

生产线产能规划和布局仿真内容研究

李江¹, 居里锴¹, 王云峰², 陈杰², 周成¹

(1. 南京理工大学 工程训练中心, 江苏 南京 210094; 2. 中机生产力促进中心, 北京 100044)

摘 要: 利用仿真方法预先对生产线的生产能力进行评估, 可以及时解决生产线中存在的问题。目前, 生产线产能规划和布局仿真未形成内容完整、通用的一般流程。通过研究, 提出了生产线产能规划仿真及生产线布局仿真的一般流程。以阀体零件生产线为例, 使用 Visual components 和 AnyLogic 软件进行应用验证。仿真结果表明, 针对生产线中的瓶颈等问题进行优化后, 生产线工作效率得到明显提高。

关键词: 生产线; 产能规划; 布局; 仿真; 瓶颈; 优化

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2020)03-0078-05

Research on Content of Production Line Capacity Planning and Layout Simulation

LI Jiang¹, JU Likai¹, WANG Yunfeng², CHEN Jie², ZHOU Cheng¹

(1. Engineering Training Center, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. China Productivity Center for Machinery, Beijing 100044, China)

Abstract: The simulation method is used to evaluate the production capacity of the production line in advance, thus solving the problems occurring in the production line in time. At present, the production line capacity planning and layout simulation does not form a complete and general process. Through research, the general flows of the production line capacity planning simulation and layout simulation are proposed. The valve body production line is taken for example, Visual components is used with AnyLogic software for the application verification. The simulation results show that the efficiency of the production line is improved greatly after optimizing the bottle-necks in the production line. The reference is given to the production line capacity planning and layout simulation.

Keywords: production line; capacity planning; layout; simulation; bottlenecks; optimization

0 引言

生产线是进行生产制造的第一场所, 对企业的效益有着至关重要的作用。在传统制造领域中, 一般采用基于经验的设计模式进行生产线规划与布局。随着制造产品的升级, 生产流程趋于复杂, 生产线规划需要考虑的要素变多, 现有的生产线规划模式已经难以满足企业生产能力提升和工艺规划能力发展的需求。通过建立生产线仿真模型, 在规划阶段对生产线整体布局进行仿真分析, 从而在生产线投产前评估生产过程, 验证工艺路线, 衡量布局设计, 这为生产线规划提供了一套有效的验证手段^[1]。

目前, 国内外学者利用仿真技术对生产线的规划和布局进行大量研究, NOOR A M S 等分析了汽车座椅座垫生产流水线型工艺流程, 利用 Delmia/Quest 分析优化了生产线的效率, 减少了工作量, 提高了生产线效率^[2]; 周三玲基于 witness 对油气分离器的加工生产线进行建模仿真与优化, 改进了工艺流程, 提高了生产效率^[3]; 刘顺涛等基于 Delmia/Quest 对飞机装配线进行参数化仿真研究, 为装配生产线设备配置优化、工艺布局的评估提供了参考^[4]; 郑顺水基于生产线仿真与优化技术, 建立了应用对象类库、仿真模型, 进行了物流和生产调度仿真^[5]; 徐林伟等用 Flexsim

对钢轧生产线进行物流仿真, 最后给出降低钢轧生产控制成本的合理化建议^[6]; 王晓达基于 Flexsim 对生产线生产排序问题进行仿真研究, 得到订单需求下的最优生产方案^[7]; MAHMOUD Heshmat 等利用 AnyLogic 构建仿真模型, 通过仿真找到瓶颈, 从而制定全年不同需求的生产计划^[8]; 郝建豹等基于 RobotStudio 对多机器人柔性制造生产线进行虚拟仿真设计, 得出最佳的工业机器人运行速度轨迹, 同时利用 RAPID 离线编程功能, 将工业机器人运行轨迹、位置、姿态数据、虚拟仿真生成的程序通过数据传输给现场工业机器人, 便于现场调试^[9]。但上述生产线仿真研究未能形成一套完整的、通用的生产线产能规划和布局仿真的一般流程。本文对生产线产能规划和布局仿真内容进行研究, 归纳总结出生产线产能规划和布局仿真的一般流程。以阀体零件的加工生产线为研究对象, 依据总结出的一般流程对其进行设计规划、仿真验证。

