

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 张荣昌
责任编辑 王清 孟海江
封面设计 唐韵设计

智能制造基础技术系列教材

电机与电气控制
数字电子技术基础
传感器原理与检测技术
印制电路板设计与制作
人工智能与Python编程
人工智能控制技术
人工智能基础及应用
PLC应用技术
数控加工工艺
数控编程及零件加工
数控加工编程
变频与伺服控制技术
制造执行系统 (MES)
可编程控制技术
运动控制技术
电力拖动基本控制线路
UG NX 12.0数控编程
数控车削编程与加工

本书提供教学资源包

网址: <https://www.sjhtbook.com>



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-31983-8



9 787313 319838 >
定价: 59.80元

智能制造基础技术系列教材

数控车削编程与加工

主编◎曹井新 王海峰 韩明辉



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

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

数控车削 编程与加工

主编◎曹井新 王海峰 韩明辉



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

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

数控车削 编程与加工

主编◎曹井新 王海峰 韩明辉



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

内容提要

本教材以数控车削加工与编程中的典型加工零件为载体,融合数控编程与加工相关岗位的职业能力需求和相关标准及“1+X”数控车铣职业技能等级证书要求,以数控车床操作员的职业工作过程为导向,将零件图识读、零件加工工艺分析、数控加工程序编制与程序轨迹检查、零件数控加工与检测等职业岗位需求转换为学习项目。每个学习项目均为真实的加工项目,具有加工可检验性。为突出思政育人特色,培养学习者的学习与思考能力,每个学习项目均配有问题讨论和拓展阅读内容。本教材可作为高职院校装备制造类专业学生教材,也可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控车削编程与加工 / 曹井新, 王海峰, 韩明辉主
编. -- 上海: 上海交通大学出版社, 2024. 12 -- ISBN
978-7-313-31983-8
I. TG519.1
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024J2C921 号

数控车削编程与加工

SHUKONG CHEXIAO BIANCHENG YU JIAGONG

主 编: 曹井新 王海峰 韩明辉	地 址: 上海市番禺路 951 号
出版发行: 上海交通大学出版社	电 话: 021-6407 1208
邮政编码: 200030	
印 制: 北京荣玉印刷有限公司	经 销: 全国新华书店
开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16	印 张: 15.5
字 数: 368 千字	
版 次: 2024 年 12 月第 1 版	印 次: 2024 年 12 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-313-31983-8	
定 价: 59.80 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: 010-6020 6144

前言

党的二十大报告中指出，要深入实施人才强国战略，加快建设国家战略人才力量，努力培养造就更多大师、战略科学家、一流科技领军人才和创新团队、青年科技人才、卓越工程师、大国工匠、高技能人才。在“数智赋能”的装备制造业新时代背景下，为培养装备制造领域的高素质技术技能型工匠人才，本教材由来自企业生产一线与学校教学的专家团队共同编写，该团队在广泛调研数控编程与加工相关岗位的职业能力需求后，精心编写了本教材。

本教材内容对标《高等职业学校专业教学标准》《教育部关于职业院校专业人才培养方案制订与实施工作的指导意见》《职业教育专业简介》等相关要求，参考《数控程序员国家职业标准》《数控车工国家职业标准》《数控铣工国家职业标准》《加工中心操作工国家职业标准》和“1+X”数控车铣职业技能等级证书要求，每个学习项目按照“识读零件图→毛坯准备→确定零件加工工装→选择数控加工刀具→编制零件数控加工工艺卡→编写零件数控加工程序→数控加工对刀操作→数控加工程序输入、程序轨迹检查及首件试切→零件检测与程序修调”的顺序展开，学习内容与数控车床操作员的职业工作过程要求契合度高。

育人的核心在于立德。为全面贯彻落实党的教育方针，本教材着重体现立德树人的根本任务，采用“一个中心、两条线”的编写特色，即以学习者为中心，同时并行推进“知识技术技能传授线”与“思政教育线”。结合学习内容特点，从中国特色社会主义伟大实践和学生未来从事工作的职业素养等方面深入挖掘了课程中蕴含的民族品牌、工匠精神、数智化转型赋能制造业、数控机床安全操作意识、专利创新等思政元素，并将习近平总书记关于新质生产力的重要论述融入本教材，通过“教A做B”“教室与车间合一”“学生作业与产品合一”等形式实现德技并修，帮助学生掌握的技术技能由低阶性知识点的理解与记忆向识读零件图、编制数控加工工艺和数控加工程序等高阶性职业能力转移，育匠强智，助力学生成长成才，培养会识图、懂工艺、能编程、精加工的高素质技术技能人才。

本教材配有习题答案、作业单和考核评价表等，适用于开展行动导向的教学，此外，本教材编写团队还为广大一线教师提供了服务于此教材的教学资源库，有需要者可发邮件至 2393867076@qq.com。本教材可作为装备制造类专业高职院校学生教材，也可各类社会学习者所使用。

本教材由曹井新、王海峰、韩明辉任主编，黑龙江省勃农兴达机械有限公司庞俊海

任副主编。本教材项目 0 至项目 7 的内容由曹井新编写完成；本教材配套习题答案由王海峰整理完成；本教材配套课件由韩明辉制作完成；庞俊海提供了本教材实际工作参考案例。

由于编者水平有限，教材中存在的疏漏和不妥之处，恳请各位读者多提宝贵意见和建议，以便下次修订时改进。

编 者
2024 年 7 月

目 录

项目 0 知识准备 / 001

学习目标	002
项目导读	002
知识链接	002
0.1 数控车削加工	002
0.2 数控车床	005
0.3 常用的车削加工刀具	007
0.4 数控系统	009
0.5 机床坐标系与工件坐标系	011
0.6 数控编程的主要内容	014
问题讨论	017
拓展阅读	018
思考与练习	019

项目 1 阶梯轴零件数控编程与加工操作 / 021

学习目标	022
知识脉络图	022
项目导读	023
任务引入	023
知识链接	023
1.1 识读零件图	023
1.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	024
1.3 编写零件数控加工程序	027
1.4 阶梯轴零件数控加工操作	034
问题讨论	041
拓展阅读	043
思考与练习	044
教 A 做 B	046
项目学习相关作业单	047
项目学习评价表	054

项目 2 锥轴零件数控编程与加工操作 / 059

学习目标	060
知识脉络图	060
项目导读	061
任务引入	061
知识链接	061
2.1 识读零件图	061
2.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	062
2.3 编写零件数控加工程序	063
2.4 锥轴零件数控加工操作	071
问题讨论	073
拓展阅读	073
思考与练习	074
教 A 做 B	076
项目学习相关作业单	078
项目学习评价表	085

项目 3 高台阶轴零件数控编程与加工操作 / 089

学习目标	090
知识脉络图	090
项目导读	091
任务引入	091
知识链接	092
3.1 识读零件图	092
3.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	092
3.3 编写零件数控加工程序	093
3.4 高台阶轴零件数控加工操作	102
问题讨论	103
拓展阅读	103
思考与练习	104
教 A 做 B	107
项目学习相关作业单	108
项目学习评价表	115

项目 4 铸造锥轴零件数控编程与加工操作 / 119

学习目标	120
------------	-----

知识脉络图	120
项目导读	121
任务引入	121
知识链接	122
4.1 识读零件图	122
4.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	122
4.3 编写零件数控加工程序	125
4.4 铸造锥轴零件数控加工操作	131
问题讨论	132
拓展阅读	132
思考与练习	134
教 A 做 B	137
项目学习相关作业单	138
项目学习评价表	145

项目 5 销轴零件数控编程与加工操作 / 149

学习目标	150
知识脉络图	150
项目导读	151
任务引入	151
知识链接	151
5.1 识读零件图	151
5.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	152
5.3 编写零件数控加工程序	154
5.4 销轴零件数控加工操作	159
问题讨论	161
拓展阅读	161
思考与练习	162
教 A 做 B	164
项目学习相关作业单	165
项目学习评价表	172

项目 6 定位销轴零件数控编程与加工操作 / 177

学习目标	178
知识脉络图	178
项目导读	179
任务引入	179

知识链接	179
6.1 识读零件图	179
6.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	180
6.3 编写零件数控加工程序	181
6.4 定位销轴零件数控加工操作	188
问题讨论	190
拓展阅读	190
思考与练习	191
教 A 做 B	194
项目学习相关作业单	195
项目学习评价表	202

项目 7 丝堵零件数控编程与加工操作 / 207

学习目标	208
知识脉络图	208
项目导读	209
任务引入	209
知识链接	209
7.1 识读零件图	209
7.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡	210
7.3 编写零件数控加工程序	213
7.4 丝堵零件数控加工操作	216
问题讨论	218
拓展阅读	219
思考与练习	220
教 A 做 B	222
项目学习相关作业单	223
项目学习评价表	230

附录 / 235

参考文献 / 238



项目 1

阶梯轴零件数控编程 与加工操作

学习目标

知识目标

- (1) 掌握阶梯轴零件图的识读技巧。
- (2) 掌握选择数控加工车床及车削刀具的方法。
- (3) 了解并掌握制订外圆柱面数控车削加工工艺方案的基本原理和方法。
- (4) 掌握快速点定位指令 (G00)、直线插补指令 (G01); 理解 S 功能、F 功能、M 功能和 T 功能的应用。

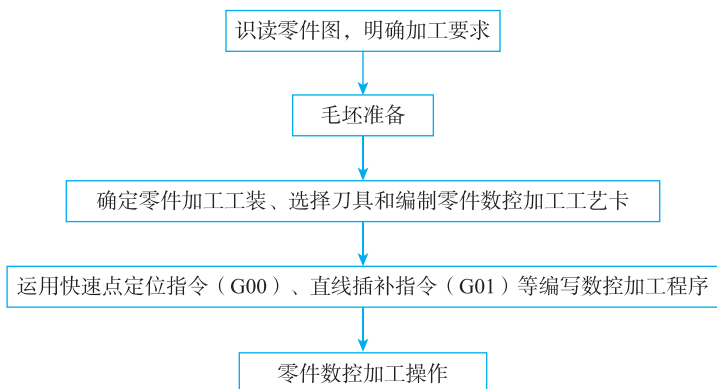
能力目标

- (1) 能够正确识读阶梯轴零件图并对尺寸公差进行数学处理。
- (2) 能够正确选择数控加工车床、车削刀具及确定零件装夹方案。
- (3) 能够合理制订外圆柱面数控车削加工工艺方案。
- (4) 根据数控加工工艺方案, 能够运用 FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统提供的快速点定位指令 (G00)、直线插补指令 (G01)、S 功能、F 功能、M 功能和 T 功能进行外圆柱面数控加工程序编制与修改。
- (5) 能够应用 FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统正确进行数控程序输入与修改、程序轨迹检查及实操加工。
- (6) 能够应用 FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统正确进行外圆偏刀对刀操作。

素质目标

- (1) 提高对数控加工工艺特别是规划刀具走刀路线 (轨迹) 重要性的认识。
- (2) 提升数控编程与加工操作岗位的职业素养。
- (3) 提高团队协作学习与分析、解决问题的能力。

