# 工业机器人在轨道交通制造中的应用现状及发展趋势

朱志民[1]，方孝钟[1]，周勇[1]，王亚婷[1]，高云龙[2]，苗冬冬[3]

1.中车南京浦镇车辆有限公司　江苏南京　210031
2.北京艾捷默机器人系统有限公司　北京　102202
3.克鲁斯焊接技术北京有限公司　北京　101300

**摘要**：随着轨道交通行业高质量发展需求的不断提高，基于5G技术、数字孪生车间、数字化工厂的智能制造成为轨道交通车辆制造企业的发展方向。工业机器人逐渐在焊接、打磨、组装及喷涂等方面得到广泛研究和应用。结合中国中车部分子公司的机器人应用情况，对这些工业机器人及自动化柔性生产线系统的应用现状进行分析介绍，并结合智能制造技术，展望工业机器人在轨道交通制造中的发展趋势。

**关键词**：工业机器人；轨道交通制造；柔性生产线

## 1　序言

目前，中国经济正处于从“高速度发展”迈进“高质量发展”阶段，对制造业提出了更高更新的要求。凭借生产操作稳定、改善劳动环境、减轻劳动强度、提高劳动生产率等特点[1]，工业机器人被广泛应用于汽车、铁路装备及工程机械等各个行业，并逐渐走向系统化、规模化和智能化。中国中车作为我国先进轨道交通装备领域的主要代表，为更好地贯彻落实“中国制造2025”战略部署，提出“中车智造2025”，以标准化、精益化、数字化、网络化和智能化作为“中车智造2025”的实施路径，按照夯实标准化基础、强化精益化管理、加快数字化进程、创新网络化模式，以及探索智能化转型的策略稳步推进。本文结合中车智能化转型中工业机器人的应用，对目前市场上应用较多的焊接机器人、打磨机器人、组对工业机器人，以及将不同单功能机器人整合的柔性生产线系统等工业机器人应用现状进行分析介绍，并从企业发展和技术革新角度出发，展望工业机器人在未来轨道交通制造中的发展趋势。

## 2　常见工业机器人应用现状

### 2.1　焊接机器人的应用

焊接作为轨道车辆制造的关键一环，也面临着转型升级，焊接数字化、智能化是推动先进轨道交通装备发展的新动力。目前，国内外轨道交通企业的焊接作业，都是在沿用传统制造模式的同时，随着5G、物联网、工业机器人及数字焊机等技术的发展，开展自动化、数字化制造生产线应用研究及生产实践，使产品质量、管理水平、生产效率也得到了大幅提升，起到了良好的示范效应。

焊接机器人的应用如图1所示，可以取得以下效果。

1）保证焊接过程稳定，提高产品制造过程的受控程度。机器人焊接时焊缝的焊接参数恒定，人为因素影响较小。

图1　焊接机器人的应用

2）改善操作工的职业健康条件。用机器人焊接时，工人远离焊接弧光、烟雾和飞溅等危害。

3）机器人操作动作、生产节拍固定，生产周期明确。随着离线编程的应用，工人还可以远程操控，为进一步打造全自动的无人化工厂创造了条件。

4）机器人可以连续生产，每天作业20h，极大地提升了生产效率，降低了生产成本。

5）除了弧焊，在搅拌摩擦焊领域，搅拌摩擦焊机器人应用也是未来搅拌摩擦焊装备发展的一个重要方向[2]。

### 2.2 打磨机器人的应用

中车唐山机车车辆有限公司（以下简称中车唐山）、中车株洲电力机车有限公司（以下简称中车株机）等分别在动车转向架、机车司机室焊缝打磨中开展打磨机器人应用研究[3, 4]。对于较大长直焊缝的打磨，可以利用大型工具的快速打磨能力在较短时间内完成大部分打磨量；对于较小的弧形焊缝，可以利用小型工具的灵活处理来完成复杂焊缝的打磨；而校准参考工具可以通过传感器对工件和工具的偏移量进行精准计算和补偿修正，既避免了硬件偏差对打磨质量的影响，也省去了人工校准所需的大量时间，如图2所示。

