

3000万m²石膏板生产线干燥系统蒸汽梯级利用优化设计

赵志达^{1,2,3}, 郑荣跃², 王正文³, 徐磊³

¹宁波工程学院建筑与交通工程学院, 浙江 宁波

²宁波大学土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波

³宁波北新建材有限公司, 浙江 宁波

收稿日期: 2024年8月14日; 录用日期: 2024年9月15日; 发布日期: 2024年9月25日

摘要

纸面石膏板生产线的多个环节均需要消耗大量的高温蒸汽。为最大限度地提升蒸汽的热能利用率, 减少石膏板生产中的间接碳排放, 蒸汽的梯级利用必不可少。本文在现有的年产3000万m²石膏板生产线基础上, 针对其干燥系统蒸汽的梯级利用流程进行了优化设计。结果表明, 优化后的干燥系统的蒸汽使用量明显降低, 取得了显著的节能效果。

关键词

干燥系统, 蒸汽梯级利用, 纸面石膏板, 节能减排

The Optimization Design of Steam Cascade Utilization in Drying System of 30 Million m² Gypsum Board Production Line

Zhida Zhao^{1,2,3}, Rongyue Zheng², Zhengwen Wang³, Lei Xu³

¹School of Architecture Civil Engineering Traffic Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo Zhejiang

²School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo Zhejiang

³Ningbo Beixin Building Materials Co., Ltd., Ningbo Zhejiang

Received: Aug. 14th, 2024; accepted: Sep. 15th, 2024; published: Sep. 25th, 2024

Abstract

Many steps of the plasterboard production line need to consume mass high-temperature steam. In

文章引用: 赵志达, 郑荣跃, 王正文, 徐磊. 3000万 m²石膏板生产线干燥系统蒸汽梯级利用优化设计[J]. 仪器与设备, 2024, 12(3): 497-502. DOI: 10.12677/iae.2024.123064

order to maximize the utilization rate of steam heat energy and reduce indirect carbon emissions in the production of plasterboard, the cascade utilization of steam is essential. Based on the existing production line of plasterboard with an annual output of 30 million square meters, this paper optimizes the step utilization process of steam in the drying system. The results show that the steam consumption of the optimized drying system is obviously reduced, and remarkable energy saving effect is achieved.

Keywords

Drying System, Steam Cascade Utilization, Gypsum Plaster Board, Energy Saving and Emission Reduction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

纸面石膏板作为环保节能装饰装修材料已经广泛应用于住宅、商场、厂房等各类建筑当中。生产过程中,无论是回转窑的干料制备、球磨机的研磨、原料的加热均对高温蒸汽的需求较大。其中,作为石膏板最终成型的关键环节,干燥系统负责将石膏板在高温的环境下进行干燥处理,其蒸汽的使用量占到了生产线所需蒸汽的 50%~60% [1],节能潜力十分可观。本文在北新建材石膏板宁波厂现有的一套年产 3000 万 m² 石膏板生产线的设备基础上,针对热能损失问题,通过改变干燥系统蒸汽利用流程,缩减闪发罐数量,制定闪发罐新尺寸等方式对采用蒸汽为热源的石膏板干燥系统的热能梯级利用进行了优化设计。

2. 干燥系统

纸面石膏板以燃煤电厂烟气脱硫石膏为主要原料[2],经高温煅烧、冷却混合成型后,掺入适量添加剂与纤维做板芯,将特制的板纸作为保护面,随后进入到干燥系统中烘干,主要设备如图 1 所示。



Figure 1. Major equipment

图 1. 主要设备

石膏板的干燥是一个复杂的传热过程,厂内采用纵向布置辊道间接热风干燥式,包括进料系统、热风系统、干燥系统以及出料系统。其中,进料系统主要负责接收石膏板原料并输送至干燥室。热风系统为提供干燥过程中所需的高温高压热源,主要设备包括闪发罐、冷凝器、热交换器、风机、蒸汽管道;干燥系统主要设备包括干燥机,内部含 13 层翅片盘管等。为实现蒸汽的梯级利用,将干燥机内设置成 4

个分区,如图2所示,循环空气出口温度分别为: I区 $130 \pm 10^\circ\text{C}$ 、II区 $139 \pm 10^\circ\text{C}$ 、III区 $125 \pm 10^\circ\text{C}$ 、IV区 $110 \pm 15^\circ\text{C}$ 。

