

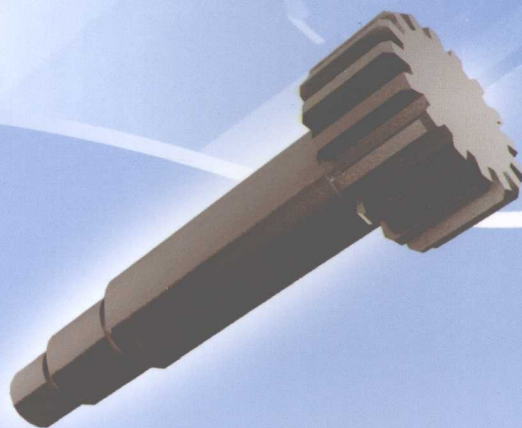


全国高职高专教育“十一五”规划教材

数控技术专业系列

数控车铣削加工 案例解析

余英良 杨德卿 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

数控车铣削加工案例解析

余英良 杨德卿 编著

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材余英良编著的《数控机床加工技术》的续篇,主要内容包
括:轴盘套类零件的数控车削加工案例解析,内、外形零件的数控铣削加工案例解析,配合类零件
的数控车铣削加工综合案例解析。

本书编写主要定位为培养岗位适应性较强的、需求量和紧缺性较大的、具有较强数控加工操作技能
和较丰富加工工艺知识的数控编程工艺人员。本书采用案例式教学模式,突出了学与训的综合、训与练
的结合、数控技术与加工工艺的结合、理论与实践的结合。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高
校数控技术专业的教材,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控车铣削加工案例解析/余英良,杨德卿编著. —北京:
高等教育出版社, 2008. 6

ISBN 978 - 7 - 04 - 021489 - 5

I. 数… II. ①余…②杨… III. ①数控机床: 车床 - 高
等学校: 技术学校 - 教学参考资料②数控机床: 铣床 - 高等
学校: 技术学校 - 教学参考资料 IV. TG519.1 TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067008 号

策划编辑 徐 进 责任编辑 查成东 封面设计 张志奇 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 金 辉 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 15.25
字 数 360 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 22.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21489 - 00

前 言

本书是余英良编著的《数控机床加工技术》教材的续篇，内容共分3章。第1章为数控车削加工案例解析，内容包括轴类零件、套类零件、盘类零件、合模零件的数控车削加工案例。第2章为数控铣削加工案例解析，内容包括应用直角坐标系进行加工控制的平面轨迹类零件，如单件零件和合模零件，应用极坐标系控制圆盘工作台进行旋转加工控制的平面轨迹类零件，如成形凸轮零件，以及控制数控分度头进行旋转加工控制的曲面轨迹类零件，如圆柱凸轮、凸轮结合器、螺旋横动凸轮零件的数控铣削加工案例。第3章为数控车铣削综合加工案例，如链轮、圆锥齿轮、圆筒凸轮零件，特别是滚道轴套零件，既是车削配合案例，又是铣削配合案例，同时还是数控车铣削综合加工的实际案例。

针对高等职业教育“突出实际技能操作培养”的要求，本书的编写顺序依次为：零件分析→工艺处理→零件装夹→刀具选择→工件坐标系设定→选定切削用量参数→确定加工工艺→编程参数计算→绘制工艺路线运行图→程序编制→(实际操作)零件装夹→安装刀具→对刀→确定数控系统辅助参数→试切→修正程序→正式加工→案例总结→案例思考。上述顺序按照不同的数控加工控制方式分别进行各类案例解析。

编写本书的另一目的在于检验学生对所学知识的综合理解与实际掌握应用。就学习阶段而言，学生所掌握的数控知识是离散的和相对独立的。如能将这些已经掌握的知识综合起来，达到融会贯通，就能形成数控加工的基本能力。实现这个目标的具体做法，就是可以在实际生产中进行应用的加工案例根据学生的理解重新整合，并将其编制的程序在数控仿真系统和数控机床上进行实际加工调试。这样既是对数控技术综合知识的复习总结和深化，同时还可以形成数控编程技术应用的课程设计，即将书中案例一分为二，前半部(到编制的程序在数控仿真系统上进行调试)为理论学习的课程设计，后半部(到加工出合格的案例零件)为实际操作的考核内容。

本书由余英良、杨德卿编著。第1章由杨德卿编写，第2、3章由余英良编写，全书由余英良统稿。本书由中国数控大赛评委，北京工业大学张超英审稿。天津天大精益数控技术有限公司对本书的编写给予了大力支持和帮助。本书在编写过程中参阅了大量国内外数控公司的资料、说明书。在此一并感谢。

