

文章编号:1000-582X(2007)04-0006-06

钢铁企业轨梁万能生产线仿真建模*

赵宁雨¹, 杨育¹, 谢秋¹, 尹胜¹, 杨洁^{1,2}

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400030, 2. 重庆通信学院, 重庆 400035)

摘要:针对钢铁企业的轨梁万能生产线在生产中存在的新产品调试生产周期过长、生产瓶颈不易诊断、设备利用率低等问题,分析了钢铁企业轨梁万能生产线不同于传统离散制造以及流程制造过程的特点,在此基础上建立了半连续半离散的轨梁万能生产线的 Petri 网模型和各设备的仿真组件模型,开发了轨梁万能生产线的仿真系统,并用一个实际的工程应用案例,验证了该仿真模型及其系统的可操作性以及有效性,达到了提高生产现场轨梁万能生产线的生产效率和产能的目的。

关键词:轨梁;万能生产线;生产仿真;建模

中图分类号:TU391.9

文献标志码:A

钢铁轨梁企业生产的轨梁作为我国高速铁路建设的必要材料,对促进我国高速铁路和国民经济的快速发展具有重要的意义.我国的高速铁轨生产尚处于起步阶段,生产工艺技术和生产组织都存在一些问题,比如:一是设备庞大、生产线的长、毛坯及在制品成本高,在新产品投产情况下,必须花费大量的时间和成本对生产线进行反复调试运行,才能实现量产和相应的调度计划;二是面对复杂的生产流程,难以及时发现影响生产物流平衡和生产设备负荷平衡的瓶颈问题,难以对当前的生产过程进行优化,阻碍了设备利用率和产能的进一步提高等等.上述问题严重地制约了该生产线的正常运行.

仿真是一种研究和分析复杂系统的重要手段^[1].钢铁生产仿真研究有助于发现钢铁生产物料平衡和需求平衡的问题,诊断生产中的瓶颈和关键路径,优化企业生产运行和调度方案,最终达到提高设备利用率、提高产品质量、降低成本以及提高企业竞争力的目标.因此,研究开发钢铁物流仿真系统对现代钢铁企业轨梁生产线的组织管理具有重要意义.

针对钢铁企业生产线的仿真问题,国内外已有大量的研究成果,例如:已开发的炼钢物流仿真或生产调度系统有日本 NKK 公司的炼钢过程调度系统^[2]、宝钢的柔性炼钢连铸仿真调度系统^[3].以钢铁为原料进行

后续产品加工的仿真,属于半离散制造的仿真,对于离散制造过程,大多采用 Tecnomatix 的产品,其中 EM-plant 软件采用进程交互法,它具有丰富的建模单元,能够模拟各种物流系统中的处理单元,软件本身具有的强大统计分析功能^[4].但是,针对钢铁轨梁生产线的半离散生产过程的生产仿真研究还不多见.

针对钢铁企业轨梁万能生产线生产过程中急需解决的实际问题,文中在分析钢铁企业轨梁万能生产线特点的基础上,使用了增加抑制弧的 Petri 网技术,该技术将核心设备和其辅助设备抽象为一个加工单元对象进行建模,并由此开发了轨梁万能生产线的仿真系统,最后以一个实际的案例,验证了文中构建的仿真模型的正确性和有效性.

1 轨梁万能生产线工艺及物流特征

轨梁生产是现代钢铁生产的关键生产项目之一.因其生产线的长,工序多,生产工艺复杂,兼有离散和连续过程工业的特点,所以它是典型复杂的工程系统.仿真系统开发之前,应该对轨梁万能生产线的工艺流程特点仔细研究,确保后续构建的仿真系统具备可操作性和有效性.

1.1 轨梁万能生产线生产工艺流程分析

鉴于轨梁万能生产线生产产品的特殊性和生产工

* 收稿日期:2007-02-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70601037);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,2006BB2243)

作者简介:赵宁雨(1981-),男,重庆大学硕士研究生,主要研究方向为网络化协同隧道、效率工程等.杨育,男,教授,博士生导师;E-mail:zny1981@126.com.

