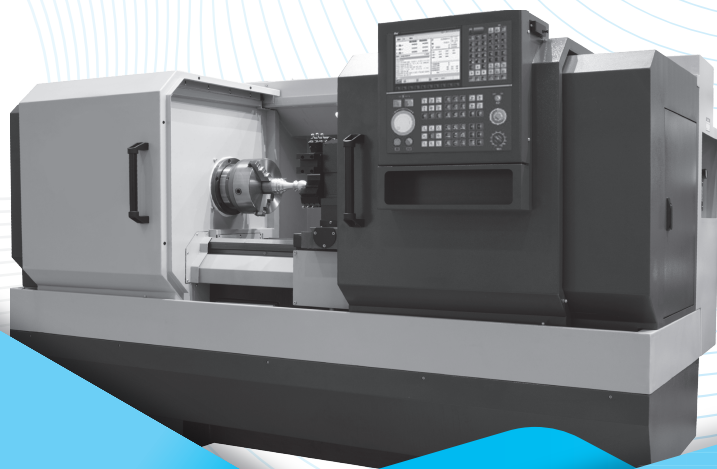


高等职业教育机电系列精品教材

数控车床编程与 操作项目教程

(华中系统)

主 编 赵春梅
副主编 张振明 孙增晖
刘 宁 崔文程



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以华中 HNC-21T 系统为对象,介绍了数控车床的编程方法与技巧、数控车床的操作、数控车床加工工艺、宏指令编程和 CAXA 软件的应用等。本书采用项目教学的方式组织内容,按照由简单到复杂,由单一到综合设置了四个项目:阶梯轴的数控车削加工、螺纹轴零件的数控车削加工、内孔零件的数控车削加工、内孔复合件的数控车削加工。项目案例遴选自企业生产和学校实践训练实例,保证了案例的典型性和可操作性。

本书融理论、实践操作于一体,是职业院校数控、模具、机电一体化、机械制造等机电专业的实用教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控车床编程与操作项目教程:华中系统 / 赵春梅
主编. — 上海:上海交通大学出版社,2024.5
ISBN 978-7-313-29788-4

I. ①数… II. ①赵… III. ①数控机床—车床—程序设计—教材 ②数控机床—车床—操作—教材 IV.
①TG519.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 002675 号

数控车床编程与操作项目教程(华中系统)
SHUKONG CHECHUANG BIANCHENG YU CAOZUO XIANGMU JIAOCHENG (HUAZHONG XITONG)
主 编:赵春梅
出版发行:上海交通大学出版社 地 址:上海市番禺路 951 号
邮政编码:200030 电 话:021-64071208
印 制:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司 经 销:全国新华书店
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印 张:15.25
字 数:352 千字
版 次:2024 年 5 月第 1 版 印 次:2024 年 5 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 978-7-313-29788-4
定 价:49.80 元

版权所有 侵权必究
告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:0316-8836866

为深入贯彻落实国务院《国家职业教育改革实施方案》，推进“双高”建设工作，推动“三教”改革，促进信息技术与教育教学深度融合，长春职业技术学院组建了新形态教材开发团队。

本书紧密围绕课程建设，服务于专业人才培养，依据专业人才培养目标和课程标准，针对数控车削加工岗位的职业能力需求，通过校企合作，参考“数控车铣加工 1+X 认证”考核标准，针对数控车削加工岗位的职业能力需求，选取典型零件和企业的部分产品作为教学载体，结合教学规律和课程目标组织教学内容，突出工作任务与知识的联系，让学生在职业实践活动的基础上掌握知识。本书立足数控车床操作工、数控工艺编程员、数控车床安装调试员职业岗位，对接 1+X 证书标准要求，经过行业企业调研整理出课程对应的典型工作任务，对照岗位要求分解知识点与技能点，按照逻辑递进关系确定了八个教学载体，将知识点与技能点的学习附在载体上，做到相对独立，使学生逐级递进地学习知识、掌握技能。

本书具有如下特点。

(1) 以互联网现代信息技术为基础，与传统纸质教材有机融合。学生可根据情况随时通过电脑或手机终端实现“线上+线下”自主化学习；教师可利用数字化资源开展“线上+线下”的教学活动。

(2) 设计趣味案例，注重激发学生的学习兴趣 and 动机，使学生变被动学习为主动创新，提升了学生的设计能力。

(3) 采用低碳环保设计案例理念，启发学生用现有耗材完成零件加工，节约学习成本。

(4) 内容体现了职教特色，注重培养学生的职业能力，加强产教融合、校企合作，融入职业岗位标准，引入企业典型案例。精心设计并实施一套层次分明、循序渐进的实践教学方案，富有启发性地引导、拓展教师和学生思维的空间，从而提升学生的就业竞争力。

本书由长春职业技术学院赵春梅任主编，张振明、孙增晖、刘宁、崔文程任副主编，吉林省中凯宝创汽车技术有限公司侯金凯工程师参与了本书案例的选取与技术指导工作。具体编写分工如下：张振明编写了概述和项目一，赵春梅编写了项目二，孙增晖编写了项目三任务一，崔文程编写了项目三任务二，刘宁编写了项目四。

由于编者的水平和经验有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编者

目录

概 述	1
项目一	阶梯轴的数控车削加工 8
1	任务一 汽车输出轴的数控车削加工 8
	任务二 离合器分离臂轴的数控车削加工 45
项目二	螺纹轴零件的数控车削加工 89
2	任务一 简单螺纹轴零件的数控车削加工 89
	任务二 复杂螺纹轴零件的数控车削加工 113
项目三	内孔零件的数控车削加工 130
3	任务一 简单套类零件的数控车削加工 130
	任务二 三挡主动齿轮坯的数控车削加工 149
项目四	内孔复合件的数控车削加工 176
4	任务一 圆头手柄的数控车削加工 176
	任务二 工程车等加速喷嘴的数控车削加工 215
参考文献	238



概 述

一、数控车床简介

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一，主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行，可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等工序的切削加工，并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔等加工。数控车削中心还可在一次装夹中完成更多的加工内容，适宜于复杂形状的回转体类零件的加工。

1. 数控车床的分类

1) 按车床主轴位置分类

(1) 立式数控车床。立式数控车床的主轴轴线与水平面垂直，有一个圆形工作台，供装夹工件使用，主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件，如图 0-1 所示。

(2) 卧式数控车床。卧式数控车床的主轴轴线处于水平位置，主要用于加工径向尺寸小、轴向尺寸相对较大的零件，如图 0-2 所示，它的床身和导轨有很多种布局形式，是应用最广泛的数控车床。

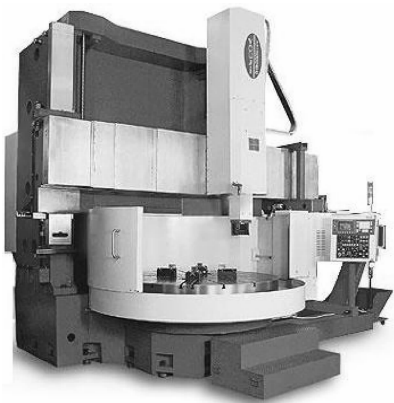


图 0-1 立式数控车床



图 0-2 卧式数控车床

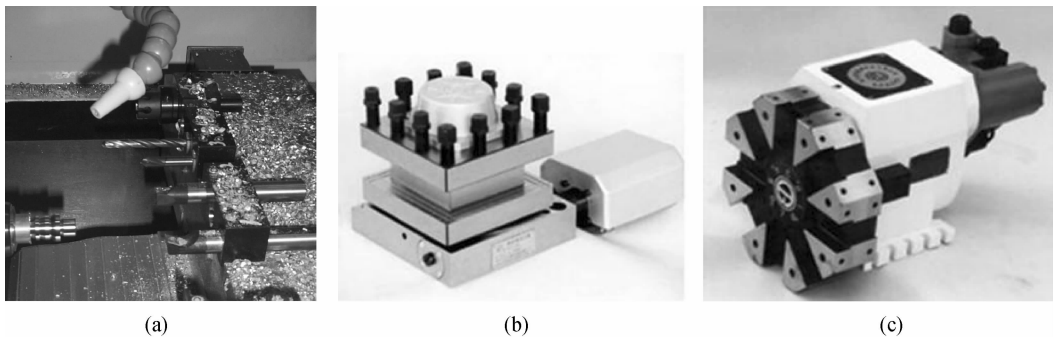
2) 按加工零件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控车床。这类数控车床未设置尾座，主要适合车削盘类零件以及短轴类零件，其装夹方式多采用电动液压控制。

(2) 顶尖式数控车床。这类数控车床设有普通尾座或数控尾座，主要适合车削较长轴类零件以及直径不大的盘、套类零件。

3) 按刀架数量分类

(1) 单刀架数控车床。数控车床一般都配置单刀架，单刀架又分为排式刀架、四工位转动式刀架和多工位转塔式刀架，如图 0-3 所示。



(a) 排式刀架 (b) 四工位转动式刀架 (c) 多工位转塔式刀架

图 0-3 单刀架

(2) 双刀架数控车床。双刀架数控车床如图 0-4 所示。这类数控车床一般为卧式结构，加工时两个刀架可同时加工零件，提高加工效率，在加工细长轴时还可以减少零件的变形。

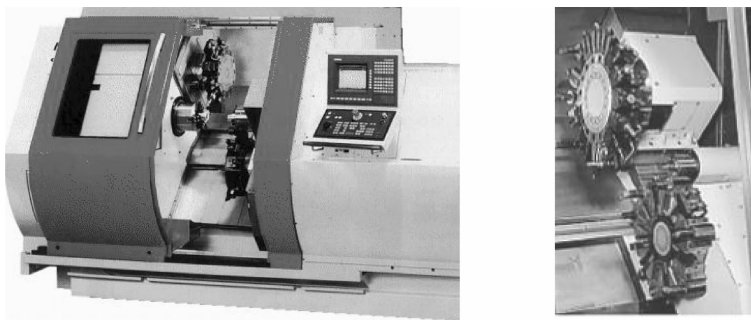


图 0-4 双刀架数控车床

4) 按系统功能分类

(1) 经济型数控车床。经济型数控车床是指采用步进电动机和单片机对普通车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床，如图 0-5 所示。这类车床成本较低，自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

(2) 全功能型数控车床。这类数控车床主轴一般采用能调速的直流电动机或交流主轴控制单元来驱动，进给采用伺服电动机，半闭环或全闭环控制，属于高档次的数控车床，如图 0-6 所示。全功能型数控车床具备恒线速度切削和刀尖圆弧半径自动补偿功能。

(3) 车削中心。车削中心是在普通数控车床基础上发展起来的一种复合加工机床，如图 0-7 所示。除具有一般二轴联动数控车床的各种车削功能外，车削中心的转塔刀架上还有能使刀具旋转的动力刀座，主轴具有按轮廓成形要求连续（不等速回转）运动和进行连续精确分度的 C 轴功能，并能与 X 轴或 Z 轴联动，控制轴除 X、Z、C 轴之外，还可具有 Y 轴。可进行端面和圆周上任意部位的钻削、铣削和攻螺纹等加工，在具有插补功能的条件下，还可以实现各种曲面铣削加工。



