

塔里木盆地北部 油气田勘探 与开发论文集

主 编 蒋炳南
副主编 张希明 陈惠超 王士敏



地 质 出 版 社

塔里木盆地北部油气 田勘探与开发论文集

主 编 蒋炳南

副主编 张希明 陈惠超 王士敏

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

塔里木盆地北部油气田勘探与开发论文集/蒋炳南主编. -北京:地质出版社, 2000.11

ISBN 7-116-03173-1

I. 塔… II. 蒋… III. ①油气田-油气勘探-塔里木盆地-文集②油田开发-塔里木盆地-文集
③气田开发-塔里木盆地-文集 IV. P618.130.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 43929 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑: 陈军中 韩 军 赵俊磊

责任校对: 王素荣

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: 25.75 字数: 600 千字

2000 年 11 月北京第一版·2000 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 48.00 元

ISBN 7-116-03173-1

P·2134

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

编 委 会

主 编 蒋炳南

副主编 张希明 陈惠超 王士敏

编 委 (按姓氏笔划为序)

王根长 邱绳德 林忠民 侯卫国

常志远 韩革华 鲁新便 谭承军

编 辑 韩 军

英文译校 杨卫东 李 冰 陈 静

图件编绘 蔡 星 王 萍 陆 欣

序

塔里木盆地是我国最后进入大规模油气勘探的最有远景的大型沉积盆地。自1984年9月位于塔北沙雅隆起上的沙参2井在下奥陶统碳酸盐岩中喜获高产油气流,实现了我国古生代海相油气首次重大突破以来,原地质矿产部和石油天然气总公司组织了举世瞩目的塔里木石油大会战,在极为恶劣的自然条件和十分复杂的地质条件下,依靠科技进步和艰苦奋斗,取得了丰硕的成果。先后在塔北、塔中和塔西南发现了一批油气田(藏),探明和控制油气地质储量已超过十亿吨(当量),天然气储量已基本具备了“西气东输”的资源保证。特别值得提出的是塔河油田奥陶系油气藏,其探明和控制油气地质储量已超过亿吨,而且其规模还在不断扩大,极有可能培育成第一个与巨大的塔里木盆地相称的、连片分布的整装特大型油气藏。勘探实践证明,塔里木盆地油气资源极其丰富,在不久的将来,必将成为我国石油工业的战略接替基地。

中国新星石油公司西北石油局规划设计研究院,是一支由石油普查队逐步发展起来的拥有油气地质综合研究和油气勘探、开发研究技术力量的专业队伍,是一家业绩卓著,具备多学科、多功能的研究实体。该院坚持“科学技术是第一生产力”的基本指导思想,在科研实践中逐步形成了较完整的找油思路。从而,为雅克拉、轮台、阿克库勒、达里亚、丘里等油气田(藏)的发现,特别是为塔河奥陶系碳酸盐岩超亿吨大型油气田的发现和评价作出了重大贡献,为实施党中央、国务院关于发挥陆上石油工业“稳定东部,发展西部”和“西部大开发”的战略决策作出了重大贡献。

在世纪之交,为了总结过去,展望未来,迎接新世纪的挑战,该院组织编写了本论文集,侧重反映了近年来在塔北油气勘探、开发,以及地球物理等方法技术的最新研究成果。

令人高兴的是,论文集的多数作者是青年地质工作者,他们朝气蓬勃,才思敏捷、孜孜不倦、潜心钻研,为了塔里木的油气勘探事业贡献了自己的青春年华。塔里木的找油事业后继有人,前途无量!

愿塔里木的油气勘探开发事业在新世纪取得更大的成就。

劉宝琨

2000年4月5日

目 录

科技进步促进了塔河油田奥陶系超亿吨级大油气藏的发现

.....	张希明	叶德胜	林忠民	(1)
塔里木盆地北部奥陶纪地层及沉积特征.....	周棣康	王君奇	叶德胜	(11)
塔河油田奥陶系岩溶发育特征及受控因素.....	林忠民	李正芬	罗传容	(24)
塔里木盆地北部寒武—奥陶系碳酸盐岩储层特征.....	叶德胜	李正芬	王君奇	(36)
阿克库勒凸起成藏地质条件及控油规律.....	李正芬	云 露	王蓉英	(49)
塔河油田奥陶系油气藏特征.....	蒋华山	叶德胜	王少立	阎文新 (56)
雅克拉-轮台油气区块油气分布特点及主要控制因素	李国政	王梅玲	杨 宏	马慧明 (69)
巴楚—麦盖提地区油气田特征及勘探方向	李新民	王小平	丁 勇	曹 杨 王 辉 (78)
沙西凸起古岩溶作用与油气关系.....	余腾孝	邱芳强	吕景英	(84)
阿克库勒凸起圈闭类型及空间组合规律.....	韩燕英	杨汉武	吕媛娥	(90)
库车坳陷东秋里塔格构造带成藏条件分析.....	云 露	杨秋来	刘 丽	(95)
巴楚—麦盖提斜坡成藏条件分析	詹 伟	丁 勇	周晓芬	李新民 杨 宏 (100)
非构造圈闭是雅克拉断凸寻找油气藏的新领域	赵燕山	蔡 星	黄 锐	(106)
艾桑区块石炭系卡拉沙依组沉积特征与有利勘探区预测	王少立	蒋华山	张鹏德	朱桂生 艾克拜尔·萨迪克 (112)
巴楚地区上石炭统小海子组碳酸盐岩的成岩作用及其储集性分析	王 辉	皇甫红英	王小平	田英萍 (117)
塔里木盆地西南坳陷亚松迪 I 号石炭系一二叠系油气成藏期研究	丁 勇	黄太柱	李新民	(122)
沙雅—轮台地区中、新生界油气田 (藏) 储层沉积体系与沉积特征	赵胜利	谢大庆	王君奇	戴国汗 蔡 星 (126)
塔河油田水化学特征与地层之间的关系探讨	周小芬			(133)
模糊数学在塔里木盆地圈闭评价中的应用	袁丽珍	王 英	吕媛娥	虎北辰 (143)
阿克库勒凸起下奥陶统顶面地震杂乱反射的地质意义	王少立			(150)
巴楚隆起石炭系巴楚组成岩作用	皇 甫 红 英	张 宁	李延丽	黄 锐 (155)
塔河地区碳酸盐岩储层预测技术方法研究	李宗杰	韩革华	黄绪宝	张旭光 (160)
三维可视化技术在塔河油区的应用	张旭光	安精文	黄绪宝	韩革华 (171)
JASON 反演技术在塔河油田 3 号区块的应用 ...	樊怀阳	杨汉武	吕景英	蒋进勇 (177)
塔北地区高分辨地震资料处理	胡鹏飞	王建斌	李家蓉	韩革华 (182)
巴楚工区沙漠地震资料处理	魏凤英	王建斌	施妙俊	王蓉英 (188)

