

机械工人职业技能培训教材

高级

磨工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社
China Machine Press

机械工人职业技能培训教材

高级磨工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

机械工业出版社

本书是根据《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范（考核大纲）》高级磨工的知识要求和技能要求编写的。内容包括：数控磨床、磨床新结构与新磨具，自动测量和精密测量设备，高精度、高难度零件的磨削，光整加工，工艺规程的制定和磨削工艺分析及磨床精度等。

本书是高级磨工职业技能培训教材，也可供有关工人和工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

高级磨工技术/机械工业职业技能鉴定指导中心编．
—北京：机械工业出版社，1999.11
机械工人职业技能培训教材
ISBN 7-111-07421-1

I. 高… I. 机… III. 磨削-技术培训-教材 IV.
TG58

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 48557 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：荆宏智 版式设计：张世琴 责任校对：李秋荣
封面设计：姚毅 责任印制：路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2000 年 11 月第 1 版第 2 次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·7.625 印张·196 千字
4 001—7 000 册
定价：12.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发	(常务)
委员	于新民	田力飞	田永康	关连英
	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	殷作禄			
本书主审	钱康宁	参审	顾丹诚	

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系着行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙

配套等特点,受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来,我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》,逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求,进一步提高机械行业技术工人队伍的素质,实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标,我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》,使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时,又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》,共87种,以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的,包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”(主要是“专业知识”部分)和“技能要求”分三册编写,适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用;对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等,另编写了公共教材,以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点,采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语;各工种教材则更加突出了理论和实践的结合,将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体,形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此,谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!教材中难免存在不足和错误,诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 数控磨床、磨床新结构与新磨具	1
第一节 数控磨床	1
第二节 砂轮主轴轴承的新结构	14
第三节 进给运动机构的新结构	22
第四节 砂轮自动平衡装置	27
第五节 超硬磨料磨具简介	31
复习思考题	45
第二章 自动测量和精密测量设备	47
第一节 自动测量装置	47
第二节 常用精密量仪	56
第三节 表面粗糙度量仪	66
复习思考题	80
第三章 高精度、高难度零件的磨削	82
第一节 精密主轴磨削	82
第二节 超深孔磨削	91
第三节 精密丝杆磨削	103
第四节 精密多头蜗杆磨削	119
第五节 铲磨磨削	132
第六节 特形面的磨削	145
第七节 难磨材料的磨削	153
复习思考题	157
第四章 光整加工	159
第一节 研磨	159
第二节 超精加工	171
第三节 珩磨	176
第四节 抛光	182

复习思考题	186
第五章 工艺规程的制定和磨削工艺分析	187
第一节 工艺卡片的作用	187
第二节 工艺卡片的编制步骤	189
第三节 工艺卡片编制实例和磨削工艺分析	193
复习思考题	211
第六章 磨床精度	212
第一节 磨床精度的检验	212
第二节 磨床精度对加工精度的影响	222
复习思考题	230

第一章 数控磨床、磨床新结构与新磨具

培训要求 了解数控磨床的原理及应用,熟悉静压轴承等磨床新结构的特点,了解超硬磨具的特点及其应用。

第一节 数 控 磨 床

一、概述

数控机床是采用数字控制装置或电子计算机进行控制的一种高效能自动化机床,它综合应用了自动控制、计算技术、精密测量和机床结构等方面的最新技术。

随着科学技术的发展,机械产品的形状和结构不断改进,对零件的加工质量要求也越来越高,单件、小批生产的机械产品比重越来越大,特别是在航天、航空、造船以及国防工业的一些部门,加工批量少、精度要求高、形状复杂的零件很多,不适于采用如汽车、拖拉机等行业所用的大批大量生产的自动机床、组合机床和自动线来加工,而一般机床又难于达到加工要求。在此情况下,产生并发展了数控机床,它有效地适应了产品不断变化、多品种、小批量的自动化生产的需要。

