



国家职业教育技能培训系列教材
“双证制”教学改革用书

数控磨床 培训教程

Shukong Mochuang Peixun Jiaocheng

孙德茂 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是国家职业教育技能培训系列教材之一,是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想编写的。

全书以实训操作为主线,以 FANUC 和西门子等典型系统为代表,将全部内容分为四部分,主要包括数控磨床基础知识、FANUC Oi-G 系统数控外圆磨床实训、SINUMERIK 802D 系统数控外圆磨床实训和 FANUC Oi-GS 系统数控平面磨床实训。

本书特别适合中等和高等职业技术学校数控、模具、机床类专业的学生参加国家职业技能鉴定等级数控磨床考工培训使用,也可作为数控磨床技术工人的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控磨床培训教程/孙德茂编著. —北京:机械工业出版社, 2010. 5

(国家职业教育技能培训系列教材)

“双证制”教学改革用书

ISBN 978 - 7 - 111 - 30165 - 3

I. ①数… II. ①孙… III. ①数控机床: 磨床 - 技术培训 - 教材 IV. ①TG596

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 048928 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 汪光灿 责任编辑: 张云鹏 责任校对: 任秀丽

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 5 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26 印张 · 643 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 30165 - 3

定价: 43.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是国家职业教育技能培训系列教材之一，是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想编写的。

数控技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术和机电一体化技术于一体的多学科高新制造技术。数控技术水平、数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。

在这更新换代的历史时刻，企业急需大批能熟练掌握数控机床编程、操作、维修的工程技术人员。为此，国家制定了数控技能型紧缺人才的培养培训方案，此方案是将提高学生的实践能力放在首位，加强生产实习、实训等实践性教学环节，将学生培养成企业生产服务一线迫切需要的高素质人才。

根据上述指导思想，本书选用了国内市场份额较大的 FANUC 和西门子系统作为典型数控系统进行分析。通过典型的数控磨床和数控系统，将各部分教学内容有机地联系、渗透和相互贯通。在课程结构上，本书打破了原有数控机床教学的课程体系，以国家职业技能鉴定为标准，突出了实训操作和编程技能，突出了学生对所学知识的应用能力和综合能力。

全书共分四部分，主要内容包括数控磨床基础知识、FANUC Oi-G 系统数控外圆磨床实训、SINUMERIK 802D 系统数控外圆磨床实训和 FANUC Oi-GS 系统数控平面磨床实训。

书中的疏漏和错误之处，敬请广大读者指正。

目 录

前言

第一章 数控磨床基础知识	1
第一节 数控磨床的分类及组成	1
第二节 磨料、磨具及其应用	2
第三节 砂轮的安装与修整	5
第四节 磨削液	6
第五节 工件的装夹	7
第六节 磨削加工方法及磨削工艺参数的选择	8
第七节 数控机床的工作原理	12
第八节 数控机床坐标系	13
第九节 磨削加工程序的编制	16
第十节 数控磨床的日常操作和维护	16
思考题	22
第二章 FANUC 0i-G 系统数控外圆磨床实训	23
第一节 FANUC 0i-G 系统介绍	23
第二节 FANUC 0i-G 系统编程指令	32
第三节 典型形面编程和加工	104
第四节 FANUC 0i-G 系统数控外圆磨床操作面板	121
第五节 FANUC 0i-G 系统数控外圆磨床基本操作	127
第六节 FANUC 0i-G 的实际应用	162
思考题	165

第三章 SINUMERIK 802D 系统数控外圆磨床实训	168
第一节 SINUMERIK 802D 系统介绍	168
第二节 SINUMERIK 802D 系统编程指令	175
第三节 典型形面编程和加工	236
第四节 SINUMERIK 802D 系统数控外圆磨床操作面板	245
第五节 SINUMERIK 802D 系统数控外圆磨床基本操作	251
第六节 SINUMERIK 802D 的实际应用	281
思考题	284
第四章 FANUC 0i-GS 系统数控平面磨床实训	286
第一节 FANUC 0i-GS 系统介绍	286
第二节 FANUC 0i-GS 系统编程指令	295
第三节 典型形面编程和加工	368
第四节 FANUC 0i-GS 系统数控平面磨床操作面板	373
第五节 FANUC 0i-GS 系统数控平面磨床基本操作	379
第六节 FANUC 0i-GS 的实际应用	404
思考题	407
参考文献	410

第一章 数控磨床基础知识

磨床是精加工机床，其种类繁多，结构各异，本书仅介绍磨具为砂轮的数控磨床。

第一节 数控磨床的分类及组成

一、数控磨床的分类

按工件是否旋转，数控磨床可分为以下两类。

1. 工件旋转类磨床

在加工中，工件作动力旋转的磨床为工件旋转类磨床。若主轴是卧式，则有外圆磨床、内圆磨床和专门用途的磨床，如螺纹磨床、凸轮磨床、曲轴磨床、工具磨床等。若主轴是立式，则有立式磨床和专用磨床，如齿轮磨床等。

2. 工件不旋转类磨床

在加工中，砂轮作动力旋转的磨床为砂轮旋转类磨床。若以平面加工为主，则为平面磨床。还有一些专门用途的磨床，如导轮磨床等。若以孔及轮廓加工为主，则为坐标磨床。

即使是工件旋转类磨床，砂轮仍要旋转，以实现对工件的磨削加工。

数控磨床所用的数控系统，以 FANUC 0i 系统为例，工件旋转类磨床所用系统为 0iG，工件不旋转类磨床所用系统为 0iGS。其实质是

$0iG = 0iT \text{ 基本功能} + \text{外圆磨削固定循环}$

$0iGS = 0iM \text{ 基本功能} + \text{平面磨削固定循环}$

在 0iT 中包含外圆磨削固定循环，在 0iM 中包含平面磨削固定循环。本书为叙述方便，仍用 0iG 和 0iGS 来表示。

本书以 FANUC 0i 和 SINUMERIK 802D 为例，介绍数控外圆磨床和数控平面磨床的编程和操作。

二、数控磨床的组成

数控磨床是由数控系统和磨床本体两大部分组成的。

数控系统主要由数控装置(包括内置 PLC)、进给伺服系统、主轴伺服系统等部分组成。进给伺服系统由进给驱动伺服单元和进给电动机组成。主轴伺服系统由主轴驱动单元和主轴电动机组成。螺纹磨床主轴上必须安装主轴编码器,以保证在磨削螺纹时,主轴与进给轴同步。数控系统按是否有位置检测装置分为开环控制和闭环控制。数控磨床多采用闭环控制。

