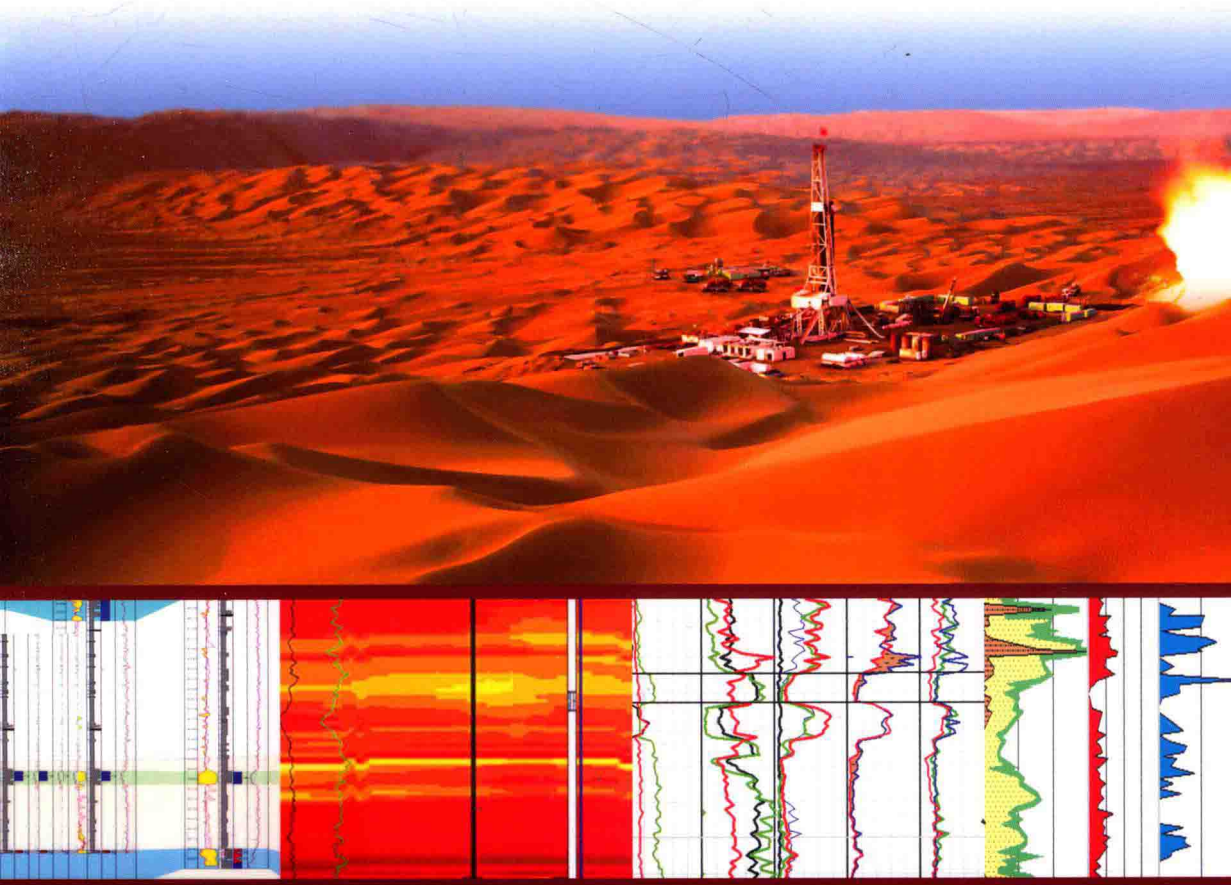
塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书（卷十五）
TALIMU YOUTIAN CHAOSHEN YOUQI KANTAN KAIFA LILUN YU JISHU CONGSHU

超深复杂油气藏录井技术

CHAOSHEN FUZA YOUQICANG LUJING JISHU

王清华　郭清滨　王国瓦　等著



石油工业出版社

塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书(卷十五)

超深复杂油气藏录井技术

王清华　郭清滨　王国瓦　等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在简述塔里木油田的录井概况以及通过自主创新及集成应用形成的超深复杂油气藏录井技术、录井面临的挑战及技术展望的基础上，重点阐述了塔里木油田超深层录井关键技术、定量解释与评价录井技术、安全及优化钻井录井技术及录井信息化技术的原理、方法和应用，并介绍了应用上述录井技术在超深复杂油气藏的发现、评价方面取得的效果。

本书适用于油田录井科研人员和从事现场综合录井的技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

超深复杂油气藏录井技术/王清华等著. —北京：石油工业出版社，2017.7

(塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书)

ISBN 978-7-5183-1834-6

Ⅰ.①超… Ⅱ.①王… Ⅲ.①复杂地层-地层油气藏-超深井-录井-技术 Ⅳ.①TE242.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 060916 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