限于编者水平，书中若有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

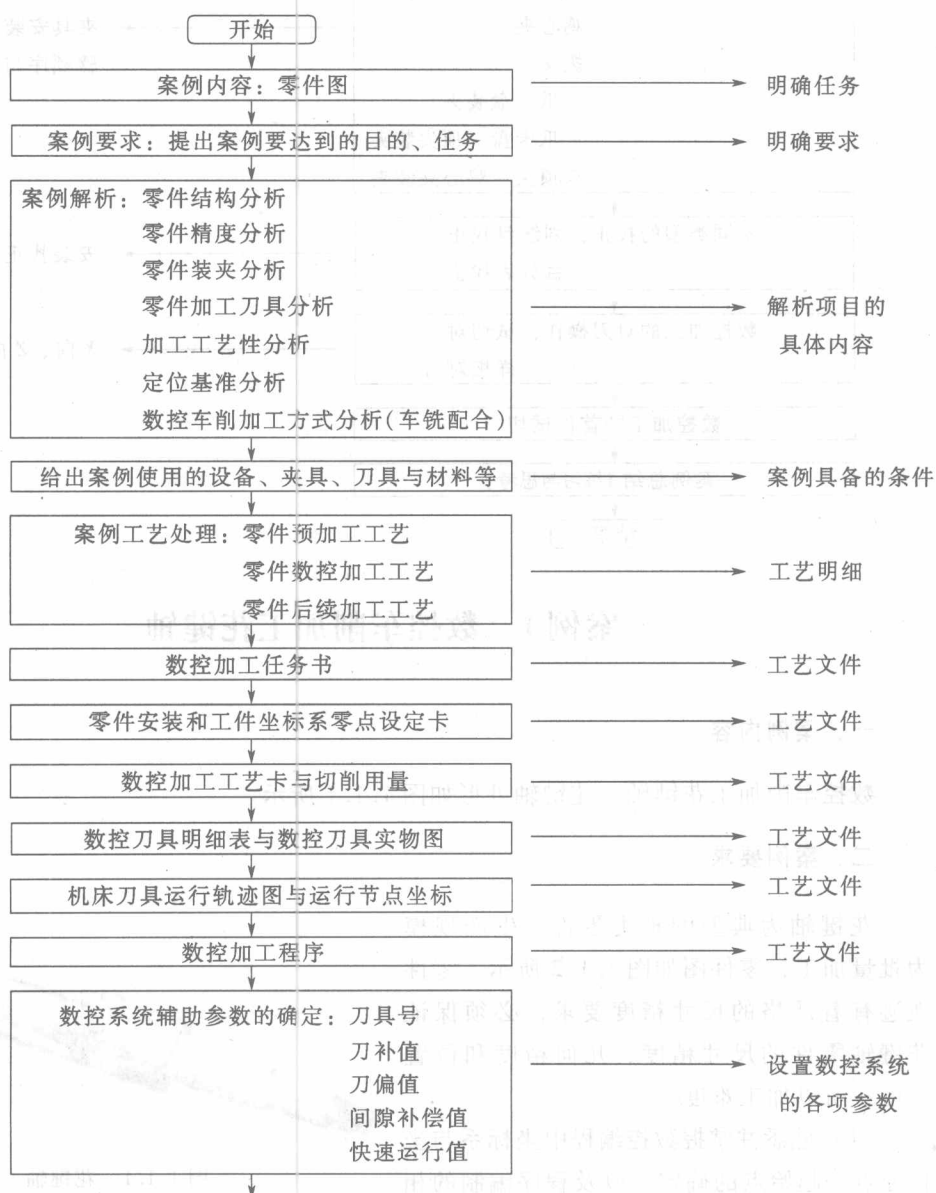
2008年4月

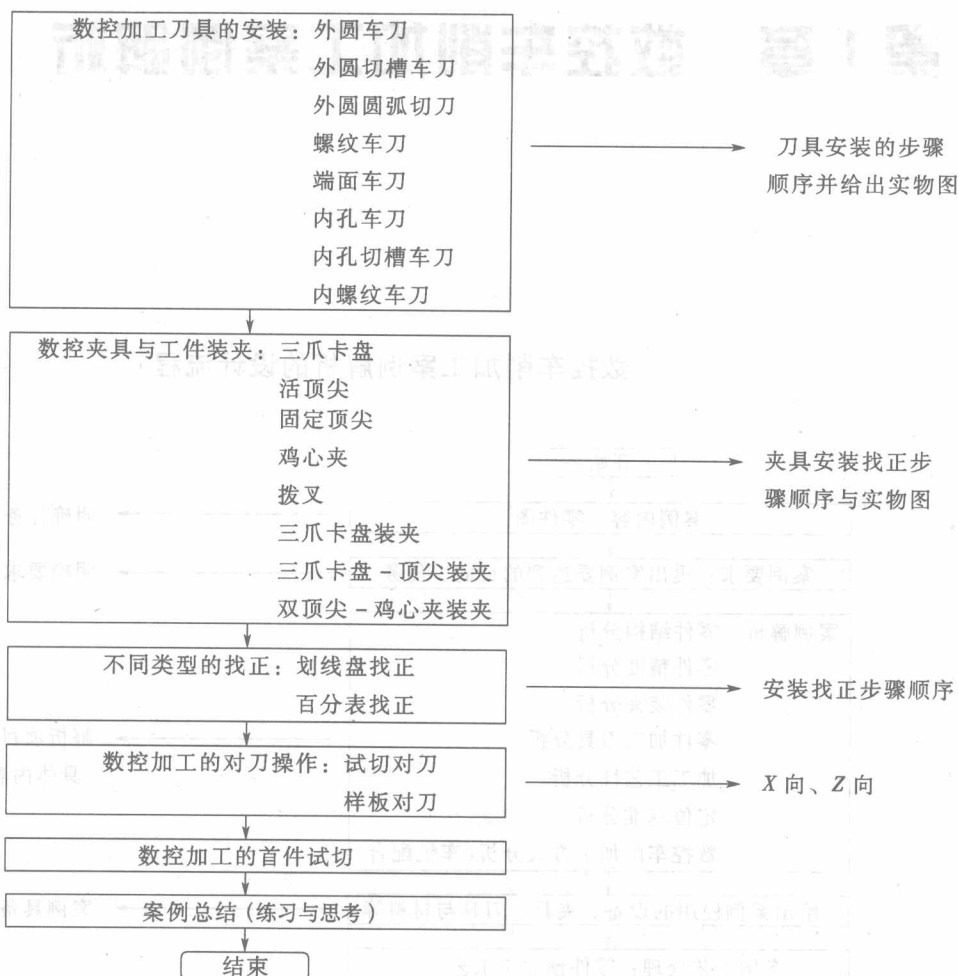
目 录

第1章 数控车削加工案例解析	1
案例1 数控车削加工花键轴	2
案例2 数控车削加工小主轴	19
案例3 数控车削加工蜗轮坯	35
案例4 数控车削加工轴承座	44
案例5 数控车削加工圆锥心轴套配合件	55
第2章 数控铣削加工案例解析	74
案例1 数控铣削加工十字型腔	75
案例2 数控铣削加工平板凸轮	92
案例3 数控铣削加工衣架模	106
案例4 数控铣削加工型腔	118
案例5 数控铣削加工成形凸轮	137
案例6 数控铣削加工圆柱凸轮	150
第3章 数控车铣削加工综合案例解析	169
案例1 数控加工链轮	169
案例2 数控加工滚道轴套	189
参考文献	236

第 1 章 数控车削加工案例解析

数控车削加工案例解析的设计流程





案例1 数控车削加工花键轴

一、案例内容

数控车削加工花键轴。花键轴外形如图 1.1.1 所示。

二、案例要求

花键轴为典型的轴类零件，生产规模为批量加工，零件图如图 1.1.2 所示。零件轨迹有着严格的尺寸精度要求，必须保证花键轴零件的尺寸精度、几何精度和位置精度，所以加工难度大。

