

动车组空气弹簧检修自动化组装试验 生产线开发及应用

侯金涛 邸建财 刘孝峰 姚 伟

(中车长春轨道客车股份有限公司工程技术中心, 130062, 长春)

摘 要 [目的] 空气弹簧作为动车组转向架系统的核心组件, 其性能状态直接关联到动车组的运行效能与安全水平, 故有必要对动车组空气弹簧检修自动化组装试验生产线开发及应用进行研究。[方法] 介绍了动车组空气弹簧检修自动组装试验生产线开发及实际应用过程。将零部件上料自动化、扣环及胶囊预装自动化、胶囊与辅助弹簧自动化压装、上盖螺钉预拧自动化、上盖螺钉拧紧自动化、空气弹簧上下料自动化、生产线中控系统等先进技术引入到空气弹簧检修组装线中, 开发了一套完整生产线中控系统。[结果及结论] 实现了从生产指令接收、生产执行、生产物料防错防误和生产信息电子履历信息建立及追溯等功能, 实现了空气弹簧检修组装生产自动化。

关键词 动车组; 空气弹簧检修; 自动组装; 自动供钉; 自动拧紧; 中控系统

中图分类号 U270.38; U266.2

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2025.02.035

Development and Application of Automated Assembly Testing Production Line for EMU Air Springs

HOU Jintao, DI Jiancai, LIU Xiaofeng, YAO Wei
(Engineering Technology Center, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China)

Abstract [Objective] As the core component of EMU (electric multiple units) bogie system, the performance condition of air springs is directly linked to the operational efficiency and safety level of EMU. Therefore, it is essential to study the development and application of an automated assembly testing production line for EMU air spring maintenance. [Method] The development and practical application process of the automated assembly testing production line for EMU air spring maintenance is introduced. Advanced technologies, such as automated parts feeding, automated capsule pre-assembly and locking, automated pressing of capsules and auxiliary springs, automated pre-tightening and tightening of upper cover screws, automated obtaining and feeding of air springs, and a central control system for the production line, are incorporated into the

assembly line. A comprehensive central control system for the production line is developed. [Result & Conclusion] The system successfully implemented functions such as receiving production instructions, executing production, error-proofing and mistake-proofing of production materials, and establishing and tracing electronic records of production information, thus realizing automation in the maintenance and assembly production of air springs.

Key words EMU; air spring maintenance; automated assembly; automated nail feeding; automated tightening; central control system

高速动车组检修作业构成了高速铁路系统综合保障工程的关键环节, 对于确保动车组安全稳定运行及高效利用发挥着不可替代的作用。空气弹簧作为动车组转向架系统的核心组件, 其性能状态直接关系着动车组的运行效能与安全水平。鉴于此, 本研究致力于推进空气弹簧检修流程的数字化与信息化升级, 通过引入生产线组装自动化、螺钉拧紧自动化及气密性试验自动化等先进技术措施^[1], 旨在构建一个全方位数字化的空气弹簧检修作业线, 进而实现部件检修流程的全面数字化及智能化转型。

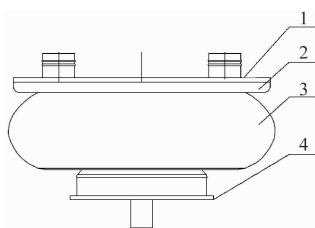
为积极响应轨道交通行业向数字化转型的战略导向, 本研究将数字化理念深度融入动车组部件检修产线的规划设计中。通过对北京、青岛等地既有空气弹簧检修产线进行实地考察与分析, 着手构建了一条空气弹簧自动组装数字化生产线。该生产线集成了机械手自动上下料系统、自动拧紧技术、自动供钉技术、自动涂胶技术及高精度视觉定位系统等先进技术功能, 从而达成了装配作业的全自动化执行、质量管控的智能化实施、信息数据的电子化记录及生产流程的透明化管理。通过各专用设备的精密协同作业, 实现了零部件在产线上的自动流转与高效装配, 有效减少了人为因素的干扰, 降低了操作人员的劳动强度, 并显著提升了整

体生产效率。

1 自动组装试验生产线开发

本研究旨在依据空气弹簧检修与组装工艺过程,设计并实施一条高度集成的自动化组装试验生产线。该生产线的核心目标是集成先进的技术装备,以实现零部件上料自动化、组装流程自动化、试验环节自动化、质量记录无纸化、产品档案电子化及生产过程透明化。

