


多轴加工曲线曲面

实时插补理论与方法

DUOZHOU JIAGONG QUXIAN QUMIAN
SHISHI CHABU LILUN YU FANGFA

陈良骥 李慧莹 著



 郑州大学出版社

多轴加工曲线曲面

实时插补理论与方法

DUOZHOU JIAGONG QUXIAN QUMIAN
SHISHI CHABU LILUN YU FANGFA

陈良骥 李慧莹 著

 郑州大学出版社
郑州

图书在版编目(CIP)数据

多轴加工曲线曲面实时插补理论与方法/陈良骥,李慧莹著. —郑州:郑州大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5645-3183-6

I. ①多… II. ①陈…②李 III. ①机械原件-数控机床-加工-研究
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 147423 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:张功员

全国新华书店经销

新乡市豫北印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:8.5

字数:198 千字

版次:2016 年 8 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2016 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-3183-6

定价:25.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

作者简介

陈良骥,1978年3月,生于四川省广安市邻水县,男,教授、博士,硕士生导师,河南省教育厅学术技术带头人,IEEE会员、中国机械工程学会高级会员、中国计算机学会会员;1997年9月至2006年9月就读于哈尔滨工业大学,先后获得学士、硕士和博士学位,专业为机械制造及其自动化;2006年9月起至今在高等学校从事复杂曲面多轴数字化加工技术方面的科研工作,历任讲师、副教授和教授;近年来,以第一完成人获得河南省自然科学优秀学术论文一等奖2项、国家发明专利授权2项,以第一作者发表学术论文50余篇,作为项目负责人主持承担国家自然科学基金项目3项、河南省高校科技创新人才支持计划项目1项。

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了复杂外形零件多轴加工过程中数字化制造技术原理,并阐述了多轴数字/智能先进制造装备在曲线曲面实时插补计算方面的具体开发实现的理论与方法。本书的主要内容包括基于 n 阶矩阵表达的样条快速计算、复杂曲线曲面数字化样条表示及精密造型方法、五轴联动线性和样条轨迹的插补方法、面向五轴联动的实时样条曲面直接插补机制以及复杂曲线曲面插补算法伴随的加减速控制方法等。本书研究内容对提高复杂外形零件的高速、高效、高精加工具有极大的促进作用和重要的科学意义和实际应用价值。本书主要适用于国内各高等院校、研究所、军用民用工业企业中从事复杂曲面多轴数字化加工及装备开发的科学研究工作人员参考使用。

前言

复杂外形零件在我国国民经济和社会发展过程中扮演着非常重要的角色,其加工的效率 and 精密程度也是制造领域最关心的两个问题。可见,复杂外形零件的高速高精加工问题也是当前机械制造行业亟待解决的关键科技问题之一。目前,针对复杂外形零件的高速高精加工问题,制造企业和科研院所研究开发过程中仍然广泛地采用在多轴数控加工中心上进行精密表面切削的计算机数字化制造及智能制造技术。这种数字/智能制造技术归根结底还是针对复杂曲线曲面在多轴联动场合下的实时精密插补计算技术。为实现复杂外形零件的精密高效加工,曲线曲面在多轴数控机床上的插补计算生成及精密轨迹控制机制的研究就显得尤为重要。为提高轨迹插补运算的精度,如果仍然采用现行的多轴联动数控机床已经具有的线性插补功能,会存在很多加工不足的弊端,不利于复杂外形零件的高速、高效、高精加工。所以,针对数字/智能制造领域,我们还需要对现有数控制造装备的轨迹插补控制功能进行必要的扩充,使之能够适应高加工效率和高加工精度的加工要求。可以肯定的是,研究多轴加工数字/智能制造系统中复杂曲线曲面的高精实时轨迹插补计算问题,将插补结果输出给各个坐标控制轴,实现多轴数控机床对复杂轨迹曲线的跟踪再现能力,对提高复杂外形零件的高速、高效、高精加工具有极大的促进作用、重要的科学意义和实际应用价值。

