

面向作业车间的调度系统研究与实现^{*}

Research and Implement of Production Scheduling System in Workshop

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 唐欣欣 何卫平 和延立 董蓉 常仕军

[摘要] 通过对航天某厂生产管理现状的分析,针对该厂计划层控制层相互脱节,生产管理缺乏过程监控手段等问题,提出了面向作业车间的生产调度系统的设计思想,详细介绍了该系统的功能模块以及实现系统的关键技术,并开发了较为实用的生产调度系统。通过图形化的生产计划制定和调整,并基于 workflow 实时控制和管理从计划下达到成品完工全过程,极大地提高了计划编制效率,实现了对生产过程的规范和监控,以及异常情况的实时反馈和快速响应。

关键词: 甘特图 生产调度 过程监控

[ABSTRACT] By analyzing the characteristics of production management in an enterprise of spaceflight, especially the scheming-section is disconnected from command-section, less measures of process-supervision are used for production management, the design scheme idea of production scheduling system in execution workshop is discussed, the function modules and the realizing key technologies are introduced in detail. Furthermore, an applied archetypal system is opened up. This system adjusts or sets down production scheduling through integrated graphical interface and realizes real-time control with the whole process from plan-putout to finished product by use of workflow. It improves planning rate hugely and realizes criterion and control of production-process and real-time feedback and response of abnormality.

Keywords: Gantt chart Production scheduling Process supervision

生产计划与调度是企业提高生产效率的重要手段,它的任务就是“如何安排加工作业的顺序并合理地分配目前有限的制造资源从而使加工作业在合理的时间内加工完成”,良好的生产调度能够有效解决生产过程中的干扰,缩短产品在车间的流动时间,减少在制品库存,保证交货时间,是实现先进制造和提供生产效益的基础和关键^[1]。

^{*} 国防基础研究资助项目(B2720060292);国家自然科学基金资助项目(50605051);国家自然科学基金资助项目(50505039)。

目前在对车间计划调度问题的研究上,主要集中在算法策略方面,如遗传算法、人工神经网络、蚂蚁算法等,但由于车间计划调度问题属于典型的 NP-hard 问题,伴随着工件和加工设备数量的增多,求解最优解时时间成指数级增长,致使算法求解最优解存在搜索效率的问题^[2-3]。而且,在进行数学建模时已经对实际环境做了大量的简化,如进行了以下假设:(1)被调度的工件集合是确定的;(2)工件的加工时间是确定的,并且在安排计划时全部工件都已到达;(3)加工工件的机器是连续可用的^[4]。实际上,车间的生产环境却是充满了各种不确定因素,大量问题会随机发生,如紧急生产任务的到达,加工设备发生故障等。这些频发的随机性事件极度干扰了由算法排序得到的作业计划的正常执行。所以通过算法解决生产计划调度问题只具有理论探索意义,无法满足实际生产的需要,很难真正实现为一个实用的系统。

航天某厂是型号研制和批量生产任务的重点承担企业,近年来,随着批产任务的增加,产品年产量不足的问题凸显,车间生产效率成为制约生产能力的瓶颈。本课题针对其数字化生产车间信息化程度较低、计划层控制层相互脱节等问题,着眼于优化车间生产管理,提高车间生产效率,以车间现有生产模式为基础,设计了一个面向作业车间的调度系统。该调度系统注重实用性,采用航天企业普遍实行的手工排产,基于可视化技术在甘特图上进行计划制定,并运用 workflow 技术对异常情况实时反馈和快速响应,根据实际情况对计划进行优化调整,使得计划能实时有效地指导车间生产,提高车间的生产效率。目前本系统已在实际中投入使用。

1 车间生产情况综述

1.1 车间组织结构

航天某厂数字化车间采用三级管理模式:车间/工段/班组。其中,车间层接收车间生产计划,分解成月计划下发至工段,工段层负责工序级的生产派工和日常生产的监督管理,班组负责产品的生产。以第二制造部(二工段)为例,车间的组织结构如图 1 所示。

