

# 复合内衬油管隔热技术在常温集输工艺中的应用

曲虎<sup>1\*</sup>, 邹涛<sup>2</sup>, 邵艳波<sup>1</sup>, 刘静<sup>1</sup>, 王厚兵<sup>2</sup>, 梁香娜<sup>1</sup>

(1. 中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北任丘 062550;  
2. 华北油田公司第三采油厂, 河北河间 062450)

**摘要:**通过对复合内衬隔热油管隔热技术的应用,降低了井筒举升过程中的热能损失,有效提高了油井井口采出液的温度。一方面,直接降低了抽油机电机负荷;另一方面,通过油井筒短串接、高温井带低温井等措施,使试验区块中井口产出液温度较低的油井全部实现了常温输送。不但使站外集输工艺得到简化,还有效降低加热炉的燃油能耗和污染排放,并减少了三管伴热管线的热水漏失和热水泵的电量消耗。油管隔热技术的应用还有效延长了油井的洗井周期,降低了洗井时的压产损失,获得了可观的经济效益。

**关键词:**油管隔热;常温输送;井口温度;节能降耗;经济效益;

**中图分类号:**TE866

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2018)01-0220-04

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.01.053

## Application of composite lining oil pipe heat insulation technology in normal temperature gathering and transportation process

QU Hu<sup>1\*</sup>, ZOU Tao<sup>2</sup>, SHAO Yan-bo<sup>1</sup>, LIU Jing<sup>1</sup>, WANG Hou-bing<sup>2</sup>, LIANG Xiang-na<sup>1</sup>

(1. North China Company, China Petroleum Engineering & Construction Corp., Renqiu 062550, China;  
2. The Third Oil Production Factory, PetroChina Huabei Oilfield Company, Hejian 062450, China)

**Abstract:** Through the applications of composite lining oil pipe heat insulation technology, the heat loss in the shaft lifting process is reduced and the temperature of the wellhead outlet oil is effectively increased. On the one hand, the motor load of pumping unit is directly reduced. On the other hand, the oil wells with low temperature of wellhead outlet oil in the test block all achieve delivery at normal temperature by means of short string connection among oil wells and high temperature wells transferring heat to low temperature wells. The gathering and delivery process outside station is simplified, the fuel consumption and pollutants emission of the heating furnace are effectively reduced too, and both the hot water leakage of the three pipe heat tracing pipeline and the electric energy consumption of the hot water pump decrease. In addition, the application of oil pipe heat insulation technology also prolongs effectively the well washing cycle, and reduces the pressure loss during the well washing, which brings about considerable economic benefits.

**Key words:** heat insulation for oil pipe; normal temperature transportation; wellhead temperature; energy saving and consumption reduction; economic benefit

常温集输工艺是目前油田应用最广泛的集输工艺。相对于三管伴热、掺水等能耗较高的集输工艺<sup>[1-4]</sup>,常温集输工艺流程简单,能耗较低,是油田站外集输工艺的第一选择。对于井口温度较高的油井,可以直接实现常温输送或通过油井之间的筒短串接实现常温输送;但对于井口温度较低或距离站场较远的油井,直接实现常温输送比较困难<sup>[5-9]</sup>。为了使此类油井也可以实现常温输送,华北油田采油三厂在八里庄油田进行了复合内衬隔热油管的应用试验,取得了较好的效果,复合内衬隔热油管提高了井口温度,使试验范围的所有油井均实现了常温输送,达到了节能降耗、降本增效的目的。

### 1 复合内衬油管隔热技术原理及结构参数

复合内衬隔热油管就是在普通油管内部衬入3~4 mm 的高密度聚乙烯复合材料;在油管外部外

裹3~6 mm 的导热系数极低、防水性好的隔热材料,隔热材料外侧缠绕保护钢带和高密度聚乙烯形成保护层(图1)。隔热油管能够减少井筒举升过程中的热能损失,提高井口产液温度,实现井筒系统免维护与集输系统降能耗<sup>[10-13]</sup>。

