



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

基于数字孪生的智能生产线控制系统设计

Design of Intelligent Production Line Control System Based on
Digital Twinning

学 院 智能制造学院
专 业 电气工程与智能控制
班 级 19 电气控制(春)2 班
学 号 19404080114
姓 名 王 旭
指导教师 孙 鹏
职 称 高级工程师
完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计

基于数字孪生的智能生产线控制系统设计

Design of Intelligent Production Line Control System Based on
Digital Twinning

学 院 智能制造学院
专 业 电气工程与智能控制
班 级 19 电气控制(春)2 班
学 号 19404080114
姓 名 王 旭
指导教师 孙 鹏
职 称 高级工程师
完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	智能制造学院		申 报 人	姓 名	孙鹏
专 业	电气工程与智能控制			技术职务	副高
题目名称	基于数字孪生的智能生产线控制系统设计				
题目类型	科学技术	题目来源	科研课题		
课题来源、背景及意义	<p>课题来源：2020 年校级重点课题“基于样条曲线的机器人研磨抛光运动优化研究”。</p> <p>背景：制造业在发达国家的国民经济中占有重要份额，因此制造业直接体现一个国家的生产力水平。如今制造业正在向智能化的方向发展和转变，而智能生产线的开发设计周期和成本一直是困扰企业的一个重要因素。同时虚拟现实技术也在随着技术的发展而进入到各行各业中，广泛应用于各种设备仿真设计调试、生产设备的运行监控与维护保养中，使生产效率得以显著提升，同时也极大地节约了生产成本，缩短了研发周期。</p> <p>意义：本此设计通过数字孪生技术对智能生产线进行了研究。数字孪生技术面对大规模的智能生产线，可以更精准、更全面、更便捷的反映设备运行状态以及生产过程中的问题，提高生产效率，提升设备维护保养管理水平。同时数字孪生技术还可以对智能生产线的研发设计提供技术支撑，降低设计成本，优化设计方案，对与智能生产线的发展和推广有一定的现实意义。</p>				
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> 1、查找相关的文献资料，学习智能生产线相关知识，掌握控制重难点； 2、学习“孪生象”虚拟仿真系统使用方法，掌握数字孪生模型的组态与调试； 3、掌握西门子 PLC 控制系统的组态与编程方法； 4、使用“孪生象”虚拟仿真系统和 PLC 控制系统完成智能生产线的数字孪生与程序设计； 5、根据任务进度及要求撰写毕业设计。 				
工作条件	“孪生象”智能制造数字孪生仿真平台、西门子 PLC 控制系统、装有“孪生象”、博途的 PC 机等。				

<p>知识与能力要求</p>	<p>1、能熟练掌握西门子 PLC 的基本使用方法，掌握简单的电路原理知识；</p> <p>2、能够掌握数字孪生概念和相关软件的使用；</p> <p>3、掌握智能生产线的结构与控制要求，对其硬件组成与控制系统可以布局组态；</p> <p>4、能够使用“孪生象”虚拟仿真系统完成智能生产线控制系统设计。</p>
<p>系（教研室）审查意见：</p> <p>同意</p> <p style="text-align: right;">负责人(签名)： <u> 张志利 </u> 2022 年 9 月 23 日</p>	



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

毕业设计（论文）任务书

题 目： 基于数字孪生的智能生产线控
制系统设计

学 院： 智能制造学院

专 业： 电气工程与智能控制

学生姓名： 王旭

学 号： 19404080114

起止日期： 2022年10月24日~2023年06月02日

指导教师： 孙鹏

任务书下达日期：2022年10月21日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004 年 3 月 21 日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0 号装配图纸 1 张；A2 号电气控制原理图纸 2 张；实物样机 1 台；产品 2 件”等。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

现在我国正在积极发展制造业，《中国制造 2025》是经国务院总理李克强签批，由国务院于 2015 年 5 月印发的部署全面推进实施制造强国的战略文件，是中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。新中国成立尤其是改革开放以来，我国制造业持续快速发展，建成了门类齐全、独立完整的产业体系，有力推动工业化和现代化进程，显著增强综合国力，支撑世界大国地位。然而，与世界先进水平相比，中国制造业仍大大而不强，在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显，转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

制造业在发达国家的国民经济中占有重要份额，因此制造业直接体现一个国家的生产力水平。如今制造业正在向智能化的方向发展和转变，而智能生产线的开发设计周期和成本一直是困扰企业的一个重要因素。同时虚拟现实技术也在随着技术的发展而进入到各行各业中，广泛应用于各种设备仿真设计调试、生产设备的运行监控与维护保养中，使生产效率得以显著提升，同时也极大地节约了生产成本，缩短了研发周期。

数字孪生技术面对大规模的智能生产线，可以更精准、更全面、更便捷的反映设备运行状态以及生产过程中的问题，提高生产效率，提升设备维护保养管理水平。同时数字孪生技术还可以对智能生产线的研发设计提供技术支撑，降低设计成本，优化设计方案，对与智能生产线的发展和推广有一定的现实意义。学生在毕业设计的过程中也可以学习数字孪生软件的使用方法，体会虚拟现实技术的建模与组态特点，学习和研究自动化生产线的结构特点和相关运动控制原理。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

数字孪生技术是一个新兴的理论技术体系，可在众多领域应用，在国内关注度最高、研究最热的则是智能制造领域。本次设计选用“孪生象”数字孪生虚拟仿真软件，设计智能生产控制系统，学生需要掌握智能生产线的生产工艺和结构特点，学习数字孪生软的使用方法，然后在该数字孪生平台中对现实生产系统进行虚拟仿真控制设计研究，最后通过虚拟与现实的交互形成动态配置与技术闭环改进。

具体要求如下：

- 1、查找相关的文献资料，学习智能生产线相关知识，掌握控制重难点；
- 2、学习“孪生象”虚拟仿真系统使用方法，掌握数字孪生模型的组态与调试；
- 3、掌握西门子 PLC 控制系统的组态与编程方法；
- 4、使用“孪生象”虚拟仿真系统和 PLC 控制系统完成智能生产线的数字孪生与程序设计；
- 5、根据任务进度及要求撰写毕业设计。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

毕业设计一份

4. 推荐参考资料：

[1] 柯志胜,赵巍等.面向数字孪生的智能虚拟生产线与调试系统设计[J].工具技术.2022(09).

[2] 孙阳君,赵宁.基于数字孪生的多 AGV 系统集中式调度方法[J].计算机集成制造系统.2021.

[3] 张政.智能工厂生产线的设计与研发[J].内燃机与配件.2019(12).

[4] 曾艾婧,刘永姜等.基于数字孪生的物流配送调度优化[J].科学技术与工程.2021(21)

[5] Wang Qinghua, Hu Yanhua et al. Research on simulation platform of intelligent production lines[J] Journal of Physics:Conference Series,2021.

[6] 高云霄,胡洪伟等.智能生产线设备验收指标与验收方法[J].电子产品可靠性与环境试验,2022.

[7] 梁彬,臧芳.一种用于物流车的智能生产线[P]. 山东省: CN217457722U,2022-09-20.

所在专业审查意见：

同意

负责人： 张志利

2022 年 10 月 21 日



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）开题报告

题 目： 基于数字孪生的智能生产线控
制系统设计

学 院： 智能制造学院

专 业： 电气工程与智能控制

学生姓名： 王旭

学 号： 19404080114

起止日期： 2022年10月24日~2023年06月02日

指导教师： 孙鹏

开题日期： 2022年11月18日

一、 开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

1.课题的目的意义

智能制造作为一个发展演变中的话题，其定义、应用范围、研究热点和趋势，已经是工业信息化研究领域的一个常态话题，近年来针对智能制造概念的研究和实践不断涌现。智能制造涉及智能产品、智能生产以及智能服务等多个方面及其优化集成，从技术机理角度看，这些不同方面尽管存在差异，但本质上是一致的，即“人—信息—物理系统”的融合^[1]。

数字孪生（DigitalTwin）是一种具有实时映射和精确仿真性，能够实现物理世界与信息世界交互融合的技术，利用该技术可实现信息世界内的虚拟事物与物理世界中的现实事物在形状、行为等方面保持一致并相互映射^[2-5]。

NASA 的阿波罗项目最早应用到了“孪生”概念^[6]。在该项目中，NASA 为太空飞行器打造了完全相同的孪生体，飞行器用于完成太空任务，而它的孪生体则用于反应本体在太空中的飞行状态。任务执行前，NASA 对孪生体进行训练，当飞行器执行任务时，通过对地面上的孪生体进行较为精确的仿真实验，以此来反映和预测作业飞行器的状态，从而为太空中执行任务的宇航员提供参考，此时的孪生概念为实体孪生。

MichaelGrievess 教授于 2003 年提出了数字孪生概念，之后该概念又先后被称为“镜像的空间模型^[7]”和“信息镜像模型^[8]”，因其具备了数字孪生体的所有因素，故被视作数字孪生的原型。2011 年之后，数字孪生概念得到了进一步发展。2011 年，MichaelGrievess 在《几乎完美：通过 PLM 驱动创新和精益产品》^[9]中正式提出数字孪生体的概念，并一直沿用至今^[10]。数字孪生是指将实体设备和传感器等在虚拟信息空间中进行镜像映射，以反映其行为、状态或活动的过程^[11-13]。

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生是一种超越现实的概念，可以被视为一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统^[14]。

数字孪生是个普遍适应的理论技术体系，可以在众多领域应用，在产品的设计、产品制造、医学分析、工程建设等领域应用较多。在国内应用最深入的是工程建设领域，关注度最高、研究最热的是智能制造领域^[15]。

当今社会高速发展，为满足生产生活的需求，智能生产线已经运用在生产各个领

域，机器人技术已经深入到人们生活的方方面面；现在我国正在积极发展制造业，制造业在发达国家的国民经济中占有重要份额，因此制造业直接体现一个国家的生产力水平。如今制造业正在向智能化的方向发展和转变，而智能生产线的开发设计周期和成本一直是困扰企业的一个重要因素。虚拟技术也在日益发展到各个领域，广泛的应用在生产线的调试及检测，设备仿真运行等领域，这大大的节省了时间，提高了生产效率。数字孪生的出现改善了目前的发展现状，它可以更加全面的模拟、监控、仿真生产线的现场情况。数字孪生技术的引入为智能生产线提供技术支持，更精准、更全面的反映设备运行状态，还可以反映生产线现场情况，从而提高生产效率，减少人力消耗。通过学习数字孪生软件的使用方法，体会虚拟现实技术的建模与组态特点，学习研究自动化生产线的结构特点和相关运动控制原理。

2、国内外研究（应用）情况及发展趋势

2.1 国外现状

近年来，全球各主要经济体都在强力推进制造业的发展，很多优秀制造企业都开展了智能工厂建设实践。例如，西门子安贝格电子工厂实现了多品种工控机的混线生产；FANUC 公司实现了机器人和伺服电机生产过程的高度自动化和智能化，并利用自动化立体仓库在车间内的各个智能制造单元之间传递物料，实现了最高 720 小时无人值守；施耐德电气实现了电气开关制造和包装过程的全自动化；美国哈雷戴维森公司广泛利用以加工中心和机器人构成的智能制造单元，实现大批量定制；三菱电机名古屋制作所采用人机结合的新型机器人装配产线，实现从自动化到智能化的转变，显著提高了单位生产面积的产量。

随着数字设计、仿真技术、人机交互技术的发展以及数字孪生概念的不断深入，目前数字孪生体可应用在更多的场景、应用、领域中，方便了人工操作，也能助力企业通过数字孪生可视化更便捷的认知和管理现实世界。例如，数字孪生城市。数字孪生城市就是实体城市在虚拟空间上的映射，二者通过数字连接，最终实现物理实体城市与数字化虚拟城市的虚实交融。还有数字孪生医疗、数字孪生工厂等。

数字孪生技术最先由美国军方组织开展应用研究，近两年逐渐成为军工领域的重要发展方向，在美欧大型军工企业装备研制生产与维修保障中得以应用，并开始取得一定实效。2017 年 6 月，美国航空航天制造商就提出名为“Product Digiverse”的新一代数字化技术发展理念，旨在将人员、设备、物料、环境等物理实体及制造过程与数字化模型连接，构建物理世界的镜像模型。这个理念的本质是数字孪生急速。同年，数字孪生技术

被列为 2018 年度影响军工领域的六大顶尖技术之首。

2.2 国内现状

随着工业 4.0、工业互联网、物联网、云计算、大数据、社交网络、智能化设备、机器社区等新一轮产业变革和技术革命的快速兴起，现代工业信息化发展已迈入建设智能工厂的历史新阶段。为了紧抓这一发展机遇，在国家部署实施制造强国战略布局的背景下，企业加快推进信息技术与工业技术不断融合，一系列新模式、新业态、新特征日益凸显。

我国在航空、航天、船舶、汽车、家电、轨道交通、食品饮料、制药、装备制造、家居等各行各业对生产和装配线进行自动化、智能化改造，以及建立全新的智能工厂的需求十分旺盛，当前涌现出成都数字化工厂、海尔、美的等智能工厂建设的样板。

成都数字化工厂采用 Siemens PLM 软件，通过虚拟化产品设计和规划实现了信息无缝互联，使工厂全面透明化，实现虚拟设计与现实生产相融合；PLM，MES，自动化建立在一个数据库平台上，利用 MES 和 TIA 将产品及生产全生命周期进行集成，大幅度缩短产品上市时间；自动监控质量确保品质，质量一次通过率可达 99.9985%；物流实现全自动化，大幅缩短补充上货时间，促使生产效率提高，实现了机机互联、机物互联和人机互联，建立了高度智能化的生产加工控制系统，实现了数字化双胞胎(Digital Twin)的智能工厂。

2.3 发展趋势

随着全球自动化和人工智能等技术的发展，全球企业纷纷加入自动化和智能制造领域。近年来，机器人流程自动化、智能流程自动化和人工智能业务操作这三个方面都保持了持续增长，其中机器人流程自动化增长的最快，它的年均增速达到了 30%以上，这代表了“机器换人”已成为工业生产的一大趋势。从未来发展看，智能生产线将成为引领智能制造发展的一个新趋势^[16]。

数字孪生就是将真实的物理实体用虚拟环境显示出来，随着数字孪生仿真的逼真程度，将不断提高它在各个领域里的应用。它可以与其他技术配合，如，物联网、种业互联网、移动互联网等，实时采集和处理反馈的数据，将这些数据与生产线数字孪生匹配，就可以在线实现对产品制造过程的精细掌控。随着这一技术的不断成熟完善，这将会是未来主要的发展趋势。

