

炼油厂热动系统优化与节能改造

张艳春, 徐洪志

(清华大学 热能工程系, 北京 100084)

摘 要: 介绍了某炼油厂热能动力系统节能优化配置, 分析了汽轮机低真空供暖与炼油工艺装置中低温热源间的联合热利用改造措施, 采用新增机组实现对蒸汽使用的弹性调节; 合理利用凝汽潜热。经改造及低温热联合利用节约了能源, 效益显著。

关 键 词: 热能动力; 优化配置; 节能改造

中图分类号: TK11 文献标识码: B

1 前 言

炼油厂在原油处理及石油产品生产过程中要消耗可观的一次、二次能源。经近年努力, 我国炼油企业能耗指标在明显降低, 但不少企业的能耗指标普遍高于国外同类企业, 其中重要的原因是原油处理过程中的各类工艺装置及相关的各辅助系统, 在设备与能量的配置上存在不合理状况。炼油厂的热能动力装置及系统、炼油工艺装置产生的工艺热、各辅助系统用热及供暖用热之间的热联合利用等方面还有很大节能潜力挖掘。本文工作建立在某炼油厂过程能量系统优化工程的基础上, 重点探讨了热动系统设备优化配置、催化装置与炼油工艺装置及辅助系统的产热与用热间的综合节能改造。

2 改造对象系统描述

2.1 热能动力系统简介

该厂西部热电车间原装有 4 台 65 t/h 旧中压蒸

汽锅炉和 2 台已运行 16 年的背压汽轮发电机组。其中 B6-3.43/0.5 型为适应炼油装置供热需要, 拆除了两级透平叶轮, 机组技术性能差, 汽耗率高。由于外界原因, 西部热电车间不能继续维持生产, 全厂热电车间转移到厂东部锅炉房, 该处已投运 3 台 65 t/h 新中压锅炉。位于厂东部的催化车间有 3 套中压蒸汽装置和 1 台 2 MW 汽压机。催化车间发汽装置平均产中压汽 53 t/h, 蒸汽参数偏低, 优化后将提升到中压等级。驱动 2 MW 汽压机, 汽源来自燃渣油的中压锅炉。优化前系统简图见图 1。改造前的蒸汽平衡见表 1。

表 1 改造前全厂中压蒸汽产用平衡表 ($\times 10^4 \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)

总产量	催化汽压机用	背压汽轮机用	减温减压用
75.3	22.6	26.47	26.23

2.2 系统存在的问题与分析

2.2.1 总体布局与机组配置的不合理约束了热电联产效益

改造前全厂年产中压蒸汽减去催化汽压机用掉的蒸汽量, 共有 $52.7 \times 10^4 \text{t}$ 中压汽可用于背压汽轮机发电, 由于汽轮机效率低, 实际年发电 $1527 \times 10^4 \text{kWh}$ 。在不增加发汽量条件下, 如果配置合理, 按目前同类型汽轮机发电耗汽 $14.54 \text{kg}/(\text{kWh})$ 估算, 可多发 $2098 \times 10^4 \text{kWh}$ 。按厂外购电价格 $0.41 \text{元}/(\text{kWh})$ 计算, 一年可增收约 860 万元。仅此一项说明本系统优化配置机组有较大的节能空间。

收稿日期: 2002-12-20

作者简介: 张艳春(1951-), 男, 北京人, 清华大学副教授。

耗量与实际测得的燃煤消耗量十分吻合, 证明了所测得的煤粉浓度准确可靠。应用实践表明, 本方法测量乏气送粉系统的煤粉浓度简单、准确, 为运行调整提供了可靠的依据, 完全满足了生产现场的要求, 提高了机组的安全性和经济性。

参考文献:

- [1] 曾丹苓, 敖越, 朱克雄等. 工程热力学[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1986.
- [2] 朱明善, 刘颖, 林兆庄, 等. 工程热力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [3] 杨兴森. 煤粉颗粒在一次风中的运动研究[J]. 山东电力技术, 2000(4): 9-11

(何静芳 编辑)

