

全国职业教育改革创新示范教材

数控铣床

加工中心编程与操作



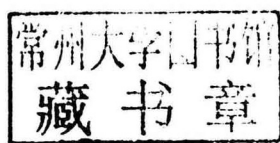
主 编 ◇ 黄勇刚 文铁兵



电子科技大学出版社

数控铣床 / 加工中心编程与操作

主编 黄勇刚



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床/加工中心编程与操作 / 黄勇刚, 文铁兵主
编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5647-4013-9

I. ①数… II. ①黄… ②文… III. ①数控机床—铣
床—程序设计②数控机床加工中心—程序设计 IV.
①TG547②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 273667 号

数控铣床/加工中心编程与操作

主编 黄勇刚 文铁兵

出版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestep.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestep.com.cn

发 行: 全国新华书店经销

印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司

成品尺寸: 185×260mm 印张 13 字数 300 千字

版 次: 2016 年 12 月第一版

印 次: 2016 年 12 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-4013-9

定 价: .00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆本社发行部电话:(028)83202463; 本社邮购电话:(028)83201495。

◆本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

前言

随着科学技术的迅速发展,社会对技能型人才的要求也越来越高。作为培养技能型人才的中等职业技术学校,原来传统的教学模式及教材已不能完全适应现在教学对象的要求。为适应我校课程改革的需要,我们根据“工作过程导向,以训练学生的职业技能为基本要求,以培养学生的工作能力为最终目的”的宗旨,打破传统的学科体系的教材编写模式,精简整合理论课程,注重技能培养,吸纳国内外较好的教学理念和教学模式的精髓,并结合我校实际情况,大胆尝试,勇于创新,编写了本教材。

本书是集专业技能训练与相关理论知识为一体的“工作过程导向教学法”的教材,主要介绍加工中心编程方法和操作要领的及相关知识。在编写过程中力求理论知识实用、够用,突出技能训练实用的原则,内容安排上本着先易后难、先基础后综合的精神,体现“工作过程导向教学法”的核心理念,以完成真实的工作过程为目标,以培养学生动手实践能力为主线,力求通过一个个过程的学习和实训来提高学生的知识水平和技能水平。

本书共有八个模块,共二十四任务。每个任务中均由加工要求、加工准备、操作步骤及内容、实施操作等部分组成。注重培养学生良好综合素质、实践能力和创新能力,使本书更规范、更实用。本书图文并茂、内容丰富,做到了理论与实训同步,充分体现了理论与技能两者的相互促进作用,具有易学、易懂、易记、易用的特点,能够满足教学大纲的要求和国家职业技能鉴定的需要。

根据教学计划安排,推荐本书授课课时为 180 学时,各项的课时安排请参考下表。

学期	模块	课时设置			
		理论	实训	考核	合计
第一 学 期	模块一数控铣与加工中心导论	4			4
	模块二数控铣床与加工中心的基本认识	4	12	2	18
	模块三简单零件数控加工	4	16	2	22
	模块四外轮廓的编程加工	4	16	2	22
第二 学 期	模块五内轮廓的编程加工	2	12	2	16
	模块六内孔的编程加工	4	10	2	16
	模块七二次曲线轮廓的编程加工	4	18	2	24
	模块八 综合实训	4	32	4	40
总课时	30	116	16	162	

本书由我校机械加工专业的骨干教师集体编写而成。参加编写的有:黄勇刚、文铁

兵、杨岑林、向卫红、向运丹等老师。全书由黄勇刚老师任主编,并由黄永宏校长和文铁兵主任审稿,并提出了许多宝贵的意见,在编写过程中得到校领导的大力支持与帮助,在此,一并对他们表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,又加上时间仓促,书中仍难免有缺点和不足,诚恳地希望读者批评指正。

编 者
2016 年 6 月

目 录

模块一 岗前培训

模块一 数控铣与加工中心导论

模块二 数控铣床与加工中心的基本认识

任务一 基本移动指令实例加工简单零件	30
任务二 基本移动指令实例加工简单零件	38
任务三 基本移动指令实例加工简单零件	50
任务四 基本移动指令实例加工简单零件	56

