

引用格式: 马迎召, 邱永峰, 查铂, 等. 面向工程机械行业的两种智能切割下料线对比研究及推广应用[J]. 有色设备, 2024, 38(2): 78-83.

MA Yingzhao, QIU Yongfeng, ZHA Bo, et al. Comparative study and promotion application of two intelligent cutting lines for the construction machinery industry[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(2): 78-83.

面向工程机械行业的两种智能切割下料线 对比研究及推广应用

马迎召, 邱永峰, 查铂, 郑祎, 郭思明, 彭康, 吴亚辉

(湖南天桥嘉成智能科技有限公司, 湖南 株洲 412007)

[摘要] 针对传统钢板切割下料采用人工方式带来的工作效率低、自动化程度低和信息化水平不高等问题, 本研究并设计了 2 种智能切割下料产线, 分别为固定切割平台式和托盘交换工作台式, 实现了钢板出入库、切割上下料、物流运输、零件分拣等工序环节的自动化, 并通过智能中控系统打通下料车间各工序环节, 实现下料车间和企业上层信息化系统的信息互通。对 2 种智能切割下料产线开展了对比研究, 得到了具有重要参考意义的结论。根据某工程机械厂家实际投运的智能切割下料生产数据, 相比传统的人工下料, 智能切割下料线生产效率提升一倍, 减少人员 50% 以上。

[关键词] 智能切割下料线; 固定切割平台; 托盘交换工作台; 智能制造; 钢板

[中图分类号] TG48 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)02-0078-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.013

0 引言

加快发展智能制造关键技术装备, 培育推广新型智能制造模式等都是未来中国制造发展的重要方向^[1]。在工程机械行业, 传统的切割下料车间通常为单机离散型生产模式, 其工艺过程中的钢板吊运、切割机上下料、零件分拣、废料处理等工序均以人工作业为主, 工序之间的转运由人工天车和叉车等方

式来实现^[2-3]。传统的下料车间普遍存在效率低、自动化程度低和信息化水平不高等问题, 造成人力、物力成本浪费, 严重影响了产能的提升, 同时也不利于产品的质量控制和管理, 达不到精益生产的要求^[4-5]。

因此, 基于新兴自动化和数字化技术, 打造智能切割下料车间, 实现钢板出入库、切割上下料、物流运输和零件分拣等工序环节的自动化, 并通过智能中控系统打通下料车间各工序环节, 实现下料车间和企业上层信息化系统的信息互通, 成为当下普遍关注的研究重点^[6-8]。

当前, 机器视觉技术和新型智能感知技术广泛应用于各行业的自动化产线, 有力提升了自动化产线的无人化、数字化和智能化水平^[9-11]。王龙昌等^[12]设计了一种桁架式全自动生产线, 具有自动化程度高、效率高和重复性好等优点, 已在许多领域取代了人工上下料。朱建明等^[13]研制了一条集搬运、储存、定位、自动检测钢板材质以及切割、分拣、转运为一体的全自动钢板切割生产线。该产线包括智能钢板立体库、多功能小车、智能原

[收稿日期] 2023-12-23

[第一作者] 马迎召(1983—), 男, 湖南湘潭人, 硕士, 主要研究方向为智能化生产线、自动控制。

[通信作者] 邱永峰(1985—), 男, 湖南娄底人, 高级工程师, 博士后, 主要研究方向为控制系统、智能制造, 现任湖南天桥嘉成智能科技有限公司总工程师。

[基金项目] 科技成果转化及产业化计划-高新技术产业科技创新引领计划-5G 重载搬运智能装备研发及产业化(2021GK4008); 工信部 2023 年度智能制造系统解决方案揭榜挂帅项目-面向工程机械的柔性智能切割下料分拣产线。

料板机械手、智能成品板机械手、AGV 运输系统与连线自动控制系统。各个系统相互配合可以实现钢板入库自动化、等离子切割机上料自动化、成品板搬运自动化。

基于工程机械行业某些相关企业中钢板切割下料的具体项目需求,本文开展了广泛的调查和研究,首次设计并研制了固定切割平台式和托盘交换工作台式 2 种钢板智能切割下料线,并从投资规模、应用范围和使用维护等多方面开展了对比研究^[14-15]。这些研究工作,对同行业相关企业的钢板切割下料产线的智能化升级改造具有重要的指导意义。

