



天津中德应用技术大学

Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

汽车外覆盖件冲压生产线上料系统的设计与仿真

**Design and simulation of feeding system for automobile outer
covering parts stamping production line**

姓 名 潘锦

学 院 汽车与轨道交通学院

专 业 车辆工程

指导教师 赵俊英

职 称 讲 师

完成时间 2023 年 5 月 20 日

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

2023年05月20日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

2023年05月20日

摘 要

汽车外覆盖件冲压生产线的工作效率严重制约着汽车外覆盖件的生产效率。连续、高效的上料系统是冲压生产线高速运行的重要保障。由于技术、成本、周期等各方面的因素，工程技术人员在实际工厂中不能单纯依靠理论分析，直接在实体生产线上进行集成、试错等。利用计算机技术进行设计、仿真、验证，是非常必要的环节。

本毕业设计研究送料机械手的运动学和冲压生产线送料仿真系统，这将对提高冲压生产线的生产节拍、降低抖动、提高送料系统的运行寿命起到推动作用。针对以上问题，本文首先在机器人仿真软件 robot studio 中进行了仿真系统的搭建；其次，建立了上料机器人的运动学模型，推导得到了正运动学方程，采用多项式方法对关节进行了逆运动学求解；此外，利用 MATLAB 等软件，运用五次 B 样条插值方法对机器人的运行轨迹进行了初步规划，并以加速度为目标函数对运行轨迹进行仿真，得到角位移、角速度变化曲线，从而验证、分析了机器人姿态及轨迹规划合理性，以确保上料效率与运行轨迹的平稳性；最后在 robot studio 系统中进行了机器人及 PLC 编程以及系统的模拟调试。通过工作过程仿真，验证是否发生碰撞干涉、运行是否平稳等问题，讨论了系统的合理性与稳定性。

仿真实验表明该上料机器人可以满足运行要求。通过全面观察上料机器人在整个系统中的灵活性和工作能力，我们得出了这一机器人设计的可行性结论。

关键词：汽车外覆盖件；冲压生产线；上料系统；机器人

ABSTRACT

The working efficiency of automobile exterior covering parts stamping production line seriously restricts the production efficiency of automobile exterior covering parts. Continuous and efficient feeding system is an important guarantee for high speed operation of stamping production line. Due to technology, cost, cycle and other factors, engineers and technicians in the actual factory can not rely solely on theoretical analysis, directly on the physical production line integration, trial and error. Using computer technology to design, simulation, verification, is a very necessary link.

This graduation design studies the kinematics of the feeding manipulator and the simulation system of the punching production line, which will improve the production beat of the punching production line, reduce jitter and improve the running life of the feeding system. In order to solve the above problems, this paper first built the simulation system in the robot simulation software robot studio. Secondly, the kinematics model of the feeding robot was established, the forward kinematics equation was derived, and the inverse kinematics was solved by polynomial method. In addition, MATLAB and other software are used to preliminarily plan the robot's running trajectory by using the quintuple B-spline interpolation method, and the acceleration is taken as the objective function to simulate the running trajectory, and the curve of angular displacement and angular velocity variation are obtained, so as to verify and analyze the rationality of the robot attitude and trajectory planning. To ensure feeding efficiency and smooth running track; Finally, robot and PLC programming and system simulation debugging are carried out in robot studio system. Through the simulation of the working process, the problems such as whether collision interferences occur and whether the running is smooth are verified, and the rationality and stability of the system are discussed.

The simulation results show that the feeding robot can meet the operation requirements. By comprehensively observing the flexibility and working ability of the feeding robot in the whole system, we get the feasibility conclusion of this robot design.

Key words : Automobile outer covering parts; Stamping production line; Feeding system; Robot

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与选题意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 本课题研究内容	3
1.4 内容小结	4
第二章 上料系统的设计与仿真模型搭建	5
2.1 上料系统整体设计	5
2.2 上料系统三维模拟	5
2.3 上料系统工作流程设计	8
2.4 本章小结	11
第三章 上料机器人运动学分析与轨迹规划	12
3.1 机器人坐标系建立	12
3.2 机器人正运动学分析	13
3.3 机器人逆运动学分析	15
3.4 机器人上料轨迹规划	17
3.5 本章小结	19
第四章 虚拟调试与仿真实验	21
4.1 机器人及 PLC 程序编制	21
4.2 机器人上料系统的虚拟调试	22
4.3 实验仿真与分析	23
4.4 本章小结	24
第五章 总结与展望	25
参考文献	27
致谢	28

第一章 绪论

1.1 研究背景与选题意义

随着经济的发展,汽车制造工业已经不仅仅是设备、材料和技术协同发展的一般成果,而是其产品的内容,品质以及精益生产工艺的复合品,汽车外覆盖件是汽车制造的重要组成部分。因此,冲压生产线上的上料系统是保证汽车外覆盖件冲压生产线运行稳定和高效的关键一环,如图 1-1 所示。

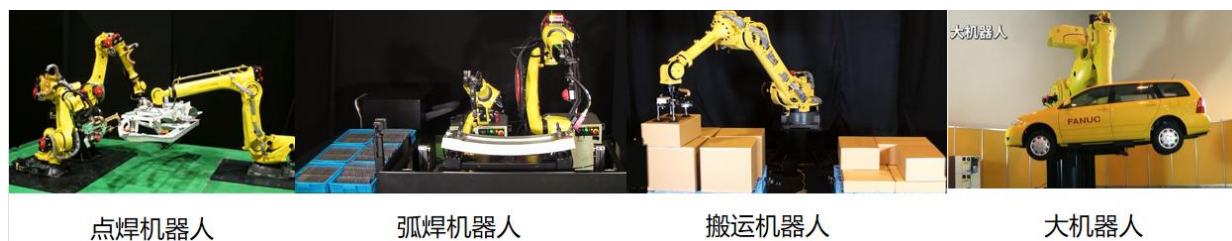


图 1-1 工业机器人在汽车行业中的应用场景

1.1.1 国家宏观政策对行业发展的支持

国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》,锂电企业产能加速投放,行业增长趋势明确^[1];近期,国家发改委和国家能源局联合出台《新时代新能源高质量发展实施方案》^[2],又发布了《十四五可再生能源发展规划》,多政策助力分布式光伏迎来发展高峰^[3],应用效率更高、促进规模化生产及应用,带来设备的需求放量,从而带动工业自动化产品及工业机器人的应用^[4]。

2022 年上半年受到疫情防控的影响,工业制造业景气度下滑。2022 年 4 月 29 日,中央政治局会议要求,稳住市场主体,加快推动已经确定的各项政策措施精准落地,用好各类货币政策工具,引导金融机构更好满足实体经济融资需求。2022 年以来,市场基准利率逐步下调,2022 年 3 月社会融资快速回升,社会融资是自动化行业前瞻性指标,目前行业基本面处于筑底阶段,随着疫情的有效防控,复苏节奏会加快^[5]。

1.1.2 行业发展情况

通用自动化的行业景气度与宏观经济强度息息相关^[6]。2018-2019 年开始了下行周期,2020 年第二季度疫情后进入上行周期,持续至 2021 年第三季度,2021 年 7 月以来,受上游通胀、出口新增订单下滑影响,通用自动化行业景气度持续下行,叠加通胀、地产投资下滑影响,2022 年 3-4 月上海疫情加速了行业下滑,目前行业仍处于筑底阶段,但是已经看到行业边际改善的迹象,随着 5 月长三角供应链中断风险的缓解,社会融资存量同比增速明显改善,行业有望进入上行周期。7 月 15 日,国家统计局发布数据显示,2022 年上半年国内工业机器人产量为 202436 套,同比下降 11.2%^[7]。随着制造业的复苏,为了压缩人力成本、减少对人力的依赖,制造业各领域对自动化需求会继续增加,工

业机器人的产量有望很快恢复^[8]。目前工业机器人应用场景广泛，如随着这两年新能源汽车行业的爆发增长，锂电制造的机器人需求激增，而这只是其中一个极为细分的应用场景。随着《中国制造 2025》规划落地，更是明确的将工业机器人列入大力推动突破发展十大重点领域之一^[9]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内外汽车外覆盖件冲压生产线的现状

目前，全球冲压生产线的发展水平已经相当成熟。主要发达国家和地区，如美国、德国、日本、韩国等都拥有先进的生产线和技术^[10]。同时，随着中国工业向高质量、高效率、高自动化转型升级，国内的冲压生产线正在快速发展^[11]。相关企业已经开始致力于提高研发能力、推进自动化技术应用，加速实现产品的量产化和自动化生产。全世界范围内的汽车外覆盖件冲压生产线都呈现出了自动化、智能化、数字化的趋势。国际上，德国的卡尔梅特、日本的关西机械、和中国的上海宝钢等企业都拥有成熟的汽车外覆盖件冲压生产线。国内方面，随着汽车行业的快速发展，汽车外覆盖件冲压生产线的技术水平也有了明显的提高，不同规模的汽车厂商已经可以选择不同规格的冲压设备，并实现整个生产流程的数字化管理。在未来，汽车外覆盖件冲压生产线的自动化、数字化程度将会进一步提升，为汽车行业的发展提供强大的支撑^[12]。

随着科技的不断进步和市场的不断需求，冲压生产线逐步发展成为了现代化高效自动化生产设备。其中更为先进的发展包括：

(1) 逐步采用数字化、智能化控制系统，实现生产过程自动化，大幅提高了生产效率和产品质量；

(2) 采用先进的驱动技术，如同步电机控制系统，实现了高速、高精度的自动生产；

(3) 利用先进的材料、降低生产成本，采用轻量化设计，实现在同时提升质量和效率的前提下降低成本。

1.2.2 国产替代的加快

通用自动化企业维持高研发投入。产业结构升级与中美贸易摩擦大背景下，内资企业开始在关键领域替代外资品牌，持续布局新兴产业与高端自动化产品，从市场与成本红利走向管理及技术创新高地。全球工业机器人市场长期由外资垄断，日本发那科、瑞士 ABB、日本安川、德国库卡“四大家族”的市场占有率超过 50%。如图 1-2 所示。近年来，国内自主品牌竞争力有明显提升，工业机器人存量稳定增长，国内工业机器人装机量居世界首位，但装机密度仍然有较大可以提升的空间^[13]。随着传统机器人厂商、科技巨头、制造业巨头、新创公司等纷纷入局，核心部件、智能设备等关键技术攻关突破，国产机器人的市场份额在逐年增加，替代进程在逐步加快。疫情显著加速国产替代，特别是给国产机器人龙头企业带来更多市场机会。一方面，外资企业在生产、交货、售后服务等多方面均受

到全球疫情影响，国产机器人厂商凭借国内较为完整的供应链体系、强大的技术服务能力和灵活的市场策略，迅速抢占市场，国产化工控产品份额预计持续加速提升^[14]；另一方面，国产龙头机器人厂商发展势头良好，根据 MIR 统计，2022 年上半年以埃斯顿为代表的国产机器人厂商出货量排名持续上升^[15]。

总之，冲压生产线是制造业中重要的制造工艺之一，其发展水平关系到制造业转型升级的质量和效率^[16]。全球各国正在积极推进技术研发和应用^[17]，互相学习、交流和合作，共同推动冲压工艺的进一步发展。

