



成都理工大学
能源学院
60周年校庆文集

CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
COLLEGE OF ENERGY
THE 60TH ANNIVERSARY

塔中志留系沥青砂岩

流体微观分布特征及聚集规律

宋荣彩 著



科学出版社

塔中志留系沥青砂岩 流体微观分布特征及聚集规律

宋荣彩 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

塔中志留系沥青砂岩分布规律不清、储层控制因素复杂、流体分布规律难以落实。本文以微观手段研究油气富集特征为特色,采用宏观与微观紧密结合、地质与地震紧密结合、地质理论和实际生产状况紧密结合,较客观的揭示了塔中志留系潮坪环境薄互层砂体分布规律、沥青砂岩储层主控因素及油气微观赋存状态及丰度。研究认为持续演化的古构造背景是油气成藏指向、优越的沉积相是基础、孔隙类型是流体可动量的关键。该套沥青砂岩具有“势控方向、相控储层、物控油藏”油藏分布聚集规律。

本书适合石油地质相关专业本科生、研究生以及从事储层成因研究和油气田开发相关实践的学者及专家阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔中志留系沥青砂岩流体微观分布特征及聚集规律 / 宋荣彩著. —北京: 科学出版社, 2016.10

ISBN 978-7-03-050188-2

I. ①塔… II. ①宋… III. ①塔里木盆地-志留纪-沥青砂-砂岩储集层-研究 IV. ①P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 240713 号

责任编辑: 杨 岭 郑述方 / 责任校对: 冯 铂

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 10 月第一次印刷 印张: 8 1/4

字数: 200 千字

定价: 83.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

纵观世界能源消费发展历程，1950 年，煤炭占 50.90%，石油占 32.90%，天然气占 10.80%；到 1970 年，煤炭占 20.80%，石油占 53.40%，天然气占 18.80%；2012 年，英国石油公司(British Petroleum，简称 BP)在《世界能源统计回顾 2013》中的数据显示，全球一次能源消费总量为 124.77 亿 t 油当量，其中煤炭占 29.90%，石油占 33.10%，天然气占 23.90%，其他能源占 13.10%；BP 公司预测，2035 年，煤炭占 26.50%，石油占 28%，天然气占 26.50%，其他能源占 20.20%。石油、煤炭在未来能源结构中所占比重有所减少，天然气、核能、水能与可再生能源比重增大。但石油仍是世界上主要能源，是全球最重要的商品之一，不论现在还是未来，它在能源方面仍占统治地位，而且它还是化工业、塑料业的重要原材料，这些产业都与我们的日常生活息息相关。

通常讲的“沥青砂岩”，俗称“油砂”，亦称“焦油砂”、“重油砂”，是世界上原油大家族的重要一员。随着全球能源消费的不断增长，常规油气资源勘探开发难度不断增大，非常规油气资源将成为未来油气资源利用的重要接替领域。作为非常规石油主要类型的重油和油砂资源，在全球分布极不均衡，其集中程度远高于常规油气(图 0-1)。随着勘探开发的不断深入，油砂资源在现有经济技术条件下展示了巨大潜力。世界发达国家已实现商业开采，对优化这些国家的能源结构和稳定能源供给发挥了重要作用。



图 0-1 全球重油、油砂富集带分布示意图

图片来源：Hart Energy Research Group, 2015。

当前世界上开采利用的“油砂”沉积环境多为淡水及半咸水相，为已露出或近地表的重质残余石油浸染的砂岩，系原油在运移过程中失掉轻质组分后的产物，可用以提炼重油和沥青。根据国际能源署(International Energy Agency，简称 IEA)估计，加拿大油砂的原始可采储量为 1780 亿桶($2.83 \times 10^{10} \text{ m}^3$)，世界能源理事会(World Energy Council，简称 WEC)引用美国地质勘测局的报道，23 个国家中的 598 个沉积层中都有油砂，其中最大的分别在加拿大、哈萨克斯坦和俄罗斯联邦。全球油砂可采储量估计为

