

文章编号:1000-582X(2009)11-1262-06

机床再制造综合测试与评价支持系统的开发及应用

曹华军,杜彦斌,刘 飞

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘 要:结合废旧机床再制造实践,设计并开发了一套机床再制造综合测试与评价支持系统。该系统主要由废旧机床综合测试与评估、机床再制造方案设计以及方案的综合评价优选 3 个功能模块组成,可对废旧机床进行综合测试与评估,形成机床再制造的设计方案,并从技术性、经济性、资源性及环境性等方面对机床再制造方案进行评价优选。通过在某机床再制造企业车床再制造实践中应用,验证了系统的实用性。

关键词:机床;再制造;再设计;支持系统

中图分类号: TG502.7

文献标志码: A

Development and application of comprehensive testing and evaluation system for machine tool remanufacturing

CAO Hua-jun, DU Yan-bin, LIU Fei

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: Based on the practice of machine tool remanufacturing, a software system is developed to support the processes of comprehensive testing and evaluation for machine tool remanufacturing. The software is composed of function models of comprehensive testing and analyzing, redesign and evaluation-based optimization. Based on the test of used machine tools, the redesign scheme of machine tool remanufacturing is presented. In addition, the scheme is evaluated in terms of technology, economy, resource consumption and environmental impact. An example of the used lathe remanufacturing is given to illustrate the application of the system.

Key words: machine tools; remanufacturing; redesign; support system

“支持废旧机电产品再制造”是中国加快发展循环经济及建设节约型社会工作中明确的工作重点之一。废旧机床是一种典型废旧机电产品,并具有量大面广、保有量丰富、可重用部件资源回收效率高、回收价值大及节能节材效果明显等特点^[1]。机床再制造区别于传统的维修,是一种基于废旧机床资源循环利用的机床制造新模式,对于回收重用及技术提升废旧机床具有重要意义。目前国际上许多著名

的机床制造企业都在开展机床再制造业务^[2-5],如:德国吉特迈集团股份公司、美国辛辛那提机床公司等,并出现了一批专业的机床再制造商,正在形成一种新兴的机床再制造服务业。中国是世界上机床保有量最大的国家,达到 550 万台以上。但中国机床整体水平仍然比较落后,其中役龄 10 a 以上的机床占 60%以上,这些机床在未来 5~10 a 都可能陆续面临大修提升甚至功能性报废或技术性淘汰,从而

收稿日期:2009-06-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50605066);“十一五”国家支撑计划资助项目(2006BAF02A20);重庆市科委自然科学基金计划资助项目(CSTC,2008BB3309)

作者简介:曹华军(1978-),男,重庆大学副教授,博士生导师,主要从事绿色制造和制造系统工程研究,
(E-mail)hjcao@cqu.edu.cn。

形成相当规模的可循环利用的潜在资源。废旧机床再制造的产业化前景非常广阔。

再制造已成为国内外研究热点之一。国外学者主要针对再制造生产计划与控制以及再制造工艺方面进行研究^[2-9];在国内,徐滨士院士及其带领的研究团队是再制造技术的提出者和积极倡导者,并在武器装备修复和再制造、汽车发动机再制造以及机械零部件表面修复技术等多方面都取得了重要进展^[10]。但中国机床再制造产业仍处于发展初期,存在不少的问题,如机床再制造周期过长、质量不稳定、利润不高及市场影响力不大等问题^[11-12]。机床再制造产业的发展迫切需要专门的成套技术、标准以及相关理论和方法的应用软件工具等。废旧机床综合测试与评估以及机床再制造方案的设计与评价优选是机床再制造关键技术之一,对于控制机床再

制造质量及制定合理可行的再制造方案等具有重要作用。结合课题组及应用企业的车床、滚齿机床的再制造实践,提出了废旧机床综合测试与评估以及机床再制造方案的设计与评价优选方法、流程,设计开发了一套软件系统,并在某机床再制造企业进行了系统应用。

1 机床再制造综合测试与评价支持系统的体系结构

机床再制造综合测试与评价支持系统的主要功能是对废旧机床进行综合测试与评估,辅助机床再制造企业进行废旧机床再制造方案的设计,并对再制造方案进行评价优选。机床再制造综合测试与评价支持系统的体系结构是一个由数据层、功能层、模块层及界面层组成的 4 层体系结构,如图 1 所示。

