

浅谈汽车涂装车间输送系统设计

张延虎, 刘洪涛, 陶禹, 马春斌, 朱本正, 彭晔, 吉晓雄

(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300113)

摘要: 在汽车制造智能化转型背景下, 涂装车间输送系统作为贯通前处理、电泳、喷漆与烘干等核心工艺的“物流中枢”, 其设计直接影响生产线的效率、质量与投资回报。本文系统探讨了现代涂装输送系统的设计方法, 从精准的输入参数出发, 深入分析了前处理、电泳、喷漆、烘干及底涂工艺段对输送设备的独特需求, 并阐述了主流输送技术的选型与布局策略。同时, 文章论述了工件交接、控制系统、安全防护等方面的设计要点, 旨在为涂装车间输送设计提供一套科学、合理的参考, 助力涂装装备向精益化、智能化发展。

关键词: 涂装车间; 输送系统; 设计; 摆杆输送机; 工件交接

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2026)03-0069-04

A Brief Discussion on the Design of Conveyor System in Automotive Painting Workshop

ZHANG Yan-hu, LIU Hong-tao, TAO Yu, MA Chun-bin, ZHU Ben-zheng, PENG Ye, JI Xiao-xiong

(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300113, China)

Abstract: Against the backdrop of intelligent transformation in automotive manufacturing, the conveyor system in a painting workshop serves as the "logistics hub" that integrates core processes including pre-treatment, electrophoresis, painting, and oven, its design directly impacts production line efficiency, quality and return on investment. This paper systematically explores the design methodology for modern painting workshop conveyor systems. Starting from precise input parameters, it thoroughly analyzes the unique requirements of the process segments, pre-treatment, electrophoresis, painting, oven and PVC primer conveyor equipment, and elaborates on the conveyor selection and layout design. Furthermore, the paper discusses key design considerations regarding body transfer, control systems, safety protection. The aim is to provide a scientific and rational reference for painting workshop conveying system design, thereby supporting the advancement of painting equipment toward lean and intelligent manufacturing.

Key words: painting workshop; conveyor system; design; pendulum conveyor; body transfer

0 引言

汽车涂装车间是汽车制造过程中的关键环节, 其生产效率和涂层质量直接影响汽车的整体品质。涂装车间输送系统, 作为贯通前处理、电泳、喷漆与烘干等核心工艺的“物流中枢”, 承担着工件传输、工艺衔接与

节拍控制的核心任务。其设计的科学性与合理性, 不仅直接决定了生产线的整体运行效率和产品质量稳定性, 更对项目的长期投资回报产生深远影响。本文将从设计输入、输送机设计要求、控制系统设计、安全防护设计等方面展开探讨, 为涂装输送系统设计提供科学、合理的参考。

1 设计要求

稳定性要求: 输送机在运行过程中应保持平稳, 有效抑制因振动、冲击等因素引起的异常波动, 防止由此引发的设备故障或生产安全事故。设计时需对结构稳

收稿日期: 2024-06-26

作者简介: 张延虎(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事涂装车间机械化输送系统研发工作。E-mail: zhangyanhu@scvic.com.cn。

定性进行系统分析与优化。

可靠性要求:输送机应具备高可靠性,确保在长期连续运行中性能稳定。需选用高品质关键零部件与先进制造工艺,以提升设备整体可靠性并延长使用寿命。

承载能力要求:输送机须满足待处理工件的实际承载需求。应根据工件尺寸、质量等参数精确计算承载负荷,并据此选配匹配的驱动装置与传动系统。

精度要求:输送机在定位与输送过程中应达到较高精度。需采用可靠的定位机构与高精度控制系统,确保其定位精度与输送精度符合涂装工艺标准。

2 设计输入

设计输入是输送机设计的基础与首要环节。开展设计前,需全面掌握涂装车间的实际生产条件,具体包括工件尺寸、质量、涂装工艺及生产节拍等关键参数。

工件尺寸:需依据工件在实际生产状态下的最大轮廓尺寸进行输入,例如车门、引擎盖等处于开启状态时的整体尺寸。同时,应注意多数涂装车间在人工操作工位会进行夹具更换,更换后工件姿态与尺寸可能发生变化,设计时需予以充分考虑。若车间要求随线生产备件或其他辅助小件,则需统筹备件框等载具尺寸,确保全线通过性。

负载与预留:车间规划阶段应对工件的通过尺寸与质量设置合理余量。余量过小可能影响生产柔性,余量过大则会导致驱动功率计算结果显著增加,造成不必要的设备投资与能耗上升。