2497 亿桶，其中加拿大占 70.80%，主要分布在阿沙巴斯克(Ashabasca)、冷湖(Cold Lake)以及和平河(Peace River)3 个油砂区，面积分别达 $4.30 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $0.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $0.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。据加拿大官方统计，油砂生产超过其总产油的 56%，包含加拿大已探明储量的 98%以上。在未来 25 年，将有 7830 亿美元的矿权使用费和资源税支付给政府。2016 年分析咨询公司 Global Data 称，在接下来的十年中，若油砂能够将成本控制在这每桶 20~25 美元，加拿大西部的油砂区或将迎来约 406 亿美元的资本支出投资，成为新的石油开发热点区。日前，加拿大石油生产商协(The Canadian Association of Petroleum Producers, 简称 CAPP)表示，尽管油价下跌，但截至 2030 年加拿大油砂行业产量将有望增加至 155 万桶/天。同时，全球能源咨询公司 IHS Energy 发布报告称，加拿大油砂原油产量将于 2025 年激增至 340 万桶/天，这主要得益于现有油砂项目的扩建，而非新项目建立。CAPP 预测的未来石油产量数据表明：沥青总产量在增加，在提高沥青品质之后，油砂开采和原地定价有利于增加净沥青产量。可见，即便油价低迷的形势下，油砂项目仍具有良好的发展前景。由于油砂埋藏浅，油砂项目通常的勘探成本较低，其成本多花在开发方面。以加拿大油砂项目为例，无论大小公司，他们的工作程序都差不多：先砍掉所有的树，然后移走地表的泥土，电铲随后撮起油砂装入巨型卡车，它载重量巨大，每趟能运走 90t 油砂，每 2.50t 油砂可以生产一桶油。

但是，对油砂的开发利用，也存在较为突出的困难：其一，油砂田生产的能源消耗非常高，对环境的冲击巨大，如考虑开采后土地恢复的成本，这将是项目是否能盈利的关键；其二，根据 2016 年最新发表在《自然》杂志上的一项研究表明，加拿大的油砂在回收油过程中释放了大量有害的空气污染物，这些空气污染物可能引发严重的环境及人员健康问题，该问题也是制约油砂项目经济开发的瓶颈所在(图 0-2)。



图 0-2 加拿大亚伯达的油砂区鸟瞰图
图片来源：新华社图片，2015 年 5 月 18 日。

我国油砂勘探开发起步较晚，尚处于普查与初步研究阶段。近年来愈来愈多的石油公司、科研院所、民间机构开始关注油砂的勘探开发工作，如国土资源部、中国石油、中国石化、成都理工大学和吉林大学等开始对中国油砂资源的勘探和开发技术进行专门的研究工作。目前已完成了全国的油砂资源评价工作。我国的油砂资源比较丰富，地质储量 $59.70 \times 10^8 \text{t}$ ，可采资源储量 $22.65 \times 10^8 \text{t}$ ，居世界第五，主要分布在新疆、青海、西藏、四川、贵州。此外，广西、浙江、内蒙古也有分布。根据国土资源部预测数据，到 2050 年我国油砂年产量将达到 $1.80 \times 10^8 \text{t}$ 。可见油砂的开发利用，是对我国液体燃料能源的重要补充。

20 世纪 90 年代，在对我国塔里木盆地志留系进行油气勘探时，发现了横向上大规模分布、纵向上大套存在的黑色砂岩，主要分布在塔中低凸起、塔北隆起中西部及其斜坡区、巴楚凸起。初步研究发现，该套黑色砂岩是高含沥青或高含重油所致，沥青砂岩段厚度在各个地区具有不均匀性，从几米到一百多米不等，储层埋藏深、单层厚度薄，储层中沥青分布产状复杂、沥青的物理状态也不同，由此引起储层物性的非均质性强，受控因素复杂，其中的油气富集成藏规律复杂，除受沉积作用、成岩作用影响外，沥青分布产状也是其主要控制因素(图 0-3)。



图 0-3 塔里木盆地志留系某井柯坪塔格组下段不同油气显示(油浸、油斑、油迹、荧光)

前人对该套沥青砂岩沉积环境、砂体展布、储层特征、控制因素、成藏规律等方面进行了由浅到深的研究。至 2006 年的勘探开发成果表明：塔里木盆地志留系分布面积约 $24.90 \times 10^4 \text{km}^2$ ，沥青砂岩分布面积约 $3.05 \times 10^4 \text{km}^2$ 荧光以上油气显示主要集中在塔中、塔北和满东地区，沥青砂岩主要分布在塔中、塔北和巴楚以及柯坪露头区；发现塔中 11 井、塔中 12 井、满东 1 井等油气藏，探明石油地质储量近 $2000 \times 10^4 \text{t}$ (图 0-4)。

塔中志留油藏自发现到试开采以来，由于油气富集规律复杂、油层薄、油质稠，“口口见油，口口不流”，多年来在解决该油藏开发上“有储无产”的瓶颈问题上没有重大突破。2005 年实施的两口开发井没有获得工业产能，但实钻构造顶面海拔与设计的差不多，说明构造程度落实比较高。前人分析认为主要是由于早期古油藏遭破坏形成的古沥

