

数控加工

关键技术及应用

□ 葛研军 等 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书详细介绍了目前数控加工所需掌握的多种关键技术,着重突出基本理论与实际应用的有机结合,在一定程度上反映出现代数控加工技术的发展动态。主要内容包括:基于高级语言的数控加工自动编程,图形化数控加工自动编程方法,基于 CAD/CAM 集成系统的数控加工自动编程技术,数控加工刀具轨迹显示,如何利用集成化的 CAD/CAM 系统检验用户自己编制的刀位文件,数控加工实体仿真技术,数控车削加工工件弹性变形计算及其图形化仿真方法,数控车削加工屑形仿真,网络化数控加工浏览器制作方法,数控程序网络化传输技术以及如何利用专业化编译器 Yacc & Lex 制作数控程序编译器等。

本书适合于从事计算机辅助制造以及数控加工教学、研究与生产等工作的人员使用,也可作为高等院校相关专业本科生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工关键技术及应用/葛研军等编著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-015168-2

I. 数… II. 葛… III. 数控机床-加工-研究生-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019966 号

责任编辑:刘俊来 资丽芳 姚庆典 / 责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬 / 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>

西 藏 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 9 月 第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005 年 9 月 第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—3 000 字数:318 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

本书由

大连市人民政府资助出版

The published book is sponsored
by the Dalian Municipal Government

前 言

数控机床集高效率、高精度及高柔性于一体,是先进制造技术领域中的关键基础装备,也是典型的机电一体化产品。数控加工可以有效地解决机械产品中复杂、精密、小批多变的零件加工问题,大幅度缩短产品的制造周期。

目前,数控加工技术已成为衡量一个国家机械制造工业水平的重要标志,同时也体现了一个机械制造企业的技术水平。

虽然数控加工技术涉及的范围很广,但就应用方面而言,其加工技术的重点和难点仍在于如何简捷、高效地编制出符合产品技术要求的数控加工程序。

目前 CAD/CAM 技术已在我国得到了广泛普及,一些成熟、优秀的大型 CAD/CAM 软件,如 Pro/E、UG、CATIA 等也在我国的一些大中型甚至是小型企业得到广泛应用,但这些数控加工软件一般仅限于三轴联动,对一些需要三轴以上的数控加工零件,仍需借助必要的数学知识,并利用高级语言(如 C、C++ 等)将其编制出来。

数控加工过程仿真仍是数控加工中的关键技术,它可以预见数控加工所出现的各种干涉、碰撞等问题。目前企业所用的绝大多数 CAD/CAM 系统一般仅具有几何仿真,而没有可以体现加工过程工艺性质的物理仿真,然而物理仿真却能够决定每小时能生产的、满足质量控制要求的零件数量。

另外,近年来为适应全球经济一体化及企业全面信息化趋势,企业内部的数控机床网络化及异地企业间的协同化数控加工也日趋引人注目。

本书是作者多年理论研究与实际应用的工作总结,内容涉及数控加工多个主要方面,对于同类书籍出现频率较多的内容,本书一般予以省略或仅作简单介绍,如:数控加工的手工编程技术,本书仅以铺垫形式在一节中介绍完毕;对于同类书籍中出现不多(甚至没有出现的)而又在实际工作中较为有用的内容,如基于高级语言的复杂曲面数控加工技术、数控机床的网络化 DNC 技术、数控加工的物理仿真技术以及企业间网络化数控加工技术等,本书则尽可能地予以较为全面、翔实的分析介绍。

编著过程中,作者参阅和引用了较多的书籍、期刊及技术资料,为避免不必要的引用重复,书中未列出引用作者或其他专家发表论文或论著时其所引用的参考文献。

本书的编写得到了国家自然科学基金(50075014)、辽宁省自然科学基金重大项目(2001101005)、辽宁省教育厅计划项目(202033220)、辽宁省高等学校优秀人

才支持计划(RC-04-16)以及大连市出版基金的资助,同时也得到了大连交通大学科学技术处以及大连交通大学先进制造技术及自动化研究所的大力支持与帮助,谨此表示衷心感谢。