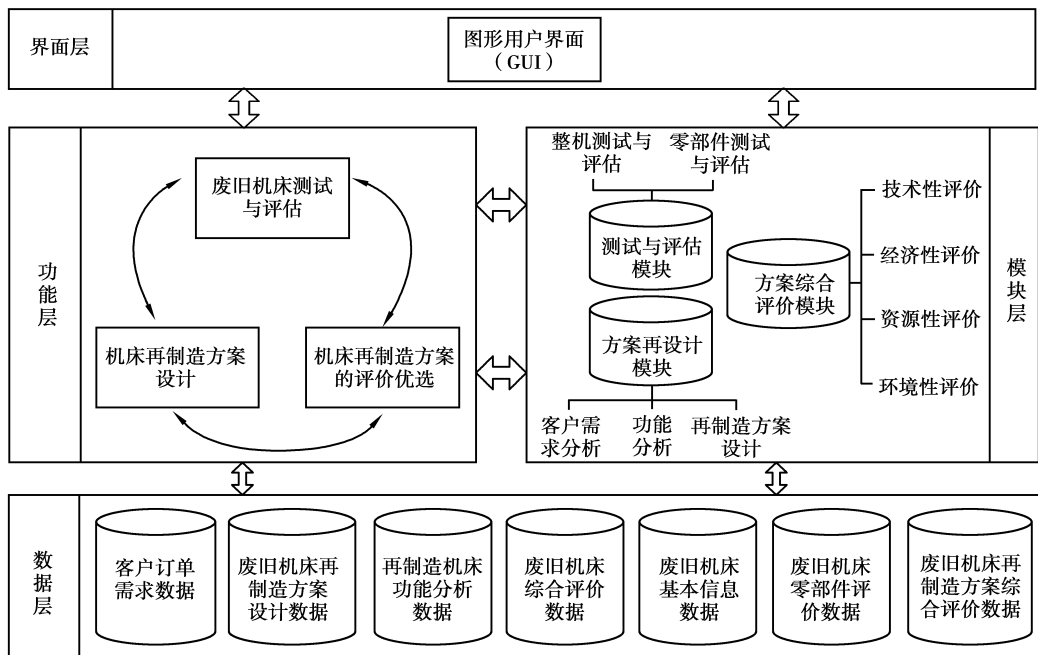


图 1 系统的体系结构

1)数据层:数据层是系统运行所需要的各种数据库,该系统的数据库由多种数据组成,包括客户订单需求数据、废旧机床再制造方案设计数据、再制造机床功能分析数据、废旧机床综合评价数据、废旧机床基本信息数据、废旧机床零部件评价数据及废旧机床再制造方案综合评价数据等。

2)功能层:功能层是该系统主要用以实现的功能部分。该系统主要有三大功能,即废旧机床综合测试与评估、机床再制造方案的设计和机床再制造方案评价优选功能。三大功能主要是通过模块层使之得以实现的。

3)模块层:模块层是各功能模块的组合和分解层次。该系统包括三大功能模块,分别是废旧机床综合测试与评估模块、机床再制造的方案设计模块、

机床再制造方案综合评价优选模块。废旧机床综合测试与评估模块由整机测试与评估以及零部件测试与评估模块组成;机床再制造方案设计模块由客户需求分析、功能分析以及再制造方案设计等模型组成;机床再制造方案评价优选模块由技术性评价、经济性评价、资源性评价以及环境性评价等模型组成。