模块三 简单零件数控加工

任务一 平面加工	62
任务二 轮廓外形铣削	69
任务三 平面外轮廓编程与加工	76
任务四 外轮廓的综合编程与加工	86

模块四 外轮廓的编程加工

模块五 内轮廓的编程加工

任务一 内型轮廓零件	96
任务二 内型尖角零件加工	107

模块六 内孔的编程加工

任务一 钻孔的编程与加工	114
任务二 铰孔	120
任务三 铣孔	126
任务四 镗孔	133
任务五 攻内螺纹孔	141

模块七 二次曲线轮廓的编程加工

任务一	加工带凹球面零件	148
任务二	加工半球面	155
任务三	加工椭圆台	161
任务四	加工椭圆板	165

模块八 综合训练导学

任务一	腰形槽底板的加工	178
任务二	零件综合加工	189
综合加工练习(1)		199
综合加工练习(2)		200



模块一 数控铣与加工中心导论

加工中心是将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合起来,并装有刀库和自动换刀装置的数控镗铣床。立式加工中心主轴轴线(z 轴)是垂直的,适合于加工盖板类零件及各种模具;卧式加工中心主轴轴线(z 轴)是水平的,一般配备容量较大的链式刀库,机床带有一个自动分度工作台或配有双工作台以便于工件的装卸,适合于工件在一次装夹后,自动完成多面多工序的加工,主要用于箱体类零件的加工。



由于加工中心机床具有上述功能,故数控加工程序编制中,从加工工序的确定,刀具的选择,加工路线的安排,到数控加工程序的编制,都比其他数控机床要复杂一些。

一、加工中心编程具有以下特点

1. 首先应进行合理的工艺分析。由于零件加工工序多,使用的刀具种类多,甚至在一次装夹下,要完成粗加工、半精加工与精加工、周密合理地安排各工序加工的顺序,有利于提高加工精度和提高生产效率;

2. 根据加工批量等情况,决定采用自动换刀还是手动换刀。一般对于加工批量在 10 件以上,而刀具更换又比较频繁时,以采用自动换刀为宜。但当加工批量很小而使用的刀具种类又不多时,把自动换刀安排到程序中,反而会增加机床调整时间。

3. 自动换刀要留出足够的换刀空间。有些刀具直径较大或尺寸较长,自动换刀时要注意避免发生撞刀事故。

4. 为提高机床利用率,尽量采用刀具机外预调,并将测量尺寸填写到刀具卡片中,以便于操作者在运行程序前,及时修改刀具补偿参数。

5. 对于编好的程序,必须进行认真检查,并于加工前安排好试运行。从编程的出错率来看,采用手工编程比自动编程出错率要高,特别是在生产现场,为临时加工而编程时,出错率更高,认真检查程序并安排好试运行就更为必要。

6. 尽量把不同工序内容的程序,分别安排到不同的子程序中。当零件加工工序较多时,为了便于程序的调试,一般将各工序内容分别安排到不同的子程序中,主程序主要完成换刀及子程序的调用。这种安排便于按每一工序独立地调试程序,也便于因加工顺序不合理而做出重新调整。

二、从主体上看,加工中心主要由以下几大部分组成

1. 基础部件

基础部件是加工中心的基础结构,它主要由床身、工作台、立柱三大部分组成。这三部分不仅要承受加工中心的静载荷,还要承受切削加工时产生的动载荷。所以要求加工中心的基础部件,必须有足够的刚度,通常这三大部件都是铸造而成。

2. 主轴部件

主轴部件由主轴箱、主轴电动机、主轴和主轴轴承等零部件组成。主轴是加工中心切削加工的功率输出部件,它的起动、停止、变速;变向等动作均由数控系统控制;主轴的旋转精度和定位准确性,是影响加工中心加工精度的重要因素。