为实现空气弹簧组装及试验过程的全面自动化,深入研究了空气弹簧的结构(见图1)以及组装工艺过程。



注:1—上盖;2—扣环;3—胶囊;4—辅助弹簧。

图1 空气弹簧结构图

Fig.1 Diagram of air spring structure

本研究需攻克以下关键技术难点:

1) 零部件搬运自动化技术的研发:针对空气弹簧零部件的特性和需求,本研究将深入研究机械手技术、非标准准夹具设计以及零部件存放架的优化。通过创新设计,实现扣环、胶囊、上盖等关键零部件的自动上料,为后续的自动化组装流程奠定基础。

2) 部件组装自动化技术的实施:结合空气弹簧人工组装工艺的实际经验,本研究将致力于开发非标准准自动化工艺装备,以实现以下关键工序的自动化组装:①扣环与胶囊的预组装自动化;②胶囊与辅助弹簧的压装自动化;③上盖螺栓的预拧紧自动化;④上盖螺钉的复拧自动化。这些技术的成功实施将显著提高组装效率和产品一致性。

3) 质量管控智能化系统的构建:为确保空气弹簧组装过程中螺栓拧紧扭矩的准确性和气密性试验的可靠性,本研究将开发配备自动化拧紧轴和自动化气密性试验设备。自动化拧紧轴将实现扭矩及角度的精确控制,并在扭矩不达标时实时发出警报。自动化气密性试验设备将能够自动记录并上传试验数据,对不合格品进行报警提示并自动隔离至不合格区。

4) 产品档案电子化管理体系的建立:为加强空

气弹簧检修组装过程的质量控制,本研究将设计开发一套集成的部件检修系统。该系统将通过生产线中央控制系统进行统一调度,利用中间数据采集层将生产线中非标准准智能化设备产生的质量数据进行集中收集、保存和可追溯查询。这将为产品质量的持续改进提供有力支持。

5) 生产过程透明化管理系统的开发:为实现生产过程的全面透明化,本研究将构建自动化生产线的智能控制系统。该系统将结合生产任务和设备状态,自动分析并处理生产管理数据,为生产者提供即时、全面的生产信息。这将有助于生产者快速响应生产变化,实现生产过程的可视化和可控化。

2 设计方案及技术解决方案

为实现空气弹簧检修自动组装及测试流程,同时确保达到每日16个空气弹簧的生产能力,生产线设计采用了部件线体输送模式。此模式在线体输送路径上配置了7个固定作业站位,具体包括:辅助弹簧刚度测试工位、扣环及胶囊自动预装配工位、胶囊与辅助弹簧自动压装工位、螺钉自动安装及涂胶工位、上盖预装配及螺钉自动拧紧工位、空气弹簧自动气密性检测工位及上盖螺钉自动复拧工位。通过集成中央控制系统对各作业站位的统一调控,实现了生产线的全面自动化与数字化管理。空气弹簧检修自动产线布局图如图2所示。

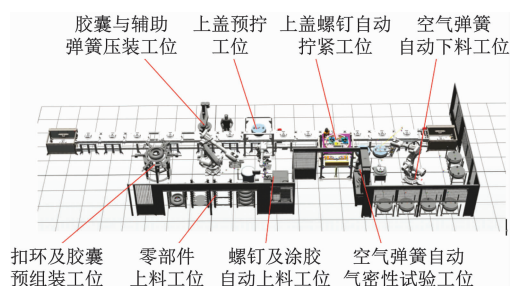


图2 空气弹簧检修自动产线布局图

Fig.2 Layout diagram of air spring maintenance automated production line

通过整合机械手技术、自动供钉系统、自动拧紧机制及视觉识别系统,并紧密结合零部件的具体结构特征与装配工艺要求,研发了一套非标准定制化的自动化工艺装备。该装备有效实现了零部件的自动化上料、组装及测试流程。空气弹簧自动化组装与试验的详细工艺流程如图3所示。