测井曲线环境校正及其应用	蒋进勇	樊怀阳	安精文	(194)
地震波主参数在塔河油田岩性和油气预测中的应用	赵永勤	张云智	徐波平	黄德济 何建军 (201)
模式识别技术在塔北三叠系油气勘探中的应用	李宗杰	孙国峰	安精文	杨子川 (213)
地理信息系统在塔北油气勘探和评价中的应用	安精文	陈新刚	李新华	(222)
塔北地区二维叠前深度偏移技术的应用效果	李家蓉	王士敏	李宗杰	(226)
艾协克-桑塔木区块低幅度构造精细解释方法	韩革华	李宗杰		(233)
化探遥感技术在塔北油气勘查中的应用		侯卫国		(241)
沙雅隆起克孜勒苏地区地表油气化探效果	苏江玉	吕景英		(249)
塔河油田 3 号区块石炭系油藏滚动开发层序、层系和滚动开发方式研究				
.....	谭承军	韩燕英	张云智	(257)
塔河油田 1 号、2 号区块三叠系底水油藏水平井钻井地质设计优化				
.....	谭承军	陈姝媚	王梅玲	赵立群 (267)
砂岩定容油藏动态综合评价——以 TK303 井为例	李宗宇	陈珊	杨磊	(274)
砂岩底水油藏底水突破时间预测及应用	杨磊	谭承军	李宗宇	(280)
沙 65 井酸压后压力恢复资料的试井解释	王昔彬	陈志海		(289)
水驱特征曲线在西达里亚油田上的应用	王建峰	靳佩	杨秋来	刘雅雯 (297)
阿克库勒油气田三叠系下油组 (T-III) 气顶油藏数值模拟研究		杨秋来		(306)
高孔低渗白云岩气藏产能评价研究——以巴什托气田为例	杨坚	赵义勇	张云智	(312)
西达里亚三叠系 II ₁ 油组油气藏数值模拟机理研究	孙鹏	马旭杰	李宗宇	(319)
西达里亚三叠系 I ₃ 、II ₁ 油组油气藏剩余油分布规律及开发调整措施	孙鹏	马旭杰	赵义勇	(331)
油气开发日报管理系统的研制与应用	王艳伟	吴俊平	杨秋来	(340)
塔河油田水平井钻井液技术	靳书波	靳珮	李斌文	(345)
酸压技术在塔河 3 号、4 号油田的应用		杨兰田		(353)
地层压力检测应考虑钻屑的影响	侯子旭	宗铁		(364)
内抽外喷采油工艺	侯子旭	何伟国	周立果	(367)
塔河油田完井方法及完井施工	杨兰田	宗铁	董秀民	(374)
稠油开采工艺在塔北油田的应用及展望	陈君莉	陈珊	赵峰	(380)
塔北主要油区油气层保护技术	靳书波			(387)
塔河油田奥陶系油藏开发方案经济指标预测	毛洪斌			(394)
当议石油建设项目经济评价方法	阎文新			(400)

科技进步促进了塔河油田 奥陶系超亿吨级大油气藏的发现

张希明 叶德胜 林忠民

(西北石油局规划设计研究院 乌鲁木齐 830011)

摘 要 多年的勘探实践表明,塔里木盆地奥陶系油气资源潜力大、成藏条件好,是寻找“古生古储”型原生大油气藏的重要层位。目前,已在塔北沙雅隆起阿克库勒凸起南坡发现塔河油田奥陶系大型油气藏,并且它很可能被培育成第一个与巨大的塔里木盆地相称的特大型油气藏。笔者着重阐述了地球物理预测碳酸盐岩储层技术,以及储层改造等工艺技术的进步在发现和评价该油气藏过程中所起的重要作用。