(1) 熟悉并掌握数控编程中坐标系与坐标原点、起始点的确定，以及程序编制的相

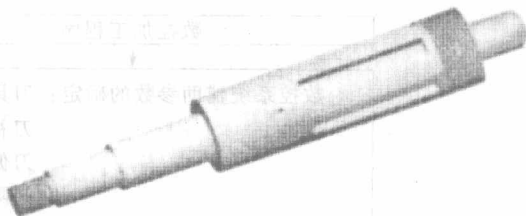


图 1.1.1 花键轴

关知识。从手工编程的角度出发,掌握和运用加工运行轨迹和编程节点尺寸的数学计算。

(2) 说明程序中使用的工件装夹、刀具类型、加工工艺、数控粗、精加工的内容和先后顺序。

(3) 画出数控加工走刀路线图,注意刀具切入和切出的方法。

(4) 编制数控车削加工程序。

(5) 掌握刀具、夹具的装夹与数控加工对刀等实际操作。

三、案例解析

1. 零件加工工艺分析

(1) 结构分析

在数控车削加工中,零件车削加工成形轮廓的结构形状并不复杂,但零件的尺寸精度尤其是零件的几何精度要求较高。

(2) 精度分析

参见图 1.1.2。在数控车削加工中,零件重要的径向加工部位有: $\phi 20_{-0.013}^0$ mm 圆柱段; $\phi(25 \pm 0.0065)$ mm 圆柱段; $\phi 30_{-0.04}^{-0.02}$ mm 花键圆锥段; $\phi(20 \pm 0.0065)$ mm 圆柱段。零件重要的轴向加工部位有:零件右端 $\phi 30.5$ mm 花键圆柱段的轴向长度为 $90_{-0.2}^0$ mm;零件右端 $\phi 30$ mm 与零件左端 $\phi 20$ mm 圆柱段的轴向长度全长为 (200 ± 0.20) mm。由上述尺寸可以确定,零件的轴向尺寸应该以零件右端面为准。

(3) 零件装夹与定位基准分析

参见图 1.1.2。在数控粗车加工中,该零件可以利用零件左、右端 $\phi 20$ mm 的外圆柱段与 B 型中心孔,采用三爪自动定心卡盘一夹一顶的装夹定位方式进行零件的装夹定位;在数控精车加工中,利用该零件两端 B 型中心孔和完成粗加工的 $\phi 20$ mm 的外圆柱段,采用双顶尖-鸡心夹的装夹方式进行零件的装夹定位。零件轴向的定位基准均选择在 $\phi 28.6$ 外花键圆柱段的右端面。

(4) 加工刀具分析

参见图 1.1.2。在该零件的数控车削加工中,为保证零件加工轨迹的连续性,零件外圆部位的粗、精加工使用主偏角 $K_r = 93^\circ$ 外圆精车车刀,零件空刀槽部位加工使用 $B = 2$ mm 切槽车刀,零件的密封槽部位使用 $B = 1.3$ mm 切槽车刀,零件螺纹部位加工使用螺纹车刀,就可满足加工所需。

由零件加工的上述工艺分析,确定案例加工使用的设备、辅具与材料如下:

- 1) 案例加工选择在 FANUC 数控系统的数控车床上进行。
- 2) 配备零件毛坯 1 件。毛坯材料为 45 钢;毛坯尺寸为 $\phi 35$ mm $\times$ 272 mm。
- 3) 配备三爪自动定心卡盘、双顶尖、鸡心夹等相关装夹辅具。
- 4) 配备:中心钻($B2.5$ mm)1 支;
外圆精车车刀(正刀,主偏角 $K_r = 93^\circ$, $K'_r = 3^\circ$ 、刀尖圆弧半径 $R2$)1 把;
切槽车刀(刀刃宽 $B = 2$ mm)1 把;
切槽车刀(刀刃宽 $B = 1.3$ mm)1 把;
螺纹车刀 1 把。

2. 工艺处理



图 1.1.2 花键轴零件图

在生产实际中，大部分零件的加工往往是以混合工艺的形式来进行编制的。

(1) 数控加工前的零件预加工

目的是为数控车削加工工序提供可靠的装夹工艺基准。其工艺内容如下：

- 1) 零件左、右端面钻打 B2.5 mm 中心孔；
- 2) 调质处理。

(2) 数控车削加工

其工艺内容见下述数控工艺文件。

(3) 零件的后续加工

1) 画线(零件键槽部位)；2) 立式铣床铣削加工键槽；3) 卧式铣床铣削加工花槽(使用分度头装夹零件)。

3. 数控车削加工工艺文件

(1) 数控车削加工的数控编程任务书，见表 1.1.1。

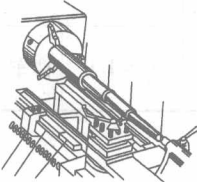
表 1.1.1 数控编程任务书 年 月 日

××××××× 工艺处	数控编程任务书	产品零件图号		任务书编号
		零件名称	花键轴	*****
		使用数控设备	数控车床	共 1 页第 1 页
主要工艺说明及技术要求：				
1. 数控车削加工零件上各部位轨迹曲线尺寸的精度达到图纸要求。数控车削加工要求分为粗车加工和精车加工进行。详见产品工艺卡片。				
2. 技术要求见零件图				
收到编程时间		月 日		经手人
编制		审核		批准

