

铁路集装箱自动装料系统设计及应用探讨

唐军

湖南盛势通科技有限公司

DOI: 10.12238/j pm.v5i6.6926

[摘要] 在国家“公转铁”、“散改集”的政策背景下，使用铁路集装箱运输大宗货物，可响应国家政策号召，充分发挥铁路运输环保、高效、低成本的运输优势。为克服传统集装箱装料、吊运系统的不足，提升装料、吊运作业效率，以某铁路集装箱自动装料系统为例，论述了火车集装箱自动装料系统总体架构、系统构成和自动化装料流程，重点研究了集装箱智能识别与定位、起重机智能定位及自动控制技术的设计与实现，并对系统投产效益进行了分析。研究表明，铁路集装箱自动装料系统投入使用后，集装箱单箱装卸效率提升约 30%，装料系统效率提升约 50%，操作人员劳动强度和作业人力需求显著降低。

[关键词] 集装箱；自动装料；系统设计；散改集

Design and application of automatic loading system for railway container

Tang Jun

Hunan Shengshitong Technology Co., Ltd

[Abstract] Under the background of the national policy of "transferring to railway" and "distributing to collection", the use of railway containers to transport bulk goods can respond to the call of national policy and give full play to the advantages of environmental protection, high efficiency and low cost of railway transportation. In order to overcome the shortage of traditional container loading, lifting system, improve loading, lifting efficiency, a railway container automatic loading system, for example, discusses the train container automatic loading system overall architecture, system structure and automatic loading process, focusing on the container intelligent identification and positioning, crane intelligent positioning and automatic control technology design and implementation, and analyzes the system production efficiency. The results show that after the railway container automatic loading system is put into use, the loading efficiency of single container is increased by about 30%, the efficiency of loading system is increased by about 50%, and the labor intensity and manpower demand of operators are significantly reduced.

[Key words] container; automatic loading; system design; distribution set

前言

近年来，在国家“公转铁”、“散改集”的政策引导下，我国铁运集装箱行业取得了快速发展，已形成了以大型集装箱中心站为核心，包括集装作业站、集装箱办理站在内的三级铁路集装箱运输网络体系。集装箱装卸作为集装箱运输环节的重要节点，其装卸效率对铁运集装箱运输成本、运输效率、集装箱周转等均会造成重要影响。传统多以人工操作起重机的方式，对集装箱进行装卸作业，装卸周期长，效率低下，难以满足当前铁运集装箱发展的需求。基于此，本文结合铁路集装箱运输发展需求，对火车集装箱自动装料系统的设计及应用展开研究，对我国铁路集装箱运输行业发展具有十分积极的推动意义。

1 火车集装箱自动装料系统需求分析及架构设计

1.1 火车集装箱自动装料系统需求分析

1.1.1 货场集装箱定位

由于货场及火车上的集装箱较多，且装卸料时需要集装箱门统一朝向，故系统应包含机器视觉识别功能，能够对货场、火车内任意位置的集装箱进行智能识别，判定集装箱箱口朝向、集装箱类型、箱体位置、数量等信息，实现集装箱的智能识别与定位。

1.1.2 装卸、吊运系统自动控制

自动装料系统的核心功能是完成对集装箱的抓取、吊运、装卸和翻箱装料等操作，因此必须具备装卸调运系统的自动控制能力，实现对包含龙门吊、大、小车辆及吊具的自动控制，

并确保吊具垂直方向达到 5mm、水平方向对中精度达到 200mm 的定位精度，保证集装箱抓取、吊运和装料的精度和安全要求。

1.1.3 无人远程控制

集装箱应具备无人远程控制能力，能够根据智能识别系统、信息处理及存储系统存储的集装箱位置、数量等信息，自动完成集装箱装卸队列制定、自动装卸、翻箱装料控制等操作。

1.2 火车集装箱自动装料系统总体架构设计

基于上述需求分析，对系统进行总体架构设计，系统采用工业以太网通信建立工控机、智能识别系统、吊运控制系统、装料控制系统等系统间的通信网络，系统总体架构见图 1 所示。