工艺与节拍:应根据具体产品标准选用对应的涂装工艺流程。生产节拍需结合车间年产量计划、设备开动率及实际生产安排综合确定,明确净生产节拍与毛生产节拍,为系统设计提供准确依据。

总之,应在设计前期充分收集与分析各项输入条件,明确设计目标与技术边界,为后续详细设计奠定可靠基础。

3 常见输送系统设计

各输送系统设计是汽车涂装车间输送机设计的核心环节。首先,根据设计输入,确定输送机的最大驱动功率、运行速度、定位精度等关键参数;然后,根据这些参数,选择合适的输送机形式,如链式输送机、带式输送机、摩擦输送机、滚床等,进行输送机的整体布局设计,确定输送机的长度、宽度、高度等尺寸参数,以及输送机的支撑结构、驱动装置、传动系统等部件的设计。在设计过程中,需要遵循结构简洁、紧凑、稳定的原则,以确保输送机的正常运行和使用寿命。

3.1 前处理电泳工艺输送

前处理电泳主要工艺为洪流水洗、预脱脂、脱脂、水洗、表调、磷化(或者硅烷、薄膜)、纯水洗、沥水、电

泳、超滤水洗等工艺段,环境湿度大、腐蚀性强,生产环境非常恶劣。

目前常用的输送系统为:EMS、积放链输送机、摆杆输送机、翻转输送机。其中积放链输送机和摆杆输送机是连续输送,EMS为间歇运行,翻转输送机可以连续运行也可以间歇运行。输送形式的选取要根据工件的质量、产能和输送线的规划长度确定。EMS的输送节拍较慢(一般20 JPH以下)、产能较低,但承载能力较好,主要应用于乘用车和小型客车生产线,积放链输送机、摆杆输送机和翻转输送机主要用于乘用车生产。

摆杆输送机主要由出入口钢结构塔、出入口滚床、摆杆、轨道、输送牵引链以及导电铜排等部件组成。主要承载部件(例如入口塔)可利用有限元分析软件,对整体进行强度和刚度分析,如图1所示。

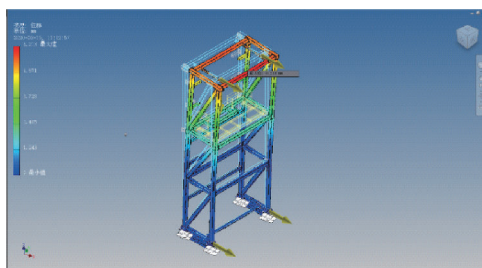


图1 入口塔受力分析

智能小车式翻转输送机主要由智能小车、轨道、滑触线、小车回转装置、出口转接装置等部件组成。在连续生产模式下,无论是采用链式输送机还是单体智能小车输送机,确定输送节距是关键,应根据工件的长度和高度确定输送节距。链式输送机(如积放链、摆杆输送系统和链式翻转输送系统)在确定节距后,整线长度需要根据节距进行圆整,圆整后链条总长度作为后续设计的固定参数。而采用单体智能小车的翻转输送系统,其可以根据生产变化,灵活调整生产节距和生产速度,具有高度的智能化与柔性化。节距锁定后,根据工艺时间计算前处理电泳设备的线体长度和槽体外形。目前大部分工程设计公司均配备相应的轨迹软件来完成此项工作,相对于传统的手绘,轨迹的准确性和高效性得到大幅提高。

摆杆和翻转输送系统参考轨迹如图2~3所示。根据输入的生产节拍和输送节距,确定输送机的链速,并根据工件质量和输送速度,计算输送机的驱动功率。根据驱动装置的结构形式,选择输送系统的驱动电机输出转速。输送机的安装方式和位置应提供给前处理电泳设备专业人员,确保输送机轨道吊挂或支腿位置的强度和刚度满足运行要求,最终形成合理、可行的设计

