

Research on Digital Modeling Standard of High Speed Train Equipment Production Line

Futian Song¹, Guangyue Jia¹, Li Ma²

¹CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao Shandong

²HUST-Wuxi Research Institute, Wuxi Jiangsu

Email: China_ml@163.com

Received: Nov. 27th, 2019; accepted: Dec. 10th, 2019; published: Dec. 17th, 2019

Abstract

Aiming at the construction of production line's planning and design, production simulation and logistics simulation models, this paper put forwards the requirements of modeling objects, basic principles, general requirements, production simulation modeling, logistics simulation modeling and data management of production line digital modeling, including the classification of modeling objects, requirements of equipments and tools modeling, production simulation modeling and logistics simulation modeling, etc. Through the applications, the standardized, unified, orderly and efficient digital modeling method of high-speed train production line is realized, and the rapid development of production line digital modeling technology is ensured.

Keywords

High-Speed Train, Digital Modeling, Standards

高速列车生产线数字化建模标准研究

宋福田¹, 贾广跃¹, 马力²

¹中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛

²华中科技大学无锡研究院, 江苏 无锡

Email: China_ml@163.com

收稿日期: 2019年11月27日; 录用日期: 2019年12月10日; 发布日期: 2019年12月17日

摘要

针对高速列车生产线的规划设计、生产仿真和物流仿真等模型的构建,提出了生产线数字化建模的对象、

文章引用: 宋福田, 贾广跃, 马力. 高速列车生产线数字化建模标准研究[J]. 建模与仿真, 2020, 9(1): 1-8.

DOI: 10.12677/mos.2020.91001

基本原则、一般要求、生产仿真建模、物流仿真建模和数据管理要求，主要包括：建模对象的分类、设备和工装建模要求、生产仿真建模和物流仿真建模等内容。通过应用，实现高速列车生产线数字化建模方法的规范、统一、有序、高效，确保生产线数字化建模技术的快速发展。

关键词

高速列车，数字化建模，标准

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前，生产线数字化建模方面的基本情况，一方面，面向不同产品对象的生产线结构形式和组成要素差别很大；另一方面，生产线的设计和规划是一项复杂的工程，耗资较大，从而促使各种生产线的建模与仿真技术快速发展，也导致了生产线建模方法和流程的不统一、不规范等问题。在调研过程中了解到，各个企业率先在生产线的设计阶段采用数字化建模与仿真技术，将生产线的初步布局和规划方案进行虚拟化演示，并将产品的生产计划、节拍时间、工艺规程、物流方案等信息进行输入，通过仿真优化技术对生产线的规划方案和结果进行优化。徐曼菲等[1]针对军工行业数字化生产线大批量、多品种、混线生产模式中存在的排产调度灵活性差，布局限制资源效率发挥、过程状态掌控难等问题，提出适用于军工行业的数字化生产线建模仿真与优化技术方案。面向生产线建模后的不同阶段应用需求，生产线数字化建模的要求也是有所侧重。例如，在生产线布局规划设计中，验证空间位置的需求，所以要求生产线组成的各个对象，应该具有精准的几何外形尺寸、以及对象必要的安全空间信息。

针对高速列车装备生产线，以及不同建模分类和对象，缺少统一的标准规范，以及术语定义，亟需统一的技术规范。例如物理模型包含建模对象形状、尺寸、精度、材料、装配、制造等特征的实体模型。逻辑模型是对建模对象的行为规则和对象间的影响规则进行描述的模型。仿真模型是仿真使用的数字化描述的集合，一般是物理模型和逻辑模型的组合。生产线建模符合《GB/T 26099-2010 机械产品三维建模通用规则》、《GBT31053 2014 机械产品逆向工程三维建模技术要求》、《GBT 26101-2010 机械产品虚拟装配通用技术要求》等国家的要求，确保生产线所建模型的规范性和科学性。