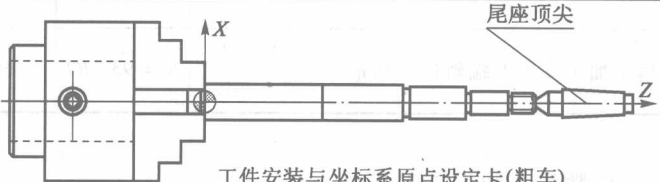
(2) 数控车削加工时的零件装夹安装方式

为了保证加工精度，零件分为粗车加工和精车加工。粗车加工时采用三爪自动定心卡盘分两次掉头装夹零件，工件粗车加工安装(示意图)和工件坐标系原点设定卡见表 1.1.2。精车加工时采用双顶尖一拨盘、鸡心夹方式装夹零件，工件精车加工安装示意图和工件坐标系原点设定卡见表 1.1.2。

表 1.1.2 数控加工工件安装和工件坐标系原点设定卡 年 月 日

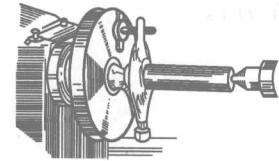


示意图

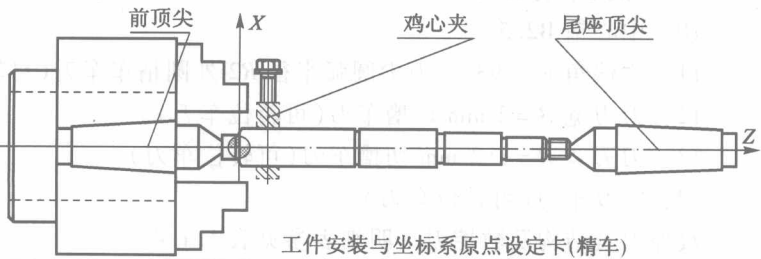


尾座顶尖

工件安装与坐标系原点设定卡(粗车)



示意图



前顶尖

鸡心夹

尾座顶尖

工件安装与坐标系原点设定卡(精车)

(3) 数控车削加工工序

数控加工分粗车加工和精车加工进行,其工序如下:

1) 粗车加工 I: 使用主偏角 $K_r = 93^\circ$ 、刀尖圆弧半径 $R2$ 外圆精车车刀,车削加工零件左端各部位外圆形面与所在端面。加工后零件各部位均留精车余量 1 mm (单边)。数控加工工艺卡及切削用量选择见表 1.1.3。

2) 粗车加工 II: 零件掉头重新安装装夹定位后,使用主偏角 $K_r = 93^\circ$ 、刀尖圆弧半径 $R2$ 外圆精车车刀,车削加工零件右端各部位外圆形面与所在端面。加工后零件各部位均留精车余量 1 mm (单边)。数控加工工艺卡及切削用量选择见表 1.1.3。

3) 精车加工 I: 使用主偏角 $K_r = 93^\circ$ 、刀尖圆弧半径 $R2$ 外圆精车车刀, $B = 1.3\text{ mm}$ 、 $B = 2\text{ mm}$ 切槽车刀,精车加工零件右端各部位外圆形面与所在端面达到要求。数控加工工艺卡及切削用量选择见表 1.1.3。

4) 精车加工 II: 零件掉头重新安装装夹定位后,精车加工零件左端各部位外圆形面与所在端面以及螺纹、切槽达到要求。数控加工工艺卡及切削用量选择见表 1.1.3。

表 1.1.3 数控加工工艺卡

年 月 日

工序号	工序内容	加工面	刀具号	刀具规格	主轴转速 $/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	进给速度 $/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	背吃刀量 $/\text{mm}$	备注
1	零件两端打 B 型中心孔		T0	中心钻 B2.5	475	120		
2	粗车加工零件左端外形轨迹		T1	$K_r = 93^\circ R2$	475	120	$a_p = 2.5$	粗车
3	粗车加工零件右端外形轨迹		T1	$K_r = 93^\circ R2$	475	120	$a_p = 2.5$	粗车
4	精车、研磨 B 型中心孔		T0	中心钻 B2.5	475	60		
5	精车加工零件右端外形轨迹		T1、T3	$K_r = 93^\circ R2$	600	80	$a_p = 1.0$	精车
6	精车加工零件左端轨迹、切槽		T1、T2、 T4	$K_r = 93^\circ R2$	600	80	$a_p = 1.0$	精车

