

机床数控化改造 理论、方法及应用

黄筱调 丁文政 洪荣晶 著



科学出版社

内 容 简 介

本书阐述了机床数控化改造的概况;介绍了数控化改造相关的理论基础和方法;总结了机床数控化改造的方案设计方法,并通过具体的案例进行详细的说明;提出了改造机床的几何精度设计模型,并进行数字仿真验证;研究了改造机床的机电动态性能的分析方法,分别给出机械导轨副、滚珠丝杠副、伺服驱动对动态性能影响的数学模型,并应用模糊控制算法改善机床的动态特性;建立了改造机床的可靠性模型,并提出可行的改造机床的评价方法;最后结合作者的科研成果详细介绍了三个典型的机床数控化改造案例。

本书可供从事机械制造相关领域研究的工程技术人员、科研工作者以及高等院校机械制造及其自动化相关专业的高年级本科生和研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控化改造理论、方法及应用/黄筱调,丁文政,洪荣晶著. —北京:科学出版社,2012. 10

ISBN 978-7-03-035698-7

I. ①机… II. ①黄… ②丁… ③洪… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 234804 号

责任编辑:陈 婕 / 责任校对:包志虹
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 10 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012 年 10 月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:260 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

数控机床作为具有高科技含量的“工作母机”，是实现制造技术和制造业现代化的重要基础装备，其性能、质量和拥有量是衡量一个国家工业现代化水平、综合国力的重要标志。统计资料显示，目前我国机床拥有量达 700 万台，但机床数控化率不高，与世界发达国家相比有一定差距。改变现状的途径之一是对现有机床进行数控化改造，这样既能较快地提升机床技术性能，满足我国工业发展的需要，又能实现资源的循环利用，符合国家发展循环经济的战略目标。在美国，机床数控化改造已经成为新的经济增长点，一些大型制造企业都实施了“购置新机床”和“改造旧机床”并重的发展策略。

机床数控化改造不像新机床的设计制造是一个从无到有的连续过程，原有机床的存在使得在通过数控化改造提高加工精度和加工效率的过程中障碍重重，导致了机床数控化改造的复杂性。例如，原机床部件拥有大量的精度参数，从理论上讲，几乎每一个精度参数都会不同程度地影响改造机床的加工精度，如何在改造中调整和改善这些精度参数，关键在于“影响程度”，需要通过研究找到影响最大的敏感参数。再例如，新增的控制系统和原有机床部件是否匹配会影响改造机床的动态特性，原有部件的改动必须要谨慎，因为任一部件的变化都可能引起其他部件的连锁改变，所以必须要考虑到原有部件的一些结构约束，研究采用新的方法实现机电系统的匹配优化。此外，数控化改造后机床复合功能密集，结构更加精密，而且新旧部件混合，加工工况多变，使得改造机床的可靠性问题变得突出，但是改造机床样本较少，缺乏足够的可靠性数据，因此如何对小样本的改造机床进行可靠性评价值得研究探索。总之，探索问题较多，不一一而论。

本书是以作者多年来从事机床数控化改造的研究成果为基础，结合近百台不同类型的机床改造的工程实践经验撰写而成。书中的研究内容曾分别以论文的形式发表在 *Journal of Southeast University (English Edition)*、*Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*、《机械工程学报》、《中国机械工程》、《机械科学与技术》等重要学术期刊和一些国际学术会议论文集上。书中的主要研究内容得到了国家自然科学基金(51175242)、“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项(2010ZX04011-032)、科技部中小企业创新基金(10C26213211097)、江苏省自然科学基金(BK2008374)以及南京工业大学专著出版基金等项目的资助。本书的完成也得到了南京工业大学陈捷教授，南京工大数控科技有限公司方成刚总工程师，以及多年来从事该方面工作的研究生汪世益、王

大双、施丽婷、邹辉、浦秋林、缪小梅等的大力帮助,他们的劳动和成果都凝聚在本书中;同时,江苏省工业装备数字制造及控制技术重点实验室和先进数控技术江苏省高校重点实验室也对本书的基础实验研究给予了支持,在此一并表示感谢!

