

“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

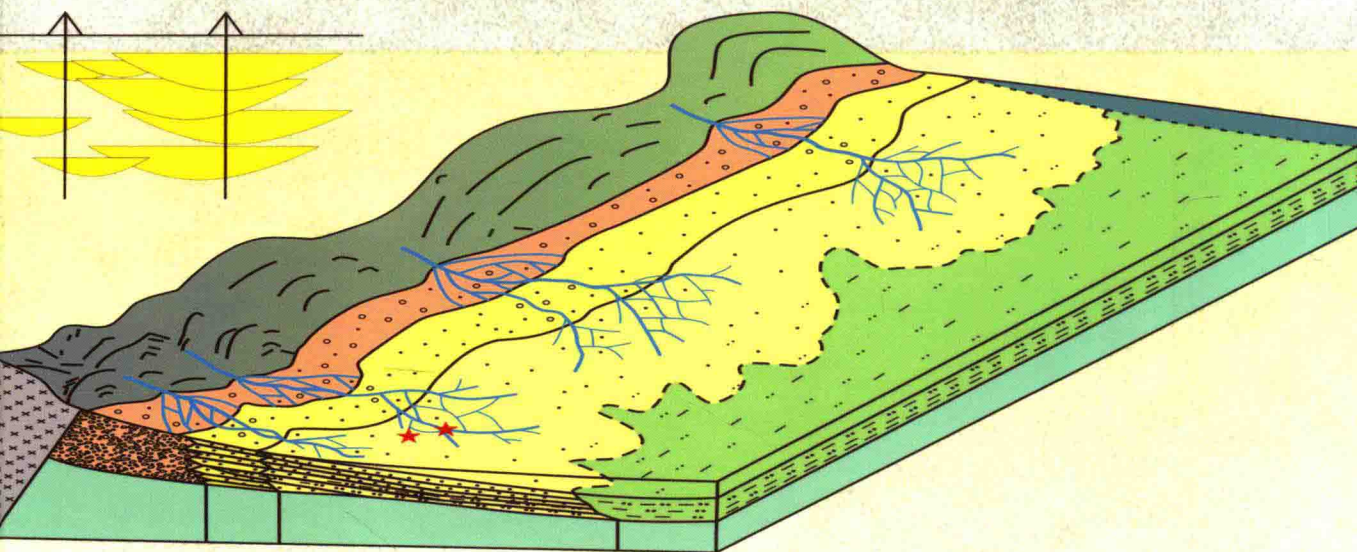


国家重点基础研究发展计划

库车拗陷克拉苏构造带碎屑岩储层 成因机制与发育模式

Genetic Mechanisms and Development Models of Clastic Reservoirs
in the Kelaasu Structure Zone, Kuqa Depression

朱筱敏 杨海军 潘 荣 李 勇 王贵文 刘 芬 著



科学出版社

“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

库车拗陷克拉苏构造带碎屑岩储层 成因机制与发育模式

Genetic Mechanisms and Development Models of Clastic Reservoirs
in the Kelasu Structure Zone, Kuqa Depression

朱筱敏 杨海军 潘 荣 李 勇 王贵文 刘 芬 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系近期关于塔里木盆地库车拗陷白垩系深埋碎屑岩储层成因机制与发育模式的主要研究成果,主要讨论库车拗陷克拉苏构造带白垩系巴什基奇克组碎屑岩储层的层序地层格架、沉积环境和沉积类型、储层岩石学特征、储层物性和孔喉特征、储集空间类型和分布特征、储层成岩序列和定量成岩相研究、裂缝发育及其主要控制因素、有效储层的形成机理、有效储层发育的主要控制因素和预测,反映库车拗陷克拉苏构造带白垩系深埋有效碎屑岩储层研究的最新进展,是开展碎屑岩储层研究的重要参考。

本书理论与实践相结合,既可作为石油院校的教学参考书,也可以供油田等生产单位参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

库车拗陷克拉苏构造带碎屑岩储层成因机制与发育模式=Genetic Mechanisms and Development Models of Clastic Reservoirs in the Kelasu Structure Zone, Kuqa Depression / 朱筱敏等著. —北京:科学出版社, 2017. 6

(中国叠合盆地油气成藏研究丛书 / 庞雄奇主编)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-053430-9

