

# 转油站集输系统能耗分析与评价软件开发

关德慧<sup>1</sup> 郑伟<sup>2</sup> 尚志寅<sup>3</sup> 田一辰<sup>4</sup> 苑松楠<sup>5</sup> 代轩瑞<sup>1</sup> 刘俊博<sup>1</sup>

1. 东北石油大学石油工程学院, 黑龙江 大庆 163318;
2. 东北石油局有限公司, 吉林 长春 130062;
3. 中国石油天然气股份有限公司管道廊坊输油气分公司, 河北 廊坊 065000;
4. 中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊 065000;
5. 山西压缩天然气集团有限公司, 山西 太原 030000

**摘要:**高含水量开发阶段是目前国内各大油田开采石油所面临的阶段。随着油田进入高含水开发阶段,油气集输系统运行效率较低、耗能较高的情况日趋严重。及时通过能耗分析与评价,提出改造方案来优化集输系统的运行是最重要的手段。针对该问题,研究开发了转油站集输系统能耗分析与评价软件,结合大庆某油田6号转油站集输系统实际运行情况进行了具体的能耗测试、计算、分析与评价,总结出系统的能耗分布状况,提出相应技改办法,实现系统高效运行。现场应用结果良好,系统耗气量下降28.44%,耗电量下降31.97%。该软件可供类似油田参考使用。

**关键词:**转油站;集输系统;能耗分析;软件开发

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.05.001

## Development of Analysis & Evaluation Software for Gathering and Transportation System in Oil Transfer Station

Guan Dehui<sup>1</sup>, Zheng Wei<sup>2</sup>, Shang Zhiyin<sup>3</sup>, Tian Yichen<sup>4</sup>, Yuan Songnan<sup>5</sup>, Dai Xuanrui<sup>1</sup>, Liu Junbo<sup>1</sup>

1. School of Petroleum Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang, 163318, China;
2. Northeast Petroleum Bureau Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130062, China;
3. PetroChina Pipeline Langfang Oil & Gas Transportation Company, Langfang, Hebei, 065000, China;
4. PetroChina Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China;
5. Shanxi Compressed Natural Gas Group Corporation, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

**Abstract:** The high water cut development stage is the stage that the major oilfields in China are currently facing. As the oilfield enters the stage of high water cut development, the operation efficiency of the oil and gas gathering and transportation system is low, and the situation of high energy consumption is becoming increasingly serious. It is the most important to propose a transformation plan to optimize the operation of the gathering system through the analysis and evaluation on energy consumption. In response to this problem, the research and development of the Energy Analysis and Evaluation Software for the Oil Transfer Station are carried out. Combining with the actual operation of the gathering system of the No. 6

收稿日期:2019-05-10

基金项目:国家自然科学基金项目“受约束三维地形条件下油气集输系统模糊布局优化研究”(51674086)

作者简介:关德慧(1994-),男,辽宁盘锦人,硕士研究生,主要从事油气储运工程优化与节能降耗技术方面研究。

transfer station in an oilfield in Daqing, specific energy consumption testing, calculation, analysis and evaluation are performed. The energy consumption distribution of the system is summarized with corresponding technical reform to achieve efficient operation of the system. The field application is good, with the system air consumption decreased by 28.44%, and the power consumption decreased by 31.97%, which provides reference for similar oilfields.

**Keywords:** Oil transfer station; Gathering and transportation system; Energy consumption analysis; Software development

## 0 前言

油田集输系统主要工艺流程是从井口汇集各种油水混合物及伴生气,经过计量、分离、脱水、稳定等工艺处理,最终输送至油库或管线外输<sup>[1-5]</sup>。其转油站系统是油田集输系统中重要的组成部分。随着大庆油田的不断开发,6号转油站集输系统能耗升高,运行效率降低。本文针对该转油站集输系统工艺流程建立了能耗评价指标,研究并开发了转油站集输系统能耗分析与评价软件,利用软件对系统各耗能环节进行能耗评价,综合分析出能耗分布规律,依据分析结果,研究相应的治理对策,进行节能降耗潜力预测。

