

# 重力热管井筒伴热技术在稠油热采中的应用研究

车洪昌<sup>1</sup> 鄢德华<sup>2</sup> 任耀宇<sup>3</sup> 刘永建<sup>4</sup>

(1. 大庆油田有限责任公司 第九采油厂, 黑龙江 大庆 163853; 2 中国石油辽河油田分公司 钻采工艺研究院, 辽宁 盘锦 124010; 3. 吉林石油集团有限责任公司 乾大综合服务公司, 吉林 松原 138000; 4. 提高油气采收率教育部重点实验室(东北石油大学), 黑龙江 大庆 163318)

**摘 要:**在分析重力热管改善抽油井井筒热损失原理的基础上,进行了重力热管井筒伴热室内物理模拟试验和矿场试验。室内复配出的工质 A 液,与水基工质相比,具有液体密度小、蒸气密度高的优点,适合进行重力热管传热。室内模拟重力热管井筒温度分布结果表明,重力热管冷凝段与蒸发段的温度之比大于 0.7,能够有效改善井筒流体温度分布。矿场试验结果表明,在蒸汽吞吐过程中采用重力热管井筒伴热技术,能够有效减小井筒流体温度下降的幅度,延长油井的生产时间,增加蒸汽吞吐周期的产量。

**关键词:**重力热管;稠油;热采;实验室试验;温度分布;辽河油田;欢 127-26-34 井

**中图分类号:**TE345 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)02-0108-04

## Research on Wellbore Gravity Heat Pipe Heating Technology in Thermal Recovery of Heavy Oil

Che Hongchang<sup>1</sup> Yan Dehua<sup>2</sup> Ren Yaoyu<sup>3</sup> Liu Yongjian<sup>4</sup>

(1. No. 9 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang, 163853, China; 2. Drilling and Production Institute, Liaohe Oilfield Company, CNPC, Panjin, Liaoning, 124010, China; 3. Qianda Service Company, Jilin Petroleum Group Co. Ltd., Songyuan, Jilin, 138000, China; 4. MOE Key Laboratory of Enhanced Oil and Gas Recovery(Northeast Petroleum University), Daqing, Heilongjiang, 163318, China)

**Abstract:** Based on the analysis of gravity heat pipe to decrease heat loss through wellbore during thermal recovery, indoor experiments and field tests were conducted. Working fluid A had lower fluid density and higher gas density compared with water based fluid, therefore fluid A was suitable for heat transfer in gravity heat pipe. The wellbore gravity heat pipe temperature distribution from experiment shows that when condensation temperature and evaporation temperature ratio was higher than 0.7, the gravity heat pipe was able to improve temperature distribution of wellbore fluids. The field tests showed that gravity heat pipe could reduce wellbore heat loss, expand production time, and increase oil production time.

**Key words:** gravity heat pipe; viscous crude oil; thermal recover; laboratory testing; temperature distribution; Liaohe Oilfield; Well Huan 127-26-34

目前国内主要采用空心抽油杆电加热技术及循环热流体等伴热采油方式开采稠油,但存在能耗大、成本高的缺点,而且在生产中电缆、电加热抽油杆及控制柜常出现故障<sup>[1-2]</sup>。热管是一种依靠工作液体的相变来传递热量的高效导热装置<sup>[3]</sup>。针对热管在地热能源中的广泛应用,1995 年李菊香等<sup>[4]</sup>对在采

**收稿日期:**2010-05-29;**改回日期:**2011-01-12

**作者简介:**车洪昌(1982—),男,黑龙江巴彦人,2004 年毕业于大庆石油学院石油工程专业,2009 年获大庆石油学院油气田开发工程专业硕士学位,助理工程师,主要从事稠油热采和机械采油理论与技术方面的研究。

**联系方式:**(0459)4690055, xiaochel234@163.com

油井井筒内利用热管的可行性进行了分析。近期国内马春红、吴晓东、毕勇、刘永建等<sup>[5-9]</sup>对重力热管伴热改善井筒热损失技术进行了初步探索。由抽油杆组成的重力热管,虽然从原理上看属相变传热,具有热管的特性,但实际上它本身与典型热管存在着巨大的差别。为了研究抽油杆热管的工作特性,笔者模拟实际采油工况,建立了室内试验装置,以复配的热管工质 A 液进行了室内传热试验,并在稠油热采中进行了重力热管井筒伴热采油试验。

