

基于 AutoCAD 的数控加工可视化仿真系统研究

张霞¹, 杨岳²

(1. 湘南学院 计算机科学系, 湖南 郴州 423000;

2. 中南大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要: NC 仿真是代替传统“试切”来验证 NC 加工程序正确性和合理性的重要措施。综合利用三维实体建模技术与数据库技术, 在计算机仿真模型中, 构建了包括毛坯、刀具、夹具及机床等部件的“真实”数控加工仿真环境。采用基于实体建模技术, 布尔造型的方法, 实现了数控加工过程刀具运动仿真、工件切削过程动态仿真以及碰撞干涉检验仿真。并建立了零件表面粗糙度的数学模型, 预测三维零件的表面加工质量。

关键词: 数控加工; 几何仿真; 物理仿真; 质量预测

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)06-0169-04

Research NC Machining Visual Simulation System Running in AutoCAD

ZHANG Xia¹, YANG Yue²

(1. Department of Computer Science, Xiangnan University, Chenzhou 423000, China;

2. Department of Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: NC machining simulation is an important measure to verify correctness and rationality of NC machining program instead of the traditional "test cut". The NC machining simulation environment, including roughcast, tools, fixture and machine tool modeling, is constructed in computer by combining three-dimensional entity modeling and database method. The three dimensional and Boolean solid modeling method is used to realize the simulation of tools movement and dynamic cutting process geometry and collision interference checking. The mathematic model of surface roughness is built to predicate a machined surface roughness.

Key words: NC machining; geometry simulation; physical simulation; quality prediction

0 引言

伴随着计算机技术与建模技术的发展, 数控仿真技术已成为能够预测加工过程表现、产品质量及加工效率的一种有效方法^[1]。数控仿真一方面通过模拟刀具、工件几何体、加工环境及刀具路径和材料的去除过程, 来验证 NC 代码的正确性和合理性, 避免因程序误差而导致机床刀具、夹具损坏及零件报废等。另一方面通过对数控加工的动力学特性进行仿真, 建立数控加工的物理仿真模型, 对加工质量进行预测, 并以此为依据对影响产品质量的一些参数进行优化。目前数控加工过程仿真^[2], 尚属以理想几何图形来验证数控代码是否正确的几何仿真。此时刀具和工件均被视为仅具几何形状的刚体, 不考虑切削参数、切削力及其它因

素对切削加工的影响。若能考虑数控加工过程的物理方面因素, 通过某种物理模型, 建立一个能够进行质量预测与分析的数控仿真系统, 不仅可以建立工件、刀具、夹具和机床实体模型, 通过几何仿真验证数控程序的正确性; 而且可以通过提取加工过程中任意时刻的几何信息(如切屑厚度、切屑几何形状、刀刃与工件部分), 再根据物理模型, 预测与分析产品加工质量(如尺寸精度、表面粗糙度)。这样, 在实际加工之前不仅可以验证数控程序的正确性, 避免刀具与工件、夹具、机床的碰撞干涉, 而且可以对产品的加工精度进行预测。只有这样的数控仿真系统才能发挥更大的作用。为此, 文中以 Visual C++6.0 为工具, 利用 AutoCAD 的 ObjectARX 类库, 开发完成了以 AutoCAD2000 为运行平台的数控加工可视化仿真系统。系统能检验 NC 程序的语法错误, 显示 NC 程序段的连续切削过程, 预测加工表面粗糙度, 检验刀具与机床、工件和夹具等的碰撞干涉情况。仿真结束后, 可得加工零件的三维实体模型, 能直接观测零件的各加工尺寸和各加工表面的

收稿日期: 2010-11-10; 修回日期: 2011-02-16

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(07JJ6107); 湖南省教育科研基金项目资助(09C923)

作者简介: 张霞(1976-), 女, 江苏宿迁人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为计算机图形学; 杨岳, 博士, 教授, 主要研究方向为虚拟制造。

