

高炉脱湿鼓风技术及其在马钢的应用与发展

邓 航

(马钢设计研究院有限责任公司, 安徽马鞍山, 243000)

【摘要】介绍了脱湿鼓风的概念以及其在马钢的发展实施过程, 并通过马钢高炉脱湿鼓风的应用实例, 论述了马钢的脱湿鼓风工艺的特点及在节能、降耗、提高产量等方面产生的效益。

【关键词】高炉; 脱湿鼓风; 冷冻脱湿; 蒸汽制冷; 湿度节能

【中图分类号】TF066 **【文献标识码】**B **【文章编号】**1006-6764(2009)04-0062-05

Application of Blast Furnace Dewetting Blast Technology and Development

DENG Hang

(Masteel Design & Research Institute Co., Ltd., Maanshan, Anhui 243000, China)

【Abstract】Concept of dewetting blast and its application in Masteel were presented. Taking for applying example the blast furnace dewetting blast technology, characteristics of the technology and its benefits in energy saving, consumption reducing and output increasing were discussed.

【Key words】blast furnace; dewetting blast; refrigeration dewetting; steam refrigeration; humidity and energy saving

1 脱湿鼓风概述

脱湿鼓风系指预先将空气中的湿度降低到某一较低数值之后而送往高炉, 又称鼓风的除湿。

以前高炉的鼓风大都采用自然湿度鼓风, 其生产都普遍存在着一个现象, 即夏季产量较低, 焦比较高, 而冬季产量较高, 焦比较低。冬季被看作是高炉生产的黄金季节, 这主要是因为冬季气温较低, 空气湿度较小, 密度较大, 因而使鼓风的水分减少, 质量流量增加的缘故。

随鼓风带入高炉的水分在高炉风口回旋区发生分解反应而吸收热量, 导致风口前的燃烧温度下降, 增加焦比。根据文献报道, 含湿量增加 1 g/m^3 , 理论燃烧温度降低 $6.3 \text{ }^\circ\text{C}$ (新日铁经验值)、 $7.6 \text{ }^\circ\text{C}$ (首钢经验值)、焦比增加 1 kg/t , 相当于降低 $9 \text{ }^\circ\text{C}$ 风温。考虑到分解产生的 H_2 在炉内参加还原反应又放出相当于 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 风温的热量, 因此一般认为鼓风湿分变化 1 g/m^3 相当于影响风温 $6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在沿江地区, 冬季和夏季湿分相差约 30 g/m^3 左右, 年平均湿分变化 10 g/m^3 。此外, 一天当中大气湿分是波动的, 南方地区一天中空气湿度波动一般为 $3\sim 6 \text{ g/m}^3$, 湿度的变化对冶炼焦比影响十分明显, 对高炉稳定性的干扰更为直接, 更不可忽视。因此, 鼓风含湿量会导致高炉的炉况波动甚至失常, 对高炉生产有较大的影响。

在上世纪 70 年代能源危机以前焦炭价格低廉,

炼铁界采用加湿鼓风的方法来稳定鼓风湿分, 以多消耗焦炭为代价换取高炉增产, 这在当时条件下是可取的, 因此不少高炉采用加湿鼓风技术。

随着高炉对节能的日益重视以及喷煤技术的应用, 在能源危机的今天, 在强调“节能降耗”、“节能减排”、“节约型社会”的今天, 采用脱湿鼓风, 在低湿分前提下稳定鼓风湿分, 进而稳定高炉炉况, 降低焦比, 节省焦炭, 增加产量, 多喷煤粉, 实现高炉生产的“四季如冬”已经引起炼铁界的高度重视并得到迅速的发展。

2 高炉脱湿鼓风的意义。

2.1 稳定炉况

由于脱湿鼓风使进入高炉的湿度相对稳定, 能有效地降低高炉风口前火焰温度的波动, 稳定高炉炉况, 实现高炉生产的“四季如冬”。

2.2 降低焦比

脱湿鼓风能够减少高炉风口水分分解热而节约焦炭, 降低焦比。风中湿度每减少 1 g/m^3 , 焦比降低约 $0.6\sim 0.8 \text{ kg/t}$, 关于这一点已为炼铁界所公认。

