

TALIMU YOUTIAN
TIANRANQI SHIYEBU
KEJI CHENGGUO LUNWENJI

塔里木油田天然气事业部 科技成果论文集

(2009 — 2011 年度)

主 编 李汝勇

副主编 张明益



石油工业出版社

塔里木油田天然气事业部 科技成果论文集 (2009—2011 年度)

主 编 李汝勇

副主编 张明益

石油工业出版社

内 容 提 要

本书精选的 89 篇优秀成果论文是塔里木油田天然气开发战线上广大技术骨干在 2009—2011 年度研究与生产实践中形成的技术创新成果, 内容涉及气藏工程、采气工程、地面工程、管理工程等方面的理论创新和技术研究进展, 对今后进行相关技术研究具有很好的借鉴参考作用。

本书可供从事油气田开发的技术人员、石油院校师生及研究人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塔里木油田天然气事业部科技成果论文集 : 2009 ~ 2011 年度 / 李汝勇
主编. —北京: 石油工业出版社, 2012. 12

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9380 - 5

I. 塔…

II. 李…

III. 塔里木盆地 - 采气 - 科技成果 - 文集

IV. TE37 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 281631 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)

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 30.25

字数: 750 千字

定价: 120.00 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

《塔里木油田天然气事业部科技成果论文集》
(2009—2011 年度)

编 委 会

主 编：李汝勇

副主编：张明益

编 委：洪 元 杨 勇 王鸿飞 苗继军 何银达

刘 武 张 强 李 柱 陈文龙 吴云才

王 钊 康 征 王海英

前 言

2012年, 时值塔里木石油会战23周年和油田提出“十二五”末实现油气产量当量3000万吨发展规划之际, 中国石油塔里木油田公司天然气事业部编辑出版《塔里木油田天然气事业部科技成果论文集》(2009—2011年度), 是一件值得庆贺的事情。天然气事业部自2004年12月16日成立以来, 一直十分重视科研技术工作, 以加强科技攻关和技术创新为手段, 实现高效、平稳开发大油气田的目标。该书从科技攻关和技术进步的角度, 记录和反映了2009—2011年天然气开发的各项成果。

塔里木盆地是我国油气资源量大于100亿吨的三大盆地之一, 可探明油气资源总量为151.2亿吨, 其中石油80.6亿吨、天然气8.9万亿立方米, 是我国石油工业发展的战略接替区。

塔里木油田地处塔里木盆地, 环境极其恶劣, 油气成藏地质条件极端复杂。1998年1月20日, 克拉2大气田被发现, 直接催生了西气东输工程的上马。2000年9月, 朱镕基总理专程到塔里木油田考察, 明确指示: “西气东输项目不但应马上启动, 而且应尽快建成。”2002年7月4日, 国务院副总理吴邦国在人民大会堂庄严宣布, 西气东输工程开工建设, 标志着西气东输工程进入正式实现阶段。2003年4月18日, 克拉2大气田的开发正式拉开帷幕。经过近万名建设者20个月艰苦卓绝的努力, 克拉2气田于2004年12月1日正式向华东九省市供气。紧随其后, 英买力气田和迪那2气田相继投入生产。近几年, 大北、克深2等气田的天然气勘探持续获得重大突破, 大大推动了塔里木天然气事业的快速发展。

多年来, 天然气事业部在油田公司的正确领导和大力支持下, 发扬“勇闯禁区, 挑战极限, 顽强攻坚, 争创一流”的克拉2精神, 以经济效益为中心, 大力开展技术创新活动, 积极探索大气田开发管理模式。天然气广大员工在戈壁荒滩, 以无私无畏的开拓精神和艰苦奋斗的创业精神, 在国内外无成熟经验可以借鉴的情况下, 克服了许多国家级乃至世界级难题的挑战, 在油气开发技术领域不断取得突破, 形成了许多国内领先、国际先进的技术系列, 造就了塔里木天然气开发事业的辉煌成就。天然气事业部从成立之初油气产量当量139万吨, 跃升至2010年油气产量当量1530万吨, 陆续建成4个重要油气生产基地。