对于图1所示的隔热油管结构中稳态传热过程而言:

$$Q = (T - t) / [\ln(r_2/r_1)/2\pi\lambda_1 + \ln(r_3/r_2)/2\pi\lambda_2 + \ln(r_4/r_3)/2\pi\lambda_3 + \ln(r_5/r_4)/2\pi\lambda_4]$$

式中, $Q$ 为隔热油管的热流量,W; $T$ 、 $t$ 分别为隔热油管内壁和外壁温度,℃; $r_1 \sim r_5$ 为隔热油管各结构层半径,m; $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 分别为内衬层、油管、保温层、保护层材料导热系数,W/(m·℃)。

其中: $\ln(r_2/r_1)/2\pi\lambda_1$ 为内衬层热阻; $\ln(r_3/r_2)/2\pi\lambda_2$ 为油管热阻; $\ln(r_4/r_3)/2\pi\lambda_3$ 为外裹层热阻; $\ln(r_5/r_4)/2\pi\lambda_4$ 为保护层热阻。

由上式可知,若隔热油管内壁和外壁温差( $T-t$ )一定,4项热阻之和越大,由隔热油管散失的热量 $Q$ 越小,即隔热油管的隔热性能越好。

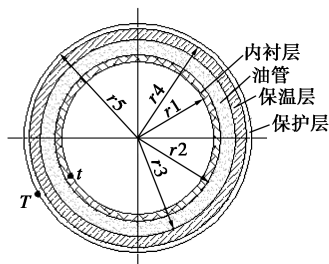


图1 复合内衬隔热油管结构图

由于钢材的导热系数 $[50 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{C})]$ 远大于内衬层材料导热系数 $[0.5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{C})]$ 和保温层材料导热系数 $[0.02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{C})]$ ,油管和保护层热阻远大于内衬层和保温层热阻。因此,隔热油管的隔热性能主要取决于内衬层和保温层,即内衬层和保温层材料的导热系数越小,隔热油管的散失热量越小,隔热性能越好。

## 2 复合内衬隔热油管应用试验

### 2.1 试验范围

在八里庄油田的里四计、间12-1计和间12-2计的8个井组(共计36口油井)中的14口远端油井应用了隔热油管,应用前36口油井均采用三管伴热集油工艺,应用后,通过高温井带低温井的串接方式,使本区域内的36口油井全部实现了常温输送。

### 2.2 试验结果

#### 2.2.1 实验油井参数

14口油井应用隔热油管前后参数见表1。

表1 油井应用隔热油管前后参数

井号	应用前后	热洗周/d	井口温/ $^{\circ}\text{C}$	悬点最大载荷/kN	日耗电/kWh
里107-25	应用前	90	30	58.6	321.6
	应用后	—	49	63.3	249
间11	应用前	180	46	74.12	280
	应用后	—	54	70.85	240
间12-11	应用前	180	47	82	180
	应用后	—	58	77.7	173
间12-19	应用前	180	27	75.5	250
	应用后	—	49	52.3	249
间29-5	应用前	180	37	86.6	237
	应用后	—	46.5	72.6	230.5
间11-6	应用前	180	32	75.8	208
	应用后	—	48	79.1	180
间29-17	应用前	360	33	102.7	289.6
	应用后	—	48	96.3	248.7
里107-9	应用前	90	20	90	232
	应用后	—	26	89.5	224
里107-8	应用前	—	37	61.9	398.4
	应用后	—	53	53.8	394
里107-7	应用前	180	47	60	219.6
	应用后	—	60	73.3	190.9
里107-20	应用前	90	18	64.7	223
	应用后	—	40	63.5	218.5
里107-23	应用前	360	44	64.7	235.4
	应用后	—	61	43.7	203.5
里107-32	应用前	180	32	61.7	219.8
	应用后	—	45	59.2	217.2
间11-5	应用前	—	45	56.4	235.8
	应用后	—	55	57	208

(上接第219页)