知识脉络图



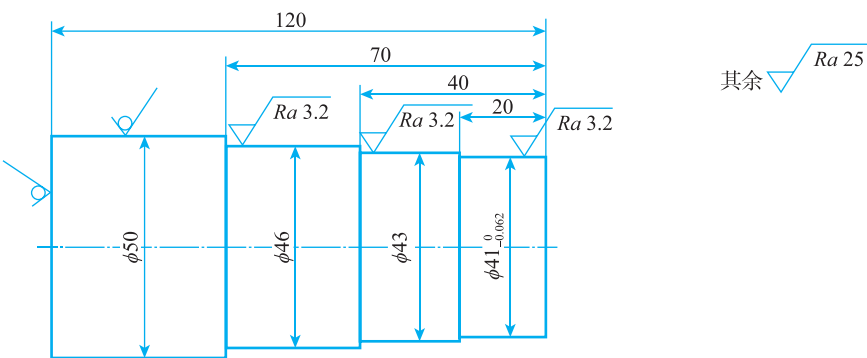
项目导读

外圆柱面是轴类零件中常见的加工表面。轴类零件一般是指长度大于其直径的旋转体零件。本项目以阶梯轴零件为载体，采用粗、精加工分开操作的方法，用粗加工分层切削、精加工按零件最终轮廓编程并一次走刀完成加工的工艺方案编写其数控加工程序，然后通过对刀操作、程序录入、仿真加工及首件试切、零件检验与程序修调等过程完成阶梯轴零件的数控加工。

任务引入

阶梯轴零件数控编程与加工操作任务书如表 1-1 所示。

表 1-1 阶梯轴零件数控编程与加工操作任务书

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作				
零件图					
					
零件名称	阶梯轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 50 \times 120$
任务学习指令	快速点定位指令 (G00)、直线插补指令 (G01)、S 功能、F 功能、M 功能和 T 功能等				
备注	粗、精加工采用一把刀具——外圆右偏刀，假设刀尖圆弧半径 $R=0$				

知识链接

1.1 识读零件图

识读零件图的目的是明确加工要求，分析哪些零件表面是加工面，识读加工面的主要尺寸、公差要求和表面粗糙度等内容。表 1-2 所示为阶梯轴零件加工表面及加工要求，该零件由不同的外圆柱面组成，有一定的尺寸精度和表面粗糙度要求。零件无热处理和硬度要求，零件左段无加工要求，故无需考虑截断。

表 1-2 阶梯轴零件加工表面及加工要求

加工表面名称	主要尺寸 /mm	公差要求 /mm	表面粗糙度 / μm
外圆柱面	$\phi 41$	$\begin{matrix} 0 \\ -0.062 \end{matrix}$	3.2
外圆柱面	$\phi 43$	—	3.2
外圆柱面	$\phi 46$	—	3.2
端面及台阶面	—	—	25

1.2 确定零件加工工装、选择刀具和编制零件数控加工工艺卡

1. 确定零件加工工装

由表 1-1 任务书可知，零件材料为 45 钢，毛坯尺寸为 $\phi 50\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 的圆棒料，按此尺寸下料。采用 CKA6150 卧式数控车床（前置刀架）对零件进行加工，该机床最大切削长度为 1500 mm，最大切削直径为 500 mm，数控系统为 FANUC Series 0i Mate-TD。由于三爪自定心卡盘具有自动定心功能，故采用三爪自定心卡盘装夹，零件加工段长度为 70 mm，不需要顶尖。

2. 选择数控加工刀具，填写数控加工刀具卡

阶梯轴零件材料为 45 钢，切削加工性能较好，选用由 D 形——DC □□ 11T3 □□ 硬质合金刀片与 SDJCR2525M11 型号刀杆组成的机夹可转位车刀，车刀外观如图 0-12 所示。数控加工刀具卡如表 1-3 所示。本例中，忽略刀尖圆弧半径，即假设刀尖圆弧半径 $R=0$ 。

表 1-3 数控加工刀具卡

产品名称或代号			× × ×	零件名称	阶梯轴零件		零件图号	× × ×
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 /mm	刀尖方位	备注
1	T01	硬质合金 93° 外圆车刀		1	粗车 $\phi 46$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 41$ 各段外圆	—	—	右偏刀
					精车 $\phi 41$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 46$ 各段外圆	—	—	右偏刀
编制		× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×		共 页 第 页

3. 编制零件数控车削加工工艺卡

对于阶梯轴零件，当相邻两圆柱体直径差较小时，可由车刀一次走刀切出，如图 1-1（a）所示，刀具（走刀）加工路线为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ ，若考虑精加工，可以留有余量；当相邻两圆柱体直径差较大或切削深度较大时，不能由车刀一次走刀切出，需要多次走刀分层切削（由外向内逐层切削），如图 1-1（b）所示，刀具（走刀）粗加工路线为 $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow$

退刀→返回→进刀→ $A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow$ 退刀→返回→进刀→ $A_3 \rightarrow B_3 \rightarrow$ 退刀→返回，刀具（走刀）精加工路线为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ 。一般来说，对于圆棒料毛坯，若加工细长轴类零件，应优先安排轴线方向（走刀）切削加工；若加工圆盘类零件，应优先安排直径方向（走刀）切削加工，这样可以适当减少走刀次数，提高切削加工效率。

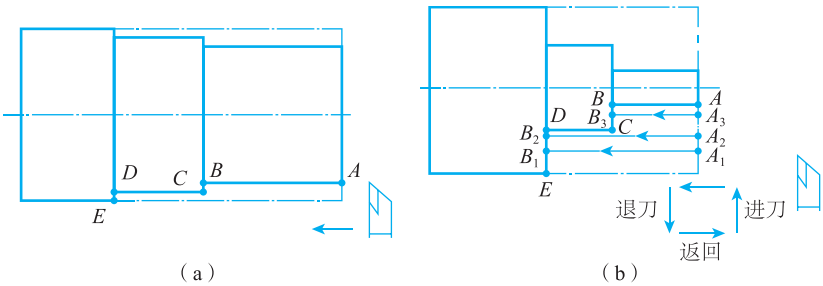


图 1-1 阶梯轴车削方法

（1）切削用量的选择。切削用量的具体数值可参阅机床说明书、切削用量手册，并结合实际经验而定，表 1-4 为 45 钢、 $\phi 20 \sim 60 \text{ mm}$ 圆棒料的切削用量参考表。

表 1-4 切削用量参考表

零件材料及 毛坯尺寸	加工内容	背吃刀量 / mm	主轴转速 / ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	进给量 / ($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	刀具材料
45 钢， $\phi 20 \sim 60 \text{ mm}$ 内孔， $\phi 13 \sim 20 \text{ mm}$	粗加工	1 ~ 2.5	300 ~ 800	0.15 ~ 0.4	硬质合金 (YT 类)
	精加工	0.25 ~ 0.5	600 ~ 1 000	0.08 ~ 0.2	
	切槽、切断（切刀 宽度 3 ~ 5 mm）	—	300 ~ 500	0.05 ~ 0.1	
	钻中心孔	—	300 ~ 800	0.1 ~ 0.2	高速钢
	钻孔	—	300 ~ 500	0.05 ~ 0.2	高速钢

常用加工方法所能达到的表面粗糙度数值如表 1-5 所示，供制订加工工艺时参考选用。

表 1-5 常用加工方法所能达到的表面粗糙度数值

加工方法	表面粗糙度数值 / μm											
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
铣削			---	---	---	---	---	---	---			
车、镗			---	---	---	---	---	---	---	---	---	
拉削、铰孔					---	---	---	---				
磨削					---	---	---	---	---	---	---	---
抛光								---	---	---	---	---
研磨								---	---	---	---	---

注：实线为平常使用，虚线为不常使用。

（2）公差值的处理。对于标注有公差值的圆柱直径，通常取最大极限尺寸和最小极限尺寸的平均值（即“中值”）作为编程的尺寸依据。对于表 1-1 中的阶梯轴零件图，具有公差要求的 $\phi 41\text{ mm}$ 外圆柱面编程尺寸计算如下：

$$\phi 41\text{ 外圆柱面编程尺寸} = 41 + \frac{0 + (-0.062)}{2} = 40.969\text{ (mm)}$$

为简化编程计算，对于标注有公差值的圆柱直径也可以按其最大极限尺寸值编程，然后通过数控系统提供的修调功能，在不改变程序的前提下加工出合格的零件。

对于表 1-1 中的阶梯轴，其毛坯直径为 50 mm ，最小直径为 41 mm ，直径差较大，应按照图 1-1（b）所示确定刀具加工路线：粗加工分层切削（由外向内逐层切削）、精加工按零件最终轮廓编程并一次走刀完成加工。为保证零件表面粗糙度要求，粗加工后留 0.5 mm 精车余量（半径值）。零件无热处理要求，故本例中不考虑为热处理工艺留相应余量。

阶梯轴加工工艺卡如表 1-6 所示。

表 1-6 阶梯轴加工工艺卡

单位名称	× × ×		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
	× × ×		× × ×		阶梯轴		× × ×	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	O0001		三爪自定心卡盘		CKA6150 卧式数控车床		× × ×	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 / mm	主轴转速 / $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	进给量 / $(\text{mm} \cdot \text{r}^{-1})$	背吃刀量 / mm	备注
1	装夹，找正		—	—	—	—	—	手动
2	对刀，右端面中心为编程原点		T01	25 × 25	—	—	—	手动
3	粗车 $\phi 46$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 41$ 外圆，留 1 mm 精车余量（直径值）		T01	25 × 25	500	0.3	1.5	自动
4	精车 $\phi 41$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 46$ 各段外圆及垂直端面至要求尺寸		T01	25 × 25	800	0.1	0.5	自动
编制	× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×	年 月 日 共 页 第 页		

（3）外圆柱面单层切削时刀具运动轨迹。如图 1-2 所示，粗加工过程中单层切削时，假设切削前刀具（刀尖）已经移动至点 1 处，刀具（刀尖）运动轨迹为 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 。刀具（刀尖）从点 1 $\rightarrow$ 点 2 的进给过程是刀具切削工件的过程；点 2 $\rightarrow$ 点 3 是刀具退刀，同时也是切削端面的过

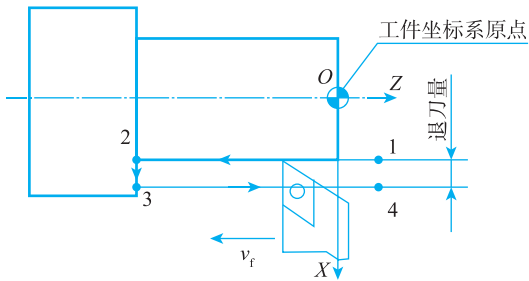


图 1-2 单层切削时刀具（刀尖）轨迹

程；点 3→点 4 是刀具空程退刀，并且刀具与已加工表面之间留有间隙（称为退刀量），不会划伤已加工表面。

1.3 编写零件数控加工程序

1. 规划刀具走刀路线，计算相关点的坐标值

（1）走刀路线与相关点坐标值计算。由表 1-6 中的工步 3 及工步 4 可知，阶梯轴零件粗加工背吃刀量 a_p 为 1.5 mm，精加工的背吃刀量 a_p 为 0.5 mm。从右向左，从外向内，以 1.5 mm 的背吃刀量（切削深度）为一个切削层，同时又要保证粗加工后留 0.5 mm 精加工余量（半径值）。选取每层切削后的退刀量为 1 mm（直径值）。毛坯直径为 50 mm，选取工件右端面回转中心为工件坐标系 XOZ 的原点 O 。粗加工切削分层刀具（刀尖）运动轨迹相应坐标值如表 1-7 所示。

表 1-7 阶梯轴零件粗加工分层切削刀具（刀尖）运动轨迹相应坐标值表
单位：mm

粗加工层数	粗加工直径计算尺寸（直径值）		粗加工最终确定直径尺寸（X 值）	粗加工退刀值（X 值，直径值）	粗加工进给运动终点值（Z 值）
	从粗加工来考虑	从精加工来考虑			
第 1 层	$50-1.5 \times 2=47$	$46+0.5 \times 2=47$	47	$47+1=48$	-70
第 2 层	$47-1.5 \times 2=44$	$43+0.5 \times 2=44$	44	$44+1=45$	-40
第 3 层	$44-1.5 \times 2=41$	$41+0.5 \times 2=42$	42（41 与 42 相比较，取大值 42，保证精车余量）	$42+1=43$	-20

