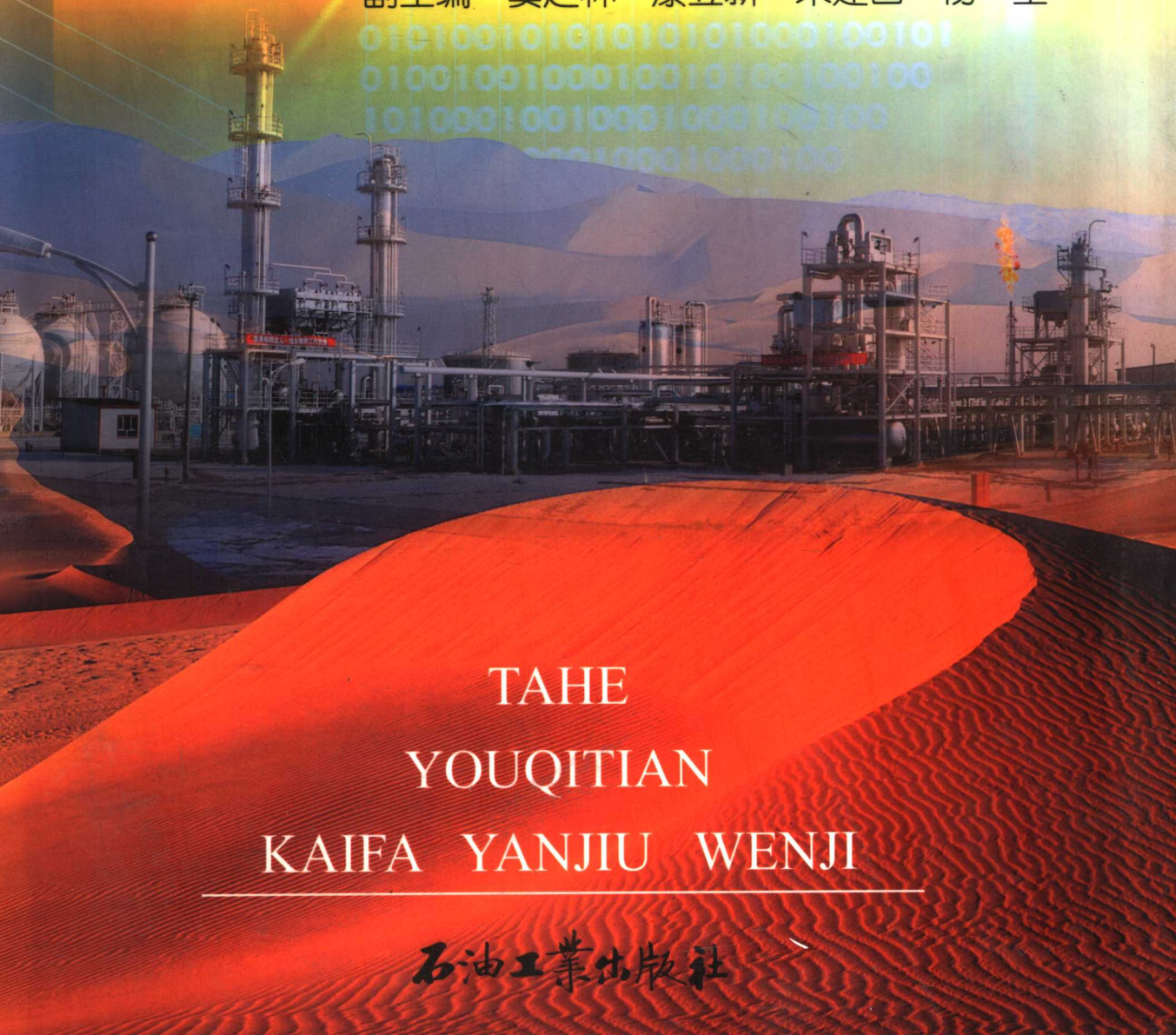


纪念中国石化西北分公司勘探开发研究院成立十周年 (1996—2006)

塔河油气田开发研究文集

主 编 焦方正

副主编 窦之林 漆立新 朱建国 杨 坚



TAHE
YOUQITIAN
KAIFA YANJIU WENJI

石油工业出版社

纪念中国石化西北分公司勘探开发研究院成立十周年 (1996—2006)

塔河油气田开发研究文集

主 编 焦方正

副主编 窦之林 漆立新 朱建国 杨 坚

石油工业出版社

内 容 提 要

塔里木盆地塔河油田是我国目前发现的最大海相油田,以奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏为主,其开发方法完全不同于我国其他陆上油田。本书主要从碳酸盐岩缝洞型油藏的分布规律、流体特征、稳油控水、地震精细解释等方面对塔河油田的开发特征进行了深入分析。

本书可供油田开发、物探科技工作者使用。

图书在版编目(CIP)数据

塔河油气田开发研究文集 / 焦方正主编.