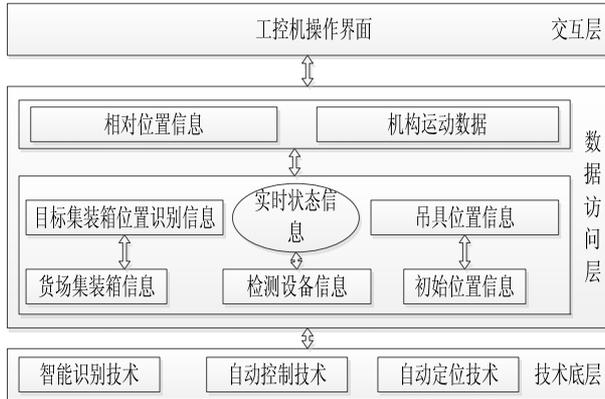


图 1 铁路集装箱自动装料系统总体架构

本系统采用分层软件体系结构进行系统设计，可有效满足系统功能需求，同时其灵活性、开放性较高，便于未来根据业务变动调整和拓展系统功能。

1.3 火车集装箱自动装料系统构成

本次研究的火车集装箱自动装料系统，从功能上主要分为吊运控制系统、装料控制系统、智能识别系统三大主要功能模块，其具体介绍如下：

1.3.1 集装箱吊运系统

集装箱吊运系统以龙门吊为核心，总体可分为龙门吊控制系统、堆场管理系统两部分。

(1) 龙门吊控制系统：1) 龙门吊通过 PLC 进行现场控制，通过工业以太网通信与工控机进行通信，并接收工控机指令，对龙门吊进行执行控制；2) 龙门吊电机由变频器进行驱动，并有带旋转机构，结合条码定位系统，绝对值编码器，可以根据指令完成大小车行走距离、起升高度、箱门朝向的精准控制。3) 在龙门吊吊具的前后左右以及前左、前右、后左、后右安装了 8 个激光测距传感器，用于判断龙门吊行走方向上是否有障碍。

(2) 堆场管理系统：1) 其主要任务是对堆场中的集装箱数据进行存储、更新和反馈，并对龙门吊的请求作出响应；2) 堆场管理系统将堆场分成空箱区和重箱区，当龙门吊进行卸空箱或装重箱任务时，堆场管理系统将反馈对应空箱区、重箱区的库位编号的可操作状态，通过工业以太网通信向工控机反馈。

1.3.2 装料系统

装料系统主要由翻箱机控制系统、清洗系统、落料系统、除尘系统、称重系统等构成，其具体介绍如下：

(1) 翻箱机控制系统：翻箱机通过 PLC 进行现场控制，并通过工业以太网通信、工控机与龙门吊控制系统等系统进行

信号交互，并接收工控机指令，对翻箱机进行行走翻转等操作控制。翻箱机带有激光测距传感器和编码器，可根据 PLC 操作指令，实现对翻箱机行走距离和翻转角度的精确控制；同时为其配置旋转机构、拖箱机构等防脱落措施，并与龙门吊等系统间设置有安全连锁，可有效保证其操作安全性。

(2) 落料系统：落料系统由溜管、气动阀门、螺旋输送机等构件组成，当翻箱机行驶至落料口下方，并将集装箱转至箱门朝上，溜管下降到最底部，打开气动阀门进行装料，溜管底部带有传感器，可以随着集装箱内料位的上升而同步上升，当装料重量快达到设定值时，关闭阀门，打开螺旋输送机，开始缓慢装料，直至重量达到设定值，关闭螺旋输送机，上升溜管，完成装料。

(2) 其他系统：1) 清洗系统由滚筒毛刷、振动电机、剪刀升降等机构构成，可对集装箱内壁进行清理；2) 除尘系统主要功能是对落料、清洗阶段溢出的粉尘进行吸收，防止粉尘污染环境；3) 称重系统主要由轨道衡和仪表组成，用于测定和控制集装箱装料量。

2 系统关键技术及其实现

2.1 集装箱智能识别与定位

2.1.1 集装箱智能识别

集装箱智能识别系统通过吊具两端的高清摄像头采集集装箱图像，并通过工业以太网通信将图像信息传送给工控机，工控机通过图像识别软件对图像进行灰度处理、特征匹配等处理操作，识别集装箱吊装孔、边线等特征信息，并与系统中存储的集装箱特征信息进行分析比对，实现对集装箱箱口朝向、吊装口位置等信息的智能识别。

2.1.2 双目立体视觉识别定位

双目立体视觉识别定位是通过构建视觉识别定位算法，采用算法对双摄像头采集的集装箱图像信息进行处理，模拟人眼立体成像原理，对集装箱进行精准定位的技术，其实现原理见图 2 所示。

