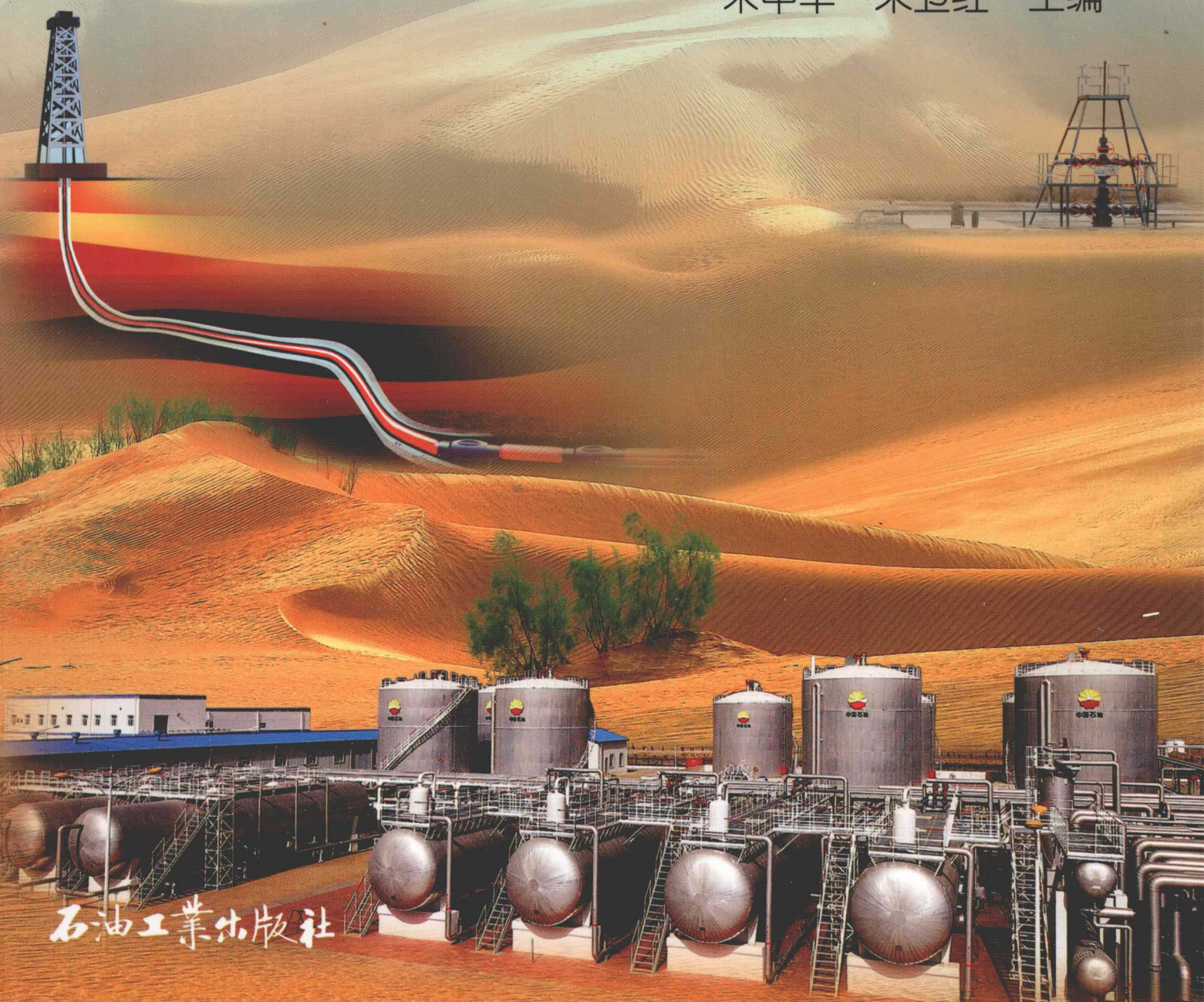




塔里木油气田开发 配套技术汇编

—— 塔里木油田开发事业部成立 20 周年系列专题之三

宋中华 朱卫红 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书分四篇三十二章，从油藏工程、采油工艺、井下作业、地面工程四个方面技术发展的角度，记录和总结了中国石油塔里木油田公司开发事业部 20 年油气开发不同历史阶段具有里程碑意义的开发技术。

图书在版编目 (CIP) 数据

塔里木油气田开发配套技术汇编/宋中华，朱卫红主编.

北京：石油工业出版社，2012.7

(塔里木油田开发事业部成立 20 周年系列专题；3)

ISBN 978-7-5021-9191-7

I. 塔…

II. ①宋…②朱…

III. 塔里木盆地-含油气盆地-油气田开发

IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 168542 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 100011)

网 址：www.petropub.com.cn

发行部：(010) 64523620

经 销：全国新华书店

印 刷：保定彩虹印刷有限公司

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

880×1230 毫米 开本：1/16 印张：24

字数：773 千字

定价：80.00 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

《塔里木油气田开发配套技术汇编》

编 委 会

主 编：宋中华 朱卫红

副主编：单全生 伍轶鸣

编 委：何新兴 汤 益 杨人平 唐全宏 王春生 熊大贵
张明亮 蒋仁裕 范颂文 张文波 罗晓哲 姜德清
毛仲强 柯庆军 刘 勇 钟家维 潘昭才 沈建新
欧如学 陈广明 任东兴 陈 勇 张振华 赵丽宏

《塔里木油气田开发配套技术汇编》

编 写 组

(按姓氏笔画排序)