3、课题主要研究内容

为了解决智能虚拟生产线模型不能真实反映物理实体而带来的控制困难问题，提出了基于五维模型驱动的设计和控制框架。该设计框架包含了五维模型的所有元素：物理实体、虚拟实体、孪生数据、服务和连接。

3.1 智能生产线的整体布局

首先在电脑上安装“孪生象”软件。根据生产线的需要，在软件的模型库中找出所需模型进行搭建，“孪生象”软件界面如图 3-1 所示。模型库中有如下模块：

仓储设备：有巷道式堆垛机、多穿库、码垛机器人、物料提升机、立库等模型，可用于物料的存放。

线体输送设备：有滚筒输送带、链条输送机、皮带输送线、摆臂分拣机、滑台、立库接驳台等，用于物品运输移动。

基础建筑：有基础建筑块、安全围栏、卷帘门、标识牌等，模拟还原生产线上常见的一下建筑。

工作站：有电焊台、涂胶机、抛光机、喷绘吊链机等，可以对物品进行加工。

运输机器人：双轨 RGV、AGV、叉车、智能工厂 AGV 等，用于物品在仓库等地方的运输，运行轨迹可以设定。

数控 CNC：数控车床、数控铣床。

工业机器人：有 ABB、kuka、川崎、安川等型号的工业机器人、可以安装末端执行器，设定动作，实现对物品的加工。

传感器：光电传感器、色标传感器，光栅。传感器在生产线上可以检测物品的位置状态，或者是现场人员的位置。

实验室设备：有接驳台、围栏、倍速链、RFID、地轨、三轴加工中心、视觉检测、激光打标机等，可以更加详细的对生产线进行模拟布局。

自定义设备库：一些没有的设备等东西，可以自行建模导入，保存到库中。

还有一些人物、办公物品、物料、电器元件等模型，更加还原生产线的现场情况和设备的运行状态和细节等。

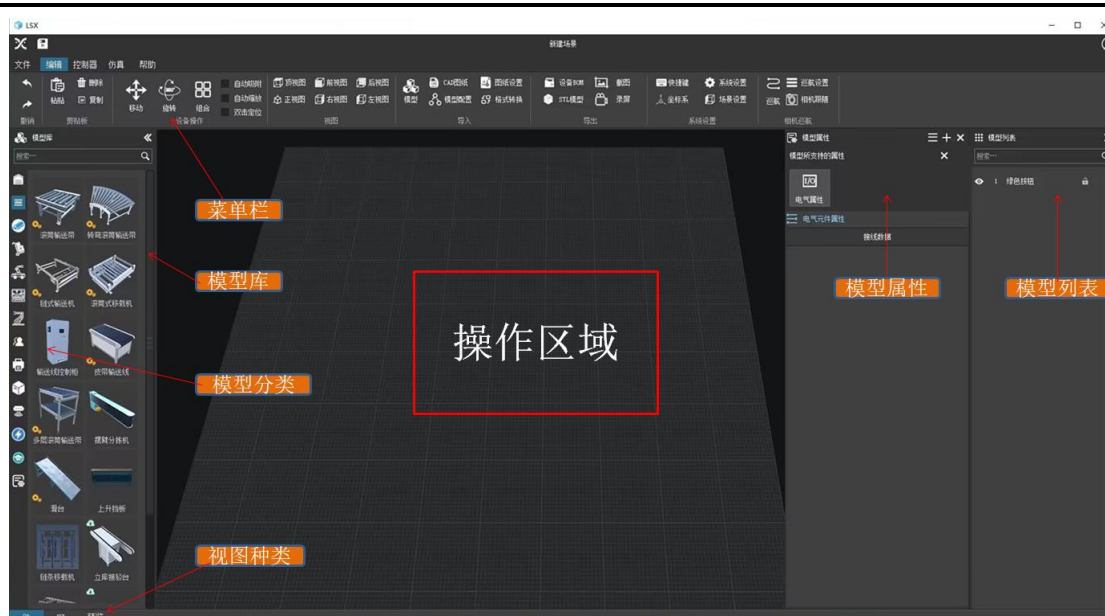


图 3-1 孪生象软件界面

3.2 西门子 PLC 可编程控制平台

“孪生象”有一个配套的实验箱，如图 3-2 所示，此实验箱既可以完成简单程序验证；又可以根据设计者的需要与外部设备配合完成项目虚拟仿真验证。

(1) 独立工作情况下，完成简单程序验证：博途编写完程序可直接下载，平台提供了已经接好的 8 个按钮和 8 个指示灯可以使用，可以直接验证简单的程序。

(2) 根据设计者的需要与外部设备配合时：实验箱把 CPU 本体、SM1232AQ 模块、SM121AI 模块、SM1222 数字输出模块的所有接点全部引出，使用者可以根据自己的需要接线；同时将 1 个急停按钮、1 个带灯按钮、2 个带灯转换开关、10 个供电电压 24V 的指示灯及 24V 直流电源的端子引出，供使用者根据自己工程使用；也可以根据自己的项目情况，配自己的外围设备，如传感器、电磁阀等。

根据之前用“孪生象”搭建的生产线，编写 PLC 程序，工业机器人动作程序等，通过实验箱与电脑的连接，实现仿真模拟运行，最终可以看到完整的运行过程，实现生产线的智能化模拟仿真，完成课题研究。具体流程如图 3-3 所示。

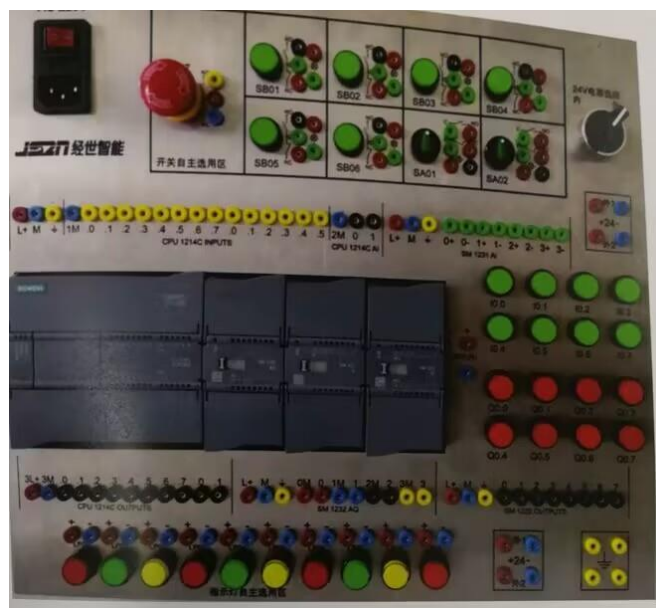


图 3-2 西门子 PLC 系统实验箱

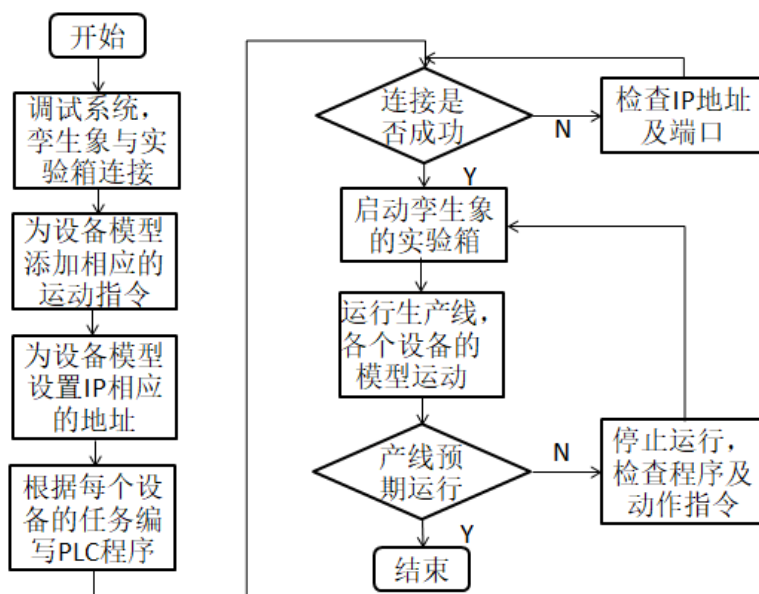


图 3-3 控制系统工作流程

4、参考文献

[1] Ji Z, Li P, et al. Toward New-Generation Intelligent Manufacturing[J]. Engineering, 2018.

[2] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018.

[3] KRITZINGER W, KARNER M, TRAAR G, et al. Digital twin in manufacturing: A categorical

literature review and classification[J]. IFAC-PapersOnLine, 2018.

[4] 张龙.从智能制造发展看数字孪生[J].软件和集成电路,2018.

[5] 赵敏.探求数字孪生的根源与深入应用[J].软件和集成电路,2018.

[6] ROSEN R, VON WICHERT G, LO G, et al. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing[J]. IFAC-Papers on Line, 2015.

[7] GRIEVES M. Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005.

[8] GRIEVES M. Product lifecycle management: driving the next generation of lean thinking[M]. New York, N .Y ., USA: Mcgraw-Hill, 2006.

[9] GRIEVES M. Virtually perfect: driving innovative and lean products through product lifecycle management[M]. Cocoa Beach, Fla., USA: Space Coast Pres, 2011.

[10] GRIEVES M, VICKERS J. Digital twin:mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems[M]//Trans-disciplinary Perspectives on Complex Systems. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2017.

[11] GRIEVES M. Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005.

[12] Shafto M, Conroy M, Doyle R, et al. NASA Technology Roadmap: Modeling Simulation Information Technology Processing Roadmap Technology Area[J/OL]. 2017.

[13] 刘轩.基于数字孪生的智能制造生产线平台构建及仿真研究[D].河北工业大学,2020.

[14] 于勇,范胜廷等.数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨[J].航空制造技术,2017.

[15] 张新生. 基于数字孪生的车间管控系统的设计与实现[D].郑州大学,2018.

[16] 柯志胜,赵巍等.面向数字孪生的智能虚拟生产线与调试系统设计[J].工具技术,2022(09).

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
(1) 2022. 10. 24-10. 31	(1) 在网上和图书馆搜集相关资料，论文等；	(1)确定论文的课题和技术研究方向
(2) 2022. 11. 01-11. 10	(2) 学习整理资料，确定设计方案和技术路线；	(2)确定设计方案和技术路线
(3) 2022. 11. 11-11. 18	(3) 撰写开题报告和 PPT 准备开题答辩；	(3) 顺利完成开题答辩
(4) 2022. 11. 19-12. 05	(4) 进行生产线的设计与搭建；	(4)完成生产线的设计及模型布局
(5) 2022. 12. 06-12. 20	(5) 改善搭建模型的问题并编写控制程序；	(5) 完成操作界面的设计
(6) 2022. 12. 21-2023. 01. 20	(6) 进行程序的仿真根据仿真结果修改完善程序；	(6) 完成可视化的仿真结果，完善控制程序
(7) 2023. 02. 01-03. 10	(7) 根据调试的结果进行论文初稿的编写；	(7) 完成论文的初稿
(8) 2023. 03. 15-04. 30	(8) 根据导师意见修改论文并确定论文终稿。	(8) 确定论文终稿
完成课题的现有条件	1. 计算机一台； 2. 西门子 PLC 控制系统； 3. 孪生象虚拟仿真平台； 4. 博图编程环境软件。	
指导教师意见	同意开题 指导教师： <u>孙鹏</u> <u>2022</u> 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 日	
开题答辩小组意见	同意开题 组 长： <u>陈星燎</u> <u>2022</u> 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 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：

年 月 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：

年 月 日

摘 要

随着中国制造 2025 的提出，我国大力发展制造业，提升实体经济。如何更高效的发展制造业成为了一大难题，全世界各大制造商也在不断地进行技术革新，提高生产效率，数字孪生的引入成为了一个新的趋势。

数字孪生技术是一个新的热门话题。其本质就是将现实中的事物进行数字化，然后通过虚拟的模型表现出来。将这个技术用在生产制造中，一方面，可以将产线中的设备、部件等进行虚拟建模，通过 PLC 技术和传感器收集设备运行状态等信息进行反馈处理，实现可视化的监管，可以在电脑上清晰的查看，了解问题的关键，减少了人力消耗；另一方面，可利用这些虚拟模型进行预测，设备寿命、生产消耗、方案的可执行性等，极大地极少了成本，提高效率。

这次研究主要用到“孪生象”软件设计虚拟生产线，由 SIMATIC S7-1200 提供控制信号，在博途软件上进行编程后，通过 NetToPLcSim 工具来实现“孪生象”与 PLC 之间的连接通讯，从而使虚拟生产线在“孪生象”软件中正常运行。

最后对智能生产线控制系统进行了仿真和调试，经过多次改进，最终的结果达到了预期的设定，控制系统运行正常稳定，生产线中各设备都能正常的运作，仿真的动画效果非常的理想。此次研究对推动制造业的发展有着巨大的意义。

关键词：数字孪生；智能生产线；PLC；NetToPLcSim；SIMATIC S7-1200

ABSTRACT

With the proposal of "Made in China 2025", China vigorously develops the manufacturing industry and promotes the real economy. How to develop manufacturing industry more efficiently has become a big problem, and major manufacturers all over the world are constantly carrying out technological innovation to improve production efficiency. The introduction of digital twins has become a new trend.

Digital twin technology is a new hot topic. Its essence is to digitize real things and then show them through virtual models. When this technology is used in manufacturing, on the one hand, the equipment and objects in the production line can be modeled in a virtual way, and the information such as the running status of the equipment collected by PLC technology and sensors can be fed back to realize visual supervision, which can be clearly viewed on the computer to understand the key points of the problem and reduce labor consumption. On the other hand, these virtual models can be used to predict the life of equipment, production consumption, and the enforceability of the scheme, which greatly reduces the cost and improves the efficiency.

In this study, the twin software is mainly used to design the virtual production line. SIMATIC S7-1200 is used as the controller. After programming on Botu software, NetToPLcSim tool is used to realize the connection and communication between the twin and PLC, so that the virtual production line can run normally in the twin software.

Finally, the control system of intelligent production line is simulated and debugged. After many improvements, the final result reaches the expected setting. The control system runs normally and stably, and all the equipment in the production line can operate normally. The simulation animation effect is very ideal. This study is of great significance to promoting the development of manufacturing industry.