图 0-5 经济型数控车床

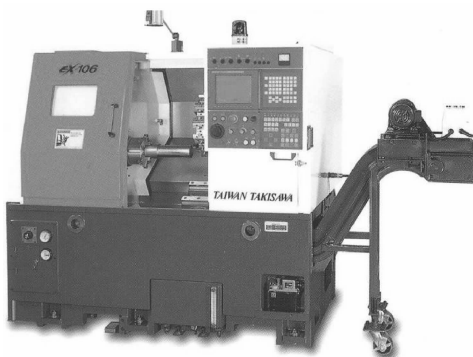


图 0-6 全功能型数控车床

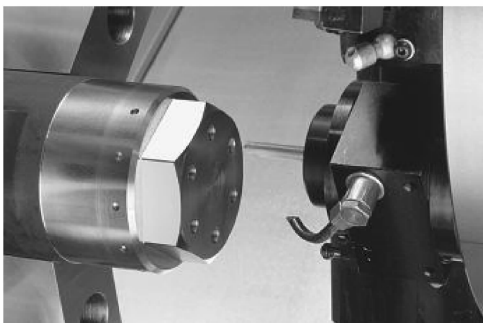


图 0-7 车削中心

2. 数控车床的特点

数控车床与普通车床的加工对象以及工艺有很多相似之处，但由于数控系统的存在，也有着很大的区别。数控车床与普通车床的最大区别，也就是用计算机控制车床和用手直接控制车床的区别。与普通车床相比，数控车床还具有以下特点。

- (1) 数控车床采用高性能的主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变性小等优点。
- (2) 数控车床的主运动与进给运动采用了各自独立的伺服电动机，与滚珠丝杠直接连接，从而使传动链变得简单。
- (3) 数控车床采用了自动回转刀架，在加工过程中可自动完成换刀操作，从而可以连续完成多道工序的加工。
- (4) 运动副的耐磨性好，摩擦损失小，润滑条件好，大部分采用油雾自动润滑。
- (5) 数控车床具有加工冷却充分、防护严密等特点，自动运转时一般都处于全封闭或半封闭状态。
- (6) 数控车床一般配有自动排屑装置、液压动力卡盘及液压顶尖等辅助装置。

3. 数控车床的加工范围

1) 要求高的回转体零件

- (1) 精度要求高的零件。由于数控车床的刚性好，制造和对刀精度高，以及能方便和

精确地进行人工补偿甚至自动补偿,所以它能够加工尺寸精度要求高的零件。通常,可车削 IT7 级精度的零件,在有些场合可以以车代磨。此外,由于数控车削时刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的,再加上机床的刚性好和制造精度高,所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度要求高的零件。对圆弧以及其他曲线轮廓的形状,加工出的形状与图纸上的目标几何形状的接近程度比仿形车床要好得多。

数控车削对提高位置精度特别有效,车削零件位置精度的高低主要取决于零件的装夹次数和机床的制造精度。而且,在数控车床上加工零件如果发现位置精度较低,可以用修改程序的方法来校正,这样可以提高其位置精度。而在传统车床上加工零件是无法做这种校正的。

(2) 表面质量好的回转体零件。数控车床能加工出表面粗糙度小的零件,不但因为机床的刚性和制造精度高,还由于它具有恒线速度切削功能。在材质、精车留量和刀具已定的情况下,表面粗糙度取决于进刀量和切削速度。在传统的车床上车削端面时,由于转速在切削过程中恒定,理论上只有某一直径处的粗糙度最小。实际上也可发现端面内的粗糙度不一致。使用数控车床的恒线速度切削功能,就可选用最佳线速度来切削端面,这样切出的粗糙度既小又一致。数控车床还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。表面粗糙度小的部位可以用减小进给量的方法来保证表面粗糙度要求,而这在传统车床上是不易做到的。

(3) 超精密、超低表面粗糙度的零件。磁盘、录像机磁头、激光打印机的多面反射体、照相机等光学设备的透镜及其模具,以及隐形眼镜等要求超高的轮廓精度和超低的表面粗糙度,它们适合于在高精度、高功能的数控车床上加工,以往很难加工的塑料散光用的透镜,现在也可以用数控车床来加工。超精加工的轮廓精度可达 $0.1\ \mu\text{m}$,表面粗糙度可达 $Ra0.02\ \mu\text{m}$,超精密加工所用数控系统的最小设定单位应达到 $0.01\ \mu\text{m}$ 。超精密车削零件的材质以前主要是金属,现已扩大到塑料和陶瓷。

2) 表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能,部分车床数控装置还有某些非圆曲线插补功能,所以可以车削由任意直线和平面曲线组成的形状复杂和难以控制尺寸的回转体零件,如具有封闭内成形面的壳体零件。

组成零件轮廓的曲线可以是数学方程式描述的曲线,也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的轮廓,直接利用机床的直线或圆弧插补功能。对于由非圆曲线组成的轮廓,可以用非圆曲线插补功能。若所选机床没有曲线插补功能,则可以利用宏程序功能完成方程曲线零件的加工。

如果说车削圆弧零件和圆锥零件既可选用传统车床也可选用数控车床,那么车削复杂形状回转体零件就只能使用数控车床了。

3) 带横向加工的回转体零件

带有键槽或径向孔,或端面有分布的孔系以及有曲面的盘套或轴类零件,如带法兰的轴套、带有键槽或方头的轴类零件等,这类零件宜选车铣加工中心加工。

4) 带一些特殊类型螺纹的零件

传统车床所能切削的螺纹相当有限,它只能车削等节距的直、锥面螺纹,而且一台车床只限定加工若干种节距。数控车床不但能车削任意节距的直、锥和端面螺纹,而且能车

削增、减节距,以及要求等节距、变节距之间平滑过渡的螺纹和变径螺纹。数控车床车削螺纹时主轴转向不必像传统车床那样交替变换,它可以一刀又一刀不停地循环,直到完成,车削螺纹的效率很高。数控车床可以配备精密螺纹切削功能,再加上采用机夹硬质合金螺纹车刀,以及可以使用较高的转速,所以车削出来的螺纹精度较高、表面粗糙度小。可以说,包括丝杠在内的螺纹零件很适合在数控车床上加工。

二、数控车床的操作规程与保养维护

1. 数控车床安全操作规程

数控车床是一种自动化程度高、结构复杂且昂贵的先进加工设备,它与普通车床相比具有加工精度高、加工灵活、通用性强、生产效率高、质量稳定等优点,特别适合加工多品种、小批量、形状复杂的零件,在企业生产中有着至关重要的地位。

数控车床操作者除了应掌握数控车床的性能、精心操作外,还要管好、用好和维护好数控车床,养成文明生产的良好工作习惯和严谨的工作作风,具有良好的职业素质、责任心,做到安全文明生产,严格遵守以下数控车床安全操作规程。

(1) 数控系统的编程、操作和维修人员必须经过专门的技术培训,熟悉所用数控车床的使用环境、条件和工作参数等,严格按机床和系统的使用说明书要求正确、合理地操作机床。

(2) 数控车床的使用环境要避免光的直接照射和其他热辐射,避免太潮湿或粉尘过多,特别要避免腐蚀性气体。

(3) 为避免电源不稳定给电子元件造成损坏,数控车床应采取专线供电或增设稳压装置。

(4) 数控车床的开机、关机顺序,一定要按照机床说明书的规定操作。

(5) 在切削铸铁、气割下料的工件前,导轨上的润滑油要擦去,工件上的型砂杂质应清除干净。

(6) 使用切削液时,要在导轨上涂上润滑油。

(7) 程序输入后,应仔细核对代码、地址、数值、正负号、小数点及语法是否正确。

(8) 未装工件前,空运行一次程序,看程序能否顺利进行,刀具和夹具安装是否合理,有无超程现象。

(9) 在每次电源接通后,应先完成各轴的返回参考点操作,然后再进入其他运行方式,以确保各轴坐标的正确性。

(10) 主轴运转前,必须将卡盘扳手取下,以确保安全。

(11) 主轴启动开始切削之前一定要关好防护罩门,程序正常运行中严禁开启防护罩。

(12) 操作数控车床时只能一人操作,其他人在一旁观看。在加工过程中操作者不得离开岗位或托他人代管,不能做与加工无关的事情。暂时离岗按暂停按钮,要正确使用急停开关,工作中严禁随意拉闸断电。

(13) 手动对刀时,应注意选择合适的进给速度;手动换刀时,刀架距工件要有足够的转位距离,防止发生碰撞。

(14) 首件加工应采用单段程序切削,并随时注意调节进给倍率,控制进给量。

(15) 必须在确认工件夹紧后才能启动机床,数控车床在运行(主轴转动)时不能测量工件,不能用手去摸工件表面,更不允许用砂纸去擦拭工件表面。

(16) 机床在正常运行时不允许打开电气柜的门。

(17) 加工过程中,如出现异常危急情况,可按下“急停”按钮,以确保人身和设备的安全。

(18) 机床发生事故,操作者要注意保留现场,并向指导教师如实说明事故发生前后的情况,以利于分析问题,查找事故原因。

(19) 要认真填写数控机床的工作日志,做好交接工作,消除事故隐患。

(20) 不得随意更改数控系统内部制造厂设定的参数,并及时做好备份。

(21) 要经常润滑机床导轨、防止导轨生锈,并做好机床的清洁保养工作。

2. 数控加工文明生产

(1) 操作机床期间必须穿工作服,并紧扣袖口、拉好衣服拉链,否则不许上机。禁止戴手套操作机床,有长发的女生要戴工作帽。不准多人同时操作一台机床。

(2) 数控机床的操作必须在指导教师指导下进行,未经指导教师同意,不允许开动机床。自己编制的程序须经指导教师审查后方可上机运行。

(3) 启动机床前应检查是否已经将扳手等工具从机床上拿开并放置妥当。机床主轴启动,开始切削时应关好防护门。正常运行时,禁止按急停按钮(急停后应回零),加工中严禁开启防护门。

(4) 机床开动期间严禁离开工作岗位做与操作无关的事情,手要时常放在急停或复位按钮上,集中精力,如遇紧急情况应迅速按急停按钮,并报告指导教师,经修正后方可继续加工。

(5) 严禁在车间内嬉戏、打闹。严禁在机床间穿梭。

(6) 学生不得擅自修改、删除机床参数和系统文件,造成事故者,将追究责任。

(7) 学生应在下课前 15 min 关闭机床,将工具归位,清洁机床,在指导教师指导下对各运动部件添加润滑油,打扫车间的环境卫生,养成良好的实习习惯。

3. 数控车床保养与维护

数控车床具有集机、电、液于一身的特点,是一种自动化程度高的先进设备。为了充分发挥其效益,减少故障的发生,必须做好日常维护保养工作,使数控系统少出故障,以延长系统的平均无故障时间。所以要求数控车床维护人员不仅要有机械、加工工艺以及液压、气动方面的知识,还要具备电子计算机、自动控制、驱动及测量技术等方面的知识,这样才能全面了解、掌握数控车床,及时搞好维护保养工作。主要的维护保养工作有:

(1) 严格遵守操作规程和日常维护制度,数控系统的编程、操作和维修人员必须经过专门的技术培训,严格按机床和系统的使用说明书的要求正确、合理地操作机床,应尽量避免因操作不当引起的故障。