尽相同,乳化剂选择应遵循析水率小、降黏率高的原则。

(2)稠油的乳化温度对乳化后的流变性能影响较大,温度太低和太高都不利于乳化液的形成,选择合适的乳化温度才能充分发挥乳化降黏效果。

(3)高掺水量的乳化稠油要比低掺水量的乳化稠油流变性好,较低的含水量有利于降低成本和集输后的脱水处理,掺水量能满足集输条件即可,在水资源充足条件下,可适当增加掺水量。

### 参考文献

- [1] 吕敏捷.含水稠油降粘技术研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2011.
- [2] 关润伶,朱红,李伟.超稠原油抗盐乳化降粘剂的研制及室内评价[J].精细石油化工进展,2006,7(7):1-4.

- [3] 华红玲,廖柯熹,肖杰,等.稠油热采高效低能耗集输技术探讨[J].油气储运,2014,23(1):47-49.
- [4] 尉小明,刘喜林,王卫东,等.稠油降粘方法概述[J].精细石油化工,2002,(5):45-48.
- [5] 董建国,李永光,王冬艳,等.国内外降粘技术研究[J].内蒙古石油化工,2008,34(10):30-32.
- [6] 王治红,肖惠兰,左毅.开采与集输工程中稠油降粘技术研究进展[J].天然气与石油,2012,30(6):1-4.
- [7] 敬加强,孟江,秦文婷.KD18稠油W/O型乳状液特性及其降粘方法[J].油气储运,2003,22(6):23-26.
- [8] Sharma K, Saxena V K, Kumar A, et al. Pipeline transportation of heavy/viscous crude oil as water continuous emulsion in[C]//Society of Petroleum Engineers,1998.
- [9] 李建财,单国平,李超,等.昌吉油田冷采稠油回掺热水降黏集输工艺[J].油气储运,2014,33(2):211-215.
- [10] 郭刚.稠油乳化降粘及破乳研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2007.
- [11] 康万利,刘延莉,孟令伟,等.永平油田稠油自发乳化降粘剂的筛选及驱油效果评价[J].油气地质与采油率,2012,19(1):59-61.■

由表 2 可知,通过隔热油管应用,油井井口平均温度可以提高 14.93℃。这是因为隔热油管减少了含水油在举升过程中的热量损失,降低了含水油的温降速度。

表 2 改造前后参数对比表

项目	应用前	应用后
平均井口温度/℃	34.35	49.98
抽油机耗电量/kWh	252.2	230.5
平均悬点载荷/kN	71.48	68.00

隔热油管应用后,减小了油管粗糙度,并且温度的升高降低了含水油黏度,降低了含水油在举升过程中摩擦损失,隔热油管应用后使抽油机日耗电平均下降 36.4 kWh。

抽油机的悬点载荷在抽油机上冲程时达到最大,其值为上冲程的静载荷、惯性载荷、振动载荷和摩擦载荷之和,应用隔热油管前后,静载荷、惯性载荷、振动载荷无变化,变化的唯有摩擦载荷。摩擦载荷主要与变量  $\eta snL$  有关( $\eta$  为井液的动力黏度; $s$  为冲程; $n$  为冲次; $L$  为泵深),应用隔热油管后,井液平均温度升高,井液的黏度和井筒的摩擦系数降低,摩擦载荷相应降低。应用隔热油管后,抽油机平均悬点载荷下降 6.2%。

2.2.2 集输系统应用

试验区域 36 口油井集输参数见表 3~表 5,集输管线走向见图 2~图 4。

表 3 间 12-1 计单井集输参数

计量站	井组	井号	产液量/(t·d <sup>-1</sup> )	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水/%	末点温度/℃	井口回压/MPa
间 12-1 计	井组 4	间 12-19	17.60	1.36	92.30	41	1.20
		间 12-11	28.56	2.31	91.90		1.20
		间 12-23	4.32	2.85	34.00		1.14
		间 12-24	16.29	8.39	48.50		1.10
		间 12-25	6.35	1.89	70.00		1.08
		间 12-5	4.33	1.10	74.50		0.81