I. ①库… II. ①朱… III. ①塔里木盆地—构造带—碎屑岩—储集层—成因 IV. ①P618. 130. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 129157 号

责任编辑:吴凡洁 冯晓利/责任校对:桂伟利

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2017 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张:3 1/2

字数:289 000

定价:198.00 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	汪集旻	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这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。复杂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。

雷承造

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。

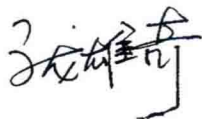
“中国叠合盆地油气成藏研究”能够持续展开，得益于科学技术部重点基础研究计划项目的资助，更得力于老一代科学家的悉心指导和大力帮助。许多前辈导师作为科学技术部跟踪专家和项目组聘请专家长期参与和指导了项目工作，为中国叠合盆地油气成藏研究奉献了智慧、热情和心血。中国石油大学张一伟教授，就是众多导师中持续关心我们、指导我们、帮助我们和鼓励我们的一位突出代表。他既将 973 项目看作年轻专家学者攀登科学高峰的战场，也将它当做培养高层次研究人才的平台，还将它视为发展新型交叉学科的沃土。他不仅指导我们凝练科学问题，还亲自带领我们研发物理模拟实验装置，甚至亲自开展科学实验。在他最后即将离开人世的时候还在念念不忘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

塔里木盆地库车拗陷油气资源丰富,是塔里木盆地油气勘探主战场之一,是我国“西气东输”的天然气主要资源基地。库车拗陷油气勘探历程艰苦曲折。其油气勘探始于1954年,1958年在依奇克里克构造上钻探依浅1井,在井深468.16m处发生井喷,三天喷原油2178m³。1965~1989年,油气勘探经历了浅层勘探—深层勘探—再浅层勘探—再深层勘探的过程,由于勘探技术落后,没有地震数据,主要是跟踪油苗钻探浅层和老、陡构造,勘探成效不大。1988年塔里木石油指挥部成立后,1989~1997年再次展开塔里木盆地勘探工作,在库车前陆盆地前缘隆起带取得突破,发现了中生界为烃源岩的陆相凝析油气带,包括英买7、提尔根、红旗1、牙哈、羊塔克、玉东2六个凝析油气田。在北缘构造冲断带,发现一批油气显示构造,包括东秋5、克参1、克拉2、克拉3、依南2、吐北1等。1998年发现克拉2大气田。从此,库车前陆盆地开始处于天然气大发展时期。2005年以来,新的地震采集技术有效提高了地震资料品质,2007年后相继发现大北1、博孜1、克深2等特大气田,如克深2井于2008年完井测试,6573~6679m井段酸化压裂后,6mm油嘴求产,油压70.92MPa,获日产气343524m³。2009年之后由于新的二维、三维地震资料采集及地震资料处理技术的提高,同时深入研究深层储层地质问题,先后发现了克深5、克深8等气藏(田)。克深7井于2011年完钻测试,在7945~8023m井段,裸眼酸化,6mm油嘴求产,油压30.93MPa,日产液344m³。8000余米深度的突破,极大地解放了深层圈闭,展示了库车拗陷天然气勘探的巨大潜力,并为我国西气东输做出了巨大贡献。

库车拗陷克拉苏构造带是重要的勘探开发构造单元,为南天山山前第二排构造,位于北单斜带之南,拜城凹陷以北。该带以发育长轴状、线状背斜、断背斜、断鼻构造为特征,总体呈NEE—EW向展布,构造发育与演化主要受区域逆冲断裂的控制。库车拗陷克拉苏构造带勘探的主攻目标为古近系盐下背斜圈闭,勘探目的层包括古近系、白垩系巴什基奇克组和巴西盖组,其中白垩系巴什基奇克组为主要层系。

目前,克拉苏构造带勘探成果表明该带是一个构造背景复杂、白垩系碎屑岩储层埋深大、丰度很高的天然气聚集带,天然气气藏均为超高压干气、湿天然气藏。随着库车拗陷克拉苏构造带大北3等井在7000m以下获得天然气勘探突破,克深7井、克深902井等在8000m以下深层发现了较好储层,使一大批深层、超深层盐下的圈闭勘探成为现实。显然,明确克拉苏构造带深埋条件下巴什基奇克组储层的成因机制,深入开展有利碎屑岩储集相带和有效孔渗带综合研究,揭示深部有利储层的形成机制和分布规律并建立发育模式,预测重点层段深层有利储集带的分布,为库车拗陷深部有利储层和油气藏的分布预测提供理论依据和分析方法,对提高库车拗陷天然气储量,指导后续深层天