## 1 转油站集输系统工艺流程

转油站集输系统采用单管环状掺水流程,是将所有油井和阀组间连接成一个集输环路<sup>[6-9]</sup>。转油站来的热水通过掺水管道输送至阀组间,经阀组间掺入所有集油环中,各油井采出液掺水后经过集油环进入掺水阀组,最后油水混合物经过回油管道输送至转油站<sup>[10-12]</sup>。转油站集输系统工艺流程见图1。

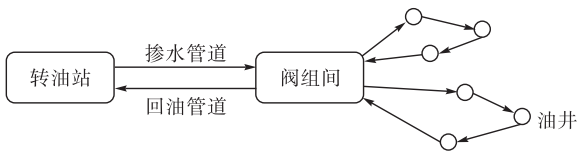


图1 转油站集输系统工艺流程图

## 2 转油站集输系统能耗评价分析方法

我国大多数油田均采用能耗评价分析方法对油田耗能情况进行分析与测试<sup>[13]</sup>。即通过测试、计算,权衡系统输出与输入能量的关系,确定系统耗能状况。利用能量守恒原理,确定的体系有:带入体系能量+外界供给能量=体系损失能量+系统输出能量<sup>[14-16]</sup>。

### 2.1 转油站能耗评价方法

转油站能量平衡模型见图2。

转油站能量平衡方程为:

$$E_{Th} + E_{Te} + E_{TOin} = E_{TOout} + E_{TWout} + \Delta E_T \quad (1)$$

式中: $E_{Th}$ 为外界带入的热能,kJ/h; $E_{Te}$ 为外界带入的电

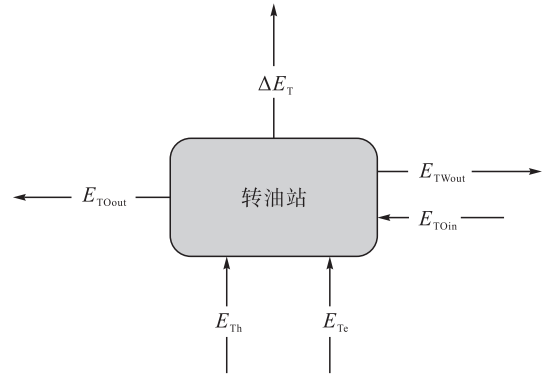


图2 转油站能量平衡模型图

能,kJ/h; $E_{TOin}$ 为站内回油带入的能量,kJ/h; $E_{TOout}$ 为站内外输油带出的能量,kJ/h; $E_{TWout}$ 为转油站至阀组间掺水的能量,kJ/h; $\Delta E_T$ 为转油站的热能损失与压能损失,kJ/h。

依据转油站能量平衡方程,建立其能耗评价指标如下:能源效率:

$$\eta_T = \frac{E_{TOout} + E_{TWout} - E_{TOin}}{E_{Th} + E_{Te}} \times 100 \quad (2)$$

式中: $\eta_T$ 为转油站能源效率,%。

电能利用率:

$$\eta_{Te} = \frac{E_{TOout} + E_{TWout} - E_{TOin}}{E_{Te}} \times 100 \quad (3)$$

式中: $\eta_{Te}$ 为转油站用电率,%; $E_{TOout}$ 为站内外输油带出的压能,kJ/h; $E_{TWout}$ 为站内外输掺水带出的压能,kJ/h; $E_{TOin}$ 为回油进入转油站带来的压能,kJ/h。

热能利用率:

$$\eta_{Th} = \frac{E_{TOout} + E_{TWout} - E_{TOin}}{E_{Th}} \times 100 \quad (4)$$

式中: $\eta_{Th}$ 为转油站热能利用率,%; $E_{TOout}$ 为站内外输油带出的热能,kJ/h; $E_{TWout}$ 为站内外输掺水带出的热能,kJ/h; $E_{TOin}$ 为回油进入转油站带来的热能,kJ/h。

处理液量气耗:

$$M_{TF} = \frac{B_{Ta} + B_{Td}}{G_T} \quad (5)$$

式中: $M_{TF}$ 为单位处理液量气耗, $m^3/t$ ; $G_T$ 为转油站处理液量,t/h; $B_{Ta}$ 为转油站内消耗的伴生气体量, $m^3/h$ ; $B_{Td}$ 为转油站内消耗的干气体量, $m^3/h$ 。