本书内容翔实、新颖,专门针对复杂曲线曲面的多轴联动数字/智能制造技术及其先进制造装备领域中存在的诸多关键科技问题和不足之处,特别是相关的曲线曲面轨迹插补控制方面的关键技术分别进行了深入翔实的分析,并给出了相应的解决方案和相关的技术方法。本书研究内容所涉及的相关理论和关键技术方法对于我国机械制造业及时开展复杂曲线曲面多轴数字/智能制造技术及其先进制造装备技术方面相关的研究开发工作将具有较好的理论指导意义和实际推广应用价值。本书由陈良骥和李慧莹合著而成,其中第1章、第2章及第3章由李慧莹老师撰写,第4章、第5章及第6章由陈良骥老师撰写。

本书得到了国家自然科学基金项目(51275485)和河南省高校科技创新人才支持计划(13HASTIT036)的资助与支持,作者在此一并表示诚挚的感谢。

编者

2016年7月15日

目录

1 概述	1
1.1 插补理论与方法的重要性	2
1.1.1 应用背景	2
1.1.2 问题根源分析	2
1.1.3 主要研究目的	3
1.2 曲线曲面实时插补现状分析	4
1.2.1 国内外相关研究现状	4
1.2.2 共性问题分析	5
1.3 主要内容简介	7
2 曲线曲面样条表示及造型方法	9
2.1 曲线曲面造型设计发展	10
2.2 曲线曲面数字化设计模型	11
2.2.1 曲线设计模型	11
2.2.2 曲面设计模型	12
2.2.3 NURBS 样条节点矢量	14
2.2.4 样条关键函数的快速计算方法	15
2.2.5 样条函数导函数的快速计算方法	18
2.2.6 曲线相关数值计算方法	23
2.3 通过型值点的曲线造型方法	26
2.3.1 线拟合	26
2.3.2 面插补	27
2.4 样条曲面的造型方法	27
2.4.1 柱面的样条表达	27
2.4.2 直纹面的样条表达	28
2.4.3 扫描曲面的样条表达	29
2.5 曲线曲面的微分计算算法	29
2.5.1 曲线齐次坐标表示方法	30
2.5.2 曲线的一阶微分计算	31
2.5.3 曲面的偏微分计算	31
2.5.4 曲面的微分几何计算方法	33

3	多轴 CAM/CNC 制造系统插补数据处理方法	37
3.1	多轴 CAM/CNC 制造系统插补概述	38
3.2	制造系统插补数据处理方法	38
4	多轴加工解析曲线实时插补方法	41
4.1	数据采样插补方法介绍	42
4.2	多项式样条插补方法	42
4.2.1	两点间的二阶连续插补	43
4.2.2	通过多点的多项式样条	44
4.2.3	三次多项式样条插补格式及其类的定义	45
4.2.4	插补预处理及插补算法	46
4.2.5	插补误差与速度分析	48
4.2.6	多项式插补计算实例	49
4.3	五轴直线段实时插补方法	50
4.3.1	初始条件的给定	50
4.3.2	预处理过程中相关量的计算	51
4.3.3	插补步长计算	53
4.3.4	特殊情况讨论	54
4.3.5	线性插补过程	58
4.3.6	线性插补摆刀误差分析	59
4.3.7	实时插补相关概念	67
4.3.8	制造系统实时插补设计	68
4.3.9	插补过程中的加减速实现算法	69
5	五轴双 NURBS 样条曲线的实时插补理论	72
5.1	曲线插补的格式	73
5.1.1	数控代码的生成	74
5.1.2	双 NURBS 曲线插补格式	75
5.2	加工轨迹的 NURBS 拟合方法	76
5.3	双 NURBS 曲线数据流处理	77
5.3.1	译码器的实现	77
5.3.2	插补器的实现	78
5.3.3	数据流的运动	80
5.3.4	实时性能测试	81
5.3.5	加工误差分析	82
5.4	信息提取	82
5.5	实时插补计算方法	83