2.3 提高入炉干风温度

脱湿鼓风可提高入炉的干风温度。风中湿度每减少 1 g/m^3 , 进入高炉的干风有效温度可提高 $6 \text{ }^\circ\text{C}$, 进而能够多喷煤粉。

3 马钢脱湿鼓风的发展历程

马钢对高炉脱湿鼓风技术一直非常重视。

早在2001年的马钢第一炼铁厂9#高炉大修改造工程时,有关设计人员就高炉鼓风脱湿进行了交流和研讨,并深入现场调研。2003年10月,马钢再次将实施高炉脱湿鼓风技术提到工作日程上,并组织相关职能部门及设计院开展了第一炼铁厂9#高炉风机增设脱湿装置的方案设计,由于受总图布置及相关公辅系统能力的限制,工程最终没有实施。

2006年3月,马钢2500 m³高炉鼓风制冷脱湿工程动工建设并于当年9月建成完工,经过1个月试运行后于次年5月~10月正式投运。2500 m³高炉鼓风机房设置3台鼓风机,分别向2座高炉供风,正常运行方式2运1备。此次工程仅对1座高炉进行脱湿鼓风,但考虑夏季时间较短,按最高点设计的冷水量大部分时间有富裕,因此对另1座高炉也配置了1台脱湿器,即春秋季节按照“一拖二”方式运行,分别对2座高炉进行脱湿,当空气湿度达到设计点时,调整为单座高炉脱湿。

2008年6月,马钢2500 m³高炉鼓风站新建3#脱湿鼓风装置工程动工兴建,8月建成投产。本工程是前次工程的二期工程,新建1台脱湿器、1套制冷装置及相应辅助设备。工程完成后与一期脱湿系统连成一体,最终在2500 m³鼓风站形成“二拖三”运行模式,满足2座高炉的脱湿鼓风需要。

2009年1月,马钢4000 m³高炉鼓风脱湿工程开始实施,现基本建成,拟于2009年夏季到来前投入试运行。该工程为4000 m³高炉脱湿鼓风的一期工程,新建1台脱湿器、1套制冷装置(由2台制冷机组组成)及相应配套辅助系统,并预留二期工程相应接口。待二期工程实施后最终形成“二拖三”的运行模式。

4 马钢脱湿鼓风的工艺技术特点

4.1 脱湿鼓风工艺的选择

高炉脱湿鼓风方法主要有3种,即吸附法、冷却法和联合法。

吸附法是以LiCl作吸附剂,与湿空气充分接触,

吸收空气中的水分,随后对吸附剂加热脱水再生,并已此循环连续使用。以固态LiCl作吸附剂时称干式吸附法,吸附剂为液态LiCl时称湿式吸附法。

由于吸附法使鼓风机吸入空气温度升高,从而使鼓风机功率增加,导致能耗加大。干式吸附装置管理复杂,湿式吸附有腐蚀鼓风机叶片的可能。

冷却法是将湿空气通过冷却器冷却,使其温度降至空气压力及所含湿量相对应的饱和温度下,将空气中的水分凝结而析出,又称冷冻脱湿法。冷却法又分为鼓风机出口侧冷却法和鼓风机吸入侧冷却法。鼓风机出口侧冷却法不需要冷冻机,但会导致冷风的热量损失及鼓风机出口压力的损失。

鼓风机吸入侧冷却法在鼓风机吸风管道上设置脱湿器,易安装,调节性能好,无需吸附剂,不消耗热量,技术成熟,尤以节能与增加鼓风机的风量为其主要特点。

联合法顾名思义是将冷却和吸附结合起来,可使空气湿度脱得较低,但是运行和维护复杂,也需多耗能。

马钢依据企业自身的结构特点和生产现状,本着节能降耗,减排降噪,合理利用能源等原则,确定了鼓风机吸入侧冷却的高炉脱湿鼓风工艺,脱湿装置采用双效蒸汽型溴化锂吸收式制冷方式制造低温冷却水。