本书紧紧围绕机床数控化改造的理论、方法和应用这一研究主题,从五个方面分若干层次进行了较为深入的系统论述。这五个方面是:①机床数控化改造的方案设计;②改造机床的几何精度设计;③改造机床机电动态性能分析;④改造机床的可靠性分析与增长;⑤机床数控化改造技术的应用。全书共7章:第1章主要介绍了本书有关研究内容的意义以及机床数控化改造的历史和现状,分析了提高改造机床性能的技术途径;第2章介绍了机床数控化改造中涉及的相关理论基础;第3章总结了机床数控化改造的方案设计方法,从改造前的可行性评估到总体方案设计,再到机械、电气、液压各子系统的设计都进行了详细的阐述;第4章在对精度影响因素进行分类的基础上,提出了改造机床的几何精度设计模型,并进行了数字仿真研究;第5章研究了改造机床的机电动态性能分析方法,分别给出了机械导轨副、滚珠丝杠副、伺服驱动的影响数学模型,揭示了改造机床机电动态性能的主要影响因素及其影响规律和影响程度,并研究应用模糊控制算法改善机床的动态特性;第6章在对实验获得的研究样机可靠性数据进行整理分析的基础上,建立了改造机床的可靠性模型,并提出了可行的评价方法;第7章结合作者的工程实践,介绍了三个典型的数控化改造案例,涵盖了单纯的数控化改造、机床功能改变的数控化改造和大重型机床的高端数控化改造三个层次。

机床数控化改造及再制造技术是一个十分复杂的系统工程问题,在国内外都属于方兴未艾的热点课题。作者希望本书的出版能够在该领域起到抛砖引玉的作用。

由于作者的学识有限,书中不足之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者

2012年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机床数控化改造的历史与现状	1
1.2 机床数控化改造的技术经济优势	2
1.3 机床数控化改造的技术内容	3
1.4 机床数控化改造与装备制造业的发展	5
1.5 提高数控化改造机床性能的技术途径	7
第 2 章 机床数控化改造的理论基础	10
2.1 精度设计的理论与方法	10
2.1.1 精度的基本概念	11
2.1.2 精度设计	12
2.2 机电动态性能分析的理论与方法	13
2.2.1 动态特性概念	13
2.2.2 动态特性分析方法	14
2.3 可靠性的理论基础	14
2.3.1 可靠性的概念	14
2.3.2 改造机床的一般可靠性模型	16
第 3 章 机床数控化改造的方案设计	18
3.1 机床改造前的可行性评估	18
3.2 机床改造总体方案设计	20
3.3 机械结构改造设计	25
3.3.1 数控化改造的机械结构特点	25
3.3.2 典型机械部件的改造设计	27
3.4 电气控制系统的改造设计	36
3.4.1 数控机床电气控制系统的特点	36
3.4.2 电气控制系统的改造方法	36
3.4.3 立式车床改立式磨床电气控制改造设计	37
3.5 液压系统的改造设计	45
3.5.1 液压系统在数控机床中的作用	45

3.5.2 车床改磨床液压系统改造设计	46
第4章 改造机床的几何精度设计	51
4.1 精度设计在提高改造机床精度中的作用	51
4.2 改造机床的几何精度建模	53
4.2.1 改造机床的一般运动模型	53
4.2.2 典型改造机床的精度建模	62
4.3 改造零部件的误差参数检测与辨识	65
4.3.1 改造零部件误差参数检测	65
4.3.2 基本几何误差的辨识	68
4.3.3 误差辨识的验证	71
4.4 改造零部件修复精度分配	74
4.4.1 精度分配策略	74
4.4.2 精度参数均衡约束关系建模	77
4.4.3 基于 BP+GA 的精度参数分配	79
4.5 改造机床的几何精度预测	82
4.6 精度设计在改造中的应用案例	86
第5章 改造机床机电动态性能分析	89
5.1 影响改造机床机电动态性能的主要因素	89
5.2 导轨改造对进给系统性能的影响分析	90
5.2.1 贴塑导轨的性能影响分析	91
5.2.2 滚动导轨的性能影响分析	96
5.3 滚珠丝杠对进给系统的动态影响分析	99
5.3.1 基于有限元模型的动态响应分析	99
5.3.2 基于分布参数模型的动态响应分析	102
5.4 伺服驱动对进给系统的动态影响分析	108
5.4.1 一般交流伺服驱动的动态响应	108
5.4.2 模糊控制交流伺服系统的动态响应	111
5.4.3 交流伺服系统的非线性摩擦补偿	118
5.5 数控化改造磨床的机电动态性能分析	124
第6章 改造机床的可靠性分析与增长	129
6.1 改造机床进给减速器的可靠性分析	129
6.1.1 减速器零部件功能系数分析	129
6.1.2 概率有限元法在齿轮可靠性分析中的应用	130