关键词 科技进步 塔河油田 奥陶系油气藏 碳酸盐岩储层预测 储层改造

塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩的油气勘探经历了马鞍型的发展过程。1984年9月,位于塔里木盆地北部沙雅隆起雅克拉断凸上的沙参2井在下奥陶统碳酸盐岩中喜获高产工业油气流,实现了中国古生代海相油气首次重大突破,成为中国油气勘查史上的重要里程碑。该井的突破也迎来了塔里木奥陶系油气勘探的第一个高潮。在这一阶段(1984~1990),奥陶系油气勘探集中在沙雅隆起上的阿克库勒凸起。据不完全统计,原地矿及石油两大部门在该凸起上部署以奥陶系为主要目的层的探井达45口,其中有18口获工业油气流,钻探成功率为40%,证实阿克库勒凸起奥陶系潜山风化壳普遍含油气。但是,奥陶系碳酸盐岩储层非均质性严重,在高产井旁边2~3km就是干井;同时,尽管初产量高,但不能稳产,往往一口井累计产油不到 1×10^4 t即停产,既拿不到产量,且也交不了储量。在这种形势下,塔里木油气勘探的重点便转移到石炭系及中生代地层,奥陶系碳酸盐岩的油气勘探暂时处于低潮。直至1996年以来,由于对塔里木油气成藏地质条件及控油地质规律认识的提高,以及碳酸盐岩储层预测技术和钻井、测试、储层改造等工艺技术的进步,塔里木又出现了一个以奥陶系为主要目的层的油气勘探新高潮。在塔里木的三大隆起区,奥陶系碳酸盐岩的油气勘探均取得了丰硕的成果。在沙雅隆起阿克库勒凸起西南部发现塔河油田奥陶系油气藏;在巴楚隆起南侧玛扎塔克构造带发现多个天然气藏;在塔中隆起北坡I号断裂带多口井获高产油气流,控制了东西长160km的奥陶系含油气带。特别值得提出的是阿克库勒凸起西南部塔河油田奥陶系油气藏,目前已发现4个含油区块,即3号区块、4号区块、5号区块及6号区块。其中4号区块上的沙48井,自1997年10月试采以来,到1999年12月已累计采油 32.26×10^4 t,平均日产达410t,是塔里木碳酸盐岩油气井中日产量最高、累计产油最多、稳产期最长的“王牌井”。仅3号及4号区块于2000年元月已上交探明加控制油气地质储量 1×10^8 t(其中探明储量 7717.4×10^4 t)。据近期勘探成果,该油气藏极有可能为连片分布的特大型油气藏,预测总油气地质储量达5

$\times 10^8$ t, 极有可能为第一个与巨大的塔里木盆地相称的特大型油气藏。

笔者侧重从地质和地球物理预测碳酸盐岩储层技术、储层改造等工艺技术等方面, 阐述科技进步在塔河油田奥陶系超亿吨级大油气田发现过程中的重要作用。

1 地质科技

地质认识是否符合客观实际, 是油气勘探能否取得成功的基础, 特别是对于寻找大至特大型油气田(藏)。在塔河油田奥陶系超亿吨级大油气藏的发现过程中, 下列地质问题是十分重要的。

1.1 塔里木克拉通盆地大型油气田(藏)的勘探方向

多年的勘探和研究表明塔里木盆地成藏地质条件优越, 具备了形成大型、特大型油气田的地质条件^[1,2,3], 其主要原因是: 油气资源量巨大, 具有多生油层系、多油气源区, 长期生油、多期聚集的特点; 近临生油坳陷发育大型古隆起、背斜带及多类型圈闭有利于油气聚集成藏; 多储集层系、多储集类型与良好的区域和局部盖层, 有利于在纵、横向寻找不同类型的油气藏。

随着油气勘探程度的不断深入, 实践表明塔里木盆地油气地质条件有其复杂性的一面^[4,5]。主要表现在: 第一, 主力烃源岩与好储层在时空分布上总体不配套, 克拉通区主要烃源岩在下古生界(特别是 $\text{C}-\text{O}_1$), 但缺乏好储层; 良好储层集中于上古生界和中新生界, 但缺少好的烃源层。第二, 大构造与好储层在圈闭组合上基本不配套, 克拉通区大型构造主要发育于下古生界, 但下古生界碳酸盐岩总体物性差、非均质性严重; 相反, 上古生界和中新生界发育优质砂岩储层, 但缺乏大型高幅度构造。第三, 主要油气成藏期与区域构造运动不够配套, 克拉通区主烃源岩($\text{C}-\text{O}_1$)的主要成藏期为加里东中晚期至海西期, 成藏后受到多期构造运动的强烈改造, 油气资源的损失是巨大的, 目前已发现的柯坪、塔北等特大型古油藏充分表明这一点。