“塔里木的发展史就是一部科技创新史”。油气勘探开发面临许多世界级难题, 高压、高产气井的管理、整装凝析油气田的开发此前没有先例, 一切都要从头做起。塔里木的油气开发今天已呈现出加快发展的大好局面, 而这一切都得益于技术进步和科技创新。几年来, 广大天然气技术人员加大科技攻关, 攻克了一系列技术难题, 在高压凝析气藏开发、异常高压气藏动态监测、采气工艺、地面集输、设备防腐、仪表自动化等方面取得突破, 较好地解决了天然气事业部油气田开发和生产管理面临的技术难题, 实现了平稳高效的开发目标。

本书是天然气事业部阶段性的技术总结, 它的出版, 必将进一步激励和鼓舞更多的天然气员工参与天然气开发的科技攻关和技术创新, 必将进一步鼓舞广大技术员工在油气田开发进程中开拓创新, 用智慧和汗水不断促进油气开发领域的技术进步。

目 录

气藏工程篇

迪那 2 异常高压凝析气田井筒动态分析方法及软件研制	李汝勇 常志强 陈文龙 廖发明 康征 刘加元 (3)
数值试井在克拉 2 气田开发中的应用	陈文龙 常志强 廖发明 杨 磊 康 征 (11)
试井新技术在复杂异常高压气田开发中的研究及应用	常志强 朱忠谦 陈文龙 廖发明 杨 磊 伍藏原 (20)
迪那 2 气田异常高压凝析气田压力监测、试井解释及产能评价技术	常志强 陈文龙 廖发明 康 征 杨 磊 吕 波 (27)
塔里木异常高压气田高效开发技术——以克拉 2 为例	常志强 陈文龙 杨 磊 范明国 胥洪俊 (36)
富含凝析水、元素硫气井生产动态预测方法	常志强 张尚铤 孙 雷 谢剑飞 曾有信 (43)
凝析气田循环注气中期开采特征分析	陈文龙 廖发明 吕 波 杨 磊 李雪超 (50)
富含凝析水、元素硫的特殊油气体系相态研究	常志强 孙 雷 曾有信 周 飞 谢剑飞 (55)
特殊类型气井、凝析气井井筒动态分析新方法	常志强 孙 雷 胥洪俊 曾 毅 苟柱银 曾 努 (61)
塔里木油田气井产出剖面的识别与评价	廖发明 虞 兵 吕 波 李 旭 杨 磊 (68)
生产情况下地层压力及产能评价方法研究	王洪峰 任永苍 陈文龙 王胜雷 杨和义 (74)
井约束变速成图预测复杂盐岩层位在克拉 2 气田钻井地质中的应用	郑广全 常志强 唐明龙 王洪峰 (77)
见水气井动态特征及来水方向预测研究	胥洪俊 李雪超 杨 磊 康 征 黄浩轩 (83)
凝析气田循环注气单井注气量计算新方法	吕 波 王永红 廖发明 杨 磊 杨 敏 梁从富 (87)
英买力碳酸盐岩油藏试井与动态描述新技术	陈文龙 胥洪俊 廖发明 杨 磊 李雪超 丁丽娟 (93)
复杂高压气井地层出水判别及评价新方法	胥洪俊 廖发明 王 明 李 旭 杨 曦 (101)
异常高压气田动态监测技术及其应用	杨 磊 廖发明 常志强 胥洪俊 胥蒙生 崔 巍 (107)

不稳定产能方程与物质平衡相结合计算凝析气井的产能和储量	廖发明	王永红	陈文龙	王怒涛	黄炳光	(113)
近井地带水锁损害对气井产能的影响研究	胥洪俊	苗继军	尹显林	廖发明	赵小军	(118)
储层综合描述技术在英买2奥陶系油藏的应用	胥洪俊	陈文龙	廖发明	杨磊	康征	(122)
塔里木油田凝析气井产出剖面解释方法研究	陈文龙	赵军	王明	吕波	胥洪俊	(128)
气驱解除低渗气井近井地带水锁的实验研究	胥洪俊	赵小军	王永红	鲜波	孙雷	(134)
英买力气田群地层压力的简易算法	关增武	高贵洪	任利华	何巧林	赵小龙	(139)
异常高压气井井口节流阀开度控制方法研究	张建业	伍藏原	黄兰	卢培华	王建顺	(143)