方案。



图2 摆杆输送系统轨迹

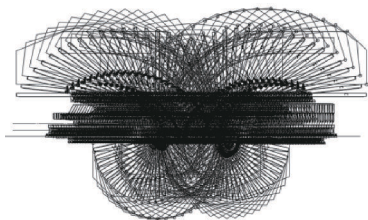


图3 翻转系统轨迹

3.2 喷漆室内输送

喷漆室体内环境要求对温度、湿度进行精确控制,具有高标准的空气洁净度、良好的照明条件、通畅且过滤良好的空气流通系统,以及严密的安全防护措施和环保处理设施。喷漆室体空气循环特点为上部送风、下部排风。输送机处于室体下部,在喷漆室体的回风区域,部分废漆雾会穿过输送机排放至漆雾捕捉装置,因此输送机所处的环境较为恶劣,大量的废漆雾会堆积在输送机的格栅、侧板与传动部件上。设计时要充分考虑环境特点,结构设计力求简练、紧凑,避免积漆。目前常采用连续式输送与间歇式输送,或者两种输送形式相结合,对应的输送机分别为高护板密封滚床和喷漆双链输送机。喷漆双链输送机为连续输送,要根据自动喷漆机器人的喷涂间距要求设置工件节距。喷房入口的交接滚床位置实现输送节距调整功能。喷漆双链的驱动装置功率的计算与链式输送机相似,根据工件节距、工件质量以及链条自身质量计算出驱动功率,选择合理的输出转速,并对电机的输出扭矩进行校核,确保满足驱动要求并留有一定的富余量,为后续项目提产提供可能性。滚床主要用于间歇运行方式,需要根据机器人的喷涂时间要求,反向推算出滚床节拍要求,根据工件的输送距离计算出滚床的输送速度,根据输送速度和工件质量计算出滚床的驱动功率。间歇运行要求工件定位精度高,需要配合定位装置使用。由于喷漆区域为防爆区域,需要采用防爆电机或者将驱动电机拉出至室体以外,并且驱动电机附近2 m区域内不能设置开门,以满足防爆标准要求。输送机的电机通过万向联轴器拉出至室外,设计中要避免与喷漆室体的承载钢结构干涉,或者在联轴器位置预留安装空间。

3.3 烘干室内输送

烘干工艺主要用于漆膜的固化,室体内的环境温度通常较高,因此输送机需要满足高温环境的使用需求。目前常用的烘干输送方式为烘干双链和反向单轨输送机。烘干双链输送机的链条为上下返回、直线输送,因此采用烘干双链的烘干炉一般为直通炉。反向单轨输送机的链条可通过导向轨道自由回转,因此一般用于有转向需求的烘干炉。烘干双链节距通常较短,设计时要注意转接滚床的速度,避免速度过低不满足节拍需求,又要避免速度过高造成高低速差距较大而引起电机异常。烘干双链设计时要同时考虑驱动装置、加油系统和配重架的位置,避免与周边设备(如室体门、立柱等)干涉,必要时驱动电机可选择直立形式安装,以节省空间。反向单轨输送机设计时要充分考虑输送机布置灵活的特点,根据车间的布局情况合理设置驱动和张紧装置的位置,并尽量减少空载段的长度;反向单轨输送的台车车架尺寸要合理,并尽量减少质量以减少运行能耗;为减少运行故障,在载荷比较大的烘干炉体内的回转段需要预留专用的基础板以确保输送机运行稳定。其他也可用在烘干室体内的输送形式有高温滚床、垂直地面链输送、辊子输送机等。

3.4 PVC底涂输送系统

底涂工位一般采用空中输送机形式,目前较为常用的是空中滑橇输送和空中摩擦托盘式输送。由于需要和地面输送机进行工件转接,因此需要根据工件在滑橇和吊具上的支点要求,选择合适的转接方式。如果车身在滑橇和吊具上有不同的支撑位置,则可以考虑直接用升降机等设备直接过渡;如果要求车身在滑橇和吊具上的支点完全一致,则转接时必须考虑过渡装置,通常配置为侧顶机形式。选用空中滑橇输送系统时,由于吊具尺寸较大,要考虑吊具的返回空间是否足够,避免返回时和底部的工件或者滑橇产生干涉。摩擦托盘式输送近年来得到广泛的应用,主要源于支撑工件的托盘高度较低,托盘返回时可直接在室体顶部或底部返回,节省大量空间。另外,如果工件的支撑形式较为复杂,吊具设计时可考虑采用支腿旋转形式,以避免不同车型支撑之间的互相影响。

4 工件转接设计

涂装车间的工件转接主要存在于焊装载具到涂装载具之间、涂装底漆载具和面漆载具之间以及涂装载具到总装载具之间,另外空中输送机与地面输送机之间也存在工件转接需求。地面输送设备之间的工件转接一般有两种形式:通过侧顶机在同一工位换载体形式、通过移载机直接转运工件形式。换载体形式设计时要注意核算生产节拍,并注意侧顶机的行程,要求工件

升到高位时,载体要能自由的基础转接位置。移载叉转接形式要注意两侧输送线体的间距,最好转接时能在移载机上保留一个中间停止位,这样可有效地提升转接的节拍;同时避免间距过大,叉体刚度不足时接送工件过程中会下沉较多,容易造成干涉。空中输送机 and 地面输送机之间的转接一般采用升降机形式,同时要注意避免转接过程中吊具和地面载具产生干涉。

