



2014—2015

深层油气地质 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN DEEP
PETROLEUM GEOLOGY DISCIPLINE

中国科学技术协会 主编 中国石油学会 编著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

2014—2015

深层油气地质

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN DEEP
PETROLEUM GEOLOGY DISCIPLINE

中国科学技术协会 主编

中国石油学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2014—2015 深层油气地质学科发展报告 / 中国科学技术协会主编; 中国石油学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2016.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-7069-4

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 深层开采—石油
天然气地质—学科发展—研究报告—中国—2014—2015
IV. ① TE3 ② P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 025916 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	许 慧 王 菡
装帧设计	中文天地
责任校对	何士如
责任印制	张建农

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62103130
传 真	010-62179148
网 址	http: //www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	300千字
印 张	13.5
版 次	2016年4月第1版
印 次	2016年4月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7069-4 / TE·27
定 价	52.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2014—2015

深层油气地质学科发展报告

首席科学家 赵文智

顾问组 李德生 翟光明 胡见义 戴金星 金之钧 高瑞祺
顾家裕 周抚生 查明 赵化昆 王清晨

编写专家 胡素云 邓运华 庞雄奇 罗晓容 姚根顺 张水昌
何登发 朱筱敏 寿建峰 张研

编委 (按姓氏笔画排序)

王鹏	王飞宇	王云鹏	王铜山	云金表	文百红
付晓飞	付晓东	冯庆付	朱如凯	刘文汇	刘占国
孙海涛	李宁	李忠	李传新	李秋芬	杨辉
何坤	何金有	邹伟宏	汪文洋	沈扬	沈安江
张斌	张立宽	张惠良	周波	庞宏	郑晓东
赵霞	钟大康	姜华	姜福杰	袁选俊	徐兆辉
徐建永	翟秀芬	潘荣			

学术秘书 张占峰 王霞 赵霞 王铜山

党的十八届五中全会提出要发挥科技创新在全面创新中的引领作用，推动战略前沿领域创新突破，为经济社会发展提供持久动力。国家“十三五”规划也对科技创新进行了战略部署。

要在科技创新中赢得先机，明确科技发展的重点领域和方向，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口十分重要。从2006年开始，中国科协所属全国学会发挥自身优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才培养队伍，持续开展学科发展研究，通过对相关学科在发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作、人才队伍建设等方面的最新进展的梳理和分析以及和国外相关学科的比较，总结学科研究热点与重要进展，提出各学科领域的发展趋势和发展策略，引导学科结构优化调整，推动完善学科布局，促进学科交叉融合和均衡发展。至2013年，共有104个全国学会开展了186项学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告186卷，先后有1.8万名专家学者参与了学科发展研讨，有7000余位专家执笔撰写学科发展报告。学科发展研究逐步得到国内外科学界的广泛关注，得到国家有关决策部门的高度重视，为国家超前规划科技创新战略布局、抢占科技发展制高点提供了重要参考。

2014年，中国科协组织33个全国学会，分别就其相关学科或领域的发展状况进行系统研究，编写了33卷学科发展报告（2014—2015）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，近几年来，我国在基础研究、应用研究和交叉学科研究方面取得了突出性的科研成果，国家科研投入不断增加，科研队伍不断优化和成长，学科结构正在逐步改善，学科的国际合作与交流加强，科技实力和水平不断提升。同时本次学科发展报告也揭示出我国学科发展存在一些问题，包括基础研究薄弱，缺乏重大原创性科研成果；公众理解科学程度不够，给科学决策和学科建设带来负面影响；科研成果转化存在体制机制障碍，创新资源配置碎片化和效率不高；学科制度的设计不能很好地满足学科多样性发展的需求；等等。急切需要从人才、经费、制度、平台、机制等多方面采取措施加以改善，以推动学科建设和科学研究的持续发展。

中国科协所属全国学会是我国科技团体的中坚力量，学科类别齐全，学术资源丰富，汇聚了跨学科、跨行业、跨地域的高层次科技人才。近年来，中国科协通过组织全国学会

开展学科发展研究，逐步形成了相对稳定的研究、编撰和服务管理团队，具有开展学科发展研究的组织和人才优势。2014—2015 学科发展研究报告凝聚着 1200 多位专家学者的心血。在这里我衷心感谢各有关学会的大力支持，衷心感谢各学科专家的积极参与，衷心感谢付出辛勤劳动的全体人员！同时希望中国科协及其所属全国学会紧紧围绕科技创新要求和国家经济社会发展需要，坚持不懈地开展学科研究，继续提高学科发展报告的质量，建立起我国学科发展研究的支撑体系，出成果、出思想、出人才，为我国科技创新夯实基础。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Shi Meng, positioned above the date.