6.1.3 齿轮可靠性计算实例	132
6.2 改造机床运动结合部的模糊可靠性分析	135
6.2.1 影响运动结合部可靠性的基本规律	135
6.2.2 运动结合部的可靠性模型	137
6.3 改造机床可靠性分析实例	141
6.3.1 小样本可靠性数据处理	141
6.3.2 可靠性模型的确定	145
6.3.3 可靠性模型的参数估计	146
6.3.4 改造的数控铣齿机床可靠性评价	152
6.4 改造机床的可靠性增长实例	152
6.4.1 可靠性的影响因素分析	152
6.4.2 可靠性的增长措施	158
第7章 机床数控化改造实例	161
7.1 C5116 普通立车数控化改造实例	161
7.1.1 立式车床数控化改造概述	161
7.1.2 机械部分改造设计	163
7.1.3 电气控制系统设计	163
7.2 C5225 普通立车改数控滚道磨床实例	176
7.2.1 滚道磨床数控化改造概述	176
7.2.2 数控化改造总体方案分析	177
7.2.3 机械部分改造设计	178
7.2.4 电气控制系统设计	178
7.2.5 液压系统设计	181
7.3 重型滚齿机改数控铣齿机实例	182
7.3.1 滚齿机概述	182
7.3.2 数控改造方案分析	183
7.3.3 机械改造部分设计	186
7.3.4 电气控制系统设计	193
7.3.5 液压系统设计	200
参考文献	202

第 1 章 绪 论

1.1 机床数控化改造的历史与现状

由于机床技术的不断进步与旧机床存量的不断增加,机床改造成为一个“永恒”的课题。在国外,随着数控技术的成熟,机床数控化改造更发展成为一个新的行业。早在 1990 年的芝加哥国际制造技术展览会上,包括辛辛那提在内的著名机床厂商就展出了多台数控改造机床。进入 21 世纪,机床改造正式成为美国新的经济增长点,被称为机床再生(remanufacturing)业。一些大型制造企业实施了“购置新机床”和“改造旧机床”并重的发展策略,并出现了 200 多家专业从事数控改造的公司,像莫里机器公司(Morey Machine Inc.)主要改造大型机床,德通机床公司(Dayton Machine Tools Co.)主要从事多功能机床的改造,德宝服务集团(Devlieg-Bullard Service Group)主要进行组合机床的改造。

在德国,联邦教育与研究部 1997 年耗资 500 万马克,资助不莱梅大学研究“面向技术工人的机床数控化改造——开发技术资源与人力资源的新思路”,以帮助企业与高校、研究机构合作,实现设备性能的跨越提升,促进东部地区经济的快速发展;并从 1995 年开始相继召开了“机床数控化改造的经济性分析”、“适用于机床数控化改造的数控方案”和“机床数控化改造的评价和成果应用”等交流研讨会。西门子等大公司也成立了像“工厂自动化公司”等机构专门从事机床数控化改造业务。欧洲最大的机床制造企业——德国的德马吉(DMG)集团公司也将机床改造作为其重点发展的业务之一。在政府的大力支持下,德国 1998 年的二手机床销售额就达到了 25 亿马克。

日本的机床改造业也呈现一派兴旺景象。据不完全统计,在日本,数控化改造机床的市场份额占到整个机床市场的 10%,主要改造的对象还是金属切削机床。像大隈工程技术公司重点改造龙门式加工中心和各类车床,不仅更新数控系统,还增加各种先进辅助装置;SHIGIYA 精机制作所主要从事磨床改造,一般改造对象是服役了 15 年左右的机床;浜田工机专业从事齿轮机床的改造,主要机种是滚齿机、插齿机和齿轮磨床。

我国 2000 年的统计数据显示,国内机床总量为 500 余万台,其中数控机床仅为 14 万台,机床的数控化率很低,大部分企业的机床数控化率为 2%~4%,即使在机床生产企业,其机床设备的数控化率与世界先进国家相比也还有很大差距。