粗糙度。

1 系统的设计与实现

1.1 系统功能结构设计

文中开发完成的基于 AutoCAD 的数控加工仿真系统结构如图 1 所示,共包括 NC 代码分析与处理、数控加工系统建模和 NC 加工过程仿真 3 大模块。NC 代码分析与处理模块用于实现提取出 NC 程序有关信息,并将其转换成驱动系统仿真模型动作的信息,为加工过程的动态仿真作好前期准备。数控加工系统建模模块用于在计算机仿真模型中构建包括毛坯、刀具、夹具及机床等部件的三维实体模型的数控加工仿真系统环境。NC 加工过程仿真模块进一步划分为刀具运动仿真、工件切削几何仿真、工件切削物理仿真和碰撞干涉检验四个子模块。其中,刀具运动仿真通过在计算机屏幕上实时显示数控加工过程中刀具运动轨迹来检验 NC 的正确性和合理性。工件切削几何仿真能够在计算机屏幕上动态显示 NC 加工中每个数控刀位工件材料的切除过程。工件切削物理仿真一方面实现了零件加工表面的识别,另一方面建立表面质量预测的数学模型能够预测加工表面粗糙度。碰撞干涉检验实现了刀具与工件、夹具以及机床等运动部件之间的碰撞干涉检验。

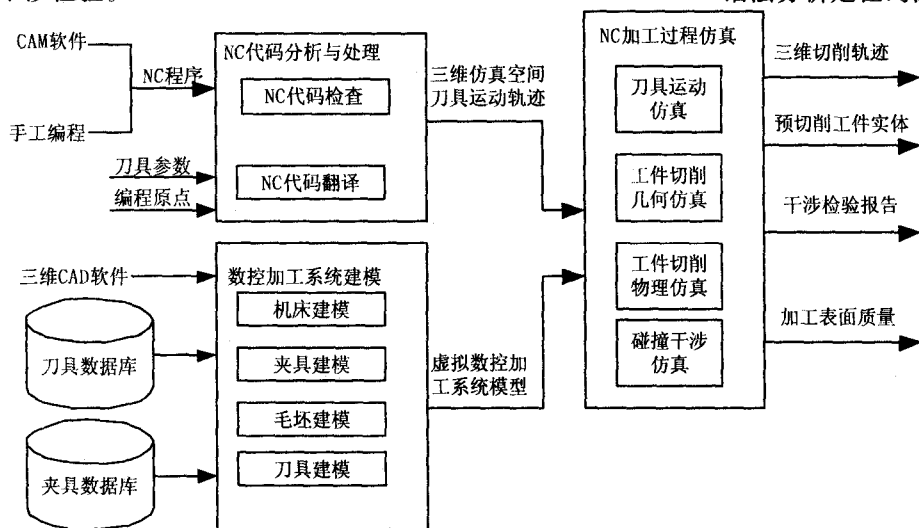


图1 数控加工可视化仿真系统结构

1.2 系统功能模块的实现

1.2.1 NC 代码分析与处理

目前许多 CAD/CAPP/CAM 商用软件提供了基于后置处理的 NC 仿真功能,在检查 NC 程序的正确性和刀具切削轨迹的合理性方面起到了重要的作用。但由 NC 程序直接驱动的数控加工过程的仿真软件还较少,这显然不符合我国制造业目前主要采用半手工数控编程的现状。为此,文中研究开发了基于 NC 程序驱动

的数控加工仿真软件。该系统首先对编制好的 NC 加工程序进行语法和词法检查,在检验无错的情况下提取相关信息,再通过某种方法将其转换成驱动仿真系统动作的三维仿真空间刀具运动轨迹。实现该功能将其分检错和翻译^[3]两步进行。下面分别叙述:

检错:按照目前数控制造企业的数控程序的编程规则和常识,对 NC 程序进行词法、语法以及语意分析与检验,来找出 NC 程序中存在的词法错误、语法错误、逻辑错误。检验无错的 NC 程序方可进入翻译阶段。图 2 给出了数控程序检错的工作原理。

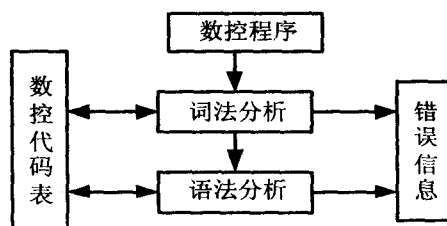


图2 数控程序检错

其中词法分析的主要任务是识别功能字,即通过对数控程序的扫描,把以字符串形成的数控程序转换为具有独立含义的最小语言单位,即关键字、数字字符串、界限符等,并与已建立的数控系统的数控代码表进行比较,对于不能识别的代码给出出错信息。