（2）粗加工走刀路线。粗加工分层切削时，各层切削深度及加工余量如图 1-3 所示。

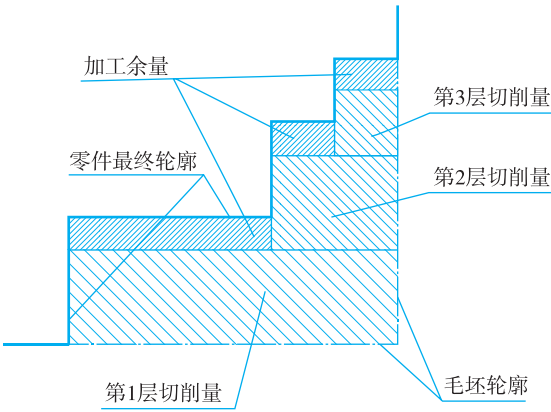


图 1-3 粗加工时各层切削深度及加工余量示意

根据表 1-7 和图 1-3，粗加工分层切削编程时，规划刀具走刀路线（刀尖轨迹）为 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12$ ，如图 1-4 所示。粗加工完成后刀具（刀尖）停留在点 12 处。在工件坐标系 XOZ 中，粗加工时刀尖轨迹上相关各点坐标值（ X, Z ）如表 1-8 所示。

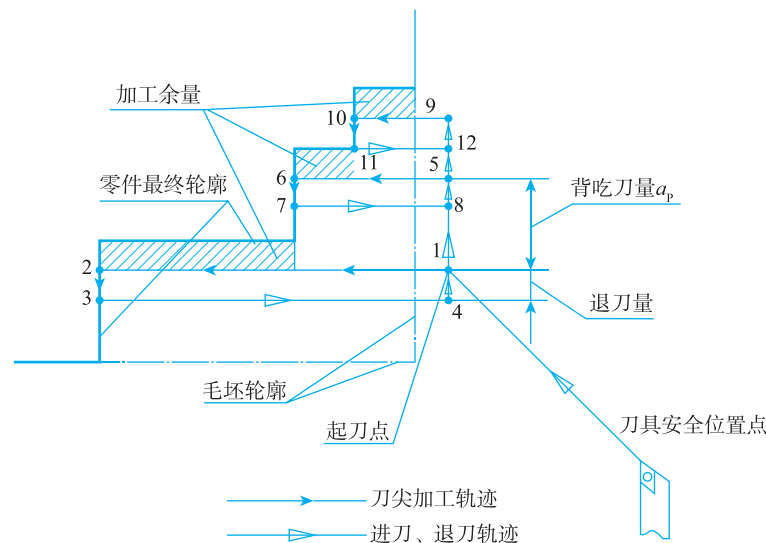


图 1-4 粗加工刀尖轨迹图

表 1-8 粗加工时刀尖轨迹上相关各点坐标值（ X, Z ）

点	1	2	3	4	5	6
坐标	(47, 2)	(47, -70)	(48, -70)	(48, 2)	(44, 2)	(44, -40)
点	7	8	9	10	11	12
坐标	(45, -40)	(45, 2)	(42, 2)	(42, -20)	(43, -20)	(43, 2)

图 1-4 中的点 1（47，2）是刀具（刀尖）已接近工件，即将进入切削加工之前的最后一个定位点，称为起刀点。由表 1-7 可知，阶梯轴零件粗加工第 1 层的直径值为 47 mm，故选取点 1 的 X 坐标值为 47 mm，考虑到安全不撞刀、减少切削空程、提高加工效率、后续切削层的进刀以及工件端面形式等因素，可以选取起刀点 Z 值为 +2 ~ +5 mm 或者更大一些，本例中选取点 1 的 Z 坐标值为 2 mm。

（3）精加工走刀路线。为保证零件表面质量，精加工按零件最终轮廓编程并一次走刀完成加工，即根据零件最终轮廓编程，规划刀尖轨迹为 $13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \rightarrow 19 \rightarrow 20$ （换刀点），如图 1-5 所示。在工件坐标系 XOZ 中，精加工时刀尖轨迹上相关各点坐标值（ X, Z ）如表 1-9 所示。

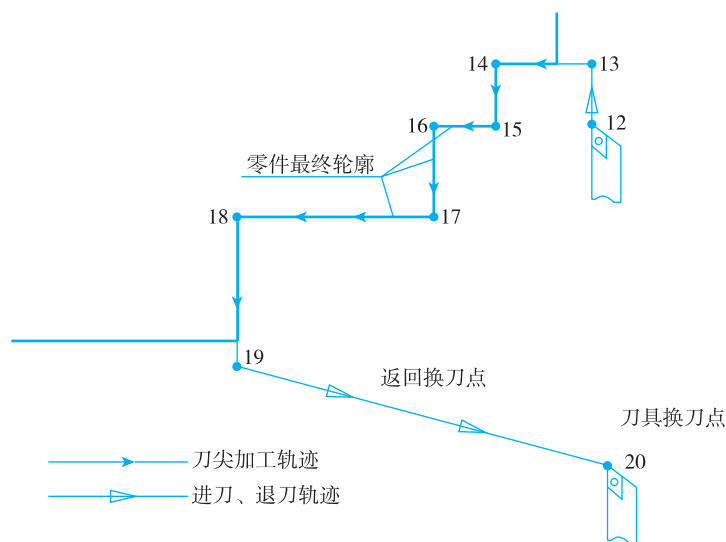


图 1-5 精加工刀尖轨迹图

表 1-9 精加工时刀尖轨迹上相关各点坐标值 (X, Z)

点	12	13	14	15	16
坐标	(43, 2)	(40.969, 2)	(40.969, -20)	(43, -20)	(43, -40)
点	17	18	19	20	—
坐标	(46, -40)	(46, -70)	(52, -70)	(200, 100)	—

图 1-5 中的点 20 (200, 100) 称之为换刀点，换刀点是零件加工完成后或者是加工过程中有换刀要求以及启动零件数控加工程序之前刀具（刀尖）需要返回（停留）的点。该位置不需要精确计算，以方便刀架安装刀具、刀架旋转调用刀具时与工件不发生干涉为基本要求，多数情况下将换刀点的坐标值取为整数，如 100 mm、200 mm 等，故也称换刀点为整数换刀点。

2. 学习编程指令

(1) 主轴正转 (M03)、主轴反转 (M04)、主轴停止 (M05) 和主轴转速 (S) 指令。

【例 1-1】主轴正转（主轴顺时针旋转），转速为 300 r/min，编程如下：

```
M03 S300;
```

主轴停止，编程如下：

```
M05;
```

主轴反转（主轴逆时针旋转），转速为 200 r/min，编程如下：

```
M04 S200;
```

(2) 程序停止 (M30) 指令。

【例 1-2】程序停止并复位到程序起始位置，编程如下：

```
M30;
```

(3) 恒线速度控制 (G96) 和取消恒线速度控制 (G97) 指令。G96 为 (主轴) 恒线速度控制指令，即保持刀具切削点处线速度恒定的指令。

【例 1-3】刀具切削点线速度控制在 150 r/min，编程如下：

```
G96 S150;
```

需要注意的是，主轴恒线速度控制方式下，刀具越接近工件回转中心，主轴转速越高，故要限制 G96 指令 (方式) 下主轴的最高转速，以防车床飞车。最高转速限制指令格式为 “G50 S ~ ;”。S 后面的数字表示的是最高转速，单位为 r/min。“G50 S1200;” 表示最高转速限制在 1 200 r/min。

G97 为取消 (主轴) 恒线速度控制指令，即主轴恒转速控制指令。S 后面的数字表示恒线速度控制取消后的主轴转速，如 S 未指定，将保留 G96 的最终值。

主轴以恒转速 500 r/min 旋转，编程如下：

```
G97 S500;
```

(4) 每分钟进给方式 (G98)、每转进给方式 (G99) 和刀具进给 (F) 指令。G98 用来指定 (刀具) 每分钟进给方式，即进给速度 v_f 的单位为 mm/min；G99 指定 (刀具) 为每转进给方式，即进给量 f 的单位为 mm/r，是系统中默认的进给方式。

【例 1-4】刀具进给速度 v_f 为 100 mm/min，编程如下：

```
G98 F100;
```

刀具进给量 f 为 0.2 mm/r，编程如下：

```
G99 F0.2;
```

(5) 选择加工所用刀具 T 指令。

指令格式：

```
T ~ ;
```

T 后面通常有四位数字，前两位是刀具号，后两位是刀尖圆弧半径补偿号。

【例 1-5】选用 2 号刀及 2 号刀具补偿号 (可以理解为刀具补偿参数存储器代号) 编程如下：

```
T0202;
```

```
T0200; // 表示取消刀具补偿。
```

(6) 快速点定位 (G00) 指令。

指令格式：

```
G00 X__ Z__;
```

```
G00 U__ W__;
```

其中, (X, Z)、(U, W) 为刀具要到达的目标点坐标或刀具运动的终点坐标。(X, Z) 为绝对坐标, (U, W) 为增量坐标。

【例 1-6】如图 1-6 所示, 编写数控加工程序, 令刀具(刀尖)从当前位置快速点定位(快速进刀)至终点位置, 工件右端面回转中心为工件坐标系原点。

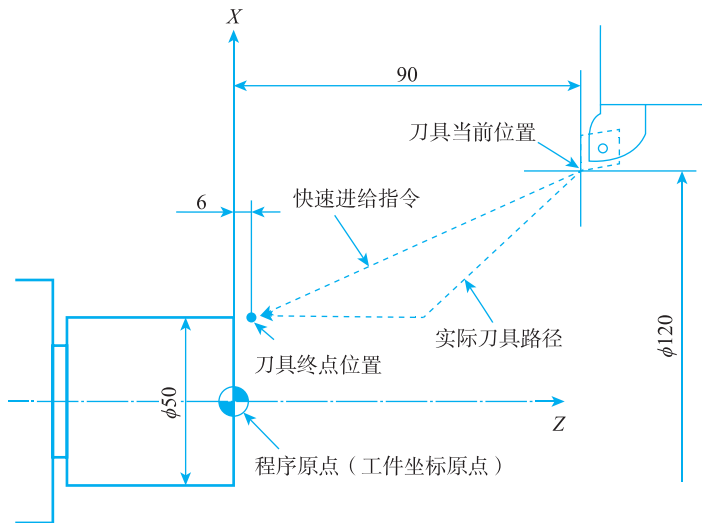


图 1-6 刀具快速点定位

刀具(刀尖)当前点坐标对编程无影响, 刀具(刀尖)终点坐标 (50, 6), 采用直径值编程, 并采用绝对值编程, 编程如下:

```
G00 X50 Z6;
```

采用直径值编程, 刀具(刀尖)当前点(起点)坐标 (120, 90), 刀具终点坐标 (50, 6), 故有

$$U = \Delta X = X_{\text{终点}} - X_{\text{起点}} = 50 - 120 = -70;$$

$$W = \Delta Z = Z_{\text{终点}} - Z_{\text{起点}} = 6 - 90 = -84$$

采用增量值编程, 编程如下:

```
G00 U-70 W-84;
```

G00 指令要求刀具以点位控制方式将刀具移动至指定位置, 如果两坐标轴配备的伺服驱动装置参数相同, 则实际刀具路径是一条 45° 斜线加折线; 否则是一条非 45° 斜线加折线。