磨床本体由磨床机械部件、电路、液压、气动、润滑和冷却系统等组成。数控磨床一般都配有砂轮修整装置。

三、数控系统

数控磨床的组成如图 1-1 所示。

数控系统控制磨床的磨削运动和顺序逻辑动作。

控制磨床的顺序逻辑动作是数控系统通过 PLC(可编程逻辑控制器)或 PMC(FANUC

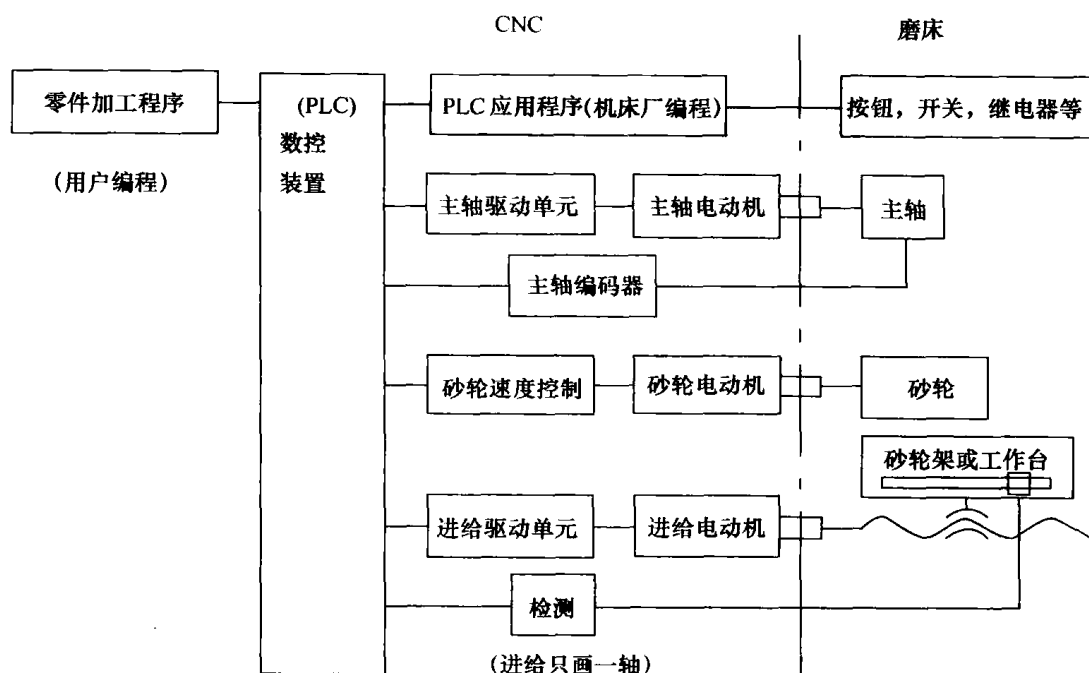


图 1-1 数控磨床的组成

数控系统数控机床的可编程控制器 PLC 的简称)，经磨床制造厂编制磨床的顺序逻辑控制程序，使之能执行顺序逻辑动作。另外，磨床制造厂还可设置磨床的固有参数，使通用的数控系统个性化，实现数控系统与磨床的有机结合。

数控系统控制磨床对工件的磨削运动和特定的顺序动作，是通过运行由磨床用户编制的零件加工程序实现的。所以，零件加工程序也是数控磨床不可缺少的重要组成部分。

第二节 磨料、磨具及其应用

磨料按其硬度分为普通磨料及超硬磨料。

一、普通磨料

1. 普通磨料品种、代号及应用范围

普通磨料品种、代号及应用范围见表 1-1。

表 1-1 磨料品种、代号及应用范围（GB/T 2476—1994）

种类	名 称	代号	特 性	应 用
刚玉类	棕刚玉	A	呈棕褐色，硬度较高，韧性较大，价格相对较低	适用于磨削抗拉强度较高的金属材料，如碳钢、合金钢、可锻铸铁、硬青铜等
	白刚玉	WA	呈白色，硬度比棕刚玉高，韧性较棕刚玉低，易破碎，棱角锋利	适用于磨削淬火钢、合金钢、高碳钢、高速钢以及加工螺纹和薄壁件等
	单晶刚玉	SA	呈淡黄或白色、单颗粒球状晶体，强度和硬度比棕刚玉、白刚玉高。具有良好的多棱多角的切削刃，切削能力较强	适用于磨削不锈钢，高钒钢，高速钢等高硬、高韧性材料及易变形、烧伤的工件，也适用于高速磨削和低表面粗糙度值磨削

(续)

