

工业机器人在机械制造中的应用与优化研究

冯程程

大庆惠博普石油机械设备制造有限公司, 黑龙江 大庆 163000

[摘要]工业机器人是智能制造的重要设备,在机械制造中起着越来越大的作用。目前工业机器人已经广泛地被使用在搬运、焊接、装配、喷涂、检测等重要的生产环节上,极大地提高了制造效率以及产品的统一性。但是实际使用中还存在着选型不准、布置不合理、节拍设计不好、运维管理粗放等现象,影响了它的发挥。本文在对工业机器人进行分类以及主要特点的系统梳理之后,对它在机械制造各个环节的应用现状及存在的问题进行了详细的分析,最后从系统规划与选型、布局与流程优化、轨迹与节拍协同、运维与效能综合等几个方面提出了相应的优化设计策略。经过研究得知,系统化的优化设计可以明显提高工业机器人在机械制造中应用的效率,给智能制造提供强有力的支撑。

[关键词]工业机器人;机械制造;应用现状;系统优化;智能制造

DOI: 10.33142/ect.v4i8.20335

中图分类号: TP242.2

文献标识码: A

Research on the Application and Optimization of Industrial Robots in Mechanical Manufacturing

FENG Chengcheng

Daqing Huibopu Petroleum Machinery Equipment Manufacturing Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract: Industrial robots are important equipment for intelligent manufacturing and play an increasingly important role in mechanical manufacturing. At present, industrial robots have been widely used in important production processes such as handling, welding, assembly, spraying, and inspection, greatly improving manufacturing efficiency and product uniformity. However, in actual use, there are still phenomena such as inaccurate selection, unreasonable layout, poor rhythm design, and extensive operation and maintenance management, which affect its performance. After classifying industrial robots and systematically summarizing their main characteristics, this article provides a detailed analysis of their current application status and existing problems in various aspects of mechanical manufacturing. Finally, corresponding optimization design strategies are proposed from several aspects, including system planning and selection, layout and process optimization, trajectory and rhythm coordination, operation and maintenance, and efficiency integration. After research, it has been found that systematic optimization design can significantly improve the efficiency of industrial robots in mechanical manufacturing, providing strong support for intelligent manufacturing.

Keywords: industrial robot; mechanical manufacturing; application status; system optimization; smart manufacturing

引言

工业机器人是面向工业领域的一种多关节机械手或者多自由度自动控制装置,具有可编程、拟人化、通用性等特点,是智能制造和柔性生产的关键技术。由于人口红利的消失,劳动力成本不断上涨,制造业对于生产效率和产品质量的要求也越来越高,工业机器人在机械制造上有了广阔的应用市场。目前,中国已经成为世界上最大的工业机器人市场,制造业的机器人密度迅速提高,工业机器人已经从最初只在汽车制造中使用,逐渐扩展到一般工业领域。工业机器人技术越来越趋向于智能化、协作化、柔

性化的发展,它的应用也由原来的单一的重复性工作扩展到复杂的工艺流程当中。但是快速推广的同时,怎样根据具体的制造场景来科学选型、合理布局、优化运行、精细化管理,仍然是许多制造企业所面临的问题。在这种情况下,对工业机器人在机械制造中应用及优化方法进行系统的探究,对促进制造业的智能化转型有着十分重要的理论意义以及工程实用价值。

1 工业机器人的分类及主要特点

工业机器人按照结构形式和运动方式的不同,可以分为许多种,各种机器人在机械制造中所处的环境、技术要

求以及适用场合也存在差异。关节型机器人是应用最广的一种,一般有6个旋转关节,可以实现空间任意位置和姿态的灵活运动,适用于焊接、装配、搬运、喷涂等作业场合。直角坐标型机器人依靠三个线性轴的运动来达成空间定位,结构简单,定位精确,成本低,适合于点胶,插件以及简单的搬运工作。SCARA机器人有三个平行旋转关节和一个线性移动关节,水平方向具有较好的刚性和高速运动能力,适合于平面装配和精密搬运。并联机器人利用多组并联的连杆来驱动动平台运动,刚度大、速度快、精度好,被用在高速分拣、精密加工等场合。协作机器人近些年来发展迅速,协作机器人注重同工人在同一个空间内安全共融工作,具备轻量化、高灵敏度的碰撞检测以及容易编程的特点,适合于小批量多品种的柔性制造环境。