然气勘探具有重要意义。

随着全球范围沉积盆地中、浅层油气勘探程度的不断深入,寻找沉积盆地深层有效储层已成为一种必然趋势。通常,随着埋藏深度的加大,碎屑岩储层的压实作用会越来越强,储层会越来越致密。但是近年来深层油气藏的科学研究和勘探实践证明,盆地深部仍可存在有效储层,深部碎屑岩油气藏的勘探正成为全球油气储量增长的新亮点。因此,深埋有效碎屑岩储层形成机理引起了石油地质学家们的极大关注,加强深层有效碎屑岩储层的研究具有十分重要的理论和实践意义。国内外学者对碎屑岩储层的形成机理做了大量的研究工作。最早也最为经典的当属 Schmidt 和 McDonald 于 1979 年发表的题为《砂岩成岩过程中次生孔隙的形成》这一著名论文,指出次生孔隙的形成与有机质演化有关。20 世纪 80 年代, Surdam 进一步研究了在储层孔隙演化过程中,有机和无机过程相互作用的机制,提出次生孔隙的有机成因说。这一时期储层形成机制的研究主要集中于有效储层静态特征(如岩石学特征、储集空间特征、成岩特征等)的精细刻画。20 世纪 90 年代后期至今,储层成因机理的研究趋向于多因素、多尺度、多界面动态分析,深入剖析流岩作用和成岩演化动力机制,还原碎屑岩储层成岩作用时空属性,分析有效储层在地质历史时期与地层温度、压力、流体等地质要素的耦合关系,以及采用多种方法技术预测有效储层。据不完全统计,目前国外正在生产的深层(埋深大于 5000m)碎屑岩油气藏达 31 个;我国深部油气勘探始于 1977 年渤海湾盆地,随后在我国四川盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地深部均有油气发现。深部储层由于沉积背景多样,埋藏深(大于 3000m),且经历了复杂漫长的成岩和构造演化,形成有效储层的机理复杂、控制因素繁多,因而受到地质学家高度重视。目前,国内外研究深部有效储层的形成机理的讨论主要集中于沉积环境及成岩作用过程,以及构造作用后期对储层进行有利改造或其对成岩作用的影响研究。细化讨论沉积环境、成岩作用、异常高压、地温场、埋藏方式、膏盐效应、烃类充注、颗粒包壳(或颗粒薄膜)、构造应力、砂泥岩互层状况、流体活动等对有效储层形成机理的影响已成为深埋有效碎屑岩储层的主要趋向。

本书是近年来塔里木油田公司与中国石油大学(北京)合作的研究成果,同时也包含了中国石油大学(华东)、中国科学院地质与地球物理研究所、中国石油勘探开发研究院、中国石油杭州地质研究院等多家科研院所合作的研究成果,反映了库车拗陷克拉苏构造带深埋有效碎屑岩储层研究的最新进展。全书共分八章,第一章由杨海军、李勇编写,第二章由朱筱敏、潘荣编写,第三章由潘荣、朱筱敏编写,第四章由潘荣、刘芬编写,第五章由潘荣、刘芬编写,第六章由王贵文、杨海军编写,第七章由朱筱敏、潘荣编写,第八章由杨海军、李勇、潘荣编写。全书最后由朱筱敏教授统稿和修订。书中的主要成果是在国家 973 项目资助下完成的;在成果推广应用过程中得到了中国石油塔里木油田公司配套经费的支持和相关领域专家的帮助,尤其得到了 973 项目专家组各位专家的悉心指导,在此深表谢意。