艺流程的半连续半离散性,它的生产过程不同于传统的离散制造和连续生产,其主要工艺流程如图 1 所示.

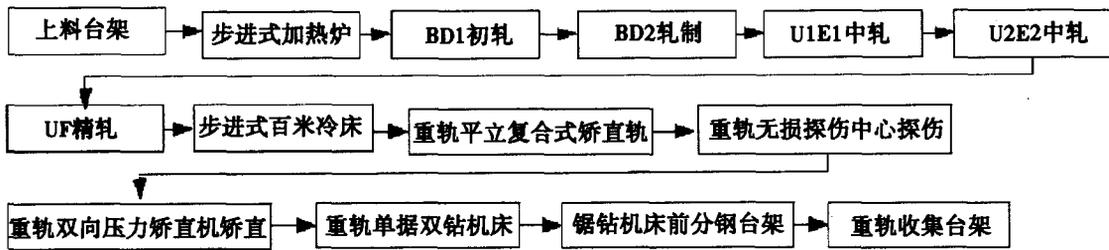


图 1 轨梁万能生产线主要工艺流程

图 1 中,原料坯从上料台架上料后经开坯、初轧、精轧成型后到达百米冷床,并在冷床上缓冷到 60 °C 以下,出冷床后进行精整、检查、矫直并完成后续辅助工艺后入库.

1.2 轨梁万能生产线工艺流程特征

轨梁万能生产线是一条及其庞大复杂的连续作业的自动化生产轧制线,它由数十个大型设备及数十条输送轨道组成,整体生产线长达 3 000 多米,加工数十种类型钢轨. 经过现场调研和深入的分析,其工艺流程具有如下的 4 个特点:

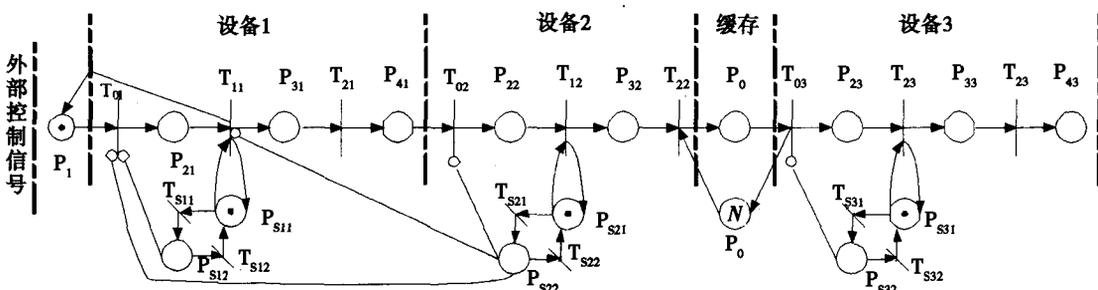
- 1) 半连续半离散的生产节奏. 加工坯料在精整之前的轧制过程中要保持一定的高温,这决定了万能线的生产是连续的或只能有短暂的暂停,而精整线的生产在 60 °C 以下进行,可以是离散的.
- 2) 万能生产线上的核心设备并不是独立存在的,其前后都存在紧靠的辅助工艺的设备.
- 3) 由于生产的产品长达 100 m,设备不但有独立的加工过程还有与前后设备的制约关系.
- 4) 缓存区间多,且存在最大容量.

由此可见,轨梁万能生产线不同于传统的离散制造过程,对它的建模也将不同于一般的离散过程建模.

