

新能源动力电池产线3D数字化仿真及虚实互联技术探究

李鑫, 赵晟

一汽-大众动力科技有限公司 广东佛山 528225

摘要: 结合新建新能源动力电池产线工艺平面布局、AGV及物料输送路线、产线工艺BOM清单、线边物料存储数据及MES系统实时采集数据,运用plant simulation软件对产线进行数字化建模,通过遗传算法对产线的初步设计方案进行了模拟仿真验证,分析了AGV投入数量对产能的影响,考虑故障率、合格率等多因子变化对产能的综合影响,结合缓存的影响分析了产线动态生产条件下各工位JPH及瓶颈工位,进一步优化了产线设计方案并提出改进方向。运用虚实互联技术,将数字化虚拟仿真模型同MES系统实际采集数据进行了有效融合,搭建了物理车间的三维孪生工厂,实现虚拟工厂对物理工厂的实时展示和监控。

关键词: 数字化仿真; 虚实互联; 孪生工厂

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.11.001

随着新能源汽车市场的蓬勃发展,动力电池作为新能源汽车的核心部件,其生产质量及生产效率对新能源汽车的发展起到了至关重要的作用,因此,规划设计高效、智能、稳定的动力电池生产线成为了当前的关键课题。与此同时,动力电池技术为了满足市场及用户的需求而呈现出多元化发展的趋势,产品技术方向更新迭代频繁,传统的产线规划设计方法已经无法快速响应产品技术的快速变化,因此急需引入有效的数字化技术手段提升工艺规划水平。

虚实互联技术是一项近些年数字孪生领域的前沿技术,通过3D可视化、动态模拟等手段,在虚拟环境中提前仿真整个生产过程、设备运转、物流流转,同时通过虚拟工厂与物理工厂的实时数据交互和状态同步,

动态更新虚拟工厂,确保虚拟环境与物理环境高度一致,从而实现对物理工厂的实时展示、监控和漫游。虚实互联技术通过整合工厂MES、WMS、ERP等系统,将获取实时的生产、物流、设备等数据集成到虚拟工厂系统,形成统一的数据中心。通过大数据分析和可视化展示,可以及时掌握生产线的实时状态,生成动态报表,及时、形象地反馈生产线运行情况,为生产管理提供决策支持。虚实互联技术实现了生产计划、工艺路径等在虚拟环境中的模拟验证,发现问题并进行优化改进,降低生产风险。同时,可以在虚拟环境中评估不同生产方案的效果,为实际生产提供决策依据,提高生产计划的准确性和可行性。

Plant Simulation是一款高效的离散事件仿真工

具，广泛用于物流与生产系统的数字建模。通过构建数字模型，用户可以深入理解系统的特性并优化其性能。其优势在于，用户能够在不干扰现有生产流程或在实际系统安装之前（特别是在早期规划阶段）进行各种试验和假设检验。利用多种分析工具，如瓶颈分析、统计数据和图表，用户能够有效评估不同的制造策略，为生产规划的初步决策提供重要的信息支持。此外，Interface Package接口包的整合，使得Plant Simulation能够与MES、ODBC等数据库，以及OPC等PLC信号进行无缝连接，促进虚拟工厂与实际工厂的互联互通。这种互联互通不仅提升了模拟的准确性和实时性，还为生产系统的优化提供了更加全面的视角。通过Plant Simulation实现产线仿真及虚实互联的路径如图1所示。

