

数控设备综合效率提升的分析与应用

田东缙，宋文

中国航发西安动力控制科技有限公司六〇分厂 陕西西安 710077

摘要：主要以燃油加力泵中的箱体类零件为研究对象，从生产计划、生产准备、工序切换和程序调试等多环节对其进行跟踪和分析，确定影响数控设备综合效率的几个关键因素，制定相应的方案，进行数控设备综合效率提升的探索与实践，确保了航空产品加工的质量和效率。

关键词：数控设备；综合效率；非计划停机；计划停机；工装配送；优化程序；快速计量

1 序言

随着数控技术的广泛应用，为了更好地保证产品的加工质量和精度，航空企业大量引进数控设备，来保证产品加工的稳定性和可靠性。为了充分释放数控设备高效加工的特性，各制造企业都在研究如何提升数控设备的产出效率。

航空燃油加力泵中的箱体类零件具有形状复杂、加工周期长等特点，随着型号任务的增加，其产值占比越来越高。为了避免丢失订单，我分厂不断提高数控设备加工效率，以保证产品加工的质量和稳定性，降低内部损失和缩短机内加工时间，确保数控设备的产出率持续增长，满足客户日益增长的需求。

2 问题分析

统计箱体零件加工的重点设备DMU60P、DMU80P连续20个工作日316h的日常工作数据，通过观察与工作数据同步的视频，分析停机中的1160条信息，发现影响设备停顿的时间共189.8h，其中停机损失包括换型、测量、生产准备和设备故障等，占总停机损失的60.1%；速度损失包括打点检查毛坯、测量、吹铝屑、倒压板和程序运行等，占停机损失的28.3%；计划内停机包括保养、交接班和开会生产安排等，占整个停机损失的11.5%。设备停机损失具体数据见表1，设备停机损失分析如图1所示。

参考文献：

- [1] 王文理，康永峰. 工艺在智能制造生产线设计与运行控制中的重要作用[J]. 航空制造技术，2016（16）：48-51.
- [2] 刘强. 数控机床发展历程及未来趋势[J]. 中国机械工程，2021，32（7）：757-770.
- [3] 张曙. 智能制造与i5智能机床[J]. 机械制造与自动化，2017，46（1）：1-8.
- [4] 李晓君，刘战强，沈琦，等. 基于加工特征的整体叶盘数控编程与加工参数优化[J]. 组合机床与自动化加工技术，2019（3）：153-156.
- [5] 孙元亮，马文茂，张超，等. 面向数字孪生的智能生产线监控系统关键技术研究[J]. 航空制造技术，2021，64（8）：58-65.
- [6] 曹旭妍，徐家忠. 基于UG和VERICUT的航空薄壁件数控加工与仿真研究[J]. 模具技术，2021（4）：33-37.
- [7] 宋庭新，李轲. 基于OPC UA的智能制造车间数据通信技术及应用[J]. 中国机械工程，2020，31（14）：1693-1699.
- [8] 王忠平，徐鹏. 数控加工中的在机检测技术研究[J]. 装备制造技术，2017（6）：226-229.

MW 20210825

表1 设备停机损失具体数据

行标签	时长/min	损失类型	损失代号
测量	863.4	停机损失	D
处理问题	7.8	停机损失	D
等待	37.2	停机损失	D
等待计量	267	停机损失	D
换型	2289	停机损失	D
设备故障	443.4	停机损失	D
生产准备	514.6	停机损失	D
调整	96.78	停机损失	D
保养点检	597.6	计划内停机	P
交班	67	计划内停机	P
开会	658.44	计划内停机	P
M0	1605.4	速度损失	S
装夹	1613.4	速度损失	S

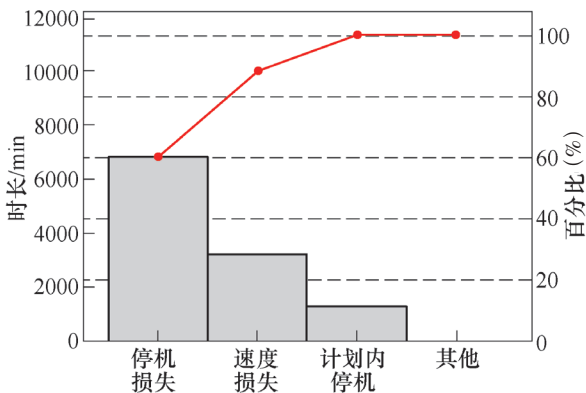


图1 设备停机损失分析柏拉图

3 解决措施

通过以上分析，可知要想提高数控设备的综合效率，首先必须减少设备的停机时间，其次还需提高主轴的有效使用时间和零件加工时的切削效率，并同时保证产品的合格率，具体实施的方法主要有以下几个方面。

