

工程机械超长工件涂装自动化创新技术研究与应用

鄢海新

(常州市安佳涂装设备有限公司, 江苏 常州 213126)

摘要: 工程机械涂装工艺特点是工件质量大、尺寸超长。工程机械零部件如臂架、油缸, 轻重卡整体车架、铝合金轨道等自动化涂装生产线一般由十几道甚至数十道工序完成, 受厂房场地限制, 不可能在一条直线上完成全部工艺。而超过 9 m 的工件, 在柱距 6~9 m 跨距的车间水平转弯几乎不可能。工艺设计解决了超长工件水平回转轨迹面积大, 水平回转难, 实现上下线、前处理电泳、烘干、柔性化生产等技术难题。本文论述了超长工件水平转向核心技术及超长工件 90° 平移换向的实现方法, 并重点结合实际经验, 给出了超重超长工件抛丸、前处理电泳、表面喷涂工艺等涂装自动化工艺布局解决方法, 详细论述了超长工件涂装自动化输送系列产品创新技术研究与应用。

关键词: 工程机械涂装; 超长工件; 涂装自动化

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)09-0035-04

Research and Application of Automatic Innovation Technology in Painting of Construction Machinery Extra-long Workpiece

YAN Hai-xin

(Changzhou Anjia Painting Equipment Co., Ltd., Changzhou 213126, Jiangsu, China)

Abstract: The characteristics of the coating process for construction machinery are large workpiece weight and extremely long dimensions. The automated painting production lines for construction machinery parts such as booms, cylinders, integral frames of light and heavy trucks, and aluminum alloy tracks are generally completed through tens or even dozens of processes. Due to the limitations of the factory site, it is impossible to complete all the processes in a straight line. However, for workpieces over 9 meters in length, it is almost impossible to make horizontal turns in workshops with a column spacing of 6 to 9 meters. How can the process design solve the problem of large horizontal rotation trajectory area of extra-long workpieces and achieve horizontal rotation, as well as technical challenges such as line loading and unloading, pretreatment electrophoresis, drying, and flexible production. This paper discusses the core technology of horizontal steering for extra-long workpieces and the implementation method of 90° translation and reversing for extra-long workpieces. Based on practical experience, solutions for the layout of automated coating processes such as shot blasting, pretreatment electrophoresis, and surface spraying for overweight and extra-long workpieces were provided. The research and application of innovative technologies for the series of automated conveying products for extra-long workpieces were elaborated in detail.

Key words: coating of construction machinery; extra-long workpiece; painting automation

收稿日期: 2024-04-19

作者简介: 鄢海新(1965—), 男, 本科, 正高级工程师, 主要从事汽车涂装、总装、焊装及工程机械大型综合复杂自动化生产线的设计与研制工作。E-mail: yhx92106@163.com。

0 引言

随着国内工程机械中高端需求和海外市场产销的迅速发展, 产品外观质量要求不断提高。产品外观质量调查发现, 主要问题是工程机械零部件锈蚀老化。提高工程机械零部件产品外观质量的有效措施是对工件进

行表面处理,涂装涂层保护,焊缝涂胶工艺处理。

工程机械零部件特征是质量大、尺寸超长。以钢结构件为主,形状不规则,其质量从几百公斤到几吨甚至十几吨。结构体长度尺寸大,从几米到十几米。例如工程机械起重机车架,大臂、缸体、达到 10 m、13 m、18 m。自动化涂装生产线一般由十几道工序甚至数十道工序完成,受厂房场地限制,不可能在一条直线上完成全部工艺。而超过 9 m 的工件,在柱距 6~9 m 跨距的车间水平转弯几乎不可能。实现超长超重工件涂装自动化生产工艺规划首先要解决工件的吊挂、输送、升降、回转、在线存储等问题。工程机械臂架、轻重卡整体车架、铝合金轨道等的涂装处理都属于长杆件涂装处理方式。本文阐述一种工程机械超长工件实现涂装自动化、柔性化生产创新技术与设计应用。

1 超长工件典型涂装工艺规划

超长工件涂装自动化设计,首先要设计工件通过性,其次确定设备能力比如抛丸、喷漆通过的产量(JPH)、输送设备能力比如承载能力、运行能力、生产咽喉部位的产量(JPH)、非标工艺设备处理能力,最后

才能确定整个合理可行的工艺方案。规划设计选型合理才能达到投入产出最高性价比,运维成本低,使得设备在全生命周期中有限的使用期限内发挥最大的效益。

工程机械钢结构零部件表面处理方式其一,进行机械处理,完成打磨、抛丸、喷砂工艺;其二进行化学处理,前处理包含喷淋或浸渍清洗、磷化或硅烷、薄板件电泳底漆,完成前处理后再进行表面喷漆工艺、厚板件表面喷粉工艺。对于质量大、超长工件,提高涂装质量,降低工人劳动强度,实现大规模生产,最重要的改进措施是采用自动化涂装生产线工艺。