4.2 马钢4000 m³高炉的脱湿鼓风工艺技术

4.2.1 脱湿鼓风工艺参数

马钢4000 m³高炉风机为AV100-18,最大风量8800 m³/min,根据风机年平均风量以及风机投产后的运行状况并考虑适当的余量,确定脱湿鼓风风量为7100 m³/min;以脱湿期脱湿后含湿量8.7 g/m³,温度降低到8℃为设计点;并通过理论计算,满足单座高炉脱湿鼓风需要的最大制冷量约为800万kcal/h,考虑将来“二拖三”运行模式,配置单台制冷量为400万kcal/h的双效蒸汽型溴化锂吸收式制冷机组2台,以便运行调整。马钢4000 m³高炉脱湿鼓风装置设计主要参数确定如表1所示。

表1 脱湿鼓风装置主要参数

工况	空气量/ (m ³ /min)	入口			出口		需要冷量/ (10 ⁴ kcal/h)	脱出湿分/ (kg/h)
		温度/℃	相对湿度/%	含湿量/(g/m ³)	温度/℃	含湿量/(g/m ³)		
夏季平均最高(设计条件)	7100	30.7	80	29.4	10.0	10.0	800	8284
脱湿期平均(春、夏、秋)	7100	22.0	80	17.4	8.0	7.6	472	4164

4.3.2 脱湿鼓风工艺流程

鼓风机吸入侧冷却脱湿装置采用双效蒸汽型溴化锂吸收式制冷方式制造低温冷却水,低温冷却水通过布置在鼓风机入口管道中的高效换热器冷却空气,使空气中的水蒸汽冷凝成水而析出,以达到空气脱湿的目的。其核心设备是蒸汽式双效溴化锂吸收式制冷机组和高效节能型换热器。

(1)气路系统流程

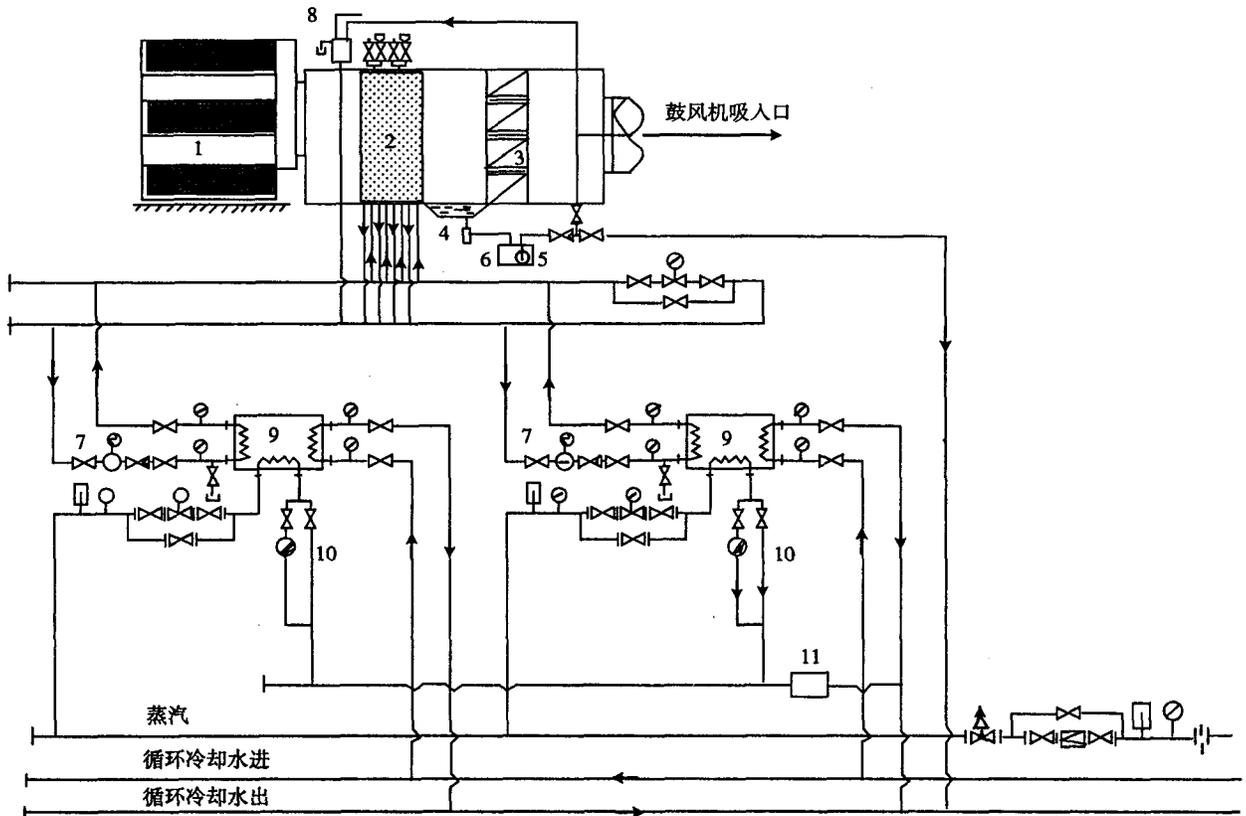
外界大气进入空气过滤器,除去灰尘,进入脱湿器,高温高湿空气,在脱湿器内(冷却器)进行热交换,降温脱湿后进入鼓风机,经鼓风机升压后送往高炉。