1. 数控机床的特点 数控机床是把加工所需要的各种操作,例如装卸工件、进刀、退刀、变速、开停机、切削液的供给等,通过专用数字计算机的运算,将输入的指令变为机床的各种操作,实现零件的自动加工。当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具外,只需更换一个事先准备好的控制带(穿孔带、穿孔卡或磁带),不需对机床做任何调整,就能自动加工出所需的工作,具有较高的加工精度和生产效率。

目前,数控技术已逐步应用于各类磨床。我国已经生产的数控磨床有:MGK1320A型数控高精度外圆磨床,可磨削凸轮、鼓

形等复杂形面，磨削的圆度误差为 0.0005mm ，表面粗糙度为 $R_a 0.01\mu\text{m}$ ；MK2110 型数控内圆磨床，可用于内圆、内凹端面、锥孔、外端面的磨削；还有 MK9020 型数控光学曲线磨床，用了三轴计算机控制系统；MK2945 型立式单柱坐标磨床，有两轴计算机控制；以及 MJK1312 型筒式数控外圆磨床、MK8532 型数控曲线凸轮磨床等，都有较高的加工精度，并取得了显著的效益。

数控机床还为实现计算机辅助生产管理 (PPC)、计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺设计 (CAPP) 及计算机辅助制造 (CAM) 等创造了一定的条件。把各种类型的数控机床的计算机联网，再用一台更高级的计算机进行控制，加上采用能自动上下料的工业机器人，以及在机床间自动传送工件的装置（如传送带、有轨电车、无人化小车等），就能对多种工件按照不同的工艺流程路线在系统中进行加工。这种灵活可变的能适应加工多种产品的自动化生产系统，称之为柔性制造系统 (FMS)。用高一级的计算机把所有的 FMS 系统连接起来，就成为无人自动化生产车间。因此，数控机床具有广阔的发展前景。

2. 数控机床的工作原理 在数控机床上加工零件，通常要经过以下几个步骤：

(1) 加工程序设计，根据零件图样要求，确定零件的加工程序以及每一程序中机床所采用的主轴转速、进给速度、工作部件快速趋近或退离的距离、行程长度和机床的其它辅助运动等。

(2) 编制加工程序单 将程序分段，并以数控装置所能识别的代码（数字码、字母码及符号码）编制加工程序单。

(3) 制作穿孔带 在打孔机上按程序单上的代码一一对应地在纸带上打孔，制作成穿孔带。

(4) 穿孔带光电转换 将穿孔带放入光电阅读机中，通过它进行光电转换，将穿孔带的代码变成电脉冲信号逐段输入到数控装置中。

(5) 代码寄存和运算 数控装置将代码寄存和进行运算，同时又向机床的各个坐标的伺服机构（如步进电动机等）分配脉冲，

驱动机床，使刀具、加工件严格地按照穿孔带上的代码做出规定的相对运动，并控制其它辅助操作（如自动变速、供切削液、刀具转位等），最后加工出合格的工件。

3. 数控磨床的主要装置

一般数控磨床都由机床和数控装置（计算机控制箱）组成。现以 MK9020 型数控光学曲线磨床为例说明。该磨床外形如图 1-1 所示。它由光学投影系统、机床和计算机控制箱三大部分组成。

