

关于汽车涂装车间用电量削减的研究

王沛东, 孙宁一, 谢志敏

(广汽传祺汽车有限公司, 广州 511434)

摘要: 在汽车工业冲压、焊装、涂装、总装四大工艺中,涂装车间是能源消耗的关键区域,其能耗占全工序总能耗的60%左右,而生产用电在涂装车间总能源中占比超过50%,是名副其实的耗电大户。本文针对目前涂装车间生产运营中存在的烘干炉强冷段空耗浪费、作业场空调器和涂装室空调器非稼动时间电能浪费、冷冻机制冷效率提升及管道中冷量利用等方面进行了详细分析和深入研究,提出有效改善措施及解决思路,为汽车涂装车间的节能降耗提供了理论分析和参考依据。

关键词: 涂装车间; 烘干炉; 空调器; 冷冻机

中图分类号: TQ639

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2026)01-0061-04

Research on Reducing Electricity Consumption in Automotive Painting Workshops

WANG Pei-dong, SUN Ning-yi, XIE Zhi-min

(Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou 511434, China)

Abstract: Among the four major processes in the automotive industry: stamping, welding, painting, and final assembly, the painting workshop stands as a key area of energy consumption, accounting for approximately 60% of the total energy consumption across all processes. Production electricity accounts for over 50% of the total energy consumption in the painting workshop, making it a veritable "electricity-consuming giant". This article conducts detailed analysis and in-depth research on various aspects of current production and operation in the painting workshop, including waste in the strong cooling section of drying ovens, electricity waste during non-operating times of air conditioners in operation areas and painting rooms, improvement of refrigeration efficiency of chillers, and utilization of cold energy in pipelines. It proposes effective improvement measures and solutions, providing theoretical analysis and reference for energy conservation and consumption reduction in automotive painting workshops.

Key words: painting workshop; drying oven; air conditioner; freezer

0 引言

国家推动碳达峰、碳中和,旨在实现经济发展与环境保护的协调统一。制造业作为能源消耗与碳排放的重点领域,既是绿色转型的主战场,更是产业升级的核心引擎,其在实现碳达峰、碳中和目标中扮演着至关重要的角色。通过技术创新、产业升级、提升能源效率等

多方面的努力,制造业能够有效降低碳排放,推动国家实现环境可持续发展的目标。公司推行提质、降本、增效战略,部门明确“课题全面化、项目提前化、工艺创新化、运营极限化”的开展思路,涂装车间从成本最优出发,推进柔性化生产模式、能源精细化管理,全面提升QCD水平。

从涂装车间内成本占比来看,能源费用占比达58%。同时,从部门四大工艺车间能耗占比来看,涂装车间占比65%;运用柏拉图对涂装车间能耗占比进行分析,生产用电量占比高达56%。举一个直观的例子,涂装科1年的生产用电量可供一个普通家庭使用1万

收稿日期: 2024-05-17

作者简介: 王沛东(1990—),男,本科,助理工程师,主要从事涂装车间设备与生产管理相关工作。E-mail: wangpd@gacmotor.com。

年,可供 42 万根灯管持续点亮一整年。

本文将结合涂装车间各工艺设备的电耗特点,提出降低涂装车间生产用电量的多种方法,以期对涂装车间的成本控制提供参考借鉴。

1 涂装车间各工艺电耗现状

涂装工艺主要包括前处理电泳工艺、中面涂涂装室喷涂工艺、中面涂烘干炉烘干工艺及检查返修工艺。简单来讲,分为水系区域,主要耗电设备有前处理、电泳、冷冻机、水泵等,总功率 2 400 kW;热系区域,主要耗电设备是烘干炉,总功率 1 061 kW;风系区域,主要耗电设备为空调器,总功率 4 024 kW。

对涂装车间的电能使用流向进行分析,主要包括 3 个方面:烘干炉设备占比 13%,空调器设备占比 45%,前处理/电泳设备占比 27%。

2 削减思路

2.1 削减烘干炉设备用电量

根据烘干炉设备的升温、生产、排空 3 个阶段,从人、机、物、法、环进行分析,消除烘干炉设备运转过程的空耗情况。

2.1.1 对开始生产的第 1 h 进行分析

根据调研涂装行业的烘干炉设备均为加热段与强冷段同时开启,车体进入烘干炉未到达强冷段前,强冷段风机已启动且已经在运转,统计无效运转时间达到 50 min。因此,车体未到达烘干炉强冷段前,其循环风机存在空耗浪费的情况。