(2)冷水系统流程

从冷水冷冻机出来的冷水(7℃)经冷水泵,进入脱湿器的冷却器与进入脱湿器的空气进行热交换,大气被低温的冷水夺去热量。降温脱去部分水份,而冷水由于夺取空气中的热量使温度升高(如12℃),升温后冷水由冷水泵抽走送到冷冻机内,经制冷之后送出低温(7℃)冷水,循环使用。

(3)冷却水系统流程

冷却水由外部集中循环冷却水系统送至2台冷冻机内(冷凝器),在冷凝器内进行热交换后升温再回到外部集中循环冷却水系统,循环使用。马钢4000m³高炉脱湿鼓风装置概略流程如图1。



1-空气过滤器;2-高效换热器;3-除雾器;4-自动排水器;5-排水泵;6-排水箱;7-冷水泵;
8-膨胀水箱;9-溴化锂制冷机组;10-疏水系统;11-冷凝水回收装置

图1 脱湿鼓风流程图

5 马钢脱湿鼓风的效益与优点

5.1 节能降耗

马钢脱湿鼓风节能降耗的特点主要体现在2个方面。

5.1.1 采用鼓风机吸入侧冷却脱湿的节能

关于这一点,分析一下影响鼓风机功率的因素就可以得到说明。鼓风机内功率为:

$$N_i = \frac{G}{102\eta_{\text{lad}}} \cdot \frac{K}{K-1} \cdot RT_1 \cdot \left(\varepsilon \frac{K-1}{K} - 1 \right)$$

其中:G-重量流量, $G=Q \div 60 \times 1.293 \times (1+X)$, kg/s

Q-鼓风量, m³/min

X-绝对湿度, kg/kg

R-气体常数, $R=47.06 (0.622+X) / (1+X)$, kg·m/kg·K

T₁-吸入空气的绝对温度, K

η_{int} - 鼓风机内绝热效率, %

K - 比热比, $K=C_p/(C_p-R/427)$

C_p - 定压比热, $C_p= (0.24+0.46X)/(1+X)$,
kcal/kg·K

ε - 鼓风机压缩比, $\varepsilon = p_2/p_1$

无论何种制冷形式的冷冻脱湿装置, 脱湿装置本身是需要耗能的, 但是经过冷冻脱湿后, 鼓风机

会因其吸入的空气温度、湿度的下降而省能。一般来说, 脱湿装置的耗能与鼓风机的省能相当, 可以相互抵消, 有时甚至还略有节余。因此, 鼓风机吸入侧冷冻脱湿不需要多耗能, 运行经济性好。以马钢4000 m³高炉脱湿鼓风装置的设计数可直接地说明这一点, 见表2。

表2 脱湿装置耗电与鼓风机省电比较

项目	工况	风量 / (m ³ /min)	风压 / MPa	吸入空气温度 / °C	吸入空气湿度 (g/m ³)	鼓风机功率 / kW	脱湿后鼓风机省功 / kW	脱湿装置耗电 / kW	差额 / kW
设计点	不脱湿	7100	4.2	30.7	29.4	35761			
	脱湿	7100	4.2	10	10	32858	2903	1922	981
脱湿期平	不脱湿	7100	4.2	22	17.4	34257			
	脱湿	7100	4.2	6	7.6	32168	2089	960	1129

