

文章编号:1007-6735(2012)06-0589-04

高炉鼓风脱湿系统的冷能分析及有效利用

杨东伟, 郁鸿凌, 管晨希, 肖博钧

(上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海, 200093)

摘要:针对冷凝脱湿的特性,利用能效分析法、物料平衡法和热力平衡法建立了高炉鼓风系统冷能利用的分析模型.对某钢厂的高炉鼓风冷却脱湿系统的实际数据进行整理归纳并利用该模型进行计算分析,结果表明:该钢厂高炉鼓风脱湿系统的冷能利用不充分.为提高冷能利用,盛夏月份每日产生的22.56 T/h、10℃冷凝水量,经处理可以回收利用到单台冷冻机的冷凝器,降低冷凝器侧循环冷却水温度1℃,增强了冷凝器换热效果和制冷系统制冷量352 kW,提高了高炉鼓风脱湿系统的冷能效用.

关键词:冷却脱湿; 冷凝水; 循环冷却水

中图分类号: TK 01⁺1 **文献标志码:** A

Analysis and Effective Use of Cooling Energy in Blast Furnace Blower Dehumidifying System

YANG Dong-wei, YU Hong-ling, GUAN Chen-xi, XIAO Bo-jun

(College of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to the characters of condensing dehumidification, the energy efficiency method, material balance method and heat balance method were used to build an analytical model about the cascade use of cooling energy in blast furnace (BF) blower system. The actual data, which were collected from a steel-works, were settled and then analyzed by means of the analytical model. The results show that the cooling energy in the steel-works' BF blower dehumidifying system is not fully used. For better use, the condensed water, with a production rate of 22.56 tons an hour at 10℃ in July and August, can be used in the condenser of one refrigerator after water treatment, and lower the cooling water temperature by 1℃. Meanwhile, it can enhance heat transferring and increase the cooling energy of refrigerating system by 352 kW.

Key words: cooling dehumidification; condensed water; circulating cooling water

随着高炉冶铁技术的发展,高炉鼓风按送风湿度控制^[1-3]而言,经历了一个从自然湿度鼓风到加湿鼓风再到脱湿鼓风的过程.1974年日本开始出现脱湿鼓风^[4-5],并在几年内得到了迅速

发展.笔者对某钢厂的高炉鼓风冷却脱湿系统运行状况进行分析,并建立了脱湿系统节能运行的数学模型,为该系统能源有效利用的研究提供理论依据.

收稿日期:2012-04-05

作者简介:杨东伟(1988-),男,硕士研究生.研究方向:褐煤干燥. E-mail: mocca1988@126.com

郁鸿凌(联系人),男,研究员.研究方向:干熄焦、褐煤干燥. E-mail: yuzhenyk@126.com

1 冷能有效利用的热力学原理

冷能有效利用是针对空气冷凝脱湿的特性,提出的能源有效利用的可行性方案.它包括两个方面:冷凝脱湿法和用能分析法.所谓的冷凝脱湿法^[6],即利用热交换器在一定的水蒸气分压力 p_v 下,先将未饱和湿空气冷却达到露点温度;继续冷却使部分水蒸气凝结成水滴析出.在此状态下湿空气中的水分呈水蒸气状态,将沿着饱和蒸汽线变化,温度和水蒸气分压力同时降低.冷却脱湿过程的湿空气焓湿图如图1所示,图中 h 为湿空气焓值; d 为湿空气含湿量; t 为湿空气温度; ϕ 为湿空气相对湿度.而用能分析法是依据热力学第二定律,衡量整个系统用能的实际情况,从而揭示系统节能的潜力和方向.此分析法同样适用于冷能分析,用能过程热效率为

$$\eta = \frac{E_y}{E_k} \quad (1)$$

式中, E_y , E_k 为已利用的冷能和总冷能.

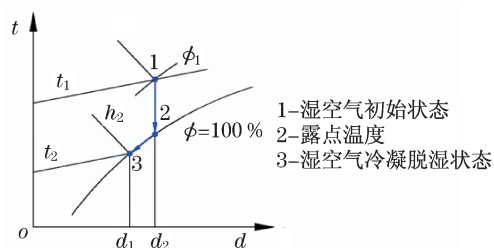


图1 湿空气焓湿图

Fig.1 Enthalpyhumidity diagram

1.1 冷能流程介绍

针对高炉鼓风脱湿系统实际运行情况,进行了基本设定:冷却水、空气等各项流量保持不变;制冷脱湿系统各级效率保持不变.图2为高炉鼓风脱湿系统冷量流程示意图.