1.2 车间现有计划调度流程分析

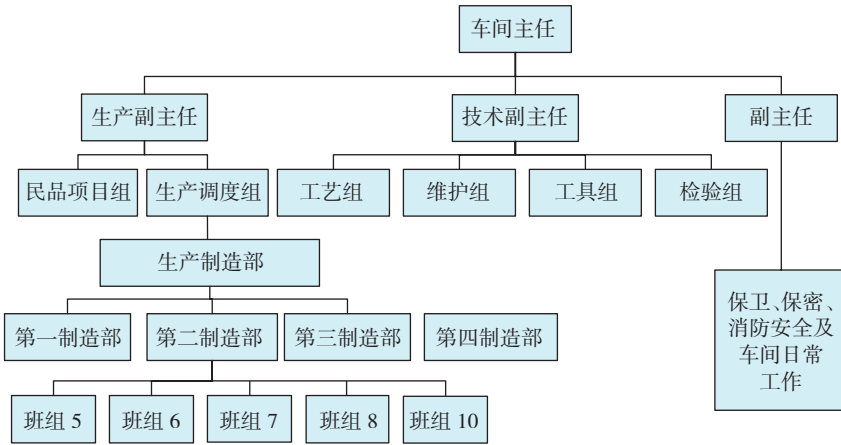


图1 车间组织结构
Fig.1 Workshop structure

在生产车间管理中,计划调度是生产单元的工作核心,计划是企业赖以实现管理目标的重要基础和保障。航天某厂数字化车间计划调度的现行流程如下。

(1) 生产任务的下发。

生产处以生产任务派工单的形式向车间下发主生产计划。生产任务派工单是针对固定批量的计划,任务品种繁多,时间跨度较长,是车间主要的生产任务。车间计划员接收生产任务派工单,参考工艺流程、生产准备情况、生产进度、交货期等信息,同时考虑来自车间的由于各类生产扰动造成的生产完成期变化的情况,综合之后制定车间月度生产作业大纲。再结合各工段的生产特征进行工段月度生产作业计划大纲的制定,并落实分派到各工段。

(2) 工序级计划制定。

工段月度生产作业大纲是批次级的,没有精确到批次的各个生产工序。工段长接收到月度生产作业大纲后,根据生产准备情况、设备情况、工人的经验、生产能力等进行工序级详细作业计划的制定,并按照计划在某个时间将批次的首道工序任务下发至某台设备(同时下发派工单),工人接收到任务后,按设备任务顺序列表进行加工。

(3) 生产调度。

按主生产计划进行工艺文件、工装等生产准备,并按批次开具质量控制卡。质量控制卡用于记录工人加工情况和工序检验信息。零部件开始加工后,每道工序完工后必须进行检验,检验完成后检验员通知工段长,由工段长决定是否进行下道工序的派发。当生产加工过程中出现异常时,由工人通知工长进行协调和处理。

2 系统模块组成及主要功能

结合车间现有组织管理结构和业务流程,本系统主

要提出了以下4个功能模块:作业计划管理、过程管理、基础数据管理和信息统计查询。各模块之间的关系及详细功能划分如图2所示。

(1) 基础数据管理。

基础数据包括工时定额、产品工艺、生产日历、设备信息和数据库等信息,是编制各级计划的必要数据信息。基础数据管理实现系统基础数据的输入与维护,为企业各部门提供准确的基础数据,避免重复录入造成的数据不一致。其主要实现的功能包括工时定额的录入、修改、删除;工