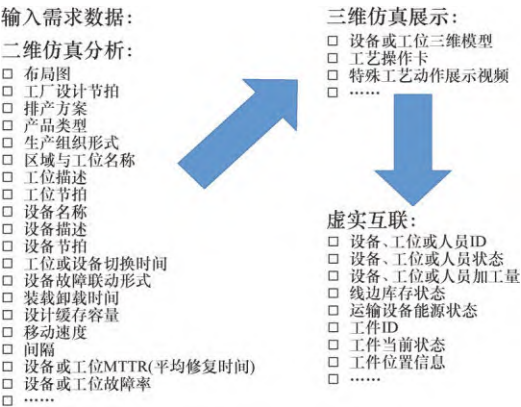


图1 产线仿真及虚实互联路径

系统建模

1.初始条件输入

- 1) 根据生产工艺排布在AutoCAD环境下建立整个车间的平面布局图，如图2所示。
- 2) 生产线MES系统（制造执行系统）数据整理成结构化表格（见表1），供虚实互联系统实时调用。
- 3) 工位物料BOM清单参数设置，录入工位节拍、开动率、MTTR(平均修复时间)及产品合格率等信息，具体见表2，仿真系统中通过算法策略关联工位物料表，实现通过修改表单即可实现系统参数重置。
- 4) 绘制车间AGV点位地图如图3所示，坐标锚点在虚拟仿真系统同现场点位信号关联，同时初始化系统数据库连接信息。

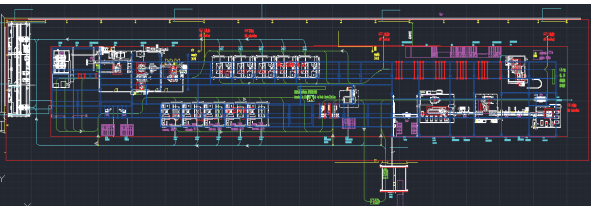


图2 生产工艺排布平面图

表1 MES数据表

表名	包含信息
ReleaseOrder	订单信息,包含电池包订单号、产线ID、电池机型(bora,golf)、电池包号、订单类型及电池包状态(未上线,已上线,已下线,未上线撤回及报废)等
Station_Andon	安东历史表,包含工位名称、安东类型、触发时间、复位时间及持续时间
Station_Performance	工位绩效表,包含工位ID、开始作业时间、停止作业时间、节拍时间及作业结果
Station_Power	能源历史表,工位ID、电能、气能、采集时间
Station_Status	工位状态实时表,工位ID,工位状态(运行,堵料,带料,报警等),工位安东状态,电能,气能,采集时间
Station Completed	工位站完成表,工位名称,是否做,做的结果,是否返修,返修结果,此表是在电池包下线工位下线时更新
OnlineError	工位错误信息表,工位ID,错误代码,错误时间,复位时间
ErrorInfo	错误代码描述
其他表	质量数据,报表数据等

2.系统建模

在Plant Simulation环境下建立产线二维模型，如图4所示。在二维仿真模型的基础上，导入工装设备轻量化JT格式三维模型如图5所示，根据关键KPI统计数据设计虚拟展示大屏，实时动态展示各工位产能状态、工位节拍等信息。

3.虚实互联建模

当系统运行（手动或者自动）模型监视控件如图6所示，调用虚实互联控制逻辑代码，则整个模型会读取数据库的实时数据进行处理，然后重构整个模型。虚实互联部分代码与接口代码如图7所示。

系统仿真输出

系统仿真说明：AGV的投入数量分别在起动机率和合格率的情况下与产能的关系，起动试验管理器，试验设置（见图8）输入值为AGV投入数量，输出值为JPH。多级试验设计为从1到45，递增1。当故障率仿真和合格率仿真都开启后，起动试验管理器，运行仿真模型，仿真模型结果如图9所示。