3.1 提高设备的有效使用性

(1) 减少设备非计划停机等待时间 箱体类零件具有工序多、加工周期长的特点，复杂箱体的加工工序都在200道以上，加工时，经常会出现工序之间相互干涉而需要停机等待的现象。为了避免这种现象，必须对生产计划不断地细化。为此，根据现场的加工状态，每个星期以班组的形式，提前3天核对和调整生产任务，周计划安排流程如图2所示。利用此方法，可以实时细化生产计划，有效减少非计划停机现象的发生。

(2) 减少设备故障导致的非计划停机 设备是零件产出的基础条件，随着设备使用年限的延长，会出现不同程度的故障，为了减少故障的发生和降低维修的时间和频次，与设备部门联合，定期对数

控设备，按照TPM七步法（见图3）对设备进行保养。从源头提前对设备进行清理清洁，制定检查标准，及时预防和杜绝设备的“隐疾”，减少设备故障的发生率，提高了设备运行时间。

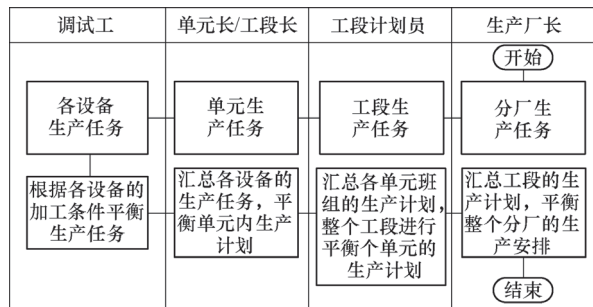


图2 周计划安排流程



图3 TPM七步法

3.2 减少准备时间

准备时间是指在零件切换过程中，准备夹具、刀具、程序、调试、计量和三检等所需的时间。这些步骤在切换过程中必须存在，只能降低和减少，不能彻底消除。通过对现场加工过程中进行统计分析，为了减少切换过程中的准备时间，需从以下几个方面开展工作，减少加工过程中的准备时间。

(1) 减少夹具准备时间 夹具是在加工过程中用于零件的定位和装夹的装置，可以有效地保证零件装夹的一致性和加工过程中的稳定性。传统夹具的专用性强，工序在切换过程中，首先需要对夹具进行压紧和找正，其次需要保证夹具与程序的高度统一，否则无法进行程序的使用，另外还需考虑夹具的装夹会不会存在加工的盲区和干涉的现象，这些现象都会导致夹具调整的时间特别长。

为了消除此类现象，通过了解夹具行业的发展方向，结合箱体本身加工的实际状况，利用零点定位系统，在加工箱体类零件的设备上，配备互换性和通用性强的底座，设定统一的加工零点，确保夹具在切换过程中，实现无差别切换（见图4），此举减少了夹具的准备时间，提高了夹具装夹的准确性。

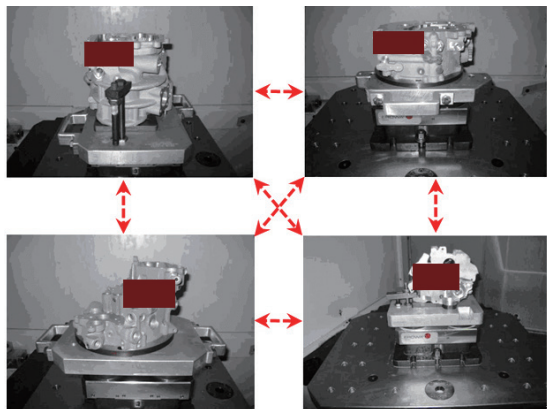


图4 无差别切换夹具

(2) 减少刀具准备时间 刀具是工业的“牙齿”，在加工过程中不可替代。箱体加工主要是孔系加工，由于被加工孔系标准化差，尺寸总会存在一定的差异性，导致所使用的刀具种类多，长短不一，工序在切换过程时，往往由于需要准备大量不同规格的刀具，造成刀具准备时间长，设备长时间停机等待。虽然现阶段已经实现刀具配送，但在实际的刀具切换流程中（见图5），刀具的切换时间占比相当大。据统计，箱体零件在切换过程中，刀具更替所占用的时间约120min。