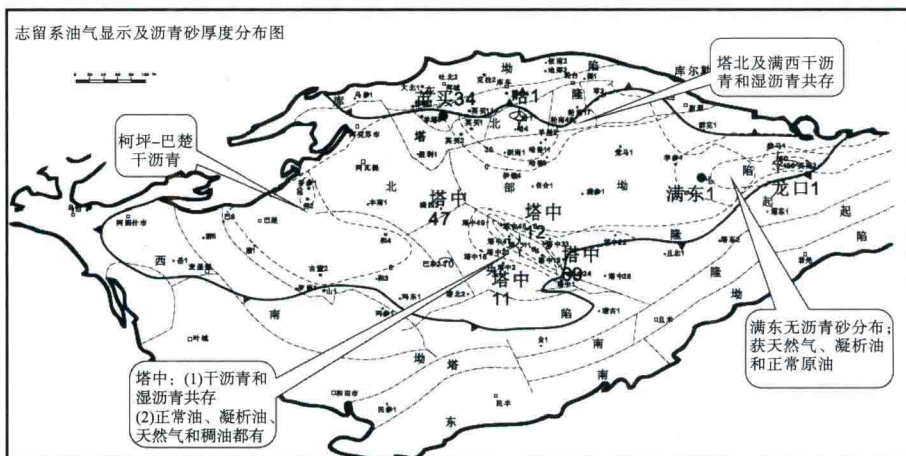


图 0-4 塔里木盆地志留系油气显示及沥青砂厚度分布图

图片来源：中国石化集团西北石油局，2006。

青占据了优质储层孔隙和孔道，影响储层的有效孔隙度和渗透率从而影响储量和产能，是否如此？

可以看出，该套埋藏在地下 4500m 以下的沥青砂岩与通常意义的油砂的研究思路、勘探手段、开发措施都有所不同，具有明显“井深”、“层薄”、“混油”的中国油气分布特色。由于地层埋藏深度大，地震资料分辨率有限，等时的地层格架难以客观建立，导致该套砂岩层分布规律不清，在此情况下研究油层分布规律更是犹如瞎子摸象，常规储层评价难以表征，其中油层非均质决定了计划储量难以动用。因此，若要有效开发该种深度大、储层孔渗复杂、油层非均质性强的非常规油藏，评价其储集砂体的分布、物性特征、沥青对储集物性的影响、成藏过程等要素是开发成功的关键。

本著作依托塔里木油田公司《已开发油气田构造精细描述及滚动开发目标研究》项目下设立的专题项目《塔中 12—50 井区志留系储层精细描述与滚动目标优选》。主要资料清单包括：

塔中 12—50 井区近 230km² 的三维地震数据；

塔中 16 口井近 1000m 的取芯资料；

塔中多口井的粒度分析、扫描电镜资料、同位素分析及地化分析资料；

塔中 46 口井的测井、测试及生产动态资料；

塔中 2000 余张取芯普通薄片、含油薄片、铸体薄片，以及塔中 11 井、塔中 12 井志留系连续岩屑普通薄片 293 张。

有了以上基础资料，论著试图解决该套沥青砂岩的如下关键问题：

第一，井—震结合，并充分利用薄片微观证据，解决在等时地层格架下有效砂岩分布的规律问题；

第二，利用纵向较连续的铸体薄片，在考虑沥青产状、演化、含量基础上，描述该套沥青砂岩特征及孔隙演化过程，进一步分析该套沥青砂岩储层控制因素；

第三，对比洗油薄片与含油薄片，定性分析含有不同产状沥青孔隙大小、孔隙类型，利用洗油前及洗油后测试物性数据，分析该套沥青砂岩的物性特征及控制因素；

第四，使用纵向上较为连续的取芯含油薄片资料，结合测井物性和含油气性解释结果，在生产动态资料验证下建立微观流体纵向分布剖面；

第五，在地化资料分析综合分析基础上，结合成岩演化过程中，沥青砂岩充注在岩石薄片留下的微观痕迹，判断油气运移通道、路径及期次。

当然，从以上资料和试图解决的问题来看，都是一个巨大的工作量。研究组在前期工作中，由于收集的岩心、岩屑薄片及其他各项资料不系统，地震剖面分辨率不够，分析的点上资料相互矛盾较多，一度致使工作难以深入进行。通过中期之后资料的系统整合、补点分析，研究组成员详实而扎实的显微镜微观成分、结构、含油气特点的辨识、组合及讨论，最终使塔中沥青砂岩的宏观展布及微观流体特征，在典型的塔中 12—50 区块得到了很好的恢复和展示，为全区志留系沥青砂岩开发提供了思路。