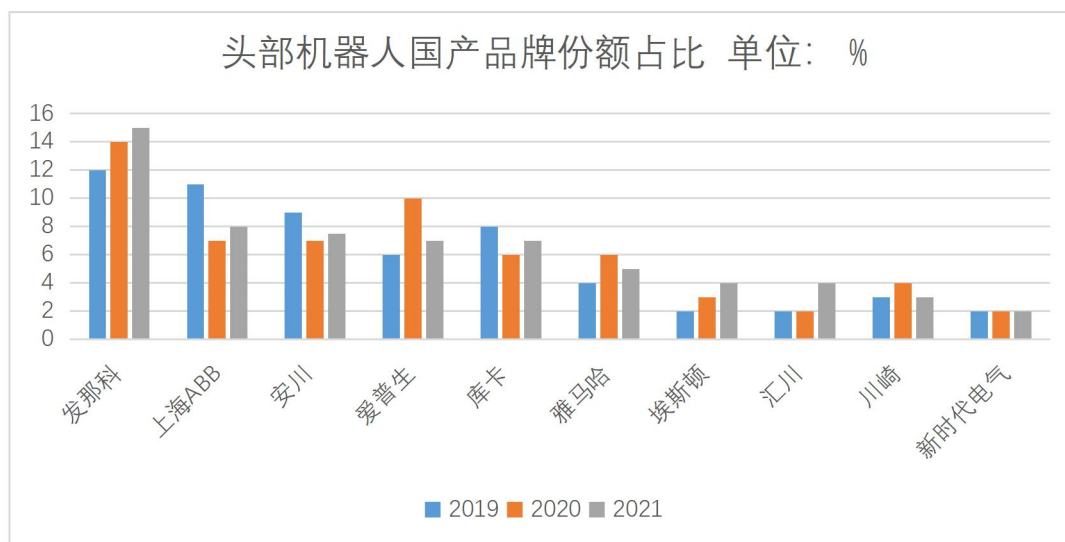


图 1-2 头部机器人国产品牌的份额逐步提升

1.3 本课题研究内容

现有天津某汽车零件制造企业，需要对其冲压产线进行升级。本毕业设计针对此问题，进行基于机器人的上料系统设计，并通过仿真的方法分析、验证设计方案的合理性。

汽车冲压生产线是用于生产汽车车身结构零件和外部装饰件的重要设备。它主要包括上料装置、送料装置、冲床、进料输送装置、出料输送装置和废料输送装置。冲压生产线的主要工作流程是：将金属板材上料到送料装置上，由进料输送装置送入冲床，经过模具的冲压、拉伸、弯曲等工艺流程，成形零件，然后由出料输送装置将成品零件输送至下道工序，最后将废料通过废料输送装置清理出去，形成一个自动化的生产过程。冲压生产线具有生产效率高、精度高、可靠性好、适用范围广等优点，是汽车零部件生产的重要设备之一。

本文选用 ABB 公司的 IRB1200 作为上料机器人，如图 1-3 所示。针对机器人及上料系统，主要研究内容如下：

(1) 三维建模。使用 Solid works 建模软件对工业机器人末端执行器、周边设备等进行建模。通过查找手册，确定各相邻杆件之间的扭转角、杆长、旋转角以及连杆偏距等尺寸数据。

(2) 将三维模型导入 Robot studio 软件中, 进行上料系统整体三维模型的搭建及运动仿真, 检测各关节是否超过极限、是否存在干涉、碰撞等, 多次试验直至运行无误。

(3) 使用 Matlab 软件基于 D-H 法建立机器人坐标系, 进行正运动学分析以及逆运动学分析。采用五次多项插值法对机器人在关节空间进行轨迹规划, 利用逆运动学把路径点转换成关节路径点, 并将其拟合光滑函数, 绘制出速度加速度曲线判断其运行是否连续, 是否存在冗余关节动作等, 分析机器人在关节空间从起点、到达路径点和目标点的运动状态。利用示教器等完成机器人参数配置, 并完成机器人程序和 PLC 程序编制。

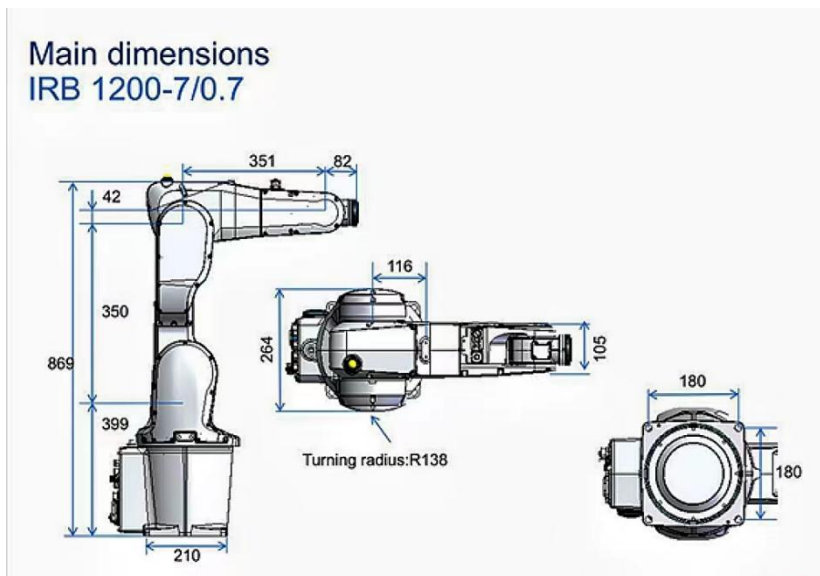


图 1-3 IRB 1200 机器人

1.4 内容小结

本文旨在设计和仿真汽车外覆盖件冲压生产线上料系统, 以最大化提升汽车外覆盖件的生产效率。冲压汽车外覆盖件工艺制造技术极大地满足了市场对先进、高品质汽车外覆盖件的要求。然而, 由于增加了外壳模具的复杂性, 汽车外覆盖件的冲压过程中的线性上料系统在设计 and 操作中存在挑战。

通过本次研究, 将提供实用的设计、模拟和仿真策略。

本文的研究背景可以归结为三个方面:

- (1) 汽车外覆盖件冲压技术已经在汽车制造中得到广泛应用。
- (2) 现有的冲压生产线上料系统效率存在较大的提升空间。
- (3) 现有系统已经无法满足客户的可靠性和性能的要求, 需要新的技术进行改进。

在此基础上, 本文研究的主题主要是汽车外覆盖件冲压生产线上料系统的研究与开发, 包括其设计, 调试, 性能验证, 实验等。

本研究成果将为汽车外覆盖件冲压生产线上料系统的科学设计和高效生产提供参考和指导, 以提升汽车制造工程的性能和效率。

第二章 上料系统的设计与仿真模型搭建

2.1 上料系统整体结构设计

冲压生产线的总体设计应该综合考虑生产工艺、产品特性、生产能力、设备选择等多个因素，以实现优化的生产效率和成本效益。

对于本文主要研究的冲压生产线的上料机器人，工作站的主要部件及功能如下：

上料机器人主要实现物料的抓取以及传递，本文采用 ABB 品牌中的 IRB1200 为上料机器人。IRB1200 是一个六自由度机器人，在当前设计的工作站中如图 2-1 所示，具体工作作为：

(1) 读取传感器 I/O 信号判断物料是否传送到起点。在起点处利用夹具抓取 A 传送带输送带的物料变换自由度，将物料送至机床内进行工艺加工后读取传感器 I/O 信号，等待料好且机床开门后夹取处理好的物料，变换自由度并输送到下一生产线内。

(2) 传送带按照规定间隔时间运行，传送物料。

(3) 机加工中心读取传感器传来的 I/O 信号，当机械臂到达时，打开机加工设备的门，等待机械臂放入完毕已经退出的信号。关上加工设备的两侧门并进行加工。加工后打开两侧门等待机械臂将下个物料放置到设备内。



图 2-1 上料系统主要构成

2.2 上料系统三维模型的构建

本次实验我们主要设计对象为六轴工业机器人，首先研究测算出其相应杆长以及各相邻杆件之间的运动变换关系针对本次实验对象 IRB1200 其所有关节均为转动关节，角度

变换区间如图 2-2 所示。

运动			
轴运动	工作范围	最大速度	
IRB 1200-7/0.7			
轴1旋转	+170°至-170°	288°/s	
轴2手臂	+135°至-100°	240°/s	
轴3 手臂	+70°至-200°	300°/s	
轴4手腕	+270°至-270°	400°/s	
轴5 弯曲	+130°至-130°	405°/s	
轴6翻转	+360°至-360°	600°/s	
IRB 1200-5/0.9			
轴1旋转	+170°至-170°	288°/s	
轴2手臂	+130°至-100°	240°/s	
轴3手臂	+70°至-200°	300°/s	
轴4手腕	+270°至-270°	400°/s	
轴5弯曲	+130°至-130°	405°/s	
轴6翻转	+360°至-360°	600°/s	
性能		IRB 1200-7/0.7	IRB 1200-5/0.9
1 kg拾料节拍			
25 X 300 X 25mm		0.42s	0.42s
TCP最大速度		7.3 m/s	8.9 m/s
TCP最大加速度		35 m/s*s	36 m/s*s
加速时间0-1m/s		0.06s	0.06s
电气连接			
电源电压		200-600 V, 50-60 Hz	
变压器额定功率		4.5 KVA	4.5 KVA
功耗		0.39 kW	0.38 kW
物理特性			
底座尺寸		210mm*210mm	210mm*210mm
重量		52 KG	54 KG

图 2-2 IRB1200 工业机器人基本结构参数

2.2.1 D-H 参数

本文主要使用 D-H 法制定机器人参数以及制作机器人模型。

D-H 法是一种机器人运动学的方法。它包括定义坐标系、制定参数和计算机器人的运动学模型等三个方面。该方法能够描述机器人末端执行器的位置和姿态，对于机器人的运动规划和控制具有重要的意义。

D-H 法的具体含义是：

- (1) 手臂末端执行器的位置和姿态可以通过一系列的旋转和平移来表示。
- (2) 机器人的各个关节构成坐标系，用以描述机器人的运动过程。
- (3) D-H 法需要定义四个参数： $\theta_i/(\circ)$ ， d_i/mm ， a_i/mm ， $\alpha_i/(\circ)$ 。
- (4) 前一关节的坐标系通过旋转和平移得到后一关节的坐标系。

D-H 法的意义在于它提供了一种非常方便的方法来计算机器人的运动学模型，可以帮助我们更加方便的进行机器人的运动规划和控制。同时，D-H 法为机器人的运动学研究提供了重要的数学基础，如表 2-1 所示。

表 2-1 IRB1200 工业机器人 D-H 参数表

关节	关节角	连杆偏距	连杆长度	连杆扭角
I	$\theta_i/(\circ)$	d_i/mm	a_i/mm	$\alpha_i/(\circ)$
1	0	0	0	0
2	-90	37.8	0	$-\pi/2$
3	0	-36.7	350	0
4	0	32.4	0	0
5	-90	32.4	0	$-\pi/2$
6	90	11.1	0	$\pi/2$

2.2.2 三维模型的构建

通过以下方法，构建机器人上料系统的虚拟模型系统，为仿真和验证汽车外覆盖件上料系统的可行性、稳定性奠定基础，后文将该系统简称为虚拟工作站。具体工作内容如下：

- (1) 在 Robot Studio 软件中创建一个新的工程，设定机器人上料系统相关环境参数
- (2) 在 3D 场景中设置工作台及机械臂
- (3) 根据设计方案建立系统的三维模型，包括机械臂、传送带、料架等组成部分。

在场景中添加传送带

- (4) 选择创建的传送带外观
- (5) 在 3D 场景中添加物料架
- (6) 选择创建的物料架外观
- (7) 将物料架放置在传送带上
- (8) 在 3D 场景中添加吸盘和机床
- (9) 将吸盘放置在机械臂上
- (10) 在 3D 场景中设置机械臂的关节，逐一调整以接近操作的实际。
- (11) 设定系统的运行参数，如传送带的速度、机械臂的工作周期、料架的存放数量。