种类	名 称	代号	特 性	应 用
刚玉类	微晶刚玉	MA	呈棕黑色，磨粒由许多微小晶体组成，韧性大、强度高，工作时呈微刃破碎，自锐性能好	适用于磨削不锈钢、轴承钢、特种球墨铸铁等较难磨削材料，也适于成形磨削、切入磨削、高速磨削及镜面磨削等精加工
	铬刚玉	PA	呈玫瑰红或紫红色，韧性高于白刚玉，效率高，加工后表面粗糙度值较低	适于刀具、量具、仪表、螺纹等低表面粗糙度值表面的磨削
	锆刚玉	ZA	呈灰褐色，具有较高的韧性和耐磨性，是 Al_2O_3 和 ZrO_2 的复合氧化物	适于对耐热合金钢、钛合金及奥氏体不锈钢等难磨材料的磨削和重负荷磨削
	黑刚玉	BA	呈黑色，又名人造金刚砂，硬度低，但韧性好，自锐性好，亲水性能好，价格较低	多用于研磨和抛光，并可用来制做树脂砂轮及砂布、砂纸等
碳化物类	黑碳化硅	C	呈黑色，有光泽，硬度高、但性脆，导热性能好，棱角锋利，自锐性优于刚玉	适于磨削铸铁、黄铜、铅、锌等抗拉强度较低金属材料，也适于磨削各类非金属材料，如橡胶、塑料、矿石、耐火材料及热敏性材料的干磨等，也可用于珠宝、玉器的自由磨粒研磨等
	绿碳化硅	GC	呈绿色，硬度和脆性均较黑色碳化硅高，导热性好，棱角锋利，自锐性能好	主要用于硬质合金刀具及工件、螺纹及其他工具的精磨，适于加工宝石、玉石、钟表宝石轴承及贵金属、半导体的切割、磨削和自由磨粒的研磨等
	立方碳化硅	SC	呈黄绿色，晶体呈立方形，强度高于黑碳化硅，脆性高于绿碳化硅，棱角锐利	适于磨削韧而粘的材料，如不锈钢、轴承钢等，尤适于微型轴承沟槽的超精加工等
	碳化硼	BC	呈灰黑色，在普通磨料中硬度最高，磨粒棱角锐利，耐磨性能好	适于硬质合金、宝石及玉石等材料的研磨与抛光

2. 不同粒度磨具的使用范围

磨料粒度分为粗粒度（粒度号 F4 ~ F24），中粒度（粒度号 F30 ~ F220）和微粉粒度（粒度号 F230 ~ F1200）。F 值越大，磨粒的基本尺寸越小。

不同粒度磨具的使用范围见表 1-2。

表 1-2 不同粒度磨具的使用范围

磨具粒度	使用 范围	磨具粒度	使用 范围
F14 ~ F24	磨钢锭、铸件打毛刺、切断钢坯等	F120 ~ F600	精磨、珩磨、螺纹磨削
F36 ~ F46	一般平面磨削、外圆磨削和无心磨削	> F600	精细研磨、镜面磨削
F60 ~ F100	精磨和刀具刃磨		

3. 磨具硬度代号

硬度等级由软至硬用英文字母 A ~ Y 标记，见表 1-3。

4. 磨具组织号及其应用范围

磨具组织号 0 ~ 14，相应的磨粒率由大至小，其适用范围见表 1-4。

表 1-3 磨料硬度等级（GB/T 2484—2006）

代 号	硬 度 等 级	代 号	硬 度 等 级
A、B、C、D	极软	P、Q、R、S	硬
E、F、G	很软	T	很硬
H、J、K	软	Y	极硬
L、M、N	中级		

表 1-4 磨具组织号及其适用范围（GB/T 2484—2006）

组织号(磨粒率%)	适 用 范 围
0~3 (62%~56%)	重负荷磨削、成形磨削、精密磨削、间断磨削及自由磨削，或加工脆硬材料等
4~6 (54%~48%)	无心磨削，内、外圆磨削和工具磨削，淬硬钢工件磨削及刀具刃磨等
8~12 (46%~38%)	精磨和磨削韧性大、硬度不高的工件，机床导轨和硬质合金刀具磨削，适合磨削薄壁、细长工件，或砂轮与工件接触面大以及平面磨削等
13、14 (36%、34%)	磨削热敏性较大的钨银合金磁钢、非铁金属以及塑料、橡胶等非金属材料

5. 结合剂代号、性能及其适用范围

结合剂的代号、性能及其适用范围见表 1-5。

表 1-5 结合剂的代号、性能及适用范围（GB/T 2484—2006）

类别	名称及代号	原 料	性 能	适用范围
无机结合剂	陶瓷结合剂 V	粘土、长石、硼玻璃、石英及滑石等	化学性能稳定，耐热，抗酸、碱，气孔率大，磨耗小，强度较高，能较好保持磨具形状，但脆性较大	适用于内、外圆，无心、平面、螺旋及成形磨削以及刃磨、珩磨及超精磨等；适于对碳钢、合金钢、不锈钢、铸铁、非铁金属以及玻璃、陶瓷等材料进行加工
	菱苦土结合剂 Mg	氧化镁及氯化镁等	工作时发热量小，其结合能力次于陶瓷结合剂，有良好的自锐性，强度较低，且易水解	适于磨削热传导性差的材料及磨具与工件接触面较大的工件，还广泛用于石材加工和磨米
有机结合剂	树脂结合剂 B 增强树脂结合剂 BF	酚醛树脂或环氧树脂等	结合强度高，具有一定的弹性，能在高速下工作，自锐性能好，但其耐热性、坚固性较陶瓷结合剂差，且不耐酸、碱	适用于荒磨、切断和自由磨削，如磨钢锭，打磨铸、锻件毛刺等；可用来制造高速、低表面粗糙度值、重负荷、薄片切断砂轮，以及各种特殊要求的砂轮
	橡胶结合剂 R 增强橡胶结合剂 RF	天然橡胶及合成橡胶	强度高，弹性好，磨具结构紧密，气孔率小，磨粒钝化后易脱落，但耐酸、耐油及耐热性能较差，磨削时有臭味	适于制造无心磨导轮，精磨，抛光砂轮，超薄型切割用片状砂轮及轴承精加工用砂轮

