



中国石油科技进展丛书 (2006—2015 年)

致密气勘探开发技术

TIGHT GAS EXPLORATION &
DEVELOPMENT TECHNOLOGY

主 编：雷 群

副主编：贾爱林 何东博 管保山 罗 凯 甯 波

石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS



中国石油科技进展丛书 (2006—2015年)

- ▶ 深层油气地质理论与勘探实践
- ▶ 海相碳酸盐岩油气地质理论与勘探实践
- ▶ 第四次油气资源评价
- ▶ 陆相油藏开发地震技术
- ▶ 低孔低渗储层测井评价技术
- ▶ 深井超深井石油钻机及配套装备
- ▶ 工厂化钻完井与储层改造技术
- ▶ 控压钻井技术与装备
- ▶ 精细分层注水技术
- ▶ 天然气开发技术
- ▶ 超低渗透油气藏开发技术
- ▶ 稠油开发技术
- ▶ 老油田特高含水期水驱提高采收率技术
- ▶ CO₂ 驱油及封存技术
- ▶ 三元复合驱油技术
- ▶ 超低渗透油气藏地面工程建设运行技术
- ▶ 连续管作业技术与装备
- ▶ 带压作业技术与装备
- ▶ 天然气管道建设与运行技术
- ▶ 天然气液化厂及 LNG 接收站建设运行技术
- ▶ 油气储运国产化装备开发与应用
- ▶ 低碳关键技术
- ▶ 全球油气地质与资源潜力评价
- ▶ 中西非被动裂谷盆地石油地质理论与勘探实践
- ▶ 中亚含盐盆地石油地质理论与勘探实践
- ▶ 南美奥连特前陆盆地勘探技术与实践
- ▶ 海外砂岩油田高速开发理论与实践
- ▶ 超重油油藏冷采开发理论与技术
- ▶ 海外碳酸盐岩油气田开发理论与技术
- ▶ 煤层气勘探开发技术
- ▶ 致密气勘探开发技术

责任编辑：王宝刚 唐俊雅

责任校对：郭京平

封面设计：周彦 段华彦

ISBN 978-7-5183-3187-1



9 787518 331871 >

定价：190.00元

中国石油科技进展丛书（2006—2015 年）

致密气勘探开发技术

主 编：雷 群

副主编：贾爱林 何东博 管保山 罗 凯 甯 波

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以 2006—2015 年期间中国石油组织的致密气领域的重大科技攻关项目为基础,总结了致密气勘探开发技术方面取得的主要进展,包括致密气成藏特征、致密气储层预测与含气性检测技术、致密气储层评价与富集区优选技术、致密气储层描述技术、致密气渗流特征与产能评价方法、致密气储层改造技术、致密气藏稳产与提高采收率技术等方面的研究成果。本书是对已取得的技术成果和实践经验的总结,对今后致密气勘探开发的不断发展起到借鉴作用。

本书可供从事致密气研究的科研人员及相关院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

致密气勘探开发技术 / 雷群主编. — 北京: 石油工业出版社, 2019. 7

(中国石油科技进展丛书. 2006—2015 年)

ISBN 978-7-5183-3187-1

I. ①致… II. ①雷… III. ①致密砂岩-砂岩油气藏-油气勘探②致密砂岩-砂岩油气藏-油气田开发 IV.

①P618. 130. 8②TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 064698 号

审图号: GS (2019) 2780 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523712 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

2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 22.25

字数: 570 千字

定价: 190.00 元

(如发现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

《中国石油科技进展丛书 (2006—2015 年) 》

编 委 会

主 任：王宜林

副主任：焦方正 喻宝才 孙龙德

主 编：孙龙德

副主编：匡立春 袁士义 隋 军 何盛宝 张卫国

编 委：(按姓氏笔画排序)

