

卫生洁具辊道窑热平衡测试与节能分析

欧俭平, 魏永春, 马爱纯, 陈宗威, 贾金鹏
(中南大学能源科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要:为提高某陶瓷厂卫生洁具辊道窑热技术水平, 解决实际生产中产量达不到设计要求、热效率低等问题, 对该辊道窑实际生产数据进行了测试和采集, 以此为基础进行了热平衡计算, 并对计算结果进行了分析。结果表明: 辊道窑热效率为65.4%, 能源利用效率一般, 节能潜力较大。可通过合理组织燃烧、降低烟气抽出量、优化排烟方式、选用薄托板等措施来进一步提高辊道窑热效率。

关键词: 卫生洁具; 辊道窑; 热平衡测试; 节能

中图分类号: TQ174.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2278(2015)01-0074-04

Thermal Balance Test and Analysis of Sanitary Ware Roller Kiln

OU Jianping, WEI Yongchun, MA Aichun, CHEN Zongwei, JIA Jinpeng

(School of Energy Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: To improve the thermal performance of the roller kiln in a sanitary ware factory, thermal balance test and analysis of a roller kiln was carried out to solve the problems of lower production and thermal efficiency. Results show that the thermal efficiency of the roller kiln is 65.4%, which is relatively lower. It is necessary to be improved by some effective measures, such as sensible combustion organization, reducing the amount of the pumped flue gas, optimizing the way of flue gas exhausting, and using thinner supporting plate.

Key words: sanitary ware; roller kiln; thermal balance test; energy saving

0 引言

目前, 我国共有建筑卫生陶瓷厂3000多家, 大小窑炉上万座, 年耗标准煤近500万吨, 但能源利用效率普遍较低, 仅为欧美先进窑炉的一半^[1]。在陶瓷生产中, 窑炉烧成能耗占到企业综合能耗的60%~80%^[2], 其能源利用效率决定着整个陶瓷行业的能耗水平。国内相关学者在陶瓷窑炉节能方面做了一些研究, 在辊道窑烧嘴布置方面, 刘明等^[3]采用VB软件编制辊道窑能耗分配通用软件; 陈功备等^[4]模拟陶瓷窑炉温度分布特点, 测试不同温度下不同耐火材料的导热系数, 为窑炉耐火材料的选取提供了参考。但如何根据窑炉实际运行状况进行有针对性的节能改造, 仍是急需解决的生产实际问题。目前热平衡测试是对热工设备进行诊断分析的重要方法, 是加强能源管理、提高能源利用水平、降低能源消耗的重要基础工作^[5]。湖南临澧某

陶瓷厂一座设计产能为25 t/d的卫生洁具辊道窑在生产中存在产量达不到设计要求、排烟温度高、热效率低等问题, 为掌握其热工状况, 解决相关热工问题, 提高能源利用效率, 对其进行热平衡测试分析。

1 测试对象

测试针对湖南临澧某陶瓷厂25 t/d的卫生洁具辊道窑的全窑系统进行。该辊道窑为单层、明焰、气烧辊道窑, 主要生产蹲便器、洗面器、栏杆柱等卫生洁具产品。采用两块托板并排立装烧成, 通过辊棒的转动带动制品完成整个烧制过程。窑内空宽1.22 m, 窑内空高0.78 m, 有效长度44 m, 共22节, 其结构示意图如图1所示。辊道窑燃料采用天然气, 燃料低位发热量35934 kJ/m³。产品烧成温度约1183 ℃, 烧成周期约6.3 h, 测试期间, 其实

收稿日期: 2014-08-10。

修订日期: 2014-09-15。

通信联系人: 欧俭平(1970-), 男, 博士, 副教授。

Received date: 2014-08-10.

Revised date: 2014-09-15.

Correspondent author: OU Jianping(1970-), male, Ph.D., Associate professor.