于志楠	王 玉	王法鑫	王高玺	卢 刚	卢 宇	卢忠沅
田俊艳	田新建	石元龙	任今明	刘 丹	刘 敏	刘慧荣
孙玉国	孙红海	何 燕	何孝斌	吴剑鸣	张 丽	张 亮
张卫贤	张凤波	张建华	张新礼	李 亮	李 洪	李 强
李冀平	杨之照	杨文明	杨来顺	杨国洪	杨建文	补璐璐
陆 伟	陆爱华	陈 兰	陈 良	陈 洪	陈利平	林清金
欧如学	苟柱银	郑伟涛	姜许健	段玉明	赵 顶	赵丹阳
赵丽宏	周怀光	夏晓晖	徐东启	袁 伟	袁建波	袁晓满
贾斯博	黄 倩	程开河	董训长	靳呈松	谭川江	

序

在国家“十二五”发展规划实施的关键时期，在党的十八大即将召开之际，在中国石油塔里木油田公司落实中国石油天然气集团公司党组的要求、努力建设“新疆大庆”并担当主力军的重要时刻，我们迎来了塔里木油田公司开发事业部成立20周年，这是值得纪念之日、喜庆之日，更是值得我们为之欢庆和自豪的日子。

1989年4月开展的塔里木石油会战，是我国陆上石油工业实施“稳定东部、发展西部”战略的一个重大举措，对石油工业的持续发展具有重要意义。在“两新两高”方针指引下，塔里木石油会战至今已经取得巨大成就，西气东输工程全面建成投产，建成2000万吨级的大油气田，开创全国深层、超深层沙漠油田开发管理新水平，同时造就了一支真抓实干、勇创一流的优秀石油队伍，开发事业部就是这支队伍的中坚力量之一。

1992年8月20日，开发事业部的前身——塔里木石油勘探开发指挥部油气开发公司正式成立，伴随着塔里木石油事业的发展壮大，至今已经走过了整整20年的历程。开发事业部的20年，是艰苦奋斗、真抓实干的20年，是敢为人先、持续创新的20年，是勇于担当、铸造辉煌的20年，也是值得开发事业部全体干部职工共同珍惜、引以为豪的20年，更是足以让世人瞩目、可以载入史册的20年。

一

塔里木石油会战是在我国石油工业面临持续稳产和增储上产压力的紧迫形势下开展的。随着国民经济的迅速发展，国家对优质能源的需求不断增加，石油和天然气的增长跟不上经济发展的需要。面对东部老油田原油稳产日益困难，党中央、国务院确定了陆上石油工业“稳定东部、发展西部”的重大战略方针，对西部地区特别是塔里木盆地寄予厚望。1990年8月23日，中共中央总书记江泽民同志在塔里木石油探区视察时指出：“如果最后探明塔里木确实是个大油田，那就太好了。这不仅对新疆的经济繁荣和社会稳定具有重要意义，而且对全国的经济建设也会起到很大的作用。”

为了响应党的号召，为了不辜负祖国和人民的期待，塔里木石油会战一开始，油田开发战线的先行者就从大庆、胜利、中原、华北、四川等油气田来到地处边疆的塔里木盆地，此后又有一批批风华正茂的青年学子志愿来到塔里木油田，积极投身于油田开发建设事业，他们是塔里木石油开发事业的先行者和开创者。从盆地边缘的轮南、桑塔木、东河、牙哈油田到沙漠之中的塔中、哈得油田，从油田到凝析气田，从快速上产到持续稳产，广大开发工作者胸怀全局、志在一流，艰苦创业、为油拼搏，始终牢记“我为祖国献石油”的责任和使命，大打油气生产进攻仗，使塔里木油田公司油气产量不断增长，排名不断靠前，并成为全国陆上第四大油气田，为我国油气资源战略接替的加快实现做出了贡献。

二

按照原中国石油天然气总公司的要求，塔里木石油会战要成为新体制的试验基地和新技术的推广应用基地。对此，开发战线的员工们积极探索，持续创新，取得了重要成果。

塔里木石油会战作为一场新型会战，从多方面对沿袭几十年的石油管理体制进行创新，油田开发方面的创新则是其中的重要组成部分。20年来，从在全国陆上油田率先实行业务—作业区两级管理体制到甲乙双方融合式管理，从轮南油田100万吨产能100人管理到东河油田60万吨产能29人管理，以及牙哈一和塔中十六油田的经营承包管理，开发事业部敢为人先，勇于创新，探索出了一条用人少、效率高、效益好的油田开发管理新路子。对此，周永康同志给予充分肯定，指出：“东河塘油田开发，采用自动化的管理手段和现代化的管理方式，走出了一条用人少、效率高、成本低的新路子。”

塔里木盆地地面条件十分艰苦，地下条件十分复杂，油田开发建设面临着诸多困难和矛盾，有的甚至是世界级难题。开发事业部大力开展科技创新和新技术推广应用，攻克了诸多难题，实现了油田开发的稳产高产。从塔中油田在全国陆上油田率先实行以水平井为主进行开发到哈得油田双台阶水平井开发超薄油藏，从全国最大整装沙漠油田——哈得油田到全国最深的东河油田和哈拉哈塘区块，开发事业部在创新中发展，在超越中前进，创出了许多全国陆上油田开发管理的新纪录、新水平，成功地走出了一条全国深层、超深层沙漠油田高效开发之路。20年来，开发事业部共获得局级科研成果126项、省部级技术创新奖13项，获得国家专利27项，充分发挥了科学技术第一生产力的巨大作用。