5 控制系统设计

控制系统设计是输送机设计的关键环节。一个先进的控制系统可以提高输送机的自动化程度和生产效率。在控制系统设计过程中,采用先进的控制技术和算法,实现对输送机的远程监控和控制。首先,确定控制系统的总体架构,包括硬件和软件两个方面。然后,根据实际需求,设计控制系统的各个功能模块,如运动控制模块、安全监控模块、故障诊断模块等。接下来,进行控制系统的编程和调试工作,确保控制系统的稳定性和可靠性。在控制系统设计过程中,需要注重系统的易用性和可维护性,以方便操作人员的操作和维护。控制架构有传统的集中式控制和分布式控制模式两种,具体选型要满足业主的需求。不同的控制架构对于输送设备的电机选型也有不同的要求,设计时机械和控制设计人员要充分沟通,避免选型错误。

6 安全防护设计

安全防护设计是汽车涂装车间输送机设计的重要组成部分。涂装车间输送系统涉及大量运动部件,必须建立完善的安全防护体系。在安全防护设计过程中,需要充分考虑操作人员的安全需求,设计合理的安全防护措施。安全防护措施主要包括以下方面。

安全光栅:在人员可能进入的区域设置安全光栅,检测到人体进入时立即停止设备运行。

急停按钮:在输送线沿线每隔一段距离要设置急停按钮,确保操作人员能够快速响应紧急情况。

防坠落装置:对于高空的悬挂式输送系统,底部要设置防护网,防止吊具或小零件等意外坠落。

安全连锁:在维修门、维修撑杆等位置设置安全连锁开关,确保设备在防护装置打开时无法启动。

安全装置的设计原则是要把生产人员隔离在输送机运行范围之外,确保绝对安全。在设计过程中,首先根据涂装车间的实际情况,确定需要设置的安全防护区域和防护措施,有重大安全风险的设备(如升降设备)要注意隔离完全,出入口要设置安全光栅或光幕防护;然后,设计相应的安全防护装置,如安全护栏、紧急停机按钮、安全警示标识等;接下来,项目实施过程中进行安全防护装置的安装和调试工作,并反复测试以确保安全防护装置的有效性。在安全防护设计过程中,

需要遵循安全第一、生命至上的原则,确保车间内所有人员的安全。

7 结语

涂装车间输送机设计是一项复杂而重要的工作。实践表明,只有在设计阶段充分考虑工件的实际尺寸与质量变化、合理规划生产节拍、精准匹配各工艺对输送精度和承载能力的需求,并严格执行结构强度校核、轨迹优化、防积漆处理、速度匹配等细节设计,才能有效避免运行中的干涉、故障与质量缺陷。一个设计合理的涂装车间输送机系统,不仅可以提高生产效率和生产质量,还可以降低生产成本和故障率,达到设计的精益化。在开展涂装车间输送系统设计时,应继续坚持从精准输入出发,深入分析各环节需求,注重细节把控与安全防护,不断总结经验,优化设计方法,为建设高效、稳定、安全的现代化涂装生产线提供坚实可靠的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王哲.浅谈涂装车间的规划与设计[J].表面工程与再制造, 2022(6):41-43.
- [2] 吕威贻,贾思武,郭蕾,等.新能源汽车涂装生产线设计与规划[J].现代涂料与涂装,2023(12):56-59.
- [3] 贾永红,许能才,王兵,等.汽车涂装车间输送设备简介和规划布局[J].现代涂料与涂装,2023(11):16-18.
- [4] 高阳,鄢海新.车身涂装垂直摆杆输送链的设计流程与计算方法[J].现代涂料与涂装,2024(5):67-70.
- [5] 李华,王海军,王新峰,等.摆杆输送系统出口塔结构设计分析[J].现代涂料与涂装,2025(5):21-23.
- [6] 张延虎.汽车涂装线烘干常用输送方式的应用比较[J].科技致富向导,2011(20):258
- [7] 黄鹏,许健,戈北京,等.汽车涂装烘房输送方式的应用与分析[J].现代涂料与涂装,2025(2):66-68.
- [8] 郭冰涛.汽车涂装底涂输送方式的应用与分析[J].中国化工贸易,2019(20):152. ◆

(上接第 68 页)

- [7] 王宗文,倪建中.汽车车身涂装生产线的“三废”处理及能源的综合利用[J].现代涂料与涂装,2002(6):43-45.
- [8] 李琴,何明益.浅谈水性涂料涂装污水的处理方法[J].现代涂料与涂装,2019(12):44-46.
- [9] 冯德进,薛涛.浅谈涂装厂前处理污水资源的合理利用[J].现代涂料与涂装,2011(6):49-50.
- [10] 中国汽车技术研究中心.中国汽车产业发展报告(2023) [M].北京:社会科学文献出版社,2023. ◆