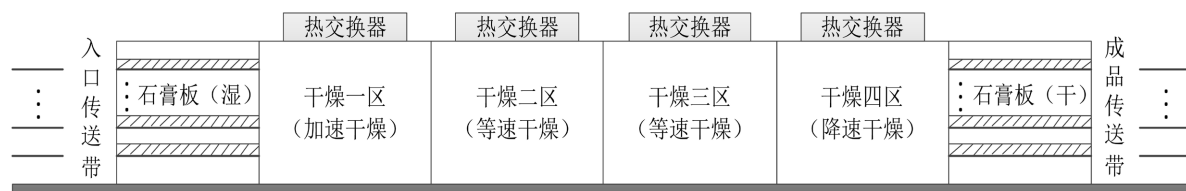


Figure 2. Drying system

图 2. 干燥系统

3. 干燥系统蒸汽利用优化设计

3.1. 干燥系统热能梯级利用流程

干燥机的主要热能来源为电场提供的高温蒸汽,温度约为 210°C 。同时干燥机 4 个分区内对出风温度的要求不同。因此,在实际生产过程中将结合熟料制备系统,对高温蒸汽进行梯级利用,干燥系统中,重要的余热回收装置为水蒸汽闪发罐,如图3所示。闪发罐是一种专门用来处理高温高压水或蒸汽的设备,其主要功能是在压力突然降低的情况下,使部分水迅速蒸发成蒸汽,当高压的饱和水或过热水突然进入一个低压环境时,由于压力的骤降,水会迅速闪蒸成蒸汽,同时也会有一部分水保持液态,实现了蒸汽的气液分离[3],这些冷凝水在闪发罐内压力降低后,其中一部分水会迅速闪蒸为蒸汽,被重新引入到生产线中重复使用,或者用于预热原料,从而节省能源。



Figure 3. Steam flash tank

图 3. 水蒸气闪发罐

原系统的蒸汽梯级利用过程如图4所示,此套方案在蒸汽的梯级利用中的核心环节为余热蒸汽的两次闪发。熟料生产环节的回转窑余热蒸汽经冷凝水罐过渡后,余热蒸汽进入闪发罐1进行汽水分离,凝水流入冷凝水罐3,二次蒸汽则为干燥机四区提供热源,进行石膏板的末段干燥处理。同时,由电场提供的高温蒸汽分别进入干燥机的一至三区,进行前段干燥处理,凝水流入冷凝水罐,余热蒸汽则进入闪发罐2,继续制造二次蒸汽,为干燥机四区提供热源。受管路限制以及设备运行的影响,系统中出现了四区蒸汽压力不稳定、余热回收蒸汽管道中蒸汽出现少部分泄露、凝结水排放不畅等问题,使得系统能耗运行颇高。