处理液量电耗:

$$M_{TE} = \frac{N_{Te}}{G_T} \quad (6)$$

式中:  $M_{TE}$  为单位处理液量电耗,  $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{t}$ ;  $N_{Te}$  为转油站功耗,  $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{h}$ 。

单位处理液量综合能耗:

$$M_{TS} = \frac{E_{Th} + E_{Te}}{Q_{SC} \cdot G_T} \quad (7)$$

式中:  $M_{TS}$  为单位处理液量综合能耗,  $\text{kg}/\text{t}$ ;  $Q_{SC}$  为标准煤热值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ 。

## 2.2 回油管道和掺水管道能耗评价方法

对阀组间至转油站回油管道和掺水管道能耗评价, 建立阀组间至转油站回油管道能量平衡模型, 见图 3。

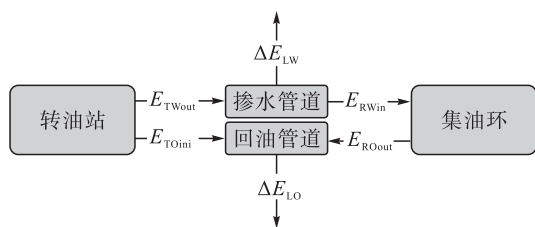


图 3 阀组间至转油站管道能量平衡模型图

掺水管道能量平衡方程:

$$E_{TW\text{out}i} = E_{RW\text{in}} + \Delta E_{LW} \quad (8)$$

式中:  $E_{TW\text{out}i}$  为与第  $i$  个阀组间相连接的掺水管道带出的掺水能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $E_{RW\text{in}}$  为经过掺水管道掺水的能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $\Delta E_{LW}$  为掺水管道损失的能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ 。

集油管道能量平衡方程表示为:

$$E_{RO\text{out}} = E_{TO\text{in}i} + \Delta E_{LO} \quad (9)$$

式中:  $E_{RO\text{out}}$  为阀组间回油进入集油管道的能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $E_{TO\text{in}i}$  为与第  $i$  个阀组间相连接的集油管道的回油能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $\Delta E_{LO}$  为集油管道损失的能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ 。

根据掺水管道及集油管道能量平衡方程, 建立其能耗评价指标如下:

掺水管道能损率:

$$\varepsilon_{LW} = \frac{\Delta E_{LW}}{E_{TW\text{out}i}} \times 100 \quad (10)$$

式中:  $\varepsilon_{LW}$  为掺水管道能损率, %。

集油管道能损率:

$$\varepsilon_{LO} = \frac{\Delta E_{LO}}{E_{RO\text{out}}} \times 100 \quad (11)$$

式中:  $\varepsilon_{LO}$  为集油管道能损率, %。

## 2.3 集油环能耗评价方法

集油环能量平衡模型见图 4。

集油环能量平衡方程可表示为:

$$E_{RW\text{in}} + E_{RO\text{in}} = \Delta E_R + E_{RO\text{out}} \quad (12)$$

式中:  $E_{RW\text{in}}$  为阀组间掺水进入各集油环的总能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;

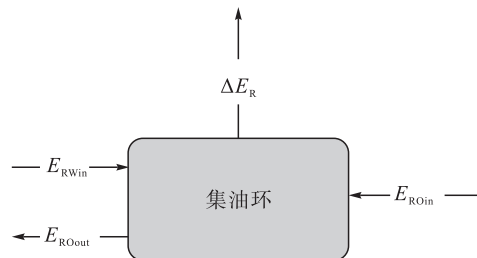


图 4 集油环能量平衡模型图

$E_{RO\text{out}}$  为各集油环集液返回阀组间的总能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $E_{RO\text{in}}$  为井口采出的气液混合物进入集油环的能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $\Delta E_R$  为集油环损失能量,  $\text{kJ}/\text{h}$ 。

根据集油环系统能量平衡方程, 建立其能耗评价指标如下:

集油环能损率:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta E_R}{E_{RW\text{in}} + E_{RO\text{in}}} \times 100 \quad (13)$$