3. 数控系统

加工中心的数控系统由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动系统以及面板操作系统组成,它是执行顺序控制动作和加工过程的控制中心。CNC 装置是一种位置控制系统,其控制过程是根据输入的信息进行数据处理、插补运算,获得理想的运动轨迹信息,

然后输出到执行部件,加工出所需要的工件。

4. 自动换刀系统

换刀系统主要由刀库、机械手等部件组成。当需要更换刀具时,数控系统发出指令后,由机械手从刀库中取出相应的刀具装入主轴孔内,然后再把主轴上的刀具送回刀库完成整个换刀动作。

5. 辅助装置

辅助装置包括润滑、冷却、排屑、防护、渡压、气动和检测系统等部分。这些装置虽然不直接参与切削运动,但是加工中心不可缺少的部分。对加工中心的加工效率、加工精度和可靠性起着保障作用。完成换刀过程。

三、加工中心分类

1. 按换刀形式分类

(1)带刀库机械手的加工中心加工中心换刀装置由刀库、机械手组成,换刀动作由机械手完成。

(2)机械手的加工中心这种加工中心的换刀通过刀库和主轴箱配合动作来完成换刀过程。

(3)转塔刀库式加工中心一般应用于小型加工中心,主要以加工孔为主。

2. 按机床形态分类

(1)卧式加工中心指主轴轴线为水平状态设置的加工中心。卧式加工中心一般具有3~5个运动坐标。常见的有三个直线运动坐标(沿X、Y、Z轴方向)加一个回转坐标(工作台),它能够使工件一次装夹完成除安装面和顶面以外的其余四个面的加工。卧式加工中心较立式加工中心应用范围广,适宜复杂的箱体类零件、泵体、阀体等零件的加工。但卧式加工中心占地面积大,重量大;结构复杂,价格较高。

(2)立式加工中心指主轴轴心线为垂直状态设置的加工中心。立式加工中心一般具有三个直线运动坐标,工作台具有分度和旋转功能,可在工作台上安装一个水平轴的数控转台用以加工螺旋线零件。立式加工中心多用于加工简单箱体、箱盖、板类零件和平面凸轮的加工。立式加工中心具有结构简单、占地面积小、价格低的优点。

(3)龙门加工中心,与龙门铣床类似,适应于大型或形状复杂的工件加工。

(4)万能加工中心万能加工中心也称五面加工中心小工件装夹能完成除安装面外的所有面的加工;具有立式和卧式加工中心的功能。常见的万能加工中心有两种形式:一种是主轴可以旋转 90° ,既可像立式加工中心一样,也可像卧式加工中心一样;另一种是主轴不改变方向,而工作台带着工件旋转 90° 完成对工件五个面的加工。在万能加工中心安装工件避免了由于二次装夹带来的安装误差,所以效率和精度高,但结构复杂、造价也高。

四、加工中心的工艺特点

1. 适合于加工周期性复合投产的零件有些产品的市场需求具有周期性和季节性,如果采用专门生产线则得不偿失,用普通设备加工效率又太低,质量不稳定,数量也难以保证。而采用加工中心首件试切完后,程序和相关生产信息可保留下来,下次产品再生产时只要很的准备时间就可开始生产。

2. 适合加工高效、高精度工件有些零件需求甚少,但属关键部件,要求精度高且工期短。用传统工艺需用多台机床协调工作,周期长、效率低,在长工序流程中,受人为影响易出废品,从而造成重大经济损失,而采用加工中心进行加工,生产完全由程序自动控制,避免了长工艺流程,减少了硬件投资和人为干扰,具有生产效益高及质量稳定的优点。

3. 适合具有合适批量的工件

加工中心生产的柔性不仅体现在对特殊要求的快速反应上,而且可以快速实现批量生产,拥有并提高市场竞争能力。加工中心适合于中小批量生产,特别是小批量生产,在应用加工中心时,尽量使批量大于经济批量,以达到良好的经济效果。随着加工中心及辅具的不断发展,经济批量越来越小,对一些复杂零件,5—10件就可生产,甚至单件生产时也可考虑用加工中心。

