

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.02.032

基于 Plant Simulation 的某新能源汽车总装车间物流分析与优化

薛传利, 范锐强, 杨桃李, 黎亮, 梁腾伟, 曹华文

(赛力斯汽车有限公司, 重庆 400020)

摘 要: 运用 Plant Simulation 工厂仿真软件, 根据汽车总装车间工艺特点及生产物流运作流程建立物流仿真模型, 模拟验证设计节拍下的 AGV 设备等资源最优配置、最短的物流配送路线、最小的线边缓存量及物流拥堵点等物流设计指标, 指导物流准确高效落地运营。结果表明: 仿真实验数据能够精准指导物流现场实际运营; 仿真下的设备数量、线边缓存及物流路线均能满足总装产能要求并且也是设计节拍下的最优值。

关键词: Plant Simulation; 总装车间; 物流

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2026)02-0164-05

Analysis and Optimization of Logistics in New Energy Vehicle Assembly Workshop Based on Plant Simulation

XUE Chuanli, FAN Ruiqiang, YANG Taoli, LI Liang, LIANG Tengwei, CAO Huawen

(SERES New Energy Vehicle Co., Ltd., Chongqing 400020, China)

Abstract: Plant Simulation software is applied to construct a logistics simulation model based on the process characteristics and production logistics operation flow of the automobile assembly workshop. The simulation verifies the optimal allocation of resources such as AGV equipment, the shortest logistics distribution route, the minimum amount of line-side buffering, and logistics congestion points under the design beat, guiding the accurate and efficient implementation of logistics operations. The results show that the simulation experiment data can accurately guide the actual operation of the logistics site, and the number of equipment, line-side buffering, and logistics routes under simulation can meet the requirements of assembly capacity and are optimal values under the design beat.

Keywords: Plant Simulation; finale assembly workshop; logistics

0 引言

新能源汽车行业的产品更新速度越来越快, 产线建设速度决定了产品上市速度。Plant Simulation 仿真软件可以搭建与实际物流运作接近的虚拟模拟系统, 通过算法、程序设计, 输出仿真实验数据, 指导物流运作快速、精准及高效实施落地。

由于仿真技术的发展与进步, Plant Simulation 等仿真技术被广泛应用与汽车行业的产线模拟与验证。李春兴等^[1]以压机生产线工艺为研究对象, 使用 Plant Simulation 对产能、设备利用率及产线瓶颈进行仿真分析优化, 提高了工厂产能。方赫等^[2]以冲压车间生产物流运作为研究对象, 利用 Plant Simulation 软件进行仿真模拟, 得出在给定生产计划前提下的最佳物流转运设备台数与冲压线线尾装箱工人数量等数据。任运通等^[3]运用 Plant Simulation 仿真建模对总装车间动力合成线改造以及成套零件系统(set parts system, SPS)物流供线模式进行模拟验证, 得到了最优的配送路线及自动导引车

(automated guided vehicle, AGV)配置数量。杨茂举等^[4]使用 Plant Simulation 对焊装车间线体运作流程通过设置 35 组实验, 得到了最大产能下的线边缓存量。郭世超等^[5]对 AGV 运行距离及利用率等进行研究分析, 基于响应优化方法获得了最佳的 AGV 优化配置方案。

对于新能源汽车行业的总装车间生产物流运作, 存在更新换代快、自动化设备多、物流路线复杂等特点^[6-10]。通过采用 Plant Simulation 仿真计算实验, 对总装车间从 SPS、AGV 等路线及缓存等生产物流运作集成建模^[11-14], 一体化实现总装车间生产物流集成模拟验证, 提前在虚拟世界中验证物流路线的合理性、AGV 等设备的最优配置数量及最优的物流布局, 指导物流运作高效快速落地布局, 减少后期布局、路线等频繁调整成本, 提高物流落地实施精准度。

1 仿真目标

新产线规划过程中, 针对总装车间生产物流

第一作者简介: 薛传利(1990—), 男, 山东济宁人, 工程师, 硕士, 研究方向为汽车制造数字化工艺设计及仿真、数字孪生等, xuechuanli520@163.com。

运作集成化、一体化建设,提出如下仿真目标,如表 1 所示。

表 1 仿真目标

序号	项目	目标
1	SPS	AGV 数量验证及利用率分析
2	增程器	AGV 数量验证及利用率分析
3	电池包	AGV 数量验证及利用率分析
4		牵引车及叉车数量验证及利用率分析
5	全车间	物流交叉路口拥堵情况分析
6		主干道实时车辆数据统计与分析