图2 打磨机器人的应用

以igm打磨机器人为例，配备了自适应接触法兰，确保打磨过程中打磨工具与被加工表面始终保持恒定。同时可以起到砂轮砂带磨损自动补偿作用，适用于各种复杂曲面的打磨。同时igm打磨机器人可以选配不同规格的打磨工具和校准参考工具。用户程序编程方面，自动打磨机器人使用igm成熟的离线编程方式，在离线软件中模拟出最合理的机器人运行路径、打磨路径和打磨量，同时也避免了现场示教编程的设备和人员的安全隐患。

### 2.3 组对机器人的应用

在轨道交通车辆产品的制造过程中，有的组对工艺过程也可以利用机器人来替代人工操作，实现自动化的组对安装，如构架焊接组对机器人，可实现转向架构架侧梁内腔等结构的自动组装，如图3所示。

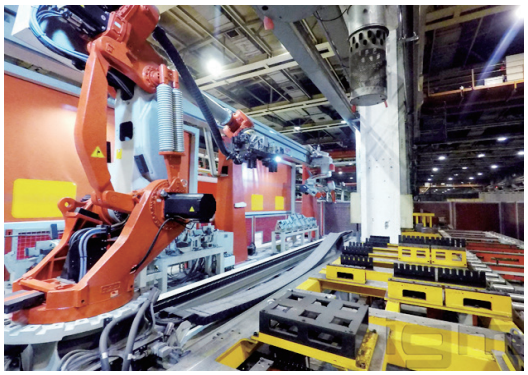

图3 组对机器人的应用

由于不同车型的横梁构造不一，组对机器人可通过提前设定的不同程序来适应多种类型的横梁结构。通过机器人灵活的搬运、拼点，借助工装结构件更高效地完成组对，可节省人工成本，成功解决了生产线系统中的瓶颈难题。

### 2.4 喷涂机器人的应用

喷涂机器人基本由智能控制系统、智能视觉系统、防爆喷涂机器人三部分组成，可以通过自动离线编程软件，生成打磨、抛光程序，如图4所示。喷涂机器人能够实现工艺及过程控制的自动化、智能控制，完成车体、构架等自动喷涂，使喷涂过程更加智能、简单，可视化、再现性高，涂膜控制更加精准，颜色更加鲜艳。同样通过对机器人结构的静动态刚度、运动学动力学分析，建立设计仿真分析

图4 喷涂机器人

平台，也可以采用机器人进行恒力打磨，完成轨道交通车体机器人腻子打磨。

### 2.5 组装机器人的应用

在车辆组装过程中，机器人被广泛地应用于零部件自动化装配或压装、螺栓自动拧紧、内部物料转运等方面，主要是采用机械臂代替人工进行装配、自动选取扳手和套筒、打扭力、记录扭力数值，以及自动生成装配记录并上传云端保存等工作，如图5、图6所示。