采气工程篇

塔里木油田高压气井油管气密封问题探析	何银达	吴云才	秦德友	周忠明	易飞	何剑锋	(151)
C-22井内涂层油管腐蚀穿孔原因分析	秦德友	何银达	李旭	何剑锋	易飞		(159)
塔里木克拉2气田节流阀失效分析	何银达	吴云才	胡超	何剑锋	易飞		(165)
节流阀在塔里木油田使用中的几个问题	秦德友	王胜雷	周忠明				(171)
塔里木油田节流阀选型及使用意见	何银达	张尚锐	周忠明	向文刚	赵鹏		(176)
塔里木油田节流阀典型失效特征解释	何银达	吴云才	秦德友	王胜雷	方伟		(182)
无(低)渗漏固化水压井液体体系在牙哈气田的应用	秦德友	周忠明	罗超	何剑锋	易飞		(188)
采气井套压异常机理分析及防范措施研究	范明国	张强	赵小军	胡超	曾努		(194)
牙哈含水高压凝析气井取样位置优选	闫建业	黄铁军	张凯	王积源	刘东	尹洪超	刘瑞平 (199)

地面工程篇

压缩机管道振动的控制标准综述	张明益	蒋东辉	黄红俊	刘黎明	韩省亮	(209)	
往复式压缩机管道系统振动分析与控制	黄红俊	张北	文章	赵秀梅	陈亚兵	程剑	(214)
承压罐体用无溶剂环氧重防腐涂料的研究	何银达	张庆春	吕戈	魏强邦	李燕	朱思邈	(219)
天然气压缩机气阀阀片频繁断裂原因分析及改造方案	黄红俊	梁晓飞	马曦				(223)

牙哈凝析气田污水絮凝处理研究	陈青海	余明升	杜 岩	李 静	李国娜	(226)
牙哈凝析气处理厂低压放空系统冻堵问题研究	韩国强	王赤字	李 静	陈青海	刘黎明	丁志新 (232)
乙二醇加注泵异常振动原因及对策	韩国强	梅 灿	温艳军	于跃云	侯建民	任 亮 (237)
试论牙哈凝析气处理厂的技术改造措施	韩国强	温艳军	于跃云	侯建民	李 静	袁 媛 (242)
迪那集气站管线腐蚀原因及防护措施分析	陈青海	谭建华	袁 媛	韩国强	丁志新	(247)
设备状态监测与诊断技术在塔里木油田的推广应用	张庆春	史自民	李 燕	黄浩轩		(253)
凝析气田集输管道内腐蚀原因分析及对策	李 燕	张庆春	刘国华	薛江波		(260)
排放气压缩机故障分析与处理	李乐乐	乔宏斌	薛江波	唐洪军	口俊林	(266)
基于 PSO 的精馏塔稳态优化		朱和平	余明升	谷秀平		(270)
导热油炉系统故障分析及改进措施	杨涛利	王 磊	黄 明	尚林明	朱政洪	(276)
液化气分馏塔塔顶空冷器节能改造优化方案	朱政洪	范玉涛	周 军	韩福泉	钱树成	翁乙友 (280)
超音速分离器在塔里木油田的应用	温艳军	梅 灿	黄铁军	于跃云	侯建民	(283)
瓦克夏发动机控制器 ESM 信号远传改造	温艳军	翁乙友	万 勇	田佳丽	范玉涛	(287)
LUX 系列旋进旋涡流量计故障处理	翁乙友	周 军	林国强	朱政洪		(293)
分子蒸馏过程技术研究及其应用进展	白 宇	周 军	张炳南	高昌保	林国强	何宇颀 钱树成 (296)
牙哈处理站液化气分馏塔的节能减排优化	张炳南	周 军	何宇颀	翁乙友	范玉涛	(301)
牙哈凝析气田外输气压缩机触摸屏应用程序汉化	林国强	张炳南	钱树成	何宇颀		(307)
牙哈作业区供水系统改造	翁乙友	高昌保	何宇颀	钱树成	郑春宇	(311)
流量计的选型	翁乙友	张炳南	高昌保	郑春宇		(314)
超音速脱水技术应用进展	高昌保	周 军	朱政洪	丁志新	何宇颀	翁乙友 范玉涛 (317)
VERSA 滑阀的应用与维护	杨家林	朱思邈	李英雪	范玉涛	左萌萌	翁乙友 文四名 (320)
压缩机检修后磨合天然气的回收利用	温艳军	吕 戈	高英广	周 军		(323)
注醇泵异常振动分析与处理	黄铁军	温艳军	闫建业	于跃云	梅 灿	柏万明 李志国 (325)
改造现有工艺回收地面计量天然气	闫建业	温艳军	万 勇	杨明忠	梁龙贵	刘 睿 尹宏超 (330)
集输汇管风险分析及寿命预测	闫建业	尹宏超	周永亮	梁龙贵		(333)