于建宁	马德胜	王 峰	王卫国	王立昕	王红庄
王雪松	王渝明	石 林	伍贤柱	刘 合	闫伦江
汤 林	汤天知	李 峰	李忠兴	李建忠	李雪辉
吴向红	邹才能	闵希华	宋少光	宋新民	张 玮
张 研	张 镇	张子鹏	张光亚	张志伟	陈和平
陈健峰	范子菲	范向红	罗 凯	金 鼎	周灿灿
周英操	周家尧	郑俊章	赵文智	钟太贤	姚根顺
贾爱林	钱锦华	徐英俊	凌心强	黄维和	章卫兵
程杰成	傅国友	温声明	谢正凯	雷 群	蔺爱国
撒利明	潘校华	穆龙新			

专 家 组

成 员：刘振武 童晓光 高瑞祺 沈平平 苏义脑 孙 宁
高德利 王贤清 傅诚德 徐春明 黄新生 陆大卫
钱荣钧 邱中建 胡见义 吴 奇 顾家裕 孟纯绪
罗治斌 钟树德 接铭训

《致密气勘探开发技术》编写组

主 编：雷 群

副 主 编：贾爱林 何东博 管保山 罗 凯 甯 波

编写人员：

欧阳永林	王 欣	张福东	周兆华	冀 光	曾庆才
黄家强	位云生	翁定为	李 君	杨立峰	唐海发
程立华	赵 昕	付宁海	王国亭	郭 智	孟德伟
王丽娟	程敏华	王军磊	段瑶瑶	吕志凯	刘群明
杨 慎	关 辉	高 阳	姜 仁	曾同生	陈 胜
王 兴	李 琛	贺 佩	付海峰	刘玉婷	鄢雪梅

序

习近平总书记指出，创新是引领发展的第一动力，是建设现代化经济体系的战略支撑，要瞄准世界科技前沿，拓展实施国家重大科技项目，突出关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术创新，建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系，加快建设创新型国家。

中国石油认真学习贯彻习近平总书记关于科技创新的一系列重要论述，把创新作为高质量发展的第一驱动力，围绕建设世界一流综合性国际能源公司的战略目标，坚持国家“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的科技工作指导方针，贯彻公司“业务主导、自主创新、强化激励、开放共享”的科技发展理念，全力实施“优势领域持续保持领先、赶超领域跨越式提升、储备领域占领技术制高点”的科技创新三大工程。

“十一五”以来，尤其是“十二五”期间，中国石油坚持“主营业务战略驱动、发展目标导向、顶层设计”的科技工作思路，以国家科技重大专项为龙头、公司重大科技专项为抓手，取得一大批标志性成果，一批新技术实现规模化应用，一批超前储备技术获重要进展，创新能力大幅提升。为了全面系统总结这一时期中国石油在国家 and 公司层面形成的重大科研创新成果，强化成果的传承、宣传和推广，我们组织编写了《中国石油科技进展丛书（2006—2015年）》（以下简称《丛书》）。

《丛书》是中国石油重大科技成果的集中展示。近些年来，世界能源市场特别是油气市场供需格局发生了深刻变革，企业间围绕资源、市场、技术的竞争日趋激烈。油气资源勘探开发领域不断向低渗透、深层、海洋、非常规扩展，炼油加工资源劣质化、多元化趋势明显，化工新材料、新产品需求持续增长。国际社会更加关注气候变化，各国对生态环境保护、节能减排等方面的监管日益严格，对能源生产和消费的绿色清洁要求不断提高。面对新形势新挑战，能源企业必须将科技创新作为发展战略支点，持续提升自主创新能力，加

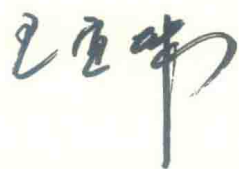
快构筑竞争新优势。“十一五”以来，中国石油突破了一批制约主营业务发展的关键技术，多项重要技术与产品填补空白，多项重大装备与软件满足国内外生产急需。截至 2015 年底，共获得国家科技奖励 30 项、获得授权专利 17813 项。《丛书》全面系统地梳理了中国石油“十一五”“十二五”期间各专业领域基础研究、技术开发、技术应用中取得的主要创新性成果，总结了中国石油科技创新的成功经验。