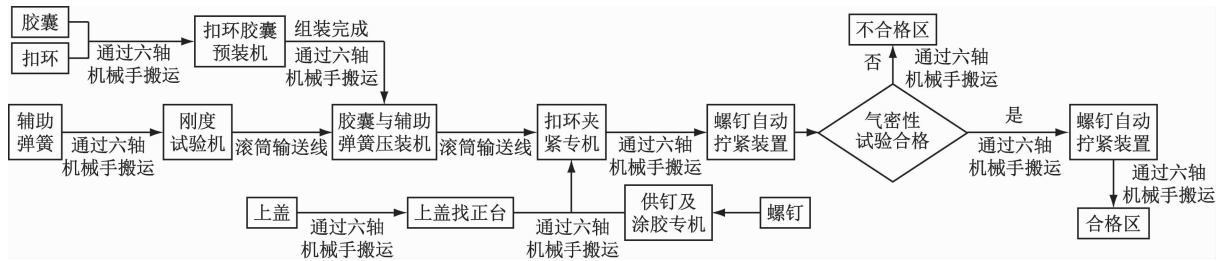


图3 空气弹簧自动化组装及试验工艺流程图

Fig. 3 Process flowchart diagram of air spring automated assembly and testing

2.1 零部件上料自动化

为实现零部件上料的自动化流程,需配置自动上料机械臂,并集成视觉识别系统,整体结构如图4所示。该系统利用机器人+非标准夹具组合模式,从存储料架上精准搬运物料,进而完成空气弹簧关键零部件(包括扣环、胶囊、上盖)的自动抓取、上料、翻转等一系列操作。此举显著减轻了操作人员的体力负担。



注:1—机器人;2—非标夹具。

图4 六轴机械手

Fig. 4 Six axis robotic arm

2.2 扣环及胶囊预装自动化

扣环与胶囊的预组装过程要求扣环内径小于胶囊外径,预装步骤涉及将胶囊的子口钢圈精准定位于扣环内径表面。根据以上部件结构,研发了一种非标准自动化装置,该装置能够首先对胶囊实施压缩处理,确保其缩小后的外径能够顺利穿过扣环内径,同时将胶囊子口钢圈精确安装至扣环内径面上,关于扣环胶囊预装机结构如图5所示。



注:1—上推杆机构;2—导轨连杆机构;3—下拉气缸。

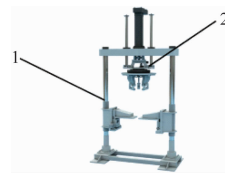
图5 扣环胶囊预装机

Fig. 5 Buckle capsule pre-installation machine

2.3 胶囊与辅助弹簧自动化压装

在胶囊与辅助弹簧的组装过程中,关键在于确保胶囊子口钢圈能被准确安装并压入辅助弹簧上,此步骤需施加较大压力。为实现胶囊与辅助弹簧

的有效装配,开发出一种新型非标准设备。该设备与动力滚筒输送线及停挡机构协同作业,共同完成了胶囊及辅助弹簧的自动压装流程。该设备采用伺服电缸作为压装动力源,并且该电缸具备旋转压装功能,从而确保了胶囊能够紧密且准确地贴合安装于辅助弹簧上。胶囊与辅助弹簧压装机结构如图6所示。



注:1—龙门框架;2—伺服电缸。

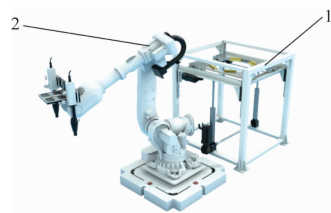
图6 胶囊与辅助弹簧压装机

Fig. 6 Capsule and auxiliary spring press machine

2.4 上盖螺钉预拧自动化

在空气弹簧的制造过程中,上盖需通过16个M16螺钉与扣环进行连接。为实现上盖与扣环的自动组装,开发一套扣环及上盖夹紧专机,该设备能够精确对正并夹紧扣环与上盖,为后续螺钉的自动拧紧操作做好准备。

自动上料机械手负责上盖的自动供给,同时,视觉系统被用于精确对准上盖的螺纹孔与扣环的螺纹孔^[2]。通过结合机械手与双轴拧紧模组^[3],系统能够自动拾取螺钉并进行预拧紧操作。通过扣环夹紧专机与机械手附带双轴拧紧模组的相互配合(见图7),实现上盖螺钉自动拧紧功能。



注:1—扣环夹紧专机;2—螺钉自动拧紧专机。

图7 扣环夹紧专机与螺钉自动拧紧专机

Fig. 7 Buckle clamping machine and screw automated tightening machine

为了满足螺钉及涂胶的自动化需求^[4],需根据螺钉规格及螺纹锁固胶的特性,设计一套自动供钉系统及涂胶系统。

2.5 上盖螺钉拧紧自动化

前期通过拧紧模组完成螺钉的预拧紧操作,但空气弹簧上盖的螺钉需进行最终力矩的紧固。为满足力矩紧固需求,同时确保空气弹簧气密性试验后的螺钉能够复拧紧,需开发一种非标准自动化拧紧装置。该装置集成了自动夹紧装置、视觉系统^[5]及自动拧紧装置等技术,实现了空气弹簧上盖螺钉的力矩紧固。螺钉自动拧紧装置结构如图8所示。