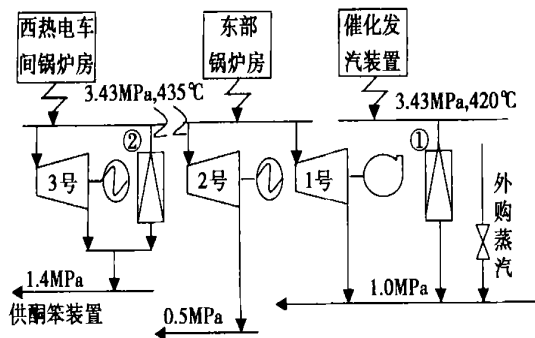


图 1 优化前全厂热动系统构成模型图

2.2.2 厂蒸汽生产现状与整个热力系统的使用不协调

炼油厂夏季需求的低温热量少, 需电量高。夏季炼油工艺伴生的瓦斯过剩, 为使瓦斯不放空, 采取烧瓦斯产中压汽, 利用现有汽机降低蒸汽能级后, 造成其背压蒸汽过剩放空, 或将瓦斯送火炬燃烧放空; 冬季炼油装置及其管线伴热等辅助系统需要的热量较多, 供暖需求热量大, 现用炼油装置产生的部分工艺低温热供暖, 供暖期还需补充 1.0 MPa, 39 t/h 的低压蒸汽。该厂中压锅炉主要以燃油渣油为主, 1.0 MPa 蒸汽的厂内价格(含税)78 元/t; 此外, 由于现有机组型式、管网结构等限制, 不能弹性调节系统用汽, 致使全年有 26×10^4 t 的中压蒸汽减温减压后使用, 损失了大量的做功能力。

3 系统优化改造的主要措施

在提高蒸汽使用的弹性调节手段以及合理利用低温热能等方面采取措施, 使优化改造后的热力系统, 能适应夏季炼油工艺生产状况, 将多产的中压蒸汽用好。正常生产中置减温减压器于热备态。冬季减少供暖用 1.0 MPa 蒸汽耗量。

(1) 优选增建一台 12 MW 双抽凝汽机组, 选型号为 CC12-3.43/1.4/0.9。采用新增机组实现对蒸汽使用的弹性调节, 选定参数时考虑其适应全年随工况、季节变化时的调节功能。利用其第一段抽汽满足酮苯脱蜡装置用蒸汽。第二段抽汽进入 0.8 MPa 管网系统。夏季利用机组凝汽功能多发电, 用燃烧瓦斯产生的中压蒸汽, 部分缓解夏季用电紧张状况。该机组安装在东锅炉房南侧预留汽机房空地上, 再从即将关闭的西部锅炉汽机房中, 迁建一台 B6-3.43/0.5 背压机组到东锅炉房南侧的汽机房

做为弹性调节用汽的另一手段。

(2) 供暖季将汽机冷却循环水用作供暖热水, 合理利用凝汽潜热。当供暖负荷升高时, 适当降低真空度, 以减少机组出力换取大量低温热供住宅与办公区采暖, 减少向供暖水中直接补充的 1.0 MPa 蒸汽。完善蒸汽的梯级利用, 提高热化率。供暖期打破单元限制, 汽机冷却水系统与炼油装置工艺低温余热系统管道相连, 形成大系统低温热联合。利用抽凝机组排汽潜热以及催化装置的低温余热作为供暖用热, 可最大限度提高热联合系统中热化装置的热电比。本供暖系统简图见图 2。

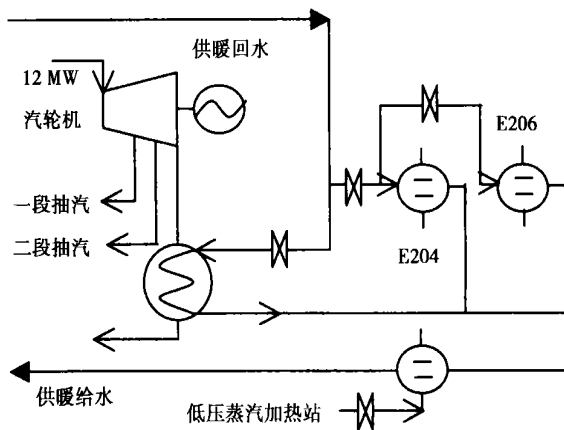


图 2 供暖系统流程简图

4 热动系统的热负荷设计

(1) 12 MW 双抽凝汽供热机组的第一段抽汽用于酮苯装置的工艺生产, 正常生产过程中用汽量为 20 t/h, 用汽负荷稳定, 不随季节变化。机组的第二段抽汽量可根据季节和工艺生产工况需要弹性调整。

