

涂装车间智能烤箱控制系统的应用

韩富刚, 刘岩, 张成, 寇锁, 张巍文, 唐照照
(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 主要介绍了北京奔驰涂装车间智能烤箱控制系统的基本原理、应用及控制思路。通过分析阐述烤箱系统的结构、原理及工艺参数等信息, 研究出一套完整的节能优化方案。

关键词: TAR; 能源利用率; 智能控制; 低碳

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)11-0070-03

Application of TAR Intelligent Control System in Painting Workshop

HAN Fu-gang, LIU Yan, ZHANG Cheng, KOU Suo, ZHANG Wei-wen, TANG Zhao-zhao
(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: This article mainly introduces the basic principle, application and control ideas of the intelligent oven control system of Beijing Benz painting workshop. By analyzing and explaining the structure, principle and process parameters of the oven system, a complete energy saving optimization scheme was developed.

Key words: TAR; energy efficiency; intelligent control; low carbon

0 引言

近年来,随着我国工业的蓬勃发展,以及能源的日渐紧张和对环境保护的日益窘迫,同时,由于工业生产经济效益日益升高,节能降本工作显得非常重要。如何有效利用和节约资源,使之更好地促进我国工业快速健康的发展起来,值得一线工作者参与其中,改建项目的备件、设备选用本着高效、先进和适用的原则,采用节能型设备,杜绝高耗能设备。合理调整工艺参数,降低设备能源消耗,完成节能减排。

汽车制造流程的四大工艺包括冲压、焊装、涂装和总装,其中涂装环节由于工艺的特殊性,需要恒温、恒湿、高温烘烤和废气治理等工序,能源耗量巨大,一套科学完善的控制系统能够大幅度提升能源利用率,降低碳排放量。通过智能烤箱控制系统对比运算温度风压等数值,进而对燃烧器进行精准控制,达到既节约燃气又保持烤箱及炉膛内温度恒定不变,避免对车身质

量造成风险。利用现有设备的硬件和软件系统,以最低的成本进行控制逻辑优化,达到节能减排的效果,因此TAR智能控制逻辑是一个需要研究的重要课题。

本文通过对北京奔驰涂装车间的烤箱及废气处理系统设备进行全面分析,根据分析结果研讨探索出更节能的控制逻辑,并制定符合工艺要求和安全风险的设备改造计划。

1 汽车行业主流烤箱系统介绍

汽车涂装过程中烤箱烘烤环节至关重要,它是通过空气对流的方式,使空气中的热量与车身进行热能交换,以达到均匀有效加热车身表面漆膜的目的。其工艺要求共包含5个烤箱:面漆烤箱、PVC烤箱、电泳烤箱、注蜡烤箱和闪蒸烤箱,其中注蜡烤箱和闪蒸烤箱由于工艺温度较低,均使用中小型低氮燃烧器,其燃气利用率比较高。另外3个烤箱均为TAR供热系统,此系统不能根据烤箱内部的能热需求进行实时功率调整,造成了不必要的能源浪费。

烤箱烘干流程:带有漆膜待烘烤的车身,在烤箱升温段通过内部风机系统产生的对流对其加热,到达漆膜要求的工艺温度后,车身进入烤箱保温段,根据涂层烘干工艺要求的不同,满足相对应的保温时间,然后将

收稿日期: 2024-07-24

作者简介: 韩富刚(1987—),男,本科,助理工程师,主要从事喷漆车间设备维修及烤箱和送排风系统技术支持工作。E-mail: hanfg@bbac.com.cn。

漆膜烘干,最后进入车身冷却段,对车身整体进行冷却降温后离开烤箱。

根据公司产品质量控制计划要求,各烤箱工艺烘干温度和时间如下所述。

面漆烤箱:最低要求车身表面温度 $\geq 135\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 $\geq 20\text{ min}$;理想要求车身表面温度 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 15 min ;加热过程 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上不得超过 2 min 。

PVC烤箱:最低要求车身表面温度 $\geq 140\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 $\geq 10\text{ min}$;理想要求车身表面温度 $155\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 22 min ;加热过程 $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上不得超过 10 min 。

电泳烤箱:最低要求车身表面温度 $\geq 165\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 $\geq 15\text{ min}$;理想要求车身表面温度 $175\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间 15

min;加热过程 $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上不得超过 5 min 。

烤箱系统工作原理:首先由助燃风机将烤箱内部的废气(车身烘烤过程中产生大量有害气体)抽出,送入焚烧炉(TAR)进行焚烧,分解有害物质如非甲烷性颗粒物VOC等。焚烧过程中所产生的高温气体通过管道传递至烤箱各个换热箱进行热交换,加热后的热空气被循环风机送入烤箱室内对车身进行高温烘烤工作。

燃气系统控制原理如图1所示,燃气比例阀(燃气阀)通过开度比例变化(由PLC程序中的PID温度控制逻辑进行控制),实时调整炉内温度,将温度始终保持在 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右(为充分降解助燃风中残留的有害物质),并为烤箱提供足够的热能。