2 输入参数

根据工厂建设目标,总装车间除内饰线等生产产线之外,设置物流区、SPS 区等物流功能区域。相关输入参数如表 2 所示。

表 2 仿真输入参数

序号	项目	参数名称	数值	备注
1		JPH	36	
2	产线设计 参数	开动率/%	96	
3		线边最大库存	120 min 用量	Round 为向上取整函数
4		线边最小库存	30 min 用量	
5		牵引车速度/(m/s)	5	
6		叉车速度/(m/s)	5	
7		叉车单车搬运体积/m ³	3.6	实际装载率 60%
8		牵引车单车搬运体积/m ³	10.8	单次牵引 4 个小车
9		牵引车单次卸货时长/s	20~40	
12	设备设计 参数	牵引车车长/m	8	用于拥堵计算
13		叉车单次卸货时长/min	3~5	仅指单次搬运,不含路线运输
14		牵引车拖挂长度/m	5	
16		人工挂上一个料架时间/s	20	
17		人工放下一个料架,再挂上一个料架时间/s	40	
18		牵引车运行速度/(km/h)	5	
19		牵引车利用率(考虑人工作业强度)/%	≤80	
20		前悬上料时间/s	50	
21		前悬托盘返回线体时间/s	50	
22		后悬上料时间/s	30	
23	增程器配送 设计参数	充电时间/s	50	
24		离线速度/(m/s)	0.6	
25		线体节拍/s	80	
26		与底盘线随行速度/(m/s)	0.077 5	
27		AGV 开动率/%	95	
28		上料时间/s	45	
29		下空托盘时间/s	35	
30	电池包配送 设计参数	充电时间/s	50	
31		离线速度/(m/s)	0.6	
32		节拍/s	80	
33		与底盘线随行速度/(m/s)	0.077 5	
34		AGV 开动率/%	95	
35		AGV 负载速度/(m/min)	20	
36		AGV 空载速度/(m/min)	15	
37		AGV 转弯速度/(m/min)	10	
38		AGV 集配区速度/(m/min)	8	
39	SPS 配送 设计参数	上料时间/(min/趟)	0.5	
40		下料时间/(min/趟)	0.5	
41		上线边缓存时间/(min/趟)	1.67	
42		下线边缓存时间/(min/趟)	1.67	
43		AGV 开动率/%	95	

仿真输入数据按照车型 PFEP 数据进行输入^[15],PFEP 包含生产物料的全部数据,比如零件号、零件名称、上线工位、单车用量、存储库位、上线包装方式、上线包装数量、上线包装尺寸、线边最大最小库存、拉动方式等。

3 模型搭建

3.1 建立模型结构

建立统一的模型结构便于后期模型的集成与整合,模型结构如图 1 所示。

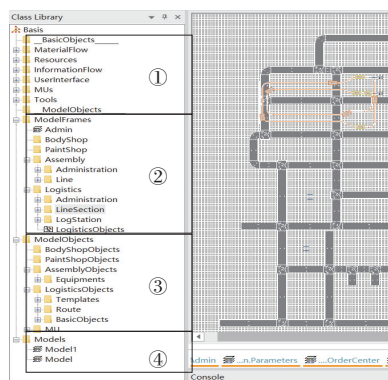


图 1 模型结构

模型结构要求:1)不可改动;2)模型框架,按照生产线、物流来区分;3)模型对象,比如定义的对象、数据表、方法等^[16]。

3.2 模型搭建

1) 建模逻辑

集成建模逻辑如图 2 所示。

2) 交通管制策略

交通管制策略如下。

a) 线体交叉区域(增程器、电池包与牵引车配送交叉部分)采用交通管制。

b) 当在限制区有优先级高的车辆,则停止车辆并录入 WaitingVehicles 列表,如果没有更高优先级车辆,则进入限制区并更新 PassingByVehicles 列表^[17]。