表 1 钢板切割方式对比

Table 1 Comparison of steel plate cutting methods

切割方式	最大切割厚度/mm	切割速度	切割精度	割缝宽度	材料利用率	切割成本 (板厚 10 mm)/ (元/m)	切割成本 (板厚 20 mm)/ (元/m)	切割成本 (板厚 30 mm)/ (元/m)
激光切割	50	快	±0.1 mm	0.1 ~ 0.5 mm	很高	0.59	0.75	1.49
等离子切割	120	较快	±1 mm	1 ~ 2 mm	一般	1.03	1.89	3.49
火焰切割	1 200	慢	很低	宽	低	—	—	—

1.2 钢板定尺和产能核算

首先,下料车间会根据生产需求对来料钢板规格进行限定,通常会限定来料钢板的最大尺寸和最小尺寸(长×宽×厚),由此可确定钢板搬运、输送和切割机等设备的设计选型和参数配置。综合考虑产线整体布局、切割设备、输送设备等各功能设备的选型,本文研究的项目钢板定尺规格为:长(6 000 ~ 10 000 mm)、宽(1 400 ~ 2 200 mm)、厚(5 ~ 40 mm)。其次,在设计初期阶段,根据实际生产需要确定相应的产能要求,例如,计划单班下料 18 台挖掘机所需零件,经估算钢板年吞吐量 5 万 t,平均每天下料钢板 90 张,考虑生产波动情况,设计最大产能需达到 120 张/d,再根据零部种类及估算的切割时长,最终确定需配置 9 台激光切割机。最后,根据上述产能要求估算产线各设备环节所需节拍,最终为搬运、输送和切割等设备提出设计要求。

1.3 产线工序和布局

图 1 为智能下料车间全工序流程,其中深色框为可选设计工序。智能下料车间的全工序具体流程如下:①来料钢板由人工卸货至存放区;②根据实际需求选配预处理工序,对钢板进行抛丸预处理,去除

1 智能切割下料总体设计

1.1 切割方式选择

钢板切割方式包括火焰切割、等离子切割和激光切割,通常根据钢板厚度、工艺要求、成本等因素选择切割方式,3 种切割方式的优缺点对比见表 1。其中,激光切割技术发展较快,功率最大已达 40 kW,可适用于 50 mm 以下的钢板切割,具有高精度、高利用率、低生产成本的优势。因此,本文所述新建智能切割下料车间均采用激光切割或激光和等离子切割组合的配置方式。

表面污垢、锈蚀;③智能行车自动吊钢板放入自动库区;④切割机叫料时,钢板自动送入上料台位;⑤根据套料图在钢板上按零件位置喷码;⑥切割机自动切割钢板;⑦切割完成后进行零件自动分拣,然后进行废料处理;⑧分拣的零件送入后续工序,可选配砂光、校平工序;⑨进行零件码盘及转运。

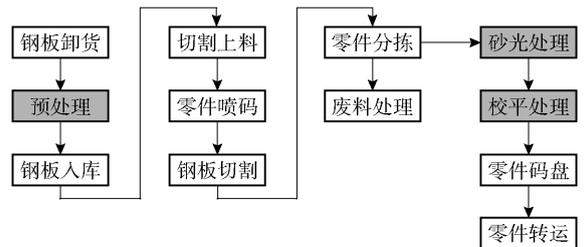


图 1 智能下料车间全工序流程

(深色框为可选设计工序)

Fig. 1 The entire process flow of the intelligent cutting workshop (dark boxes are optional design processes)

根据待切割钢板上下料的方式不同,可将智能下料车间设计为固定切割平台式和托盘交换工作台式 2 种布局,托盘交换工作台式布局又可根据厂房大小将切割机设计成矩阵式或并列工作岛式布局。

图2为某项目固定切割平台式智能下料线,采用智能天车直接在固定的切割机平台上下料,吊具一般采用全覆盖式电磁铁,将切割好钢板零件整体磁吸吊运至链板输送线上,链板输送线将零件向后续分拣工位输送。