三

塔里木石油会战使命光荣，任务艰巨，责任重大，条件艰苦。会战一开始，中国石油天然气总公司领导就明确要求，参加塔里木石油会战的队伍要继承和发扬石油队伍的光荣传统即爱国、创业、求实、奉献四种精神，用大庆精神打一场新的会战。

20年来，从油气开发公司到开发事业部，始终坚持以先进文化为引领，大力弘扬大庆精神、铁人精神和塔里木会战精神，持续开展形势任务教育，培养和锻炼了一支能打大仗、恶仗、硬仗的优秀队伍。开发事业部全体干部职工认真实践“只有荒凉的沙漠，没有荒凉的人生”的豪迈誓言，与塔里木石油事业同呼吸、共命运，同成长、共进步，将青春和智慧献给油田开发事业，展示出新一代石油人的时代风采。广大职工在各自岗位上所表现出来的主人翁责任感，所展示出来的严细认真、勤勉敬业的优良作风，所焕发出来的积极性、主动性和创造性，汇聚成开发事业蓬勃发展的强大力量，铸就了20年的辉煌篇章。开发事业部塔中作业区、哈得作业区先后荣获“全国‘五一’劳动奖状”，塔中作业区被评为“全国杰出青年文明号”，充分说明开发事业部是一个团结战斗的集体，是一支拼搏奉献的队伍。

四

20年艰苦创业，20年成就非凡。

20年来，在塔里木油田党工委的正确领导下，开发事业部甲乙双方干部职工以“两新两高”为指引，以稳产上产为目标，战胜了一个个挑战，矗立了一座座丰碑，在戈壁大漠书写了新时期油气田开发建设的壮美篇章。

——到2012年6月，开发事业部20年来累计生产原油7700多万吨，生产天然气210多亿立方米，为塔里木石油事业做出了重要贡献。

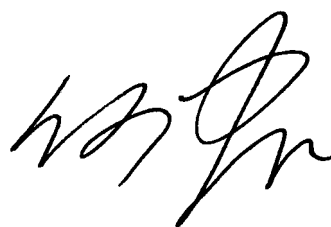
——开发事业部原油生产持续增长，使塔里木油田公司不断发展壮大。1992年，油气开发公司生产原油88.8万吨，塔里木成为全国陆上第13大油田；2002年，开发事业部产油482万吨，使塔里木原油年产量达到502万吨，实现了会战之初“一手抓500万”的奋斗目标，塔里木成为全国陆上第6大油田。

——通过科技攻关，开发事业部探索形成了一整套适合塔里木油气藏特点的深层、超深层油气田开发配套技术系列，创出了全国陆上石油系统一流开发水平。油田生产管理自动化技术全国领先；以水平井为主开发的塔中四、哈得油田，成为全国陆上油田开发的典范；成功开发了全国第一个整装高压循环注气保压开采的凝析气田——牙哈油气田。

——20年来，开发事业部共获得20项国家级先进集体荣誉和8项、12人次国家级先进个人荣誉，有4人成为油田公司专家，充分反映出开发队伍是一支敢于争先、勇创一流的优秀队伍。

开发事业部在庆祝成立20周年之际编印了《开发风采》、《20周年大事记》、《塔里木油气田开发配套技术汇编》、《开发之歌》系列书籍画册，全面展示了20年来开发事业部的发展历程和可喜成果，真实再现了广大开发员工的创业豪情和时代风貌。我相信，只要在塔里木这个火热熔炉锻炼过、成长过，无论是谁，翻开这套丛书，他都会被那一幕幕激情燃烧的场景、一个个感人肺腑的故事、一项项世人瞩目的成就所吸引、所感染、所振奋，一定会对塔里木石油事业的美好前景、对塔里木油田公司在“十二五”末实现3000万吨发展目标更加充满信心和期待。

开发事业部过去20年的创业历程值得珍惜，而未来更加艰巨、更加光荣的使命和职责更值得期待。在此，我真心祝愿开发事业部在今后的发展中能够创造出超越从前的更大辉煌，在塔里木油田公司落实十年油气发展规划中做出更大贡献。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, flowing characters that appear to be '何东' (He Dong).

目 录

第一篇 油 藏 工 程

第一章 超深层油藏精细管理技术	(3)
第一节 碎屑岩油藏精细管理技术	(3)
第二节 碎屑岩凝析气藏管理技术	(7)
第三节 碳酸盐岩油藏管理技术	(8)
第二章 水平井开发管理技术	(16)
第一节 水平井高效开发气顶底水油藏	(16)
第二节 水平井开发调整挖潜技术	(19)
第三节 水平井滚动开发技术	(20)
第四节 双台阶水平井注水开发技术	(21)
第五节 高含水水平井治理技术	(22)
第三章 超深层油藏稳油控水技术	(24)
第一节 层内堵水技术	(24)
第二节 层系(间)接替稳产技术	(27)
第三节 高含水期提液稳产技术	(28)
第四节 注水调控稳产技术	(29)
第四章 剩余油监测技术	(31)
第一节 纵向剩余油描述技术	(31)
第二节 平面剩余油描述技术	(36)
第五章 动态监测技术	(38)
第一节 水平井监测技术	(38)
第二节 机采井监测技术	(41)
第三节 试井工艺技术	(44)
第四节 工程测井技术	(45)

第二篇 采 油 工 艺

第一章 完井工艺技术	(51)
第一节 井身结构	(51)
第二节 完井工艺技术	(53)
第二章 采油工艺技术	(55)
第一节 自喷采油技术	(55)
第二节 机械采油技术	(60)

