

# 烘房废气热量回收利用的创新应用探讨

王叶通, 徐龙华, 杨瑞康

(迈赫机器人自动化股份有限公司, 山东 潍坊 262200)

**摘要:** 通过实际项目案例介绍了一种烘房废气热量回收的方法及原理,旨在帮助涂装行业减少能源浪费。通过对烘干过程中释放的废气进行热量回收再利用,能够有效提高能源利用效率并降低设备的运行成本。该项目采用热量回收再利用技术,将废气中蕴含的热能转化为新风预热的来源,实现了能源的再利用。这一技术不仅能够提高能源利用效率,还具有重要的应用价值,可以帮助降低涂装行业的能耗水平。

**关键词:** 烘房; 废气; 回收; 再利用

中图分类号: TQ639

文献标志码: B

文章编号: 1007-9548(2024)12-0062-03

## Innovative Application Exploration of Heat Recovery from Oven Exhaust Gas Utilization

WANG Ye-tong, XU Long-hua, YANG Rui-kang

(MH Robot & Automation Co., Ltd., Weifang 262200, Shandong, China)

**Abstract:** This paper introduces a method and principle of heat recovery from oven exhaust gas utilization through actual project cases, aiming to help reduce energy waste in the coating industry. By recovering and reusing the heat released during the drying process, the energy utilization efficiency can be effectively improved and the operating cost of equipment can be reduced. The project adopts the technology of heat recovery and utilization, converting the heat energy contained in the exhaust gas into a source for preheating fresh air, achieving the reuse of energy. This technology not only improves energy utilization efficiency but also has significant application value in reducing energy consumption in the coating industry.

**Key words:** oven; exhaust gas; recovery; reuse

### 0 引言

汽车制造过程包含冲压、焊接、涂装、总装四大环节。在能源消耗方面,涂装车间的消耗量占整个汽车制造过程的70%以上。因此,实现汽车制造过程中的节能减排,降低涂装车间能源消耗至关重要。涂装车间的能耗主要来自以下几个方面:空调送风系统、烘房及强冷系统、废气处理系统、机器人喷漆系统以及机械化输送系统。其中,空调、烘房和废气处理3个系统的能耗占涂装车间总能耗的80%以上,因此,降低这3个系统的能耗对于涂装车间的节能减排尤为重要。

烘房作为消耗能源较多的环节之一,在国家节能减排的政策引导下,寻找并应用节能技术方案具有重要的意义。其中,烘房在运行过程中,所释放的高温有机废气中携带了大量的热能,如何将此部分热能进行有效利用成为关键。本文通过实际项目案例,重点介绍对烘房废气热量进行回收再利用创新应用,达到实现能源的再利用、减少能源消耗的目标。

### 1 相关项目案例

#### 1.1 项目概况

以国内某新能源轻卡基地驾驶室涂装车间生产线项目为案例,该涂装生产线的生产纲领为:15万台驾驶室总成折合涂装生产线前处理电泳能力为16.9万挂,涂胶线能力16.5万挂,面漆喷涂能力为24万挂,其中一期实施12万挂面漆线。涂装工艺采用B1B2水

收稿日期: 2023-10-23

作者简介: 王叶通(1989—),男,本科,工程师,主要从事涂装行业设计工作。E-mail: wangyetong@mhauto.cn。

性漆工艺。

在本项目案例中,电泳烘干炉、胶烘干炉、面漆烘干炉均采用热风对流的Ⅱ型烘干炉,各加热区及新风废气系统均采用自动控温系统,烘干的热源为天然气。各烘干炉产生的废气经过主管路汇总后去三室 RTO 处理后达标排放。各烘干炉工艺参数及废气量见表 1。

表 1 各烘房工艺参数及废气量

项目	电泳烘干炉	胶烘干炉	面漆烘干炉(一期)
工艺温度/℃	180	140	140
升温时间/min	17	10	15
保温时间/min	20	16	20
节拍/JPH	47.2	46.1	34.2
节距/m	3.2	3.0	3.0
链速/(m·min <sup>-1</sup> )	2.52	2.31	1.72
输送方式	升降机+过渡滚床+双链		
废气量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	8 000	6 000	8 000

注:烘房废气处理量按工件进入烘房的最大容积量和保证下限计算。

## 1.2 烘房原理描述

在本项目案例中,各烘房均采用单行程设计,其组成包括室体(含进出口升降段)、维修钢平台、风幕及升降段顶部热顶系统、热风循环系统、排废气系统及温控系统。烘房有效加热区分为升温区和保温区,各区域均采用独立的间接燃烧加热装置进行供热。烘房的保温层采用岩棉进行交错铺设,保温层厚度为 150 mm,有效减少了热量损失。