表2 工位信息

工位代号	工位号	工位操作	工位类型	是否工位	并行数	节拍	MTTR	开动率	产品合格
AP	AP10	下壳体上线	手工工位	否	0	120s	120s	98%	
	AP20	单模组入托盘,入箱	自动工位	否	0	180s	600s	95%	98%
	AP25	AP20备用工位	手工工位	否	0	145s	60s	98%	
	AP30	长模组入箱	自动工位	否	0	196s	300s	98%	
	AP35	AP30备用工位	手工工位	否	0	145s	60s	98%	
	AP40	模组螺栓预拧紧	手工工位	否	0	193s	60s	98%	
	AP50	自动拧紧模组螺栓	自动工位	否	0	185s	300s	98%	
	AP55	AP50备用工位	手工工位	否	0	165s	60s	98%	
	AP60	手工工位1	手工工位	否	0	194s	60s	98%	
	AP70	手工工位2	手工工位	否	0	152s	60s	98%	
	AP80	手工工位3	手工工位	否	0	169s	60s	98%	
	AP90	手工工位4	手工工位	否	0	69s	60s	98%	
	AP100	IL测试	手工工位	是	5	820s	120s	98%	98%
	AP110	下壳体清擦	自动工位	否	0	110s	60s	98%	
	AP120	下盖涂胶和拧紧	自动工位	否	0	197s	120s	98%	98%
	AP125	上盖拧紧备用工位	手工工位	否	0	96s	60s	98%	
	AP130	前端盖安装	手工工位	否	0	200s	60s	98%	
	AP140	后端盖安装	手工工位	否	0	198s	60s	98%	
V	AP150	EOL测试	自动工位	是	5	810s	120s	98%	98%
	AP160	气密性测试	手工工位	是	2	335s	60s	98%	98%
	AP170	自动贴标和扫码	自动工位	否	0	60s	60s	98%	
	AP180	总成下线	手工工位	否	0	183s	60s	98%	
	V10	长模组分装	手工工位	否	0	196s	60s	98%	
	V20	单模组入托盘	自动工位	否	0	180s	60s	98%	98%
	V30	并模组分装1	手工工位	否	0	190s	60s	98%	
	V40	空工位	手工工位	否	0	190s			
	V50	并模组分装2	手工工位	否	0	190s	60s	98%	
	V60	上盖上线	手工工位	否	0	132s	60s	98%	
	V70	打磨工位	手工工位	否	0	190s	60s	98%	
	V80	上盖底涂	自动工位	否	0	132s	60s	98%	98%