图2 固定切割平台式智能下料线

Fig.2 Fixed cutting platform intelligent cutting line

图3为在某实施项目中应用的托盘交换工作台式智能下料线,采用托盘式辊道输送线将车间的钢板物流串联起来,智能行车将钢板放入托盘输送线上料位的托盘上,该托盘被送入切割机下方的辊道工位上进行切割;然后,切割完成后该托盘继续向下游分拣工位、废料处理工位输送;最后,空托盘再回流到初始上料位。



图3 托盘交换工作台式智能下料线

Fig.3 Intelligent cutting line for pallet exchange platform

2 智能切割下料系统

2.1 系统架构

智能切割下料的优势在于通过智能化中控系统实现信息集成,实现生产计划统一调度,监测设备状态可定期维护,减少停机时间以提高设备利用率,大幅减少人力资源,提高车间安全系数。智能化中控系统架构分为4层,如图4所示。

1)上层信息化系统接口层(整厂系统)包括MES、MOM、DIP等,为产线提供生产计划数据、生产资料数据信息。

2)产线中控系统:对智能切割下料线进行统一

调度规划,保证生产节拍均衡,同时对产线设备、生产作业数据进行管理。

3)执行子系统层:对所属的设备进行状态监测和运行控制,负责具体的任务执行。

4)设备层:主要包含具体负责执行作业动作的设备,如智能天车、切割机、输送线、机器人等。

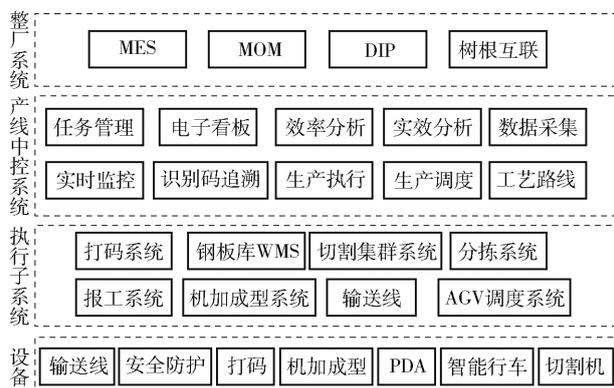


图4 智能化中控系统架构

Fig.4 Intelligent central control system architecture

智能化中控系统还具有以下特点:接口丰富,支持主流 TCP/IP 协议、Webservice、OPC、Socket、API等;与 PLC 的数据交互频率 ≤ 100 ms;支持 WEB 查询响应速度 ≤ 2 s;客户端访问数据库响应速度 ≤ 50 ms;故障切换时间 ≤ 180 s;消息队列与实时数据查询速度 < 50 ms;持续使用时间:24 h 不间断工作。

2.2 生产调度及排程

生产数据包括任务号、套料图名称、切割机名称、切割气体、钢板型号等信息,由 MOM 以及 DIP 系统发送,中控系统接收后通过排程、调度算法生成各个执行子任务,如智能天车任务、切割任务、分拣任务、AGV 任务等,每种任务由对应子系统下发设备执行并返回报工数据。

中控系统生产任务排程调度算法流程如图5所示。通过节点路径及约束条件建立数据模型并进行计算,人工确认后或调整后进行任务的下发与执行,任务执行过程中若出现异常,则需人工进行判断是否需要重排。主要步骤如下:①分解生产任务,生成任务队列;②根据设备状态、零件数量,工序执行时间等约束条件,计算任务时间;③判断是否为任务队列中的最后一个任务;④对上述任务队列进行排程计算,任务计划无调整并通过人工确认后,任务正式下发执行;⑤执行过程中系统监测是否出现异常,并上