北京:石油工业出版社,2006.3

ISBN 7-5021-5445-0

I. 塔…

II. 焦…

III. ①油田开发—新疆—文集

②气田开发—新疆—文集

IV. TE3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 017217 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.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 36.25

字数: 921千字 印数: 1—1100册

定价: 148.00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

序

塔里木盆地是我国目前油气资源最具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井实现重大突破以来，西北分公司发扬艰苦奋斗的精神，依靠科技进步，又连续发现并探明了一批油气田；尤其是1996年塔河奥陶系碳酸盐岩勘探取得重大突破，使西北分公司的储量基础实现了跨越式的发展；目前已累计探明原油地质储量63119万吨，天然气地质储量555亿立方米，成为中石化西部地区重要油气资源接替区之一。

西北分公司的油气开发起步于1992年，在1996年前主要开发对象是以西达里亚油气田为主的砂岩油藏，但规模较小；自1996年塔河油田投入开发后，分公司的油气田开发进入了一个新的快速发展阶段，产能建设和油气产量连年迅速提高，尤其是2002年以后，开发力量得到加强，每年原油产量增幅都达到50万吨以上，连续3年新建产能达100万吨以上；2005年投入开发的油气藏16个，年产原油420万吨，日产水平达到12900吨，已经成为中石化第二大油气田。

西北分公司勘探开发研究院1996年成立至今已10年，这期间研究院的开发研究力量不断壮大。在集团公司“稳定东部、发展西部、准备南方、开拓海外”的上游战略思路指导下，在股份公司的关怀和分公司领导的正确指导以及兄弟单位的支持下，研究院以塔河油田的开发为契机，面对复杂的、开发难度很大的碳酸盐岩缝洞型油藏，在没有成熟先例可借鉴的情况下，发扬塔河精神，刻苦钻研，迎难而上，积极开展了储层预测、油藏描述、油藏工程分析等方面的研究，创新性的形成了缝洞型储集体识别和预测技术、油藏描述技术、井位部署技术、老区控水稳油和注水替油提高采收率技术，同时近几年也形成了深层隐蔽低幅度砂岩油藏的识别和开发技术；开发研究工作取得了可喜的成绩，研究水平迅速提高，不但为分公司的产能、产量的迅速发展，为分公司开发水平的提高提供了有利的支撑，而且锻炼了开发研究队伍，造就了一批涵盖物探、地质、油藏、测井等各相关专业的开发研究技术骨干，为分公司可持续发展打下了坚实的基础。

在建院十周年之际，研究院本着“总结过去、加强交流、鼓足干劲、继续提高”的目的组织编写本论文集，文集较为系统地总结梳理了十年来开发方面取得的各项成果和认识，内容涉及储层、构造、建模、动态分析、方案设计等油藏开发的各个方面，不但有针对碳酸盐岩缝洞型油藏的理论和技术方法，也包括深层隐蔽砂岩油藏的识别和开发技术，面对的均是在国内外都具有高难度的开发对象，在目前探明的油气田开发难度愈益增大的形势下，相信这些成果和认识会对股份公司开发技术水平的提高起到重要的促进作用，会对兄弟单位开发技术的发展有一定的借鉴作用。

相信在各级领导的正确领导及兄弟单位的支持帮助下，研究院一定能够不断挑战困难，提高创新能力，实现创建一流研究院的目标，为股份公司的发展作出贡献。

编者

二〇〇六年三月

Preface

Tarim Basin is a large and prospective sedimentary basin on the oil and gas resources in China. Since September 1984, the major breakthrough has been made in attaining industrial standard level account of Shacan No.2 Well, which located at Shaya uplift in the North area of Tarim Basin. The Northwest Branch carried forward the spirit of arduous struggle, relied on scientific and technological progress, and successively had found and proved a number of oil and gas fields, especially in 1996, major breakthrough has been made in Ordovician carbonate rock of Tahe area. The reserves increase ratio of the Northwest Branch achieved leapfrog development; Proved oil reserves now total 631.19 million tons, geological reserves of natural gas 55.5 billion, Tarim Basin has become one of the important replace district on oil and gas resources of SINOPEC.

Oil and gas development of the Northwest Branch off in 1992, in 1996, the main target is to develop mainly sandstone reservoirs of West Daliya area, but on a smaller scale; Invest in developing the Tahe oil fields since 1996, the development of the oil and gas fields have entered a new stage of rapid development, productivity and output of oil and gas had been rapidly improved, particularly after 2002, the development forces strengthened, the annual output of crude oil has reached 500,000 tons, the new productivity for three consecutive years to reach more than 100 million tons. In 2005, 16 hydrocarbon reservoirs had been developed, with an annual 4.2 million tons of crude oil, the level of production reached 12,900 tons/days. The Tahe oil field has become the second oil field in SINOPEC.

The exploration and development institute of Northwest Branch has been 10 years since its establishment in 1996. During this period, its development research force has grown. Under the upstream strategic thinking guidance of "Stability eastern, western development, preparing the South, and open up overseas", under the concern of the joint-stock company and the leadership of the Northwest Branch and the support of fraternal units, for the opportunity to development oil field, the exploration and development institute face complex and difficult development of the fracture-cavity carbonate reservoir, in the absence of past successful experience, to carry forward the Tahe's spirit, to study assiduously, to brave difficulties, to take vigorous action to prediction for reservoir, reservoir description, reservoir engineering analysis and study, innovated and formed a identification and forecasting techniques for the fractures-cavity carbonate reservoir, reservoir described technology, geometric arrangement of well technology, water control and stable output technology in developed area, enhanced recovery efficiency by water

injection technology. At the same time in recent years also developed identification and development technology for a deep-seated, subtle and low-amplitude sandstone reservoir; Its development research has yielded gratifying results, the rapid rise in the levels of research, not only for the rapid growth of productivity and output, raising the level of our development will provide a favorable support for the branch, and tempered the research teams, the levels of research is markedly improved. Created a number of geophysics, geology, reservoir, logging and other related professional development and research technology backbone, to lay a solid foundation for sustainable development of the Northwest Branch.