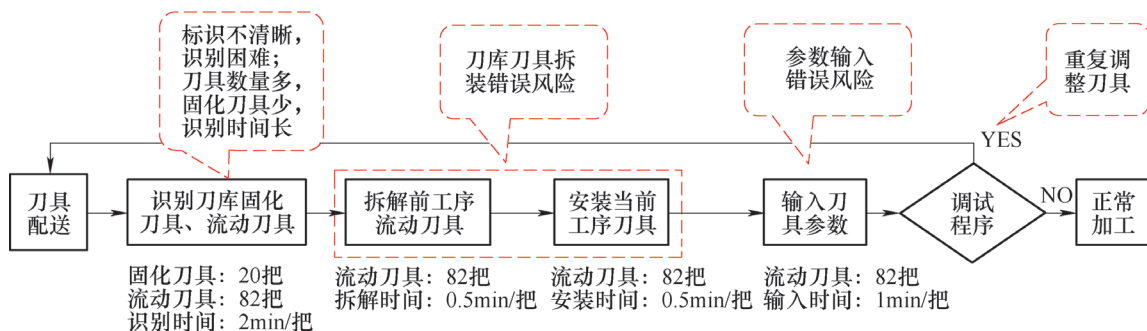


图5 刀具切换流程（改善前）

刀具切换时间=（流动刀具识别时间+拆解时间+安装时间+输入时间）×单工序平均流动刀具数量+重复调整刀具时间 $\approx 4\text{min} \times 25\text{把} + 20\text{min} \approx 120\text{min}$ 。

针对切换过程中刀具准备时间长的问題，根据设备所加工零件的工序，首先按照箱体的加工特征，对刀具进行优化选用，其次再根据所使用的刀具种类和使用频率，将所使用的刀具划分为I类、II类（I类刀具是指刀具的使用频率高，通用性强；II类刀具是指刀具的使用频率低，只适用于当道工序，专用性强），将I类刀具固化在设备中，不用更换，对于II类刀具，在设备旁建立二级刀具库，

并对二级刀具库中的刀具进行参数标记和寿命管理，刀具在使用时，直接从二级刀具库进行参数提取和刀具更换。按照改善后的刀具切换流程（见图6），刀具的替换时间明显缩减，原来刀具切换需要120min，现阶段只需25min。

工序刀具切换时间=（流动刀具识别时间+拆解时间+安装时间+输入时间）×单工序平均流动刀具数量 $\approx 2.5\text{min} \times 10\text{把} \approx 25\text{min}$ 。

(3) 减少程序准备时间 程序是控制机床运动轨迹，实现刀具按照轨迹进行切削的代码。零件在加工过程中，根据工序加工的尺寸要求，选用相应

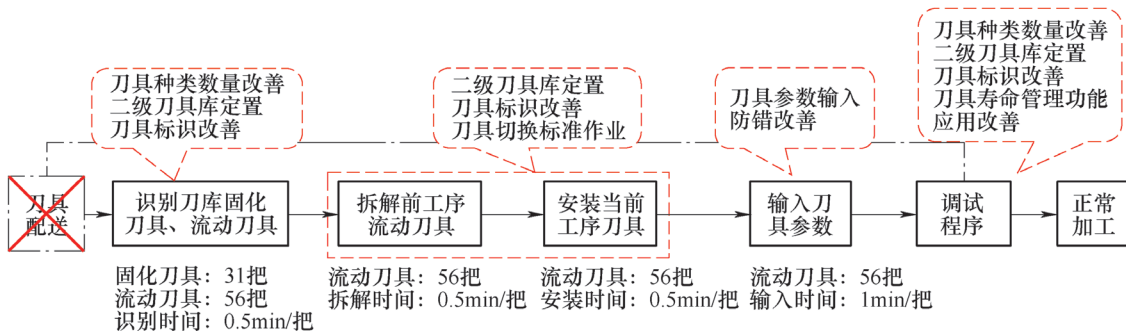


图6 刀具切换流程（改善后）

的代码。箱体加工主要是按照孔径、位置和形状等要求，选用不同的代码进行孔的钻削、铣削及镗削加工，保证产品的最终尺寸要求。对于箱体加工而言，常见的加工都是孔系加工，但是由于产品的差异性，每组孔系的尺寸和位置都存在一定的差异，因此，保证程序的准确性对产品的加工质量特别重要。为了减少程序编制、调用和应用的错误率，通过对首件加工零件进行全尺寸检查，检测合格后，按照程序固化流程（见图7）对程序进行固化，后续在程序使用时，通过分布式数控网络（DNC）将程序传输到所需要的加工设备上，可减少和消除程序编制的错误，提高产品加工的质量。

