

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.03.007

高铁车厢柔性预装配平台设计研究^{*}

周永杰¹, 杨国军¹, 马 川¹, 贲 超², 李东京^{2,3*}

(1. 中车唐山机车车辆有限公司, 河北 唐山 063000; 2. 北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191; 3. 湖北科技学院 电子与信息工程学院, 湖北 咸宁 437100)

摘要:针对高铁车厢预装配不可重用、柔性差及自动化程度低等问题,对高铁柔性预装配进行了研究,提出了由内外龙门及相应的机械手组成的预装配平台,内龙门机械手通过外龙门机械手提供动力实现了位置移动及装配点的定位。通过开发基于台达触摸屏和 PLC 分布式控制系统,实现了 PLC 控制程序和人机界面软件相结合的柔性预装配控制。通过上位机软件的规划及管理最终实现了预装配过程的自动化及智能化。现场试验结果表明,该系统实现了真实模拟车厢装配环境、准确定位车厢内关键零部件的位置,根据车厢情况灵活配置实现了柔性装配等多项功能,具有一定的实用性及推广价值。

关键词:柔性装配;预装配;动力对接;分布式控制系统;可编程序控制器;触摸屏

中图分类号:TH161⁺.7;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)03-0245-05

Flexible preassembly platform of high speed railway carriage

ZHOU Yong-jie¹, YANG Guo-jun¹, MA Chuan¹, YUN Chao², LI Dong-jing^{2,3}

(1. CRRC TangShan Co., Tangshan 063000, China; 2. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China; 3. School of Information and Electrical Engineering Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China)

Abstract: Aiming at some problem of the high speed train carriage preassembly, such as non-reusable, poor flexibility and low degree of automation, the high speed railway carriage flexible preassembly was studied. The preassembly composed of the internal and external walking gantry and corresponding manipulator was proposed. The power of the internal gantry manipulator positional movement and positioning of the assembly points was provided by the external walking gantry manipulator. The flexible assembly control system combined with PLC control software and human-machine interface software was achieved through development of distributed control system based on delta touch screen and PLC. The pre-assembly process automation and intelligence was achieved finally through the PC software planning and management. The experimental results show that the system can realize the real simulation of the railway carriage assembly environment, and accurately locate the position of the key components inside the carriage, further more it can flexibly configure according to carriage conditions to achieve a number of functions such as flexible assembly. This system has some practicability and promotion value.

Key words: flexible assembly; preassembly; power docking; distributed control system(DCS); PLC; touch screen

0 引 言

装配是产品生产的一个关键环节,为了尽早发现

产品可能存在的缺陷,对于重要产品一般在量产之前均先进行预装配来发现及尽早修改产品可能存在的问题。关于预装配国内外有不少研究,主要采用的数字

收稿日期:2016-10-29

基金项目:中车集团生产自动化科技攻关项目(5212302-X325)

作者简介:周永杰(1984-)男,河北唐山人,主要从事高铁装配工艺方面的研究。E-mail:zhouyongjie@tangche.com

通信联系人:李东京,男,博士,讲师。E-mail:ltokyo@126.com

化预装配,这方面许多学者进行了诸多研究^[1-9]。但是数字化预装配是一种虚拟装配方式,对于飞机火车等大型装备,厂家一般都采用实物来进行预装配,为提高装配的灵活性及产品适应性,提出了柔性装配的概念,对于柔性装配国内许多专家进行了研究,主要包括激光导引的柔性装配及机器人柔性装配等^[10-12],国内针对飞机的柔性装配研究成果比较多^[13-19],同时针对汽车及发动机的柔性装配也进行了一些研究^[20-23],国外学者针对柔性装配也进行了许多研究,主要针对柔性装配加载、柔性装配最小化成本、柔性装配的传感检测、柔性装配可重构性、柔性装配中基于资源分配的算法及机器人柔性装配等方面的问题开展了研究^[24-32]。相对于飞机汽车等成熟领域,目前国内外针对高铁生产的柔性预装配研究并不多见,对于高铁车厢的预装配目前完整的研究成果也并不是很多,文献[33-34]分别对高铁预装配的柔性机械手和控制系统进行了论述,我国高铁近年来发展迅速,但高铁生产仍然是传统方式,高铁车厢的预装配目前采用的是用木架搭模型进行预装配,一次模型只适用于一种车型,并且预装配过程全靠人工完成,传统的这种预装配的方式逐渐满足不了高铁生产的需求。