At the 10th anniversary of the founding, in the principle of "Summing up the past, strengthening exchanges, go all out, continue to improve", we published this collection of articles, systematically summed up out of decades of the results achieved and awareness concerning the reservoir, construction, model, dynamic analysis, program design and so on, not only contain the theory and techniques of carbonate fracture and cavernous reservoir, but also including identification and development technology for deep-seated, subtle sandstone reservoir. We face at home and abroad have tough development targets. In situations of development difficult is growing in those identified oil and gas fields, we believe these results and awareness will play an important role in improving the level of technology of joint-stock companies, at the same time having some reference to the fraternal units.

Under the correct leadership of the leader at all levels and the support and help from the fraternal unit, we believe that the exploration and development institute of Northwest Branch will continue to challenge difficulties, enhance innovation capacity, achieve the goals of establishing first-class institute and to make a greater contribution to the development of joint-stock company.

Editor in March 2006

目 录

油 气 田 开 发

塔河碳酸盐岩油田开发实践与认识·····	焦方正	杨 坚	(1)			
塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发与展望 ·····	杨 坚	王忠东	鲁新便	陈君莉	(8)	
塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏缝洞单元研究及其开发意义 ·····	鲁新便	李 峰	杨 敏	马旭杰	龙喜彬	(17)
塔河油田碳酸盐岩油藏开发特征和控水稳油·····	马旭杰	周 敏	雷登生	杨全疆	(24)	
塔河缝洞型油藏注水开发试验与认识·····	马旭杰	王书宝	涂兴万	任彩琴	(32)	
塔河油田缝洞型油藏未动用储量评价及开发对策探讨 ·····	龙喜彬	王忠东	吴铭东	鲁新便	(38)	
塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩古岩溶洞穴展布规律探讨·····	杨国龙	鲁新便	(44)			
塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏储量计算方法·····	刘 莉	荣元帅	金意志	(53)		
塔河奥陶系碳酸盐岩油藏地质与动态储层评价·····	康志宏	鲁新便	杨 敏	(60)		
塔河油田奥陶系油藏流体特征及分布规律研究·····	刘 莉	吕艳萍	(68)			
塔河油田 5 区奥陶系油藏流体分布特征及成因分析·····	陈姝媚	杨 敏	李 峰	(78)		
塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏油水界面计算方法探讨·····	李 峰	梁利侠	陈志辉	(85)		
塔河油田西部奥陶系碳酸盐岩储层发育特征研究·····	吴铭东	程 静	杨迎春	(93)		
雅克拉白垩系气藏油气地质特征研究·····	周丽梅	宋化明	王艳伟	(99)		
大涝坝气田 1、2 号气藏油气地质特征研究 ·····	宋化明	周丽梅	王艳伟	(108)		
塔河油田主体区石炭系卡拉沙依组沉积相和砂体展布特征 ·····	金意志	张淑彬	李学明	黄建国	(119)	
塔河油田主体区石炭系卡拉沙依组开发前景研究 ·····	金意志	张淑彬	伍德全	李学明	(125)	
塔河油田主体区石炭系卡拉沙依组储层测井响应模式和评价标准研究 ·····	金意志	伍德全	余 波	简万洪	(132)	
塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏开发方案优化设计技术 ——以塔河油田 8 区为例·····	吴 涛	(139)				
三叠系低幅砂岩油藏水平井布井研究·····	马洪涛	张林艳	于腾飞	(151)		
塔河油田 4 区碳酸盐岩油藏开发方式接替研究·····	靳 佩	(161)				
塔河油田 4 区含水上升类型的诊断和分析·····	靳 佩	杨迎春	(173)			
塔河油田碳酸盐岩油藏递减规律研究·····	陈君莉	陈新乐	赵 峰	(181)		
试井资料在缝洞型油藏储层评价中的应用·····	杨 敏	王 芳	(190)			
塔河油田奥陶系油气藏酸压地质选层技术及应用 ·····	李新华	李宗宇	吕艳萍	雷登生	(197)	

塔河油田碳酸盐岩油藏油井合理工作制度确定·····	任彩琴	(203)
塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏等效数值模拟方法 ·····	刘学利 杨 坚 张林艳 任彩琴	(210)
浅析塔河油田三叠系水平井现场砂顶的预测技术与轨迹调整方法 ·····	冉 飞 杨鸿宇	(215)
储层敏感性评价在油气勘探开发中的应用·····	宫继萍 贾 平	(229)
塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞单元划分及分类评价 ·····	李 峰 鲁新便 杨 敏 薛 帅	(234)
塔河油田缝洞型碳酸盐岩储层建模及模拟方法探讨 ·····	刘学利 李宗宇 汪 洋 吴铭东 陈姝媚	(245)
塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏三维地质建模技术·····	康志宏 吴晓军 赵 敏	(256)
RMS-Storm 在深埋藏缝洞型碳酸盐岩储层建模中的应用 ·····	刘 洁 赵 敏	(265)

开 发 地 震

塔河油田超深层井间地震采集技术·····	徐才文 赵永勤 杨子川 许 杰	(272)
不同反演方法在塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层预测中的应用 ·····	李家蓉 李 铁 徐丽萍	(280)
塔河油田碳酸盐岩缝洞型储层波形分析预测技术 ·····	赵永勤 徐才文 窦慧媛 徐丽萍 杨子川	(288)
塔河油田开发地震精细解释技术应用 ·····	杨子川 李艾红 徐丽萍	(301)