其中，传送带的速度为 0.18m/s；机械臂的工作周期为 33s；料架的存放数量为 9 个。

(12) 在 Robot Studio 软件中设置上传和下载的图像或者模型，使其可以从计算机或服务器中使用。

(13) 通过添加一个更新“流程信号”，在各种操作中启用吸盘。

(14) 设置各组件之间的输入输出信号，以及传送带运行速度，设置机床系统，输入代码让机床自动开关门。

(15) 链接各部件之间的输入输出信号，以便完成属性设置与信号连接。

(16) 在验证和检查机器人生产线的功能后，将其导出。

(17) 测试机器人系统的有效性, 以确保机器人能够准确地接收物料并传递到另一传送带上, 并准确地放置在目标区域。

在仿真软件 Robotstudio 中创建工作站的三维模型, 如图 2-3 所示。同时设置摩擦系数等必要参数, 主要参数程序设置如附录二所示:

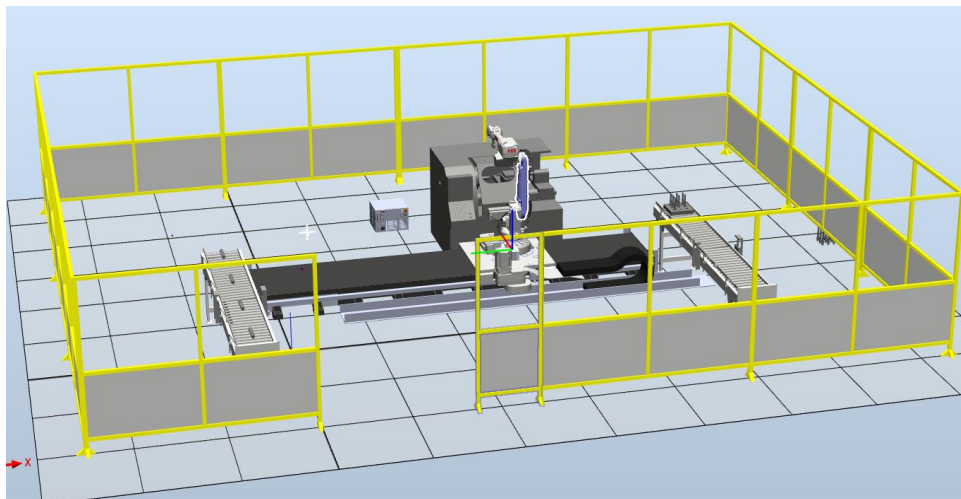


图 2-3 上料系统整体搭建

2.2.3 机器人位置的优化调整

在 2.2.2 相关工作的基础上, 利用第三章所述机器人运动学分析结果, 对机器人的安装位置, 末端执行器的安装位置等进行了优化。主要工作内容如下:

- (1) 确定机器人操作区域, 确定机器人基座位置。
- (2) 验证机器人安装点的正确性, 检查机器人的工作空间是否满足要求;
- (3) 将机器人关节调整到初始位置, 并确定相应的关节坐标系。
- (4) 安装末端执行器作为机器人的工具, 确定工具坐标系。
- (5) 通过对机器人进行运动控制, 将工具坐标系位置和姿态精确定位到所需要的作业位置和姿态。
- (6) 经过多次实验和调整, 确定上料机器人坐标系的各个参数, 以便在操作中实现高效、准确地作业。

2.3 上料系统工作流程设计

在上料系统的整体设计之前, 采用如图 2-4 所示的规划步骤方法, 设计生产线的工作流程。按照设定的环境背景, 确定了传送带的运行速度, 机械臂的工作周期, 生产线节拍以及最大产能的相关数据, 为后续在 Robot Studio 中进行生产线的运行仿真调试奠定基础。

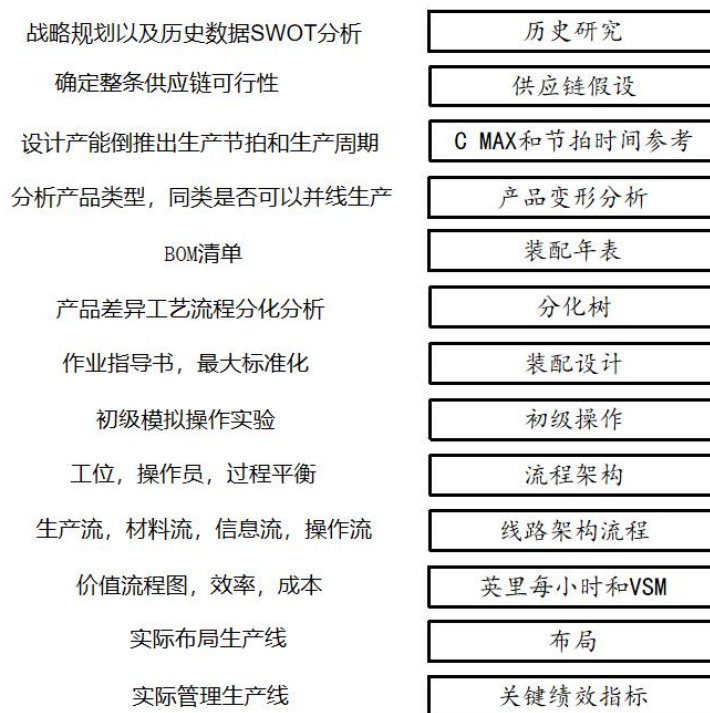


图 2-4 生产线设计规划详细步骤

根据客户需求和厂房现生产效率, 考虑到产线平衡因素, 上料冲压环节预估最大生产节拍为 39s, 生产周期为 39s。基于此, 本文中设定的生产周期为 39s。

依据图 2-4 中所示设计步骤, 设计得到汽车外覆盖件上料系统整体工作流程, 如图 2-5 所示。启动信号发出后, 传送带运行, 开始运送待冲压的工件; 当第一个工件到达指定位置后, 传送带停止运行; 机器人运动到待加工物料所在位置(后文用起点代替), 检测并调整起点处物料位姿; 机器人抓取物料并运送至机床前方; 机器人将物料送入机床, 并返回至机床前方等待; 机床开始机加工; 加工完成后, 机器人检测机床内的物料位姿并抓取物料; 机器人将加工好的工件运送到码垛区, 按照设定顺序摆放好物料在物料架中; 机器人转换位姿回到初始点, 等待下一次任务。

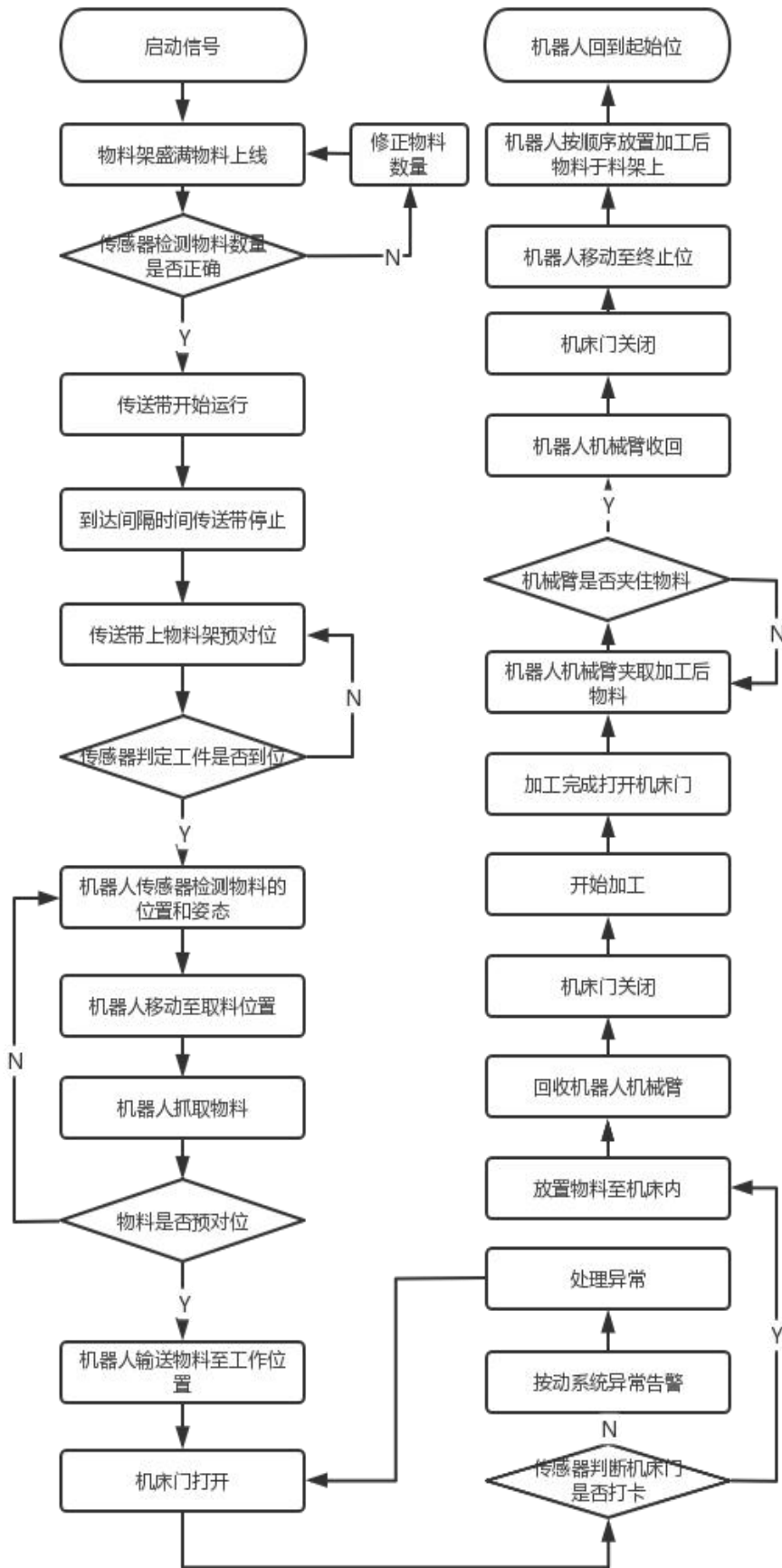


图 2-5 上料系统整体工作流程

2.4 本章小结

本章内容主要包括以下内容

- (1) 对工作站进行了功能分析，明确各工作单元的运行模式和工作流程；
- (2) 对各部件进行三维设计和绘图，并在仿真软件中搭建完整的机器人上料系统，基于 D-H 参数法，推导并设定关键参数；
- (3) 进行整个系统的流程设计，添加流程信号和各部件输入输出信号。

第三章 上料机器人运动学分析与轨迹规划

3.1 机器人坐标系建立

上料机器人坐标系是指机器人操作时所采用的坐标系,它是由机器人的基坐标系和工具坐标系组成的。

关节坐标系是机器人操作时的基础坐标系,它是由机器人各关节的旋转轴线所确定的,通常以机器人基座为起点,每个关节的旋转轴线为坐标轴。因此,关节坐标系的坐标值是由各个关节角度的累加所得。

工具坐标系是机器人作业工具在三维空间中的位置和姿态组成的坐标系。机器人操作时通常采用末端执行器作为工具。因此,工具坐标系的坐标值是由末端执行器在该坐标系中的位置和姿态所确定的。

本文的研究主要是基于基坐标系展开的,下文主要介绍基坐标系的建立情况。

3.1.1 连杆模型的建立

本文研究的 ABB-IRB-1200 机器人为 6 自由度机器人,且所有关节均为回转关节。结合前文所述基本结构参数,建立连杆模型,如图 3-1 所示。

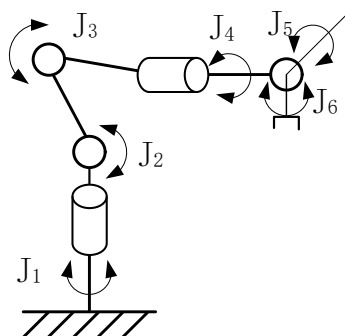


图 3-1 ABB-IRB-1200 机器人连杆模型

3.1.2 机器人基坐标系的建立

在进行机器人建模时,连杆坐标系的选取原则如下:

(1) 连杆 n 两端有关节 n 和 $n+1$ 关节坐标系 z 轴的建立: 旋转关节, 按右手旋转的方向, 变量为旋转角 θ ;

(2) 滑动关节, 定义 z 轴为沿直线运动方向, 变量为沿 z 轴的连杆长度 d ;

(3) 定义关节 n 的 z 轴编号为 $n-1$;

(4) 关节不一定平行或相交;

(5) 两关节的 z 轴 (z_n 和 z_{n+1}) 必有一条距离最短的公垂线 a_{n+1} x_{n+1} 方向为沿 a_{n+1} 方向;

(6) 若两个关节 z 轴平行, 则有无数条公垂线, 选择与前一关节的公垂线共线的一

条公垂线。

若两个关节 z 轴相交，则选择垂直于 z_n 和 z_{n+1} 构成的平面的直线作为 x 轴。

结合 ABB-IRB-1200 关节形式与尺寸可得机器人的坐标系如图 3-2 所示。

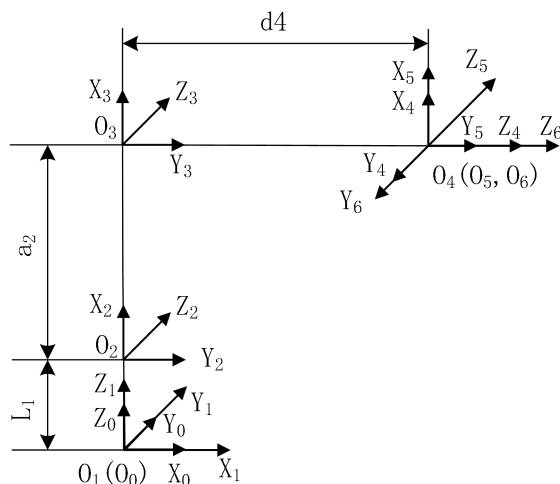


图 3-2 ABB-IRB-1200 机器人基坐标系

3.1.3 坐标传递矩阵

根据 ABB1200 机器人的关节布置，可以根据机器人运动学上的坐标选取原则建立机器人每个关节的坐标系，并根据关节连杆关系推导得出坐标之间的变换矩阵。基于图 3-1 所示连杆模型和图 3-2 所示坐标系关系，推导得到 6 个坐标之间的传递矩阵如下：

$$\begin{aligned}
 T_{01} &= \text{rotz}(\theta_1) * \text{trans}(0,0, d_0) \\
 T_{12} &= \text{rotz}(\theta_2) * \text{trans}(d_1,0,0) * \text{rotz}(90^\circ) \\
 T_{23} &= \text{rotz}(\theta_3) * \text{trans}(d_2, len,0) \text{roty}(90^\circ) \\
 T_{34} &= \text{rotz}(\theta_4) * \text{trans}(0,0, d_3) \text{roty}(-90^\circ) \\
 T_{45} &= \text{rotz}(\theta_5) * \text{trans}(d_4,0,0) \text{rotz}(90^\circ) \\
 T_{56} &= \text{rotz}(\theta_6) * \text{trans}(0,0, d_5)
 \end{aligned} \tag{3-1}$$

3.2 机器人正运动学分析

进行机器人正运动学分析的目的在于研究机器人的末端位置状态，要对速度、位置变换等进行高阶导数求解。正运动学研究静止状态下操作臂连杆的位置和姿态。为了便于处理操作臂的复杂几何参数，首先需要在操作臂的每个连杆上分别固接一个连杆坐标系，以关节变量作为自变量描述操作臂末端执行器的位置和姿态，以及它与操作臂基座之间的函数关系。

在进行操作臂的结构设计时，通常优先选择仅具有一个自由度的关节作为连杆的连接

方式如图 3-3 所示，然后再描述这些连杆坐标系之间的关系，除此之外，操作臂运动学还研究当各个连杆通过关节连接起来后，连杆坐标系之间的运动关系。从操作臂的固定基座开始，为连杆进行编号。可以称固定基座为连杆零，第一个可动连杆为连杆一，以此类推操作臂最末端的连杆为连杆 n ，为了确定末端执行器在三维空间的位置和姿态，操作臂至少需要六个关节。本文研究的机器人关节数为 6，因此连杆编号为 1, 2……6。

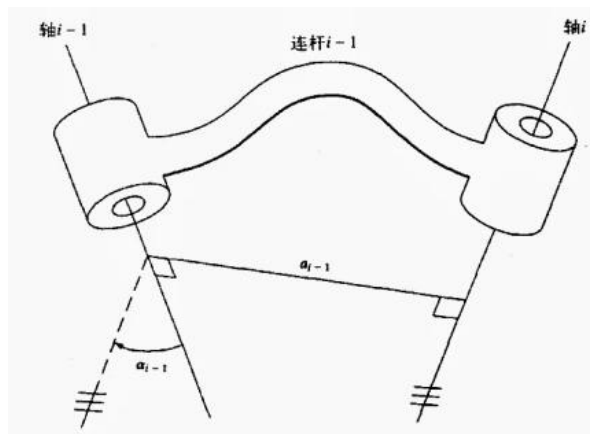


图 3-3 连杆长度和连杆转角的相对关系

(1) 机器人正运动学中，连杆长度是指机器人的各个连杆在运动过程中的实际长度。这些连杆可能是机械手臂的臂段、手腕等机械结构的各种连杆。在机器人运动学分析中，连杆长度是一个重要的参数，它决定了机器人的运动轨迹和姿态。连杆长度通常由机器人的设计和构造决定，也可以通过测量来确定其实际长度。

(2) 扭转角是指工业机器人手臂在关节处发生扭转的角度。在运动学中，机器人的运动可以用坐标系、变换矩阵、欧拉角等方式描述，其中包括机器人的位置、姿态、速度、加速度等信息。而扭转角则是描述机器人在关节处的变形情况，通常是通过关节的转角计算得出。

在工业机器人的操作中，扭转角往往对机器人的精度和重复性有重要影响。因此，在机器人的设计和控制中，通常需要考虑扭转角的影响，并通过优化控制算法等手段进行校正和调整。同时，扭转角也可以描述机器人的稳定性和可靠性，能够帮助工程师评估机器人的运动性能和寿命。

(3) 工业机器人旋转角是指机器人臂在垂直于其基座的轴线上旋转的角度。在工业机器人的各个关节处都装有电机和减速器，可以通过控制这些电机的转动实现机器人本身的旋转。通过控制机器人的旋转角度，可以使机器人在工作区域内灵活地运动和定位。

(4) 工业机器人运动学连杆偏距指的是机器人的各个连杆在运动过程中，相对于机器人基坐标系的偏移距离。在工业机器人的运动学中，连杆偏距是一个十分重要的概念，因为它能够影响机器人末端执行器的运动轨迹和精度。

机器人的连杆偏距是由机器人的结构和运动模型决定的。当机器人进行复杂的运动任

务时，其各个连杆的偏距会影响机器人的运动精度和可重复性。因此，机器人的设计和运动控制算法都需要考虑连杆偏距的影响，以保证机器人的精度和稳定性。

针对此次参加试验模拟的 ABB-IRB-1200。相邻杆件之间的齐次变换矩阵为：

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -d_i \sin \alpha_{i-1} \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

对于机器人正运动学问题，通过计算各部位的矩阵乘积即可得出机器人基坐标系中的末端齐次变换矩阵 0T_6 ：

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

将已知 D-H 参数带入上式进行计算，并导入 MATLAB。利用 RVC 工具箱，在 Matlab 中进行机器人建模，如图 3-4 所示。建模部分程序如附录 3 所示。

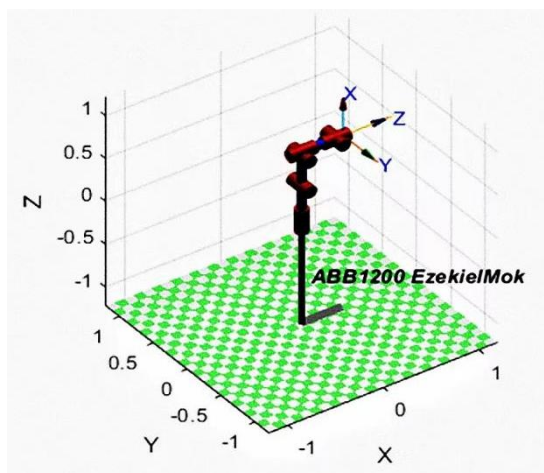


图 3-4 Matlab 中机器人的可视化模型

3.3 机器人逆运动学分析

上料系统工业机器人逆运动学是指通过已知末端执行器的位置，计算出各关节的角度，以实现末端执行器点的位姿控制的过程。即通过机器人末端执行器的期望位置和姿态来计算出应该采取的关节角度。如图 3-5 所示。

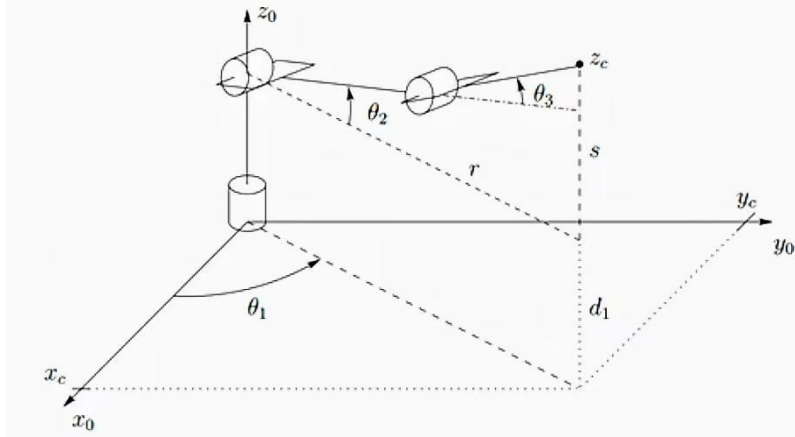


图 3-5 ABB-IRB-1200 机械臂的角度模型

如前文所述，逆运动学是通过使用数学方法，算出机器人每个关节的角度，以实现期望的末端执行器位置和姿态。最终目标是根据所需的末端执行器位置和姿态，确定最佳的关节角度，以使机器人移动到所需的位置。

根据机器人的正逆向运动学的求解方法，结合机器人解耦设计的准则，即如果最后三个关节坐标相交于一点，可以将逆向运动学问题解耦成两个，第一个是逆向位置运动学，第二个是逆向方位运动学，显然 ABB-IRB-1200 机械臂满足该准则。对于机器人逆运动学问题，联立公式 (3-1)、(3-2)，并利用矩阵的逆，可得到：在式 (3-1) 中带入 D-H 参数，得：

$$\begin{aligned}
 {}^0_1T &= \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 600 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^1_2T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^2_3T &= \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & 710 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^3_4T = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 770 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^4_5T &= \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^5_6T = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3-5}$$

$$\begin{aligned}
 p_x &= \cos\theta_1(a_2\cos\theta_2 - d_4(\cos\theta_2\sin\theta_3 + \sin\theta_2\cos\theta_3)) \\
 p_y &= \sin\theta_1(a_2\cos\theta_2 - d_4(\cos\theta_2\sin\theta_3 + \sin\theta_2\cos\theta_3)) \\
 p_z &= -a_2\sin\theta_2 - d_4(\cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3) + d_1
 \end{aligned}$$

(3-6)