编辑部：(010)64523535 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

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：14.75

字数：374 千字

定价：130.00 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

《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》

编　委　会

主　　任：王招明

副 主 任：田　军　江同文

编　　委：（以姓氏笔画为序）

王振彪　王清华　龙　平　杨向同

杨海军　肖又军　肖承文　汪如军

宋周成　张福祥　胥志雄　梁向豪

廖　涛　滕学清

《超深复杂油气藏录井技术》
编 写 组

组　　长：王清华　郭清滨

副 组 长：王国瓦　李文华

编写人员：（以姓氏笔画为序）

王　海　王朝辉　王　锋　史鸿祥

吕　君　刘　波　李　新　邱　斌

汪德刚　张建良　陈　慧　周丽华

郑鹏飞　胡　伟　胡剑风　侯向辉

黄新林　葛盛权　韩战国　雷　军

熊方明

序

位于中国西北部的塔里木盆地是一个超深、复杂的叠合盆地，发育了多套烃源岩及优质储盖组合，具备形成大型油气田得天独厚的石油地质条件，但地下情况复杂，需要勘探开发工作锲而不舍，攻坚克难，不断战胜挫折，不断解放思想，才能逐步取得重大的胜利。因此，塔里木盆地既像一个带刺的玫瑰，又似光辉熠熠的聚宝盆镶嵌在祖国的西部边陲。

在盆地北部库车地区3500～4000米的中浅层，经历多次勘探失败与突破，克拉2大气田的发现创造了塔里木油气勘探开发的辉煌，促成了西气东输工程，惠及沿途10省（自治区、直辖市）亿万人民，推动了我国21世纪天然气工业的快速发展。

塔里木盆地是西气东输的源头，是“新疆大庆”建设的主战场，是稳疆固边的前沿阵地，塔里木盆地的油气勘探开发是我国发展西部战略的主体工程，塔里木盆地的油气勘探开发备受中国乃至世界瞩目。

塔里木盆地的最大特点是油气层埋藏超深，库车、塔北及塔中主力油气层埋深一般大于6000米，目前发现的油气藏，最深的气藏是克深9气藏，已探明天然气地质储量548亿立方米，气藏埋深7600米。克深902井完钻深度8038米，在7813～7870米储层，6毫米油嘴日产天然气45万立方米。最深的油藏是富源1井，储层为缝洞型碳酸盐岩，井深7712米，日产轻质油86吨，天然气2.89万立方米。

“十二五”期间，塔里木油田最大进展是超深领域油气勘探开发的进展。这期间塔里木油田坚持库车、塔北、塔中三大阵地战，解放思想，创新思路，集中了全国的深井钻机，2015年油田超过7000米的深井钻机达到132台，投入工作量大，大于6000米的超深井逐年增多，2014—2015年大于6000米的超深井达到92%（2014年、2015年大于6000米的探井分别完钻53口、39口），在超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域实现重大突破：6000米以深发现探明了比克拉2大三倍的克深万亿立方米大气田；发现开发了哈拉哈塘奥陶系碳酸盐岩大油田，已经控制含油面积大于4000平方千米；发现了塔中奥陶系碳酸盐岩大型凝析气田（探明天然气地质储量近4000亿立方米，凝析油储量2亿吨）；并在寒武系盐下、东部奥陶系碳酸盐岩实现了战略突破。这些成果的取得，夯实了西气东输的战略资源，为塔里木油田的发展奠定了坚实的基础。

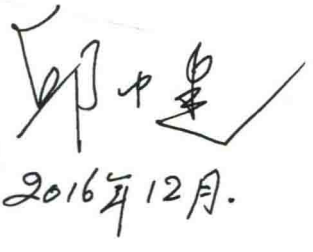
近十年来，通过国家重大科技攻关示范工程的实施，特别是2010年中国石油天然气集团公司实施塔里木重大科技专项以来，实现了超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域油气地质理论的创新，形成了超深领域的油气勘探开发技术系列，同时该领域已经成为我国乃至全球油气勘探开发的重要接替领域。在这个承前启后的时间节点上，塔里木油田的科研工作者系统总结了超

深领域的理论与技术成果，形成了这套《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》，这对进一步指导塔里木油田超深领域的油气勘探开发和前陆盆地、海相克拉通、复合盆地的油气勘探开发都有重要的意义。

作为曾经参与塔里木石油会战的老石油人，我为塔里木油田取得的成绩感到由衷的骄傲和欣慰，也为塔里木油田走向新的成就而深信不疑。

《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》全面系统总结了近十年来，特别是“十二五”期间取得的勘探开发成果、超深领域石油地质理论技术的创新成果和勘探开发实践认识。丛书共15卷，涵盖了库车前陆盆地超深油气地质理论与勘探实践、前陆冲断带超深复杂构造山地地震勘探技术、前陆冲断带超深复杂地层钻井技术、前陆冲断带超深裂缝性砂岩气藏测井评价技术、前陆冲断带超深高温高压砂岩气藏完井与储层改造技术、超深高温高压裂缝性砂岩气藏开发机理与应用、牙哈凝析气田循环注气开发实践及开发规律、超深缝洞型海相碳酸盐岩油气地质理论与勘探实践、超深海相碳酸盐岩地震勘探与缝洞雕刻技术、超深缝洞型碳酸盐岩钻井技术、超深缝洞型碳酸盐岩油气藏测井评价技术、超深缝洞型碳酸盐岩油气藏完井与储层改造技术、超深缝洞型海相碳酸盐岩油气藏开发技术、超深滨海相砂岩油藏开发实践与提高采收率技术、超深复杂油气藏录井技术等。这些成果的取得是27年来塔里木石油工作者在荒凉沙漠上辛勤奉献的智慧结晶，是近十年来塔里木油田勘探开发成果的集中体现，是塔里木石油人打造“百年塔里木”和“十三五”时期建设3000万吨大油气田目标的技术保障和有效的智力支撑。