基于 WinCC 的天然气压缩机监控系统的实现

..... 文四名 李英雪 范玉涛 翁乙友 瞿强 左萌萌 (339)

库柏压缩机 FT50 主板直连程序数据线制作方法

..... 文四名 李英雪 翁乙友 范玉涛 瞿强 左萌萌 杨家林 (344)

可编程控制器在电气控制中应用

..... 翁乙友 李英雪 刘瑞平 曹学刚 文四名 瞿强 左萌萌 (348)

西门子 S7-200 PLC 通信口损坏的解决过程

..... 文四名 范玉涛 翁乙友 杨家林 瞿强 左萌萌 陈绍云 (351)

基于 LabView 的电能质量监测系统

刘国华 邓志伟 骆继历 魏建霞 (354)

基于 PKS 210 第三方通信的系统之间的整合

..... 刘国华 骆继历 邓志伟 梁从富 (358)

放空分液罐污水泵变频改造

刘国华 史自民 骆继历 邓志伟 (362)

段塞流捕集器积蜡成因及清洗研究 (1) ——蜡质沉积物与除蜡速率分析

..... 赵小龙 刘国华 程明聪 胡子昭 (366)

段塞流捕集器积蜡成因及清洗研究 (2) ——流变性能与石蜡沉积成因分析

..... 赵小龙 梁晓飞 马曦 胡子昭 (372)

段塞流捕集器积蜡成因及清洗研究 (3) ——段塞流捕集器现场清洗效果评价

..... 赵小龙 梁从富 胡子昭 (379)

浅议放空天然气回收利用技术的发展趋势

..... 侯新利 王坤 刘国华 贾鑫 程明聪 景宏涛 (385)

BB RTU 与 Siemens PLC 之间的数据通信

..... 齐友 伍藏原 杨刚 杨涛利 王建顺 (388)

迪那 2 凝析气田关键装置液位监测可靠性的优化

..... 牟晓波 邹应勇 伍藏原 齐友 孙承露 杨刚 (392)

天然气计量与标定

齐友 (400)

迪那 2 气田自动化系统产能建设工程的评价

..... 齐友 张春生 伍藏原 杨刚 张建业 (404)

有线与无线传输系统的 SCADA 并行通信在油气田的实现

..... 齐友 马向阳 伍藏原 张春生 杨刚 方艳 乔锦森 (408)

一种新的压降速率算法在天然气管线联锁保护中的应用

..... 齐友 张春生 牟晓波 朱昌军 (413)

塔里木气田大流量湿气矿场计量技术研究

..... 晁宏洲 唐君伟 杜广川 赵建彬 袁媛 林国强 (416)

碳纤维补强技术及其在塔里木油田的应用

..... 晁宏洲 唐君伟 王修云 刘国 侯世颖 (426)

HYSYS 工艺流程模拟软件在气田地面工艺中的推广应用

..... 赵建彬 丁志新 张靖 顾娟 (434)

浅谈如何实现工艺安全信息的有效应用

..... 丁志新 韩国强 黄浩轩 袁媛 王磊 陈良 (437)

管理工程篇

塔里木油田公司基层单位工艺安全管理改进方向探讨	任 亮 潘志明 韩国强 薛 原 吕 戈 (443)
对塔里木油田企业质量文化建设的几点思考	朱政洪 张炳南 陈 园 丁志新 尚林明 (450)
建立 profitp 服务器并实现用户访问目录控制和磁盘限额的探索与实践	唐志刚 康 征 朱和平 (453)
在 sun solaris 系统下 oracle9i 数据库的自动备份	唐志刚 康 征 朱和平 (459)
构建企业安全文化体系的必要性研究	余明升 闫建业 (464)
工业电视监控系统在天然气长输管道中的应用	齐 友 周 军 乔宏斌 (468)

气藏工程篇

迪那 2 异常高压凝析气田 井筒动态分析方法及软件研制

李汝勇 常志强 陈文龙 廖发明 康 征 刘加元

(中国石油塔里木油田公司)