## 1 热管改善井筒热损失原理

重力热管伴热采油方式,是指抽油机井中的空心抽油杆经过特殊加工处理后,再添加工作液、抽空、密封连接制成超长重力热管,然后安装在井筒内,形成热管生产井。在重力热管井中,井筒底部的高温流体和上部低温流体为重力热管的工作提供了连续的热源和冷源,井筒中重力热管的传热过程见图 1。

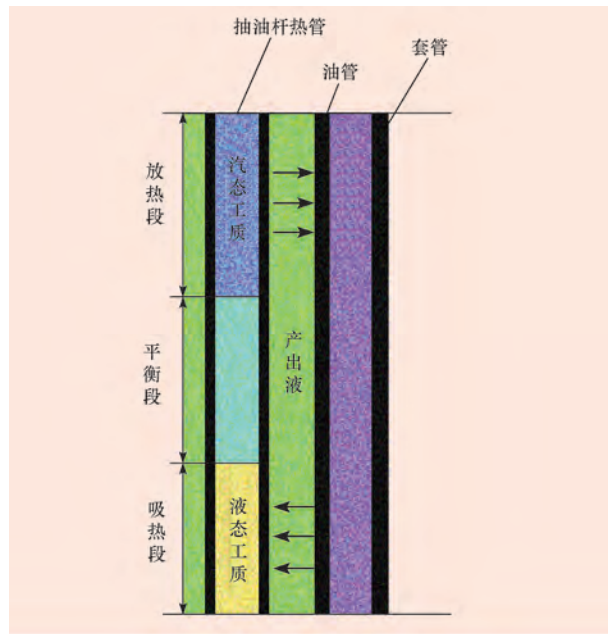


图1 重力热管井筒传热示意

Fig.1 Sketch of wellbore gravity heat pipe heat transfer

由图 1 可知,在吸热段,油井底部的高温流体将热量传递给热管,热管内液态工质不断吸收产出液的热量,液态工质逐渐蒸发,大量的热量由蒸气以潜热形式携带到上部热管空间;在平衡段,热管管壁温度与井筒内流体温度相等,两者之间无热量传递;在放热段,流体沿井筒向上流动时热量不断散失,温度降低,热管管壁温度高于井筒内流体温度,热管

内蒸气遇冷开始凝结为液体,放出大量潜热。这些热量传递给井筒内的流体使其不断升温。液态工质靠重力沿管壁向下流动,进入下一循环相变过程。热管内的工质不断吸热汽化、冷凝放热,将下部流体的热量通过热管传递给上部流体,在不消耗外来能量的情况下,提高了近井口产出液的温度,改变了井筒内流体的温度分布剖面,提高了近井口井筒内流体的流动能力。

## 2 室内物理模拟试验

### 2.1 试验装置

试验装置由冷/热水循环系统、温度采集系统和配电系统 4 部分组成(见图 2)。主体管路与水平面呈 15°角倾斜放置,冷/热水循环采用对流循环,这样制作的目的是使其能够更有效地换热。用热水模拟抽油杆与油管之间的原油,用冷水模拟油管以外的散热环境。整个装置所需能源由配电系统提供,包括保持热水恒温、冷热水的循环及温度采集系统的控制与输出。各点温度由温度采集系统采集,并将采集的温度信息反馈到配电控制系统,从而控制冷热水的循环流量及温度。