在这些存量机床中,役龄 10 年以上的占到 60%;役龄 10 年以下的机床中,自动、半自动机床不到 20%,FMC/FMS 等自动生产线更屈指可数,而美国和日本的自动、半自动机床都占到 60%以上,因此国内存量机床的数控化改造是一个潜力巨大的市场。1990 年国内成立了中国机电装备维修与改造技术协会,负责组织企业进行设备数控化改造,也涌现出了一批优秀的数控装备维修与改造企业,如国内著名的机床生产厂家沈阳机床集团、大连机床集团、重庆机床集团都有从事机床维护和改造的部门或子公司,另外还有像北京蓝拓机电设备有限公司、上海电气自动化设计研究所有限公司、中国科学院沈阳计算技术研究所、武汉华中数控股份有限公司以及南京工大数控科技有限公司等也从事机床的数控化改造。他们采用多种先进技术,成功地改造了相当数量的旧机床及自动生产线,利用高新技术盘活企业资产存量,新增产值数亿元。例如,武汉华中数控股份有限公司已先后完成了数百台设备的数控化改造;南京工业大学从事机床数控化改造业务也有十多年,先后进行了 1.6m、2.5m 和 5m 立式车床的数控化改造,2.5m 立式车床改立式磨床的数控化改造,重型滚齿机改铣齿机数控化改造,美国落地镗铣床的数控化改造,以及日本大型龙门镗铣床数控化改造等近 100 项。但总体而言,国内的数控化改造还处于单兵作战阶段,没有形成产业化的优势。

1.2 机床数控化改造的技术经济优势

数控化改造的低成本和高性能给企业的发展带来了巨大的好处,在技术经济方面体现出以下显著优势:

1) 易于提高机床性能

数控化改造是站在最新、最匹配的数控系统基础上完成的,因此很容易提高机床的性能。例如,使机床对加工对象的适应性增强;加工精度提高,加工质量稳定;生产效率提高;自动化程度提高,劳动强度降低;能实现复杂零件的加工;有利于现代化生产管理等。就加工复杂程度和加工精度而言,加工同一批工件,工件的复杂程度和精度要求越高,数控机床的性能就越得以彰显。另外,对于改造机床,所利用的床身、立柱等基础部件都是庞大笨重的铸造构件,由于服役时间长,自然时效充分,故与新机床的相比其力学性能稳定可靠。

2) 可有效降低成本

与购置新数控机床相比,数控化改造的机床一般可以节省 60%~80% 的费用。改造费用低,特别是对于大型或特殊专用机床尤其明显。一般大型机床改造的费用只是新机床购置费用的 1/3,而且交付周期短,通常 3~6 个月就能完成。即使有特殊要求,如要加装高速主轴、刀具自动交换装置、托盘自动交换装置等先进辅助功能部件,与新购置机床相比,投资费用也能节省 50% 左右。

数控化改造后的机床的电能使用效率提高,节能环保;加工效率提高,可减少设备数量和所需的厂房面积,间接也减少了设备的维修保养费用。同时,数控机床的使用对机床操作人员的要求也降低,可一人操作多台机床,这也适当减少了生产所需的人力资源成本。更重要的是,数控加工提高了产品质量的稳定性,减少了产品的次品率,节省了生产成本。

3) 方便操作和维护

与购买新机床相比较,由于事先不能全面了解新机床的结构性能,因此很难预测是否能完全适合加工要求;而旧机床数控化改造则不同,由于旧设备已使用多年,机床操作人员和维修人员对其性能和结构了解透彻,故对机床的加工能力也能较准确地估算。机床数控化改造时,还可结合操作人员和维修人员共同进行,这样既便于合理选择更换原机床设备中的元器件,又能提高企业自身人员对数控机床维护的技术力量,并且也大大缩短了对数控机床在操作和维护方面的培训时间。机床一旦改造完毕,很快就可投入正常的全负荷运转,无需适应和磨合期。

4) 满足客户个性化需求

从某种意义上讲,机床数控化改造更像是非标机床或专用机床的设计制造,通常是客户为了某系列零件的加工而提出机床改造的要求。因此在改造方案的设计时,不是简单以数控化为目标,而是针对客户产品的具体需求,以提供整体解决方案和成套技术为中心。具体而言,就是考虑到客户产品的各个环节,包括加工工艺、产品质量控制、协助客户进行系统和加工程序的二次开发、操作培训等方面,能最大限度地满足客户的个性化需求。