6. 磨具形状

为适应不同磨削应用,磨具形状代号和尺寸标记参见 GB/T 2484—2006 规定,使用时按需要选用。外圆磨用砂轮有平形砂轮、单面凹砂轮、双面凹一号砂轮、单面凹带锥砂轮、双面凹带锥砂轮、单面凸砂轮、平行 N 型面砂轮;平面磨用砂轮有平形砂轮、单面凹砂轮、双面凹一号砂轮;此外,还有无心外圆磨用砂轮、内圆磨用砂轮、端面磨用砂轮、工具磨用砂轮、砂轮机电用砂轮、磨曲轴用砂轮等,砂轮的形状和尺寸参见 GB/T 4127—2007 规定。

二、超硬磨料

超硬磨料指金刚石、立方氮化硼等显著高硬度为特征的磨料,有人造金刚石(代号为 HVD、MBD、BCD、SMD、DMD、M-SD)、立方氮化硼(CBN、M-CBN)等,其粒度号和推荐用途参见 GB/T 6405—1994 规定。

砂轮形状分平形砂轮、筒形砂轮、杯形砂轮、碗形砂轮、碟形砂轮和专用砂轮等,其形状代号参见 GB/T 6409.1—1994 规定。外圆磨削、平面磨削、内圆磨削、无心磨削、刃磨削、螺纹磨削、电解磨削等可使用平形砂轮(包括倒角、加强和燕尾砂轮)、弧形砂轮、双内斜边砂轮、双斜边砂轮、单斜边砂轮、单面凹砂轮、双面凹砂轮、筒形(包括 1 号、2 号、3 号)砂轮和碟形砂轮等。

第三节 砂轮的安装与修整

一、砂轮的安装

一般砂轮采用法兰盘安装。法兰盘与砂轮之间用弹性衬垫隔离,外面用螺母锁紧。安装时应注意:

- 1) 装夹之前应进行声响检查。用绳子将砂轮吊起,轻击砂轮,声音应清脆,且没有颤音或杂音,以确定砂轮没有裂纹。
- 2) 两个法兰盘的直径必须相等,以保证砂轮不受弯曲应力而破裂。法兰盘的最小直径应不小于砂轮直径的 $1/3$;若没有防护罩时,应不小于 $2/3$ 。
- 3) 砂轮和法兰盘之间必须放橡胶、毛毡等弹性材料,以增加接触面,使受力均匀。
- 4) 装夹后,经静平衡,砂轮应在最高转速下试转 5min 后才能正式使用。

二、砂轮静平衡调整

采用手工操作调整砂轮静平衡时,需使用平衡架、平衡心轴及平衡块、水平仪等工具。其调整方法如图 1-2 所示。

- 1) 找出通过砂轮重心的最下位置 A。
- 2) 与 A 点在同一直径上的对应点做一记号 B。
- 3) 加入平衡块 C,使 A 和 B 两点位置不变。
- 4) 再加入平衡块 D、E,并仍使 A 和 B 两点位置不变。如有变动、可上下调整 D、E 使 A、B 两点恢复原位。此时砂轮左右已平衡。
- 5) 将砂轮转动 90° 。如不平衡,将 D、E 同时向 A 或 B 点移动,直到 A、B 两点平衡为止。
- 6) 如此调整,直到砂轮能在任何方位上稳定下来,

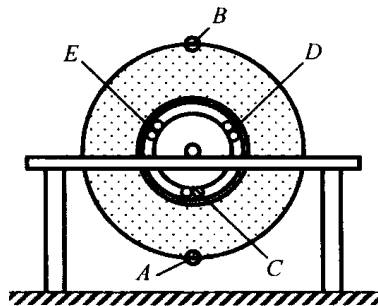


图 1-2 砂轮静平衡调整

砂轮就平衡好了。根据砂轮直径的大小,检查6个或8个方位即可。

砂轮静平衡调整时应注意:

- 1) 平衡架要放水平,特别是纵向。
- 2) 将砂轮中的磨削液甩净。
- 3) 砂轮要紧固,法兰盘、平衡块要洗净。
- 4) 砂轮法兰盘内锥孔与平衡心轴配合要紧密,心轴不应弯曲。
- 5) 砂轮平衡后,平衡块应紧固。
- 6) 平衡架最好用刀口式,因其与心轴接触面积小,反应较灵敏。

三、修整砂轮

1. 基本原则

应根据工件表面精度要求、砂轮性质、工件材料和加工形式等来决定砂轮表面修整的粗细及采用的方法。

- 1) 工件表面精度要求高,砂轮修整要平细。
- 2) 工件材料硬度高、接触面大,砂轮修整要粗糙。
- 3) 粗磨时,砂轮修整得要粗糙。
- 4) 横向和纵向进给量大时,砂轮表面要粗糙;进给量小时要平细。
- 5) 采用低表面粗糙度值、高精度磨削时,砂轮应适当留有空进给量。

2. 修整方法

(1) 车削法 车削法是最常用的砂轮修整方法,多采用单颗金刚石工具,其颗粒大小应根据砂轮直径来确定。修整时,金刚石将磨粒打碎,形成切削刃,并使磨粒脱落。车削法用于粗磨或精磨,能获得较好的磨削效果。但天然金刚石价格高,修整工具的消耗大。车削法修整砂轮时,金刚石顶角应保持 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$,安装角度为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,安装高度应低于砂轮中心 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

(2) 磨削法 磨削法类似于外圆磨削,其特点是简单而不需要增加专用的传动装置,并使砂轮与修整工具接触均匀。这种修整的砂轮切削性能差,磨削力和磨削功率较大,工件易烧伤,砂轮寿命低。通常,成形磨削或为节省天然金刚石而采用此法。修整轮往往采用碳化硅砂轮、硬质合金圆盘、金刚石滚轮等。

第四节 磨 削 液

常用磨削液的名称及性能如下:

- 1) 69-1 乳化液。原液配比 $0.2\% \sim 5\%$ (体积分数),用于磨削钢件与铸铁件。
- 2) NL 乳化液。原液配比 $2\% \sim 3\%$,乳化剂含量高,为浅色透明液。用于磨削钢铁及非金属。
- 3) 防锈乳化液。原液配比 $2\% \sim 5\%$,若加入 0.3% 亚硝酸钠及 0.5% 碳酸钠于已配好的乳化液中,可进一步提高防锈性能。用于磨削钢铁及光学玻璃。
- 4) 半透明乳化液。原液配比 $2\% \sim 3\%$,配制时可加 0.2% 苯乙醇胺。用于精磨。
- 5) 极压乳化液。原液配比 $5\% \sim 10\%$,有良好的润滑和防锈性能。多用于磨削钢铁。
- 6) 420 号磨削液。有时要加消泡剂,如将甘油换为碳化油酸聚氧乙烯醚可提高磨削效

果,用于高速磨削与缓进给磨削。如换为氯化硬脂酸聚氧乙烯醚,则适用于磨削 I₀-738 叶片。

7) 3 号高负荷磨削液。原液配比 1.5% ~ 3%, 具有良好的清洗、冷却等性能, 有较高的极压性 (PK 值 > 2500N)。适用于慢进给强力磨削。

8) H-1 精磨液。原液配比 3% ~ 4%, 用于高精度磨床精密磨削, 也适用于普通磨削, 可代替乳化液和苏打水 (不含亚硝酸钠)。

9) 水性磨削液。原液配比 1% ~ 2%, 用于磨削钢铁和除铜外的非铁金属, 可不加苯胍三氮唑。

第五节 工件的装夹

一、外圆磨削工件的装夹

1. 前、后顶尖法装夹

装夹时, 利用工件两端的中心孔, 把工件支承在前、后顶尖之间, 工件由头架拨盘和拨杆带动夹头旋转。这种方法的特点是安装方便, 定位精度高, 但对中心孔的要求高。磨削加工采用固定顶尖 (俗称死顶点), 顶尖不旋转, 定位精度高。由于中心孔加工的深度不同, 将影响工件安装的位置, 当同时磨削轴肩和外圆时, 要对工件的位置进行修整。

当用双顶尖孔装夹时, 可以加工偏心零件。

2. 用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘装夹

(1) 用三爪自定心卡盘装夹 三爪自定心卡盘能自动定心, 工件装夹后一般不需找正, 但在加工同轴度要求较高的工件时, 也需逐件找正。它适用于装夹外形规则的零件, 如圆柱形、正三角形、正六边形等工件。当其中一爪用垫片、偏心轴或偏心套装夹时, 可以加工偏心零件 (包括曲轴)。

(2) 用四爪单动卡盘装夹 由于四爪单动卡盘四个卡爪各自独立运动, 可以将旋转轴线调整到与磨床主轴旋转轴线重合, 所以, 可以加工不规则零件或偏心零件。

3. 用一夹一顶装夹

零件一端用卡盘装夹, 另一端用后顶尖顶住。这种方法装夹牢固、刚性好。

4. 用心轴或堵头装夹

当磨削套类零件, 且要求保证内外圆同轴度时, 可用心轴或堵头装夹。心轴可选用台阶式心轴、小锥度心轴、胀力心轴等, 装夹时要保证工件内孔与心轴的配合精度。用堵头装夹, 适用于较长的空心工件, 这时, 端面的结合面精度要高。当工件两端孔径较大时, 可用法兰盘式堵头。

装夹薄壁工件时, 可用开口套垫装, 再用三爪自定心卡盘装夹, 或用花盘装夹。对于薄壁圆盘类工件, 可装夹在花盘上, 采用端面压紧方法, 工件不易变形。或根据被加工零件的特点设计制做专用夹具夹紧。

5. 用偏心夹盘装夹

用偏心夹盘装夹工件时, 偏心距可以调整。

二、平面磨削工件的装夹

1. 在磨床台面上装夹

卸去磨床台面上的磁盘，用螺钉把工件固定在台面上进行磨削。这种方法适于工件较高、而被磨平面宽度不大时使用。

2. 用电磁（或永磁）吸盘装夹

电磁（永磁）吸盘有矩形和圆形两种，分别用于矩形工作台和圆形工作台磨床。装夹时应防止工件松动。

3. 用导磁铁装夹

导磁铁有直角形和 V 形两种。导磁铁放在电磁吸盘上使用。

4. 用正弦电磁吸盘装夹

正弦电磁吸盘由带电吸盘的正弦规和底座组成，夹具最大倾斜角为 45° ，用于磨削带斜度的扁平工件的装夹。

5. 用精密平口钳装夹

精密平口钳上各面之间均有很高的垂直度或平行度要求，在工件一次装夹后，通过翻转精密平口钳，可以磨出互相垂直的平面。

6. 用精密正弦平口钳装夹

精密正弦平口钳由精密平口钳的正弦规和底座组成。这种夹具最大倾斜角为 45° 。

7. 用精密角铁装夹

角铁上两工作面互相垂直，工作面上有 T 形槽或通孔，用螺钉夹紧工件，通过校正可以磨削各种斜面 and 垂直平面。

8. 用精密 V 形块装夹

V 形块由 V 形铁、弓架、夹紧螺钉组成，用于磨削圆柱形工件的上端面及相互垂直平面时的装夹。

9. 用专用夹具、组合夹具装夹

专用夹具、组合夹具可根据零件形状及要求设计。

第六节 磨削加工方法及磨削工艺参数的选择

一、外圆磨削常用方法及磨削工艺参数的选择

外圆磨削是对工件圆柱形、圆锥形、多台阶轴外表面及旋转体外曲面进行的磨削，外圆磨削的表面粗糙度值 R_a 一般能达到 $0.32 \sim 1.25 \mu\text{m}$ ，加工公差等级为 IT6 ~ IT7 级。