注:原油凝点为 34℃。



图 2 间 12-1 计单井管线走向图

表 4 间 12-2 计单井集输参数

计量站	井组	井号	产液量/(t·d <sup>-1</sup> )	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水/%	末点温度/℃	井口回压/MPa
间 12-2 计	井组 1	间 11-6	15.01	0.33	97.80	38	1.37
		间 11-3	14.14	0.55	96.10		1.30
		间 11	33.58	3.12	90.70		1.24
	井组 2	间 11-5	37.71	1.92	94.90		1.20
		间 29-1	4.26	2.56	40.00		1.20
		间 29	6.02	3.31	45.00		0.90
		间 29-4	18.12	2.52	86.10	37	0.87
		间 29-17	10.03	3.27	67.40		0.88
	井组 3	间 29-10	6.27	3.26	48.00		0.9
		间 29-5	16.62	8.48	49.00	39	0.94
		间 29-3	12.82	7.27	43.30		0.94
		间 12-100	6.63	3.58	46.00		0.95

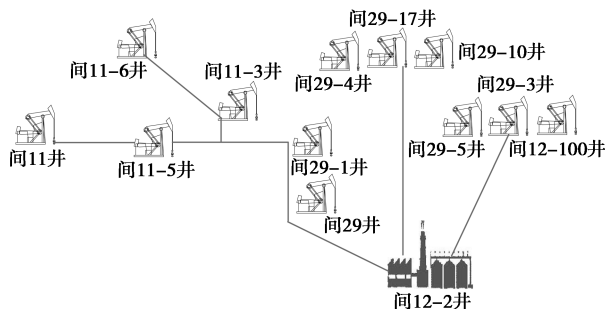


图 3 间 12-2 计单井管线走向图

表 5 单井集输参数

计量站	井组	井号	产液量/(t·d <sup>-1</sup> )	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水/%	井口温度/℃	井口回压/MPa
里 4 计	井组 5	里 107-23	54.68	0.82	98.50	39	1.36
		里 107-22	18.37	2.70	85.30		0.71
		里 107-19	3.52	0.54	84.70		0.70
		里 107-20	10.20	0.68	93.30		0.81
		里 107-1	11.65	2.21	81.00		0.68
	井组 6	里 107-7	50.19	1.76	96.50	40	0.73
		里 107-5	8.38	2.16	74.20		0.69
		里 107x1	20.41	6.33	69.00		0.67
	井组 7	里 107-25	17.99	7.02	61.00	38	1.30
		里 107-30	16.30	12.39	24.00		1.13
里 107-31		13.57	8.41	38.00		1.13	
里 107-32		15.29	4.37	71.40		1.13	
里 107-10		4.58	3.02	34.00		0.99	

		续表					
计量站	井组	井号	产液量/( $t \cdot d^{-1}$ )	产油量/( $t \cdot d^{-1}$ )	含水/%	井口温度/ $^{\circ}C$	井口回压/MPa
		里 107-3	70.20	3.16	95.50		0.70
		里 107-12	4.25	2.76	35.00		0.69
	井组 8	里 107-9	4.70	2.77	41.00	37	1.0
		里 107-13	4.79	0.76	84.10		0.79
		里 107-8	24.68	4.10	83.40		0.78
		里 107-4	86.94	1.91	97.80		0.75
		里 107-6	19.35	2.96	84.70		0.70

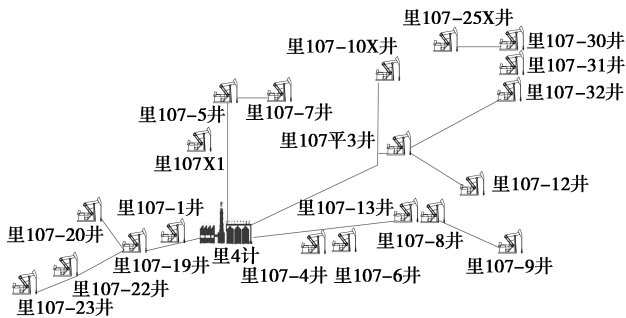


图4 里4计单井管线走向图

### 2.3 应用效果

通过应用复合内衬油管隔热技术,井口温度平均提高 14.93 $^{\circ}C$ ,单井日耗电平均下降 36.4 kWh,最大悬点载荷平均下降 6.2%,检泵周期延

