CCPP机组煤气冷却系统的节能改进与探索

韦素云[1],李玉静[2]

(1. 包头钢铁职业技术学院机械系,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司动供总厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对包钢M701S型燃气蒸汽联合循环发电机组运行中出现的燃烧介质受温度影响而产生的机组耗能大等情况,对煤气冷却系统的控制方式和调节方式进行了详细分析,提出改进方案并加以实施。改进后的系统实现了机组运行过程中燃烧介质的优化,最终达到机组在最稳定,最经济安全的工况下运行。

关键词: CCPP; 煤气冷却系统; 节能改进
中图分类号: TQ545 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)01-0025-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.01.008

Improvement and Exploration on Energy Saving of Gas Cooling System in Combined Cycle Power Plant

WEI Su-yun[1], *LI Yu-jing*[2]

(1. *School of Mechanics, Baotou Iron and Steel Vocational Technical College, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Dynamic Supply Plant of Inner Mongolia Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: In this paper, the control mode and regulation mode of gas cooling system are analyzed in detail, the improvement scheme is put forward and implemented in view of the large energy consumption of the unit caused by the temperature influence of the combustion medium in the operation of M701S gas-steam combined cycle power plant in Baotou Steel. The improved system realized the optimization of the combustion medium during the operation of the unit and finally made the unit running in the most stable and economical conditions.

Key words: combined cycle power plant (CCPP); gas cooling system; energy saving improvement

为充分利用富余的高炉和焦炉煤气资源,减少对周边环境的污染,提高用电自给率,减轻对外部电网的依赖,自2007年度包头钢铁(集团)公司先后引进四套采用日本三菱重工株式会社先进技术和设备的M701S型燃气-蒸汽联合循环发电机组。到目前为止,所有机组均已经并网发电,运行安全可靠,最大限度地实现了资源的综合利用,提高了企业的经济效益,在包钢节能减排、发展循环经济方面发挥了重要的作用。

1 主要的工艺流程

燃气-蒸汽联合循环发电机组由燃料供应系统、燃气轮机、发电机、余热锅炉和蒸汽轮机等几大主要部分组成[1]。机组所使用的燃料是焦炉煤气(COG)和高炉煤气(BFG)的混和气体,进入燃气轮机与通过净化及加压的空气燃烧产生高温烟气,推动燃气轮机做功。燃气轮机的排气进入余热锅炉加热给水,产生蒸汽送入汽轮机做功,从而达到联合循

收稿日期: 2016-12-06
作者简介: 韦素云(1972-),女,布依族,贵州省独山县人,工程硕士,高级工程师,现从事教学管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

环的目的[2]。包钢现有的4套M701S型燃气－蒸汽联合循环发电机组均属于单轴联合循环系统。

在机组运行的过程中，燃料是整个机组的核心介质。根据包钢公司自身的煤气生产和负荷平衡，将富余的低热值高炉煤气(BFG)掺入少量的高热值焦炉煤气(COG)，经煤气混合器充分混合后送入煤气电除尘器进行精除尘，经煤气压缩机压缩后送入联合循环发电机组使用。机组运行所需的混合煤气流量是由机组当时的负荷、煤气压缩机出口的煤气温度、压力以及生产运行时的外部条件的要求和限制决定的。多余的混合煤气通过煤气冷却系统进行减温减压后，又送回到煤气电除尘器，进行循环再利用[3]。工艺流程如图1所示。

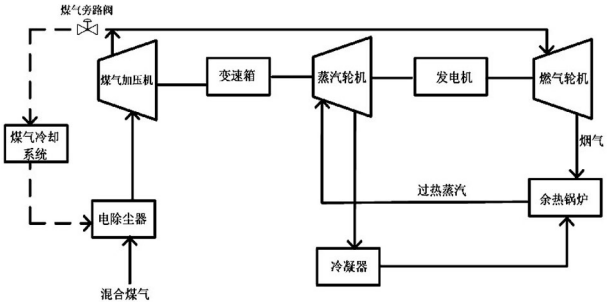


图1 系统工艺流程

煤气冷却系统在机组燃料供应系统中发挥着重要作用。机组运行时，焦炉煤气的供应压力为4～8 kPa，高炉煤气压力约为5 kPa，焦炉煤气经焦炉煤气压缩机加压后，通过流量调节阀送入煤气混合器，然后与高炉煤气进行充分混合，之后进入煤气压缩机，经煤气压缩机压缩后煤气的温度可以达到410 ℃，压力可达1.16 MPa，进入燃机燃烧做功。当机组在运行过程中出现减负荷、紧急甩负荷以及停机时，煤气冷却旁通阀打开，经过加温加压后的混合煤气必须经旁路进入到煤气冷却系统。煤气冷却系统结构如图2所示。