(7) 直线插补 (G01) 指令。从微观上看, 在数控加工中只能用折线拟合所要加工的斜直线和曲线轮廓, 在斜直线或曲线轮廓起点和终点之间计算出若干个中间点的坐标值来拟合曲线轮廓, 这种“数据密化”功能就称为“插补 (interpolation)”, 也称为“数据点的密化”。插补过程是由数控装置来完成的。

从数控加工的角度来讲, “插补”可以理解为切削、加工, 直线插补可以理解为直线切削、加工, 移动速度是由进给功能指令 F 设定的。当机床执行 G01 指令时, 在该程序

段中必须含有 F 指令。G01 和 F 都是模态指令。

直线插补指令格式：

G01 X__ Z__ F__；

G01 U__ W__ F__；

其中，(X, Z)、(U, W) 为直线终点坐标，(X, Z) 为绝对坐标，(U, W) 为增量坐标；F 为进给量，G99 指令生效时为每转进给方式，单位为 mm/r。

G01 指令用于控制刀具（刀尖）在 XOZ 平面内沿 X 轴、Z 轴方向执行单轴运动，也可以沿任意斜直线运动。

【例 1-7】如图 1-7 所示，刀具已处于当前位置，工件右端面回转中心为工件坐标系原点，试编写切削 $\phi 60\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 外圆柱面的数控加工程序。

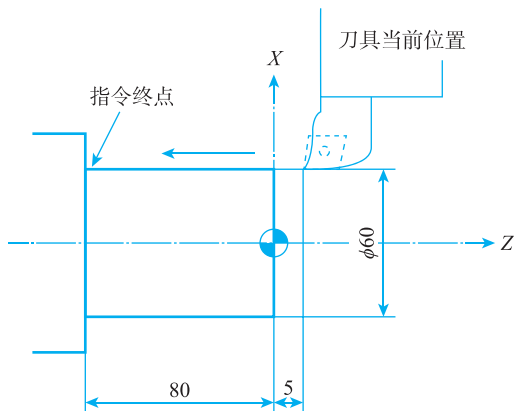


图 1-7 外圆柱切削

编程如下：

G01 X60 Z-80 F0.3；

或 G01 U0 W-85 F0.3；

3. 编写数控加工程序，填写数控加工程序清单

本项目中，编写数控加工程序的逻辑顺序：程序号→初始设置→设定主轴旋转方向与转速→主轴正转→选择刀具→刀具快速进刀至工件右端面→第 1 层粗加工→退刀→快速返回→快速进刀→……→第 3 层粗加工→退刀→快速返回→快速进刀→按零件最终轮廓一次走刀完成精加工→退刀至换刀点→主轴停止→程序结束。

选取工件右端面回转中心为工件坐标系 XOZ 的原点 O，阶梯轴数控加工程序清单如表 1-10 所示。

需要指出的是，数控加工程序所控制的刀具刀尖或与刀具相关联的某一固定点称为刀位点。本例中，忽略刀尖圆弧半径，即假设刀尖圆弧半径 $R=0$ ，故刀尖是刀位点，即数控加工程序控制刀具运动时，控制的是刀具刀尖（刀位点）沿上述规划的粗、精加工走刀路线运动的。编写零件数控加工程序之前一定要明确刀位点。

表 1-10 阶梯轴数控加工程序清单

程序号：O0001			
程序段号	程序内容	程序内容（简化模态 G 指令）	程序说明（不必输入数控系统，仅用于对程序段进行说明及注释）
N10	G97 G99;	G97 G99;	每转进给方式，即进给量 f 的单位为 mm/r；取消（主轴）恒线速度控制指令，即主轴恒转速控制
N20	M03 S500;	M03 S500;	主轴正转，转速为 500 r/min
N30	T0101;	T0101;	调用 T01 号刀，调用 1 号刀具补偿号
N40	G00 X47 Z2;	G00 X47 Z2;	快速进刀至点 1，准备粗车 $\phi 46$ 外圆
N50	G01 X47 Z-70 F0.3;	G01 Z-70 F0.3;	粗车 $\phi 46$ 外圆，设进给量为 0.3 mm/r
N60	G01 X48 Z-70;	X48;	X 方向退刀
N70	G00 X48 Z2;	G00 Z2;	Z 方向快速退刀
N80	G00 X44 Z2;	X44;	X 方向快速进刀，准备粗车 $\phi 43$ 外圆
N90	G01 X44 Z-40;	G01 Z-40;	粗车 $\phi 43$ 外圆
N100	G01 X45 Z-40;	X45;	X 方向退刀
N110	G00 X45 Z2;	G00 Z2;	Z 方向快速退刀
N120	G00 X42 Z2;	X42;	X 方向快速进刀，准备粗车 $\phi 41$ 外圆
N130	G01 X42 Z-20;	G01 Z-20;	粗车 $\phi 41$ 外圆
N140	G01 X43 Z-20;	X43;	X 方向退刀
N150	G00 X43 Z2;	G00 Z2;	Z 方向快速退刀
N160	G00 X40.969 S800;	X40.969 S800;	X 方向快速进刀，主轴转速为 800 r/min，准备精车 $\phi 41$ 外圆
N170	G01 X40.969 Z-20 F0.1;	G01 Z-20 F0.1;	精车 $\phi 41$ 外圆至要求尺寸，进给量为 0.1 mm/r
N180	G01 X43 Z-20;	X43;	精车 $\phi 43$ 端面至要求尺寸
N190	G01 X43 Z-40;	Z-40;	精车 $\phi 43$ 外圆至要求尺寸
N200	G01 X46 Z-40;	X46;	精车 $\phi 46$ 端面至要求尺寸
N210	G01 X46 Z-70;	Z-70;	精车 $\phi 46$ 外圆至要求尺寸
N220	G01 X52 Z-70;	X52;	精车 $\phi 50$ 端面至要求尺寸
N230	G00 X200 Z100;	G00 X200 Z100;	快速退刀，回换刀点
N240	M05;	M05;	主轴停止
N250	M30;	M30;	程序结束并复位

1.4 阶梯轴零件数控加工操作

1. 对刀操作

以 T01 刀为例, 对刀操作采用试切法、几何偏置法 (绝对刀偏法), FANUC 0i Mate-TD 系统数控车床对刀操作步骤 (过程) 如下。

需要说明的是, 在以下内容中, [] 表示热键, 表示实体键。机床开机正常工作后, 热键 (提示) 显示在屏幕上, 可用手按下其所对应的无名实体键选择确认, 关机后热键 (提示) 显示消失, 热键不能被选择确认。实体键是数控系统操作面板上的实体按键, 关机后仍然可见。FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统控制面板各按键的名称和具体位置如图 0-14 所示。

(1) 机床开机。机床外电源开→机床电源开 (顺时针旋转为开) → 系统启动 → 数控系统启动 (开机后一般显示 POS 坐标界面) 并显示急停状态 (顺时针转动红色急停按钮可以解除急停, 进入正常工作状态)。

FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统采用绝对值编码器, 机床断电后由电池记录其机床 (坐标系) 原点, 故机床开机后不必进行回零操作。

(2) 安装工件毛坯, 手动移动刀架至换刀点 (附近), 安装刀具。毛坯长度为 120 mm, 零件右段最大加工长度为 70 mm, 考虑对刀操作时切削右端面和安全操作 (不撞刀) 等因素, 确定毛坯伸出卡盘卡爪长度为 80 mm (左右), 用卡盘扳手手动旋拧三爪卡盘的螺母收放卡盘卡爪夹持毛坯左段, 装夹长度为 40 mm (左右), 具体装夹尺寸由钢直尺或游标卡尺测量确定。由于三爪卡盘的三个卡爪同时移动, 所以在夹紧回转体工件时可以实现自动定心, 工件装夹后一般不需要进行找正。工件夹紧后, 手动转动卡盘一周, 若发现工件明显偏装, 则需要用卡盘扳手松开卡爪重新安装工件; 若未发现工件明显偏装, 则可以进行后续操作。

为防止安装工件毛坯时机床误启动, 安装工件毛坯之前要按下红色急停按钮, 使机床处于急停的安全状态。

解除急停 (顺时针转动红色急停按钮) → 手动 → Z← 快速 Z→ 或 X↑ 快速 X↓ → 刀架沿 Z 轴或 X 轴快速接近工件至换刀点处。移动速度由 F0 25% 50% 100% 键决定。按下红色急停按钮, 使机床处于急停的安全状态, 然后用刀架扳手安装刀具到 1 号刀位。

(3) 选择 T01 刀进入工作工位 (调用 1 号刀)。解除急停 (顺时针转动红色急停按钮) → MDI → PROG → 显示屏文本输入行输入 “T0101” → EOB → INSERT → “T0101;” 即当前可执行的程序 → 循环启动 → T01 刀转至工作工位。

最接近工件的刀架工位为工作工位, 执行上述操作时, 刀架顺时针转动, 使 T01 刀转至工作工位。若 T01 刀已经处于工作工位, 则刀架不动, 即刀架不会自循环转一整圈。手动数据 (指令) 输入键 MDI 相当于英文 “manul data input”。需要强调的是, 调用刀具之前, 一定要将刀架移动至换刀点处, 否则, 已安装有刀具的刀架旋转时可能与工件 (毛

坏)发生撞刀。

(4) 主轴正转, 转速为 200 r/min。[MDI]→[PROG]→显示 O0000 界面→显示屏文本输入行输入“M03 S200”→[EOB]→[INSERT]→[循环启动]→主轴正转, 转速为 200 r/min。若要主轴停止转动, 按[RESET]键。

(5) 移动刀具(刀尖)接近工件右端面。[手动]→[Z←] [快速] [Z→]或[X↑] [快速] [X↓]→手动移动刀具(刀尖)接近工件右端面。当刀具(刀尖)距离工件较近时, 停止手动进给, 改用手轮进给, 以防撞刀。

刀架(刀具)的精确进给要通过手轮来操作, FANUC Series 0i Mate-TD 数控系统采用的是固定于操作系统面板上的固定式手轮, 如图 1-8 (a) 所示。按下[手摇]键后, 手轮操作才有效。顺时针转动手轮时, 刀架(刀具)向 X 轴或 Z 轴的正方向移动; 逆时针转动手轮时, 刀架(刀具)向 X 轴或 Z 轴的负方向移动, 简称“顺正逆负”。

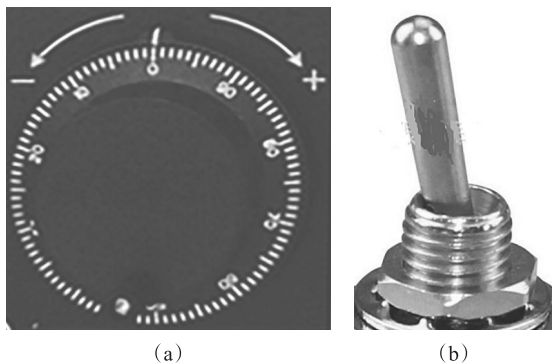


图 1-8 固定式手轮和摇臂开关外观图

使用手轮之前一定要注意: 需要通过机床控制面板上的摇臂开关(上、下两挡)来选择刀具(刀尖)拟沿其运动的坐标轴(X 轴或 Z 轴), 摇臂开关外观如图 1-8 (b) 所示, 摇臂向上选择 X 轴, 摇臂向下选择 Z 轴。确定坐标轴(X 轴或 Z 轴)选择无误后, 方可转动手轮。特别是刀具距离工件很近时, 一定要判断好刀具的拟运动(进刀或退刀)方向, 认真细致操作, 否则很容易撞刀。当选取 $\times 1$ 挡位时, 手轮的每一格表示 0.001 mm; 当选取 $\times 10$ 挡位时, 手轮的每一格表示 0.01 mm; 当选取 $\times 100$ 挡位时, 手轮的每一格表示 0.1 mm。