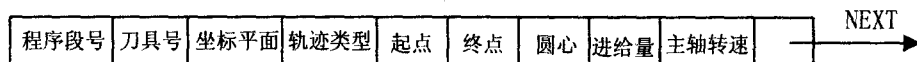
语法分析是在词法分析的基础上,其任务是判断

数控程序是否满足数控代码的语法规则,如同组准备功能不能出现在同一程序段、圆弧插补功能应用有圆心或半径信息等。若检查出错误,给出提示信息。这样用户可以对存在错误的数控程序进行修改,然后重新检验,直到 NC 程序中不存在错误为止。

翻译:翻译用于从通过检验的 NC 程序中提取驱动加工过程仿真中的相关

信息,再设计一种算法将其转换成驱动本系统仿真模型动作的信息,称之为三维仿真空间刀具运动轨迹。

定义如下的单链表数据结构^[4]存储三维仿真空间刀具运动轨迹:



为了对 NC 程序进行处理,将其转化为能驱动仿真模型动作的三维仿真空间刀具运动轨迹,在计算机系统中建立了仿真坐标系,该坐标系为仿真软件平台的三维 CAD 系统坐标系。设定机床坐标系与仿真坐

标系重合,即机床坐标系原点与仿真坐标系的原点重合,且各坐标轴重合且同向,即可将机床的坐标系映射到计算机系统中。

下一段 NC 程序,经过上述的检错和翻译,可将其转换成图 3 所示的三维仿真实空间刀具运动轨迹信息(假设原点偏移量为 G54 X0 Y0 Z-20,机床参考点为(0,0,20))。

% N100 T01 G54 G00 X0 Y0 Z0; N101 G01 G01 Y50 F50 S800;									
头指针	100	1	0	0	(0, 0, 20)	(0, 0, 0)	NULL	50	800
N102 G00 X0 Y0;									
N104 M20;									
	101	1	0	1	(0, 0, 0)	(0, 50, 0)	NULL	50	800
	102	1	0	2	(0, 50, 0)	(100, 50, 0)	(50, 50, 0)	50	800
	103	1	0	1	(100, 50, 0)	(0, 0, 0)	NULL	50	800
	104	1	0	0	(0, 0, 0)	(0, 20, 0)	NULL	50	800 NULL

图 3 三维仿真实空间刀具运动轨迹示例

1.2.2 数控加工系统建模

目前的一些商品化应用软件如制造工程师 CAXA,数控加工仿真中仅仅建立刀具和工件的几何模型。不能检验刀具与机床、夹具等其他部件可能存在的碰撞干涉,这显然不符合实际数控加工情况,不能体现实际的数控加工环境。因此有必要建立包括刀具、夹具、工作台和虚拟机床的加工环境模型。文中在了解研究工厂实际数控机床加工环境的基础上,利用三维实体建模技术^[5]与数据库技术相结合的方法,在计算机仿真模型中构建了包括毛坯、刀具、夹具及机床等部件的三维实体模型的数控仿真系统的加工环境,建立了可视化的数控加工仿真环境。

(1) 毛坯实体建模。

由于 AutoCAD 提供了拉伸法、旋转法、扫描法进行三维造型以及由一些基本体素的布尔运算等实体造型功能,系统可以根据用户输入的毛坯的实际形状和尺寸,利用这些实体造型功能直接参数化构建毛坯实体模型。另外,其他的 CAD 软件(如 Solidworks)的实体模型,可以将它们转换为 AutoCAD 接收的文件格式(*.dwg)调入到本仿真系统中直接运用。并可以将毛坯的实体模型保存起来,形成毛坯图形库,待仿真时直接调入。

(2) 刀具实体建模。

在构建刀具实体模型时,考虑到虽然有些刀具在

静止的状态下,它不是圆柱体,但在数控加工过程中,随着主轴旋转的刀头可当作圆柱体。因此,将刀柄部分看作圆台体,刀体和刀头部分看作圆柱体。仿真前,首先输入刀具的有关尺寸。利用 AutoCAD 的实体造型功能,采用参数法建立刀具的截面面域,再用截面面域旋转法即可实现刀具实体建模。