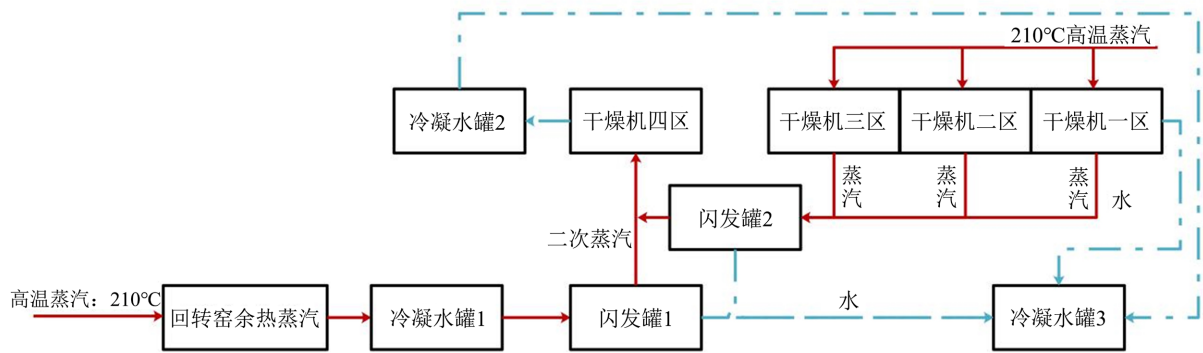


Figure 4. Steam step utilization process of drying system

图 4. 干燥系统蒸汽梯级利用流程

3.2. 优化设计方案

解决原蒸汽利用过程中出现的问题的关键在于作为储能装置的闪发罐以及连接管道。闪发罐增加了蒸汽传递过程中的阻力，通过合理的简化可提升能量传递效率。针对原始方案中的热量流失及二次蒸汽热量损失等问题，对原蒸汽梯级利用方案进行了优化升级，将闪发罐 1 替换为缓存器，用来过渡存储回转窑的余热蒸汽。同时，经过计算，所有的干燥余热蒸汽均在同一闪发罐中进行二次蒸汽的闪发，能够为干燥机四区提供充足的热源，凝水则直接引入冷凝水罐 3 中。优化后的闪发罐 2 尺寸计算如下：

闪发计算如下所示[4]：

$$m_{in} = m_{out,d} + m_{out,l} \quad (1)$$

式中， m_{in} 为进入闪发罐的高压蒸汽的质量，kg/h； $m_{out,d}$ 为低压蒸汽的质量流量，kg/h； $m_{out,l}$ 为凝结水的质量流量，kg/min；优化中将闪发罐 1 与闪发罐 2 的流入质量流量之和作为 m_{in} 的取值，经测试取整为 1700 kg/h。

容积计算如下所示：

$$V = \frac{m_{in} \cdot t}{\rho} \quad (2)$$

式中， V 为闪发罐的容积， m^3 ； ρ 为高压蒸汽的密度，取 kg/m^3 ； t 为蒸汽的停留时间，h。经计算新闪发罐的最小容积约为 $6.5 m^3$ ，闪发罐的截面积计算为[5]：

$$F = 1.5\gamma \frac{m_{in} \cdot X}{W} \quad (3)$$

式中， γ 为水蒸气的比容， m^3/kg ； X 为蒸汽的干度，取 1； W 为单位截面积闪发负荷，取 $500 m^3/m^2 \cdot h$ ；得 $F = 2.5 m^2$ ，则闪发罐直径为 1.25 m，化整为 1.3 m。

长度计算：

$$H = H_L + H_e + H_s \quad (4)$$

式中， H_L 为真实液柱长度，取 0.975 m； H_e 为冷凝水压降膨胀长度，按 $102.9^\circ C$ 与 $151^\circ C$ 差计算为 0.045 m； H_s 为分离长度，取经验值 1.68 m，得闪发罐长度为 2.7 m。最终得到的体积大于最小容积，符合要求。

优化后蒸汽梯级利用流程如图 5 所示。在保证回转窑预热蒸汽以及干燥一至三区的蒸汽能够充分利用的同时，由于减少了蒸汽的闪发次数，简短了管路，进而降低了管道中的热能损失。因此，对干燥系统而言，二次蒸汽的吸收效率及热量的利用程度均能得到提高。