专著中大量的微观薄片鉴定工作由李秀华教授完成，井震处理及解释由张小兵老师完成，沉积相部分工作由陈克勇老师完成，岩心综合柱状图绘图工作由高志友老师完成，段新国教授也参与了前言部分编写工作。本专著还依托研究生的大量基础工作，他们是刘栋、王洋、陈珊珊、肖锦泉、陈楠、孙亮、张家竹、刘广景、王承红、陈全、朱翔等。工作合作单位塔里木油田公司勘探开发研究院为本专著的编写提供了宝贵资料，各位专家还提出了许多宝贵意见和建议。在这里对他们出色的工作一并表示由衷的感谢。

需要说明的是，文中具体资料涉及技术及开发保密，因此，用 A、B、C 相应符号代替，但这并不影响文中规律性展示。请读者予以谅解。

目 录

第一章 塔中沥青砂岩勘探开发进展	1
第一节 塔中志留系勘探开发现状	1
第二节 塔中沥青砂岩沉积层序研究及存在问题	2
第三节 沥青砂岩非常规储层描述进展	4
第四节 沥青砂岩成藏研究进展	5
第五节 沥青砂岩油气聚集规律研究思路	6
第二章 层序地层格架研究	7
第一节 层序地层划分	7
第二节 层序界面识别	8
第三节 井控旋回法则	16
第四节 层序地层格架	19
第三章 塔中沥青砂岩沉积特征	22
第一节 沉积背景	22
第二节 沉积相标志	22
第三节 沉积相特征	28
第四节 测井相特征	31
第五节 相演化及分布特点	33
第四章 沥青砂岩分布规律	36
第一节 概述	36
第二节 含油岩心描述	38
第三节 砂体岩—电关系分析	42
第四节 单井砂体综合解释	44
第五节 薄砂层低频率地震预测	45
第六节 沥青砂岩分布规律	53
第五章 沥青砂岩储层特征	55
第一节 岩石学特征	55
第二节 成岩作用特征	58
第三节 储层孔隙及物性特征	66
第四节 储层控制因素分析	69
第五节 储层孔隙演化	75
第六节 沥青对储层的影响	76
第六章 沥青砂岩储层中的流体特征	82
第一节 宏观成藏期次研究	82

第二节	流体类型划分	84
第三节	含油气流体的期次与识别	88
第四节	含油剖面特征	97
第七章	沥青砂岩油藏聚集规律	101
第一节	开发井开发效果评价	101
第二节	油藏储量品质分析	113
第三节	油藏分布规律及目标建议	114
结论		115
参考文献		116
索引		121

第一章 塔中沥青砂岩勘探开发进展

第一节 塔中志留系勘探开发现状

塔里木盆地志留系油气及沥青在全盆地广泛分布，其中塔中地区油气显示尤为活跃，常见干沥青和湿沥青共存；正常油、凝析油、天然气和稠油都有。日前，塔中地区钻遇志留系地层的探井达 80 余口，其中，工业油流井 10 余口、可动油流井 6 口、油气显示 27 口、沥青显示 23 口、无显示 10 口、发现油藏 5 个(图 1-1)。