(2) 改造前供暖用热是催化装置低温热和补充低压蒸汽, 一个供暖期需要耗掉 15×10^4 t 低压蒸汽。改造后供暖热量有三部分来源。一是汽轮机乏汽热; 二是催化装置低温热; 三是寒冷季节供暖用热尖峰区补充少量 1.0 MPa 低压蒸汽以保供热质量。热负荷的分配见表 2。

表 2 供暖热负荷分配 (GJ·h⁻¹)

	3月1日 ~4月5日					全年/GJ
	1月	2月	11月	12月		
汽机乏汽	119.3	78.5	52.8	46.1	83.8	28.3×10^4
装置余热	43.1	55.7	35.6	46.1	53.5	17.3×10^4
蒸汽加热	17.7					1.31×10^4
合计	180.1	134.2	88.4	92.2	137.3	46.91×10^4

根据采暖期间环境温度、当地采暖热指标等参数对供热负荷作计算绘制了供热热负荷时间延续曲线, 见图 3。图中横坐标为供暖天数。当地供暖时间为每年的 10 月 25 日到第二年的 4 月 5 日, 按照 162 天设计计算; 纵坐标为热量值, 纵坐标数值 $\times 4.1868 \times 10^4$ 后, 单位为 kJ/h 。计算供暖设计热负荷的公式为^[1]:

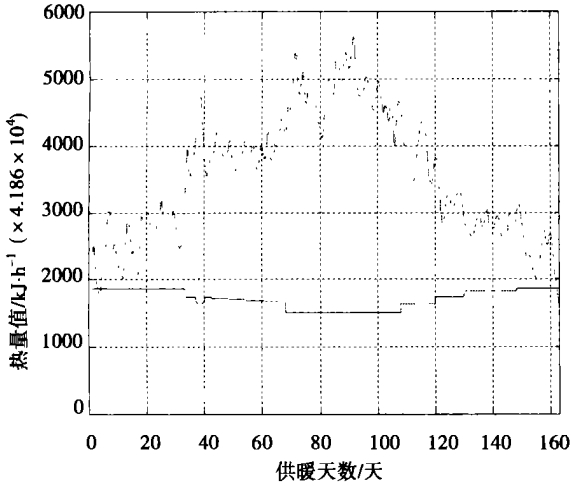


图 3 供暖热负荷时间延续曲线

$$Q = f \times q \times (t_n - t_w) / (t_n - t'_w)$$

式中: Q —供暖设计热负荷, GJ/h ; f —供暖面积, m^2 ; q —供暖热指标, W/m^2 ; t_n —室内环境温度, $^\circ\text{C}$; t_w —室外环境温度, $^\circ\text{C}$ 。根据当地气象台站提供的近 3 年同期均值带入计算。 t'_w —室外计算温度取 -21°C 。参照国家对当地供暖的规定有关资料, 式中住宅供暖面积热指标取 74.2W/m^2 ; 室内温度取 18°C ; 本期供暖面积定为 $78 \times 10^4 \text{m}^2$ 。

图 3 中上面第一条曲线与横坐标所围成的面积为供暖期所需总热量。供暖所用的这三部分低温热源在图中的构成是: 图中第二条曲线与横坐标所围成的热量取自催化装置中换热器 E204、E206 (见图 2) 的低温余热, 两条曲线之间所围热量来自于抽凝汽机凝汽潜热与补充的低压蒸汽热量。图中超过纵坐标数值 4000 以上与第一条曲线所围部分的热量来自补充的 1.0MPa 低压蒸汽热量。这时正处于寒冷季节, 时间约 30 天左右, 发生在元月中, 需对供暖水加入少量的低压蒸汽热量, 见表 2。