c) 如果限制区内没有更高优先级车辆,同时有车辆等待进入,则放行下一优先级车辆。

d) 用于生产的 AGV 优先级最高,即增程器 AGV 及电池包 AGV 优先级高于牵引车配送。

e) 分析每条主干线路通过的牵引车、AGV 等设备的总量,并自动绘制热力图,分析拥堵情况。

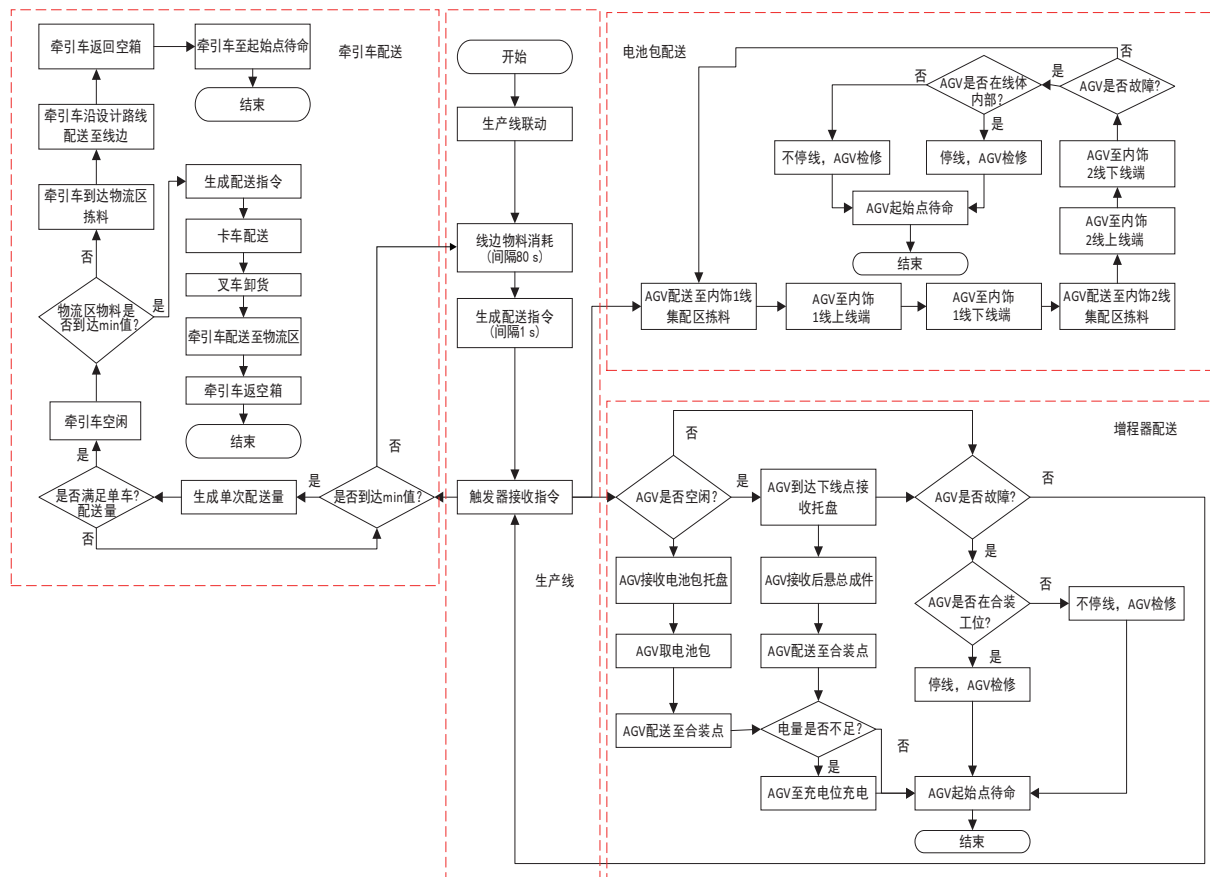


图 2 集成建模逻辑图

3.3 集成化模型运作

按照总装车间产线与物流运作流程,将 SPS、增程器、电池包及牵引车物流模型进行整体集成搭建,模拟验证总装车间全流程物流运作^[18-19],对资源配置数量、物流路线及拥堵状态进行识别分析。仿真模型运行界面及程序设计如图 3 所示。

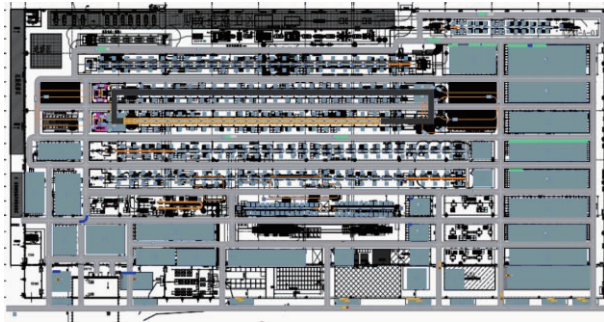


图 3 集成模型运作界面

3.4 仿真实验结论

1) 增程器

如表 3 所示,在节拍 80.00 s 时,AGV 的最优数量为 8 台,利用率为 73.17%。在原设计的 7 台 AGV 基础上,增加 2 台 AGV (其中一台作为备用),可实现设计节拍下的最优 AGV 配置^[20]。