(2) 操作人员在操作机床前必须确认主轴润滑油与导轨润滑油是否符合要求。润滑油不足时,应按说明书的要求加入牌号、型号等合适的润滑油。

(3) 防止灰尘进入数控装置内,如数控柜空气过滤器灰尘累积过多,会使柜内冷却空气流通不畅,引起柜内温度过高而使数控系统工作不稳定。因此,应根据周围环境温度状况,定期检查清扫。电气柜内电路板和元器件上累积有灰尘时,也得及时清扫。

(4) 应每天检查数控装置上各个冷却风扇工作是否正常。视工作环境的状况,每半年

或每季度检查一次过滤通风道是否有堵塞现象。如过滤网上灰尘积聚过多,应及时清理,否则将导致数控装置内温度过高,当温度达到 55°C 以上时,应及时加装空调装置,否则将导致数控系统不能可靠地工作,甚至发生过热报警。

(5) 伺服电动机的保养。对于数控车床的伺服电动机,要每 10~12 个月进行一次维护保养,加速或者减速变化频繁的机床要每 2 个月进行一次维护保养。维护保养的主要内容有:用干燥的压缩空气吹去电刷的粉尘,检查电刷的磨损情况,如需更换,需选用规格、型号相同的电刷,更换后要空载运行一定时间,使其与换向器表面吻合。检查清扫电枢整流子以防止短路;如装有测速电动机和脉冲编码器时,也要定期检查和清扫。

(6) 及时做好清洁保养工作,如电气柜的清扫、印制线路板的清扫等。

(7) 定期检查电气部件,检查各插头、插座、电缆、继电器的触点是否出现接触不良、断线和短路等故障。检查各印制电路板是否干净。检查主电源变压器、各电动机的绝缘电阻是否在 $1\text{ M}\Omega$ 以上。平时尽量少开电气柜门,以保持电气柜内清洁。

(8) 经常监视数控系统的电网电压。数控系统允许的电网电压范围在额定值的 $85\%\sim 110\%$,如果超出此范围,轻则使数控系统不能稳定工作,重则会造成重要的电子元件损坏。因此要经常注意电网电压的波动。对于电网质量比较恶劣的地区,应及时配置数控系统用的交流稳压装置,以降低故障率。

(9) 定期更换存储器用的电池。数控系统中部分 CMOS 存储器中的存储内容在关机时靠电池供电保持,当电池电压降到一定值时就会造成参数丢失。因此,要定期检查电池电压,更换电池一定要在数控系统通电状态下进行,这样才不会造成存储参数丢失,并做好数据备份。

(10) 备用印制电路板长期不用容易出现故障,因此对所购数控机床中的备用电路板,应定期装到数控系统中通电运行一段时间,以防止损坏。

(11) 定期进行机床水平和机械精度检查并校正,机械精度的校正方法有软硬两种。软方法主要是通过系统参数补偿,如丝杠反向间隙补偿、各坐标定位精度定点补偿、机床回参考点位置校正等;硬方法一般要在机床进行大修时进行,如进行导轨修刮、滚珠丝杠螺母预紧、反向间隙调整等,并适时对各坐标轴进行超程限位检验。

(12) 长期不用数控车床的保养。在数控车床闲置不用时,应经常给数控系统通电,在机床锁住的情况下,使其空运行。在空气湿度较大的梅雨季节应该天天通电,利用电气元件本身发热驱走数控柜内的潮气,以保证电子元器件的性能稳定可靠。



项目一 阶梯轴的数控车削加工



任务一 汽车输出轴的数控车削加工



任务目标

知识目标

- (1) 掌握数控车床对刀原理及对刀目的。
- (2) 掌握数控车床的操作面板功能。
- (3) 掌握华中数控系统的常用编程指令。
- (4) 理解制定数控车床车削加工工艺的相关知识。
- (5) 掌握数控机床坐标系的相关概念和确定原则。
- (6) 掌握数控加工程序的结构和指令字功能。

能力目标

- (1) 具备编制圆柱面、台阶面数控加工程序的能力。
- (2) 能正确分析零件表面质量, 熟练应用游标卡尺和千分尺测量、读数。
- (3) 掌握 X 向尺寸控制方法, 完成零件加工。

素质目标

- (1) 培养学生敬业爱岗和团队合作意识。
- (2) 养成良好的安全和环保意识。
- (3) 培养学生吃苦耐劳的精神。



任务导入

任务要求: 本任务以汽车输出轴加工工艺分析为例, 介绍数控车削加工工艺的基本知识和制订的基本原则。

如图 1-1 所示汽车输出轴, 工件毛坯为 $\phi 35 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$ 铝棒料, 该零件的生产类型为单件生产, 要求设计数控加工工艺方案, 编制数控加工程序并完成零件的加工。

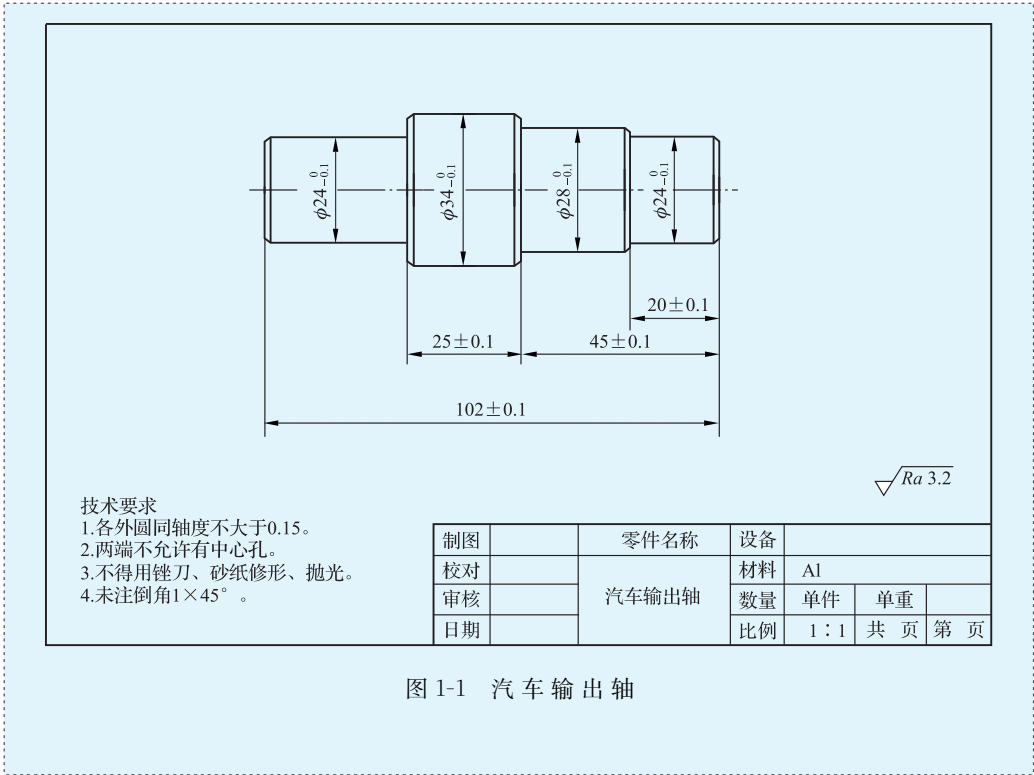


图 1-1 汽车输出轴

任务分析

本零件毛坯为棒料，粗加工余量较大，零件的结构形状呈阶梯分布，若单纯采用 G00 与 G01 指令进行编程，必然导致程序冗长，出错率高，为了提高加工效率，粗车可采用外径粗车复合循环指令 G71 进行编程，可使程序简化。本任务重点引入外径粗车复合循环 G71 指令，并用于汽车输出轴的粗加工。

知识准备

一、数控车床的工作原理

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件，编制零件数控加工程序，并输入数控机床的数控系统，用以控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成对零件的加工。数控加工过程如图 1-2 所示。

(1) 首先阅读零件图样，充分了解图样的技术要求（如尺寸精度、几何公差、表面粗糙度、材料、硬度、热处理以及工件数量等），明确加工内容。

(2) 根据零件图样的要求进行工艺分析，其中包括零件的结构工艺性分析、材料 and 设计精度合理性分析、大致工艺步骤等。

(3) 根据工艺分析制定出加工所需要的一切工艺信息，如加工工艺路线，工艺要求，刀具的运动轨迹，切削用量（主轴转速、进给量、切削深度）以及辅助功能（换刀、主轴

正转或反转、切削液开或关)等,并填写工艺过程卡和加工工序卡。

(4) 根据零件图和制定的工艺内容,再按照所用数控系统规定的指令代码及程序格式进行数控编程。

(5) 将编写好的程序通过传输接口输入数控机床的数控装置中。调整好机床并调用该程序后,加工出符合图纸要求的零件。

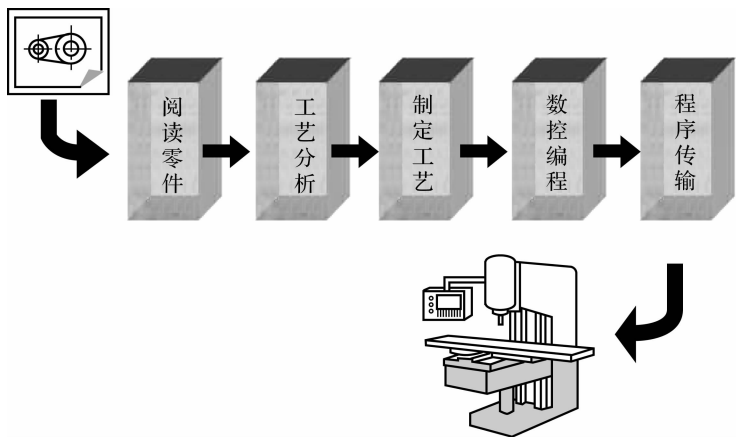


图 1-2 数控加工原理

二、数控机床坐标系

在数控机床上加工工件,刀具与工件的相对运动是以数字的形式体现的,因此必须建立相应的坐标系才能明确刀具与工件的相对位置。为了便于编程时描述机床的运动,简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动方向均已标准化。

1. 坐标系和运动方向的命名原则

1) 工件相对静止而刀具运动的原则

不管机床在实际加工过程中是刀具移动,还是被加工工件移动,都一律假定被加工工件相对静止,而刀具在移动。这一假设也使得编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下,就能根据零件图样确定机床的加工过程,编制数控加工程序。

2) 运动方向的原则

刀具远离工件的方向为坐标轴的正方向,即增大工件与刀具距离的方向。

3) 标准坐标系原则

标准的机床坐标系为右手直角笛卡儿坐标系,如图 1-3 所示。在笛卡儿坐标系中,用 X 、 Y 、 Z 表示 3 个直线坐标轴,三者之间的相互关系及正方向用右手定则判定,其正方向用 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 表示。伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° ,则大拇指代表 X 坐标,食指代表 Y 坐标,中指代表 Z 坐标,且大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指的指向为 Y 轴的正方向,中指的指向为 Z 轴的正方向。 A 、 B 、 C 分别表示其轴线平行于 X 、 Y 、 Z 轴的旋转轴,采用右手螺旋法则判断旋转正方向。