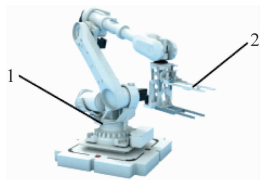
注:1—双轴拧紧系统;2—扣环夹紧机构;3—自动输送及定位装置。

图8 螺钉自动拧紧装置结构

Fig.8 Structure of screw automated tightening device

2.6 空气弹簧上下料自动化

通过研制非标准夹具(见图9),实现了机械手专机在流水线工位、拧紧工位、试验工位及存放区(合格品与不合格品区)对空气弹簧的自动上下料操作。



注:1—机械手;2—非标夹具。

图9 搬运机械手示意图

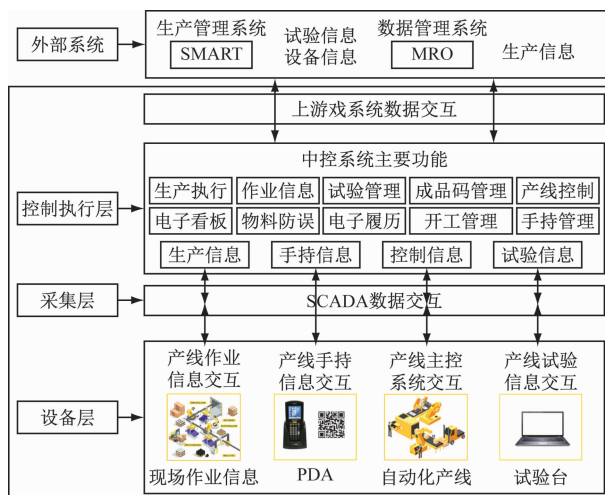
Fig.9 Diagram of mechanical arm for moving

2.7 生产线中控系统

生产线中控系统作为生产线级检修线的管控核心,主要用于空气弹簧检修的组装生产。该系统实现了从生产指令接收、生产执行、生产物料防错防误到生产信息电子履历信息建立及追溯等功能的全面覆盖,推动了空簧检修生产过程的信息化管理,旨在控制成本并提高效率^[5]。生产线中控系统涵盖生产管理、生产BOM(物料清单)管理、人员管理、工艺管理、报表管理、系统管理等多个功能模块,旨在实现更为精细的生产执行管理。

系统基于B/S(浏览器/服务器)架构构建管理平台,而SCADA(数据采集与监视系统)部分则采用C/S(客户端/服务器)架构,以满足性能、维护及使用的便利性需求。整体架构包括产线控制执行层、

SCADA层和设备层,各插件间可通过如WebService软件系统、OPC UA/MODBUS协议等插件管理模块进行通信。生产线中控系统示意图如图10所示。



注:SMART—轨道交通运维系统;MRO—检修运维系统;PDA—手持终端。

图10 产线中控系统示意图

Fig.10 Diagram of production line central control system

3 产线应用效果

空气弹簧检修自动产线通过中控系统,将各工位非标准设备联网,并通过PLC程序控制,按照工艺流程及节拍时间,完成整个空气弹簧组装及试验。空气弹簧检修自动组装试验线三维效果图如图11所示。

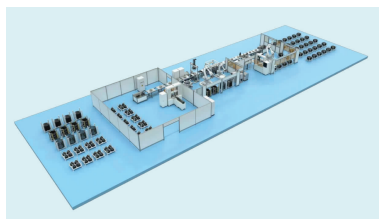


图11 空气弹簧检修自动组装试验线三维效果图

Fig.11 3D rendering of air spring maintenance automated assembly test line

经过2个月的设备安装调试,目前生产线能够完成空气弹簧自动组装及试验。辅助弹簧刚度试验报表截图如图12所示,气密性试验报表截图如图13所示。

空气弹簧检修自动生产线的安装调试与运行已全面达成空气弹簧自动化组装及试验的各项需求。该生产线在运行过程中展现了装配自动化、质量管控智能化、信息档案全面电子化及生产数据透明化的特点,并通过生产线配备的数字显示终端,实现了生产全数据的可视化展示。该自动化组装

定载荷高度及刚度测试报表					
工作高度/m	326	空簧型号	SYS510E		
垂向载荷/kN	180	空簧序列号	123456789012345678901		
速度/(mm/min)	50	辅助簧编号	FZH00002023022301		
用电量/(kWh)	0.1	测试日期	2023-09-04 11:15:40		
用气量/m ³	0.1	测试人员	oprate		
保持时间/s	10	测试结果	合格		
序号	测试项	高度上限/mm	高度下限/mm	压缩高值/mm	结果
1	压缩高	284	268	273.029	合格
序号	测试项	刚度上限/(N/mm)	刚度下限/(N/mm)	垂向刚度值/(N/mm)	结果
1	95 kN	3 410	2 200	2 226.81	合格
2	126 kN	5 162	3 330	3 437.75	合格
3	140 kN	6 572	4 240	4 693.927	合格