在磨削加工之前，零件一般均经过车削或铣削加工，仅留少量毛坯余量做磨削加工。尽管如此，在磨削加工过程中，仍分为粗磨、半精磨、精磨、光磨几个阶段。

根据砂轮的进给形式，又可分为横向磨削、纵向磨削、摆动磨削、端面磨削、成形磨削和轮廓磨削等。

1. 直轴外圆及轴肩端面的磨削

(1) 横向磨削 当工件需要磨削部分的轴向尺寸小于砂轮宽度时，可以采用横向进给磨削方式。横向磨削又称切入磨削，即一次切入完成粗磨、半精磨、精磨和光磨（无火花磨削）。整个磨削过程中，工件（或砂轮）纵向不移动，只有砂轮作横向进给，如

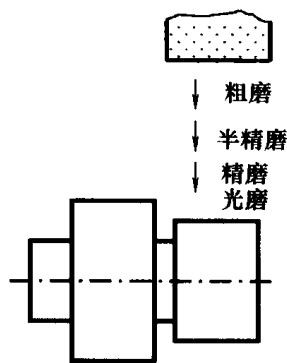


图 1-3 横向磨削

图 1-3 所示。

(2) 纵向磨削 当工件需要磨削部分的轴向尺寸大于砂轮宽度时, 可以采用砂轮 (或工件) 轴向移动的纵磨方式。纵向磨削时, 砂轮可以在两端作横向进给, 也可以在一端作横向进给。

纵向磨削在两端砂轮不产生干涉时, 砂轮可以进给至砂轮宽度的 $1/3$ 左右。若单边产生干涉时, 工件没有空刀槽, 可采用单边横向磨削后, 再纵向磨削, 以利于清除根部。纵向磨削时, 砂轮边角磨耗较大, 一般会使零件根部的圆角增大。

磨削余量较大时, 可先分几次进行横向磨削, 仅留精磨余量再进行纵向磨削, 以提高生产率。

(3) 摆动磨削 若在磨削过程中, 砂轮除作横向进给外, 还同时作纵向移动, 这就是摆动磨削。摆动磨削时, 砂轮作连续横向进给。

(4) 端面磨削 端面磨削一般采用角形砂轮, 其磨削方式与外圆磨削相同。若端面与外圆都需要磨削时, 可采用斜向切入的方法, 以提高磨削效率。若端面磨削的接触面积较大时, 要注意磨削条件, 防止发生烧伤。

2. 复杂形状外圆的磨削

复杂形状外圆的磨削加工通常有以下几种方式:

(1) 轮廓磨削 轮廓磨削是指砂轮沿轮廓形状进给进行磨削。轮廓磨削工艺简单, 可加工各种复杂形状的轮廓表面, 如图 1-4 所示。但砂轮磨损较快、尺寸精度不稳定。

(2) 成形磨削 将砂轮修成零件形状, 磨削旋转体成形面, 称为成形磨削如图 1-5 所示。用成形砂轮切入磨削适用于工件轴向尺寸小于砂轮宽度的各种复杂形状的外圆表面磨削。其特点是砂轮磨损较均匀, 尺寸稳定。

(3) 轮廓磨削与成形磨削的复合磨削 将砂轮部分修成零件形状, 工件轴向尺寸大于砂轮宽度时的磨削, 如图 1-6 所示。这种磨削要求相邻磨削表面加工时互不干涉, 其特点是根据不同精度要求, 选择各部分的磨削方式。

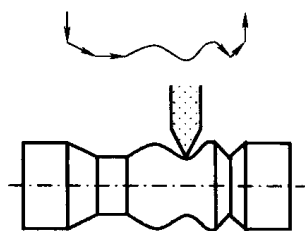


图 1-4 轮廓磨削

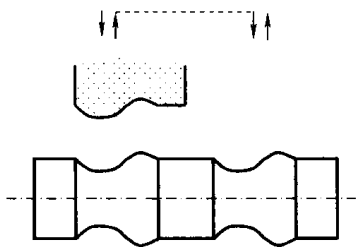


图 1-5 成形磨削

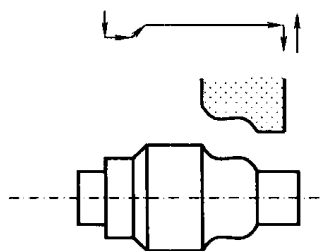


图 1-6 复合磨削

3. 测量磨削

测量磨削又称定尺寸磨削, 是在量仪上设定磨削各阶段转换的尺寸, 经过粗磨转半精磨、半精磨转精磨、精磨转光磨等加工阶段, 直到达到要求的尺寸, 量仪发出磨削结束的信号为止。这种磨削可以获得很高的尺寸精度。

4. 外圆磨削工艺参数的选择

设定磨削加工工艺参数时,应考虑工件形状、硬度、刚性及夹具等工艺系统各部分的综合因素,还要考虑砂轮修整金刚石的选择,以及磨削方式、修整条件等。下面给出的数值仅作为一般磨削加工情况下的参考值,实际加工中要根据具体条件设定。

(1) 外圆磨削砂轮速度

1) 陶瓷结合剂砂轮,砂轮速度 $\leq 35\text{m/s}$ 。

2) 树脂结合剂砂轮,砂轮速度 $\leq 50\text{m/s}$ 。

(2) 外圆磨削余量 外圆的磨削余量,一般在 $0.10 \sim 0.85\text{mm}$,其具体数值的确定与工件直径、长度及是否经过热处理等条件有关。

(3) 磨削各阶段磨削量的分配与进给速度

1) 粗磨时,磨削量 $100 \sim 200\mu\text{m}$,进给速度 $5 \sim 10\mu\text{m/r}$ 。

2) 精磨时,磨削量 $8 \sim 20\mu\text{m}$,进给速度 $2 \sim 5\mu\text{m/r}$ 。

3) 光磨时,磨削量 $5 \sim 10\mu\text{m}$,进给速度 $1 \sim 2\mu\text{m/r}$ 。

5. 高速外圆磨削钢件的磨削用量

砂轮线速度高于 35m/s 的磨削称为高速磨削,目前磨削速度已达到 50m/s 以上,工件表面粗糙度可稳定达到 $R_a 0.4 \sim 0.8\mu\text{m}$,由于高效高精,已被广泛采用。钢件的高速磨削用量见表1-6。