表 3 增程器 AGV 仿真实验数据

序号	节拍/s	规划目标 JPH	仿真 AGV 数量/台	AGV 利用率/%
Exp01	81.82	35	8	72.49
Exp02	80.00	36	8	73.17
Exp03	78.26	37	8	74.52
Exp04	76.60	38	9	66.55
Exp05	75.00	39	9	67.21
Exp06	73.47	40	9	67.87
Exp07	72.00	41	9	68.51
Exp08	70.59	42	9	69.18
Exp09	69.23	43	9	69.84
Exp10	67.92	44	9	70.50
Exp11	66.67	45	9	71.16

2) 电池包

如表 4 所示,在节拍 80.00 s 时,AGV 的最优数量为 5 台,利用率为 72.67%。在原设计的 7 台 AGV 基础上,增加 1 台 AGV 作为备用设备^[21],可实现设计节拍下的最优 AGV 配置。

表 4 电池包 AGV 仿真实验数据

序号	节拍/s	规划目标 JPH	仿真需求数量/台	AGV 利用率/%
Exp01	81.82	35	5	71.81
Exp02	80.00	36	5	72.67
Exp03	78.26	37	5	73.51
Exp04	76.60	38	5	74.38
Exp05	75.00	39	5	75.24
Exp06	73.47	40	5	76.10
Exp07	72.00	41	5	76.96
Exp08	70.59	42	5	77.89
Exp09	69.23	43	6	65.83
Exp10	67.92	44	6	66.58
Exp11	66.67	45	6	67.33

3) SPS

如表 5 所示,在节拍 80.00 s 时,AGV 的最优数量为 18 台,平均利用率为 74.37%,且相对均衡。在原设计的 18 台 AGV 基础上,增加 2 台 AGV 作为备用设备,可实现设计节拍下的最优 AGV 配置^[22]。

表 5 SPS 区域 AGV 仿真实验数据

序号	AGV 数量/台	平均 AGV 利用率/%
Exp01	15	88.21
Exp02	16	84.43
Exp03	17	78.97
Exp04	18	74.37
Exp05	19	71.21
Exp06	20	69.68
Exp07	21	66.32

4) 牵引车及叉车

在节拍 80.00 s 时,牵引车的最优数量为 29 台,平均利用率为 74.56%且相对均衡;叉车的最优数量为 8 台,平均利用率为 73.57%且相对均衡。在原设计 32 台牵引车、10 台叉车基础上,牵引车减少 3 台,叉车减少 2 台,可实现设计节拍下的最优设备配置。

5) 物流拥堵点识别

如图 4、图 5 所示,部分线路每小时的车流量处于 35~50 辆,其余线路的每小时车流量均低于 35 辆;路口 A 和路口 B 是最高流量的交汇点^[23],如果发生拥堵,必然在此处;同理如果路口 A、路口 B 拥堵情况正常,其他位置应不会发生拥堵状况。