式中:  $\varepsilon_R$  为集油环能损率, %。

## 3 软件设计

### 3.1 软件需求分析

随着 6 号转油站集输系统进入高采出程度和高含水率的“双高”发展阶段。原油产量呈逐年下降趋势, 能耗日益升高。由于运行方式不断更新, 老系统的运行已适应不了油田现今发展<sup>[3]</sup>。且由于系统庞大, 内部结构复杂, 现场技术人员工作难度较大, 运行情况未能得到及时调整, 耗资费用巨大。为高效、准确地做好节能降耗工作, 将智能软件应用到现场实际工作中是提高集输系统效率的重中之重。

### 3.2 软件功能模块设计

转油站集输系统能耗分析与评价软件是依据 Visual Studio 2010 编制而成的用于集输系统能耗现状分析和调整改造的工程实用软件(以下简称软件)<sup>[17]</sup>, 能够具体反应集输管网的结构、工艺流程特点以及各用能单元的能量平衡模型。

软件具有八种功能, 见图 5。

软件中效率计算、节能评价及预测分析是软件的核心部分。软件能够计算各用能环节的效率, 并根据计算结果分析评价, 提出改造建议, 并预测系统用能情况。

### 3.3 程序流程设计

软件的程序流程包括: 各项数据录入、效率计算、用能评价分析、系统节能改造、结果输出五个步骤。用户可以将系统中各子系统及设备的实时运行数据进行录入, 该软件即可对集输系统的能耗进行计算, 分析系统的能耗现状, 给出预测结果实施改进措施<sup>[18-20]</sup>。软件与

