

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2009.07.070

基于 Pro/E 的曲轴数控加工应用研究

杨旭升, 马自勤, 王秀伦

(大连交通大学机械工程学院, 辽宁大连 116028)

摘要: 使用 Pro/E 软件进行机车发动机曲轴的实体建模和数控加工仿真; 并经过后置处理生成了数控代码。利用 Pro/E 强大的造型功能和优异的加工制造模块提高了曲轴的加工水平。

关键词: 曲轴; 实体建模; 数控加工仿真

中图分类号: TH164; TP391.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-3881(2009)7-211-4

The Simulation of Machining Process for Crankshaft with Pro/E

YANG Xusheng, MA Ziqin, WANG Xiulun

(Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning 116028, China)

Abstract: The construction of the solid model and the simulation for machining of the crankshaft with Pro/E were introduced. The NC code of product cutting was generated by NC machining post processing. To apply the powerful molding function and processing module of Pro/E, the machining of the crankshaft was improved.

Keywords: Crankshaft; Solid model; NC machining simulation

0 引言

传统的数控加工一般都是采用手工编程, 通过在数控机床上对 NC 代码进行空运行或样件试切的方式检验数控代码的正确性与合理性。但对于形状复杂的或轮廓简单但程序量很大的零件, 计算数值相当繁琐, 工作量很大, 容易出错, 很难校对; 而且会占用大量的实际加工时间, 降低加工效率。随着 CAD/CAM 一体化技术的发展, 计算机辅助制造技术 (CAM) 成为加工需求的热点, 数控编程是目前最能发挥效益的环节之一, 在实现设计加工自动化、提高加工精度和质量、缩短产品研制周期、提高制造柔性等方面发挥着极其重要的作用^[1]。采用具有 NC 程式自动编制功能的软件, 如 Pro/E、UG、MasterCAM 等, 可以利用计算机图像模拟加工过程, 并观察刀具运动及对加工部位工件材料的切除过程。这样可以从本质上提高检验数控代码的效率, 节省劳动力, 节约生产资源^[2]。作者使用 Pro/E 软件以机车曲轴为例建立了曲轴的三维实体模型, 并进行加工过程的仿真, 经过后置处理生成数控代码。

1 创建曲轴三维模型

1.1 Pro/E 的建模技术和 CAD 功能

Pro/E 是一种参数化的基于特征的三维造型软件。Pro/E 零件建模从逐个创建单独的几何特征开始, 在设计过程中参照其他特征时, 这些特征将和所参照的特征相互关联。特征之间的相关性使得模型成

为参数化模型。因此, 如果修改某特征, 而此修改又直接影响其他相关 (从属) 特征, 则 Pro/E 会动态修改那些相关特征。此参数化功能可保持零件的完整性, 并可保持设计意图。曲轴的设计正是基于这一思想, 基于一个特征创建另一个特征使各个特征参数相互关联, 而且解决了因曲轴主轴颈和连杆颈不在同一轴线上而引起的造型上的困难。

1.2 创建曲轴实体模型

利用 Pro/E 所提供的各种基于特征的参数化建模方式 (如拉伸、旋转、曲面混合等), 可以根据曲轴的各部分组成特性创建适合于 Pro/NC 环境下的曲轴三维实体模型。通过分析可以看出曲轴是一种复杂的轴类零件, 主轴线和连杆轴线不在同一个轴上; 每一个连杆颈也不在同一轴线上, 而是相互偏转一定的角度, 这样就不能直接通过拉伸或旋转得到实体, 但是从曲轴组成部分的特性来看, 每一个拐都具有相同的特征, 所以在实体造型的时候可以从曲轴的一端开始。首先输出带有锥度的以旋转特征为基本特征的一端轴, 在此基础上拉伸出它的第一段主轴颈, 然后拉伸出曲拐臂, 在曲拐臂上拉伸出第一拐的连杆颈, 再拉伸出另一侧的曲拐臂, 然后拉伸出第二段主轴颈, 这样第一个拐就完成基本特征的造型。由于曲轴的每一个拐都具有相同的特征, 可以将一个拐所包含的所有特征合并成一个“组”。那么, 以后的操作就可以利用 Pro/E 实体造型环境下“编辑”菜单中的“特