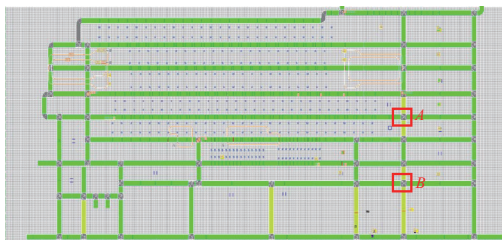


图4 线路流量统计图

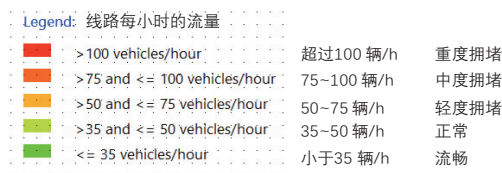


图5 物流拥堵判断标准

由热力图可以分析,车流量较大的路口主要由 A、B 两个路口,通过分析两个主要路口的每小时车流量变化图,路口车流量均不超过 100 辆/h^[24]。

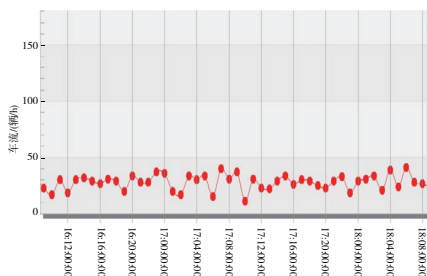


图6 路口 A 流量图

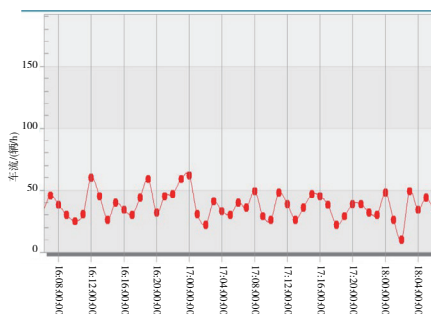


图7 路口 B 流量图

虽然仿真实验分析结果为畅通状态,同时也可以通过如下方式减少拥堵风险:

a) 优化物料存储分区策略,消耗频次高的物料配送路线尽量避开关键路口,减少关键路口的牵引车数量。

b) 优化初始状态下线边物料的数量,以减少消耗频次高的物料同时补料,避免同一时间同时补料,以均摊线路流量。

3.5 仿真结论评估依据

1) 物流设备负荷评估

判断 AGV 等物流设备利用率是否合理为下列说明。

小于 50% 低;大于 50% 且小于等于 60% 可让步接受;大于 60% 且小于等于 75% 合理区间;大于 75% 且小于等于 85% 可让步接受;大于 85% 不接受。

2) 路口拥堵量化评估标准

路口节拍是导致拥堵的关键,将路口流量统计,将车辆占道长度比进行统计进行程度划分,实现拥堵量化分析。a) 路口流量每小时流量次数 N ; b) 车辆平均长度 M ; c) 车辆速度 V ; d) 安全距离 L_M ; e) 车与车保持安全距离长度: $L = N \times (M + L_M)$ 一个小时的长度距离 $L_N = V \times 3600$ 。

按照车长 8 m, 拥堵率系数 $100 \times (8 + 2) / 5000 = 20\%$, 属于畅通范围, 路口流量分析图 6、图 7 所示。

$$\text{拥堵率} = L / L_N$$

(当 L / L_N 为 1 说明车辆与车辆仅保持安全占道满路)

a) 65% ~ 85% 中度拥堵; b) 50% ~ 65% 正常; c) 35% ~ 50% 流畅; d) 0% ~ 35% 畅通。

4 结语

通过采用 Plant Simulation 数字化仿真软件对某总装车间物流运作全过程进行整体、集成模拟实验分析, 得出了某新工厂规划过程中总装车间的 AGV 等资源的最优配置数量, 识别到了物流拥堵风险点, 验证了此规划设计方案的优劣性及可行性, 为总装车间进行快速物流落地实施提供了正确指导, 避免后期物流路线的频繁调整, 减少物流设备等资源配置不当带来的时间和成本损失。

参考文献:

- [1] 李春兴, 徐健, 易泰勋, 等. 基于 Plant Simulation 的压机叶片型线加工产线分析与优化[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(1): 40-44.
- [2] 方赫, 陆振东, 宿彪, 等. 基于 Plant Simulation 的冲压车间仿真优化[J]. 锻压技术, 2020, 45(12): 85-89.
- [3] 任运通, 陆志强. 基于 Plant Simulation 的 SPS 物流模式可行性分析[J]. 物流技术, 2016, 35(11): 94-97.

(下转第 174 页)

- [18] FURFERI R, GOVERNI L, PUGGELLI L, et al. Machine vision system for counting small metal parts in electro-deposition industry [J]. Applied Sciences, 2019,9(12):2418.
- [19] 张晓敏,张曙光,张梦,等. 基于机器视觉的太阳电池片计数研究[J]. 太阳能学报,2017,38(1):218-224.
- [20] 赵宁. 基于机器视觉的药板智能计数算法研究和系统设计[D]. 北京:北京印刷学院,2022.
- [21] 张二兵,毛坤朋,高明. 机器学习和机器视觉技术在药丸计数中的应用[J]. 信息技术时代, 2022(15): 83-85.
- [22] 蒋永翔,孙美华,王彤,等. 基于机器视觉的菌落计数算法研究[J]. 制造业自动化,2023,45(10):1-5.
- [23] 王金鹏,何萌,甄乾广,等. 基于改进 COF-YOLO v8n 的油茶果静态与动态检测计数方法[J]. 农业机械学报,2024,55(4):193-203.
- [24] 张喜红,王玉香. 基于 Open CV 的枸杞视觉计数与外形参数测量系统的研究[J]. 萍乡学院学报, 2024,41(6):70-75,81.
- [25] 易诗,李俊杰,张鹏,等. 基于特征递归融合 YOLOv4 网络模型的春见柑橘检测与计数[J]. 农业工程学报,2021,37(18):161-169.
- [26] 苏朝阳,马万太,黄磊,等. 基于图像处理库的机器视觉检测系统的研究[J]. 机械制造与自动化,2019, 48(1):193-196.