E-mail: 610777267@qq.com

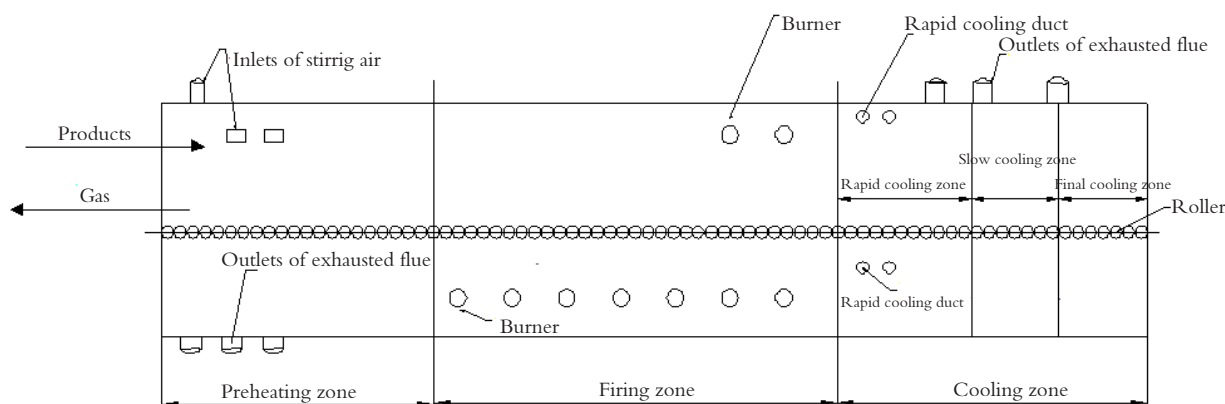


图1 辊道窑结构示意图

Fig.1 Diagram of roller kiln structure

际产量为18 t/d，环境温度30.3 ℃。

2 测试方案

热平衡计算体系为整个窑炉，只考虑窑体本身热量收入和支出的平衡。基准温度为测试期间正常生产的平均环境温度。测试期间生产工艺过程稳定，测试过程不影响正常生产，测试持续时间大于烧成周期。测试包括现场既有仪表数据采集、现场热工参数测试和实验室测定分析三部分。

实验室测定分析主要包括粘土含量、坯体吸附水和结晶水含量的测定；现场既有仪表数据采集主要包括燃料温度、成分以及实际消耗量数据的收集；现场热工参数测试主要包括①环境温度的测定；②助燃风及冷却空气温度和动压的测定；③抽热风成分、温度和动压的测定；④烟气成分、温度和动压的测定；⑤生坯入窑温度和质量的测定；⑥成品出窑温度、质量和最高烧成温度的测定；⑦托板质量、实际运行速度以及入窑和出窑温度的测定；⑧窑墙、窑顶和窑底外表面温度以及炉膛内温度的测定。

3 测试结果及分析

3.1 测试结果

窑炉热平衡体系只取窑体本身。以1 t出窑成品的热量消耗为计算基准，以现场测得环境温度为基准温度。根据《陶瓷工业窑炉热平衡、热效率测定与计算方法》(GB/T 23459-2009)^[6]进行计算。热平衡计算结果如表1所示，由于坯体表面温度、助燃空气温度以及冷却带吹冷风温度均为环境温度，故该部分显热未计入热量收入项中。

由表1可以看出，该型辊道窑烧成产品的热效率为65.4%，与国内某型辊道窑热效率达85.87%^[7]相比，该辊道窑热效率指标处于中等水平，节能空间较大。通过对热量收入和支出各项分析，深入挖掘辊道窑节能潜力，对提升窑炉技术水平具有重要意义。

3.2.1 热收入项分析

在热量收入项中，燃料的燃烧热占总收入热量的99.81%，在总热量收入不变情况下，提高托板带入热量，可减少燃料使用量，达到节能效果。测试中发现，托板出窑时温度达66.5 ℃，而入窑时温度为46.9 ℃，托板余热损失约29.5%。由于现场备用托板数量较多，托板从窑尾运出后，工人多数将其搁置一旁自然冷却。若科学组织生产，在窑尾运出的托板达到一定数量后立即送入窑头进入窑内，则该部分余热便可得到有效回收。按摆放冷却及运输过程中托板余热不可避免损失10%进行估算，则年可减少0.28 亿kJ的能量损失，即每年可节约780 m³的天然气消耗量。

3.2.2 热支出项分析

(1) 成品带出热量

由表1可知，成品带出显热0.91%。降低出窑产品温度不仅对提高窑炉能源利用效率具有重要意义，同时也有利于优化工人操作环境，提高工作效率。由于辊道窑尾冷区设置有吹冷风机，因此在窑体长度不变情况下，可通过缩短缓冷区长度、加长尾冷区长度来实现降低产品出窑温度这一目的^[8]。按出窑成品带出显热降低40%进行估算，则采取措施后年可减少1.5 亿kJ的能量损失，即每年可节约4205 m³的天然气消耗量。