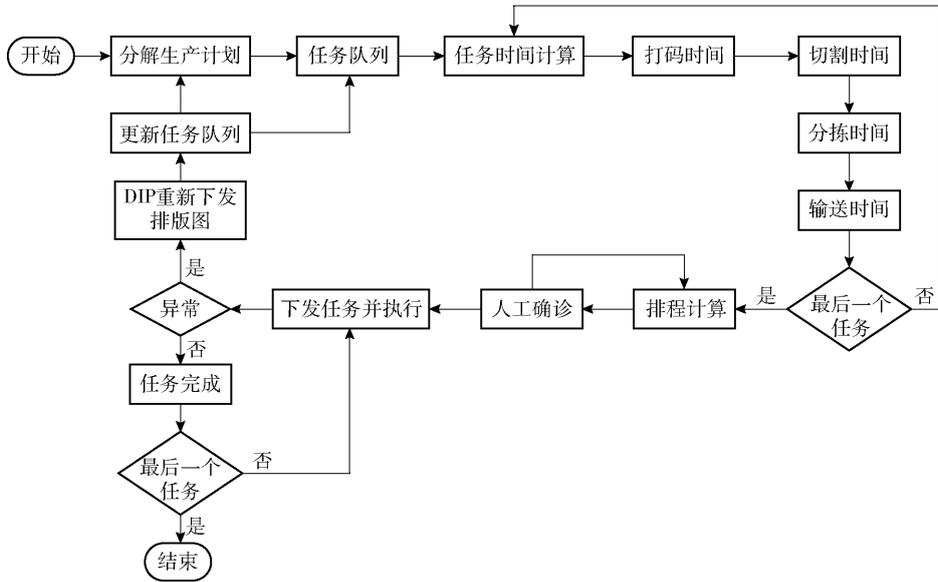


图5 中控生产排程调度算法流程

Fig. 5 Process flow of central control production scheduling algorithm

报 DIP 系统重新下发,同时更新任务队列;⑥判断队列中最后一个任务完成,结束本次生产调度及排程流程。

3 智能切割下料线的推广应用

根据国内工程机械行业某企业的生产技改需求,多个智能化切割下料项目经过调研、设计开发、安装调试等环节,均实现了安全、稳定和高效的生产运行。

图6为在某工程机械企业实施交付的托盘交换工作台式智能下料线项目。该项目投资大,适合大型企业的集中下料管理,物流效率高、信息化程度高、减人效果明显。该项目为 3×2 切割工位布局,共有2台等离子和4台激光切割机,钢板上料切割区域配置了1台智能行车搬运钢板,采用托盘式辊道线输送钢板;分拣区域配置了4台小件分拣机器人、4台小件码盘机器人、2套大件分拣桁架机械手、2套大件码盘桁架机械手,同时还配置了大小件砂光、校平等工序设置,末端采用AGV自动转运零件料框。该项目最大设计产能120张钢板/d,实际最大产能90张/d。

图7为在某工程机械企业实施交付的固定切割平台式智能下料线项目。该项目投资适中,适合中小企业新建或改造下料线。该项目配置4个固定



图6 托盘交换工作台式智能下料线项目实例

Fig. 6 Example of a tray exchange workbench intelligent cutting line project

式切割台位,全部采用等离子切割,切割台位布置在车间两侧,中间设置有输送零件的板链线,板链线两侧配置有零件喷码机、小件分拣机器人、大件分拣桁架机械手等工序设备。智能行车将钢板搬入切割台位,切割完成后再整体将钢板零件搬入板链线,板链线将切割后钢板零件依次输送至后续工序,进行喷码、分拣配盘、废料处理等工序。该项目设计最大产能90张钢板/d,实际最大产能50张钢板/d。

相比传统下料车间,智能切割下料线在车间的自动化、信息化程度、生产效率、利润产值上均有大幅提升,同时减少了人员配置、降低了劳动强度。图8为本文所研究实施项目中单班生产数据统计图,6台切割机单班完成70张钢板的自动切割,仅需3个工人巡检产线即可,而同样的工作量在传统人工作业方式下,则需要5~10人双班才能完成,生产效率至少提升了1倍。



图7 固定切割平台式智能下料线项目实例

Fig.7 Example of a fixed cutting platform intelligent cutting line project

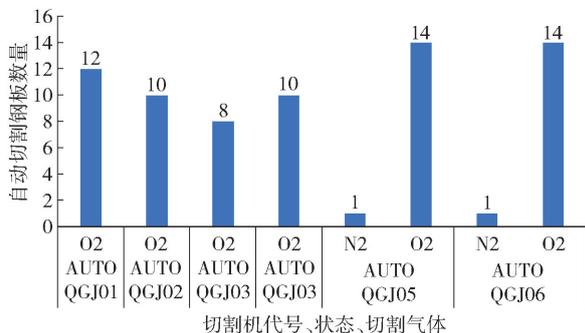


图8 某项目单班生产数据统计

Fig.8 Single shift production data statistics for a certain project

4 结论

1)通过对所实施的具体项目效果进行对比分析,本文所述2种布局方式的智能下料线具有以下特点:托盘交换工作台式智能下料线投资大,适合大型企业的集中下料管理,物流效率高、信息化程度高、减人效果明显,但此种方式维护成本高,损耗件更换周期短;固定切割平台式智能下料线投资适中,适合中小企业,但该方式对智能行车的全覆盖式吸盘吊具要求较高,且不利于后续自动分拣处理。