在出入口升降段的顶部设置了热顶气封装置,这一设计可防止冷热过渡过程中产生冷凝问题。在烘房各升温区末端设有废气吸风口,废气管路上配备止回阀或者电动开关风阀,防止生产过程中废气倒灌。烘房产生的废气量以及烘房所需补充的新风量均可以通过手动调节。

电泳、胶、面漆烘房的新鲜空气经过间接燃烧加热装置加热到设定温度后,会送入进出口的热顶气封段,并最终通过高温中效过滤器进入烘房中。由于高温的空气可以有效地防止在升降段顶部产生冷凝现象。而烘房产生的废气与废气风机相连,废气风机与车间外焚烧炉相连。

## 1.3 废气热量回收原理简述

在传统意义的烘房中,烘房补新风单元通常采用独立的燃烧装置来供应新风。然而,在本项目中,各烘房的废气管路上增加了一套废气热量回收再利用系统。系统通过将烘房产生的高温废气导入新风单元进行热交换,之后再将其送至三室 RTO 进行处理。

为了有效地回收烘房废气中携带的热量,在废气管路上增设了一台废气与新风的热回收交换器,其主要功能是加热并补充烘房的新鲜空气。热回收交换器主要由保温层、双行程或多流程热交换器、废气及新风进出口以及底部排污管路等构成,其工作原理见图 1。

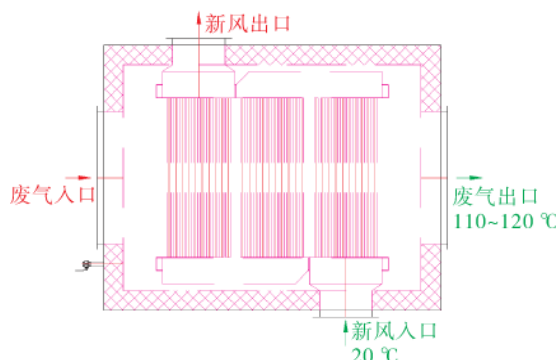


图 1 三行程热交换器原理

在设计热回收交换器时,我们应特别注意新鲜空气应在换热管内流动,而烘房废气则应围绕换热管外部流动。这是因为在高温状态下,烘房废气中含有大量的有机 VOC,这些 VOC 呈现气态,一旦遇冷或降至临界温度,它们会从气态变为液态。如果烘房废气流经换热管内部,长时间的设备运行可能会导致换热管内堵塞,并且油污也不易清理。通过烘房废气围绕换热管外部流动,可以有效地避免这些问题。此外,为确保设备的长期稳定运行,在装置底部设置了排污口,可以定期进行排放清理,这也有助于增加设备的使用寿命。

## 2 烘房废气热量回收计算

### 2.1 废气产生热量分析

根据各烘干的工艺温度、废气量、新风量温度等参数,热量计算公式如下:

$$Q=V \times c \times (T_2 - T_1), \quad (1)$$

式中, $Q$  为热气所产生的热量, $V$  为烘房产生的废气量, $c$  为废气的体积比热容, $T_2$  为烘房内废气的温度, $T_1$  为经过回收后废气的温度。

通过式(1)可以计算出各烘房废气所带走的热量。废气所携带的热量被用作热源来对新风进行加热。根据热力学第一定律(即热量守恒定律,并暂时假设换热效率为 100%完全转换),将新风加热后的温度也通过式(1)进行计算,并记录整理各烘房所得的数据,见表 2。

由表 2 可以看出,各烘房中的废气都携带着大量的热量。如果将这些废热有效地回收并用于新风的加热,将能对新风起到显著的预热作用,并且还将显著节约加热新风所需的能源。以电泳烘干炉为例(其废气量为 8 000 Nm<sup>3</sup>/h),如果将废气温度从 180℃降至 120℃,

那么相应的新风温度可以从车间的 20 ℃加热至 105 ℃,新风加热前后的温差约为 85 ℃。对于胶烘干炉和面漆烘干炉,新风加热前后的温差也约为 40 ℃。

表 2 废气热量回收利用参数

项目	电泳烘干炉	胶烘干炉	面漆烘干炉
废气进风风量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	8 000	6 000	8 000
废气进风温度/℃	180	140	140
废气出风温度/℃	120	110	110
新风进风风量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	7 000	5 000	7 000
新风进风温度/℃	20	20	20
新风出风温度/℃	105	60	64
内衬板/mm	1.5	1.5	1.5
保温/mm	150	150	150
外包板/mm	0.6	0.6	0.6
最大换热量/(kcal·h <sup>-1</sup> )	200 000	65 000	100 000
数量	1	1	1