4)界面层:本软件系统的界面采用了人机交互的界面形式。

2 机床再制造综合测试与评价支持系统的工作流程

废旧机床再制造综合测试与评价支持系统的工作流程如图 2 所示。

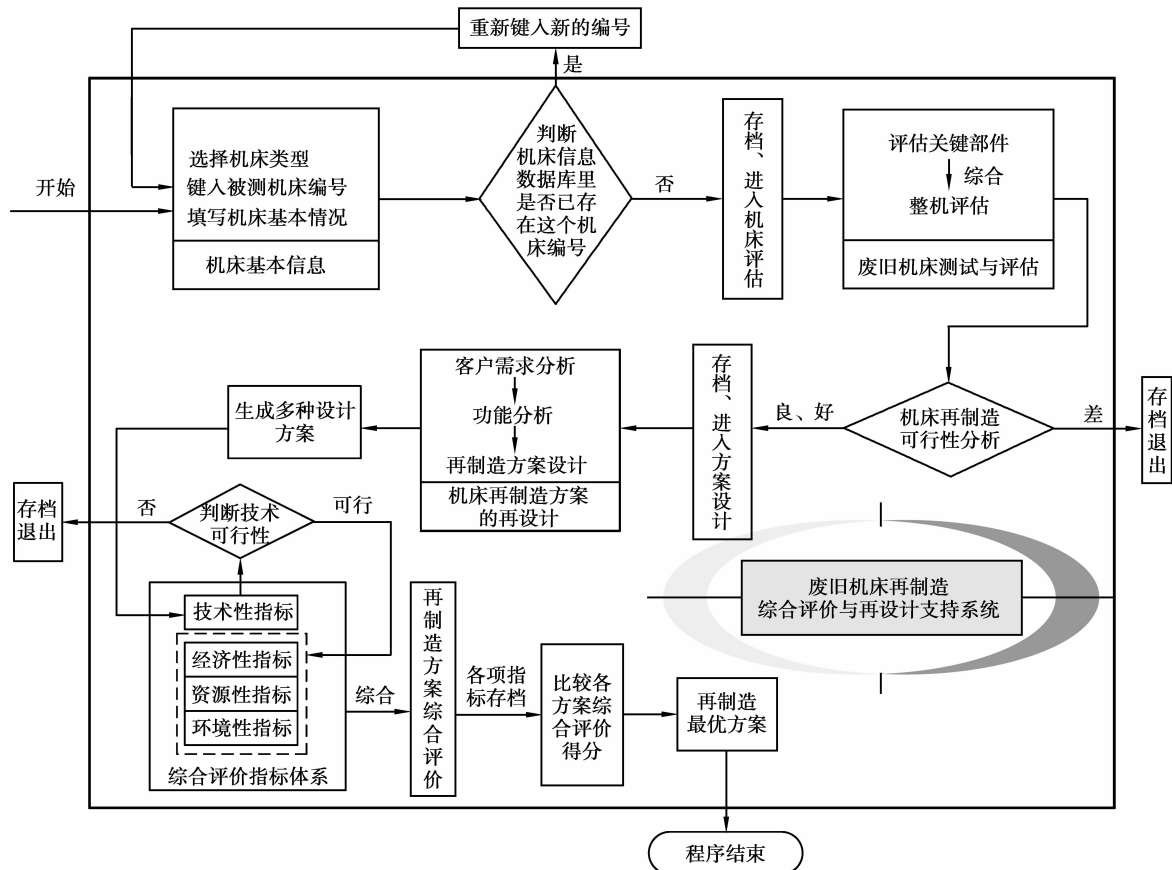


图 2 废旧机床再制造综合测试与评价支持系统工作流程

3 机床再制造综合测试与评价支持系统的主要模块

3.1 废旧机床综合测试与评估模块

废旧机床综合测试与评估主要包括废旧机床整机性能测试与评估及废旧零部件的检测与分类。

1) 废旧机床性能测试与评估。废旧机床性能测试与评估是在未拆卸的前提下进行性能测试, 定性掌握废旧机床的可再制造性以及废旧机床的性能状况、报废类型和故障程度, 使机床再制造人员对再制造过程有个整体的认识, 为机床再制造过程的顺利实施提供帮助。归纳总结国内外比较常用的机床机械故障测试诊断的方法, 主要包括: 直接观察法、整机性能指标测试、机床振动测试、噪声谱分析、故障诊断专家系统、温度检测及非破坏性测试等^[13]。

2) 废旧零部件检测与分类。废旧零部件检测与分类是机床再制造关键环节之一, 检测废旧零部件的报废程度, 为再制造方案设计及评价提供约束和数据支撑。关键零部件主要有 3 种再利用形式: 以材料回收形式的再利用, 即作报废处理, 进行材料回炉; 修复形式的再利用, 即利用先进的表面工程技术, 进行零部件表面修复处理; 再制造形式的再利用, 即需要通过零部件再设计、再加工等复杂工艺手