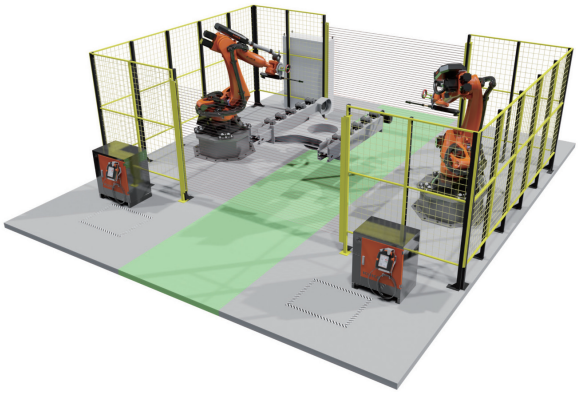

图5 组装机器人的应用

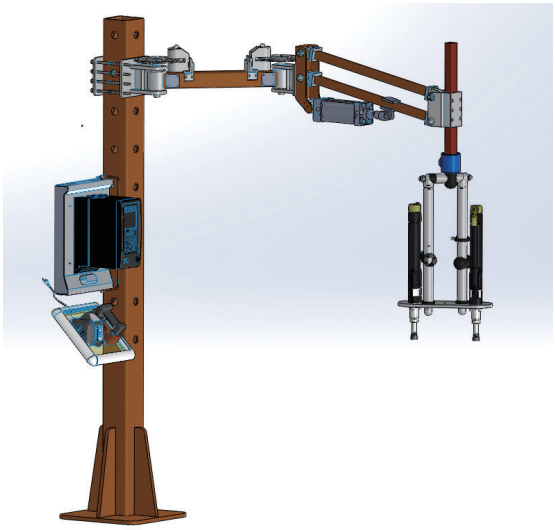

图6 立柱式拧紧机器人的应用

## 3 以构架焊接为例的柔性生产线系统

### 3.1 柔性生产线系统概况

随着企业人力资源成本的不断增加，安全环保、职业健康的管理难度越来越大，在不断成熟的工业机器人技术支撑下，企业越来越意识到使用机器人代替人工是制造业发展的趋势。企业希望工业机器人可以覆盖整个生产流水线，越来越多的柔性生产线系统开始应运而生，借助5G、数字化、信息化将各个功能的机器人整合起来，使整个生产过程连续、灵活起来。图7是igm设计的FMS柔性生产线系统，图8是CLOOS设计的构架自动化生产线。

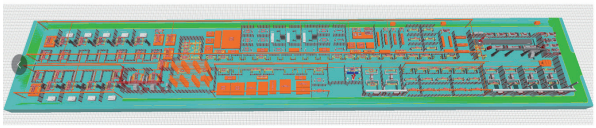

图7 igm的FMS柔性生产线系统

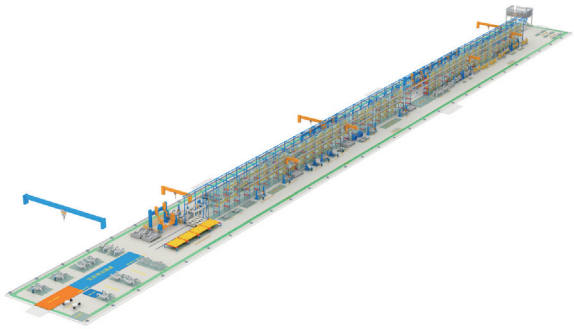

图8 CLOOS构架自动化生产线

柔性自动化生产线可以实现多种型号的产品自动切换生产，主要构成包括：①生产线控制：用于生产线内信息沟通。②立体库：用于存放待焊件、焊后成品、夹具等。③组装线：用于组装侧梁。④焊接工作站：用于焊接侧梁内腔、侧梁外焊缝、横梁及构架等。⑤物流线：用于生产线内物流，生产线外的进料和出料。⑥手工线：产品修整、手工组装等。⑦检测设备：用于产品检测。

### 3.2 柔性生产线系统功能实现

借助中央控制系统，整条生产线成为了一个统一、和谐的整体，如图9所示。柔性生产线系统主要可以实现以下功能：①承接上游信息系统传递的生产工单信息，将相应的作业指令分配到具体的作业设备，自动调度物料、自动加工。②获取工单传递的物料信息，并与检测的物料进行比对。③设备具有二维码扫描功能，可以扫描工件上的二维码。④能接收上游信息系统下达的质检要求，并反馈质检信息。⑤可以解析工单中传递的工艺参数、工艺要求、焊接参数等，形成设备的控制指令，驱动设备完成制作执行及工艺防纠错的过程。⑥能将机器人作业的实际参数及时采集上传信息系统，所有设备的生产日志数据自动存储并自动传送到上游系统服务器中。⑦设备可以根据信息系统传递的产品信