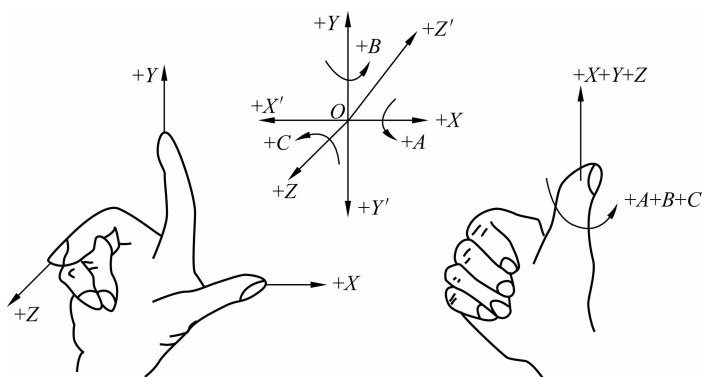


图 1-3 右手直角笛卡儿坐标系

4) 主轴旋转正方向的确定原则

主轴旋转正方向是从主轴尾端向前端（装刀具或工件端）看，顺时针旋转为主轴旋转运动的正方向，对于普通卧式数控车床，主轴的正旋转方向与 C 轴正方向相同，如图 1-4 所示。

2. 坐标轴及运动方向的确定

1) Z 坐标轴

一般取产生主切削力的主轴轴线为 Z 坐标轴，刀具远离工件的方向为 Z 坐标轴的正方向，对于卧式数控车床， Z 轴与主轴回转中心线重合，且由主轴指向尾座的方向为 Z 轴正方向。

2) X 坐标轴

X 坐标轴一般是水平的，平行于装夹平面，是刀具或工件定位平面内的运动的主要坐标。对于工件旋转的卧式数控车床， X 轴的方向在工件的径向，并且平行于横向托板，正方向是增大工件与刀具之间距离的方向，如图 1-5 所示。

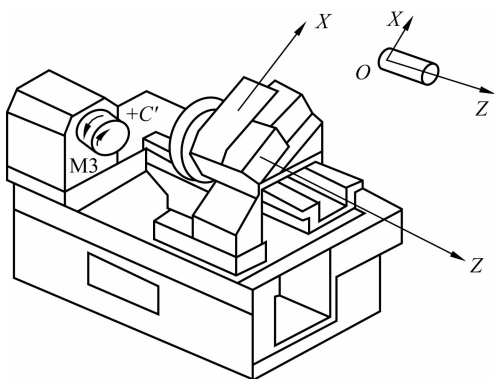


图 1-4 主轴旋转正方向

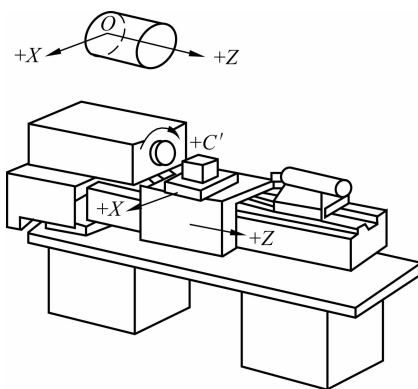


图 1-5 卧式数控车床坐标轴

3) Y 坐标轴

判断出 Z 轴和 X 轴后，即可根据右手直角笛卡儿坐标系判断出 Y 坐标轴。

3. 数控机床中“点”的概念

1) 机床原点

机床原点又称为机械原点，是机床坐标系的原点。机床原点是机床制造厂家设置在机床上的一个固定点，通常不允许用户改变，其作用是使机床与控制系统同步，建立测量机床运动坐标的起始点。机床坐标系建立在机床原点上，是机床上固有的坐标系。

数控车床的机床原点通常设置在卡盘后端面与主轴中心线的交点 O_1 （图 1-6），主轴即为 Z 轴，横向托板为 X 轴。

2) 机床参考点

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。其位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用行程开关精确调整好的固定点，坐标值已输入数控系统。因此机床参考点对机床原点的坐标是一个已知值，如图 1-7 所示。通常在数控车床上的机床参考点是离机床原点最远的极限点。

当机床返回参考点时，可以间接确定机床原点的位置，因此回参考点也称为回零，目的就是建立机床坐标系。

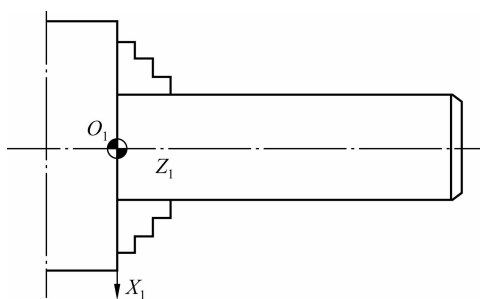


图 1-6 数控车床机床原点

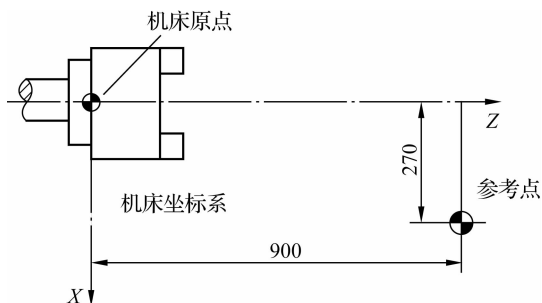


图 1-7 数控车床机床参考点

3) 工件原点

工件坐标系是由编程人员根据零件图样及加工工艺，以零件上某一固定点为原点建立的坐标系，也称为编程坐标系，其坐标轴的方向与机床坐标系坐标轴方向一致。工件坐标系是为确定工件几何形状体上各要素的位置而设置的坐标系。

工件原点也称为编程原点，是由编程人员根据编程计算方便、机床调整方便、对刀方便、在毛坯上位置确定方便等原则具体在工件上确定的几何基准点，一般为零件图上最重要的设计基准点。

工件原点的选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件，选择原则如下。

- (1) 与设计基准一致。
- (2) 尽量选在尺寸精度高、粗糙度低的工件表面。
- (3) 最好在工件的对称中心线或圆心上。
- (4) 要便于测量和检测；对于回转零件，工件原点通常设在左、右端面的轴心线上。

4) 换刀点

换刀点是为采用多刀加工的机床而设置的，是指刀架转位换刀时的位置。在数控车床

上,换刀点的位置不是固定的,其设定值一般根据刀具在刀架上的悬伸量确定,以不发生换刀障碍为准,在保证换刀安全的前提下尽量靠近工件。

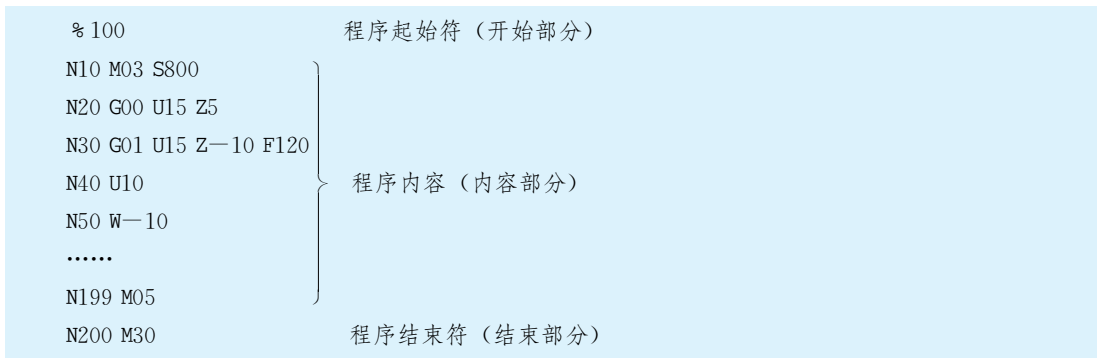
三、数控程序结构与指令介绍

1. 程序结构

一个完整的加工程序一般包括程序的开始部分(程序起始符)、内容部分(程序内容)和结束部分(程序结束符)。此外,还可以用注释符号内或分号后的内容对加工程序进行注释。

在加工程序的开头部分要有程序索引号,以便进行程序检索,索引号通常用符号“%”或字母“O”接若干位数字表示。程序索引号就是给数控加工程序一个编号,并说明该零件加工程序的开始;内容部分则表示加工程序的全部内容;结束部分多用“M02”或“M30”表示,并位于加工程序的最后一个程序段。

加工程序结构举例:



2. 程序格式

1) 程序段的构成要素

数控程序由若干个程序段组成。每个程序段又由若干个指令字组成(简称字),每个字由若干个字符组成。

(1) 字符。程序段中的每一个数字、字母以及其他符号均称为字符。

(2) 字。能表示某一功能的、按一定顺序和规定排列的字符集合称为字。数控装置对输入程序的信息处理,都是以字为单位进行的。字是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成的,这个英文字母称为地址符。例如,M30是一个字,由字母M及数字3、0组成,字M30定义为程序结束。Z-50也是一个字,它表示刀具位移至Z轴负方向50mm处。

(3) 程序段。一个程序段表示数控机床的一种操作,对应于零件的某道工序加工,各程序段由若干指令字组成。

2) 程序段格式

程序段格式是指一个程序段中字、字符和数据的安排形式,它由表示地址的英文字母、特殊字符和数字集合而成,如图1-8所示。

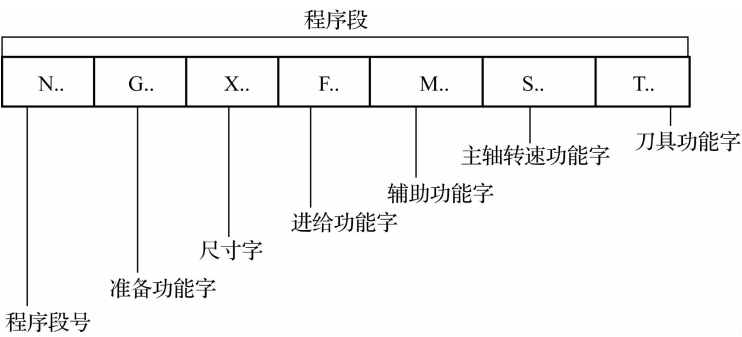


图 1-8 程序段格式

3. 程序段中的指令字

组成程序段中的每一个字都有其特定的含义，下面以华中世纪星 HNC-21T 数控系统的规范来介绍，实际工作中，请遵照机床数控系统说明书来使用各指令功能字。

1) 顺序号字 N

顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首，由顺序号字 N 和后续 1~4 位的正整数组成，顺序号是地址符。顺序号实际上是加工程序段的名称，与程序执行的先后顺序无关。数控系统不是按顺序号的大小执行的，而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行的。

顺序号的作用：方便对程序校对和检索修改；作为条件转向的目标，即作为转向的目的程序段的名称。顺序号在编写程序时可省略不写，一般只在某个功能程序段前加上，以便让程序返回到此程序段执行。

2) 准备功能字 G

准备功能字由地址符 G 和其后的一或两位数值组成，准备功能字主要用来指定机床或数控系统的工作方式，用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置、暂停等多种加工操作，它一般紧跟在顺序号之后而位于尺寸字之前。华中世纪星 HNC-21T 数控车床常用的 G 代码及功能见表 1-1。