冷冻脱湿装置的耗能与大气条件、脱湿程度有关。在吸入空气温度、湿度相同的情况下, 鼓风机省能与其出风压力有关, 出风压力越高, 省能越多, 越能抵消脱湿装置所耗能量, 以至富裕; 反之, 出风压力越低, 省能越少。大型风机压缩比较高, 脱湿后鼓风机省能相对也较多。

5.1.2 采用双效蒸汽型溴化锂吸收式制冷方式的节能

目前, 国内多数企业如宝钢等多采用电制冷冷却式脱湿工艺, 即使用压缩冷凝机组, 采用HFC-134a型制冷剂直接蒸发冷却方式对鼓风机吸入侧空气进行冷却脱湿。而马钢的脱湿装置采用的是蒸汽制冷, 其本身的耗能远远低于同等条件下的离心式制冷脱湿装置的耗能, 电能消耗可减少近80%~90%, 省能效果更加可观, 节约了国家目前较为紧张的电力资源, 同时也大大降低了运行成本和风机的单耗。以马钢4000 m³高炉脱湿鼓风装置为例, 在夏季制冷量相同的情况下, 采用蒸汽制冷, 装置耗电为280 kW; 采用电制冷, 装置耗电为1922 kW。蒸汽制冷装置的耗电为电制冷装置耗电的15%, 而蒸汽制冷装置仅比电制冷装置多增加了19%的水耗和约12 t/h的汽耗。

5.2 合理利用能源, 减排降噪

采用低压余热蒸汽为汽源的双效吸收式制冷技术承担100%的制冷负荷, 在国内是首次使用, 其他企业最多承担75%的制冷负荷。完全采用余热蒸汽为能源的制冷脱湿技术, 在国内处于领先水平。

马钢采用双效蒸汽吸收式脱湿鼓风, 其一, 充分利用了企业富裕的蒸汽热能, 降低了企业的工序能耗, 同时减少了企业的季节性蒸汽放散, 以及由

于蒸汽的放散所带来的噪音污染, 净化了环境; 其二, 由于蒸汽制冷装置对所需的蒸汽品质、压力要求不高, 可以使用企业富裕的低品位余热蒸汽热能, 为有效利用蒸汽资源开辟了新途径, 真正做到能源的阶梯利用。其三, 利用了蒸汽供需平衡的季节性波动与大气湿度季节性变化相反的规律(即在冬季蒸汽使用高峰期时, 高炉鼓风处于非脱湿期, 而在夏天蒸汽使用淡季时, 高炉鼓风正处于脱湿高峰期), 间接地调节了蒸汽季节性供需平衡峰值, 同时又保证了高炉生产的“四季如冬”。

5.3 独特的系统配置, 调节灵活

根据每年脱湿期中夏季与春、秋季大气温度和湿度变化的规律, 马钢脱湿鼓风工艺采用“二拖三”的运行模式, 即2套制冷装置对应3套脱湿装置, 每套制冷装置由2台制冷机组组成, 单台制冷机组的制冷量为单套制冷装置总制冷量的50%。

以马钢2500 m³高炉脱湿鼓风为例。在夏季, 空气相对湿度较大时, 可由单套制冷装置供单座高炉鼓风脱湿需要, 最大限度发挥脱湿装置的效率; 而在春、秋季节, 空气相对湿度较低, 可由单套制冷装置的两台制冷机组分别供两座高炉鼓风脱湿的需要。这样, 可以最大限度发挥制冷机组的效率、提高脱湿装置的使用率, 为两座高炉经济稳定运行创造条件, 可谓“一举两得”。单套制冷装置由两台机组并列组成, 冷冻水管道采用联络管制, 中间设置隔离阀。这样可以在1台制冷机组出现故障时, 通过阀门调整改变系统运行方式, 既便于设备检修, 也提高了系统整体利用率, 避免了单台大功率制冷机组因故障停运而造成系统整体失效的问题。马钢4000 m³高炉脱湿鼓风工艺 (下转第68页)