（4）减少计量等待时间 计量是检验程序正确

性的一种检测方法，主要用来检测加工工序中孔的位置和几何公差。由于箱体零件型面复杂，一次加工孔位较多，特别是带角度的双角度斜孔测量时，测量时间长，单工序测量时间240~480min。为了减少工序的测量时间，与检测人员进行商定，采用零点定位系统，将需要检测的零件连同托盘一起进行计量，计量人员通过数字化编程的方式，提前编制数字化检测流程（见图8）。测量时直接自动检测加工内容，快速输出检测结果，减少计量等待的时间。采用此方法检测零件的位置及几何公差，检测时间缩短为30~60min，检测时间缩短为原测量时间的12.5%~25%，效率提升4倍以上。

（5）减少三检的等待时间 三检是采用手工的

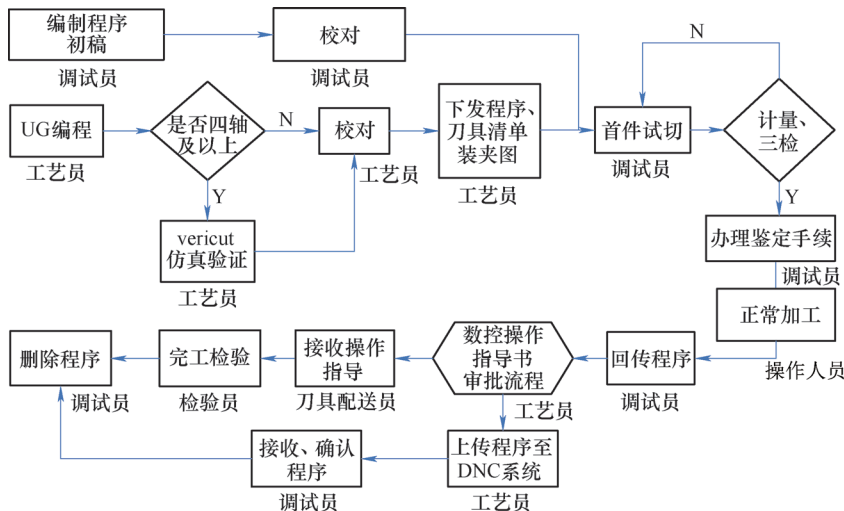


图7 程序固化流程

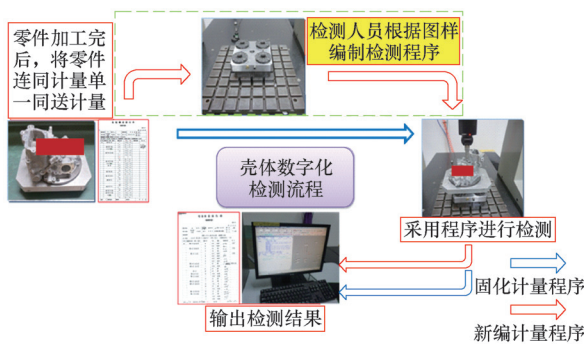


图8 数字化检测流程

方法，进行自检、校检和专职检测，三次检查加工过程中的孔径、深度、螺纹和形状等尺寸。箱体零件孔系内容复杂、尺寸多，平均一道工序的检测尺寸的数量有200~400个，工作量大，测量时间长，且需边测量边记录实际值，容易出现遗漏尺寸的现象，为了

确保测量尺寸的完整性，通过编制电子三检单（见图9），固化检测内容，可以消除尺寸遗漏现象。

a) 原三检单

b) 电子三检单

图9 三检单前后对照表

3.3 减少切削加工时间

箱体类零件加工可分为粗加工、半精加工和精加工三个阶段。据统计，箱体类零件加工中85%以上的加工主要由加工中心完成，随着产品数量增加，基于现有设备的加工条件和生产能力，根本无法满足产品增产的需求，究其原因，主要是因为单工序加工时间长，导致零件加工周期长。为了有效提高单工序加工效率，必须缩短零件的单工序切削时间，通过分析数控程序的运行步骤，首先需提高切削参数与刀具的匹配度，其次需减少程序中的空走刀，最后需减少加工过程中数控程序中的中断点（M0），这样才能保证加工过程的连续性，提高单件零件的加工效率，减少整个批次的加工时间，缩短零件的加工周期，具体操作方法如下。