角位移五次多项式插值函数表达式为：

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad (3-7)$$

对关节转角进行 1 阶导数和 2 阶导数求解，可得到机器人角速度和角加速度为：

$$\begin{aligned} \dot{\theta}(t) &= a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 + 4a_4 t^3 + 5a_5 t^4 \\ \ddot{\theta}(t) &= 2a_2 + 6a_3 t + 12a_4 t^2 + 20a_5 t^3 \end{aligned} \quad (3-8)$$

将约束条件带入式(3-7)、(3-8)，得：

$$\begin{aligned} \theta(t_0) &= \theta_0 = a_0 \\ \theta(t_f) &= \theta_f = a_0 + a_1 t_f + a_2 t_f^2 + a_3 t_f^3 + a_4 t_f^4 + a_5 t_f^5 \\ \dot{\theta}(t_0) &= \dot{\theta}_0 = a_1 \\ \dot{\theta}(t_f) &= \dot{\theta}_f = a_1 + 2a_2 t_f + 3a_3 t_f^2 + 4a_4 t_f^3 + 5a_5 t_f^4 \\ \ddot{\theta}(t_0) &= \ddot{\theta}_0 = 2a_2 \\ \ddot{\theta}(t_f) &= \ddot{\theta}_f = 2a_2 + 6a_3 t_f + 12a_4 t_f^2 + 20a_5 t_f^3 \end{aligned} \quad (3-9)$$

求解得：

$$\begin{aligned} a_0 &= \theta_0 \\ a_1 &= \dot{\theta}_0 \\ a_2 &= \frac{\ddot{\theta}_0}{2} \\ a_3 &= \frac{20\theta_f - 20\theta_0 - (8\dot{\theta}_f + 12\dot{\theta}_0)t_f - (3\ddot{\theta}_0 - \ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^3} \\ a_4 &= \frac{30\theta_0 - 30\theta_f + (14\dot{\theta}_f + 16\dot{\theta}_0)t_f - (3\ddot{\theta}_0 - 2\ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^4} \\ a_5 &= \frac{12\theta_f - 12\theta_0 - (6\dot{\theta}_f + 6\dot{\theta}_0)t_f - (\ddot{\theta}_0 - \ddot{\theta}_f)t_f^2}{2t_f^5} \end{aligned} \quad (3-10)$$

3.4 机器人上料轨迹规划

在模拟软件中利用 Matlab 进行轨迹规划仿真分析。采用五次多项插值法对机器人在关节空间进行轨迹规划，利用逆运动学把路径点转换成关节路径点，并将其拟合光滑函数，分析机器人在关节空间从起点、到达路径点和目标点的运动状态。

五次多项式插值法是一种常用的数值算法，用于构造一个五次多项式函数。该方法假设给定的数据点都是连续的，且在每个节点处函数值和一阶导数值已知。然后，使用这些数据点来构建一个五次多项式函数。这个五次多项式函数可以用来预测一个数据点的函数值，从而实现插值的目的。

具体工作内容如下：

- (1) 确定要进行插值的数据点。

- (2) 构建五次多项式函数，并使用所提供的信息来确定最佳的多项式系数。
- (3) 对于任何要插值的数据点，使用所构建的五次多项式函数来预测其函数值。
- 规定起点 q^0 和终点 q^1 ，经计算得到机器人的运行轨迹如图 3-6 所示。

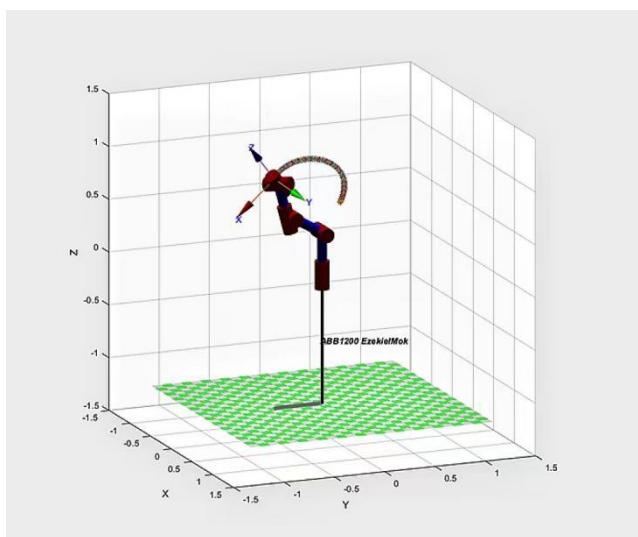
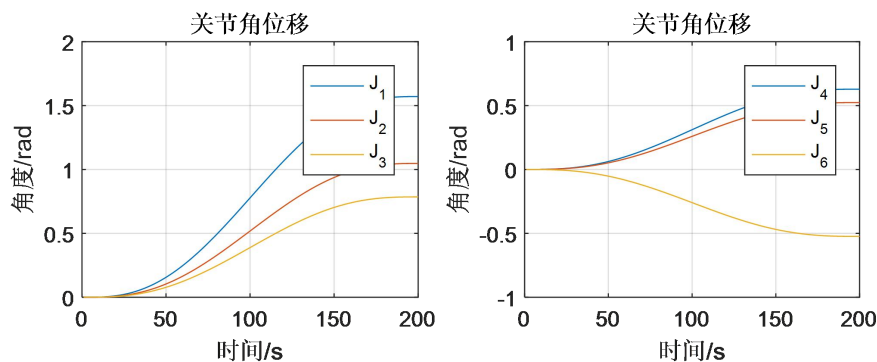


图 3-6 机器人模型的运行轨迹

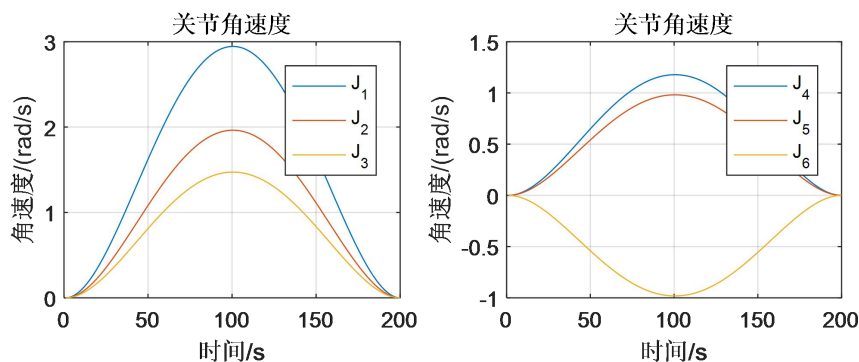
从图中可看到，机器人末端从起始点到终止点的运动轨迹连续、平稳、光滑，没有出现间断、突变、跳跃等异常情况。

同时，计算得到关节角位移、角速度曲线，如图 3-7 所示。由图可见，轨迹十分平滑，未出现突变点，在运行中间达到速度最大，这样能够保证机器人各个关节电机的平稳控制，不会产生电机的急停、摩擦等。

综合图 3-6 和图 3-7 所示结果，证明该机器人运动轨迹平稳，且不会产生较大的机械磨损，能较好地完成本系统中的上料工作。



(a) 机器人各关节角位移变化曲线



(b) 机器人各关节角速度变化曲线

图 3-7 机器人各关节角位移、角速度变化曲线

在 MATLAB 中，通过逆运动学拟合出的各关节角位移、角速度曲线意义如下：

角位移曲线表示机器人各个关节的角度变化情况，文中以角度为单位。在机器人的运动过程中，关节角度的变化非常重要，可以通过该曲线进行快速判断机器人是否工作正常；另外，关节位移的误差会直接影响机器人的运动精度。因此该参数的特性是本文中首要考虑的一点。

角速度曲线表示机器人各个关节的角速度变化情况，文中以角度/秒为单位。机器人在各个关节处转动的速度会随着时间发生变化，通常会在规划轨迹中出现许多变化点，需要通过该曲线进行分析和调整。

通过观察关节角位移、角速度曲线，可以看出机器人的运动学基本性能满足要求。在下一步工作中，将会重点检测机器人在执行特定任务时的精度、速度、稳定性等指标是否满足要求，并优化机械手臂的控制策略，以提升机械手臂的性能和效率。

3.5 本章小结

本次毕业设计所用的上料机器人为多关节结构，具有较高的自由度，可以实现多方向的运动和灵活精准的操作。本章节对其进行了运动学分析和轨迹规划，为后续机器人的运

动控制奠定了基础。

3.5.1 上料机器人运动学分析

通过分析机器人的结构和关节运动规律，计算机器人各关节位置、速度、加速度等运动参数，以实现对机器人的精确控制。

(1) 关节坐标系和运动参数

上料机器人采用基座坐标系和各关节坐标系来描述机器人的位姿和运动状态，其中基座坐标系为固定坐标系，各关节坐标系为运动坐标系。机器人有 6 个关节，各关节坐标系相对于基座坐标系的位置和姿态分别为 T_1, T_2, \dots, T_6 ，每个关节的运动参数包括角度 θ ，角速度 ω 和角加速度 α 等等，本文主要讨论了角位移和角速度。

(2) 运动学正运动学和逆运动学

根据机器人的关节运动参数，通过正向运动学方程计算出机器人末端执行器的位姿。正向运动学方程通常采用欧拉角或四元数的形式，将各个坐标系相互转换，最终得到末端执行器的位置和姿态。

(3) 坐标体系

本文中机器人的运动规律是在直角坐标体系下进行分析的。直角坐标体系下，以机器人基座中心为原点，以末端执行器在 x, y, z 三个方向上的位移为坐标轴，适合描述平移运动，符合本次毕业设计中机器人的运动特点。

3.5.2 上料机器人轨迹规划

上料机器人轨迹规划的目的是根据目标位置、机器人的动作限制等因素，规划机器人末端执行器的运动轨迹，使机器人能够顺利完成物体的抓取和放置操作。

(1) 轨迹规划方法

本文采用基于插值的方法对数据进行处理，通过对运动参数进行五次多项式插值，生成机器人运动的轨迹。

(2) 轨迹规划中要考虑的因素

轨迹规划中考虑的因素包括机器人的动作限制、目标物体的大小和形状、物体的位置和姿态、机器人的姿态变化、工作环境中的障碍物等。为了保证机器人的安全性和稳定性，轨迹规划时考虑到了避免机器人碰撞障碍物或自身部件，同时还考虑到了机器人运动的平滑性和精度。