改善措施:通过对强冷段循环风机的 PLC 控制程序增加延时程序,该程序可根据当前烘干炉的运转节拍自动调整强冷段延迟启动的时间,使得车体到达强冷段入口时,完成强冷风机开启,从而减少风机无效运转。对策后,电泳烘干炉、中涂烘干炉、面涂 A 线烘干炉、面涂 B 线烘干炉每年大约可节省生产用电量 7.2 万 kW·h。

2.1.2 对生产最后 1 h 进行分析

烘干炉加热段的作用是将车身涂层烤干,而强冷段的作用是将烤干后的车体快速冷却,以提供适宜的车身温度给下工序人员进行作业。生产结束后,烘干炉内的车体需要排空至储存区,当天下工序人员不需要作业,但车体同样也经过了强冷段冷却。由于车体停留在储存区过夜,车体过夜具备充足的自然冷却时间,强冷段降温与自然降温作用重复,存在节能改善空间。

制定对策:生产结束排空时,根据生产停线安排提前关闭烘干炉强冷段,排空的车身烤干后,不需要强冷段冷却,直接停留在储存区进行自然冷却,第二天员工便可正常作业。对策后,电泳烘干炉、中涂烘干炉、面涂 A 线烘干炉、面涂 B 线烘干炉每年大约可节省生产用

电量 66.8 万 kW·h。同理,针对在北方地区的涂装车间,冬季车间内气温较低,如车体从烘干炉出口至下工序作业有充足的冷却时间,生产中可不开启烘干炉强冷段,或者将冷却温度调高,进而通过 PLC 程序优化,在烘干炉设备的人机交互界面上增加“冬季模式”按钮,在该模式下烘干炉强冷段不启动或提高冷却温度,便可实现生产用电量进一步削减。

2.2 削减作业场空调器设备用电量

涂装车间 1#、2#、3#、4# 作业场空调风机均为定频风机,风机工作频率为 50 Hz。在南方地区,全年平均气温较高,作业场空调器设备只有制冷功能,没有加热功能。当进入秋冬季节,外界气温降低,若空调器维持额定功率运转,大风量会造成作业场气温过低,影响员工作业舒适度。额定风量与冬季需求风量差异见表 1。

表 1 测算额定风量与冬季需求风量差异 m^3/min

项目	额定风量	秋冬季需求风量	过剩风量
1# 作业场送气风机	4 000	3 200	800
2# 作业场送气风机	3 300	3 000	300
3# 作业场送气风机	2 600	2 250	350
4# 作业场送气风机	1 100	820	280

针对作业场空调器过剩风量浪费的问题,对作业场送气风机进行变频改造,增加变频器控制,建立变频器与空调器系统 PLC 的有效通讯,编写电机变频控制启动、联锁程序,在人机交互界面增加风机频率设定功能。实现作业场空调器能够以不同工作频率适应季节变化,改善员工作业环境舒适性的同时,有效降低设备用电量,4 套作业场空调器设备大约可节省 25.15 万 (kW·h)/a,计算见表 2。

在作业场空调器具备变频控制后,可进一步拓宽节能应用场景。针对每生产班次的 45 min 停线吃饭时间,在此期间作业场为无人作业时间段,而空调器保持设定频率运行,设备处于空耗运转状态。改善对策,针对非稼动时间,将作业场空调器设定为低频运转,可进一步实现节能降耗。在设备人机交互界面增加自动降频时间段设定功能,与作业场稼动时间进行关联,即可实现作业场空调器按设定时间自动降频,4 套作业场空调器设备可节省 4.4 万 (kW·h)/a,计算见表 3。

水平横展,涂装车间排气风机也是工频控制,风机恒速运转,但通过阀门的节流调节风量,造成“大马拉小车”式的能源浪费。通过变频改造后,系统可根据作业场负压等工艺参数自动调节风机频率,实现按需供风。

依据风机相似定律,风量与转速成正比,而轴功率

表 2 作业场空调器变频改造节能计算

名称	额定功率/kW	改造前 50 Hz	改造后 40 Hz	负荷降低	运行时间/ (h·a ⁻¹)	年节约电量/ (kW·h)	合计/ (kW·h)
		电流/A	电流/A				
1#作业场送气风机	110	160	122	0.17	4 572	86 868	251 526
2#作业场送气风机	90	122	95	0.15	4 573	61 736	
3#作业场送气风机	75	130	100	0.20	4 574	68 610	
4#作业场送气风机	37	55	40	0.20	4 575	34 313	

表 3 作业场空调器非稼动时间节能计算

名称	额定功率/kW	改善前 40 Hz	改善后 15 Hz	负荷降低	运行时间/ (h·a ⁻¹)	年节约电量/ (kW·h)	合计/ (kW·h)
		电流/A	电流/A				
1#作业场送气风机	110	122	42	0.36	380	15 200	44 460
2#作业场送气风机	90	95	33	0.34	380	11 780	
3#作业场送气风机	75	100	26	0.49	380	14 060	
4#作业场送气风机	37	40	22	0.24	380	3 420	

