

贾承造 主编：塔里木盆地石油地质与勘探丛书

(卷七)

TARIM BASIN

塔里木盆地

海相油气的生成

张水昌 梁狄刚 张宝民 等著
王飞宇 边立曾 赵孟军



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

塔里木盆地石油地质与勘探丛书·卷7

塔里木盆地海相油气的生成

张水昌 梁狄刚 张宝民 等著
王飞宇 边立曾 赵孟军

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从中国塔里木盆地急需解决的重大地质问题入手,瞄准多旋回复合—叠合含油气盆地具有多层系、多凹陷生烃、油气多期充注成藏和油气藏遭受多期改造破坏的特点,集中多学科力量、运用多项技术,从最基础的岩心描述与实验分析入手,对塔里木盆地海相油气生成进行了全面深入细致的研究。研究过程以“低中找高”为指导思想,即在总体有机质丰度较低的地层层序中确定高有机质($TOC > 0.5\%$)层段和展布,从而深化了海相油源区的研究;运用古生物演化和特殊生物标志化合物检测技术,突破海相油源识别的瓶颈;运用含油气系统的分析方法和烃类流体历史分析技术,深化了多期构造运动背景下油气藏形成期和成藏演化史的研究。

本书内容丰富,观点明确,在多油气源、多期构造运动、多期成藏的海相大型叠合含油气盆地油气地球化学研究上达到了一个新的理论高度。可供石油地质勘探技术人员、有关大专院校师生及科研院所广大科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地海相油气的生成/张水昌等著.

北京:石油工业出版社,2004.12

(塔里木盆地石油地质与勘探丛书;7/贾承造主编)

ISBN 7-5021-4455-2

I. 塔…

II. 张…

III. 塔里木盆地—海相生油

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 109207 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.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北省欣航测绘院印刷厂印刷

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 29.75

字数: 754 千字 印数: 1-1000 册

书号: ISBN 7-5021-4455-2/TE·3125

定价: 65.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《塔里木盆地石油地质与勘探丛书》

编 委 会

主任委员：贾承造

副主任委员：孙龙德 周新源 顾家裕 梁狄刚 张 玮

委员(以姓氏笔画为序)：

王招明 王清华 田 军 买光荣 吴奇之 张水昌

张师本 李启明 李良辰 金之钧 胡云杨 高 岩

彭平安 温声明

序

以“九五”期间勘探与研究结果为内容的《塔里木盆地石油地质与勘探丛书》一套十二卷即将面世，这是“九五”期间奋战在塔里木盆地这块热土上的全体石油地质工作者集体劳动的结晶，也是石油工业出版社同志们辛勤劳动的产物。它是塔里木盆地油气勘探史上重要的一环。丛书的出版，必将引起国内外石油界的广泛瞩目和浓厚的兴趣，我对丛书的出版表示热烈祝贺。

塔里木盆地的油气勘探从 20 世纪 50 年代算起已经有 50 多年了，其间因为种种原因，经历了“几上几下”的曲折历程，也积累了丰富的资料和经验教训。1989 年 4 月经国务院批准由中国石油天然气总公司组织了塔里木盆地石油会战，从而为在塔里木盆地大规模全面展开油气勘探迈出了扎实的历史性的步伐。与此同时国家也组织了相应的以塔里木盆地油气勘探为内容的“八五”和“九五”的重点攻关项目。

《塔里木盆地石油地质与勘探丛书》的内容，正是在广大石油工作者近 40 年野外和盆地周边地质调查和钻探、石油地球物理勘探局挺进大漠后连续苦干近 20 年所取得的丰硕资料，在“七五”和“八五”国家重点攻关研究工作的基础上，通过 5 年或更长时间的实践和研究所取得的成果，在此期间，对重点地区和重点层系进行了艰苦有效的研究和实践，应该说取得了令人满意的勘探成果，开创和深化了新的理论和认识，特别在复杂断裂构造带和碳酸盐岩中进行油气勘探，积累和丰富了大量储层描述和评价、地震采集和处理、测井、完井、试油等一系列理论、技术和工作方法。

“九五”期间，共发现或探明了 13 个大、中型油气田，27 个工业性含油气构造。发现和探明了大型整装的克拉 2 大气田，探明天然气地质储量 $2840 \times 10^8 \text{m}^3$ ，发现了库车坳陷的富天然气聚集带，为“西气东输”奠定了资源基础；继续探明了塔河一轮南大油田。近 5 年来新增油气地质储量 $5.905 \times 10^8 \text{t}$ （当量），其中石油地质储量 $1.908 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气地质储量为 $3997 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2000 年生产原油 $440 \times 10^4 \text{t}$ 。

通过“九五”期间勘探和研究，对库车前陆盆地石油地质的认识取得了重大进展，初步形成了库车大气区的石油地质理论基础；在古生代海相碳酸盐岩油气成藏规律研究、克拉通主力烃源岩评价、海相碳酸盐岩和碎屑岩储层发育机制及成藏期与成藏模式研究等方面，取得了新进展，丰富了海相石油地质理论，深化了对古老克拉通盆地海相油气分布规律的认识；对塔里木盆地石油地质的深入研究，明确了塔里木中、新生代盆地大地构造背景及包括塔里木盆地在内的特提斯北缘盆地群的油气地质特征；进一步总结和完善了塔里木盆地油气的富集成藏规律，评价优选出了一大批有利勘探区带和目标，明确了塔里木盆地油气勘探的战略发展方向，并形成了一系列油气勘探的技术和方法。