测 井 技 术

塔河油田碳酸盐岩缝洞型储层测井识别与评价·····	樊政军 柳建华 马 勇	(311)
塔河油田碳酸盐岩缝洞型储层测井识别方法·····	樊政军 蔺学晃 张卫峰	(324)
塔河油田奥陶系综合概率模型及应用 ·····	马 勇 樊政军 王 谦	(336)
塔河油田碳酸盐岩水平井成像测井响应特征分析与应用 ·····	胡国山 马 勇	(346)
塔河油田奥陶系成像测井储层类型识别与划分·····	柳建华 周家驹 马 勇	(356)
塔河油田奥陶系成像测井孔隙度定量计算方法·····	张秀荣 马 勇 李 翎	(366)
塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层参数测井求取方法·····	李 翎 李桂荣	(376)
测井技术在塔河油田奥陶系储层改造中的应用·····	郑玉玲 张卫峰	(388)
自然伽马能谱测井在塔河油田奥陶系碳酸盐岩地层中的应用·····	胡国山 袁秀婷	(397)
塔河油田奥陶系元素测井技术应用 ·····	张晓明 农小品	(405)
微电阻率扫描测井在塔河油田碳酸盐岩储层的应用·····	郑玉玲 周红涛 周家驹	(416)
塔河油田奥陶系偶极横波成像测井技术应用·····	赵冬梅 秦伟强 王 谦	(426)
利用测井资料计算岩石力学参数·····	马 勇 农小品	(433)
塔河油田三叠系 MDT 测井技术应用 ·····	柳建华 张秀荣 李桂荣	(444)
塔河油田三叠系水平井随钻测井技术应用·····	张卫峰 魏历灵 柳建华	(451)
塔河油田碎屑岩储层核磁共振测井技术应用·····	马 勇 周家驹 柳建华	(458)

塔河油田奥陶系岩电关系研究·····	赵 青	蔺学旻 (466)
塔河油田奥陶系储层流体性质测井判别方法探讨·····	张晓辉 柳建华	张卫峰 (474)
塔河油田三叠系低阻油气层测井解释模型及应用·····	张卫峰 蔺学旻	樊政军 (482)
塔河油田三叠系储层测井解释评价方法与应用·····	孔祥荣 张卫峰	(489)
塔河油田三叠系水平井测井咨询方法与应用·····	王建英 赵 青	(497)
塔河油田泥盆系东河塘组储层测井技术应用·····	蔺学旻 柳建华	周家驹 (502)
塔河油田石炭系油气储层测井最优化评价·····	袁秀婷 樊政军	(508)
亚肯北碎屑岩储层测井解释研究·····	赵冬梅 蔺学旻	(515)
雅克拉凝析气田白垩系储层测井解释研究·····	魏历灵 马 勇	(530)
阵列感应测井在碎屑岩储层解释中的应用·····	蔺学旻 盛海波	樊政军 (541)
塔河油田低密度固井质量测井技术应用·····	贺铎华 王建英	魏历灵 (548)
塔河油田奥陶系快速地层固井质量评价方法·····	蔺学旻 贺铎华	孔祥荣 (561)

CONTENTS

The development practice and knowledge of Tahe carbonate oilfield	Jiao Fangzhen Yang Jian (1)
The development and prospect of karsted carbonate reservoir in Ordovician Tahe oilfield	Yang Jian Wang Zhongdong Lu Xinbian Chen Junli (8)
An study and development implication on fluid compartments of karsted carbonate reservoir in Ordovician Tahe oil field	Lu Xinbian Li Feng Yang Ming Ma Xujie Long Xibing (17)
The developmental characteristic and control water cut for steadied production in reservoir of carbonate of Ta he oilfield	Ma Xujie Zhou Ming Lei Dengsheng Yang Quangjiang (24)
The waterflooding test and recognition in the fracture-cave type carbonatite reservoir in the Tahe oilfield	Ma Xujie Wang Shubao Tu Xinwan Reng Caiqing (32)
Discussion for evaluationd and development policies of non-producing reserves of the crack and hole reservoir of Tahe oil field	Long Xibin Wang Zhongdong Wu Mingdong Lu Xinbian (38)
Approach the characteristic of the ancient karst cave distribution of the Tahe oil field's Ordovician carbonatite	Yang Guolong Lu Xinbian (44)
The reserves calculation methods of cranny Ordovician carbonate reservoir in Tahe oilfield	Liu Li Rong Yuanshuai Jin Yizhi (53)
The dynamic studing on fracture & vug unit research process in the Ordovician carbonate reservoir in the Tahe field	Kang Zhihong Lu Xingbian Yang Ming (60)
The study of fluids' characteristic and distribution law in Tahe Ordovician eservoir	Liu Li Lu Yanping (68)
The analysis of the distribution feature and cause of the Tahe No.5 area Ordovician reservoir's fluid	Chen Shumei Yang Min Li Feng (78)
The discussion of the water-oil interface computational method of the Tahe seam-hole carbonate reservoir.....	Li Feng Liang Lixia Chen Zhihui (85)
The study of the reservoir distribution feature of western Tahe oil-field	Wu Mingdong Cheng Jing Yang Yingchun (93)
The reasearch of geological characters for Yakala gas-field	Zhou Limei Song Huaming Wang Yanwei (99)
The Reasearch of geological characters for DaLaoBa gas-field	Song Huaming Zhou Limei Wang Yanwei (108)