与转速立方成正比。当生产负荷降低时，适当下调频率，即便风量小幅减少，也能带来显著的能耗下降。实际运行数据显示，改造后综合节电率可达 30% 以上，同时大幅降低了设备机械磨损与噪声污染，延长电机及轴承使用寿命，兼具经济效益与环保价值，是涂装车间实现绿色低碳生产的有效举措。

2.3 削减涂装室空调器设备用电量

涂装室空调器的作用是将恒温恒湿的风量送入喷房，并形成均匀下压的气流，实现车身在喷涂过程中的漆雾压降，喷房下压气流风速为 0.4 m/s。

分析涂装室 1 d 的生产情况，主要包括生产过程、保洁过程、吃饭停线 3 部分。生产过程涂装室空调器必须满足机器人喷涂漆雾下压的要求，而保洁过程为作业人员对喷涂机器人进行保洁，不存在漆雾飘散的情况，而吃饭停线时间为无人作业时间。根据涂漆安全国标及工艺规格书，涂漆生产工艺条件风速为 0.4 m/s，

保洁过程为非喷漆状态下，人在喷房短暂作业，需求风速为 0.3 m/s；吃饭时间为无生产及无人作业时间段，风速并无硬性要求，而空调器供给风速恒定 0.4 m/s，因此保洁过程和吃饭停线期间涂装室空调器的风速设定存在优化空间。

风速优化等同于电能优化，降低风机频率，可削减涂装室空调器的耗电量。经计算得出，将风机频率从 43 Hz 降频为 30 Hz，可消除涂装室保洁时段的风量浪费；同理，将风机频率从 43 Hz 降频为 15 Hz，削减涂装室吃饭时段的风量浪费。对开线后的十台车进行品质确认无异常，见表 4。

进一步完善操作便利性，通过优化控制程序，在人机交互界面增加涂装室保洁模式，实现一键降频，最大程度降低电能损耗。中涂涂装室空调器、面涂 A 线涂装室空调器、面涂 B 线涂装室空调器保洁模式实施后，每年减少生产用电量 26.3 万 kW·h。

表 4 涂装室空调器节能措施后车身品质检查

检查项目	参数名称	检查标准	检查结果						检查人员
			车体 1	车体 2	车体 3	……	车体 10		
漆面平滑性	平滑性	涂装涂膜外观质量标准内	OK	OK	OK	OK	OK	OK	技术员

2.4 削减冷冻水用量

冷冻水由公司工程部冷冻机制备，经管道输送至涂装车间，并在空调器设备中的表冷器进行热交换消耗冷冻水来维持涂装室恒温恒湿、作业场温度等工艺条件，其中耗电设备主要是冷冻机。

首先分析冷量制备，联合工程部统计 2023 年冷冻

机制冷量与用电量的关系曲线，发现实际制冷效率 COP 平均值为 5.375，在标准范围内，但距离最优值 5.46 存在优化空间。

根据逆卡诺循环制冷系数，提升冷冻水出水温度，可提升制冷效率，降低冷冻机能耗。现设定出水温度为 6.5 ℃，按照 0.1 ℃ 梯度依次上调冷冻机出水温度，夏

季提升至 7.5 ℃, 冬季提升至 7.8 ℃, 制冷效率达到最优值 5.46。温度调整后对品质进行确认无异常, 最终得出夏季冷冻机出水温度设定为 7.5 ℃, 冬季设定为 7.8 ℃, 改善后可节约冷冻机用电量 32.3 万(kW·h)/a。

继续对冷冻水的传输过程进行分析, 通过检查冷冻水管保温棉状态, 用热成像仪对管道表面进行温度测量均为正常状态。继续对冷量的使用过程进行分析, 理论上, 制备的冷量=保温层固定损失冷量+空调器使用冷量, 但通过实际数据计算, 单日制冷量却大于保温层损失冷量与终端需求量之和。

经过深入分析及调查, 生产结束冷冻机关机后, 停留在管道内的冷冻水携带的冷量, 随着时间推移逐渐上升至常温, 存在冷量自然散发的浪费。根据空调器设备在单位时间内的冷量需求, 结合输送管道的长度、管径测算出管道中冷冻水的残留冷量, 依据供需关系计算可得, 残留冷量可维持空调器设备生产 24 min。制定对策, 在生产结束前提早 24 min 关闭冷冻机, 但水泵维持冷冻水继续循环, 可有效利用管道中的残留冷量。改善后, 冷冻机制冷效率提升 0.93%, 冷冻水利用率提升 2.24%, 约节省生产用电量 51.7 万(kW·h)/a。