收稿日期:2024-01-12

(上接第 168 页)

- [4] 杨茂举,马立新,林增宇,等. 基于 Plant Simulation 仿真分析汽车焊装车间生产线缓存数量的方法[J]. 汽车工业研究,2023(3):40-43.
- [5] 郭世超,张利平,唐秋华,等. 新能源智能装配车间的 AGV 物流仿真与优化[J]. 机床与液压,2022,50(9): 163-168.
- [6] 余圆,王少华,林斌,等. 智能电子组装车间的 AGV 物流配送仿真及优化[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(14):70-73.
- [7] 魏逍逍,王亮,冯天宇,等. 智能物流仿真系统分析与应用[J]. 科技与创新,2023(5):49-52.
- [8] 蒋志超,王梓林,任彬. 基于精益供应链的智能仓储物流仿真及优化[J]. 制造业自动化,2023,45(7): 148-154.
- [9] 李帅,高建超,任炳旭,等. 基于 Plant Simulation 的电芯喷涂生产线仿真与优化[J]. 时代汽车,2025(1): 145-147.
- [10] 孟颀,乔苗苗,乔兴华,等. 飞机结构件生产线设备布局仿真与优化[J]. 机械设计与制造,2023(1): 222-228.
- [11] 郭丽杰,杨昆,赵鹏志,等. 基于 Plant Simulation 软件的物流系统仿真优化[J]. 拖拉机与农用运输车, 2023,50(3):80-82.
- [12] 刘浩然,刘松凯,陈斌. 基于 Plant Simulation 的产线车辆调度问题[J]. 科学技术与工程,2025,25(6): 2406-2418.
- [13] 梁承姬,张石东,王钰,等. 基于改进 DQN 算法的自动化码头 AGV 调度问题研究[J]. 系统仿真学报, 2024,36(11):2592-2603.
- [14] 金悛,吴双,田博,等. 基于数字孪生的件箱分拣系统虚拟调试研究与应用[J]. 制造业自动化,2023, 45(5):197-201.
- [15] 刘嘉慧,赵宁. 四向穿梭车仓储系统仿真研究[J]. 物流技术与应用,2024,29(2):96-101.
- [16] 郭志喜,牛鹏飞,郭峻源,等. 面向智能工厂切碎器生产线建模与仿真优化[J]. 机电工程技术,2024, 53(9):90-95.
- [17] 张寒. 基于 Plant Simulation 的金属罐体生产线平衡研究[J]. 科学技术创新,2025(16):1-4.
- [18] 孙伟光,祖海松,翟锋广,等. 基于 SLP 和系统仿真技术的航空导管生产线布局优化[J]. 物流技术与应用,2024,29(12):172-179.
- [19] 赵爽,赵久龙. 制药车间转运线 AGV 运输仿真系统[J]. 流程工业,2024(8):53-55.
- [20] 秦昀骋. Plant Simulation 在电动汽车驱动总成装配过程中的应用研究[J]. 2024(7):68-70.
- [21] 徐爱武. 焊装车间线间供料可行性验证和设备工装需求量验证[J]. 汽车制造业,2023(4):35-38.
- [22] 赵久龙,赵爽. 搭载虚拟现实的汽车车间三维物流仿真系统[J]. 装备机械,2024(4):9-13,30.
- [23] 郑楠,岳磊. 基于 Plant Simulation 的智能制造测试床仿真模型设计与应用[J]. 工程设计学报,2019, 26(5):552-560.
- [24] 姜兴宇,王明皓,刘伟军,等. 药品仓库堆垛机与 AGV 集成调度优化[J]. 计算机集成制造系统, 2022,28(1):230-241.

收稿日期:2024-05-20