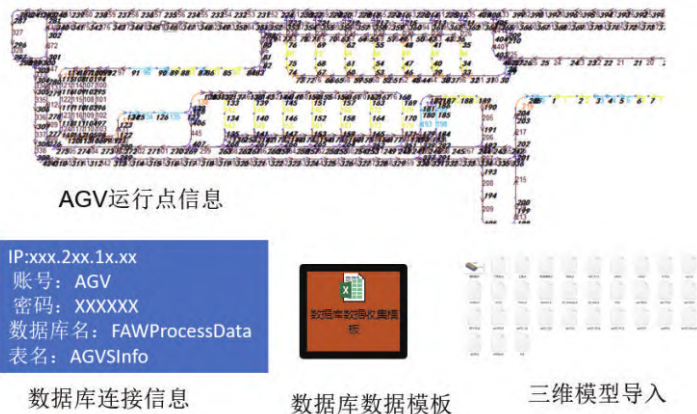


图3 车间AGV点位地图

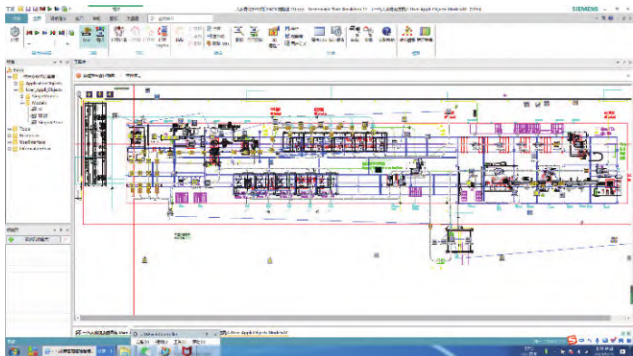


图4 产线二维模型

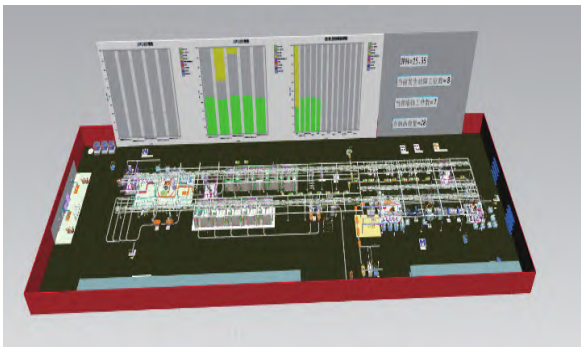


图5 系统三维模型



图6 系统监视控件



图7 虚实互联部分代码与接口

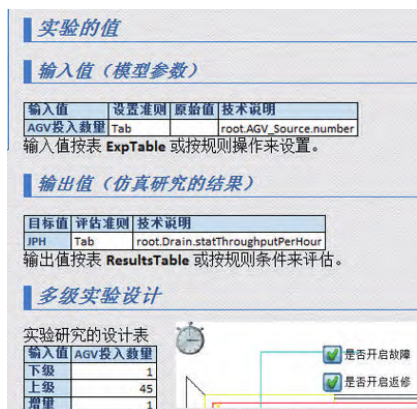


图8 AGV试验参数

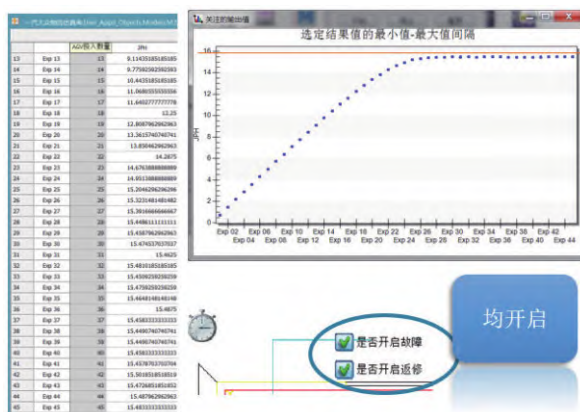


图9 仿真结果（故障率仿真、合格率仿真都开启）

结论：当AGV数量投入达到42时，产能达到最大15.50JPH，但依然低于16JPH的设计值。原因为返修设计比例有问题、返修时间不确定。

当故障率仿真开启和合格率仿真关闭后, 启动试验管理器, 运行仿真模型, 仿真模型结果如图10所示。

结论: 当AGV投入数量达到24时, 产能达16JPH, 但当AGV投入数量达到29时, 产能达到最大值, 为16.41JPH。

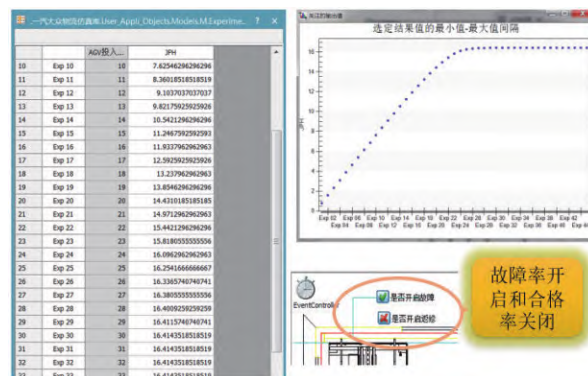


图10 仿真结果（故障率仿真开启、合格率仿真关闭）

当故障率仿真关闭和合格率仿真开启后, 启动试验管理器, 运行仿真模型, 仿真模型结果如图11所示。

结论：当AGV投入数量达到23时，产能达到16JPH，但当AGV投入数量达到32时，产能达到最大值，为16.37JPH。但因为合格率的不确定因素，当继续增加AGV时，产能出现小幅度波动，但均高于16JPH。