从共性特点来讲,工业机器人有以下几方面优势。第一,具有很高的柔性、可编程性,可以对机器人的程序、末端执行器进行实时切换,满足各种品种变批量的生产需求。第二,稳定性、重复精度高,机器人可以达到很高的重复定位精度来完成作业,保证产品的统一性以及质量的稳定性。第三,在恶劣的环境条件下可以代替人工工作,在高温、粉尘、有害气体等环境下工作,改善劳动条件。第四,具有良好的信息交互能力,现代工业机器人可以利用工业以太网、现场总线等途径同上层管理系统以及其他设备开展数据交流,属于达成智能制造的理想执行单元。工业机器人向着越来越智能、越来越网络化、越来越标准化方向发展,未来的机器人系统会具有更强的环境感知、自主决策、协同作业能力。

2 工业机器人在机械制造中的应用现状

2.1 搬运装配与焊接加工应用现状

搬运作业是工业机器人在机械制造中使用最广、应用最广的功能。工业机器人在物料搬运、上下料、码垛等处有很高的效率、可靠性。在数控机床上下料过程中,机器人代替人工进行工件的抓取、装夹、卸下,大大提高了设备利用率以及生产节拍。搬运机器人在冲压、锻造等重体力劳动中完成工件在各个工位的转移,有效地避免了人工作业的安全隐患。工业机器人在焊接加工中已经成为焊接自动化的主要设备。机器人焊接系统被普遍应用在汽车零部件、工程机械以及钢结构的制造当中。弧焊机器人与变位机配合使用可以实现复杂焊缝的自动化焊接,大大提高了焊接质量以及生产效率。点焊机器人由于高速度、定位精度好而被大量应用在车身焊接等薄板连接上。焊接机器人对于提高焊接质量的一致性、减少焊工的技能依赖起着

重要的作用,是目前焊接自动化的主要技术方案。

2.2 喷涂表面处理与检测质控应用现状

喷涂作业环境恶劣,涂料中的有害物质会对操作人员的健康造成较大的危害,所以喷涂是工业机器人最早实现规模化应用的领域。喷涂机器人具有防爆性以及特殊的密封结构,在油漆、溶剂等易燃易爆的环境下可以安全工作。喷涂机器人依靠精确的轨迹规划以及流量控制,可以达到均匀稳定的涂膜效果,涂料利用率比人工喷涂高很多,在汽车涂装、电子产品外壳喷涂等场合得到广泛应用。表面处理上,打磨抛光、去毛刺机器人正在逐步取代传统的人工手持工具作业方式,具有力控装置和视觉系统的机器人可以在复杂的曲面上自适应加工,消除人工打磨难以保证的质量一致性问题^[1]。机器人视觉检测系统在检测和质量控制上正成为在线质量控制的有力手段。将工业相机和图像处理算法集成到机器人末端,机器人可以对工件进行自动定位、尺寸测量和表面缺陷检测,达到100%在线全检的效果。视觉引导技术使机器人可以根据工件位置偏差来自动调节运动轨迹,大大提高了作业的适应性以及智能化程度。

2.3 工业机器人应用中存在的主要问题

尽管工业机器人在机械制造中应用效果较好,但是它在实际推广和使用过程中还存在着诸多问题。首先就是系统集成困难、周期长。工业机器人应用属于一个复杂的系统工程,牵涉到机器人本体、末端执行器、外围设备、传感器、控制系统等诸多子系统,系统集成成本一般会远远大于机器人本体的采购成本,并且集成周期也会比较长。其次就是机器人柔性和智能化水平还有待提高。目前大部分工业机器人仍然使用示教再现的方式工作,没有对环境的变化以及工件的不同做出自适应的能力,当产品换型的时候需要专业的人员重新示教编程,降低了柔性制造的响应速度。中小企业使用难度大。由于采购成本高、场地改造费用大、人员培训投入多等种种原因,很多中小企业对于引进工业机器人存在观望的态度。第四是专业人才缺乏。既懂机器人技术又懂制造工艺的复合型人才严重短缺,是工业机器人广泛使用的一个重要原因。