第三章 稠油降黏技术	(120)
第一节 管柱结构及工作原理	(121)
第二节 现场应用及评价	(125)
第四章 储层保护及储层改造技术	(130)
第一节 储层保护技术	(130)
第二节 储层改造技术	(134)
第五章 注水技术及其配套技术	(152)
第一节 分层注水设备简介	(152)
第二节 注水主体技术	(156)
第三节 分层注水配套技术	(159)

第三篇 井下作业

第一章 深井堵水技术	(165)
第一节 深井砂岩挤水泥堵水技术	(165)
第二节 机械卡堵水技术	(169)
第二章 深井、超深井套损井修复技术	(171)
第一节 套管破损机理及诊断	(171)
第二节 套管破损后的治理	(172)
第三章 深井、超深井复杂事故处理及打捞技术	(177)
第一节 复杂井事故处理技术	(177)
第二节 超深水平井大修技术	(181)
第三节 超深井处理水泥卡钻技术	(190)
第四节 超深井打捞双封隔器堵水管柱技术	(192)
第四章 低压深井排液技术	(195)
第一节 连续油管氮气排液技术	(195)
第二节 水力喷射泵排液技术	(197)
第三节 气举阀—制氮车排液技术	(198)
第四节 氮气排液技术	(199)
第五节 潜油电泵排液技术	(200)
第五章 深井、超深井射孔新工艺在井下作业中的应用技术	(201)
第一节 StimGun 复合射孔技术	(201)
第二节 多级脉冲复合射孔技术	(202)
第三节 深穿透高能复合射孔技术	(207)
第六章 深井捞砂、冲砂技术	(210)
第一节 固化水冲砂技术	(210)
第二节 低压深井负压捞砂技术	(212)
第七章 油管内切割处理卡钻技术	(214)
第一节 镁粉切割技术	(214)
第二节 高温高压复合弹切割技术	(216)

第八章 超高压、超深井加重胶凝酸压工艺技术	(218)
第一节 基本情况	(218)
第二节 现场应用及成果评价	(223)
第九章 解卡平台的应用	(231)
第一节 工作原理	(231)
第二节 现场应用情况、结论与认识	(232)
第十章 碳酸盐岩储层作业安全保障技术	(233)
第一节 可视化液面监测吊灌压井液技术	(233)
第二节 碳酸盐岩稠油井压井技术和换装井口技术	(235)

第四篇 地面工程

第一章 概述	(239)
第一节 流体物性参数	(239)
第二节 地面建设概况	(240)
第二章 油气集输	(244)
第一节 集输工艺	(244)
第二节 技术应用及展望	(247)
第三章 原油处理	(252)
第一节 油气分离	(252)
第二节 原油脱水	(256)
第三节 技术应用及展望	(258)
第四章 油气脱硫	(262)
第一节 国内技术	(262)
第二节 应用历程	(263)
第三节 技术特点	(266)
第四节 技术应用及展望	(272)
第五章 天然气脱水、脱烃	(274)
第一节 国内技术	(274)
第二节 技术应用	(274)
第三节 技术特点	(285)
第四节 技术应用及展望	(288)
第六章 硫磺回收	(290)
第一节 国内技术	(290)
第二节 应用历程	(293)
第三节 技术特点	(294)
第四节 技术应用及展望	(297)
第七章 原油稳定	(300)
第一节 国内技术	(300)
第二节 应用历程	(300)

第三节 技术特点及主要设备 (303)
 第四节 技术应用及展望 (305)
 第八章 采出水处理及注水 (307)
 第一节 处理方法 (307)
 第二节 处理药剂 (311)
 第三节 技术应用及展望 (314)
 第九章 腐蚀与防护 (328)
 第一节 腐蚀机理 (328)
 第二节 国内防腐技术 (336)
 第三节 腐蚀检测监测 (346)
 第四节 技术应用及展望 (350)
 第十章 结垢与防护 (356)
 第一节 结垢概述 (356)
 第二节 除垢技术及应用 (357)
 第十一章 自动化及仪表 (359)
 第一节 自控系统应用状况 (359)
 第二节 单井计量自动化 (364)
 第十二章 变配电系统 (368)
 第一节 基本情况 (368)
 第二节 动力照明及防雷接地 (369)
 参考文献 (371)

第一篇 油藏工程

第一章 超深层油藏精细管理技术

塔里木盆地是世界上最大的内陆盆地之一，面积 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，共有 9 个二级构造单元。截至 2011 年底，塔里木盆地纵向上已发现 11 套含油气层系，累计探明 29 个油气田。塔里木油田的主要特征是：

(1) 油气藏埋藏深，除大宛齐外，其他油气田埋深均在 3200 ~ 7040m 之间，是典型的深层、超深层油气藏。

(2) 含油气层系多，高温高压，压力系统复杂。

(3) 油气藏类型多，驱动类型多，层内非均质严重。

(4) 油气藏流体性质复杂，轻质原油、超稠油、凝析油、天然气等均在开发。

塔里木油田的特殊性，加之塔里木盆地的沙漠环境决定了塔里木油田的高效开发是一个世界级难题。自 1992 年轮南油田正式投入开发以来，塔里木油田开发工作在“建立油田开发新模式，产量快速增长”的方针指导下，坚持“两新两高”（新体制、新技术、高水平、高效益），依靠工程技术人员 20 年的不懈努力，针对油气藏的不同特点，勇于探索、敢于创新，逐步形成并完善了具有塔里木特色的超深层油藏精细管理技术，实现了轮南、塔中、东河、哈得和牙哈等油气田的高速、高效开发。其中，轮南油田、塔中油田和哈得油田先后被评为“全国高效开发典型油田”，为塔里木油田的开发事业做出了卓越贡献。