5.6 实时插补实例验证	85
5.6.1 刀轴方位验证	85
5.6.2 数控文件大小比较	85
5.6.3 加工误差分析	86
5.7 插补过程的加减速处理	86
5.7.1 样条段内速度自适应控制	87
5.7.2 加减速控制原理	88
5.7.3 速度处理与控制的流程	89
5.7.4 速度控制实例计算与对比分析	90
5.8 加工路径段间速度转接算法	95
5.8.1 概述	95
5.8.2 插补前加减速处理	95
5.8.3 加工路径段间转接速度规划	96
5.8.4 加工路径段间转接处理过程	97
5.8.5 加工路径段内的加减速处理	98
5.8.6 算法实现与实例计算	101
6 五轴 NURBS 曲面的实时插补方法	104
6.1 概述	105
6.2 刀触点路径实时插补	106
6.2.1 CC 点位置的计算	106
6.2.2 刀轴方位计算	107
6.2.3 切削路径行距计算	108
6.3 刀心点及刀轴矢量计算	110
6.4 逆机床运动的变换	111
6.5 计算机实现步骤	112
6.6 计算机仿真实验	113
6.6.1 实验条件	113
6.6.2 沿 CC 路径的仿真实验	114
6.6.3 逆机床运动	116
参考文献	117

1 概述

1.1 插补理论与方法的重要性

1.1.1 应用背景

伴随着现代科学技术的不断向前发展,当前各类零件新产品不断出现,特别是在外形、功能等方面的不断升级改造,为新产品实现相关的特定用户需求,其外观的设计形状也越来越复杂,要求的表面质量也越来越高,这就要求机械制造业在零件表面处理方面有较高的加工精度和表面粗糙度。可以看出,新产品、新技术的更新换代对现代机械精密制造技术及水平也提出了更高、更新的要求^[1]。

很多航空航天飞行器设计时,一些重要零部件如飞行器外壳、发动机叶片等,根据其实现的功能和特殊的力学原理,往往由多张复杂、自由型的曲面拼合而成。另外,刀具、模具、汽车车身覆盖件等的生产中,也需要对一些复杂曲面进行制造和加工。首先,含有复杂曲线曲面的产品或零件在现代制造业中所占的比例越来越大,同时对加工的精度和效率的要求也越来越高。其次,数控(numerical controlled, NC)加工技术特别是计算机数控(computer numerical controlled, CNC)加工技术及计算机辅助设计与制造(computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM)技术的迅速发展,在大幅度地缩短产品制造周期的同时,也能极大地提高产品的表面加工质量。

综上所述,国内外机械制造业特别是我国 2015 年正式提出了《中国制造 2025》行动纲领之际,对于我们数控制造领域的科技工作者而言,更多的同时也是必须解决的新问题则是要求设计、制造、使用的新一代多轴加工 CAM/CNC 数控制造系统先必须具备完备的、可靠的、稳定的复杂曲线曲面高速高精实时插补加工的能力^[2]。

同时,为了能够充分发挥 CAM/CNC 数控制造系统对复杂曲线曲面的直接加工能力,未来我们所研究设计开发的新型 CAM/CNC 数控制造系统还要能够有效地与面向复杂曲线曲面数控加工编程的 CAD/CAM 编程系统紧密结合起来,实现两者之间大容量数据的正常流动和无缝拼接。

1.1.2 问题根源分析

通过上述的介绍可以看出,复杂曲线曲面的精密数控加工技术涉及 CAD/CAM 数控编程系统和 CAM/CNC 数控制造系统对复杂曲线和复杂曲面的内部精密表达机制两个方面,前者涉及系统对复杂曲线曲面的精密造型和数字模型的精确数字化表示的能力,而后者则涉及数控制造系统对于复杂曲线曲面的插补数据精密输出以精确控制运动加工过程的能力。两个方面的能力之间必然存在相辅相成、缺一不可的辩证关系,两者的共同特点在于都是对复杂曲线曲面精密生成做出努力。

反过来说,如果现代制造业还继续广泛采用现有的机床控制技术,即采用的机床数

控系统并不具备复杂曲线曲面直接输出的能力时,若要进行复杂曲线曲面的加工,通常的更加普遍的方法:先用 CAD/CAM 系统的 CAD 模块设计出被加工工件表面;然后根据数控程序员事先拟定的加工工艺路线和工艺参数,由 CAM 模块负责计算出加工刀具走刀路线,并将这些刀具路径曲线在加工误差范围内离散成直线段或圆弧段;最后再由后置处理模块生成机床数控系统可以接受的数控代码,根据这些代码数控系统控制数控机床各轴的运动来完成曲面零件加工。显然,这种数控加工方法属于一种离线式的逼近原始曲线曲面数据的方法,而且是间接对待加工曲线曲面的表征,表达精度降低且最终的加工精度必然会降低。