图 12 辅助弹簧刚度试验报表截图

Fig. 12 Screenshot of auxiliary spring stiffness test report

气密性试验报表						
编号: 123456789012345678901		型号: SYS510E	试验结果: 合格	测试人: ZZY		
序号	试验项目	试验设置	测试值	试验设置	测试值	结果
1	气密性试验	起始压力/kPa	0.00	终止压力/kPa	632.5	合格
		保压时间/s	300	允许泄漏量/kPa	10	
		工作高度/mm	0.0	泄漏量/kPa	1.5	
2	极限内压外观检查	充气压力/kPa	850	保持时间/s	60	合格
		工作高度/mm	0.0			
3	载荷内压	载荷/kN	137.6	工作高度/mm	0.0	合格
		理论内压/kPa	663.0	实际内压/kPa	820.4	
		允许 ΔP /%	5	ΔP /%	-4.6	
		不装 3/6 车 ΔP 范围/%	1~5	是否不装 3/6 车	是	
4	气囊扭矩变形	允许变形量/mm	6	变形量/mm	3.22	合格

图 13 气密性试验报表截图

Fig. 13 Screenshot of airtightness test report

试验线具备以下显著优势:

1) 生产效率显著提升,人工成本有效降低。自动组装试验线的应用实现了空气弹簧的自动化组装与检测流程,相较于传统的人工组装方式,生产效率提高了数倍乃至数十倍。同时,自动化组装过程减少了对人工操作的依赖,进而降低了人工成本。

2) 产品质量得到明显提升。借助传感器与视觉系统的精确检测,确保了空气弹簧组装的一致性和高质量,显著降低了次品率。

3) 企业竞争力显著增强。弹簧自动组装试验线的引入不仅提升了企业的生产效率和产品质量,

还在市场竞争中为企业赢得了更为有利的地位。

4 结语

空气弹簧自动组装试验线的研发与应用,为空气弹簧的自动化生产领域提供了切实可行的解决方案。通过机械结构设计、控制系统研发、传感器应用等领域的创新,实现了弹簧高效、稳定且可靠的组装与检测。在此过程中,深入掌握了自动拧紧系统、自动供钉与涂胶系统、视觉定位系统等先进技术,并针对这些技术的技术参数及设备选型积累了宝贵的技术经验。这些经验为后续公司开发与建设其他部件的自动检修组装线奠定了坚实基础,并为后期其他部件自动组装试验线的建设提供了有益的参考与借鉴。

参考文献

- [1] 冯德富. 拧紧机的配置结构及其与精度的关系[J]. 汽车工艺与材料, 2012(8): 59.
FENG Defu. Configuration structure of tightening machine and its relationship with accuracy[J]. Automobile Technology & Material, 2012(8): 59.
- [2] 王宇, 谢云斐, 何腾鹿, 等. 基于振动盘的法兰自动送料机构设计与分析[J]. 科学技术创新, 2018(33): 133.
WANG Yu, XIE Yunfei, HE Tenglu, et al. Design and analysis of flange automatic feeding mechanism based on vibrating plate[J]. Scientific and Technological Innovation, 2018(33): 133.
- [3] 朱辉, 李培林, 王崴, 等. 基于 TRIZ 理论的多轴拧紧机结构优化设计[J]. 机械设计, 2015, 32(12): 26.
ZHU Hui, LI Peilin, WANG Wei, et al. Optimal design of multi-axis screw-machine based on TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(12): 26.
- [4] 孙建章, 吕玉山, 李成吾, 等. 全自动钉排涂胶机的设计[J]. 机械设计与制造, 2005(10): 90.
SUN Jianzhang, LYU Yushan, LI Chengwu, et al. Design of automatic painting adhesive machine for the nail rank[J]. Machinery Design & Manufacture, 2005(10): 90.
- [5] 张有忱, 张莉彦. 机械创新设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
ZHANG Youchen, ZHANG Liyan. Mechanical innovative design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.

• 收稿日期:2024-08-05 修回日期:2024-09-05 出版日期:2025-02-10
Received:2024-08-05 Revised:2024-09-05 Published:2025-02-10
• 通信作者:侯金涛,高级工程师,houjintao2010@163.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license