4. 适合于加工形状复杂的零件

四轴联动、五轴联动加工中心的应用以及 CAD/CAM 技术的成熟发展,使加工零件的复杂程度大幅提高。DNC 的使用使同一程序的加工内容足以满足各种加工要求,使复杂零件的自动加工变得非常容易。

5. 其他特点

加工中心还适合于加工多工位和工序集中的工件、难测量工件。另外,装夹困难或完全由找正定位来保证加工精度的工件不适合在加工中心上生产。

五、加工中心的作用和编程特点

加工中心是高效、高精度数控机床,工件在一次装夹中便可完成多道工序的加工,同时还备有刀具库,并且有自动换刀功能。加工中心所具有的这些丰富的功能,决定了加工中心程序编制的复杂性。

加工中心能实现三轴或三轴以上的联动控制,以保证刀具进行复杂表面的加工。加工中心除具有直线插补和圆弧插补功能外,还具有各种加工固定循环、刀具半径自动补偿、刀具长度自动补偿、加工过程图形显示、人机对话、故障自动诊断、离线编程等功能。

加工中心是从数控铣床发展而来的。与数控铣床的最大区别在于加工中心具有自动交换加工刀具的能力,通过在刀库上安装不同用途的刀具,可在一次装夹中通过自动换刀装置改变主轴上的加工刀具,实现多种加工功能。

加工中心从外观上可分为立式、卧式和复合加工中心等。立式加工中心的主轴垂直

于工作台,主要适用于加工板材类、壳体类工件,也可用于模具加工。卧式加工中心的主轴轴线与工作台台面平行,它的工作台大多为由伺服电动机控制的数控回转台,在工件一次装夹中,通过工作台旋转可实现多个加工面的加工,适用于箱体类工件加工。复合加工中心主要是指在一台加工中心上有立、卧两个主轴或主轴可 90° 改变角度,因而可在工件一次装夹中实现五个面的加工。

六、加工中心工艺分析

一般主要考虑以下几个方面。

1. 选择加工内容

加工中心最适合加工形状复杂、工序较多、要求较高的零件,这类零件常需使用多种类型的通用机床、刀具和夹具,经多次装夹和调整才能完成加工。

2. 检查零件图样

零件图样应表达正确,标注齐全。同时要特别注意,图样上应尽量采用统一的设计基准,从而简化编程,保证零件的精度要求。

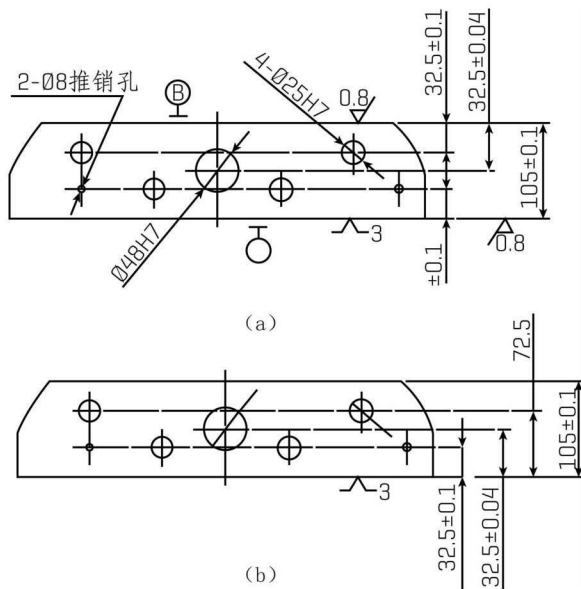


图 1-1-1

例如如图 1-1-1 所示零件图样。在图(a)中,A、B 两面均已在前面工序中加工完毕,在加工中心上只进行所有孔的加工。以 A、B 两面定位时,由于高度方向没有统一的设计基准, $\phi 48H7$ 孔和上方两个 $\phi 25H7$ 孔与 B 面的尺寸是间接保证的,欲保证 32.5 ± 0.1 和 52.5 ± 0.04 尺寸,须在上道工序中对 105 ± 0.1 尺寸公差进行压缩。若改为图(b)所示标注尺寸,各孔位置尺寸都以 A 面为基准,基准统一,且工艺基准与设计基准重合,各尺寸都容易保证。