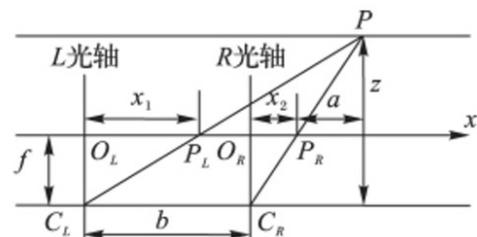


图 2 双目立体视觉识别定位原理示意图

工控机接收到摄像头采集的集装箱图像信息后，通过图像处理软件对两摄像头采集的图像进行像素点配准，根据双目立体视觉理论计算其相对位置关系，确定像素点双目立体视差，利用三角原理计算目标点 P 到双目连线间的距离 Z，再根据摄像机位置信息，计算目标点的三维坐标，其计算模型见式 (1) 所示：

$$Z \begin{bmatrix} U \\ V \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/d_x & 0 & U_0 & 0 \\ 0 & f/d_y & V_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M & L \\ O_L & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式 (1) 中，Z 为目标点 P 至双目连线的间距；U、V 为 P 点二维坐标对应值；f 为摄像头焦距；dx、dy 分别为相邻像素水平间距、竖直间距；U₀、V₀ 分别为采集图像中心像素二维坐

标对应的值；M 为 3×3 的旋转矩阵；L 为平移向量； X_P 、 Y_P 、 Z_P 分别为 P 点三维坐标对应值。

2.2 起重智能定位

要实现集装箱自动装卸作业，除需通过智能识别系统定位集装箱位置外，还需要对吊运机具的静止、运动位置进行识别定位。

本系统通过条形码定位+电机编码器实现对吊运机具的智能定位。条形码设置在龙门吊桥架主梁腹板及大车行轨下侧平台部位，条形码传感器设置在大、小车上。在进行集装箱吊运作业时，大小车上的条码检测传感器可扫描对应条形码。并根据条码识别其静止和运动位置，并将其位置信息反馈给控制系统，实现对机具位置的精确控制。由于条形码及其检测传感器都是固定设置的，因此检测计算的吊运机具位置信息，为机具的绝对位置信息，在检测及长期使用过程中，不会产生累积误差，其定位精度可持续保持 5mm 以内。吊具起升机构上，通过设置绝对编码器，使龙门吊 PLC 控制器可实时根据编码器读数，对吊具高度信息进行标定计算，从而实现吊具垂直位置的精确定位。

此外，龙门吊吊具在 8 个方向各安装一个激光测距传感器，其能够对龙门吊行走方向上的障碍物进行识别测距，并将测距信息传递给控制系统，控制系统根据障碍物间距阈值，对作业过程的继续、中断进行控制。

2.3 起重机自动控制技术

龙门吊自动控制总体通过工控机远程指挥+PLC 现场控制+变频器执行控制实现，该控制模式控制效果精确、稳定，可有效实现对吊运设备的自动控制。在进行吊运作业过程中，首先由工控机根据智能识别系统识别的集装箱图像数据，计算出集装箱的绝对位置信息，通过与调运设备进行相对位置计算，确定吊运设备运动控制信息，然后将吊运设备运动控制计算结果通过数据传输系统传输给吊运设备 PLC 控制模块，由 PLC 对指令进行计算，并对吊运设备行走机构的变频器电机运行状态进行调节，实现对吊运机具的精确控制。吊运机具与集装箱对中后，在系统的控制下完成对集装箱的抓取、提升和移动、装箱控制。再由堆场管理系统对堆场数据进行识别更新，并向工控机反馈。

3 集装箱自动化装料流程分析

本集装箱自动化装料系统的流程可分为：卸空箱、装重箱、装料，其总体流程见图 3 所示：

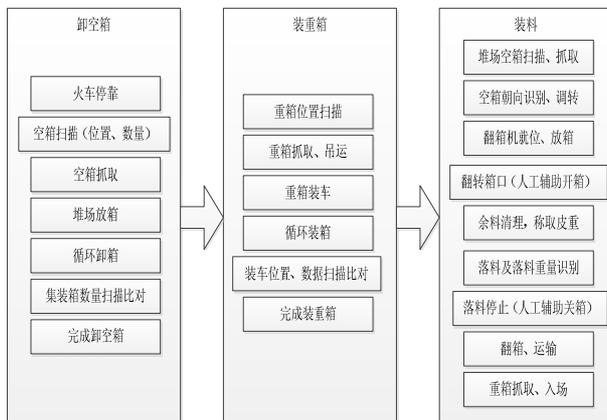


图3 集装箱自动化装料系统流程

卸空箱时，装载空集装箱的火车停靠在货场指定位置后，智能识别系统会自动对车厢内的集装箱数量、位置信息进行扫描，工控机识别处理后，会与堆场系统进行交互，堆场系统会根据空箱区可操作库位编号，指定空箱码放位置，由龙门吊将空箱抓取、吊运至指定位置。