MSAccess 数据库链接,用户可将各运行数据、计算参数及计算结果储存至数据库。用户能够依据集输系统的实时运行情况,输入计算所需参数进行计算。各项计算

结果会自动保存至 Access 数据库,为方便用户观看数据计算结果,该软件可以将结果以 Excel 表格形式导出。软件计算程序流程见图 6。

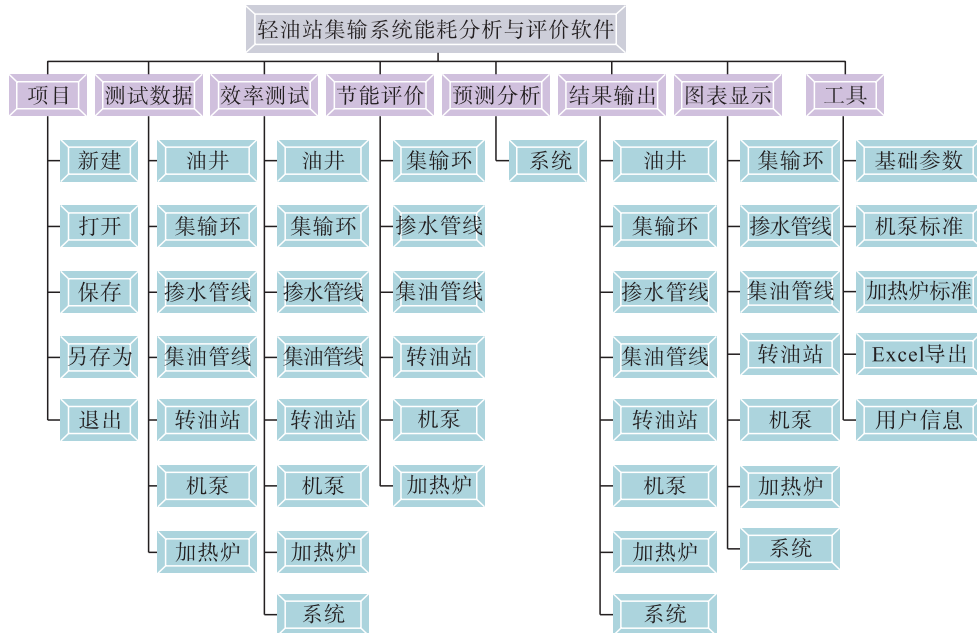


图 5 转油站集输系统能耗分析与评价软件框图

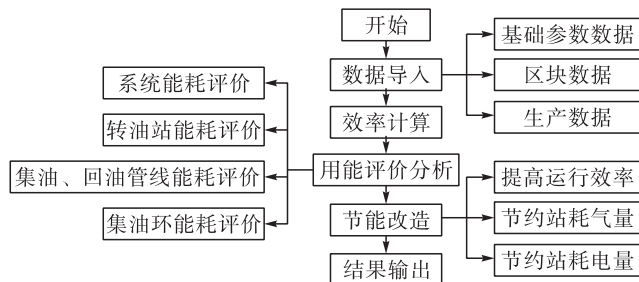


图 6 软件计算程序流程

### 3.4 软件运行环境

#### 3.4.1 硬件环境

PC 机 /586 以上;主机内存:256 MB 以上;硬盘:540 MB 以上;显示卡:EGA /VGA;打印机:中英文打印机。

#### 3.4.2 软件环境

开发平台:Visual Studio 2010,操作系统:中文 Windows 2000 或 Windows XP,所用数据库:Access,辅助软件:Excel。

## 4 应用计算

### 4.1 能耗计算结果分析与评价

大庆油田 6 号转油站集输系统含 6 号转油站 1 座,阀组间 6 座,油井 141 口,开井 78 口,日产液 261.34 t,日产油 67.98 t,综合含水 74.68%。利用软件对系统各用能环节进行能耗计算与分析:

6 号转油站总掺水量 66.34 m<sup>3</sup>/h,能量损失

3 305 479.89 kJ/h,其中热能损失为 3 045 462.34 kJ/h,压能损失为 260 017.55 kJ/h。能源效率为 51.8%,电能利用率为 24.64%,热能利用率为 50.89%,吨液耗电为 8.84(kW·h)/t,吨液耗气为 14.43 m<sup>3</sup>/t,吨液综合能耗为 20.79 kg/t,回油汇管温度 40℃。由计算结果可知,在该系统总能量损失当中,热能损失占比最高,且热能损失是压能损失 12 倍。因此为降低能损,提高系统效率,需及时改善转油站内设备保温状况,提高加热炉效率。6 号转油站回油汇管温度较高,为降低系统能耗需要优化掺水量及掺水温度。

掺水系统中掺水管道平均能量损失为 181 458.22 kJ/h,其中热能损失为 178 545 kJ/h,压能损失为 2 913.22 kJ/h。集油管道平均能量损失为 223 541.25 kJ/h,其中热能损失为 221 427.65 kJ/h,压能损失为 2 113.6 kJ/h。由计算结果可知,掺水系统中热能损失占比较高,因此为降低系统能损,需要降低掺水管道和集油管道的热能损失,及时改善管道保温情况。

6 号转油站集油环平均能量损失为 25 632.42 kJ/h,其中热能损失为 23 991.37 kJ/h,压能损失为 1 641.05 kJ/h。平均回油温度 41.48℃。由计算结果可知,集油环中热能损失占比较高,需降低热损。且所有集油环的回油温度均偏高,为降低回油温度,可控制优化掺水量。

6 号转油站的 2 台加热炉中,其中 2#掺水加热炉各项指标合格,1#掺水加热炉大部分指标合格,但排烟温度较高,致使排烟热损失达 16.4%。加热炉热损失较高,

不符合规范。可对加热炉实施强化换热,同时保证温度满足要求。

6号转油站个别机泵没有在高效区内运行,泵运行负荷率偏低,达不到规范要求。个别泵的泵管压差过大,大于单级扬程,液量波动较大且长期低负荷运行,导

致节流损失率较高。因此,可通过泵变频调速、减级等措施降低泵管压差,提高运行负荷率。

利用能量守恒原理和质量守恒原理,借助研制软件,对该集输系统进行综合能耗分析,系统能量损失计算结果见表1。

表1 6号转油站系统能量损失计算结果表

环节	热损 / (kJ·h <sup>-1</sup> )	热损占比 / (%)	压损 / (kJ·h <sup>-1</sup> )	压损占比 / (%)	能损 / (kJ·h <sup>-1</sup> )	能损占比 / (%)
集油环	628 516.57	10.32	35 470.64	10.80	663 987.21	10.34
掺水管道	1 072 148	17.60	17 394.80	5.30	1 089 542.80	16.97
集油管道	1 345 781.50	22.10	15 765.73	4.80	1 361 547.23	21.21
转油站	3 045 462.34	49.99	260 017.55	79.11	3 305 479.89	51.48
系统	6 091 908.41	—	328 648.72	—	6 420 557.13	—