Key Words: Digital twins;Intelligent production line; PLC;NetToPLcSim;SIMATIC S7-1200

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景目的及意义.....	1
1.2 研究现状.....	2
1.2.1 数字孪生技术现状.....	2
1.2.2 国外现状.....	3
1.2.3 国内现状.....	3
1.3 发展趋势.....	4
1.4 研究内容.....	4
1.5 论文的结构安排.....	4
第 2 章 数字孪生和“孪生象”	5
2.1 应用背景.....	5
2.2 孪生象软件介绍.....	6
2.3 软件使用硬件环境配置要求.....	7
2.4 软件操作主界面.....	7
第 3 章 智能生产线数字孪生建模设计.....	9
3.1 智能生产线设备选型与介绍.....	9
3.2 智能生产线的虚拟建模.....	10
3.2.1 “孪生象”软件的基本操作.....	10
3.2.2 虚拟智能生产线设计搭建.....	15
第 4 章 控制系统硬件设计.....	18
4.1 PLC 的选型	18
4.1.1 PLC 简介	18
4.1.2 PLC 控制系统选型	19
4.2 “孪生象”配套可编程控制平台.....	20
4.3 光电传感器.....	21
第 5 章 控制系统软件设计.....	22
5.1 可编程控制器操作流程.....	22
5.2 NetToPlcSim 工具软件的设置	24
5.3 PLC 程序	26
结 论.....	28
参考文献.....	29
致 谢.....	30

附 录.....	31
附录 1: 变量表	
附录 2: 程序图	

第 1 章 绪论

1.1 研究背景目的及意义

1. 研究背景

制造业的发展在国家经济发展中起到决定性的作用,也是一个国家生产力水平的体现。如今制造业正在向智能化的方向发展与转型,而智能生产线的开发设计,是大力发展制造业的一个重要环节。同时,随着科技的发展,虚拟现实技术已经进入各行各业,广泛应用于各种设备仿真设计调试、生产设备的运行监控与维护保养中,使生产效率得以显著提升,节约了生产制造的经济成本,缩短了研发与设计周期。

日本是亚洲科技最为发达的国家,为了制造业的快速发展,日本也推出了相关的战略方案,2022 年版《制造业白皮书》。白皮书分析了影响制造业项目的社会形势变化。明确指出日本制造业是受到了半导体的影响,所以 they 要加强半导体竞争力,在这个数字化的时代不断发展。

美国在芯片技术和航空技术仍然领跑于世界首位,但是美国制造业发展相对较为不足,所以美国的制造业需要变革。过去 40 年里,美国将制造业迁出本土,通过国际分工,交换各自所需,但这终究不是长久之计,所以现在美国正面临着制造业的回流。要想长远的发展,还需要大力发展制造业,所以美国正在发展数字化的生产技术平台。

德国作为工业强国,制造业的发展必然是他们最为重视的。“工业 4.0”的提出就标志着德国要向着制造业的至高点进发了。“工业 4.0”就是对制造业的全面升级,利用数字化技术、智能化生产和网络化管理,实现对生产线的智能管控,结合虚拟环境的利用和人机交互,提高生产水平。

现在我国正在积极发展制造业,《中国制造 2025》是中国首个十年“制造强国”战略规划的重要组成部分,是李克强亲自签署并于 2015 年 5 月正式发布的一份重大战略文件。自建国以来,我国的制造业一直在快速发展,但是与其他发达国家仍有很大的差距。向智能化的转型,将科学技术与制造融合应用,是我国大力发展制造业,提高实体经济的关键。

作为一个不断发展的话题,智能制造的定义、应用范围、研究热点和趋势一直是工业信息化研究领域的常态话题。近年来,关于智能制造概念的研究和实践不断涌现。智能制造是一种把人与信息、物理系统融合在一起的新技术,它涉及到智能产品、智能生产以及智能服务等多个方面,它们之间是通过优化集成来实现的,其中的核心技术机制就是“人-信息-物理系统”的融合。它可以实现产品质量控制、生产效率提高、生产成本降低、产品设计优化等,从而达到提升制造能力的目的^[1]。

数字孪生技术的出现为工业的发展和制造业的转型提供了技术支持。数字孪生技术在

众多领域都可应用，其中，在智能制造领域中的应用是最为广泛的，例如，将生产车间中的工业设备进行数字化建模，通过信息交互，将工业设备的各项参数反馈到 PC 端，进行可视化的监控管理，极大的减少了人力的消耗，也对设备的运行状态、使用寿命等进行分析预测，降低出现故障的风险。

2. 研究目的及意义

随着社会的快速发展，为了满足生活的需要，智能生产线已经应用于生产的各个领域。近年来，数字化信息技术在我国的迅速发展，与工业生产的深度融合日益加深，智能化制造已成为我国制造业变革的必然趋势。智能制造将云计算、大数据、物联网等信息技术与制造技术结合起来，在生产加工的过程中，实现了人、物料、设备、环境之间的无缝连接，实现了计算、分析和决策的目的，是新一代产业改革的核心^[2]。

在制造工件的时候，要使生产线上的各个设备之间可以实现相互通信，根据生产过程中所收集的数据进行自我调节，可以自主的进行决策，选择最合理、最高效、最经济的方案进行生产，这就是智能生产线。而要实现这一技术，重点就是将物理世界与虚拟世界结合起来，数字孪生技术正是可以实现这个需求的途径。

数字孪生技术可以更加全面的模拟、监控、仿真生产线的现场情况，解决智能制造的技术难点。数字孪生技术的引入为智能生产线提供技术支持，它可以更精准、更全面的反映设备运行状态，还可以反映生产线现场情况，从而提高生产效率，减少人力消耗。

1.2 研究现状

1.2.1 数字孪生技术现状

1. 数字孪生的概念

1991 年，David Gelernter 在《镜像世界》中提出了数字孪生技术想法。2003 年密歇根大学教授 Dr.Michael Grieves 提出“数字孪生”这一概念。数字孪生就是将现实中的物理实体，通过物理模型、传感器、物联网等信息技术提供的数据进行分析处理后，在虚拟空间中将其数字化建模仿真，然后反映出物理实体的详细情况。即，现实与虚拟的信息交互^[3]。

2. 应用现状

美国宇航局的阿波罗计划首次应用了“数字孪生”的概念。NASA 建立了飞行器的数字孪生模型，飞行器在太空完成任务，这个模型则时刻反映飞行器在太空中的运行状态。近几年来，在欧美的军工领域，数字孪生技术已经成为重要的发展方向，用于对装备的研制、保养、生产等，并取得非常好的效果。目前，数字孪生技术可以用在更多的场景和领域，各大制造厂商也在应用数字孪生技术，通过数字孪生可视化帮助企业更方便地认识和管理现实世界，提高生产的效率，减少人力消耗。例如，数字孪生城市、数字孪生医疗、数字孪生工厂等^[4]。

1.2.2 国外现状

近几年来,世界各国都在大力推进制造业的发展,一些杰出的制造企业纷纷建立起了智能化的生产基地。比如,西门子的安贝格公司就能将多种类型的工业电脑进行混装;FANUC 公司采用高自动化、高智能化的机械加工工艺,采用自动仓储系统,实现各生产单元间的物流运输,最多 720 小时,无需人工操作^[5];施耐德电力公司已经完成了电子开关的生产、包装工艺的完全自动化;美国“哈雷戴维森”公司在生产过程中,普遍采用了“以加工中心为核心、以机器人为核心的智能化生产系统”,从而达到了“量身定做”的目的;三菱电气公司在名古屋引进了一条全新的人-机组合的机器人生产线,使其由自动控制转为智能控制,并使单位生产区域的产量有了很大的提高。利用数字孪生技术确认并排除故障,实现了开发阶段和维护阶段的故障排查诊断。第一阶段,在虚拟空间中,以深度学习网络为基础,对该模型进行快速的训练;第二个阶段是将已有的模型用深度迁移学习方法移植到一个物理空间,用于实时监测^[6]。全球重卡巨头 MAN 建立了完整的厂内物流系统,利用 AGV 装载组装好的零部件和车辆,方便灵活调整装配线,并建立了物资超市,成效显著。

美国在很早就将数字孪生技术应用到了航天领域,并取得了很好的成效,在多年的发展后,这一技术运用到里交通领域,欧洲在 2015 年提出的“第五代交通”这个发展概念,对各条公路进行网络化管理。在事故多发的路段。车流量较大的路段有显著的成效,降低了交通伤亡率,碳排放量也下降很多。数字孪生技术在外国铁路和公路的应用很广泛,解决了交通拥堵、事故频发、交通污染等多种问题。

1.2.3 国内现状

我国在汽车制造领域、航空航天领域、轨道交通领域、装备制造领域、食品制药领域等各行各业,对生产和装配线的自动化和智能化改造,以及建立全新的智能工厂有着强烈的需求。例如,成都数字化工厂、海尔、美的、等智能工厂样板的建设。

北京优诺科技有限公司,主要研究数字孪生可视化领域,利用 ThingJS 低代码数字孪生开发平台进行数字孪生可视化的开发。主要产品有智慧园区可视化、智慧城市可视化、架构管理可视化。这都是以数字孪生技术为基础,以可视化、智能化、网络化、集成化理念为目标,实现将厂区建筑及各领域管理要素得到精准复现。

利用虚拟的产品设计与规划,使企业间的信息无缝连接起来,使工厂完全透明,使虚拟设计与实际生产相结合,互相转换。在数据库平台上,MES 和 TIA 用于集成产品和生产的整个生命周期,这大大缩短了产品的上市时间;自行监控产品质量;物流全自动化,送货效率和生产效率提高,实现了“机器-物品-人”之间的信息交互,建立了智能化的控制系统,实现了数字孪生的智能工厂的建设。

1.3 发展趋势

如今自动化和人工智能等技术发展迅猛，全球企业纷纷加入自动化和智能制造领域。近几年来，机器人过程自动化、智能过程自动化、人工智能业务运营均保持持续增长，其中机器人过程自动化增速最快，年均增速达到 30% 以上，代表着“机器换人”成为工业生产的大趋势，将数字孪生技术与机器人技术相结合，必将加大生产效率^[7]。

数字孪生技术的出现必将成为未来发展的一个新趋势。数字孪生技术能否广泛的应用在各个领域，取决于它仿真的逼真程度。它与物联网、互联网、传感器等技术配合，实时采集并处理和反馈收集的数据，将这些数据与数字孪生的生产线设备进行匹配，即可在线对生产线制造过程进行精细的控制与监视。数字孪生技术对这些设备仿真越精细，在实际应用中收益就越高。在未来，小到食品的生产加工、包装出厂，大到卫星火箭的设计建造、军工装备的研制与生产，都将普遍的应用到数字孪生技术。

1.4 研究内容

本文主要研究的是基于数字孪生的智能生产线控制系统设计，通过虚拟环境和人机交互所得的反馈信息，再由机器自行进行信息处理，选择最优的生产方案，从而提高生产效率，实现生产线的智能化。其中主要包括“孪生象”软件的应用、生产线中各个设备的布局以及设备参数的设置、软件与 PLC 之间的连接通信，通过在 PC 端中的软件，进行参数设定和动作指令设置，使智能生产线按照预期运行，对控制系统进行调试并测试验证，是否能达到预期的结果。

1.5 论文的结构安排

第一章，绪论。介绍基于数字孪生的智能生产线控制系统设计的研究背景，目的及意义。对数字孪生技术的发展现状进行阐述，并介绍国内外的的发展状况，对发展趋势和研究内容进行分析概述，最后介绍论文结构。

第二章，这章主要介绍了数字孪生技术的应用背景，以及实现数字孪生智能生产线所用软件——“孪生象”。

第三章，这章主要介绍了虚拟生产线中所需要的设备，以及智能生产线的布局，还有关于“孪生象”软件的操作技巧等。

第四章，控制系统硬件的设计。先简单的介绍一下本次研究所用的 PLC 型号，配套的实验箱和光电传感器，然后进行 PLC 程序编写，设置好各个变量以及 IP 地址，方便与“孪生象”操作平台进行连接。通过 NetToPLcSim 工具实现博途与“孪生象”的连接。

第五章，控制系统软件的设计。本章是本文的研究重点。主要是介绍 PLC 的 CPU 选型，然后就是 IP 地址的设置，以及通讯功能设置，还有关于 NetToPlcSim 工具的设置，这章主要是通过 NetToPlcSim 工具来实现 PLC 与“孪生象”的连接通讯。

第 2 章 数字孪生和“孪生象”

数字孪生技术最早应用是在美国宇航局的阿波罗计划中,为了监控飞行器在太空的运行状态,之后在欧美的军工企业也开始大规模应用。随着科技的发展,数字孪生技术开始逐渐走入人们的视野,应用于医疗、工业等领域^[4]。数字孪生技术最早在 1991 年提出,需要用到虚拟建模、数据采集、人工智能、传感器、物联网、人机交互等技术来实现虚拟和现实的信息交互^[3]。数字孪生技术的出现,在制造业中,主要解决两个方面的问题:生产效率和人力消耗。现在很多的企业都开发了数字孪生的仿真平台,用于设计各种方案,实现数字化、精细化、可视化、智能化生产和管理。

本文主要应用了“孪生象”软件,来实现虚拟智能生产线的模拟仿真运行。

2.1 应用背景

全球的制造业都在转型。我国在 2015 年就提出了“中国制造 2025”,其主要的目的就是完成从制造大国向制造强国转变,加快了新一代的信息技术与制造业的融合,从而推进智能制造^[8]。

制造业的数字化转型是一大趋势,在未来很长的一段时间内,无论是疫情的影响,还是工业升级转型都将面临非常大的困难,数字化转型必将是大势所趋。一方面是劳动力的短缺。制造业潜在劳动力市场将持续减少 10 年以上,人口红利消失,老龄化程度逐年加深,制造业企业劳动力人口供不应求,人才缺口明显。制造企业急需转型来缓解未来的用工荒。另一方面则是面临产业向成本更低的东南亚国家转移,向美国、德国等这类发达国家回流的双重夹击,中国的制造市场在全球的产业区位不再有优势,国际竞争力在减弱,急需通过降本增效、提升制造水平并留住制造业。中国制造业急缺核心技术。制造业产业严重失衡,整体偏向资源导向型,急需通过新的技术应用引导我国制造业走向高端化、服务化^[9]。