5) 有利于提高可靠性

由于机床数控化改造尽量摒弃原有的机械部件,大量使用电子元器件,而电子元器件生产的高度标准化、集成化以及大批量化,不仅有利于进行高可靠性设计和采用高可靠性工艺措施,而且有利于进行生产管理、质量控制、设备的自诊断以及人工的维护、维修,降低设备的平均故障时间。

6) 便于信息化集成

现代化的数控系统本身具备强大的联网功能,可以方便地接入 Internet 网络,实现远程控制、远程管理、远程诊断支持和制造资源共享等先进数控功能,为实现敏捷制造、云制造奠定基础。此外,通过数控系统的现场总线接口,可以方便地与其他智能设备(如同步驱动器、开关量执行装置、智能传感器等)进行高速联网通信,有利于将机床加工过程的控制水平提高到更高。

1.3 机床数控化改造的技术内容

机床数控化改造所具有的显著技术经济优势,使众多科研单位和生产厂商

投入了大量的人力、物力,进行机床数控化改造的研究和应用。2010 年的国家科技支撑计划还专门资助了“机床再制造成套技术及产业化”项目,从此机床数控化改造引起了全社会的重视。当前的机床数控化改造主要在以下几个技术层面上进行:

1) 基于表面工程技术的机械性能提升

采用纳米表面技术、复合表面技术和其他表面工程技术修复与强化机床导轨、溜板、尾座等磨损、划伤表面,并提高其尺寸、形状和位置精度。对机床的润滑系统及动配合部位采用纳米润滑添加剂和纳米润滑脂、纳米固体润滑干膜等技术,以进一步提高机床的机械运行性能,增加其耐磨性能。采用修复、强化、更新、调整等方法恢复或提高机械精度,如通过修配提高导轨的导向精度,通过更换液压装置提高静压平衡精度,通过增加自动换刀装置提高刀具定位精度,采用检修齿轮箱的方法提高主轴回转精度等。

2) 基于数控技术的运动精度提升

在原设备上安装数控装置以及相应的伺服电动机和驱动装置,以替代原有的电气控制系统,可整体提升机床的运动控制精度,实现加工装备的自动化操作和高精度运动。通过滑动导轨副贴塑或采用滚动导轨副,可减少摩擦阻力、提高运动响应速度。通过改用滚珠丝杠副,可提高传动精度和传动效率,并利用数控装置的补偿功能,补偿丝杠螺距误差和反向间隙误差,进一步提升运动精度。通过角度检测装置或直接位移检测装置与数控装置构成的半闭环或全闭环控制系统,可获得更高的运动控制精度。

3) 数控化改造的综合评价技术

机床数控化改造方案的确定经过了“设计—评价—再设计”的过程,而常规评价通常是以车间技术人员和现场操作人员的接受或满意为指标,其结果带有主观性和不确定性,常因评价立足点的不同得出不同的结论。针对自然语言描述的模糊性,有学者应用模糊数学建立了机床数控化改造的模糊综合评价方法,对改造系统的性能指标、经济指标、资源指标和环保指标四个一级子目标进行评价。其中,性能指标包括加工效率、加工精度、功能提升三个方面;经济指标包括投入成本和产生效益两个方面;资源指标包括材料消耗和能源消耗两个方面;环保指标包括废液污染、固体废弃物污染和噪声污染三个方面。该方法根据各个方面的严重程度,由专家给出权重集,构成多目标多级模糊评价模型,从而对机床数控化改造进行综合评价,为改造方案的确定提供辅助决策。

4) 关键零部件剩余精度寿命评估技术

可行性和可行性是机床数控化改造首要面临的问题,而其中不易拆卸的零部件和产品附加值高的关键零部件是否可以在改造后继续使用,并能足够维持下一个生命周期,是机床数控化改造的重要技术问题。机床零部件精度失效的主要形

式有磨损、腐蚀和变形,其中又以磨损对机床精度保持性的影响最大,但磨损在机床运行过程中很难直观或直接进行检测,因此研究关键零部件在实际工况条件下由磨损引起的剩余寿命对我国机床改造产业的发展具有重要的意义。已有研究利用有限元方法建立零件在工况条件下的动态磨损模型,预测零件的最大精度寿命,再减去已知磨损的当前当量寿命,即可得到零件的剩余精度寿命,从而决定关键零部件是继续使用还是修复或重新更换。