为提高高铁车厢预装配平台的可重用性及灵活性,并能尽量实现自动化的预装配,本研究将分析完整的高铁车厢柔性预装配系统以使系统满足现代生产的需求。

1 高铁预装配平台机械系统

1.1 预装配平台整体机械结构介绍

高铁车厢的重要零部件主要包括龙骨、外覆盖件、空调系统、车窗、座椅等。为实现车厢所有部件的预装配工作,可以将整体车厢结构看成外框架子结构及内部附属子结构。车厢的龙骨、车窗及必要覆盖件属于外部框架子结构,车厢的为他功能组件,主要包括空调、座椅、管线等则属于内部附属子结构。其中,内部附属子结构均需要由外框架子结构来支撑,总体来说外部框架子结构是整个柔性预装配系统的基础,是进行所有部件包括内部附属子结构预装配的基础。车厢的所有功能部件均需要进行预装配,这就要求所有部件都能准确定位。

高铁柔性预装配系统的工作性能指标如表 1 所示。

表 1 高铁柔性预装配系统性能指标

项目	工作要求
预装配实验平台极限长度/mm	28 000
预装配装备极限宽度/mm	5 000
预装配装备极限高度/mm	5 000
装配点定位精度/mm	± 1
待装配部件重量(单点最大负载)/kg	150

本研究设计了由 1 个外行走龙门、9 个内行走龙门及相应的执行机构组成的高铁车厢柔性预装配系统,其结构如图 1 所示。

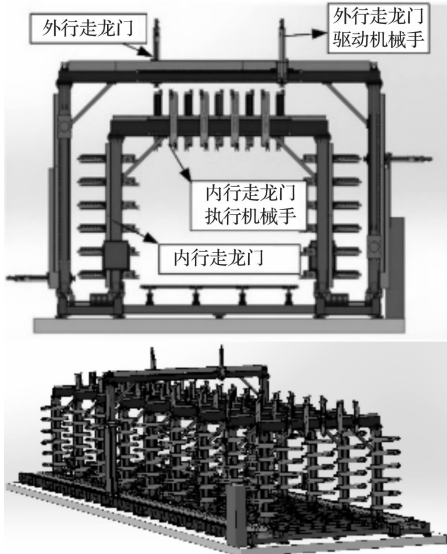


图 1 高铁车厢柔性预装配平台

由图 1 可见,外行走龙门左侧、右侧及上方共安装 4 个驱动机械手,同时外行走龙门可实现在轨道上的横移运动,横移运动由 2 个伺服电机同步驱动。根据需要预装配零部件的分布情况,在内龙门左侧、右侧及上方共安装有 21 个 3 个自由度的执行机械手,但该机械手不具有独立的驱动系统,其运动是通过内外龙门机械手对接后,由外龙门动力机械手驱动完成的。

1.2 预装配平台机械手介绍

外行走龙门驱动机械手主要完成动力驱动的功能,具备升降、伸缩、旋转 3 个自由度,由 3 套交流伺服驱动系统组成,为内龙门机械手提供动力驱动,及 1 套气动伸缩系统为升降制动装置提供驱动动力。内行走龙门执行机械手主要完成装配定位的功能,具有升降、伸缩、旋转 3 个自由度。在柔性预装配系统中,内外龙门机械手对接后,由外龙门驱动机械手驱动完成内龙门的执行机械手运动到指定位置后,通过控制内龙门机械手各自自由度的抱闸固定内龙门机械手各自自由度的位置及姿态,内龙门执行机械手采用动力分离设计方式,采用这种方式设计既保证了整个系统的灵活性实现柔性装配,又节省了大量的动力装置,降低了成本。