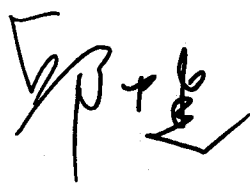
特别是库车前陆盆地创造性地运用断层相关褶皱理论，在库车前陆盆地褶皱—逆冲构造带建立了 10 种构造模型，并用于地震剖面精细构造解释和制图；应用煤成烃理论，深入分析和系统评价了库车前陆盆地三叠—侏罗系煤系地层烃源岩。提出库车前陆盆地发育分布广、厚度大、有机质丰度高、有机质类型以腐殖型为主、成熟度高的煤系地层烃源岩等，初步认识了库车大气区的石油地质特征。

针对山地地震勘探、高陡构造钻井、超高压气藏测试和评价、碳酸盐岩孔、洞、缝型储层的识别和预测及超深、低幅度薄层砂岩油藏勘探等一系列难题，加大了勘探技术攻关的力度，初步形成了五套油气勘探评价技术系列，基本满足了当前塔里木盆地油气勘探的需要。

这套丛书系统总结了“九五”及前人对塔里木盆地的勘探和研究工作，特点是总结了5年的勘探实践和认识。其中既有勘探的认识和基础研究成果，也有油气富集规律的总结和新技术、新方法的应用，内容十分丰富，对今后塔里木盆地乃至其它相似盆地的油气勘探有一定的借鉴意义。但我们认为，这些成果并不都是十分成熟、十全十美的，正相反，毕竟塔里木盆地情况十分复杂，勘探程度还比较低，许多难题还尚未解决，勘探的道路还很漫长，我们的认识虽有大的进步，但还有很多不清楚和不明白的环节和规律。可贵的是，塔里木盆地的石油地质工作者勇于实践，勇于探索，锲而不舍，不断进取，及时总结经验教训，敢于把这些成果亮出来，接受实践的检验，在实践中深化认识。我相信，这套丛书的出版，定会丰富中国石油地质学的理论与实践，并对今后的勘探工作起到重要的指导作用。

随着塔里木盆地油气勘探不断深入并取得更大进展，人们的认识将会更加接近客观实际和事物的本来面目，通过继续不断地努力和探索，定会实现油气勘探的飞跃。到那时，中国石油工业的希望——塔里木盆地，将出现更多的克拉2和塔河一轮南型的大型油气田，进入新的油气储量增长的高峰期，塔里木盆地真正成为中国石油工业战略接替基地，我对此充满信心。

最后，我衷心希望丛书的出版能够起到“抛砖引玉”的作用，能够在一定程度上满足全国石油地质界关心和支持塔里木盆地找油事业的专家同仁的需要，并引起更多人的兴趣，从而参加到塔里木盆地油气勘探的接力赛的行列中来，共同投身到富有诱惑、充满挑战而又奥秘神奇的塔里木盆地这块热土中来。



2003年6月

Preface

The 12-volume collection of *Petroleum Geology and Exploration of Tarim Basin*, the content of which is the exploration and research achievements during the "Ninth Five-Year Plan" period, will be published. This collection is the crystallization of all petroleum geologists ever fought in hot land of Tarim Basin during the "Ninth Five-Year Plan" period and the product of arduous work of comrades of Petroleum Industry Press. It is one important page of the hydrocarbon exploration history of Tarim Basin. After being published, this collection will undoubtedly be widely cared by domestic and foreign petroleum circles and bring them great interest. I hereby express my congratulation to the publishing of this collection.

Hydrocarbon exploration work in Tarim Basin started in 1950s and till now it has an over-50-year's history. In this course, the exploration personnel had suffered with many frustrations for various reasons but they also obtained rich materials, experiences and lessons. China National Petroleum Corporation, after approved by the State Council, organized a mass petroleum exploration campaign in April 1989, which was a firm and historic step for the large-scale overall hydrocarbon exploration in Tarim Basin. Meanwhile, the state also organized some "Eighth Five-year Plan" and "Ninth Five-Year Plan" brainstorm projects focusing on hydrocarbon exploration of Tarim Basin.

The content of the collection of *Petroleum Geology and Exploration of Tarim Basin* is full of the plentiful and substantial materials that have been obtained by a lot of petroleum workers through field geologic survey and drilling work around the basin in nearly 40 years and through continuous hard work for nearly 20 years after the Bureau of Geophysical Prospecting. This collection also contains the achievements that have been obtained through the practice and research for five years or more time based on the national key brainstorm research work during the "Seventh Five-year Plan" and "Eighth Five-year Plan" period; during this period, geologists had conducted hard but effective studies and practice on key regions and key series of strata. This course does obtain satisfying exploration achievements and initiate and deepen new theories and understandings. Especially, the hydrocarbon exploration work in complicated fracture zones and carbonate helps geologists in accumulating and enriching a series of theories, technologies and work methods such as large reservoir description and evaluation, seismic acquisition and processing, well logging, well completion and oil test and so forth.

During the "Ninth Five-Year Plan" period, 13 large/middle oilfields / gasfields and 27 gas/oil-bearing structures available for industrial application in total have been discovered or proven. The large self-contained Kela-2 Large Gasfield was discovered and proven during this period, the proven geological reserves of natural gases of which are $2.840 \times 10^8 \text{m}^3$, while the rich natural gas accumulation zone was discovered in Kuche Depression, which establishing the resource foundation for the "West-East Pipeline Project". Later, Tahe-Lunnan Large Oilfield was ascertained. In recent five years, $5.905 \times 10^8 \text{t}$ (equivalent weight) of geological reserves of oil and gas have been

ascertained, including $1.908 \times 10^8 \text{t}$ of geological reserves of petroleum, $3,997 \times 10^8 \text{m}^3$ of geological reserves of natural gas. In 2000, the production of crude oil reached $440 \times 10^4 \text{t}$.