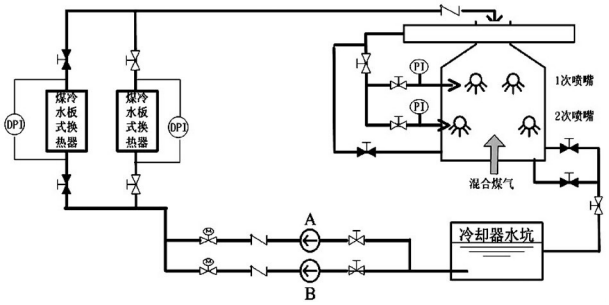


图2 煤气冷却系统结构简图

按技术要求，机组运行时，煤气冷却系统的工作过程如下：

(1)机组运行前，确认煤气冷却水补给阀处于【自动】状态、煤冷水板式换热器入口截止阀必须确认处于全开状态、确认煤冷水板式换热器排污阀连同煤气冷却器水封阀处于全开状态，煤气冷却水泵A、B泵全部启动，启泵之后、泵出口阀会自动地打开到全开的角度；

(2)确认煤气冷却水喷嘴入口压力达到要求(PI为0.22 MPa)、煤冷水板式换热器出口和入口的差压(DPI)保持在110kPa以下，进入启机。在启机过程中，混合煤气进入煤气加压机加压后，在机组未达到点火状态前，会在煤气冷却系统中循环直到点火条件满足；

(3)当机组停机时，煤气冷却水旁通门打开(通常状态为关闭)，煤气冷却水喷嘴停止喷淋，在下次启动前恢复。

2 问题的提出

在机组正常运行时，两台煤气冷却水泵同时运行，冷却水的流量可以达到400 m^3/h，为煤气冷却器提供充足的减温水。但在机组实际运行中，会出现以下情况：

(1)由于包钢地处我国北部，纬度是北纬40°51′58″，冬天外部气温较低，因此外网送来的煤气温度较低，混合后煤气又通过EP电除尘器除尘降温而导致煤气压缩机入口温度过低。从而造成冬季机组启机时，由于介质温度低出现启机困难。而提高煤气压缩机入口煤气温度的手段只有提高煤气压缩机回流煤气的温度，让煤气不断在煤气冷却系统中循环，使煤气温度缓慢上升，而两台煤气冷却水泵同时运行时冷却水的流量可以达到400 m^3/h，阻碍了煤气温度快速上升，使得机组启动时间变长，增加了启机成本。这样，就对煤气冷却系统中冷却水的温度和流量也提出了要求。

(2)冬季机组运行时，由于外界温度低，使得机组使用的各种介质不易达到机组运行要求，因此机组容易出现甩负荷。而为了保持机组稳定运行，我们不得不通过降低机组负荷，增大煤气回流量来提高煤气压缩机入口煤气温度，但这样势必会影响机组发电量。而回流煤气的温度与煤气冷却系统中的冷却水量相关。

(3)按技术要求，两台煤气冷却水泵同时运行，

中国知网 https://www.cnki.net

造成没有备用泵，当遇到泵体出现缺陷时，只能等到停机时处理，甚至还会出现因任意一台煤气冷却水泵故障，而导致机组跳闸的情况发生，造成严重损失（按逻辑条件，当煤冷水主管压力低于 0.19 MPa 机组会自动跳闸）。

综上所述，按照原系统设计运行机组，由于客观条件的约束和限制（环境以及地理位置等），会使机组的运行成本升高，耗能多（包括电能及燃料介质用量），从而使效率降低，节能效果降低。