(6) 平端面, 对 Z 值。[手摇] (适当选取 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 挡位, 适当选取 X、Z 坐标轴, 手轮“顺正逆负”)→精确控制刀具接近(没有接触)工件, 如图 1-9 (a) 所示, 使刀具主切削刃相对于工件右端面留有 1~2 mm 的切削量(深度)。

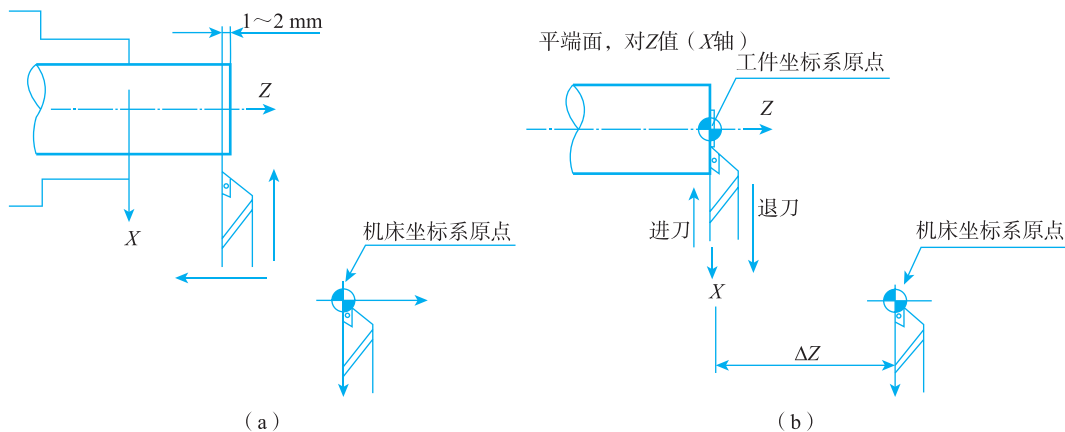


图 1-9 平工件端面, 对 Z 值示意

如图 1-9 (b) 所示, 手摇 (选取 $\times 1$ 挡位, 选取 X 坐标轴) $\rightarrow$ 逆时针旋转手轮控制刀具沿 X 轴负方向平 (切削) 工件右端面 $\rightarrow$ 顺时针旋转手轮控制刀具沿 X 轴正方向退刀 (选取 $\times 100$ 挡位, 选取 X 坐标轴) 至脱离工件 $\rightarrow$ 主轴停止。

OFS/SET $\rightarrow$ [刀偏] $\rightarrow$ [形状] $\rightarrow$ 打开刀偏/形状参数输入表界面 (见图 1-10), 由于是 T01 刀对刀, 故将光标移动至 G001 行 “Z” 对应的文本输入框内 (该区域呈黄色) $\rightarrow$ 通过数字键、字母键在文本输入行输入 “Z0” $\rightarrow$ [测量] $\rightarrow$ “Z” 所对应的文本框中自动生成数字 (例: -1187.325)。即图 1-9 (b) 中 $\Delta Z = -1187.325$ 。Z 值对刀完成。

刀偏	形状			
刀具补偿号	刀具位置补偿值		刀尖圆弧半径	刀尖方位
	X	Z	R	TIP
G001	-312.715	-1187.325		
G002				
G003				
G004				
G005				

图 1-10 刀偏/形状参数输入表界面

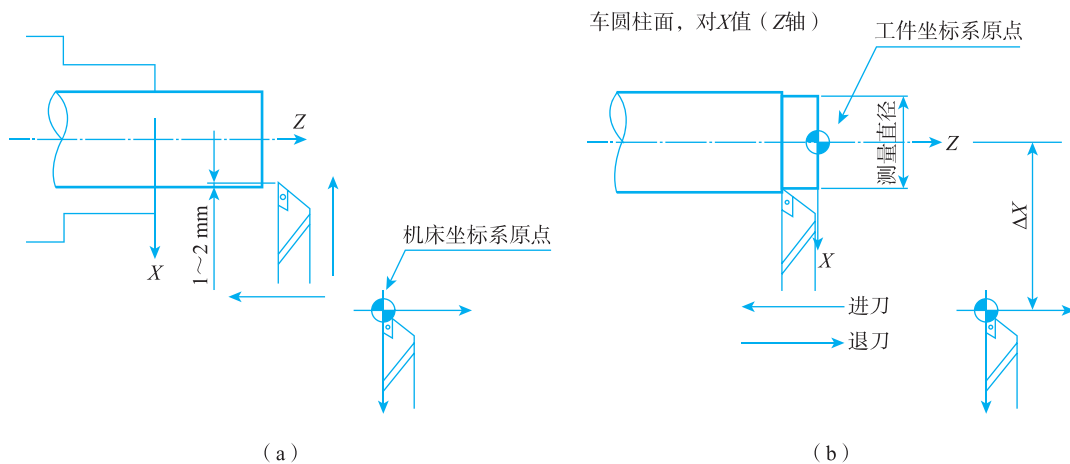
在文本输入行输入 “Z0”, 相当于设定刀具刀尖当前点处于工件坐标系 XOZ 中的 $Z=0$ 处 (即工件坐标系的 X 轴上), 由于刀具平端面后紧贴着端面沿原路退刀, 即设定工件右端面为工件坐标系的 $Z=0$ 所在的平面, 也就是设定工件坐标系的 X 坐标轴在工件右端面内 (并且 X 坐标轴平行于地面)。根据输入的 “Z0” 信息, 数控系统根据该数值会自动计算出机床坐标系原点到工件右端面 (工件坐标系 X 轴) 的偏移距离 ΔZ (例: -1187.325)。 ΔZ 等于机床坐标系原点相对于工件坐标系原点沿 Z 轴方向的偏置值。

由于图 1-10 中的刀具位置补偿 Z 值是通过平端面得到的, 所以该步骤简称为 “平端面, 对 Z 值” 或 “平端面, 对 $Z0$ 值”。通过该过程确定了工件坐标系 XOZ 中 X 坐标轴的位置, 故该步骤也简称为 “平端面, 对 X 轴”。

(7) 车 (切) 圆柱面, 对 X 值。主轴正转 $\rightarrow$ 手摇 (选取 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 挡位, 选取 X 、 Z 坐标轴) $\rightarrow$ 手轮 (顺正逆负) 精确控制刀具接近工件右端面。如图 1-11 (a) 所示, 使刀具靠近右端面的右侧, 并相对于工件外圆柱面留有 1 ~ 2 mm 的背吃刀量。

如图 1-11 (b) 所示, 手摇 (选取 $\times 1$ 挡位, 选取 Z 坐标轴) $\rightarrow$ 逆时针旋转手轮控制刀具沿 Z 轴负方向车削外圆柱面 (轴向向左切削距离为 5 ~ 10 mm, 以方便游标卡尺测量被加工表面的直径) $\rightarrow$ 顺时针旋转手轮控制刀具沿 Z 轴正方向退刀 (选取 $\times 100$ 挡位, 选取 Z 坐标轴) 至脱离工件 $\rightarrow$ 主轴停止。

按下红色急停按钮, 使机床处于急停的安全状态。用游标卡尺或千分尺测量被车削圆柱面的直径值 (假设测量直径为 48.56 mm)。

图 1-11 车圆柱面, 对 X 值示意

[OFS/SET]→[刀偏]→[形状]→打开刀偏/形状参数输入表界面, 如图 1-10 所示。将光标移动至 G001 行“X”对应的文本输入框内(该区域呈黄颜色)→通过数字键、字母键在文本输入行输入“X48.56”→[测量]→“X”对应的文本框中自动生成数字(例: -312.715)。即图 1-11 (b) 中 $\Delta X = -312.715/2$ 。 X 值对刀完成。

在文本输入行输入“X48.56”, 相当于设定刀具(刀尖)当前点相对于工件回转轴线(工件坐标系 Z 轴)的距离为 $48.56/2$ mm, 由于刀具车削圆柱面后, 紧贴工件外圆柱面退刀, 即退刀后刀尖相对于工件坐标系 Z 轴的距离并没有改变, 还是 $48.56/2$ mm, 数控系统根据该数值会自动计算出机床坐标系原点到工件回转轴线(工件坐标系 Z 轴)的偏移距离 ΔX (例: $-312.715/2$)。

由于数控车削加工中, 刀具沿 X 轴方向移动 1 mm 会使被加工零件的直径增加或减少 2 mm, 故上述对刀数据中会出现“/2”(除以 2)的形式。 ΔX 等于机床坐标系原点相对于工件坐标系原点沿 X 轴方向的偏置值。

由于图 1-11 中的刀具位置补偿 X 值是通过车削圆柱面得到的, 所以该步骤简称: “车圆柱面, 对 X 值”或“车圆柱面, 对 $X0$ 值”。通过该过程确定了工件坐标系 XOZ 中 Z 坐标轴的位置, 故该步骤也简称: “车圆柱面, 对 Z 轴”。

上述对刀过程中对被加工的工作毛坯进行了切削, 故称为试切法, 得到了机床坐标系原点相对于工件坐标系原点沿 X 轴方向的偏置值 ΔX 以及机床坐标系原点相对于工件坐标系原点沿 Z 轴方向的偏置值 ΔZ , 故也称之为几何偏置法(绝对刀偏法)。

(8) 对刀值初步检验。对刀完成后, 解除急停(顺时针转动红色急停按钮), 手动移动刀架至换刀点(附近), 可以按下列步骤进行对刀数据的初步检验。

X 值检验: [MDI]→[PROG]→O0000→文本输入行输入: T0101 G01 X0→[EOB]→[INSERT]→[循环启动], 目测观察刀具(刀尖)是否在工件回转中心的延长线上。

Z 值检验: [MDI]→[PROG]→O0000→文本输入行输入: T0101 G01 Z50→[EOB]→[INSERT]→[循环启动], 用钢直尺测量工作右端面至刀尖的距离是否为 50 mm。

允许对刀过程中“X值”存在误差，待首件试切后，可以通过刀偏/磨损界面输入相关参数进行调整。

(9) 刀具刀尖与对刀刀尖(刀位点)。本例中，忽略刀尖圆弧半径，即假设刀圆弧尖半径 $R=0$ ，也就是将刀具刀尖看作一个尖点，如图 1-12 所示。编写程序时按照刀尖的运动轨迹逐条编写程序，即理解为程序控制的是刀具刀尖运动(走刀)。精加工时，按零件轮廓编写程序，即程序控制刀具刀尖按零件轮廓运动(走刀)，这样就能加工出符合图纸要求的零件。

然而在实际应用中，为了提高刀具使用寿命和零件表面加工质量，一般将车刀刀尖磨成半径为 $0.4 \sim 1.6 \text{ mm}$ 的圆弧，如图 1-13 所示。也就是说在工程实际中刀尖并不是一个尖点，而是一段圆弧(或者说是圆弧的一部分)。这就会产生一个问题，如何理解数控加工程序所控制的刀具刀尖？程序控制的是刀具上的哪一点呢？下面结合外圆偏刀试切法对刀过程来分析这个问题。