采用质调节算出的采暖水温调节关系见图 4。图中 T_g 为供给水温度线, T_h 为回水温度线。

催化装置中换热器 E204、E206 取出的热量值是回水温度的函数, 供暖回水温度越高, 换热器能够取

出的热量越少。图 5 给出了换热器取出的热量值与供暖水回水温度的关系曲线。在具体的实施工艺流程中, 为了保证换热器尽可能多的取热, 2000t/h 的供暖回水, 分流出一部分进入催化换热器取热, 其余大部分进入汽机冷凝器取热。为了简化实际供暖水工艺流程, 设定催化装置所取的热量值基本上为分段常数, 见图 3 中第二条曲线所示。实际运行中汽机排汽热值也按照分段直线取, 不是图中的折曲线。实际是将整个供暖期取 3 条直线段。即: 从 $0 \sim 37$ 天 (计 38 天, 环境温度取均值 -5°C), 对应纵坐标热值为 3000。从 $38 \sim 120$ 天 (计 84 天, 环境温度取均值 -10°C), 对应纵坐标热值为 4000。从 $121 \sim 161$ 天 (计 40 天, 环境温度取均值 -5°C), 对应纵坐标热值为 3000。其中对应纵坐标热值为 3000 的供暖时间总计为 78 天, 这样采暖期可确定为两种汽机背压 (或排气温度) 工况, 这样做的优点是简化汽机运行工况状态, 便于汽机调节, 减少冷凝器的工况变动量。

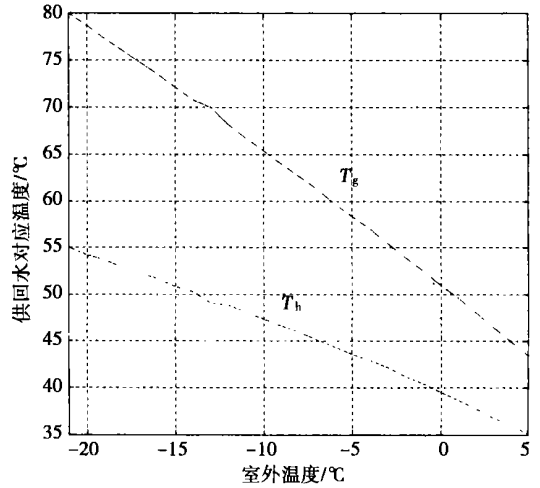


图 4 供、回水与室外温度关系

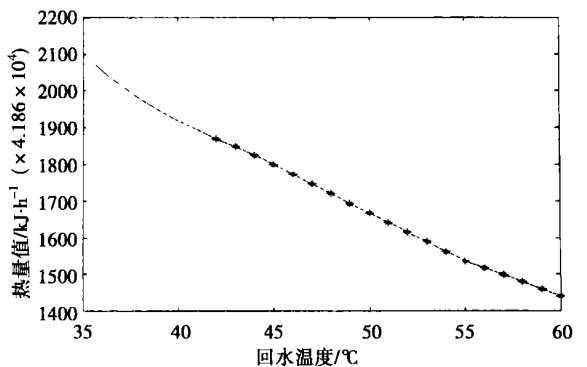


图 5 换热器取热与供暖回水温度关系

5 节能改造的经济效益分析

(1) 改造方案有效地利用了夏季厂炼油工艺装置过剩瓦斯气体产中压蒸汽, 将得到的蒸汽用于抽凝机组凝汽发电。据厂计划处统计, 改造前一年由于设备配置不合理, 夏季共放空瓦斯 1 726 t, 根据瓦斯热值及锅炉效率, 每吨瓦斯约产 13 t 中压蒸汽。这些燃料可产 $13 \times 1\,726 = 22\,438$ t 中压蒸汽。按照 12 MW 抽凝机组纯凝时汽耗率约 $4.8 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算, 可发电 $467.5 \times 10^4 \text{ kWh}$, 按每千瓦时电购入价格 0.41 元计算, 折合约 192 万元人民币。改造前是通过火炬燃烧后排入大气中, 这部分收益是净收入。