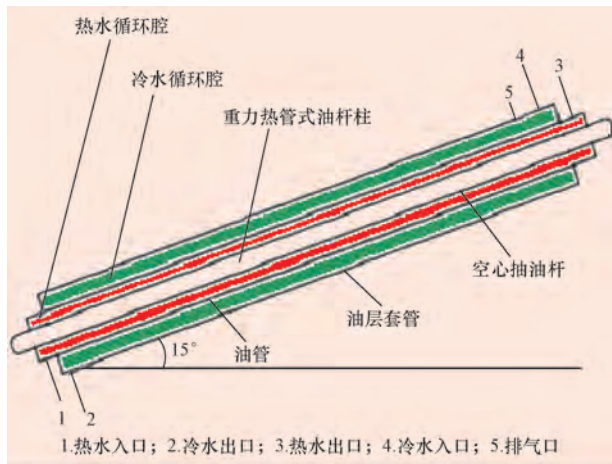


图2 重力热管采油物理模拟装置主体部分简图

Fig.2 Sketch of physical simulation equipment of gravity heat pipe for oil production

由于是冷热水通过循环换热,冷水入口在上会使冷水套内存留气体,降低换热效率,故在冷水套上端设置了排气口,使冷水套排气,以保证冷水套内完全充满冷水。

### 2.2 工质确定及分析

重力热管内的工质可以是以水为主的复合工质,如在水中添加乙醇、汽油等。这类工质,因为以

水为主,所以可按水的物性进行传热计算。考虑到工质与管壁的兼容性、工作温度、热阻、毒性、安全性及成本等因素,在实验室内以液氨为原料,添加一定量的表面活性剂和其他化学剂配制成重力热管复合

工质 A 液,A 液具有较好的热稳定性和化学稳定性,化学剂的加入增强了液氨蒸气的流动能力,且能有效减少工质对抽油杆的腐蚀。水和 A 液的物性比较见表 1。

表 1 水和 A 液在 4℃ 下的物性

Table 1 Physical property of water and fluid A uder 4℃

液体类型	液体密度/ kg·m <sup>-3</sup>	蒸气密度/ kg·m <sup>-3</sup>	汽化潜能/ kJ·kg <sup>-1</sup>	蒸气黏度/ 10 <sup>-5</sup> mPa·s	导热系数/ W·(m·℃) <sup>-1</sup>	蒸气比热/ kJ·(kg·℃) <sup>-1</sup>	表面张力系数/ 10 <sup>-2</sup> N·m <sup>-1</sup>
水	999.2	0.051 16	2 407	0.962 0	0.635	1.885 3	6.965
A 液	579.5	12.000 00	1 101	1.156 4	0.272	2.160 0	1.833

从表 1 可以看出:A 液密度比水小,大约是水的 60%,在同样的充液高度下,A 液液柱所产生的静压要小得多,这对 A 液汽化是有利的;A 液蒸气密度比水蒸气要高得多,是水蒸气密度的 234.5 倍,这说明,在热管内具有同样蒸气质量的情况下,水蒸气所占的体积是 A 液蒸气的 200 多倍,这意味着,水蒸气在管内的流速将是 A 液蒸气的 200 多倍。这给水热管带来了不可克服的困难,管内蒸气流速过高,甚至超过携带极限。同时,产生的压力降过大,会妨碍蒸气的流动。与水相比,A 液在这方面表现出无可比拟的优越性,所以选取 A 液为重力热管的工质是合理的。

2.3 室内试验条件

取热管内孔容积的 20%为充液体积,热管按内孔直径为 26 mm、管长为 17 m 计算,充液量为 1 804 mL。试验装置配套安装的充液罐的内径为 6.3 cm,则充液高度为 58 cm,试验装置上安装的液位计窗口高度差取 12 cm,故需充液 5 次,总计充液高度为 60 cm。为使热水循环腔内水温小于 20℃,将充液罐加热至 30℃,然后充液。

2.4 室内试验结果分析

当井下流体温度为 65℃(热水入口温度),冷却水流量为 280 L/h,测量井筒内流体温度分布,结果见图 3。

从图 3 可以看出:重力热管均衡井筒流体温度分布的效果十分明显,在入口处温度发生了突降,说明此处热管内的沸腾换热极为强烈,换热强度很大,热管吸收了热水的大部分热量;热水温度先降后升,表明热管向油管内的热水传热;热管冷凝段与蒸发段的温度之比大于 0.7,表明选择 A 液做为热管工质是合适的,A 液工质避开了常规工质(水)的一系列缺点,不会出现流动阻塞及压降过大的现象。