《丛书》是中国石油科技发展辉煌历史的高度凝练。中国石油的发展史，就是一部创业创新的历史。建国初期，我国石油工业基础十分薄弱，20 世纪 50 年代以来，随着陆相生油理论和勘探技术的突破，成功发现和开发建设了大庆油田，使我国一举甩掉贫油的帽子；此后随着海相碳酸盐岩、岩性地层理论的创新发展和开发技术的进步，又陆续发现和建成了一批大中型油气田。在炼油化工方面，“五朵金花”炼化技术的开发成功打破了国外技术封锁，相继建成了一个又一个炼化企业，实现了炼化业务的不断发展壮大。重组改制后特别是“十二五”以来，我们将“创新”纳入公司总体发展战略，着力强化创新引领，这是中国石油在深入贯彻落实中央精神、系统总结“十二五”发展经验基础上、根据形势变化和公司发展需要作出的重要战略决策，意义重大而深远。《丛书》从石油地质、物探、测井、钻完井、采油、油气藏工程、提高采收率、地面工程、井下作业、油气储运、石油炼制、石油化工、安全环保、海外油气勘探开发和非常规油气勘探开发等 15 个方面，记述了中国石油艰难曲折的理论创新、科技进步、推广应用的历史。它的出版真实反映了一个时期中国石油科技工作者百折不挠、顽强拼搏、敢于创新的科学精神，弘扬了中国石油科技人员秉承“我为祖国献石油”的核心价值观和“三老四严”的工作作风。

《丛书》是广大科技工作者的交流平台。创新驱动的实质是人才驱动，人才是创新的第一资源。中国石油拥有 21 名院士、3 万多名科研人员和 1.6 万名信息技术人员，星光璀璨，人文荟萃、成果斐然。这是我们宝贵的人才资源。我们始终致力于抓好人才培养、引进、使用三个关键环节，打造一支数量充足、结构合理、素质优良的创新型人才队伍。《丛书》的出版搭建了一个展示交流的有形化平台，丰富了中国石油科技知识共享体系，对于科技管理人员系统掌握科技发展情况，做出科学规划和决策具有重要参考价值。同时，便于

科研工作者全面把握本领域技术进展现状，准确了解学科前沿技术，明确学科发展方向，更好地指导生产与科研工作，对于提高中国石油科技创新的整体水平，加强科技成果宣传和推广，也具有十分重要的意义。

掩卷沉思，深感创新艰难、良作难得。《丛书》的编写出版是一项规模宏大的科技创新历史编纂工程，参与编写的单位有 60 多家，参加编写的科技人员有 1000 多人，参加审稿的专家学者有 200 多人次。自编写工作启动以来，中国石油党组对这项浩大的出版工程始终非常重视和关注。我高兴地看到，两年来，在各编写单位的精心组织下，在广大科研人员的辛勤付出下，《丛书》得以高质量出版。在此，我真诚地感谢所有参与《丛书》组织、研究、编写、出版工作的广大科技工作者和参编人员，真切地希望这套《丛书》能成为广大科技管理人员和科研工作者的案头必备图书，为中国石油整体科技创新水平的提升发挥应有的作用。我们要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，认真贯彻落实党中央、国务院的决策部署，坚定信心、改革攻坚，以奋发有为的精神状态、卓有成效的创新成果，不断开创中国石油稳健发展新局面，高质量建设世界一流综合性国际能源公司，为国家推动能源革命和全面建成小康社会作出新贡献。



2018 年 12 月

丛书前言

石油工业的发展史，就是一部科技创新史。“十一五”以来尤其是“十二五”期间，中国石油进一步加大理论创新和各类新技术、新材料的研发与应用，科技贡献率进一步提高，引领和推动了可持续跨越发展。

十余年来，中国石油以国家科技发展规划为统领，坚持国家“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的科技工作指导方针，贯彻公司“主营业务战略驱动、发展目标导向、顶层设计”的科技工作思路，实施“优势领域持续保持领先、赶超领域跨越式提升、储备领域占领技术制高点”科技创新三大工程；以国家重大专项为龙头，以公司重大科技专项为核心，以重大现场试验为抓手，按照“超前储备、技术攻关、试验配套与推广”三个层次，紧紧围绕建设世界一流综合性国际能源公司目标，组织开展了 50 个重大科技项目，取得一批重大成果和重要突破。