(2) 化学不完全燃烧热损失

生产1 t成品产生的化学不完全燃烧热损失达

表1 热平衡计算结果
Tab.1 Results of heat balance

Heat supply			Heat expense		
Items	Heat /kJ	%	Items	Heat /kJ	%
Combustion heat	2921434	99.81	Physical heat of products	26620	0.91
Physical heat input by supporting plates	5528	0.19	Heat consumption of water evaporating and heating of the ceramic blanks	209792	7.17
			Heat consumption of clay decomposition	351424	12.01
			Heat loss of flue exhausted from the cooling zone	814738	27.83
			Heat loss by output supporting plates	10356	0.35
			Radiant heat loss of fire observation hole	180	0.01
			Heat loss of incomplete combustion	3629	0.12
			Physical heat taken away by flue gas	805851	27.53
			Heat loss of the surface of the furnace	658442	22.50
			Others	45930	1.57
Total	2926962	100	Total	2926962	100
Heat efficiency of the furnace	/	65.4			

3629 kJ, 产生该类热损失的原因主要与炉膛结构、空气消耗量系数以及运行操作水平等因素有关。生产过程中为满足烘房干燥需要, 烟气抽出量过大, 烟气行程变短, 烟气中的可燃气体未来得及燃烧便已抽出炉膛。可从合理调整烟气抽出量来降低化学不完全燃烧热损失。

(3) 烟气带出显热

烟气带出显热占热量总支出值较高, 达27.53%。现场测试中发现管道内烟气温度达184℃, 采取有效措施对该部分热量的回收具有重要意义。在实际生产中, 该部分热量被用于烘房干燥生坯, 余热得到有效利用, 无需建设专门用于干燥生坯的热风炉。但在烟气余热得到有效利用的前提下, 仍存一些问题: 一是为满足烘房干燥需要, 烟气量仅凭经验抽取。不合理的加大烟气抽出量使得烟气行程变短, 高温烟气在预热带中未与坯体充分换热便已离开窑体, 结果导致离窑烟气温度过高。同时也容易导致预热带上下温差过大, 预热带上下温差超过100℃; 二是该辊道窑在预热带底部分布7对共14个排烟口, 为分散排烟方式, 部分烟气在预热带尚未与制品充分接触便已被靠近烧成带的排烟口提前抽出, 从而使得烟道中烟气温度偏高, 达到184℃。因此, 为进一步提高窑炉技术水平, 应合理降低烟气抽出量, 将辊道窑排烟结构改造为底部

(4) 墙体表面散热损失

墙体表面散热损失较大, 占热量总支出的22.50%。通过测试发现, 两侧窑墙、窑顶以及窑底的温度最高处温度分别为60.7℃、135.7℃以及183.5℃, 表明窑墙保温性能较好, 但窑顶与窑底的保温性能明显偏低。根据现场测试状况, 窑顶温度最高处位于烧成带部分, 窑底温度最高处位于预热带前端(底部排烟口附近), 因此应加强底部排烟口附近和烧成带顶端处保温以进一步降低窑体表面散热损失。有学者在窑底保温上提供了新的思考角度, 可考虑采用导热系数较低的废旧或质量不合格的大规格半成品或成品砖代替钢板作为窑底底板^[9]。

(5) 托板带出显热

托板带走热损失0.35%, 比例较小, 但出烧成带时吸热量大, 影响热耗, 可通过进一步选用导热率好、质轻、蓄热量少的耐火材料等来减少托板带走蓄热。有研究表明, 托板在长度和宽度不变的情况下, 厚度由10.5 mm改为7.3 mm, 窑炉的能耗下降了18.71%, 热效率提高近7%, 且托板使用寿命变化不大^[10]。这为提高窑炉热技术水平提供了一个思路, 可考虑通过采购或定制薄托板来进一步提高窑炉能源利用水平。托板在改薄的情况下应考虑抗折强度问题, 目前有研究表明, 一种以莫来石、刚玉为复合骨料, 用铝胶、 α -氧化铝微粉、无定型