2 轨梁万能生产线建模

系统建模与仿真技术在分析复杂系统方面具有很大的优势. Petri 网是一种逻辑性很强的离散系统建模工具,可方便的用于制造系统的建模和仿真^[5]. 现有的 petri 网建模一般用于分析离散流程制造生产线的问题,当生产线较为复杂的半离散半连续时, Petri 网会变得极为复杂和难以处理. 文中根据轨梁万能生产线半连续半离散的生产节奏,设备与设备之间存在制约关系的特点,通过增加抑制弧的 Petri 网来描述该生产线的生产过程,这样能较为准确地反映它的特点^[6-7]. 由此,文中将生产线上的设备定义为 3 种: 1) 以核心设备为中心及其前后辅助设备的组合加工中心 (rolling center); 2) 组合加工中心间的传送铁道 (line); 3) 设置在某两设备与设备间的缓存 (buffer).

轨梁万能生产线生产过程 Petri 网的模型如图 2 所示.



- P_0 : 缓存库所,检测缓存是否为空,容量 $0 \sim n$
- P_1 : 接收外部控制信号,待加工毛坯准备装载
- $P_{21} \sim P_{23}$: 在接受加工
- $P_{31} \sim P_{33}$: 坯料卸载
- $P_{41} \sim P_{43}$: 坯料在辊道上传送
- $T_{01} \sim T_{03}$: 坯料转载
- $T_{11} \sim T_{13}$: 加工

- $T_{21} \sim T_{23}$: 坯料在辊道上传送
- $P_{511} \sim P_{531}$: 设备所处状态奇正常,无暂停或故障.
- $P_{512} \sim P_{532}$: 暂停或故障状态
- $T_{511} \sim T_{531}$: 设备暂停或故障
- $T_{512} \sim T_{532}$: 设备等待或维修

图 2 万能生产线生产过程 Petri 网模型

当 P_1 接收到外部信号后,待加工毛坯装载,在完成设备 1 的加工后送入设备 2 加工,然后进入缓存,经过缓存后进入设备 3 加工.每个设备都有处理故障和暂停的能力,当设备 2 发生故障后设备会暂停下来,待其修复后设备 1 和设备 2 一起恢复生产.

图 2 模型的特点在于:1)建立了单个设备的 Petri 网模型,在此基础上通过设备与设备的关系将它们构建成了一个有机的系统;2)设备 3 和缓存 1 的 Petri 网模型清楚的表达了万能生产线整个生产流程的特点.

根据 Petri 网活的定义,可以证明构造的轨梁万能生产线的 Petri 网是活的.

在 Petri 网模型对生产线分析的基础上,使用面向对象的思想,文中定义了 2 种设备模型:1)以组合加工中心及其前传送辊道的设备模型;2)缓存的模型.如图 3、图 4 所示.

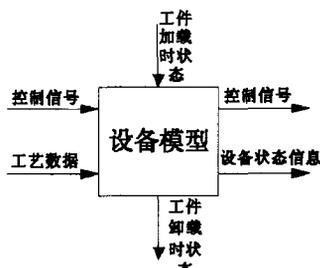


图 3 设备模型结构

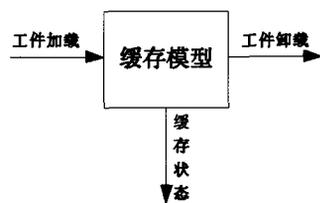


图 4 缓存的模型结构

3 仿真系统开发

轨梁万能生产线仿真系统采用了用户层、仿真功能层、数据层的分层软件体系结构.用户向仿真模块输入仿真参数和控制信号,同时,仿真系统主界面向用户输出仿真结果.应用逻辑层从数据库和用户处获得数据进行万能生产线的仿真.数据层向应用层提供数据和接收用户层的输入.该软件为单机版,用户首先用账号登陆,在输入数据或从数据库中(定型产品的数据都存在数据库中)数据的支持下,通过操作、控制仿真模型,完成生产线对某种产品的生产过程的仿真.数据库采用了 Access 2003 来建立.生产设备模型和功能模块是通过将其写成类,连接他们的接口来实现应用程序的.

