

关于涂装高温烟气余热再利用的研究

朱晓春, 王 萌, 李振房

(上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司, 山东 青岛 266500)

摘要: 通过余热回用器对涂装高温烟气余热进行回收再利用, 优化互利互通各个热源系统, 综合利用各供热系统并合理启停热源, 实现能源利用效率最大化, 达到增效降本、节能减排、绿色环保的目的。

关键词: 余热回用; 高温烟气; 节能减排

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-9548(2024)07-0015-03

Research on the Reuse of High Temperature Flue Gas Waste Heat from Painting

ZHU Xiao-chun, WANG Meng, LI Zhen-fang

(SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Qingdao Branch, Qingdao 266500, Shandong, China)

Abstract: By using a waste heat reuse device to recover and reuse the waste heat from high-temperature flue gas in painting, optimizing and mutually beneficial communication of various heat source systems, comprehensively utilizing various heating systems and reasonably starting and stopping heat sources, achieving maximum energy utilization efficiency, and achieving the goals of increasing efficiency, reducing costs, energy conservation, emission reduction, and green environmental protection.

Key words: waste heat recycling; high temperature flue gas; energy conservation and emission reduction

0 引言

汽车工业中涂装工程一直是能耗大户, 耗电、天然气、蒸气、水等排出废水、废气、废渣。在国家大力倡导节能减排、绿色发展的背景下, 实现涂装工程的绿色、经济、环保和可持续发展变得越来越重要。节能减排即减少消耗和排放, 常用的方式有智能控制、循环利用、回收利用。我们先后推广应用变频技术节约电能、空调采用先进智能 APC 控制节约天然气、开展蒸气冷凝水及浓水的回用节约用水、废气中的高温烟气余热回收再利用节约蒸气等技术升级改造, 节能减排提高了能源利用率。

随着绿色工厂概念的兴起, 能源循环利用新建工厂在设计阶段就要被考虑并设计好, 对于已建成的很

多工厂未对能源循环利用进行设计或设计的能源循环利用率低, 例如高温废气的热量回收, 未设计余热回用的高温烟气直接排放、早期设计的高温烟气余热回用效率低最终排烟温度依然很高。要实现绿色工厂就要不断地进行技术升级和改造, 本文就以排放的废气中高温烟气的余热回收再利用项目为例, 为涂装行业的节能减排和绿色发展提供一些思路和策略。

1 用热工艺介绍

在涂装车间内需要热量的工艺有前处理、调漆间、送排风、闪干炉、烘炉、废气焚烧处理等, 用热设备及消耗的能源类型见图 1。近年来, 环保法规对废气中 VOC 的排放要求越来越严格, VOC 的来源主要在喷漆室、闪干炉、烘炉区域, 根据各区域的特点增加了 RTO、TNV 等 VOC 处理设备, 采用天然气高温焚烧(温度约 700 °C) 或氧化的方式来降低排放气体中的 VOC 含量。由于采用高温处理, 处理后的气体排放温度非常高, 部分热量经过自身系统回用后最终排放温度仍然在 300 °C 左右, 热量浪费严重。

收稿日期: 2024-01-08

作者简介: 朱晓春(1979-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事生产装备、汽车喷涂、节能降碳技术研究及生产管理工作。E-mail: xiaochun.zhu@sgmw.com.cn。

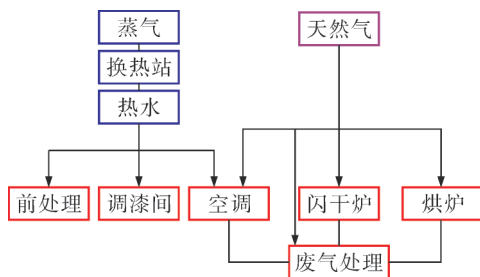


图1 用热设备设施

通过技术改造降低最终的排烟温度成为本项目的目标,最大效率利用热量的方式是直接回用,但此方式有局限性;一般采用高温烟气与水换热回收热量,再对热水进行利用的方式。

通过对各区域用能方式的分析可知,蒸气加热的水在前处理、调漆间及部分空调使用,天然气在空调、闪干炉和烘炉使用。本次余热回用转化为热水的方式,现有能源中蒸气也被转化为热水后再利用,故余热回用优先降低对蒸气的依赖。整合各区域高温烟气余热回收的热量,测算每个区域需求的热量,通过合理分配实现能源利用效率最大化。在多条生产线中同样的工艺用能方式不同,整合利用方案就更为重要。