表 1-1 华中世纪星 HNC-21T 常用的准备功能一览表

代 码	功 能	模态指令类型	功能在出现段有效	代 码	功 能	模态指令类型	功能在出现段有效
G00	快速定位	a		G65	宏指令简单调用		#
G01	直线插补	a		G71	内（外）径粗车复合循环	h	
G02	顺时针圆弧插补	a		G72	端面粗车复合循环	h	
G03	逆时针圆弧插补	a		G73	闭环车削复合循环	h	
G04	进给暂停		*	G76	螺纹切削复合循环	h	
G20	英寸输入	c		G80	内（外）径切削固定循环	h	

(续表)

代 码	功 能	模态指令类型	功能在出现段有效	代 码	功 能	模态指令类型	功能在出现段有效
G21	毫米输入	c		G81	端面切削固定循环	h	
G28	返回到参考点		*	G82	螺孔切削固定循环	h	
G29	由参考点返回		*	G90	绝对尺寸	j	
G32	螺纹切削	a		G91	增量尺寸	j	
G36	直径编程	e		G92	工件坐标系设定		*
G37	半径编程	e		G94	每分钟进给	k	
G40	取消刀尖圆弧半径补偿	d		G95	主轴每转进给	k	
G41	刀尖圆弧半径左补偿	d		G96	恒线速切削	i	
G42	刀尖圆弧半径右补偿	d		G97	恒转速切削	i	
G54~G59	坐标系选择	f					

注：1. * 号表示非模态 G 代码。
2. # 号表示如做特殊用途，必须在程序格式说明中说明。

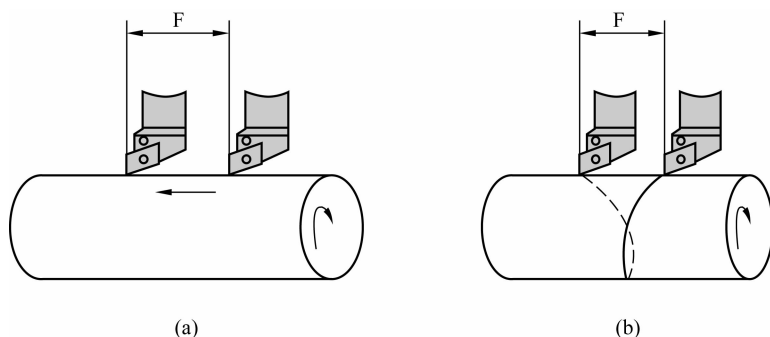
G 代码分为两种：一种是模态代码，又称续效代码，它一旦在程序中指定，将一直有效，直到被同组的其他代码注销；另一种是非模态代码，也称非续效代码，它只在写有该代码的程序段中有效。表 1-1 中凡是小写字母相同的代码即为同组的模态代码，在同一程序段中，出现几个同一组的模态代码时，最后出现的代码有效；在同一程序段中，出现几个不同组的模态代码时，并不影响 G 代码的续效，且各代码的先后顺序可随意排列。例如，G90、G54 可与 G00 放在同一程序段。

3) 尺寸字

尺寸字也称坐标字，用于给定各坐标轴位移的方向和数值。它由各坐标轴的地址符及正、负号和其后的数值组成。尺寸字安排在 G 功能字之后。其中，直线进给运动用 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 表示，确定圆弧圆心用 I、J、K 表示。在一些数控系统中，还可以用 P 指令确定暂停时间，用 R 指令确定圆弧的半径等，尺寸字的直线位移单位多为毫米（mm）。

4) 进给功能字 F

进给功能也称 F 功能，由地址符 F 和其后的数值组成，用于指定车刀切削时的走刀速度。机床设定 G94 时，表示的是每分钟进给量，单位为 mm/min，如图 1-9（a）所示，如 G94 F120 表示车刀的进给速度为 120 mm/min；机床设定 G95 时，表示的是主轴每转一转刀具的进给量，单位为 mm/r，如图 1-9（b）所示，如 G95 F0.3 表示车刀的进给速度为 0.3 mm/r；当车削螺纹时，F 用来指定被加工螺纹的导程，如 F1.5 表示被加工螺纹的导程为 1.5 mm。



(a) 每分钟进给量 G94 (b) 每转进给量 G95

图 1-9 每分钟进给量和每转进给量

当数控机床工作在 G01、G02 或 G03 方式下时，编程的 F 一直有效，直到被新的 F 值所取代。而工作在 G00 方式下时，快速定位的速度是各轴所定义的最高速度与控制面板上快速修调旋钮倍率的乘积，而与 F 值无关。

5) 主轴转速功能字 S

主轴转速功能由地址符 S 和后面的数值组成，单位是转/分钟 (r/min)。S 指令也是模态代码，对于具有恒线速的数控车床也可以用 G96 S _ 指定为恒线速度（单位为 m/min），如果不需要恒线速，则可以用 G97 S _ （单位为 r/min）设定主轴为恒转速。

数控车床的刀具沿高速旋转的工件轮廓表面进给，刀具和工件接触表面的直径在不断变化，如果在整个加工过程中主轴转速不变，显然切削速度将随之变化，从而难以维持刀具的最佳切削性能，以致影响工件的加工质量，所以数控车床主轴转速指令要复杂些。

现以华中世纪星 HNC-21T 数控系统为例，介绍部分主轴功能。

(1) 同步进给控制。在加工螺纹时，主轴的旋转与进给必须保持同步关系，如车削等螺距螺纹时，主轴每转一圈，其进给方向必须严格位移一个螺距或导程。

(2) 恒线速度控制。在车削表面粗糙度要求十分均匀的变径表面，如端面、圆锥面及任意曲线构成的旋转面时，车床主轴转速必须随着车削工件直径变化而做相应的变化，以满足切削不同直径时具有恒定的切削速度（线速度），进而才能控制工件表面粗糙度。该功能可由 G96 指令来指定，当需要恢复恒定转速时，用 G97 指令注销。

(3) 最高转速控制。当采用恒线速加工变径表面时，由于刀尖所处直径在不断变化，当刀尖接近工件轴线（中心）位置时，因其直径接近零，线速度又规定为恒定值，主轴转速将会急剧升高。为防止因主轴转速过高而发生事故，应限制主轴最高转速。

6) 刀具功能字 T

刀具功能也称 T 功能，用来指定加工中所用的刀具号及其所调用的刀具补偿号，由地址符 T 和 4 位数值组成，前两位表示刀具号，后两位表示刀具补偿号。例如，T0101 表示选用 1 号刀具，调用 1 号刀具补偿；T0103 表示选用 1 号刀具，调用 3 号刀具补偿。

把对刀过程记录的坐标值以 MDI 方式输入某刀偏表地址码中（如 01 地址号），则在编程中直接用指令 T××01 即可自动按机床坐标系的绝对偏置坐标关系来建立起工件坐标系，其中××表示刀架上对应的刀具号。

7) 辅助功能字 M

辅助功能也称 M 功能, 由地址符 M 和其后的一或两位数值组成, 主要用于控制零件程序的走向, 以及机床各种辅助功能的开关动作, 辅助功能有主轴的旋转方向、启动、停止及切削液的开关等功能。华中世纪星 HNC-21T 数控车床常用的 M 代码及功能见表 1-2。

表 1-2 华中世纪星 HNC-21T 数控车床常用的辅助功能一览表

代 码	模 态	功 能 说 明	代 码	模 态	功 能 说 明
M00	非模态	程序暂停	M03	模态	主轴正转
M01	非模态	程序选择性停止	M04	模态	主轴反转
M02	非模态	程序结束	M05	模态	主轴停止
M30	非模态	程序结束返回程序起点	M07	模态	2 号切削液打开
			M08	模态	1 号切削液打开
M98	非模态	调用子程序	M09	模态	切削液关
M99	非模态	子程序结束			

M 功能有非模态 M 功能和模态 M 功能两种形式。

非模态 M 功能: 只在书写了该代码的程序段中有效。

模态 M 功能: 一组可相互注销的 M 功能, 这些功能在被同一组的另一个功能注销前一直有效。

(1) 程序暂停 M00。当数控系统执行到 M00 指令时, 将暂停执行当前程序, 以方便操作者进行刀具和工件的尺寸测量、工件掉头、手动变速等操作。

暂停时, 机床的进给停止, 而全部现存的模态信息保持不变, 欲继续执行后续程序, 需按操作面板上的“循环启动”键。

(2) 程序结束 M02。M02 一般放在主程序的最后一个程序段中。当数控系统执行到 M02 指令时, 机床的主轴、进给、切削液全部停止, 加工结束。

使用 M02 指令程序结束后, 若要重新执行该程序, 就得重新调用该程序, 或在自动加工子菜单下按子菜单 F4 (程序重新运行) 键, 然后再按操作面板上的“循环启动”键。

(3) 程序结束返回程序起点指令 M30。M30 与 M02 功能基本相同, 只是 M30 指令还兼有控制返回到零件程序起点 (%) 的作用。使用 M30 指令程序结束后, 若要重新执行该程序, 只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

(4) 主轴控制指令 M03、M04、M05。

M03 指令启动主轴, 以程序中编制的主轴速度顺时针方向旋转。

M04 指令启动主轴, 以程序中编制的主轴速度逆时针方向旋转。

M05 指令使主轴停止转动。

M03、M04、M05 可相互注销。

(5) 切削液打开、关闭指令 M07、M08、M09。

M07 指令用于打开 2 号切削液管道。

M08 指令用于打开 1 号切削液管道。

M09 指令用于关闭切削液管道。

四、数控车床常用指令及编程格式

1. 直径编程和半径编程

数控车床的工件外形通常是旋转体，其 X 轴尺寸可以用两种方式加以指定：直径方式和半径方式。在车削加工的数控程序中， X 轴的坐标值通常取为零件图样上的直径值编程方式。编程时可由指令指定， $G36$ 为直径编程指令， $G37$ 为半径编程指令， $G36$ 为默认值。机床出厂一般设为直径编程。

2. 绝对坐标编程和增量坐标编程

数控加工程序中表示几何点的坐标位置有绝对坐标和增量坐标两种方式。

绝对坐标指机床运动部件的坐标值相对于坐标原点给出，表示程序段中每个坐标都是从工件原点开始计算的坐标值。增量坐标指机床运动部件的坐标值相对于前一位置给出，该值等于沿轴移动的距离。