2. 生产线数字化建模技术研究

2.1. 建模分类及对象架构

如图 1 所示，从电子装备生产线的对象体系组织角度对生产线的建模对象进行划分，从生产线的应用阶段、建模对象、模型类型三个方面来规范分类。

1) 生产线对象体系组织分析

生产线组成要素按照具体对象类，分为物理对象、逻辑信息以及仿真结果[2]。物理对象是组成生产线的物理实体，包括产品、设备以及人员，其中产品按照生产线加工路线分成原材料、在制品、成品，产品的模型按照工艺过程需要按阶段分别建模，一般可以从 CAD 软件格式数据转换使用。设备按照其用途分为加工设备、物流设备、存储设备以及装配工位，具体有数控机床、机器人、托盘、AGV、立体库以及检验设备。逻辑信息为支撑生产线实际运行或者虚拟仿真所需要的数据信息，包括生产计划、工艺

规程、设备参数及故障信息、生产动态数据。仿真结果包括通过仿真分析形成的布局方案、统计报表、仿真动画以及瓶颈分析。

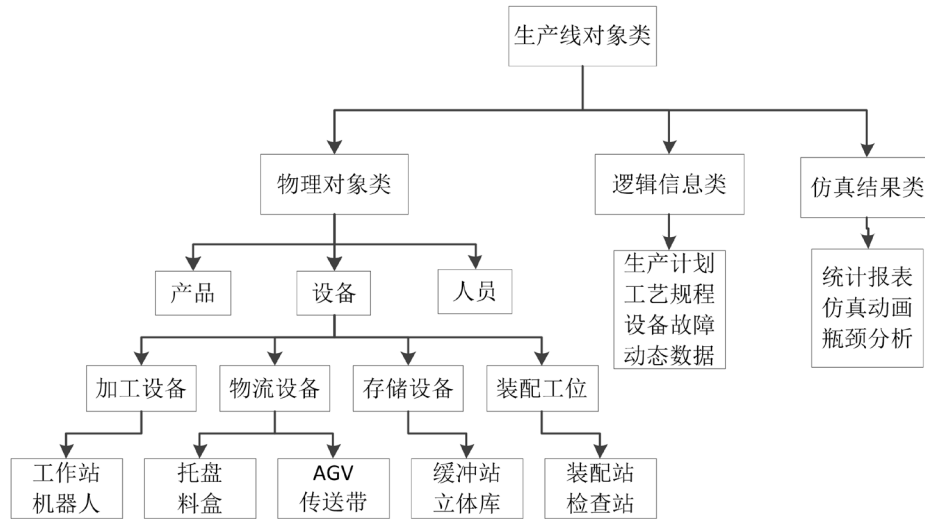


Figure 1. The structure of production line object
图 1. 生产线对象体系组织

2) 建模对象分类

从生产线的应用阶段、建模对象、模型类型三个方面来规范分类。生产线应用阶段包括生产线规划设计、用于生产工艺验证的工艺规划模型、用于生产仿真和物流仿真的仿真优化模型。通过对生产线对象体系组织分析，建模对象包括产品模型、资源模型、信息模型、仿真模型，其中资源模型包括了设备资源和人力资源，如数控机床、机器人、AGV、传送带、立体库、托盘、检验设备、操作工人等。信息模型包括了针对生产仿真和物流仿真所构建的逻辑信息模型，如生成计划、节拍信息、工艺规程、设备工艺参数等。



Figure 2. The model of production line structure
图 2. 生产线架构模型示意图

3) 智能生产线架构分析

一个典型的智能生产线架构如图 2 所示, 其应包括物理层、感知层、数据层和应用层。物理层应包括智能加工设备、工业机器人、AGV、流水线、托盘、智能仓储、智能检测设备、工业控制网络等; 感知层应包括设备信息采集、人员信息感知、物流行为感知、物料状态感知、库存信息感知、环境状态感知; 数据层应包括产品、人员、设备、物流和库存等生产线要素全部信息, 应对数据进行存储, 并保证各系统之间数据的接口和标准格式; 应用层应包括面向制造过程的管控、全流程状态信息可视化监控、全生命周期质量数据的追溯等功能。