2 高铁预装配控制系统设计

2.1 控制系统硬件设计

高铁柔性预装配系统的控制系统总体上来说是个分布式的控制系统。从层次上来看整个控制系统由上层工控机(IPC)及触摸屏、外龙门控制系统、内龙门控制系统3大部分构成,控制系统结构如图2所示。

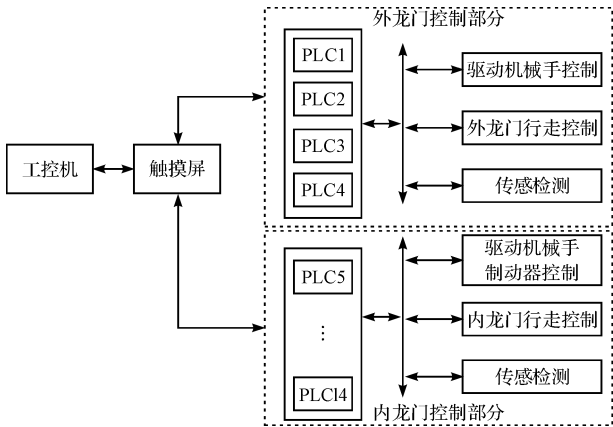


图2 高铁柔性预装配平台控制系统硬件方案图

由图2可知,整个控制系统由上层工控机及触摸屏规划及发送运行指令到下层各PLC。

(1) 控制层是由台达可编程控制器DVP32EH00T3-L和DVP32EH00T3组成。控制层是高铁车厢柔性预装配控制系统的中心,PLC接收来自现场设备(超声波测距传感器、位置传感器、安全防护对射传感器、机械限位开关等)各种输入信号,经过相应的信息数据处理,根据上层指令给各电机驱动装置发出特定的运动控制指令,实现对内、外龙门机械手及行走装置的控制。

(2) 系统执行层是控制系统的末端设备,负责系统中的状态信息采集和控制指令的执行环节。执行层包括控制驱动机械手及内外龙门行走的伺服电机、电动缸和气缸、内龙门机械手各自由度的抱闸制动装置及设备运转指示灯等。

(3) 系统监控层是触摸屏,用于监控整个柔性预装配系统的运行状态,主要对内外龙门行走位置信息、外龙门各个驱动机械手位置信息、内龙门执行机械手位置信息、内龙门机械手各自由度抱闸状态以及PLC运行状态监视等。

(4) 上层工控机主要管理系统的信息及对整个系统的柔性预装配过程进行规划。

2.2 控制系统软件设计

软件是整个控制系统的核心,分为PLC控制软件

和触摸屏人机界面及上位工控机软件3部分。本研究将PLC与触摸屏结合起来,PLC在接收触摸屏及上位机相应操作控制指令的同时向触摸屏传递预装配系统运行过程中的各项参数及状态,并进行数据实时更新。高铁车厢柔性预装配系统工控机上位软件结构主要包括4部分,分别为参数设置、状态监视、控制操作、以及数据管理部分。

2.2.1 PLC程序设计

PLC控制程序在满足柔性预装配控制系统操作要求的前提下,采用模块化的编程方法,分别编写不同控制功能的子程序用以完成具体控制程序的编制,PLC主程序的流程如图3所示。