Through the exploration and research during the "Ninth Five-Year Plan" period, the understanding to petroleum geology of Kuche Foreland Basin has had an important breakthrough, and the theoretical foundation for petroleum geology has been preliminarily established for the large natural gas area in Kuche. In such aspects of research on Paleozoic marine carbonate hydrocarbon reservoir formation law, evaluation on major hydrocarbon source rock in Craton, research on development mechanism of marine carbonate and clastic reservoir, reservoir formation period and reservoir formation model and so on, some new progresses have been obtained, which has enriched the theory relating to marine petroleum geology, deepened the understanding on marine hydrocarbon distribution law of ancient cratonic basin. The deep research on petroleum geology of Tarim Basin ascertains the tectonic background of the Cenozoic basin of Tarim and the geological characteristics of hydrocarbon in basin groups in north edge of Tethys including Tarim Basin; it further concludes and perfects the occurrence and reservoir formation laws of hydrocarbons in Tarim Basin, evaluates and optimizes a large batch of favorable exploration areas, zones and destinations, determines the strategic development direction for hydrocarbon exploration of Tarim Basin and obtains a series of hydrocarbon exploration technologies and methods.

Especially, in Kuche foreland basin, geologists have innovatively applied the fault-related folding theory to establish 10 structure models in the fold-thrust structure zones of Kuche foreland basin and used it for interpretation and plotting of fine structures of seismic profile; the theory that states how coal is turned into hydrocarbon has been used to deeply analyze and systematically evaluate the hydrocarbon source rocks in the Triassic-Jurassic coal measure strata in Kuche foreland basin. It proposes the opinion that the coal measure strata hydrocarbon source rocks of wide distribution range, large thickness, high organic matter abundance, humus as main organic matter and high maturity are developing in Kuche foreland basin, while preliminarily understanding the petroleum geological characteristics of Kuche large gas area.

The brainstorm strength of exploration technologies is increased for a series of difficulties such as mountainous seismic exploration, drilling of high and steep structure, testing and evaluation on super-high pressure gas reservoir, recognition and prediction of carbonate hole, pore and seam-shaped reservoir, exploration of super-deep, low-amplitude thin sandstone oil reservoir, preliminarily establishing five sets of hydrocarbon exploration and evaluation technologies, which basically meet the current hydrocarbon exploration need of Tarim Basin.

This collection systematically concludes the exploration and research work that was carried during the "Ninth Five-Year Plan" period and by predecessors. Especially, it concludes the exploration practice and understandings obtained in past five years, including the understandings to existing exploration and basic research achievements and also including the conclusions of hydrocarbon occurrence law and application of new technologies and methods. Its contents are very rich and have a certain guiding significance to the future hydrocarbon exploration in Tarim Basin and other similar basin. However, we do not think that these achievements are very mature and perfect. On the

contrary, as the situations of Tarim Basin are very complicated, its exploration degree is relatively low, there are many difficulties unsolved and the exploration road is still very long, in our understandings there still are many unclear links and laws although there is a large progress. It is notable that the petroleum geologists in Tarim Basin are brave in practice and probing into new fields, they can work with perseverance for greater progress, and they are always summarizing experiences and taking lessons from practice, and they are brave to inspect their achievements in practice so as to deepen their understandings in practice. I believe that this collection will undoubtedly enrich the theories and practice of China's petroleum geology and play an important guidance role to the future exploration work.

As the hydrocarbon exploration in Tarim Basin has been continuously deepened and more progress has been obtained, our understandings will be closer to the reality and the original appearance of things. Through continuous efforts and exploration, our hydrocarbon exploration will undoubtedly have a forward leap. Till then, the hope of China's petroleum industry--Tarim Basin will produce more large oilfields and gasfields like Kela-2# and Tahe-Lunnan and get into a new peak stage of hydrocarbon reservoir, and Tarim Basin will really become the strategic base of China's petroleum industry. I am confident in this.

Finally, I sincerely hope that the publishing of this collection can play the role that offers a few commonplace remarks by way of introduction so that others may come up with valuable opinions, can in a certain degree meet the need of those experts in the national petroleum geology field who concerns with and support the petroleum exploration work in Tarim Basin, and can intrigue more people, so that there are more people to throw themselves into the hydrocarbon exploration relay race of Tarim Basin and to step into the charming and mystic Tarim Basin full of challenges.

Qiu Zhongjian

June 2003

前 言

塔里木盆地的油气勘探自 1952 年开始, 至今已经历半个世纪。陆相成因天然气的勘探, 近年来在盆地北部库车坳陷接连取得重大突破, 探明了近 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气储量, 还有约 $8200 \times 10^4 \text{t}$ 的凝析油和原油; 而克拉通盆地海相成因的油气勘探, 虽然也发现了几个大中型油气田^①, 但是石油探明储量不过 $4.83 \times 10^8 \text{t}$, 同 $100 \times 10^8 \text{t}$ 以上的资源量相比, 相距甚远; 特别是, 迄今尚未找到储量在 $5 \times 10^8 \text{t}$ 、 $10 \times 10^8 \text{t}$ 以上的大油田。其中的重要原因之一, 是海相油气生成的一些基本问题, 包括海相烃源岩的评价标准、主力油源层、油源区、海相源岩的成熟度、生烃史、成藏期……, 还存在着不同认识, 尚未完全解决。尽管有人声称: 自从 1993 年 11 月《中国地质矿产报》上某篇文章发表之日起, 中国古生代海相成油理论即已创立, 但从塔里木的实际情况来看却并非如此, 还差得远!