具体来看,上述这种以直线、圆弧逼近复杂曲线曲面加工刀具轨迹曲线的方法明显会带来如下一些新问题:①为满足加工精度要求,NC 程序文件通常很大;②刀具在每个程序段需要进行加减速。对于第①个问题,庞大的加工数据不仅加重 CAD/CAM 系统与 CNC 机床间的数据传输负荷,而且占用大部分的 CNC 系统存储空间。而第②个问题则可能导致在相邻两段连接处速度不连续或突变,最后必然影响到加工表面质量。

如果所采用的新型数控制造系统可以直接精密输出复杂曲线,甚至是复杂曲面,上述存在的新问题便可以立刻迎刃而解。带来更多其他的好处和优势是能在加工相同精度的情况下,数控加工程序文件的大小将成倍甚至成几十倍的减少,切削刀具在很长一段加工路径上可以匀速进给,而且进给速度可以得到提高而不影响加工表面最终的加工质量,使得复杂曲线曲面产品加工精度和加工效率的提高成为可能。

1.1.3 主要研究目的

但是,新的问题可能也随之伴随而生,例如,如果不能从现有通用的 CAD/CAM 编程系统得到数控系统所能接受的曲线数控代码(可能是自行开发出来的代码格式)等高级功能指令,那么数控系统带有的这些新的功能指令将得不到有效支持,其结果只能是机床 CAM/CNC 数控制造系统的闲置,造成巨大浪费。总的看来,提高机床 CAM/CNC 数控制造系统的复杂曲线曲面直接加工能力的同时也必须提高复杂曲线曲面数控编程的能力,才能使两部分紧密结合、相得益彰。

如之前所述,数控研究领域要很好地解决上述复杂曲线曲面传统加工方法的不足,先要使机床新型 CAM/CNC 数控制造系统具有复杂曲线曲面直接精密插补生成能力,可从以下两大方面来阐述复杂曲线曲面精密加工所要达到的目的。

一方面,国外在这方面的认识较早,研究的起步也较国内早,因此技术也比较成熟,应用也较广。然而遗憾的是,国外几个主要机床数控系统生产商在这些技术的实现方面实行对华禁运。因此我们只知道他们实现了这些高级功能,但具体怎么做的却不得而知。为打破这种技术封锁,我们有必要进行在线实时曲线曲面加工控制软件的自主开发和研制,让自己开发的 CAM/CNC 数控制造系统能够实现这样的曲线曲面加工。

另一方面,如果我们开发出的新型 CAM/CNC 数控制造系统带有样条曲线直接生成的功能了,接下来就要考虑的是,是面向五轴联动还是三轴联动进行数控系统的研究呢?我们知道,三轴联动数控加工也能完成一些复杂曲面零件的加工,由于同时联动的轴数

少而且联动轴一般为平动轴,因此控制方式简单,但是对于特别复杂的零件的加工(如一些整体叶轮类的零件)却显得无能为力了,而这些复杂零件如果使用五轴联动加工便可迎刃而解。由于五轴加工比三轴加工多了两个旋转运动,这样可以使刀具方位矢量与加工面法线方向在加工过程中始终能保持一致,在同样的加工精度要求下,可以得到较短的总加工路径长度和较大的加工带宽。因此,五轴加工与三轴加工相比,更能促进加工效率和质量。

综上所述,本书的主要研究目的是要研究开发面向五轴端铣侧铣数控加工中心的、具有非均匀有理 B 样条(non-uniform rational B-spline, NURBS)曲线曲面直接生成功能的新一代 CAM/CNC 数控制造系统实时精密插补的软件模块,并提出与五轴联动曲线曲面插补方面的新理论和新方法,为面向复杂曲线曲面产品的刀具路径的生成新方法和针对这种新型数控制造系统的 CAD/CAM 五轴数控编程模块的后续开发提供参考借鉴。