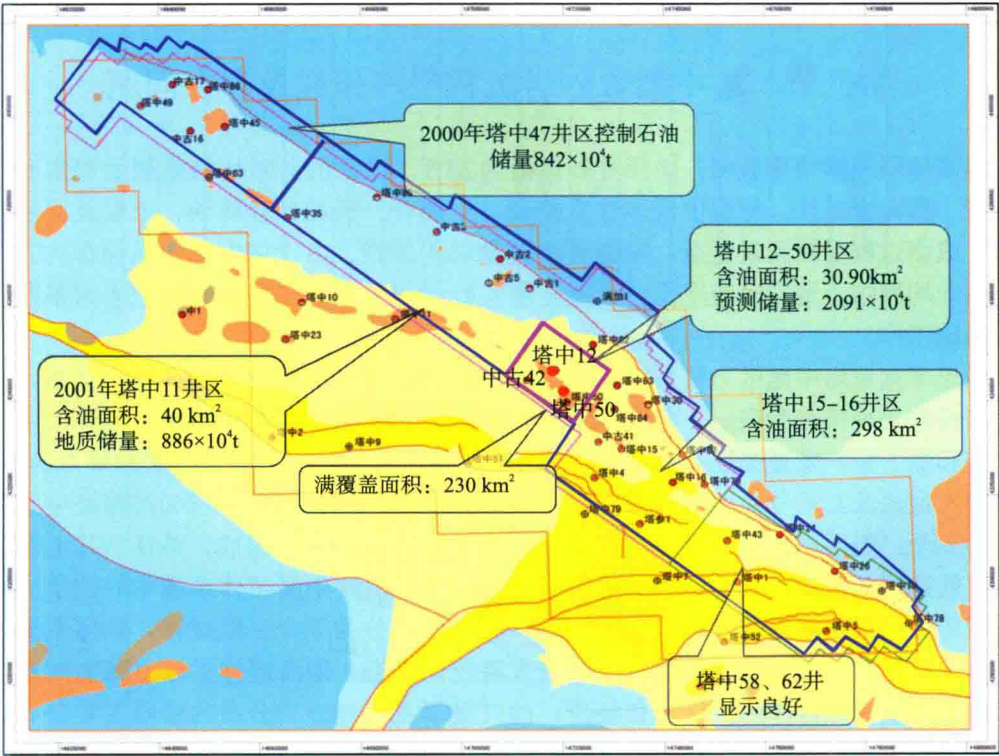


图 1-1 塔中志留系沥青砂岩油气藏分布图

图片来源：塔里木勘探开发研究院，2005 年。

在塔中 12—50 井区，1994 年，塔中 12 井加砂压裂 4374~4413m 油 18.33t/日；1997 年塔中 50 井加砂压裂 4378.50~4401.50m 油 10.1t/日；2004 年塔中 122 井在上三亚段完井测试获日产 17.79t 的工业油流；2005 年塔中 12—1 井在 4229~4254m 的上三亚段，25m/6 层，注入氮气气举，举出完井液带油花；2005 年塔中 12—2 井在 4356~4357m，4353~4353.50m，1.50m/2 层的上三亚段，日产水 2.94m³，共出油 0.54m³，累计出水 13.74m³；2007 年中古 7 井在志留系未取心，气测显示 4 层 10.50m，中古 42 井在志留

系未取心,气测显示3层7m。2004年储量计算时,认为塔中12井区志留系油藏为一边水构造—岩性油藏,2004年10月上报探明含油面积 22.70km^2 ,探明石油地质储量为 $1566\times 10^4\text{t}$,采收率16%,可采储量 $250.60\times 10^4\text{t}$ 。但从塔中12—50井区的勘探历程来看,油层薄、油质稠、储产极不匹配。2012年在塔中16井区新部署的井、塔中122井实施的加砂压裂改造在志留系中均取得了不俗的油气产量,这充分说明塔中志留系有现实可开发利用的储量,只是其控制因素有待探索。

塔中志留系砂岩发育,沥青砂岩段为粉—细—中砂岩,砂岩经历了压实作用、胶结作用、交代作用和溶解作用等多种成岩作用,目前已达到晚成岩A2期。孔隙演化与该区的成岩作用关系密切,特别是次生孔隙也较发育。孔隙演化经历了原生孔隙的破坏、次生孔隙的形成和次生孔隙的破坏3个阶段,其中机械压实作用和胶结作用是原生孔隙损失的主要原因,溶蚀作用产生的次生孔隙是重要的储集空间,原生和次生孔隙各占相当比例,但是,由于沥青质的充填使储层孔隙结构变得复杂。因此,沥青砂岩储层特征及演化内容也成为本书的重要部分。

第二节 塔中沥青砂岩沉积层序研究及存在问题

地震储层预测结果表明,该沥青砂体极为发育。已钻的井对比结果展示储集砂体纵向叠置、横向变迁快。储层中流体性质复杂,干沥青、稠油、轻质油、干层及水层交互分布,成藏过程受控因素复杂,致使其中储量动用困难。由于塔中志留系埋深大、储层纵横向非均质强、地震分辨率低,由此,落实砂岩的分布规律是解决塔中志留系开发的重要基础工作。