2016 年 3 月

>>>> 前言

面对竞争日益激烈、科技一日千里的国际大环境，能源短缺已成为制约我国经济社会发展的重要因素。“解决能源短缺、推进能源独立、保障能源安全”是增强国家竞争能力、维持国民经济快速健康发展的第一要务。随着中浅层油气勘探程度的提高以及方法技术的进步，油气勘探向深层领域延伸已成必然。深层油气资源的接替直接关系到我国能源保障能力的提高。当前，及时开展我国深层油气地质学学科发展研究，可以快速推进深层油气产业发展，夯实资源基础，为国民经济健康发展提供保障，因而具有重要的学科理论意义和社会经济价值。

在这种形势下，2014年5月，中国科学技术协会适时地将深层油气地质学列为30个重点研究的学科之一，正式启动了2014—2015深层油气地质学科发展研究。在中国科学技术协会指导下，由中国石油学会石油地质专业委员会组织，成立了“2014—2015深层油气地质学科发展研究”项目组，由赵文智院士担任首席科学家，李德生院士、翟光明院士、胡见义院士、戴金星院士、金之钧院士、高瑞祺教授、顾家裕教授、周抚生副理事长、查明教授、赵化昆教授、王清晨教授担任顾问，赵文智院士担任主编，来自中石油、中石化、中海油、中科院及各大高校的50多名专家学者组成编写组。

编写组开展了广泛的文献调研和检索，搜集了大量数据资料，召开多次研讨交流会，制订编写提纲、细化任务分工、统一编写思路、规范编写体例，并就重大科学问题和学科进展广泛征集业内专家学者意见。经过1年的艰苦努力和扎实工作，为社会呈现出了一部系统、全面、具科学性和综合性的《2014—2015深层油气地质学科发展报告》。该报告以深层为主题，从分析我国深层油气特殊性和制约深层油气勘探的重大基础问题入手，系统总结了近5年来我国深层油气地质学学科发展现状，比较国内外学科进展，明确未来几年本学科发展趋势，并提出我国在该学科领域的发展策略和对策。同时，选择深层油气地质学6个二级学科（深层烃源岩地球化学、深层构造地质学、深层沉积地质学、深层油气储层地质学、深层油气成藏地质学、深层地球物理勘探技术），逐一分析其发展现状、对比国内外进展、明确发展趋势并提出发展对策。

本报告具体分工如下：综合报告由胡素云、邓运华、庞雄奇、罗晓容、姚根顺等撰写，胡素云定稿；深层烃源岩地球化学专题报告由张水昌、刘文汇、张斌、何坤、王云

鹏、王飞宇等撰写；深层构造地质学专题报告由何登发、何金有、李传新等撰写；深层沉积地质学专题报告由朱筱敏、钟大康、张惠良、袁选俊、潘荣、孙海涛、朱世发等撰写；深层油气储层地质学专题报告由寿建峰、沈安江、朱如凯、李忠、刘占国、潘立银等撰写；深层油气成藏地质学专题报告由罗晓容、张立宽、付晓飞、周波、庞宏等撰写；深层地球物理勘探技术专题报告由张研、郑晓东、李宁、文百红、杨辉、董世泰、冯庆付等撰写。全书由胡素云、王铜山等统稿，赵文智定稿；翟秀芬等负责英文翻译和校对；张占峰、王霞、赵霞负责项目的组织、推进和日常管理。

需要指出的是，在编写过程中，编写组坚持立足国内、放眼国际的原则，全面掌握近5年来深层油气地质研究的相关成果，精心挑选在理论上具有重大突破、技术上有重大创新、勘探上有重大发现且学术影响力大的优秀成果，特别是一些重大科技项目（国家“973”基础研究、国家重大专项、公司重大专项等）的成果，加以系统整理、认真消化、凝练总结。我们力求实现对深层油气地质学的当前成就进行高度概括和总结，对学科发展方向进行深入思考和展望。但受篇幅、资料来源、时间及知识水平的限制，本报告在内容上不可避免存在疏漏和瑕疵，诚望学界同仁批评指正。