本书是作者们在 1996~2000 年期间参与国家重点科技攻关项目“塔里木盆地石油天然气勘探”(96-111 和 99-111)、并承担生油专题的研究成果, 1998 年 12 月和 2000 年 12 月经国家科技部先后两次组织鉴定和评审, 都得到了专家们的充分肯定, 认为“在生油研究上有重大突破”。当然, 本书中的有些观点, 读者会有不同意见, 我们在后文中也将简要介绍认识上的分歧; 但是, 中国这么大, 迄今为止只在塔里木一个盆地找到了海相成因的工业性油田(而不仅是气田), 中国海相生油的研究深度也远不及陆相生油; 再加上中国古生代海相碳酸盐岩普遍有机质丰度低, 成熟度高, 又经历过多次旋回构造变动, 海相油气的生成和聚集过程十分复杂, 认识起来十分困难, 有不同观点是正常的。本书的公开出版, 正可起到“百家争鸣”的作用, 促进中国海相生油理论的真正建立和塔里木海相油气勘探的发展。

自 1952 年塔里木盆地开始石油地质普查工作以来, 历经半年多世纪, 盆地海相生油的研究始终不断进行, 不断深化, 其间大体可分为以下三个阶段。

1. 第一阶段 (1952~1976 年)

这是地面普查识别生油岩的阶段, 主要由新疆石油管理局进行。其中, 1951~1954 年中苏石油公司时期, 将塔里木盆地与中亚费尔干纳、塔吉克等盆地对比, 认为塔西南海相上白垩统一下第三系是主要生油岩。1957~1958 年, 林积桐等在柯坪地面调查时, 首次提出中奥陶统沙勒岗岩系和石炭一二叠系有好的生油层。1966 年, 宋立勋、郑德森等发现柯坪地区石炭一二叠系有大量油气苗, 提出下二叠统是盆地西部最好的生油岩, 石炭系为可能的

^① 按我国石油储量规范, 大油田的石油地质储量 $>1 \times 10^8 \text{t}$, 中型油田的石油地质储量为 $(0.1 \sim 1) \times 10^8 \text{t}$; 大气田的石油地质储量 $>300 \times 10^8 \text{m}^3$, 中型气田的石油地质储量为 $(100 \sim 300) \times 10^8 \text{m}^3$ 。

生油岩。1971~1974年,新疆地质局和新疆石油局地调处先后在塔西南桑株、玉力群构造上发现液体油苗、沥青和地蜡,提出海相上白垩统一第三系和石炭一二叠系是塔西南坳陷的可靠生油岩系,等等。这一阶段生油岩的识别用的是常规地球化学指标,又尚未发现海相油气田,缺少油源对比资料,生油研究处在初级阶段。

2. 第二阶段(1977~1988年)

这是通过油源对比识别生油层的阶段。1977年,新疆石油管理局在塔西南发现了柯克亚油气田;1984年,地质部在塔北发现了雅克拉油气田,为生油研究提供了丰富的油源对比资料。

(1) 塔西南柯克亚油气田的油源。1981年,吕鸣岗等根据原油中有少量海藻化石及V/Ni比值较高,认为油源很可能来自海相上白垩统一第三系;与此同时,胡伯良则认为柯克亚原油Pr/Ph比为1.4, $\delta^{13}\text{C} = -26.1\%$,与海相上白垩统一第三系源岩不同,油源来自海陆过渡相的石炭一二叠系;江德昕等根据原油孢粉分析,认为油源来自陆相中下侏罗统烃源岩。

1986年3月,石油勘探开发科学研究院在北京召开了塔里木盆地生油专题讨论会,中国科学院、地矿部、石油部所属20多个单位、60余名代表参加了会议。会上多数人认为:柯克亚油气田的油气源来自陆相侏罗系。在同年完成的塔里木盆地第一轮油气资源评价报告中,杨斌等根据原油物性、姥/植比、三类规则甾烷比值和原油碳同位素($-29.84 \sim -30.64\%$),认为柯克亚油源来自中下侏罗统泥岩。1987、1988年,杨斌、王屿涛等又多次撰文,认为柯克亚原油来自叶城凹陷中下侏罗统陆相烃源岩。至此,柯克亚油气田的油源似乎认识趋于一致,但实际上后来又有反复。廖永胜等(1997)认为柯克亚凝析油主要来源于石炭一二叠系,混有侏罗系生源油,天然气则是混源气;赵孟军等(2001)则认为凝析油来自二叠系,天然气来自侏罗系,油气不同源。

(2) 塔北雅克拉油气田的油气源。1984、1985年在雅克拉油气田发现不久,关士聪、康玉柱、王云龙等根据区域地质分析,结合少量原油V/Ni比值、正烷烃微弱偶碳优势和原油物性资料,认为油源来自海相寒武一奥陶系碳酸盐岩,但不排除石炭一二叠系和陆相三叠一侏罗系的混源;高振家、陈正辅、曹兴等则认为主要来自海相石炭系;曾宪全认为来源于陆相三叠一侏罗系,“中生古储”;詹家桢等鉴定了沙参2井原油孢粉,也认为油源来自陆相中、上三叠统烃源岩。

杨斌等1985年认为,沙参2井原油来自陆相三叠一侏罗系;1986年认为来自海相石炭系(二次资评报告);1988年又认为主体来源于海相寒武一奥陶系(《生油岩评价油源对比》报告)。1986年在北京召开的塔里木盆地生油专题讨论会上,关于雅克拉油气田沙参2井的油源,有三叠一侏罗系、石炭一二叠系和寒武一奥陶系三种观点。多数人倾向于海陆过渡相石炭一二叠系,主要依据有原油碳同位素、规则甾烷、V/Ni比值和天然气氩同位素测年(295Ma)等。1986年,范璞等根据正异构烷烃、甾萜及芳烃化合物对比,认为沙参2井原油来源于石炭一二叠系;1987年,伍致中根据沙参2井天然气碳、氢同位素和氩同位素测年,也认为气源来自石炭一二叠系;胡桂馨(1988)持相同观点。

1988年,江继纲等根据原油碳同位素、正构烷烃分布、甾烷及三环萜烷分布特征,认为沙参2井原油来源于海相“奥陶系本身”。郝继鹏进一步提出油源来自海相中奥陶统萨尔干组页岩(1988)。