由表1可知,6号转油站平均单井掺水量为0.89 m<sup>3</sup>/h,系统总热能损失较高,占比94.88%,总压能损失占比5.12%。转油站子系统耗能最高,能损占比51.48%。6号转油站集输系统热能消耗量占比较大,达到94.89%,需及时通过提高加热炉运行效率,改善管道保温层状况提高系统利用热能的效率,降低热能损失。

#### 4.2 调整改造

找到6号转油站集输系统的用能薄弱环节后,利用软件的节能评价与预测分析模块对系统进行节能改造措施。由于该转油站所辖集油管道已运行多年,整改难度较大,所以只针对掺水系统进行优化,前后用能对比结果见表2。

表2 6号转油站集输系统改造前后用能对比结果表

计算结果	改造前	改造后	差值
站耗气量 / (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	167.54	119.89	47.65
站耗电量 / (kW·h·h <sup>-1</sup> )	91.0	61.9	29.1
站效 / (%)	51.80	45.01	6.79
电能利用率 / (%)	24.64	34.85	-10.21
热能利用率 / (%)	50.89	45.03	5.86
吨液耗电 / (kW·h·t <sup>-1</sup> )	8.45	5.58	2.87
吨油耗电 / (kW·h·t <sup>-1</sup> )	28.99	20.14	8.85
吨液耗气 / (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	14.92	10.78	4.14
吨油耗气 / (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	54.32	39.12	15.20
吨液综合能耗 / (kg·t <sup>-1</sup> )	21.23	16.02	5.21
吨油综合能耗 / (kg·t <sup>-1</sup> )	75.32	52.99	22.33

由表2可知,改造后节约耗气量47.65 m<sup>3</sup>/h,节气率28.44%;耗电量可节约29.1(kW·h)/h,节电率31.97%。

## 5 结论

建立了针对大庆某油田6号转油站集输系统及其用能单元的能量平衡模型,依据该集输系统工艺流程确立

了系统各用能单元的能耗评价指标;研究并开发了转油站集输系统能耗分析与评价软件,能够对系统效率进行计算,实现能耗分析与评价功能。经应用实例表明,软件能够对系统效率及能耗进行准确计算,完全反应用能情况,并能够找到系统用能存在的薄弱环节,提出改造措施,软件应用效果良好。应用结果表明集输系统耗气量下降28.44%,耗电量下降31.97%。

#### 参考文献:

- [1] 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.  
Nan Songyu. Energy Consumption Analysis Research and Energy Saving Measures for Oil-Gas Gathering and Transportation System [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2012.
- [2] 李雪峰. 油气集输系统的能耗评价与能损分析[J]. 应用能源技术,2009(6):5-7.  
Li Xuefeng. Energy Consumption Evaluation and Analysis of Oil-Gas Gathering and Transferring System [J]. Applied Energy Technology, 2009 (6) : 5 - 7.
- [3] 曾昭英,周 峤,吴新果. 原油集输系统能耗分析软件开发与应用[J]. 科学技术与工程,2012,12(5):1135-1138.  
Zeng Zhaoying, Zhou Qiao, Wu Xinguo. The Development and Application of Energy Consumption Analysis of Oil Gathering System [J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12 (5) : 1135 - 1138.
- [4] 马 茹. 油气集输系统用能分析评价[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2009.  
Ma Ru. Energy Consumption Analysis of Oilfield Gathering & Transportation System [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2009.
- [5] 张兰双,魏立新,王文秀,等. 原油集输系统效率计算与能耗分