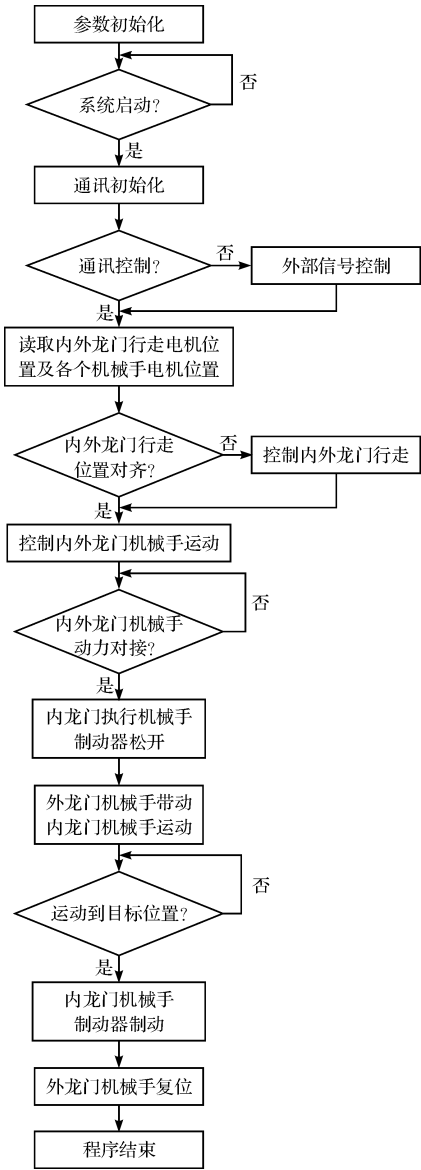


图3 PLC主程序的流程图

2.2.2 触摸屏程序设计

根据柔性预装配现场操作要求,触摸屏软件的主要功能一方面是完成对柔性预装配系统的内外龙门行

走状态监测与驱动机械手 3 个自由度方向定位动作控制,另一方面要完成对示教程序的相应操作。因此,本研究设计了内外龙门行走控制界面、机械手控制界面等基本操作画面。设计触摸屏人机操作界面时,在生成画面时将图形对象与控制器中的存储器地址联系起来,通过 PLC 与触摸屏的通讯,就可以实现之间的自动数据交换。部分界面如图 4 所示。

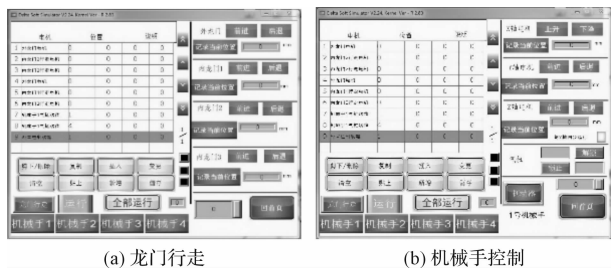


图 4 触摸屏人机界面图

3 预装配柔性分析

高铁车厢内有车窗、空调、座椅等各种设备均需要安装,一个典型的高铁车厢内需要安装部件位置的截面如图 5 所示。

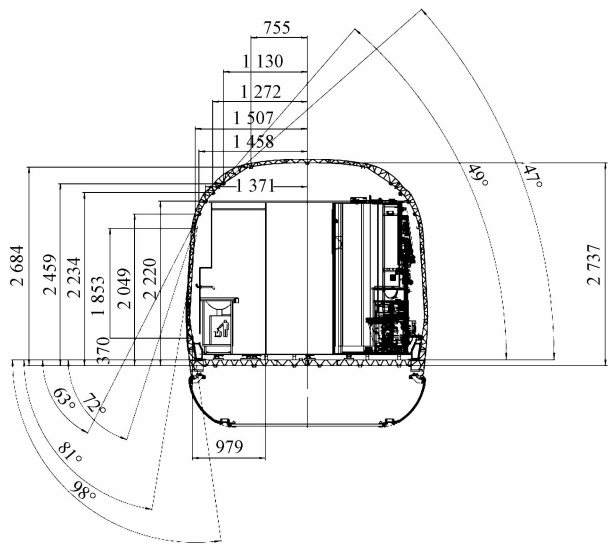


图 5 高铁车厢截面预装配工作点图

从图 5 中可以看出,高铁车厢侧面各有 6 个安装位置点需要吊装设备,车厢顶部有 9 个安装位置需要吊装设备。为了完成对该图所示车厢的预装配工作,本研究首先根据图示位置用外龙门机械手驱动一个内龙门的机械手到达指定坐标位置,然后计算出各位置点角度对应的外龙门机械手电动推杆推动内龙门机械手 θ 转角的伸缩手抓移动指定距离完成角度的调整。在给定车厢截面安装位置信息后控制系统通过计算得到各内龙门机械手需要移动的位置,软件自动规划外