- The sedimentary facies and the distribution character of sand body of the Kalashayi group of carboniferous system in the main area of the Tahe oil field
..... Jin Yizhi Zhang Shubin Li Xueming Huang Jianguo (119)
- The development potentials in Kalashayi group of Carboniferous system in the main area of Tahe oil field
.....Jin Yizhi Zhang Shubin Wu Dequan Li Xueming (125)
- The log response model and relevant quantification standard of reservoir in the Kalashayi group of Carboniferous system in the main area of the Tahe oil field
..... Jin Yizhi Wu Dequan Yu Bo Jian Wanhong (132)
- The development proposal optimal study of carbonate reservoir with fracture-vug in Tahe oilfield
——Tahe 8 block in Tahe oilfield for example Wu Tao (139)
- The study on the dispose horizontal well in Tahe oilfield Triassic sandstone low extent structure reservoir Ma Hongtao Zhang Linyan Yu Tengfei (151)
- Study on superseded developing methods of carbonate reservoirs in the section 4 of Tahe oilfield Jin Pei (161)
- The diagnoses and analysis of water stepping up problem in the region of No.4 in Tahe oilfield Jin Pei Yang Yingchun (173)
- The study of the reservoir law of diminishing of Tahe oil-field
..... Chen Junli Chen Xinle Zhao Feng (181)
- The application of well test data in the reservoir evaluation of fracture-hole-style oil pool Yang Min Wang Fang (190)
- Technology and application of taking layer for fracture acidizing in geology in Ordovician oil-gas reservoir in Tahe oilfield
..... Li Xinhua Li Zongyu Lui Yanping Lei Dengsheng (197)
- Reasonable work routine determination for fracture-cave type carbonate reservoir in Tahe oilfield Ren Caiqin (203)
- The study of equivalent numerical simulation in fracture-cavity carbonate reservoir of Tahe oilfield Liu Xueli Yang Jian Zhang Linyan Ren Caiqin (210)
- The technique of geosteering In scene of horizontal well In Triassic reservoir in Tahe oilfield Ran Fei Yang Hunyu (215)
- Reservoir sensitivity appraisal in oil gas exploration development application
..... Gong Jiping Jia Ping (229)
- The classification and evaluation of carbonate cracks cell in Ordovician Tahe oilfield Li Feng Lu Xinbian Yang Min Xue Shuai (234)
- Study on reservoir modeling and simulation the fracture-cavity carbonate rock in Tahe oilfield
..... Liu Xueli Li Zongyu Wang Yang Chen Shumei Wu Mingdong (245)
- Three-dimensional geology modeling and forecasting of fracture & cavity in carbonate reservoir Kang Zhihong Wu Xiaojun Zhao Min (256)

Application of deep -bury carbonate rock hydrocarbon reservoir modeling by use RSM-Storm	Liu Jie Zhao Min (265)
Super-deep crosshole seismic technique in Tahe oilfield	Xu Chaiweng Zhao Yongqing Yang Zhichuan Xu Jie (272)
Application of different inversion methods in predicting carbonate reservoir in Tahe oilfield	Li Jiarong Li Tie Xu Liping (280)
Technology of waveform analyse for carbornate sew-hole reservoir in Tahe oilfield	Zhao Yongqing Xu Caiwen Dou Huiyuan Xu Liping Yang Zichuan (288)
Application of technique of fine interpretation on development seismic in Tahe oilfield	Yang Zichuan Li Aihong Xu Liping (301)
The logging identifying and parameter of the carbonate karst fracture and hole reservoir in Tahe oil field	Fan Zhengjun Liu Jianhua Ma Yong (311)
The apply and interpret model of the low resistance reservoir in Tahe Triassic oil	Fan Zhengjun Lin Xuemin Zhang Weifeng (324)
The apply and method of logging in Tahe Triassic oil	Ma Yong Fan Zhengjun Wang Qian (336)
The character analysis and applying of imaging logging about horizontal well in Tahe oil field	Hu Guoshan Ma Yong (346)
The imaging logging technology application in the reservoir qualitative identifying and plot of Tahe Ordovician oil	Liu Jianhua Zhou Jiaju Ma Yong (356)
The investigation of porosity quantitative evaluation method in Tahe Ordovician oil	Zhang Xiurong Ma Yong Li Ling (366)
The method of sum up reservoir parameter in Tahe Ordovician oil carbonate reservoir	Li Ling Li Guirong (376)
The apply of reform the the carbonate reservoir use logging in Tahe Ordovician oil	Zheng Yuling Zhang Weifeng (388)
The Apply of GRSL in the Ordovician carbonate reservoirs of Tahe oil field	Hu Guoshan Yuan Xiuting (397)
The Apply of ECS in the Ordovician carbonate reservoirs of Tahe oil field	Zhang Xiaoming Nong Xiaopin (405)
Apply of FMI in the Ordovician carbonate reservoirs of Tahe oil field	Zheng Yuling Zhou Hongtao Zhou Jiaju (416)
Dipole shear wave imaging logging technology applied In Tahe oil field Ordovician	Zhao Dongmei Qin Weiqiang Wang Qian (426)
Calculating the parameter fo rock mechanism with logging data	Ma Yong Nong Xiaopin (433)
Applying of MDT logging method in Triassic of Tahe oil field	Liu Jianhua Zhang Xiurong Li Guirong (444)
Applying of LWD in horizontal well in Triassic of Tahe oil field	