1) G 功能指令字

(1) $G90$ 绝对坐标编程。 $G90$ 编入程序时，以后所有编入的 X 、 Z 坐标值都是以编程原点为基准的。

(2) $G91$ 增量坐标编程。 $G91$ 编入程序时，以后所有编入的 X 、 Z 坐标值都是以前一点作为起始点来编程的，即终点相对前一点的增量。

$G90$ 、 $G91$ 为模态代码，可相互注销， $G90$ 为默认值。

【例 1-1】 如图 1-10 所示，用 $G90$ 、 $G91$ 编程：要求刀具由 A 点移动到 B 点。

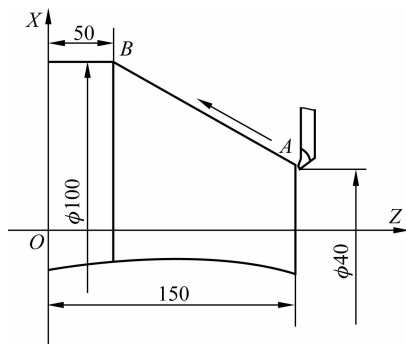


图 1-10 绝对/增量编程

绝对坐标编程：

$G90 G01 X100 Z50 F80$

增量坐标编程：

$G91 G01 X60 Z-100 F80$

2) 用尺寸字地址符指定

绝对坐标编程时，用 X 、 Z 表示 X 轴与 Z 轴的坐标值；增量坐标编程时，用 U 、 W 表示 X 轴与 Z 轴的移动量。数控车床编程时，也可以用绝对坐标编程和增量坐标编程混合的方法进行编程。

选择适当的编程方式可使编程简化，当图样尺寸由一个固定基准给出时，采用绝对坐

标编程较为方便；而当图样尺寸是以轮廓顶点之间的间距给出时，采用相对坐标编程较为方便。值得注意的是，数控系统中，采用增量坐标编程会产生累积误差。因此，编程时应注意考虑编程基准与设计基准重合，从而避免累积误差的产生。

【例 1-2】 如图 1-10 所示，使用尺寸字地址符编程，要求刀具由 A 点移动到 B 点。

绝对坐标编程：

G01 X100 Z50 F80

增量坐标编程：

G01 U60 W-100 F80

混合编程：

G01 X100 W-100 F80 或 G01 U60 Z50 F80

3. 快速定位指令 G00

格式：

G00 X (U) _ Z (W) _

说明：

(1) 使刀具快速接近工件或快速远离工件，移动过程中不得对工件进行加工，目标点不能选在零件上，一般要离开工件表面 2~5 mm；

(2) X _ Z _ 表示快速移动的目标点的绝对坐标；U _ W _ 表示快速移动的目标点相对于刀具当前点的位移量；

(3) 使刀具以各轴预先设定的速度，从当前位置快速移动到程序段指令的定位目标点位置，快速移动速度由机床参数“快移进给速度”对各轴分别设定，不能用 F 规定。

由于各轴以各自速度移动，当某个轴到达终点坐标位置时便停止，而其他轴继续运动，因此刀具移动的合成轨迹不一定是直线，通常情况下多为折线轨迹。为避免刀具与工件发生碰撞，可根据需要先移动一个轴，再移动另一个轴。

(4) 快速移动速度可由面板上的快速修调旋钮调整。

(5) 不运动的坐标可省略不写。

(6) G00 可以写成 G0。

【例 1-3】 如图 1-11 所示，使用快速定位指令 G00 编程。

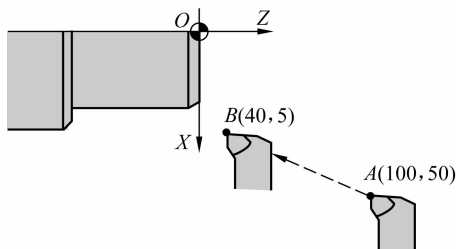


图 1-11 G00 编程示例

从 A 点快速移到 B 点程序（绝对坐标编程）：

G00 X40 Z5

从 A 点快速移到 B 点程序（增量坐标编程）：

G00 U-60 W-45

从 A 点快速移到 B 点程序（混合编程）：

G00 X40 W-45 或 G00 U-60 Z5

4. 直线插补指令 G01

格式：

G01 X (U) _ Z (W) _ F _

说明：

(1) 刀具以联动的方式，按 F 规定的合成进给速度，从当前位置按线性路线移动到程序段指令的终点，进给速度单位有毫米每分钟（mm/min）和毫米每转（mm/r）；

(2) 进给速度 F 单位可由 G95、G94 指定，默认为 G94（mm/min）；

(3) X _ Z _ 为绝对坐标编程时，刀具定位终点在工件坐标系中的坐标；U _ W _ 为增量坐标编程时，刀具定位终点相对于刀具当前点的位移量。

【例 1-4】 如图 1-12 所示，使用 G00、G01 指令编程。

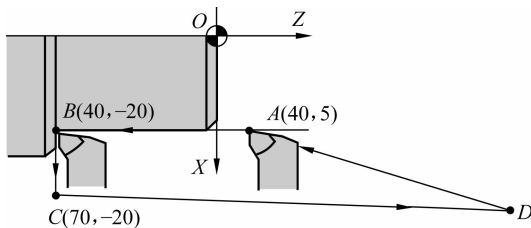


图 1-12 G00、G01 编程示例

从 D 点→A 点→B 点→C 点程序（绝对坐标编程）：

G00 X40 Z5

G95 G01 Z-20 F0.2

X70

从 D 点→A 点→B 点→C 点程序（混合编程）：

G00 X40 Z5

G94 G01 W-25 F120

X70 G95 F0.15

5. 内（外）径粗车复合循环指令 G71（无凹槽）

在复合循环中，对零件的轮廓定义后，即可完成从粗加工到精加工的全过程，使程序得到进一步简化。

格式：

G71 U (Δd) R (r) P (ns) Q (nf) X (Δx) Z (Δz) F (f) S (s) T (t)

说明：

内（外）径粗车复合循环方式适用于外圆柱面、内孔需多次走刀才能完成的粗加工，该指令执行如图 1-13 所示的粗加工和精加工路径，其中精加工路径为 A→A'→B'→B 的轨迹。图中 A 表示循环起点，A'→B'→B 表示精加工轮廓段，A'表示精加工轮廓段的起点，B 表示精加工轮廓段的终点，系统根据轮廓尺寸形状、精车余量、每次切削深度等数据自动计算粗车轨迹。

Δd : 切削深度 (每次切削量), 指定时不加符号, 方向由矢量 AA' 决定。

r : 每次退刀量。

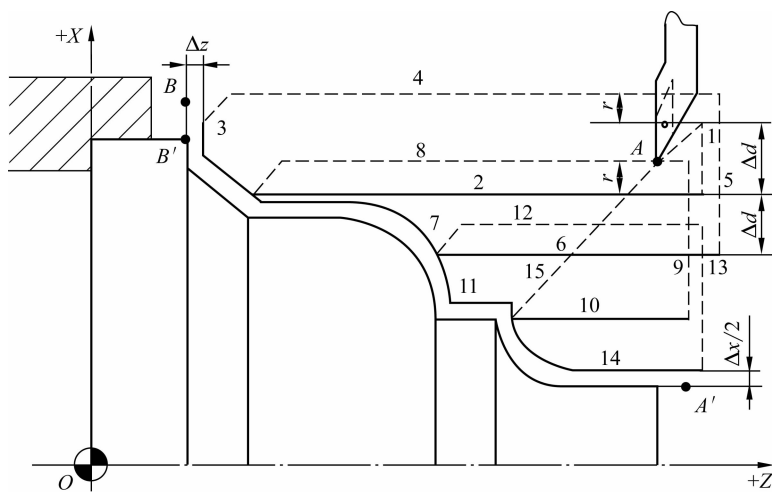
ns : 精加工路径第一程序段的顺序号 (即图中的 AA')。

nf : 精加工路径最后程序段的顺序号 (即图中的 $B'B$)。

Δx : X 方向精加工余量 (直径值), 外圆余量为正, 内孔余量为负。

Δz : Z 方向精加工余量。

f 、 s 、 t : 粗加工时 $G71$ 循环指令程序段中的 F 、 S 、 T 有效, 而处于精加工程序段内设定了 F 、 S 、 T , 将在精加工程序段内有效。



内 (外) 径粗
车复合循环指
令 (无凹槽)
 $G71-bmf10h$

图 1-13 内 (外) 径粗车复合循环 (无凹槽)

$G71$ 切削循环下, 切削进给方向平行于 Z 轴, 使用 $G71$ 循环指令时, 首先要确定换刀点、循环起点 A 、切削起点 A' 和切削终点 B 的坐标位置。

【注意】

- (1) 循环第一程序段必须是 X 方向走刀动作。
- (2) 该指令适用于毛坯为棒料, 且加工形状必须在 X 和 Z 两个方向都符合单调增大或单调减小的情况。
- (3) Nns 、 Nnf 顺序号不能省略。
- (4) 华中世纪星 HNC-21T 系统 $G71$ 指令可用来加工有内凹结构的工件。
- (5) 循环起点的选择应在接近工件处, 以缩短刀具行程和避免空走刀。

【例 1-5】 用 $G71$ 指令编制如图 1-14 所示零件的加工程序。毛坯为 $\phi 42$ mm 的棒料, 从右端至左端轴向走刀切削, 粗加工每次进给深度 2 mm, 精加工余量 X 向 0.4 mm, Z 向 0.1 mm, 工件程序原点如图所示。

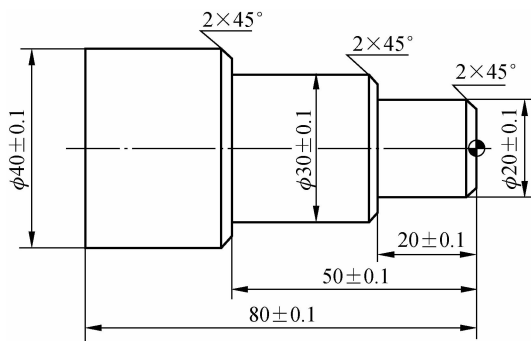


图 1-14 G71 外径粗车复合循环编程示例

【参考程序】

程 序	注 释
O1001	程序名
% 1001	程序起始符
T0101	调 1 号外圆刀，建立工件坐标系
M03 S800	主轴正转，转速为 800 r/min
G00 X44 Z2	快速到循环起点
G71 U2 R1 P1 Q2 X0.4 Z0.1 F120	粗车循环，每次切削深度 2 mm，退刀量 1 mm
G00 X80 Z100	回到换刀点
T0101	重新调 1 号外圆刀，建立工件坐标系
M03 S1000	主轴正转，转速为 1 000 r/min
G00 X44 Z2	快速到循环起点
N1 G00 X0	精加工开始
G01 Z0 F100	
X16	切削端面
X20 Z-2	倒角 2×45°
Z-20	切削 $\phi 20$ 外圆柱面至 20 mm
X26	切削端面
X30 W-2	倒角 2×45°
Z-50	切削 $\phi 30$ 外圆柱面至 50 mm
X36	切削端面
X40 W-2	倒角 2×45°
N2 Z-85	切削 $\phi 40$ 外圆柱面至 85 mm，精加工结束
G00 X80 Z100	回到换刀点
M05	主轴停转
M30	程序结束

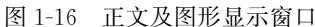
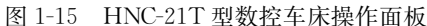
五、HNC-21T 系统数控车床基本操作

1. CRT/MDI 操作面板

如图 1-15 所示数控车床操作面板分四部分：① CRT 操作面板，②软功能键，③MDI

1) 常用软件界面操作部分

(1) 正文及图形显示窗口（主画面）。根据系统所处的显示状态而有所不同。在编辑时，主要用于显示程序内容。在自动加工或校验时，可按 F9 功能键切换显示状态，1-16 显示程序内容、指令坐标等。