(4) 数控车削加工刀具

T0: 中心钻 B2.5

T1: 主偏角 $K_r = 93^\circ$ 、刀尖圆弧半径 $R2$ 外圆精车车刀(可转位车刀)。

T2: 刀刃宽 $B = 2\text{ mm}$ 切槽车刀(可转位车刀)。

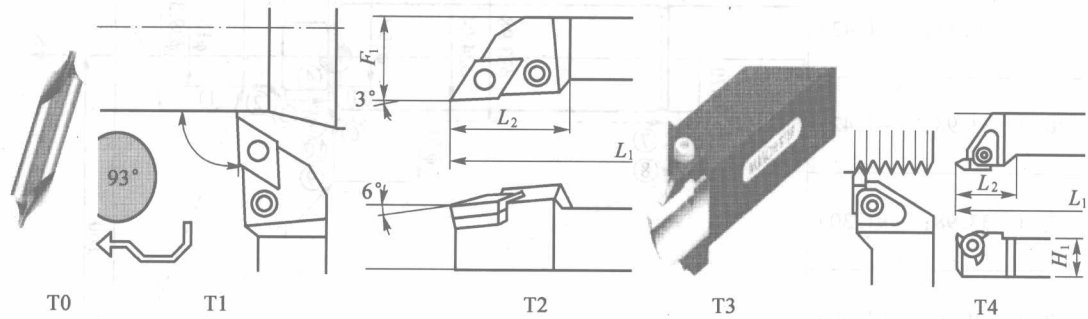
T3: 刀刃宽 $B = 1.3\text{ mm}$ 切槽车刀(可转位车刀)。

T4: 螺纹车刀(可转位车刀)。

数控刀具结构及数控刀具明细表参见表 1.1.4。

表 1.1.4 数控刀具结构及明细表

刀具号	刀位号	刀具名称	刀具图号	刀 具			刀 补 地 址		换刀方式	加工部位
				规格		长度	直径	长度	自动/手动	
				设定	补偿	设定				
T0		中心钻		B2.5					手动	零件两端
T1	1	外圆车刀		$K_r = 93^\circ$		85			自动	零件外形
T2	2	切槽车刀		$B = 2$		105			自动	零件外形
T3	3	切槽车刀		$B = 1.3$		105			自动	零件左端
T4	3	螺纹车刀				85			自动	零件左端



(5) 加工用量的选择与确定

数控粗车加工中，每次切削进给选择背吃刀量 2.5 mm(单边)，分数次切削进行粗车加工。加工后零件各部位均留精车余量 1 mm(单边)。数控粗、精车加工主轴转速与进给速度选择参见表 1.1.3。

(6) 编程参数的计算

由于零件车削加工的形状比较简单，由图 1.1.2 就可直接得到数控精车加工编程所需尺寸。

(7) 机床刀具轨迹节点坐标与零件加工的轨迹运行图

数控精车加工的轨迹运行图见表 1.1.5(精车加工零件右端)、表 1.1.6(精车加工零件左端)。数控粗车加工的轨迹运行图见表 1.1.7(粗车加工零件左端)、表 1.1.8(粗车加工零件右端)。

表 1.1.5 机床刀具运行轨迹图

年 月 日

刀具号	T1 T3	精车加工零件右端外形轨迹曲线	
刀具长度			
A (200.00; 60.00)			
① (16.00; 25.00)			
② (16.00; 17.83)			
③ (24.40; 13.83)			
④ (24.40; 1.42)			
⑤ (29.33; 1.42)			
⑥ (33.98; -1.42)			
⑦ (33.98; -91.30)			
⑧ (70.00; -91.30)			
⑨ (70.00; 0.00)			
⑩ (33.98; 0.00)			
⑪ (19.60; 0.00)			
A (200.00; 60.00)			
备注		表中各点坐标: X 向、Z 向为绝对坐标值	