4 热管换热器的应用效果与经济效益分析

4.1 热管换热器的应用效果

邯钢1#炉加装的整体式热管换热器投入运行后,经过一段时间的观察,取得了良好的效果。锅炉的排烟温度有了较大程度的降低,同时进入炉膛高炉煤气的温度升高,从而强化了低热值的高炉煤气的燃烧,提高了炉膛温度,炉膛内辐射换热加强,使

得锅炉出力增加。由于锅炉的烟气余热得到了回收利用,与改造前相比在同等负荷下(50 t/h)高炉煤气的用量减少5000 m³/h,锅炉的热效率得到了较大提高。同时又由于去掉了麻石水膜除尘器,每小时可节约河水50 t。

锅炉改造前后主要运行参数对比如表2所示。

表2 锅炉改造前后主要运行参数对比

	过热蒸汽压力 /MPa	过热蒸汽温度 /℃	最大蒸发量 /(t/h)	炉膛温度 /℃	排烟温度 /℃	入炉煤气温度 /℃
改造前	3.82	440 ± 5	50	750	260	30
改造后	3.82	440 ± 5	60	910	175	220

4.2 热管换热器应用后的经济效益分析

邯钢1#炉加装的整体式热管换热器投用后,每小时可节约高炉煤气5000 m³/h,全年共可节约大约39600 km³高炉煤气;同时去掉了麻石水膜除尘器,每小时可节约河水50 t。按邯钢内部价格计算,全年共可降低动能消耗费用380万元,加装热管换热器总投资为150万元,因此只要五个月即可收回全部投资。

5 结论

目前,热管换热器由于它独有的特点,在各行各业的余热回收和综合热能利用中得到越来越广泛

的应用。对于由燃煤改为全烧低热值的高炉煤气锅炉,在受热面不做任何改动的情况下,排烟温度升高和出力降低是两个比较普遍的问题。热管换热器在邯钢高炉煤气锅炉上的成功应用以及所取得的良好效果,为这两个问题提供了一种比较有效的解决方法。

[参考文献]

[1]丁明航.锅炉技术问答[M].北京:中国电力出版社,2001.

收稿日期:2009-02-12

作者简介:吕金奎(1979-),男,大学本科,工程师,现从事锅炉设备管理工作。

(上接第65页) 最终也将形成“二拖三”的运行模式。

5.4 冷凝水回收,综合利用

马钢脱湿鼓风工艺冷凝水有2种,一种是空气冷凝水,另一种是蒸汽凝结水。无论哪种冷凝水,水量都比较可观,水质都非常好,必须回收并进行综合利用,如空气冷凝水可作为办公楼中央空调的冷媒;蒸汽凝结水可作为中央空调热媒、锅炉软水及浴室补水等。目前,马钢脱湿鼓风工艺所产生的冷凝水均进入循环冷却水的回水系统。

6 结束语

从实际运行效果来看,马钢采用脱湿鼓风技术后,不论对高炉生产,还是对鼓风机运行以及蒸汽资源利用等方面都产生了积极的影响,发挥了重要作用。

(1)高炉冷风的含湿量得到了明显的降低,较大程度提高了冷风品质,高炉炉况运行控制明显提

升,高炉生产接近“四季如冬”、“白昼如夜”。

(2)“二拖三”的双效蒸汽吸收式高炉脱湿鼓风工艺运行模式系统配置合理,运行、调节灵活,为脱湿鼓风技术的发展提供了新思路。

(3)脱湿装置耗能为鼓风机省能所补偿并有富裕,降低了风机单耗和运行成本,使“负能脱湿”成为可能,为企业“节能降耗”提供了新手段。

(4)利用了夏季富裕的低品位蒸汽资源,便于蒸汽平衡,季节性调峰作用明显,为“节能减排”提供了新途径。

(5)脱湿鼓风系统产生的冷凝水必须加以回收和综合利用,如何更好和有效的利用冷凝水将成为今后进一步完善脱湿鼓风工艺系统的新问题。

收稿日期:2009-05-20

作者简介:邓航(1970-),男,大学本科,工程师,现从事热能动力设计及应用工作。