(2) 坐标数据显示。用于显示 X、Z 的坐标值及当前的进给速度 F 值。坐标值内容可根据需要选定为指令位置/实际位置/剩余进给/跟踪误差/负载电流/补偿值/机床坐标系/

工件坐标系/相对坐标系，如图 1-17 所示。

① 机床实际坐标。选定的坐标值，可在机床相对坐标、机床实际坐标、工件实际坐标、指令坐标、剩余进给等之间相互转换。

② 机床坐标。刀具当前位置在机床坐标系下的坐标。

③ 剩余进给。当前程序段的终点与实际位置之差。



图 1-17 坐标数据及辅助机能显示窗口

(3) 工件坐标零点。可显示工件坐标系零点在机床坐标系下的坐标值。

(4) 辅助机能。显示程序运行过程中当前 M、S、T 指令的模式值。

控制软件的各个功能基本上是通过切换菜单，选择相应的功能按键（F1～F10）而启动执行的。

每次启动控制软件时，都处于基本功能的主菜单下；按 F10 功能键，即切换到扩展功能的主菜单；在扩展功能菜单下按 F10 键，则又可切换返回到基本功能主菜单。

在基本和扩展功能主菜单下，按下某功能键即切换到相应功能的子菜单，如图 1-18 所示。



图 1-18 程序子菜单

(5) 加工方式。显示系统当前的运行方式，随着操作面板上的工作方式选择开关的切换而改变。加工方式有自动、单段、校验、手动、增量、急停和回参考点等。

(6) 系统运行状态。系统运行状态可在“正常”和“出错”之间切换。

2) 程序的部分操作

(1) 程序编辑。开机后，执行回参考点操作，在手动状态下把机床锁住。在主菜单按下 F1 键，出现程序下级菜单，编辑程序按 F2，出现编辑程序菜单，可以直接编辑内存中存在的程序，如果想新建程序，按 F3 键，出现输入新建文件名，可以输入以 O+ 数字组合的文件名再按 Enter 键进行程序编辑，如图 1-19 所示。



图 1-19 程序编辑流程图

进入编辑界面后可以输入程序。如图 1-20 所示，如需要输入数字“1”，按数字键 $\boxed{1}$ 即可；如需要输入字母“X”，按字母键 $\boxed{X}$ 即可；如需要输入字母“A”，须按住字母键 $\boxed{*}$ 再按字母键 $\boxed{A}$ 。 $\boxed{BS}$ 是删去光标前一个字符， $\boxed{Del}$ 是删去光标后一个字符。利用 $\boxed{\leftarrow}$ 、 $\boxed{\rightarrow}$ 、 $\boxed{\uparrow}$ 、 $\boxed{\downarrow}$ 可以移动光标位置。



图 1-20 MDI 操作面板

(2) 程序的调用。在操作主界面上按主菜单程序 F1 键，再按程序子菜单选择程序 F1 键，出现所要选择的程序名称，移动上、下光标到欲调用的程序名处，按 Enter 键即可选择此程序。

(3) 程序的删除。在操作主界面上按主菜单程序 F1 键，再按程序子菜单选择程序 F1 键，出现所要选择的程序名称，移动上、下光标到欲删除的程序名处，按 Del 键，系统出现“是否删除这个程序”的提示框，按 Y 键即可删除此程序，按 N 键即可取消删除此程序。

(4) 程序的复制。打开一个已经存储的文件，按“保存程序”键，输入另一个程序名，即可完成一个完整程序的复制；还可以用快捷键“Alt+B”（定义程序块头）、“Alt+E”（定义程序块尾）、“Alt+C”（程序复制）、“Alt+X”（程序剪切）、“Alt+V”（程序粘贴）完成一个程序全部或部分的复制，该功能不仅可以在同一程序中使用，还可以在不同的程序之间使用。

2. 数控车床基本操作

1) 开机、复位、急停与关机

(1) 开机。开机前应检查“急停”按钮是否按下，开机后应检查风扇电动机是否运行与面板上的指示灯是否正常。接通数控装置电源后，将自动运行系统软件，显示器显示为软件操作界面，工作方式为“急停”。

(2) 复位。系统上电进入软件操作界面时, 工作方式为“急停”。为控制系统运行, 须将“急停”按钮左旋复位, 使伺服电源接通。

(3) 急停。机床运行过程中, 出现紧急情况时, 按下“急停”按钮, 伺服进给及主轴运转立即停止工作, CNC 进入急停状态。紧急情况解除后, 顺时针方向转动按钮可以退出急停状态。

(4) 关机。按下操作面板上的“急停”按钮, 断开机床电源。

2) 回参考点、超程解除、机床锁住

(1) 回参考点。如图 1-21 所示, 按下  键, 系统处于回参考点方式, 接着按下  键, 刀架做返回参考点移动。当返回参考点结束时, 指示灯亮, 即完成回参考点操作, Z 向也是如此。

(2) 超程解除。当某进给轴沿某一方向持续移动而碰到行程硬限位保护开关时, 系统即处于超程报警保护状态, 此时要退出此保护状态必须进行如下操作: 一直按  键, 松开“急停”按钮, 按下  键, 在  方式下使该轴向相反方向退出超程状态, 最后松开“超程解除”键。

(3) 机床锁住。机床锁住键用于手动状态下禁止机床坐标轴动作。在自动运行开始前, 将此键按下, 再按“循环启动”键执行程序, 则机械部分不动, 数控装置内部照常进行控制运算, 同时 CRT 显示信息也在变化。这一功能主要用于校验程序, 检查语法错误。



图 1-21 数控车床控制面板

3) 刀架移动

手动移动刀架有两种方法。

(1) “手动方式”移动。这种方法用于较长距离的刀架移动。

① 如图 1-21 所示, 按下  键, 进入手动移动模式。

② 按下  或  键, 可以使刀架实现 X 轴正向或负向连续移动。用同样的方法可以使刀架实现 Z 轴的移动, 也可以实现 X 轴和 Z 轴的联动。

③ 按下  或  键后, 同时按下  键, 可以使刀架实现 X 轴的快速移动。用同样的方法可以实现 Z 轴的移动。

(2) “手轮方式”移动。这种方法可以使操作者方便将刀架移动到工作位置。

① 按下  键, 进入手轮移动模式。

② 将手摇轮的坐标轴选择开关置于“X”或“Z”挡时, 顺时针/逆时针旋转手摇脉冲发生器, 可控刀架沿 X 轴或 Z 轴向正向或负向移动。

③ 按下 、、、 键可以选择刀架步进移动的增量, 按下  键表示单位移动量为 0.001 mm, 按下  键表示单位移动量为 0.01 mm, 按下  键表示单位移动量为 0.1

mm，按下键表示单位移动量为 1 mm。

4) 主轴控制、换刀操作、冷却控制

(1) 主轴转动、速度修调、点动及停转。

① 主轴正转。如图 1-21 所示，按下键，进入手动模式，按下键，主轴电动机正转，同时键内指示灯点亮。按主轴修调 100%按钮指示灯亮，这时主轴以设定的转速正转。当按一下主轴修调“+”键时，主轴修调倍率递增 10%；当按一下主轴修调“-”键时，主轴修调倍率递减 10%。同理，主轴反转时操作也如此。

② 主轴停止。按下键，主轴电动机停止转动，同时键内指示灯点亮。

③ 主轴点动。按下键，指示灯亮，主轴将按照系统设定的转速正向转动；松开“主轴点动”键，指示灯灭，主轴降速直至停止转动。

(2) 换刀操作。按下键，再按下键后，如果目的刀架位置与当前刀架位置不一致，再按下键，刀架将自动转动到指定刀位。

(3) 切削液启动与停止。按下键，再按下键，供液电动机启动，打开切削液，再按下此键，供液停止。

5) MDI 运行方式

MDI 是指以命令行形式的程序执行方法，采用 MDI 操作可进行局部范围的修整加工以及快速精确的位置调整。MDI 操作的步骤如下。

在基本功能主菜单下（图 1-22），按 MDI F3 功能键切换到 MDI 子菜单。



图 1-22 主 菜 单

MDI 功能子菜单如图 1-23 所示。进入 MDI 菜单后命令行的底色变成了白色并且有光标在闪烁。这时从 MDI 键盘输入指令 S800 M03 G91 G01 Z-21 F100，在系统处于单段或自动运行模式下，按“循环启动”键，系统将执行输入指令，即 MDI 运行。



图 1-23 MDI 功能显示窗口

6) 程序运行

(1) 自动运行。

① 自动运行启动。调入需要运行的加工程序后，按下  键，然后按下  键，即开始自动运行程序。机床进给轴将以程序指令的速度移动。这种启动同时适用于 MDI 运行和单段运行方式。

② 自动运行暂停。在自动运行时，按下  键，机床运动轴减速停止，程序执行暂停，但加工状态数据将保持，若再按下  键，系统将重新启动，从暂停前的状态继续运行，M、S、T 各功能保持不变。

【注意】若暂停期间按过主轴停转键，继续运行前，必须先启动主轴；否则，将有引发事故的可能。

(2) 单段运行。按下  键，再按下  键，系统处于单段运行方式，程序单段运行结束后进给停止。第二次按下  键，将运行下一行程序段。

(3) 任意行运行。

① 在自动加工状态下，调用所选定的加工程序后，用上、下光标键选定某程序段。如选择第 33 行，在主菜单中按运行控制键 F2，出现如图 1-24 所示“任意行运行”对话框，再按 F1 键，即“从红色行开始运行”，接着按下 Enter 键，最后按下  键，系统就从第 33 行开始加工。

② 若在主菜单按运行控制键 F2，出现如图 1-24 所示“任意行运行”对话框，再按下 F2 键，从指定行开始运行，即出现输入选定行号输入命令条。若选定行号如“33”行则输入“33”，再按下 Enter 键，最后按下  键即可开始从第“33”行进行加工。

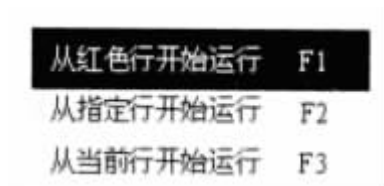


图 1-24 “任意行运行”对话框

【注意】从任意行运行程序，千万要注意系统对选定刀具的识别以及刀具补偿的数值，以保证安全操作。

3. 数控车床的对刀

1) 开机回参考点

机床上电后，一般要求回参考点，然后再进入其他运行方式，以确保机床坐标系的建立，消除反向间隙及机床误差等。回参考点操作如图 1-25 所示。

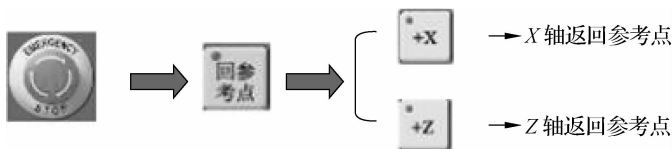


图 1-25 回参考点操作

2) 装工件

采用三爪自定心卡盘, 工件的装夹、找正与卧式车床基本相同。对于圆棒料, 在装夹时应水平放置在卡盘的卡爪中, 并经校正后旋紧卡盘的扳手, 工件夹紧找正随即完成, 具体操作如下。