（1）提高切削参数与刀具的匹配度 数控设备采用的刀具材料一般为硬质合金，硬质合金具有硬度高、刚性好和切削效率高等特点，但在实际切削过程中，却发现刀具与切削参数的匹配度低，切削效率低，造成产品加工过程中刀具切削过程的浪费，影响产品的产出。为了解决此类问题，根据航空材料的特点，与刀具厂家进行沟通，采用适合加工铝材料的切削参数，厂家推荐的进给量 f_z 为0.1~0.15mm/z，结合零件的加工方法，建立适合箱体零件的切削参数库，确保切削参数与刀具的匹配度，保证航空产品的正常产出。

（2）减少程序中的空走刀 分析现有的加工程序，发现数控程序在执行时，空走刀（刀具沿一定的切削轨迹运行完后，回到起始点，进行刀具更换）比较多。空走刀是数控加工过程中必须存在的动作，但会造成一定的动作浪费，常见的有换刀、进退刀、立卧转换和避让高点等动作，具体表现形式如下。

1) 换刀次数多。箱体类零件主要有孔系、槽、螺纹和型面等加工特征，传统的加工方法是按照逐个孔系加工的加工方法，逐个调用刀具，中间经常会出现刀具重复调用，造成刀具调用次数多。为解决此类问题，采用一把刀具调出后将所用能加工的部位全部加工，再进行刀具切换的方法。据统计，采用此方法可以减少换刀次数近30%，缩短加工时间10%以上。

2) 进退刀距离长。数控程序在编制时，进刀按

照快速移动（G0）的速度移动至加工面，再按照某线速度移动（G01）进行零件的加工，退刀是相反的过程。但分析零件的加工程序时发现程序中的进退刀安全距离太长，零件加工中存在移动浪费的现象，经过动作分析判断后，可以有效缩短安全距离，将安全距离由5~10mm缩短至1~2mm，这样就可以有效地减少移动浪费，提高零件的加工效率。

3) 立卧转换次数多。箱体零件加工时主要以五轴设备加工为主，加工过程中，由于斜孔系比较多，需要不断地变化主轴的姿态，而只有在卧式状态下才能换刀。加工过程中出现立、卧混合的现象，导致转换次数多而浪费加工时间。为了减少此类现象的发生，根据各工序加工的内容，将立、卧加工内容集中化，先卧式加工再进行立式加工，减少立、卧转换次数，缩短零件的加工周期。

（3）减少加工程序中的间断点 加工过程中为了更好地保证零件的位置尺寸，满足零件装配的需求，需要在程序中增加孔的位置校正功能，往往需要停机手工找正，找正时间长，停机等待多，造成零件加工时间长的现象。经过分析零件的加工顺序，调整零件加工过程中的M0，并通过使用测头自动找正功能（见图10），减少程序中的M0，保证零件加工的连续性。

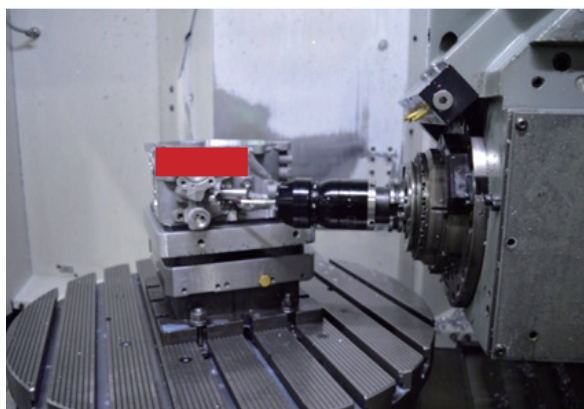


图10 自动找正

针对以上问题及采取相应的加工对策对加工的箱体零件进行程序优化，完成复杂箱体xxxx.02.001-6、xxxx-220-01、xxxx.02.002-2和xxxx-210-01（分别简称为箱体1、箱体2、箱体3和箱体4）中的23道工序的程序优化工作，工序加工时间明显减少（见图11）。单工序加工时间平均缩短27.23%，优化后的程序加工效率高，且加工尺寸可靠，质量稳定。