摘 要：迪那 2 深层异常高压凝析气藏，井口压力动态监测，会出现资料异常现象。常规井筒动态分析方法，都是将井筒温度剖面看做不随时间变化的线性剖面，将摩阻系数考虑为常数，未考虑井筒内相态变化和动能损耗，仅将产量及相对密度校正后近似处理，这样求解的井底压力仍会出现异常。在拟合迪那 2 气田井筒温度剖面基础上，推导了考虑相态变化、动态摩阻和动能损耗等因素的压力折算新公式，并编制了相应的计算软件，得到了更为完善的异常高压凝析气井井筒动态分析方法，实例验证表明，模型可靠程度较高，适用性较好。

关键词：迪那 2 异常高压 凝析气井 井筒动态 摩阻 动能 软件编制

迪那 2 气田属于深层异常高压凝析气藏，气田埋藏深、压力高、压力系数大，下压力计到井筒内进行静压、流压的监测，安全风险大。现场采用在井口安装高精度电子压力计进行压力监测，但录取资料存在井口压力恢复下降的异常现象（图 1）。因此，有必要进行井底压力的折算及校正方法的研究，为开发动态的评价提供可靠的依据。

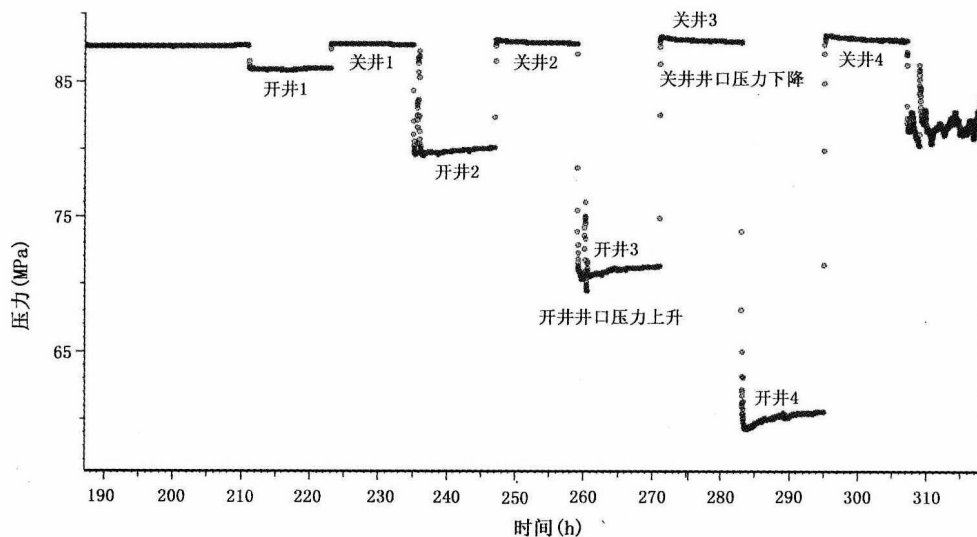


图 1 迪那 × 井 5001.5 ~ 5070.0m 井段井口压力恢复曲线

作者简介：常志强，男，1980 年生，博士，高级工程师，现从事油气田开发研究工作。

常规的井底压力计算方法主要有平均温度和平均偏差系数法、Aziz 法、Sukkar - Cornell 法、Cullender - Smith 法等^[1,2]，这些方法都是将井筒温度剖面看做不随时间变化的线性剖面，忽略动能损耗和相态变化；将井筒摩阻考虑为常数，同时将产量及相对密度进行校正来近似处理，它忽略了高压凝析气井开关井过程中井筒温度发生的剧烈变化，忽略了井筒内动能项导致的压力损耗，忽略了凝析气井井底压力低于露点压力后井筒内发生的相态变化和组成变化，没有考虑井筒内摩阻是受产量、管径、压力动态影响的动态变量^[2]。

在常规方法的基础上，分析整理迪那 2 气田试油资料，拟合了迪那 2 气田井筒温度分布剖面，建立了考虑相态变化、动态摩阻和动能损耗的压力折算新方法，并在对该方法进行数值求解的基础上编制了相应的迪那 2 气田井筒动态分析软件。通过实例验证，模型适用性较好，符合工程计算精度要求，能更准确地进行迪那 2 气田井筒动态分析，得到反映储层物性特征的压力动态和参数。

