

# 玻璃窑炉余热发电系统节能整改分析

刘 旭<sup>1</sup> 高永峰<sup>2</sup> 郭 婕<sup>3</sup>

(1. 中钢设备有限公司, 北京 100080; 2. 河南安彩高科股份有限公司, 河南 安阳 455000;  
3. 北京科技大学, 北京 100083)

**[摘 要]** 通过分析影响玻璃窑炉余热回收系统存在的问题可知, 高温烟气的量、烟气的温度、脱硝设施、蒸汽管线长度、余热锅炉的蒸汽产量、外供蒸汽消耗等都是影响余热发电机组发电量的因素。根据分析结果制定了针对性的节能整改措施, 如对窑炉的砖烟道、钢烟道进行保温, 提高烟气的温度; 通过对脱硝除尘系统进行保温、封堵漏风点、减少喷氨量, 降低脱硝除尘系统的温降; 更换余热锅炉的炉管, 封堵漏风之处; 减少外供蒸汽消耗量等。节能措施实施后, 发电量大幅度提升, 发电量由原来的 2.5 MW/h 提高至 3.2 MW/h, 日发电量超过 75 MW, 系统检修成本也降低。

**[关键词]** 玻璃窑炉; 余热发电; 高温烟气; 发电量; 蒸汽消耗

**[中图分类号]** X75      **[文献标志码]** B      **[文章编号]** 1008-5122(2021)03-0044-03

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.03.011

## Energy Saving Rectification Analysis of Glass Furnace Waste-heat Power-generation System

LIU Xu, GAO Yong-feng, GUO Jie

**Abstract:** By analyzing of the problems affecting the waste heat recovery system of glass furnace, it can be seen that the amount of high-temperature flue gas, flue gas temperature, denitration facilities, steam pipeline length, steam output of waste heat boiler, and external steam consumption were all factors affecting the power generation of waste heat generating units. According to the analysis results, targeted energy-saving rectification measures were made, such as increasing the temperature of flue gas by holding the brick flue and steel flue of the furnace, reducing the temperature drop of denitration and dust removal system by heat preservation, sealing air leakage point and reducing ammonia injection, replacing tube of waste heat boiler and sealing air leakage, reducing external steam consumption, etc. After the implementation of the energy saving measures, the power generation was greatly improved, the power generation was increased from 2.5 MW/h to 3.2 MW/h, the daily power generation was more than 75 MW, and the system maintenance cost was also reduced.

**Key words:** glass furnace; waste heat generation; high temperature flue gas; power generation capacity; steam consumption

**[收稿日期]** 2020-12-22

**[作者简介]** 刘旭(1984—), 男, 河南项城人, 硕士, 工程师, 主要从事低碳冶金与能源工程项目总承包管理工作。

**[通讯作者]** 郭婕(1984—), 女, 北京西城人, 硕士, 工程师, 主要从事信息管理与信息系统相关方面的工作。

**[引用格式]** 刘旭, 高永峰, 郭婕. 玻璃窑炉余热发电系统节能整改分析[J]. 有色冶金节能, 2021, 37(3): 44-46.

## 0 前言

随着余热回收技术的进步, 利用玻璃窑炉烟气余热发电的技术也在不断发展。2007年9月, 国内第一条玻璃窑炉烟气余热发电项目成功并网发电<sup>[1]</sup>。近年来, 由于国家环保政策日趋严格, 对玻璃窑炉排出的烟气治理逐渐提上日程, 一大批玻璃

窑炉烟气治理项目纷纷上马<sup>[2]</sup>。某公司总承包的某余热发电项目,自2015年2月投产试运行,平均小时发电负荷仅为2.5 MW,而汽轮机额定负荷为6 MW,发电负荷偏低。为此,通过梳理和研究项目中具有节能潜力的环节,并制定了相应的节能整改措施,效果较好。

本研究以玻璃窑炉余热发电系统为研究对象,通过分析影响系统发电量的因素,制定节能整改措施,并在生产实践中检验改造效果,为以后类似项目的建设提供借鉴。

## 1 影响余热发电系统发电量的因素

### 1.1 玻璃窑炉的烟气工况

玻璃窑炉具有生产连续、能耗高的特点,其产生的高温烟气量和烟气温度对余热发电系统的发电量和稳定性具有重要影响<sup>[3]</sup>。因此,分析余热发电系统发电量不足的问题首先从玻璃窑炉高温烟气量和烟气温度着手。