基于塔里木盆地克拉通区油气地质特征(即有利条件和复杂性并存), 认为大型油气田的主要目标之一是下古生界碳酸盐岩。我们在1995年指出, 塔北地区寻找大油气田的主要方向是“沙雅隆起上的下古生界碳酸盐岩古岩溶型储集体, 其特点是圈闭面积大, 储层厚度大, 但非均质性强, 主要受岩溶发育强度和古地貌的控制。成藏期主要为海西晚期及喜马拉雅期, 阿克库勒凸起是寻找这种类型大型油气田的最有利地区”^①。在碳酸盐岩勘探低谷的当时, 我们明确提出: “在当前以碎屑岩油气勘探为主的同时, 应加强下古生界碳酸盐岩古岩溶型油气藏的研究与勘探”。道理很简单, 上古生界和中新生界储层再好, 没有好烃源岩和大型圈闭, 是很难找到大油气田, 只能找到次生中、小型油气藏。下古生界有好烃源岩, 有大型圈闭, 就有可能形成原生大型油气藏; 尽管其储集条件相对较差, 但也不是“铁板一块”, 如有的井放空1~2 m, 有的井漏失泥浆几千立方米等, 可见碳酸盐岩中确有好储层。问题是要下决心, 通过各种技术手段, 寻找碳酸盐岩中的好储层。

① 叶德胜、王恕一、张希明等, “八五”期间国家重点科技攻关项目下属“塔里木盆地北部碳酸盐岩、碎屑岩油气富集条件及评价研究”专题报告, 1995。

1.2 碳酸盐岩储层基本特征及储层分布规律

在下古生界碳酸盐岩中寻找大油气田的主要难点在于储层非均质性严重,好储层的分布规律不清。为此,我们对下古生界(特别是奥陶系)碳酸盐岩储层进行了长期的、多方位的研究。通过研究,认为奥陶系碳酸盐岩储层的基本特征是:

(1) 碳酸盐岩岩块的孔隙度、渗透率性极差,难以构成有效的储集空间。据阿克库勒地区数十口井、数千件岩心样品分析,其平均孔隙度 $<1\%$,渗透率多小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(2) 次生溶蚀孔洞和裂缝是碳酸盐岩储层的主要有效储集空间,次生缝、孔洞的发育是形成良好储层,获得高产、稳产的关键。次生溶蚀孔洞的发育主要受与不整合面有关的古岩溶作用的控制。

(3) 碳酸盐岩储层在纵向上和横向上的非均质性极强。由于碳酸盐岩基块孔、渗性极差,主要有效储渗空间为受古岩溶及构造作用所形成的溶蚀孔洞和裂缝,而古岩溶及构造作用对碳酸盐岩的改造受多种因素的控制,极不均一,因而所形成的溶蚀孔洞及裂缝的分布极不均一,造成其严重的非均质性。

由此可见,古岩溶作用是控制碳酸盐岩储层发育最为重要的因素,是在奥陶系碳酸盐岩中寻找大油气田要解决的关键问题。因此,在塔里木碳酸盐岩勘探的低谷时期,我们仍坚持碳酸盐岩古岩溶的研究。在“八五”国家重点科技攻关项目中的“塔里木盆地北部碳酸盐岩、碎屑岩油气富集条件及评价研究”专项下设“塔里木盆地北部古岩溶及其控油作用研究”子专题。研究表明,古岩溶储集体是塔北地区最主要的碳酸盐岩储集体。对古岩溶的识别标志,古岩溶发育期次,古岩溶地貌,古岩溶的垂向剖面结构以及古岩溶储集体的特征等,均在当时资料的基础上进行了较深入的研究。提出古岩溶斜坡及岩溶高地,特别是两者间的过渡地区是古岩溶储集体发育的有利地区。

“九五”期间,我们侧重研究了阿克库勒凸起奥陶系碳酸盐岩的古岩溶作用。指出,该区岩溶作用主要发育于海西早期,其次是海西晚期。对岩溶地貌进行了详细划分,并指出岩溶最为发育,且储集空间保留机率较高的是岩溶斜坡,特别是坡度较缓的岩溶斜坡(岩溶缓坡)及其上的岩溶残丘,它们是寻找岩溶型储层的最佳地区。在此基础上,对该区奥陶系碳酸盐岩储层进行了分区评价和预测,并提出该区勘探部署建议。

总之,自“七五”以来古岩溶研究取得了显著的成果,这就为寻找奥陶系碳酸盐岩大油气田奠定了坚实的基础。

1.3 突破口的选择

在上述两个问题得以初步解决后,突破口的选择便是奥陶系碳酸盐岩勘探的首要问题。经认真研究,选择阿克库勒凸起西南部的艾协克(后称艾协克1号)、艾协克西(后称艾协克2号)作为奥陶系碳酸盐岩大油气田勘探的突破口^①,部署了沙46井和沙48井。部署这两口井作为寻找奥陶系碳酸盐岩大型油气田的突破口的主要依据是:

(1) 据“八五”期间古岩溶研究成果,上述两口井位于岩溶斜坡与岩溶高地的过渡地区(其后进一步研究表明,该区处于岩溶斜坡上的岩溶残丘),是古岩溶储集体发育最有利的地区。

(2) 邻近寒武系一下奥陶统烃源岩的主要烃源区,油源丰富。

① 林忠民、张希明等,塔里木盆地沙雅隆起艾协克—阿克库勒—达里亚油气区带工业勘查项目报告,1997。

(3) 其上为下石炭统下泥岩段泥质岩, 封盖条件优越。

(4) 该区已完成三维地震, 下奥陶统碳酸盐岩潜山圈闭可靠。

位于艾协克构造上的沙 46 井于 1996 年 8 月 28 日开钻, 1997 年 2 月 11 日完钻, 中途测试于下奥陶统 5359.14 ~ 5504.00 m 井段, 获日产原油 212.54m^3 , 气 $14 \times 10^4\text{m}^3$, 实现了该构造奥陶系油气突破。

