



中国石油科技进展丛书 (2006—2015年)

海相碳酸盐岩 油气地质理论与勘探实践

GEOLOGY THEORY AND EXPLORATION
OF OIL AND GAS ON MARINE
CARBONATE ROCK

主 编：赵文智

副主编：胡素云 汪泽成 张 研

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 驱油及埋存技术
- ▶ 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实践
- ▶ 海外碳酸盐岩油气田开发理论与实践
- ▶ 煤层气勘探开发技术
- ▶ 致密气勘探开发技术

责任编辑：林庆咸 孙 娟 唐俊雅

责任校对：罗彩霞

封面设计： 周彦 段华彦

ISBN 978-7-5183-3445-2



9 787518 334452 >

定价：260.00元

中国石油科技进展丛书（2006—2015年）

海相碳酸盐岩 油气地质理论与勘探实践

主 编：赵文智

副主编：胡素云 汪泽成 张 研

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了碳酸盐岩油气勘探形势与需求,论述了碳酸盐岩油气地质理论认识进展、勘探开发配套技术进展、理论与技术成果应用实效。重点论述了四川、塔里木、鄂尔多斯三大盆地海相地层格架、古老碳酸盐岩相古地理重建技术、海相烃源岩成烃演化模式、古老碳酸盐岩有效储层演化模式及碳酸盐岩大油气田形成与分布特征。对碳酸盐岩油气勘探评价方法与技术进行了梳理,总结了碳酸盐岩油气勘探实践成果,提出了碳酸盐岩油气勘探前景与勘探策略。

本书可供从事海相碳酸盐岩油气地质勘探的科技人员和石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海相碳酸盐岩油气地质理论与勘探实践 / 赵文智主

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 978-7-5183-3445-2

I. ①海… II. ①赵 III. ①海相-碳酸盐岩-石油
天然气地质-研究 ②海相-碳酸盐岩-油气勘探-研究
IV. ①P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第099222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 100011)

网 址: www. petropub. com

编辑部: (010) 64523708 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: 29.25

字数: 700千字

定价: 260.00元

(如出现印装质量问题, 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

《海相碳酸盐岩油气地质理论与勘探实践》

编 写 组

主 编：赵文智

副 主 编：胡素云 汪泽成 张 研

编写人员：（按姓氏笔画排序）

王华建 王兆云 王晓梅 王铜山 文 龙 邓胜辉

卢远征 包洪平 乔占峰 刘 伟 江青春 李 宁

李永新 李劲松 沈安江 张水昌 张宝民 罗 平

罗 冰 周进高 姜 华 洪海涛 徐安娜 黄士鹏

翟秀芬 樊 茹 潘文庆

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和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

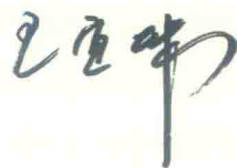
快构筑竞争新优势。“十一五”以来，中国石油突破了一批制约主营业务发展的关键技术，多项重要技术与产品填补空白，多项重大装备与软件满足国内外生产急需。截至2015年底，共获得国家科技奖励30项、获得授权专利17813项。《丛书》全面系统地梳理了中国石油“十一五”“十二五”期间各专业领域基础研究、技术开发、技术应用中取得的主要创新性成果，总结了中国石油科技创新的成功经验。

《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。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王康' (Wang Kang), written in a cursive style.

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 年科技发展和创新成果, 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。