收稿日期: 2008-07-09

作者简介: 杨旭升 (1982—), 男, 硕士研究生, 专业方向为先进加工技术的理论与方法。电话: 13840854010, E-mail: plainman@163.com。

征操作”选项对“组”进行复制操作。通过“特征操作”菜单管理器中的“复制”选项就可以进行第一个拐的平移操作，然后根据给出的旋转角度再利用“特征操作”菜单管理器中的“复制”选项进行一次绕主轴颈的旋转移动就可以得到第二个拐的正确位置。依次按先平移再旋转的方式这样做下去，就可以依次得到 3—8 个拐。最后以旋转为基本特征得到曲轴的另一端。最后得到的曲轴实体模型如图 1 所示。

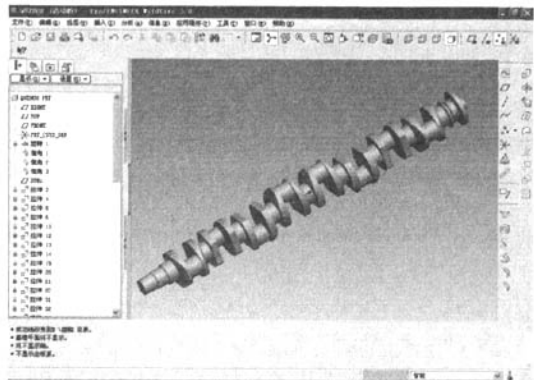


图 1 机车曲轴实体模型

2 仿真操作流程及步骤

2.1 Pro/E 的模型驱动和 CAM 功能

Pro/NC 模块能生成驱动数控机床加工 Pro/E 零件所必需的数据和信息以及数控加工的全过程^[3]。此模块提供了从三轴到五轴多种加工方式，可以根据被加工零件的特征选择最为合适的加工方式，每一种加工方式都可以通过选择最优的加工刀具路径类型，改变加工刀具、机床、切削用量等加工参数来达到零件所需要的加工技术要求。Pro/E 系统的全相关统一数据库能将设计模型变化体现到加工信息中，利用这些信息就能够按照合理的工序将设计模型处理成 ASC II 码刀位数据文件，包括刀位数据文件、刀具清单、操作报告、中间模型、机床控制文件等。这些文件经过后置处理变成数控加工程序，同时可以在计算机上动态地演示刀具的加工轨迹。Pro/NC 的加工流程如图 2 所示。

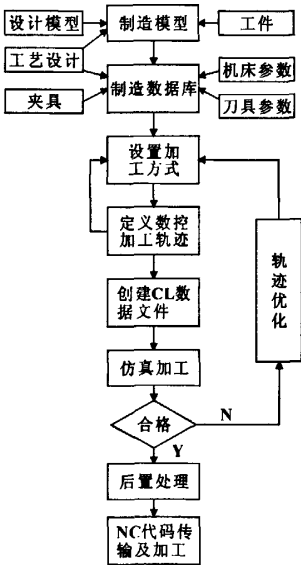


图 2 Pro/NC 加工流程

2.2 Pro/NC 的数控加工过程

数控编程是指根据被加工零件的技术要求、几何形状和尺寸及工艺要求，来确定加工方法、加工路线和工艺参数、切削参数主轴转速、刀具进给量、切削深度等，以及辅助功能主轴正反转、冷却液开关等的设置，进行数值计算获得实际加工时的刀具轨迹，然后按数控机床所采用的代码及程序格式，输出工件的数控加工程序的过程^[4]。

Pro/NC 的数控编程以人机图形交互方式完成从零件几何形状数字化、生成加工轨迹与加工仿真到数控程序生成全过程。根据被加工零件的技术要求、几何形状、尺寸及工艺要求将实际运行加工程序的各项环境参数及操作参数存放在 Pro/NC 数据库中，然后确定加工路线和工艺参数、切削参数及辅助功能，设置加工刀具的路径参数，Pro/NC 会获得实际加工时的刀具路径，然后按数控机床所采用的代码驱动数控机床进行加工。Pro/NC 数控加工编程功能模块一般包括制造模型设计、加工环境设置、加工方法选择、刀具轨迹设计、刀具轨迹编辑、加工仿真、检测、后置处理和全数据关联参数化驱动修改等功能模块。利用 Pro/NC 进行数控程序的编制流程与实际加工的逻辑思维是相似的。