1 迪那 2 气田井筒温度剖面建立

迪那 2 气田地层压力为 106.0MPa，压力系数为 2.06 ~ 2.29，属于典型的异常高压气藏。利用迪那 × 井实测温度数据，将整个温度剖面根据修正等时试井工作制度分为 4 个阶段，每个阶段对应一个产量值，然后又将每个阶段细分为短开井、开井、短关井、关井 4 个过程（图 2）。温度剖面的建立在于准确地拟合 4 个不同阶段（每个阶段 4 个过程）的温度变化。因为数据点多，资料处理复杂，技术核心在于准确地提取不同阶段中 4 个过程的温度资料，采用合理的曲线拟合模型寻找每个过程相关性最好的曲线关系式。

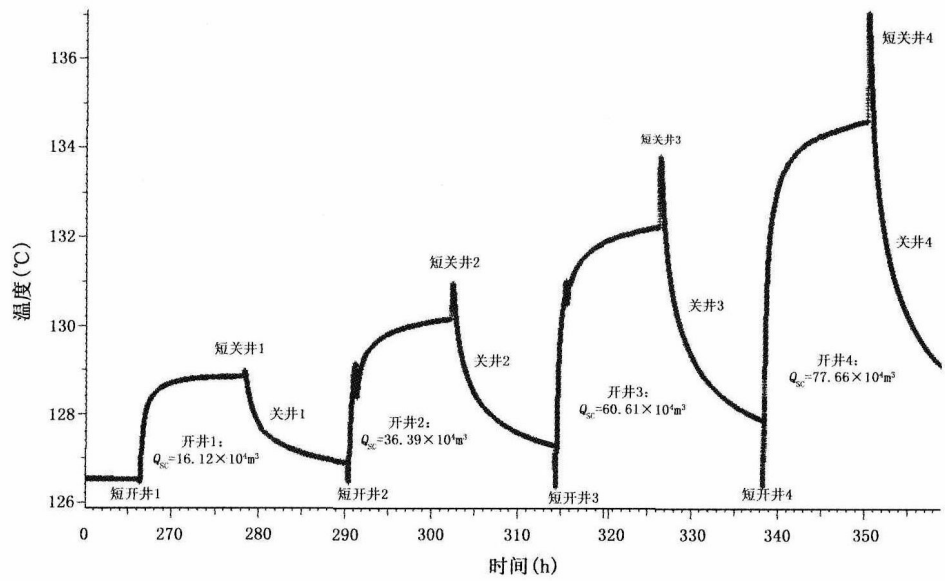


图 2 迪那 × 井修正等时试井实测井底温度曲线

首先，分段提取温度资料，进行曲线拟合。短开井、短关井段用 $T = a + bt + ct^2 + dt^3 + et^4 + ft^5$ 拟合；开井、关井段用 $T = (a + bt) / (1 + ct + dt^2)$ 拟合，可得每一产量对应的 $T-t$ 曲线及表达式系数值。迪那 × 井短开井 2 段对应的 $T-t$ 曲线如图 3 所示。