位于艾协克西构造上的沙 48 井于 1997 年 5 月 28 日开钻, 10 月 20 日完钻, 该井于井深 5363 m 进入奥陶系后发生放空和严重泥浆漏失, 中途测试获日产原油 570m^3 , 气 $1.5 \times 10^4\text{m}^3$, 并且试采以来产量和油压一直较稳定, 日平均产量在 400t 左右。

上述两口井的突破, 特别是沙 48 井的重大突破, 拉开了寻找奥陶系碳酸盐岩油气田的序幕。

2 地球物理预测碳酸盐岩储层技术

由于碳酸盐岩严重的非均质性, 碳酸盐岩储层预测是一个世界性的难题。塔河油田奥陶系埋深在 5350 m 以下, 预测难度更大。塔河地区已完成七片三维地震勘探约 1755km^2 , 利用国内外最新的三维地震特殊处理技术进行储层预测, 取得了良好效果, 为塔河油田奥陶系大型油气藏的评价作出了贡献。

2.1 相干体技术

相干体技术的核心是利用地震信息计算各道之间的相关性, 突出不相关的异常现象。借助相干体资料能识别岩层横向不均一性和断裂特征。

一般认为, 原始地层沉积时, 地层是连续的, 即使在横向上有变化也是一种渐变过程, 也就是说地震波在横向上是基本相似的。当地层中存在断层和裂缝、火成岩体、礁体、盐丘、地层或岩性尖灭等地质现象时, 地层的相似性将受到破坏; 此外, 地层倾角变陡等因素也会影响其相似性。塔河地区奥陶系地震品质较好, 地层产状平缓、岩性变化不大, 断裂的位置可通过地震剖面解释确定, 故影响相似性的主要因素为溶蚀缝洞和裂缝, 以及微小断裂。所以, 利用相干体技术可以预测碳酸盐岩的孔、洞、缝发育带。

从艾协克三维工区所作奥陶系储层段相干体平面变化图可见, 该工区 NE—SW 向可明显分为三个带: S48、T401、T402、S47、T301、T302 等井处在相干性差的地区, 孔、洞、缝发育或较发育; S23、LN15 等井处于相干性中等地区, 即过渡带; 再向 SE 方向相干性较高, 孔、洞、缝发育程度相对较低。这一结论, 已为大量实钻资料证实。

2.2 振幅提取技术

影响地震反射波振幅的因素较多, 抛开地震数据采集、处理的影响外, 假定地震资料处理中, 保幅处理做得较好, 对特定的碳酸盐岩储层, 影响振幅的则是岩性和孔、洞、缝的发育情况。一般认为储层中存在孔、洞、缝发育带会使振幅减弱, 因此振幅提取技术也是预测碳酸盐岩储层的有效手段之一。

从牧场北三维工区所作 T_0 反射振幅平面变化图、振幅时间切片图及 T_0 反射振幅沿层切片图可见, 东南角的 T402、T403、TK408 等井 (即 4 号区块) 处于振幅低值区, 该三维工区西北部振幅最大, 两者之间为过渡区, 主要为振幅较低值区, 并有一振幅低值条带, 预测该条带为较有利的缝洞发育区, 是下步钻探的方向。

2.3 波阻抗反演

地震资料反演的波阻抗数据, 是进行岩性解释的有效手段。波阻抗的大小与岩石的密度和地震波在其中传播的速度有关, 当地震波穿过碳酸盐岩缝、洞发育段时, 会导致其传播速度的明显降低, 因此该项技术也是进行碳酸盐岩储层预测的重要手段之一。根据反演的约束条件不同, 可分为无井约束反演、单井约束反演、多井约束反演。影响反演结果的主要因素有:

(1) 地震基础数据的品质, 品质好, 反演的结果就好; 反之亦然。

(2) 对碳酸盐岩储层, 声波测井曲线能否反映裂缝发育带, 直接影响测井约束反演的结果。若声波测井曲线不能反映裂缝发育带, 就需要通过其它测井曲线(如电阻率曲线)来建立速度模型进行正演, 与已知井旁道进行对比, 以校正声波时差曲线, 提高反演的精度和效果。

(3) 约束反演中子波的提取与确定。

(4) 约束反演中初始模型的建立, 也就是精细层位标定和解释, 是影响反演结果好坏的基础。

(5) 声波测井曲线的校正, 制作高精度的合成地震记录是反演的关键。

(6) 参与测井约束反演的井越多, 反演的结果就越可靠。

碳酸盐岩是高阻抗岩层, 当岩层中存在孔、洞、缝发育带时, 波阻抗值就会降低, 因此低阻抗带基本反映了储层的发育带。在艾协克三维工区奥陶系平均波阻抗值分布图上, 反映出与相干体相似的储层发育带。即 S23 井北西的大部分地区, 特别是 S48 井附近波阻抗值较低, 反映储层发育; 而 S23 井南东地区, 波阻抗值较高, 反映储层发育相对较差。