1 生产线产能规划和布局仿真主要内容

生产线产能规划和布局仿真是通过模拟对生产线过程的模拟仿真, 直观地进行生产线产能规划与布局的分析与评

价,并通过反复迭代和逐步调整达到合理的预期效果,实现生产线的产能规划和布局设计。其主要内容如下:

- 1) 对生产过程涉及的产品、工位、工艺路线等各个要素进行仿真建模,从而通过三维动态仿真模拟生产线实际运行过程;
- 2) 通过生产线仿真,以定性或定量的评价指标,对工艺路线、产能规划、物流路径等的合理性进行验证和分析;
- 3) 对生产线的产能进行仿真分析,优化生产线的产能配置,发现并消除生产瓶颈,提高生产效率与生产能力;
- 4) 通过生产线仿真获取生产过程的工位利用率、产能、生产周期等评价指标,并通过不断地仿真分析与优化迭代,对生产线布局进行优化设计^[10]。

2 生产线产能规划和布局仿真流程

2.1 生产线产能规划仿真的一般流程

生产线产能规划是在生产线的设计或改造阶段,根据产品的工艺路线合理规划并确定生产线中工位、传送带等设施的种类、数量或容量,以符合生产线的生产纲领。生产线产能规划仿真的一般流程如图1所示,具体内容包含:

- 1) 根据生产纲领确定产品品种,制定产品工艺路线,再确定生产线中的工位种类,并通过确定初始工位数量,得到生产线的初始产能配置;
- 2) 根据生产纲领中要求生产的产品数量、产品品种以及初始产能配置建立生产线仿真模型;
- 3) 进行生产线仿真,得到仿真结果;
- 4) 比较生产纲领要求的产品完工时间和仿真获得的产品完工时间,如果仿真完工时间小于生产纲领中要求的完工时间,则初始产能配置即为最终的产能配置;
- 5) 如果仿真完工时间大于生产纲领中要求的完工时间,对仿真结果进行瓶颈分析,找出生产线中的瓶颈工位,调整瓶颈工位的数量,并按照仿真—评价分析—调整—仿真进行反复迭代,直到产品能按照生产纲领的要求在给定时间内完工为止。

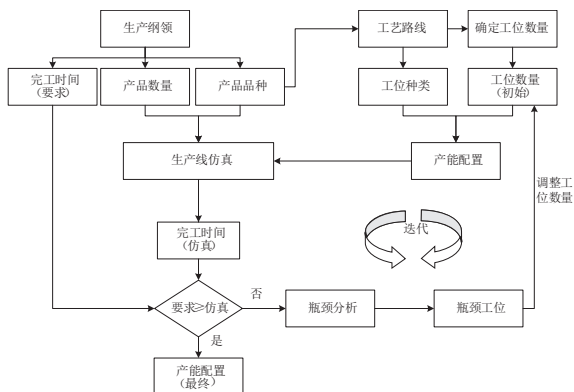


图1 生产线产能规划仿真的一般流程

2.2 生产线布局仿真的一般流程

生产线布局是指在满足给定的空间或性能约束条件下,将工位、传送带等各类设施合理、优化地布局在特定空间内,从而有效、经济、安全地达到预期目标。生产线布局

仿真的一般流程如图2所示,具体内容包含:

- 1) 根据最终产能配置给出的各个工位的种类及数量生成初始的布局序列;
- 2) 根据设施的外形尺寸,以最小外接矩形对设施进行包围;
- 3) 进行布局约束:在生产线布局中,设施之间不能相互重叠;同时,为了保证物流通道的畅通,设施与功能区边界、设施与固定设施之间应保持一定的安全距离;
- 4) 对生产线布局进行干涉检查,得到设施布局;
- 5) 按照产品的工艺路线,进行生产线仿真,得到物流路径;物流路径必须沿着生产线中的物流通道,且不能穿越生产线内的各个功能区;物料和生产人员应遵循路径最短和无干涉的原则;天车、AGV等运输对象必须按照指定的物流通道行车,且行车过程无干涉;
- 6) 结合产品质量和单位物流成本,并通过仿真得到生产线的物流成本;
- 7) 判断是否符合迭代终止条件,如果满足则得到最终设施布局,否则更新布局序列,以物流成本最低为优化目标进行反复迭代。