表 1-6 高速外圆磨削钢件的磨削用量

砂轮速度 /(m/s)	纵向磨削		横向磨削 /(mm/min)	速比(砂轮 速度/工件速度)
	纵向进给速度/(m/min)	背吃刀量/mm		
45	1~2	0.015~0.02	1~2	60~90
50~60	2~2.5	0.02~0.03	2~2.5	
80	2.5~3	0.04~0.05	2.5~3	60~100

6. 低表面粗糙度值外圆磨削工艺参数

低表面粗糙度值磨削分为:

1) 高精磨削,表面粗糙度 $R_a 0.04 \sim 0.16\mu\text{m}$ 。

2) 超精磨削,表面粗糙度 $R_a 0.0125 \sim 0.04\mu\text{m}$ 。

3) 镜面磨削,表面粗糙度 $R_a \leq 0.01\mu\text{m}$ 。

低表面粗糙度值外圆磨削工艺参数见表1-7。

表 1-7 低表面粗糙度值外圆磨削工艺参数

工艺参数	高精磨削	超精磨削		镜面磨削
砂轮粒度	F60~F80	F60~F320	F600~F1000	F800~F1200
砂轮速度/(m/s)	17~35	15~20	15~20	15~20
修整时纵向进给速度/(m/min)	15~20	10~15	10~25	6~10
修整时横向进给量/mm	≤ 0.005	0.002~0.003	0.002~0.003	0.002~0.003
修整时横向进给次数(次/单行程)	2~4	2~4	2~4	2~4
光修次数(单行程)	—	1	1	1
工件速度/(m/min)	10~15	10~15	10~15	<10
磨削时纵向进给速度/(m/min)	80~200	50~150	50~200	50~100

(续)

工艺参数	高精磨削	超精磨削		镜面磨削
磨削时横向进给量/(mm/单行程)	0.002 ~ 0.005	<0.0025	<0.0025	<0.0025
磨削时横向进给次数(单行程)	1 ~ 3	1 ~ 3	1 ~ 3	1 ~ 3
光磨次数(单行程)	1 ~ 3	4 ~ 6	5 ~ 15	22 ~ 30
磨削零件的表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	0.4	0.2	0.1	0.025

二、平面磨削常用方法及磨削工艺参数的选择

平面磨削一般是对工件的平面进行磨削,也可以磨削曲(线)面和成形表面。平面磨削的表面粗糙度值 R_a 一般能达到 $0.16 \sim 0.63 \mu\text{m}$,精密平面磨床磨削表面粗糙度值 R_a 可达 $0.1 \mu\text{m}$,平行度误差在 1000mm 长度内为 0.01mm ,加工公差精度等级一般可达 IT6 ~ IT7 级。

在磨削加工之前,零件一般都经过铣削、铇削或车削加工,仅留少量毛坯余量作磨削加工。尽管如此,在磨削过程中,仍分为粗磨、半精磨、精磨、光磨等阶段。

平面磨削时,通常使用砂轮圆周或端面磨削。使用砂轮圆周磨削时,主轴为卧式。使用砂轮端面磨削时,主轴一般为立式。不管哪种形式,工作台都有矩形台和圆形台。

根据砂轮的进给形式,磨削方法可分为周边纵向磨削、周边切入磨削、端面纵向磨削和端面切入磨削。

1. 宽长形平面的磨削

宽长形平面的磨削,一般采用纵向磨削。

- 1) 工件应反复翻转,左右不平,向左右翻转;前后不平,向前后翻转。
- 2) 粗、精、光磨要修整砂轮。
- 3) 小尺寸工件磨削用量要小。
- 4) 当砂轮宽度小于工件宽度时,要进行横向移动进给。

2. 窄长形平面的磨削

窄长形平面的磨削,一般采用切入磨削,磨削时也要反复翻转工件。

3. 导轨面的磨削

导轨面磨削,可以采用周边磨削、端面磨削和成形砂轮磨削。

4. 低表面粗糙度值平面磨削工艺参数

低表面粗糙度值平面磨削工艺参数见表 1-8。

表 1-8 低表面粗糙度值平面磨削工艺参数

工艺参数	高精磨削	超精磨削	镜面磨削
砂轮粒度	F60 ~ F80	F60 ~ F320	F800 ~ F1200
砂轮速度/(m/s)	17 ~ 35	15 ~ 20	15 ~ 20
修整时磨头移动速度/(mm/min)	20 ~ 50	10 ~ 20	6 ~ 10
修整时垂直进给量/mm	0.003 ~ 0.05	0.002 ~ 0.003	0.002 ~ 0.003
修整时垂直进给次数	2 ~ 3	2 ~ 3	2 ~ 3
光修次数(单行程)	1	1	1
纵向进给速度/(m/min)	15 ~ 20	15 ~ 20	12 ~ 14
磨削时垂直进给量/mm	0.003 ~ 0.005	0.002 ~ 0.003	0.005 ~ 0.007

(续)

工艺参数	高精磨削	超精磨削	镜面磨削
磨削时垂直进给次数	2 ~ 3	2 ~ 3	1
光磨次数(单行程)	1 ~ 2	2	3 ~ 4
磨削零件的表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	0.4	0.2	0.025
磨头周期进给量/mm	0.2 ~ 0.25	0.1 ~ 0.2	0.05 ~ 0.1