2.3 曲轴数控加工仿真工作过程

曲轴的加工仿真过程以实际的加工工艺为基础，结合软件本身提供的加工环境进行加工。结合曲轴在特征上的特点，在加工的时候采取具有相同特征的元素在一个工序内完成（如在一个工序内把所有的 8 个主轴颈全部加工完后，再进行其他工序）。这样可以提高刀具的耐用度，节省时间，最大限度地发挥机床的性能，提高加工的效率。下面以机车曲轴加工为例介绍这一过程。

2.3.1 在 Pro/E 环境下的曲轴数控加工流程及方法

利用 Pro/E 进行数控加工，生成 NC 程序一般要经过如下步骤：进入 Pro/NC 模块→导入零件模型→导入工件模型→创建制造模型→操作设置→加工→NC 序列→加工方法选择→加工参数设置→生成刀具轨迹、轨迹演示→过切检查→后置处理→NC 程序。

曲轴利用 Pro/NC 提供的五轴联动数控车床中心加工，一次装夹可完成外表面的全部加工。解决了主轴颈和连杆颈轴线不一致而引起的加工工序繁琐、额外为连杆颈加工设计偏心夹具等带来的效率和经济性问题。利用五轴加工的优越性，摒弃传统的车削方式，采用曲面铣削的加工方法，可将一些回转曲面用铣削的方式加工。在进行曲轴加工过程中，这种方法既可以完成对配重结合面等平面的加工，也可以利用铣刀的刀侧铣削特性加工曲拐臂的侧面，这样可以减少换刀次数，提高加工效率。

2.3.2 工件装夹与工件原点的确定

进行制造模型设置，建立零件的参考模型，在此基础上根据加工余量的要求，设计工件模型，然后装配得到制造模型。根据曲轴是轴类零件的特点，工件坐标系原点设置在曲轴一端的中心，以曲轴主轴线方向为 Z 轴，径向为 X 轴，由右手定则确定 Y 轴。为适应五轴联动铣削的需要，退刀曲面设置为以主轴颈中心线为中心的圆柱面。定义操作退刀面后，刀具将沿该面从一条数控加工轨迹的终止点移动到下一数控加工轨迹的起始点。另外，以主轴颈外圆为基准定位夹紧，由于曲轴较长，中间主轴颈外圆做支撑。

2.3.3 曲面铣削中加工轨迹的创建

Pro/NC 曲面铣削中有四种定义切削和生成刀具路径的方法，分别为直切、自由曲面等值线、切削线、投影切削。

根据曲轴结构上的特点，各实体组成曲面都是规则曲面，直切和自由曲面等值线是最为适合的轨迹创建方式。直切曲面铣削主要用来铣削形状相对简单的曲面，通过一系列直的切线来铣削所选曲面，它能彻底铣削被加工面。如果被加工面边界是开放的，刀具将超出边界一个半径值；如果有加工余量的话，会自动应用于侧壁。走刀轨迹如图 3 所示。

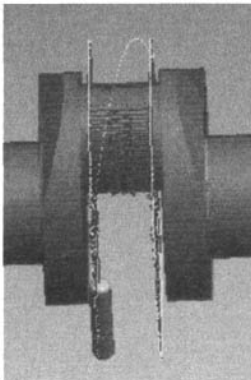


图 3 直切刀具路径

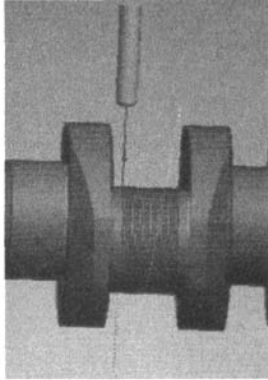


图 4 自由曲面等值线走刀路径

自由曲面等值线铣削方法可以铣削单个曲面，也可以铣削多个连续曲面，如图 4 所示。加工方向由待铣削曲面的 *u-v* 轮廓定义。选取曲面后，可以通过  按钮进行走刀路径方向的设定，分别确定每个曲面的加工方向。如果选取了多个曲面，则它们必须允许连续的刀具路径。通过  按钮可以指定曲面被铣削的顺序，系统将按照顺序生成曲面铣削的 CL 数据。