2.2. 三维建模数据管理要求

生产线数字化建模一般要求从生产线规划设计的形式、所有组成要素的构建、模型的单独调整、坐标系准确定位、不同数据来源的模型处理、模型支持的应用场景来规范。对生产线所有组成要素构建三维模型, 包括加工设备、物料搬运设备、AGV、机器人、工装夹具、线边库、原料库、加工零部件、操作工人等。尽量利用不同数据来源的三维模型, 根据应用需求, 对模型进行简化、轻量化、贴图和渲染等处理。数字化建模能支持虚拟现实布局方案评审、布局规划展示、生产线平衡分析、瓶颈分析、工时分析、人机工程分析、物流仿真动画、加工操作动画、加工轨迹动画等生成。考虑生产线数字化模型的可重用性、适应性, 将系统常用的资源数据统一管理, 形成统一的数据存储机制和管理方式。和企业的 PDM、CAD、CAE、CAPP、CAM 等系统建立有效的数据接口, 系统调用的产品、资源等模型数据应能保留其版本信息, 并建立有效的索引机制和关联机制, 保证其关联性和一致性, 对各阶段、各类型的仿真结果数据和文件进行管理, 并保持与模型的关联。

2.3. 加工/装配仿真建模

加工仿真建模包括物理模型和逻辑模型, 物理模型是指用于零件加工仿真的实体对象模型, 包括了零件模型、设备模型、刀具模型等, 主要考虑尺寸的要求、几何约束、装配关系、建模基准、模型处理等内容。逻辑模型主要是对应的物理模型构建逻辑关系, 包括运动逻辑关系、坐标系定义、工艺参数设置、数据库建立等内容。装配仿真用于产品装配工艺过程的模拟, 分为装配模型和逻辑控制模型, 装配模型包括装配对象模型、装配场景模型、装配资源模型和虚拟操作驱动模型[3], 其建模考虑模型的重构处理、包含完整的信息内容、具体的建模规范要求。逻辑控制模型是对设备逻辑、生产资源的选择和调度功能进行建模, 设备逻辑包括了设备之间的输入输出逻辑、任务队列、资源选择等逻辑; 调度逻辑包括了工序优先级、装配顺序、装配路径、生产节拍等。

2.4. 物流仿真建模

物流仿真建模对模型的完整性、物流数据的收集和准备、模型属性添加、仿真动作的设定、控制逻辑规则的定义等方面做出了规定。物流仿真模型包括实体类, 如加工设备、物流设备、产品模型、工装夹具、机器人、AGV 等; 信息类如生产计划、物流参数等; 控制类如生产调度、物流路径的选择、物流设备的选择等。物流数据的收集和准备包括了模型的构建, 正常生产状态下产品模型在设备之间的流动、工位的加工时间、批量、搬运方式、搬运路线与时间等生产控制参数, 设备的容量、工件到达率、设备故障率等统计信息。模型属性添加包括加工单元的设备容量、个数、故障率、输入输出规则等基本信息, 采用三维模型进行仿真动作的模拟, 或者采用图形、文字说明建立原理模型。控制逻辑规则的定义, 包括了设备忙碌时, 零件的排列规则; 多设备并行加工的分配规则; 设备故障时的处理规则; 物流设备的调用规则; 物流路径的选择规则; 成品、在制品的储运、缓存规则[4]。

2.5. 智能检测建模

MBD (Model Based Definition), 即基于模型的工程定义, 是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法, 它详细规定了三维实体模型中产品尺寸、公差标注规则和工艺信息的表达方法。针对如图 3 所示的检测一般流程, 基于 MBD 的智能检测技术以产品设计、制造过程中的数字模型为数据基础, 制定合理的检测工艺规划, 利用智能检测设备进行检测, 并将测量结果实时反馈至质量管理体系, 分析产品质量并指导设计、加工部门改进产品质量。其在测量精度、测量效率、测量柔性等方面的优势, 是传统检测技术所无法达到的。