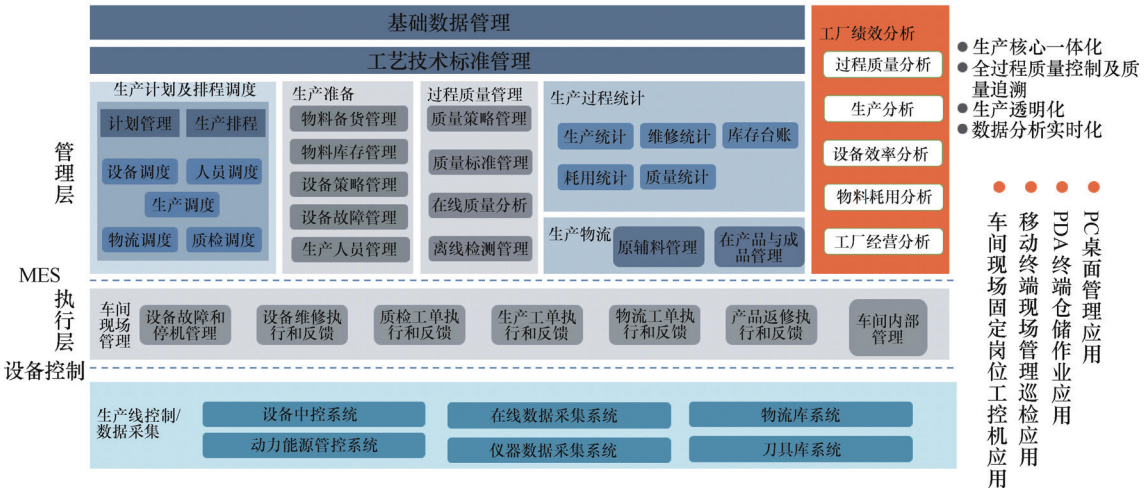


图9　柔性生产线系统的全面生产过程管理

息、工艺要求做到柔性切换。⑧可以承接上游系统传递的焊接程序，并驱动焊接生产过程的执行。

## 4　中车部分子公司的构架焊接自动化生产线

转向架构架生产主要以焊接为主，焊接质量的稳定是决定构架产品质量的关键。利用先进的数字化智能制造技术，实现产品制造全过程的追溯，并且利用信息化物联网技术，实现过程数据自动检测记录，取消纸质记录；利用机器替代人，减少作业人员投入，关键主要焊缝实现工业机器人自动化焊接，减少人为因素的影响，降低质量风险，提高产品质量的稳定性；同时实现节拍化生产，提高生产效率。中车四方、中车株机、中车唐山、中车浦镇等公司均开展了构架焊接智能化生产线建设工作，见表1。

表1　中车某些企业构架焊接智能化生产线建设情况

| 项点 | 中车四方 | 中车株机 | 中车唐山 | 中车浦镇 |
|---|---|---|---|---|
| 装配方式 | 侧梁自动化<br>横梁、构架人工 | 侧梁自动化<br>横梁、构架人工 | 侧梁自动化<br>横梁、构架人工 | 侧梁、横梁自动化<br>构架人工 |
| 自动化程度 | 侧梁内腔、外体<br>横梁外体<br>构架<br>90% | 侧梁内腔、外体<br>横梁外体<br>构架<br>90% | 侧梁内腔、外体<br>横梁外体<br>构架<br>90% | 侧梁内腔、外体<br>横梁外体，小件<br>构架<br>95%以上 |
| 打磨 | 自动打磨<br>人工打磨 | 人工打磨 | 自动打磨<br>人工打磨 | 自动打磨<br>人工打磨 |
| 无损检测 | 人工 | 半自动+人工 | 人工 | 半自动+人工 |
| 常规检测 | 划线 | 划线 | 划线 | 划线+自动检测 |
| 机器人数量/台 | 18 | 16 | 15 | 22 |
| 运输、存储方式 | RGV、<br>缓存站 | RGV、AGV、<br>立库 | RGV、AGV、<br>立库 | RGV、AGV、<br>立库 |
| 柔性化 | 动车组构架，A、B型地铁 | A、B型地铁 | 250标动、动力集中、B型构架 | B型、A型、动力集中构架 |
| 节拍/h | 2 | 2 | 1.5 | 1 |
| 信息化 | MES | MES | MES、焊接监控 | MES、焊接监控 |

虽然工业机器人被各企业普遍应用，但是仍然存在以下一些问题：①梁体内部、外部局部等可达性不好，焊接机器人不能完全覆盖。②自动化装配稳定性有待验证，小部件装配、构架等结构受限。③磁粉检测可以自动磁化及喷洒磁悬液，判定则需要人工完成。④自动化打磨技术不太成熟，效果不理想，只适合粗磨。⑤自动尺寸检测技术还需要进一步验证。