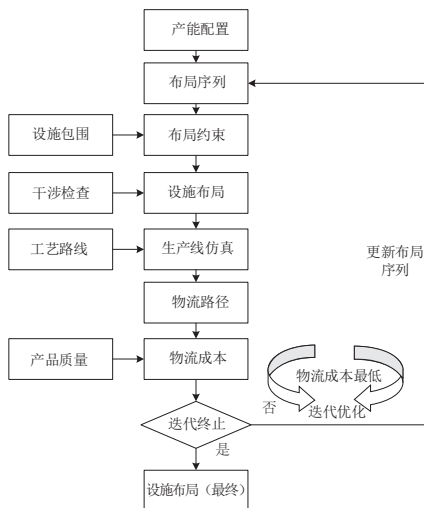


图2 生产线布局仿真的一般流程

3 生产线产能规划和布局仿真案例

本文结合 Visual components 和 AnyLogic 两款仿真软件,依据生产线产能规划和布局仿真的一般流程对阀体零件的加工生产线进行设计规划、仿真验证。

3.1 生产线初始产能配置确定

阀体零件生产纲领要求在规定8h内完成80个零件。制定生产工艺路线如图3所示,确定生产线初始产能配置如表1所示。

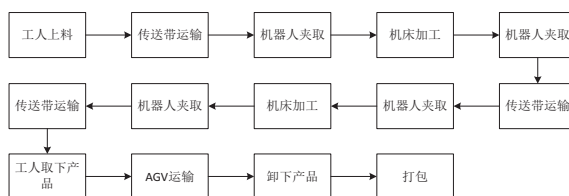


图3 工艺路线

表1 初始产能配置

工位名称	工位数量
上料工位	2
数控加工工位	2
下料工位	2
AGV 小车	1
打包工位	1

3.2 生产线仿真模型构建

Visual components 是一款 3D 制造仿真和可视化的软件,能够快速构建工厂内部的整体可视化制造过程,同时它具有大量现有自身模型,可直接调用进行生产线的快速搭建。

根据初始产能配置得到的工位数量,按照图 3 所示的工艺路线直接调用 Visual components 模型库中的现有模型快速搭建出生产线,如图 4 所示。在仿真过程中可以直观、准确地观察产品加工和设备运行的状态。

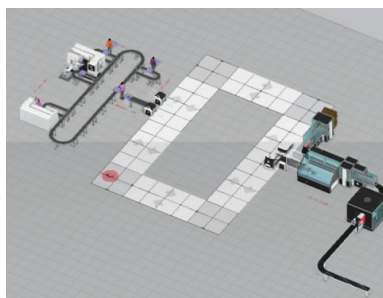


图4 Visual components 搭建的生产线仿真模型

AnyLogic 是一款应用广泛,对离散系统建模和仿真的软件。AnyLogic 的数据库帮助用户收集、显示和分析模型执行过程中的数据。在 AnyLogic 中搭建的生产线仿真模型如图 5 所示。

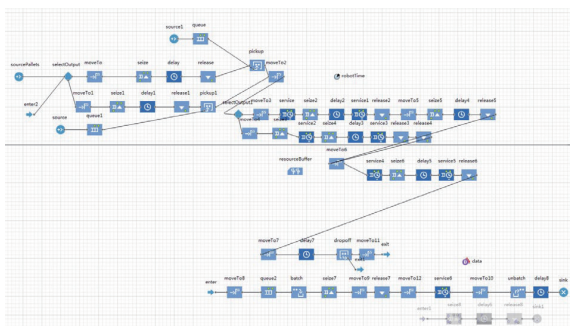


图5 AnyLogic 中搭建的生产线仿真模型

3.3 生产线产能规划仿真及结果分析

a) 仿真结果评价指标

生产线仿真的评价指标可以通过在仿真模型中编写控制语句,在仿真过程中采集状态数据,并按照一定的计算方法进行统计。

1) 工位利用率

工位利用率可以根据研究目标进行定义,在生产线仿真中一般的计算方法为:

工位利用率 = 每班次(天)实际工作时数/每班次(天)应工作时数。

2) 瓶颈工位

一般情况下,应把工位利用率最高的工位看作为生产线中的瓶颈工位。

3) 生产周期

生产周期是生产某一产品(或零件)时,从原材料投入到出产品 1 个循环所经过的时间。产品生产周期的计算方法为:产品生产周期 = 最后一件产品完工时间 - 第一件产品投产时间^[11]。

b) 仿真结果评价分析

在 AnyLogic 中进行生产线仿真,结束后输出的结果如图 6 所示。比较各工位的利用率,利用率最高的为数控加工工位,该工位加工繁忙,会导致上游物料堵塞,下一工位处于等待状态,因此数控加工工位为瓶颈工位。整个生产线仿真完成时间为 583.576 min,大于生产纲领要求的完工时间 8 h。初始产能配置不合理,需要进行优化。

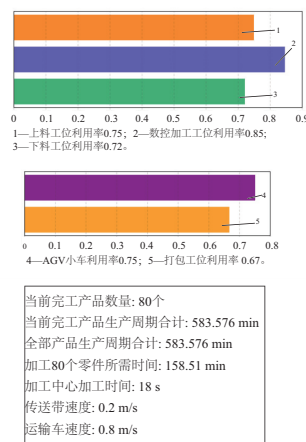


图6 仿真结果

3.4 迭代优化得到最终产能配置

通过在 AnyLogic 软件中进行迭代优化,得到优化参数如图 7 所示,将对应的加工时间调整为 14 s、传送带速度调整为 0.5 m/s、运输车(AGV)速度调整为 1.3 m/s。同时增加数控加工工位数量,再次进行仿真,得到结果如图 8 所示。仿真完成时间为 393.078 min,小于生产纲领要求的完工时间,符合要求,得到最终的产能配置如表 2 所示(本刊为黑白印刷,如有疑问请咨询作者)。

机械产品工业仿真:Optimization

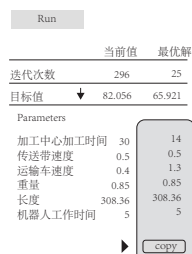


图7 优化参数

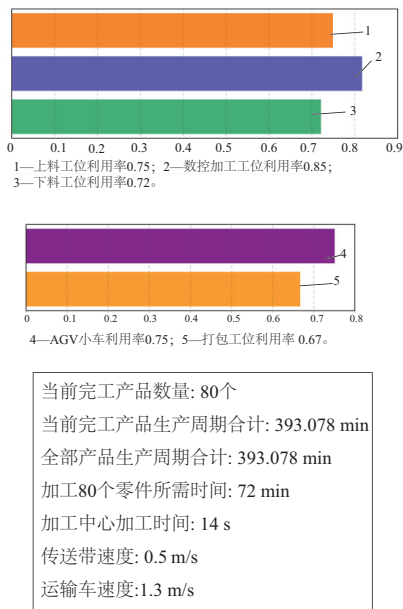


图 8 迭代优化后的仿真结果

表 2 最终产能配置

工位名称	工位数量
上料工位	2
数控加工工位	3
下料工位	2
AGV 小车	1
打包工位	1

3.5 生产线初始设施布局确定

根据生产线产能规划仿真得到的最终产能配置,在 Visual components 里生成初始的布局序列如图 9 所示。以最小外接矩形对设施进行包围和约束,之后再对生产线布局进行干涉检查,得到设施布局如图 10 所示。

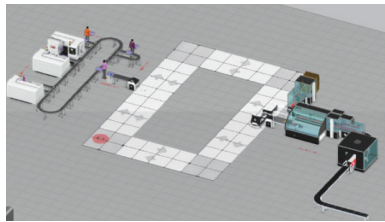


图 9 初始布局序列

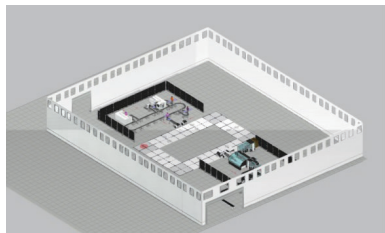


图 10 初始设施布局

3.6 生产线布局仿真及结果分析

a) 仿真结果评价指标

1) 物流路径长度

物流路径长度简称物流长度,是指工序之间最短物流路径的长度。

2) 物流成本

物流成本应该通过对所有产品的所有工序进行遍历求得,其计算方法为:

$$\text{物流成本} = \sum_{\text{所有产品}} \sum_{\text{所有工序}} \text{产品质量} \times \text{物流路径长度} \times \text{单位物流成本}$$

