大科技成果。

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》阐述了我国叠合盆地油气成藏研究相关领域的重要进展，其中包括：叠合盆地构造特征及其形成演化、地层分布发育与储层形成演化、古隆起变迁与隐蔽圈闭分布研究、油气生成及其演化、油气藏形成演化与分布预测、油气藏调整改造与剩余资源潜力、油气藏地球物理检测与含油气性评价、油气藏分布规律与勘探实践等。这些成果既涉及叠合盆地中浅部油气成藏，也涉及深部油气成藏，既涉及常规油气藏形成演化，也涉及非常规油气藏分布预测，它是由教育系统、科研院所、油田公司等相关单位近百位中青年学者和研究生联合完成的。研究过程得到了相关领导的大力支持和老一代专家学者的悉心指导，体现了产、学、研结合和老、中、青三代人的联合奋斗。

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》中一个具有代表性的成果是建立了油气门限控藏理论模型，突出了勘探关键问题，抓住了成藏主要矛盾，实现了油气分布定量预测。油气门限控藏研究，提出用运聚门限判别有效资源领域和测算资源量，避免了人为主观因素对资源量评价结果的影响，使半个多世纪以来国内外学者（如苏联学者维索茨基等）追求的用物质平衡原理评价资源量的科学思想得以实现；提出用分布门限定量评价有利成藏区带，用多要素控藏组合模拟油气成藏替代单要素分析油气成藏，用定量方法确定成藏“边界+范围+概率”替代用传统定性方法“分析成藏条件、研究成藏可能性、讨论成藏范围”；提出依富集门限定量评价有利目标含油气性，实现有利目标钻前地质评价，定量回答圈闭中是否有油气以及油气多少等方面的问题，降低了决策风险，提高了成果质量，填补了国内外空白。

“十五”以来，中国三大石油公司应用油气门限控藏理论模型在国内外 20 多个盆地和地区应用，为这一期间我国油气储量快速增长提供了理论和技术支撑。仅在渤海海域盆地、辽河西部凹陷、济阳拗陷、柴达木盆地、南堡凹陷五个重点测试区系统应用，即预测出 26 个潜在资源领域、300 多个成藏区带、500 多个有利目标，指导油田公司共计部署探井 776 口，发现三级储量 46.8 亿 t 油当量，取得了巨大的经济效益。教育部相关机构在 2010 年 8 月 28 日，组织了相关领域的院士和知名专家对相关理论成果进行了评审鉴定。大家一致认为，油气门限控藏研究创造性地从油气成藏临界地质条件控油气

作用出发,揭示和阐明了油气藏形成和富集规律,为复杂地质条件下的油气勘探提供了新的理论、方法和技术。

作为“中国叠合盆地油气成藏研究”的倡导者、见证者和某种意义上的参与者,我十分高兴地看到以庞雄奇教授为首席科学家的团队在近 20 多年来的快速成长和取得的一项又一项的创新成果。我们有充分的理由相信,随着 973 项目的研究深入和该套丛书的相继出版,“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果将为我国,乃至世界油气勘探事业的发展做出更大贡献。



中国科学院院士

2013 年 8 月 18 日

丛书序二

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》集中展示了中国学者近 20 年来在国家三轮 973 项目连续资助下取得的创新成果，这些成果完善和发展了中国叠合盆地油气地质与勘探理论，为复杂地质条件下的油气勘探提供了新的理论指导和方法技术支撑。相信出版这些成果将有力地推动我国叠合盆地的油气勘探。

“油气门限控藏”是“中国叠合盆地油气成藏研究”系列创新成果中的核心内容，它从油气运聚、分布和富集的临界地质条件出发，揭示和阐明了油气藏分布规律。在这一学术思想引导下，获得了一系列相关的创新成果，突出表现在以下四个方面。