孫龍德

2018 年 12 月

前言

中国海相碳酸盐岩地层分布广、油气资源丰富。第四轮全国油气资源评价结果表明海相碳酸盐岩油气资源量约 226×10^8 t 油当量，主要分布在塔里木、鄂尔多斯、四川等盆地。“十一五”以来，中国石油天然气股份有限公司（简称“中国石油”）针对塔里木、四川、鄂尔多斯三大盆地海相碳酸盐岩油气勘探面临的理论技术难题，加强攻关研究，在国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”中主持“十一五”项目“四川、塔里木等盆地及邻区海相碳酸盐岩大油气田形成条件、关键技术及目标评价”（编号：2008ZX005004）和“十二五”项目“四川、塔里木等盆地及邻区海相碳酸盐岩大油气田形成条件、关键技术及目标评价（二期）”（编号：2011ZX005004），同时设立中国石油天然气股份有限公司重大科技专项“海相碳酸盐岩大油气田勘探开发关键技术”（项目期限：2008年6月—2011年6月）。通过10余年理论研究和攻关，取得了古老海相碳酸盐岩油气地质理论重大创新，形成了先进实用的勘探配套技术，在塔里木盆地哈拉哈塘亿吨级大油田以及四川盆地安岳、龙岗和鄂尔多斯盆地靖边气田西侧奥陶系中下组合等大气田勘探发现中发挥了重要支撑作用；同时，评价优选一批有勘探前景的有利区带和风险勘探目标，有力支撑了“十三五”碳酸盐岩领域的勘探部署。目前，海相碳酸盐岩领域已成为中国石油资源战略的重要领域。

一、碳酸盐岩油气勘探形势与需求

1. 全球碳酸盐岩油气勘探现状及发展趋势

海相碳酸盐岩是世界油气资源分布与勘探开发最重要的领域之一。海相碳酸盐岩分布面积约占全球沉积岩总面积的20%，油气资源量占全球总资源量的50%以上。据不完全统计，截至2012年底，可采油气储量约占全球总可采储量的40%，产量约占全球油气总产量的60%。世界上共发现了1021个大型油气田，其中碳酸盐岩大油气田占31%，主要分布在波斯湾盆地、墨西哥湾盆

地、锡尔特盆地、滨里海盆地、美国阿拉斯加北坡、二叠盆地、四川盆地、塔里木盆地和鄂尔多斯盆地等，层系上主要集中在古生界、侏罗系、白垩系、古近系和新近系。

全球海相碳酸盐岩油气大规模勘探及大油气田发现高峰期均较早，但 10 余年来勘探也不断取得新突破，揭示了碳酸盐岩油气勘探的巨大潜力。早在 20 世纪 60—70 年代，以中、新生界为主的海相碳酸盐岩油气勘探和发现就已进入高峰期，到 20 世纪 80—90 年代勘探投入和大油气田发现明显回落。进入 21 世纪，受国际油价影响，许多国家和石油公司加大了对碳酸盐岩油气勘探的力度，又发现了一批碳酸盐岩巨型油气田，可采储量有所回升。总结 10 余年来全球碳酸盐岩油气勘探发现，有如下特点：（1）新发现碳酸盐岩油气田数量不多，但特大型油气田可采储量占比较大；（2）碳酸盐岩巨型油气田发现区域由中东和独联体地区为主发展到拉丁美洲和远东地区；（3）海上新发现碳酸盐岩特大型油气田比例明显增高；（4）勘探深度明显加大，50% 以上新发现的碳酸盐岩特大型油气田储层埋深在 5000m 及其以深；（5）新发现的碳酸盐岩岩性—地层型油气藏明显增多。

由此可见，全球碳酸盐岩油气勘探发展趋势：从陆地走向海洋，从中浅层走向深层，从中、新生界走向古生界—元古宇，从构造型圈闭走向更具隐蔽性的构造—岩性复合型、地层—岩性型圈闭，勘探难度越来越大。

2. 中国海相碳酸盐岩油气勘探形势及需求

1) 海相碳酸盐岩油气勘探仍处于快速发展期

中国碳酸盐岩油气勘探时间长，也很曲折。勘探发现大体分为三个阶段。

第一阶段：20 世纪 50—80 年代，四川盆地为主的勘探发现阶段，发现了威远、五百梯等构造型大气田。

第二阶段：20 世纪 90 年代—21 世纪初，四川、塔里木、鄂尔多斯三大盆地勘探发现阶段。四川盆地川东北发现了普光、罗家寨、铁山坡等礁滩大气田，鄂尔多斯盆地奥陶系发现了靖边大气田，塔里木盆地发现了轮南—塔河奥陶系亿吨级古潜山大油田。这一阶段显著特点不仅在古隆起区勘探有大发现，而且在台缘带礁滩有大发现；不仅发现了构造型大油气田，而且发现了地层—岩性型大油气田，勘探领域明显扩大。