软件的开发采用了 Visual Basic 语言.

3.1 仿真系统总体结构

3.1.1 仿真系统的体系结构

轨梁万能生产线仿真系统是一个集成了生产线生产工艺数据,设备仿真模块,仿真控制中心,用户交互系统的复杂系统.它必须根据用户提供或选择的数据进行仿真运行,准确地模拟实际生产过程,使用户获得有用的生产信息,在运行的过程中能随时跟用户交互,并将当前运行参数呈现给用户.同时,该系统可以根据优化数据修改运行,使优化生产变得切实可行.

基于以上的分析研究,将图 3 构建的设备模块和图 4 的缓存模型组合成轨梁万能生产线仿真模型,在此模型的基础进行仿真系统的开发.

系统的体系结构如图 5 所示.

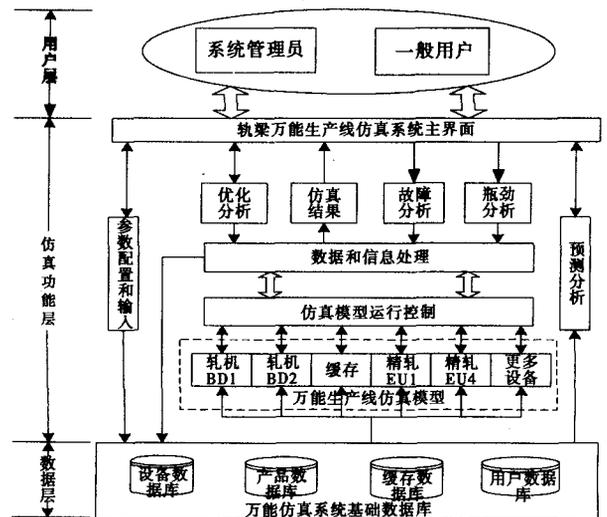


图 5 万能生产线仿真系统的体系结构图

在仿真系统的体系结构中,位于最下层的是生产工艺信息数据库,基于此数据库,用户可以通过仿真系统主界面实现参数配置、输入和预测分析 2 个功能模块的直接连接.仿真模型的运行是在此数据库的基础上,根据仿真需要获得的实时信号产生控制策略.通过模型在实时控制下的运行来实现仿真对生产实际工作的指导,并可以将有价值的仿真参数和结果存储起来作为其它功能实现的数据基础.

轨梁万能生产线仿真系统的体系结构包括 3 个层次:

1) 数据层

数据层由各种生产工艺数据库构成,主要包括 50 kg/m、60 kg/m 和型钢的各个型号产品数据库;万能轧机、矫直机等 11 台设备数据库、5 个不同容量缓存数据库、用户信息数据库.数据层给整个应用程序提供了

各种必要的运行数据.

2) 仿真功能层

该层由生产线设备模型和功能模块2部分组成. 生产设备模型包括核心设备组合模型、缓存模型. 核心设备和缓存模型根据生产线的实际布置, 组合成生产仿真模型; 功能模块包括以仿真模型为基础的优化分析模块、仿真结果模块、故障分析模块、瓶颈分析模块和以各种生产工艺数据库为基础的生产预测模块和参数配置模块.

3) 用户层

该层中的用户分为系统管理员和一般用户. 系统管理员有系统的最高权限, 这些权限包括设置新用户、删除或修改已有用户的基本信息. 系统管理员和一般用户均拥有对所有仿真系统功能的使用权限.

3.1.2 轨梁万能生产线仿真系统的功能规划

轨梁生产线仿真系统包含以下5个主要功能:

1) 动态的可视化仿真功能

通过二维动态图像的仿真技术, 用户可以图像的方式, 看到系统的运行过程和状态. 这些图像形象直观地描述了系统的动态仿真过程.

2) 瓶颈分析功能

万能生产仿真系统可以对整线瓶颈进行分析, 从生产线整个物流系统的角度对生产线的生产运行进行仿真. 通过输入参数以及各工序仿真配置的变化分析的方式, 找出整线的瓶颈所在.