2.4 Jason 反演技术

Jason 反演技术的原理是利用井旁地震道内插出一个地震数据体, 将内插得的地震数据体与实测的三维地震数据体进行比较, 由于二者的差异得到每个样点的权系数值, 然后逐渐改变每个样点的权系数值, 直到内插的数据体与实测的三维数据体吻合, 从而求取一个权系数体, 再利用已知井的结果, 通过权数据体约束反演, 内插、外推得到各种结果, 如波阻抗、孔隙度、含水饱和度等。Jason 反演主要包括: Invertrace 测井约束的地震反演, Invermod 地震约束的测井反演。

利用三维地震保幅数据体和已完钻的 10 口钻井(T401、T402、TK405、TK406、S46、S47、T302、TK303、S61、S62), 用 Jason 软件进行了测井约束的地震反演和地震约束的测井反演。用上述方法对上述钻井进行分析, 约束井的吻合率为 80%, 检验、预测井的吻合率为 76%。

总之, 通过几年的实践, 已初步形成了一套适合于塔北地区碳酸盐岩储层预测的地球物理方法技术, 主要是相干体、振幅提取、测井约束的地震反演和地震约束的测井反演等。每一种方法都有其自身的适用性, 同时也存在一定的局限性。因此, 必须坚持多参数综合评价的方针。

碳酸盐岩有利储层的地球物理特征一般表现为, 低波阻抗(低速度)、低振幅、弱相关性, 较低的频率等^①。

① 林忠民、罗宏、王士敏、沈林克等, 塔里木盆地沙雅隆起油气勘探靶区研究, 1999。

碳酸盐岩储层预测的地球物理方法已经在塔河油田奥陶系油气藏的评价和滚动勘探开发中发挥了重要作用。

3 钻井、测井及储层改造工艺技术

钻井、测井及储层改造等工艺技术的进步,极大地促进了塔河油田奥陶系碳酸盐岩超亿吨级油气藏的发现、评价和滚动勘探开发。例如,代表钻井技术发展趋势的欠平衡钻井技术的应用,有效地防止了地层漏失,保护储层,利于发现低压储层,提高机械钻速,对于裂隙发育、压力敏感的碳酸盐岩地层具有突出的优越性。又如,斯伦贝谢公司的全井眼微电阻率扫描测井(FMI)、偶极横波成像测井(DSI)、核磁共振成像测井(CMR)以及方位电阻率(ARI)成像测井、综合孔隙度岩性测井(IPLT)等新技术的应用,解决了常规测井手段所难以解决的问题:裂隙发育方向、裂隙的开启程度和连通性、碳酸盐岩储层的定量评价等。限于篇幅,笔者仅介绍储层改造工艺技术在碳酸盐岩大油气藏发现中的作用。

对于岩块孔、渗性差,且非均质性严重的碳酸盐岩的油气勘探,酸化压裂等储层改造技术是非常重要的手段。

西北石油局在1998年至1999年间对塔河油田20口井奥陶系碳酸盐岩进行了25井次的酸化压裂作业。酸化压裂作业分三轮进行:第一轮有7井次:S23井、S62井、S64井、T403井、TK405井、TK406井、T302井;第二轮有4井次:TK404井、TK406井、TK408井、TK409井;第三轮共有14井次:T302井、TK304X井、TK305井、T403井、TK405井、TK406井、TK410井、TK411井、TK413井、S61井、S65井、S66井、S67井、S70井。在这20口井中,有16口井取得了良好效果,取得了工业产能;有3口井效果不明显,有1口井(S70井)尚待进一步作业。由此可见,酸化压裂的效果达到80%以上。

S23井是塔河油田第一口实施酸压作业的井,该井位于艾协克构造的东部,是1990年完钻的老井,尽管钻井过程中在奥陶系曾发现较好的油气显示,但当时在裸眼测试中未获工业油气流,测试评价为干层。该井于1998年12月6日至12月27日对奥陶系5420~5480 m裸眼井段进行酸化压裂作业,5 mm油嘴求产,产油68.26~75.26 t/d,产气16762~21791 m³/d。从而,使“沉睡”了8年之久的老井获得了解放。该井在奥陶系的突破,不仅对评价该区奥陶系有重要意义;更为重要的是:对奥陶系碳酸盐岩,常规测试不出油的井,不能轻易下“干井”的结论,更不能因此否定该井所在的区块。

截止2000年2月,塔河油田奥陶系共完钻36口井,其中测试直接获工业油气流的井10口;测试不出油,经酸化压裂后获工业油气流9口;完井后直接酸压获工业油气流者6口;酸化压裂后目前还未获工业油气流的井3口;测试未获工业油气流、未进行酸化压裂者1口;另有7口井正在进行或待进行测试或酸化压裂作业(表1)。

从表1可见,在完钻后经测试及酸压的29口井中,获工业油气流的井25口,占总井数的86.2%;其中经酸化压裂后出油的井有15口,占总井数的51.7%,占出油井数的60.0%。由此可见,酸化压裂在塔河油田奥陶系超亿吨级大型油气藏的发现和评价中的重要作用。

表 1 塔河油田奥陶系测试、酸压成果统计

Table 1 The statistic results of the testing and acid-pressing on Ordovician in

Tahe oil field

	测试直接获工业油 气流	测试不出油, 酸压 后获工业油气流	完井后直接酸压获 工业油气流	酸压后尚未获工业 油气流	测试未获工业油气 流, 未经酸压
井号	S46、S47 S48、S60 T301、T302 T401、T402 TK407、TK412	S23、S61 S64、S66 T403、TK404 TK405、TK408 TK409	S65、S67 TK410、TK411 TK413、TK305	S62、TK406 TK304X	TK303 (转产 C ₁)
井数	10	9	6	3	1
比例/%	34.5	31.0	20.7	10.3	3.5
	34.5	51.7		13.8	
		86.2		13.8	