读完全书，掩卷沉思。深深地感到这套丛书是科研与生产紧密结合的成果，既是塔里木油田近期勘探开发成果的总结，又是超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域石油地质理论与技术的总结，也是塔里木油田多年来勘探开发实践的总结。书中有克深万亿立方米大气田、哈拉哈塘大油田、塔中大型凝析气田的勘探开发成果；有新理论、新技术、新方法；有战例、有经验、有启示。当前，塔里木盆地的油气勘探开发正如火如荼，超深领域的油气勘探开发理论与技术创新日新月异，我期待塔里木油田在新阶段的勘探开发、理论技术创新中取得更加重要的成果，也希望这套丛书既能够成为从事塔里木盆地勘探开发科研、生产、管理工作者的工具书，也能够作为广大从事油气勘探开发科研、生产、管理人员的参考材料，还能被选为石油、地质大中专院校学生的参考书，为各条战线上的石油人提供有益的信息。



前　言

塔里木盆地是一个古生代海相克拉通与中—新生代陆相前陆盆地组成的叠合复合盆地，经历了多期构造运动，造成油气成藏期次多、油气藏类型多，钻井过程中油气显示及时发现及工程事故预防困难。尤其是近几年，油田勘探开发逐步向深层、超深层拓展，录井作为现场油气发现、工程事故预防的重要手段，面临的挑战日益增大。

“十二五”期间，为了应对复杂的勘探开发对象，塔里木油田组织相关管理与技术人员开展了一系列的新技术引进与技术攻关，在不断引进借鉴国内外先进技术的基础上，紧密结合油田钻井实际进行自主创新、集成应用，逐步形成了“超深层盐底卡层技术”“智能工程录井预警技术”“超深、复杂井录井解释与评价技术”“综合录井信息化建设”等一系列具有塔里木特色的深层、超深层录井采集、解释与工程录井预警技术，有效地支撑了油田油气储量高峰增长及油气快速上产。

本书共分五章，主要由中国石油塔里木油田公司的相关人员编写，全书由王国瓦负责统稿并编写各章无题序，郭清滨负责初审，王清华负责终审，特邀请长城钻探工程有限公司录井公司倪有利专家进行了全书外审工作。其中：第一章由李文华和王国瓦编写；第二章第一节由王国瓦编写，第二节由吕君编写，第三节由王海编写，第四节由黄新林编写，第五节由雷军编写，第六节由李新编写；第三章第一至第四节由周丽华编写，第五节由陈慧编写；第四章第一至第四节及第六节由刘波编写，第五节由王海编写；第五章由韩战国编写。

塔里木盆地深层、超深层录井技术的攻关是在中国石油勘探与生产分公司的指导下完成的，中法渤海地质服务有限公司、中国科技集团第二十二研究所、渤海钻探第一录井公司、北京奥意尔工程技术有限公司、新疆中油大诚油气技术有限公司和北京和谐致远科技发展有限公司等多家单位参与了快速定量气测技术、智能工程预警、油气层解释评价、超深层盐底卡层和综合录井信息化建设等技术攻关，在此一并表示感谢！

本书作者主要为生产一线技术人员，由于水平有限，书中观点难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

2016 年 7 月 4 日

目　录

第一章　概述 …… (1)

第一节　塔里木油田录井技术发展概况 …… (1)

第二节　塔里木油田录井技术攻关及管理模式创新 …… (2)

第三节　塔里木油田录井技术面临的挑战及技术展望 …… (6)

第二章　超深层录井关键技术 …… (13)

第一节　快速定量气测技术 …… (13)

第二节　核磁共振录井技术 …… (26)

第三节　X 射线元素录井技术 …… (43)

第四节　空气钻井录井技术 …… (64)

第五节　定录一体化技术 …… (75)

第六节　智能工程录井预警技术 …… (85)

第三章　录井配套技术的定量解释与评价 …… (105)

第一节　录井资料解释流程 …… (105)

第二节　配套录井技术解释评价方法 …… (107)

第三节　超深层低孔砂岩气藏录井及解释评价技术 …… (120)

第四节　超深缝洞型碳酸盐岩油气藏录井及解释评价技术 …… (133)

第五节　水淹层解释评价技术 …… (145)

第四章　超深层油气藏安全及优化钻井 …… (149)

第一节　地层压力监测 …… (149)

第二节　钻井起下钻监测 …… (165)

第三节　优化钻井参数 …… (169)

第四节　工程异常预报和事故隐患预测 …… (179)

第五节　超深层盐底卡层 …… (184)

第六节　工程异常预报典型实例 …… (194)

第五章　录井信息化技术 …… (201)

第一节　实时录井远程传输系统 …… (201)

第二节　地质录井数据库 …… (210)

参考文献 …… (223)

第一章 概 述

塔里木油田的勘探开发面对超深、超高压、高含硫和地质构造特征复杂的世界级难题，而钻井技术的不断进步，给录井技术带来了空前的挑战。近10年间，塔里木油田对录井技术进行有针对性的和系统化的攻关，形成了以“钻井安全保障”、“油气发现和卡层”、“系统解释评价”录井技术体系。同时，录井管理模式的创新，提高了录井工作的运行效率和录井资料的应用水平，为勘探开发生产决策和增储上产提供了有力的支持。