3) 新产品工艺调试功能

万能生产仿真系统可以根据新产品的加工工艺参数(此参数可适时调整), 模拟新产品在生产线中的实际运行情况. 通过模拟, 可得到量化的生产线生产能力、各工位加工负荷、缓存和存储量等指标.

4) 订单生产能力预测功能

根据数据库中以往的生产数据(这些数据包括: 与某些产品相对应的各设备的加工时间, 加工能力, 设备的故障率和维修时间等), 来预测未来订单中产品的加工时间、成品吨数及所需要的班次等信息.

5) 单个设备故障状态下的整线仿真功能

由于生产线的连续性, 以及缓存的存在, 整条生产线并不会因为某一设备的故障而全线停工. 万能生产仿真系统可以通过对仿真的控制, 获得此状态下的产能、负荷和瓶颈, 并可以获取故障状态下的生产信息.

万能生产线仿真系统功能树如图6所示.

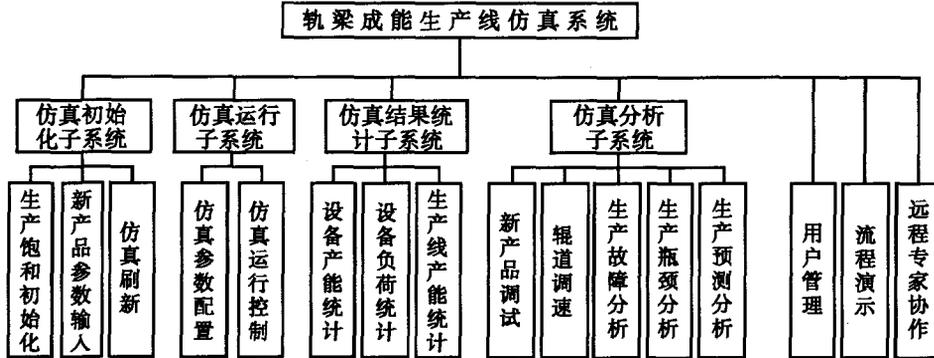


图6 万能生产线仿真系统功能树

3.2 仿真系统设计的关键技术和方法

在以上分析和研究的基础上, 进行仿真系统的开发. 开发仿真系统过程中, 需要研究和解决的关键技术包括:

1) 图像化的动态仿真技术

为达到准确形象地将生产线运行情况动态反映出来的目的, 需要用动态图像的方式来表示仿真结果, 由于程序的数学计算和程序图像技术的相对独立性原因, 所以要实现它们的对应连接关系非常的困难, 经过研究, 提出了图像化的动态仿真技术方法^[8]. 即通过对设备和被加工件的对象化设计, 设备在界面上显示为某一图形. 被加工件在生产线上运动, 顺序接受设备的加工. 当工件被某一设备加工后, 其几何形状和图形

改变. 通过被加工件的图片的变化, 对生产线生产加工的实际情况模拟, 实时生成仿真运行数据, 并根据用户需要, 将这些数据记录下来, 为分析提供支持.

2) 生产线瓶颈仿真分析方法

生产线的瓶颈诊断可以通过设备利用率来解决. 分析系统的设备利用率有多种方法, 数学方法在理论上可以得到精确解, 但它需要对整个系统建立方程, 因而在系统比较复杂时会导致方程变量增多, 求解困难^[5]; 抛弃通过整条生产线的建模数学分析到生产线上各个设备利用率的方法, 而对单个设备各自利用率通过计算机程序实现分析的方法将有效的解决这个问题. 对单个设备建模过程中, 实现了设备利用率的分析. 根据生产的实际情况设置各个设备的最大负荷率.

仿真过程中,实时监控设备的负荷率.如果设备的负荷率超过设定值,可以认为生产在这里产生了瓶颈,系统会自动做出提示.