2.4 工业机器人应用趋势与技术需求

就未来而言,工业机器人在机械制造方面的应用有如下几个主要的发展趋向。第一就是智能化的趋势。人工智能技术正在同工业机器人深度结合,使机器人具有了视觉识别、力觉感知、路径自主规划、工艺参数自适应优化等能力,未来机器人不再只是执行机构,而是一个有认知、

有决策的智能作业单元。第二就是协作化。协作机器人依靠力限制、碰撞检测等技术达成与人共存的作业环境安全共融，创建起一种新的小批量柔性制造方式。第三就是柔性化。制造业正在由大规模的标准化生产转变为个性化定制生产，因此机器人的系统需要有快换型和能适应多种工艺的功能。第四就是数字化、网络化的发展^[2]。工业机器人正成为智能制造系统中的重要数据节点，依靠对自身运行情况进行实时采集并上传，从而支持设备健康管理和生产过程的改善。就技术需求来说，轻量化高刚度本体设计、高精度力控和视觉传感、方便的离线编程等成了目前的研究热点。

3 工业机器人机械制造应用系统的优化设计

3.1 系统规划与机器人选型优化

工业机器人应用系统优化设计首先要从系统规划角度出发，在确定应用目标和约束条件之后再科学选择。系统规划要按照“工艺需求驱动、全流程统筹、技术经济兼顾”原则，对生产对象特点、工艺需求、生产节拍、作业空间、安全要求、投资预算等各方面因素进行综合分析，不能盲目选型、过度配置。机器人选型属于应用系统设计的重要部分，选型是否恰当会直接关系到系统的应用成效以及投资收益。选型优化以负载能力、工作空间、重复定位精度、运动速度、防护等级、控制系统开放性 etc 为主参数来考虑，并根据具体作业要求选择合适的。应该综合考虑机器人技术性能、可靠性、备件供应、扩展升级能力等各方面因素，不能只看初始采购成本，忽略全生命周期使用成本。多品种小批量生产场合下应该选择具有离线编程、快速示教功能的机器人系统。对需要和人一起工作的场景要评价其安全性能以及易用性。根据工艺要求，经过科学选型优化，在技术性能和经济效益之间取得平衡，见表。

3.2 工作站布局与作业流程优化

工作站布置和作业流程的改进属于提高机器人应用

系统运行效率的重要部分。合理的布置要符合物料流动顺畅、作业路径最短、人机安全隔离、空间利用率高这些标准。在布局设计时，要对工件上下料方向、各个工序之间物料流动方向、机器人可达空间和工位之间的覆盖情况等进行分析，尽量减少机器人运动路径的交叉和迂回。合理布置可以大大减少辅助时间，提高机器人有效工作时间所占比例。常用的站位布置方式有直线型、L型、U型和环形等，不同布局形式适合于不同的生产规模及工艺特性^[3]。在作业流程的优化上，可以采用工业工程的方法对作业环节的动作进行分析，时间进行研究，找出非增值的时间并加以消除。采用合理的上下料装置、定位夹具以及工件翻转机构，可使机器人等待时间和辅助操作时间得到缩减。人机工程优化设计在需要人工参与的工作站中保证操作者的安全、可视、方便。