三、偏心工件的磨削

偏心工件是指工件的回转中心与几何中心偏离一个距离。如果用装夹方法使几何中心位于机床回转中心,则可用外圆磨削法进行磨削。如果磨床有 C 轴,则可以通过设置 C 轴角度和砂轮位置使砂轮与工件外圆相切进行磨削。

(1) 凸轮的磨削

1) 在数控外圆磨床上磨削时,磨床应用 C 轴,通过设置凸轮转动位置使其与砂轮相切来进行磨削。

2) 在数控坐标磨上磨削时,可按凸轮曲线进行磨削。

(2) 曲轴连杆颈的磨削 若磨床有偏心位移功能,则可将连杆颈轴心移到磨床旋转中心后,用外圆磨削法进行磨削。若是在数控外圆磨床上磨削,则可将连杆颈回转的位置与砂轮相切,再用外圆磨削法进行磨削,此种方法称为随动磨削。此时,磨床应有 C 轴。

四、样板和平面曲线轮廓的磨削

1. 样板的磨削

样板可在数控平面磨床上,用砂轮周边按样板曲线进行磨削,也可在数控坐标磨床上按平面曲线轮廓进行磨削。

2. 平面曲线轮廓的磨削

平面曲线轮廓可在数控坐标磨床上,用行星磨削法或插磨法进行磨削。或在数控平面磨床上用砂轮周边进行轮廓磨削。

五、曲面轮廓的磨削

曲面轮廓的磨削,可在数控砂带磨床上,使砂带平面保持与轮廓曲面相切进行的磨削。

第七节 数控机床的工作原理

将机床(刀具)的运动和顺序逻辑动作,以数值的形式编成零件加工程序,数控系统运行该程序,以实现零件加工的机床称为数控机床。

数控程序数据由切削动作数据和顺序逻辑动作数据组成

(1) 切削动作数据 切削动作数据是由插补准备的,称为 G 功能。插补前数据预处理包括刀心轨迹计算和进给速度处理。进给速度用 F 指令。程序数据经插补处理、位置控制、速度控制,驱动进给电动机,使坐标轴作相应的运动,带动砂轮作切削运动。为保证运动的连续性,要求系统要有很强的实时性,以保证零件的加工质量。

插补是在数控装置内部进行的。一般数控系统均提供直线插补和圆弧插补功能。NC 数控系统为硬件插补器,CNC 数控系统多为软件插补。因此,机床用户只能编制直线或圆弧移动指令,而不能用用户宏程序功能编制插补功能,如“椭圆插补”功能。

(2) 顺序逻辑动作数据 这些数据送往 PLC, 经处理后, 控制机床的顺序动作。顺序逻辑动作数据包括:

1) 辅助控制功能 (M 功能)。它控制主轴旋转和停止、切削液的开和关及机床的其他开关动作, 如卡盘和尾座的卡紧和松开、量仪的前进和后退等。

2) 主轴速度控制 (S 功能)。它指令主轴的转速。

3) 选刀功能 (T 功能)。它指令所选刀具到达工作位置。当有刀库时, 到达换刀位置。

运行数控程序时, 数控机床从用户名称开始, 逐段依次处理, 直至完成一个完整的加工, 其运行框图如图 1-7 所示。

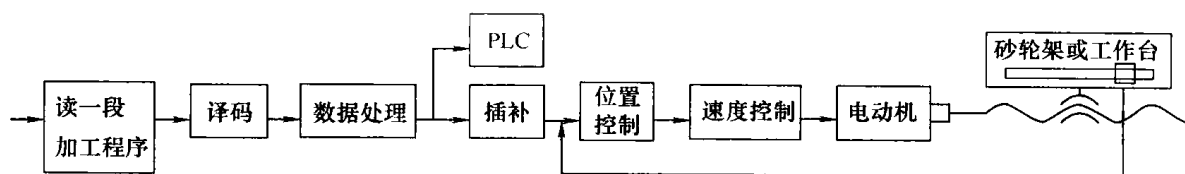


图 1-7 数控程序的运行

数显机床显示的坐标位置值仅仅是显示坐标位置, 而不能控制机床, 因此数显机床不是数控机床; 用挡块或开关控制机床运动的半自动或自动机床, 由于不是用数字控制, 所以也不是数控机床。

第八节 数控机床坐标系

如果想以数字量来描述坐标, 就必须建立坐标系, 而实际生产中, 数控机床用户、数控机床制造厂及数控系统开发者需要统一的坐标系, 这就产生了标准坐标系。

一、标准坐标系

国际标准化组织 (ISO) 对数控机床的坐标和方向制定了统一的标准, 我国在此标准基础上制定了 JB/T 3051—1991 《数控机床坐标和运动方向的命名》。

标准规定标准坐标系为笛卡儿坐标系。规定基本的直线运动坐标轴用 X、Y、Z 表示。围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周运动坐标轴分别用 A、B、C 表示。规定空间直角坐标系 X、Y、Z 三者的关系及其方向由右手定则判定, 拇指、食指、中指分别表示 X、Y、Z 轴及其方向, A、B、C 的正方向分别用右手螺旋法则判定, 即拇指分别代表 X、Y、Z 的正向, 则其余 4 指握拳代表回转轴正向。工件固定, 刀具移动时采用上面规定的法则; 如果工件移动, 刀具固定时, 正方向反向, 并加 “'” 表示, $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 变为 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$, 如图 1-8 所示。

二、坐标轴及方向的确定

机床某部件运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。

(1) Z 轴 Z 轴是由传递切削力的主轴决定的。对于车床、外圆磨床等由主轴带动工件旋转表面成形机床, 其与主轴平行的坐标轴即为 Z 轴。对于铣床、钻床、镗床、平面磨床和坐标磨床等由主轴带动刀具旋转的机床, 其与主轴平行的坐标轴即为 Z 轴。在钻削、镗削加工中, 钻入和镗入工件的方向为 Z 轴的负方向, 而退出的方向为正方向。