龙门的动力机械手将内龙门机械手推动到指定位置及角度后控制抱闸锁紧内龙门各机械手。然后工人在内龙门机械手上挂上 C 型槽,要预装配的部件挂在 C 型槽上完成整个预装配。由于在设计时内外龙门的行程考虑到了高铁车厢的最大尺寸,机械手的设计也考虑了高铁车厢内部件的分布情况,因此不同车型的高铁车厢预装配只需要将车型截面数据更新,控制系统就能自动驱动各机械手到达指定位置完成车厢的预装配工作。通过上述分析可知该预装配平台能适应不同车型,操作灵活,可重用,并大大提高了预装配过程的自动化程度。完全实现了柔性预装配。

4 试验及结果分析

为了验证高铁车厢柔性预装配系统可行性,本研究进行了现场试验。在该试验平台上,本研究通过内外龙门行走结构及机械手联合运动,通过固定不同型号的 C 型槽,再在 C 型槽的相应位置挂上相应的车厢部件实现了真实模拟车厢装配环境、准确定位车厢关键零部件的功能,验证了装配系统定位方法及定位精度的有效性,同时验证了控制系统的可靠性,现场试验通过了中策集团的验收并得到了高度认可。试验平台现场与装配效果如图 6 所示。

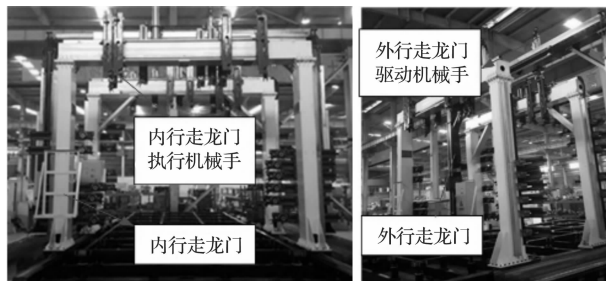


图 6 高铁预装配现场实验

5 结束语

本研究以高铁车厢柔性预装配系统为研究对象,首先分析了预装配平台的机械组成和工作原理,在此基础上,接着充分应用了 PLC 稳定可靠、触摸屏友好灵活以及两者具有良好兼容性的特点开发了控制系统。现场试验表明,该机械系统设计结构合理、控制系统人机交互界面友好,具有配置灵活、功能全面、可重用性好、可靠性高等优点,具有较大的实用性及推广价值。该系统目前为国内首套可重复使用的针对高铁车厢的柔性预装配系统,有效填补了我国在大型高铁车厢柔性预装配自动化技术方面的空白,将能够促进我国高铁制造业的发展。

下一步本研究将针对试验平台的安全预警及进一步提高预装配过程的智能性等方面开展研究。

参考文献(References):