第四章 虚拟调试与仿真实验

4.1 机器人及 PLC 程序编制

4.1.1 PLC 程序编制步骤

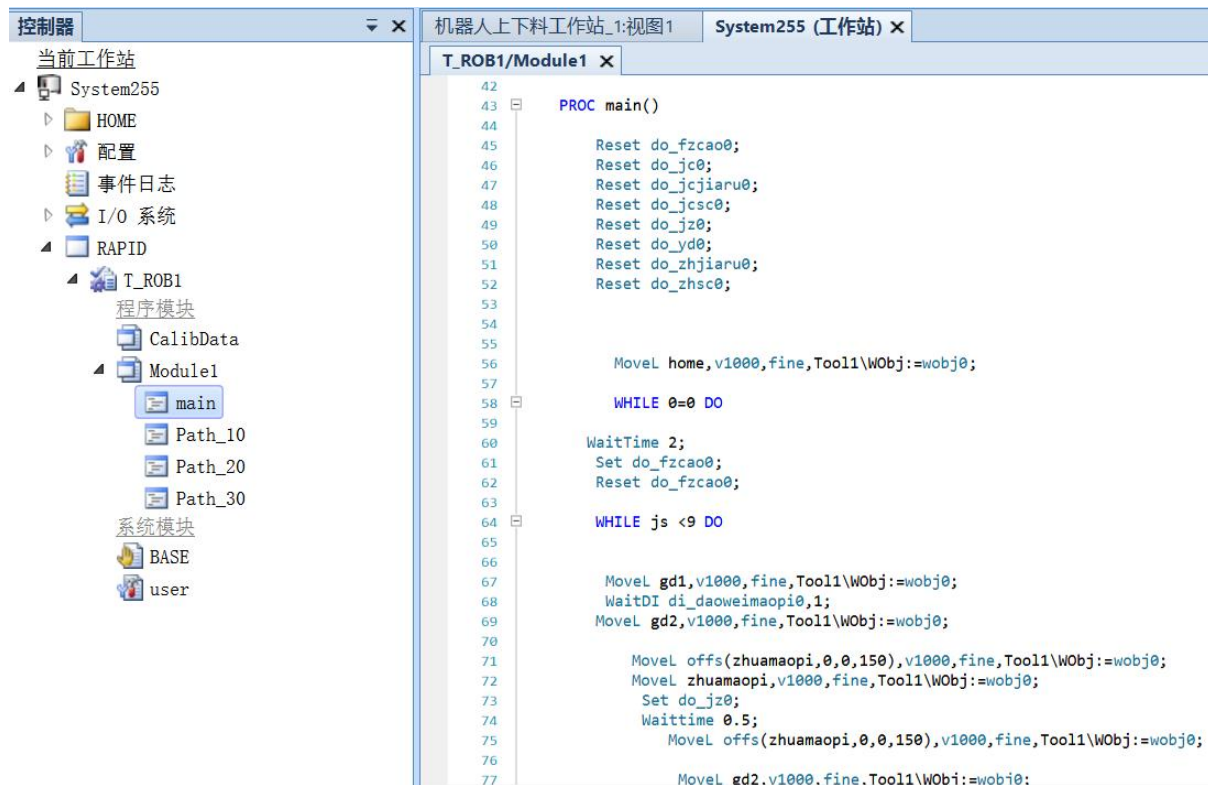
机器人上料系统的控制是由工控机（PLC）完成的，通过以下方法完成了上料系统 PLC 控制程序的编写。

- (1) 确定机器人的任务和要控制的动作，制定相应的控制策略。
- (2) 设计控制方案，包括输入输出设备、传感器、执行器等选型和配置，确定控制信号的传输方式等。
- (3) 编写 PLC 程序，在程序中定义输入输出设备的变量、传感器的状态判断条件、执行器的控制条件等。
- (4) 调试程序，检查程序是否符合要求并修正错误。
- (5) 确定机器人的测试方法和操作流程，进行实际测试和调试。

针对项目中的 ABB-IRB-1200，利用示教器等完成机器人参数配置，并完成机器人程序和 PLC 程序编制。

4.1.2 机器人程序编写

基于前文参数，进行机器人程序编辑，如图 4-1。系统关键程序段如附录四所示。



```
42
43 PROC main()
44
45     Reset do_fzcao0;
46     Reset do_jc0;
47     Reset do_jcjaru0;
48     Reset do_jcsc0;
49     Reset do_jz0;
50     Reset do_yd0;
51     Reset do_zhjaru0;
52     Reset do_zhsc0;
53
54
55
56     MoveL home,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
57
58     WHILE 0=0 DO
59
60     WaitTime 2;
61     Set do_fzcao0;
62     Reset do_fzcao0;
63
64     WHILE js <9 DO
65
66
67     MoveL gd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
68     WaitDI di_daoweimaopi0,1;
69     MoveL gd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
70
71     MoveL offs(zhuamaopi,0,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
72     MoveL zhuamaopi,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
73     Set do_jz0;
74     Waittime 0.5;
75     MoveL offs(zhuamaopi,0,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
76
77     MoveL gd2.v1000.fine.Tool1\WObj:=wobj0;
```

图 4-1 部分机器人程序

4.2 机器人上料系统的虚拟调试

4.2.1 上料系统主要硬件组成

我们进行设计仿真的汽车外覆盖件冲压生产线上料工作单元,是在一个虚拟的制造过程中完成一个子装配的过程,那么这个工作单元主要由下述的各部分组成:

- (1) 两条用来传输物料的传送带;
- (2) 一条规划好目标点以及运行时间负责平移机器人的轨道;
- (3) 一台六轴自由度含有传感器的负责传送物料的机械臂;
- (4) 一个可以机加工的有传感器的小机床。

整个过程在操作臂控制器的控制之下依次进行。

4.2.2 上料系统主要运行逻辑

(1) 给负责输送物料的传送带一个启动信号,按照规定的间隔时间以及运输速度运行,当到达间隔时间时,传送带停止运行。

(2) 机械臂的传感器,检查到机械臂运行起点处传送带上的物料时检测物料的位置和姿态。

(3) 机械臂改变自身位置和姿态,按照我们给定的力,抓起物料。检测指端之间的距离,确保物料已经预对位。否则,机器人移出装配线,并且重复执行此任务。

(4) 机械臂按照我们给定的自由度转换方向输送物料至机床内,到达终点后放下物料,检查物料此时的位置和姿态。张开夹具,回收机械臂,确保机械臂离开机床范围,并在机床发出信号之前保持静止状态。

(5) 机床收到机械臂送达物料的信号后,读取机床门信息判断大门是否打开,如果是保持静止;如果不是,打开机床门。之后等待机械臂已回收的信号后,关上机床门开始机加工,加工后,按照我们给定的间隔时间,向机械臂发送信号,打开机床门,在下一机械臂信号来临前保持静止。

(6) 机械臂收到机床信号后,按照我们给定的间隔时间,夹取加工后的物料,按照我们给定的力,抓起物料。检测指端之间的距离,确保物料已经被完全抓住。否则,重复执行此任务。按照我们给定的自由度以及前进方向向负责平移机器人的传送带传送信号,回收机械臂,等待传感器传来到达终点的信号后按照终点的坐标,放下并摆好物料。确保物料符合终点设定的位置和姿态。

(7) 负责机械臂传送方向的轨道:根据机械臂传来的信号平移,设置三个静止点,分别为抓取物料的初始位,加工物料的工作位置,以及放置物料的终止位。到达终止位后等待机器人指令,流程完毕后回到起点并往复循环,如图 4-2 所示。

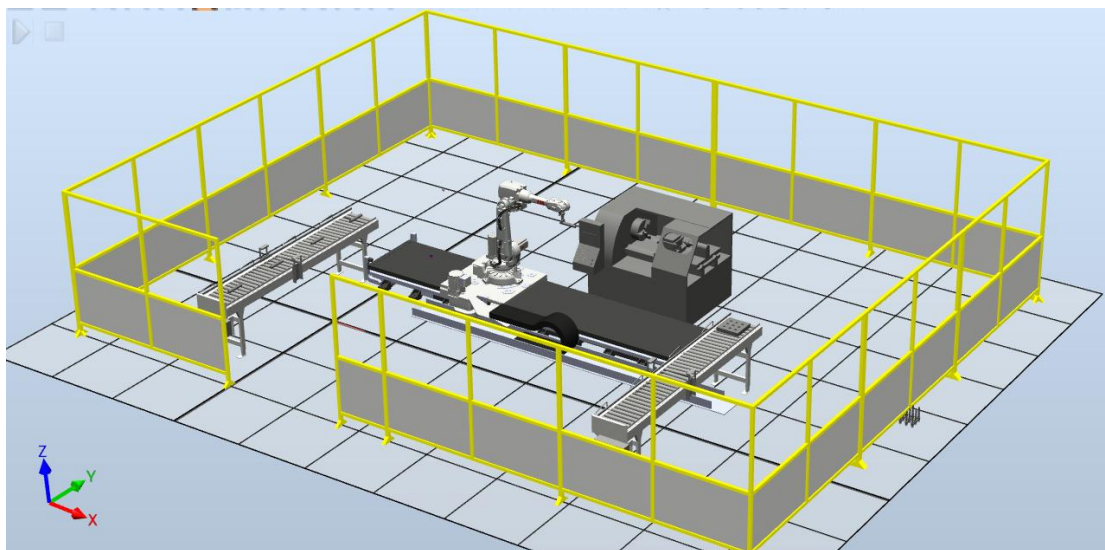


图 4-2 工作站方案示意图

4.3 实验仿真与分析

按照工作流程，在 Robot studio 中进行系统动态仿真，即在虚拟空间中模拟整个系统的运行过程，如图 4-3 所示。在仿真过程中，考虑了原材料的上料、传送带的传输、料架的存放和取出等各个环节，目的是验证系统的稳定性和连续性。

最后，对仿真结果进行分析，评估系统的性能表现，并根据分析结果对设计方案进行优化。根据仿真结果，结合实际生产需求和设计要求，对系统参数进行了微调。

最后仿真结果显示，系统运行正确、平稳，从而有效验证了设计方案的可行性和优化效果。

详情可见本文附录五的二维码，扫描可见系统运行的模拟仿真视频和工作流程解说。



图 4-3 仿真调试中的某一环节

4.4 本章小结

经过对该生产线的细致分析，确立了上料机器人在系统中的精确位置，研究并确定了该机器人的动作范围和需求。随后，确定了系统运行方案，结合软件仿真技术，在虚拟环境中验证了上料机器人在整个系统中的运动特性和工作效果。仿真实验结果表明，本次设计的基于工业机器人的汽车外覆盖件上料系统是稳定的、有效的、可行的。

实验仿真的分析手段，实现了如下有益效果：

(1) 减少生产成本。使用汽车外覆盖件冲压生产线实验仿真，预测了生产线的生产效果，优化了工艺流程，减少了部分生产成本。

(2) 提高生产效率。通过实验仿真，缩短了生产设备的研制周期。

(3) 降低设备损耗。在实验仿真过程中，有助于提前发现生产线存在的潜在问题，避免故障和设备损耗，提高生产效率和设备寿命。

(4) 提高产品质量。仿真实验中的数据可视化功能，有助于更好地控制流程参数，确保产品符合质量要求，从而提高产品质量和稳定性。

(5) 方便进行调试和维护。对生产线进行虚拟调试，避免了在实际生产中进行调试、试错的难度和风险。

第五章 总结与展望

汽车外覆盖件冲压生产线上料机器人是一种具有高度自动化水平的设备,它可以实现自动上下料、自动送料、自动校正等功能。与传统的手工操作相比,机器人具有高效、精准、稳定的特点。同时,机器人还可以根据生产任务进行多品种、小批量的生产,适应市场需求的快速变化。

为提高冲压生产线的生产节拍、降低抖动、提高送料系统的运行寿命,设计了汽车外覆盖件冲压生产线上料系统,主要研究内容如下:

(1) 调研分析了汽车外覆盖件冲压生产线上料系统的功能要求和特点,以此为基础,设计并搭建了三维仿真系统。首先,利用 Solid works 软件绘制了机器人手抓等零部件的三维模型;然后,将模型导入机器人仿真软件 Robot studio,确定了机器人以及传送带、机床等周边设备的空间位置,完成了系统的空间布局;最后,设置了相关参数,完成了各零部件输入输出信号的链接。

(2) 分析了工业机器人的结构并建立了坐标系,确定了各关节角的扭转角、杆长、旋转角、连杆偏距等参数值,根据 D-H 法建立了运动学模型。推导得到了正运动学方程,采用多项式方法对关节进行了逆运动学求解。

(3) 通过运用 MATLAB 软件,首先基于正运动学模型验证了机器人的空间可达点能够满足上下料要求。然后,在 MATLAB 软件中采用五次多项插值法对机器人在关节空间进行了轨迹规划,通过逆运动学求解把路径点转换成关节路径点,并将其拟合光滑函数,分析了机器人在关节空间从起点、到达路径点和目标点的运动状态,从而验证、分析了机器人姿态及轨迹规划合理性,以确保上料效率与运行轨迹的平稳性;