一是提出了油气运聚门限联合控藏模式，建立了油气生排聚散平衡模型，研发了资源评价与预测新方法和新技术。基于大量的样品测试和物理模拟、数值模拟实验研究，发现油气在成藏过程中存在排运、聚集和工业规模三个临界地质条件，研究揭示了每一个油气门限及其联合控油气作用机制与损耗烃量变化特征；提出了三个油气门限的判别标准和四类损耗烃量计算模型，创建了新的油气生排聚散平衡模型和油气运聚地质门限控藏模式，已在全国新一轮油气资源评价中发挥了重要作用。

二是提出了油气分布门限组合控藏模式，研发了有利成藏区预测与评价新方法和新技术。基于两千多个油气藏剖析和上万个油气藏资料统计，研究发现油气分布的边界、范围和概率受六个既能客观描述又能定量表征的功能要素控制；揭示了每一功能要素的控藏临界条件与变化特征；阐明了源、储、盖、势四大类控藏临界条件的时空组合决定着油气藏分布的边界、范围和概率；建立了不同类型油气藏要素组合控藏模式并研发了应用技术，实现了成藏过程研究与评价的模式化和定量化，提高了成藏目标预测的科学性和可靠性。

三是提出了油气富集临界条件复合控藏模式，研发了有利目标含油气性评价技术。基于上万个油气藏含油气性资料的统计分析和近千次物理模拟和数值模拟实验研究，发现近源-优相-低势复合区控制着圈闭内储层的含油气性。圈闭内外界面能势差越大，圈闭内储层的含油气性越好。研究成果揭示了储层内外界面势差控油气富集的临界条件与变化特征；阐明了圈闭内部储层含油气性随内外界面势差增大而增加的基本规律；建立了相-势-源复合指数(FPSI)与储层含油气性定量关系模式并研发了应用技术，实现了钻前目标含油气性地质预测与定量评价，降低了勘探风险。

四是提出了构造过程叠加与油气藏调整改造模式，研发了多期构造变动下油气藏破坏烃量评价方法和技术。研究成果阐明了构造变动对油气藏形成和分布的破坏作用；揭示了构造变动破坏和改造油气藏的机制，其中包括位置迁移、规模改造、组分分异、相态转换、生物降解和高温裂解；建立了构造变动破坏烃量与构造变动强度、次数、顺序

及盖层封油气性等四大主控因素之间的定量关系模型,应用相关技术能够评价叠合盆地每一次构造变动的相对破坏烃量和绝对破坏烃量,为有利成藏区域内当今最有利勘探区带的预测与资源潜力评价提供了科学的地质依据。

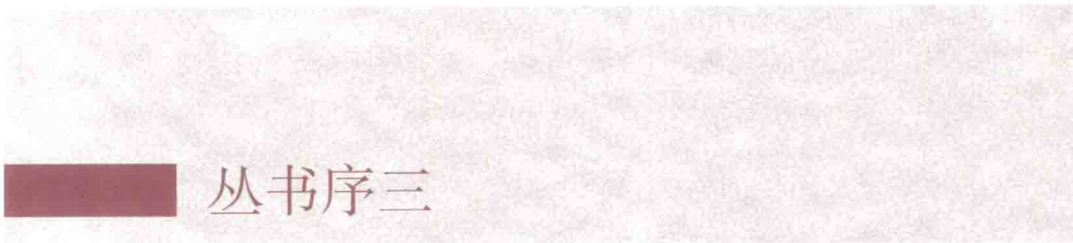
油气门限控藏理论成果已通过产、学、研相结合等多种形式与油田公司合作在辽河西部凹陷、渤海海域盆地、济阳拗陷、南堡凹陷、柴达木盆地五个测试区进行了全面系统的应用。“十五”以来,中国三大石油公司将新成果推广应用于 20 个盆地和地区,为大量工业性油气发现提供了理论和技术支撑。

作为中国油气工业战线的一位老兵和油气地质与勘探领域的科技工作者,我有幸担任了“中国叠合盆地油气成藏研究”的 973 项目专家组组长的工作,见证了年轻一代科技工作者好学求进、不畏艰难、勇攀高峰的科学精神,看到一代又一代的年轻学者在我们共同的事业中快速成长起来,心中感受到的不仅是欣慰,更有自豪和光荣。鉴于“中国叠合盆地油气成藏研究”取得的重要进展和在油气勘探过程中取得的重大效益,我十分高兴向同行学者推荐这方面成果并期盼该套丛书中的成果能在我国乃至世界叠合盆地的油气勘探中发挥出越来越大的作用。