中国石油学会

2015年10月

序 / 韩启德

前言 / 中国石油学会

综合报告

深层油气地质科学发展现状与发展前景 / 3

1 深层油气地质科学在油气工业可持续发展中的战略地位 / 3

2 深层油气地质学科发展现状与主要进展 / 5

3 国内外深层油气地质学发展比较 / 22

4 我国深层油气地质科学发展趋势与面临的主要问题 / 28

5 深层油气地质学发展思路与重点发展方向 / 33

6 对策与建议 / 41

参考文献 / 43

专题报告

深层烃源岩地球化学学科发展研究 / 49

深层构造地质学学科发展研究 / 68

深层沉积地质学学科发展研究 / 92

深层油气储层地质学学科发展研究 / 119

深层油气成藏地质学学科发展研究 / 140

深层地球物理勘探技术发展研究 / 160

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report / 181

Development Report of Deep Petroleum Geology Discipline (2014–2015) / 181

Reports on Special Topics / 190

Petroleum Geochemistry of Deep Source Rocks / 190

Structural Geology of Deep Strata / 191

Deep Sedimentary Geology / 192

Deep Hydrocarbon Reservoir Geology / 194

Geology of Hydrocarbon Migration Accumulation in Deep Burial Formations / 196

Geophysical Exploration Technology for Deep Strata / 198

索引 / 201

综合报告



深层油气地质科学发展现状 与发展前景

当今世界，科技发展突飞猛进、日新月异，科技竞争能力在综合国力竞争中的地位日益凸显。学科发展不仅是一个国家科技竞争能力的重要体现，也是推动科技进步的重要保障，更是实现科技创新的关键途径。中国科协及其所属全国学会，作为科学发展共同体，建立的学科发展研究及发布机制，是促进学科交叉融合、协调发展、整体提升科技创新能力的重大战略性举措。

当前，随着我国国民经济的快速发展，油气能源供给压力和能源安全风险日益加大。我国含油气盆地的深层拥有丰富的油气资源，加强深层油气地质学科研究，推动深层油气勘探发展，最大限度开发利用深层油气资源，是夯实我国国内油气资源供给基础地位，提升油气保障能力的关键。开展深层油气地质学学科发展研究，不仅具有重要的学科理论意义，更是具有重大的社会经济价值。

1 深层油气地质科学在油气工业可持续发展中的战略地位

油气地质科学是以现代石油和天然气地质理论为指导，以探索和重现地下地质体在漫长的地质历史中曾经发生过的油气生成、运移和聚集过程为主线，以最终确定油气资源潜力和现今的油气赋存部位为目标的一门应用科学。与国外相比，我国发育的含油气盆地多以叠合盆地为主，叠合盆地最大的特点，就是发育上、下两大沉积构造层，深层处于含油气盆地的下沉积构造层。前期的油气勘探工作主要集中在含油气盆地的上沉积构造层，即我们常说的中浅层。通过半个多世纪的油气地质研究与勘探实践，总结形成了以“陆相生油”“源控论”“复式油气聚集带”等为代表的具有中国特色的陆相油气地质理论，为中国石油工业的发展做出了重要贡献。随着油气勘探深度与范围的不断拓展，前期立足含油气盆地中浅层，总结形成的油气地质理论与认识，对指导成藏过程相对简单、成藏期相对偏

晚的中浅层油气勘探实践行之有效,但要指导地层偏老、埋深偏大的深层油气勘探,就受到很大限制,因为叠合盆地的形成过程,不是数套沉积层序在剖面上的简单堆叠,而是叠合盆地的成盆过程使深、浅层序中的油气藏形成与分布出现很大差异与变化,致使深、浅层油气成藏过程与油气分布特征有很大不同,需要针对含油气盆地深层开展针对性的地质研究,推动深层油气勘探发展。深层油气地质学科的战略地位主要体现在以下四个方面:

(1) 理论认识创新地位。与国外单旋回沉积盆地相比,中国的含油气盆地经历多旋回的构造-沉积演化以发育叠合盆地为基本特点,叠合盆地最大的特殊性就是它有深层以及多套沉积层序的叠置发育过程及相应的油气藏形成与分布,无论从油气的形成机制到油气成藏过程,还是从资源赋存状态到资源分布,都与国外具有一期成藏特点的单旋回含油气盆地有很大的不同,一些石油地质特征已经超出传统的经典石油地质理论认识范围。学科发展抓住制约叠合含油气盆地深层油气勘探的关键性科学技术问题,大胆探索,勇于实践,总结形成具有中国特色的叠合盆地深层油气勘探理论与方法,解决含油气盆地深层油气勘探面临的理论认识指导难题,不仅是油气地质学科的创新,更是传统石油地质理论认识的创新与发展。

(2) 地质学科发展地位。与中浅层相比,地层偏老、埋深偏大、多期构造运动叠加改造、高温高压成藏背景、储层物性偏差是其基本特征。随着油气勘探发展,勘探家逐步认识到深层油气成藏的特殊性,围绕勘探面临的认识难题,开展了一系列探索性研究。但深层油气地质学科目前处于起步阶段,深层勘探面临多期构造过程叠加与原型盆地恢复、深部油气生成演化机制与源灶的有效性、深部有效储层形成机制与发育规模、深部复合成藏机制与油气富集规律等诸多基础学科难题。加强深层油气地质基础研究,提升基础地质创新能力,是有效解决制约深层勘探发展的关键基础地质难题的重要途径。

(3) 油气工业发展地位。中国未来石油工业的发展,很大程度上取决于叠合盆地深层能否找到大中型油气田和发现大量新的油气储量。我国含油气盆地深层拥有丰富的油气资源,根据全国新一轮油气资源评价成果,陆上深层有石油资源量 $304 \times 10^8 \text{t}$,占陆上石油资源总量的 28%,目前已探明石油储量 $26.9 \times 10^8 \text{t}$;有天然气资源量 $29.12 \times 10^{12} \text{m}^3$,占陆上天然气资源总量的 52%,目前探明天然气储量 $2.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。从深层石油、天然气资源探明程度看,石油、天然气资源探明率不高,未来勘探发现新储量的潜力很大。预计到 2020 年深层天然气储量占比将由目前的 25% 增加到 60%、产量占比由目前的 20% 增加到 53%,石油仍将持续保持稳定增长。总体看,陆上含油气盆地深层是未来油气工业发展的重要战略接替领域,必将为夯实国内油气供应基础地位做出重要贡献。

(4) 科技人才培养地位。随着我国油气需求的持续攀升,开发利用深层油气资源已成为共识。但近期已有的勘探实践揭示,深层很多方面的石油地质特征已经超出传统的石油地质认识。针对含油气深层的油气地质研究,无论是国内还是国外,目前尚处探索之中。从中国独特的大地构造环境与成藏背景看,我国具备发展深层油气地质前缘学科的基础与

条件,充分利用深层油气地质学科发展平台,瞄准制约深层勘探发展面临的关键基础地质问题,强化定方向、选人才、创条件三方面工作,长期坚持,精心培植同行认同、业内认同、社会认同、国际认同的深层油气地质大家,引领深层油气地质学科发展。

2 深层油气地质学科发展现状与主要进展

勘探实践表明,我国深层油气资源丰富,勘探潜力大。但深层多处于叠合盆地下沉积构造层,与处于上沉积构造层的中浅层相比,油气地质有其特殊性。主要表现在:①沉积地层偏老,主要为一套中、新生代陆相沉积层序之下叠置发育的海相-海陆过渡相的元古宙和古生代地层,地质历史时期经历了多期构造运动叠加改造,原型盆地分布与原始沉积相带展布不清;②沉积地层埋藏偏深,成岩作用时间长、程度高,储层原始孔隙不发育、质量总体偏差,规模优质储层成因机理与分布不清;③沉积地层多处于含油气盆地底层,烃源岩时代古老,热演化程度高,有机质赋存环境、有效烃源岩展布以及高演化阶段有机质成烃机制不清;④漫长的地质演化历史与高温高压条件下的成藏环境叠加复合,多元、多期供烃,多期成藏、多期调整,成藏过程复杂,气多油少等地质特点,给深层规模勘探、有效开发带来了诸多理论认识和工程技术难题。