(2) 改造以后, 实际上可将减温减压装置至于热备态, 原经减温减压器的 26.23 万 t 中压蒸汽可以通过汽轮机组有效地梯级利用。如果假定将这部分蒸汽从一段抽出, 则抽出的压力为 1.4 MPa, 温度为 300 °C。查出焓降差值为 265 kJ/kg, 汽机前面级的平均内效率取 0.8。可估算发电量为: $26 \times 10^7 \times 265 \times 0.8 / 3.6 / 10^3 \times 0.96 \approx 1\,469.9 \times 10^4 \text{ kWh}$, 折合人民币约 603 万元。式中系数 0.96 为汽机、发电机机械效率, 以下同。

(3) 由于采用了大系统联合利用低温热, 改造后减少了冬季采暖补热的 1.0 MPa 低压蒸汽汽量。根据供暖热负荷热量计算, 在寒冷的供暖尖峰期补充的热量折合 1.0 MPa 低压蒸汽量约计 4 300 t, 与原来相比节省了约 $14.57 \times 10^4 \text{ t}$ 的 1.0 MPa 低压蒸汽。从整体上讲, 这部分蒸汽可借助汽轮机来发电。即: 减少汽机二段抽汽。以 1.0 MPa, 280 °C 的初参数, 进入汽机后面级继续做功。如假定蒸汽膨胀到 0.005 7 MPa, 35 °C。根据总蒸汽量, 查表算出焓降差值为 694 kJ/kg, 后面级的平均内效率取 0.65, 即: $14.57 \times 10^7 \times 694 \times 0.65 / 3.6 / 10^3 \times 0.96 \approx 1\,753 \times 10^4 \text{ kWh}$, 折合人民币约 719 万元。

以上三项收益综合为 1 514 万元/a。

(4) 用汽轮机冷却水来供暖, 需提高汽机排汽背压, 会使得从汽机进口到尾部排汽的蒸汽焓降减少, 末级效率降低。对于前述改造方案, 供暖期要分两段计算汽机背压提高后, 对机组发电量的影响。

下面采用简便算法核算热经济性。

查机组特性线, 当中压蒸汽进汽量为 60 t/h, 中压蒸汽焓值取 3 300 kJ/kg。纯凝工况下, 排汽压力为 0.005 4 MPa, 排汽焓为 2 290 kJ/kg 时, 发电量为 12 MW。带采暖时, 取环境温度为 -10 °C (合计有 84 天), 由图 4 查出对应的给水温度约为 65 °C。此时, 提高汽机背压参数, 如取汽机排汽温度为 75 °C, 查表并计算出排汽焓值为 2 508 kJ/kg。为便于比较, 计算仍选纯凝工况。在同样的进汽量下, 汽机输出功率为: $60 \times 10^3 \times 907 \times 0.65 / 3.6 / 10^3 \approx 9\,826 \text{ kW}$, 与不带采暖时相比, 少发 2 174 kW, 功率约占不带供暖时的 18%。折价 $0.41 \times 2\,174 \times 24 \times 84 \approx 180$ 万元。环境温度取 -5 °C (有 78 天), 图 4 中对应的给水温度约 58 °C。此工况取汽机排汽为 65 °C, 查表并计算出排汽焓值为 2 455 kJ/kg。汽机输出功率为: $60 \times 10^3 \times 967 \times 0.65 / 3.6 / 10^3 \approx 10\,476 \text{ kW}$, 功率约占原来 12 MW 的 12.7%。在 78 天的供暖期间, 少发电 $285 \times 10^4 \text{ kWh}$, 折合 117 万元。在采暖期中, 由于汽机背压提高导致少获得 297 万元利益, 而直接将 $15 \times 10^4 \text{ t}$, 1.0 MPa 蒸汽直接补热采暖的支出是 78 元 $\times 15 \times 10^4 \approx 1\,170$ 万元。带采暖机组少发电的损失约仅为补汽支出的 25.4%。低真空采暖减少供暖投入约 873 万元。