形成 40 项标志性成果。(1) 勘探开发领域：创新发展了深层古老碳酸盐岩、冲断带深层天然气、高原咸化湖盆等地质理论与勘探配套技术，特高含水油田提高采收率技术，低渗透/特低渗透油气田勘探开发理论与配套技术，稠油/超稠油蒸汽驱开采等核心技术，全球资源评价、被动裂谷盆地石油地质理论及勘探、大型碳酸盐岩油气田开发等核心技术。(2) 炼油化工领域：创新发展了清洁汽柴油生产、劣质重油加工和环烷基稠油深加工、炼化主体系列催化剂、高附加值聚烯烃和橡胶新产品等技术，千万吨级炼厂、百万吨级乙烯、大氮肥等成套技术。(3) 油气储运领域：研发了高钢级大口径天然气管道建设和管网集中调控运行技术、大功率电驱和燃驱压缩机组等 16 大类国产化管道装备，大型天然气液化工艺和 20 万立方米低温储罐建设技术。(4) 工程技术与装备领域：研发了 G3i 大型地震仪等核心装备，“两宽一高”地震勘探技术，快速与成像测井装备、大型复杂储层测井处理解释一体化软件等，8000 米超深井钻机及 9000 米四单根立柱钻机等重大装备。(5) 安全环保与节能节水领域：

研发了 CO₂ 驱油与埋存、钻井液不落地、炼化能量系统优化、烟气脱硫脱硝、挥发性有机物综合管控等核心技术。(6) 非常规油气与新能源领域：创新发展了致密油气成藏地质理论，致密气田规模效益开发模式，中低煤阶煤层气勘探理论和开采技术，页岩气勘探开发关键工艺与工具等。

取得 15 项重要进展。(1) 上游领域：连续型油气聚集理论和含油气盆地全过程模拟技术创新发展，非常规资源评价与有效动用配套技术初步成型，纳米智能驱油二氧化硅载体制备方法研发形成，稠油火驱技术攻关和试验获得重大突破，井下油水分离同井注采技术系统可靠性、稳定性进一步提高；(2) 下游领域：自主研发的新一代炼化催化材料及绿色制备技术、苯甲醇烷基化和甲醇制烯烃芳烃等碳一化工新技术等。

这些创新成果，有力支撑了中国石油的生产经营和各项业务快速发展。为了全面系统反映中国石油 2006—2015 年科技创新成果，总结成功经验，提高整体水平，加强科技成果宣传推广、传承和传播，中国石油决定组织编写《中国石油科技进展丛书（2006—2015 年）》（以下简称《丛书》）。

《丛书》编写工作在编委会统一组织下实施。中国石油集团董事长王宜林担任编委会主任。参与编写的单位有 60 多家，参加编写的科技人员 1000 多人，参加审稿的专家学者 200 多人次。《丛书》各分册编写由相关行政单位牵头，集合学术带头人、知名专家和有学术影响的技术人员组成编写团队。《丛书》编写始终坚持：一是突出站位高度，从石油工业战略发展出发，体现中国石油的最新成果；二是突出组织领导，各单位高度重视，每个分册成立编写组，确保组织架构落实有效；三是突出编写水平，集中一大批高水平专家，基本代表各个专业领域的最高水平；四是突出《丛书》质量，各分册完成初稿后，由编写单位和科技管理部共同推荐审稿专家对稿件审查把关，确保书稿质量。

《丛书》全面系统反映中国石油 2006—2015 年取得的标志性重大科技创新成果，重点突出“十二五”，兼顾“十一五”，以科技计划为基础，以重大研究项目和攻关项目为重点内容。丛书各分册既有重点成果，又形成相对完整的知识体系，具有以下显著特点：一是继承性。《丛书》是《中国石油“十五”科技进展丛书》的延续和发展，凸显中国石油一以贯之的科技发展脉络。二是完整性。《丛书》涵盖中国石油所有科技领域进展，全面反映科技创新成果。三是标志性。《丛书》在综合记述各领域科技发展成果基础上，突出中国石油领