装重箱时，工控机根据空箱扫描记录的空箱位置、数量信息，确定重箱吊放位置，然后工控机根据装车任务、堆场中目标重箱位置等信息，生成自动作业计划，并向龙门吊 PLC 发送重箱吊运指令，智能识别系统会自动识别、跟踪、记录重箱装车数量、位置信息，并与空箱扫描记录信息进行比对，循环完成重箱装车。

装料时，龙门吊会根据工控机指令及堆场区空箱位置，进行空箱抓取，并根据箱体朝向智能识别信息，对箱体朝向进行调整，并将空箱吊运至翻箱机。翻箱机将空箱运送至作业区，将箱体翻转至箱口朝上位置，由人工协助打开箱门，再翻转至箱口朝下，对箱内余料进行清理，完成后，将箱口翻转朝上，进行称取和记录箱体皮重。然后由落料系统进行装料，称重系统将装料重量数据反馈给落料系统，对落料重量进行控制。装料完成后，再由人工辅助关闭箱门，翻箱机将集装箱翻转至水平，并运送至龙门吊区域，由龙门吊抓取、运送至重箱区指定位置。

4 效益分析

该系统自 2022 年 6 月投入使用以来，已稳定运行近两年时间，与传统人工半自动化集装箱装卸、装料方式相比，集装箱装卸、装料效率显著提升，具体分析如下：

(1) 集装箱装卸、装料效率显著提升。以单箱装卸时间为例，传统人工半自动化集装箱装卸，平均用时约为 12min，自动装卸系统投入使用后，现单箱装卸时间基本控制在 8min 以内，显著提升了集装箱装卸效率，节约了时间成本。

(2) 人力成本、劳动强度显著降低。传统集装箱装卸、空箱装料需要临场指挥、吊运操作、装料操作等大量的指挥和操作人员，装卸过程中往往需要多次调整吊运设备，才能顺利抓取集装箱，作业劳动强度大且人工成本高。以集装箱装卸为例，传统仅操作人员就需要 2~3 人，自动装卸系统投入使用后，可实现全程无人化操作，极大的降低了人力需求和劳动强度。翻箱装料也仅需人工辅助开闭箱门即可，劳动强度、人力需求显著降低。

(3) 作业安全风险显著降低。传统半自动化作业流程在各个环节均需要一定的人力辅助，一旦集装箱装卸、吊运、翻转等过程中出现操作失误，极易造成人员伤亡。自动装卸系统投入使用后，基本实现了全程无人作业，可有效避免作业安全风险。

(4) 信息管理效率、准确度显著提升。货场运营过程中涉及大量的信息采集、记录工作，传统多采用人工采集记录，货场集装箱信息得不到及时更新，且易造成信息遗漏等问题。自动装卸系统全程全自动扫描、采集、更新和记录货场集装箱信息，实现了货场集装箱信息的数字化、信息化管理。

结论

综上所述，本文基于货场集装箱自动装料系统需求分析，采用分层软件体系结构设计了系统总体架构，并重点研究了集装箱智能识别、起重智能定位及自动控制技术的设计与实

自动化，能够实现自动监测、智能调节和远程控制，提高系统的响应速度和净化效果，为用户提供更加便捷和舒适的室内环境。综合治理将成为未来发展的重要方向。随着人们对空气质量和健康问题的日益关注，未来的PM2.5净化技术将与其他环境治理技术相结合，实现综合治理和系统优化。例如，与空气净化技术相结合的通风换气系统、空气循环系统、室内装饰材料等，将共同发挥作用，形成多层次、多角度的空气净化体系，全面提升室内空气质量。

未来暖通空调系统中PM2.5净化技术的发展趋势将呈现出多方面的特点，其中技术创新是关键。随着科学技术的不断进步，将会涌现出更多高效、环保的PM2.5净化技术。基于纳米材料、生物技术、光催化等新兴技术的应用将成为发展的重点，以提高净化效率、降低能耗、减少二次污染，实现更加清洁和健康的室内空气环境。与此同时，智能化应用也将成为未来的发展趋势。随着物联网、人工智能等新兴技术的快速发展，智能化净化设备和系统将成为主流。未来的暖通空调系统中，PM2.5净化技术将更加智能化和自动化，能够实现自动监测、智能调节和远程控制，提高系统的响应速度和净化效果，为用户提供更加便捷和舒适的室内环境。另外，综合治理也将是未来发展的重要方向。与其他环境治理技术相结合，实现综合治理和系统优化。通过不断创新和改进，未来暖通空调系统中PM2.5净化技术将实现对室内空气质量的全面提升，为人们创