3 结语

在汽车生产制造工厂, 涂装车间的能源成本占比 60%左右, 涂装车间是落实降本增效、节能降耗的关键区域。车间重点能耗设备如烘干炉、空调器、冷冻机等, 都存在着一定设计上的能源浪费, 具有提升能源效率的空间。本文介绍了削除烘干炉强冷段空耗浪费、作业场空调变频控制、涂装室送风量精细化管理, 以及冷冻机冷冻水冷量极限利用, 在确保漆膜质量与生产节拍的前提下, 实现了能源效率的阶梯式提升。实践表明, 设备设计冗余与运营管理粗放, 造成的能源浪费普遍存在, 通过精细化能效诊断与针对性改善, 单台整车涂装电耗可有效降低, 直接经济效益提升显著。这不仅为企业响应国家“碳达峰、碳中和”目标提供了可量化的实施路径, 更通过能源成本集约化重构了产品的市场竞争优势。

当前, “双碳”目标已深度融入制造业转型升级进程, 涂装车间作为能耗密集区, 其能效水平直接关乎企业 ESG 表现与可持续发展能力。节能降耗并非简单的成本压缩, 而是通过技术迭代释放资源潜力、精细化运营管理等系统性工程, 提高能源效率, 提升企业核心竞争力。本研究中的改善措施具备较强的行业普适性与可复制性, 可为同类工厂提供降本增效的改善方向及解决思路。

面向未来, 企业需将能源效率提升纳入长期战略, 持续跟踪新兴节能技术, 构建全员参与的精益能源管理体系, 在保障产品质量与生产安全底线的同时, 以更绿色的制造模式履行社会责任, 为国家制造业高质量发展注入持续动能。

参考文献:

- [1] 迟兆武, 马力, 王升建, 等. 汽车涂装烘干设备节能减排措施浅析[J]. 现代涂料与涂装, 2022(5): 31-33.
- [2] 侯学智. 涂装车间节能技术研究与应用[J]. 现代涂料与涂装, 2022(2): 48-53.
- [3] 顾士涛. 汽车涂装车间能耗分析与节能技术[J]. 现代制造技术与装备, 2020(8): 184-185.
- [4] 罗文平. 浅谈涂装车间节能措施[J]. 现代涂料与涂装, 2020(3): 58-59.
- [5] 简云久, 杨海先, 郑敏, 等. 浅谈汽车涂装节能减排技术的应用[J]. 中国设备工程, 2020(S2): 142-143.
- [6] 周康渠, 邹冰倩. 汽车涂装车间节能方法研究与应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016(1): 37-42.
- [7] 李宝水. TPS 在汽车涂装能耗管控中的应用与研究[J]. 现代涂料与涂装, 2014(1): 42-44.
- [8] 田文彪, 魏明, 尹娟, 等. 汽车制造企业能耗分析及节能新技术[J]. 节能, 2007(11): 21-23.
- [9] 李国波, 朱永勇, 张国忠. 汽车涂装车间节能措施探讨[J]. 汽车工艺与材料, 2008(3): 35-36.
- [10] 濮国尧, 余新利, 王宏, 等. 汽车涂装工艺(II)[J]. 涂料技术与文摘, 2006(11): 7-9.

(上接第 20 页)

- [2] 田身坤, 王绪锋, 刘志军, 等. 燃气触媒红外加热设备在工程机械涂装中的调试应用[J]. 现代涂料与涂装, 2021, 24(12): 54-57.
- [3] 高海军, 华云, 潘雷亮. 电泳漆膜局部烘烤不良的影响因素及解决措施[J]. 汽车工艺与材料, 2010(5): 16-18.
- [4] 孙颖, 邓袁元, 曹祖军, 等. 电泳漆膜烘干不良的原因分析与改善[J]. 现代涂料与涂装, 2023, 26(1): 37-39.

- [5] 曹晓根, 冯擎峰, 胡铮楠. 汽车涂装烤房工艺设置探讨[J]. 电镀与涂饰, 2018, 37(20): 939-942.
- [6] 王海军, 马骏, 张中周. 浅谈涂装烘干室的设计结构及原理[J]. 汽车实用技术, 2020(18): 159-161.
- [7] 李昂, 黄鹏, 韩俊, 等. 某商用车驾驶室电泳烘干炉的设计分析[J]. 工业炉, 2025, 47(1): 46-51.
- [8] 王锡春, 吴涛. 涂装车间设计手册[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2019.