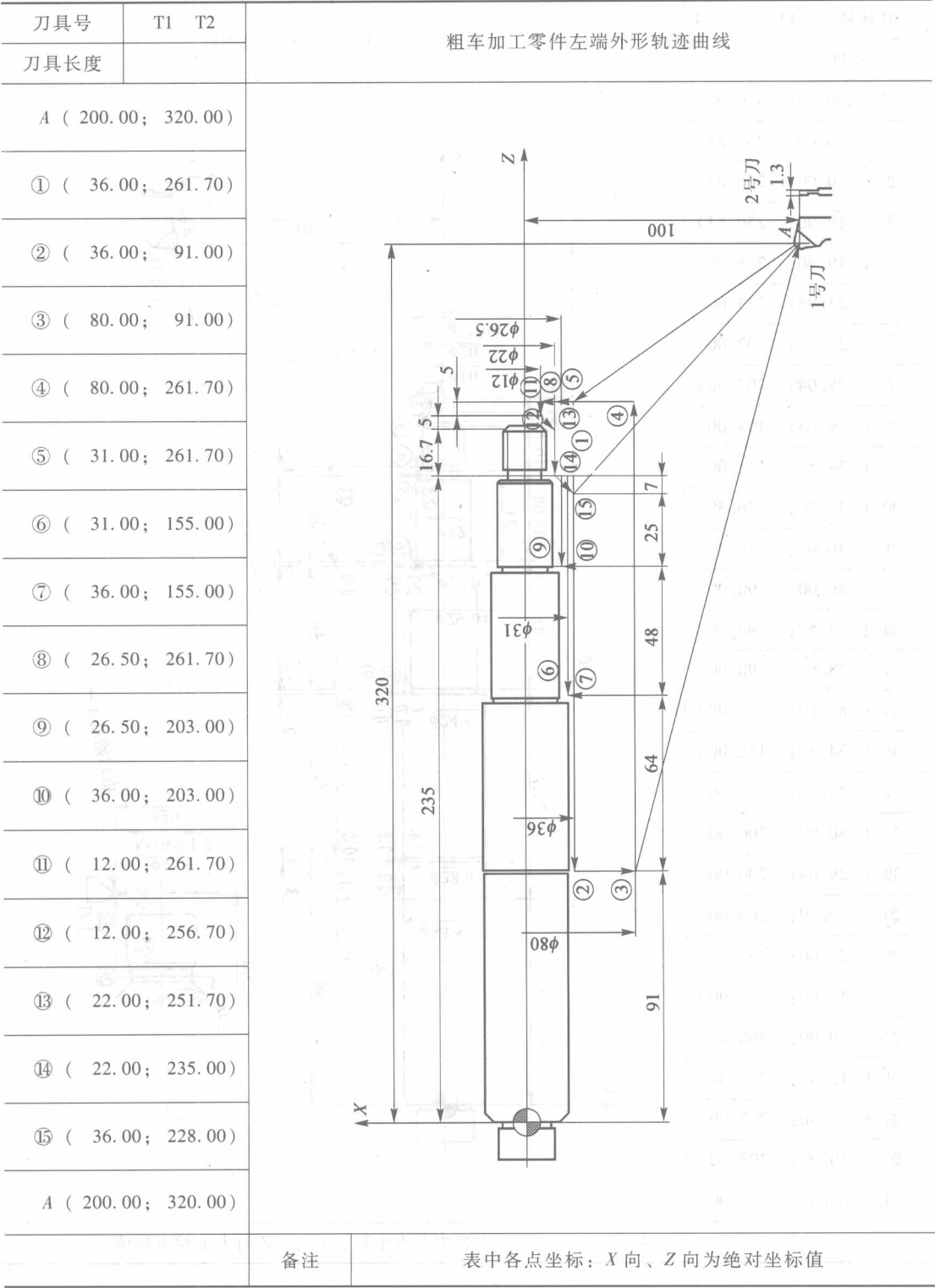
表 1.1.6 机床刀具运行轨迹图

年 月 日

刀具号	T1	T2	T4	精车加工零件左端外形轨迹曲线
刀具长度				
A (200.00; 320.00)				
① (10.00; 261.83)				
② (10.00; 256.83)				
③ (19.90; 250.83)				
④ (19.90; 235.08)				
⑤ (23.95; 233.00)				
⑥ (23.95; 202.00)				
⑦ (29.04; 202.00)				
⑧ (29.04; 154.00)				
⑨ (34.50; 154.00)				
⑩ (34.50; 76.30)				
⑪ (80.00; 76.30)				
⑫ (80.00; 90.00)				
⑬ (34.50; 90.00)				
⑭ (28.60; 90.00)				
⑮ (80.00; 152.00)				
⑯ (34.50; 152.00)				
⑰ (24.60; 152.00)				
⑱ (80.00; 200.00)				
⑲ (29.04; 200.00)				
⑳ (19.60; 200.00)				
㉑ (24.00; 233.00)				
㉒ (12.00; 233.00)				
㉓ (30.00; 260.00)				
㉔ (13.40; 260.00)				
㉕ (13.40; 202.00)				
㉖ (30.00; 202.00)				
A (200.00; 320.00)				
备注		表中各点坐标：X 向、Z 向为绝对坐标值		