特别需要指出的是, 有 9 口井是在常规测试未获工业油气流的情况下, 经酸化压裂后获得工业油气流的, 若不经酸化压裂, 这些井很可能被看作“干井”。正是由于酸化压裂, 使这一批井得以“解放”, 才有可能使我们逐步认识到, 塔河油区奥陶系油气藏不是彼此孤立的中小型油气藏, 而是大面积连片分布的、大型至特大型油气藏。下列依据支持这一认识:

(1) 在塔河油田奥陶系油气藏及其外围近 500 km² 范围内, 已完钻井经测试 (含酸化、压裂) 的 29 口井中, 获高产或工业油气流的井有 25 口, 勘探成功率达 86.2%; 并且, 在未获工业油气流的几口井中也见不同程度的油气显示, 即没有真正意义上的“干井”。这充分表明该区是大面积连片含油。

(2) 由于在塔里木奥陶系第一个油气勘探高潮期 (1984 ~ 1990) 尽管打了很多出油井, 勘探成功率也较高, 初产一般都较高; 但经试采, 绝大多数都是“高产即逝的短命井”。因此, 人们很自然地担心在奥陶系油气勘探的第二个高潮中所发现的塔河油田奥陶系油气藏是否也会有同样的命运。两年多的试采表明, 大多数油气井是高产、稳产的, 沙 48 井便是典型实例。该井自 1997 年 10 月试采以来, 至 1999 年 12 月已累计产油 32.24×10^4 t, 平均日产量达 410t。截止 1999 年 12 月, 该油藏已有 22 口井系统试采, 投产初期有 15 口井日产量大于 100t, 到 1999 年 12 月仍有 14 口井日产量大于 100t; 而且在同一工作制度下, 有的井 1999 年 12 月的日产量较投产初期有所增加 (如 TK410、TK411、TK412 等井); 此外在试采的 22 口井中, 累计产量超过 1×10^4 t 的有 14 口井 (在 1984 ~ 1990 年奥陶系油气勘探第一个高潮期, 绝大多数井试采不到 1×10^4 t 即停喷), 其中有 5 口井的累计产量已超过 5×10^4 t (表 2)。

(3) 油气柱的高度远远大于潜丘圈闭的幅度, 例如塔河 3 号潜丘圈闭 (即艾协克或艾协克 1 号构造) 闭合幅度 60 m, 该圈闭上的 T302 井试油揭示的油藏底界为 5682 m, 油柱高度达 304.5 m; 该圈闭上的沙 70 井录井见到良好油气显示的最大深度为 5681 m, 油柱高

表 2 塔河油田奥陶系油藏 3、4 号区块及外围试采成果

Table 2 The production of Ordovician pools around & in No.3,4 block of Tahe oil field

井 号	投产日期	油嘴口径 mm	投产初期日产量				油嘴口径 mm	目前日产量				累计产量			
			油 t	气 m ³	水 m ³	综合含水 %		油 t	气 m ³	水 m ³	综合含水 %	油 t	气 m ³	水 m ³	
S23	98.12.25	5	71.62	21791	17.3	18.00	5	35.25	41400	0.97	3.0	14161.97	0.11	2308.2	
S46	98.07.21	8	22.00	15000	1.3	5.00	10	35.35	22500	0	0	20220.6	0.106	1414.5	
S47	97.11.07	7	114.66	60000	2.7	2.00	9	153.74	87000	0.10	0.1	76315.0	0.46	488.9	
T301	98.10.05	7	120.00	52000	1.2	0.30	6	64.17	70500	0	0	27927.8	0.177	68.0	
T302	98.09.03	8	25.90	17282	3.1	9.00	8	12.01		5.60	28.2	4686.1	0.02	872.2	
TK305	99.11.01	6	57.53	61183	0	0	6	40.81	48500	0.05	0.1	1428.0	0.016	1.4	
S48	97.10.26	9	380.00	14200	0	0	14	599.06	20300	0	0	322557.3	0.175	66.3	
T401	98.10.14	8	266.76	16638	0.1	0.05	8	232.88	15200	0.11	0.1	91939.8	0.03	109.9	
T402	98.12.14	10	187.82		0.8	0.40	8	100.60	5700	40.43	31.4	49746.1	0.008	10997.0	
T403	99.09.27	7	160.00	3453	0.3	0.16	7	140.98	3000	0.01	0	12051.9	0.0026	5.8	
TK404	99.07.29	6	200.00	7428	0	0	11	498.62	28200	0	0	44794.8	0.02	0.2	
TK405	99.05.16	3	22.93		0	0	4	17.20		5.10	22.0	1032.7		1164.3	
TK407	99.06.27	8	244.86		34.9	12.00	10	330.40	18000	0	0	58068.3	0.025	282.4	
TK408	99.08.07	8	287.90	16896	0	0	9	325.50	15100	0	0	38156.4	0.021	0	
TK409	99.07.29	6	117.09		1.9	1.50	8	255.81		0	0	32844.2	0.003	12.2	
TK410	99.10.2	6	160.80		0	0.03	6	217.03	13000	0	0	12870.3	0.0046	2.5	
TK411	99.11.19	6	165.54	10354	14.2	7.60	6	179.14	11100	3.18	2.0	5420.4	0.0032	39.8	
TK412	99.11.26	8	339.62	22982	1.2	0.30	8	360.00	22000	0.30	0.1	7004.7	0.0041	3.1	
S64	99.05.28	10	22.52		1.4	6	10	10.74		2.30	16.8	2786.5		297.1	
S65	99.09.04	8	336.36		1.1	0.32	8	252.60		0.10	0	24003.5	0.0003	0	
S66	99.10.25	6	48.79		0	0	6	28.05		0	0	1492.1		0	
S67	99.11.19	8	470.81		0.8	0.16	8	470.00		0.93	0.3	8789.6		17.4	