表6 节能效益分析

节能项目	数量
节油/( $t \cdot a^{-1}$ )	737
节电/(万 kWh $\cdot a^{-1}$ )	38.75
节水/(万 $t \cdot a^{-1}$ )	1.1
总节约能耗(折标准煤)/( $t \cdot a^{-1}$ )	1101.44

表7 经济效益分析

节约项目	数量	节约费用/(万元 $\cdot a^{-1}$ )
燃油/( $t \cdot a^{-1}$ )	737	171.72
电量/(万 kWh $\cdot a^{-1}$ )	38.75	32.94
水/(万 $t \cdot a^{-1}$ )	1.1	3.85
减少洗井费用/(万元 $\cdot a^{-1}$ )	15.5	15.50
减少洗井压产原油损失/( $t \cdot a^{-1}$ )	268.3	62.51
总计		286.52

长 1 倍以上,应用 1 年内未进行热洗。八里庄油田 3 个计量站所属的 36 口油井均实现了常温输送,有效降低加热炉的燃油能耗和污染排放<sup>[14-15]</sup>。并减少了三管伴热管线的热水漏失和热水泵的电量消耗。节能效益分析见表 6,经济效益分析见表 7。

### 3 结论

根据复合内衬隔热油管的试验效果,可以利用油井地层自身热能实现提高油井井口采出液温度的目的;通过复合内衬隔热油管的应用,实现了站外集输系统常温输送的目的,为油田节能降耗提供了新的技术支撑,同时对后期地面集输方式的变革也提供了新的思路。

### 参考文献

- [1] 曲虎,刘欣,刘静,等.环状掺水集油系统能耗损失影响因素研究[J].石油化工高等学校学报,2015,28(1):55-58.
- [2] 冯叔初,郭揆常.油气集输与矿场加工[M].东营:中国石油大学出版社,2006:5-12.
- [3] 侯进才.原油集输系统能耗分析与综合优化设计软件开发[J].科学技术与工程,2010,24(10):5880-5884.
- [4] 李丹,马贵阳,杜明俊,等.集输管道油气水三相流型识别数值模拟[J].油气储运,2012,31(7):530-532.
- [5] Moussa Kane, Madeleine Djabourov, Jean-Luc Volle. Rheology and structure of waxy crude oils in quiescent and under shearing conditions[J].Fuel,2004,83:1591-1605.
- [6] 梁光川,程圆晶,马培红,等.集输管道效率分析及节能研究[J].天然气与石油,2010,29(5):6-8.
- [7] 南松玉.油气集输系统能耗分析试验及节能对策[D].大庆:东北石油大学,2012.
- [8] 尚增辉,曲虎,刘静,等.环状掺水集油系统温度季节性优化研究[J].节能技术,2015,33(1):80-83.
- [9] GB 50350—2015.油田油气集输设计规范[S].
- [10] 付亚荣,王爱芳,马永忠,等.油井内衬外裹油管试验成功的节能启示[J].石油石化节能,2005,(5):26-27.
- [11] 高显利,郭洪斌,董芬.隔热油管生产质量控制[J].鞍钢技术,2014,(4):55-58.
- [12] 王忠华.隔热油管传热及影响因素研究[D].大庆:大庆石油学院,2009.
- [13] Ramey H J. Wellbore Heat Transmission[J].JPT,1962,14(4):427-435.
- [14] 梁永图,王继慧,何国玺,等.老油田集输系统改造管网拓扑优化[J].油气储运,2014,33(9):971-975.
- [15] 唐海燕,王国丽,黄晓丽.油田集输系统节气技术[J].石油规划设计,2004,15(1):6-49. ■