先、高端、前沿的标志性重大科技成果，是核心竞争力的集中展示。四是创新性。《丛书》全面梳理中国石油自主创新科技成果，总结成功经验，有助于提高科技创新整体水平。五是前瞻性。《丛书》设置专门章节对世界石油科技中长期发展做出基本预测，有助于石油工业管理者和科技工作者全面了解产业前沿、把握发展机遇。

《丛书》将中国石油技术体系按 15 个领域进行成果梳理、凝练提升、系统总结，以领域进展和重点专著两个层次的组合模式组织出版，形成专有技术集成和知识共享体系。其中，领域进展图书，综述各领域的科技进展与展望，对技术领域进行全覆盖，包括石油地质、物探、测井、钻完井、采油、油气藏工程、提高采收率、地面工程、井下作业、油气储运、石油炼制、石油化工、安全环保节能、海外油气勘探开发和非常规油气勘探开发等 15 个领域。31 部重点专著图书反映了各领域的重大标志性成果，突出专业深度和学术水平。

《丛书》的组织编写和出版工作任务量浩大，自 2016 年启动以来，得到了中国石油天然气集团公司党组的高度重视。王宜林董事长对《丛书》出版做了重要批示。在两年多的时间里，编委会组织各分册编写人员，在科研和生产任务十分紧张的情况下，高质量高标准完成了《丛书》的编写工作。在集团公司科技管理部的统一安排下，各分册编写组在完成分册稿件的编写后，进行了多轮次的内部和外部专家审稿，最终达到出版要求。石油工业出版社组织一流的编辑出版力量，将《丛书》打造成精品图书。值此《丛书》出版之际，对所有参与这项工作的院士、专家、科研人员、科技管理人员及出版工作者的辛勤工作表示衷心感谢。

人类总是在不断地创新、总结和进步。这套丛书是对中国石油 2006—2015 年主要科技创新活动的集中总结和凝练。也由于时间、人力和能力等方面原因，还有许多进展和成果不可能充分全面地吸收到《丛书》中来。我们期盼有更多的科技创新成果不断地出版发行，期望《丛书》对石油行业的同行们起到借鉴学习作用，希望广大科技工作者多提宝贵意见，使中国石油今后的科技创新工作得到更好的总结提升。

孙龙德

2018 年 12 月

前言

致密气是中国重要的天然气资源类型，地质资源量 $(25 \sim 30) \times 10^{12} \text{m}^3$ ，是常规天然气资源量的 45%~50%。“十一五”和“十二五”期间，中国致密气勘探开发取得了快速发展，探明储量持续增长，建成了以苏里格气田为代表的一批致密气田。截至 2015 年年底，中国的累计探明致密气地质储量达 $3.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约占国内天然气总探明地质储量的 30%，致密气年产量突破 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ ，达到天然气总产量的 20% 以上，强力支撑了中国天然气工业的快速发展。

中国致密气勘探开发大致经历了三个阶段。（1）早期探索阶段：20 世纪 70 至 80 年代即开始在川西地区探索致密砂岩气的开发利用，但由于当时工艺技术的局限性，采用常规气藏勘探开发思路，未取得规模性的突破。（2）先导性试验阶段：2000 年 8 月 27 日，鄂尔多斯盆地钻探的苏 6 井，压裂后测试井口日产天然气 $26.8 \times 10^4 \text{m}^3$ ，标志着苏里格致密气田的发现，也拉开了中国致密气规模化发展的序幕。苏里格气田具有低渗透、低压、低丰度的“三低”特点，与北美致密气相比，其储量丰度更低、埋藏深度更大、开发难度更高。经过五年技术攻关和先导性试验，建立了致密气大面积成藏地质理论，提出了低成本开发战略，形成了“富集区评价、分压合采、井下节流、中低压集输”等 12 项开发配套技术，实现了中国致密气地质理论和开发技术的突破，在苏里格气田苏 6 井、苏 10 井等井区的试采初见成效，具备了规模化发展的条件。（3）规模发展阶段：2006 年开始，苏里格气田采用“5+1”合作开发模式，步入规模化开发建设阶段，并带动其他盆地致密气的勘探开发，致密气成为近十年中国天然气储量和产量增长最快的气藏类型。在苏里格地区 $5 \times 10^4 \text{km}^2$ 范围内探明和基本探明致密气地质储量 $4.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，开发技术持续创新，从直井发展为丛式井、水平井，形成“大平台多井型立体式”开发模式，建成了 $250 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 产能的中国最大的天然气田。同时带动了鄂尔多斯盆地东部、四川盆地川中和川西地区、松辽盆地南部等领域致密气的规模化发展。