第一节 塔里木油田录井技术发展概况

自1989年塔里木油田会战伊始，以勘探发现为主导的录井技术服务就加入轰轰烈烈的大会战之中，伴随塔里木油田勘探开发的快速发展，塔里木油田的录井技术取得了长足的进展，队伍也得到了壮大。

塔里木油田会战之初，鉴于当时国内录井技术的制约，以及录井单纯服务于油气发现的理念，录井仪器主要以国产气测录井仪为主导，如SQC－701型气测仪等，同时引进了少量的当时国际上较先进的法国GEOSERVICES公司生产的TDC综合录井仪和SLZ－1等型号的国产综合录井仪。

20世纪90年代初期，在塔里木油田参加录井技术服务的队伍有30多支，录井仪器中关键的气体分析仪以热导气相色谱仪为主。90年代中后期，随着计算机技术的飞速发展，国内外录井技术也得到迅猛发展，国内涌现出一批低成本高性能的综合录井仪制造企业，传统的单纯服务于地质工程的“气测录井”迅速被“综合录井”所取代。90年代中后期，随着塔里木油田向超深层勘探展开，面对超深、超高压、高含硫和地质构造特征极其复杂等世界级勘探开发难题，对传统的综合录井提出了更高的服务要求。这一时期，塔里木油田录井服务市场气测录井由于服务项目单一，不能满足勘探开发钻井过程中的生产需求而逐渐退出，单一的地质录井服务全面转向高自动化以及多功能的综合录井技术服务。

21世纪以来，塔里木油田开始全面转向超深层勘探开发，库车前陆区超深层碎屑岩油气藏和台盆区超深层碳酸盐岩缝洞型油气藏成为塔里木油田的两个主攻方向。它们的地质、构造特征以及储层流体性质迥异，对录井技术服务需求各不相同，同时，随着钻井技术的不断进步，如垂直钻井技术、顶驱设备、井下动力工具、油基钻井液、特种PDC等型号钻头的全面使用以及气体钻井技术的应用等，给综合录井技术带来了空前的挑战，也促使录井技术向有针对性的、系统化的专业技术服务快速发展。

这一时期，综合录井队伍迅速扩充，设备得到全面更新，代表国际先进录井技术的法国Geoservices公司生产的ALS－2、美国Harlliburton公司的SDL－9000型等设备大量引进使用。同时，国内综合录井生产设备厂商也得到快速发展，研发和系统制造综合录井仪器的能力不断提升，设备更新速度加快，设备技术性能指标接近国际先进设备，有些性能指标还有超越，具有

代表性的有 DML,SnowWolf,CMS 和 WellStar 等。至 2010 年前后,随着勘探开发工作量的提升,在塔里木油田服务的综合录井队伍已经达到 70 余支,使用的设备以国内外主流设备为主,并且在后期的生产服务过程中不断更新换代,满足了塔里木油田勘探开发的需求。

与此同时,随着国民经济的发展,社会对安全环保的日益重视,“安全发现”“健康环保”等理念逐渐深入油田勘探开发生产的各个环节,综合录井作为现场唯一具有实时监测功能的先进技术,其重要性凸显而出。录井由单纯的“捞岩屑”“看气测”等简单的技术服务,转向了以“保安全环保”“重发现”“提决策建议”等为目标的系统的专业化技术服务。工程参数监测和异常预报,尤其是对井喷的早期预警,为及时处理各类工程复杂、避免事故发生、加快勘探开发钻完井进程提供了强有力的技术支撑。

以“安全勘探开发”为理念,在现场的钻井施工过程中,录井为塔里木油田每一个油气藏的发现都留下了浓墨重彩的一笔。

第二节　塔里木油田录井技术攻关及管理模式创新

一、强化技术攻关

塔里木油田勘探开发由寻找相对较浅的大型碎屑岩均质孔隙型构造油气藏逐渐向超深的裂缝型、孔洞型非均质油气藏转变,这对录井技术与设备的要求日益增高,并且超深层油气藏具有超高压、高含硫等特征,给安全钻井也带来了极大的风险,由此,录井技术针对勘探开发不同阶段的需求而不断进步,设备不断更新。尤其是在近 10 年间,塔里木油田强化录井技术的针对性和系统化攻关,基本形成了以“钻井安全保障”“油气发现和卡层”“系统解释评价”为代表的“三足鼎立”的系统化的录井技术体系,为解决超深层勘探开发地质、钻井问题提供了更有利的保障和支持。

1. 录井装备

近 10 年来,为了满足生产需求,录井队伍迅速扩充,由 2005 年的 59 支综合录井队增加到 2014 年最多时候的 134 支(2015 年 129 支),增幅达 127%。2010 年以后,由于国内综合录井制造技术的不断发展和提升,性能优越、价格适中的国产综合录井设备得到普遍应用,其数量占比明显增加,由表 1 - 1 可以看出,进口设备所占比例由 2010 年的 75.6% 下降至 2015 年的 53.5%。

表 1 - 1　综合录井队伍数量统计表

项目 \ 年度	2005 年	2010 年	2015 年
录井队数量,支	59	82	129
进口设备数量,支	42	62	69
进口设备占比,%	71.2	75.6	53.5