3) 仿真数据处理技术

以 Tecnomatix 的 EM-plant 软件为代表的仿真软件大都采用了仿真参数分散处理的方式,即各个设备的参数需要各自设定,这样不利于参数在仿真运行时的修改和对比;另一方面,EM-plant 的参数是随模型一起存取的,这样既不方便数据的读取,也不能为其它需要这些数据的功能提供数据支持.轨梁万能生产线仿真系统采用将仿真模型和数据库技术结合起来的数据处理技术,首先把所有的数据都存储在相应的数据库中,然后再向设备模型分配和统一的读取数据.对数据的这种集中管理将有利于仿真数据存入数据库,利用数据库中的数据实现订单预测,为仿真运行过程中修改仿真运行参数等功能的实现提供了必要的数据库基础,优化了生产参数.

以上关键技术是整个系统开发中的重点和难点.它们的实现,使得仿真系统既能形象地反映生产线的实际运行过程,又具有灵活、方便、针对性强、能集成其它功能等优点.

4 应用实例

某钢铁集团轨梁厂是国内第一家、世界第三家能够按照国际质量标准生产出高强度、高平直度、高表面光洁度的 100 m 长尺钢轨的大型钢企业.由于万能生产线处于初期运行阶段,既无以往的运行数据,也无可以借鉴的生产技术经验.生产中存在的新产品调试费时长,代价高;超长生产线瓶颈不清;由生产问题产生的资源调度混乱等问题十分突出.针对上述问题,使用万能生产线仿真系统对该厂的生产线进行了仿真.

对某型号的 60 kg/m 的重轨进行各个设备的轧制工艺参数(以轧制时间为主)调试,在实际的生产线上作这样的调试时一般花费时间在 5 d 左右,而使用仿真系统这样的调试工作只需要 3 h 左右,而且不需要以消耗任何的原料和设备人员运行费用为代价,并且其结果能够保证工程上的精确.

在对该 60 kg/m 的重轨生产的仿真运行中,发现设备 4 的负荷随着仿真生产的进行慢慢的升高,并最终会维持在一个 90% 以上的较高水平(如图 7),如再加快来料速度会在此处堵塞,说明此处为生产的瓶颈.该系统帮助管理人员及时发现了生产线的瓶颈,为技术人员制定解决生产瓶颈方案提供决策依据.

对整条生产线和核心设备进行优化和分析后,发现加热炉、步进式冷床、辊式矫直机后移送台架、探伤

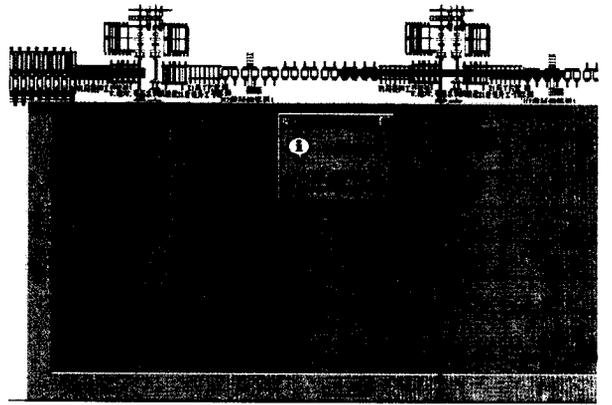


图7 生产出现瓶颈时系统自动提示

中心后台架、分钢台架、锯钻机床是导致瓶颈产生的原因,通过仿真分析提出了增加 1 台加热炉和 1 台锯钻机床,并调整步进式冷床、辊式矫直机后移送台架、探伤中心后台架、分钢台架等处加工件移动速度的优化方案,有效的缓解了整条生产线的瓶颈,实现了整线的流畅生产和提高产能的目的.表 1 是仿真优化前后核心设备负荷率的对比.