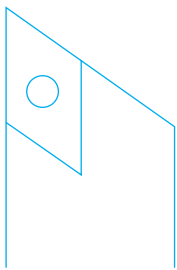


图 1-12 刀具刀尖图

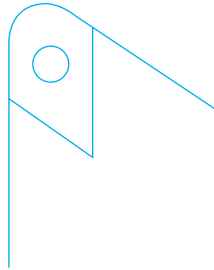


图 1-13 右偏刀刀尖圆弧放大图

如图 1-14 所示，根据试切法“平端面、对 Z 值”的对刀过程，相当于平行于 X 轴并且与刀尖圆弧左半部分相切的切点 2 及切线上所有的点参与切削工件端面；试切法“车圆柱面、对 X 值”的对刀过程，相当于平行于 Z 轴并且与刀尖圆弧上半部分相切的切点 1 及切线上所有的点参与切削圆柱面。

通过上述对刀过程可以看出，过刀尖圆弧上切点 1 和切点 2 的两条切线相交的交点 3 即为程序控制的刀具刀尖点。从对刀的角度来讲，为方便表达，将这一点约定为对刀刀尖。从编程的角度来讲，将这一点称为理论刀尖(或者说是刀位点或假想刀尖点)。

2. 程序输入、轨迹检查及首件试切

(1) 程序输入。已编写完成的数控加工程序可以编辑、存储成纯文本文件后，再通过 CF(compact flash) 存储卡、网线存储或传输至数控车床的数控系统中，也可以通过操作如图 0-14 所示的数控系统控制面板输入至数控车床的数控系统中。

下面介绍如何通过数控系统控制面板输入已编写完成的数控加工程序。

新建阶梯轴加工程序 O0001 的步骤如下。

编辑 → PROG → 文本输入行输入：O0001 → INSERT。程序 O0001 新建完成。

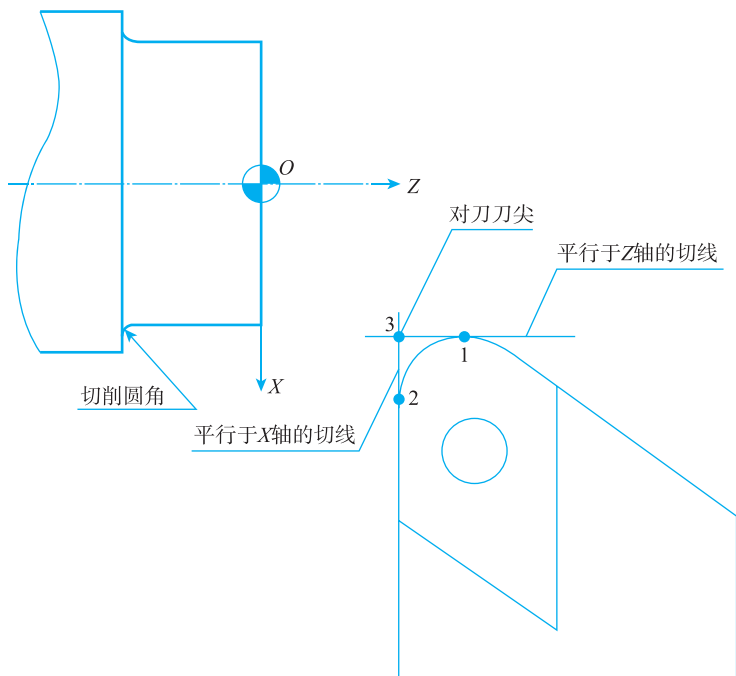


图 1-14 对刀刀尖示意

打开程序 O0001 的步骤如下。

编辑 → PROG → 文本输入行输入: O0001 → ↓ 或 [O 检索] → 打开 O0001 程序 (屏幕右上角显示 O0001)。

打开程序后, 可以输入、调试或修改程序内容。

新建程序 O0001 打开时, 编辑界面只显示两行信息, 一行显示为 O0001, 另一行显示为 %。将光标 (通常为黄色) 移动到第一行的 “;” 处 (通过数字键和功能键区域中的光标移动键移动), 即可在文本输入行逐行输入表 1-10 中阶梯轴数控加工程序清单中的程序内容。本例中, 程序段号可以省略不输入。需要注意的是, 程序段结束符 “;” 一定不能省略, 由 EOB 键输入。每行 (段) 程序输入完成后按 INSERT 键确认 (即保存程序)。按 INSERT 键后, 即使关机, 已经输入的程序也会保存在数控机床系统中。在 FUNAC Series 0i Mate-TD 数控系统中, INSERT 键相当于 ENTER 键。

(2) 轨迹检查。判断已编写完成的数控加工程序所控制的刀具走刀路线是否正确, 可以在数控机床上通过轨迹检查来实现。轨迹检查之前, 一定要先将刀架移动至换刀点处附近, 轨迹检查过程中, 虽然刀架不会移动, 但可能会原地旋转调用不同刀位的刀具, 这样可以保证刀架旋转时与工件不发生干涉与碰撞。轨迹检查过程中, 卡盘也会转动, 故轨迹检查过程中不允许伸手触碰刀架和卡盘。需要指出的是, 若只进行数控加工程序的轨迹检查, 可以不进行对刀操作。

打开程序 O0001, 用光标移动键 ↑ 将光标移动到程序的第一行 (也可以按 RESET 键), 即令程序从第一行开始执行。

[编辑] → [PROG] → 输入行输入: O0001 → [↓] 或 [O 检索] → 打开 O0001 程序 (屏幕右上角显示 O0001) → [自动] → [机床锁住] → [空运行] → [CSTM/GRPH] → [图形] → [操作] (选择坐标系平面 XOZ) → [循环启动] → 屏幕显示刀尖轨迹。如果程序编写及输入无误, 将在同一个工件坐标系 XOZ 内显示如图 1-4 所示的粗加工刀尖轨迹和如图 1-5 所示的精加工刀尖轨迹。

(3) 首件试切。首件试切 (或批量加工) 之前, 一定要先将刀架移动至换刀点处附近。

用光标移动键 [↑] 将光标移动到程序的第一行 (也可以按 [RESET] 键), 即令程序从第一行开始执行。[编辑] → [PROG] → 输入行输入: O0001 → [↓] 或 [O 检索] → 打开 O0001 程序 (屏幕右上角显示 O0001) → [自动] → 主轴倍率 100% → 进给倍率 100% (由小到大) → [循环启动] → 开始加工。

轨迹检查与首件试切 (切削加工) 操作步骤的主要区别: 轨迹检查时要按下 [机床锁住] 和 [空运行], 否则就对工件进行真实切削加工。

试切加工过程中一定要仔细观察刀具切削情况, 若有紧急情况需立即按下操作面板上的红色急停按钮。加工过程中按下 [CSTM/GRPH] → [图形], 屏幕会实时显示当前刀尖轨迹图; 加工过程中按下 [PROG], 屏幕会实时显示当前正在执行的程序段内容 (光标落在该程序行上)。

3. 零件检测与程序修调

首件试切后, 按表 1-11 对零件进行检测。若无超差即可批量生产。如果超差比较大就要考虑是否相应坐标点坐标值计算错误或者程序输入有误。若零件整体直径偏大 (例如: 0.8 mm), 可以通过在刀偏/磨损参数输入界面进行调整, 如图 1-15 所示。操作步骤: [OFS/SET] → [刀偏] → [磨损] → 光标置于 G001 行 “X” 文本输入框 → 文本输入行输入: -0.8 → [INPUT]。它可以补偿 “车 (切) 圆柱面, 对 X 值” (Z 坐标轴) 对刀过程中存在的误差值。

另外, 批量加工后刀具磨损也会引起零件直径值变大, 也可以通过在该文本框输入直径增量值的负值来调整零件加工中的直径尺寸误差。

表 1-11 零件检测记录表

检测项目		技术要求或图样尺寸	允差	量具	检测值	得分
机 床 操 作	1	按步骤开机、检查、润滑	—	—		
	2	回机床参考点	—	—		
	3	程序输入, 检查及修改	—	—		
	4	程序轨迹检查	—	—		
	5	工、夹、刀具的正确安装	—	—		
	6	按指定方式对刀	—	—		
	7	检查对刀	—	—		

续表

检测项目		技术要求或图样尺寸	允差	量具	检测值	得分
尺寸检测	1	外圆 $\phi 41$ mm	0 -0.062 mm	千分尺		
	2	外圆 $\phi 43$ mm、 $\phi 46$ mm	—	游标卡尺		
	3	长度 20 mm、40 mm、70 mm	—	游标卡尺		
	4	表面粗糙度	3.2 μ m 25 μ m	表面粗糙度样规		
机床操作综合成绩			尺寸检测综合成绩		总成绩	
操作人		年 月 日	检测人		年 月 日	

刀偏	磨损			
刀具补偿号	刀具位置补偿值		刀尖圆弧半径	刀尖方位
	X	Z	R	TIP
G001	-0.8			
G002				
G003				
G004				
G005				

图 1-15 刀偏 / 磨损参数输入界面

关机操作与开机操作正好相反，具体次序：清理机床→用[手动]方式将刀架移动到机床尾（[手动]→[Z←][快速][Z→]或[X↑][快速][X↓]）→按下急停开关→[系统停止]→关闭外部电源开关。

问题讨论

问题：若存在刀尖圆弧，以外圆偏刀为例，它对外圆柱零件加工表面会带来哪些影响？

对刀刀尖（理论刀尖）并不是一个实体点而是一个虚点。若编程时以对刀刀尖（理论刀尖）点为刀位点来编程，则加工时数控系统控制对刀刀尖按数控程序进行走刀（运动），以“精加工时按零件图纸最终轮廓编程并且程序控制对刀刀尖（理论刀尖）”为前提，如图 1-16 所示，当精加工外圆柱面（零件图纸轮廓 1）时，程序控制对刀刀尖点 3 沿圆柱面从右向左切削，由于刀尖圆弧的切点 1 与对刀刀尖点 3 的 X 坐标值相同，即刀尖圆弧切点 1（及切线延长线上的点）参与切削零件图纸轮廓 1。

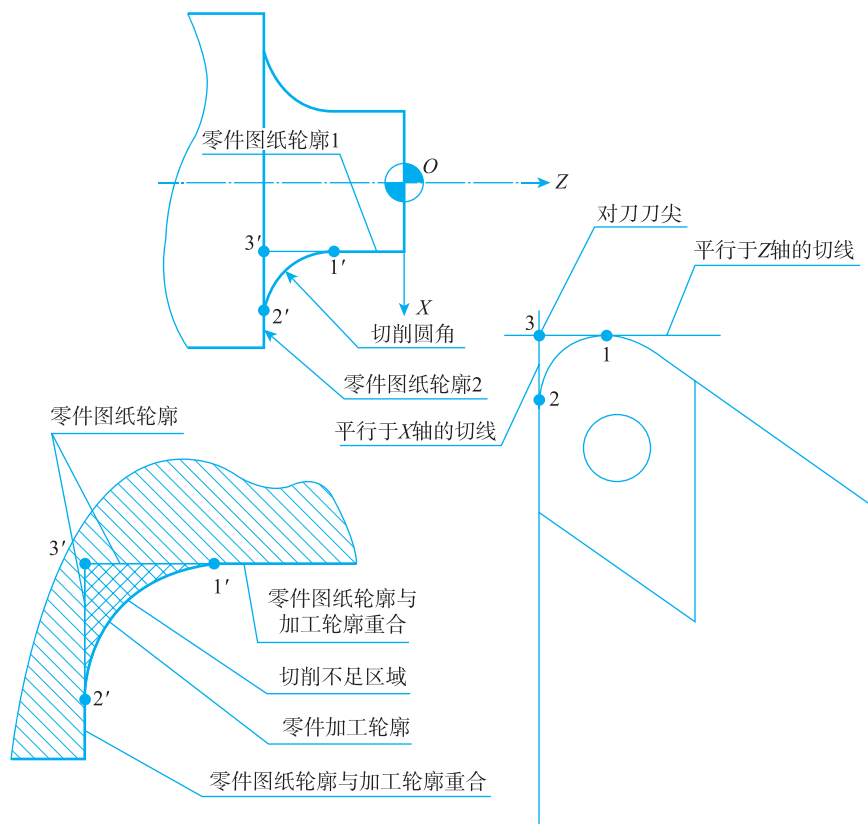


图 1-16 切削圆角产生示意

当对刀刀尖点 3 运动至外圆柱面与垂直端面相交处的交点 3' 时，刀尖圆弧切点 1 与零件图纸轮廓 1 上的点 1' 重合，刀尖圆弧切点 2 与零件图纸轮廓 2 上的点 2' 重合。从刀具上看，切点 1、切点 2 和对刀刀尖点 3 所围成的区域是“虚”（非实体）的，不能对工件产生切削效果。这样就会在外圆柱面与垂直端面相交处会产生如图 1-16 所示的切削圆角。切削圆角圆弧的两个端点分别是点 1' 和点 2'，它们分别对应刀尖圆弧的切点 1 和切点 2，切削圆角圆弧半径等于刀尖圆弧半径。即刀尖圆弧点 1 和点 2 弧段切削生成切削圆角。