- 析软件开发[J]. 油气田地面工程, 2005, 24(11): 14-15.
- Zhang Lanshuang, Wei Lixin, Wang Wenxiu, et al. Software Development of Efficiency Calculation and Energy Consumption Analysis of Crude Oil Gathering and Transportation System [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2005, 24 (11): 14-15.
- [6] 李岩. 油田集输系统的能耗分析及节能措施的运用[J]. 中国石油和化工, 2016(S1): 165.
- Li Yan. Energy Consumption Analysis of Oilfield Gathering System and Application of Energy Saving Measures [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2016 (S1): 165.
- [7] 元福香. 特高含水期原油集输系统能量最优利用研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
- Qi Fuxiang. The Research on Optimized Energy Consumption of Oil Gathering and Transferring System in Super High Water-Cut Period [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [8] 李元. 转油站集输系统能耗分析及优化运行[J]. 石油石化节能, 2017, 7(12): 33-35.
- Li Kang. Energy Consumption Analysis and Optimized Operation of the Gathering Station in the Oil Transfer Station [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2017, 7 (12): 33-35.
- [9] 何湘禹. 港东联合站能耗分析与节能途径研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- He Xiangyu. Energy Consumption Analysis and Energy Saving Research of Gangdong Joint Station [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016.
- [10] 曹修恒. 油气集输系统能耗分析与节能技术探讨[J]. 科技视界, 2016(12): 265-266.
- Cao Xiuheng. Energy Consumption Analysis and Energy Saving Technology of Oil and Gas Gathering and Transportation System [J]. Science & Technology Vision, 2016 (12): 265-266.
- [11] 兰乘祎. 油气集输系统能耗分析与节能技术探讨[J]. 化工管理, 2017(19): 121.
- Lan Chengyi. Energy Consumption Analysis and Energy Saving Technology of Oil and Gas Gathering System [J]. Chemical Enterprise Management, 2017 (19): 121.
- [12] 董立伟. 油气集输系统的能耗评价与能损分析[J]. 中国新技术新产品, 2016(17): 29.
- Dong Liwei. Energy Consumption Evaluation and Analysis of Oil-Gas Gathering and Transportation System [J]. New Technology & New Products of China, 2016 (17): 29.
- [13] 罗海军. 基于 B/S 模式的油气集输能耗分析系统开发[J]. 科技和产业, 2014, 14(6): 121-123.
- Luo Haijun. Development of Energy Consumption Analysis System for Oil and Gas Gathering and Transferring System Based on B/S Mode [J]. Science Technology and Industry, 2014, 14 (6): 121-123.
- [14] 卢禹赫. 油气集输系统能耗与能量综合利用[J]. 石油石化节能, 2011, 1(4): 39-41.
- Lu Yuhe. The Comprehensive Utilization of Energy and the Energy Consumption for Oil-Gas Gathering and Transportation System [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2011, 1 (4): 39-41.
- [15] 宛辉. 特高含水油集输系统能耗及优化运行研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
- Wan Hui. Research on Energy-Cost and Optimum Running of Oil and Gas Gathering and Transferring System with Supper High-Water-Cut [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [16] 魏立新. 基于智能计算的油田地面管网优化技术研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2005.
- Wei Lixin. Study on Optimization Technology for Oilfield Surface Pipeline Network Based on Intelligence Computation [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2005.
- [17] 苗承武. 油气集输系统的能耗分析及其设计中的节能途径[J]. 油田地面工程, 1988, 7(6): 6-12.
- Miao Chengwu. Analysis of Energy Consumption and Measures of Energy-Saving in Designs of Oil-Gas Gathering and Transferring System [J]. Oilfield Surface Engineering, 1988, 7 (6): 6-12.
- [18] 李文文. 关于油气集输系统的节能潜力分析[J]. 化工管理, 2018(24): 20-21.
- Li Wenwen. Analysis on Energy-Saving Potential of Oil-Gas Gathering and Transportation System [J]. Chemical Enterprise Management, 2018 (24): 20-21.
- [19] 刘琦锋. 油气集输系统节能技术探讨[J]. 广东化工, 2014, 41(17): 94-95.
- Liu Qifeng. Discussion on Energy Saving Technology of Oil and Gas Gathering and Transportation System [J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 41 (17): 94-95.
- [20] 袁永惠. 油气集输能量系统的热力学评价与分析[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.
- Yuan Yonghui. Thermodynamic Evaluation and Analysis of Oil-Gas Gathering and Transferring Energy System [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2009.