2.1 深层的定义

关于深层的定义,国际上尚没有严格的标准,不同国家、不同机构对深层的定义并不相同。目前国际上大致将埋深大于 15000 英尺(4500m)的油气藏定义为深层油气藏。中国 2005 年全国矿产储量委员会颁发的《石油天然气储量计算规范》,将埋深 3500 ~ 4500m 定义为深层,大于 4500m 定义为超深层;中国钻井工程采用埋深介于 4500 ~ 6000m 为深层、大于 6000m 为超深层这一标准。本次研究基于我国东、西部地区温压场的变化以及勘探实践,提出深层既有深度含义,也是地层概念。本次研究,东部地区将埋深介于 3500 ~ 4500m 或前新生界地层定义为深层,大于 4500m 为超深层;西部地区将埋深介于 4500 ~ 6000m 或古生界以下地层定义为深层,大于 6000m 定义为超深层。按照这一深层定义,我国近年油气勘探获得的重要发现大多属于深-超深层范畴。

2.2 深层油气地质学发展现状

深层油气地质科学作为一门生产应用性极强的学科,它的形成与发展,是在大量石油和天然气勘探开发实践基础上发展起来的。总体看,伴随着我国深层油气勘探发展,深层油气地质学大致经历了早期萌芽、学科起步、学科兴起三大发展阶段。

2.2.1 早期萌芽阶段

20 世纪 80 年代前,中国石油工业在“陆相生油理论”和“源控论”指导下,油气勘探立足含油气盆地中浅层陆相地层,发现了松辽、渤海湾等一批大中型油气田,奠定了石

油工业发展基础。深层油气勘探仅仅处于探索阶段,石油地质家们基于少量钻井资料,获得了一些宝贵的深层油气地质认识。一是松辽盆地松基 6 井钻探,确定了东部断陷盆地的深层发育生油岩系,具备生油条件;同时,钻探揭示井深 4400m 时地层温度高达 151℃,可以规模生气。二是 20 世纪 60 年代四川盆地威远气田的发现,坚定了海相克拉通盆地古隆起区寻找大油气田的信心;女基井的成功钻探,证实深层海相地层可以发育有效储层;关基井于深部地层获得了蕴藏油气的重要信息,证实深层油气可以成藏。但受理论认识与勘探技术制约,深层油气勘探并未引起勘探家的重视。

2.2.2 学科起步阶段

1978 年我国原油产量突破 1 亿吨,成为世界石油生产大国。20 世纪 80 年代末,随着东部主力油田逐渐进入开发中后期,寻找新的油气资源接替成为油气地质工作者的研究重点。石油地质学家开始把目光“聚焦”到深层领域,并持续开展攻关研究。1983 年大庆油田成立了深层勘探项目组;“九五”期间,原中国石油天然气集团公司针对东部地区深层勘探,设立了《中国东部深层石油地质综合研究与目标评价》项目。西部地区塔里木盆地沙参 2 井突破后,1989 年开始了塔里木盆地石油勘探会战,目标层位锁定深层下古生界奥陶系和上古生界石炭系,先后发现了轮南、东河塘、塔中、哈德逊等优质整装油田,勘探实践证实塔里木盆地深层不仅发育海相碳酸盐岩优质储层,也发育海相碎屑岩优质储层,且都可以规模成藏。1998 年引进并创新了断层相关褶皱理论,指导塔里木库车前陆盆地勘探,发现了克拉 2 大气田,并为近期库车前陆盆地深层天然气勘探的整体突破奠定了重要的理论基础。这一阶段,深层油气勘探潜力逐渐被勘探家重视,相关的理论认识到较快发展,出现了一批代表性专著,如《塔里木盆地古生代海相油气田》《中国海相石油地质与叠合含油气盆地》等。但这一阶段针对深层的相关理论认识基本源于专家学者基于某一领域、某一方面的研究成果总结,缺乏系统、针对性的梳理、总结和升华,深层油气地质研究尚处探索之中,学科发展刚刚起步。