..... Zhang Weifeng Wei Liling Liu Jianhua (451)	
NMR logging technology application in clastic rock reservoirs in Tahe oil field	
.....Ma Yong Zhou Jiaju Liu Jianhua (458)	
A discourse on lithology–electricity parameter in Tahe Ordovician oil	
..... Zhong Qing Lin Xuemin (466)	
The method of fluid property identifying in Tahe Ordovician oil	
..... Zhang Xiaohui Liu Jianhua Zhang Weifeng (474)	
The apply and interpret model of the low resistance reservoir in Tahe Triassic oil	
..... Zhang Weifeng Lin Xuemin Fan Zhengjun (482)	
The apply and method of logging in Tahe Triassic oil	
..... Kong Xiangrong Zhang Weifeng (489)	
Triassic logging consultation method and application of horizontal well in	
Tahe oilfield Wang Jianying Zhao Qing (497)	
Devonian logging application of Donghetang reservoir in Tahe oilfield	
..... Lin Xuemin Liu Jianhua Zhou Jiaju (502)	
Logging optimization evaluation in carboniferous reservoir of Tahe oilfield	
..... Yuan Xiuting Fan Zhengjun (508)	
The interpretation and research of logging in complicate sandstone reservoir of	
the north of yaken..... Zhao Dongmei Lin Xuemin (515)	
The interpretation and research of logging in Mesozoic group cretaceous in	
Yakela gas field Wei Liling Ma Yong (530)	
Array induction logging application in clastic rock reservoirs interpretation	
..... Lin Xuemin Sheng Haibo Fan Zhengjun (541)	
The application analysis of logging technology about low density fixation quality	
in the Tahe oil field He Duohua Wang Jianying Wei Lilling (548)	
The standard of consolidation quality in fast formation of the Ordovician	
carbonate reservoirs in Tahe oil field	
..... Lin Xuemin He Duohua Kong Xiangrong (561)	

塔河碳酸盐岩油田开发实践与认识

焦方正 杨 坚

(中国石化西北分公司 乌鲁木齐 830011)

摘要 文章回顾了塔河碳酸盐岩缝洞型油藏发现以来的开发历程及各阶段对油藏的主要认识和做法,在8年实践的基础上,系统总结了塔河碳酸盐岩油田从储层预测、测井、稠油举升到近期的注水替油等8项主导开发技术;同时总结了开发此类油藏的经验 and 认识是要解放思想、勇于创新 and 科学客观的认识油藏,抓住主要矛盾。最后基于目前油田的矛盾 and 问题分析了面临的形势 and 主要挑战。

一、概况

塔河油田位于新疆维吾尔自治区轮台县与库车县之间,距轮台县城西南约60km,地理位置:北纬 $41^{\circ}10' \sim 41^{\circ}25'$,东经 $83^{\circ}40' \sim 84^{\circ}15'$ 。塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏是以裂缝溶洞为主要储集空间的古风化壳油藏。油田位于盆地北部沙雅隆起东部阿克库勒凸起西南部。阿克库勒凸起是一个以寒武—奥陶系为主体的、长期发育的大型古凸起,最大幅度达950m。

1996年在该地区钻探的沙46井及随后的沙47、沙48井在奥陶系碳酸盐岩中获高产工业油气流,尤其是沙48井,在奥陶系顶部钻遇1.5m放空及漏失2000多立方米钻井液后投产获 507m^3 的稳定产量,从而揭开了塔河碳酸盐岩油藏的开发序幕。截至目前已累计探明 $63119 \times 10^4\text{t}$ 原油储量,油井469口,年产油量由1997年的 $39 \times 10^4\text{t}$ 增长到目前的 $420 \times 10^4\text{t}$,日产油水平达到13000t,实现了连续跨越式的发展,已经成为中石化西部油气产量的重要接替区。

回顾塔河油田的开发历程,大致可以分为三个阶段。

1. 评价试采阶段(1996—1998年)

该阶段以S46井突破开始,连续在阿克库勒凸起主体区(3、4、6区)的局部构造高点部署了11口探井和评价井,均获得高产并试采,平均单井日产达到260t,基本实现了塔河油田的不断外扩和突破。该阶段主要是获取了基础资料、评价油藏、探明储量;深化油藏认识,探索储层发育规律,并通过试采摸索油藏动态规律,在增储上产的同时为规模开发作基础准备。

该阶段通过试采和评价开始对储层形成了初步的概念模型,尤其是少数开发井为建产,使得对储层的复杂性有了初步认识。同时开始尝试各种储层预测方法的应用及研究。

2. 开发规模不断扩大及探索阶段(1999—2002年)

此阶段主要是加强油藏地质和油藏特征的基础研究,编制开发方案,在扩边评价的同时,迅速投入开发。1999年开始首次编制塔河缝洞型碳酸盐岩油藏3、4区块的开发可行性研究及开发方案,并逐步部署开发井。1999年底完钻各类井15口,投产12口,最高日产油3600t,单井平均产量 280t/d 左右,年产原油 $59 \times 10^4\text{t}$ 。2000年4区投入17口井生产,日

产油 3689t, 年产 122×10^4 t, 含水 7%。同年塔河 6 区投入试采, 共有试采井 7 口, 年产油 18×10^4 t, 当年奥陶系油藏共产油 160×10^4 t, 建成了年产原油 200×10^4 t 的生产能力, 实现了储量产量的快速增长。随后两年基本完成 3、4 区基础井网部署并编制 6、7 区开发方案, 至 2002 年, 生产井达到 132 口, 奥陶系碳酸盐岩油藏年产油达到 220×10^4 t。