1.2 曲线曲面实时插补现状分析

显而易见的是,之前我们所提到的复杂曲线曲面五轴联动加工编程技术的发展是伴随着五轴联动插补相关技术的发展而发展的。随着现代计算机软硬件技术水平的不断提高,机床数控系统的插补算法也从最初的二轴联动平面插补发展到现在的五轴联动插补、从单一的直线圆弧插补功能过渡到如今各种各样的样条曲线曲面实时插补等高级功能,数控系统可以直接加工的曲线越来越复杂而且加工速度和精度也越来越高。

在所有复杂曲面数控加工相关技术中,各种类型的曲线曲面插补器或生成方法的研究的最多,因为插补算法的好坏直接关系到机床 CNC 系统的好坏。可以这么说,高级曲线曲面直接生成与插补的方法已经成为曲面数控加工研究的重中之重。以下将简要论述一下国内外同行在复杂曲线曲面实时插补技术相关方面的研究现状。

1.2.1 国内外相关研究现状

1.2.1.1 国外相关研究现状

目前,国外几个主要的 CNC 系统商,如日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司等都在自己的一些高档数控系统中具备了样条或参数曲线插补功能,同时还提出了纳米插补、光顺插补等一系列新的插补功能^[54],但这些功能究竟是怎么实现的我们却不得而知。不过通过文献的分析我们可以大致来分析他们实现的途径。国外很多研究学者从不同角度提出了各种各样的曲线曲面插补方法。总的说来,他们的这些方法大部分都是基于数据采样原理实现的。文献[55]将空间三次曲线在参数域内先划分为 N 等份,然后对各个等分点处即各个插补点处的坐标通过迭代计算得到。文献[56]则是在与线性插补进行对比之后提出了基于误差、加减速控制的一种参数插补器。另外,文献[57,58,59]、Lin 等同样是深入研究了参数曲线曲面后提出了可以应用于三轴 CNC 加工的参数型插

补器。在样条插补方面,文献[60]先得出弧长与刀轨曲线参数间的解析关系后,用三维 PH 曲线插补方法计算弧长,然后在保持常进给速度的条件下,将弧长转换成对应时间值后得到各坐标轴所需的节点序列,他们的方法是一种五轴样条插补方法。与前面相类似的,文献[61]用 Bezier 曲线对二次曲线进行表示后,利用弧长关系提出了一种针对任意圆锥曲线插补方法。文献[62]则对多边形任意两条相邻线段间的光滑过渡(光顺插补功能)方法进行了研究。同时也有不少研究者^[63-67]针对 NURBS 曲线提出了各自不同的实现方法。如文献[64]在 CNC 机床中实现了一种实时 NURBS 曲线运动命令生成器。文献[65]以开放式结构控制器为平台为六轴机器人实现了一个 NURBS 曲线运动插补器。文献[67]基于刀具路径几何性质为 CNC 机床开发了一个 NURBS 曲线插补器。由于 NURBS 在曲线曲面造型,以及对曲线曲面进行修改和控制等方面的优势,它已经为越来越多的国外研究机构所重视,因此研究具有 NURBS 曲线曲面直接插补的方法已经刻不容缓了。

1.2.1.2 国内相关研究现状

国内方面,有关插补实现算法方面的研究有很多,较早的研究重点多放在圆弧等简单二次曲线插补,如文献[68]提出了一种基于直接函数圆弧插补算法的改进算法,经过改进后具有较高插补运算速度、插补精度等优点。又如文献[69]提出了一种基于曲率分析的平面曲线圆弧插补节点获取的方法,其实质是一种运用圆弧插补进行平面曲线优化编程方法。还有很多都是关于这方面的研究^[70,71],但这些研究对解决复杂曲线曲面高速高精数控加工问题意义不大。近期,逐渐也有五轴联动空间直线、空间圆弧以及空间抛物线插补方面的研究论文公开发表。文献[72]对采用数据采样位置控制方式的 CNC 系统,提出了一种可实现任意多轴联动实时软件插补的新算法。其特点是对每个程序段的速度倍率进行预规划,不仅使程序段内能进行快速加减速,而且可以避免程序段程序间的插补误差保证准确到达每个程序段的终点,从而解决反向丢失行程和拐角轨迹误差问题。文献[73]在五轴联动激光切割机数控系统上实现了空间直线度和圆弧段的插补算法。文献[74]建立了任意空间抛物线的数学模型和五坐标的编程模型,提出了空间抛物线的迭代插补方法及旋转坐标和线性坐标的插补方法,该方法具有较小的速度误差和轨迹误差。另外,参数、样条曲线插补方法方面的研究也有很多。文献[75]提出了一种基于泰勒公式的用于实时控制的任意空间参数曲线插补方法。文献[76]提出了组合曲面交线直接插补构想。由于 NURBS 曲线曲面得到广泛应用,国内学者也开始转向 NURBS 曲线插补方面的研究上^[77-79]。最后就是关于曲面实时插补方法方面的研究,以华中科技大学在该方面的研究最为典型。他们首次在国内提出了曲面直接插补(SDI)这一概念,并在以工控机为硬件平台的单 CPU CNC 系统上实现,插补精度可达 NC 原理上最大逼近精度,但该系统未能实现实时干涉处理等^[80,81]。