段使零部件获得新的生命周期进行再利用。

3.2 机床再制造方案设计模块

机床再制造方案设计模块主要是结合客户需求和废旧机床的测试及评估情况, 对废旧机床进行功能分析, 并进行机床再制造方案的设计。笔者提出一种“点菜单式”机床再制造方案设计方法, 如图 3 所示。再制造方案设计过程包括“需求分析”、“功能分析”、“设计方案”及“设计报表”4 个部分。在方案设计过程中, 分别建立了机械部分、润滑系统、液压系统、气压系统、冷却系统及电气控制系统的“菜单”方案, 供再设计人员选择, 并最终在设计报表中生成设计方案报表。

3.3 机床再制造方案评价优选模块

机床再制造方案的评价优选, 对于机床资源最终再利用率的提高以及设备能力的提升具有重要意义。经过对影响机床再制造方案的各种因素进行分析, 建立机床再制造方案评价优选指标体系为: 技术性指标、经济性指标、资源性指标和环境性指标, 如图 4 所示。

机床再制造的技术性指标(T)是废旧机床再制造方案评价优选最关键的指标, 经分析可知, 功能指标、精度指标、效率指标及绿色性指标是影响废旧机床再制造方案的主要技术指标。功能指标, 即是通

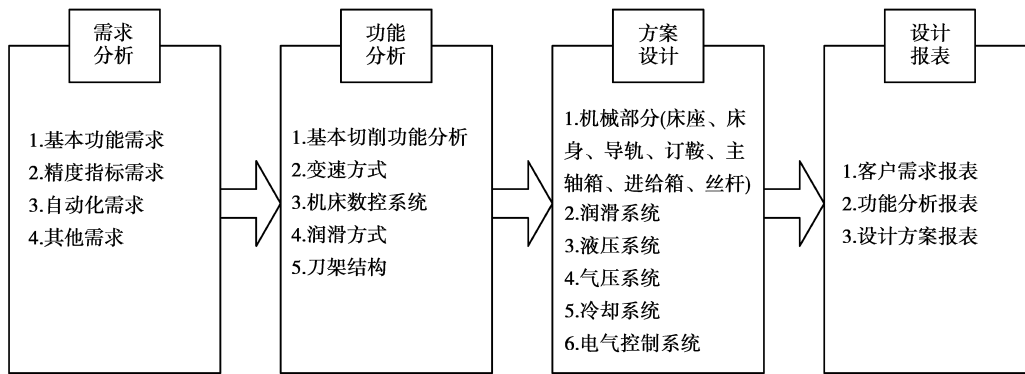


图 3 机床再制造方案再设计模块

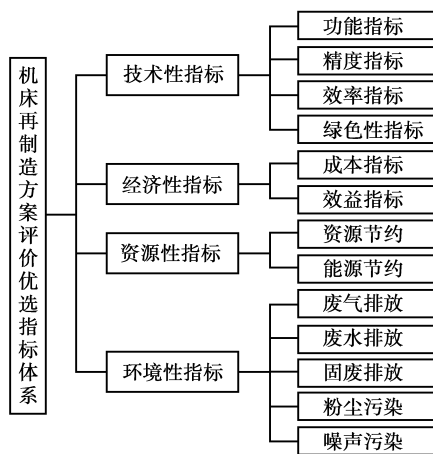


图 4 机床再制造方案评价优选指标体系

过该方案对废旧机床进行再制造后,再制造机床在功能提升方面的能力,如信息化功能等;精度指标,即通过该方案,再制造新机床在加工精度和加工质量方面的改进;效率指标,是指通过该方案,再制造新机床加工效率提高的程度;绿色性指标,是指通过该方案,再制造新机床在资源消耗环境排放等方面的改进,如降低噪声、节能等。

机床再制造方案的经济性(C)主要从成本指标和效益指标 2 个方面进行体现,当废旧机床再制造的经济效益远远大于成本投入时,说明再制造在经济上是成功的,而且效益成本的比值越大,该再制造方案的经济性越好。