该阶段随着动静态资料的不断积累和监测手段的加强, 开始对缝洞型灰岩油藏的储层地质特征和油藏动态规律进行研究; 初步建立了储层的框架模型, 但对储层的主要特点认识还不透彻, 观点不一致; 在三维连片解释基础上, 利用三维可视化、振幅及相干综合分析技术对缝洞型储层的预测取得重要进展, 开发井建产率达 70%; 超深层酸压技术大面积推广; 通过 FMI 成像测井和群井干扰试井对储层连通性有了初步认识。同时, 由于采取稀井高产原则 (4 区方案 50% 的井达到了设计指标), 含水快速上升的问题暴露了出来, 油藏产量迅速下降, 2002 年递减最大的区块自然递减达率到了 43%, 基于此开展了堵水、关井压锥等一系列的试验取得了较好的效果。

该阶段形成了初步的缝洞型碳酸盐岩储层的描述方法; 以振幅变化率为代表的储层预测方法技术系列初步形成。在储层预测精度提高的基础上, 应用水平井、短半径侧钻水平井技术取得突破。

3. 缝洞型碳酸盐岩油藏开发技术不断创新成熟阶段 (2003 年至今)

该阶段塔河油田开发区块扩大到阿克库勒凸起的边部, 开发规模不断继续扩大, 连续探明 8、10、11 三个区块 3.38×10^4 t 原油储量, 总生产井数达到 373 口, 日产水平达到 13000t, 2005 年产原油 420×10^4 t。在该阶段通过深入的钻研、不断的开拓创新和大胆的试验, 开发技术日趋成熟, 开发水平不断提高; 新区在储层日益复杂的情况下建产率不断提高, 目前达到 86%; 老区开发效果明显提高产量稳定, 自然递减率控制在 23% 以下, 年含水上升率控制在 2% 以内。该阶段通过研究对油藏的认识更加深入、客观, 创建了缝洞单元的概念, 建立了以缝洞单元为中心的油藏描述方法, 并以此为基础开展了单元注水替油试验取得了很好的效果, 同时积极拓展, 利用地震振幅油气检测技术在塔河发现了一批砂岩油气藏, 开发区域不断扩大。

二、开发实践与认识

1. 主导技术

从 1997 年塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏发现以来, 经过 8 年的开发实践, 尤其是“十五”期间, 西北分公司针对这种复杂的油藏类型, 开展了一系列的攻关研究, 按照“实践—认识—再实践—再认识”的辩证思路, 取得了大量的成果, 配套了开发技术, 为塔河油田的快速发展提供了技术支持, 目前基本形成了比较突出的具有塔河自身特色的八个方面的主导技术, 为塔河油田的快速发展提供了技术支持。

1) 建立了以三维地震技术为主的缝洞型油藏描述技术

这项技术主要是应用振幅变化、相干体, 结合构造分析、断裂等确定溶洞的发育, 是西北分公司开发的主导技术、关键技术, 已基本成熟, 近几年的开发井部署主要依靠这套技术, 利用这项技术识别缝洞的成功率可达 93% 以上。目前已经发展到利用地震信息特殊处理, 如分频、波形分析等技术定量化识别三维缝洞体。

2) 建立了适合碳酸盐岩缝洞型油藏实际的测井技术

“十五”期间, 塔河油田应用大多数已有的各种测井方法, 摸索出一套可以在相当程度

上解决储层测井评价的方法，并且在不断探索新的途径，形成了比较完善的测井系列和处理解释手段。在缝洞储集体的判别和参数解释方面，可以达到定性—半定量化的水平。

3) 形成了适合碳酸盐岩油藏的超深井钻井技术、侧钻水平井技术

油藏埋深在 5300m 以下，主要产油层在 5300 ~ 6000m 井段之间，超深井钻井技术已经非常成熟，不穿盐的井完井周期从以前的三个多月缩短到现在的两个多月，穿盐的井发展了穿盐技术。对于不能建产的井，发展了侧钻水平井技术，这项技术目前已经非常成熟，共侧钻 44 井次，有效井 36 井次，有效率高达 81.8%，共计增油 70.11×10^4 t，占总增油比例的 74.51%，取得了非常好的增油效果；同时，侧钻井技术也有了飞速的发展，侧钻水平段长可以达到 500m 以上。目前西北分公司已初步形成了侧钻井的配套完井、开采和修井技术，为提高塔河油田的采收率提供了有力的手段和保证。

4) 形成了以酸压为主的碳酸盐岩缝洞型油藏完井技术

经过五年多的“边研究、边试验、边总结、边推广”的实践，针对塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏特性，建立并完善了酸压选井选层标准；研究出了具有缓速性能好、穿透距离远的 7 套酸液体系；通过岩石力学及地应力测试为塔河油田酸压设计提供了可靠参数；进行了小型压裂测试和地面微地震裂缝监测，了解并掌握了酸压裂缝在纵向和横向上的延伸情况以及裂缝走向；通过室内酸蚀裂缝导流研究及酸压实践，确立了高泵压、大排量、大规模的酸压原则和酸压工艺，实施了 298 口井，400 井次，已经成为碳酸盐岩油藏完井的主要方式，效果非常好，适合碳酸盐岩缝洞型油藏的特点，而且形成了五套酸压工作体系，十一套酸压工作液的配方等等，已经成为碳酸盐岩油藏完井的主体技术。

5) 形成了塔河稠油油藏深井举升技术

塔河油田部分区块井深、油稠，例如 4、6 区原油相对密度非常大，在 0.96、0.97 左右，6 区西北原油粘度非常高；通过几年的实践在举升方面形成了配套高效的掺稀技术，保证了稠油井的正常生产。

6) 在控水方面初步形成了缩嘴、压锥技术

缝洞型油藏见水后含水上升快，并因此造成产量大幅递减，因此，控水是稳产的重要手段。通过研究和实践，在缩嘴压锥方面积累了经验，初步形成了一套办法，但由于成本问题，由于井深，还不能达到定量化的及时缩嘴。