2 高温烟气余热回收设备能力提升

余热回用装置主要包括余热回收器、水泵、风机、输风管道、输水管道、风阀、水阀等,其投资成本相对较低,回收的热量能得到利用,收益很可观。由于生产线建成的时间不同,工艺和设备也不相同,需要对余热回用设备从工艺是否升级、升级后的设备是否符合现场、设备是否老化、是否需要新增设备等方面进行分析。为保证设备回收效率最大化,将逐个对余热回用设备的情况进行评估,主要有:烘炉 TCU 烟气余热、RTO 烟气余热、TNV 烟气余热。

2.1 TCU 烟气余热回用设备

B 线烘炉废气采用 TCU 焚烧处理,水性漆工艺(3C1B 工艺可节能 15%~20%)改造后,由于工艺变更中涂烘炉取消,用于余热回收的废气风量及温度发生较大的变化(废气风量从 50 000 Nm³/h 降低至 30 000 Nm³/h;废气排烟温度从 200 ℃提高至 290 ℃),其风机型号偏大影响烘炉系统风平衡且排出热量多造成能源浪费,余热回用器型号偏大导致换热效率低下(只有约 40%),现有设备选型及换热效率等设计参数与现场不匹配,不能满足实际需求,需要对余热回收系统进行改造升级。

风机及余热回收器的选型要根据风量和换热器的效率来确定,余热回用器根据现场烟气温度应选用耐高温型(普通型耐温极限 300 ℃,耐高温型耐温极限

400 ℃)。热水管道的铺设应尽可能地回收到换热站以便合理地利用能源,本设备回收的热量通过增加管道换热器加热换热站回水的方式输送到换热站,然后换热站进行统一分配。由于风管水管的输送距离较长,其保温要选择合适的保温材料,最大限度地减少热量损失。在预算充足的情况下加装热能表,以便于对回收能源和设备效率统计分析。

本次改造后高温烟气通过换热器后的温降为 100 ℃,通过公式 $Q=C_p \times L \times \rho \times (T_{进}-T_{出})$ 计算可得回收烟气热量为 4.23 GJ/h,其中:Q 为热量, C_p 为烟气的比热容, L 为烟气的体积, ρ 为烟气的密度, T_进 为烟气进入的温度, T_出 为烟气排出的温度。

2.2 RTO 烟气余热回用装置

C 线烘炉废气采用 RTO 焚烧处理,C 线的 RTO 余热回用器使用年限已达 7 年,冷凝积油及灰尘集聚较多,导致换热器风道出现严重的堵塞,换热效率下降 43%(换热器设计排烟温度为 120 ℃,目前排烟温度达到 150 ℃),相当于损失蒸气 3 497 t/a,同时由于积油较多存在安全风险,故需要进行改造升级。

更换余热回用器时,针对风道积油堵塞问题,可选用具备风道清洗功能的余热回用器,通过技术手段降低积油及灰尘,提升安全性,本设备仅更新了余热回用器及相应的管道阀门,其回用区域仍然为 C 线前处理及输漆,完成后在夏季可满足 C 线前处理和输漆的热量需求。

2.3 TNV 烟气余热回用装置

喷房排风需要转轮浓缩后经 TNV 焚烧后进行排放,其排烟中的热量在经过自身系统回用依然很高(温度 320 ℃,排烟量 19 000 Nm³/h),我们和大多数的工厂一样没有设计余热回用装置,高温烟气均直排大气,存在较大热量浪费,伴随着市政蒸气供热成本近年来大幅上涨达到 52%,热量回收收益明显。

结合 TNV 烟气回用装置、换热站、原热水管道的位置等因素,本次设计中 B 线余热回用器采用的方案是:在增加少量管道的情况下,加热原有的工艺回水并返回换热站,再重新分配到全车间使用。其优点是既不影响现场工艺又可以大幅提升高温热水的利用效率; C 线余热回用器采用的方案是:充分利用原有空调供回管路,增加三通阀门、增压泵和自动控制阀门,将加热后热水优先应用在 C 线空调系统内,并将多余的热量返换热站。其优点是既可保证空调运行又能避免能源浪费。

伴随着技术的发展,本次余热回用器采用超导热管技术,回收效率高达 98%(普通管式效率为 90%),在自动控制方面,所有现场水侧/烟气侧压力、温度、水

泵频率等参数均可采集到操作屏进行数字显示；所有风阀、水泵、运行及故障状态可通过颜色显示；节能数据方面，通过增加热量表可实现瞬时热量、累计热量、累计收益实时显示。项目完成后根据现场热能表读数显示生产线 A 节能为 2.82 GJ/h、生产线 B 节能为 1.81 GJ/h，比设计预期提升了约 8%。