资源性指标(R)是指采用某种机床再制造方案,再制造过程中资源消耗的指标,主要包括钢铁等原材料的消耗以及能源(主要是电能)的消耗。

环境性指标(E)是指该再制造方案的环境友好性能,主要包括再制造过程中的废气排放、废液排放、固体废物产生、粉尘污染和噪声污染等几个方面。

结合机床再制造方案综合评价指标体系的特点,采用专家打分法结合加权叠加法对机床再制造方案进行综合评价优选。各指标评价需进行大量的

调研和数据收集,由有关专家根据试验值和经验值对不同零部件针对不同指标进行评语评价。评价评语集取{优,良,中,及格,差},对应评语值为(95,85,75,65,55)。评价值的计算可以采用加权叠加法并归一化处理得到,其计算公式为

$$W_{kj} = (\sum_{m=1}^{m_k} \omega_{mk} \lambda_m) / 100,$$

$$G_j = \sum_{k=1}^4 W_{kj} \lambda_k,$$

式中: W_{kj} 为再制造方案 j 指标 k 的综合评价价值; ω_{mk} 为指标 k 对应子指标 m 的评价值; λ_m 为子指标 m 的权重值; m_k 为指标 k 的子指标个数; λ_k 是指标 k 的权重值; G_j 为再制造方案的综合评价价值。

4 机床再制造综合测试与评价支持系统的应用

4.1 机床再制造综合测试与评价支持系统的开发

机床再制造综合测试与评价支持系统是采用 VC++6.0 和 Access2003 开发的一种单机版软件,具体工作过程如下。

1)用户进入系统。用户直接运行本软件进入系统,在此界面,用户根据提示操作完成废旧机床相关信息的添加。系统的初始界面如图 5 所示。



图 5 系统初始界面

2) 废旧机床综合测试和评估界面。在系统初始界面中点击“开始评估”进入废旧机床测试和评估界面,如图 6 所示。在对废旧机床的各关键零部件测试评估后,点击“提交分析”按钮进入后台的数据处理,同时进入废旧机床综合评价界面,该界面不仅可以查询整机的综合评价结果,还可以对机床基本信息及关键零部件测试和评估结果进行查询。

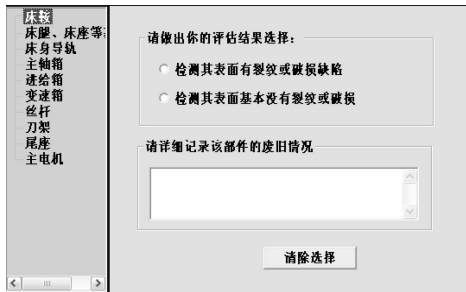


图 6 废旧机床综合测试和评估界面

3) 机床再制造方案设计界面。该部分主要有 4 个功能模块:客户需求、功能分析、设计方案及设计报表,如图 7 所示。点击“客户需求”、“功能分析”、“设计方案”及“设计报表”按钮可进入相关界面。



图 7 机床再制造方案设计界面

4) 机床再设计方案综合评价界面。该部分主要有 4 个功能模块:技术性指标评价模块、经济性指标评价模块、资源环境性指标评价模块以及再设计方案综合评价模块,其界面如图 8 所示。

4.2 系统应用

本系统在重庆某机床制造商普通车床的批量化再制造与提升中得到应用。

系统对某废旧车床 C616 的性能综合测试结果记录如表 1 所示。

1) 机床再制造方案设计。在对 C616 进行综合测试与评估的基础上,根据客户要求的功能分析,确定机床再制造方案,如表 2 所示。



图 8 机床再设计方案综合评价界面

表 1 C616 测试和评估结果记录

零部件	综合测试结果
床鞍	表面基本无裂纹或破损
床腿、床座等	表面无破损
床身导轨	导轨表面有一定磨损,形位误差在可恢复范围内
主轴箱	有一定热变形,零部件可修复后重用
进给箱	基本完好
丝杆	有一定磨损
刀架	转位、定位精度较好
尾座	尾座孔处有一定磨损
主电机	能运转,振动、噪声较大
总体情况	该机床整体情况符合机床再制造要求,可再利用基础部件,最大化重用功能部件,并采用数控化升级改造。