第三阶段：深层—超深层勘探发现阶段。近 10 年，随着勘探不断深入，

四川、塔里木盆地碳酸盐岩油气勘探不断向超深层、寒武系—前寒武系发展，并取得重大发现。在塔里木盆地塔北斜坡发现的哈拉哈塘油田目的层埋深在5900~7100m，四川盆地元坝气田埋深超过7000m；四川盆地发现的安岳特大型气田，目的层为震旦—寒武系，天然气储量规模超过 $1.56 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，以构造—岩性复合型油气藏为主。

总体看来，中国陆上海相碳酸盐岩油气勘探仍处于快速发展阶段，未来勘探潜力巨大。截至2016年底，海相碳酸盐岩累计探明石油地质储量 $16.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 、天然气地质储量 $3.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，资源探明率石油为23%、天然气为17%，剩余资源在总剩余油气资源占比石油为12%、天然气为46%。

2) 海相碳酸盐岩油气勘探发展面临的关键问题

与国外相比，中国海相碳酸盐岩油气地质有其特殊性，表现为4个方面：(1) 时代老、分布广。海相碳酸盐岩地层分布面积逾 $300 \times 10^4 \text{km}^2$ ，其中以古生界为主的沉积覆盖区海相地层面积约 $146 \times 10^4 \text{km}^2$ ，主要分布在塔里木、华北和扬子三个克拉通盆地。(2) 海相烃源岩热演化程度高，一般达到高一过成熟阶段($R_o > 2.0\%$)的烃源岩占盆地面积超过80%。按传统的生烃理论，海相烃源岩大多进入生烃“死亡线”，资源潜力有限。(3) 埋深大。四川盆地和塔里木盆地的海相碳酸盐岩埋深超过4500m，一般达到6000~9000m，存在传统石油地质理论无法解释的深层生烃与排烃、储层有效性等科学问题。(4) 多期构造运动导致古油气藏广遭破坏与改造，现今油气藏评价难度大，油气成藏与富集规律不清，有利勘探领域与区带优选难度大。

中国海相碳酸盐岩油气地质基本特征决定了古老海相碳酸盐岩油气成藏的复杂性，存在诸多用经典石油地质理论无法解释的现象，因而油气勘探不能简单地照搬传统石油地质理论与勘探评价技术，须从古老海相碳酸盐岩油气地质的特殊性出发，针对勘探面临地质与技术问题，开展创造性研究，才能形成有效指导勘探实践的地质理论与核心技术。古老海相碳酸盐岩油气勘探面临的地质难题归纳如下：

(1) 海相碳酸盐岩沉积的盆地原型及岩相古地理恢复难度大。

位于叠合盆地深层的海相层系在经历了多期构造运动后，现今地层分布、构造形态已不能代表当时的古构造面貌。如何在盆地范围内恢复不同时期的盆地原型及古构造仍是研究难点，影响了碳酸盐岩勘探潜力评价与勘探领域

拓展。

有利沉积相带展布预测是区带评价和勘探部署的重要依据，而编制岩相古地理工业化图件则是沉积相带预测的重要手段。前人开展了大量的以盆地周缘露头为主的层序地层学研究，但仅仅依靠露头及钻井剖面编制的岩相古地理图件，资料点有限，不能满足工业化制图的精度要求，因而不能满足勘探部署的需求。因此，建立露头层序—钻井层序—地震层序三者统一的层序地层格架，以三级层序为成图单元，系统编制盆地范围的岩相古地理工业性图件，对重点区块或层系开展精细的沉积微相研究，优选有利的沉积相带，是指导油气勘探部署的重要基础研究工作。