从这一阶段的研究中可以看出:塔里木盆地海相油源对比和主力烃源岩的确定,从一开

始就众说纷纭,各持己见,很不一致。往往同一项指标各人发表的分析数据不同,甚至同一位学者的观点前后也有很大改变;暂时趋于一致,以后又出现反复。这固然是因为当时只发现了两个油气藏,资料的积累还不够多,矛盾的暴露尚不充分;另一方面,也反映出塔里木这样古老的多旋回、多油源层海相克拉通盆地,与我国东部单旋回中、新生代陆相裂谷盆地相比,油源对比和主力烃源层的确定要复杂得多,困难得多。

除进行柯克亚和雅克拉两大发现的油气源对比外,1986年完成的塔里木盆地第一轮油气资源评价报告,用8种方法首次测算出盆地石油资源量为 $101.5 \times 10^8 \text{t}$,天然气资源量为 $8.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。其中,用生油量排聚系数法得出上古生界石炭—二叠系的油气资源量占43.9%,位居第一;下古生界寒武—奥陶系占29.8%,位居第二。

3. 第三阶段(1989~1995年)

这是大规模、全盆地展开海相生油岩评价和油源对比的“七五”总结和“八五”国家重点科技攻关阶段。

国家“七五”重点科技攻关项目“塔里木盆地东北地区控油地质条件和盆地远景评价”由石油勘探开发科学研究院承担了生油岩评价和油源对比的专题研究。由于“七五”期间勘探工作量尚少,海相油田的发现也还不多,海相生油研究提交了两个平行的、认识不完全一致的报告。黄第藩等的报告从确定碳酸盐岩生油岩的有机质丰度指标出发,认为塔里木东部的海相烃源层第一为石炭系,第二为奥陶系^①;张大江等的报告认为:塔里木东部的海相原油具有多期生成和多油源的特征,专门论述了海相下古生界烃源岩可以生成高蜡低硫的原油^②。杨斌等进行了全盆地系统的生油岩评价、油源对比和资源量测算,结果海相寒武—奥陶系生油层的生油聚集量最多,占48.4%,石炭—二叠系占27.6%^③。

“七五”期间,周中毅等恢复了塔里木盆地古生代和中生代的古地温,提出了若干个海相生油层的热演化剖面;傅家谟、周中毅、胡伯良等认为塔北海相原油来自寒武—奥陶系,油气是二次生成的。

“七五”后期,中国石油天然气总公司经国务院批准,成立了塔里木石油勘探开发指挥部,开始会战,随即发现了轮南、东河塘、塔中1号、英买1号等油田及含油气构造。与此同时,在轮南地区奥陶、石炭和三叠系也发现了一批高蜡油,含蜡量达7%~14.6%。众所周知,“石油中的蜡几乎全部来自陆生植物”(亨特,1979),而在寒武—奥陶纪时地球上还不存在陆生高等植物;为此,梁狄刚、王会祥等曾提出:塔北原油的主力油源层是海陆交互的石炭系(1990;1992)。因为认识不一致,在此基础上开展了“八五”攻关。

“八五”国家重点科技攻关项目“塔里木盆地油气资源”下属的生油研究专题,由黄第藩负责,组织了全国9所院校、2个科学院研究所、3个油田共156名科技人员联合攻关,历时5年,最后写成《塔里木盆地油气生成与演化》研究报告,其中主要研究了海相生油,取得的主要成果有:

①明确了塔里木盆地主力海相油源层是寒武—奥陶系碳酸盐岩和泥岩;志留系沥青砂可作为一种特殊油源;高蜡油来源于寒武—奥陶系的特殊细菌和菌藻类。

① 黄第藩等:“塔里木盆地东北部烃源岩的地球化学特征和油源对比”(54-03-07-02),石油勘探开发科学研究院,1990年6月。

② 张大江等:“塔里木盆地原油地球化学特征及其地质意义”,石油勘探开发科学研究院(内部报告),1990年1月。

③ 杨斌等:“塔里木盆地生油岩评价油源对比”,新疆石油管理局勘探开发研究院(内部报告),1988年12月。

②提出了一种新的海相烃源岩显微组分分类方案；划分了三种古生界藻碳酸盐岩类型（叠层石型、灰泥丘生物泥岩型、钙藻型）及相关藻类群落。

③通过生、排烃热模拟实验，求取了恢复高一过成熟生油层原始有机质丰度及生烃潜力的参数及排烃参数。

④重新恢复了盆地古地温：古生代为 $3.5\sim 3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，中生代为 $2.7\sim 2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，新生代为 $2.3\sim 1.9^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；在此基础上，综合评价了各套烃源岩的成熟度，认为盆地东部存在二次生油过程。

⑤研究了碳酸盐岩中不同种类有机质（包括晶包有机质）的成烃机理，提出了“差异成熟”和“成熟迟缓效应”两个新概念；从而将碳酸盐岩“生油窗”的下限推迟到 $R_o=1.5\%$ ，将干气带上限推迟到 $R_o=2.2\%$ ；建立了碳酸盐岩的生烃模式。

⑥天然气稀有气体 He、Ar 同位素的研究、天然气组分、轻烃及碳、氢同位素的研究，丰富了塔里木盆地天然气地球化学资料，划分出三种不同成因类型的天然气，计算了天然气的成熟度；初步提出了油藏受过成熟干气气侵形成凝析油气藏的观点。

在以上成果基础上，指出塔里木盆地西部阿瓦提凹陷及塔西南拗陷周围是寻找大油气田的方向。

在“八五”攻关的同时，1984年，塔里木盆地进行了第二轮油气资源评价，测算出石油资源量为 $107.6\times 10^8\text{t}$ ，天然气资源量为 $8.39\times 10^{12}\text{m}^3$ ；其中寒武—奥陶系烃源层的贡献为 59.2%，石炭—二叠系为 31%。