(4) 进行了工作流程的设计与实施,完成了机器人程序编制与仿真实验。在 Robot studio 中设置机器人的任务和自由度等参数值,制定相应的控制策略。编写 PLC 程序,在程序中定义输入输出设备的变量、传感器的状态并判断条件、执行器的控制条件等。确定机器人的测试方法和操作流程,进行仿真系统的测试和调试。通过工作过程仿真,验证是否发生碰撞干涉、运行是否平稳等问题,讨论了系统的合理性与稳定性。

仿真实验表明该上料机器人可以满足运行要求,设计方案是可行的。

此外,附录五中的二维码是本系统的模拟仿真视频及相关解说,直观展示本设计的机器人上料系统实现方案的实时演示,并解说关键流程。

毕业设计的不足和研究计划:

不足:

(1) 由于时间和项目执行进度等原因,目前尚未实施生产线的实际运行实验,仅从仿真角度验证了生产线的可行性,尚未通过实验数据和性能测试结果验证所设计系统的可靠性;

(2) 论文尚未对生产线的柔性进行系统的验证;

(3) 论文仅研究了冲压生产线上料系统，未深入探究冲压生产线全系统的技术特点和应用前景，如远程监控和管理等。

改进：

(1) 从产品分析、生产线产能、工艺流程等角度进一步分析，进一步讨论上料系统与上下游工艺环节的关系；

(2) 实施现场实验，基于实验数据分析并进一步改善生产线设计的不足，提高生产线柔性满足生产需求；

(3) 加强对汽车覆盖件生产全流程的讨论和分析，探究冲压生产系统的技术特点，为该领域的研究提供更多的参考和启示。

我相信，未来随着工业 4.0 的不断推进，汽车外覆盖件冲压生产线上料机器人的应用将会越来越广泛。这将不仅仅是单一的自动化，而是基于网络、大数据、云计算等技术的智能化生产。机器人将会更加智能化，可以通过互联网与其他机器人进行通信协作，并且可以实现远程监控和管理。

因此，汽车外覆盖件冲压生产线上料机器人的发展具有广阔的空间和前景，需要不断地创新和改进，以适应产业发展的需求。

参考文献

- [1] 潘继平,焦中良.面向碳达峰碳中和目标的中国油气发展战略思考[J].国际石油经济,2022,30(08):1-15.
- [2] 尚楠,陈政,冷媛.电碳市场背景下典型环境权益产品衔接互认机制及关键技术[J/OL].中国电机工程学报:1-19[2023-05-26].
- [3] 郑云平,李明,张艳丽,克帕依吐·吐尔逊,亚夏尔·吐尔洪.新型储能政策分析与建议[J/OL].储能科学与技术:1-10[2023-05-25].
- [4] 韩超,李鑫平.在自动化中推动企业绿色转型:技术进步与产品重构效应[J].数量经济技术经济研究,2023,40(04):72-93.
- [5] 许宪春,唐雅,靖骐亦.2021年中国经济形势分析与2022年展望[J].经济学动态,2022(02):3-17.
- [6] 李磊.我国铁合金行业发展现状及未来需求展望[J].冶金管理,2013(05):15-24.
- [7] 张爽.我国电工装备企业利用“一带一路”、RCEP窗口期走出去[J].电器工业,2021(10):32-62.
- [8] 许江菱,钟晓萍,朱永茂,杨小云,王文浩,刘勇,李汾,刘菁,李丽娟,刘小峯,邹林,陈红.2015~2016年世界塑料工业进展[J].塑料工业,2017,45(03):1-44+108.
- [9] 《中国公路学报》编辑部.中国汽车工程学术研究报告·2017[J].中国公路学报,2017,30(06):
- [10] 高峰,郭为忠,宋清玉,杜凤山.重型制造装备国内外研究与发展[J].机械工程学报,2010,46(19):92-107.
- [11] 胡雅涵,寇贞贞,江源,谭东杰,李安朋,袁英敏,万佳艺,辛宇.建材行业工业软件发展研究[J].中国工程科学,2022,24(04):177-187.
- [12] 马建,孙守增,芮海田,王磊,马勇,张伟伟,张维,刘辉,陈红燕,刘佼,董强柱.中国筑路机械学术研究报告·2018[J].中国公路学报,2018,31(06):1-164.
- [13] 高峰,郭为忠,宋清玉,杜凤山.重型制造装备国内外研究与发展[J].机械工程学报,2010,46(19):92-107.
- [14] 樊佩茹,李俊,王冲华,张雪莹,郝志强.工业互联网供应链安全发展路径研究[J].中国工程科学,2021,23(02):56-64.
- [15] 赵杰.国产机器人的发展现状与挑战[J].机器人产业,2018(05):82-85.
- [16] Osama Halabi, Yasmin Halwani. Design and Implementation of Haptic Virtual Fixtures for Preoperative Surgical Planning[J]. Displays, 2018.
- [17] Isser Ariel, Schneck Jonathan P. High-affinity T cell receptors for adoptive cell transfer.[J]. The Journal of clinical investigation, 2019, 129(1).

致谢

本文是在指导老师赵俊英老师的悉心指导下完成的。首先，我要向我的导师，表达自己最真挚的感情。导师在我毕业设计的过程中，总是严谨细致地给予指导。

其次，我要感谢学院的指导老师老师，对我的论文提出了宝贵的意见和建议，让我对自己的研究与论文有了更客观而全面的了解。也感谢您们的点拨和启示，让我对自己的研究充满信心与激情。

最后，我也要感谢所有在我论文写作与研究过程中给予我支持和帮助的人。感谢我的家人、朋友和同学，我的家人朋友对我在学术上的进步与探索给予了支持与鼓励。你们在我茁壮成长的道路上给予我支持和信任，让我在学习与生活中能够取得这样优异的成绩。

附录一 中文译文及外文资料

工业机器人

Industrial robots; Electronic Control

摘要:

预编程位置点是机器人为完成工作而必须跟踪的轨迹。在某些位置点上机器人将停下来做某些操作，如装配零件、喷涂油漆或焊接。这些预编程点储存在机器人的储存器中，并为后续连续操作所调用，而且这些预编程点像其他程序数据一样，可在日后随工作需要而变化。因而，正是这种可编程的特征，一个工业机器人很像一台计算机，数据可在这里储存、后续调用与编辑。

机械手是机器人的手臂，它使机器人能弯曲、延伸和旋转，提供这些运动的是机械手的轴，亦是所谓的机械人的自由度。一个机械人能有 3 至 16 轴，自由度一词总是与机器人轴数相关。

这些连在机器人手臂末端的附件可使机器人抬起工件、点焊、刷漆、电弧焊、钻孔、打毛刺以及根据机器人的要求去做各种各样的工作。

机器人系统还可以控制机器人的工作单元，工作单元是机器人执行任务所处的整体环境，该单元包括控制器、机械手、工作平台、安全保护装置或者传输装置。所有这些为保证机器人完成自己任务而必须的装置都包括在这一工作单元中。另外，来自外设的信号与机器人通讯，通知机器人何时装配工件、取工件或放工件到传输装置上。工具和手爪不是机器人自身组成部分，但它们是安装在机器人手臂末端的附件。

正文:

机器人系统有三个基本部件：机械手、控制器和动力源。

机械手

机械手做机器人系统中粗重工作，它包括两个部分：机构和构件，机械手也有联接附件基座。

机械手基座通常固定在工作区域的地基上，有时基座也可以移动，在这种情况下基座安装在导轨或轨道上，允许机械手从一个位置移到另外一个位置。

正如前面所提到的那样，附件从机器人基座上延伸出来，附件就是机器人的手臂，它可以是直动型，也可以是轴节型手臂，轴节型手臂也是大家所知的关节型手臂。

机械臂使机械手产生各轴的运动。这些轴连在一个安装基座上，然后再连到拖架上，拖架确保机械手停留在某一位置。

在手臂的末端上，连接着手腕，手腕由辅助轴和手腕凸缘组成，手腕是机器人用户在手腕凸缘上安装不同工具来做不同种工作。

机械手的轴使机械手在某一区域内执行任务，我们将这个区域成为机器人的工作单元，该区域的大小与机械手的尺寸相对应。随着机器人的机械结构尺寸的增加，工作单元的范围也必须相应增加。

机械手的运动由执行元件或驱动系统来控制。执行元件或驱动系统允许各轴在工作单元内驱动。驱动系统可用电气、液压和气压动力，驱动系统所产生的动力机构转变为机械能，驱动系统与机械传动链相匹配。由链、齿轮和滚珠丝杠组成的机械传动链驱动着机器人的各轴。

控制器

机器人控制器是工作单元的核心。控制器储存着预编程序供后续调用、控制外设，及与厂内计算机进行通讯以满足产品经常更新的需要。

控制器用于控制机械手运动和在工作单元内控制机器人外设。用户可通过手持的示教盒将机械手运动的程序编入控制器。这些信息储存在控制器的存储器中以备后续调用，控制器储存了机器人系统的所有编程数据，它能储存几个不同的程序，并且所有这些程序均能编辑。

控制器要求能够在工作单元内与外设进行通信。例如控制器有一个输入端，它能标识某个机加工操作何时完成。当该加工循环完成后，输入端接通，告诉控制器定位机械手以便能抓取已加工工件，随后，机械手抓取一未加工件，将其放置在机床上。接着，控制器给机床发出开始加工的信号。

控制器可以由根据时间顺序而步进的机械式轮鼓组成，这种类型的控制器可用在非常简单的机械系统中。用于大多数机器人系统中的控制器代表现代电子学的水平，是更复杂的装置，即它们是由微处理器操纵的，这些微处理器可以是 8 位，16 位或 36 位处理器。它们可以使得控制器在操作过程中显得非常柔性。

控制器能通过通信线发送电信号，使他能与机械手各轴交流信息，在机器人的机械手和控制器之间的双向交流信息可以保持系统操作和位子经常更新，控制器也能控制安装在机器人手腕上的任何工具。

控制器也有与厂内各计算机进行通信的任务，这种通信联系使机器人成为计算机辅助制造（CAM）系统的一个组成部分。

存储器。基于处理器的系统运行时要与固态的存储装置相连，这些存储装置可以是磁泡，随机存储器、软盘、磁带等。每种记忆存储装置均能储存、编辑信息以备后续调用和

编辑。

动力源

动力源是个机器人和机械手提供动力的单元。传给机器人系统的动力源有两种，一种是用于控制器的交流电，另一种是用于驱动机械手各轴的动力源，例如，如果机器人的机械手是由液压和气压驱动的，控制信号便传送到这些装置中，驱动机器人运动。

对于每一个机器人系统，动力源是用来操纵机械手的。这些动力可来源于液压动力源、气压动力源或电源，这些能源是机器人工作单元整体的一部分。

ABSTRACT :

Preprogrammed locations are paths that the robot must follow to accomplish work. At some of these locations, the robot will stop and perform some operation, such as assembly of parts, spray painting, or welding. These preprogrammed locations are stored in the robot's memory and are recalled later for continuous operation. Furthermore, these preprogrammed locations, as well as other programming feature, an industrial robot is very much like a computer, where data can be stored and later recalled and edited.

The manipulator is the arm of the robot. It allows the robot to bend, reach, and twist. This movement is provided by the manipulator's axes, also called the degrees of freedom of the robot. A robot can have from 3 to 16 axes. The term degrees of freedom will always relate to the number of axes found on a robot.

The tooling and grippers are not part of the robotic system itself: rather, they are attachments that fit on the end of the robot's arm. These attachments connected to the end of the robot's arm allow the robot to lift parts, spot-weld, paint, arc-weld, drill, deburr, and do a variety of tasks, depending on what is required of the robot.