5) 改造机床检验与可靠性分析

机床数控化改造后,同样需要进行一系列的检验才能交付使用。但由于数控设备的单位时间产值大,从经济性的角度看,工作的可靠性很重要。因此机床改造完成后的检验,除了常规的交付验收项目,像机床的空运转试验、机床的负荷试验、机床的几何精度检验和机床的加工精度检验等;还需要对机床的工作可靠性进行一个科学的评估,并根据评估结果进行分析,采取改进措施,促使改造机床可靠性的增长。目前,常用的可靠性评价方法都是基于小样本的统计方法,像基于灰色系统理论的数控机床可靠性预测、基于贝叶斯算法的可靠性增长模型,以及数据挖掘技术在数控机床可靠性模型中的应用。

1.4 机床数控化改造与装备制造业的发展

2006年2月公布的《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》把发展数控机床及其功能部件作为振兴装备制造业重大突破的16个关键领域之一,对我国机床行业的发展具有重要意义。《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》的发布,使高端装备制造业概念成为领衔“十二五”规划的关键字眼。“十二五”期间,发展高端装备制造业的总体思路是面向我国工业转型升级和战略性新兴产业发展的迫切需求,重点发展智能制造、绿色制造和服务型制造。2008年6~7月国家发展和改革委员会对航空、船舶、汽车、电力等企业的专项调研也表明,高档数控机床是当前制约这类企业发展的“瓶颈”,目前这些企业在用的部分机床是役龄10年以上的旧机床,精度差、自动化程度低,急需更新换代。

但数控机床作为装备制造业的工作母机,西方发达国家一直把高性能数控机床作为战略物资对我国严加控制。尽管在“十一五”期间,我国机床工业飞速发展,但从行业产值来看,2005年我国机床工具行业的工业总产值只有1300亿元。五年的时间里,这一数据在稳步攀升:2006年突破2000亿元,2007年达到2600亿元,2008年超过3000亿元,在连续8年保持世界第一消费大国后,2009年我国首次成为世界第一机床生产大国,产值达4014.2亿元。但数控机床的产量仍赶不上消费的增加,尤其是一些大型、重型专用数控机床仍然无法满足国内市场需求。

考虑到国内企业现有机床的机械部件自然时效长、性能稳定,而且大型部件的铸造、加工需要消耗大量的物资和能源,直接淘汰是对资源的严重浪费,因此利用先进技术对现有机床进行数控化改造意义重大,既能循环利用资源,符合当前发展低碳经济的要求;又能综合提升现有机床的性能,满足企业发展需要。

面对装备制造业数控化发展的潮流,准确把握其发展趋势,对于促进我国在数控机床领域实现跨越式发展,增强我国数控机床的市场竞争能力具有重要意义。通过对装备制造业发展的研究和应用现状进行分析,可以看到,机床的数控化改造也必须朝着以下几个趋势方向发展:

1) 与 IT 融合,走高效率发展道路

当今的装备制造业正朝着网络化、高柔性、可重构、多功能的方向发展,机床数控化改造也必须跟上这一发展步伐。实现这一发展,就必须与 IT 紧密融合,借助 IT 领域的众多新技术和软件,如高性能的 CPU、无线传感、分布式数据库等,应用在数控化改造中,提高切削速度,如主轴转速和进给速度;减少非加工时间,如换刀时间、检测时间,从而提高机床的加工效率,节省人工。

2) 考虑资源和安全因素,走环保发展道路

机床数控化改造本身走的就是环保道路,但在改造的具体技术上,仍要仔细考虑资源和安全因素。如采用干式切削或微量冷却液的切削方法,减少冷却液的使用;如改造后动配合面之间的润滑,应采取高效回收措施,减少润滑液的换剂量;像电动机容量的选择,驱动能力不是越大越好,对于大容量的伺服驱动,将导致电流的控制精度降低,而且驱动能力冗余太多,将不利于感知过载,不利于机械装备本身的安全,另外,电动机容量过大,也将带来电力能源的浪费,而且在节约能源的同时也减少了机床的热源;再如关键零部件的修复与更换问题,充分科学地进行零部件的剩余精度寿命评估,在保证可靠性的前提下,尽量将原部件进行修复再利用。