应当说，“八五”攻关取得了很大成绩，明确了盆地海相油气田的主力油源层是寒武—奥陶系，在碳酸盐岩成烃机理和模式研究上也有创新。但是，由于受到勘探程度的限制，“八五”攻关又遗留下一些十分重要、勘探生产中必须回答的问题没有解决，主要有：

海相寒武—奥陶系在盆地东部厚达 7000m，西部厚达 3000 余米，各分上、中、下统，它们都是有效烃源岩吗？残余有机碳含量低到只有 0.1%~0.2% 的岩石，能否作为工业性烃源岩？是其中的泥岩生烃，还是碳酸盐岩生烃？

有效的工业性海相烃源岩分布在哪些层段？有多厚？分布在哪些地区？受什么因素控制？满加尔凹陷中心是寒武—奥陶系、特别是巨厚的中上奥陶统的生油中心吗？如果是，为什么在凹陷中心或周围只见气，未见工业油藏？

目前发现的海相工业性油藏，究竟来自寒武系、下奥陶统，还是中上奥陶统？是来自泥岩，还是碳酸盐岩？为什么同是以寒武—奥陶系为油源层，有的是正常油，有的是高蜡油，有的是凝析油，有的则是稠油？它们是同源不同期，还是同期不同源？抑或是同期同源不同相的产物？现在保存下来的工业性海相成因油藏，究竟是“早期成藏、晚期调整”，还是“多期成藏，晚期保存”？

海相高蜡油的成因并未解决。如果高蜡油确是来源于寒武—奥陶系的某种特殊细菌和菌藻类，为什么它只分布在某些地区的某些区带，而没有普遍性？为什么绝大多数海相原油是低蜡油？为什么高蜡油往往与凝析油相伴生？

进一步把视野扩大，全中国古生代海相地层分布面积在 $300\times 10^4\text{km}^2$ 以上，其中不乏好的烃源岩，为什么迄今为止只在塔里木一个盆地找到了古生界海相成因的工业性油藏？为什么在鄂尔多斯和四川盆地的海相古生代地层中只有天然气藏，没有工业油藏？塔里木盆地有什么特殊的海相成油地质条件？

所有这些，就是“九五”攻关试图解决的问题。

三

国家“九五”重点科技攻关项目“塔里木盆地石油天然气勘探”生油专题的研究^①，由石油勘探开发科学研究院和塔里木油田共同牵头，组织了全国 11 个科研单位、48 名科技人员联合攻关，前后两期（96-111 和 99-111 项目），历时 5 年。研究成果汇集在本专著中，取得的主要进展有：

(1) 提出了海相高一过成熟工业性烃源岩（包括泥岩与碳酸盐岩）的评价标准应与国际接轨的观点。工业性烃源岩的残余有机碳含量下限值不应小于 0.4%，并且不需要进行热演化损耗的恢复；那些残余有机碳含量低到只有 0.1%~0.2% 的陆表海纯碳酸盐岩急深海浊积泥岩，不能作为工业性烃源岩。在此基础上，在塔里木盆地厚达 3000~7000m 的寒武—奥陶系海相沉积中，具体划分出中下寒武统和中上奥陶统两套工业性烃源层，各厚 180~350m 和 80~300m；初步圈定出两套烃源岩的分布区。

(2) 在国内首次在中上奥陶统发现了多种类型早期陆生植物化石，从而为生物占领陆地的起始时间从泥盆纪提前到中晚奥陶世提供了证据。首次在寒武系含盐层系中发现了球状甲藻化石，这是目前已知最老地层中的甲藻化石记录，对解释寒武系烃源岩中甲藻甾烷的存在提供了生物学依据。首次提出海相碳酸盐岩的生烃母质并不都是腐泥母质，而具有“双重母质”的特点：浮游藻类生油，底栖藻类（宏观藻）生油也生气。

(3) 应用大量钻井实测资料证明：海相盆地往往沉降中心不等于沉积中心，也不等于生烃中心；塔里木寒武—奥陶系海相烃源岩的发育受沉积相带和有机质生产力两大因素的控制，分布在台缘斜坡灰泥丘相、欠补偿盆地相、闭塞—半闭塞海湾相和蒸发泻湖相 4 种有利相带之中。提出了预测海相烃源岩分布的两种模式——硫化氢渲染的黑海型“保存模式”与上升洋流形成的西非大陆架型“高生产力模式”，论证了这两种模式分别存在于塔里木早中寒武世和中晚奥陶世烃源岩的形成环境中。研究认为：在快速堆积的超补偿盆地中，大量碎屑物质对有机质的富集起“稀释作用”，不利于烃源岩的发育。

(4) 明确了寒武系和中上奥陶统两套海相烃源岩的现今成熟度，分区、分层系正演和反演了它们的热演化史和生烃史。寒武系烃源岩现今的实测 R_o 值在盆地西部为 1.64%~2.85%，在东部为 1.7%~3.0%，在坳陷腹部 $>4\%$ ，都处在高一过成熟阶段。在二叠纪末，坳陷中的寒武系烃源岩 R_o 已大于 2%，进入生干气阶段；在塔中、塔北两个隆起上，寒武系烃源岩的 $R_o > 1.3\%$ ，也已越过生油窗，进入湿气阶段。中上奥陶统烃源岩现今的实测 R_o 值为 0.8%~1.3%（少数达 1.5%），处在成熟阶段，在晚燕山期以来大量生油；在坳陷中则已 $>2\%$ ，进入生干气阶段。

(5) 应用轻烃 C_7 的温度参数，标定出塔里木盆地几乎所有的工业性海相原油，包括正常油、凝析油和稠油，成熟度都在 $R_o = 0.8\% \sim 0.9\%$ 之间，表明它们都是烃源岩在生油高峰期的产物。