中国的致密气勘探开发经过十余年的快速发展，建成了鄂尔多斯盆地和四

川盆地两个致密气主力产区。鄂尔多斯盆地主要包括苏里格气田、大牛地气田、神木气田、东胜气田等，年产量规模 $(280\sim 300)\times 10^8\text{m}^3$ 。四川盆地主要包括新场气田、广安气田、合川气田等，年产量规模 $(35\sim 40)\times 10^8\text{m}^3$ 。这些致密气田的勘探开发实践奠定了中国致密气的发展基础，逐步形成了具有中国特色的致密气勘探开发技术。

致密气勘探技术主要体现在大面积成藏理论的建立。建立了鄂尔多斯盆地上古生界“敞流型”湖盆沉积模式，有利勘探面积扩大到 $5\times 10^4\text{km}^2$ ；提出近源大面积致密砂岩聚集系数可达 5%，突破了前人认为天然气运聚系数小于 1% 的认识，扩大了资源规模；揭示了致密砂岩大气田在生气强度大于 $10\times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 区域就能形成的基本规律，扩大了致密气勘探新领域。

致密气开发技术主要体现在如何提高单井产量和降低开发成本方面，形成了富集区优选、快速钻井、储层改造、井下节流与中低压集输、数字化生产管理等技术系列，达到国际先进水平。（1）富集区预测及井位优选技术：改进地震野外采集参数，增大偏移距到目的层埋深的 1.3~1.5 倍，使之达到叠前资料应用的要求；形成地震叠前 AVO 气层检测和泊松比反演技术，实现了对富集区的有效预测和优选井位。苏里格气田富集区内有效井（I+II 类井）钻井成功率由早期的低于 60% 达到 75% 以上。（2）快速钻井技术：通过井身结构优化，优选 PDC 钻头，改进钻井液体系，平均地层埋深 3300m，直井钻井周期缩短到平均 15d，最短 7d，水平井钻井周期缩短到平均 61d，最短 23d，大幅降低了钻井成本。（3）直井多层、水平井多段压裂技术：研制了系列机械式封隔器分层压裂工具，一般实施 3~5 层分层压裂，最高分压 8 层，已应用于 6000 口井以上，单井初期日产量 $(1\sim 3)\times 10^4\text{m}^3$ 。形成水力喷射和裸眼封隔器两套水平井分段压裂工艺技术，水平段 1200m 左右，一般分 5~8 段压裂，最高可达 23 段，已应用于 1000 口井以上，单井初期日产量 $(5\sim 10)\times 10^4\text{m}^3$ 。（4）井下节流与中低压集输技术：利用地层能量实现井筒节流降压，取代了传统的集气站或井口加热，抑制了水合物的生成，并为形成中低压集输模式、降低地面建设投资创造了条件。井下节流器耐温 200℃、耐压 35MPa，下深 2500m，开井时率由 65% 提高到 90% 以上，实现井口不加热、不注醇，有利于节能减排。苏里格气田形成的“井下节流、井口不加热、不注醇、中压集气、带液计量、井间串接、常温分离、二级增压、集中处理”中低压集气模式，大幅降低了地面投资。（5）数字化生产管理技术：致密气藏开发通常为多井低

产的方式，大量生产井的管理需要投入大量的人力资源。借助现代计算机技术和互联网技术，建立了一套有效的智能化管理系统，实现气井和场站的“智能管理、独立运行、远程关断、自动排液、安全放空、动态监测”，大幅节约了人力成本。