度达 255 m。又如塔河 4 号潜丘圈闭（即艾协克西或艾协克 2 号构造），其闭合幅度为 50 m，该圈闭上的 TK404 井试油揭示的油藏底界为 5613 m，油柱高度达 203 m；该圈闭上的 TK409 井录井见到良好油气显示的最大深度为 5659 m，油柱高度达 240 m。再如塔河 6 号区块上的牧场北 2 号圈闭，其闭合幅度仅 30 m，其上的沙 66 井揭示的油柱高度达 209 m；牧场北 3 号圈闭，其闭合幅度 60 m，其上的沙 67 井试油揭示的油柱高度达 216 m。总之，塔河油田奥陶系油气藏的油柱高度远远大于局部圈闭的闭合幅度，表明大面积连片含油的特征。

（4）油气分布不受潜丘圈闭控制，即油气不仅分布于潜丘圈闭范围内，在两潜丘间的低部位也有油气分布。例如，沙 61 井及沙 64 井，该两井在 T_1^0 构造图上均处于低凹部位，其中沙 61 井在取芯过程中见各种级别的油气显示 14.50 m，测井解释裂缝含油气层 4 层 63.5 m。1999 年 10 月 29 日对 5467.5 ~ 5540.0 m 裸眼井段进行酸压作业，获日产原油 47.0 m³。沙 64 井取芯获各种级别的油气显示 20.38 m，测井解释含油气层 4 层，厚 49.0 m。1999 年 5 月 20 日对奥陶系裸眼井段 5435.38 ~ 5600.00 m 进行酸压作业，获日产原油 53.0 m³。这两口位于低部位的井获得突破，反映了油气分布不完全受控于潜丘的局部高点，并主要与储层发育程度有关。塔河地区处于古岩溶平缓的斜坡及残丘位置，是古岩溶最为发育、且溶蚀缝洞保留几率最高的地区，因此该区具有整体含油的特征。

综上所述，多年的勘探实践表明，塔里木盆地奥陶系油气资源潜力大、成藏条件好，是寻找“古生古储”型原生大油气藏的重要层位。目前，已在塔北沙雅隆起阿克库勒凸起南坡发现塔河油田奥陶系大型油气藏，已上交探明及控制储量近亿吨，预测油气地质储量达 5×10^8 t，很可能培育成第一个与巨大的塔里木盆地相称的特大型油气藏。在该油藏的评价过程中，地质科技和地球物理预测碳酸盐岩储层技术，以及储层改造等工艺技术的进步起了重要作用。

参 考 文 献

- [1] 叶德胜，周稼康．塔里木盆地形成大-巨型油气藏的石油地质条件．石油与天然气地质，1991，12（1）
- [2] 谢晓安．论塔北隆起形成大油气田的石油地质条件．新疆石油地质，1986，7（2）
- [3] 张恺．论塔里木盆地类型、演化特征及含油气远景评价．石油与天然气地质，1990，11（1）
- [4] 蒋炳南等．塔里木盆地油气聚集条件的复杂性．见：康玉柱等主编，塔里木盆地油气勘查文集．乌鲁木齐：新疆人民出版社，1994
- [5] 叶德胜．塔里木盆地油气勘探的复杂性．见：康玉柱等主编，塔里木盆地油气勘查文集．乌鲁木齐：新疆人民出版社，1994

Science and technology further the discovery of ordovician oil and gas pool over-hundred millions ton in Tahe oil field

Zhang Ximing Ye Desheng Lin Zhongmin

(Academy of Designing and Planing, NW Bureau of Petroleum Geology, CNSPC)

Abstract: In Tarim Basin, explorational works for several years have proved that Ordovician 's hydrocarbon resources have huge potential, and pool-forming condition is good. Ordovician is important formation to discover large primary oil and gas pool of fossil source bed and fossil reservoir. At present, huge hydrocarbon potential and better reservoir-forming condition of Ordovician system have been confirmed. A few years exploration efforts in Tarim Basin, which is a major horizon for discovering large oil and gas field of "source bed is older stata, reservoir is also older" type pool. At present, Ordovician pool of Tahe oil field that was discovered in Southern slope belt of Akekule uplift in Northern Tarim Basin, which will be becoming first large hydrocarbon field that is qualified for giant Tarim Basin.

The important role of progress for science and technology that had been applied to predict carbonate reservoir and improving reservoir quatity etc. is discussed during discovering and evaluation oil field period.

Key word: Progress of science and technology Tahe oil field Ordovician oil and gas reservoir
Predict carbonate reservior Improving reservoir