参加本书编著工作的有:葛研军(下述作者编著外的全部内容),卢碧红(第6章),施志辉(4.5节),沙智华(1.3节及第9章中的部分内容),全书由葛研军统稿、定稿。

由于作者水平有限,且时间仓促,书中难免存在疏漏和错误,恳请专家读者不吝指正。

作 者

2005年3月于大连交通大学

目 录

前言

第 1 章 数控加工技术概况	1
1.1 数控机床组成及基本概念	1
1.1.1 数控技术发展	1
1.1.2 机床数字控制的概念	2
1.1.3 数控机床的构成及功能	2
1.1.4 数控机床的特点	3
1.2 数控加工编程技术	4
1.3 数控加工仿真技术	5
1.3.1 几何仿真	5
1.3.2 物理仿真	7
1.3.3 加工过程仿真	9
1.4 数控加工在线控制技术.....	14
1.4.1 基本概念.....	14
1.4.2 DNC 通信接口.....	15
1.4.3 网络数控通信发展现状	16
第 2 章 NC 加工编程技术	18
2.1 手工编程.....	18
2.2 基于高级语言的自动编程技术.....	19
2.2.1 三次样条插值函数	19
2.2.2 双圆弧插值	22
2.2.3 三次样条及双圆弧拟合实例	24
2.3 数控加工图形编程.....	29
2.3.1 系统功能设计	29
2.3.2 系统运行界面	34
2.4 CAD/CAM 集成系统	38
2.5 基于 CAD/CAM 集成系统的自制式数控代码自动编程	43
第 3 章 数控加工几何仿真技术	47
3.1 OpenGL 关键技术	47
3.1.1 基本概念.....	47

3.1.2 基本几何图元定义	49
3.1.3 坐标变换	49
3.1.4 显示列表	50
3.1.5 OpenGL 在 CAD/CAM 中应用	50
3.2 球头刀刀位轨迹显示	51
3.2.1 折线集法	51
3.2.2 矢量求解法	53
3.3 刀位轨迹直接显示	60
3.3.1 数控代码关键数据提取	60
3.3.2 数控铣削加工刀具轨迹仿真实现	63
3.3.3 数控车削加工轨迹仿真实现	65
3.4 仿真结果操作实现	66
3.4.1 绘图模式的选择	66
3.4.2 绘图效果应用	66
3.4.3 动画操作	67
3.5 数控加工过程的动态实体仿真	68
第 4 章 数控车削加工物理仿真技术	78
4.1 基于简支梁工艺系统弹性变形计算	78
4.2 基于有限元理论工艺系统弹性变形计算	82
4.3 车削加工工件成形建模	84
4.3.1 “三瞬心”成形法	84
4.3.2 误差集乘法	85
4.3.3 工艺系统误差标定	86
4.4 车削加工中误差对加工精度影响分析	88
4.4.1 刀架坐标系误差影响分析	88
4.4.2 主轴坐标系误差影响分析	91
4.4.3 工艺坐标系误差影响分析	96
4.5 数控车削加工屑形建模与仿真	101
4.5.1 切屑卷曲变形数学模型建立	101
4.5.2 切屑类型判断条件	106
4.5.3 切屑造型仿真	110
4.5.4 切屑形成过程仿真	113
4.6 集成环境仿真系统的实现	116
第 5 章 网络化数控加工 3DS 浏览器制作	117
5.1 浏览器总体结构设计	118