3. 分析零件的技术要求

根据零件在产品中的功能,分析各项几何精度和技术要求是否合理;考虑在加工中心上加工,能否保证其精度和技术要求;选择哪一种加工中心最为合理。

4. 审查零件的结构工艺性

分析零件的结构刚度是否足够,各加工部位的结构工艺性是否合理等。

5. 工艺过程设计

工艺设计时,主要考虑精度和效率两个方面,一般遵循先面后孔、先基准后其他、先粗后精的原则。加工中心在一次装夹中,尽可能完成所有能够加工表面的加工。对位置精度要求较高的孔系加工,要特别注意安排孔的加工顺序,安排不当,就有可能将传动副的反向间隙带入,直接影响位置精度。例如,安排图 1-1-2(a)所示零件的孔系加工顺序时,若按图 1-1-2(b)的路线加工,由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔在 Y 向的定位方向相反,Y 向反向间隙会使误差增加,从而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。按图 1-1-2(c)所示路线,可避免反向间隙的引入。

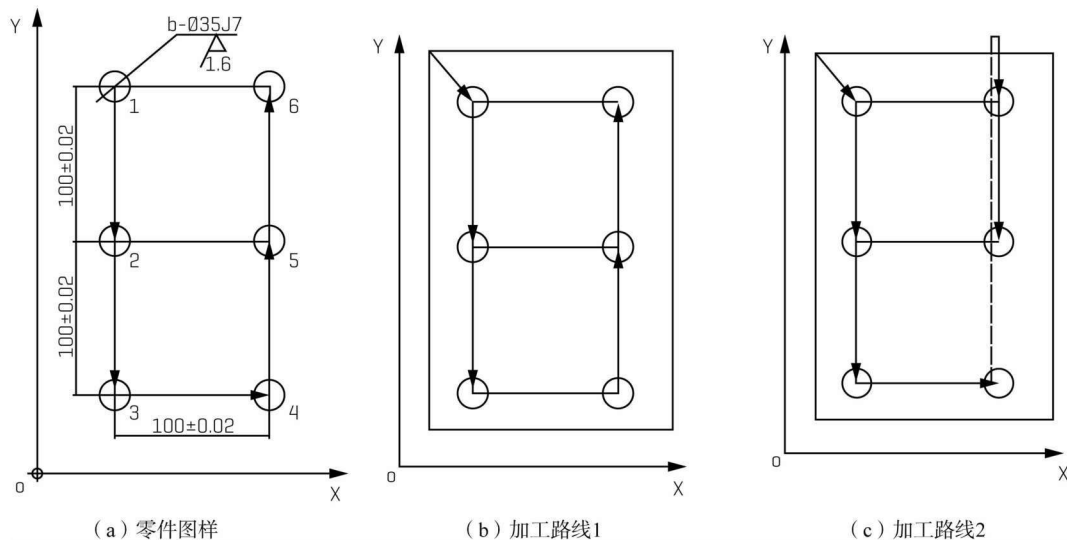


图 1-1-2

加工过程中,为了减少换刀次数,可采用刀具集中工序,即用同一把刀具把零件上相应的部位都加工完,再换第二把刀具继续加工。但是,对于精度要求很高的孔系,若零件是通过工作台回转确定相应的加工部位时,因存在重复定位误差,不能采取这种方法。

七、零件的装夹及刀具的选用

1. 零件的装夹

(1) 定位基准的选择

在加工中心加工时,零件的定位仍应遵循六点定位原则。同时,还应特别注意以下几点。

1) 进行多工位加工时,定位基准的选择应考虑能完成尽可能多的加工内容,即便于各个表面都能被加工的定位方式。例如,对于箱体零件,尽可能采用一面两销的组合定位方式。

2) 当零件的定位基准与设计基准难以重合时,应认真分析装配图样,明确该零件设计基准的设计功能,通过尺寸链的计算,严格规定定位基准与设计基准间的尺寸位置精度要求,确保加工精度。