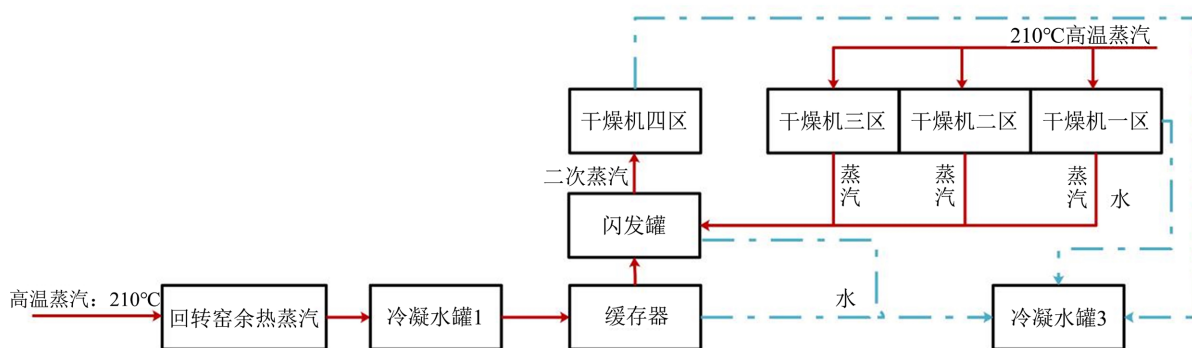


Figure 5. Steam step utilization optimization process of drying system

图 5. 干燥系统蒸汽优化使用流程

3.3. 节能效果分析

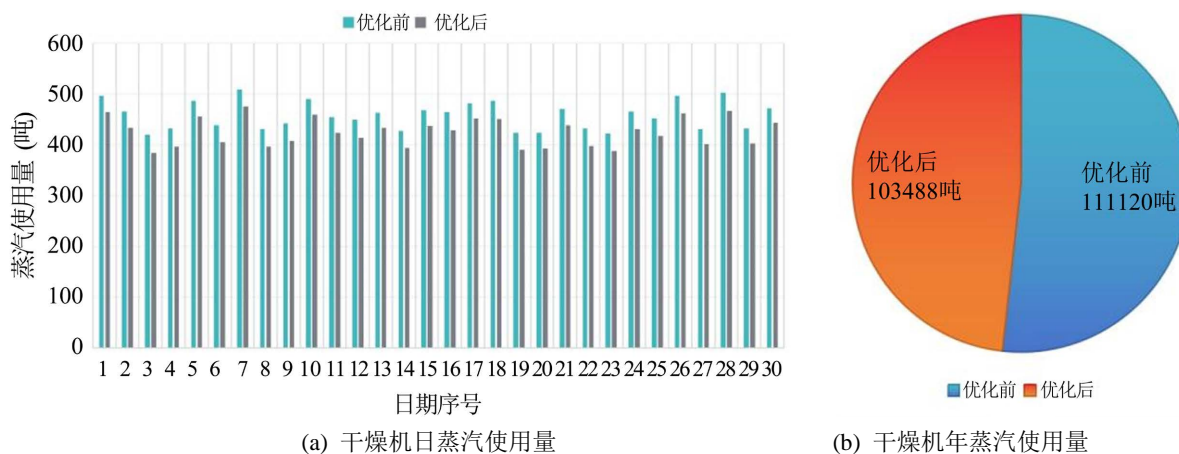


Figure 6. Dryer Steam usage comparison

图 6. 干燥机蒸汽使用量对比

生产线的能源监控系统并未对干燥机的蒸汽使用进行独立监控，因此通过干燥机的整体蒸汽使用情况进行了优化前后的数据对比，如图 6 所示。与原系统相比，干燥机在生产日日均可减少高温蒸汽量的使用约 32.3 吨，每年可减少高温蒸汽的使用约 7632 吨，能源成本的节省是蒸汽回收最直接的经济效益，每年可为企业节省约 387 万的经济投入。并且，优化工艺流程后的干燥系统自投入生产运行以来，运行状态平稳，各项工艺指标控制稳定，未出现石膏板工艺质量不达标与余热蒸汽损失的现象，相关对比参数如表 1 所示。可见，优化后的干燥系统降低了石膏板成品含水率，满足含水率小于 6% 的行业标准[6]。

Table 1. Data comparison

表 1. 数据对比

数据种类	原系统	优化后
干燥四区平均温度(°C)	90.6	92.4
石膏板成品含水率(%)	3.7	3.5

4. 结论

纸面石膏板的干燥环节的持续时间长，对蒸汽的需求量大，是石膏板生产过程中主要耗能环节之一。

本文为减少生产线对高温蒸汽的消耗,所提出的干燥系统优化蒸汽梯级利用的方案通过减少闪发罐数量、更替凝水管道,达到了提高干燥系统的蒸汽梯级利用效率的效果。在保证产品稳定性与可靠性的前提下,蒸汽使用量年减少约为 7632 吨,产生了较好的经济效益,为石膏板生产线蒸汽的梯级利用提供了新的思路与方法,具有一定的推广意义,同时也为地方的节能减排做出了贡献。

参考文献

- [1] 陈红霞,武发德,周建中,等. 纸面石膏板干燥技术的现状和发展趋势[J]. 中国建材科技, 2017, 26(4): 29-31.
- [2] 赵强. 3000 万平米石膏板生产线 SCR 系统物理场数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2019.
- [3] 符海龙. 不锈钢蒸汽闪发罐泄漏检测分析与建议[J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(1): 25-29.
- [4] 马云翔. 纸面石膏板干燥机排湿蒸汽余热回收利用[J]. 内蒙古石油化工, 2015, 41(18): 60-61.
- [5] 符海龙. 蒸汽闪发罐泄漏分析与对策[J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(1): 85-87+117.
- [6] GB/T9775-2008 纸面石膏板[S]. 北京: 中国质检出版社, 2014.