塔里木油田超深层油藏精细管理技术的核心是以油藏精细描述为基础，针对不同油气藏、不同开发阶段、不同开发动态，采取不同的、针对性极强的、具有创新性的油藏管理措施和手段，实现全油田的快速、高效开发。这些技术主要包括碎屑岩低含水期“稀井高产”开发管理技术、碎屑岩底水油藏控水开发技术、碎屑岩中含水期综合调整稳产技术、碎屑岩层系接替稳产技术，碎屑岩高含水期精细措施挖潜技术、碎屑岩精细注水调控技术、碎屑岩提液稳产技术、碳酸盐岩油藏“一井一策”差异化管理技术、稠油掺稀技术等。这些技术为塔里木油气田的快速、高效开发奠定了坚实的技术基础。

第一节 碎屑岩油藏精细管理技术

一、低含水期油藏精细管理技术

开发管理纲要规定，油田综合含水低于 20% 为低含水采油期。这一时期油藏管理工作的重点一是快速上产，要求在最短的时间内达到方案设计产能；二是通过精细油藏管理，实现无水采油期最大化和低含水采油期采收率最大化。为了实现这两大目标，必须在严格执行开发方案的基础上，根据方案实施中的具体情况及时调整开发动态；同时，油藏管理的另一个重点工作是资料录取、整理和分析。通过产能测试、产吸剖面测井、试采试注地质分析、天然能量评价等细化油藏评价，修正开发方案地质认识，优化开发实施方案。

(一) 稀井高产开发管理技术

轮南油田是塔里木第一个正式投入开发的油田。轮南油田开发方案设计动用地质储量 $5003 \times 10^4 \text{ t}$ ，采油井 50 口，注水井 15 口，平均井距 700m，平均单井产能 64t，油田建产能 $100 \times 10^4 \text{ t}$ ，采油速度 2%，稳产 5 年。

轮南油田开发方案是塔里木油田地质技术人员在充分调研国内外沙漠油田开发经验，结合塔里木油田地处荒漠、戈壁，地面依托条件差，油藏埋藏深，钻井成本高的特点，按照中国石油天然气总公司“两新两高”工作方针要求，经过深入细致的地质工程综合研究而编制出来的。这个方案第一次提出塔里木油田“稀井高产、高效开发”的开发思路，确定轮南油田“直井稀井高产”的开发技术政

策。油藏管理人员在“稀井高产”开发初期,除了取全取准油水井生产动态资料、做好动态分析、调整合理工作制度之外,相继引进产吸剖面监测技术、常规流压/静压监测技术等,并利用动静态资料和监测资料对油田层间矛盾、油层产能和吸水能力进行了综合评价。

(二) 适时注水开发管理技术

轮南2井区TⅠ油组方案设计为注水开发。地层压力是油藏驱动能量变化最敏感的反映指标,因此,油田开发伊始必须重点监测地层压力变化。轮南2井区TⅠ油组总压降与累计采油关系曲线分析表明油藏在弹性驱阶段,每采1%地质储量,地层压力下降3MPa;在油藏驱动方式逐渐转变为以天然水驱为主时,地层压力下降速度有所减缓,每采1%地质储量,地层压力下降1.6MPa。随着地层压力下降,油井生产能力逐渐降低,统计表明1991年初每米采油指数为 $0.83\text{t}/(\text{d}\cdot\text{MPa}\cdot\text{m})$,到1991年底下降至 $0.64\text{t}/(\text{d}\cdot\text{MPa}\cdot\text{m})$,下降了 $0.19\text{t}/(\text{d}\cdot\text{MPa}\cdot\text{m})$,降幅22.9%。综合研究表明轮南2井区TⅠ油组天然能量弱,需要适时注水。1992年8月油藏进行试注,1993年3月实现注水井全面转注,油藏开发指标在半年内实现全面好转。1993年5月统计12口注水受效井,受效前后对比日产液从433t上升到902t,日产油从403t上升到822t,油藏压力从44.2MPa上升到46.03MPa。

(三) 底水油藏控水开发管理技术

塔中402CⅢ油组属于块状底水油藏,采用水平井开发。开发机理研究表明,水平井的主要采油期是无水期采油期,水平段一旦见水,含水会快速上升。为了延缓水平段见水时间和降低含水上升速度,水平井在生产过程中要控制生产压差,防止由于不合理的生产制度导致严重的底水锥进。如TZ4-7-H8井投产初期地层压力充足(39~40MPa),生产压差控制在 $0.5\sim0.8\text{MPa}$,1997年由于地层压力下降(35.23MPa),为维持产量平稳,油嘴由12mm放到16mm,生产压差增大到1.78MPa,随着均质段底部注水见效,地层压力恢复至38MPa,1999年5月油嘴缩回12mm,其后生产压差控制在 $0.5\sim0.8\text{MPa}$ 。由于很好地控制水平井的生产压差,延长油井的无水采油期和低含水期,提高了水平井的开发效果。统计5口水平井累计产油 $528\times10^4\text{t}$,其中在无水采油期和低含水期产量占累计产量的80%~90%。从后期剩余油监测资料看,塔中402CⅢ油组均质段底水整体均匀抬升,取得较好开发效果。

(四) 应用规模及效果

自轮南油田投入正式开发后,东河一、塔中四油田相继采取“稀井高产”技术政策投入开发,其中东河1CⅢ方案设计7口油井、5口水井,年产能 $60\times10^4\text{t}$ 。塔中4油田方案设计39口油井、5口水井,年产能 $200\times10^4\text{t}$ 。在开发系统的努力下,这些油田都取得了高效、快速开发的好效果。