## 5　工业机器人在轨道交通制造中的发展趋势

### 5.1　工业机器人与数字工厂

当前全球制造业与信息科技深度融合，数字工厂技术作为数字孪生分支领域，是全球先进智能制造研究热点，并广泛应用于航空航天、造船、汽车等重点工业领域[5]。数字工厂技术与制造装备有机结合，正引领着第四次信息工业革命。伴随工业信息化与机器人化，工业机器人势必成为数字工厂的

重要角色，通过数字孪生技术集成智能传感技术、联合仿真技术、数据分析技术以及智能控制技术等，可以有效地融合、集成和同步虚拟产品与物理产品，并支持它们之间巨大的数据互动[6]，实现轨道交通制造全流程数字化开发。同时，维护生产管理，持续不断地提升产品品质、生产工艺及管理水平。达到这样的智慧化程度，不仅需要大幅提升机器人集成技术，更需要企业精益生产管理能力与机器人集成技术的紧密融合[7]。

### 5.2 工业机器人与智能制造

现在智能制造是当前世界制造业的共同发展趋势，中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司高速动车组齿轮传动系统智能装配车间、中车株机轨道交通转向架智能制造车间等都是轨道交通行业在智能制造方面进行探索而结出的硕果[8]。虽然相比汽车部件的定型制造，轨道交通装备属于客户个性定制产品，智能制造实现的难度更大，但是伴随工业机器人标准化、精益化、智能化的发展，必然会促进轨道交通装备智能制造的进一步发展。如以转向架为例的智能制造，工业机器人的应用应该立足于全制造流程的每个方面（见图10），助力于智能制造的每一个阶段。

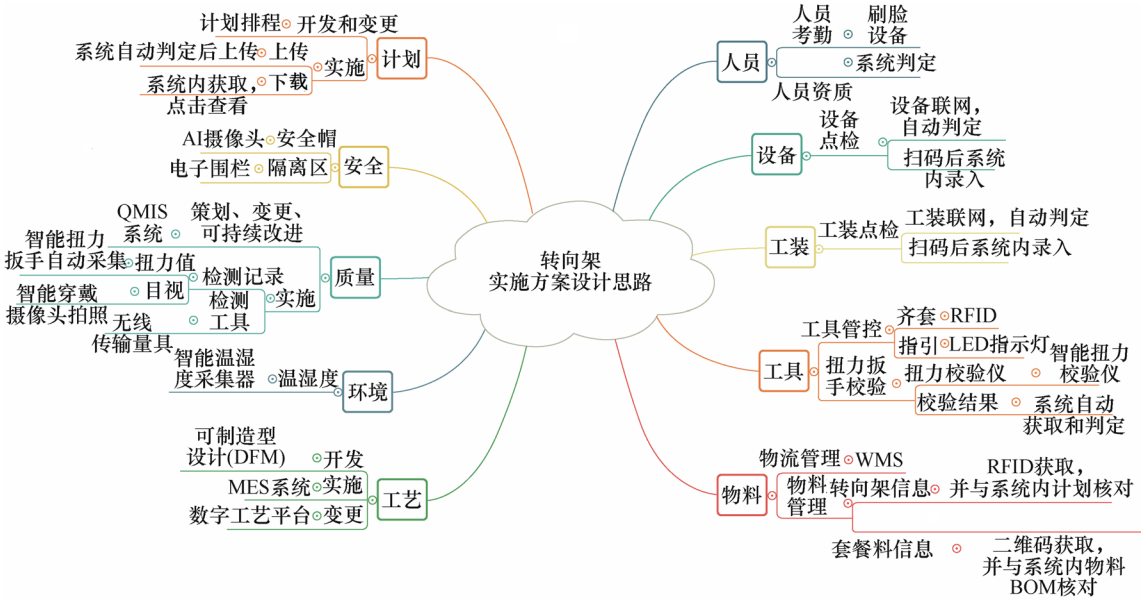


图10 以转向架为例的智能制造设计思路

### 5.3 工业机器人与精益制造

中国中车在深入推进生产线转型升级的过程中，不是为了数字化而数字化，而是依托精益制造理念，打造符合企业实际情况的精益制造生产线，并根据生产线上的需要精益地使用工业机器人。