(6) 应用甲藻甾烷、三芳甲藻甾烷、24-降胆甾烷、24-异丙基胆甾烷、 C_{28} 甾烷、伽马蜡烷等一整套与特殊生物和环境有关的标志物，成功区分开寒武系与中上奥陶统两套海相烃源岩和原油，并为后来发现的塔东 2 井寒武系原生重质油所证实。油源对比结果，目前保

^① 该项目分前后两期，前期的生油专题成果报告为《塔里木盆地生油岩与油源研究》（96-111-01-03），完成于 1998 年 12 月；后期的生油专题报告为《塔里木盆地油气源及成藏研究》（99-111-01-03），完成于 2000 年 12 月。

存下来的海相工业油藏，主要来自中上奥陶统中等成熟的油源岩；而志留系沥青砂、轮南南坡部分凝析油和塔中Ⅰ号断裂上盘少数油气藏则来自寒武系烃源岩。

(7) 圈闭形成史—生烃史—油源对比的配套分析，以及油藏流体包裹体均一温度、成分、成岩矿物、伊利石同位素定年等研究表明，塔里木盆地目前保存下来的工业性海相油田，都属于白垩纪以后晚期成藏的产物，与油源来自中等成熟的中上奥陶统相对应，具有“多期成藏，晚期保存”的特点。

(8) 高蜡油、凝析油、稠油与正常油地球化学的精细对比发现：原油性质的多种多样，是它们在油藏内经水洗、气洗、生物降解、氧化等次生变化的结果，而并非是来自不同油源层的产物。特别是，论证了塔里木海相凝析油并非如传统观点那样来自高成熟 ($R_o > 1.3\%$) 的烃源岩，而是中等成熟原油被晚期大量干气气洗、发生运移（蒸发）分馏作用的结果，同时形成海相高蜡油与凝析油气相伴生。这一认识，真正解决了塔里木海相高蜡油和凝析油的成因问题。

(9) 探索出一套应用轻芳烃碳同位素进行气/岩直接对比的方法；应用天然气 C_1/C_2 、 C_2/C_3 和 $\delta^{13}C_2$ 、 $\delta^{13}C_3$ 图版，初步将海相成因天然气区分为干酪根热解气和原油（二次）裂解气；通过和田河、吉拉克等气田的解剖，明确提出了海相天然气“多期成藏，晚期聚气”的观点。

(10) 通过盆地演化史、生烃史的对比和油源分析，回答了为什么塔里木盆地是中国惟一能够形成和保存寒武—奥陶系海相成因工业性油藏，而鄂尔多斯和四川盆地（甚至包括扬子地台和华北盆地）为什么只找到工业性天然气藏的问题。这就是：塔里木盆地比四川和鄂尔多斯盆地多了一套现今中等成熟的中上奥陶统有效油源岩，所以生成并保存了工业油藏；它又发育了一套过成熟的寒武系气源岩，所以塔里木盆地海相天然气也很丰富。

四

“九五”攻关生油研究初步完成后，随即受到勘探实践的不断检验。

1998年，塔里木盆地满西地区发现了石炭系哈德逊油田，目前探明和控制的石油储量已近亿吨。根据构造发育史、油源对比、生烃史、油气运移充注史和成藏化石记录的流体历史分析等大量证据，各家一致认为哈德逊油田的成藏期很晚，在喜马拉雅期（张水昌、王飞宇等，2002；张光亚、王红军，2002；高岩等，2003），从而验证了“九五”攻关生油研究关于海相油源对比和晚期成藏的结论。

2001年10月，塔里木盆地东部满加尔凹陷南侧塔东隆起上钻探的塔东2井，揭开全部下古生界进入基底完钻，并在寒武系碳酸盐岩中获得了 $0.03m^3$ 重油。这是迄今为止塔里木盆地惟一的一个不可能来源于其他层系、只能来源于寒武系、自生自储的典型原油，并且是经历过 $200^\circ C$ 以上高温热蚀变和生物降解的残余油。这个原油的油源对比，进一步验证了“九五”攻关生油研究的结论，同时也提供了区分中上奥陶统与寒武系不同生源油的可靠标准。

2001年底，轮南南坡桑塔木以南地区完钻的轮古13、轮古18井，在奥陶系风化壳上试出了高产凝析油气，气油比高达 $3900 \sim 11944m^3/m^3$ ，以气为主。经油源对比，其中的凝析油和挥发油同以前发现的吉拉克轮南59井凝析油一样，具备寒武系的生标特征，与高一过成熟的寒武系来源天然气有关，而与轮南、塔河油田绝大多数正常油和稠油完全不同。2001

年底，塔里木盆地东部英吉苏凹陷英南 2 井在陆相侏罗系获得了高产天然气 ($14 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$)，气源来自海相寒武系；其中的少量凝析油经油源对比，油气同源，也是来自寒武系。所有这些发现都说明：塔里木盆地的确有少数油藏来源于寒武系烃源岩，但都是凝析油气藏，与高一过成熟的寒武系来源天然气有关；而绝大多数海相成因工业性油藏则主要来源于中上奥陶统。

应当提到的是，在“九五”攻关生油研究初步完成后，1999 年底，美国埃克森公司提交了他们的塔里木盆地评价报告，其中明确指出：“在塔中隆起和塔北隆起南部的油田，成熟的奥陶系生油岩是最重要的油源岩；寒武系生油岩的贡献不大显著，这是因为其富含有机质岩石在主要圈闭形成时已经过成熟”，“作为生油源岩，奥陶系坎岭—萨尔干组要比其浪组更有效，也比下奥陶统有效得多”。报告中还明确提出“将下古生界烃源岩有机质的下限提高到 $\text{TOC}=0.4\%$ ”（《中油集团公司对外合作勘探技术论文集》，中国石化出版社，2000 年 1 月）。埃克森公司地质家的上述认识，与我们完全一致，但是比我们晚了一年多。