2.2.3 学科兴起阶段

进入 21 世纪以来,随着我国经济的快速发展,国家对能源需求日益扩大,油气对外依存度持续攀升。中浅层作为油气勘探开发的主力层系,经过数十年规模勘探开发,资源探明程度和储量动用程度较高,寻找大型油气田的难度加大,开辟新的勘探领域,夯实国内油气资源供给基础地位是必然选择。深层作为油气增储上产的重要接替领域,在油气工业发展中的地位日显重要,国家和各油公司都加大了深层油气地质研究和勘探生产的支持力度。

国家层面先后设立了“中国叠合盆地油气形成富集与分布预测”“中国西部叠合盆地深部油气复合成藏机制与油气富集规律”“中国海相碳酸盐岩层系油气富集机理与分布预测”“中国早古生代海相碳酸盐岩层系大型油气田形成机理与分布规律”“火山岩油气藏形成机制与分布规律”等多个“973”项目以及“大型油气田及煤层气开发”国家重大油气专项,各大油公司也配套设立了诸如“海相碳酸盐岩大油气田勘探开发关键技术”等重大

科技项目,有力推动了深层油气地质学科发展。

这一阶段,从事油气地质研究的科技工作者相继提出了一系列对深层油气勘探有重要指导意义的理论认识。如烃源岩研究提出的有机质“接力成气”理论、高过成熟烃源岩“双峰式”式生烃理论模型、海相烃源岩多元生烃理论认识等。储层研究提出的顺层岩溶和层间岩溶作用是古老碳酸盐岩层系规模有效储层重要的成因机制,特定地质条件下深层碎屑岩发育异常高孔隙段和次生孔隙带、火山岩发育原生型和次生风化型两种类型有效储层等。油气成藏研究提出的递进埋藏与退火受热耦合,液态窗可以长期保持;烃源岩“双峰式”生烃演化、源灶的多期性、储层发育的多阶段性、油气多期成藏与晚期有效性,叠合盆地深层具有多个勘探“黄金带”;叠合盆地深层油气复合成藏机制以及海相层系油气成藏具有“源-盖控烃,斜坡-枢纽控聚”的成藏特征等,大大丰富了深层油气地质学学科内涵。与此同时,针对深层油气勘探多部学术专著相继问世,其中代表性专著有《中国深盆地》《中国东部深层石油地质》《深部流体活动及油气成藏效应》等。这些专著从不同角度,研究总结了我国深层油气发育地质条件、油气生成与演化、大中型油气田成藏模式与分布规律等。

2.3 深层油气地质科学主要进展

我国发育的含油气盆地以叠合盆地为主,叠合盆地最大的石油地质特点,是平面上多凹陷并列发育与剖面上多套不同类型的生油岩系和多类型的储油层系的叠置与交叉,形成多变的生储盖组合,以及地质历史上多期、多阶段生烃、运移和成藏,因而叠合盆地的深、浅层序油气藏的形成与分布出现很大差异与变化。经过半个多世纪的探索与发展,我国在深层烃源岩地球化学特征、生烃演化过程模拟与资源潜力评价、盆地深层构造演化、深层沉积体系与规模储层成因分布、深层油气成藏机理与大油气田形成分布、深层油气勘探评价技术研发等方面都取得了原创性研究成果,为深层油气勘探的快速发展提供了有效的理论认识与评价技术支撑。

2.3.1 深层烃源岩研究新进展

与中浅层相比,深层烃源岩时代古老、热演化程度高是其基本特征。针对深层,经典的生烃理论至少面临两方面挑战:一是生烃理论模式没有给出生油窗之下高过成熟阶段天然气生成的确切来源与途径,仅仅是一概念模型;二是将缺氧条件(厌氧环境)作为判识烃源岩发育环境的独立指标,其与富有机碳沉积层之间的关联性弱。近年来,从事深层油气地质研究的地质学家和地球化学家,围绕深层古老烃源岩发育机制、油型干酪根高-过成熟阶段生气潜力、滞留烃源岩内分散有机质高-过成熟阶段生气潜力、深层-超深层烃源岩热演化过程中的有机-无机作用以及高过成熟阶段天然气成因判识方法等,开展了大量探索性研究,取得了四个方面的重要进展。

2.3.1.1 古老烃源岩发育机制

按照经典生烃理论,烃源岩发育环境受沉积或底水环境为厌氧条件及有机质生产力两