哈得薄砂层注水开发是在轮南2井区TⅠ油组适时注水成功经验基础上的又一个注水开发成功典范。2003年10月哈得薄砂层油藏全面注水后,油田日产油量从注水前的485t/d升至注水后的945t/d。注水前油藏平均地层压力下降到35.5MPa(原始地层压力54.04MPa),注水后地层压力稳步恢复,目前地层压力稳定在38.5~39.0MPa(方案设计压力保持水平为38MPa)。哈得薄砂层油藏方案设计 $30\times10^4\text{t}$ 产能稳产3年,由于注水方案实施成功,目前已稳产5年,取得了塔里木油田注水开发油藏新成果。

底水油藏控水开发管理技术对轮南油田TⅢ油组的高效开发也起到了至关重要的作用。轮南油田TⅢ油组属于大底水构造块状油藏,其底水体积是油体积的100多倍。如此大的底水一方面为油藏提供了充足的水驱能量,另一方面,底水容易锥进,油井一旦见水,含水率很快上升,影响油藏整体开发效果。油藏工程人员在地质研究中发现TⅢ油组油层、水层或油水界面附近发育有良好的非渗透或低渗透岩性、物性和钙质夹层。机理研究表明夹层位于射孔段底部时对底水锥进的抑制作用最强,其次是位于油水界面附近。因此在射孔方案编制时利用夹层,可以减缓底水锥进速度。同时,由于夹层对底水快速锥进的抑制作用,对于一些夹层发育的井,可以适当增加打开程度以提高油井产能。例如LN204井在射孔井段底部和油水界面附近存在两个物性夹层,该井在射开程度达到67%的情况下无水采油期长达970d,无水期累计产油 $13\times10^4\text{t}$ 。统计表明TⅢ油组夹层发育且夹层阻遮挡作用明显的采油井占比70%,这些井在充分利用夹层作用后都实现了较长的无水采油期,从而使整个轮南油田TⅢ油组低含水期采出程度达到了25%,实现大底水油藏的高速、高效开发。

二、中含水期管理技术

塔里木油田砂岩油藏原油物性较好,以正常—轻质原油为主,地下水黏度比低,这种油藏一旦

进入中含水期,含水上升明显加快,开发效果明显变差,因此其主要采油期为无水及低含水采油期。如何依靠油藏精细管理,稳油控水,改善开发效果是塔里木油田砂岩油藏中含水期开发的技术关键点与难点。为此,塔里木油田开发技术人员进行了长期、不懈的攻关,形成符合塔里木油田实际需要的、行之有效的中含水期稳油控水综合调整技术,包括注水调整、层系接替、层内堵水、部署聪明井等,实现塔里木油田砂岩油藏中含水期稳油控水目的,其中,轮南油田被中国石油天然气集团公司评为全国稳油控水典型油田。

(一) 综合调整稳产管理技术

轮南油田在中含水期稳油控水、综合调整方面最具代表性。其做法是以油藏精细描述为依据,在准确掌握剩余油分布状况的前提下,针对剩余油富集区上措施。因此,获取油藏描述所需要的准确的动静态资料成为实施综合调整技术的关键。轮南油田在1996年、1997年连续部署两口检查取心井。1997年开始进行剩余油监测技术探索,经过2年摸索、应用总结出中子寿命测井在轮南油田符合率最高,从而加大中子寿命监测力度。在产吸剖面监测方面,根据油田稀井高产、油水井点少的现实,以油藏研究需要为主要依据尽可能录取剖面监测资料。丰富的剩余油监测资料,为轮南油田剩余油分布的精确描述奠定了基础。基于对剩余油分布的准确认识,轮南油田在1998—2000年的综合调整实施方案中创造性地提出了以水平井为主的综合调整技术,取得了巨大的开发效益。轮南油田第一次综合调整共投产新井17口,其中水平井14口,至2000年12月,14口水平调整井累计产油 $34.59 \times 10^4 \text{t}$ 。正是由于这次调整的巨大成功,轮南油田年产原油量得以继续保持 $100 \times 10^4 \text{t}$ 并且稳产到了2002年,实现了稳产10年的新目标。

(二) 层系接替稳产管理技术

多层系油藏开发,层系接替是重要的稳产方式之一。轮南、塔中四、解放渠东、桑塔木4个油田均具有两套以上含油层系,在油田开发方案中仅有桑塔木油田实施的是层间接替稳产开发方式。油藏管理人员在油田开发实践中,根据不同开发阶段油藏描述的实际状况,以补孔改层或者补充调整井的方式间接实现了轮南、塔中四、解放渠东3个油田的层间接替稳产。由于塔里木实行稀井高产,油藏描述表明层系井间剩余油富集,具备层系接替稳产条件。以轮南油田为例,补孔改层主要遵循以下几个原则:一是原生产层低产;二是原生产层措施难度大或地质挖潜余地小;三是改层井处于新层系中井网控制不完善区域,改层生产后井间干扰小;四是根据工程施工难度和为进一步措施留有余地,采取从下至上射孔原则。轮南油田2井区三叠系1998—2011年共实施补孔改层措施107井次,累计增油 $54.6 \times 10^4 \text{t}$ (仅统计当年增油量),占轮南油田阶段产油量的8.1%。

(三) 应用规模及效果

东河1油田在1998—2001年进行以注水调整为主的综合调整。其调整重点是改底部注水为对应注水。通过调整,东河油田年产油量在1998—2000年达到高峰,年产 $60 \times 10^4 \text{t}$,稳产3年,含水率稳定在45%左右,实现了东河1油田的高效开发。