中国工程院院士

2013 年 2 月 28 日



丛书序三

中国含油气盆地的最大特征是在不同地区叠加和复合了不同时期形成的不同类型的含油气盆地，它们被称为叠合盆地。叠合盆地内部出现多个不整合面、存在多套生储盖组合、发生多旋回成藏作用、经历多期调整改造。四多的地质特征决定了中国叠合盆地油气成藏与分布的复杂性。目前，在中国叠合盆地，尤其是西部复杂叠合盆地发现的油气藏普遍表现出位置迁移、组分变异、规模改造、相态转换、生物降解和高温裂解等现象，油气勘探十分困难。应用国内外已有的成藏理论指导油气勘探遇到了前所未有的挑战，其中包括：烃源灶内有时找不到大量的油气聚集，构造高部位有时出现更多的失利井，预测的最有利目标有时发现有大量干沥青，斜坡带输导层内有时能够富集大量油气……所有这些说明，开展“中国叠合盆地油气成藏研究”对于解决油气勘探问题并提高勘探成效具有十分重要的理论意义和现实价值。

经过近二十年的努力探索，尤其是在国家几轮 973 项目的连续资助下，中国学者在叠合盆地油气成藏研究领域取得了重要进展。为了解决中国叠合盆地油气勘探困难，科技部自一开始就在资源和能源两个领域设立了 973 项目，《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》就是这方面多个 973 项目创新成果的集中展示。在这一系列成果中，不仅有对叠合盆地形成机制和演化历史的剖析，也有对叠合盆地油气成藏条件的分析和评价，还有对叠合盆地油气成藏特征、成藏机制和成藏规律的揭示和总结，更有对叠合盆地油气分布预测方法和技术的研发以及应用成效的介绍。《油气运聚门限与资源潜力评价》《油气分布门限与成藏区带预测》《油气富集门限与勘探目标优选》和《油气藏调整改造与构造破坏烃量模拟》都是丛书中的代表性专著。出版这些创新成果对于推动我国，乃至世界叠合盆地的油气勘探都具有十分重要的理论意义和现实意义。

“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果的出版标志着我国因“文化大革命”造成的人才断层的完全弥合。这项成果主要是我国招生制度改革后培养出来的年轻一代学者负责承担项目并努力奋斗取得的，它们的出版标志着“文化大革命”后新一代科学家已全面成长起来并在我国科技战线中发挥着关键作用，也从另一侧面反映了我国招生制度改革的成功和油气地质与勘探事业后继有人，是较之科研成果自身更让我们感到欣慰和振奋的成果。

“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果的出版标志着叠合盆地油气成藏理论研究取得重要进展。这项成果是针对国内外已有理论在指导我国叠合盆地油气勘探过程中遇到挑战后展开探索研究取得的，它们既有对经典理论的完善和发展，也有对复杂地质条件下油气成藏理论的新探索和油气勘探技术的新研发。“油气门限控藏”理论模式的提出以及“油气藏调整改造与构造变动破坏烃量评价技术”的研发都是这方面的代表性成果，它们有力地

推动了叠合盆地油气勘探事业的向前发展。

“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果的出版标志着我国叠合盆地油气勘探事业取得重大成效。它是针对我国叠合盆地油气勘探遇到的生产实际问题展开研究所取得的创新成果,对于指导我国叠合盆地,尤其是西部复杂叠合盆地的油气深化勘探具有重大的现实意义。近十年来中国西部叠合盆地油气勘探的不断突破和储产量快速增长,真实地反映了相关理论和技术在油气勘探实践中的指导作用。