当精加工垂直端面（零件图纸轮廓 2）时，程序控制对刀刀尖点 3 沿垂直端面从上向下切削，由于刀尖圆弧的切点 2 与对刀刀尖点 3 的 Z 坐标值相同，即切点 2（及切线延长线上的点）参与切削零件图纸轮廓 2。

从加工结果来看，除了外圆柱面与垂直端面相交处产生的切削圆角外，零件图纸轮廓与零件加工轮廓是重合的。在切削圆角处，零件图纸轮廓与零件加工轮廓是不重合的，这是由“虚”（非实体）的刀尖产生的，产生了图 1-16 所示的切削不足（剩余）区域。在工程实际中，切削圆角可以避免阶梯轴的应力集中，若零件无特殊要求，是可以接受的。尽管对刀刀尖是“虚”的，若零件无特殊要求，除了“切削圆角”以外，外圆柱面和垂直端面（台阶面）的加工没有形状误差和尺寸误差，能够满足图纸要求，即可

以认为“切削圆角”处的切削不足不会对外圆柱面和垂直端面（台阶面）产生影响。因此，一般情况下，车削外圆柱面和垂直端面（台阶面）时可以不考虑刀尖圆弧半径带来的影响。

对于外圆锥面零件表面来说，若程序控制的是对刀刀尖点3并且精加工时按零件图纸轮廓编程，以此程序进行数控车削加工时将在外圆锥面零件表面产生切削剩余，产生切削剩余的原因及解决办法在后续学习项目中详细介绍。

拓展阅读

华中数控——用“中国大脑”，装备“中国制造”

数控技术是关系到我国产业安全、经济安全的国家战略性高新技术。从机床、高铁到手机、家电、汽车等的制造，都离不开数控技术。数控技术是装备制造业中的核心技术，是我国加快转变经济发展方式，实现我国机械产品从“制造”到“创造”升级换代的关键技术之一。数控系统是先进高端制造装备的“大脑”，华中数控的使命是用“中国大脑”，装备“中国制造”。

武汉华中数控股份有限公司创立于1994年，注册资本1.9869亿元，是国产中、高档数控系统研究和产业化基地，国产数控系统行业首家上市公司。主营业务包括数控系统配套、工业机器人及智能制造、工程职业教育、新能源汽车配套、红外人体测温设备等。公司是首批高级创新企业、中国机械工业联合会智能制造分会副理事长单位、中国机床工具工业协会副理事长单位、数控系统分会理事长单位、全国机床数控系统标委会秘书长单位、高档数控系统及其应用产业技术创新战略联盟理事长单位。公司获得国家科技进步二等奖4项、省部级科技进步和技术发明一等奖16项，有9项产品被评为高级重点新产品，华中数控系统被列入首批自主创新产品目录。许多党和国家领导人到华中数控考察，对公司坚持产学研结合，发展国家战略产业，给予高度评价。

华中数控具有自主知识产权的数控装置形成了高、中、低三个档次的系列产品，公司在前期技术积累基础上，整合国家重大专项3个课题的研发任务，瞄准国外高档数控系统的最高水平，研制了华中8型系列高档数控系统新产品，已有数千台套与列入国家重大专项的高档数控机床配套应用；具有自主知识产权的数控装置、伺服驱动和电机性能指标达到国际先进水平，自主研制的5轴联动高档数控系统已有数千台在机床、汽车、新能源、3C等重点领域成功应用。公司研制的60多种专用数控系统，应用于纺织机械、木工机械、玻璃机械、注塑机械。公司红外热像仪产品已广泛应用于钢铁、能源、化工、医疗等行业。

国家对数控系统产业给予了前所未有的关注和支持。从国务院关于发展装备制造业的若干意见，到纳入国家中长期发展规划的“高档数控机床与基础制造装备”国家重大专项，以及列入新兴战略产业的高端制造业，数控系统始终占据重中之重的位置。中国已成为世

界第一大数控机床消费国和生产国，国产中、高档数控系统替代进口空间巨大。华中数控以机床数控系统和工业机器人、电动汽车为三个业务主体，作为我国数控技术和智能制造的“国家队”，将立足关键核心技术突破，在完善“数控一代”的同时，发展“智能一代”，引领中国制造业的转型升级。

(资料来源：新华网，2024年5月7日，有删改)

 思考与练习

一、选择题

1. FANUC 数控系统中，设定每转进给方式的指令是（ ）。
A. G96
B. G97
C. G98
D. G99
2. FANUC 数控系统中，取消主轴恒线速度控制（主轴恒转速控制）的指令是（ ）。
A. G96
B. G97
C. G98
D. G99
3. FANUC 数控系统中，表示程序停止的指令是（ ）。
A. M30
B. M01
C. M02
D. M03
4. FANUC 数控系统中，表示主轴正转的指令是（ ）。
A. M04
B. M30
C. M02
D. M03
- 5.（ ）是指机床上一个固定不变的极限点。
A. 换刀点
B. 工件原点
C. 机床原点
D. 对刀点
6. 采用试切法、绝对刀偏法对刀的两大步骤之一：平工件端面，（ ）。
A. 回参考点
B. 对 X 值
C. 对 Y 值
D. 对 Z 值
7. 采用试切法、绝对刀偏法对刀的两大步骤之一：车（切）圆柱面，（ ）。
A. 回参考点
B. 对 X 值
C. 对 Y 值
D. 对 Z 值
8. 数控加工程序所控制的刀具刀尖或与刀具相关联的某一固定点称为（ ）。
A. 循环起点
B. 换刀点
C. 起刀点
D. 刀位点
9. 数控车削手工编程通常用（ ）编程，这样可以简化相关计算。
A. 半径值
B. 直径值
C. 极值
D. 公差值

10. 插补是由（ ）完成的。

A. 编程人员手工计算

B. 数控系统

C. 机床操作人员手工计算

D. 程序录入过程

二、判断题

() 1. FANUC 数控程序中的 F、S、T 反映的是切削用量三要素。

() 2. 数控车床的进给方式有每分钟进给和每转进给两种方式，常用每分钟进给方式。

() 3. 控制机床紧急停止的急停按钮，其颜色为红色。

() 4. 主轴停止指令是 G99。

() 5. “G00 X47 Z2;” 程序段中，X47 Z2 表示的是刀具运动目标点的坐标值。

() 6. 以外圆偏刀为例，存在刀尖圆弧的情况下，对刀刀尖是实体刀尖。

() 7. 以外圆偏刀为例，存在刀尖圆弧的情况下，对刀刀尖是虚的而非实体刀尖。

() 8. 合理规划（明确）刀具走刀路线对于正确编写零件数控加工程序极为重要。

() 9. 识读零件图的目的是明确加工要求，分析哪些零件表面是加工面，识读加工面的尺寸、公差要求和表面粗糙度等内容。

() 10. 在数控机床上确定坐标轴时，一般先确定 X 轴。

三、填空题

1. G00 指令是_____，指令格式：_____。

2. G01 指令是_____，指令格式：_____。

3. 执行 G01 指令时，刀架（刀具）的移动速度是由_____指令所对应的数值决定的。

4. “M03 S300;” 程序段中，M03 的含义是_____，S300 的含义是_____。

5. 试切法、绝对刀偏法对刀过程中的两个主要步骤是：“平端面、_____”和“车（切）圆柱面、_____”。

四、简答题

1. 编写零件数控加工程序之前，识读零件图的目的是什么？

2. 根据工件坐标系编写零件数控车削加工程序时，一般将工件坐标系原点设定在何处？

3. 编写零件数控车削加工程序时，采用直径值编程的优点是什么？

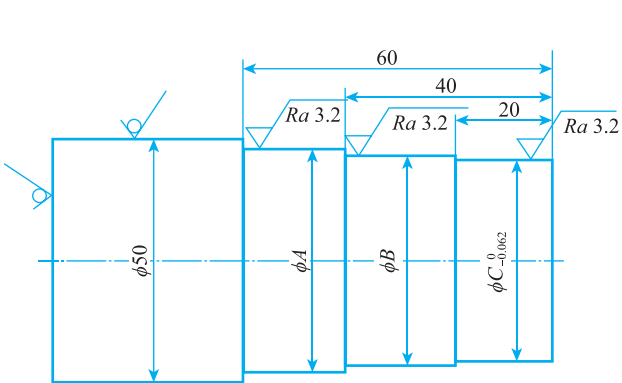
4. 零件数控车削加工中，切削用量三要素的名称和单位分别是什么？

5. 编写零件数控加工程序之前，为何要规划刀具走刀路线并计算相关点的坐标值？

教A做B

根据本项目学习内容并结合表 1-13 至表 1-24 项目学习相关作业单中所列内容完成表 1-12 中的零件数控编程加工任务单。

表 1-12 零件数控编程加工任务单

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作					
零件名称	阶梯轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 50 \times 110$	
任务内容	试编写阶梯轴零件数控加工程序并进行数控加工					
任务零件图						
						
零件尺寸数据表						
序号	A	B	C	备注		
1	46	42	40	6 组数据，按学生学号顺序依次循环取用		
2	47	44	41			
3	45	41	40			
4	46	42	39			
5	46	43	39			
6	45	43	39			
零件加工主要工步和切削参数						
序号	加工工艺过程	刀具	刀号	主轴转速 / $(r \cdot \min^{-1})$	进给量 / $(\text{mm} \cdot r^{-1})$	背吃刀量 / mm
1	粗加工	93° 外圆车刀右偏刀	T01	300	0.3	1.5
2	精加工	93° 外圆车刀右偏刀	T01	450	0.1	0.5