因此,在本案中,高温废气中的热量回收利用方案的实施具有重要的研究意义和探讨价值。这将不仅提高涂装生产的能源利用效率,降低能源消耗,而且还能减少涂装生产对环境的影响,具有显著的环保效益。我们应进一步研究和探讨这一方案在涂装行业的推广应用,以期实现涂装生产的节能减排和可持续发展。

## 2.2 节能效益分析

在本项目案例中,为了方便调节烘干室的空气平衡和降低设备使用的能源消耗,通常将废气风机和新风风机均采用变频器进行控制。在此情况下,将两种风机的频率均设定为 50 Hz,并分别理论上计算出每年热回收换热器所节省的能源和费用,见表 3。

表 3 各烘房能源节省费用

项目	电泳烘干炉	胶烘干炉	面漆烘干炉
供热量/(kcal·h <sup>-1</sup> )	200 000	65 000	100 000
天然气热值/(kcal·Nm <sup>-3</sup> )	8 200	8 200	8 200
废气风机在 50 Hz 状态下预计			
天然气耗量/(Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	24.39	7.93	1 220
全年工作 250 d, 采用两班制			
生产,每班 8 h	4 000	4 000	4 000
每年节省的天然气总量/Nm <sup>3</sup>	97 561	31 707	48 780
天然气单价/(元·Nm <sup>-3</sup> )	4.5	4.5	4.5
每年烘房节省费用/元	439 024	142 683	219 512
费用总计/元		801 220	

由表 3 可以看出,在采用废气热量回收交换系统的情况下,烘房每年可以节省加热新鲜空气所使用的

天然气约 44.5 Nm<sup>3</sup>。按照天然气单价 4.5 元/Nm<sup>3</sup> 进行折算,电泳烘干炉每年可以节省约 43.9 万元,胶烘干炉每年可节省 14.3 万元,面漆烘干炉每年可节省 21.9 万元。整个涂装生产线,每年烘房废气回收再利用系统节省的费用高达 80 万元。因为电泳烘干炉的废气量最大,废气中的热量回收利用的潜力也最大。而胶烘干炉和面漆烘干炉虽然废气量较小,但它们每年所节省的能源费用也相当可观。

这种废气回收再利用系统对于各大主机厂降低单车能耗成本具有较大的吸引力和竞争力。不仅有助于减少能源消耗,降低涂装生产的成本,还能提高企业的经济效益和竞争力。因此,该回收再利用系统值得在涂装行业中进一步推广应用,以推动行业的可持续发展。

## 3 结语

相较于以往的烘炉设计,本案例在废气管路中引入了废气与新风的回收再利用系统。这一系统将高温废气从工艺温度降低至 110~120 ℃,而在这一过程中释放的热量通过高效回收交换器得以加热并补充到烘房的新风中,将废气中的热能转化为新风加热所需的可再生能源,实现了能源的再利用。

这种节能方案具有显著的节能效果,能有效降低涂装行业的能耗,同时降低设备的运营成本。通过进一步分析和推广该项目案例,我们期望能为绿色节能型涂装行业的可持续发展提供重要支撑。我们相信,这种节能方案将为涂装行业的可持续发展开辟新的道路,也将为行业的绿色转型提供可复制的样板。

## 参考文献:

- [1] 龚淑娟,刘凯冬.涂装车间系统化节能减排的探索与实践[J].汽车制造业,2023(4):39-41.
- [2] 鞠永强.浅析轨道车辆涂装装备环保应对策略[J].现代涂料与涂装,2022(7):28-30.
- [3] 王宗明,盛挺松,曹轶.汽车生产制造环节挥发性有机物减排探究[J].节能与环保,2022(1):62-64.
- [4] 张旭,汪兵兵,王斌.浅谈涂装车间设备制造能力的提升[J].现代涂料与涂装,2021(7):66-69.
- [5] 任尔小.汽车涂装工艺对环境的污染及其治理措施[J].时代汽车,2021(1):111-112.
- [6] 张念利,刘艺,张念星,等.浅谈汽车涂装成本管理[J].汽车实用技术,2020(14):175-177.
- [7] 代可,李保亮,陈一.汽车涂装车间 VOCs 废气治理形势与技术运用[J].电镀与涂饰,2019(22):1236-1241.
- [8] 赵新红.电泳车间电泳烘干室烟气余热利用及节能效益分析变废为宝——烟气余热回收再利用[J].汽车实用技术,2018(11):133-134.