注:进口设备含国内合资制造的设备。

综合录井在油田的勘探开发技术服务过程中,为了满足生产过程中不断出现的新问题,录井设备也在不断进行升级改造,录井硬件的改造主要集中在气相色谱仪、传感器、计算机和采

集系统。目前，塔里木油田普遍使用的气相色谱仪分析精度高（C_1 的最小检测浓度达 10×10^{-6}），并且 90% 以上的设备都装备了快速色谱仪，分析周期可达 30 ~ 45s（分析到 $n-C_5$）。此外，外部传感器的性能也得到全面提升，近年来，除了个别主要传感部件需要进口以外，其余大多传感器都使用了国产化部件，其性能可靠稳定，使用和维护简单，已完全能满足录井生产的需求。

2. 智能工程录井预警技术

超深层勘探开发具有储层压力高、裸眼段长、井控风险高的特征，在中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司支持下，塔里木油田组织开发了智能工程录井预警系统，目前已在塔里木油田全面推广应用。智能工程录井预警系统应用独有的录井参数处理方法，建立了特有的多参数预警模型，解决了微小参数异常和无法多参数联合判断的问题，预警更及时、准确，同时，避免了由于现场技术人员经验不足而造成漏报、误报异常现象的发生。该项技术的推广应用有效降低了钻井施工过程中复杂事故的发生和损失扩大的概率，尤其是对超深层高压储层井控风险的早期预警，确保溢流早期发现，为及时处置争取到了宝贵的时间，有效降低了井喷失控发生的概率，经济效益和社会效益十分显著。

3. 综合录井技术

准确卡取地层层位、及时发现和解释评价油气层是录井服务于地质的核心任务。综合利用录井技术在台盆区超深层碳酸盐岩孔洞型储层顶部中完卡层、库车山前超深层盐下中完卡层技术已经成熟并应用。针对超薄储层和裂缝性储层油气显示易漏失的特点，已全面推广使用分析周期为 30 ~ 45s 的快速气相色谱仪，确保捕获每一个显示储层。为了提升勘探开发完井效率和效益，开展不同类型超深层录井油气层解释评价技术攻关，目前的基于气相色谱、岩心、岩屑、三维定量荧光、核磁共振资料和参考随钻过程中井漏、溢流及钻井液参数等变化情况的超深层油气层解释评价技术日趋成熟，为完井方案的优化提供了坚强的技术支撑，油田完井试油层成功率逐年提升，促进了勘探开发效益大幅度提高。

二、管理模式创新

塔里木油田从会战之初就实行甲乙方管理模式，推行“双赢”策略，积极鼓励乙方录井公司引进先进技术，并与具有研制能力的录井公司合作，立足问题导向、生产导向，开展有针对性的生产科研攻关，共同为油田的发展做出积极的努力。

录井技术服务在油田会战的初始阶段采取的是拟标或指派的形式分配作业任务，日费制结算方式，在作业队伍的选择上存在明显的随意性。在塔里木油田的历次机构调整过程中，都曾积极探索过管理模式的变革，先后尝试过单井录井总包、附属在钻井总包内的外包模式等。

对多种工程技术服务承包模式试验之后，分析总结各种模式利弊，重新明确了塔里木油田现阶段综合录井技术服务在油田勘探开发建井过程中的作用：录井是建井过程中实时监测钻井过程的一种手段，能真实再现钻井过程，是现场油气发现最重要和直接的技术之一，能及时发现建井过程中大多数工程异常情况并进行预警，是降低井控风险最有效的预警系统。

管理制度和技术标准建设是行业管理的重点工作之一，近年来，随着油田“合规合法”管理理念的推进，建立了录井承包商考核管理机制、健全完善了录井井控管理细则和相关标准，同时，清理了相关地质、录井标准，并全面开展新标准的制定和老标准的修订工作，制度化建设在不断推进，为合规合法管理提供了依据。

通过对油田现阶段录井服务的全新定位，权衡了多种承包模式的利与弊，确立了目前油田录井服务模式为：招标日费结算制，并不断探索招标方式，采取年度招标、区块招标等多种形式，以增加市场竞争氛围、调动市场活力，不断推进录井技术持续发展与进步。同时，在成熟区块的建井过程中，充分发挥录井队伍（公司）的技术能力，赋予录井队伍更多的责任，以精简油田现场地质和录井管理人员，节约成本。

塔里木油田录井管理模式长期以来都是单一的生产＋行业管理模式，自2011年成立录井解释评价室以后，油田录井管理进入行业管理＋生产管理＋科研（解释评价）的系统运行模式，机构设置更趋全面、合理，建立了完整的录井管理体系，运行效率和效果有很大提高，尤其是填补了长期以来录井资料系统解释评价缺失的短板，使录井成果得到有效应用，为勘探开发生产决策提供了有力的支撑。

录井服务的宗旨是安全发现，并为生产决策提供可信的解释依据、为地质综合研究提供可靠的基础资料，最终达到油田增储上产。近几年来，随着录井管理规范化、质量监控严格化、资料解释应用规模化的不断推进，录井工作取得了可喜的成绩。

近年来，录井作业随着油田勘探开发的大发展，工作量大幅度增加（图1－1、图1－2），变化幅度最大超过70%（录井进尺），通过高效管理和各录井承包商的不懈努力，录井生产平稳运行，全面完成了基础资料的采集任务，并为安全钻井提供了有力的支持。