层系接替稳产管理技术在塔中四油田、解放渠东油田也取得了较好的应用效果,其中塔中四油田402井区1998—2011年共实施补孔改层措施57井次,累计增油 $29.9 \times 10^4 \text{t}$ (仅统计当年增油量),占402区块阶段产油量的3.6%;解放渠东油田1995—2011年共实施补孔改层措施29井次,累计增油 $4.0 \times 10^4 \text{t}$ (仅统计当年增油量),占解放渠东油田阶段产油量的3.5%。

三、高含水期管理技术

塔里木油田进入高含水开发期后,开发难度也随之进入顶峰。高含水、低储采比,平面矛盾、层间矛盾、层内矛盾日益加剧,油藏流体性质、压力系统复杂化,剩余油分布零散化,井下工具老化、井筒复杂化,套损、窜槽等都给油藏管理工作带来新的巨大挑战。塔里木油田高含水开发期油藏精细管理技术的特点是突出精细化、突出实用性、突出针对性,突出长远性。其工作重点是精细实施油藏综合调整方案(包括二次开发方案),在精细编制和实施油田动态监测方案的基础上,进行剩余油精细研究、增产增注措施精细研究,通过精细措施挖潜、精细注水调控等手段,增加油田动用储量,实现油田高效开发。

（一）精细措施挖潜稳产技术

高含水开发期措施增油难度大，常规卡堵水、补孔改层等措施效果越来越差，可实施的油水井也越来越少。开发技术人员以精细地质研究为基础、以精细动态分析为手段，利用储层非均质性“榨取”层内剩余油获得成功，并成为高含水开发期措施挖潜方向。

1. 利用夹层挖潜剩余油

精细剩余油分布研究、密闭取心资料均证实夹层附近是剩余油相对富集区，它包括底水油藏夹层顶部剩余油富集区，边水或者注水开发油藏夹层顶部、夹层之间剩余油富集区。以 LN2-23-1 井为例，开发技术人员在该井 TII 油组高含水井段中找到低含水层段，这个低含水层段处于两个夹层之间，是剩余油分布相对富集区，实施补孔措施后初期日增油 40t，累计增油 4000 多吨。LN2-23-1 井为高含水井段内部剩余油挖潜提供了成功的经验。

2. 利用沉积韵律挖潜剩余油

沉积韵律研究表明，正韵律储层顶部、反韵律储层底部是剩余油相对富集区。塔里木油田碎屑岩油藏大都为正韵律沉积，在正韵律油藏顶部挖潜剩余油已成为常态，而反韵律油藏高含水层段后挖潜没有成功先例。轮南油田 2 井区 JIV 油组是典型的反韵律油藏，该油组地质储量采出程度仅 24%，而动态监测、新钻井测井等资料均显示高水淹。2011 年通过研究发现 JIV 油组在构造南部存在韵律反转，决定在 LN203 井 JIV 油组顶部进行措施挖潜实验，取得初步成果，初期日产油 17t，累计产油超过 1500t。反韵律沉积油藏底部剩余油挖潜目前仍处于精细研究和逐步实施中，2012 年计划在轮南油田 2 井区 JIV 油组实施 1~2 井次。

3. 层间干扰型剩余油挖潜

渗流理论证明，多层合采井由于储层物性差异或者地层压力差异等原因，会出现层间干扰。TZ4-27-10 井合采含砾岩段 3 小层、5 小层，含水 100% 后关井，剩余油监测显示 3 小层、5 小层均高水淹。油藏研究表明，塔中 4 油田 CIII 油组含砾岩段 1~3 小层与 4 小层及以下层段从动态上表现出两套压力系统，动态分析认为含砾岩段 1~3 小层采出程度低，是剩余油相对富集层段。研究人员决定封堵 5 小层，单独测试 3 小层，实施后测试日产油 105t，不含水，累计产油超过 8000t。TZ4-27-10 井挖潜成功为塔里木油田多层合采井挖潜提供了宝贵的经验。

（二）提液稳产技术

提液是油田开发中后期稳产的重要手段，塔里木油田开发系统已经形成了一套较为完善的提液稳产技术。首先根据油藏条件筛选区块，优先选择储层物性好、地层能量充足的区块；其次选择油水黏度比高，采液指数在油藏中高含水期上升明显的区块；第三，注水开发油藏选择注采井网较完善的区域，便于注水调控；第四，一般选择高含水期提液，提液时机和提液量通过油藏数值模拟优选。

（三）精细注水调控稳产技术

注水开发油田进入中高含水期后，注水调控成为改变渗流方向、减缓三大矛盾、提高驱替效率、增加可动用储量最主要的手段之一。开发技术人员在实践中逐步总结出一套较为有效的精细注水调控技术。具体做法：动用示踪剂、井间地震等监测手段，结合动静态资料，精确把握各种注水参数，在此基础上精心编制注水方案并严格执行；第二是不断完善注采井网，通过分层注水、调剖或调驱等手段改善注水效果；第三，现场管理人员根据生产实际，通过季度动态分析调整配注、开展周期注水等改善注水效果。

哈得逊油田东河砂岩油藏 12 口注水井 2011 年配注调整 15 井次、酸化增注 1 井次，油藏整体注水受效井从 21 口增加到 28 口、月度自然递减从 2.24% 下降到 1.64%。单井季度调配制度及时缓解油田开发中存在的矛盾。