#### 1.1.1 烟气量

为了研究烟气量的影响,对某公司的3个玻璃窑炉送入锅炉的高温烟气量进行了3次检测,烟气检测结果见表1。从检测结果来看,烟气量较设计值低22%左右,烟气量偏少直接导致发电量偏低。

表1 玻璃窑炉烟气实测数值表

烟气参数	1#窑炉	2#窑炉	3#窑炉	合计
第1次烟气实测量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	48 750	62 560	78 750	190 060
第2次烟气实测量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	53 240	72 850	76 100	202 190
第3次烟气实测量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	54 306	85 700	74 500	214 506
三次实测平均值/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	52 098	73 703	76 450	202 252
烟气设计值/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	59 000	90 000	108 000	257 000
实测值较设计值偏小/%	12	18	29	21

#### 1.1.2 烟气温度

现场实测烟气温度为440~460℃,比设计温度480℃低20~40℃(4%~8%)。由于此烟气温度属于高温,热焓较高,提升烟气温度有利于锅炉产汽量增加,进而提高发电量。经排查发现,烟气温度低,与玻璃窑炉的砖烟道未进行保温有关。

### 1.2 脱硝除尘系统

脱硝除尘系统的温降按照20℃设计。1#玻璃窑炉脱硝系统的温降为60~80℃,2#、3#窑炉脱硝系统温降为30~40℃。这部分温降的损失直接影响余热锅炉的产汽量,最终导致余热发电系统发电

量偏小。

脱硝除尘温降损失较大,与脱硝除尘系统的保温效果、系统是否漏风、喷氨量有直接关系。

### 1.3 主蒸汽管道

3座玻璃窑炉的位置分散,导致3台余热锅炉的主蒸汽管道线路较长,最长的主蒸汽管道约为800 m。由于蒸汽输送距离较长,蒸汽的压力、温度均有不同程度的损失。

### 1.4 余热锅炉运行情况

余热锅炉设计工况和实际运行情况见表2。

表2 余热锅炉设计工况和实际运行情况统计

余热锅炉	1#锅炉		2#锅炉		3#锅炉	
	设计	实际	设计	实际	设计	实际
锅炉蒸汽量/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	8.0	5.1	12.0	6.5	14.0	7.2
蒸汽温度/℃	420	425	420	396	420	436
蒸汽压力/MPa	2.40	1.97	2.40	1.92	2.40	1.94

由表1可以看出,在实际运行中,3台余热锅炉的蒸汽量偏低,蒸汽压力同设计工况相比也有明显降低。

### 1.5 外供蒸汽

#### 1.5.1 生活用汽

为了满足厂区职工洗澡的需求,低压蒸汽管道内需要24小时达到0.1 MPa以上的蒸汽压力,耗汽量极大,每小时耗蒸汽量约5 t。

#### 1.5.2 均化库

进入冬季,厂区3个配料车间的均化库使用蒸汽供暖,耗汽量极大,每小时耗气量约6 t。

#### 1.5.3 其他工序、设备耗汽

厂区玻璃产品的清洗干燥也消耗一定数量的蒸汽;此外,厂区有4台溴化锂制冷机,夏季每小时耗汽量约4 t。

## 2 节能改造措施和效果

### 2.1 节能措施

#### 2.1.1 烟气温度

由于燃料、熔化能力、蓄热室结构的不同,玻璃窑炉的烟气量、烟气温度差别也很大。厂区的燃料为天然气,由于天然气燃烧充分,相比以石油焦为燃料的窑炉,玻璃窑炉的烟气量较少,烟气温度比较低。针对这种情况,对窑炉的砖烟道、钢烟道进行保温。采取保温措施后,保温层外表温度由保温前的70℃降到了20℃,这有利于提高烟气温度进而提