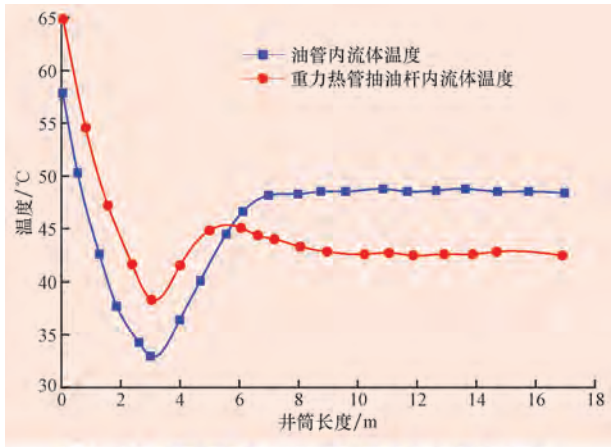


图3 室内模拟重力热管井筒内流体温度分布  
Fig.3 Fluid temperature distribution in wellbore gravity heat pipe in experiment

3 矿场试验

选取辽河油田欢 127-26-34 井作为试验井,该井属于兴隆台油层,下重力热管抽油杆前采用掺热油降黏生产,平均日产液量 3.2 m<sup>3</sup>。2009 年 8 月进行第 11 轮蒸汽吞吐开采,注汽量 1 808 m<sup>3</sup>。2009 年 9 月下泵时采用了重力热管技术,泵挂深度 780 m,空心抽油杆深度 770 m,井温测试显示泵挂深度井温约 65℃。采用重力热管技术后连续生产 165 d,井口平均温度 51℃,而之前井口平均温度 41℃(见图 4)。

图 5 为欢 127-26-34 井采用重力热管技术第 11 轮与未采用重力热管技术第 10 轮平均日产液量的对比。从图 5 可以看出,欢 127-26-34 井在第 11 轮采油过程中日产液量均明显高于第 10 轮的日产液量。

在蒸汽吞吐开采过程中随井底受热区域地层温度和流体温度下降,无热管井筒温度下降很快,流动摩阻增大,生产压差减小。因此,产液量降低很快。而热管的存在,减小了井筒流体温度下降的幅度,相应地流动阻力增大的幅度变小,在相同时间段内,生



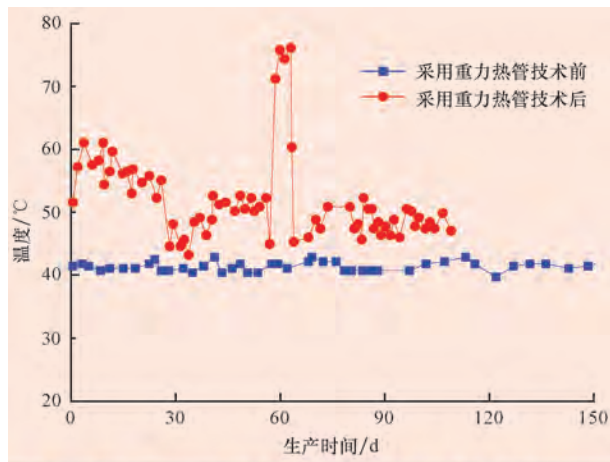


图4 欢127-26-34井采用重力热管前后井口温度对比  
Fig.4 Well Huan 127-26-34 wellhead temperature comparison before and after treatment

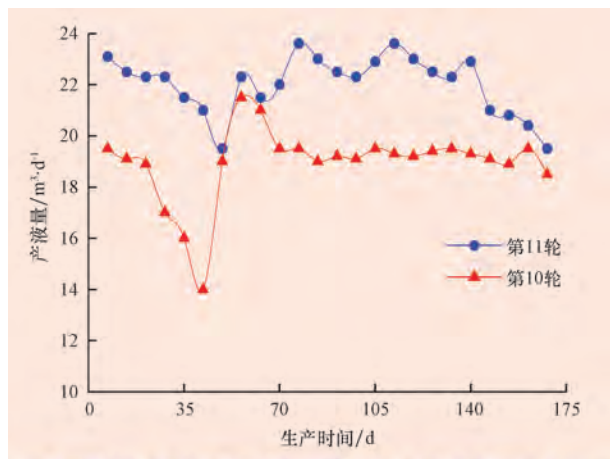


图5 欢127-26-34井第11轮与第10轮平均日产液量对比  
Fig.5 Well Huan 127-26-34 liquid production comparison in period 10 and 11