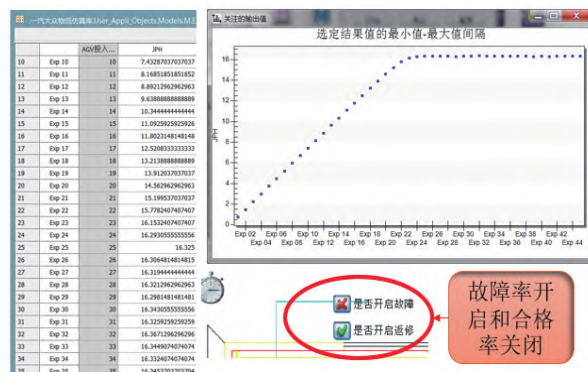


图11 仿真结果（故障率仿真关闭、合格率仿真开启）

当故障率仿真关闭和合格率仿真开启后—预测生产线极限产能，启动试验管理器，运行仿真模型，仿真模型结果如图12所示。

结论：当AGV投入数量达到21时，产能达到

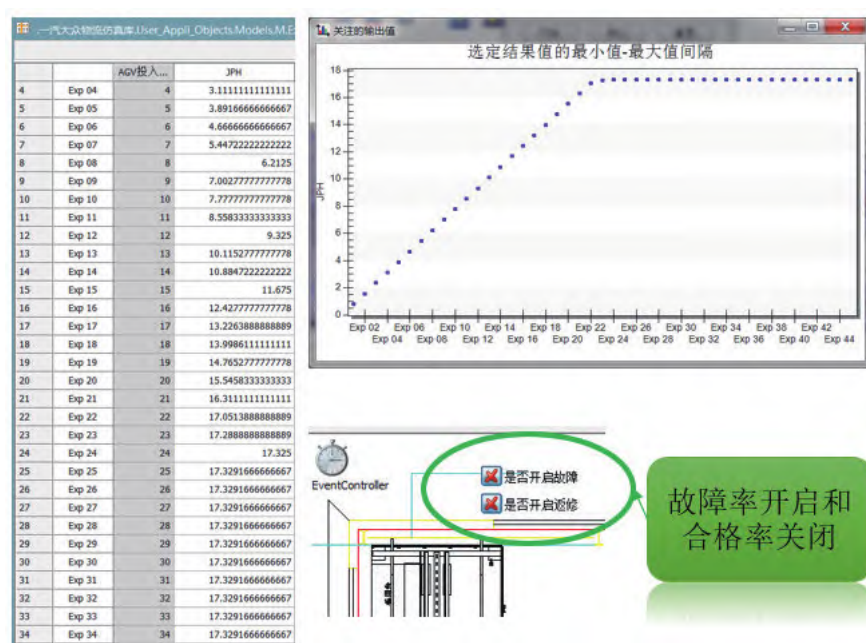


图12 仿真预测结果（故障率仿真关闭、合格率仿真开启）

16JPH，但当AGV投入数量达到25时，产能达到最大值，为17.33JPH，为整条生产线的最大产能。

瓶颈分析—分析单一模块产能，启动试验管理器，运行仿真模型。

结论：瓶颈在AP130工位，产能为17.61JPH。AP120、AP140工位产能也低于18JPH。生产线改造可优先考虑这部分工位。

结语

此本次项目作为数字化双胞胎试点项目，旨在完成虚实互联的大方向情况下对产线的仿真分析与预警工作。总共完成分析工作五项，在开动率和合格率仿真的不同情况下对AGV投入数量进行分析统计工作。完成了动力电池产线线的输入数据、二维与三维仿真库文件的搭建，为以后生产线改造、方案验证、排产预警等仿真工作打下基础。

项目通过运用虚实互联技术实现了以下经济效益：

1) 节省时间。快速完成对生产计划的评估，不再是对传统的生产计划和方案进行繁琐的评估验证。

2) 降低成本。在产品开始生产之前就完成了对生

产计划和方案的验证确认，防止在生产中修改造成不必要的成本浪费。

3) 效率提高。工厂管理者可以远程监控工厂生产情况，不需要经常到实地考察或留守，提高工作效率。

4) 降低风险。提前预估生产线生产情况，防止因为物料、设备等原因造成的停线风险。

参考文献：

- [1] 陈峰，韩晓英，杜玉晓，等.汽车制造数字工厂虚拟仿真实验教学项目建设与实践[J].实验室研究与探索，2020，39（4）：99-101，173.
- [2] 赵军富，李建军.基于物联网数字工厂与智能工厂的整合研究[J].制造技术与机床，2020（4）：20-25.
- [3] 高洋.以智能制造为导向的数字孪生工厂构建方法与应用[J].信息与电脑（理论版），2024，36（12）：92-94，98.
- [4] 蒋林贝.面向全生命周期的产品数字孪生建模方法及应用[D].杭州电子科技大学，2024.
- [5] 张善翔，胡力宏，周巍，等.5G+数字孪生在数字化工厂中的应用[J].通信与信息技术，2023（4）：24-26，117. **AUTO1950**