“九五”攻关生油研究的主要认识，虽然经过勘探实践的初步检验，但是应当承认，并没有获得所有人的认同，分歧依然存在。概括起来有以下几点：

(1) 海相工业性烃源岩的评价标准。有人坚持残余有机碳含量低到只有 0.1% 和 0.2% 的碳酸盐岩和泥岩均可作为有效烃源岩，而且要进行“原始”有机碳的恢复；恢复的结果是满盆都是烃源岩，厚达几千米，烃源岩到处都不成问题。我们则认为要“低中找高”，海相有效烃源岩的残余有机碳含量要大于 0.4%~0.5%，评价标准要与国际接轨，碳酸盐岩的评价标准要与泥岩接轨，并且不需要进行“原始”有机碳的恢复。

(2) 两套海相烃源岩的分布与评价。有人认为寒武系和下奥陶统烃源岩满盆分布，无处不在；中上奥陶统烃源岩厚度不大，分布局限，不能作为主力烃源岩。我们则认为：寒武系烃源岩只发育于盆地东部和西部，盆地中部塔中、英买 7、牙哈等 8 口钻揭寒武系的探井，均未发现高丰度烃源岩；下奥陶统烃源岩只见于盆地东部小范围内，即厚度小于 50~60m 的黑土凹页岩，其余广大地区的下奥陶统陆表海碳酸盐岩，有机质丰度甚低，不能作为有效源岩；中上奥陶统烃源岩除分布在塔北南坡和塔中北坡外，在满加尔凹陷西部、阿瓦提凹陷、哈拉哈塘凹陷及巴楚隆起南侧都有分布，既有上奥陶统良里塔格组，也有中奥陶统一间房组；甚至满加尔凹陷中心的中上奥陶统深海浊流沉积也有可能发生相变，局部出现烃源岩。

(3) 寒武系源岩的热演化史。有人认为寒武系源岩在喜马拉雅期还处在生油窗之内，生成正常油；我们则认为寒武系源岩在晚海西期已经越过生油窗 ($R_o > 1.3\%$) 进入湿气阶段，喜马拉雅期早已过成熟，只能生干气。

(4) 海相油源对比。有人主要依据萘烷参数，特别是高、低碳数之比，认为海相成因工业油藏的油源主要来自寒武系一下奥陶统；特殊生标不能用，因为奥陶系生标含量高，“污染”了寒武系生源油，并且强调要低、中、高碳数分子化合物“全面对比”。我们则认为，特殊生标符合油源对比“指纹”参数的三个条件，具有类似于“亲子鉴定”中 DNA 的作用；而萘烷参数生源意义不明确，又易受到成熟度和运移作用的影响；低、中、高碳数化合物有许多不是“指纹”，就如同血糖、血脂、血型不能用作“亲子鉴定”一样，这样的参数用得越多，对比就越混乱。根据我们的对比结果，绝大多数工业油藏的油源来自中上奥陶统中等成熟烃源岩。

(5) 成藏期。有人认为：“海西晚期是现存古生界油藏的主要成藏期……，燕山期特别

是喜马拉雅期是海西晚期油藏的主要调整再成藏期”；换句话说，油源是寒武系一下奥陶统，再怎么调整，油源也是它，亦即“早期成藏，晚期调整”。我们则认为：中上奥陶统是现存海相工业油藏的主要来源；正常原油和天然气成藏于喜马拉雅期；稠油形成于海西期，降解氧化于海西末期；志留系沥青砂古油藏形成于加里东晚期，破坏于加里东末—早海西期；塔里木海相原油是“多期成藏，晚期保存”。

所有上述分歧的焦点，集中在油源对比和寒武系热演化史的不同认识上，我们在本书有关章节中将详细分析这些分歧。塔里木盆地海相烃源层不论是寒武系还是中上奥陶统，时代如此古老（4~5 亿年），盆地又经历过多次构造运动，多旋回发展，多套烃源层，多期成藏，多期破坏再分配，如此复杂，有分歧是正常的，难免的。过去在杂志上发表文章，受篇幅限制，我们很难充分地摆资料，将论点展开；现在正好借本书的出版，详细阐述我们的观点和论据，以期达到百家争鸣，互相促进，共同提高的目的，从而使认识逐步接近于客观实际。

五

本书是国家“九五”重点科技攻关项目“塔里木盆地油气资源”下属生油专题研究成果的系统总结，是集体智慧的结晶。参加这项研究工作的有：中国石油勘探开发研究院梁狄刚、张水昌、张宝民、赵孟军、周凤英、何忠华、王社教，塔里木油田分公司勘探开发研究院肖中尧、彭燕、李梅、孙玉善、曾强、董斌、刘静江、吴光宏，石油大学（北京）王飞宇、刘洛夫、郭绍辉、高岗，南京大学边立曾、张景荣，中国科学院广州地球化学研究所解启来、周中毅、潘长春，江汉石油学院梅博文、张敏、张俊，中国石油地球物理勘探局地质研究院赵建章，中国地质大学（北京）黄海平，中国科学院南京古生物研究所尹磊明等。

全书编写内容由作者共同讨论确定，分工执笔编写。全书共分十章，各章执笔人如下：梁狄刚：前言、第一、十章；张水昌：第二、六、七章；张宝民：第二、四、五章；边立曾：第三、四章；王飞宇：第四、五、七、八章；赵孟军：第九章。最后由张水昌、梁狄刚审定并统编全书。何忠华、唐黎平等同志为本书的正式出版做了大量图件和文字编排工作。

塔里木油田分公司、科技处和勘探开发研究院的领导和科技人员对本书的出版给予了很大支持和帮助；贾承造总地质师、黄第藩教授、郝石生教授等给予了热情指导，在这里一并致以深切的谢意！

盼望本书的出版，能够促进我国海相生油理论的建立和发展，为塔里木盆地海相油气的勘探提供有用的科学信息！

作 者

2003 年 10 月