产压差相对较大,产液量也相对高。热管井井筒内流体温度下降缓慢,延长了流体温度降低到原油滞留温度的时间,相应延长了油井生产时间,增加了周期产量。

## 4 结 论

1) 重力热管井筒伴热采油技术利用地层流体的自身能量,无需外加动力,通过工质循环相变传热改变井筒内流体温度分布剖面,提高近井口流体的温度。

2) 室内模拟试验结果表明,在模拟地层流体条件下,以 A 液为工质的重力热管沸腾换热极为强烈,换热强度很大,传热能力强,能有效改善井筒内流体温度分布。

3) 矿场试验结果表明,在蒸汽吞吐过程中采用重力热管井筒伴热技术,能有效减小井筒流体温度

下降的幅度,延长油井的生产时间,增加周期产量。

4) 重力热管井筒伴热采油技术是采油工程中的一项新技术,其高效传热、降耗节能的特点使其在稠油热采中有着广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] 吴晓东,师俊峰,竺彪. 循环热流体开采稠油优化设计方法研究[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(6): 1-3.  
Wu Xiaodong, Shi Junfeng, Zhu Biao. A study of recovering heavy-oil reservoir with hot fluids [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(6): 1-3.
- [2] 金鲁明. 浅谈供电电缆故障产生的现象分析[J]. 科技经济市场, 2006(2): 26.  
Jin Luming. Discussion of phenomenon analysis of cable fault [J]. Science & Technology Economic Market, 2006(2): 26.
- [3] 庄俊,张红. 热管技术及其工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 1-3.  
Zhuang Jun, Zhang Hong. Engineering application of heat pipe techniques[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2000: 1-3.
- [4] 李菊香,王良虎. 稠性油田井下作业的热管利用可行性探讨[J]. 能源研究与利用, 1995(5): 21-24.  
Li Juxiang, Wang Lianghu. Discussion of feasibility of heat pipe application in downhole operation in heavy oil field[J]. Energy Research and Application, 1995(5): 21-24.
- [5] 吴晓东,马春红,石崇兵,等. 井筒重力热管传热技术在蒸汽吞吐井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(1): 60-63.  
Wu Xiaodong, Ma Chunhong, Shi Chongbing, et al. Research and application of heat transfer technology in wellbore with gravity heat pipe and steam soaking well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28(1): 60-63.
- [6] 张玉丰,吴晓东,李伟超. 重力热管井筒伴热方式可行性分析[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 483-487.  
Zhang Yufeng, Wu Xiaodong, Li Weichao. Feasibility of two-phase closed thermosyphon heating method[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 483-487.
- [7] 毕勇,刘永建,刘纪福,等. 重力热管抽油杆室内实验研究[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(4): 34-35.  
Bi Yong, Liu Yongjian, Liu Jifu, et al. Laboratory study of sucker rod with gravity heat pipe[J]. Oil-gasfield Surface Engineering, 2008, 27(4): 34-35.
- [8] 李伟超,吴晓东,师俊峰,等. 重力热管伴热改善稠油井井筒传热损失的研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(6): 75-79.  
Li Weichao, Wu Xiaodong, Shi Junfeng, et al. Reducing well bore heat transfer loss by using gravity heat pipe in heavy oil well[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(6): 75-79.
- [9] 马春红,吴晓东,石崇兵. 热管改善油井井筒流体温度分布的理论研究[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 114-118.  
Ma Chunhong, Wu Xiaodong, Shi Chongbing. Theoretical research for improving temperature distribution of fluid in well-bore using heat pipe [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 114-118.