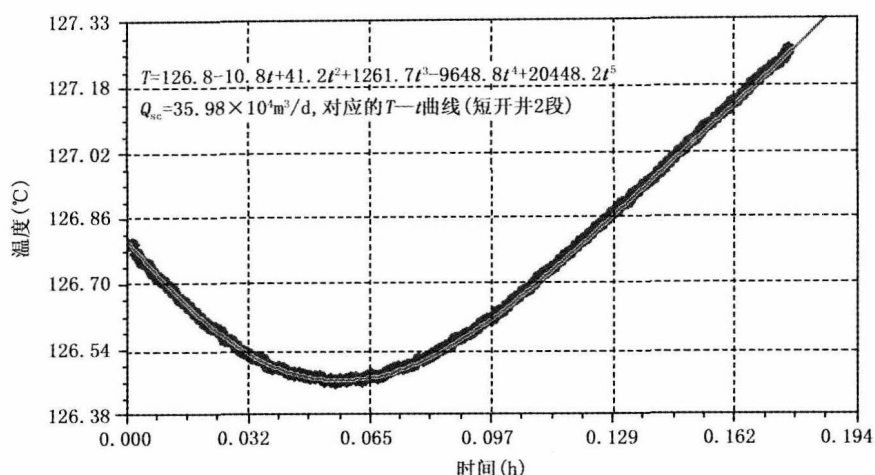


图3 迪那×井短开井2段对应的 $T-t$ 曲线

将曲线表达式系数值与对应产量进行拟合, 图4即为4个阶段(短开井过程)的 $T-t$ 曲线系数 a 与对应产量拟合曲线, 通过拟合可得到井底温度具体曲线表达式系数值。短开井段、开井段井底温度具体曲线表达式系数值分别如表1、表2所示。这样根据气井产量, 即可得到不同时间的井底温度, 进而得到井筒温度随时间变化的剖面。

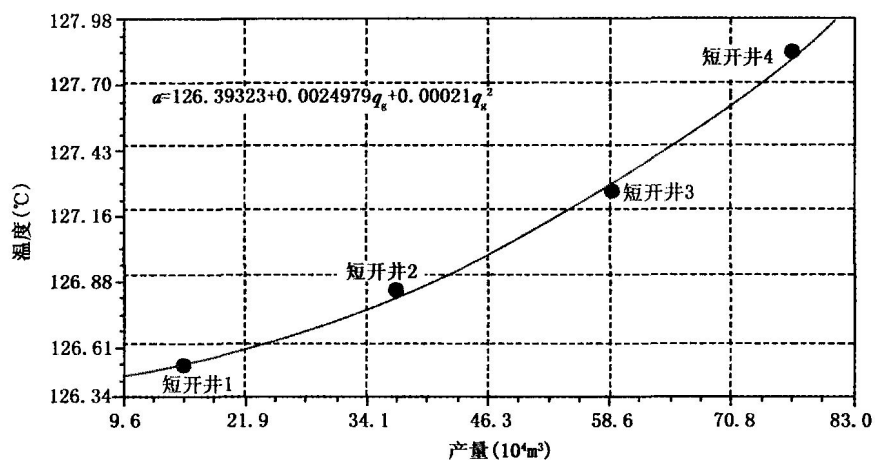


图4 4个阶段的 $T-t$ 曲线系数 a 与对应产量拟合曲线

表1 短开井段井底温度具体曲线表达式系数值

$a = 126.39323 + 0.0024979q_g + 0.00021q_g^2$	$b = -3.8239 + 0.13675q_g - 0.007955q_g^2$
$c = 206.4116 - 9.0544q_g + 0.08976q_g^2$	$d = -2650.6147 + 132.7201q_g - 0.2679q_g^2$
$e = 37382.13 - 1611.921q_g + 7.5367q_g^2$	$f = -243403.52 + 9517.261q_g - 68.92q_g^2$

表2 开井段井底温度具体曲线表达式系数值

$a = 126.1561 + 0.016q_g - 0.00026q_g^2$	$b = 428.31 - 3.402q_g + 0.0598q_g^2$
$c = 3.314 - 0.0252q_g + 0.00042q_g^2$	$d = 0.00144 - 0.0001q_g - 0.0000008q_g^2$

2 考虑相态变化的井筒动态预测

迪那 2 气田属于异常高压凝析气藏, 当井筒压力低于露点压力后, 井筒中会有凝析油析出, 气、液组成会不断发生变化。因此有必要分析相态变化对凝析气井井筒动态的影响, 结合流体相平衡热力学闪蒸计算和状态方程, 对偏差因子进行考虑相态变化的修正。

(1) 选择闪蒸计算物料平衡方程组:

$$\sum_i (y_i - x_i) = \sum_i \frac{z_i(k_i - 1)}{1 + (k_i - 1)v} = 0 \quad (1)$$

采用牛顿—拉夫森迭代求解 v , 进而计算得到液相组成 x_i 和气相组成 y_i 。

(2) 分别对气相和液相利用 SRK 状态方程计算各自的压缩因子:

$$Z_m^3 - Z_m^2 + (A_m - B_m - B_m^2)Z_m - A_mB_m = 0 \quad (2)$$

(3) 分别对气相和液相用逸度方程计算相应的逸度 f_i^v 、 f_i^L 。

如计算液相:

$$\ln\left(\frac{f_i}{x_i p}\right) = \frac{b_i}{b_m}(Z_m - 1) - \ln(Z_m - B_m) - \frac{A_m}{B_m}\left(\frac{2\Psi_j}{a_m} - \frac{b_i}{b_m}\right)\ln\left(1 + \frac{B_m}{Z_m}\right) \quad (3)$$