硅微粉合成莫来石作为结合基质制的高温推板, 其抗热震稳定性能达到使用要求^[11]。

(6)其他热量损失

其他热量损失主要为孔隙漏风。通过计算发现, 烟道汇总处的空气过剩系数值为8.4, 而烧嘴空气过剩系数按1.3运行, 说明窑体存在漏风现象, 有外界冷空气通过缝隙进入窑内, 导致汇总到烟道内的空气过剩系数值偏高。有研究表明, 烟道汇总处的空气过剩系数由5减少到3时, 在其他条件不变的情况下, 烟气带走热量从30%降为18%, 节能12%^[1]。因此应加强窑体密封性, 尤其是窑体与辊棒之间的严密性, 降低窑头负压、保证烧成带处于微正压, 可减少冷空气进入窑内, 降低热损失。

4 结 论

(1)排烟热损失是主要的热损失, 占到总支出热量的27.53%。其次是墙体表面散热损失, 占到总支出热量的22.50%。系统热效率为65.4%, 处于国内中等水平, 能源利用效率一般, 节能潜力较大。

(2)加强窑炉的生产组织和运行管理。可减少出窑托板在环境中自然冷却时间, 降低托板余热损失; 合理组织燃烧, 使燃烧完全, 降低烟气中可燃气体带出量; 减少烟气抽出量, 使烟气在窑内充分循环, 降低排烟温度。

(3)对窑炉结构进行优化。将分散排烟方式改造为集中排烟方式, 可降低烟气出窑温度, 提高预热带中烟气与坯体换热效果; 选用导热率好、质量轻、比热低的薄托板可提高辊道窑热效率; 在冷却带总长度不变的情况下, 缩短缓冷区长度, 加长尾冷区长度, 降低成品带出显热; 有利于提高系统热效率。

(4)加强烧成带顶端和预热带底部排烟口附近窑体保温, 改进孔砖结构或砌筑方式, 以提高窑炉

整体密封性效果。

参考文献:

- [1]李来胜, 江峰, 张秋暉. 陶瓷工业节能减排技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2]曾令可, 邓伟强, 刘艳春, 等. 陶瓷工业能耗的现状 & 节能技术措施[J]. 陶瓷学报, 2006, 27(1): 109-115.
ZENG Lingke, et al. Journal of Ceramics, 2006, 27(1): 109-115.
- [3]刘明, 林依翰, 吴金斌. 建筑瓷砖辊道窑能耗分配的计算机仿真[J]. 陶瓷学报, 2012, 33(4): 500-504.
LIU Ming, et al. Journal of Ceramics, 2012, 33(4): 500-504.
- [4]陈功备, 宫小龙, 张海荣. 工业窑炉新型耐火材料热物理性能的研究[J]. 陶瓷学报, 2012, 33(3): 358-360.
CHEN Gongbei, et al. Journal of Ceramics, 2012, 33(3): 358-360.
- [5]杜涛恒. 热平衡测试技术[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1984.
- [6]GB/T 23459-2009. 陶瓷工业窑炉热平衡、热效率测定与计算方法[S].
- [7]张根栓, 刘剑, 汪桂钧, 等. 气烧节能型辊道窑热平衡计算[J]. 陶瓷, 2009, 2: 52-55.
ZHANG Genshuan, et al. Ceramic, 2009, 2: 52-55.
- [8]李振中. 陶瓷窑炉节能减排的探讨[J]. 佛山陶瓷, 2010, 163(4): 6-9.
LI Zhenzhong. Foshan Ceramic, 2010, 163(4): 6-9.
- [9]胡澄清, 朱辉球, 余筱勤. 辊道窑结构的改进[J]. 中国陶瓷, 2006, 42(4): 52-53.
HU Chengqing, et al. China Ceramics, 2006, 42(4): 52-53.
- [10]宁红军, 张明亮. 厚垫板改薄垫板对辊道窑能耗的影响[J]. 陶瓷, 2009, 10: 42-43.
NING Hongjun, et al. Ceramic, 2009, 10: 42-43.
- [11]陈桂华, 杨辉, 王家邦, 等. 莫来石结合莫来石-刚玉质高温推板的研制[J]. 硅酸盐学报, 2002, (S1): 105-108.
CHEN Guihua, et al. Journal of The Chinese Ceramic Society, 2002, (S1): 105-108.