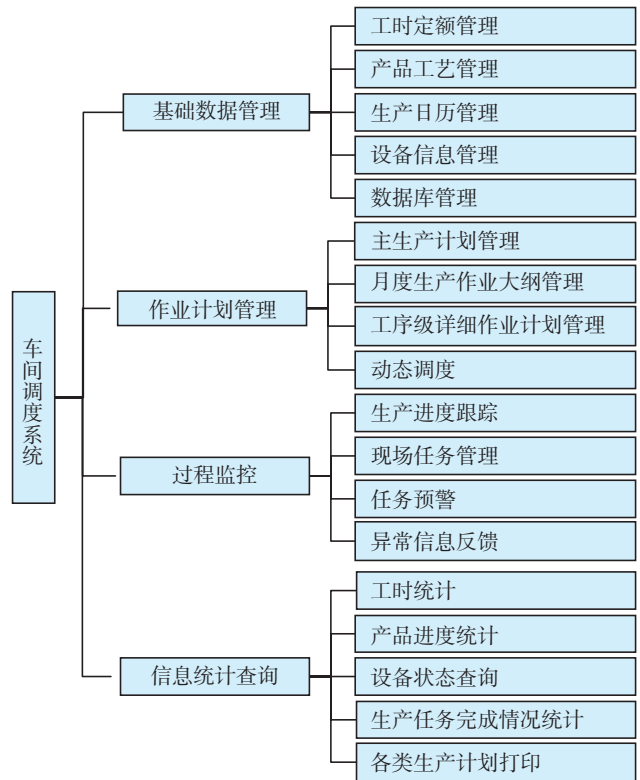


图2 系统功能结构
Fig.2 Function structure of system

时定额制定与分类统计;实现生产日历的输入、查询、统计及维护;由于车间现有设备管理系统等系统已投入使用,所以要实现车间计划调度系统与设备管理系统的集成,从设备管理系统读取设备能力负荷信息。

(2) 作业计划管理。

主要功能模块包括主生产计划管理、对车间/工段月度生产作业大纲、工序级详细作业计划的编制与调整。其功能是实现了对生产任务进行均衡与优化,生产能力分析以及作业计划的编制、调整。

车间计划员分解主生产计划,生成车间月度生产作业大纲,进而制定工段月度生产作业大纲。在工段月度生产作业大纲还未下发的前提下,计划员可对其进行添加、修改和删除等操作。工段月度生产作业大纲下发至工段后,工段长在甘特图的基础上进行工序级详细作业计划的制定、修改,确定工序的加工设备、工序开始时间、结束时间。同时实现对生产中的异常扰动的响应处理,对计划进行实时调整,实现生产的动态优化调度。

(3) 过程监控。

其功能是监督生产中的各种情况,反馈计划执行情况,进行工序级、工段级、车间级计划的进度监控,并根据任务交货期的时间要求,对任务进行预警提示,实现车间在制品、设备状态的实时监控和管理,实现异常信息的实时反馈。

通过 workflow 建立信息反馈机制,工人通过刷卡登陆系统,在触摸屏的基础上进行加工前反馈、完工反馈,检验员进行检验信息反馈。针对生产过程中的异常情况相关人员可通过系统实时进行异常信息反馈,将异常信息提交给检验部门、调度组等相关部门进行处理,实现生产现场的动态调度。

(4) 信息统计查询。

根据采集到的主要生产环节的生产进度、设备状态、能力状态和负荷状态等信息,提供对零件加工进度、生产任务完成情况、生产现场在制品、废品和工时等信息的查询统计,便于有关管理部门进行生产过程的有效控制。同时提供报表打印功能,实现对生产计划等表单的打印。

3 调度系统关键技术研究

3.1 B/S 模式下的可视化排产

对于工段长来说,计划制定及调度的结果显示要求简单明了、方便查询,并能提供每道工序的基本加工信息,而甘特图正可以满足需要。它将某些已完成的工作和即将要做的工作绘制在一条时间轴(横轴)上,将承担各项工作的人或设备绘制在纵轴上^[5],以简洁直观的图形方式图形化和量化了生产调度算法的复杂数据,使车间的计划安排情况一目了然,成为管理人员了解全局、安排车间进度的有效工具^[6]。目前国内大多数计划调度系统的可视化排产均是基于 C/S 模式下的甘特图实现的。这种模式存在安全性低、客户机程序肥大、维护工作困难等问题^[7]。本课题基于车间的生产模式和实际情况,研究并实现了 B/S 模式下的甘特图排产。

本系统实现了 2 种类型的甘特图:按设备生成的甘特图和按任务生成的甘特图。按设备生成甘特图的横轴是时间轴,纵轴是设备列表,按任务生成甘特图和按

设备生成甘特图的实现原理其实是大同小异的。甘特图的每项任务(即每道工序)均由程序内部控件生成,工段长可以通过鼠标拖动的方式将工序从列表中拖入甘特图进行计划的制定,也可以在根据车间生产的生产情况对计划进行调整时,直接拖动甘特图中已有的各道工序进行修改。同时为便于计调人员的浏览,系统实现了给图形赋予颜色值,按照状态进行了颜色区分(状态分为:等待、正生产、加工完成、检验完成、挂起,其中检验完成标志一道工序生产完成)。对于同一零件来说,当鼠标点击该批次的任何一道工序时,该批次的所有工序进行高亮显示。同时由于甘特图是对计划的图形化显示,缺乏零件的精确信息,因此实现了当鼠标停放在某到工序上时,显示该工序的基本加工信息的功能,包括任务编号、产品图号、零件名称、工序号、工序名称,开始时间、结束时间等。