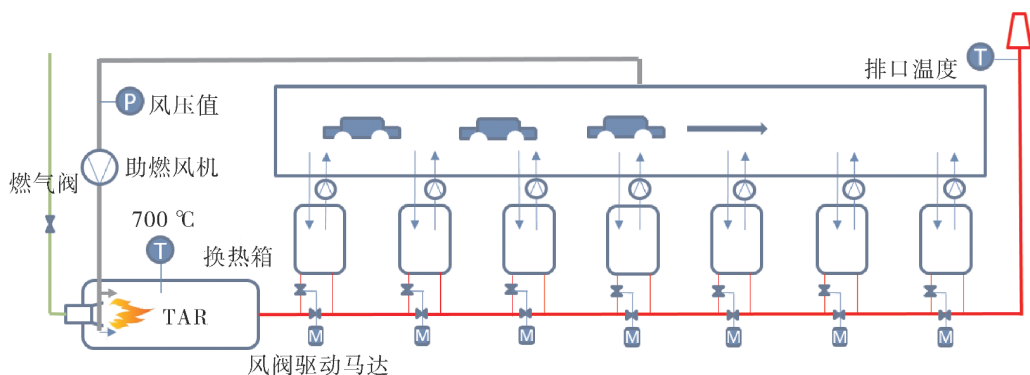


图1 烤箱系统结构

2 常用烤箱的组成

烤箱系统主要由主室体、加热燃烧装置、循环风换热系统、自动化电控系统、输送系统及主体框架结构组成。烤箱主室体整体包括升温段、保温段、冷却段及进出口气封段,加热焚烧装置包括能够完成废气处理功能的焚烧炉TAR系统和燃烧器炉本体,循环风换热系统包括热风管、换热箱、循环风机及冷却段控温系统。常用的烤箱主室体主要有3种:直通式、桥式和A式,3种烤箱的工作原理基本类似,仅在防止烤箱内部热风外溢的气密方式有一定区别。其中,A式烤箱保温效较好,热量损失小,能源利用更高效。

3 A型烤箱的工作原理

由于A型烤箱具有节能减排、内部空气洁净等优点,所以大多汽车厂商均使用此类型。A型烤箱是通过废气热处理净化装置(TAR)加热烤箱内排除的废气,其中循环空气和TAR焚烧后的热气不直接接触,通过换热箱内部的换热管进行换热,以换热的方式对烤箱内部的对流空气进行加热。循环空气在换热箱中被加热到工艺所需的温度,最终作用到车身表面将热能传递给车身,达到烘烤的目的。

4 智能烤箱思路的由来

智能烤箱运用前,烤箱的各个风机状态基本不变,

只有烤箱触发中断模式时,换热箱的循环风机才会做出频率调整,而出发中断模式需要烤箱内部和进出口区域持续 0.5 h 以上无车才会触发。其他所有设备均保持一成不变的状态运行,造成能源浪费。

德国某公司推出烤箱节能改造方案Eco-Smart VEC,通过烤箱内部车数的变化实时调整各个风机的频率,并划分成5个等级,以5种能耗来应对烤箱的负荷变化。

Eco-Smart VEC的5种状态分别为:当烤箱内车身数量小于7台时,程序控制为1级,烤箱新风风机频率 18 Hz ,排风风机频率 22 Hz ;当车身数量大于7台小于10台时,程序控制为2级,烤箱新风风机频率 24 Hz ,排风风机频率 28 Hz ;当车身数量大于10台小于12台时,程序控制为3级,烤箱新风风机频率 29 Hz ,排风风机频率 33 Hz ;当车身数量大于12台小于14台时,程序控制为4级,烤箱新风风机频率 34 Hz ,排风风机频率 38 Hz ;当车身数量大于14台时,程序控制为5级,烤箱新风风机频率 40 Hz ,排风风机频率 44 Hz 。循环风机统一根据这5个等级自动调整风机频率,在满足工艺烘烤窗口的条件下,节约电和天然气。

经过验证,Eco-Smart VEC模式存在改制费用高(单个烤箱改制费用在 $200\text{万}\sim 300\text{万元}$)、烤箱内部控

温不稳定(1~5控制等级切换时温度波动比较大)、循环风机降低频率后车烤箱内部热对流空气流速低加热效果差、燃烧器容易发生故障熄火(燃烧器送风风压过低)等诸多问题。

通过 Eco-Smart VEC 方案的启发以及对现场设备的研究分析,我们最终制定出自己的改制方案《智能烤箱系统》,以零成本的投入,通过对程序的调整优化,达到预期节能的要求。

5 智能烤箱的控制方式

根据空气热能 $Q=cm\Delta t$, 每 m^3 空气上升 1°C 需要 12.9 J , 炉温从室温 25°C 升至 700°C , 每 m^3 空气升温至标准温度需要 $12.9\times(700-25)=8\ 836.5\text{ J}$, 只有降低助燃风量即可达到大幅度节能的效果。