The robotic system can also control the work cell of the operating robot. The work cell of the robot is the total environment in which the robot must perform its task. Included within this cell may be the controller, the robot manipulator, a work table, safety features, or a conveyor. All the equipment that is required in order for the robot to do its job is included in the work cell. In addition, signals from outside devices can communicate with the robot in order to tell the robot when it should assemble parts, pick up parts, or unload parts to a conveyor.

The robotic system has three basic components: the manipulator, the controller, and the power source.

Manipulator

The manipulator, which does the physical work of the robotic system, consists of two sections: the mechanical section and the attached appendage. The manipulator also has a base to which the appendages are attached.

The base of the manipulator is usually fixed to the floor of the work area. Sometimes, though, the base may be movable. In this case, the base is attached to either a rail or a track, allowing the manipulator to be moved from one location to another.

As mentioned previously, the appendage extends from the base of the robot. The appendage is the arm of the robot. It can be either a straight, movable arm or a jointed arm. The jointed arm is also known as an articulated arm.

The appendages of the robot manipulator give the manipulator its various axes of motion. These axes are attached to a fixed base, which, in turn, is secured to a mounting. This mounting ensures that the manipulator will remain in one location.

At the end of the arm, a wrist is connected. The wrist is made up of additional axes and a wrist flange. The wrist flange allows the robot user to connect different tooling to the wrist for different jobs.

The manipulator's axes allow it to perform work within a certain area. This area is called the work cell of the robot, and its size corresponds to the size of the manipulator. As the robot's physical size increases, the size of the work cell must also increase.

The movement of the manipulator is controlled by actuators, or drive system. The actuator, or drive system, allows the various axes to move within the work cell. The drive system can use electric, hydraulic, or pneumatic power. The energy developed by the drive system is converted to mechanical power by various mechanical drive systems. The drive systems are coupled through mechanical linkages. These linkages, in turn, drive the different axes of the robot. The mechanical linkages may be composed of chains, gears, and ball screws.

Controller

The controller in the robotic system is the heart of the operation. The controller stores preprogrammed information for later recall, controls peripheral devices, and communicates with computers within the plant for constant updates in production.

The controller is used to control the robot manipulator's movements as well as to control peripheral components within the work cell. The user can program the movements of the manipulator into the controller through the use of a hand-held teach pendant. This information

is stored in the memory of the controller for later recall. The controller stores all program data for the robotic system. It can store several different programs, and any of these programs can be edited.

The controller is also required to communicate with peripheral equipment within the work cell. For example, the controller has an input line that identifies when a machining operation is completed. When the machine cycle is completed, the input line turns on, telling the controller to position the manipulator so that it can pick up the finished part. Then, a new part is picked up by the manipulator and placed into the machine. Next, the controller signals the machine to start operation.

The controller can be made from mechanically operated drums that step through a sequence of events. This type of controller operates with a very simple robotic system. The controllers found on the majority of robotic systems are more complex devices and represent state-of-the-art electronics. This is, they are microprocessor-operated. These microprocessors are either 8-bit, 16-bit, or 32-bit processors. This power allows the controller to be very flexible in its operation.

The controller can send electric signals over communication lines that allow it to talk with the various axes of the manipulator. This two-way communication between the robot manipulator and the controller maintains a constant update of the location and the operation of the system. The controller also controls any tooling placed on the end of the robot's wrist.

The controller also has the job of communicating with the different plant computers. The communication link establishes the robot as part of a computer-assisted manufacturing (CAM) system.

As the basic definition stated, the robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator. Therefore, the controller must contain some type of memory storage. The microprocessor-based systems operate in conjunction with solid-state memory devices. These memory devices may be magnetic bubbles, random-access memory, floppy disks, or magnetic tape. Each memory storage device stores program information for later recall or for editing.

Power supply

The power supply is the unit that supplies power to the controller and the manipulator. Two types of power are delivered to the robotic system. One type of power is the AC power for operation of the controller. The other type of power is used for driving the various axes of the

manipulator. For example, if the robot manipulator is controlled by hydraulic or pneumatic drives, control signals are sent to these devices, causing motion of the robot.

For each robotic system, power is required to operate the manipulator. This power can be developed from either a hydraulic power source, a pneumatic power source, or an electric power source. These power sources are part of the total components of the robotic work cell.

附录二 Robot studio 中关键参数设置

```

L(1) = Revolute('d', 0, ...    % link length (Dennavit-Hartenberg notation) 【设置杆长】
'a', 0, ...                  % link offset (Dennavit-Hartenberg notation) 【设置连杆偏距】
'alpha', pi/2, ...          % link twist (Dennavit-Hartenberg notation) 【设置扭转角】
'T', [0, 0.35, 0, 0, 0, 0], ... % inertia tensor of link with respect to center of mass I = [L_xx,
L_yy, L_zz, L_xy, L_yz, L_xz] 【连杆相对于质心的惯性张量】
'r', [0, 0, 0], ...         % distance of ith origin to center of mass [x,y,z] in link reference
frame 【第 I 原点到质心的距离】
'm', 0, ...                 % mass of link 【连杆的质量】
'Jm', 200e-6, ...          % actuator inertia 【执行器惯性】
'G', -62.6111, ...         % gear ratio 【传动比】
'B', 1.48e-3, ...          % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)
【制动器方向粘性摩擦系数】
'Tc', [0.395 -0.435], ... % actuator Coulomb friction coefficient for direction [-,+ ]
(measured at the motor) 【制动器方向粘性摩擦系数】

'qlim', [-160 160]*deg ); % minimum and maximum joint angle 【最小和最大接合角的百
分比】
du=pi/180; 【定义第一轴到第六轴的 DH 参数】
L1=Revolute('d',0.399,'a',0,'alpha',pi/2,...
'T',[0,0.67,0,0,0,0],...
'r',[0,0,0],...
'm',0,...
'Jm',200e-6,...
'G',-66.6111,...
'B', 1.48e-3, ...          % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)
【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】
'qlim',[-165 165]*du);
L2=Revolute('offset',pi/2,'d',0,'a',0.350,'alpha',0,...
'T',[0.45,0.764,0.539,0,0,0],...
'r',[-0.4638,0.008,0.3925], 'm',17.4,...
'Jm',200e-6,...
'G',107.815,...
'B', 1.48e-3, ...          % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)

```

【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】

```
'qlim',[-110 110]*du);
L3=Revolute('d',0,'a',0.042,'alpha',pi/2,...
T',[0.006,0.07,0.06725,0,0,0],...
'r',[-0.0143,-0.0671,0.089],...
'm',4.8,...
'Jm',200e-6,...
'G',-53.7073,...
```

'B', 1.48e-3, ... % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor) 【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】

```
'qlim',[-110 70]*du);
L4=Revolute('d',0.351,'a',0,'alpha',-pi/2,...
T',[1.8e-3, 1.3e-3, 1.8e-3, 0, 0, 0],...
'r',[0, 0.019, 0],...
'm', 0.82,...
'Jm', 33e-6,...
'G', 60.0364,...
```

'B', 1.48e-3, ... % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)

【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】

```
'qlim',[-160 160]*du);
L5=Revolute('d',0,'a',0,'alpha',pi/2,...
T',[0.3e-3, 0.4e-3, 0.3e-3, 0, 0, 0], ...
'r',[0, 0, 0], ...
'm', 0.32, ...
'Jm', 33e-6, ...
'G', 69.923, ...
```

'B', 1.48e-3, ... % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)

【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】

```
'qlim',[-120,120]*du);
L6=Revolute('d',0.082,'a',0,'alpha',0,...
T',[0.15e-3, 0.15e-3, 0.04e-3, 0, 0, 0], ...
```

'r', [0, 0, 0.032],...

'm', 0.09, ...

'Jm', 33e-6, ...

'G', 78.686, ...

'B', 1.48e-3, ... % actuator viscous friction coefficient (measured at the motor)

【电机粘性摩擦系数（在电机处测量）】

'qlim',[-400,400]*du);

Ez=SerialLink([L1,L2,L3,L4,L5,L6]);

Ez.name='ABBIRB1200';

Ez= SerialLink([L1,L2,L3,L4,L5,L6],'name','ABB1200 EzekielMok')

附录三 matlab 中机器人建模关键程序段

```

L(1)=Link([0 0 0 0],'modified');
L(2) =Link([0 0.0138+0.024 0 -pi/2],'modified');
L(3)=Link([0 -0.0127-0.024 0.420 0],'modified');
L(4)=Link([0 0.114+0.021 0.375 0],'modified');
L(5)=Link([0 0.114+0.021 0 -pi/2],'modified');
L(6)=Link([0 0.090+0.021 0 pi-2],'modified');
%机器人搭建与命名
Six_Link = SerialLink([L(1),L(2),L(3),L(4),L(5),L(6)]);
Six_Link.name = '冲压生产线上料机器人';
%Six_Link.teach
%求解
init_ang=[0 0 0 0 0 0];%给定起始点
targ_ang=[pi/2 pi/3 pi/4 pi/5 pi/6 -pi/6]; %给定终止点
step=200; %给定时间
[q,qd,qdd]=jtraj(init_ang,targ_ang,step); %通过 jtraj 直接得到角度、角速度、角加速度的序列
T0=Six_Link.fkine(init_ang); %求起始点运动学正解
Tf=Six_Link.fkine(targ_ang); %求终止点运动学正解
%画图--角度、角速度、角加速度
figure(1)
subplot(2,2,1);i=1:3;plot(q(:,i));title('关节角位移');grid on; %画角度图
xlabel('时间/s')
ylabel('角度/rad')
legend('J_1','J_2','J_3')
subplot(2,2,2);i=4:6;plot(q(:,i));title('关节角位移');grid on; %画角度图
xlabel('时间/s')
ylabel('角度/rad')
legend('J_4','J_5','J_6')
subplot(2,2,3);i=1:3;plot(qd(:,i));title('关节角速度');grid on; %画角速度图
xlabel('时间/s')
ylabel('角速度/(rad/s)')
.....

```

附录四 Robot studio 中仿真运行关键程序段

```
PROC main()
    Reset do_fzca0;
    Reset do_jc0;
    Reset do_jcjaru0;
    Reset do_jcsc0;
    Reset do_jz0;
    Reset do_yd0;
    Reset do_zhjaru0;
    Reset do_zhsc0;
    MoveL home,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    WHILE 0=0 DO
        WaitTime 2;
        Set do_fzca0;
        Reset do_fzca0;
        WHILE js <9 DO
            MoveL gd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            WaitDI di_daoweimaopi0,1;
            MoveL gd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL offs(zhuamaopi,0,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL zhuamaopi,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
                Set do_jz0;
                Waittime 0.5;
            MoveL offs(zhuamaopi,0,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL gd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL gd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL home,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL jcgd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL jcgd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL jcgd3,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL offs(jcfang,200,0,0),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
            MoveL jcfang,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
                reSet do_jz0;
                Waittime 0.5;
```

```
MoveL offs(jcfang,200,0,0),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd3,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    Set do_jc0;
    Set do_jcjiaru0;
    Reset do_jcjiaru0;
    waittime 2;
    Set do_jcsc0;
    Reset do_jcsc0;
MoveL jcgd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    WaitTime 3;
    Reset do_jc0;
    Waittime 2;
MoveL jcgd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd3,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL offs(jczhua,200,0,0),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jczhua,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    Set do_jz0;
    Waittime 0.5;
MoveL offs(jczhua,200,0,0),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd3,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL jcgd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL zhgd1,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    IF js < 3 THEN
MoveL zhgd2,v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL offs(zhfang,80*x,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
MoveL offs(zhfang,80*x,0,0),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
    reSet do_jz0;
    Set do_zhjiaru0;
    Reset do_zhjiaru0;
    Waittime 0.5;
MoveL offs(zhfang,80*x,0,150),v1000,fine,Tool1\WObj:=wobj0;
.....
```

附录五 Robot studio 中上下料工作站设计方案的实时演示