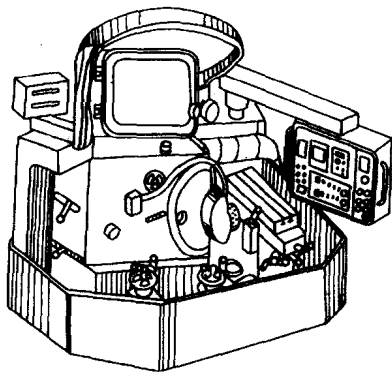


图 1-1 MK9020 型数控
光学曲线磨床

（1）光学投影系统 该系统由三个部分组成：

1) 照明部分 有反射照明系统和透射照明系统。

2) 放大物镜 有放大倍率分别为 10、20、50、100 等的大小物镜。

3) 反光镜及投影屏 主要用于找正基准线，用放大图检查工件尺寸及成形要求，并作坐标尺寸定位。

（2）机床部分 机床由床身、坐标磨头架、坐标工作台等三部分组成，并有磨圆柱体回转中心架、砂轮修整器等附件。

1) 坐标磨头架 坐标磨头架上装有磨具，作上下直线运动，通过蜗杆副，磨具可在 $-2^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 范围内转动，以磨削刀具后角；同时可将磨头座在水平面旋转 $\pm 30^{\circ}$ ，磨削侧后角。最下面的是一副十字滑板，由计算机控制的两根轴为 (X, Y) 坐标轴，对在 X、Y 方向平面内的精密圆弧、直线、斜线和不规则曲线，采用插补的方法进行磨削。X、Y 两轴也可以通过手轮，手动按投影放大图作磨削操作。用计算机控制时，每个脉冲当量为 $1\mu\text{m}$ ，有效读数为六位。

2) 坐标工作台 用手柄旋转丝杠，坐标工作台可在 X、Y 方

向运动，其位移尺寸根据磁性尺数显控制，主要用于工件对基准及接刀位移控制；用手轮可使坐标工作台沿立柱上下移动，以调整工件焦距，使投影清晰。工作台的磁性尺与投影仪的基线可测量工件的 X 、 Y 方向尺寸，最小读数值为 $1\mu\text{m}$ ，有效读数为六位。工作台的最大行程 X 方向为 200mm ， Y 方向为 90mm ，并可任意置“0”。

(3) 计算机控制箱 计算机控制箱即数控装置，是数控机床的中枢，一般由输入装置、控制器、运算器和输出装置四部分组成，见图 1-2。

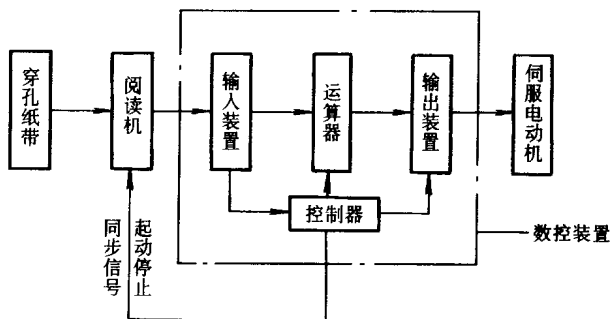


图 1-2 数控装置框图

输入装置亦称译码器，即“数码—文字码判别器”，它与光电阅读机相连，把阅读机经过放大器而送来的穿孔带代码信号加以识别，然后将数码送到运算器，将文字码送到控制器。

控制器接受了从输入装置送来的文字码后，一方面控制输出装置，实现机床的各种操作，另一方面，控制运算器的运算，控制阅读机的启动和停止。

运算器接受了从输入装置送来的数码后，在进行数字运算的同时，不断地向输出装置分配脉冲信号。

输出装置与伺服电动机相连，它将来自控制器和运算器的指令信号向各个执行机构的伺服电动机分配脉冲，实现机床各个坐标的运动。

控制装置的四大部分由具有一定逻辑功能的许多逻辑电路所

组成。随着数控技术的日益发展,已逐步趋向于用一台小型计算机来代替数控装置(简称为CNC)。

MK9020型磨床的计算机控制箱是由日本FANUC配套的,它可控制三根坐标轴的运动,但只能使两个坐标轴联动,即(X, Y)或(X, B)或(Y, B)。通过计算机输出,使(X, Y)两轴进行坐标移动,以加工直线、斜线、圆弧及各种轮廓曲线,也可使(X, B)或(Y, B)轴联动加工柱面(B轴为控制360°回转工作台用,每1°由1000个脉冲组成,可作任意大于1°/1000的角度控制)。