“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果的出版标志着能源领域国家重点基础研究(973)项目的成功实践。这项成果是在获得国家连续三届 973 项目资助下取得的,其中包括“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测(G1999043300)”“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律(2006CB202300)”“中国西部叠合盆地深部油气复合成藏机制与富集规律(2011CB201100)”。这些项目与成果集中体现了科学研究的国家目标和技术目标的统一,反映了 973 项目的成功实践和取得的丰硕成果。

“中国叠合盆地油气成藏研究”系列成果的出版将进一步凝聚力量并持续推动中国叠合盆地油气勘探事业向前发展。这一系列成果是在我国油气地质与勘探领域老一代科学家的关怀和指导下,中国年轻一代的科学家带领硕士生、博士生、博士后和年轻科技工作者努力奋斗取得的,它凝聚了老、中、青三代人的心血和智慧。《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》的出版既集中展示了中国叠合盆地油气成藏研究的最新成果,也反映了老、中、青三代科研人的团结奋斗和共同期待,必将引导和鼓励越来越多年轻学者加入到叠合盆地油气成藏深化研究和油气勘探持续发展的事业中来。

中国叠合盆地剩余资源潜力十分巨大,近十年来中国西部叠合盆地油气储量和产量的快速增长证明了这一点。随着油气勘探的深入和大规模非常规油气资源的发现,叠合盆地深部油气成藏研究和非常规油气藏研究正在吸引着越来越多学者的关注。我们期盼,《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》的出版不仅能够引导中国叠合盆地常规油气资源的勘探和开发,也能为推动中国,乃至世界叠合盆地深部油气资源和非常规油气资源的勘探和开发做出积极贡献。

李永造

中国科学院院士

2013 年 2 月 28 日



丛书前言

中国油气地质的显著特点是广泛发育叠合盆地。叠合盆地发生过多期构造变动，发育了多套生储盖组合，出现过多次旋回的油气成藏和多期次的调整改造，目前显现出“位置迁移、组分变异、多源混合、规模改造、相态转换”等复杂地质特征，已有勘探理论和技术在实用中遇到了前所未有的挑战。中国含油气盆地具有从东到西，由单型盆地向简单叠合盆地再向复杂叠合盆地过渡的特点，相比之下西部复杂叠合盆地的油气勘探难度更大。揭示中国叠合盆地油气成藏机制和分布规律，是 20 世纪末中国油气勘探实施稳定东部、发展西部战略过程中面临的最为迫切的科研任务。

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》汇集了我我国油气地质与勘探工作者在油气成藏研究的相关领域取得的创新成果，它们主要涉及“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律(2006CB202300)”和“中国西部叠合盆地深部油气复合成藏机制与富集规律(2011CB201100)”两个国家重点基础研究发展计划(973)项目。在这之前，金之钧教授和王清晨研究员已带领我们及相关的研究团队完成了中国叠合盆地第一个 973 项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测(G1999043300)”。这一期间积累的资料、获得的成果和发现的问题，为后期两个 973 项目的展开奠定了基础、确立了方向、开辟了道路，后两个 973 项目可以说是前期 973 项目研究工作的持续和深化。

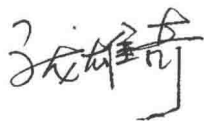
“中国叠合盆地油气成藏研究”能够持续展开，得益于科学技术部重点基础研究计划项目的资助，更得力于老一代科学家的悉心指导和大力帮助。许多前辈导师作为科学技术部跟踪专家和项目组聘请专家长期参与和指导了项目工作，为中国叠合盆地油气成藏研究奉献了智慧、热情和心血。中国石油大学张一伟教授，就是众多导师中持续关心我们、指导我们、帮助我们和鼓励我们的一位突出代表。他既将 973 项目看作年轻专家学者攀登科学高峰的战场，也将它当做培养高层次研究人才的平台，还将它视为发展新型交叉学科的沃土。他不仅指导我们凝练科学问题，还亲自带领我们研发物理模拟实验装置，甚至亲自开展科学实验。在他最后即将离开人世的时候还在念念不忘我们承担的项目和正在培养的研究生。老一代科学家的关心指导、各领域专家的大力帮助以及社会的殷切期盼是我们团队努力做好项目的强大动力。