项目学习相关作业单

表 1-13 编写数控加工程序任务执行计划（流程）表

组号： 班级： 学号： 姓名： 日期：

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作		
序号	计划（流程）内容	完成情况	未完成原因
1	识读零件图，识读分析零件表面哪些是加工面，识读分析加工（面）尺寸、公差和表面粗糙度要求等，填写表 1-14	完成□ 未完成□	
2	明确毛坯尺寸与材料，确定零件加工工装，分析编程任务中对刀具（刀尖）圆弧、主偏角、副偏角等有无特殊要求，明确刀位点的位置。明确是否需要考虑刀尖圆弧半径补偿，填写表 1-15	完成□ 未完成□	
3	明确零件数控加工工艺，明确粗、精加工的切削用量等相关参数，填写表 1-16	完成□ 未完成□	
4	规划、绘制刀具刀尖（刀位点）走刀路线（轨迹）草图，填写表 1-17	完成□ 未完成□	
5	明确工件坐标系 XOZ 原点的位置，明确选择半径值编程还是直径值编程，确定起刀点或循环起点的位置，确定加工终了点的位置，明确相关编程节点的坐标值并在刀具刀尖（刀位点）走刀路线（轨迹）草图中标注出各编程节点的坐标值，填写表 1-17	完成□ 未完成□	
6	明确为了实现上述走刀路线（刀尖轨迹）需要用到哪些 G 指令，所使用 G 指令的名称、详细格式、各参数的含义，各主要参数的取值，填写表 1-18	完成□ 未完成□	
7	明确数控加工程序的组成以及程序段的内容，明确是否要书写程序段号，明确哪些程序段号可以省略，填写表 1-19	完成□ 未完成□	

表 1-14 零件加工表面及加工要求

组号： 班级： 学号： 姓名： 日期：

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作		
加工表面名称	主要尺寸 /mm	公差要求	表面粗糙度 / μm

表 1-15 零件数控加工刀具卡

任务名称		阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作						
产品名称或代号		× × ×		零件名称			零件图号	× × ×
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 /mm	刀尖方位	备注
1								
2								
3								
4								
编制		× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×	共 页	第 页

表 1-16 零件数控加工工艺卡

任务名称		阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作						
单位名称	× × ×	产品名称或代号		零件名称		零件图号		
		× × ×				× × ×		
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间		
001	× × ×	三爪自定心卡盘		CKA6150 卧式数控车床		× × ×		
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 /mm	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给量 / ($\text{mm} \cdot r^{-1}$)	背吃刀量 / mm	备注	
1	装夹毛坯, 找正						手动	
2	对刀, 设置 (建立) 零件右端面回转中心为工件坐标系原点						手动	
3								
4								
5								
6								
编制	× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×	年 月 日	共 页	第 页

表 1-17 零件粗、精加工刀位点轨迹表

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

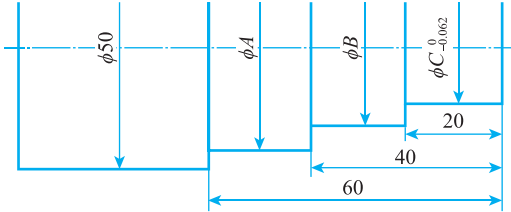
任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作
要求：根据对应学号或组号，填写零件图中的 A 、 B 、 C 值，绘制工件坐标系 XOZ ，绘制零件粗、精加工刀尖轨迹，明确选择半径值编程还是直径值编程，确定起刀点或循环起点的位置，确定加工终点的位置，在刀具刀尖（刀位点）走刀路线（轨迹）草图中标注出各编程节点的坐标值	
零件图中， A =____， B =____， C =____，半径值编程 ☐ 直径值编程 ☐	
	

表 1-18 数控编程所用 G 指令格式与取值表

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作
要求：明确为了实现上述走刀路线（刀尖轨迹）需要用到哪些 G 指令，所使用 G 指令的名称、详细格式、各参数的含义，各主要参数的取值	
G : 指令名称 G : 指令格式 参数含义： 参数取值：	
G : 指令名称 G : 指令格式 参数含义： 参数取值：	

表 1-19 零件数控加工程序清单

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作		
程序名：			
程序段号	程序内容	程序简要说明	程序修改后的内容
备注：			



表 1-20 零件数控加工任务执行计划（流程）表

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作		
序号	计划（流程）内容	完成情况	未完成原因
1	熟知数控机床安全操作规程和实训室相关安全要求，明确是否达到实训室安全准入条件	完成 ☐ 注：此内容为必须完成项，未完成者不得进行后续加工操作	
2	检查机床外观、通电、开机，进行各润滑点润滑等，记录机床初始状态，记录于机床使用情况记录本中	完成 ☐ 未完成 ☐	
3	回机床参考点（根据编码器的类型确定）	完成 ☐ 未完成 ☐	
4	程序输入、检查及修改	完成 ☐ 未完成 ☐ 键盘输入 ☐ 卡输入 ☐ 在线加工 ☐	
5	通过机床操作面板进入刀偏值输入界面，记录原刀尖圆弧半径 R 值、刀尖方位值，记录于机床使用情况记录本中。输入新的刀尖圆弧半径 R 值、刀尖方位值并记录于表 1-21 中	完成 ☐ 未完成 ☐	
6	程序轨迹检查、程序轨迹记录于表中，若有程序修改，记录于表 1-19 和表 1-22 中	完成 ☐ 未完成 ☐	
7	工件毛坯、刀具的安装	完成 ☐ 未完成 ☐ 三爪卡盘 ☐ 四爪卡盘 ☐ 三夹一顶 ☐	
8	记录原对刀值，对刀操作、对刀值检验，对刀值记录于表 1-23 中	完成 ☐ 未完成 ☐	
9	零件数控加工，加工操作过程记录于表 1-23 中	完成 ☐ 未完成 ☐	
10	零件测量，判定是否合格，若不合格分析查找原因，若修改程序，记录于表 1-23 中	完成 ☐ 未完成 ☐	
11	机床清理，关机，断电	完成 ☐ 未完成 ☐	
备注：机床开机后，可以先输入、检查程序，也可以先安装工件毛坯、刀具再输入、检查程序，二者没有先后区别。若仅是对程序的输入、检查和调试，可以不安装工件毛坯和刀具，可以不用对刀			

表 1-21 刀尖圆弧半径补偿值及对刀值表

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作			
刀具补偿号	刀具位置补偿值		刀尖圆弧半径	刀尖方位
	X	Z	R	TIP
G001				
G002				
G003				
G004				

表 1-22 程序走刀轨迹检验单

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作			
程序 录入 步骤				
轨迹 检验 操作 步骤				
刀尖 轨迹图				
机床 报警 记录				
程序 修改 记录				

表 1-23 零件数控加工操作记录单

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

任务名称		阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工操作					
对刀过程	1. 平端面, 对 Z 值:						
	2. 车 (切) 圆柱面, 对 X 值:						
	测量试切直径值 /mm		对刀值	Z		X	
对刀用时	开始时间		结束时间		总用时		
机床加工操作步骤							
加工用时	开始时间		结束时间		总用时		
零件检测	检测项目或图样尺寸	允差	量具	学生测量值	教师测量值	是否合格	
						是□否□	
						是□否□	
						是□否□	
						是□否□	
						是□否□	
						是□否□	
加工结果	合格□ 不合格□ 若不合格, 原因分析与改进措施如下:						

表 1-24 学习活动(计划)记录表(学生用表)

组号: _____ 班级: _____ 同组人姓名: _____ 日期: _____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序			
工作内容	难度	执行人	执行情况	备注
任务总体组织与实施				
确定加工工艺、规划刀具走刀路线				
编制刀具卡、工艺卡				
编写数控加工程序、填写程序清单				
课堂汇报				
自我评价、生生评价/小组评价表				

项目学习评价表

本项目学习过程中,可以采用表 1-25 至表 1-30 进行学习与考核评价,课程总评分表见附录。

表 1-25 学生自我评价表(学生用表)

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序		
评价项目	评价标准		
	优 8 ~ 10	良 6 ~ 8	中 4 ~ 6
1. 学习态度是否主动,是否能及时完成教师布置的各项任务			
2. 是否完整地记录探究活动的过程,收集的有关学习信息和资料是否完善			
3. 能否根据学习资料对项目进行合理分析,对所制订的方案进行可行性分析			
4. 是否能够完全领会教师的授课内容,并迅速掌握技能			
5. 是否积极参与各种讨论与交流,并能清晰地表达自己的观点			
6. 能否按照学习计划独立或合作完成学习任务			
7. 对学习过程中出现的问题能否主动思考,并使用现有知识进行解决,知道自身知识的不足之处			
8. 通过项目训练是否达到所要求的能力目标			
9. 是否树立了安全、环保意识与团队合作精神			
10. 工作过程中是否能保持整洁、有序、规范的工作环境			

续表

总评	
相对于前面学习项目，在本项目中学习了哪些新的知识与技能（学习增量）？是否已经掌握	没有掌握□ 基本掌握□ 熟练掌握□
本项目学会了哪些内容？简要总结本项目的学习过程	
学生自我反思学习过程，哪些方面有待于提高	
对教学过程有何建议	

表 1-26 生生评价 / 小组评价表（学生用表）

组号：_____ 班级：_____ 学号：_____ 姓名：_____ 日期：_____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序		
评价项目	评分标准		
	优	良	中
1. 语言精练，汇报与回答问题语言表述自然流畅（20 分）			
2. PPT 效果好，内容反映任务实施过程（10 分）			
3. 加工工艺合理，刀具轨迹规划正确合理，指令运用正确（20 分）			
4. 个人 / 小组精神风貌良好，认真对待所有提问，整体职业素养良好（20 分）			
5. 汇报与回答问题条理清晰，有理有据，知识与技能积累扎实，体现良好学习习惯（20 分）			
6. 在限定时间内完成汇报（10 分）			
总评			
学习建议		加分项：	

表 1-27 学习档案评价表 (教师用表)

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序			
评价要点	评价标准			
	优	良	中	差
与完成项目任务相关的材料是否收集齐全 (10 分)				
制订的项目工作计划是否及时, 质量如何 (10 分)				
项目 (任务) 学习档案是否完善, 完成情况如何 (20 分)				
项目实施过程中学习手记记录是否符合要求 (20 分)				
预习报告是否符合要求 (10 分)				
作业完成情况如何 (10 分)				
归档文件的条理性、整齐性、美观性 (20 分)				
总评				
改进意见	加分项:			

表 1-28 教师综合评价表 (教师用表)

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序			
评价项目	评分标准			
	优	良	中	差
1. 学习任务是否明确 (10 分)				
2. 学习过程是否呈上升趋势, 不断进步 (10 分)				
3. 是否能独立地获取信息, 资料收集是否完善 (10 分)				
4. 是否能认真总结、正确评价完成项目任务情况 (20 分)				
5. 能否清晰地表达自己的观点和思路, 及时解决问题 (10 分)				
6. 项目任务实施操作的表现如何 (20 分)				
7. 整体职业素养的确立与表现 (5 分)				
8. 工作环境的整洁有序与团队合作精神表现 (5 分)				
9. 每一项任务是否及时、认真完成 (10 分)				
总评				
改进意见	加分项:			
备注				

表 1-29 实操加工评分表 (教师用表)

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

任务名称	阶梯轴零件数控加工程序的编制与加工程序			
项目	评价内容	要求	分值	扣分
加工前 (20 分)	记录表格	设计合理	5	
		及时认真	5	
	着装	符合要求	5	
	进实训车间	准时	5	
加工中 (50 分)	机床设备、工量具	整洁有序	5	
	废纸、纸屑、杂物等	按规定处理	5	
	加工操作	态度认真	10	
		操作规范	10	
	原始记录	规范、及时	5	
		真实、无涂改	5	
	问题处理	及时解决	5	
		方法合理	5	
加工后 (30 分)	领用毛坯, 工量具	及时归还	5	
	加工后机床设备	清理	5	
	数据处理与记录	计算公式正确	5	
		计算结果正确	10	
		有效数字正确	5	

表 1-30 任务学习记录表 (学习手记)

组号: _____ 班级: _____ 学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____

学习活动过程记录	
重点内容记录	