为了保证甘特图一定后各项数据的准确性,重点解决了以下几个关键问题。

(1) 甘特图中工序干涉的判断。

甘特图移动中首先要确定甘特图添加或移动之后进度条的开始时间和结束时间。然后判断在工序时间上和在设备的加工时间上是否存在冲突。每个批次任务的各个工序在时间上是严格顺排的,因此在甘特图上添加或者移动某个工序时,一定要保证同一批次任务中工序之间的加工顺序,同时还要保证同一台设备在同一时间不能同时加工 2 道工序,只能一道工序加工完之后,才能开始加工下一道工序。

(2) 甘特图最小时间单位的更改。

根据车间生产需求,提供多种时间精度的显示,通过下拉列表框的选择来更改最小时间单位,可供选择时间单位:0.5h、1h、班次、日、周、半月、月。1 日可能是 2 个班次或 3 个班次。2 个班次的时间:8:00~14:00、14:00~20:00;3 个班次的时间:0:00~8:00、8:00~16:00、16:00~24:00。在甘特图上可通过颜色的灰度不同将工作时间与非工作时间区别开。

3.2 基于 workflow 的生产信息实时反馈和快速调度

workflow 管理联盟给 workflow 定义为:workflow 是业务过程的计算机实现,是一类能够完全或部分自动执行的业务过程,根据一定的过程规则,文档、信息或任务能在不同的执行者之间进行传递和执行,以完成整个业务目标或者对整个业务目标的实现做贡献。

本系统采用 workflow 技术对生产过程进行监控管理,建立基于角色的 workflow 访问控制模型,从派工开始对零件的加工信息进行实时采集,对加工过程进行控制监管。在 workflow 模型的控制下,系统自动触发零件下一工序的加工活动,驱动在制品、工装刀具、文档等在加工工

位、检验部门进行流转。并通过设置异常反馈接口,利用 workflow 引擎实时反馈异常活动,而生产异常活动会触发相应的异常处理流程,在引擎控制下自动将异常情况提交给相关工艺人员、质检人员,使得车间异常得到及时有效处理。其优点是响应速度快、及时准确,可扩展性强,可以根据业务需要实时调整 workflow 模型。

为实现生产信息的实时反馈和快速调度,重点解决了以下问题。

(1) 建立基于角色的 workflow 访问控制模型。

在该厂实际生产业务详细调研的基础上,利用中间件的工作流建模工具进行业务流程建模,将零件生产的业务流程通过软件进行建模仿真。根据业务流程分析,建立制造主流程、制造子流程、动态调度流程(包括设备故障处理、生产准备不足处理、进度异常处理等)、不合格品处理流程等 4 类流程模型。其中制造主流程 workflow 模型用于对零件的工序流向控制和各类异常进行走向控制,如图 3 所示。

该流程在工段长进行派工后自动启动,以批次为单位进行实例化。流程启动后依次发起各道工序的制造子流程,子流程负责控制每道工序的制造过程,实时采

集进度信息以及进行异常信息的实时反馈。当生产过程中出现扰动,系统会根据制造子流程传递的异常类型参数进行路由判断,相应自动启动动态调度流程,根据设备故障、进度异常、生产准备不足等情况进行不同的处理。对质量超差情况,系统启动不合格品处理流程。

(2) 利用 workflow 引擎实现流程驱动和信息传递。

根据业务需求建立接口,将这些接口映射到流程模型的相应节点,以完成节点的业务功能,利用中间件的工作流引擎,解释制造过程的过程模型,驱动流程所需的信息在不同的角色之间流转。如在制造子流程中,设置生产扰动的反馈接口,利用 workflow 引擎实时反馈异常信息,而生产异常活动会触发相应动态调度流程,并在引擎控制下自动将异常情况提交给相关调度、质检人员,驱动在制品、工装刀具、文档等信息在检验部门、调度组进行流转,实现数据的实时传递和动态更新,使得车间异常得到及时有效处理,实现实时、快速的动态调度。