数字化制造业的一个重要目标是通过信息技术和先进的数据分析来改进企业的运营效率和产品质量。制造业企业可通过实施工厂自动化、实现智能制造和推行产品生命周期管理,来大规模开展数字化转型^[10]。数字化制造业还可以使用大数据分析、辅助设计技术、虚拟化测试技术、集成自动化技术以及其他数字化制造技术,大大提高企业的效率和创新能力。提升自动化水平,节省时间、降低成本和提高效率,是制造业技术今后发展的方向。诸如工业机器人、视觉传感技术,以及 3D 打印技术,他们将助力制造业转型,彻底改变现有的生产模式,使其成为一种高效、低耗、精准、节约、高质量的自动化现代制造模式。与数字化制造技术结合,从而更好的提升制造效率^[11]。

数字孪生是真实世界的事物用数字化的形式表示出来,如产品、机器、建筑物或生产

流程。它可以从机器收集数据，将其纳入智能制造战略。制造商可以使用这些数据来预测机器故障时间、位置等，并增加设备的正常运行时间。“孪生象”软件的开发就很好的解决了这些问题，应用到生产中可以提高效率、降低成本、减少损失等。

2.2 孪生象软件介绍

孪生象是经世智能面向智能制造系统集成项目的数字孪生技术架构开发的数字技术赋能平台，分为孪生象 Plant、孪生象 Sim、孪生象 Screen、孪生象 IoT 四大平台。孪生象 Plant 可以在智能制造项目建设前期提供项目建设规划、方案验证等功能，帮助企业更简单直观地规划、设计、展示自己的方案。孪生象 Sim 项目提供机器人离线编程、PLC 虚拟调试、MES\WMS\WCS 等系统开发与验证，使项目的建设更有效率，成本更低，风险更小。孪生象 Screen 和孪生象 IoT 在项目建设后的运维阶段提供数据采集、数字双象监控、大屏幕运维等功能，保证后期的数字化运维。孪生象致力于让智能工厂的建设变得更加容易。

1. 孪生象 Plant——智能制造三维方案快速规划平台

依托海量行业模型库、拖放式快速布局、流程模拟引擎等底层技术，可高效实现智能制造生产线三维数字化孪生场景的零代码开发，广泛服务于生产布局规划、生产线规划、物流路径规划、工艺流程规划等智能制造行业的具体规划内容，可支持方案设计、招投标演示、方案展示、项目报告等多个应用场景。

2. 孪生象 Sim——智能制造方案仿真验证平台

依托孪生象数字孪生开发平台，实现生产线工艺及物流布局规划设计、工艺流程模拟验证、生产效率及产能预测、生产瓶颈预测、端到端拉通制造流程等多层次功能，服务于生产车间的智能化运维管理。

3. 孪生象 Screen——智能制造数字孪生可视化大屏开发平台

实现了车间生产线设备、工位、人员、工艺、物料、生产执行过程的可视化管理。基于采集数据的实时同步数字孪生，可实现虚拟设备与真实设备的同步映射，并可进行多角度漫游。实时监控各工位、设备的状态和任务，实时反映各工位从零件到装配的生产情况，直观分析产品的生产任务分布，掌握项目资源占用情况。

4. 孪生象 IoT——智能制造数字孪生数据采集中台

孪生象 IoT 数据中心是本项目的工业物联网数据采集和分发平台，实现了设备的实时数据采集和监控，生产过程的实时控制和精细化管理，进一步规范企业管理，降低能耗，提高生产效率。物联网中间平台集成了 PLC、机器人、数控机床、AGV 系统等主流驱动，提供 ERP\MES\WMS 等业务管理系统的接口。用户无需开发任何代码，只需手动点击配置即可完成数据采集的技术配置，通过可视化配置快速完成设备数据的采集，并通过 MQTT 协议或 API 输出标准数据。

2.3 软件使用硬件环境配置要求

1. 系统运行基本配置

CPU: \geq Intel(R)Core(TM)i5-10400F; 内存: \geq 8G;

硬盘: \geq 500G; GPU: \geq GTX 1050 Ti。

2. 系统运行推荐配置

CPU: \geq Intel(R)Core(TM)i5-10400F; 内存: \geq 16G;

硬盘: \geq 500G; GPU: \geq GTX 1660 Super。

2.4 软件操作主界面

双击孪生象软件进入登录界面, 输入账号密码后进行操作, 如图 2-1 所示。孪生象软件操作界面如图 2-2 所示, 其各部分组成与功能如下:



图 2-1 孪生象软件登录界面

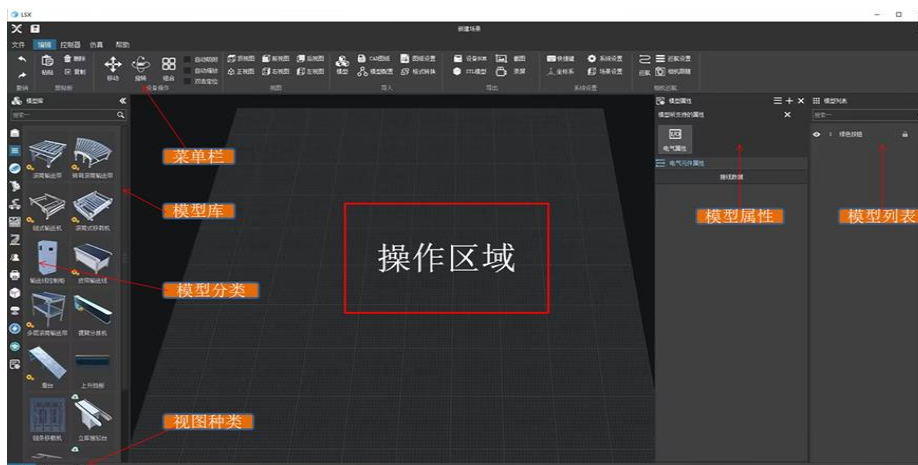


图 2-2 孪生象软件操作界面

菜单栏：提供了编辑操作、控制器连接配置、仿真模拟等功能模块。

操作区域：为场景搭建操作区域，实现工艺布局、实际尺寸规划、场景搭建与仿真模拟等功能。

模型库区：海量模型区，涵盖自动化控制领域全生命周期产品模型，如机器人、物流运输线、分拣设备、立体仓库、机床、车辆、建筑等。

文件工具栏：提供了项目的新建、与打开项目文件、项目发布、系统设置与版本升级等。

模型列表：操作区域内包含的模型列表信息。

模型属性：模型属性信息的查看与属性设置。

第 3 章 智能生产线数字孪生建模设计

3.1 智能生产线设备选型与介绍

在智能生产线中有很多常见设备，下面介绍几个我本次毕业设计用到的典型设备。

桁架机械手：对工件进行位置调整，使工件按照轨迹运动，是全自动工业设备，其控制可通过运动控制、PLC、单片机等来实现。控制器对输入信号进行处理，做出逻辑判断，对输出元件下达命令，实现整套的自动化作业流程。在生产线的主要作用就是托取工件。

双轴桁架机械手：工作方式主要是在 x、y 轴上完成的。广泛用于分拣、码垛、包装、搬运、装配等。在生产线中主要是对工件进行搬运。

库卡机器人：它可以用来物料加工、搬运、堆垛、点焊和弧焊，我们可以看到，它的应用领域是非常广泛的。从自动化到金属加工，从塑料到食品，从汽车到飞机制造，工业机器人都能在其中找到它的身影。在很多方面，它也有自己独特的优势，库卡机器人在生产领域当中也有广泛应用的，在物料的搬运、加工、高效的生产等方面都能找到它的身影。

码垛机器人：码垛机器人是一种由电脑编程与机械手共同组成的机器。提高了生产效率，实现了现代化生产。码垛机器人在堆垛工业中有着广泛的应用。它极大地节约了劳力和占地面积，它灵活、准确、快速、高效、稳定、高效。在生产线中负责货物的抓取。

滚筒传送带：驱动输送带或改变运行方向的圆筒形组件，通常由无缝钢管制成，在生产线中的作用就是运输工件。

皮带输送线：利用传送带的持续或间歇运动，来运送各种重量不等的物体，它可以传送各种散状的材料，也可以传送各类纸箱、包装袋等单个重量较轻的物品，应用范围很广。在流水线上也起着搬运的作用。

链式输送机：用链条拖拉，运输，或通过固定在链条上的板条，金属网带，滚筒等来运输材料。与其他输送机组成各种功能的生产线。其特点是：输送力大、能耗低、使用寿命长、布局灵活等。

AGV 车：装有自动导航装置，可沿着规定的路径行驶，是一种多功能运输车。这种运输车的自动化程度极高，根据车间需求，工作人员将有关信息录入计算机终端，计算机终端再将这些资料送至中心，由工作人员对计算机发出指示。在电子控制装置的共同努力下，该命令最后被自动驾驶车接收和执行。在生产线中主要负责货物的运输^[12]。

数控机床：具有程序控制系统的自动机床。控制系统可以用控制代码或其他符号指令对程序进行逻辑处理和解码，用编码数字表示，输入到数控装置。在完成作业之后，CNC 设备会向机器输出多种控制讯号，使机器根据设计图中所需的型式与尺寸，进行自动的加工。数控机床对加工对象的适应性很强，为工件的制造提供了合适的加工方法；加工精度

高、可靠性高，可加工复杂的零件。在生产线中的作用就是根据工业需求，对工件进行细致的加工处理^[13]。

数控铣床：这是一种以普通铣床为基础而开发出来的一种自动加工装置。它们的加工工艺基本相同，结构相似。数控铣床可分为无刀库和刀库两大类。其中带刀库的数控铣床也叫加工中心。在生产线中的作用是根据需求对工件进行加工处理^[14]。

巷道式堆垛机：巷道堆垛机的主要作用是在高层货架的巷道中来回穿梭，将巷道入口处的货物存放到货舱中或把货舱里的货物拿出来，运到巷道口。在生产线中用来存放货物。

3.2 智能生产线的虚拟建模

3.2.1 “孪生象”软件的基本操作

1. 鼠标操作时该软件最常用的操作方式，可以实现的主要功能包括：

- (1) 光标移动选中模型长按鼠标左键拖动鼠标既可将模型拖入至场景之中；
- (2) 滑动鼠标滚轮进行场景视角缩放；
- (3) 长按鼠标中间滚轮并移动鼠标可平移场景视角；
- (4) 长按鼠标右键并移动鼠标可旋转场景视角。

2. 键盘快捷键

表 3-1 软件操作做快捷键

键位	功能
Leftcontrol+C	复制
Leftcontrol+V	粘贴
Leftcontrol+Z	撤销
Leftcontrol+Y	撤回
Leftcontrol+F	打包成组
Leftcontrol+G	取消成组
E	绘制墙体尺寸
U	测量尺寸
R	调整设备角度
T	调整设备高度
F12	全屏/退出全屏模式
BackQuoto	查看/退出日志
Delete	删除

3. 软件主要功能

虚拟智能生产线的模型搭建主要用到的是孪生象 Plant，其主要功能就是帮助用户快速搭建整个项目建设方案，在项目建设前期快速规划整个方案布局。其中，内置的海量行业模型库资源、典型的设备参数化建模、外部模型的快速导入、拖拽式三维场景构建、生产布局的功能划分、生产线作业能力的快速释放/多终端展示以及设备 BOM 一键导出等功能，使方案规划更加的省时省力。

首先，打开“孪生象”软件，然后点击文件，新建一个项目，然后在编辑功能中的系统设置里找到场景设置，这里可对地面的尺寸和材质以及背景进行设置，如图 3-1 所示。

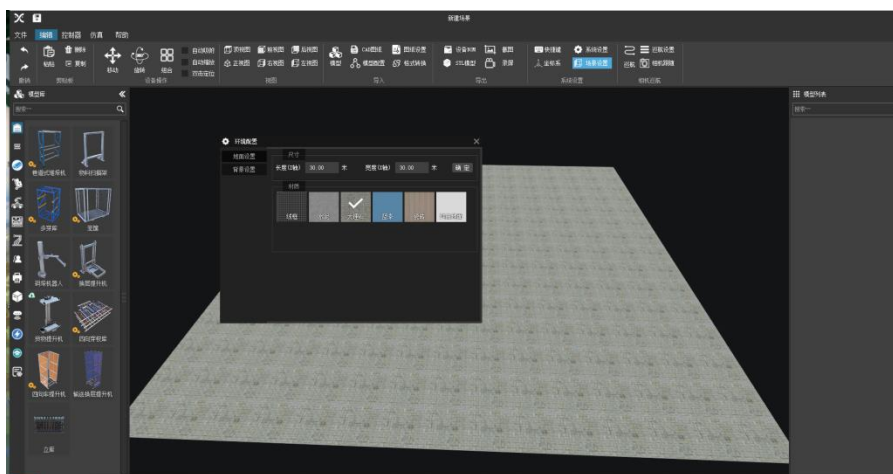


图 3-1 背景设置

这个软件中的模型库非常的丰富，有很多模块。

仓储设备：有巷道式堆垛机、多穿库、码垛机器人、物料提升机、立库等模型，可用于物料的存放。

线体输送设备：有滚筒输送带、链条输送机、皮带输送线、摆臂分拣机、滑台、立库接驳台等，用于物品运输移动。

基础建筑：有基础建筑块、安全围栏、卷帘门、标识牌等，模拟还原生产线上常见的一下建筑。

工作站：有电焊台、涂胶机、抛光机、喷绘吊链机等，可以对物品进行加工。

运输机器人：双轨 RGV、AGV、叉车、智能工厂 AGV 等，用于物品在仓库等地方的运输，运行轨迹可以设定。

数控 CNC：数控车床、数控铣床。

工业机器人：内置常见品牌型号机器人，包含 ABB、Adept、Codian、Comau、Denso、Dobot、Epson、EverRobot、Exechon、Fanuc、FOXCONN、Gudel、HIWIN、Kawasaki、KUKA、Mitsubishi、Nachi、Omron、OTCDaihen、Panasonic、PreciseAutomation、Reis、

SchneiderElectric、Schunk、Siasun、Staubli、TechmanRobot、Toshiba、UniversalRobots、VisualComponents、Yamaha、Yaskawa 等主流品牌的工业机器人模型库，可以安装末端执行器，设定动作指令。