表 2 C616 车床再制造方案

零部件	再制造工艺	
床鞍	直接重用	
床腿及床座	机械加工	
导轨	高频淬火、成形磨削等工艺	
机械部分	对主轴孔进行镗孔加工,主轴箱内零部件废弃	
	进给箱	废弃
	刀架	更换新刀架
	尾座	可直接重用
	防护罩	半防护,左滑门
	电机	更换原电机为变频电机以实现自动无级调速
	电气部分	数控系统 “广数”928TE/928TA
伺服系统及电气系统	数控系统配套“广数”伺服系统	
外围电路	彻底更换	
其他	冷却系统更换,润滑系统更换实现集中润滑	

2)机床再制造方案综合评价。C616 车床再制造方案评价结果如表 3 所示。最终评价结果表明该再制造方案具有良好的综合效益。

表 3 C616 再制造方案评价结果

评价指标(权重/%)		得分
技术性指标 (30)	功能指标(20)	85
	精度指标(40)	95
	效率指标(20)	65
	绿色性指标(20)	75
经济性指标 (30)	成本指标(50)	75
	效益指标(50)	85
资源性指标 (20)	资源节约(50)	75
	能源节约(50)	75
环境性指标 (20)	废气排放(20)	85
	废水排放(20)	85
	固废排放(20)	75
	粉尘污染(20)	85
	噪声污染(20)	85
评价结果(归一化)		0.805

废旧机床再制造综合测试与评价支持系统在该企业进行应用之后,规范并理清了机床再制造的流程,辅助再制造者有效评估机床的废旧程度,提高了再设计人员的工作效率,有助于形成最优的机床再制造方案,使得机床再制造朝着批量化、规范化、标准化的方向发展。

5 结 语

笔者提出了废旧机床综合测试评估方法与流程,形成了机床再制造方案设计方法,建立了机床再制造方案综合评价优选模型,并设计开发了一套软件支持系统。该软件目前已获国家计算机软件著作权登记证书(登记号:2008SR07876),在某机床再制造企业进行了应用,应用效果良好。

参考文献:

- [1] 刘飞,曹华军,张华,等. 绿色制造的理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] GIUNTINI R, GAUDETTE K. Remanufacturing: the next great opportunity for boosting US productivity[J]. Business Horizons, 2003, 46(6): 41-48.
- [3] INDERFURTH K. Optimal policy in hybrid manufacturing/remanufacturing systems with product substitution[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 90(3): 325-343.
- [4] GHARBI A, PELLERIN R, SADR J. Production rate control for stochastic remanufacturing systems [J]. International Journal of Production Economics, 2008, 112(1): 37-47.
- [5] SCOTT W, SUPRIYA M. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take-back laws [J]. Journal of Operations Management, 2007, 25(6): 1123-1140.
- [6] DEMIREL N O, GOKCEN H. A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 39(11/12): 1197-1206.
- [7] GRUBBSTROM R W, TANG O. Optimal production opportunities in a remanufacturing system [J]. International Journal of Production Research, 2006, 44(18/19): 3953-3966.
- [8] TEUNTER R H, BAYINDIR Z P, VAN DEN HEUVEL W. Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing [J]. International Journal of Production Research, 2006, 44(20): 4377-4400.
- [9] NAKASHIMA K, ARIMITSU H, NOSE T, et al. Optimal control of a remanufacturing system [J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(17): 3619-3625.
- [10] 徐滨士,马世宁,刘世参,等. 绿色再制造工程在军用装备中的应用[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2004, 5(1): 1-5.
- XU BIN-SHI, MA SHI-NING, LIU SHI-SHEN, et al. Applications of green remanufacturing engineering to military equipment [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2004, 5(1): 1-5.
- [11] 刘飞,曹华军,杜彦斌. 机床再制造技术框架及产业化策略研究[J]. 中国表面工程, 2006, 19(5⁺): 25-28.
- LIU FEI, CAO HUA-JUN, DU YAN-BIN. Study on the technology frame and industrialization strategy for machine tool remanufacturing [J]. China Surface Engineering, 2006, 19(5⁺): 25-28.
- [12] 胡仲翔,张甲英,时小军,等. 机床数控化再制造技术研究[J]. 新技术新工艺, 2004(8): 17-19.
- HU ZHONG-XIANG, ZHANG JIA-YING, SHI XIAO-JUN, et al. The research of remanufacturing of machine tool on NC [J]. New Technology & New Process, 2004(8): 17-19.
- [13] 邱言龙. 机床维修技术问答[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.

(编辑 张 苹)