就致密气发展前景而言，中国致密气的勘探开发现状还处于局部地域地质认识清楚但整个领域尚不明朗的状态。目前勘探开发领域主要集中在鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的上古生界、四川盆地川中斜坡的须家河组和川西坳陷的蓬莱镇组和沙溪庙组，无论在地域上还是层位上都还有很多认识盲区，如鄂尔多斯盆地东部的本溪组和太原组、四川盆地西部冲断带和深凹陷区的致密砂岩、松辽盆地登娄库组和火石岭组的致密砂岩、塔里木盆地库车地区侏罗系致密砂岩等将是致密气的潜在增长区。工程技术已实现了中高油价条件下相对富集区的商业开发利用，但对占比更大的低丰度资源和含水饱和度较高的区域，中低油价条件下规模效益开发的工程技术仍需优化。同时，已发现的致密气田得到了开发动用，开始进入稳产阶段，开发任务也由上产向稳产转变，提高采收率和低产低效井挖潜是面临的主要挑战。总体判断，中国致密气经过过去十年的快速发展，实现了重点盆地的突破，形成了第一轮规模增长；未来5~10年将是一个稳定发展期，通过已开发致密气田的稳产和多类型盆地致密气新领域的突破，为迎接致密气下一轮规模增长提供资源和技术准备。

本书以2006—2015年期间中国石油组织的致密气领域的重大科技攻关项目为基础，总结了致密气勘探开发技术方面取得的主要进展，包括致密气成藏特征、致密气储层预测与含气性检测技术、致密气储层描述技术、致密气富集区优选与优化布井技术、致密气渗流特征与产能评价方法、致密气储层改造技术、致密气藏稳产与提高采收率技术等方面的研究成果。本书是对已取得的技术成果和实践经验的总结，将对今后致密气勘探开发的不断发展起到借鉴作用。

本书是在中国石油天然气集团有限公司科技管理部的支持下完成的，同时中国石油勘探与生产分公司、中国石油长庆油田分公司、中国石油西南油气田公司、中国石油勘探开发研究院也对本书的编写工作给予了大力支持和帮助，在此表示感谢。

本书涉及内容广泛，加之笔者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请同行和读者批评指正。

目 录

第一章 致密气成藏特征	1
第一节 致密气发展概况	1
第二节 致密气主要形成条件	5
第三节 致密气成藏机制	12
第四节 有利区带优选与评价	35
参考文献	40
第二章 致密气储层预测与含气性检测技术	42
第一节 致密气储层地球物理响应特征	42
第二节 地震资料采集处理技术	47
第三节 致密气储层地震预测技术	64
第四节 致密气储层含气性检测技术	72
参考文献	95
第三章 致密气储层描述技术	97
第一节 致密气藏主要开发地质特征	97
第二节 致密气藏描述技术流程	115
第三节 大型复合砂体分级构型描述	120
第四节 致密气藏地质建模	134
参考文献	144
第四章 致密气富集区优选与优化布井技术	146
第一节 致密气储层评价	146
第二节 富集区优选技术	160
第三节 致密气开发井优化布井技术	169
参考文献	182

第五章 致密气渗流特征与产能评价方法 183

 第一节 致密气藏渗流特征 183

 第二节 压裂气井流动模型与产能评价方法 193

 第三节 致密气井产能影响因素 224

 参考文献 246

第六章 致密气储层改造技术 248

 第一节 致密储层水力压裂裂缝扩展特征 248

 第二节 压裂优化设计理念与方法 253

 第三节 压裂工艺与工具 269

 第四节 压裂液体系 276

 第五节 裂缝诊断与评估 292

 参考文献 305

第七章 致密气藏稳产与提高采收率技术 307

 第一节 致密气藏生产规律与稳产方式 307

 第二节 致密气藏采收率影响因素与剩余气分布 311

 第三节 致密气藏提高采收率技术 322

 第四节 气藏储量动用顺序与稳产潜力评价 334

 参考文献 337