5.2 浏览器详细设计	118
5.2.1 3DS 文件格式简介	118
5.2.2 存储 3DS 文件信息数据结构定义	125
5.2.3 定义 OpenGL 中显示形体的数据结构	127
5.2.4 实现从 3DS 文件提取形体信息	129
5.2.5 实现形体信息向 OpenGL 中转化	131
5.2.6 OpenGL 中 3D 形体输出	133
5.3 数控代码与 3D 实体贴合	135
第 6 章 网络化数控加工 VRML 浏览器制作	138
6.1 总体结构	138
6.2 关键技术及其应用	139
6.2.1 帧缓存	139
6.2.2 计算机颜色	141
6.2.3 矩阵堆栈	141
6.3 初始化绘制环境	142
6.3.1 像素格式和着色描述表	142
6.3.2 对环境参数初始化	144
6.3.3 场景初始化	144
6.4 三维场景模型	147
6.5 VRML 分析器	148
6.5.1 VRML 文件的结构	148
6.5.2 VRML 分析器的设计与实现	150
6.6 图形数据的存取与处理	151
6.6.1 CObject3d 类	151
6.6.2 CVector3d(法向类)	152
6.6.3 CVertex3d(顶点类)	154
6.6.4 CEdge3d(边线类)	157
6.6.5 CFace3d(面类)	158
6.6.6 CMesh3d(面片类)	160
6.6.7 模板数据链的设计与实现	163
6.7 三维场景图	165
6.7.1 数据成员设计	165
6.7.2 三维场景图的功能实现	165
6.8 真实感图形生成	171
6.8.1 光照	171

6.8.2	材质	173
6.8.3	纹理	174
第7章	数控系统串行通信	180
7.1	Windows 多线程技术与串行通信	180
7.1.1	Windows 多线程技术概述	180
7.1.2	串行通信概述	182
7.1.3	同步 I/O 与异步 I/O	184
7.1.4	流控制方式	185
7.2	端口操作模块	187
7.3	文件操作模块	192
7.3.1	WIN32 下文件操作	192
7.3.2	数控文件操作	193
7.4	用户界面设计	194
7.4.1	导向界面设计	194
7.4.2	用户界面设计	195
7.5	硬件实现	201
7.5.1	计算机要求	201
7.5.2	机床要求	201
7.5.3	接线方式	201
第8章	数控系统网络化通信	203
8.1	数控系统网络化	203
8.2	系统软件结构设计	206
8.2.1	开发平台及开发工具	206
8.2.2	软件结构	207
8.3	DNC 通信系统硬件结构设计	208
8.3.1	接口标准	208
8.3.2	系统硬件布局	210
8.4	DNC 通信系统软件模块设计	216
8.4.1	功能模块的实现	217
8.4.2	文件发送模块	221
8.4.3	文件接收模块	222
8.4.4	远程调用模块	224
8.5	用户界面	226
第9章	通用数控代码解释器的设计与实现	229
9.1	编译技术概述	229

9.2 数控代码格式与错误分析	231
9.2.1 NC 代码格式	231
9.2.2 数控代码地址符分析	232
9.2.3 NC 代码程序字分析	232
9.2.4 数控代码错误分析	233
9.3 数控代码文法表示	234
9.3.1 文法的概念	235
9.3.2 NC 代码文法描述	236
9.4 专用编译工具 Lex & YACC 介绍	237
9.4.1 Lex & YACC 的特点	237
9.4.2 Lex 和 YACC 的功能与实现原理	237
9.5 词法分析原理与实现	239
9.5.1 设计原理	239
9.5.2 词法分析方法及词法分析程序构造	239
9.5.3 词法分析的实现	240
9.6 语法分析原理与实现	242
9.6.1 常用语法分析方法概述	243
9.6.2 语法分析程序构造	244
9.6.3 语法分析器的设计与实现	245
9.7 出错处理原理与实现	246
9.8 通用数控代码解释器的可靠性检验	248
参考文献	250

第 1 章 数控加工技术概况

1.1 数控机床组成及基本概念

1.1.1 数控技术发展

1949 年,美国空军为了能在最短时间内造出经常变更设计的火箭零件,与帕森公司合作,并选择麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所为协作单位,于 1952 年研制出世界上第一台数控(NC)机床,结束了第二次工业革命以来机械控制的时期,开创了数字电气式控制的新纪元。第一台数控系统是采用电子管、继电器和模拟电路,应用脉冲乘法原理和分立元件的数字电路实现的。

1965 年,随着集成电路的问世,数控系统也开始采用集成电路。以集成电路为主要元件,减小了数控系统的体积与消耗,提高了系统可靠性,降低了系统成本,使得数控系统大规模应用成为可能。