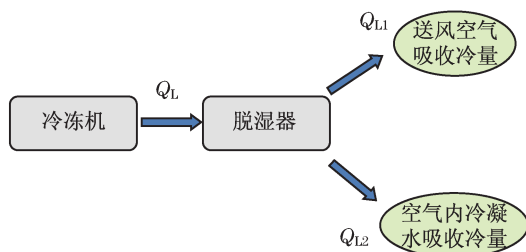


图2 高炉鼓风脱湿系统冷量流程示意图

Fig.2 Flow chart of cooling energy in blast furnace blower dehumidifying system

依照图2和以上两个设定可知,制冷系统提供的所有冷量 Q_L ,一部分为送风空气冷凝脱湿吸收的

冷量 Q_{L1} ,另一部分为凝结形成的冷凝水吸收的冷量 Q_{L2} ;其中 Q_{L2} 由于冷凝水铜离子过多而排放,造成大量的冷量浪费;依据用能分析可知整体实际用能效率为

$$\eta_1 = \frac{Q_{L1}}{Q_L} \quad (2)$$

1.2 数学模型建立

由图2可知,高炉鼓风脱湿系统的冷能有效利用对系统的影响主要由两部分构成,即单位时间内产生的冷凝水量和这部分冷凝水冷量回收对冷冻机制冷量的改善.利用物料平衡法和热力平衡法可得到这两部分的数学模型.

1.2.1 单位时间冷凝水量

依照物料平衡法可知,单位时间的冷凝水量主要由脱湿器进出口空气含湿量以及干空气质量流量等参数确定.

$$q_{m,a} d_{in} = q_{m,a} d_{out} + \Delta Q_{m,w} \quad (3)$$

$$\Delta Q_{m,w} = q_{m,a} (d_{in} - d_{out}) \quad (4)$$

式中, $\Delta Q_{m,w}$ 为每小时的冷凝水量, t/h; $q_{m,a}$ 为干空气的质量流量, kg/min; d_{in} , d_{out} 为脱湿器进口含湿量和出口含湿量, g/kg 干空气.

式(3)中的送风空气进出口含湿量可由测量仪器得到,而干空气质量流量需要根据送风空气的体积流量计算得出

$$p_{a,out} q_{v,out} = q_{m,a} R_{g,a} T_{out} \quad (5)$$

$$q_{m,a} = \frac{p_{a,out} q_{v,out}}{R_{g,a} T_{out}} = \frac{(p_{out} - p_{v,out}) q_{v,out}}{R_{g,a} T_{out}} \quad (6)$$

式中, $p_{a,out}$, $p_{v,out}$ 为脱湿器出口干空气分压和出口水蒸气分压, Pa; p_{out} 为脱湿器出口空气压力, Pa; $R_{g,a}$ 为干空气气体常数, 287 J/(kg · K); $q_{v,out}$ 为脱湿器出口送风风量, m³/min; T_{out} 为脱湿器出口温度, K.

1.2.2 冷凝水冷量对冷冻机制冷量的影响

冷凝水的冷能有效利用全部用于改善冷凝器的换热效果,根据换热器计算的热力平衡法,最终得到制冷剂质量循环流量,确定冷冻机增加的制冷量.

冷凝器循环冷却水吸收冷量后降低温度,根据热力平衡法,确定冷却水吸收冷量后降低的焓值

$$H_2 = H_1 - \frac{\Delta Q_{m,w}}{M_{cw}} \quad (7)$$

$$t'_2 = F(H_2) \quad (8)$$

式中, M_{cw} 为冷却水循环质量流量, kg/s; H_1 , H_2 为冷却水吸收冷量前后的焓值, kJ/kg; t'_2 为冷却后的冷却水温度, °C.

根据水和水蒸气热力性质图表确定 t'_2 , 代入

到热力平衡式求得制冷剂质量流量

$$q_{m1}c_1(t'_1-t''_1)=Q_{L'}=$$
$$q_{m2}c_2(t''_2-t'_2)$$

(9)

$$q_{m1}=q_{m2}\frac{c_2(t''_2-t'_2)}{c_1(t'_1-t''_1)}$$

(10)

$$\Delta t_m=\frac{\Delta t_{max}-\Delta t_{min}}{\ln\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$

(11)

$$Q_C=kA\Delta t_m$$

(12)

式中, t'_1 为冷凝器制冷剂进口温度,℃; t''_1 , t''_2 为冷凝器制冷剂和冷凝器冷却水出口温度,℃; c_1 , c_2 为制冷剂和水的比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$; q_{m1} , q_{m2} 为制冷剂质量流量为冷却水质量流量, kg/s ; Q_C 为冷凝器换热量, kW ; k 为冷凝器总体换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; A 为冷凝器换热面积, m^2 . 最后根据热力平衡式^[7]迭代校核制冷剂质量循环量,在压缩机功耗不变的情况下,得出增加的制冷量

$$\Delta Q_L=Q_{C2}-Q_{C1}$$

(13)

式中, Q_{C1} , Q_{C2} 为冷凝器原先和改造后换热量, kW .