2)研制的2种智能切割下料产线设计方案目前在工程机械行业内处于领先,其中某项目6台切割机单班可完成70张钢板的自动切割,仅需3个工人巡检产线,而传统人工方式则需5~10人双班才

能完成,生产效率至少提升了1倍。项目投产后具有很好的应用价值,并可为类似智能生产线的建设提供技术参考。

[参考文献]

[1] 程璠.《中国制造2025》工程机械产业新机遇[J].今日工程机械,2015(7):28-29.

[2] 黎水平,张青.一种智能化生产线设计方案研究[J].制造业自动化,2019,10(41):57-61.

[3] 徐国强,袁国,王天胜.一种钢板切割下料智能化生产线及其生产方法.CN202010756574.7[2023-12-04].

[4] 袁平,杜勇奕,袁钢.信息智能化全自动装配生产线技术开发探讨[J].产业与科技论坛,2021,20(23):52-53.

[5] 马迎召,邱永峰,郑祎,等.面向工程机械领域的视觉引导重载桁架智能分拣控制系统[J].有色设备,2023,37(2):1-5.

[6] 翁耿贤,陈宏领,罗兴民,等.智能下料生产线开发与应用[J].广东科技,2019,28(10):51-54.

[7] 潘小华,芦俊,陈仑,等.一种厚料液压精冲自动上下料生产线设计[J].机电工程技术,2020,49(12):138-140.

[8] 蒋超.自动化生产线智能分拣系统设计[J].湖南邮电职业技术学院学报,2021,20(1):16-18.

[9] 柳君,石峰,张译.自动化技术在智能生产线上的开发与应用[J].自动化应用,2023,64(4):73-75.

[10] 高健,刘青川,范蕊,等.基于机器视觉的工业机器人智能分拣系统设计研究[J].南方农机,2021,52(3):18-19.

[11] 徐青青.基于机器视觉的工业机器人智能分拣系统设计[J].仪表技术与传感器,2019(8):92-95,100.

[12] 王龙昌,王立伟,丁希波.桁架式全自动生产线的智能化设计[J].设备管理与维修,2021(7):109-110.

[13] 朱建明,杨晓卿,杨应凯,等.一种智能钢板立体库及全自动钢板切割生产线的研制[J].制造业自动化,2023,45(8):210-213.

[14] 田建良,郑雷,高媛.智能板坯切割模型开发与实践[J].冶金自动化,2021,45(S1):81-83.

[15] 莫中凯.有色金属冶金工艺智能集成建模的软约束调整及锌电解综合优化控制技术[J].湿法冶金,2020,39(5):440-444.

Comparative study and promotion application of two intelligent cutting lines for the construction machinery industry

MA Yingzhao, QIU Yongfeng, ZHA Bo, ZHENG Yi, GUO Siming, PENG Kang, WU Yahui
(Hunan Tianqiao Jiacheng Intelligent Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: In response to the problems of low work efficiency, low level of automation, and low level of informatization brought about by manual cutting and cutting of traditional steel plates, the paper studies and designs two intelligent cutting and cutting production lines, namely fixed cutting platform type and tray exchange workbench, to achieve automation of steel plate entry and exit, cutting and loading and unloading, logistics transportation, parts sorting and other process links. The intelligent central control system connects various process links in the cutting workshop, the cutting workshop, and the upper level information system of the enterprise. A comparative study was conducted on two intelligent cutting and cutting production lines, and important reference conclusions were obtained. According to the actual production data of intelligent cutting and cutting materials put into operation by a leading engineering machinery manufacturer, statistical research and analysis show that compared to traditional manual cutting, the production efficiency of the intelligent cutting and cutting line has doubled, reducing personnel by more than 50%.

Key words: intelligent cutting line; fixed cutting platform; pallet exchange platform; intelligent manufacturing; steel plate ▲

敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfangdata.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591、63933053 联系。

《有色设备》编辑部