目 录

丛书序一	
丛书序二	
丛书序三	
丛书前言	
前言	
第一章 库车拗陷地质概况	1
第一节 构造单元和构造演化	1
第二节 地层充填序列和分布特征	14
第二章 巴什基奇克组沉积特征及演化	21
第一节 沉积物源背景分析	21
第二节 沉积类型及特征	25
第三节 沉积相及储集体分布特征	38
第三章 巴什基奇克组储层特征	50
第一节 储层岩石学特征	50
第二节 储层储集空间类型及特征	54
第三节 储层低孔低渗特征	56
第四节 储层孔喉结构特征	61
第五节 有效储层下限的确定	65
第四章 巴什基奇克组储层成岩作用及成岩序列	73
第一节 主要成岩作用类型及特征	73
第二节 成岩阶段划分和成岩演化序列	78
第五章 巴什基奇克组储层定量成岩相研究	82
第一节 成岩作用强度的定量计算方法	82
第二节 定量成岩演化与分布特征	86
第三节 定量成岩相的分类与分布特征	126
第六章 巴什基奇克组储层裂缝发育特征	133
第一节 储层裂缝类型	133
第二节 储层裂缝发育特征	134
第三节 大北及克深区块构造带裂缝的精细描述	137
第四节 大北及克深区块地应力与构造裂缝发育关系	142
第五节 构造裂缝主控因素分析	145

第七章 有效储层控制因素及形成机理研究·····	151
第一节 沉积作用对储层特征的影响·····	151
第二节 成岩作用对储层特征的影响·····	157
第三节 构造作用对储层特征的影响·····	159
第四节 埋藏史对储层特征的影响·····	164
第五节 烃类充注和膏盐层厚度对储层特征的影响·····	166
第六节 异常高压对储层的影响·····	169
第七节 有效储层形成机理及发育模式·····	170
第八章 储层评价及有效储层预测·····	176
第一节 基于主成分分析的储层质量评价模型·····	176
第二节 白垩系有效储层空间展布规律及预测·····	184
参考文献·····	190
索引·····	195

第一章 库车拗陷地质概况

第一节 构造单元和构造演化

库车拗陷属于天山褶皱带南麓前陆盆地，在海西晚期晚二叠世开始发育，经历了多期构造运动，是叠加在古生代被动大陆边缘之上的中、新生代叠合前陆盆地，其沉积和构造特征具有鲜明的前陆盆地性质（贾承造，1992；汪新文等，1994；何登发等，1996；卢华复等，1996；顾家裕等，2001；赵靖舟，2003）。库车拗陷经历了多期构造运动，但主要受两期构造运动的影响：第一期为白垩纪燕山运动，使北部天山抬升，向南形成较大的水平挤压力，形成一系列北倾逆断层，是拗陷内断裂和构造的重要发育期；第二期为古近纪—新近纪的喜马拉雅运动，北部天山继续抬升，燕山期断裂继续活动，形成了天山山前大型逆冲褶皱带及一系列逆冲断层。上述构造运动造就了库车拗陷现今“四带三凹”的构造格局，即北部单斜带、克拉苏—依奇克里克构造带、秋立塔格构造带、南部斜坡带及拜城凹陷、阳霞凹陷、乌什凹陷（图 1-1）。

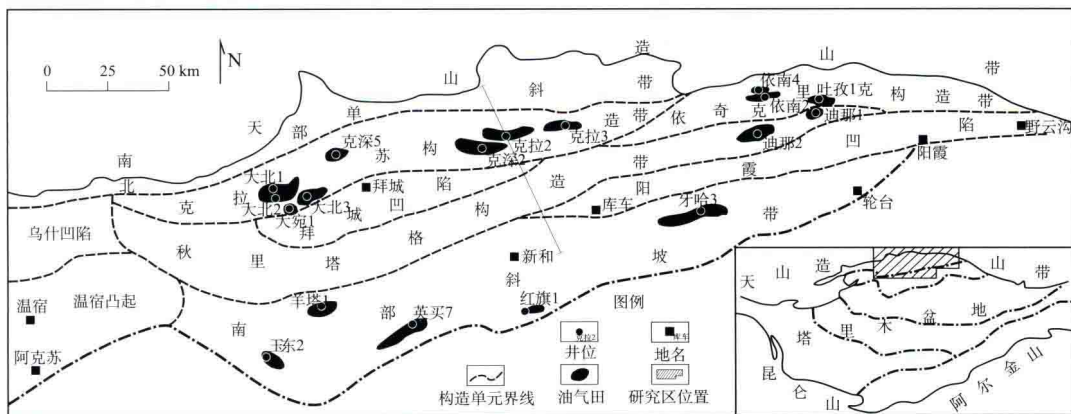


图 1-1 库车拗陷构造单元及其分布（据贾进华等，2001，有修改）

一、库车拗陷构造单元

（一）库车拗陷构造单元划分

库车拗陷与南天山的盆山过渡带总体上表现为强烈挤压的构造变形特征，库车拗陷