数控加工涉及的零件具有多样性和复杂性,需要使用多种类型的刀具。每种刀具包含着材料、规格尺寸、补偿尺寸等众多数据。对如此繁多的刀具数据信息,必须借助计算机来进行准确地描述、有效和灵活地

管理。为此,文中利用数据库技术,建立刀具数据库,管理刀具数据。数控加工仿真前,首先从刀具数据库中选择本次仿真中用到的刀具,并将其保存为当前刀具库,称为机床刀具库,生成刀具文件。仿真中,依据刀具号从机床刀具库中提取有关刀具的数据,利用本系统开发平台的实体造型功能生成刀具实体模型,进而可以进行数控加工仿真。

这样一来,满足了本数控仿真系统刀具数据多样性的要求,实现了刀具数据有效管理,为数控加工过程仿真做好后勤保障。

(3) 夹具实体建模。

夹具的建模较毛坯、刀具复杂,需要综合考虑定位、夹紧、零件的夹紧变形、安装和拆除方便性等多方面的问题。首先用系统开发平台 AutoCAD 的一些绘图功能,构建夹具体需要的各个零件实体,再将它们装配成夹具体部件,并将它们存入系统的夹具零件库。待仿真时,直接从夹具库中调入所需的夹具体,通过经平移、旋转等图形变换的方法将它们装配到系统的计算机仿真环境中。

在设计夹具时,对于一些标准件,如螺栓、螺母、垫圈、圆柱销等,都用 AutoCAD 的绘图命令重新建立,这不仅费时费力,而且很繁琐。为此,在调查研究数控机床所需夹具零件的实际情况的基础上,对常用的夹具标准件如定位件、夹紧件、紧固件等建立了夹具标准件库,并用数据库技术对其进行管理。如果在夹具设计中需要使用标准件库中的夹具零件,则只需选择所需夹具零件类型和规格,即可建立相应的夹具零件三维实体模型。

(4) 数控机床建模。

考虑到简化模型的需要,对于数控机床模型,只建立了机床工作台。根据实际工作台的大小,由用户交

互式的输入尺寸数据,实现了参数化造型。

在构建好数控机床、毛坯、刀具和夹具实体模型后,还需要将它们“安装”在一起以形成数控加工仿真系统硬件环境,即安装仿真。用部件链接法进行安装仿真,对有装配关系的部件,在部件上设定原点和安装点。原点是部件的安装基准点,安装点是部件上安装其他零部件时的安装点。在装配过程中,首先设定机床坐标系原点与 AutoCAD 图形坐标系的原点重合,根据输入机床工作台尺寸参数构建工作台实体。接着,设定毛坯的坐标系原点与机床坐标系原点重合,并在毛坯上选取任一几何基准点作为安装点,设置其在机床坐标系中的位置,即安装好了毛坯。最后,设定夹具坐标系原点与机床坐标系原点重合,通过平移和旋转将夹具移动到合适的位置。

1.2.3 数控加工过程可视化仿真

(1) 刀具运动轨迹仿真。

NC 程序经过上述的 1.2.1 的 NC 代码分析与处理模块,得到了三维仿真空间的刀具运动轨迹。再根据刀具号,从已配置好的机床当前刀具库中,提取刀具相关参数数据,采用上述的 1.2.2 的刀具实体建模方法,生成刀具的三维实体模型。刀具三维实体模型与刀具轨迹同时动态显示,在计算机屏幕上真实再现刀具按照 NC 加工程序运动产生的刀具轨迹,以便检验刀具运动轨迹的合理性和 NC 程序的正确性。图 4 给出了刀具轨迹仿真过程的流程。