表 1 仿真优化前后核心设备负荷率的对比 %

加工设备名称	原设备负荷率	仿真优化后设备负荷率
加热炉 1	99.5	98
加热炉 2	无	98
BD1	62	76
BD2	44	52
U1E1	41	48
U2E2	25	29
UF	28	31
步进式冷床	99	93
矫直机	58	48
检测中心	51	41
锯钻机床前		
分钢台架	65	51
锯钻机床 1~3	86	72
锯钻机床 4	无	68

另外,当企业在某一时期接到一批订单的时候,需要知道完成订单需要多长时间,根据以往这些订单产品的生产经验,生产人员只能估计大概时间,误差较大.仿真系统的生产能力预测功能可以较准确的计算出所需时间.通过已有的 2 种重轨产品的数据对万能线做 1 200 t 原料生产时间的预测,生产出 1 164 t 重轨产品,需要生产时间 24.47 h(包括故障时间,加热炉待热时间)与实际需要的 3 个班次(24 h)的情况符合.在此基础上对已有产品进行产能的预测.

基于以上的案例研究,系统运行后所得结果和实

际的生产相吻合,验证了该仿真系统的可靠性.轨梁万能生产线仿真系统较好的解决了缩短新产品调试时间、找出生产瓶颈等实际生产问题.

5 结束语

针对在钢铁企业轨梁万能生产线的生产中,新产品调试生产周期过长、生产瓶颈不易诊断、设备利用率低等问题,分析了轨梁万能生产线不同于传统的离散制造和流程制造的特点,采用增加抑制弧的 Petri 网建立了该生产线的生产过程模型,在此基础上,开发了万能生产线的仿真系统.该仿真系统在某轨梁厂得到了应用,较好地解决了生产现场万能线新产品投产预测、生产瓶颈分析与流程优化、故障状态调度等实际问题.

参考文献:

[1] MANOHARPA, SHIVATHAYASS. FERRY Metal Development of an integrated system for designing steel marketing aim compositions Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of

Materials[J]. IPMM'99 IEEE Industrial Electronics Society, 1999, 1(2): 105-110.

- [2] 李霄峰,徐立云. 柔性炼钢连铸仿真调度系统及其关键技术[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(2): 207-210.
- [3] 张卫德,严洪. 基于 Felxsim 的生产线仿真和应用[J]. 工业控制计算机, 2005, 8(9): 46-47.
- [4] 侯杨,范秀敏. 基于仿真的制造系统对象建模及其应用[J]. 计算机集成制造系统 - CIMS, 2001, 7(5): 42-46.
- [5] 韩赞东,张用智. 大批量制造系统生产能力和设备利用率分析[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2004, 44(2): 145-148.
- [6] MOHAMED A, HASSANE A. Modeling and simulation of an electronic component manufacturing system using hybrid Petri nets [J]. IEEE Tran on semiconductor Manufacturing, 1998, 11(3): 374-383.
- [7] 石刻,谭小斌. 面向对象的赋时 Petri 网的敏捷制造单元仿真[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2002, 30(3): 13-15.
- [8] 张鲲,高小强. 炼钢物流仿真系统的设计与开发[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2003, 26(12): 43-46.

Simulation Research on multi-function track beam Production line

ZHAO Ning-yu¹, YANG Yu¹, XIE Qiu¹, YIN Sheng¹, YANG Jie^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400030, China,

2. Chongqing Communication College, Chongqing 400035, China)

Abstract: Aiming at shortening new product lead time, diagnosing the bottlenecks, improving equipment efficiency of multi-function track beam production line (MTBL) in iron&steel companies, the characteristics of MTBL, which is different from the traditional discrete or process manufacturing production, is analyzed. Based on characteristics research, the Petri network model of MTBL and the Component-based simulation models of rolling mills constructed, and then MTBL simulation system is developed. The validity and practicability of simulation system are well verified by a case study in a iron&steel company.

Key words: track beam; multi-function production line; computer simulation; Modeling

(编辑 陈移峰)