1970 年,大规模集成电路出现了,小型计算机被引入数控系统,标志着数控系统进入了以计算机为特征的计算机数控系统(CNC)。

1974 年,微处理机开始应用于数控系统,大大提高了系统的性能价格比,简化了数控加工的编程与操作。

进入 20 世纪 80 年代,随着微电子技术、计算机技术和自动控制技术的飞速发展,数控技术进入微计算机数控系统。由于采用了 16 位和 32 位微处理器,数控系统的运算速度和处理能力越来越高,数控系统的功能越来越丰富,系统的可靠性也大幅度提高。到 80 年代末,其平均故障时间间隔(mean time between failures, MTBF)值已达 30 000 小时以上,数控技术走向成熟。国际上形成了一批数控系统专业生产厂,如日本的 FANUC、三菱电机、美国的 AB 公司、德国的 Siemens 公司、Bosch 公司、意大利的 OSAI-AB、FIDIA 公司、法国的 NUM 公司、西班牙的 FAGOR 公司等。

进入 90 年代,计算机产业的发展达到了前所未有的新高度,微机性能价格比的进一步提高已使得数控系统采用专用计算机降低计算成本变得毫无意义。于是,数控技术出现了新的发展趋势,即以 PC 机为基础的数控系统,又称 PC-Based CNC。PC 机进入数控系统,使数控系统走向了开放式体系结构。数控系统的硬件日趋标准化、集成化,可靠性更加提高,数控软件的功能更加丰富。开放式数控系统由于以通用微机为计算平台,不仅可以充分享用计算机在硬件、系统软件等方面的

最新成果,而且可以借助微机上强大而丰富的开发工具,降低系统开发费用,缩短开发周期。与传统的专用系统相比,开放式数控系统不仅具有更好的市场适应性(易于集成、扩张、剪裁),而且价格也更低廉,开放式数控系统已逐渐成为数控技术的研究热点。

自 80 年代初期以来,微电子和计算机技术的迅猛发展促进了机床数字控制技术的进一步发展,特别是大规模集成电路以及微型计算机的出现,使数控系统价格逐年下降,并大幅度地提高了系统的精度与可靠性。以通用计算机为基础的数控和直接数控(direct numerical control,DNC)系统已被广泛使用。

1.1.2 机床数字控制的概念

数字控制(numerical control)简称 NC,是近 20 年来高度发展和大量应用的一种自动化控制技术,是用数字化信号对机床各运动部件进行控制的一种方法。数控机床是装备了数控系统,加工活动控制采用数控技术的自动化机床。

机床的计算机数字控制技术(computer numerical control)简称 CNC,是现代制造的基础技术。随着计算机、电子技术的发展,数控系统也在不断的更新,目前微型机数控系统几乎完全取代了传统的普通数控系统。

CNC 往往包含一台微型计算机,其逻辑控制、几何数据处理以及程序的执行由 CPU 统一管理。相对于 NC 而言,CNC 为软件控制系统,它没有常规 NC 系统中的专用控制电路。

数控系统通常包括:数控装置、可编程序控制器、主轴驱动和进给驱动装置等。

1.1.3 数控机床的构成及功能

1. 主机

主机是数控机床的主体,包括床身、立柱、立轴、进给机构等机械部件。根据不同的零件加工要求,有车床、铣床、钻床、镗床、磨床、重型机床、电加工机床以及其他类型等。

2. CNC 装置

这是数控机床的核心,包括硬件(印刷电路板、CRT 显示器、键盘、纸带阅读机等)以及相应的软件。CNC 装置用于实现输入数字化零件程序,并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及各种控制功能。

现代数控系统提供了多种程序输入方法,如通过面板人工现场输入、通过磁盘驱动器输入、通过串行通信口输入及传统的纸带阅读机输入等。现代数控系统均配置有大容量存储器 RAM 来存储已输入数控系统的加工程序。通过数控系统的显示器及键盘可现场对内存中的加工程序进行编辑与修改。

3. 驱动装置

是数控机床执行机构的驱动部件,包括主轴驱动单元、进给驱动单元、主轴电机及进给电机等。数控机床的主轴和进给系统是由数控装置发出指令,通过电气或电液伺服系统实现的。当几个进给轴实现联动时,可以完成点位、直线、平面曲线或空间曲线/面的加工。