b) 仿真结果评价分析

在 AnyLogic 中进行生产线布局仿真得到物流路径及物流成本如图 11 所示,满足生产线布局要求。从而得到阀体零件最终的加工生产线设施布局如图 12 所示。

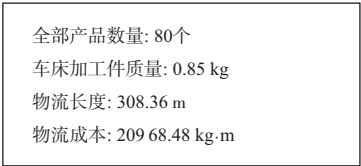


图 11 仿真得到物流路径及成本

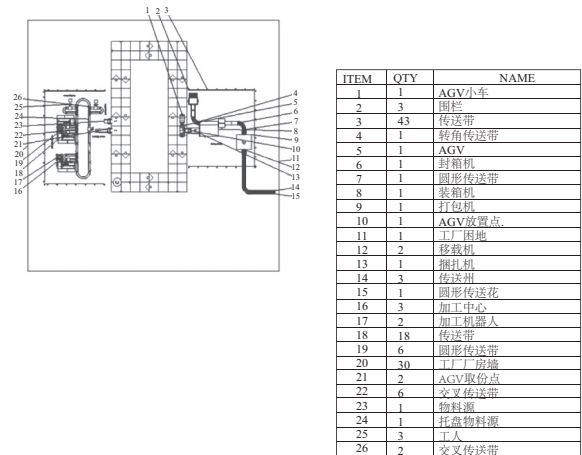


图 12 生产线最终设施布局

4 结语

本文基于生产线仿真的思想,对生产线产能规划和布局仿真内容进行研究,归纳总结出生产线产能规划和布局仿真的一般流程,并通过阀体零件的加工生产线进行应用验证,结合 Visual components 和 AnyLogic 两款软件进行仿真优化,及时地找出了生产线中的瓶颈工位,调整了相应的产能配置,得到了生产线中的物流路径及成本,调整了生产线布局,节省了时间和成本。

参考文献:

[1] 唐竞. 装配生产线规划的仿真验证技术研究[J]. 测控技术, 2018, 37(S1): 89-93.
[2] NOOR A M S, SALMIAH K, MUHAMMAD A Mustakim, et al. The study on optimization of streamlined process flow based

- on delmia quest simulation in an automotive production system [J]. *Procedia Computer Science*, 2017, 105: 191-196.
- [3] 周三玲. 基于 Witness 的生产线建模仿真与优化[J]. *物流工程与管理*, 2018, 40(11): 121-122, 76.
- [4] 刘顺涛, 钟衡, 隗成. 基于 Delmia/Quest 的飞机装配线参数化仿真研究[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2018(11): 130-133.
- [5] 郑顺水. 生产线仿真技术研究[J]. *兵工自动化*, 2004, 23(4): 22-23.
- [6] 徐林伟, 何洪, 孙丹. 钢轧生产线物流仿真建模研究[J]. *冶金经济与管理*, 2018(4): 28-31.
- [7] 王晓达. 基于 Flexsim 的 W 公司生产线生产排序仿真研究[J]. *山东工业技术*, 2018(23): 105.
- [8] MAHMOUD Heshmat, MAHMOUD El Sharief, MOHAMED El Sebaie. Simulation modelling and analysis of a production line [J]. *International Journal of Simulation & Process Modelling*, 2017, 12(3/4): 369-376.
- [9] 郝建豹, 许焕彬, 林炯南. 基于 RobotStudio 的多机器人柔性制造生产线虚拟仿真设计[J]. *机床与液压*, 2018, 46(11): 54-57, 81.
- [10] 屈琦, 贾晓亮, 郑植元, 等. 飞机部件装配生产线仿真研究[J]. *航空制造技术*, 2017(4): 54-59.
- [11] 王福吉, 贾振元, 王林平, 等. 生产线的设备规划布局设计与加工仿真的实现[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2007(9): 96-99.