2 实际工程应用

2.1 系统概况

该钢铁企业的高炉鼓风系统主要由鼓风系统和辅机系统构成,鼓风机单体送风流程如图 3 所示,其辅机系统^[8]由除尘过滤系统、冷却脱湿系统、富氧系

统以及送风管网系统构成.各个子系统中,冷却脱湿系统为整个辅机系统的主要能耗部位.

图 4 为该钢铁厂高炉鼓风系统中冷却脱湿系统的布置方式,主要由两部分构成:制冷系统和脱湿系统.冷水、盐水冷冻机产生的冷量通过冷水、盐水进入到冷却脱湿器中,与除尘过滤后的送风空气进行间接热交换,将送风空气温度降低到指定的饱和状态所对应的温度值,从而达到冷却除湿的效果;而产生的冷凝水目前做排空处理.

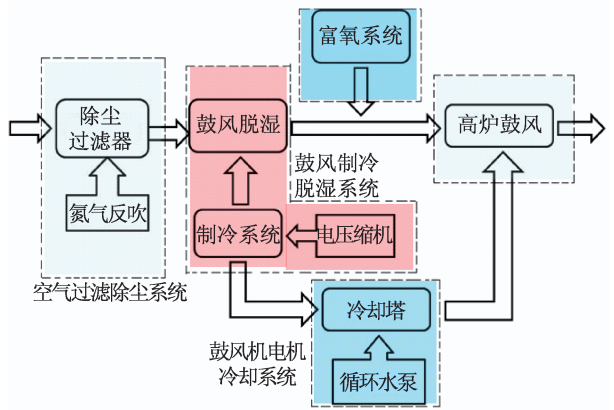


图 3 高炉鼓风辅机系统示意图

Fig.3 Blast furnace blower auxiliary system

2.2 数据处理及分析

根据该钢铁厂在 2009 年的运行数据进行处理和分析,7,8 月份盛夏时期日均产生的冷凝水量如表 1 所示(见下页).

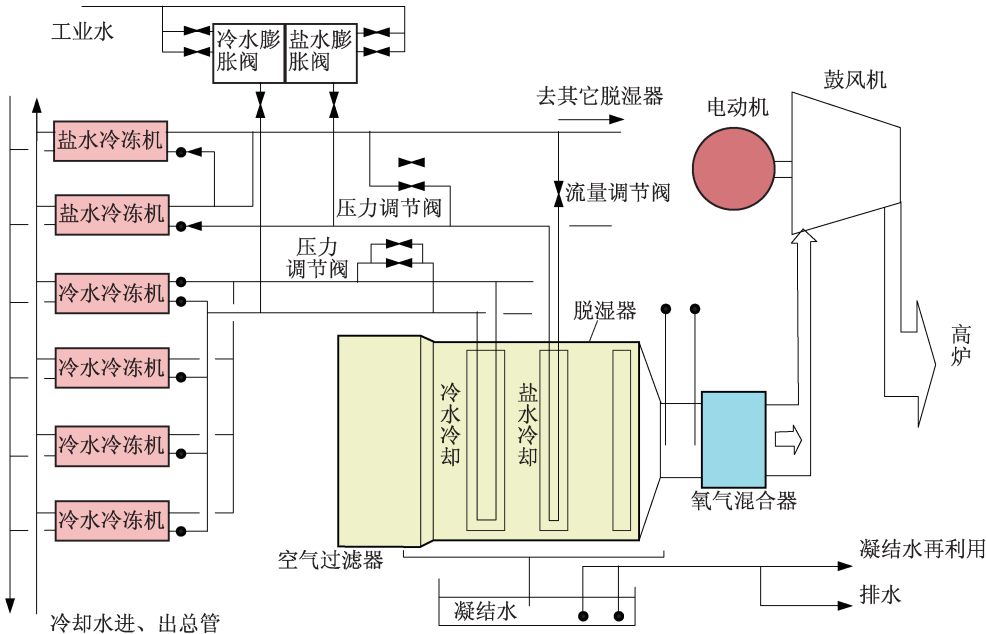


图 4 高炉鼓风脱湿系统流程图

Fig.4 Blast furnace blower dehumidifying system

表1 盛夏时期脱湿器日均冷凝水量
Tab.1 Daily condensed water of dehumidifiers in midsummer period

