

数控机床误差补偿关键技术

一、误差补偿的主要难点

机床的几何误差(由机床本身制造、装配缺陷造成的误差)、热误差(由机床温度变化而引起热变形造成的误差)及切削力误差(由机床切削力引起力变形造成的误差)是影响加工精度的关键因素,这3项误差可占总加工误差的80%左右。

提高机床加工精度有两种基本方法:误差预防法和误差补偿法。误差预防法是一种“硬技术”,通过设计和制造途径消除或减少可能的误差源,靠提高机床制作精度来满足加工精度要求。误差预防法有很大的局限性,即使能够实现,在经济上的代价往往是很高的。误差补偿法是使用软件技术,人为产生出一种新的误差去抵消当前成为问题的原始误差,是一种既有效又经济的提高机床加工精度的手段。通过误差补偿可在机床上加工出超过机床本身精度的工件,这是一种“精度进化”的概念。近年来,误差补偿技术以其强大的技术生命力迅速被各国学者、专家所认识,并使之得以迅速发展和推广,已成为现代精密工程的重要技术支柱之一。数控机床误差动态综合补偿已列入国家科技重大专项“高档数控机床与基础制造装备”表明我国政府对数控机床误差动态综合补偿技术的高度重视。

纵观国内外,在有关人员的不懈努力下,数控机床误差补偿技术有了较快的发展,但从目前来看,在国外,数控机床误差实时补偿技术大批量在工业中应用的例子并不多,还没成熟到商业化程度。在国内,误差实时补偿技术大部分还停留在实验室范围内,还未见在生产厂家批量数控机床上应用误差实时补偿技术的报道。这说明误差补偿理论和技术还有很大余地可开发。目前,数控机床误差补偿技术的主要不足和难点如下:

(1) 误差补偿运动控制的实现。误差补偿是通过移动(对于四轴以上还需转动)机床的运动副以使刀具和工件在机床空间误差的逆方向上产生相对运动而实现。误差补偿运动控制的实现除了要满足补偿精度外,还要满足实际应用的方便性和市场经济的经济性。再则,考虑到机床的动态误差,还需补偿的实时性,所以,对误差补偿运动控制实现的要求是精确性、实时性、经济性和方便性。从目前来看,补偿运动控制的实现可通过:a. 修改 G 代码补偿法[3-5],但实时性差;b. 压电陶瓷制动补偿法[6],但反应慢、刚度低;c. 开放式数控系统补偿法,但绝大

多数数控系统还未到开放程度;d. 数控系统内部参数调整补偿法, 如螺距补偿、齿隙补偿、刀补等, 但仅静态补偿;e. 原点偏移补偿法[7-9], 但受限于数控系统。

(2) 数控机床误差的综合建模和补偿问题。目前, 绝大多数的补偿将几何误差和热误差分开补偿, 由于机床误差的复杂性, 如定位误差等实质上既是几何误差(与机床坐标位置有关)又是热误差(与机床温度有关), 一般将这些误差作为几何误差进行补偿, 但实际上, 这些误差在不同的温度下是变化的, 故对这种既是几何误差又是热误差的复合误差(严格说机床上的误差都和温度有关)要进行几何误差和热误差的综合建模和补偿。

(3) 机床误差检测和辨识时间过长问题。由于机床误差特别是热误差取决于诸如室温、机床工况(主轴转速和进给速度等)、切削参数、冷却液、加工周期等多种因素, 而且机床热误差呈现非线性及交互作用, 因此, 这种检测和辨识通常需要很长时间。另外, 由于机床上的误差元素众多, 一般的激光测量仪测量, 一次调整仅测得一项误差元素, 如何高效快速地测量, 也是个必须解决的问题。

(4) 五轴数控机床多误差实时补偿问题。目前国内外五轴数控机床补偿主要局限于几何误差建模及补偿[10-12], 而且在理论上讨论的比较多, 真正实际的动态实时补偿的实施和应用的实例还是不多。而随着五轴数控机床的普遍使用, 为获得更好的加工精度或补偿效果, 五轴机床的多误差动态实时补偿及其应用必不可少。

二、补偿技术主要不足和难点的解决策略及其研究课题

1 基于机床外部坐标系原点偏移的实时补偿器研制

利用机床数控系统具有的机床外部坐标系原点偏移功能, 根据机床温度、位置坐标甚至切削力数值信号的反馈对数控机床误差进行实时补偿。机床外部坐标系原点偏移的方法不需要对 NC 指令作修改, 也不影响各个加工坐标的功能, 对原有数控系统工作不产生影响。补偿具有很好的实时性, 通过对误差模型的优化和修改也使得补偿更加灵活、简便和有效。由于现在的发那科、海德汉、西门子等数控系统都有这种原点偏移功能, 而且国内的数控系统中也正在嵌入这种功能, 所以, 这种补偿是今后发展和应用的方向。图 1 是这种补偿器的结构示意图, 图 2 是具体实时补偿原理图。实时补偿原理或过程如下: 首先通过布置在机床上的温度传感器实时采集机床的温度信号(与热误差有关), 同时, 实时采集机床工

作台的运动坐标位置信号(与几何误差有关)并通过 A/D 板和输入输出接口把这两种信号送入实时补偿器,根据预先建模并放置在补偿器里的综合误差数学模型,算出瞬时综合误差补偿值。然后,把误差补偿值送入机床数控系统,数控系统根据补偿值对刀架或工作台进行附加运动来修正误差以完成实时补偿。此系统还可结合激光测量仪和位移传感器及一些接口电路进行机床几何误差、热误差的测量。

(1) 计算每个温度序列相对其他所有温度序列的综合关联度值;

(2) 形成综合关联度矩阵,并对超过显著性阈值的综合关联度值进行标注;

(3) 通过行搜索的方式得到相关温度测点组;

(4) 归并对相关温度测点组;

(5) 在每个温度测点组当中选出相对机床热误差具有最大综合关联度的测点作为候选关键温度测点。

(6) 对候选温度测点进行进一步筛选,得到关键温度测点。

6 数控机床的切削力误差补偿

切削力误差是指加工过程中切削力导致机床、刀具和工件等发生变形,导致刀具和被切削工件之间的相对位置误差,从而产生加工误差即切削力误差。从目前来看,在国内外有关切削力误差补偿研究的报道比较少。因为一般都假定,在传统的精密加工中,由于切削力很小,所导致的变形可以忽略,故切削力变化对加工精度影响很小。然而,强力或高效切削以及一些难加工材料切削加工应用日益广泛,在这些加工中产生的切削力比较大,所以切削力引起的加工误差变得重要起来。

数控机床主轴电机是切削加工动力源,当机床上切削力大小变化时,主轴电机电枢电流也随着变化,故可通过检测主轴电机电流变化来辨识切削力大小,再根据切削力大小来估计切削力误差进而补偿。