3　解决方案及实施

根据对冷却水泵的规格计算结果，提出煤气冷却水泵可以在煤气温度允许范围内，进行单泵运行，减少机组运行时煤气冷却系统中的冷却水量，同时对机组控制程序进行合理改进。

3.1　自动控制系统程序的改进

在机组正常运行时，两台煤气冷却水泵同时运行，通过调节两台煤气冷却水泵的出口电动阀门的开度使冷却水的流量维持在 400 m^3/h，煤气冷却水喷嘴入口压力达到 0.22 MPa 左右，这样可以使回流煤气在进入煤气压缩机之前的温度保持低于 50 ℃（煤气压缩机入口温度达到或高于达到 50 ℃时会甩负荷，煤压机效率低，负荷受限，达到或高于 70 ℃，会引起机组跳机事件的发生），当发生两台煤气冷却水泵中的任意一台故障停止或出力不足，就会使煤气冷却器冷却水主管压力低，当压力低于 0.19 MPa时触发机组自动跳机。据此，对机组控制程序中的机组跳闸程序以及跳机的硬件联锁部分进行了改进，使其尽可能地远离报警点及跳机点。同时，在原有的控制程序中添加两台煤气冷却水泵的在线切换连锁程序，使煤气冷却器冷却水泵在运行中实现单泵运行。经过两年多的生产实践证明，修改后的系统控制过程比较稳定，没有出现任何异常情况，单泵运行完全能够满足生产需要，并为新机组在控制程序上实现在线自动切换提供了可行性。

3.2　生产运行方式改进

如果单泵流量可以达到 400 m^3，就全年都可以单泵运行，但是 1#、2#燃机在冷却水流量大后，单泵运行出现超电流，所以冬季是靠调节供水流量和板式换热器循环水侧实现煤气回流温度调节，夏季气温高时则必须开两台泵来满足煤气冷却需要。在单泵运行时可实现两泵一备一用切换。切换时，首先确认煤气冷却器冷却水压力低跳机软/硬联锁解除；将机组负荷升至 100 MW 以上，使回流煤气量减少，保证在 1 台煤气冷却水泵供应情况下，煤冷器出口煤气温度不会大幅升高；将两台煤气冷却水泵的出口电动阀门投入自动状态；将煤气冷却水泵 A 出口阀门手动全开，再将煤冷泵 B 出口阀门手动全开，在此过程中，监视煤气冷却水泵 A 电流情况，要防止出现电流过高，此时注意煤气冷却器供水流量及煤气冷却器出口温度，及时调整，以防出现煤气冷却器出口温度过高。如果一切正常，使煤气冷却器供水流量要保持在 400 m^3/h 左右，调整煤气冷却器冷却水喷嘴手动阀，使喷嘴供水压力高于 0.24 MPa，这时就可以通过人机界面选择工作泵和备用泵，从而实现两泵自由切换。

切换时间在 12 s 之内，全部操作完成。经过调试实验，机组的安全稳定运行未受到任何影响，煤气冷却水泵顺利实现在线切换。

另外，在机组运行过程中出现跳机或停机事件后，经过煤气冷却器的煤气回流温度高于 70 ℃时，此时机组可实现自动启动煤气冷却水泵备用泵，此时两泵同时运行，使冷却水流量在 400 m^3/h 以上，保证煤气回流温度维持在正常范围。

通过两年来对 1#、2#两台机组进行试验，和最新的 3#、4#机组调试过程中的实验表明，在夏季气温较高时（2 个月的时间），外网送来的煤气温度较高，至使煤气回流、煤气冷却器出口温度随之偏高，使机组负荷经济性下降，这时可以启动两台冷却水泵同时运行；其余 10 个月均可单泵运行。这样即节约了机组耗用电量；又降低了运行成本、备件成本。

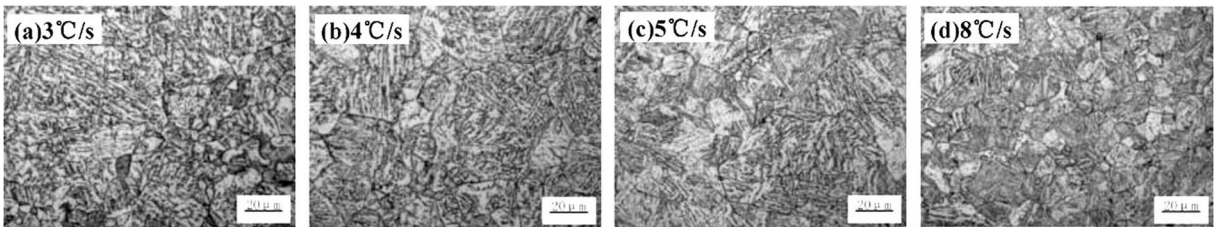
4　改进后的系统先进性

经过对 1#、2#机组两年多的改进运行情况进行分析总结以及在 3#、4#新机组中的应用情况及技术数据表明，此种工作方式完全满足机组的运行工况要求，并具有一定的先进性。