7) 形成了以缝洞单元为主的油藏管理和治理技术

缝洞单元的概念对认识这类油藏是一个飞跃，碳酸盐岩缝洞在平面上和剖面上具有极大的非均质性，油田开发初期还争论是不是块状油藏？有没有统一的底水？但通过深化研究我们认识到，就是由若干个相对独立的流体单元和压力单元组成的，这为我们深化认识这类油田，治理这类油藏奠定了基础，塔河油田治理的对象就是各种不同的缝洞单元。

8) 初步形成了缝洞单元的注水替油提高采收率技术

针对塔河油田的特点，积极开展缝洞单元的注水试验，尤其是孤立定容、能量不足的小缝洞单元进行注水替油，已经实施 45 井次，累计增油 9.87×10^4 t，取得了很好的效果，从而明确了缝洞型油藏提高采收率的主导方向。

以上这八个方面的主导技术，为塔河油田的迅速开发、迅速发展提供了技术保障。从这八个技术的形成和产量的快速增长，说明这类油藏的认识虽然非常困难，难度很大，但是只要我们坚持实践，依靠新技术，大胆探索，就能够开发好这种具有世界级难度的大油田。

2. 经验和认识

总结 1996 年以来, 尤其是“十五”期间塔河油田的开发过程以及主要做法, 得出以下一些经验和认识。

(1) 正确的认识储层的特点及其控制因素是缝洞型碳酸盐岩油藏开发的根本和出发点。

塔河油田的储层地质特点虽然具有一般碳酸盐岩储层的共性特点, 但更重要的是其具有独特性, 具有更强的非均质性和复杂性, 造成这种强烈非均质性的主要因素是其石灰岩储集空间主要是溶蚀洞穴, 实钻证明获取的岩心取心率很高, 达 85% 以上, 也少见大的裂缝破碎或密集发育带, 岩心显示为纯度很高的泥微晶灰岩, 非常致密; 而钻井有大的放空和漏失段又往往取不上岩心; 大量取心证明凡是取上心、取心好的, 就没有孔隙, 裂缝也很少, 凡是好储层取不上来心, 裂缝多的心也被方解石充填, 而且密度很低, 凡是装了油的缝和洞, 方解石就生长不了。岩心分析具有两个特点: 一是裂缝发育程度较国内外同类油田差。岩心观察裂缝发育密度为 $2 \sim 11$ 条 / m, 大于 1mm 缝宽的仅占 1%, $100 \sim 1000 \mu\text{m}$ 的缝宽占 10%, 峰值为 $5 \sim 16 \mu\text{m}$, 裂缝孔隙度为 0.2% ~ 0.39%, 主要以发育细缝—微缝为主。二是基质孔隙度很低, 基本不具有储渗能力。岩心统计孔隙度分布区间为 0.04% ~ 10.6%, 平均为 0.76%, 87% 的样品孔隙度小于 1.0%; 渗透率平均为 $0.7087 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 96% 的样品渗透率小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由此说明储集体的主要模式是洞而不是缝, 缝起沟通作用, 而且缝的发育密度很低。储存大量油气的空间应为溶蚀洞穴, 裂缝可以成为连通介质但不是主要的储集空间。造成这种情况的主要原因是岩性和岩溶两个因素综合作用的结果, 致密的泥微晶灰岩在岩溶环境中于断裂和裂缝发育处形成溶洞, 而其他没有被溶蚀的部位仍然保持其致密性。研究证实储集体受多次构造运动影响, 多期次岩溶叠置、改造, 缝洞交互发育, 形成了较为独特的具非均质性极强的储集特征。裂缝—溶洞型储集类型性能最好。

认识到了储层的这个基本特点, 我们在开发部署及各项分析研究工作中就不会走错方向。在开发初期由于对这一点认识不到位、不明确, 在部分开发井的部署中仍按传统的做法使得减产率一度偏低, 而近几年明确了这个特点, 就集中力量研究溶洞发育规律, 寻找溶洞的位置, 成功率明显提高。形成了“整体部署、分洞布井、逐洞开发、滚动建产、适时调整”的开发模式, 保证了油田产能建设效果, 实现了产量的稳步持续增长。同时储层的这个特点也给我们指出地下油气开采过程中, 各种流体的流动机理与常规油藏也不一样。

(2) 勇于创新, 依靠科技进步是推动开发水平不断提高的动力。

科技是第一生产力, 塔河碳酸盐岩缝洞型油藏开发上面临着世界级难题, 我们没有成熟的经验和方法可借鉴。因此更要依靠科技进步, 同时要解放思想, 大胆创新, 不要受砂岩油藏束缚, 才能对症下药、有的放矢。按照这个思路, 西北分公司积极引进新技术新方法, 大胆创新、深入研究, 谨慎应用, 取得了一系列的科研成果, 为西北分公司的开发提供了有力的支持。

首先是碳酸盐岩缝洞储层的识别与预测评价技术通过多年的实践逐步完善和成熟。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层埋藏深, 裂缝、溶洞型储集空间在纵向及横向上的非均质性极强, 横向上没有明确的标志层, 井点与井间变化大, 面对这一世界级难题, 我们主要以地震信息为主, 建立了一套适合碳酸盐岩储层的识别与预测评价方法技术系列; 初期主要应用振幅、相干和波阻抗反演结合构造和岩溶地质分析预测, 2002 年后通过认真的总