3) 走复合多功能的发展道路

复合和多功能是减少非加工时间的有效途径,其核心是在一台机床上完成车、铣、钻、镗、攻丝、铰孔和扩孔等多种操作工序。当然受原机床机械结构的限制,通过数控化改造制造复合机床还有难度,但是在改造时仍应向这一方向靠拢,尽可能实现多功能。如车床改造的发展主要趋势是多功能机床,目前的多功能的车床实际上就是一台具有车削功能的加工中心。在磨削机床的改造方面,目前的技术重点是开发基于 PC 的磨削控制系统,一台磨床能进行内圆、外圆和台阶轴磨削,并通过给机床以不同的循环来加快加工过程,既磨得快又能保证尺寸精度和表面粗糙度。

4) 充分利用数控系统的智能化

机床数控化改造后,充分利用数控系统的智能化,不仅有助于减轻操作者的体

力和脑力劳动强度,更重要的是可以提高数控加工的质量和效率。因此,智能化是数控化改造和装备制造业的重要发展方向,目前主要体现在以下几个方面:①智能编程;②自适应控制;③加工过程监控;④故障自诊断;⑤信息输入和操作模式智能化;⑥实现无纸化的数控加工。

5) 模块化和可重构性

模块化设计是在功能分析的基础上,划分并设计出一系列具有不同用途、可互换的功能模块和一些专用独立部件,然后通过模块的选择和组合来组装成不同性能和规格的机床。这种方法在数控化改造中也得到了应用,英国就有设备改造公司针对普通车床,设计了模块化的组件,并实现了快速的车床数控化改造。同时模块化的改造也方便了设备下一个生命周期的再利用,满足设备可重构性的要求。

6) 提供零件制造的完整解决方案

提供零件制造的完整解决方案,既是用户的迫切要求,也是机床数控化改造的一大特色。例如,南京工大数控科技有限公司针对回转支承的制造,进行了一系列的机床数控化改造,提供了完整的解决方案,包括数控钻床、数控立式车床、数控铣齿机床、数控磨床,还有加工工艺和软件等。又如,瑞士阿奇夏米尔公司提供的模具制造完整解决方案包括:铣削、电加工、激光加工选择,机床操作支持(易损件、电极、金属丝等提供)、设备支持(备件、技术支持和干预性服务等)、自动化支持(工具、夹具和托盘交换系统及软件)等。其他世界大型工具制造商也提供成套加工工具的完整解决方案。总之,不同的企业有不同的解决方案内涵,其目的都是为用户提供满意的个性化服务。

1.5 提高数控化改造机床性能的技术途径

机床数控化改造的技术经济优势正有力推动着装备制造业的进步,促进我国由“制造大国”向“制造强国”发展。抓好这一机遇,探索可行的发展途径,对于实现我国机床工业的跨越式发展具有重要意义。为此作者提出以下提高数控化改造机床性能的建议,供读者斟酌和讨论。

1. 以大型、重型机床为突破,开发数控化改造的高端市场

大型、重型机床一般都是企业生产线上的关键设备,吨位大、价值高、轴数多、液压系统复杂,有的还涉及双驱同步控制等技术,数控化改造比较困难。但是一旦成功改造,设备的附加值高,产生的效益明显优于中小型机床的改造,而且通过大型、重型机床的数控化改造可以发现问题、积累经验、锻炼人才,为数控化改造的产业化奠定基础,并且对于高端数控机床的开发也有促进作用。

2. 以先进数控技术提升加工效率

数控化改造重在“数控”二字,但并不意味着有了数控系统的机床加工效率就一定高。合理的切削参数、正确的加工工艺、优化的走刀路径都会影响机床的加工效率,因此在数控化改造过程中要充分挖掘先进数控技术的潜能,结合数控系统,开发二次应用软件,利用多种手段提升加工效率。另外,像对刀时间、停车检测时间也大大影响了加工效率的提升,因此在改造过程中相应的刀具仪、检测系统等辅助装置也要尽可能地加装,才能全面提升加工效率。最重要的是工厂信息化的全面提升,国外已经大规模地应用制造执行系统,机床的使用效率可以高达 70%,而目前国内机床的使用效率普遍只有 30%,所以数控化改造不能单独针对一台机床,而要与管理系统相连,否则数控化改造机床就会成为一个信息孤岛,数控的价值不能得到充分挖掘。