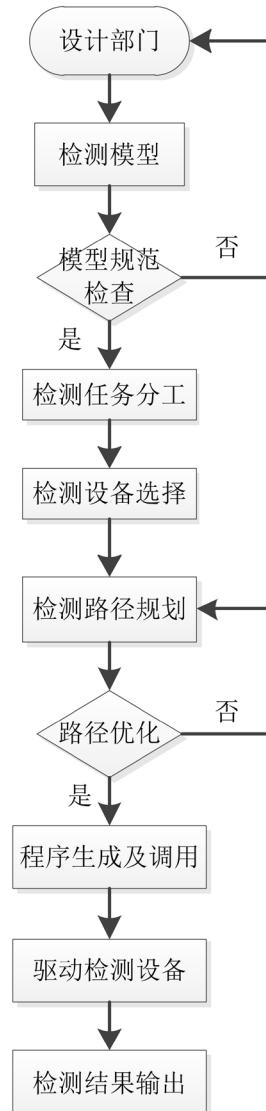


Figure 3. The normal process of inspection
图 3. 检测一般流程

进而构建如图 4 所示的 MBD 检测模型, 其包括检测对象的尺寸、形状信息、轮廓信息、定向和定位位置信息等几何信息, 以及检测工艺信息等非几何信息; 若只针对检测模型的部分信息进行测量, 则应在检测模型上对待检测信息用特定的颜色或图层表达。

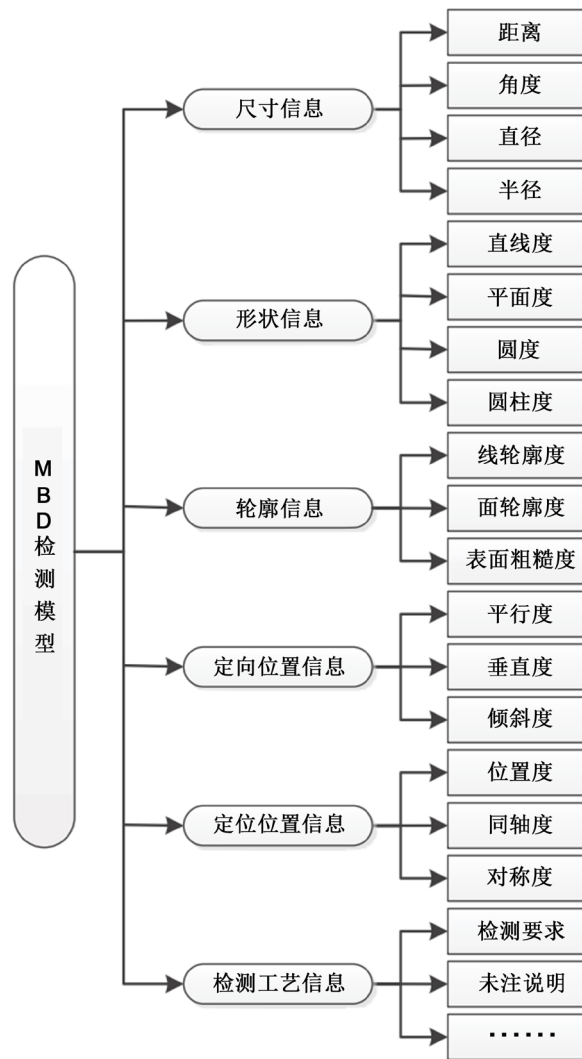


Figure 4. The data structure of inspection model
图 4. 检测模型数据结构

由此检测部门可基于相关流程和模型，如图 5 所示，对检测任务进行分工，形成检测分工文件，指导现场检测作业与检测过程管理。审签是检测过程不可缺少的环节，通过检测工艺审签可以及时发现由于疏忽或经验不足，引起的检测模型、检测工艺规划以及技术文件等方面的错误和缺陷，并反馈至上游进行修改完善，保证了检测过程的规范性，有效提高检测效率和检测质量。通过建立审签模板，利用程序提取检测过程的相关信息，如模型可检测性分析结果、检测工艺规划结果、检测工艺仿真结果等以特定格式放入审签模板中，推送至审签部门进行审签，若审签合格则将相关信息以零件型号为单位进行编号并推送至检测现场，若不合格则反馈至上游进行修改。

2.6. 信息系统建模

2.6.1. 信息感知(物联网)建模

物联网应该具备三大特征[5]：①全面感知：利用传感器、RFID、二维码等技术，随时随地获取用户或者产品信息；②可靠传送：通过通信网与互联网，信息可以随时随地的交互、共享；③智能处理：利用云计算、模式识别等智能计算技术，对海量的信息数据进行分析与处理，并实现智能决策与控制。