收稿日期: 2019-03-13

(上接第 52 页)

4 结语

1) 采用化学镀镍的方式对 Al_2O_3 陶瓷进行表面金属化预处理, 成功得到致密均匀、形态为胞状突起的化学镀镍层, EDS 分析表明化学镀镍层为 Ni-P 非晶与微晶的混合物。

2) 在不同温度下采用 6061 铝合金烧结封接 $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{N})$ 陶瓷, 接头紧密无缺陷, 烧结铝合金较为致密, 6061 铝合金和 Al_2O_3 陶瓷结合处过渡自然, 无裂纹、孔洞等微观缺陷, 二者紧密结合。烧结铝合金一侧表面整体呈现粗糙度较大, 接头界面分层明显。接头中 Al 与 Ni 原子发生扩散生成 Ni-Al 金属间化合物, 接头界面结构为 6061 铝合金/ $\text{Al}_3\text{Ni}/\text{Al}_3\text{Ni}_2$ /化学镀镍层/ Al_2O_3 陶瓷。

3) 随着烧结温度的升高, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{N})$ 陶瓷/6061 铝合金烧结接头强度也随之升高, 最大可达 15.4 MPa, 且进行陶瓷表面化学镀镍后, 6061 铝合金烧结封接 $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{N})$ 陶瓷接头强度大于直接封接 Al_2O_3 陶瓷接头强度, 接头断裂于镍铝扩散反应区。

参考文献:

- [1] 闫学增, 林文松, 方宁象, 等. 金属封装陶瓷复合材料制备方

法的研究进展[J]. *轻工机械*, 2015, 33(6): 102-105, 110.

- [2] 张笑, 吕令涛, 杨建锋, 等. 封接工艺对陶瓷-金属接头组织和力学性能的影响[J]. *稀有金属材料与工程*, 2013, 42(1): 145-148.
- [3] 宋启良, 胡振峰, 杜晓坤, 等. 非金属表面化学镀覆的研究现状[J]. *电镀与涂饰*, 2019, 38(3): 125-131.
- [4] 任重, 杨磊, 梁田, 等. 钎镍铜合金在陶瓷-金属封接中的应用[J]. *真空电子技术*, 2017, (5): 43-45.
- [5] HOU L, LI B C, WU R Z, et al. Microstructure and mechanical properties at elevated temperature of Mg-Al-Ni alloys prepared through powder metallurgy [J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2017(9): 947-953.
- [6] 牛丽娜, 杜少勋, 张磊, 等. 国产 WCu 热沉与氧化铝陶瓷匹配封接研究[J]. *河北省科学院学报*, 2018, 35(1): 46-51.
- [7] M.B. Uday, M.N. Ahmad Fauzi, H. Zuhailawati, et al. Effect of welding speed on mechanical strength of friction welded joint of YSZ-alumina composite and 6061 aluminum alloy [J]. *Materials Science & Engineering A*, 2011, 528(13): 4753-4760.
- [8] 王义峰. 氧化铝与镍铝合金表面生长晶须及钎焊接头组织与性能[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

收稿日期: 2019-08-23

(上接第 59 页)

1) 无叶扩压段长度对叶片扩压器流场产生很大影响。无叶段越长, 气流流入叶片时气流角变化越大, 叶片扩压器性能越低。

2) 无叶扩压段内气流角变化在主流区内先增大后减小, 在附面层区内受边界条件影响先减小后增大。但气流角变化不受进口马赫数和结构尺寸影响。

3) 无叶扩压段长度适应范围选定在进口附面层受边界条件影响范围之外, 且主流气流角与进口相差不大的区域, 无量纲长度范围为 0.47~0.93。

参考文献:

- [1] 党政, 席光, 王尚锦. 叶片安装角对动/静叶排内部非定常流动的影响[J]. *工程热物理学报*, 2002(3): 319-322.
- [2] KIM H W, PARK J I, RYU S H, et al. The performance evaluation of variations of diffuser geometry of the centrifugal compressor

in a marine engine (70 MW) turbocharger [C] // *ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea and Air*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2008: 447-454.

- [3] 夏树丹, 张霞妹, 刘志远. 三种离心叶轮超声扩压器性能对比分析[J]. *航空科学技术*, 2018, 29(4): 9-17.
- [4] 初雷哲, 杜建一, 汤华. 计及几何参数变化的离心压气机特性分析[J]. *工程热物理学报*, 2006, 27(3): 405-407.
- [5] 初雷哲, 杜建一, 黄典贵, 等. 离心压气机叶片前缘几何形状对性能的影响[J]. *工程热物理学报*, 2008, V29(5): 767-769.
- [6] ANISH S, SITARAM N. Computational investigation of impeller-diffuser interaction in a centrifugal compressor with different types of diffusers [J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2009, 223(2): 167-178.

收稿日期: 2019-02-26