当烤箱内部车辆减少或出现空线, 烤箱内部热量积存在烤箱内, 换热箱温度出现上升趋势, 如图 1 所示换热箱风阀驱动马达在 PID 程序的控制下, 逐渐关闭风阀, 已稳定内部温度。换热箱开始逐渐降低对供热烟道内的高温气体换热工作, 导致排口温度逐渐升高。因此, 判断烤箱供热过剩, 通过程序控制对烤箱新风风机和排风风机逐渐降频, 新风和排风同时降频是为了保证烤箱内压力平衡, 防止烤箱内热气外溢或车间内冷气进入烤箱内。排风风机排除烤箱内废气, 送入燃烧器进行焚烧去 VOC。当风机频率下降后, 风量随之降低, 燃气开度不变的情况下温度会逐渐升高。此时, 燃气控制 PID 对燃气比例调节阀进行逐渐关闭调整, 以保证温度不变。反之, 随着烤箱内部车数增加, 换热后的排烟温度随之下降, 新风风机和助燃风机频率缓慢上升, 随着风量的提升炉膛内被带走的热量也随之增加, 炉膛温度减低触发 PID 控制燃气阀, 保证温度实时在 700°C 左右。

因燃烧器本身设备性质, 需要有一定的安全保护功能, 如助燃风风压过低报警功能, 当助燃风风压过低时, 燃烧器故障熄火。为了防止此类故障, 在节能模式下也增加了风压保护功能。

方案 1: 设定风机频率下限, 防止风压过低情况。经过验证换热箱的换热风阀开启或关闭对整体风压影响较大, 助燃风机运行频率必须在 38 Hz 以上才能满足不同工况下的最低风压要求, 限制了节能的效果。

方案 2: 根据风机风压表的模拟量风压值, 在程序中写出 3 个风压等级信号对风机频率进行调整。当低压 1 级信号被触发, 则停止风机频率继续下降; 当低压 2 级信号被触发, 则开机缓慢增加风机频率, 直至风压低压 2 级信号消失后停止升频; 当低压 3 级信号被触发, 风机进行快速升频, 直至风压低压 2 级信号消失为止。经过验证, 此方案更适合此项目以节能为中心的核

心标准。

6 智能烤箱成果验证

经过上述理论验证, 智能烤箱具备可实施性, 于是在 2023 年 3 月 13 日对密封胶烤箱进行初步程序优化测试。相同产能对比, 燃气耗量下降明显, 由 $2.25\text{ m}^3/\text{车}$ 降至 $2.00\text{ m}^3/\text{车}$, 下降约 $0.25\text{ m}^3/\text{车}$ 。持续观察 48 h, 程序运行稳定, 优化工作再次进行, 最低降至 $1.47\text{ m}^3/\text{车}$, 下降约 $0.78\text{ m}^3/\text{车}$ 。通过不断测试调整, 在 3 月 30 日完成智能烤箱优化调试工作, 持续观察 1 个月, 平均单车燃气耗量由原来的 2.25 m^3 下降至 1.50 m^3 , 同比节约燃气 33% 左右, 节能效果显著。

7 结语

本文以烤箱系统的节能方案作为研究方向, 根据汽车行业涂装工艺标准, 对烤箱系统的功能结构进行系统性分析, 并对市场上已经出现的类似节能方案进行可行性研究。结果表明, 常见节能方案的主要思路具备可参考性, 但依然存在诸多问题。经过研究讨论, 对 MRA2 涂装车间 PVC 烤箱进行优化改善, 最终总结出一套运行稳定、节能效果显著的节能方案。现已完成 MRA2 涂装车间 PVC 烤箱、面漆烤箱和电泳烤箱对智能烤箱系统的调试优化工作, 系统运行稳定。

智能烤箱在我公司已运行 1 年左右, 系统运行稳定, 完全符合涂装车间烘烤工艺的工艺要求, 节能效果显著, 已经完成对 MFA 前驱车工作的推广和普及工作, 并初见成效, 后续将在更多拥有类似设备的企业进行推广, 为低碳节能工作付出微薄之力。

参考文献:

- [1] 赵双. 汽车车身轻量化技术[J]. 汽车维修技师, 2024(4): 120.
- [2] 潘芳伟. 电气控制与 PLC 技术[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2014.
- [3] 范家春, 刘习成. 汽车涂装[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.

(上接第 69 页) 部件是否有松动及接触不良等现象; 2) 检查电源相序是否正确, 各级电源电压是否正常; 3) 检查风机运行是否正常; 4) 检查主回路电源与控制回路电源相位是否对应; 5) 主回路不上电, 检查触发脉冲是否正常; 6) 模拟检查保护功能是否正常。

5 结语

本文介绍的整流电源整流器件为可控硅形式, 由于其耐压及电流较大皮实耐用、可靠性较高在涂装电泳应用广泛, 且由于其操作及维护保养较简单, 对于新接触此领域的同行提供一定的学习借鉴意义。