造更加清洁、健康、舒适的生活环境。

结语：

本文深入探讨了暖通空调系统中PM2.5净化技术的应用与优化问题，重点分析了PM2.5污染对健康和环境的影响、常见净化技术的优缺点、应用效果评估以及未来发展趋势。通过技术创新、智能化应用和综合治理等方面的探讨，为解决当前空气污染问题和改善室内空气质量提供了重要思路和方法。未来，我们将继续致力于研究和推广高效、环保的PM2.5净化技术，不断提升空气质量，保护人们的健康和生态环境的可持续发展。相信通过我们的努力，将会创造出更加清洁、健康、舒适的生活环境，造福于全人类。

[参考文献]

- [1]王明.暖通空调系统中PM2.5净化技术的研究与应用[J].环境科学, 2020, 28(5): 123-135.
- [2]李华, 张强.PM2.5污染治理技术的研究进展与展望[J].环境工程, 2018, 36(7): 56-68.
- [3]赵亮, 刘静.暖通空调系统中PM2.5净化技术的优化策略研究[J].暖通空调, 2019, 47(3): 89-97.
- [4]刘伟, 陈明.暖通空调系统中PM2.5净化技术的应用效果评估[J].暖通空调, 2021, 49(2): 76-85.
- [5]张磊, 王艳.暖通空调系统中PM2.5净化技术的发展趋势与展望[J].环境科学与技术, 2019, 37(4): 45-54.

上接第226页

现。该系统以工控机为控制核心，通过工业以太网通信与各子系统及起重机PLC模块进行通信，实现对各子系统的信息采集与指令控制，实现了集装箱装卸、装料全流程的自动化控制。系统投入使用后，单集装箱装卸时间节约约30%，装料时间节约约50%，操作人员劳动强度、人力成本显著降低，作业安全性显著提升，经济、社会效益显著。

[参考文献]

- [1]李红勋, 李梦晗, 王曦, 等.集装箱装卸搬运机自动对正控制策略[J].军事交通学院学报, 2021, 23(04): 39-45;
- [2]魏福恒, 曹民.集装箱桥吊自动装卸控制方法综述[J].软件导刊, 2017, 16(08): 205-207;
- [3]梁晓波, 程文明, 郭鹏.集装箱起重机自动装卸系统的研究与设计[J].计算机应用, 2015, 35(S1): 229-231+251;
- [4]佟继东, 码头直装型集装箱装料机的研制.天津市, 天津港第四港埠有限公司, 2022-04-08;
- [5]刘清海.自走式装料机[P].甘肃: CN200910134268.3, 2010-10-06;
- [6]T·纽曼.具有接近导向辅助装置的道路整修机或装料机和接近导向辅助装置[P].德国: CN201710387186.4, 2017-12-05;
- [7]T·纽曼.道路整修机或装料机、材料约束装置和用于保护材料约束装置的方法[P].德国: CN201710354232.0, 2017-11-28;

[8]T·纽曼.道路整修机或装料机、材料约束装置和用于保护材料约束装置的方法[P].德国: CN201710354232.0, 2021-09-03;

[9]田凯, 郭文亮, 芦建文, 等.稀土氧化物自动化装料技术的研究与应用[J].包钢科技, 2023, 49(01): 85-88.DOI: 10.13647/j.cnki.btgkj.2023.01.021;

[10]郭凯雯, 刘硕, 杨洪苏, 等.智能包装的现状与未来展望[J].轻纺工业与技术, 2021, 50(07): 98-99;

[11]黄婉舟, 张涛.基于实时称重的化工原料自动灌装单元设计[J].计量与测试技术, 2019, 46(07): 15-17.DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2019.7.006;

[12]施娟, 徐佳杰, 吴蕴珺, 等.几种常见电子衡器称重传感器的技术分析[J].计量与测试技术, 2017, 44(05): 22-24.DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2017.05.009;

[13]刘小凤, 许成果.行动导向背景下的职业教育翻转课堂教学设计——以装料小车自动往返控制电路设计为例[C]//中国职工教育和职业培训协会秘书处.中国职协2016年度优秀科研成果获奖论文集(学校一等奖), 2016: 11;

[14]费娜.双循环格局下集装箱海铁联运发展浅谈[C]//广东省电力科学研究所.第五届电力工程与技术学术交流会论文集, 2024: 2.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.000486;

[15]张佰望, 唐颖, 刘成鑫, 等.具有长引桥不平整堆场的集装箱码头仿真评价[C]//安徽省人民政府, 中国仿真学会.第三十五届中国仿真大会论文集.[出版者不详], 2023: 8.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.077882;