以工程机械某钢结构超长工件典型产品涂装自动化实现途径为例,工件设计产能 90 JPH,双班生产,每班 12 h 工作制,设计生产节拍 6 min,最大工件尺寸 18 000 mm×700 mm×700 mm(长×宽×高),最大件单体质量 11 000 kg;采用特重型悬挂积放式输送机,单车承载能力 4 000 kg,四车组型式组挂;上下件采用举升台车与人工辅助挂件的方式。按着最大工件通过性能力设计工艺线路。涂装工艺循环过程如图 1 所示。

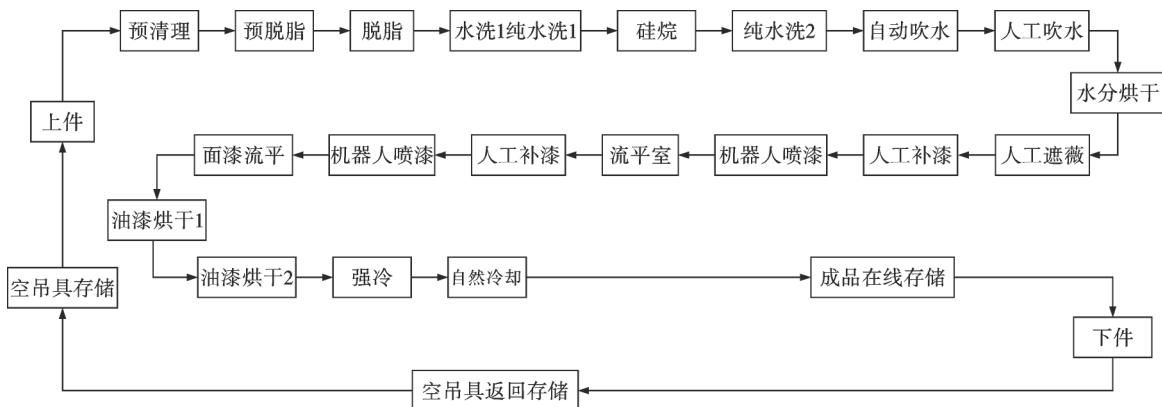


图 1 典型超长工件涂装工艺流程

2 超长工件水平转向核心技术

无论轻型超长工件,还是重型超长工件涂装线,比如铝合金轨道、轻重型车架、高压变电箱体、起重机大臂、缸体等喷涂生产线规划之初,首先要解决工件水平回转技术问题。通过作图轨迹分析发现,长杆件水平回转扫过的水平投影面积很大,安装立柱跨距大,吊装辅助梁截面大,受输送机轨道半径的影响,以及厂房建筑立柱间距的限制,大于 9 m 的长杆件很难实现跨柱水平回转,十几 m 的工件根本就实现不了水平回转。解决措施,利用积放式输送机双层轨道特点,90°平移积放功能的特有特征,实现超长工件 180°平移换向。从而解决了超长工件诸如上件、下件、喷涂、在线存储、转

向,尤其是优化了前处理、烘干炉超长能耗消耗的经济性问题。

3 超长型杆件 90°平移转向实现方法

首先,进行线路设计,设计一组平行的平移换向线路,确保两条线的水平弯道半径一致,直轨段一致,即小车队行走路径完全一致;其二,工件吊挂车组为 4 车组型式,前后 2 组承载车分别由前、后小车组成的一对承载车组成。必须采用双层承载梁的吊挂方式,两层承载梁都能实现水平自由转动;其三,进出平移换向轨道设置分支道岔也称有控道岔和合流道岔一组;其四,利用主线牵引链条推杆绕入绕出方式完成该区域牵引链条的布置。

运行原理：牵引链条推杆与第一组的前小车啮合沿着直轨道前行，触发分支道岔开关，给出道岔直行指令动作，当前一车组越过分支道岔后，触发分支道岔瞬时开关，给出道岔分支行驶指令动作，道岔舌板打到分支位置，后面的小车队则进入第二弯道。这里，链条推杆为线路上同一条链条，不需要辅助动力。设计要点：两条平移轨道中心距与承载小车第二层梁承载销中心距一致，确保前后车组进入两条轨道不产生额外阻力；链条推杆间距的设置确保后一车组的前小车到达分支道岔位置正确啮合，此时同一主链条上的两个推杆同时作用在两条平行运行的两组小车上做功，无需其他辅助动力。在两条平行的轨道上两个推杆同步驱动小车向前运行。采用该方式必不可少的措施是要设置链条推头调节装置，供调试阶段和后期链条磨损伸长调节链条推杆的啮合位置之用。