4. 数控机床的辅助装置

是指数控机床的一些必备的配套部件,用以保证数控机床的运行。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头,还包括刀具及监控检测装置。

5. 编程机及其他一些附属设备

现代数控机床不仅可以用 CNC 装置上的键盘直接输入零件程序,还可以利用自动编程机,在机外进行零件的程序编制,将程序记录在信息载体上(如纸带、磁带、磁盘等),然后送入数控装置。对于较为复杂的零件,一般均采用这种自动程序编制的方法。

数控机床的构成如图 1-1 所示。

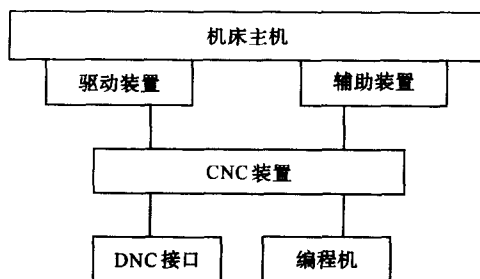


图 1-1 数控机床构成

1.1.4 数控机床的特点

(1) 加工精度高、加工质量稳定可靠,数控机床的加工精度一般不受零件本身的复杂程度影响。

(2) 加工零件的尺寸一致性好,生产效率高。

(3) 对零件加工的适应性强,柔性好。

(4) 有利于提高生产管理水平,并向计算机控制和管理发展。由于数控机床采用标准代码和数字量信号输入,易于与上层计算机联机,所以有利于进行计算机直接管理和调度。

1.2 数控加工编程技术

数控编程就是按照数控系统可接受的程序格式,生成零件加工程序,然后对其进行验证和修改,直至得到合格的加工程序。

根据问题复杂程度的不同,数控加工程序可分为手工编程和计算机自动编程两种形式。手工编程是指编制零件的数控程序由人工完成,它只能解决点位加工或几何形状不太复杂的零件编程问题。计算机自动编程是指利用计算机辅助生成零件加工程序。

20 世纪 50 年代初,美国麻省理工学院为了更好地解决零件的编程问题,借鉴了当时研制计算机通用算法语言的经验,着手设计出一种专门用于机械零件数控加工的自动编程语言,即 APT。它的全称为自动化编程工具(automatically programmed tools),是当时国际上流传最广、影响最深的数控编程语言。

在 APT 的基础上,世界各国又各自发展了带有一定特色和专业性更强的 APT 衍生语言,如美国 IBM 公司的 ADAPT,德国的 EXAPT,日本日立公司的 HAPT、富士通的 FAPT,法国的 IFAPT,意大利的 MOAPT 等。

APT 是接近英语的自然语言,容易为车间工艺人员接受,编程人员不必学习数学方法和计算机程序设计即可编制出包括点位加工,2 坐标、 $2\frac{1}{2}$ 坐标以及 3、4、5 坐标加工,绘制模线,火焰切割等多种数控加工程序,其积累的后置处理程序多达数百种。

APT 也有它的缺点,主要表现在内容庞大,要求在大型计算机上运行。由于发展时间早,某些算法并未采用计算几何学的最新成果。目前 APT 仍使用批处理形式,源程序的编写、编辑、修改等不如交互式图形显示编程系统方便、直观等。

1972 年,美国洛克希德(Lockhead)公司成功研制出集图像仪辅助设计、绘图和编制数控加工程序的 CADAM 一体化系统,从此揭开了 CAD/CAM 一体化序幕。1975 年,法国达索飞机公司引进 CADAM 系统,为已有二维数控加工系统 CALIBRB 增加二维设计和绘图功能,并在 1978 年经进一步扩充,开发出 CATIA 系统,标志着数控编程进入了 CAD/CAM 一体化时代。

目前较广泛应用的数控程序自动编制系统有 Pro/E、UG、CATIA、MasterCAM、CADAM、EUKLID、INTERGRAPH 等,这些系统的数控编程功能都较强,且各具特色。

我国研究数控程序自动编制技术始于航空工业。1965 年,应用多点加载的弹性梁理论设计出拟合翼型曲线的力学样条算法和机翼外形计算程序,同时以美国的 APTII 为蓝本研制出具有 $2\frac{1}{2}$ 坐标功能的 PCL 数控加工自动编程系统 SKC-1。