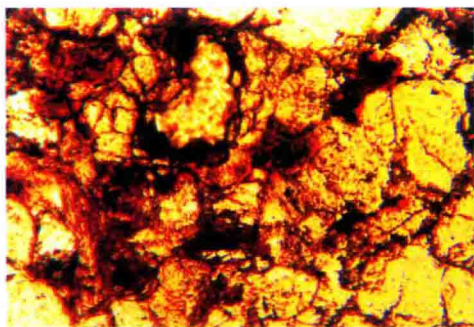
塔里木盆地塔中地区志留系沉积环境为潮控滨岸带,主要发育潮坪沉积体系,这在柯坪塔格组表现得尤为突出。在低缓地形背景下发育的柯坪塔格组潮坪沉积环境可分为潮间带和潮下带,发育泥坪、混合坪、砂坪和潮道沉积相。由于研究方法和观点的不同,对塔里木盆地及其部分地区志留系层序的划分也不尽相同:赵文光(2007)将塔中志留系划分为5个三级层序,每个层序均由海侵和高位体系域两部分组成,并认为其上覆泥坪形成有效遮挡的盖层,是形成油气藏的根本原因,而层序中高位体系域中的储层比海侵体系域中的储层更靠近盖层;朱如凯(2004)将志留系分为3个三级层序,砂体主要发育于海侵体系域(TST),最好的储层位于最大海泛面附近,即海侵体系域上部和高水位体系域的下部是海相砂体的最佳发育场所,油气显示及沥青砂岩分布的层段主要分布在三级层序的最大海泛面附近,油气藏类型为由多个层状砂岩透镜体在垂向和平面上叠置的岩性油气藏和受构造控制的断背斜油气藏;郭少斌(2007)识别出了7个三级层序,与典型的I型层序相比,低位体系域缺失盆底扇、斜坡进积复合体等沉积体系;张金亮(2006)用高分辨率层序地层学理论为指导,对塔里木盆地志留系进行高分辨率层序地层学分析,将全盆地划分出了4个长期基准面旋回层序(SQ);而在周文等(2008)对塔里木盆地志留系进行层序研究时,却识别出了13个三级层序。

另在2012年,塔里木油田公司勘探开发研究院的沉积层序研究进展成果(图1-2、图1-3)似乎解决了地层格架及其中成因砂体分布问题,但从成果图中我们仍然觉得划分的证据不够充分,规律性难以把握。

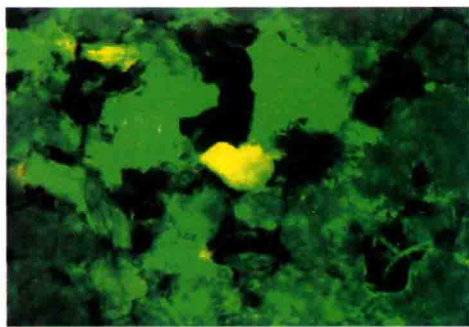
从以上研究成果可以看出,塔里木盆地志留系的层序划分和对比需进一步认识。需从其沉积特点及古地理背景出发,结合古陆表海环境的水动力特点,以岩心、测井、地震、油质特征等分析为基础,建立起塔中地区志留系可靠地层格架,为志留系进一步的等时地层追踪对比、砂体成因类型、几何形态、储层结构描述等精细地质研究奠定基础。

第三节 沥青砂岩非常规储层描述进展

目前该套沥青砂岩储层评价有 3 个方向:一是常规手段,即沉积-成岩基础上的砂岩分布、物性参数变化、控制因素研究、储层分类评价体系,如:刘绍平(1996)、钟大康(2006)、张金亮(2006)、张炎忠(2006)、王萍(2008)、王勇(2009);二是地震储层预测,即利用丰富的三维数据体,井-震结合,用各种动力学参数和运动学参数展现砂体、有效砂体及其中的流体分布特征,王成林(2008)及研究院众多的研究成果均源于此方法;三是非常规储层评价,即在常规储层评价基础上,研究沥青成岩和产状对储集物性的影响,如段金宝(2006)用测井方法确定砂岩储层中固体沥青含量就是较好的尝试。尤其是陈强路(2006)在研究塔中志留系沥青砂岩时,考虑常规物性分析不能客观地表征被不同性质沥青充填的砂岩的储层物性及孔隙结构,因此在定量测算的基础上,提出了用残余孔隙度和残余渗透率来客观表征沥青砂岩储层物性及孔隙结构的方法(图 1-4、图 1-5)。此方法值得很好地借鉴。