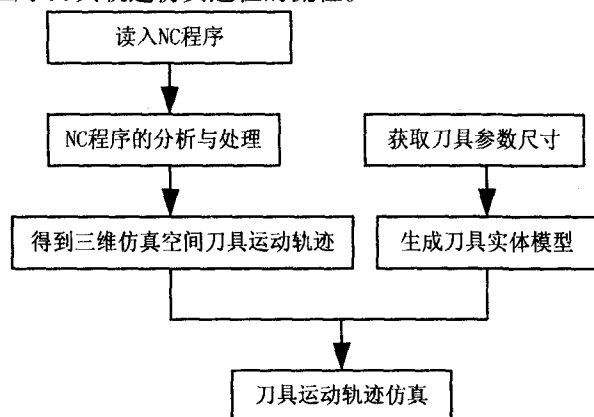


图4 刀具运动轨迹仿真过程

(2) NC 加工过程动态几何仿真。

随着数控加工的进行,工件的形状不断地改变。对此,有些学者提出了基于图像空间的消隐算法^[6]进行动画仿真。但这样一来,工件原始的实体模型数据都将转化成像素值,进而导致本仿真系统在进行质量预测时需要的一些有关的几何信息丢失。所以,采用基于实体建模技术,布尔实体造型方法,通过 AutoCAD 的二次开发工具 ObjectARX 的 AcDb3dSolid 类的成员函数 booleanOper(),连续地将工件与刀具扫描体^[7]进行布尔“差”运算,来动态模拟 NC 加工过程中工件材

料的去除过程。

(3) NC 加工仿真中几何信息的获取。

对于本仿真系统在进行表面质量预测时,有些信息如主轴转速、进给量等可直接从 NC 程序中提取。但对于切削深度和切削宽度,与 NC 程序段中每个数控刀位刀具扫描体和工件相互位置关系有关。先将刀具沿刀具轨迹生成刀具扫描体,刀具扫描体与零件实体进行求交运算,两者的交集即为零件已切削部分,也就是切屑实体。再生成切屑实体的包容盒,根据包容盒的边界信息即可提取出刀具切削深度和切削宽度。

(4) 零件表面加工质量预测数学模型。

数控加工过程中,零件表面加工质量受到多方面因素的影响,包括机床的几何误差、机床动态误差、刀具误差、热变形、振动等。在表面加工质量预测模型研究方面,国内外学者进行了大量的研究,综合已有的研究成果^[8-11],本系统用回归分析法和经验公式两种方法建立了包含刀具、工件和机床系统等因素的零件表面加工质量(粗糙度)预测模型。根据该模型,可预测出零件加工表面粗糙度。

1.2.4 数控切削仿真过程中碰撞干涉检验

在数控切削仿真过程中,将工件、夹具、机床工作台看作静止,只有刀具相对这些对象运动,因此只要求出刀具沿运动轨迹的刀具扫描体,并将刀具扫描体分为刀柄部分、刀具非切削部分和刀具切削部分。然后分别将它们与工件、夹具和工作台进行求交运算,即可实现干涉检验。对此文中采用扫描体法,在 AutoCAD 环境下实现了 NC 加工仿真干涉检验。

2 结束语

数控加工仿真为现代制造业缩短产品开发周期、降低生产成本及提高市场竞争力发挥了重要的作用。文中采用面向对象的方法,综合利用 MFC^[12](微软基类库)和 ObjectARX 库,开发了一套运行在 AutoCAD 环境下的数控仿真系统。实现了刀具运动轨迹仿真、工件切削过程动态几何仿真以及加工过程中干涉检验仿真,包括刀具与工件、刀具与夹具、刀具与工作台等其他运动部件间可能存在的碰撞干涉。此外,初步探讨了数控加工物理仿真,采用回归分析法和经验公式法建立零件表面加工质量预测模型,该模型适用于对平面加工、挖槽、孔的加工。对于曲面加工质量预测还有待进一步深入的研究。

参考文献:

- [1] 马玉林,孙宏伟.基于质量保证的数控切削仿真技术与展望[J].制造业自动化,2000,22(4):16-19.

(下转第176页)

表 1 优化结果

加压塔回 流比 r_1	常压塔回 流比 r_2	加压塔乙 醇 PPM	常压塔乙 醇 PPM	加压塔塔底 蒸汽流量
3.4999	2.4991	48.0255	44.3502	6.1655