（1）改进前：两台水泵必须同时运行，无法进行在线切换，厂用电消耗大；同时，由于没有备用水泵，无法进行单泵检修工作，只有停机后处理。

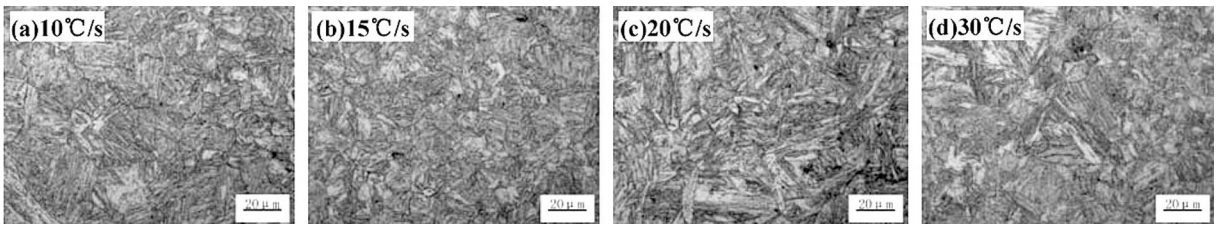
（2）改进后：经过修改控制程序后，可实现单台冷却水泵自动连锁运行，机组运行正常稳定，节约厂用电，降低运行成本，大大提高了机组的经济效益及运行可靠性；而且改进为单泵运行后，两台水泵一用一备，并可随时进行在线切换，进行故障泵日常维护及检修，减少备件消耗，（下转第 43 页）

中国知网　https://www.cnki.net



(a)　(b)　(c)　(d)

图 3　中冷速下含硼 Q690D 钢的贝氏体类组织



(a)　(b)　(c)　(d)

图 4　高冷速下含硼 Q690D 钢的马氏体类组织

3　结论

(1) 硼的加入，使 Q690D 钢的 Ac_3 和 Ac_1 略有提高，使 Ms 点及 Bs 点有所降低。

(2) 硼的加入，使 Q690D 钢的临界冷速降低，淬透性明显提高。

(3) Q690D 钢中硼元素的加入，对先共析铁素体转变及贝氏体转变均有不同程度的推迟作用，抑制了先共析铁素体的析出，在很宽的冷速范围可以得到完全的贝氏体组织。

参　考　文　献

[1] 刘仲礼，李言祥，陈祥，等. 硼、碳含量对高硼铁基合金组织和性能的影响 [J]. 钢铁，2007，46(2)：78－82.

[2] YB /T 5128—1993，钢的连续冷却转变曲线图的测量方法(膨胀法) [S].

[3] 袁辉，李永东，陈伟庆. 低碳含硼钢的开发历史及发展现状 [J]. 首钢科技，2005，6(2)：21－24.

[4] 刘金泉，田世永，夏佃秀. 70 kg 级低碳贝氏体钢相变规律研究 [J]. 山东冶金，2011，33(6)：33－35.

(上接第 27 页)

减少设备事故率，并且能够规范冷却水泵的操作方法，实现操作方法标准化，提升设备管理工作。

5　结束语

经核算 2 台机组每年可为包钢公司节约 90 余万元用电费用，具有应用推广价值。1#、2#机组在 2011 年、2012 年分别进行技术改进及试验，煤气冷却水泵单泵运行能够保证机组正常运行；而 3#、4#机组于 2014 年 11 月至 2015 年 9 月份至今在使用中。对于国内所使用的三菱机组，煤气冷却系统中均使用两台煤气冷却水泵同时运行的生产方式，包头钢铁集团公司的四套机组是国内首家进行技术改进的机组，改进后进组的运行稳定，能耗降低，此应用适合在其他机组中推广使用。

参　考　文　献

[1] 杨顺虎. 燃气－蒸汽联合循环发电设备及运行 [M]. 北京：中国电力出版社. 2003.

[2] 焦树建. 燃气－蒸汽联合循环 [M]. 北京：机械工业出版社. 2000.

[3] 吴玉进. 大型联合循环发电机组安装调试关键技术与应用研究 [D]. 南京：东南大学，2006.

中国知网　https://www.cnki.net