3.3 与设备管理系统的集成

在传统的调度理论研究中,生产调度往往被作为孤立的研究对象。然而从实际应用的角度来看,生产调度

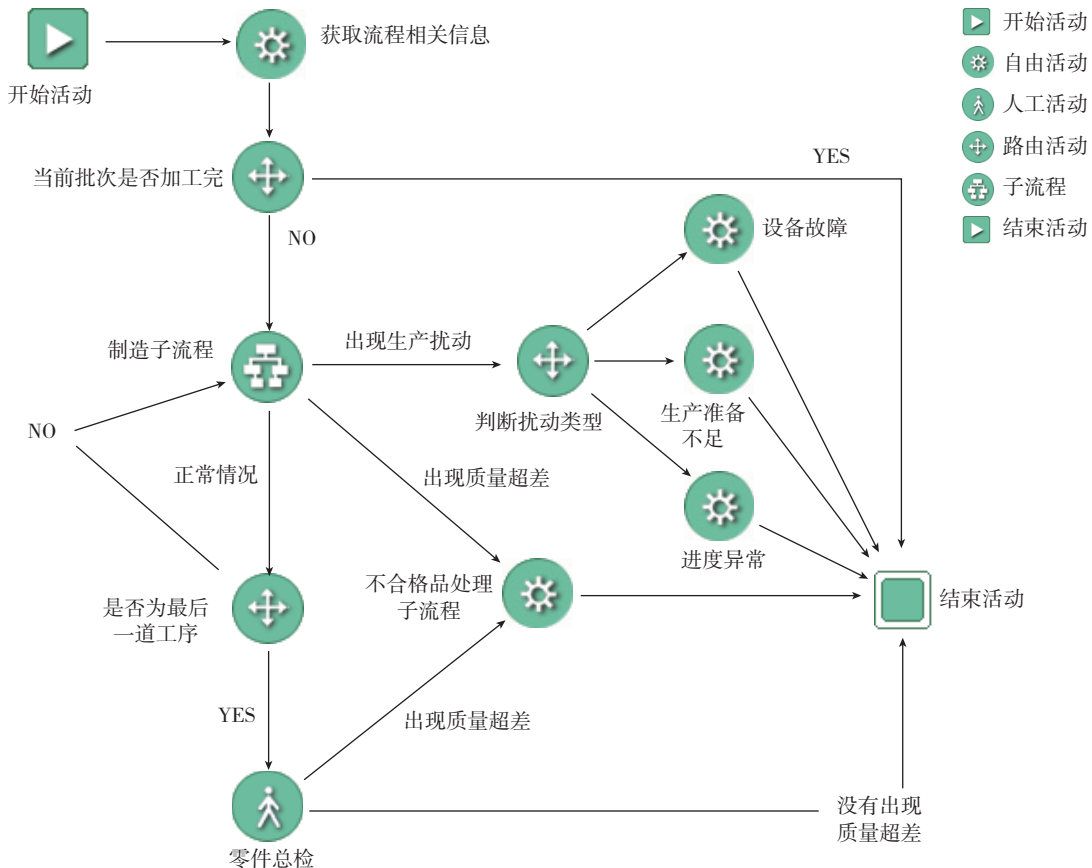


图3 制造主流程 workflow 模型
Fig.3 Workflow model of main manufacturing flow

功能只有与其他应用系统有机地集成在一起才能真正发挥作用。系统集成的本质是信息的集成,目前该厂现有设备管理系统,实现二者的集成,相关操作人员可以从设备管理系统读取设备状态、能力状态和负荷状态等信息,为计划制定、动态调度、过程管理等生产决策提供可靠的依据。建立多视图、多层次、可扩展以及制造资源全生命周期的动态模型是集成的关键,模型定义能够通过用户界面简单操作融合外部不同应用的领域视图,将多个独立的数据库在逻辑上变为总体库的多个应用视图,保证信息的一致性。

4 系统实现

本系统在 J2EE 平台上,基于浏览器/服务器(Browser/Server, B/S)模式,采用了 3 层体系结构进行开发。以 Eclipse 作为开发环境,采用 Oracle 9i 为后台数据库,Weblogic 9.2 为应用服务器平台。客户端操作系统为 Windows XP/2000,浏览器采用 IE6.0。系统中工序级计划的制定是在甘特图上进行的,工段长通过拖动鼠标将批次的各道工序依次拖入甘特图中相应的设备上,工人登陆系统后会在待领任务列表上实时看到新派发的任务。工序级详细计划制定的界面如图 4 所示。