通过比较可以看出自由曲面等值线和直切的区别在于：前者在加工多个面时，可以分别设定各面的走

刀方向，选择沿主轴颈圆柱面的径向走刀形成图 4 所示的轨迹，实现对圆柱曲面的合理加工。而后者在加工多个面时，各面的走刀方向必须一致。图 3 所示的直切走刀路径沿圆柱面的轴线方向，在两个半圆柱面的结合处有加工不到的区域，且在两个曲拐臂之间采用直切走刀方式容易碰刀，综合以上因素选择自由曲面等值线走刀方式。

2.3.4 加工参数的确定

(1) 刀具选择。按照安装调整方便、刚性好、耐用度和精度高、使刀具的尺寸与被加工工件的表面尺寸相适应的原则，根据曲轴材料是 4CrNiMoA 合金钢，硬度高，选择 $\phi 30\text{mm}$ 机夹式圆角合金铣刀，刀片为 $\phi 8\text{mm}$ 合金圆刀片。圆角铣刀具有比球头铣刀更好的切削能力，机夹式刀具在刀具磨损后可通过变换机夹合金刀片的方位或者直接更换刀片来改善刀具切削能力，避免了整体刀具换刀和反复对刀而产生的误差。

(2) 切削参数设置。Pro/NC 制造参数设置是在参数树管理器对话框中完成的，制造参数分为以下六大部分：NCL（刀位文件）名称、切削选项、切削参数、进给参数、机械参数、入口/出口参数等，其中每一部分都有多个要求设置的参数，累计达 80 个左右^[5]。Pro/E 的参数设置是比较复杂的，一般加工设置时，可选简化的参数设置项，它通常包含了上述六类必须设置的几个重要参数。针对曲轴的加工，在选用曲面铣削为主要加工方式后，根据工件材料、刀具类型、机床性能，考虑加工工艺性和加工效率等，设置的主轴颈曲面铣削加工参数如图 5 所示。

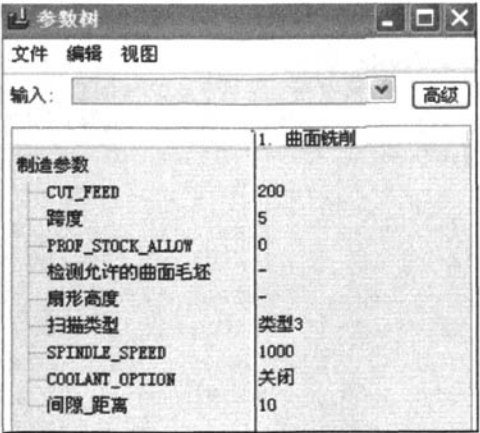


图 5 NC 序列的参数设置

经过以上的设置，在 Pro/NC 模块下，系统能生成加工过程的走刀路径和 NC 检测，利用 NC 检测功能可模拟加工过程，如图 6 所示主轴颈的加工仿真过程。能自动生成加工所需的 CL 数据文件和加工工艺