(2) 高一过成熟烃源岩生烃潜力及其资源贡献认识不清，制约了油气资源潜力与分布的客观认识。

中国古老海相层系烃源岩埋深大、有机质热演化程度高，基于传统的油气生成理论认识预测资源潜力存在5方面科学问题：①有效烃源岩的时空分布，特别是碳酸盐岩台地内部烃源岩分布预测与质量评价；②分散可溶有机质裂解成气机理及其对成藏贡献的评价；③深层高温高压烃类的生成和排驱及保存机制，在传统石油地质理论中仍属于空白；④叠合盆地不同阶段生烃的特性和潜力评价；⑤油气多期成藏与调整过程恢复等。这些问题的加深研究，将有助于重新认识海相碳酸盐岩的资源潜力和勘探前景。

(3) 古老碳酸盐岩有效储层成因与主控因素不清，有利区分布预测难度大。

大量勘探实践和研究表明，沉积、成岩和构造三大作用联合控制了碳酸盐岩储层的形成，其类型包括台缘礁滩、颗粒滩、白云岩及岩溶风化壳型4种类型，并均分布有大油气田。但是，以古生界为主的中国海相碳酸盐岩埋深偏大，能否形成规模有效储层，不仅缺乏理论认识，而且对深层油气资源的经济性产生怀疑。因而，深层规模有效储层成因机理研究和分布预测是当前勘探面临的关键地质问题。

(4) 古老海相碳酸盐岩油气成藏机理与富集规律认识不清，重大接替领域与有利区带评价优选难度大。

长期以来，古潜山、古隆起及其相关的构造油气藏是海相碳酸盐岩油气勘探重点对象，风化壳岩溶储层作为主要目的层，在四川、渤海湾、鄂尔多斯、

塔里木等盆地相继发现一批油气田。随着勘探的不断深入，勘探领域不断伸向古隆起的斜坡区、碳酸盐岩台地边缘的礁滩体，在塔北南缘斜坡带、塔中隆起北坡的礁滩体、四川盆地长兴组—飞仙关组礁滩体、川中古隆起下斜坡震旦系—寒武系等发现了一批以岩性—地层油气藏为主的大油气田。除了上述领域与区块之外，海相碳酸盐岩重大接替领域目前尚不清楚，有利勘探区带与目标优选的难度也越来越大。

综上所述，中国海相碳酸盐岩油气勘探目前正处在大发展时期，勘探仍面临许多地质与技术问题，主要表现在三大方面。第一，古老海相碳酸盐岩油气资源潜力评价亟待解决前沿学科的基础地质问题，如深层背景下储层、生烃与排烃，多期构造运动对沉积、成藏与改造的影响等。第二，用于指导勘探部署的基础性工业化图件缺乏或不实用，如古构造图、岩相古地理图、储层分布预测图、区带评价区图。第三，以地震为主的碳酸盐岩核心勘探技术尚不成熟。因此，加快开展海相碳酸盐岩石油地质理论与核心勘探技术攻关研究，不仅有利于海相碳酸盐岩油气勘探开发的快速发展，而且有利于推动碳酸盐岩石油地质理论与技术的快速发展。

二、取得的碳酸盐岩油气地质理论认识进展

“十一五”以来的攻关研究主要立足于四川、塔里木、鄂尔多斯三大盆地，在海相地层、沉积与储层、烃源岩与生烃、成藏与富集等方面均取得了重要成果，对深化古老海相碳酸盐岩油气地质理论认识及指导勘探实践，均发挥了重要作用。

(1) 系统建立了三大盆地海相地层格架，为盆地原型恢复、岩相古地理图件编制及盆地演化分析等内容研究提供坚实的地层基础。

采用多重地层（生物、岩电、同位素、锆石测年）划分对比及层序地层学研究方法，统一了盆地周缘及盆地腹部地层划分方案，并进行了与国际地层的对比。采用井—震结合方法，搭建了贯穿盆地的区域地层格架。

四川盆地，重点研究了震旦系—寒武系及二叠系—三叠统地层划分对比。在地层区划基础上，建立了不同小区的岩石地层划分方案以及相互对比关系；提出了灯影组岩性段的四分方案，并首次在灯三段凝灰岩中测得了晚震旦世中晚期的同位素年龄值，确定了灯三段碎屑岩的等时性；厘定了麦地坪组的定义，查明了该组基本特征，并确定了其底、顶不整合界面；明确了龙王庙组