总体来看，未来以下4种情况的工业机器人应用会比较广泛。

1）人工不适合作业的动作：如打砂、油漆、防腐、高空作业及有毒有害气体泄漏检测等，对操作者的健康伤害比较大，作业员工也难招聘、难培养。

2）人工作业不经济的动作：如焊接、无损检测等，招聘并培训员工的成本比较高，且存在职业健康风险。

3）对人的技能要求比较高的动作：如长大焊缝的焊接、高精度的尺寸检测、高空维护作业等，机器人作业更加稳定、可靠，还可以实现作业记录自动生成并上传云端。

4）简单重复的动作：如记录填写、打磨、简单的目测等，机器人可以快速地达到工作成效。

### 5.4 工业机器人与专职人才

工业机器人的大量使用，必定造成机器人功能开发、实况应用、日常维保都需要专职人才。基于企业发展的需要，应加强校企联合育人机制，相应地培养一线员工、中等技能技术人员以及高端技能人才，组建一支高素质人才队伍，搭建全面型人才培养体系，为生产企业智能制造的推进提供帮助和支持。

# 焊接防护的经济效益

欧泽兵
3M中国有限公司　北京　100176

**摘要**：焊接职业伤害不仅给焊工带来伤痛和工时损失，而且给企业增长和社会和谐带来不利影响。分析职业伤害风险因素并采取必要的管理措施和防护措施，加大对员工职业健康的投资，不仅能降低职业伤害发生的概率和降低企业的安全成本，而且有助于企业向员工传递企业对其健康和安全的关注，提高员工的士气。创建更快乐、更舒适的作业环境理念，以健康和安全文化推进企业的可持续发展，进而提升企业的经济效益。

**关键词**：焊接；职业危害；防护设备；经济性；效益

## 1　序言

据国家统计局数据，2018年全国粗钢产量破9亿t，超过一半的钢产量需要焊接。焊接作为重要的制造工艺，在各行各业扮演着举足轻重的角色。焊工平均工资这一指标在一定程度上体现了焊接技能的重要性。据薪酬网调查数据[1]，2019年榆林市非私营企业就业人员年平均工资为64 077元，焊工年平均工资约90 000元；2018年青岛市企业就业人员月平均工资为5683元，焊工平均工资约7394元；2018年上海月平均工资为9621元，焊工平均工资为12 000~15 000元。焊工作为高技能人才，从整体工资水平上得到了充分体现。培养一名成熟的技师需

## 6　结束语

1）随着轨道交通装备制造企业高质量发展的要求不断深入、工业机器人技术的发展，以及5G工业互联网技术的应用，利用工业机器人进行智能制造的应用会越来越深入。

2）伴随着工业机器人的应用，不合适工人作业的动作，工人作业不经济的动作，对操作者技能要求过高的动作，重复简单、技术含量低的动作，都会逐步被工业机器人所替代。

3）中国中车部分子公司已经开展智能化生产线建设，为工业机器人在轨道交通制造业的应用提供了发展机遇。

4）5G技术、大数据、人工智能AI及云服务等终将和实体经济进行深度融合，带来生产方式的深刻变革，也会给企业的员工队伍建设和高技能人才的培养储备带来新的思考。

**参考文献**：

[1] 谭文君，董桂才，张斌儒.我国工业机器人行业的发展现状及启示[J].宏观经济管理，2018（4）：42-47.

[2] 谭锦红，赵运强，王春桂，等.机器人搅拌摩擦焊应用发展现状[J].金属加工（热加工），2020（1）：8-12.

[3] 胡伟，吴志明，彭章祝.自动打磨技术在轨道交通车辆铝合金车体制造中的研究与应用[J].金属加工（热加工），2020（12）：61-64.

[4] 尹保亮，任科生.机器人自动打磨系统在机车大型构件的应用[J].工业设计，2017（5）：155-157.

[5] 于永初．Realize LIVE，西门子数字化在加速[J].汽车工艺师，2019（6）：8-10.

[6] 杨斌，张根保，庚辉，等.基于数字孪生的机械产品运动性能调控方法[J].计算机集成制造系统，2019，25（6）：1591-1596.

[7] 程晓蒙.智能工厂中的工业机器人[J].金属加工（冷加工），2017（4）：14-16.

[8] 孙嘉玉，杨松.智能制造助力高铁企业提质增效[J].制造业自动化，2017，39（1）：47-48.

MW 20201214