- (1) 松开卡盘到适合大小, 清理卡爪处的切屑和脏物。
- (2) 拿住工件的一端将工件另一端放入三爪卡盘内适当位置。
- (3) 另一只手拿起卡盘扳手轻锁卡盘, 如图 1-26 所示。
- (4) 测量工件伸出长度, 并微调到合适的位置, 如图 1-27 所示。
- (5) 确认位置后, 将卡盘锁紧。

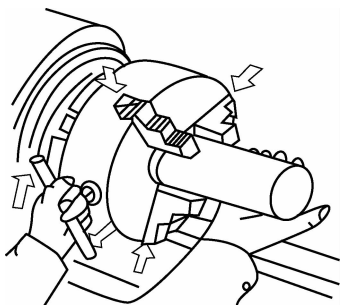


图 1-26 安装工件示意图



图 1-27 测量工件长度

3) 装刀具

所用华中世纪星数控车床为四工位自动刀架, 装刀须调整刀尖与主轴中心线等高, 刀杆伸出长度应为刀杆厚度的 1~1.5 倍, 具体操作如下。

- (1) 清理要安装车刀的刀杆及垫片。
- (2) 松开刀架固定螺钉, 清理刀架固定处的切屑和脏物。
- (3) 按照安装要求, 将车刀平放在刀架固定处位置。
- (4) 通过垫片调整刀具的刀尖使其等高于主轴的回转中心。
- (5) 拧紧固定螺钉, 直到车刀被压紧并且不能左右移动为止。

刀具安装要点如下。

- (1) 安装前保证刀杆及刀片定位面清洁, 无损伤。
- (2) 将刀杆安装在刀架上时, 应保证刀杆方向正确。

(3) 安装刀具时需注意使刀尖等高于主轴的回转中心, 可根据尾座顶尖或工件轴心通过增减垫片厚度进行调整。否则, 将使车刀工作时的前角和后角发生改变。车外圆时, 如果车刀刀尖高于工件旋转轴线, 则使前角增大, 后角减小, 从而加剧后面与工件之间的摩擦; 如果车刀刀尖低于工件旋转轴线, 则使后角增大, 前角减小, 从而使切削不顺利。

(4) 车刀悬伸部分要尽量缩短。悬伸过长, 车刀切削时刚性差, 容易产生振动、弯曲甚至折断, 影响加工质量。

- (5) 装车刀用的垫片要平整。
- (6) 尽可能地用厚垫片以减少片数, 一般只用 2~3 片。

4) 数控车床的对刀

数控车床对刀的过程就是建立工件坐标系与机床坐标系之间的关系的过程。简单地说，对刀是告诉机床加工工件相对机床所在的位置。

为计算和编程方便，通常将程序工件坐标系的工件零点设定在工件右端的回转中心上，尽量使编程基准与设计、装配基准重合。机床坐标系是数控车床唯一的基准，所以必须弄清楚工件零点在机床坐标系中的位置。这通常在接下来的对刀过程中完成，因此对刀也是数控加工中重要的操作内容，其准确性将直接影响零件的加工精度。常用的对刀方式有手动对刀和自动对刀两种。

(1) 手动对刀。手动对刀是目前使用较多的对刀方式，手动对刀一般通过试切法对刀，以得到更加准确和可靠的结果。

试切法对刀是指通过手动控制刀具试切工件来完成的对刀操作。刀具安装后，先移动刀具手动切削工件右端面，再沿 X 向退刀，此时输入 Z 值，即完成刀具 Z 向对刀过程。再移动刀具切削外圆后，沿 Z 向退出，测量工件的直径，输入测量的数值，完成对刀。

① 设置主轴转速。在主菜单中进入“MDI”方式，如图 1-28 所示。手动输入 M03 S800，按下 Enter 键，选择“单段”方式，按下“循环启动”键，机床主轴以 800 r/min 的转速转动。



图 1-28 输入 MDI 指令段

- ② 选择“手动”方式，移动刀具沿 X、Z 轴快速靠近毛坯。
- ③ 按下“增量”，用手摇轮模式切削工件右端面。
- ④ 沿 +X 方向退刀。
- ⑤ 回到数控系统，主菜单下选择刀具补偿 F4 键→刀偏表 F1 键。
- ⑥ 移动光标至当前刀具所对应的刀位号的试切长度一栏按下 Enter 键，输入“0”并按 Enter 键确定，即可完成 Z 向对刀，具体操作步骤如图 1-29 所示。
- ⑦ 用手摇轮模式切削工件外圆柱面。
- ⑧ 沿 +Z 方向退刀，停止主轴转动。
- ⑨ 使用游标卡尺测量试切的外圆直径。

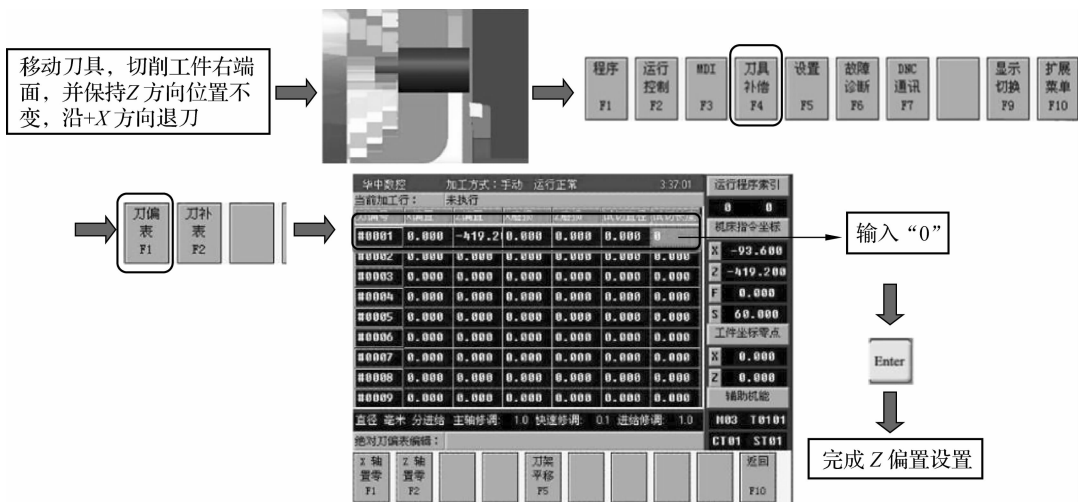


图 1-29 Z向对刀操作流程

⑩ 移动光标至当前刀架所对应的刀位号的试切直径一栏按下 Enter 键，输入试切直径值并按 Enter 键确定，即可完成 X 向对刀，具体操作如图 1-30 所示。

总之，无论是 X 向对刀还是 Z 向对刀，都不允许该方向在试切之后输入数值之前有坐标轴的移动，否则将出现对刀错误，加工时甚至会发生危险。

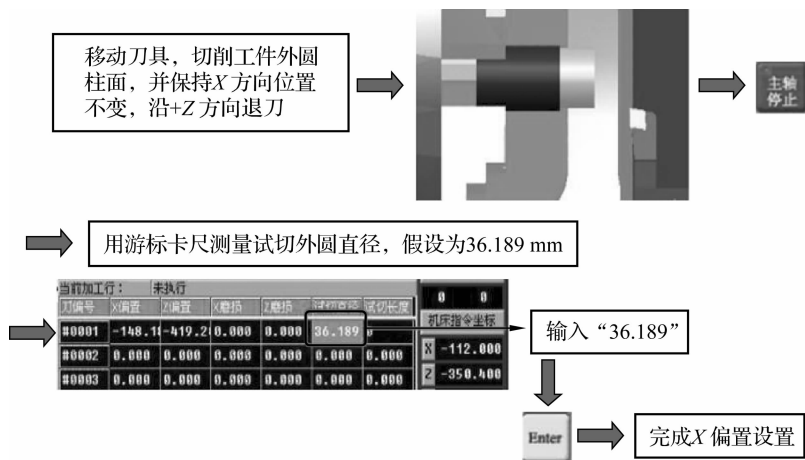


图 1-30 X向对刀操作流程

(2) 自动对刀。自动对刀是通过刀尖检测系统实现的，刀尖以设定的速度向接触式传感器接近，当刀尖与传感器接触并发出信号时，数控系统立即记下该瞬间的坐标值，并自动修正刀具补偿值。自动对刀法是一般配置后刀架的高档数控车床所具有的对刀方法，自动对刀示意图如图 1-31 所示。

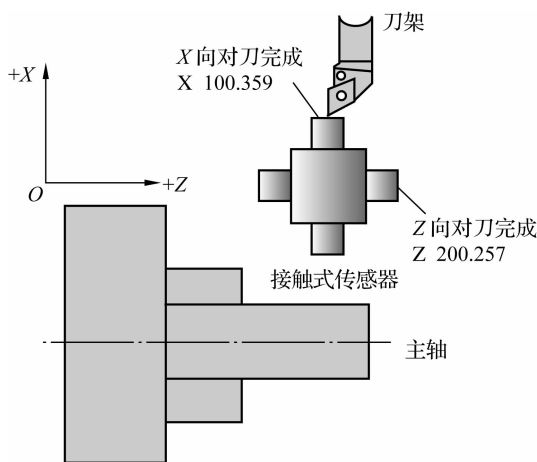


图 1-31 自动对刀

一般轴类车削的刀具 X 向对刀时与上方的传感器接触，孔类车削刀具 X 向对刀时与下方传感器接触，右偏刀 Z 向对刀时与右边传感器接触，左偏刀 Z 向对刀时与左边传感器接触。使用自动对刀法进行对刀，在第一次使用自动对刀之前，需要通过手动试切法对刀确定传感器的位置参数，才能确保自动对刀的正确性，而且手动试切法对刀的精确程度会影响自动对刀的精确性。



任务实施

汽车输出轴的工艺设计与实施

一、汽车输出轴的工艺设计

1. 分析零件图样

图 1-1 所示汽车输出轴为阶梯轴零件，主要由 $\phi 24_{-0.1}^0$ 、 $\phi 34_{-0.1}^0$ 、 $\phi 28_{-0.1}^0$ 、 $\phi 24_{-0.1}^0$ 这 4 个外圆柱面组成，尺寸精度要求不高，4 个外圆有同轴度要求，加工后的表面粗糙度为 $Ra3.2 \mu m$ ，可通过选用合适的刀具及其几何参数，正确的粗、精加工路线，合理的切削用量等措施来保证，总长度为 $102 mm \pm 0.1 mm$ ，可通过 Z 向对刀来保证总长，零件图尺寸标注完整，符合数控加工尺寸标注要求，轮廓描述清楚完整。零件毛坯材料为 $\phi 35 mm \times 105 mm$ 铝棒料，无热处理和硬度要求，加工数量为单件生产。

零件图样上带公差尺寸，由于公差带大小一致，编程时取公称尺寸、最大极限尺寸、最小极限尺寸都可以。后续加工时可通过正确设置刀补、调整刀具磨损补偿来获得零件的尺寸精度。

2. 确定装夹方案

该零件在 CAK6136 数控车床上采用三爪自定心卡盘装夹加工，根据零件毛坯和加工要求，零件分两次安装完成加工。

第一次装夹，以零件左端外圆表面为粗基准，采用三爪自定心卡盘夹持毛坯外圆柱