3 供热系统的综合利用

一年四季中各工艺设备对热量的需求不同，余热系统在不同季节与现场负载匹配也存在差异，夏季外界温度高热量需求小，冬季外界温度低热量需求大，通过用能分析及能源调配可实现效率最大化。经过改造余热系统的回收热量得到提升，分析厂区内的其他热源发现还存在空压机热泵（空压机热泵回收热量的同时需要消耗电能，主要用于供暖，可以随时开启关闭，热泵热量为 9.2 GJ/h），将所有热源与涂装 B/C 线用热设备互联互通，可实现供热系统的综合利用。

车间内的热源有市政蒸气和高温烟气余热回收，余热回收热源的总量为 12.7 GJ/h。车间内的用热设备在夏季模式（温度高于 19℃）时，B/C 前处理的热量需求均为 4.5 GJ/h；在春秋季节模式（外界温度高于 16℃、低于 19℃）时 B 线空调的热量需求为 7.2 GJ/h。根据计算可知夏季模式下热量存在剩余；春秋季节模式下仅靠余热回收热量存在不足，在空压站热泵热源加入后可满足要求，但热量会存在剩余。剩余热量的使用也是综合利用的重点。

B/C 线用热设备的互联互通方案：通过管道将系统串联起来，其原则是优先使用原来的管道做到改动最小化。本设计中利用了原有的供暖管道，大幅降低了改造成本。空压站热泵系统互联互通方案：通过管道将热源经水水换热器引入换热站和 C 线前处理。剩余热量的使用方案：通过在 C 线空调增加热水换热系统，在闪干新风区域增加管道，以降低天然气的用量。改造后的能源走向见图 2。

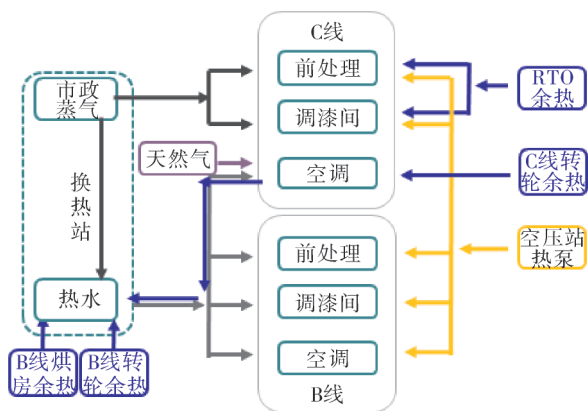


图 2 改造后的能源走向

4 系统运行

供热系统综合利用改造完成后，根据外界温度的变化，通过对原供热系统、生产余热利用系统和空压站热泵系统合理启停，形成了不同的控制方案。在不同温度下，各区域的热量需求也不同。温度高于 19℃ 时余热可满足使用；温度 16~19℃，热量需求大时需开启热泵，生产正常时仅余热可以供应；温度低于 16℃ 时需要余热和蒸气同时使用。运行模式见表 1，根据本地区的气候情况，在每年 5~10 月可实现蒸气能源零消耗。

表 1 运行模式

| 生产线 | 工艺 | 外界温度/℃ | | |
|-----|-----|--------|-------|-----|
| | | >19 | 16~19 | <16 |
| C 线 | 前处理 | 余热 | 余热+热泵 | 余热 |
| | 输漆 | 余热 | 余热+热泵 | 余热 |
| | 空调 | 余热 | 余热+燃气 | 蒸气 |
| B 线 | 前处理 | 余热 | 余热+热泵 | 余热 |
| | 输漆 | 余热 | 余热 | 余热 |
| | 空调 | 余热 | 余热 | 蒸气 |

5 结语

近年来汽车行业的竞争越来越激烈，价格血拼、成本血拼变得越来越普遍，在国家大力推行节能减排、绿色发展的大环境下，企业也更加关注能源、废物的可回收利用。通过余热回用设备的改造和综合利用，为大家提供一些参考，我们也将持续开展关于余热回用方面的探索，尤其是低温烟气的余热回收技术，希望取得突破和发展。

参考文献：

[1] 王锡春.涂装车间设计手册[M].北京:化学工业出版社,2013.
 [2] 冯立明,张殿平,王绪建,等.涂装工艺与设备[M].北京:化学工业出版社,2013.

(上接第 11 页)

[14] 孙迎召,牛荻涛,姜磊,等.干湿循环条件下混凝土硫酸盐侵蚀损伤分析[J].硅酸盐通报,2013(7):1405-1409.
 [15] 杨锦宗,张淑芬.表面活性剂的复配及其工业应用[J].日用化学工业,1999(2):26-32.
 [16] 石亮,刘建忠,刘加平.聚合物涂层对混凝土碳化的影响及作用机理[J].东南大学学报(自然科学版),2010(S2):208-213.
 [17] 耿大新.苏通长江大桥现浇箱梁混凝土耐久性施工控制体系研究[C].中国公路学会桥梁和结构工程分会全国桥梁学术会议论文集,2014.