“中国叠合盆地油气成藏研究”能够顺利进行，得力于相关部门，尤其是依托单位的强力组织和研究基地的大力帮助。中国石油天然气集团公司，既组织我们申报立项、答辩验收，还协助我们组织课题和给予配套经费支持；中石油塔里木油田公司和中石油新疆油田公司组织专门的队伍参与项目研究，协助各课题研究人员到现场收集资料，每年派专家向全体研究人员报告生产进展和问题，轮流主持学术成果交流会，积极组织力量将创新成果用于油气勘探实践。依托单位的帮助和研究基地人员的参与，一方面保障了

项目研究的顺利进行、加快了项目研究进程,另一方面缩短了创新成果用于勘探生产实践的测试时间,促进了科技成果向生产力转化。在相关部门的支持和帮助下,本项目成果已通过多种方法和途径被推广应用到国内外二十多个盆地和地区,并取得重大勘探成效。

“中国叠合盆地油气成藏研究”能够获得创新成果,得益于产、学、研结合和老、中、青三代人的联合奋斗。近二十年来,我们以 973 项目为纽带,汇聚了中国石油大学、中国地质大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院广州地球化学研究所、中石油勘探开发研究院、中石油塔里木油田公司、中石油新疆油田公司等单位的相关力量,做到了产学研强强联合和优势互补,加速了科学问题的解决;每一期 973 项目研究,除了有科技部指派的跟踪专家、项目组聘请的指导专家和承担各课题的科学家外,还有一批研究助手、研究生以及油田公司配套的研究人员和年轻科技人员参加。这种产、学、研结合和老、中、青联合的科研形式,既保障了科研工作的质量、科学问题的快速解决以及创新成果的及时应用,又为油气勘探事业的不断发展创造了条件,增加了新的动力。

《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》的创新成果,已通过油田公司的配套项目、项目组或课题组与油田公司联合承担项目等形式,广泛应用于油气勘探生产,该丛书的出版必将更有力地推动相关创新成果的广泛应用并为更加复杂问题的解决提供技术思路和工作参考。《中国叠合盆地油气成藏研究丛书》凝聚了以各种形式参与这一研究工作的全体同仁的心血、汗水和智慧,它的出版获得了 973 项目承担单位和主管部门的大力支持,也得到了依托部门的资助和科学出版社的帮助,在此我们深表谢意。



2014 年 3 月 18 日

前言

致密砂岩气自 1927 年在美国圣·胡安盆地发现以来,其勘探与开发在国内外均取得了较大的进展。致密砂岩气藏属于非常规气藏,主要分布在北美、亚太、欧洲和中东等地区,资源量达 $209 \times 10^{12} \text{ m}^3$,已成为全球天然气储量和产量增长的主体。目前致密砂岩气在美国、加拿大、中国等已实现了大规模的商业开采。美国是致密砂岩气发展最早、开发利用最成功的国家,2013 年美国致密砂岩气产量已占天然气总产量的近 1/3。我国致密砂岩气勘探和研究始于 1971 年发现的川西中坝气田,近年来在鄂尔多斯、四川、塔里木、准噶尔、松辽等盆地都获得了新发现,已成为我国油气勘探开发的重要突破点。2013 年,致密气产量为 $340 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占天然气总产量的 28%,成为中国目前最现实的非常规天然气资源。

Masters 和 Gies 最早于 1979 年提出了“深盆气藏”的概念,Walls 在 20 世纪 80 年代提出“致密砂岩气藏”概念,之后国内外学者又分别提出了“倒装型向斜气藏”“盆地中心气藏”“连续型气藏”“根缘气”等概念。致密砂岩气的界定没有统一的标准,长期以来其划分标准因不同国家、不同时期的资源状况和技术经济条件而定,目前将致密砂岩气定义为储集在孔隙度小于 10%、原地渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 或空气渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、孔喉半径小于 $1 \mu\text{m}$ 、含气饱和度小于 60% 的砂岩中的天然气。