管理列表, 其中 CL 数据文件是生成数控加工代码的基础, CL 数据文件经后置处理后可生成数控代码。

如图 7 所示是主轴颈加工的代码。

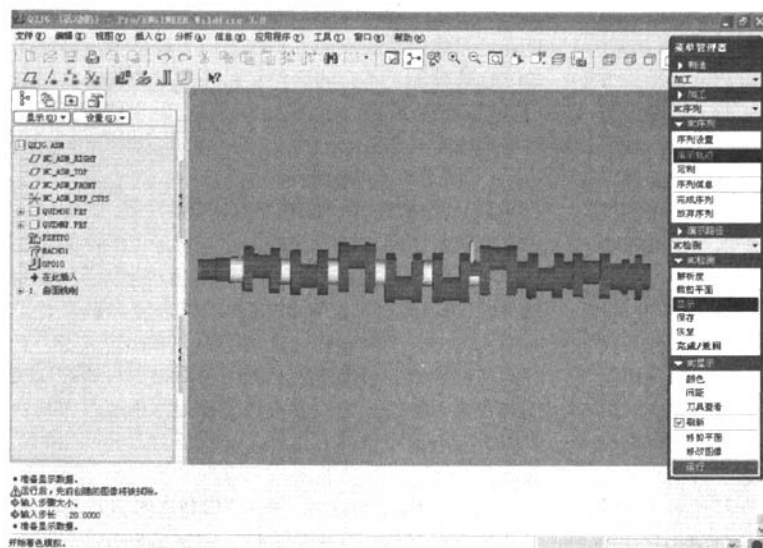


图 6 主轴颈加工仿真过程

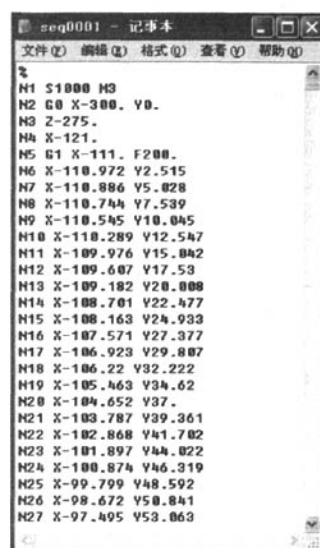


图 7 数控加工代码

3 结束语

曲轴是一种复杂的轴类零件, 由于主轴颈和连杆颈不在同一条轴线上, 加工过程中需要设计专门的偏心夹具来加工连杆颈。随着数控技术的发展, 五轴加工中心已经可以一次装夹完成所有的加工。利用 Pro/E、UG 等先进的造型、仿真软件, 可自动生成数控加工代码, 并能进行加工过程的仿真, 为加工的精确性和安全性提供依据; 可以使产品的设计、修改、制造时间大大减少, 大大缩短产品投放市场的时间, 提高产品品质, 节约人力资源和资金, 减少原材料损耗, 提高企业的竞争力, 并给社会带来更大的效益, 该方法必将取代传统的设计方法而成为时代潮流。

参考文献:

- [1] 杨树财. 基于 Pro/ENGINEER 与 Mastercam 的数控加工策略 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, 8 (2): 5-8.
- [2] 张宇, 许虹, 王庆明. 发动机曲轴的数控加工过程仿真 [J]. 机械制造与自动化, 2005, 34 (3): 65-67.
- [3] 曹岩. 数控加工实例精解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 王华侨, 李新洲, 许建明. Pro/ENGINEER 在热复合模设计与数控加工编程中的应用 [J]. 现代制造, 2003 (10): 87-88.
- [5] 赵让乾, 邓效忠, 杨丙乾. 基于 Pro/E 的热锻模数控加工工艺研究 [J]. 模具工业, 2007, 33 (2): 60-63.

(上接第 191 页)

行模态分析, 进一步了解了铣床重要受力构件立柱的各阶振动特点, 这为该产品的进一步改进更新提供可靠的理论依据。

参考文献:

- [1] 诸乃雄. 机床动态设计原理与应用 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1987.
- [2] 倪振华. 振动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.
- [3] 贺银芝, 陈卫福. 机床小立柱模型动态性能分析 [J]. 北京工业大学学报, 2001, 27 (4): 437-440.

- [4] 张学玲, 徐燕申, 钟伟宏. 基于有限元分析的数控机床床身结构动态优化设计方法研究 [J]. 机械强度, 2005, 27 (3): 353-357.
- [5] 师汉民, 谌刚, 吴雅. 机械振动系统 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [6] 刘相新, 孟宪颐. ANSYS 基础与应用教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] lee W Y, Kim b K W, Sin H C. Design and analysis of a milling cutter with the improved dynamic characteristics [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42: 961-967.