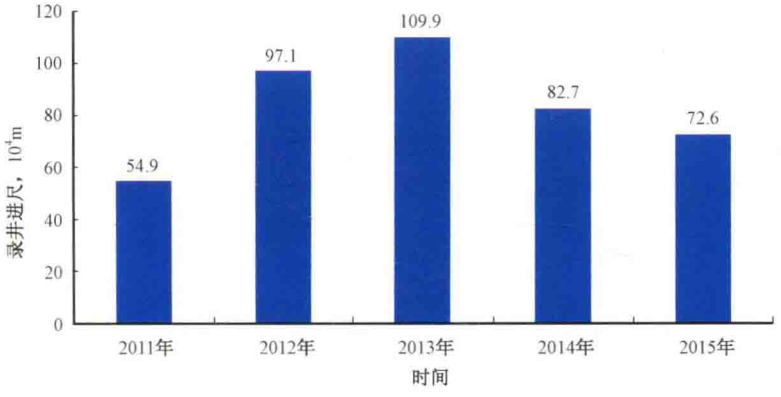


图1－1　2011年至2015年录井进尺统计

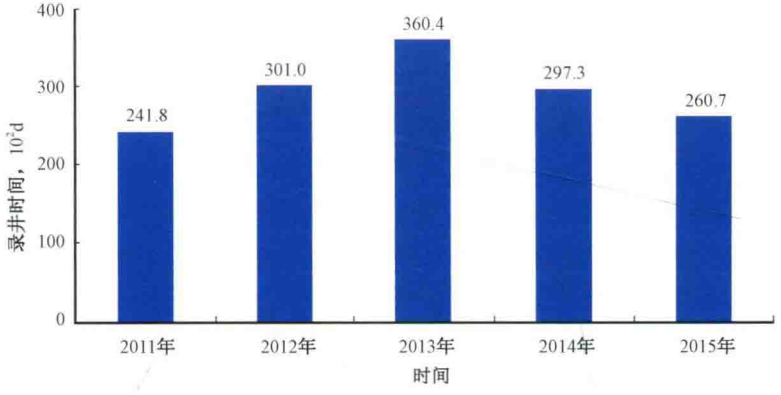


图1－2　2011年至2015年录井作业天数统计

自2011年全面推行智能工程录井预警系统和开展系统的录井油气层解释评价工作以来，工程异常预报的准确率和油气层解释评价的符合率稳步提高，工程异常预报准确率由2011年的86%提升至2015年的92.7%（图1-3），误报率明显下降，说明该系统在塔里木油田的推广使用已经趋于成熟，相信该套系统经过不断完善，操作会更简便、使用会更智能、异常判别会更准确，为安全建井和减少事故复杂损失将发挥更大的作用。录井解释评价工作开展顺利，为油气层的综合评价提供了可靠的依据，解释符合率由2012年的81.5%稳步提升至2015年的83.3%（图1-4）。