4 超长工件前处理工艺布置

工件前处理各工艺处理可以采用槽体直线排列方式，但是超长工件的槽体占地长度很大，应用上述技术实现方法，可以实现工艺槽体、喷淋室体斜向布置、或者 90° 方向布置，完成工件水洗、浸渍、喷淋、磷化、电泳、纯水洗等工艺处理。当采用斜向积放角度布置有两种： 45° 和 60° 积放，牵引链条完全按着斜向积放布置方式，后一车组在付轨道上不需要链条牵引。当采用 90° 平移积放时，设计前后两车组都需要有链条推杆同步牵引。 90° 平移积放垂直布置不仅大量减少占地长度，而且布局空间紧凑，处理更加方便，更加节能，有效节约管路长度，减少了空调等设备长度，极大地减少了VOC有机废气处理能源消耗。工件浸槽的实现方式：积放车组下方挂环链葫芦，槽体上方沿输送轨道设置滑触线解决葫芦供电问题。

5 超长工件烘干工艺布置

工程机械长杆件烘干设备有前处理电泳工艺的底漆烘干炉、面漆烘干炉、喷粉固化烘干炉。烘干炉是涂装生产线耗能最大的工艺段，还要对燃烧的废气收集进行排放环保处理。对涂装工艺节能降耗最能体现的环节就是烘干炉。例如18 m长的工件，6 min的生产节拍，烘干炉内需要存放7个工件，底漆烘干工艺一般油漆需要40 min的烘干时间，烘干炉体有效烘干长度需要130 m，如此长度的排布工艺，不但影响其他工艺的布局，而且工件在烘干炉内转弯不可能实现。采用积放输送线 90° 平移积放功能实现烘干工艺，或者采用 45° 斜向积放的方式实现烘干工艺。 45° 斜向积放烘干炉体长度可以减少43%， 90° 平移积放烘干炉可以减少烘干炉长度达80%，成倍降低了RTO废气处理设备规模，减少了RTO设备投入，降低了生产过程能源消耗。

超长工件 90° 平移积放烘干炉工艺布置见图2，超长工件 45° 斜向积放烘干室工艺布置见图3。

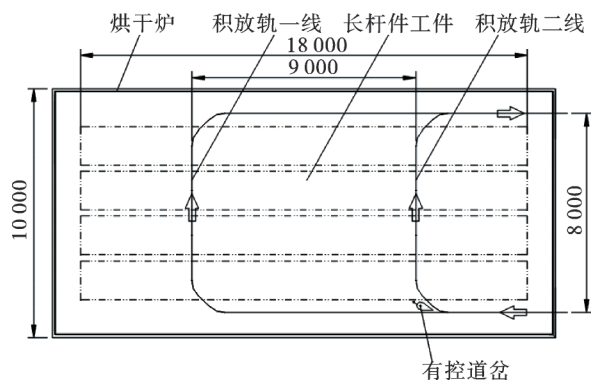


图2 超长工件 90° 平移积放烘干炉工艺布置

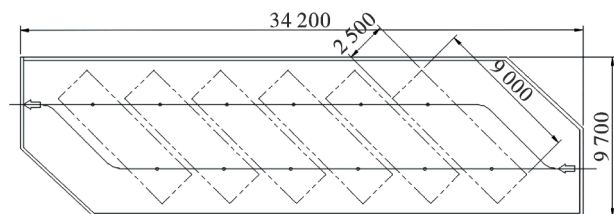


图3 超长工件 45° 斜向积放烘干室工艺布置

90° 平移积放烘干炉位置，一般设置在工艺线路端部水平 180° 转弯处。需要注意一点，经过 90° 平移积存工件出烘干炉，工件完成了前后掉向，两侧面换向，进行下一道工艺处理，此时工件的尾部变成了前部，左右面进行了换面，适合烘干前后工序不需要强制区分前后的工件。采用同一条链条的两个推杆实现积放车组同步平移换向，无需其他推车机、浆臂转辙器等机构和电气元件放在烘干炉内，解决了机械零部件、电气元件高温环境故障频发的问题，减少了系统故障源，提高了系统运行可靠性。

6 超长工件上、下件

超长超重工件上、下件工位，一般采用地面台车来去件的方式实现。地面台车以固定的线路往复运行，自动到位，视具体工艺台车升降或者输送线设升降机实现工件上下线。大型超重工件多是采用柔性铰接挂钩的方式起升重物，自动完成需要复杂且造价较高的机械手才能实现。辅助以人工摘挂钩的方式，达到上下线工位性价比最高。超长工件上下线工位可以设置在输送线的两端，采用 90° 平移积放的方式，既方便工件进出，又避免工件水平旋转，完成上、下线动作，布置在工艺线路两端，工件平移换向进入工艺主线。