国内外诸多学者对致密砂岩气藏的形成条件、成藏机制和类型划分开展了研究。根据致密砂岩气藏的动力特征,并结合储层致密演化史与油气充注史之间的匹配关系,将致密砂岩气藏分为致密常规气藏、致密深盆气藏和致密复合气藏。致密常规气藏主要分布于构造高部位,其基本特征是“先成藏后致密”,分布发育受浮力控制。致密深盆气藏主要分布于深拗区或向斜带,其基本特征是“先致密后成藏”,分布发育不受浮力控制。致密复合型气藏广泛分布于深拗区、斜坡区和背斜带,其基本特征是“先成藏后致密再成藏”,是致密常规气藏与致密深盆气藏叠加复合而成。不同阶段、不同动力机制形成的致密常规气藏、致密深盆气藏和致密复合气藏在时空上叠加复合形成叠复连续型致密砂岩气藏。叠复连续型致密砂岩气藏发育于含油气盆地浮力成藏下限和油气成藏底限之间的局限流体动力场内,纵向上紧邻有效烃源岩层分布,资源潜力大。

库车拗陷油气勘探历史悠久,早在 1954 年就开始投入大规模的勘探工作,1958 年发现了塔里木盆地的第一个油田——依奇克里克油田,但由于构造变形复杂、地层高陡和地层异常高压等因素,油气勘探仅限于浅层,始终未能取得大的进展。1998 年,库车拗陷发现了中国当时最大的整装天然气田——克拉 2 大气田,随后又相继发现了迪那 2、大北 1、吐孜洛克和依南 2 等大中型气田,进一步夯实了“西气东输”的资源基础。近年来库车拗陷在克拉苏构造带的大北 3、克深 2、克深 5、克深 9 等深层相继获得高

产工业气流,同时依奇克里克构造带的迪北地区也取得了较大突破,带动了库车拗陷新一轮油气资源大发现,证实了克拉苏-依奇克里克构造带整体富气特征。但是,库车拗陷探明程度仍明显偏低,具有巨大的勘探潜力。

库车拗陷发育多种类型致密砂岩气藏,有的致密砂岩气藏分布在构造的高部位,并具有明显的气水边界,如迪那2气藏;有些致密砂岩气藏分布在构造高部位,没有明显的气水边界,如大北3气藏;有些致密砂岩气藏分布在构造斜坡区,分布模式和范围不明,如迪北气藏。因此,本书从目前库车拗陷叠复连续型致密砂岩气藏勘探中存在的分布规律不清、成因机制不清、主控因素不清和预测困难等实际问题出发,从库车拗陷迪那2、迪北和大北3等典型致密砂岩气藏特征剖析入手,由点及面,采用正演和反演相结合的方法,系统阐述不同成因类型致密砂岩气藏的形成条件、成藏特征及成藏过程,明确不同类型致密砂岩气藏的成藏机制并建立成藏模式,总结致密砂岩气藏成藏的主控因素,建立不同类型致密砂岩气藏的预测方法,预测研究区有利的勘探目标。在明确库车拗陷致密储层背景下的高孔渗“甜点”发育特征及其含气性的基础上,提出探索致密砂岩气勘探潜力的迪西1井,取得了巨大的成功,并在随后发现了迪北气藏、迪西1井,开创了库车东部致密气勘探的新局面。

在库车拗陷叠复连续型致密砂岩气藏理论研究和勘探取得重大突破之后,为了系统总结叠复连续型致密砂岩气藏在勘探中规律性的认识和成功的勘探经验,有效指导未来的勘探工作,特著此书,以供国内同行参考,同时也为进一步推动叠复连续型致密砂岩气藏的理论研究和勘探进展作出贡献。