在此基础上,以后又发展了 SKC-2、SKC-3 和 CAM251 数控加工绘图语言,其功能也从 $2\frac{1}{2}$ 坐标扩大到 3、4、5 坐标。

近年来,国内西北工业大学、华中科技大学和北京航空航天大学等开发的图形编程系统如 NPU/GNCP、InterCAM 和 CAXA 也具有零件加工和雕塑曲面多轴加工等功能,达到了实用化程度,其中有些功能已接近世界先进水平。

1.3 数控加工仿真技术

数控加工仿真技术的研究目前主要集中在三个方面:几何仿真、物理仿真和加工过程仿真。

1.3.1 几何仿真

切削加工几何仿真也称为数控加工程序验证,即以理想几何图形来检验数控代码是否正确,此时刀具和零件均被视为刚体,不考虑切削参数、切削力及其他因素对切削加工的影响。几何仿真可以减少或消除因程序错误而导致的机床损坏、夹具或刀具干涉碰撞和零件报废等问题,可减少从产品设计到制造的时间,降低生产成本。国内外现存的几何仿真方法主要有两种:精确仿真法和近似仿真法。

1. 精确仿真法

精确仿真法即每次切削时,通过对毛坯和刀具进行布尔减运算而得到切削后的实体形状,从而实现加工仿真的一种方法。其实现原理如图 1-2 所示。该方法用解析法表示实体,此时的工件模型是数学而非像素模型,并应用支持正则布尔集合运算的构造实体几何法(CSG)和边界表示法(BRep)来实现实体造型。构造实体几何法的含义是任何复杂的形体都可用简单形体(体素)的组合来表示。通常用正则集合运算来实现这种组合,其中可配合执行有关的几何变换。边界表示法是用面、

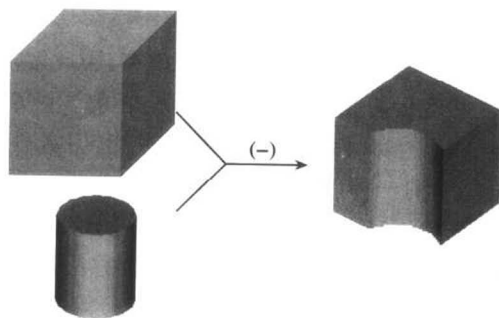


图 1-2 实体布尔减运算原理

环、边、点来定义形体的位置和形状。该方法详细记录了构成形体的所有几何元素的几何信息及其相互连接关系——拓扑信息,以便直接存取构成形体的各个面、面的边界以及各个顶点的定义参数,有利于以面、边、点为基础的各种几何运算和操作。这些造型方法都支持正则布尔集合运算,因此,可以从用它们建造的工件模型上减去刀具扫描体。这里,刀具扫描体又称为虚形体,是刀具体运动时在空间得到的假想形体。这样,刀具每切削一次,从工件中减去一次刀具扫描体,这些过程集成起来,即形成了动态加工仿真。从理论上讲,精确仿真法能够准确地描述数控加工过程,但由于五轴刀具扫描体和毛坯布尔集合运算的复杂性,使其应用仍旧受到一些限制,加之刀具每切削一次,都需要创建一个新的实体模型,可想而知,其计算量是非常庞大的(为 $O(N^4)$, N 是刀具的移动数)。对于一个复杂的 NC 程序而言,应用此法进行仿真需要大量的时间和内存空间,不适合实际仿真需要。

在 W. P. Wang 和 K. K. Wang 提出刀具扫描体概念和包络算法,并开发出一个实时刀具校验系统后,许多学者对精确仿真算法进行了研究。D. Blackmore 和 M. C. Leu 针对包络算法每次移动刀具都要计算扫描体的弱点,提出了扫描微分方程的方法,即 SDE 法。使用 SDE 法,可快速、有效、可靠地实现平面刀具扫描体的算法,但由于确定曲面切入点的计算量大,其在曲面刀具扫描体确定时效率很低。D. Blackmore 等对 SDE 法进行了改进,提出了一种扫描-包络微分方程的新算法,即 SEDE 法。该方法只需计算刀具初始位置切入点的集合,而不需每一时刻对刀具扫描体的切入点重新计算,大大降低了计算复杂度,并可实现计算后边界点的自动连接。但它只适用于光滑刀具扫描体,对分段光滑的扫描体需分成几个区间来计算。