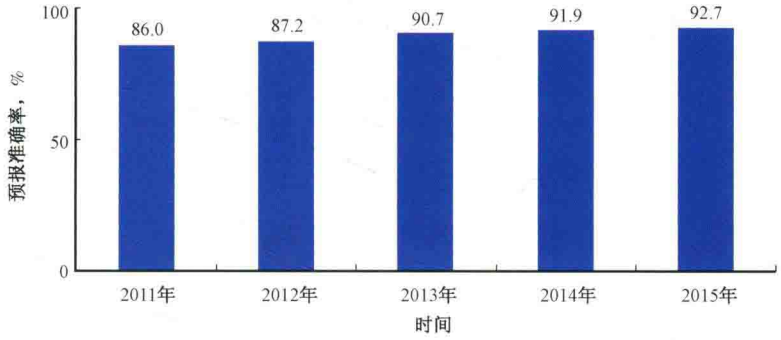


图1-3 2011年至2015年录井工程异常预报准确率统计图

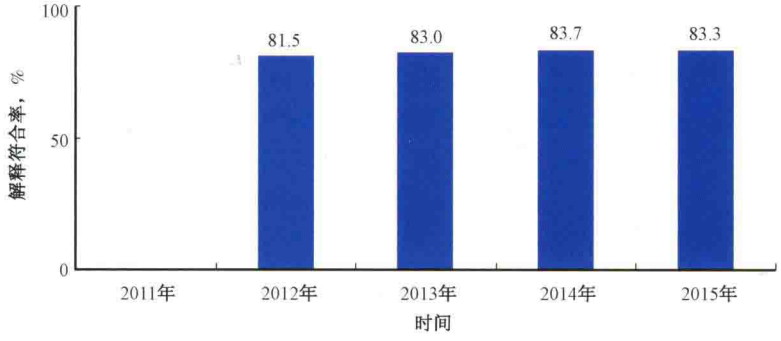


图1-4 2012年至2015年录井解释符合率统计图

从图1-5和图1-6中可以看出，塔里木油田探井成功率和测试成功率指标在近几年也

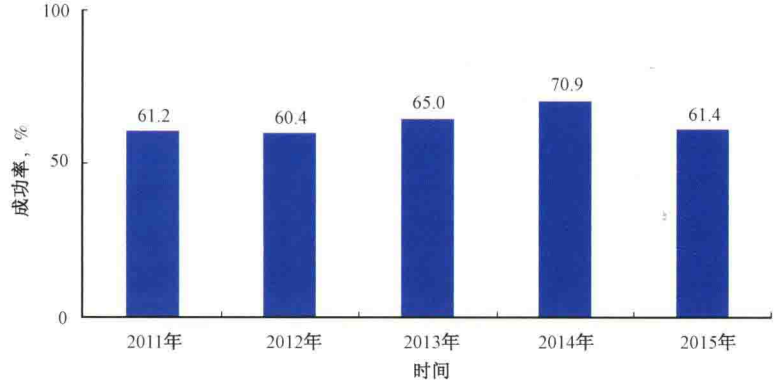


图1-5 2011年至2015年塔里木油田探井成功率统计图

得到稳步提升，所取得的成绩是多专业协同攻关、共同努力的结果，录井技术在其中尤其发挥了积极作用。

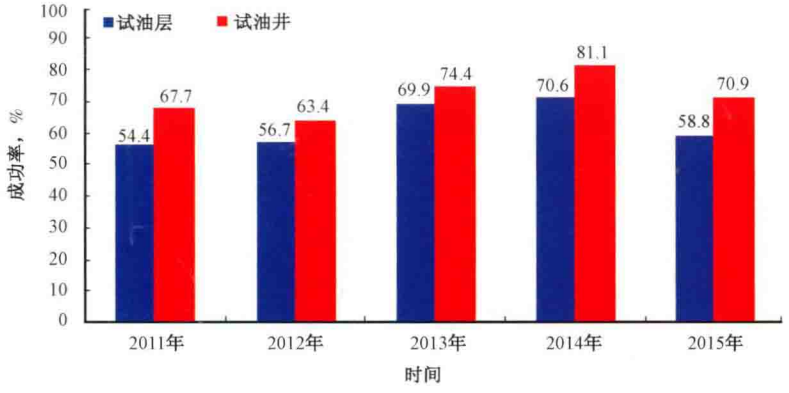


图 1－6　2011 年至 2015 年测试成功率统计图

第三节　塔里木油田录井技术面临的挑战及技术展望

录井技术是石油勘探开发过程中建立岩性剖面并划分地层层系、发现和评价油气层最及时、最直接的手段，同时也是实时监测工程参数、预报事故复杂，为钻井安全施工提供保障的有效方法。随着通信和信息技术的飞速发展，录井技术更成为“井场信息中心”中的重要一环。录井技术既是石油工程技术的核心组成部分，也是油气勘探开发技术的重要组成部分。近年来，以钻井为主的工程技术发展迅猛，录井技术由于管理和其自身存在的局限性，它的发展面临着诸多挑战。

一、塔里木油田录井技术发展现状及制约因素

1. 超深井录井技术取得重大进展

针对日益复杂的勘探开发对象，塔里木油田采取工作量倾斜、调高录井日费等多种措施，鼓励各录井公司引进具有国际先进水平录井新设备、新技术，一大批 SDL9000，DLS，DRILLBYTE，ADVANTAGE，ALS－NET，ALS2. 2 和 ALS3 等国际先进录井设备陆续投入塔里木油田市场。同时，三维定量荧光、核磁共振、地化及快速定量气测等录井配套技术、录井新技术在塔里木油田得到广泛推广和应用，取得了良好的效果。塔里木油田已经成为国内采用录井新技术、新设备种类最多、所占比重最大的油气田之一。

录井工作是油田勘探开发最基础的工作之一。2011 年 3 月 30 日，在油田领导的关心下成立了录井评价室，机构设置在勘探开发研究院测井中心，使油田录井解释评价和技术研究归口管理并常态化开展。近年来，油田的录井技术主要围绕着油气发现、油气藏评价和工程事故预防等方面开展了一系列的技术创新和攻关。

在地层识别和油气发现方面，与生产紧密结合，开展新技术、新方法实验并做好效果评价。其中“X 射线元素录井技术”在台盆区碳酸盐岩潜山面的识别、库车前陆山前钻井现场盐膏层

准确卡取方面取得良好的效果;“快速色谱”“轻烃录井”“3Q05 定量脱气色谱技术”等一批先进的录井技术在油田实验应用,为油气发现助力,实现了油田油气显示发现率 100% 的目标。2014 年完钻的英买 50 井,在非目的层古近系—白垩系 4791 ~ 4823m 发现油气,同年完钻的哈得 251 井,在非目的层白垩系 3685 ~ 3770m 发现油气,这两口井均被 MDT 证实。

在油气藏评价方面,除了应用常规气测资料解释评价储层流体性质以外,还将“核磁共振”“三维定量荧光”等实验室技术搬到录井现场,及时性得到了有效保障。2012—2014 年开展的“核磁共振钻井液录井技术”作为一种新的录井方法在定量检测钻井液中的含油量和含水量方面有独到之处,利用核磁共振录井技术,能够排除钻井液添加剂的影响、检测钻井液中的油和水的变化、评价储层流体性质,最终提高录井技术对储层流体性质识别的准确率。通过攻关,确定了 MR - DF 型钻井液核磁共振分析仪在录井现场最优的分析流程(取样点、取样方式、取样间隔、弛豫剂选择和测量参数),找到了油层、气层、水层的评价方法,制定完善了解释标准。通过 9 口井 4065 个钻井液样品的取样分析、数据处理和解释评价,与试油结果对比,解释符合率达到 85.71%。

在工程事故预报等方面,通过几年的技术攻关,建立了一种石油钻井工程事故预警方法,研发了一套智能工程录井预警系统,实现了钻井工程事故复杂预报的自动化、智能化,将现场事故复杂的预报从人工值守中解放了出来,同时也弥补了专家预报经验难以共享的不足,解决了人工经验判断,准确率不稳定、难以发现细微趋势性异常、缺乏积累、难以分享等难题,有以下创新点:

(1)提出了实时录井参数二次变量数学处理方法,提高了参数异常的识别度,保证了事故复杂预警精度;

(2)建立了基于增一型分层模糊推理方法的预警模型,实现多参数融合分析,有效滤除钻井状态转换等非事故因素引发的参数异常,避免了误报;

(3)实现了预警模型开放式构建和定制过程,使模型具备自修正功能,解决了智能预警技术在超深井钻井复杂、多变的工程条件下的适应性难题。

2014 年 6 月,该项成果通过中国石油和化学工业联合会技术鉴定,认为工程事故复杂智能预警方面达到国内领先、国际先进的水平。该系统已在塔里木油田、吐哈油田和西南油气田等实现规模化应用。其中,塔里木油田已在所有的综合录井仪上安装使用,实现覆盖率 100%,在钻井现场运用中,实现工程事故复杂预报及时率 100%,准确率由应用初期的 86% 上升到 91.9%,确保了钻井安全,提高了勘探效益。

录井新仪器、录井新技术的广泛应用,极大地提高了塔里木油田的录井技术水平,主要体现在以下几方面:

(1)针对裂缝性油气层及越来越快的钻井速度,改进了气测录井的数据采集处理手段,使气测随钻、及时评价油气显示的愿望得以实现。

① 快速色谱技术在塔里木油田广泛推广应用,有近 98% 的综合录井仪采用分析周期小于 45s 的快速色谱分析技术;

② 快速定量气体分析技术在塔里木油田取得较好的应用效果。

(2)大量采用录井配套新技术,近年来,三维定量荧光、核磁共振、地化和快速定量气测等录井新技术的逐步推广应用,使塔里木油田录井的油气层解释评价水平已由定性、半定量水平

逐步提高到定量解释评价的新高度。

(3)工程异常预报技术水平大大提高,智能工程录井预警技术以及钻具振动分析技术等提高了井下钻具事故的预报率、及时率和准确率,有效避免了钻井事故的发生。

(4)建立了远程数据传输系统,实现了直接使用现场录井数据的愿望。

(5)建立了系统化、平台化、标准化的录井资料数据库管理系统及软件开发平台,完成了与数字油田平台的互连互通,实现了完全的数据共享。

2. 制约录井行业发展的因素

就管理方面而言,管理者的思想认识是制约录井行业发展的主要因素。目前,国内录井技术管理体制存在研发力量分散、研发项目重复、高端人才短缺等问题。管理者对录井技术的认识与接受程度不同,个别管理者对录井的认识甚至还停留在原始的捞砂阶段,忽视录井技术在钻井工程方面的作用。比如以压力录井为代表的工程录井技术,在提高钻井综合实效方面作用显著,该项技术在国外应用得很好,但在国内却很难得到推广应用。

国内定额编制存在这样一种现象,“设备比重大、人力不值钱”,即定额的“设备主导型”——设备越贵定额越高,利润越丰厚,人力和技术所占比例较低。而录井恰恰是以技术、高水平技术人员投入为主,设备及材料消耗所占比重小的一个行业,致使录井定额一直偏低。目前,就录井自身而言,由于定额偏低,为完成经营指标和保障员工收入,主要采用压缩人员编制、延长员工劳动时间、聘请廉价劳动力等办法来维持现状。

从录井技术特点来看,录井技术的发展必然要直面“迟到时间”和“多源信息混合”这两大软肋。录井采集信息的还原本真程度决定了录井信息评价的精准程度,而信息的还原受井筒信息演化机理及破岩机理等基础理论认识的限制。从录井技术的发展阶段分析发现,当录井技术在应用中遇到问题时,才会被动地开发或革新技术。比如说,超深井钻探过程中,由于工程的原因影响到油气层的识别,这时就出现了快速色谱、定量荧光、轻烃分析、离子色谱、Flair流体录井等技术。尽管如此,虽然这些技术在油气层识别方面发挥了重大作用,但对油气层的定量解释尚无准确的模型依据,这也是许多关键的录井技术落后于测井技术的根本原因所在。

由于超深井钻井与井筒因素影响,造成岩屑混杂、气测数据定位不准。以岩屑为载体的录井技术,其准确率和符合率的高低取决于岩屑的代表性。同时,录井采集人员的技术水平、责任心等因素也影响着录井数据质量。这些因素造成录井数据的准确性不仅低于石油地质实验室分析数据,并在很大程度上低于测井和试井的原位探测,从而导致录井的大部分作用被限定在钻井周期的时域之内。这也决定了录井在整个油气勘探开发中的产业链相对较短,主要工作还是钻探过程中的服务,一旦油公司需要压缩勘探开发成本,录井行业就会受到较大的冲击,这使得行业的风险承受能力不高。

二、存在的主要问题

1. 录井技术系列尚未确定

目前,录井技术种类繁多,有多种技术解决岩性、地层流体及工程方面的问题,解决同一类问题大多以技术堆砌为主,录井技术多为“锦上添花”,而不是“雪中送炭”,由于在解释与评价精度等方面缺乏准确定位,使得录井技术长期停留在完成资料采集与收集的低水平定位上,对生产问题缺乏认识和研究的手段,决策上自然缺少话语权。针对同一问题的技术重叠应用,导