传感器：光电传感器、色标传感器，光栅。传感器在生产线上可以检测物品的位置状态，或者是现场人员的位置。

实验室设备：有接驳台、围栏、倍速链、RFID、地轨、三轴加工中心、视觉检测、激光打标机等，可以更加详细的对生产线进行模拟布局。

电气部件库：有断路器、热继电器、时间继电器、熔断器、电位器、滑动变阻器、24V 电源、行程开关、步进电机驱动器等。可根据参数进行选型，参数不合适、电气系统故障或无法运行。

自定义设备库：可以自行建模导入，保存到库中，支持 CAD 模型导入。导入模型后，需要将模型的位置移动到图中坐标系的中央，这个就是模型的中心点，导入模型后可对模型的参数进行设置，材料、尺寸、缩放系数、颜色等。如图 3-2 所示。

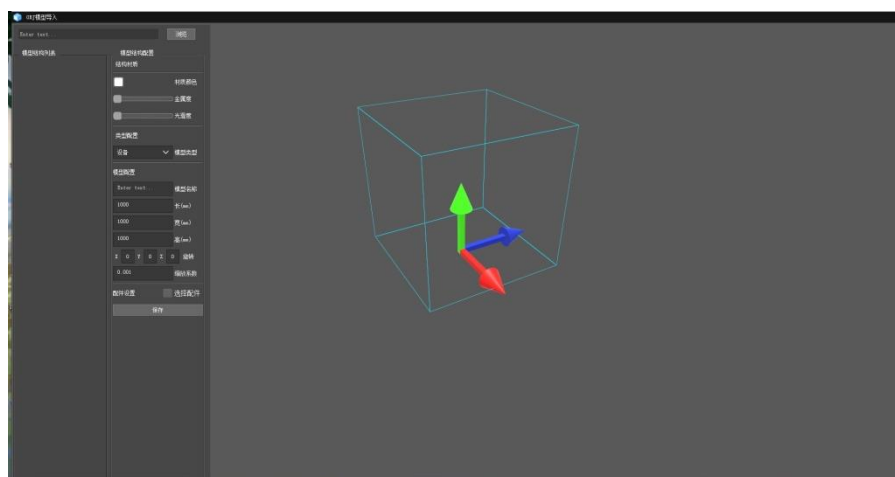


图 3-2 模型导入

在这些模型中，有两个较为特殊的模型，在本次虚拟产线的设计中至关重要，一个是产品生成器，这个是一个绿色双向箭头；另一个是产品销毁器，这是一个红色的双向箭头。在产线模型中，产品生成器负责物料的生成，可以使虚拟模型更加具有表现性，可以更直观的看到产线的运行状态，可以对产生的物料进行模型属性设置，一般默认的是黄色的纸箱。产品销毁器是将产品生成器生成的物料进行销毁，当物料运送到红色箭头时，物料会自动消失，这样保证了产线的清晰整洁，便于观察。如图 3-3 所示。

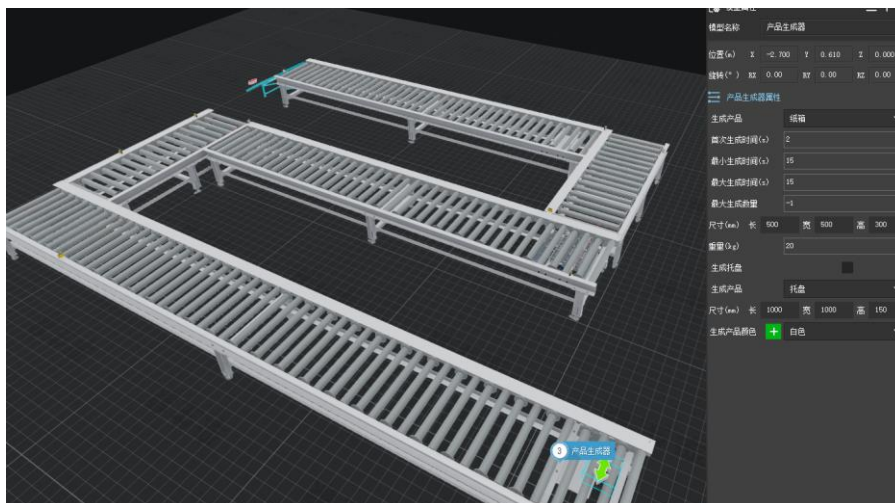


图 3-3 物料设置

“孪生象”软件中的很多功能提高了我在模型搭建的效率，其中，模型的组合功能最为实用，可根据用户需求快速组成多设备于一体的工作站，方便整个工作站的移动、旋转、高度调节等功能。操作也十分简单。

首先点击工具栏的组合按键，然后长按鼠标左键，将需要组合的设备全部框选，然后就会生成新的设备组，在这个设备组中，所选的组合设备被一个灰色的长方体所包裹，可根据需求进行组合的移动、旋转、调整高度等操作，方便模型的移动，不用进行单一的点选移动。如图 3-4 所示。

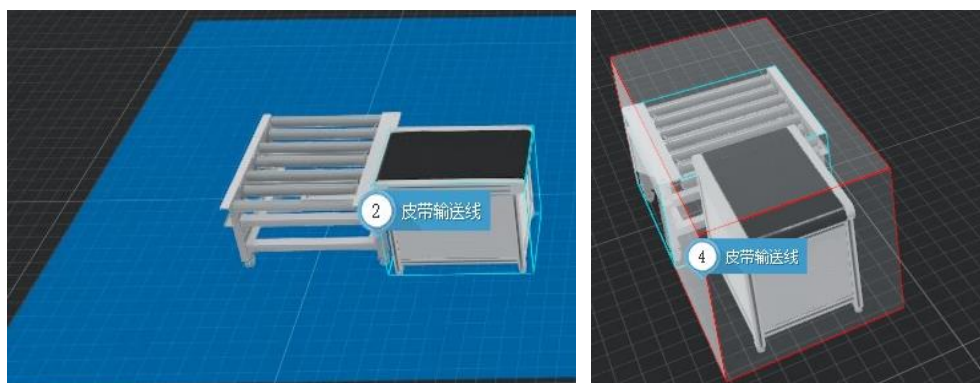


图 3-4 模型组合

在模型库中有一些模型是可以自动组合的，将模型拖拽到另外一个模型的附近，如果可以自行组合，会在两个模型中间出现绿色的提示颜色，松开鼠标后两个模型会自动吸合在一起。如图 3-5 所示。

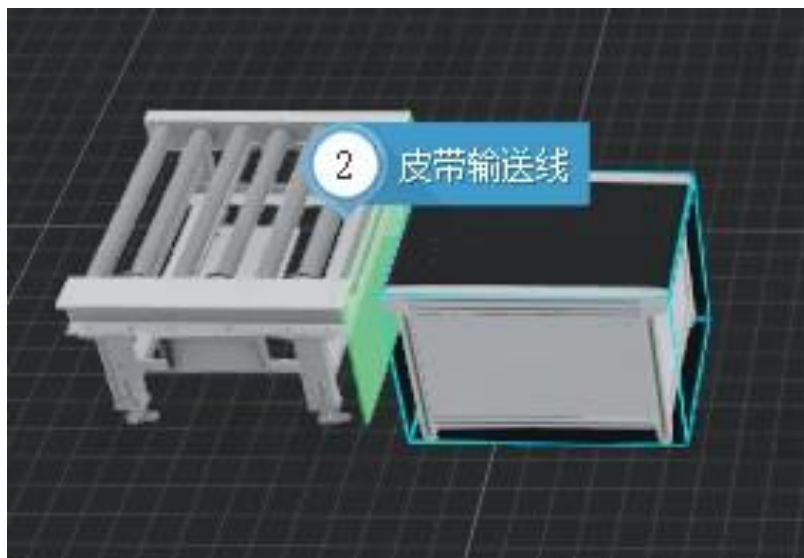


图 3-5 模型自动组合

AGV 小车的路径也可以提前规划好，如图 3-6 所示。在右侧工具栏模型属性里点击创建路径，然后鼠标在操作区点击一点选取路径，图中浅蓝色的点。之后点击路径选取点可继续添加路径或删除路径。之后可在仿真属性里设置 AGV 小车的运行速度、转向速度、延时运行等，小车会沿着设定好的路线运行，及图中蓝色线条。

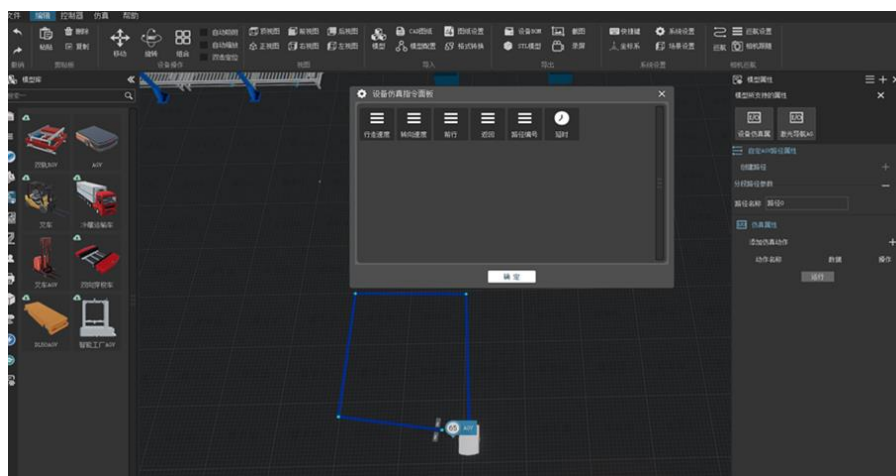


图 3-6 AGV 小车路径设置

工业机器人动作可在孪生象软件中设定好，不需要连接 PLC 就可以运行，如图 3-7 所示。将工业机器人从模型库拖拽到操作区，在模型属性列表点击机器人示教，然后点击新建程序，在给程序命名后打开程序窗口，拖拽机器人末端执行器，每拖拽到一个位置就要添加一个示教点，根据需求，设定好机器人动作，保存程序后点击运行，检查机器人动作是否符合预期设定。

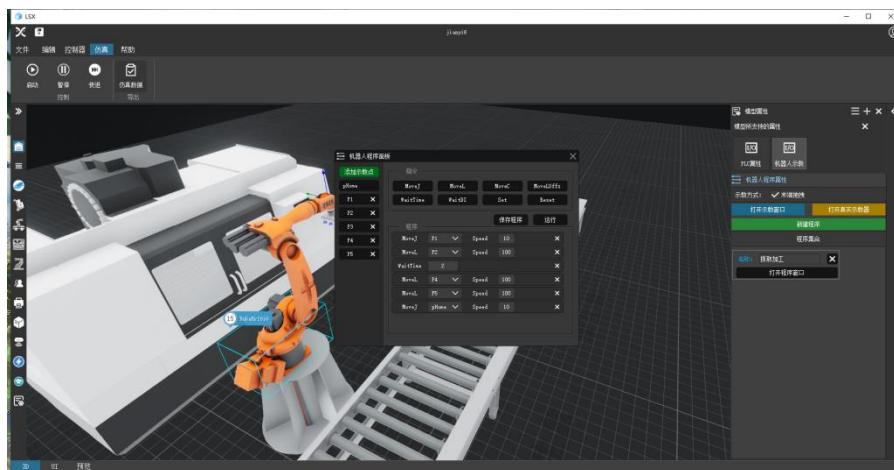


图 3-7 工业机器人动作指令设置

3.2.2 虚拟智能生产线设计搭建

首先新建一个项目，然后设置场景的地面和背景，这里我将背景设置为黑色，地面为灰色，为了让生产线与仓库有所区分，我将生产线所在的位置插入里一个颜色为深蓝色的背景图，堆垛机所在位置为白色。然后在模型库中选择所需的模型拖拽到操作区，进行模型属性的详细设置。在模型属性里可设置模型的参数，大小、方向等。

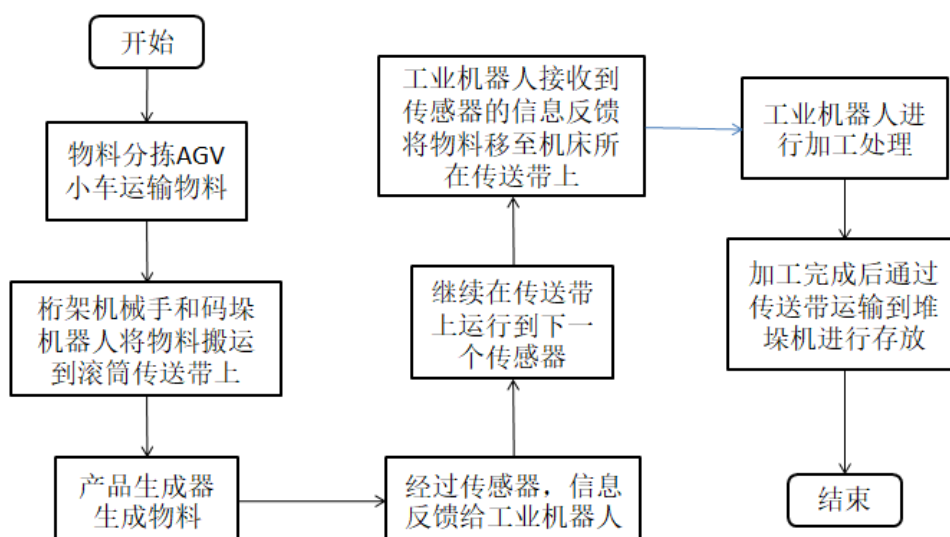


图 3-8 智能生产线运行流程图

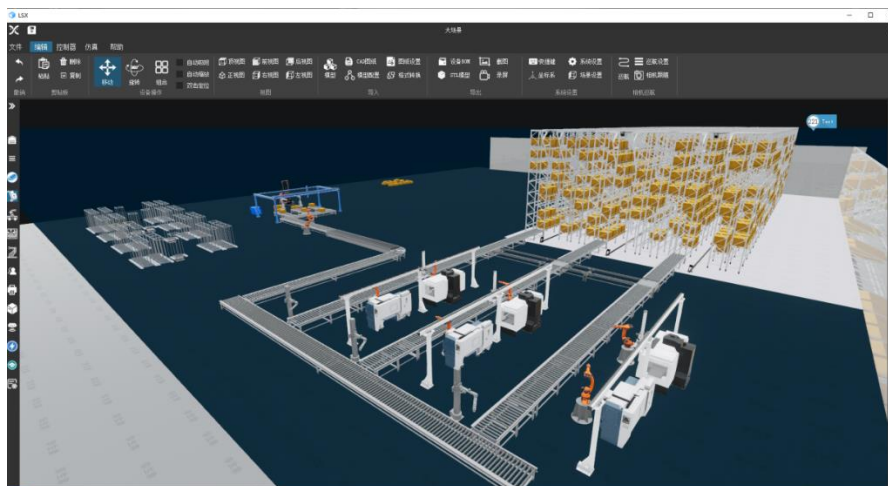


图 3-9 虚拟生产线的总体布局

智能生产线的大致流程如图 3-8 所示。虚拟智能生产线总体布局图如图 3-9 所示。首先由 AGV 小车将物料搬运到桁架机械手的位置，由桁架机械手将物料搬运的到滚筒传送带上，其中有两台码垛机器人进行配合，防止物料掉落，每段滚筒传送带都有速度的设定，防止货物堆集，造成产线拥堵或者故障。之后物料在滚筒传送带上运输到工业机器人工作区，工业机器人对其进行设定好的加工操作。然后物流继续运送到后方数控机床和数控铣床处进行细致的加工，加工完成后在滚筒传送带上运输到巷道式堆垛机进行临时的存放。