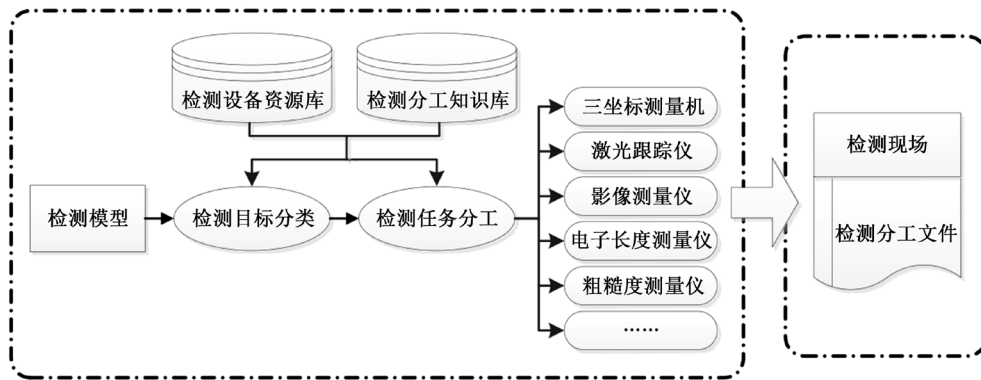


Figure 5. The division of inspection tasks
图 5. 检测任务的分工

图 6 所示的物联网架构由感知层、网络层和应用层构成，感知层能够实现对物理世界的识别感知、信息采集和处理控制。网络层主要通过现有的互联网、通信网或者下一代通信网，实现信息的可靠传递、路由和控制。应用层主要包括基础设施/中间件和各种物联网应用。



Figure 6. The structure of IoT model
图 6. 物联网模型架构示意图

2.6.2. 信息可视化建模

物理建模：对生产线可视化的所有元素进行三维建模[6]，包括设备、物料、在制品、AGV 等；场景建模：利用图形图像技术，对物理资源按照生产线实际情况进行初始化场景搭建，包括物理模型的导入和优化、赋予纹理贴图、配置环境灯光、创建摄像机等，映射生成虚拟生产线场景；信息初始化：设备工况实时数据，包括设备描述信息、设备参数信息、设备布局信息、设备能力信息及设备维护信息、运行状态；查询类数据，在数据源系统建立数据服务，存储临时需要查看的基础配置类数据，如资产信息等；批量准实时同步数据，例如仓储库存数据、设备的配置信息数据、生产计划数据等；数据驱动：集

成并处理实时采集数据,生成仿真指令,实现对虚拟空间中三维模型等动态映射。信息可视化:利用各种可视化手段,对信息进行展示,如柱状图、线性图、仪表盘、地图等形式。

3. 结论

立足国内外生产线数字化建模与仿真技术发展趋势,综合考虑轨道交通行业生产线数字化建模与仿真技术应用现状以及应用需求,构建生产线数字化建模标准。通过装备生产线数字化建模技术的研究,确立了建模对象的分类、设备和工装建模要求、生产仿真建模和物流仿真建模等内容。通过标准的应用推广,实现高速列车装备生产线数字化建模方法的规范、统一、有序、高效,确保高速列车装备生产线数字化建模技术的快速发展,也对其他的生产线数字化建模具有借鉴作用。

参考文献

- [1] 徐曼菲,吴跃,邱枫.面向军工行业数字化生产线建模仿真与优化技术[J].兵工自动化,2019,38(2):35-40.
- [2] 贾晨辉,张浩,陆剑峰.离散制造系统规划与仿真建模研究[J].计算机工程与应用,2007,43(3):242-245.
- [3] 徐国学.装配建模仿真与干涉检验方法研究[D]:[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2006.
- [4] 张卫德.基于Flexsim的虚拟生产线的研究和实现[D]:[硕士学位论文].南京:东南大学,2006.
- [5] 周明.物联网应用若干关键问题的研究[D]:[博士学位论文].北京:北京邮电大学,2014.
- [6] 孙志楠.汽车装配线多层次、多信息融合的3D虚拟监控关键技术[D]:[硕士学位论文].南京:南京航空航天大学,2016.