其中:

$$\Psi_j = \sum_{j=1}^n x_j(a_i\alpha_i a_j\alpha_j)^{0.5}(1 - k_{ij}) \quad (4)$$

(4) 判断是否满足热力学平衡。

若: $\max |(f_i^L/f_i^v - 1)| \leq \varepsilon$ 时, 结束相平衡计算。

若不满足, 重新校正各组分的平衡常数:

$$k_i = (f_i^L/x_i)/(f_i^v/y_i) \quad (5)$$

然后代入式 (1), 继续迭代计算。

这样, 可分别得到气相、液相摩尔量 L 、 V 和偏差因子 Z_v 、 Z_L , 最后得到气液混合物总偏差系数 Z :

$$Z = LZ_L + VZ_v \quad (6)$$

3 考虑动态摩阻的井筒动态预测

油管摩阻系数是气体稳定流动能量摩阻项的重要参数, 通常采用 Jain 经验公式计算的 Moody 摩阻系数来表示气体在井筒中流动时由于摩阻导致的压力损耗。但绝对粗糙度的取值是困扰摩阻系数计算的主要难题, 也是油管流压梯度计算精度不及静压梯度的主要原因。在井下复杂条件下, 数千米油管的摩阻系数会发生变化, 应是一个动态值^[3]。

计算各段的摩阻系数:

$$f_i = \frac{1 - M\left(\frac{B_g}{p}\right)_i - N\left(\frac{1}{B_g}\right)_i\left(\frac{\Delta H}{\Delta p}\right)_i}{K(B_g)_i\left(\frac{\Delta H}{\Delta p}\right)} \quad (7)$$

其中:

$$M = 1.8 \times 10^{-16} \left(\frac{W_g^2}{\gamma_g d^4} \right); N = 1.821 \times 10^{-5} \gamma_g; K = 9.0111 \times 10^{-17} \left(\frac{W_g^2}{r_g d^5} \right) \quad (8)$$

计算全油管动态摩阻系数:

$$f_i = \frac{\sum [(\Delta H) f_i]}{\sum (\Delta H)_i} \quad (9)$$

4 考虑动能损耗的井筒动态预测

利用井口油压计算井底流压的公式很多, 它们都是从气体稳定流动能量方程入手, 经一定假设、简化推导而来的, 其中一项假设即是将动能项忽略不计。然而, 误差分析表明, 此项假设仅适用于某些生产条件, 如动能损失在总能耗中所占份额较小、测压仪表精度低等^[4]。

对于迪那2这样的高压、高产气井, 则不能忽略动能项的影响。与不考虑动能项相比, 考虑动能损耗得到的井底流压要高出 0.1 ~ 0.5 MPa 左右。差值大小与产量高低有关, 产量越高则其影响越大。

气体稳定流动能量方程:

$$\frac{dp}{\rho} + u du + g dH + \frac{f u^2}{2g} dH = 0 \quad (10)$$

经过推导, 可得:

$$dp - C dp + g p dH + \frac{f p u^2}{2g} dH = 0 \quad (11)$$

式 (11) 中的 C 定义为动能因子, 其表达式为:

$$C = \frac{-W q_g}{A^2 p} \quad (12)$$

从动能因子定义式可看到, C 代表动能损失占总能量损失的分数, 其值为 $0 < C < 1$, 无因次; C 的大小主要取决于油管直径、流量和油管上的平均压力。当 $T_{sc} = 293K$ 、 $p_{sc} = 0.101324MPa$, 进一步推导得出 C 的实用计算公式为:

$$C = 2.62 \times 10^{-16} \frac{\gamma_g q_l}{d^4 p_{if}} (B_g)_{if} \quad (13)$$

从式 (13) 进一步看出, C 值与管径、井口油压成反比, 与流量成正比。故对高产气井采用大管径生产可减少动能损耗带来的压力损失。

5 异常高压凝析气井井底压力计算公式推导

综合上述研究, 考虑相态变化、动能损耗和动态摩阻等因素, 利用能量守恒方程推导得出了迪那2气田井底压力计算新公式即式 (14)。该式与常规方法, 即式 (17) 相比, 考虑