虚拟产线有一定的局限性，桁架机械手搬运货物到滚筒传送带用产品生成器进行替代，在产线的开始处放置了产品生成器，代表物料搬运完成。在产线最末端防止了产品销毁器，防止货物堆积。产线上放置了很多的光电传感器，检测到物料经过时，将信息反馈到机器人，做出相应的动作。

将虚拟产线搭建好后需要对每个模型属性进行细致的调整，设定好每个设备的 IO 属性点击确定即可，IP 地址和 PLC 编号要选择正确，才可与 PLCSIM 通讯。如图 3-10 所示。



图 3-10 IO 属性设置

这里要注意的是各个模型的参数设置,在模型属性里可以详细的设置模型的各项参数,例如:大小、位置、方向、角度等、这些需要合理设置,仔细调整各项参数,之后要设置好各个模型的 I/O 属性的 IP 地址,选择正确的 PLC 编号,这样才能在后面进行正常的模拟仿真。

第 4 章 控制系统硬件设计

本文主要通过 PLC 技术实现对虚拟智能生产线中设备的控制，在博途软件中进行程序编写，将各个变量设置好，与“孪生象”操作平台中的变量相对应，设置好 IP 地址后，通过 NetToPLcSim 这个工具来实现“孪生象”与博途的通讯。大致流程图如图 4-1 所示。

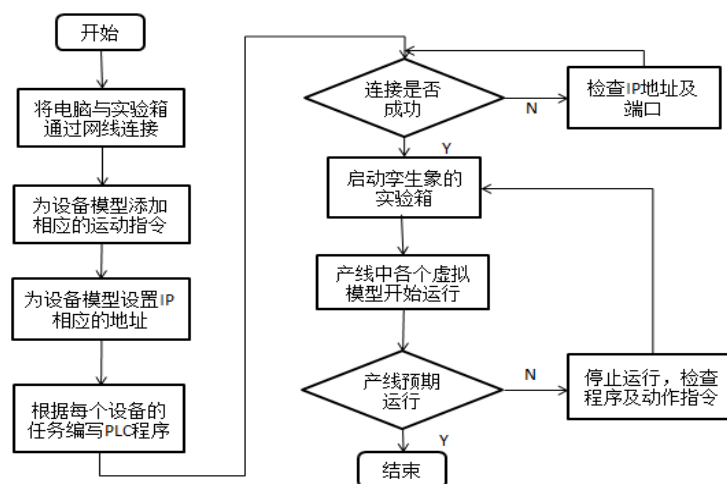


图 4-1 软件与硬件连接运行流程图

4.1 PLC 的选型

4.1.1 PLC 简介

PLC 是指可编程逻辑控制器。功能就是对开关量进行逻辑控制，它是可编程控制器最基础和最常用的一种功能。它取代了传统的继电器电路，可以实现顺序控制和逻辑控制，适用于单机控制、多机群控和自动化生产线。

PLC 有很多的优点，如：可靠性高、通用性强、安装方便、体积小、能耗低、丰富的 I/O 接口模块、功能多、编程简单、适应面广等。PLC 的分类有很多种，按结构可分为整体式、组合式、叠装式、三类。这三种结构各具特色。

1. 整体式 PLC

这种可编程控制器是一种将 CPU、内存、输入输出接口、电源等集成到一张或多张印制电路板上而构成的集成可编程控制器。当控制点数不满足要求时，可以连接扩展单元实现更多点的控制。这种 PLC 体积小、结构紧凑、安装简单、生产成本低、性价比高。

2. 组合式 PLC

这种 PLC 是将 CPU、I/O 接口、内存、电源等分成多个模块。组合式 PLC 的都是按

照一定的规则以模块化的形式组装起来的(所以也叫模块化 PLC)。这种 PLC 可以根据实际需要灵活配置, 中型或大型 PLC 多采用组合式结构。

3. 叠装式 PLC

叠装式 PLC 是将整体式 PLC(结构紧凑, 体积小)和组合式 PLC(具有灵活的 I/O 点)集成在一起的一种 PLC。这种 PLC 以 CPU(CPU 和某个 I/O 接口)为基本单元, 其他模块为 I/O 模块扩展单元, 每个单元可以逐层堆叠。连接时用电缆连接各单元。

4.1.2 PLC 控制系统选型

本文采用的 PLC 型号是 S7-1200。SIMATIC S7-1200 是一个能实现简单逻辑控制, 高级逻辑控制, 人机界面, 以及网络通讯的小型模块化 PLC。S7-1200 能连接网络, 可以根据需要进行灵活的操作, 它具有较强的网络化, 可以实现单屏幕、多屏幕的人机交互, 具有较好的设计与实施效果。此外, 它提供了一个先进的应用程序, 可以支持小型的运动控制系统和工艺控制系统, 同时还提供了各种功能模块和接口, 可以满足不同应用场景的需求。这种 PLC 具有很强的可扩展性和很高的灵活性, 它可以提供最好的工业通讯的通讯接口, 以及一系列强大的综合技术功能, 使得它成为一种完整的、综合的自动化解决方案中必不可少的关键部件^[15]。

SIMATIC S7-1200 系统采用了 CPU 1211 C, CPU 1212C, CPU 1214C, CPU 1215C, CPU 1217C。每一个模块都能根据你的系统需要进行扩充。我们可以在 CPU 之前加入一个讯号板, 方便地扩充数位或模拟输入和输出, 对控制器的实际大小没有影响。此外, 还可将信号模组与中央处理器相联接, 增加数、模拟输入输出能力。其中, 2 个信号模组可与 CPU1212 C 相连, 8 个信号模组可与 CPU1214 C、CPU1215C、CPU1217C 相连。最后, 在所有 SIMATIC S7-1200 CPU 控制器的左边, 可以连接三个通信模块, 这些模块都可以用于实现端对端的串行通信。这些模块可以提供支持多个用户和设备的连接, 为用户提供了更多的灵活性和便捷性^[16]。如图 4-2 所示。



图 4-2 SIMATIC S7-1200 可编程控制器

4.2 “孪生象” 配套可编程控制平台

“孪生象”有一个配套的实验箱，如图 4-3 所示，此实验箱既可以完成简单程序验证；又可以根据设计者的需要与外部设备配合完成项目虚拟仿真验证。

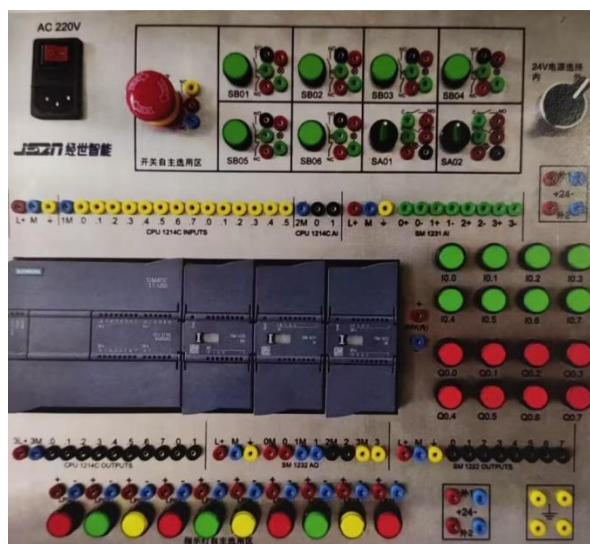


图 4-3 西门子 PLC 系统实验箱

(1) 独立工作情况下，完成简单程序验证：博途编写完程序可直接下载，平台提供了已经接好的 8 个按钮和 8 个指示灯可以使用，可以直接验证简单的程序。

(2) 根据设计者的需要与外部设备配合时：实验箱把 CPU 本体、SM1232AQ 模块、SM121AI 模块、SM1222 数字输出模块的所有接点全部引出，使用者可以根据自己的需要接线；同时将 1 个急停按钮、1 个带灯按钮、2 个带灯转换开关、10 个供电电压 24V 的指示灯及 24V 直流电源的端子引出，供使用者根据自己工程使用；也可以根据自己的项目情况，配自己的外围设备，如传感器、电磁阀等。

上述功能只要将 24V 转换开关拨在“内”档位，可使用接好的 8 个按钮和灯，在“外”档位根据自己需要接线使用。两个功能所用的按钮指示灯是独立不冲突的，通过“24V 转换开关”进行切换。主要部件如表 4-1 所示。

表 4-1 实验箱主要部件

序号	名称	型号规格	数量
1	可编程控制器本体	CPU-1214C DC/DC/DC	1
2	模拟量输出扩展模块	SM1232	1
3	模拟量输入扩展模块	SM1231	1
4	数字量输出模块	SM1222 DC	1

4.3 光电传感器

在本次生产线的设计中，光电传感器也是一个重要的器件。其主要的任务就是检测工件的位置，将信号反馈给设备，从而使生产线中各设备执行相应的指令，执行完整的生产流程。光电传感器是一种将光信号转换成电信号的器件。它是一种利用光的各种性质来探测物体的存在和表面状态变化的传感器。光电传感器主要由发射光的光投射部分和接收光的光接收部分组成。如果投射的光由于不同的检测对象而被遮蔽或反射，则到达光接收部分的量将会改变。光接收部会检测到这种变化，转换成电信号输出。根据光电效应现象的不同，光电效应可分为外光电效应、内光电效应和光伏效应三大类。光电器件包括光电池、光电倍增管、光敏电阻、光电晶体管等^[17]。

光电传感器的特点有：检测的距离长、分辨率高、能够颜色辨别、响应快、对检测的物体材质限制少、使用寿命长，可非接触检测、便于调整位置等。

此次设计采用的是激光位移测距传感器，如图 4-4 所示。激光测量原理是一种非接触式的测量方法，利用激光束对被测物体进行扫描，测量物体表面的反射光强度和相位差，从而计算出物体表面的形态和位移变化。这种传感器适合于测量快速的位移变化，并且不会对被测物体施加外力，避免了测量误差。非接触式测量对于需要长寿命应用或被测表面不允许接触的情况下具有重要意义，因为它能够减少机械磨损和损坏。



图 4-4 光电传感器实物（左）和虚拟模型（右）

第 5 章 控制系统软件设计

PLCSIM 本身是不具备 TCP 通讯功能的，所以我需要用到 NetToPlcSim 软件来实现“孪生象”和 PLCSIM 的通讯功能。对于该软件的应用，如何实现通讯功能，是我主要的任务之一，也是本文中的重点难点。

5.1 可编程控制器操作流程

本次设计的控制程序是在博途 V16 软件上进行编程的，在这个软件中编写 PLC 程序，设置好所需的各个变量的名称、IP 地址、数据类型等、为后面与“孪生象”的连接通讯打下基础。

首先进入博途软件，点击创建新项目，进行项目的创建，项目名称、路径等自行设置。如图 5-1 所示。

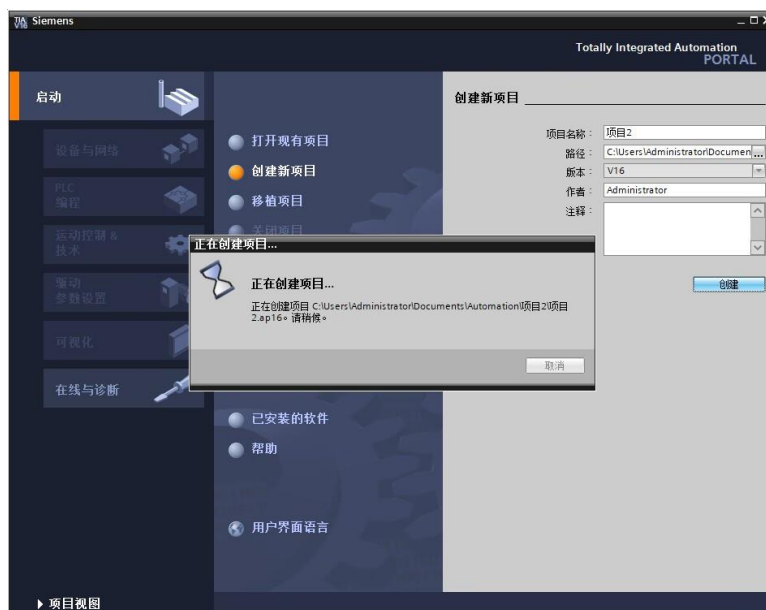


图 5-1 项目创建

点击设备组态添加新设备，本次选择 CPU 型号为 1214C DC/DC/DC,核对无误后点击添加即可。如图 5-2 所示

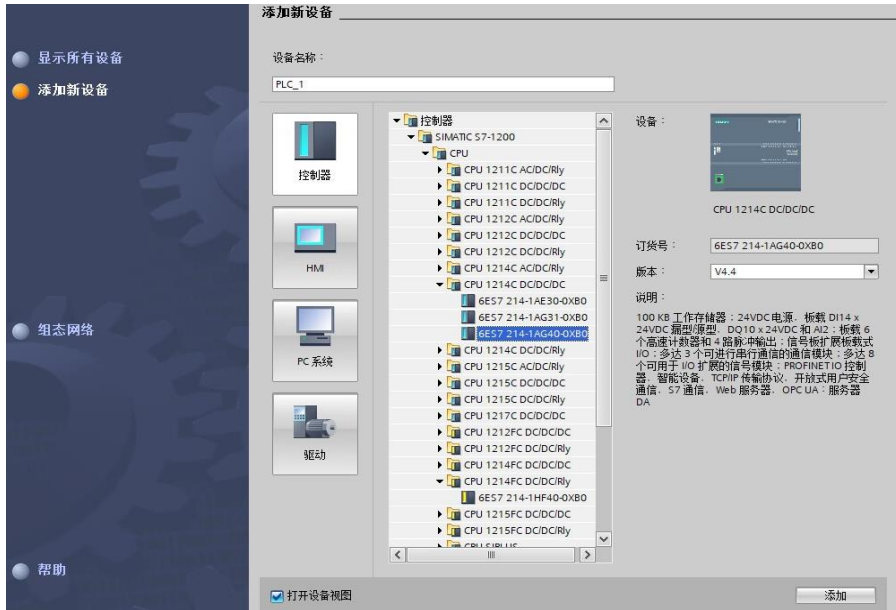


图 5-2 添加设备

然后根据需要编写程序，进行变量设置等。为了使 PLCSIM 与“孪生象”通讯，进行一些设置，之后与 NetToPlcSim 进行连接。如图 5-3 所示，点击右下方的属性设置，然后在左侧常规里找到以太网地址，设置一个不与其他 IP 地址冲突的地址。