3) 编程原点与零件定位基准可以不重合,但两者之间必须要有确定的几何关系。编程原点的选择主要考虑便于编程和测量。例如,下图中的零件在加工中心上加工 $\phi 80\text{H}7$ 孔和 4- $\phi 25\text{H}7$ 孔,其中 4- $\phi 25\text{H}7$ 都以 $\phi 80\text{H}7$ 孔为基准,编程原点应选择在 $\phi 80\text{H}7$ 孔的中心线上。当零件定位基准为 A、B 两面时,定位基准与编程原点不重合,但同样能保证加工精度。

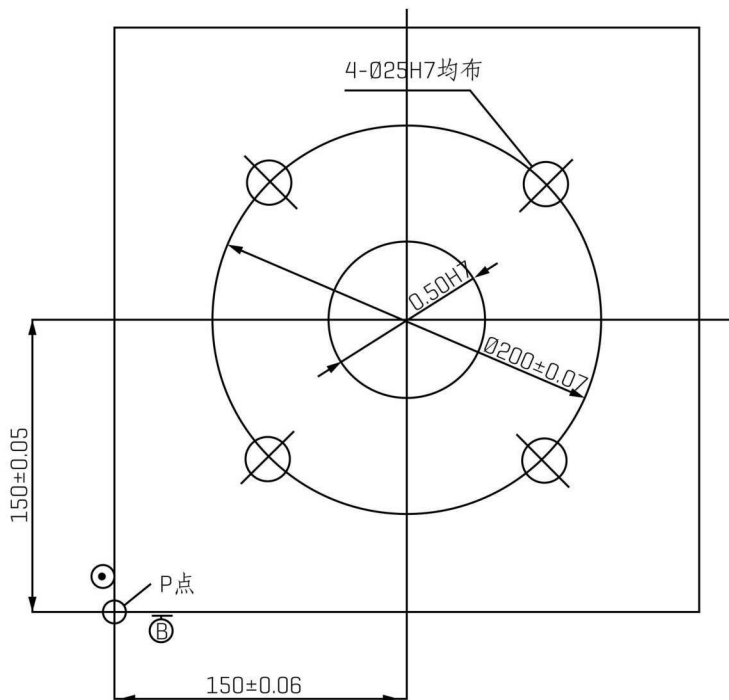


图 1-1-3

(2) 夹具的选用

在加工中心上,夹具的任务不仅是装夹零件,而且要以定位基准为参考基准,确定零件的加工原点。因此,定位基准要准确可靠。

(3) 零件的夹紧

在考虑夹紧方案时,应保证夹紧可靠,并尽量减少夹紧变形。

2. 刀具的选择

加工中心对刀具的基本要求是:

- (1)良好的切削性能:能承受高速切削和强力切削并且性能稳定;
- (2)较高的精度:刀具的精度指刀具的形状精度和刀具与装卡装置的位置精度;
- (3)配备完善的工具系统:满足多刀连续加工的要求。

加工中心所使用刀具的刀头部分与数控铣床所使用的刀具基本相同,请参见本教程中关于数控铣削刀具的选用。加工中心所使用刀具的刀柄部分与一般数控铣床用刀柄部分不同,加工中心用刀柄带有夹持槽供机械手夹持。

八、加工中心的对刀

“数控车编程与操作”中“加工坐标系设定”的内容中,已介绍了通过对刀方式设置加工坐标系的方法,这一方法也适用于加工中心。由于加工中心具有多把刀具,并能实现自动换刀,因此需要测量所用各把刀具的基本尺寸,并存入数控系统,以便加工中调用,即进行加工中心的对刀。加工中心通常采用机外对刀仪实现对刀。