- [1] 罗振伟,梅中义. 基于测量数据的飞机数字化预装配技术[J]. 航空制造技术,2013(20):99-102,108.
- [2] 刘晓平,李志泽,徐本柱,等. 基于工程语义约束的线束预装配自动规划方法[J]. 图学学报,2012,33(5):44-50.
- [3] 戴国洪. 数字化预装配建模与序列规划技术的研究[D]. 南京:南京理工大学机械工程学院,2007.
- [4] 李 迅,李春书. 虚拟现实技术在预装配规划中的应用[J]. 天津职业院校,2005,7(5):46-49.
- [5] 赵 岚. 数字化预装配系统中的若干问题研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学院,2006.
- [6] 张林林. 协同数字化预装配系统关键技术的研究与实现[D]. 南京:南京理工大学机械工程学院,2007.
- [7] 董兴辉,于建国,吴克河,等. 协同预装配若干技术研究[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(7):1042-1046.
- [8] 王峻峰,付 艳,李世其. 分布环境下面向过程的协同预装配活动模型研究[J]. 中国机械工程,2006,17(22):2402-2405.
- [9] 董兴辉. 协同环境下预装配方法与装配规划的研究[D]. 北京:清华大学机械工程学院,2003.
- [10] 梅中义,范玉青. 基于激光跟踪定位的部件对接柔性装配技术[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(1):65-69.
- [11] 杨汝清. 应重视自动装配与柔性装配技术的研究开发[J]. 机电一体化,2000(4):14.
- [12] 崔连涛,胡希勇,金龙国. Me093399 型机电一体化柔性装配系统智能子站的设计及应用[J]. 中国高新技术企业,2012(19):39-41.
- [13] 沈建新,田 威. 基于工业机器人的飞机柔性装配技术[J]. 南京航空航天大学学报,2014,46(2):181-189.
- [14] 王 巍,贺 平,万良辉. 飞机柔性装配技术研究[J]. 机械设计与制造,2006(11):88-92.
- [15] 郭洪杰. 大型飞机柔性装配技术[J]. 航空制造技术,2010(18):52-54.
- [16] 陈昌伟,胡国清,张冬至. 飞机数字化柔性工装技术研究. 中国制造业信息化,2009,38(9):21-24,28.
- [17] 王建华,欧阳佳,陈文亮. 飞机柔性装配工装关键技术及发展趋势[J]. 航空制造技术,2013(17):49-52.
- [18] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术[J]. 航空制造技术,2005(9):28-32.
- [19] 袁 立. 现代飞机数字化柔性装配生产线[J]. 航空科学技术,2011,22(5):1-4.
- [20] 李培玉,王 亮,甘 涛. 基于激光识别的汽车门锁嵌入
- 式柔性装配系统[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(5):90-93.
- [21] 杜纪光,江效友. 试论汽车制造企业柔性自动化装配生产线应用[J]. 建筑工程技术与设计,2015(21):1774.
- [22] 朱立东. 发动机装配线技术现状及发展趋势[J]. 湖南农机,2013,40(11):132-134.
- [23] 金晓宁,郑丽华. 发动机装配中的柔性机器人螺栓拧紧系统[J]. 机械工程与自动化,2006(2):75-77.
- [24] AMMONS J C, LOFGREN C B, MCGINNIS L F. A large scale machine loading problem in flexible assembly[J]. **Annals of Operations Research**,1985,3(7):317-332.
- [25] BUKCHIN J, TZUR M. Design of flexible assembly line to minimize equipment cost[J]. **IEEE Transactions**,2000,32(7):585-598.
- [26] ASADA H, BY A. Kinematic analysis of workpart fixturing for flexible assembly with automatically reconfigurable fixtures[J]. **IEEE Journal on Robotics and Automation**, 1985,1(2):86-94.
- [27] NICEWARNER JR E R, FRINAK S L. Three-dimensional flexible assembly of integrated circuits[P]. U S Patent: 5776797,1998.
- [28] NOTTENSTEINER K, BODENMUELLER T, KASSECKER M, et al. A complete automated chain for flexible assembly using recognition, planning and sensor-based execution[C]//ISR 2016: Proceedings of 47st International Symposium on Robotics, München: Vevlag,2016.
- [29] JORG S, LANGWALD J, STELTER J, et al. Flexible robot-assembly using a multi-sensory approach[J]. **IEEE**, 2000(4):3687-3694.
- [30] HEILALA J, VOHO P. Modular reconfigurable flexible final assembly systems[J]. **Assembly Automation**,2001, 21(1):20-30.
- [31] MENG Z J, WANG W, LIANG X, et al. Plug-n-play microfluidic systems from flexible assembly of glass-based flow-control modules[J]. **Lab. on a Chip**,2015,15(8):1869-1878.
- [32] WU N, ZHOU M C, LI Z W. Resource-oriented Petri net for deadlock avoidance in flexible assembly systems[J]. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**,2008,38(1):56-69.
- [33] 李 莹,周永杰,郭冬梅,等. 列车预装配柔性实验平台机械手设计研究[J]. 机电工程,2016,33(6):704-708.
- [34] 李 莹,吴 雪,孙超宇,等. 大型装备预装配分布式控制系统设计[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版,2016, 34(1):113-117.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

周永杰,杨国军,马 川,等. 高铁车厢柔性预装配平台设计研究[J]. 机电工程,2017,34(3):245-249.

ZHOU Yong-jie, YANG Guo-jun, MA Chuan, et al. Flexible preassembly platform of high speed railway carriage[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2017,34(3):245-249.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>