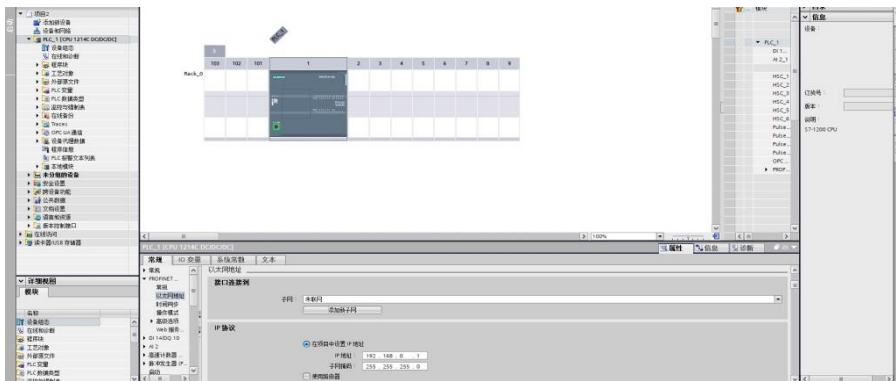


图 5-3 IP 地址设置

之后再常规里继续下拉滚动条找到连接机制，勾选允许来自远程对象的 PUT/GET 通讯访问。如图 5-4 所示。



图 5-4 通讯设置

设置好之后点击 **PLCSIM** 启动按钮，弹出“扩展的下载到设备”窗口然后点击开始搜索，搜索完成后点击下载，下载完成后在“下载预览”窗口点击装载，最后点击完成即可。博途软件上的设置就已经完成了。如图 5-5 所示。

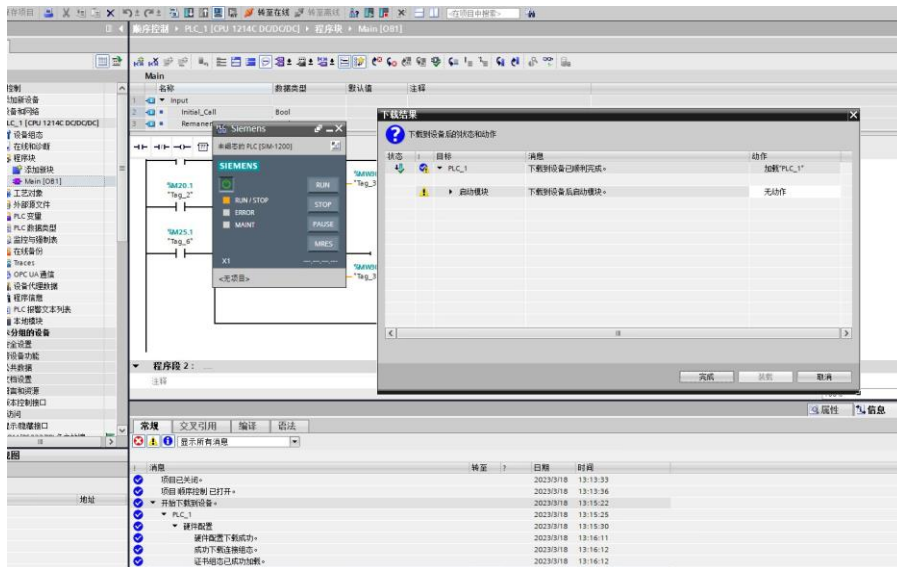


图 5-5 PLCSIM 设置

5.2 NetToPlcSim 工具软件的安装

在桌面上找到 **NetToPlcSim.exe**，双击打开 **NetToPlcSim** 软件，准备与 **PLCSIM** 连接。如图 5-6 所示。

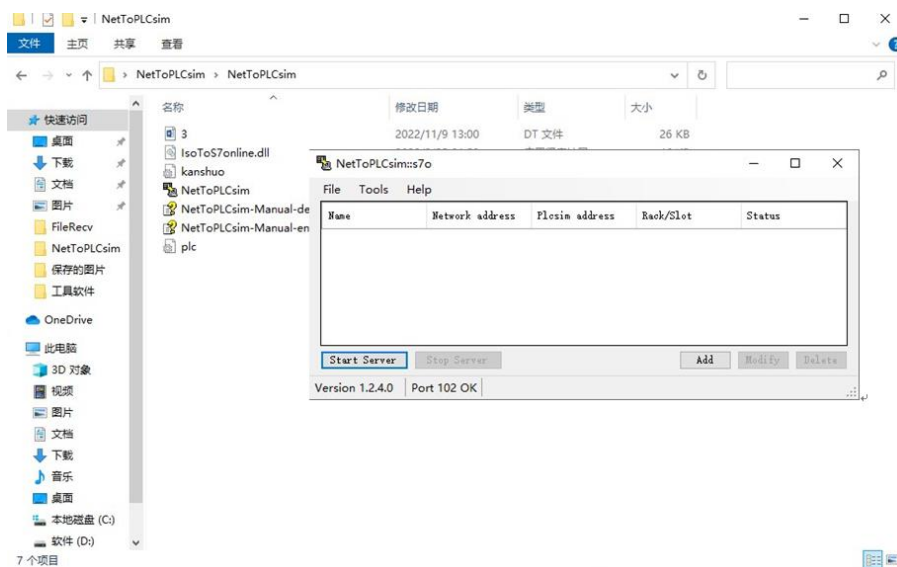


图 5-6 NetToPlcSim 软件

在模型列表选择设备，然后在模型属性列表点击配置设备 IO，选择正确的 PLC 后写入 IO 地址，点击确定。在点击工具栏中的控制器，打开 NetToPlcSim，点击 Add 配置 IP 地址，输入个人本机电脑 IP 地址。如图 5-7 所示。

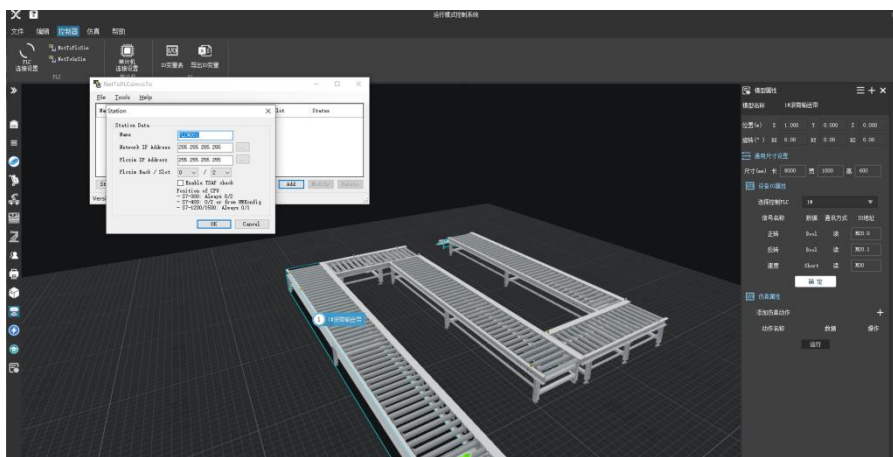


图 5-7 NetToPlcSim 软件 IP 地址设置

点击左上角工具栏中的 PLC 连接设置，设置 PLC 连接，此处 IP 地址输入个人本机电脑 IP 地址，然后选择 PLC 型号，最后确认修改。如图 5-8 所示。



图 5-8 PLC 连接设置

然后打开 NetToPlcSim 工具软件，在 Plcsim IP Address 右侧点击，选中里面的 IP 地址，点击 ok。点击 Start Server，配置完成。最后再 PLCSIM 点击 RUN，再返回“孪生象”并在在菜单栏选择仿真，点击启动，生产线各设备开始运行。如图 5-9 所示。



图 5-9 启动仿真

这里需要注意，如果连接成功，软件的操作区会提示 PLC 连接成功，否则连接失败。连接失败后，主要检查实验箱是否与电脑连接正常，NetToPlcSim 软件和“孪生象” PLC 连接设置中的本机 IP 地址是否一致，修改后即可连接成功。

5.3 PLC 程序

本次设计中主要需要传送带来进行工件的运输，通过滚筒传送带或者皮带传送带的正反转，来调整工件的具体位置，使工件运送到指定的加工位置，对传送带的方向和速度进行参数设定。程序图如图 5-10 所示。



图 5-10 输送带程序

光电传感器在本次设计中至关重要，主要是用来检测工件的运输位置和经过的个数，将这些信息反馈到控制系统，使其他设备进行相关动作，机器人的搬运和加工等，保证产线的正常运行，完成指定的任务。如图 5-11 所示。

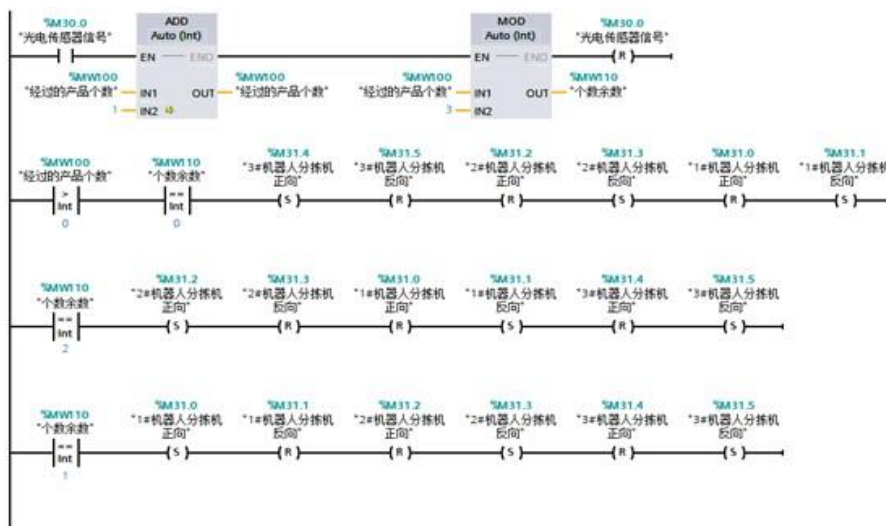


图 5-11 传感器和机器人程序

通过设计好的 PLC 程序段和变量进行模拟测试，将测试中的出现的问题进行修改并再次测试，经过多次测试后对比结果，确保整个系统可以正确、稳定的运行，并达到预期效果。

详细程序见附录。

最终成果如图 5-12 所示。经过反复的调试与修改，整条智能生产线基本可以正常运行，各个设备都按照预定计划有序运行，包括机器人动作、各段输送带的运行速度、AGV 小车按轨迹运行等基本符合设计要求，仿真的效果达到了预期计划。

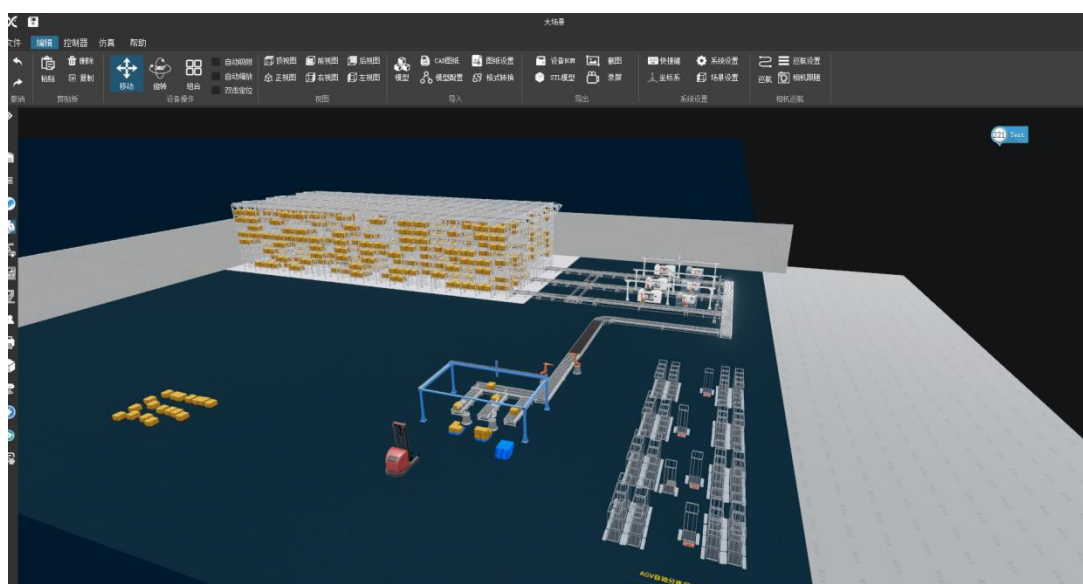


图 5-12 最终成果

结 论

本文以智能生产线为研究对象,深入的分析了数字孪生这一技术在控制系统中应用的方法,从而可以更好的解决传统的生产线所面临的高成本、高损耗、高风险等问题,在有了技术支持的前提下,可以更好的优化生产线。利用“孪生象”与 PLC 技术,实现软件和硬件的结合互通,来控制生产线的运行,可通过在软件中的虚拟模型布局来减少现场工作中不必要的损耗,节省时间等。为数字孪生技术在制造业的应用,提供了有效解决方案。论文主要完成的工作如下:

(1) 研究制造业的发展背景,分析国内外关于数字孪生技术的应用现状,在制造业中的应用现状,对发展趋势进行简单的分析,提出论文的研究内容和论文结构。

(2) 对本论文所需的软件“孪生象”进行简单的介绍。软件的登录界面和操作界面,以及一些基本的操作方法和功能介绍,所需的电脑配置要求,快捷键的使用等。对数字孪生技术的应用背景进行分析。

(3) 对一些生产线中典型的设备进行介绍。基于“孪生象”软件的模型库的介绍,对虚拟生产线进行设计搭建。对每个虚拟模型属性进行合理的设置,包括位置、大小、方向、尺寸、颜色等,还有模型属性里的 IO 地址等。

(4) 在“孪生象”软件中快速地搭建智能生产线场景。通过博途软件进行控制系统的 PLC 控制程序编写,然后通过 NetToPlcSim 工具来实现 PLC 与孪生象的通讯。设置完成后点击运行看演示动画效果是否达到预期的设定。本文提出的智能虚拟生产线的控制系统设计可以为现场的生产线提供优化方案。

科技正在迅速发展,关于数字孪生的话题也逐渐热门,这是未来发展的一大趋势,虽然可以通过软硬件的连接来实现基于数字孪生的智能生产线预期结果,但还是有很多的不足之处有待改进。

(1) 软件中的模型库里模型还是太少,有着局限性虽然可以自己进行建模并导入到软件里应用,但还是有些不便。

(2) 生产线功能设计比较单一,后期可对各种生产线加深了解,从而优化生产线的各项功能,弥补产线的不足之处。

(3) 对于数字孪生的概念存在诸多的争议,因为它的应用领域太过广泛,还可实现很多的功能。数字孪生技术虽然越来越热门,但是还是存在着技术瓶颈,如何突破技术瓶颈是未来发展的关键所在。

参考文献

- [1] Ji Z. Toward New-Generation Intelligent Manufacturing[J]. Engineering,2018.
- [2] 刘惠玲, 许可嘉. 智能制造关键技术概述[J]. 质量与认证, 2020.
- [3] 王鹏. 基于数字孪生的微电机装配线排产调度方法研究[D]. 南京航空航天大学,2021.
- [4] 郎为民,田尚保等. 数字孪生的前世今生[J]. 电信快报,2022.
- [5] Garg Gaurav,Kuts Vladimir,et al. Digital Twin for FANUC Robots: Industrial Robot Programming and Simulation Using Virtual Reality[J]. Sustainability,2021.
- [6] Xu Y,Sun Y,et al.A Digital-Twin-Assisted Fault Diagnosis Using Deep Transfer Learning[J]. IEEE Access,2019.
- [7] 柯志胜,赵巍等. 面向数字孪生的智能虚拟生产线与调试系统设计[J]. 工具技术,2022(09).
- [8] 刘帅. 基于数字孪生的产线状态虚实映射监测系统研究与实现[D]. 西安电子科技大学,2021.
- [9] 马塔. 在制造业部门推行数字化转型: 工业 4.0 与中国制造 2025[D]. 首都经济贸易大学,2021.
- [10] 杨晨鸣. 制造业数字化转型与工业互联网应用对纸业劳动力的影响分析[J]. 中华纸业,2023.
- [11] 纪冰清. 数字化转型对制造业企业绩效的影响路径研究[D]. 山东财经大学,2022.
- [12] 刘轩. 基于数字孪生的智能制造生产线平台构建及仿真研究[D]. 河北工业大学,2020.
- [13] 王涛. 基于虚拟现实技术的数控机床培训系统开发研究[J]. 机械管理开发, 2022.
- [14] 吴志东,梁贺童,马洪亮等.基于 RFID 和 LoRa 的数控铣床刀具识别系统设计[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2022.
- [15] 潘云忠. 基于 S7-1200 的胶带切割机控制系统设计[J]. 时代汽车,2022.
- [16] 谢国强,骆广兵等. 基于 S7-1200PLC 的机器人自动上下料控制系统的设计[J]. 自动化博览,2022.
- [17] 郭燕飞. 基于光电传感器的暖通空调温湿度智能控制技术[J]. 传感技术学报,2022.

致 谢

行文至此，文章已经圆满的画上了句号。时光飞逝，大学四年时光一晃而过。这四年是充实的四年，也是坎坷的四年，在这快要结束的日子里，我要衷心的对给予我帮助的人说一声谢谢。

首先，我要感谢我的导师孙鹏老师。在大四的初期，我一直在考虑毕设应该做什么，在和孙老师的讨论中逐渐的明确了目标，关于数字孪生的题目，我本身也是非常的感兴趣，因为这个题目较为新颖，所以比较缺乏参考资料，期间有很多困难，这也使我进度缓慢。但是，孙老师帮助我收集了很多的资料，给我提了很多的建议，及时的帮助我分析问题，也是孙老师的鼓励和支持让我有信心坚持研究下去。

同时，我还要感谢学校，因为学校和经世智能公司的合作，我有幸接触到“孪生象”这款基于数字孪生的仿真软件，这是一次难得的学习机会，能够在毕业前夕，再学到新的东西，这让我受益颇多。

另外，我还要感谢经世智能公司的工程师，在做毕设的时候有很多不懂的地方，因为接触的是一个新的软件，网上并没有教程，有些资料也不好查找，孙老师将工程师联系方式发给我，我可以和工程师直接进行有效的沟通，快速的解决我的问题。

最要感谢的还是我的父母，我很感激他们可以支持我读大学，让我的人生没有遗憾，虽然在学业上父母对我无法提供帮助，但正是父母的无私付出才会让我在大学校园中体验大学生活的丰富多彩。但愿我的成长可以让他们少一些辛劳。

最后，谢谢各位老师辛勤工作，感谢您们能在百忙之中对我的论文进行点评和指正。感谢学院各位老师曾经的悉心教诲，感谢同学们这四年的陪伴与帮助。我以这篇文章结束我的大学生活。

附录

附录 1：变量表

Tag_0	默认变量表	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_1	默认变量表	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_2	默认变量表	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
经过的产品个数	默认变量表	Int	%MW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#输送带正转	默认变量表	Bool	%M20.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#输送带反转	默认变量表	Bool	%M20.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#输送带速度	默认变量表	Int	%MW30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
个数余数	默认变量表	Int	%MW110	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线启动	默认变量表	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#输送带正转	默认变量表	Bool	%M20.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#输送带反转	默认变量表	Bool	%M20.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#输送带速度	默认变量表	Int	%MW32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5#输送带正转	默认变量表	Bool	%M21.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5#输送带反转	默认变量表	Bool	%M21.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5#输送带速度	默认变量表	Int	%MW38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#输送带正转	默认变量表	Bool	%M20.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#输送带反转	默认变量表	Bool	%M20.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#输送带速度	默认变量表	Int	%MW36	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#输送带正转	默认变量表	Bool	%M20.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#输送带反转	默认变量表	Bool	%M20.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#输送带速度	默认变量表	Int	%MW34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M25.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#移栽机启动	默认变量表	Bool	%M22.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#移栽机转向	默认变量表	Bool	%M22.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#移栽机抬升	默认变量表	Bool	%M22.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#移栽机启动	默认变量表	Bool	%M22.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#移栽机转向	默认变量表	Bool	%M22.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#移栽机抬升	默认变量表	Bool	%M22.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#移栽机启动	默认变量表	Bool	%M22.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#移栽机转向	默认变量表	Bool	%M22.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#移栽机抬升	默认变量表	Bool	%M23.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#移栽机启动	默认变量表	Bool	%M23.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#移栽机转向	默认变量表	Bool	%M23.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4#移栽机抬升	默认变量表	Bool	%M23.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M26.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10#光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M26.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_3	默认变量表	Bool	%M10.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

经过的产品个数	默认变量表	Int	%MW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
光电传感器信号	默认变量表	Bool	%M30.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#机器人分拣机正向	默认变量表	Bool	%M31.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#机器人分拣机反向	默认变量表	Bool	%M31.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#机器人分拣机正向	默认变量表	Bool	%M31.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#机器人分拣机反向	默认变量表	Bool	%M31.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#机器人分拣机正向	默认变量表	Bool	%M31.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#机器人分拣机反向	默认变量表	Bool	%M31.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
输送带正转	默认变量表	Bool	%M32.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
输送带反转	默认变量表	Bool	%M32.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
输送带速度	默认变量表	Int	%MW30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
个数余数	默认变量表	Int	%MW110	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tag_4	默认变量表	Bool	%M10.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_5	默认变量表	Bool	%M10.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线启动	默认变量表	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线停止	默认变量表	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
自动/手动	默认变量表	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_6	默认变量表	Bool	%M10.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_7	默认变量表	Bool	%M10.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_8	默认变量表	Bool	%M18.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_9	默认变量表	Bool	%M11.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_10	默认变量表	Bool	%M11.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_11	默认变量表	Bool	%M11.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机械手末端夹紧	默认变量表	Bool	%M81.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机械手末端松开	默认变量表	Bool	%M81.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
上限位开关	默认变量表	Bool	%M80.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
下限位开关	默认变量表	Bool	%M80.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
左限位开关	默认变量表	Bool	%M80.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
右限位开关	默认变量表	Bool	%M80.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
x轴启动	默认变量表	Bool	%M17.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
x轴方向	默认变量表	Bool	%M17.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
x轴目标位置	默认变量表	DWord	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
x轴到位	默认变量表	Bool	%M17.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
z轴启动	默认变量表	Bool	%M17.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
z轴方向	默认变量表	Bool	%M17.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
z轴目标位置	默认变量表	DWord	%MD34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
z轴到位	默认变量表	Bool	%M17.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
取盘信号	默认变量表	Bool	%M17.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
时间	默认变量表	DWord	%MD90	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
输送带启动	默认变量表	Bool	%M15.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
复位	默认变量表	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
电磁阀信号	默认变量表	Bool	%M55.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_12	默认变量表	Bool	%M11.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
取取延时	默认变量表	Bool	%M12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_13	默认变量表	Bool	%M11.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_14	默认变量表	Bool	%M11.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_15	默认变量表	Bool	%M11.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_16	默认变量表	Bool	%M11.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
放松延时	默认变量表	Bool	%M12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

产线启动	默认变量表	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线停止	默认变量表	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线运行	默认变量表	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
开始搬运	默认变量表	Bool	%M7.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人启动	默认变量表	Bool	%M7.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号0	默认变量表	Bool	%M7.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

临时开关	默认变量表	Bool	%M9.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11#光电传感器	默认变量表	Bool	%M35.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12#光电传感器	默认变量表	Bool	%M35.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13#光电传感器	默认变量表	Bool	%M35.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6#输送线正转	默认变量表	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6#输送线反转	默认变量表	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7#输送线正转	默认变量表	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7#输送线反转	默认变量表	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8#输送线正转	默认变量表	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8#输送线反转	默认变量表	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1#输送线速度	默认变量表	Int	%MW40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2#输送线速度	默认变量表	Int	%MW42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3#输送线速度	默认变量表	Int	%MW44	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

System_Byte	默认变量表	Byte	%MB1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FirstScan	默认变量表	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DiagStatusUpdate	默认变量表	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Always TRUE	默认变量表	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Always FALSE	默认变量表	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_Byte	默认变量表	Byte	%MB0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_10Hz	默认变量表	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_5Hz	默认变量表	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_2.5Hz	默认变量表	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_2Hz	默认变量表	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_1.25Hz	默认变量表	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_1Hz	默认变量表	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_0.625Hz	默认变量表	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clock_0.5Hz	默认变量表	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
步骤数	默认变量表	Int	%MW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线启动	默认变量表	Bool	%M3.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线运行	默认变量表	Bool	%M3.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
产线停止	默认变量表	Bool	%M3.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人地轨启动	默认变量表	Bool	%M30.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人地轨位置	默认变量表	DWord	%MD32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人地轨速度	默认变量表	DWord	%MD36	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人地轨到位	默认变量表	Bool	%M30.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机x启动	默认变量表	Bool	%M5.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机y启动	默认变量表	Bool	%M5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机取货	默认变量表	Bool	%M5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机放货	默认变量表	Bool	%M5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机x位置	默认变量表	DWord	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机y位置	默认变量表	DWord	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机x到位	默认变量表	Bool	%M5.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机y到位	默认变量表	Bool	%M5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机z到位	默认变量表	Bool	%M5.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

出库输送带正转	默认变量表	Bool	%M6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
出库输送带反转	默认变量表	Bool	%M6.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
出库输送带速度	默认变量表	Int	%MW28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
车床开关门	默认变量表	Bool	%M6.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
车床开始加工	默认变量表	Bool	%M6.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
车床加工结束	默认变量表	Bool	%M6.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
铁床开关门	默认变量表	Bool	%M6.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
铁床开始加工	默认变量表	Bool	%M6.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

铁床加工结束	默认变量表	Bool	%M6.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
入库输送带正转(1)	默认变量表	Bool	%M7.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
入库输送带反转(1)	默认变量表	Bool	%M7.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
入库输送带速度(1)	默认变量表	Int	%MW40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
出库光电	默认变量表	Bool	%M8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
入库光电	默认变量表	Bool	%M8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库入库输送线启动	默认变量表	Bool	%M9.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库出库输送线启动	默认变量表	Bool	%M9.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机轴反向	默认变量表	Bool	%M5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
立库堆垛机是否有货	默认变量表	Bool	%M9.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
车床开始加工延时	默认变量表	Bool	%M200.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人启动	默认变量表	Bool	%M12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号0	默认变量表	Bool	%M12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号1	默认变量表	Bool	%M12.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号2	默认变量表	Bool	%M12.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号3	默认变量表	Bool	%M12.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号4	默认变量表	Bool	%M12.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号5	默认变量表	Bool	%M12.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号6	默认变量表	Bool	%M12.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
机器人内部信号7	默认变量表	Bool	%M13.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
末端工具	默认变量表	Bool	%M13.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机1启动	默认变量表	Bool	%M14.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机1方向	默认变量表	Bool	%M14.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机1升降	默认变量表	Bool	%M14.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机2启动	默认变量表	Bool	%M14.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机2方向	默认变量表	Bool	%M14.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽机2升降	默认变量表	Bool	%M14.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽光电	默认变量表	Bool	%M8.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
铁床开始加工延时	默认变量表	Bool	%M200.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
开始移栽托盘	默认变量表	Bool	%M200.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽输送线正转	默认变量表	Bool	%M14.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽输送线反转	默认变量表	Bool	%M14.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
移栽输送线速度	默认变量表	Int	%MW16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

附录 2：程序图