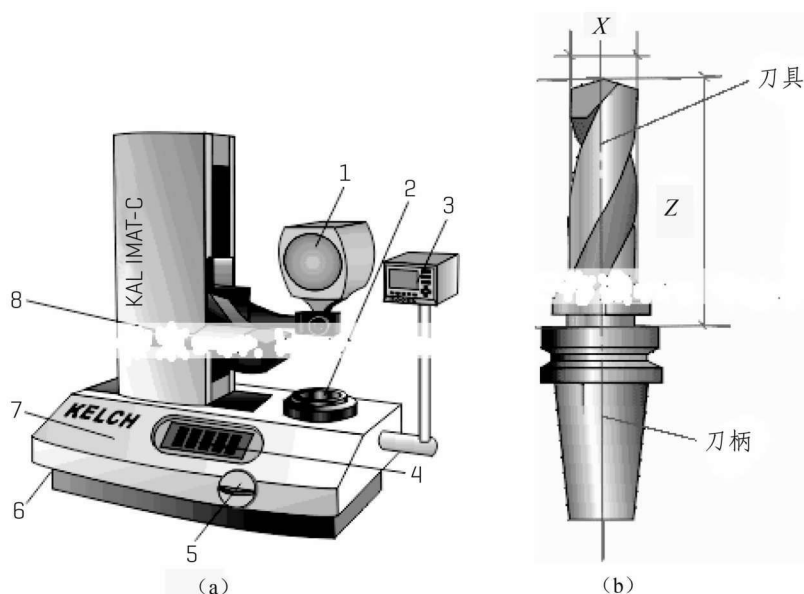


图 1-1-4

对刀仪的基本结构如上图 1-1-4(a)所示。图中,对刀仪平台 7 上装有刀柄夹持轴 2,用于安装被测刀具,如图 1-1-4(b)所示钻削刀具。通过快速移动单键按钮 4 和微调旋钮 5 或 6,可调整刀柄夹持轴 2 在对刀仪平台 7 上的位置。当光源发射器 8 发光,将刀具刀刃放大投影到显示屏幕 1 上时,即可测得刀具在 X(径向尺寸)、Z(刀柄基准面到刀尖的

长度尺寸)方向的尺寸。

钻削刀具的对刀操作过程如下:

1. 将被测刀具与刀柄连接安装为一体;
2. 将刀柄插入对刀仪上的刀柄夹持轴 2,并紧固;
3. 打开光源发射器 8,观察刀刃在显示屏幕 1 上的投影;

4. 通过快速移动单键按钮 4 和微调旋钮 5 或 6, 可调整刀刃在显示屏幕 1 上的投影位置, 使刀具的刀尖对准显示屏幕 1 上的十字线中心, 如图 1-1-5 所示;

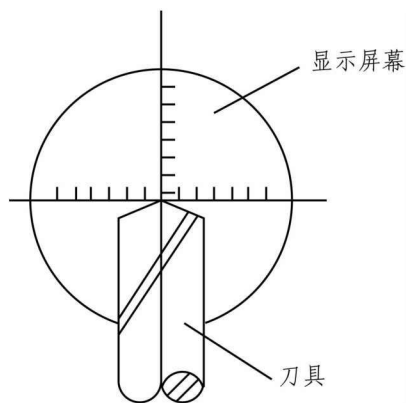


图 1-1-5

5. 测得 X 为 20, 即刀具直径为 $\phi 20\text{mm}$, 该尺寸可用作刀具半径补偿;
6. 测得 Z 为 180.002, 即刀具长度尺寸为 180.002mm, 该尺寸可用作刀具长度补偿;
7. 将测得尺寸输入加工中心的刀具补偿页面;
8. 将被测刀具从对刀仪上取下后, 即可装上加工中心使用。

九、加工中心回转工作台的调整

多数加工中心都配有回转工作台, 实现在零件一次安装中多个加工面的加工。如何准确测量加工中心回转工作台的回转中心, 对被加工零件的质量有着重要的影响。下面以卧式加工中心为例, 说明工作台回转中心的测量方法。