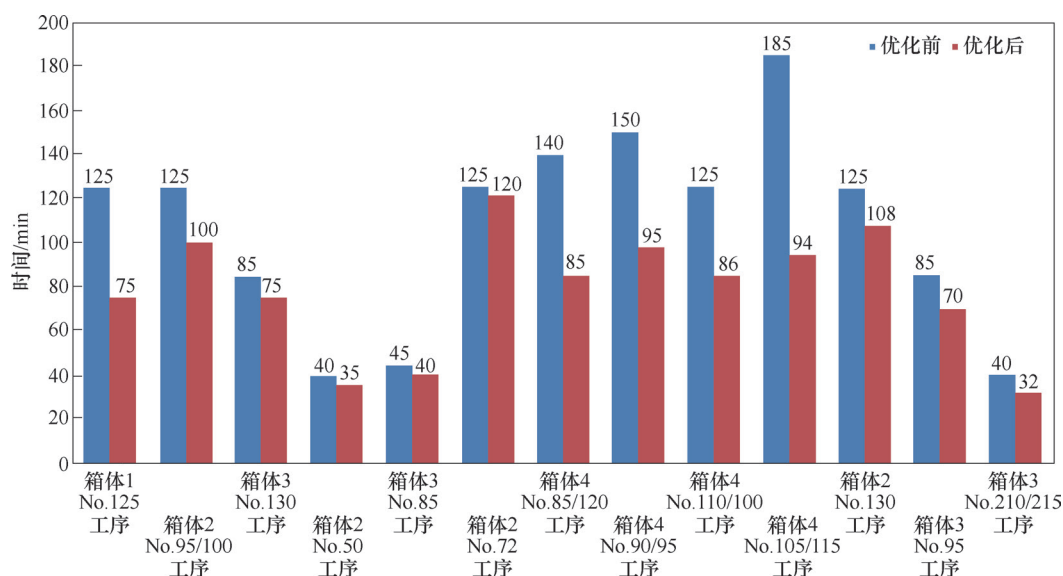


图11 加工时间对比

4 结束语

通过分析数控设备在加工航空产品箱体类零件加工过程中的速度损失和停机损失，制定改进方案，提高设备的有效使用性，减少准备时间，减少切削加工时间等多种手段，提升箱体类零件的产出率，保证任务的顺利完成。从2014年至今，在设备台数及人员不变的情况下，零件的交付台数从每年159台增长至每年285台，产能提升79.2%。

参考文献：

- [1] 王灵运. 碎片化保养在设备管理中的应用[J]. 设备管理与维修, 2015 (5) : 26-29.
- [2] 杨悦欣, 任工昌. 设备综合效能分析系统的框架研究[J]. 制造技术与机床, 2019 (1) : 166-168.
- [3] 梁敏, 常朝稳. 虚拟化环境中TPM对象访问授权协议分析与改进[J]. 小型微型计算机系统, 2012 (7) : 1450-1456.
- [4] 陈思涛, 温良. 基于零点定位系统缩短数控停机时间[J]. 制造技术与机床, 2015 (11) : 40-42.
- [5] 路婷婷, 周丽娟. 离散数控车间刀具信息管理系统研究[J]. 科技视界, 2019 (2) : 206-207.
- [6] 沈渤飞, 牛兴华, 赵锐, 等. 刀具轨迹优化及多轴参数编程加工仿真[J]. 制造业自动化, 2014 (11) : 9-12.
- [7] 韩健, 吴海涛, 何昊, 等. 基于在线测量的盘轴类零件镗铣加工编程技术研究[J]. 航空动力, 2019 (6) : 31-33.

- [8] 李楠, 王洋. 基于条码的生产现场质量管理体系研究与开发[J]. 成组技术与生产现代化, 2013 (12) : 42-49.
- [9] 张海鹏. 数控车床复合循环指令的起点设置[J]. 机械工程师, 2012 (3) : 80-82.
- [10] 左小琼, 贾建平, 雷娟. 带自校正功能的热熔断体自动检测系统的设计[J]. 时代汽车, 2015 (10) : 62-63.
- [11] 张伟, 梅宏. 面向特征的软件复用技术——发展与现状[J]. 科学通报, 2014, 59 (1) : 21-42.

MW 20210820

欢迎关注：金属加工在线

“金属加工在线”汇聚新闻、技术、产品与市场等内容，纸媒、数字媒体、活动、图书与服务五位一体，是该领域一流的信息服务平台和推广服务平台。

更多信息和专题技术
早知道 请扫描



media.mw1950.com