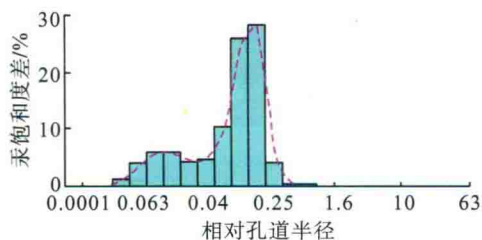


(a) 偏光镜下特征

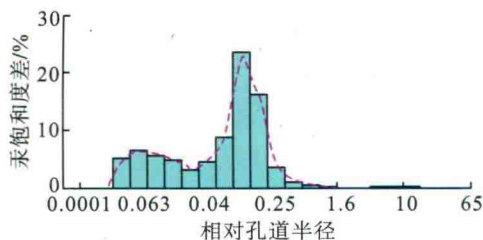


(b) 荧光镜下特征

图 1-4 S 井 ST-05 样品的干沥青、稠油和轻质油显微赋存特征



(a) 洗油前



(b) 洗油后

图 1-5 洗油前后塔中 S1-2 井样品沥青砂岩微观孔隙结构分布

因次,在本论著中,探究沥青砂岩的特征考虑了3个方面要素:研究储层本身致密化及演化过程;沥青的成因、分布产状及对孔、渗条件的影响;储层成岩演化及沥青充填共同制约目前优质储层发育分布和发育情况。利用的测试手段包括含油薄片鉴定、含油薄片荧光分析,洗油前气体法物性参数测定及洗油后气体法物性参数测定。

第四节 沥青砂岩成藏研究进展

埋藏深度大的沥青砂岩成藏是一系列复杂的演化过程。塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏具有“两源三期”的成藏特点,“两源”是指油气来源于寒武系和中、上奥陶统两套烃源岩;“三期”是指从沥青到可动油的形成经历了加里东晚期、海西晚期、燕山—喜山期3个成藏期。沥青的形成是早期油气运移聚集过程中遭破坏的结果,目前所发现的可动油是以中、上奥陶统油气源为主的晚期成藏的结果。发育3种油气藏类型,即背斜构造、地层岩性以及火山岩遮挡型。吕修祥(2008)认为塔中隆起志留系油气聚集受三大因素控制,一是隆起构造背景,围绕古隆起构成多种圈闭类型组合的复合油气聚集区;二是有效盖层,志留系中的油气显示十分活跃,包括沥青、稠油和正常油,沥青和稠油分布在红色泥岩段以下,而可动油集中分布在上二亚段之下;三是优质储层、砂岩储层分布广泛,储层储集空间有次生—原生孔隙型、原生一次生孔隙型、微孔隙型三种类型,孔隙度3.30%~17.40%,渗透率 $(0.10\sim667.97)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。志留系砂岩充填沥青后孔隙度和渗透率大大降低,后期原油能否再对沥青砂岩进行充注及充注后的孔渗条件如何是人们普遍关注的问题。刘洛夫(2001)认为,早期胶质——沥青质沥青对砂岩的有效储集性能有“污染”作用,因此在古油藏或油层内,尽管有后期烃类注入,也很难形成有效产层,即形成强者恒强的“昌泰反应”。陈强路(2007)通过油气再充注模拟实验得出不同黏度的原油对沥青砂岩进行充注后,其残余孔隙度、残余渗透率明显增大,这表明晚期油气可以再次充注沥青砂岩,从而使其成为有效储层,张峭楠(2009)等通过塔河志留系的研究也得出该认识。

在油田中,固体沥青、重油、轻油等多相油体共存,往往造成对油气储量的过高估计,如何通过对固体沥青的标定,更准确地反映油气储量,为制订正确的开发措施提供理论依据是研究的关键。陈强路(2007)通过油气充注对塔中志留系沥青砂岩储集性影响的模拟实验,得出如下认识:(1)早期充填沥青少而残余孔隙率、渗透率很低的砂岩,晚期油气仍不能充注,是非储层;(2)早期沥青均匀充填、充填程度高,残余孔隙率、渗透率低的砂岩,晚期低黏度稀油仍能充注,孔隙率、渗透率有大幅度提高,是有效储层;(3)早期沥青充填较均匀,残余孔隙率相对较高,不同黏度的原油充注后,孔渗条件发生明显的改善。常温的实验表明,原油的物理性质是决定沥青砂岩能否再次充注的关键因素之一,稀油充注是志留系沥青砂岩成藏的必要条件。

以上研究成果和认识表明,要攻克塔中志留系沥青砂岩的开发难题,落实砂岩的分布规律、非常规储层的评价、油气充注期次及效率是必须要解决的问题。

第五节 沥青砂岩油气聚集规律研究思路

研究区油气富集规律复杂、油层薄、油质稠，这些状况导致油藏开发多年来“有储无产”，并且在2005年两口开发井失利。针对这些问题，在深入分析前期油气勘探开发成果及邻区研究成果的基础上，利用地震、钻井、录井、测井、取心、试油等资料，对研究区层序格架、沉积微相及砂体分布特征、固体沥青成因、充填方式及其对储层的影响、储层孔隙演化及储层致密化进程、储量评价等做详细研究，最终提出有利的目标区。具体研究方法思路如下：