工作台回转中心在工作台上表面的中心点上。工作台回转中心的测量方法有多种, 这里介绍一种较常用的方法, 所用的工具有: 一根标准芯轴、百分表(千分表)、量块。

1. X 向回转中心的测量

(1) 测量的原理:

将主轴中心线与工作台回转中心重合, 这时主轴中心线所在的位置就是工作台回转中心的位置, 则此时 X 坐标的显示值就是工作台回转中心到 X 向机床原点的距离 X。工作台回转中心 X 向的位置。

(2) 测量方法:

1) 如下图所示, 将标准芯轴装在机床主轴上, 在工作台上固定百分表, 调整百分表的位置, 使指针在标准芯轴最高点处指向零位。

2) 将芯轴沿 +Z 方向退出 Z 轴。

3) 将工作台旋转 180° , 再将芯轴沿 -Z 方向移回原位。观察百分表指示的偏差然后调整 X 向机床坐标, 反复测量, 直到工作台旋转到 0° 和 180° 两个方向百分表指针指示的读数完全一样时, 这时机床 CRT 上显示的 X 向坐标值即为工作台 X 向回转中心的位置。

工作台 X 向回转中心的准确性决定了调头加工工件上孔的 X 向同轴度精度。

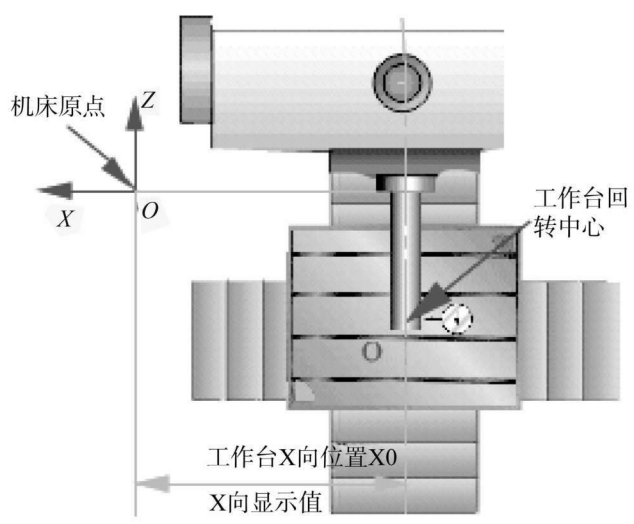


图 1-1-6

2. Y 向回转中心的测量

(1)测量原理:找出工作台上表面到 Y 向机床原点的距离 Y_0 ,即为 Y 向工作台回转中心的位置。

(2)测量方法:如图 1-1-7 所示,先将主轴沿 Y 向移到预定位置附近,用手拿着量块轻塞入,调整主轴 Y 向位置,直到量块刚好塞入为止。

$Y \text{ 向回转中心} = \text{CRT 显示的 } Y \text{ 向坐标 (为负值)} - \text{量块高度尺寸} - \text{标准芯轴半径}$
工作台 Y 向回转中心影响工件上加工孔的中心高尺寸精度。

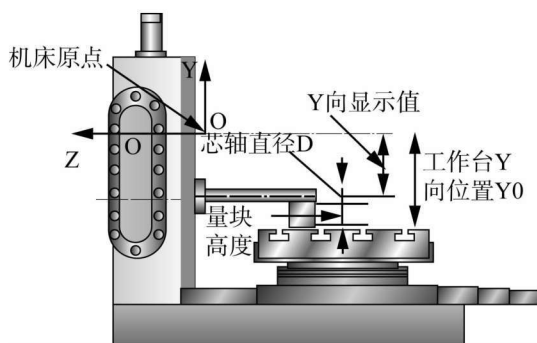


图 1-1-7

3. Z 向回转中心的测量

(1)测量原理:

找出工作台回转中心到 Z 向机床原点的距离 Z_0 ,即为 Z 向工作台回转中心的位置。

(2)测量方法:如图 1-1-8 所示,当工作台分别在 0° 和 180° 时,移动工作台以调整 Z 向