3. 提高支承刚度改善机床动态精度

刚度问题的实质是受力变形问题,因此可以把刚度问题理解为动态的(惯性负载、重力负载、切削负载)精度问题。支撑刚度是机床精密控制的支持基础,机床制造一般都关注从床体本身的机械设计、材料选择及制造工艺等方面来提高机床的支撑刚度。但对机床的数控化改造,提高支承刚度要从新的角度入手,如机床地基的支撑刚度、修配的结合面之间的接触刚度,以及机床在动态激励下的动态刚度。通过计算分析可对刚性不足部分予以加强,另外数控技术也可以在一定程度上对刚度不足给予补偿。总之,支撑刚度问题属于机床精度的基础保证,要给予足够重视。

4. 注重导轨修复确保运动导向精度

原机床机械精度的恢复很重要的一项就是床身导轨的修复,单个坐标轴上导轨的导向误差会影响机床直线坐标的“横平竖直”和旋转坐标的“真圆”,坐标轴间导向垂直度误差以及旋转轴线的位置及姿态误差会影响加工零件的形状精度。尽管目前有学者在研究通过误差测量和误差分离对导向精度进行适当的数控补偿,但实际工程中能够做到的还只是单坐标的分离,多坐标耦合情况还是非常困难的,因此对于导向精度,更多的仍然是通过修配工艺和装配工艺来保证。当然,温度变化也会影响机床的导向精度,这在机床数控化改造中主要是结合整机的各热源冷却控制,来最大限度地减少温度对导向精度的影响。因此,导向精度最主要还是由修配工艺和装配工艺来保证。

5. 采用主动抑振技术提高加工精度

振动问题一直是困扰加工精度的重要因素,机床数控化改造要想在机械结构

上改变固有频率来抑制振动比较困难,目前常用的方法是利用数控系统在驱动层面感知振动的发生。例如,通过对伺服驱动的电流的快速傅里叶变换可以发现振动,在明确振动频率后,可以通过改变运动速度或主轴转速,来规避床身的固有频率,实现主动抑制振动。如果机械结构允许,改造时在驱动环节的配置上,尽量让驱动力作用于运动物体的重心,最大限度地避免因旋转力矩带来的阻尼不对称引起的振动,这也是主动抑振的有效方法之一。

第2章 机床数控化改造的理论基础

本章将简要介绍一些在机床数控化改造分析和设计中需要用到的基础理论和方法,特别是在机床精度设计、机床机电动态性能分析和机床运行可靠性等方面的应用方法。这些方法在现代机床设计领域内已经有了一定的应用,但面对数控化改造机床这个特殊对象,需要对这些方法进行新的应用研究,并进行相应的合理修正。必须认识到对已有理论和方法的创新应用是机床数控化改造最大的基础,因此任何与机床相关的理论和方法都可能是机床数控化改造的基础,本章不可能全面地进行叙述。对于改造实践中遇到的各种实际问题,还必须根据它们各自的特点,发展和应用相应的理论方法。

2.1 精度设计的理论与方法

精度设计的理论与方法在机床数控化改造中有着很重要的应用,是改造机床精度保证的应用科学。在机床数控化改造的质量评价指标体系中,精度是核心指标,而提高改造机床的精度和稳定性,必须从改造方案的设计、改造部件的制造抓起;在设计中进行精度分析,确定各零部件的设计精度,并根据机床结构进行精度的分配和合成,确保改造机床整体精度符合零件加工要求。在改造零部件制造阶段,要根据设计要求,以精度理论为指导,通过分析,尽可能减少各类误差的影响,使制造精度达到设计要求。所以说,精度设计理论和方法是改造机床质量得到保证的基础。

随着技术的发展,精度设计理论和方法也已经从几何参数精度(静态精度)为主向物理参数精度(动态精度)为主的方向发展。动态精度的研究主要从物理模型、数学模型入手,求出特征参数的数值解和分散性。研究中所涉及的数理基础较为广泛:从微分方程到复杂的数理方程,阶次从一次到高次,参数从独立到相关,特性从线性到非线性。

关于动态精度的研究目前尚处在发展阶段,一些基本问题还有待进一步加强。例如,有待更深入地建立动态精度的特征参数和指标体系;通过测试和研究进一步揭示动态特性的变化规律,为动态精度研究提供实验基础相关依据。另外,实际物理系统往往都具有非线性,现在对非线性系统一般还是采用高阶线性方程来描述,这本身是一种近似描述。如果非线性科学有所突破,那么它将为系统的动态特性及精度研究提供更切合实际的理论依据。此外,应用计算机仿真技术研究系统的