首先，以层序地层学理论为指导，进行小层划分对比，落实地层展布、砂体分布和沉积微相研究，结合地震资料建立地层格架模式及沉积模式。

其次，对固体沥青进行驱替，研究驱替前后储层薄片、物性特征、孔隙结构的变化情况，结合薄片观察对固体沥青的成因、充填方式及形成过程进行综合评价，评价固体沥青对储层的影响程度，结合储层特征研究成果，建立沥青砂岩分类评价标准，最终对沥青砂岩进行综合分类评价。

再次，对主要储层段的岩心铸体薄片及扫描电镜进行分析和总结，以岩石学特征为研究基础，对孔隙类型、孔隙结构，成岩演化的阶段以及成岩的历史进行恢复，充分展示孔隙演化过程，即储层的致密化进程。利用薄片分析、包裹体样品分析等资料确定油藏成藏期次，特别是固体沥青的形成时间，对固体沥青形成后研究区的油气充注历史要做深入研究。

最后，利用以上的研究结果对研究区的储量进行核实，评价其可动用性，分析失利井失利的原因，提出相应的开发模式及开发对策，提出有利的勘探开发目标区，为研究区的顺利上产打下基础。

在实际研究过程中花费大量的时间尝试了各类实验，形成了较为完备的思路及技术路线(图1-6)。以下思路与技术路线在塔中沉积背景相似的其他地区进行了应用，效果良好。



图 1-6 塔中志留系沥青砂岩储层精细描述思路技术路线图

第二章 层序地层格架研究

塔中志留系地层是在塔中古隆起上发育的潮坪沉积体系，其顶、底均为不整合接触关系。地层整体发育相对稳定，除在相对的高地缺失顶部和顶部地层外，内部地层发育连续。地层的认识是储层特征及流体分布认识的重要基础，前人的研究成果分两种：一种是岩性分层，该层共分 6 个岩性段，由下至上依次是上三亚段、上二亚段、上一亚段、红色泥岩段、砂泥岩段、上泥岩段；另一种是建立的等时地层格架。由于塔中志留系分布广，构造复杂，地震资料分辨率有高有低，建立等时地层格架的成果差异较大(图 2-1)。

塔中志留系层序的识别和划分前人研究成果众多，使用的资料和研究方法有：野外露头资料、岩心观察、测井组合及沉积相资料、地震剖面可追踪性。可以看出，成果之间差异较大。本文除以上资料和方法的应用外，主要特色在于地质微观特征的应用。

作者及研究区域		本次研究	周文	王成林	胡少华	张金亮	施振生	朱如凯	贾进华	赵文光	王英民	朱筱敏	徐怀大	万静萍
地层及层序		(2012) 塔中	(2008) 全盆	(2007) 全盆	(2007) 塔中	(2006) 塔北	(2005) 全盆	(2004) 塔中	(2004) 全盆	(2003) 塔中	(2003) 柯坪	(2003) 全盆	(2001) 全盆	(1997) 全盆
志留系	依木干他乌组	Ⅲ	Ⅲ											Ⅳ
			Ⅱ											Ⅲ
	塔塔埃尔塔格组	Ⅱ	Ⅰ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅲ
			Ⅵ											Ⅳ
			Ⅴ							Ⅴ				Ⅲ
			Ⅳ											Ⅱ
	柯坪塔格组	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ		Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅳ		Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ
			Ⅱ											Ⅲ
			Ⅰ											Ⅱ
			Ⅳ											Ⅰ

图 2-1 塔里木盆地志留系层序划分方案对比

第一节 层序地层划分

层序是以不整合面或与之可对比的整合面为边界的、相对整一连续的有成因联系的一套地层。不整合面的确立是层序划分的关键，也是层序地层分析的基础。颜色、岩性和沉积相的突变，测井曲线的形态、异常幅度、测量值等发生明显变化，古土壤和根土层、区域性不整合面和底砾岩的存在以及地震反射终止关系(上超、下超、削截等)等都是识别层序界面的重要标志。

本次研究层序地层的划分中综合应用了岩心、薄片、测井、地震等资料，考虑到各种信息的分辨能力及资料分布特点，采用高分辨率层序地层学的手段，进行潮坪环境地