高发电量。

### 2.1.2 脱硝除尘系统

1)对脱硝除尘系统重新进行保温,减少温降损失;2)对系统存在的漏风之处进行封堵;3)改善系统的除尘效果;4)提高吹灰装置的吹灰能力,包括更换空压机,增加手动吹灰功能;5)更换大功率窑炉引风机,确保烟气全部进入锅炉及脱硝系统;6)在保证烟气氮化物排放达标的情况下,尽可能减少喷氨量。

### 2.1.3 主蒸汽管道线路

对蒸汽管道重新保温,使用的保温材料材质为容重不低于  $120 \text{ kg/m}^3$  的硅酸铝,保温层厚度不低于  $200 \text{ mm}$ 。重新保温后,主蒸汽管道外表温度不超过  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2.1.4 余热锅炉系统

1)更换3#窑炉余热锅炉堵塞的3个集箱。因炉管堵塞造成热交换面积较少,致使锅炉蒸汽量只有  $7.6 \text{ t/h}$ 。更换炉管后,蒸汽蒸发量达到  $11 \text{ t/h}$ ,发电量提高了  $800 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

2)封堵余热锅炉漏风之处。锅炉每层换热面的人孔等地方的漏风率超出设计值。通过治理锅炉漏风,控制锅炉漏风率在  $5\%$  以内,3台锅炉合计发电量提高了约  $660 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

### 2.1.5 外供蒸汽

职工洗澡水由24小时供应改为定时供应;夏季溴化锂制冷和天然气管道伴热蒸汽供应改为专线供应;冬季蒸汽采暖改为水暖;后加工车间清洗和配料设备则进行节能改造。通过以上节能改造,余热发电系统外供蒸汽每小时可减少蒸汽消耗约  $6 \text{ t}$ ,可提升发电量约  $1200 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

## 2.2 节能效益分析

通过分析余热发电电量的影响因素,以及采取具体节能措施后,系统发电量大幅度提升,发电量已达到  $3.2 \text{ MW/h}$ ,日发电量超过  $75 \text{ MW}$ 。此外,上述节能措施的采用,把冬季采暖和夏季制冷对整个发电系统的影响降低到了最低,减少了每年发电系统的启停次数,节省了检修成本。

## 3 结论

通过以上分析可知:

1)高温烟气量和烟气温度是玻璃窑炉余热发电系统设计的重要依据。玻璃窑炉的所用燃料、生产工况、生产负荷情况都会对烟气量和温度产生影响,因此在玻璃窑炉余热发电系统的设计过程中,不光要有理论的计算,更要重视高温烟气实际工况的测量,理论和实际相结合。

2)在工程设计中,要重视高温烟气进入余热锅之前的能量损失,对热量易损失的部位要采取相应的节能措施;同时在余热锅炉安装过程中,要加强对锅炉漏风率的控制,定期清理锅炉积灰保证热交换效率<sup>[4]</sup>。

3)在工程施工中,要注意脱硝等环保设施对整个系统发电量的影响,做好保温施工,封堵系统漏风之处。在实际运行中,在保证环保指标的前提下,减少喷氨量等措施可以节能。

4)项目总图布置中,整个系统布局要紧凑,余热锅炉应该靠近玻璃窑炉布置,同时汽轮机房应贴近余热锅炉布置,以缩短蒸汽管线长度,减少能量损失。

总之,玻璃窑炉余热发电历史还不长,需要针对不同的玻璃窑炉情况,设计不同的热力回收系统,以充分利用烟气中的余热,最大程度提高发电量。

### [参考文献]

- [1] 杨颖. 浅析玻璃熔窑余热发电项目的影响因素[J]. 资源节约与环保, 2013(7): 17-18.
- [2] 陈旭晔, 丁明, 张洪涛, 等. 浮法玻璃熔窑烟气治理和利用[J]. 材料科学与工程学报, 2012, 30(1): 145-149.
- [3] 徐美君. 玻璃行业废气治理技术的发展和现状[J]. 玻璃, 2011, 38(2): 7-13.
- [4] 于振林, 杜永芳, 谢慧, 等. 玻璃行业窑炉余热利用与烟气环保治理一体化的研究与应用[J]. 玻璃, 2012, 39(4): 10-14.