7 超长工件喷漆、喷粉工艺布置

超长工件喷漆或者喷粉工艺，工件外表面全部或

者部分喷涂,不宜采用斜向积存和 90°平移积存的方式,采用直线运行的方式便于人工或者机器人接近工件表面。当设计为连续运行机器人自动喷涂的方式时,喷漆室设计慢速工艺链实现,主线链条推杆侧面绕出喷漆室,设置慢速推车链实现。喷漆室内链条驱动电机、电器元件需要防爆设计。处于工件上方的链条需要润滑,对喷漆工件带来污染,需要防护处理。另一种输送方式采用摩擦驱动,避免了因链条润滑油脂带来的污染,但是需要注意,摩擦驱动带来的弊端,摩擦驱动有打滑现象,造成工件表面喷漆、喷粉不均匀,严重影响喷涂质量。

摩擦驱动打滑因素:1)运行小车内润滑油溢出滴落在摩擦轮表面,造成运行工件打滑;2)摩擦轮与摩擦杆摩擦产生污染、硬物划伤,造成工件运行打滑;3)摩擦轮磨损,量变过程不易觉察造成工件运行打滑;4)摩

擦驱动预紧压力弹簧压紧力不足,渐变过程不易察觉到,工件运行打滑;5)摩擦轮与轨道安装不标准,轨道不水平,摩擦轮不水平,造成工件运行不平稳。

8 超长工件抛丸工艺布置

超长结构杆件抛丸喷砂工艺,工件外表面全部抛丸喷砂处理,不宜采用斜向积存和 90°平移积存的方式,采用直线运行的方式便于接近工件表面。当设计为连续运行自动喷砂的方式时,抛丸室设计慢速工艺链实现,输送链轨道车组等一般设在抛丸室顶部外侧,防止抛丸颗粒飞溅打到输送机上。主线链条推杆侧面绕出抛丸室,设置慢速推车链实现。

9 超长工件积放悬挂输送机选型

按着承载能力,积放悬挂输送机(简称积放链)有 5 种形式的成熟技术选型,积放悬挂输送机种类参数性能对照见表 1。

表 1 积放悬挂输送机种类参数性能对照

项目	积放悬挂输送机名称				
	轻型积放链	3 in 积放链	4 in 积放链	6 in 积放链	特重型积放链
型号	WFJ50	WXTJ3	WXTJ4	WXTJ6	ZJF40
单车承载能力/kg	50	250	500	1 000	4 000
牵引链条型式	铰接链	模锻链 X-348	模锻链 X-458	模锻链 X-678	模锻链 X-458/X-678
牵引链条节距/mm	206	76.6	102.4	153.2	102.4/153.2
推荐输送机承载能力/kg	50~200	250~500	500~1 000	1 000~3 000	4 000~15 000
牵引轨型式	C 型封闭轨	工 8	工 10	工 10	工 10
链条需用拉力/kg	500	900	1 500	2 700	1 500/2 700
链条极限拉伸载荷/kg	6 000	10 900	21 800	38 600	21 800/38 600
承载轨型式	双 C 型轨 72×68	双槽钢 8#	双槽钢 10#	双槽钢 16#	双工字钢 12#/14#
运行速度/(m·min ⁻¹)	0.5~18.0	0.5~18.0	0.5~18.0	0.5~18.0	0.5~15.0
积放轨道截面尺寸(宽×高)/mm	190×285	365×400	410×570	510×610	510×700
输送机极限长度/m	200	350	450	600	500
最小水平回转半径/mm	300	300	450	600	600
实现斜向积放功能	具有	具有	具有	具有	具有
实现 90°积放功能	具有	具有	具有	具有	具有

每种积放链对应的小车组、轨道、链条拉力、承载能力不同。合理的选型既是保证功能又是降低系统成本的首选。前处理电泳线的环境比较恶劣,牵引链条、轨道以及承载小车在高温、高湿、腐蚀性气体环境作业,经验表明输送机选型一般按着额定载荷满足的情况下,高一级别选用,运维成本较低,使用运行效果更好。比如 500 kg 工件,加上吊具在 800~1 000 kg,4 in 积放链可以满足设计需求,但是选用 6 in 积放链使用效果更好,一是使用耐久,故障率低,二是一条 X-

678 链条配备一套驱动即可,省掉了采用 4 in 链条双机同步驱动带来的复杂性。

10 超长工件自动化柔性化输送技术

采用悬挂积放式输送机,悬挂积放式输送机由上下双层轨道组成。上层轨道为动力轨道层,即链条推杆行走层,下层轨道为承载小车自由行走层。积放载货小车采用两车组型式,由前后两套承载小车组成,每套车组包含一个前小车,也称为积放小车,一个后小车,也称承载小车。前小车上有一个可活动(下转第 72 页)