本项目改造费用投资为: 一台 12 MW 汽轮发电机组、热控系统、水蒸气管路与油漆、完善部分主厂房与设备基础、不可遇见费用等总计约 3 100 万元。静态投资回收期 2.05 年。

6 结 语

以上分析表明, 优化现有的系统配置, 提高设备的热化率, 在低温热源较丰富的炼油企业, 打破单元界限, 实现低温热联合利用是炼油企业节约能源的有效措施。

参考文献:

- [1] 贺平, 孙刚. 供热工程[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1998.
- [2] 郑体宽. 热力发电厂[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

(何静芳 编辑)

ergy equation of an open system the authors have developed a method for measuring the concentration of pulverized coal in primary air for a boiler employing exhaust gas for transporting pulverized coal. This method has been successfully used in production practice, blazing a new path for the on-line monitoring of pulverized coal concentration in primary air. **Key words:** primary air, pulverized coal concentration, energy equation, measurement

炼油厂热动系统优化与节能改造 = **Optimization and Energy Conservation-oriented Modification of the Thermal Energy System of an Oil Refinery** [刊, 汉] / ZHANG Yan-chun, XU Hong-zhi (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 525 ~ 528

The optimized configuration of the thermal energy engineering system of an oil refinery for energy savings is described. This is followed by an analysis of the low-vacuum heat supply by a steam turbine and the measures taken for the combined heat utilization of various low-temperature heat sources in an oil-refining process plant. A new turbine has been added to realize a flexible regulation of steam use, introducing a rational utilization of condensing-steam latent heat. As a result of the modification and the combined use of low-temperature heat energy significant energy savings and economic benefits have been achieved. **Key words:** thermal energy power, optimized configuration, energy conservation-oriented modification

电站锅炉热效率通用软件制作 = **Development of a Set of General Software for Calculating the Thermal Efficiency of Utility Boilers** [刊, 汉] / ZHAO Yong-gang (Inner Mongolia Electric Power Research Academy, Huhehot, Inner Mongolia, China, Post Code: 010020), REN Run-ping, ZHANG Cun-zhu (Monda Power Generation Co. Ltd., Dalada, Inner Mongolia, China, Post Code: 014300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 529 ~ 531

Boiler thermal efficiency tests are listed among the most basic and commonly used thermodynamic tests of boiler equipment. On the basis of analyzing methods of calculating the thermal efficiency of utility boilers the development of a set of general software is expounded along with a description of its makeup. The use of this software can not only enhance the accuracy of thermal efficiency calculation for utility boilers, but also dramatically reduce calculation load, resulting in higher work efficiency. **Key words:** utility boiler, thermal efficiency, software making

35 t/h 锅炉 PLC 热工监控系统设计 = **Design of a Programmable Logic Controller-based Thermotechnical Control and Monitoring System for 35 t/h Boilers** [刊, 汉] / ZHANG Shao-juan, LU Shu-ju (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 532 ~ 534

The design of a thermotechnical control system for two 35t/h boilers installed at Iran Shazand Power Station is described along with a brief account of the employed Siemens programmable logic controller-based hardware configuration and software programming as well as the functions of a monitoring system. The control system features strong control functions, high reliability and ease of operation. **Key words:** boiler, PLC, monitoring system

波纹管容积式换热器的失效及控制 = **Failure and Control of a Corrugated-tube Positive-displacement Heat Exchanger** [刊, 汉] / YANG Guan-zhen (Wuxi Municipal Inspection Institution for Boilers and Pressure Vessels, Wuxi, China, Post Code: 214025) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 535 ~ 536
Key words: heat exchanger, failure, control

全自动双效浓缩器控制技术 = **Control Technology for Fully Automatic Dual-effect Concentrating Devices** [刊, 汉] / SHI Jian-ping, LIU Qing-ge (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), WEI Jing-wei (Harbin Technical Institute of Electric Power, Harbin, China, Post Code: 150040) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 537 ~ 538