计算机控制箱面板上有操作按钮及数控编程手动输入键盘,并可通过CRT屏幕显示、校对程序,加工时可观察运动轨迹。

该计算机采用一般国际上通用代码指令ISO、EIA,也有按机床加工需要的指令,如准备指令(G代码指令)和辅助指令(M代码指令)及各种字符代码与加工编程的语言格式。

该机床的数控功能见表1-1。

表1-1 数控的功能

1 MDI和CRT字符显示	17 程序检查	33 工时计器
2 简单输入	18 顺序号检索	34 数据保护
3 程序储存和编辑	19 跳越程序段	35 光屏
4 记忆再现	20 任意停机	36 自动操作
5 中断处理	21 行程极限值存储	37 手摇脉冲发生器
6 图形和数据输入	22 超越行程	38 暂停
7 插补	23 多象限圆弧插补	39 干磨
8 阅读机穿孔机接口	24 小数点输入	40 单程序段执行
9 子程序	25 自动加速减速	41 进给量调整
10 砂轮半径补偿	26 自动切断电源	42 EIA/ISO代码识别
11 砂轮偏置量存储	27 自动停机	43 用户宏指令
12 间距误差补偿存储	28 暂停/再启动	44 4位数进给
13 位置显示	29 吸尘器开关	45 参考点返回
14 存储序数	30 冷却装置开关	46 参考点设定
15 最大指令值	31 偏置程序	47 自动诊断
16 程序编辑	32 时间累加器	

二、编程

编程是按照计算机中特定的代码指令及需要的数字，按一定的格式而编制程序的过程。

1. 指令和代码 MK9020 型磨床的编程代码及格式见表 1-2、表 1-3、表 1-4。

表 1-2 指令代码表（地址符号）（一）

功 能	地 址	意 义
程序数	<i>O</i>	1~999
次序数	<i>N</i>	1~9999
准备功能	<i>G</i>	0~99
坐标字	<i>X, Y, Z (B)</i>	±9999.999mm
辅助功能	<i>M</i>	0~99
停留	<i>X, P</i>	0~9999.999s
子程序	<i>P</i>	1~999999
补偿量	<i>H</i>	0~32
进给	<i>F</i>	0~1000mm/min

表 1-3 指令代码表（准备功能字符）（二）

G 代码	组别	意 义	基本 <i>B</i> /选择 <i>O</i>
G00	01	定位（快速移动）1000mm/min	<i>B</i>
G01		直线插补（磨速进给）5mm/min	<i>B</i>
G02		圆弧插补 <i>cw</i> （顺时针）	<i>B</i>
G03		圆弧插补 <i>ccw</i> （逆时针）	<i>B</i>
G04	00	暂停 (<i>s, ms</i>)	<i>B</i>
G10		偏置值设定	<i>B</i>
G17	02	<i>X, Y</i> 平面选择	<i>B</i>
G18		<i>Z (B), X</i> 平面选择（转台时用）	<i>B</i>
G19		<i>Z (B), Y</i> 平面选择（转台时用）	<i>B</i>
G20	06	英寸转换	<i>O</i>
G21		米制转换	<i>O</i>

(续)

G 代码	组别	意 义	基本 B/选择 O
G27	00	回原点检查	B
G28		回原点	B
G29		从原点回来	B
G30		回第二原点	B
G39	07	转角偏置圆弧插补	B
G40		刀具 (砂轮) 半径补偿取消	B
G41		刀具 (砂轮) 半径补偿 (左侧)	B
G42		刀具 (砂轮) 半径补偿 (右侧)	B
G43	08	刀具 (砂轮) 长度偏置 (+)	B
G44		刀具 (砂轮) 长度偏置 (-)	B
G49		刀具 (砂轮) 长度偏置取消	B
G54	14	工件坐标系 1 选择	O
G55		工件坐标系 2 选择	O
G56		工件坐标系 3 选择	O
G57		工件坐标系 4 选择	O
G58		工件坐标系 5 选择	O
G59		工件坐标系 6 选择	O
G60	00	单方向定位	O
G65		宏命令	O
G66	10	用户宏模式调用	O
G67		用户宏模式调用取消	O
G90	03	绝对值数值编程	B
G91		增量值数值编程	B
G92	00	坐标系设定	B
G94	05	每分钟进给量	B
G94		未用	O
G98	04	回到原先平面	B
G99		回到 R 点平面	B