2. 近似仿真法

近似仿真法是利用扩展 Z 缓存(Z-Buffer)数据结构来完成实时数控加工仿真的。其基本思想是将工件像素化,在仿真过程中先找到刀具运动时的像素点,然后对每个像素点作布尔运算。由于把三维空间的布尔运算简化到一维空间来完成,所以大大减少了计算量。

由于该方法没有任何几何运算,且直接访问内存,因此解决了精确仿真法计算量大的弊端(近似仿真法的计算量简化为 $O(N)$),并可产生实时显示效果,适合在微机上实现数控加工过程的实时仿真,并可显示过切、刀具补偿错误等。DEXEL 算法是实现近似仿真法中的一种(Z-Buffer)典型算法。

早在 1986 年, TIM Van Hook 就提出了实时铣削仿真的扩展 Z-Buffer 算法,它通过图像空间实体的布尔减运算获得 NC 路径,该方法是 DEXEL 的雏形。为了与 pixel (picture element) 和 voxel (volume element) 等术语一致, Hook 提出了 dixel 一词,即深度元素(depth element)。其主要思想是:使用 Z-Buffer 数据结构,每个 dixel 是沿 z 轴方向上的矩形实体;根据 dixel 的类型,对其进行颜色编码;直

接在像空间内显示每个 dixel; 在 z 轴方向上进行实体的一维布尔运算, 然后在像空间内显示生成的实体。由于其布尔运算在一维进行, 且不需要计算和保存加工后工件的完整几何定义, 因此, 显示速度较快。但其结果依赖于对视觉的选择, 假如视线改变的话, 整个过程必须重新仿真。

为克服扩展 Z-Buffer 算法的不足, Yunching Huang 和 James H. Oliver 在 1994 年对其进行了改进, 提出了 DEXEL 算法。在该算法中, 每个 dixel 的属性存储在相对独立的 dixel 坐标系中, 如图 1-3 所示。通过射线相交将实体转换为用 dixel 表示, 同时为计算光强产生出每个 dixel 面的外法向量; 将每个 dixel 的光强值保存到一个数据结构中, 以实现 dixel 面的实时渲染; 还要建立包含 dixel 并指向下一个 dixel 的指针, 以实现 dixel 间的遍历。应用此算法, 他们实现了五轴铣削加工仿真。

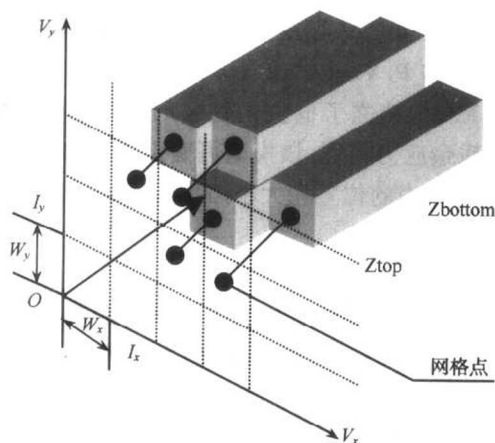


图 1-3 dixel 坐标系的建立

1.3.2 物理仿真

切削加工的物理仿真是将整个工艺系统视为弹塑性实体, 对被控对象的一个或多个物理特性及其变化特征进行模拟。由于物理仿真直接影响切削加工的经济性, 因此日益受到大学、企业及科研单位研究人员的关注。1995 年由美国国家自然科学基金(NSF)重点资助, 由伊利诺伊大学牵头, 联合普渡大学、西北大学对金属切削加工进行工艺建模, 进而开展物理仿真的研究工作。

由于物理仿真牵连面广, 几乎涉及工艺系统的每一个环节, 要完整描述切削加工中整个工艺系统的物理性质是非常困难的。目前大多从某一方面对其物理性质进行研究, 大致包括以下几个方面。