轮南油田周期注水达到稳油控水效果。技术人员选择在 LN2-3-6 井组试验。LN2-3-6 井对应两口注水井，在保持总体注采比不变的情况下，通过此消彼长的注水量控制，使生产井受效；LN2-3-6 井周期注水前日产油 20t、含水 92.9%，受效后日产油 40t、含水 85%。

（四）应用规模及效果

碎屑岩油藏精细措施挖潜实施后，为塔里木油田原油生产做出巨大贡献。统计表明，仅 2006—2011 年累计增油 153×10^4 t，占阶段同期总累计产油的 6.2%，2006 年至今，实施提液措施 101 井次，

累计增油 $25.92 \times 10^4 \text{t}$ 。

第二节 碎屑岩凝析气藏管理技术

自 2000 年以来,牙哈 7-23、吉拉克、塔中六、提尔根 4 个砂岩凝析油气藏相继投入开发,塔里木油田开发技术人员根据不同的凝析油气藏特点,采取不同的开发政策,逐步形成并完善牙哈凝析气田循环注气开发、吉拉克凝析油气田邻井气气举开发等特色技术,为塔里木凝析油气田的高效、快速和科学开发创出了新路、储备了技术。

一、牙哈凝析气田循环注气开发技术

牙哈 23 区块是牙哈凝析气田主力区块,主要产层为新近系吉迪克组底砂、古近系底砂岩和白垩系顶砂岩,探明天然气(包括溶解气)地质储量 $279.2 \times 10^8 \text{m}^3$,技术可采储量 $168.7 \times 10^8 \text{m}^3$,探明凝析油地质储量 $2237 \times 10^4 \text{t}$,技术可采储量 $733.3 \times 10^4 \text{t}$ 。

牙哈 23 凝析气藏于 2000 年 10 月 31 日正式开发。方案部署开发井 22 口,其中采气井 13 口,注气井 8 口,观察井 1 口,采用循环注气部分保压方式开发。

牙哈 23 凝析气藏 2001—2002 年天然气回注率分别为 63.2%、78.7%。2003 年增加压缩机及制冷装置后,天然气月回注率提高到 80%~93%。2004 年 9 月由于西气东输供气需要,循环注气由连续转为间歇方式,2010 年天然气月回注率在 13%~72% 之间变化(图 1-1-1)。

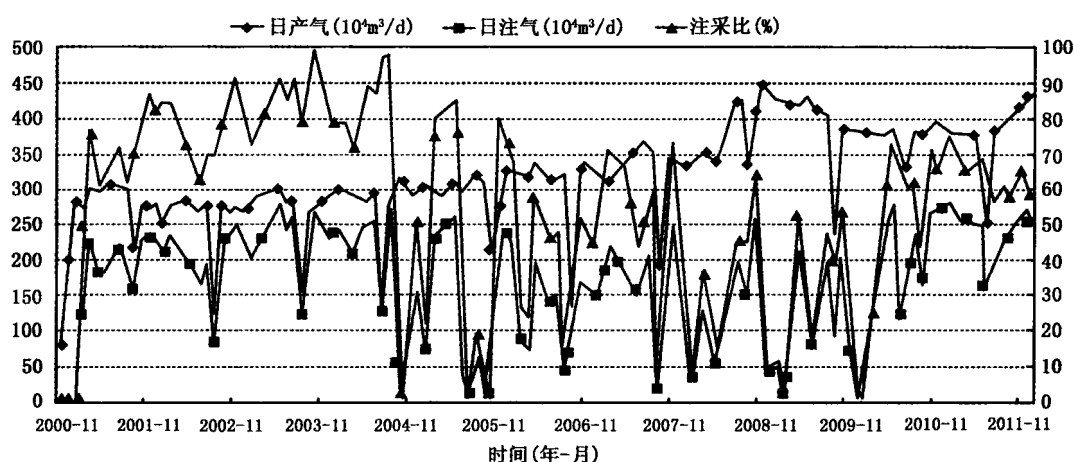


图 1-1-1 牙哈 23 凝析气藏历年注采关系曲线

循环注气,一是有力地保持了地层压力,二是注入气有效改变凝析气藏相态结构,从而实现改善凝析气藏开采效果之目的。牙哈 23 凝析气藏自投产以来年产凝析油均在 $55 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产 10 年,高于方案年产油 $50 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产 5 年的设计要求;截至 2010 年 12 月,累计产油 $676.35 \times 10^4 \text{t}$,取得凝析气藏较高的开发水平。

二、吉拉克凝析气田邻井气气举技术

吉拉克三叠系和石炭系凝析气藏于 1992 年上交探明地质储量,吉南 4 凝析气藏于 1996 年上交探明地质储量;2006 年进行储量套改。截至 2010 年底,吉拉克凝析气田探明天然气(包括溶解气)地质储量 $164.70 \times 10^8 \text{m}^3$,技术可采储量 $88.38 \times 10^8 \text{m}^3$,探明石油(含凝析油、黑油)地质储量 $737.45 \times 10^4 \text{t}$,技术可采储量 $133.03 \times 10^4 \text{t}$ 。

吉拉克凝析气田目的层为三叠系和石炭系,其中石炭系生产井因水气比低,井口油压保持很高,而部分三叠系 II 油组生产井见水后产能低,不能正常生产。

油藏管理人员基于气藏排水采气经验,提出利用石炭系高压气对 T II 油组生产井进行气举排液生产,以提高 T II 油组产能。2011 年 6 月 LN57-H5 井利用 LN59 井高压气实施闭式排水采气试验取得成功,日增油 7t,日增气 3800m^3 (图 1-1-2),下一步将在 JL109、JL109-H1 等井扩展实施。