1.2.2 共性问题分析

纵观国内外复杂曲面数控加工中五轴加工编程及插补技术研究现状可以看出,在各

关键技术如曲面造型与计算机内部精密表示、精密实时插补理论与方法等方面所采用的基本方法和原理大同小异。

虽然各自的方法都有自己的优点,但综合起来看,也存在着一些不足的地方,主要表现在以下几个方面:

1.2.2.1 曲线曲面数字造型表示

具有复杂曲面零件的几何造型是进行数控加工的基础和首要条件,而一套好的曲面数据结构将对曲面的数控加工起到事半功倍的效果。虽然 ISO 在其工业产品数据交换标准 STEP 已经明确将 NURBS 定义为描述产品形状的唯一数学方法,但现行复杂曲面造型方法中,更多的则是根据自己需要来选取定义自由曲面的数学模型,这也直接影响了其实现的 CNC 系统软件的应用范围。目前,国际上许多商品化的优秀 CAD/CAM 软件如 EDS 公司的 UGII 等具有很强的曲线曲面造型能力,采用 NURBS 作为数学描述方法,并提供了对外接口。只要知道这些接口文件格式,则可以为外部 CNC 系统直接所用,也大大缩短了产品设计与生成周期。然而现行复杂曲面加工方法中对如何充分利用这些先进 CAD/CAM 软件资源考虑的却并不多,所采用的曲面造型方法也呈现出多样性和不统一性。

1.2.2.2 样条迭代表示模型的广泛使用

近些年发展起来 NURBS 曲线曲面为自由曲线曲面和标准解析形式提供了统一表达式,已成为众多 CAD/CAM 系统进行产品设计交换的唯一标准。但是由于 NURBS 定义式中的 B 样条基函数计算公式为一种迭代形式,必然影响计算速度。在复杂曲面数控加工中,无论在曲面造型、刀具路径生成计算还是样条曲线曲面插补器实现等很多方面都不可避免地会对一些变量进行计算(如求曲面上某点处的空间坐标、沿某个方向的切向矢量、曲面法向矢量、主曲率以及法曲率等),这些变量的求解最后都将归结于对 B 样条基函数及其导函数的计算。这就需要对 NURBS 实现算法进行优化,研究出一种能对高效计算 B 样条基函数的方法,有效缩短程序执行时间。现行研究对这方面并未引起足够的重视。

1.2.2.3 离线逼近曲线曲面技术的广泛使用

目前的复杂曲面加工方法是采用 CAD/CAM 编程系统根据 NC 编程接口标准 ISO 6983 进行离线编程后得到 NC 文件后,将 NC 文件输入数控系统控制机床各轴运动进行加工。采用这种方法加工复杂曲面时,NC 文件相当大,而且加工精度越高文件也越大,严重影响加工速度。这种离线式加工方法存在很多缺点,并不利于高速高精加工的进一步发展。现行研究中,虽然也认识到了这一点同时也提出了一些样条或者参数曲线直接生成的方法,但实际应用于加工时仍然是一种离线编程加工方法,且无法对加工过程进行实时监控与 NC 程序的在线修正。