日均冷凝水量/(t·h ⁻¹)	脱湿器编号				
	1	2	3	4	5
7月	5.71	6.36	5.52	3.71	4.97
8月	5.17	6.28	6.09	5.32	5.21

由表1可知,该钢厂在2009年7,8月份脱湿器的冷凝水量基本保持在5 t/h以上.最高冷凝水量如2号脱湿器,达到了6.36 t/h.按照该钢厂的脱湿标准,脱湿器出口送风温度都为10℃,也即意味着从送风空气脱湿得来的冷凝水为10℃.该钢厂的高炉鼓风系统每日有4台脱湿器同时运作,则该钢厂在7,8月份平均每日每小时可产生22.56 t的10℃冷凝水.

2.3 冷能的有效利用

该钢厂7,8月份每日每小时产生10℃的冷凝水,对这些冷凝水进行回收利用形成整个系统的冷能有效利用,流程图如图5所示.高炉鼓风脱湿系统产生的大量冷凝水经过铜离子水处理后,可通入盐水冷冻机冷凝器,改善冷凝器的换热效果.在保持原有功耗的情况下,可增大制冷剂循环量,增加冷冻机的制冷量,具体数值如表2所示,

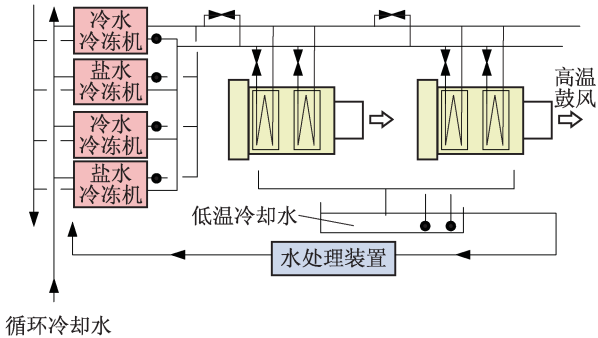


图5 制冷脱湿系统的冷能有效利用流程图
Fig.5 Cascade use of cooling energy in refrigerating system

由表2可知,冷凝水冷量的回收利用,有效降低了单台盐水冷冻机冷凝器侧冷却水进口温度1℃,改善了冷凝器的换热效果,提高制冷系统的制冷量352 kW;以整个高炉鼓风系统来看,一方面增强了高炉鼓风的脱湿效果,确保了高炉炼铁的正常工

另一方面降低了高炉鼓风的送风体积流量,从而增加了鼓风机的工作效率,降低了功耗.

表2 冷能有效利用对制冷系统的改善效果
Tab.2 Improvement of the effective use of cooling energy in refrigerating system

盐水冷冻机的参数	改进前系统状况	改进后系统状况
$t'_2/℃$	29.8	28.8
$t''_2/℃$	33.9	33.35
Q_c/kW	3 484.7	3 837
$q_{ml}/(kg·s^{-1})$	18.8	20.7
$ΔQ_L/kW$	/	352.15

3 结 论

高炉鼓风制冷脱湿系统中存在着大量的低温冷凝水,对冷凝水进行回收,实现整个制冷系统的冷能有效利用,不仅可以增加制冷系统的制冷量,还可以改善整个高炉鼓风系统的送风标准以及降低鼓风机的工作功耗.以某钢厂为例,22.56 t/h,10℃的冷凝水可降低单台盐水冷冻机冷却水1℃,改善冷凝器换热效果,提高制冷量352 kW.对于高炉鼓风系统来说,冷能有效利用节能潜力大,实施难度低,是高炉鼓风系统节能改进的良好选择.

参考文献:

[1] 张宜万. 宝钢的高炉鼓风脱湿[J]. 炼铁, 1984(1): 47-52.
[2] 王筱留. 高炉炼铁的脱湿鼓风[J]. 冶金动力, 2004, 101(1): 50-55.
[3] 陈道海, 顾厚淳. 鼓风脱湿与高炉稳定运行[J]. 冶金动力, 2008, 125(1): 59-61.
[4] 李建贞. 脱湿鼓风技术在3 650 m³/min风机上的应用[J]. 冶金动力, 2010, 139(3): 52-59.
[5] 陶中明. 梅山2号高炉脱湿鼓风技术的应用[J]. 炼铁, 2010, 29(2): 50-52.
[6] 沈维道, 蒋智敏, 童钧耕. 工程热力学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
[7] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
[8] 王骥. 高炉鼓风除湿设计实例分析[J]. 科技创新导报, 2010(10): 122-123.