3.3 运动轨迹与节拍协同优化

运动轨迹规划、节拍优化都是决定机器人作业效率、质量的重要技术环节。机器人运动轨迹优化要以保证运动安全、平稳为前提，力求缩短循环时间。在轨迹规划上要考虑起点、途经点、终点之间最短路径，不能出现无谓的加减速、急转弯动作，在满足工艺要求的基础上达到时间最优或者能耗最优的运动。焊接、喷涂等连续路径作业中轨迹的平滑性、速度的均匀性都会影响到工艺质量。使用离线编程以及仿真技术，在实际调试之前就可以对轨迹进行初步的验证与优化，大大缩减了现场示教和调试的时间。在节拍协同上要兼顾机器人同外围设备的动作时序，用准确的时序配合来消除等待时间。对多机器人协同作业的场景来说，要合理分配各个机器人的作业范围以及时间窗口，防止互相影响、等待，从而达成整体节拍的最优化。节拍优化要以生产系统整体平衡为出发点，不能因为个别工位追求高速而造成前后工序不匹配。

表 1 工业机器人类型选型参数对比

参数指标	关节型机器人	直角坐标型机器人	SCARA 机器人	并联机器人	协作机器人
自由度	6 轴为主	3~5 轴	4 轴	3~6 轴	6~7 轴
额定负载	3~500kg	1~200kg	1~20kg	1~50kg	0.5~20kg
重复定位精度	±0.02~0.1mm	±0.01~0.05mm	±0.01~0.02mm	±0.01~0.05mm	±0.02~0.1mm
工作空间	球形，范围大	矩形，范围有限	圆柱形	较小	球形，范围中等
运动速度	中等	中等	快	很快	中等偏慢
主要优势	灵活、通用性强	精度高、成本低	水平刚性好	速度快、刚度高	安全、易用
典型应用	焊接、装配、搬运	点胶、插件	精密装配、分拣	高速分拣	人机协作

3.4 运维管理与效能综合优化

运维管理以及效能综合优化属于工业机器人长时间稳定高效的运行的保障。运维管理上要创建起完备的设备档案及保养规划,制订出包含日常点检,定时保养,故障维修以及性能检测在内的标准作业程序。预测性维护正成为机器人运维管理的新走向,通过安装在机器人关键部件上的传感器来对机器人的振动、温度、电流等进行实时监测,对数据进行分析,提前预知故障并进行预防性的维修。从效能综合优化的角度来说,要创建起包含设备利用率、生产节拍、质量合格率、能耗水平等主要指标的效能评价体系^[4]。设备综合效率是评价机器人应用系统运行效率的主要指标,通过时间利用率、性能开动率、合格品率等各方面进行系统的分析,找出影响效能发挥的主要问题。另外还要重视操作和维护人员的技能培训,组建起一支既懂机器人操作、编程、维护又会处理故障的复合型技术队伍,给机器人系统持续高效运转提供人才支撑。

4 结语

工业机器人在机械制造领域的发展,正在由原来的简单重复工作向复杂的工艺过程转变,由单机操作向系统集成转变,由固定的编程方式向智能自主转变。本文对工业机器人进行了分类,分析了其在搬运、焊接、装配、喷涂、

检测等重要制造环节的应用情况,对目前存在的系统集成困难、柔性差、人才缺乏等问题进行了分析,从系统规划与选型、布局和流程优化、轨迹和节拍优化、运维和效能优化四个方面给出了优化设计的方法。经过研究得知,系统化的优化设计才是发挥机器人应用效能的保证,需要从技术、管理、人才等各方面共同推进。伴随着人工智能、云计算同机器人技术的深度交融,工业机器人在机械制造中所起的作用将会越发重要,给制造业高质量发展赋予愈加强大的技术支撑。

[参考文献]

- [1]连璞.工业机器人在机械制造中的应用研究[J].中国机械,2025(6):61-64.
- [2]滕泉,苗家明.工业机器人在机械制造自动化中的应用[J].集成电路应用,2023,40(9):182-183.
- [3]史书源.智能机器人在工业制造中的自动化应用与优化[J].造纸装备及材料,2024,53(2):94-96.
- [4]冀亮亮,吕娟娟.工业机器人在现代制造行业中的应用[J].科技风,2020(7):21.

作者简介:冯程程(1983—),女,满族,黑龙江大庆人,本科,东北石油大学过程装备与控制工程专业毕业,研究方向为油田地面设备加工制造。