1.2.2.4 插补算法中加减速精密控制研究不足

CNC 插补器是整个数控系统的核心,它计算输出的运动命令对最后加工结果有严重

影响,而它的计算依据之一就有刀具进给速度。有效地对刀具进给速度进行控制,可以避免刀具在切削零件时的快进快出现象,减少不必要的损坏。因此,有必要对进给速度进行加减速控制。而现行提出的众多样条或参数曲线插补方法中,研究的重点多是集中在插补精度和插补算法实现上,对加减速控制研究的却甚少。

1.3 主要内容简介

本书主要进行的是在五轴联动加工中心上进行复杂曲线曲面数控加工相关领域的研究。结合当前研究热点和研究现状及现行研究中存在的一些问题,总的来说,本书研究的重点内容主要包括两方面:一方面主要研究复杂曲线曲面数据表达模型及其在CAD/CAM 数控编程系统中的实现,另一方面主要研究针对五轴联动技术的新一代CAM/CNC 数控制造系统有关曲线曲面实时精密插补功能的实现机制和相关方法。

本书具体将详细阐述以下几个方面的主要内容:

(1) 基于 n 阶矩阵表达的样条快速计算

前面已经提到,作为复杂曲面数控加工先决条件的曲面数学模型的选取是非常重要的。本书将采用 NURBS 作为被加工曲面的数学表现形式。然而,在复杂曲线曲面五轴数控编程与加工中,不可避免地会对曲面一些重要参数进行计算,如曲面上点的空间三维坐标值、曲面上一点处沿某个方向的切向矢量、曲面点法向矢量、主曲率以及法曲率等。这些重要参数的计算就涉及曲面在定义曲面的参数域内的一阶、二阶偏导数计算。因此,对复杂样条的曲线曲面表示以及一些微分几何特性的研究是很必要的。正如前面指出的那样,在所有这些计算中,最后都归结为针对 B 样条基函数进行迭代计算。这就导致计算量相当大,严重占用 CPU 的资源,最终也会影响到加工速度和插补进行的实时性。基于该项考虑,本书将研究一种基函数的高效矩阵式迭代计算方法,以期能缩短软件程序的计算时间。

(2) 曲线曲面样条表示及精密造型方法

为使 CAD/CAM 数控编程系统和将要研究开发的五轴联动技术新一代 CAM/CNC 数控制造系统实现加工数据集成和无缝连接,我们有必要开展针对两个大数据模块的统一的曲线曲面数据表示方法,目前来看在计算机辅助设计领域,样条曲线曲面表征方法得到了广泛应用,因此,本书将在现有样条表示方法基础上在曲线曲面插补方面进行适当拓展,为前后模块的顺利衔接提供造型方法的支持。

(3) 五轴联动线性和样条插补方法

实时轨迹插补技术与方法是机床数控系统的核心技术之一。插补的种类有很多,如空间直线、空间圆弧以及空间抛物线等。本书将研究现行五轴数控系统中常见也是必备的线性插补功能的实现及其加减速处理过程。除此以外,本书还将在样条曲线理论的基础上提出一种全新的适合于五轴联动的样条插补方法,并将对其数控代码格式进行规定和详细介绍。

(4) 面向五轴联动的实时样条曲面直接插补机制

取代以往离线编程加工方式,本书将研究并实现一种在线实时加工复杂曲面的五轴 NURBS 曲面插补器。在输入一些必要的加工几何参数和工艺参数信息(如待加工曲面、所使用刀具形状几何参数、加工精度、进退刀方式以及走刀方式等)后,CAM/CNC 数控制造系统能够像 CAD/CAM 系统一样对刀具路径进行实时规划并完成切削步长以及切削行距的计算,同时还将进行局部的干涉处理。这也就是将 CAD/CAM 系统的一部分功能放入插补模块里面由插补算法完成。

(5) 曲线曲面插补算法伴随的加减速控制方法

在实现 CAM/CNC 数控制造系统具备曲线曲面直接插补输出能力后,在插补控制过程中要能根据实际情况自动有效进行加工轨迹的加减速控制,避免刀具在切削零件时的快进快出现象,减少不必要的加工设备的损坏。为此,本书还将对切削进给速度实现插补过程中的加减速控制,研究适合本书提出的实时曲线曲面插补算法的加减速控制机制和方法。