表 1-4 指令代码表 (辅助字符) (三)

M 代码	功 能	基本 B/选择 O
M00	程序停止	B
M01	程序停止	B
M02	程序结束	B
M04	圆弧磨削附件启动 (开)	O
M05	圆弧磨削附件停止 (关)	O
M17	同步进给 (开)	O
M18	同步进给 (关)	O
M20	往复运动滑座固定点停止	O
M23	砂轮主轴启动	B
M24	砂轮主轴停止	B
M25	往复运动滑座启动	B
M27	往复运动滑座停止	B
M28	机床锁定启动	B
M29	机床锁定无效	B
M30	纸带结束	B
M32	X 轴镜像操作启动	B
M33	Y 轴镜像操作启动	B
M35	所有轴镜像操作取消	B
M98	子程序调用	B
M99	子程序调用结束	B

2. 编程格式 程序由程序段组成, 而程序段由一系列指令代码构成。各程序段用“程序段结束”加以区别, 本机用“;”表示。程序段中的一系列指令, 规定了操作、坐标值或地址语句。故程序段由一定的字组合, 例如某一程序的一个单程序段为

N1 G90 G92 X0 Y-10. ;

该程序段由 5 个字组成, 其中字 G90, G 为地址, 数字为 90, 这一字是机床要执行的指令功能。从表 1-2 和表 1-3 可知, G 表示准备功能, G90 表示采用绝对值坐标, G92 表示坐标系设定, 而 X0 Y-10. 为坐标字, 它表示了砂轮运动方向和坐标值, 即砂轮

向前方（靠操作者）移动 10mm。

须注意字中的数值小数点有特殊的含义，如 $Y-20$ 和 $Y-20.$ 两个字有极大的差别，前者表示 $-20\mu\text{m}$ ，而后者则表示 -20mm ，在数据处理时要注意区分。

该计算机有刀具（砂轮）补偿功能，因此在编制程序时节约了大量的刀具轨迹计算，只要按照图样尺寸计算，再加上砂轮运动起点及终点（即回到砂轮起始点）即可。

例 1 磨一段长为 10mm 的直线（见图 1-3），编制带有刀具补偿功能的程序，并确定砂轮加工时的走向。

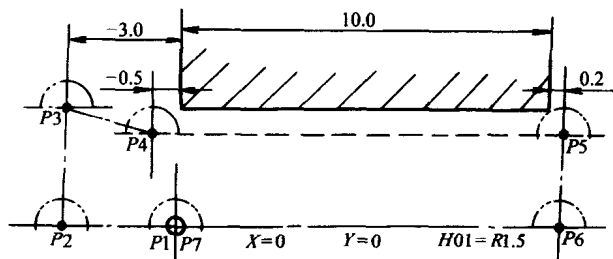


图 1-3 加工直线坐标图

解 所编程序见表 1-5。

表 1-5 磨削工件 10mm 直线的程序

程 序 段	说 明
N1 G40 G90 G92 X0 Y0 ;	序号 1 补除 绝对值 坐标设定 $X=0$ $Y=0$
N2 G0 X-3. ;	序号 2 快进 向 $X=-3.0\text{mm}$ 移动
N3 Y-7.5. ;	序号 3 快进 向 $Y=7.5\text{mm}$ 移动
N4 G42 X-0.5. H01 ;	序号 4 右偏刀补 快移到 $X=-0.5\text{mm}$ 刀补 1 号位
N5 G1 X10.2. ;	序号 5 磨速进给 5mm/min 使 X 移至 10.2mm
N6 G0 G40 Y0 ;	序号 6 快进 补除 Y 退到 0
N7 X0 ;	序号 7 快退 X 到 0
N8 M02	序号 8 程序停