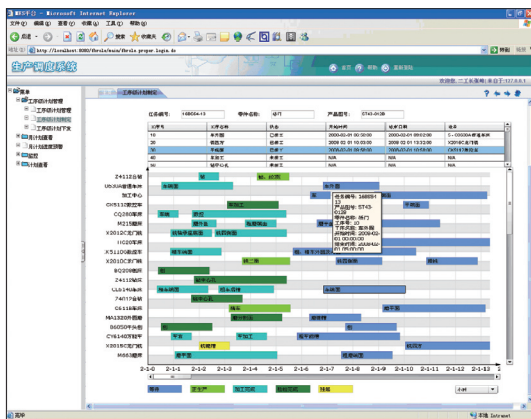


图4 工序级详细计划制定界面

Fig.4 Establishing interface of working procedure class plan

5 结论

生产计划调度作为提高生产效率的重要手段,一直是航天企业生产计划和作业计划的重点和难点。本课题结合车间现有生产模式和车间数字化生产线的的需求,提出了一种具有较高实用性的面向作业车间的车间生产调度系统。可针对不同优化目标,基于甘特图对工序级详细作业计划进行制定和实时调整,极大地提高了计划编制的效率,并基于 workflow 提供了实时信息交互机制,对生产过程进行管控和管理,对复杂生产环境的各类事件实现实时反馈和快速响应,保证生产的稳定

运行,也使整个生产流程有序、受控,提高了生产产量和计划兑现率。本系统操作方便简单,人机界面友好,且便于扩充,既可以作为一个独立的车间生产管理系统运行,也可以与上层的 ERP、MRP II 等管理系统进行信息关联,为其提供车间生产数据。目前已经成功在企业实施,并得到应用人员的认可。与车间设备管理系统集成的实现和完善,将是本系统后续研究的方向。

参考文献

- [1] 周小莉. 基于 MES 的生产动态调度子系统的研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [2] 薛炳良, 段香丽, 陈冬. 先进制造车间生产计划的甘特图显示方法研究. 成组技术与生产现代化, 2003, 20(4): 23-26.
- [3] 李岐强. 短期生产计划中产品完成期的动态决策. 系统仿真学报, 2000(12): 1-5.
- [4] 赵伟, 韩文秀. Job Shop 类型柔性制造系统调度问题的研究. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2000, 33(2): 227-230.
- [5] 王睿智. 基于规则的单件制造业生产调度计算机优化系统[D]. 辽宁: 鞍山钢铁学院, 2002.
- [6] 何霆, 马玉林. Job Shop 调度研究现状及发展趋势. 机械制造, 2000(10): 19-21.
- [7] 范路桥, 常会友, 朱旭东. 作业调度问题研究. 现代计算机, 2004(5): 21-25.

(责编 良辰)

(上接第 68 页)

加工过程中机床、刀具以及工件 3 方面约束条件,在 VC 平台下开发了 OptiCut 仿真优化系统。利用该系统以镍基高温合金 GH4169 为对象,进行试验验证。结果表明,采用 OptiCut 对难加工材料 GH4169 铣削参数进行优化,在以材料去除速率 MRR 为优化目标时,可在保证刀具正常使用寿命条件下提高材料去除速率 12%~378%,从而显著缩短加工时间。

参考文献

- [1] 张保国. 基于可重组模型的数控铣削参数优化系统研制[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2007.
- [2] Altintas Y. Manufacturing Automation—Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [3] 李忠群, 刘强. 基于动力学仿真技术的 TC4 整体叶轮铣削参数优化. 航空制造技术, 2008(24): 80-85.
- [4] 王先逵, 艾兴. 机械加工工艺手册, 第 1 卷—工艺基础卷. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 刘强, 尹力. 一种面向数控工艺参数优化的铣削过程动力学仿真系统研究. 中国机械工程, 2005, 16(13): 1146-1149.
- [6] 曹四详. GH4169 零件加工技术研究. 内江科技, 2008(11): 160-161.

(责编 岩石 良辰)