5 结果分析

对于四塔精馏提出一种用 BP 神经网络拟合的方法,然后对拟合的函数,采用遗传算法求出最优的操作参数。具体的流程如图 6 所示。

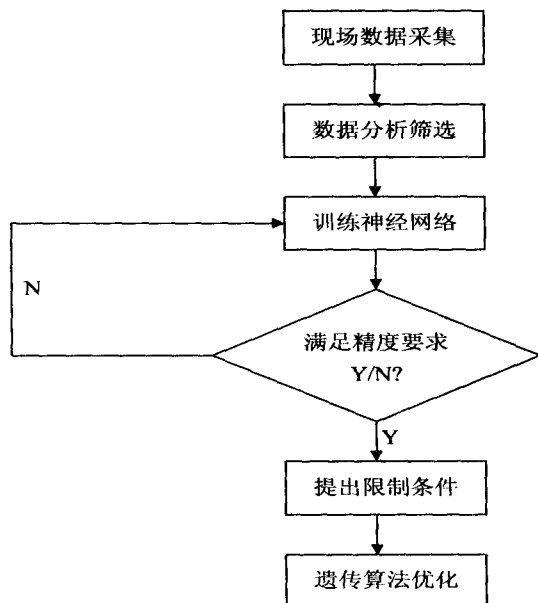


图 6 四塔精馏优化方法流程图

结果表明:

(1)神经网络拟合的结果表明其误差较小,解决了四塔精馏模型建立困难的问题。

(2)将遗传算法和神经网络相结合是一种行之有效的优化方法。为四塔精馏优化提供了一个参考。

在实际操作中发现,最终优化结果的好坏主要是由神经网络拟合的精度所决定的。这就需要增加训

练所用的数据样本个数。一方面可以通过增加现场数据的采集,另一方面可以使用 ASPEN 等化工模拟软件来取得合适的数据样本,这样能建立一个数据分布均匀的数据库,能大大增加拟合的精度。

参考文献:

- [1] 王慧娟. 精馏过程建模与操作优化研究[D]. 大连:大连理工大学,2006.
- [2] 刘兴高. 精馏过程的建模、优化与控制[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [3] 黄凤林,向小凤. 甲醇精馏过程四塔流程模拟分析[J]. 石油与天然气化工, 2007,36:18-21.
- [4] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论和 MATLAB7 的实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [5] 胡伍生. 神经网络理论及其工程应用[M]. 北京:测绘出版社,2000.
- [6] 薄翠梅,林锦国,戴庆成. 径向基函数神经网络在精馏塔软测量中的应用[J]. 南京工业大学学报,2002,24(3):82-86.
- [7] 王菲露,宋杰,宋杨. BP 神经网络在蛋白质二级结构预测中的应用[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):217-219.
- [8] 李晶,袁峰,丁振良. 基于 BP 神经网络的外姿态测量系统线阵 CCD 标定[J]. 仪器仪表学报,2010,31(5):1138-1141.
- [9] 朱文龙. 基于遗传算法的 BP 神经网络在多目标优化中的应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2009.
- [10] 魏志明. 遗传算法的改进及其在机械优化设计中的应用[D]. 济南:山东建筑大学,2009.
- [11] 纪良波,周天瑞. 基于神经网络和遗传算法的拉深成形工艺优化[J]. 机床与液压,2010,38:20-23.
- [12] 陈广洲,解华明,鲁祥友. Matlab 遗传算法工具箱在非线形优化中的应用[J]. 计算机技术与发展,2008,18(3):246-249.

(上接第 172 页)

- [2] 乔咏梅,张定华,张森,等. 数控仿真技术的回顾与评述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1995,7(4):312-315.
- [3] 刘磊,吴明华,周济. 通用数控加工过程仿真中数控代码解释器的一种实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,1995(12):12-16.
- [4] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构(C语言版)[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [5] 孙家广,杨长贵. 计算机图形学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.
- [6] 赵继政,魏民生,杨彭基. 基于图像空间的数控加工图形仿真[J]. 中国机械工程,1998,9(5):28-31.
- [7] Wang W, Wang K. Geometric modeling for swept volume of

moving solids[J]. Comput. Graph. & Applie, 1986(12):8-17.

- [8] 沙智华,葛研军,王启义. 车削加工物理仿真技术研究[J]. 大连铁道学院学报,2000,21(3):69-78.
- [9] 王洪详,李旦,董申. 超精密车削表面粗糙度预测模型的建立[J]. 高技术通讯,2000(3):76-82.
- [10] Kim H S, Ehmann K F. A cutting force model for face milling operations[J]. Int J Mach Tools Manuface, 1993,33(5):651-673.
- [11] Olover J H, Goodman E D. Direct dimensional NC verification[J]. Computer-Aided Design, 1990,22(1):3-9.
- [12] 张祖浩,葛建芳. C++程序设计基础与实践教程[M]. 北京:电子工业出版社,2009.