本书共分五章,第一章为绪论,由姜振学、庞雄奇、刘洛夫、李卓和王鹏威等完成。第二章为库车拗陷致密砂岩气藏形成条件与发育特征,由姜振学、杨海军、庞雄奇、肖中尧、刘洛夫、李峰和戴琦雯等完成。第三章为库车拗陷致密砂岩气藏成因机制与成因分类,由姜振学、庞雄奇、李卓、李峰和王鹏威完成。第四章为库车拗陷致密砂岩气藏发育模式与分布预测,由庞雄奇、姜振学、刘洛夫、李卓、李峰和王鹏威等完成。第五章为库车拗陷致密砂岩气有利目标优选与钻探成效,由庞雄奇、姜振学、杨海军、肖中尧和黄悍东等完成。全书由姜振学统稿、审定。

作 者

2015年3月

目 录

丛书序一	
丛书序二	
丛书序三	
丛书前言	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 库车拗陷天然气勘探概况与科学难题	1
第二节 研究思路与技术路线	13
第三节 研究创新成果与勘探成效	14
第二章 库车拗陷致密砂岩气藏形成条件与发育特征	21
第一节 库车拗陷纵向上发育良好的生储盖组合	21
第二节 库车拗陷有效烃源层分布广且长期持续大量供气	24
第三节 库车拗陷发育多套有效致密储层且平面上叠复连片	43
第三章 库车拗陷致密砂岩气藏成因机制与成因分类	73
第一节 库车拗陷致密砂岩气藏分布特征与主控因素	73
第二节 库车拗陷致密砂岩气藏成因分类与判别标准	89
第三节 库车拗陷致密砂岩气藏地质特征与成因机制	90
第四章 库车拗陷致密砂岩气藏发育模式与分布预测	124
第一节 库车拗陷广泛发育致密砂岩气藏	124
第二节 库车拗陷致密砂岩气藏分布预测	130
第三节 库车拗陷致密砂岩气田资源储量评价	140
第五章 库车拗陷致密砂岩气有利目标优选与钻探成效	145
第一节 库车拗陷致密砂岩气富气“甜点”概念与判别标准	145
第二节 库车拗陷富气“甜点”形成条件与预测方法	148
第三节 库车拗陷东部致密砂岩气藏富气“甜点”分布预测	158
第四节 库车拗陷东部致密砂岩气藏富气“甜点”钻探成效与评价	162
参考文献	164
索引	168

第一章 绪 论

第一节 库车拗陷天然气勘探概况与科学难题

一、区域和石油地质特征

库车拗陷位于塔里木盆地北部，北依南天山褶皱带，南抵塔北隆起轮台断裂带，东起库鲁塔格山，西至柯平断隆，整体呈北东东向线状展布，东西长 450km，南北宽 50~80km，勘探面积 $2.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ (贾承造, 1997)。库车拗陷经历多期构造演化，形成“四带三凹”的构造格局，分别为北部单斜带、克拉苏-依奇克里克构造带、秋里塔克背斜带、前缘隆起带及拜城凹陷、阳霞凹陷和乌什凹陷(图 1-1)。目前，库车拗陷发现的油气田(藏)主要分布在克拉苏-依奇克里克构造带及秋里塔格构造带。近年来，随着克深、博孜等勘探区带取得重大突破，库车拗陷展现出巨大的天然气勘探潜力(王招明, 2014)。



图 1-1 库车拗陷勘探成果图(据杜金虎等, 2012, 修改)

库车拗陷北部单斜带形成较早，受断裂控制，发育叠瓦逆冲断层，在燕山期形成，出露地层为古生界、三叠系和侏罗系；克拉苏-依奇克里克构造带构造变形强烈，断裂、褶皱十分发育，地下构造样式为背斜、断背斜和断鼻构造，形成时间为燕山晚期—喜马拉雅期，整体呈近东西向展布，是库车拗陷最重要的二级构造单元，从西往东分别由吐孜玛扎、库姆格列木、喀桑托开、巴什基奇克、依奇克里克、吐格尔明等多个构造带组成；拜城-阳霞凹陷为新生代箕状凹陷，北陡南缓，沉积厚度大，是新生代的沉积-沉降中心；秋里塔格背斜带在膏盐层下多发育双重构造和被动顶板双重构造，地面构造变形特征不同，形成东秋里塔格背斜构造带；南部缓坡带主要发育羊塔克断裂、英买 7 号断