表 1.1.7 机床刀具运行轨迹图

年 月 日

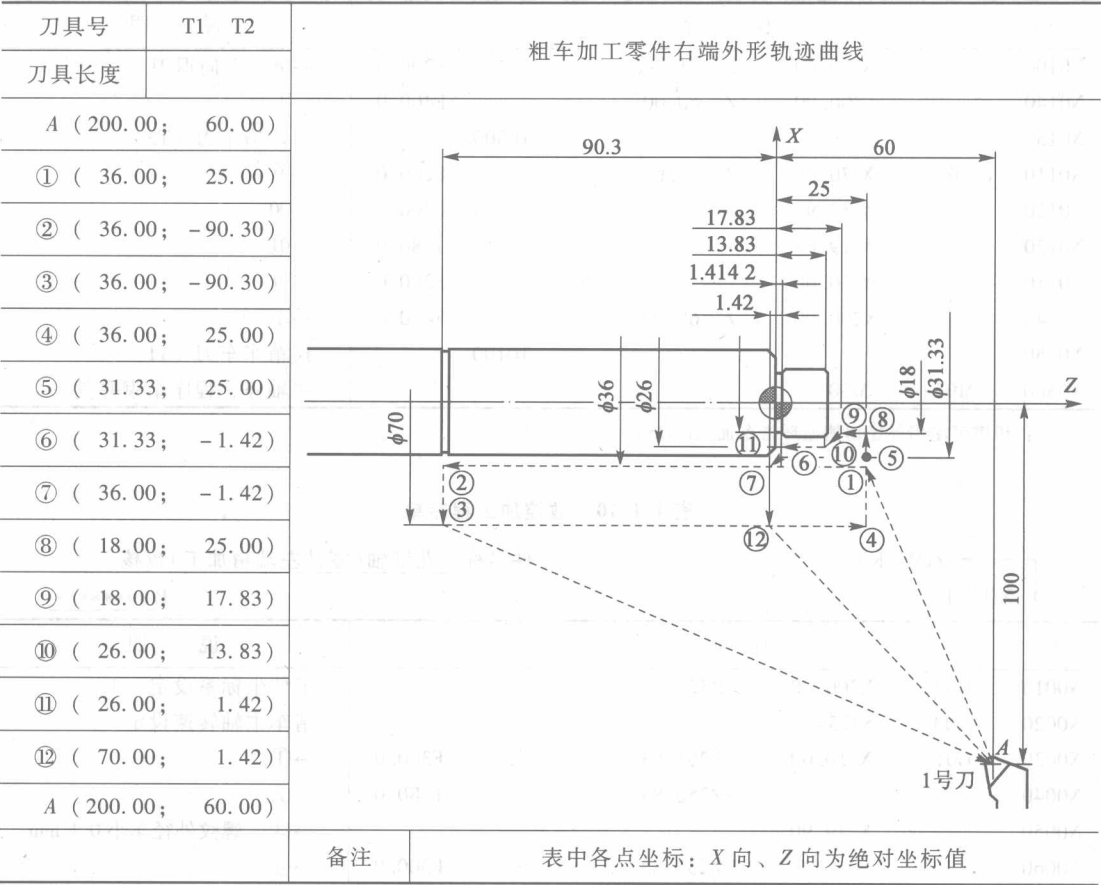


备注

表中各点坐标：X 向、Z 向为绝对坐标值

表 1.1.8 机床刀具运行轨迹图

年 月 日



(8) 程序编制

零件右端精车加工程序清单见表 1.1.9，零件左端精、粗车加工程序清单见表 1.1.10、表 1.1.11，零件右端粗车加工程序清单见表 1.1.12。

表 1.1.9 数控加工程序单

Z(W、K) X(U、I)				零件名称 花键轴(零件右端精加工)校核	
				P*****	
程 序				说 明	
N0010	G50	X200.00	Z 60.0	工件坐标系设定 A	
N0020	M03	S750		精车主轴转速设定	
N0030	G01	X 16.00	Z 25.00	F300.0	→①
N0040			Z 17.83	F 80.0	→②
N0050		X 24.40	Z 13.83		→③
N0060			Z 1.42		→④
N0070		X 29.33			→⑤
N0080		X 33.98	Z -1.42		→⑥
N0090			Z -91.30		→⑦

程 序					说 明
N0100		X 70.00	Z - 91.30	F200.0	→⑧ X 向退刀
N0140		X200.00	Z 60.00	F400.0	→A
N0150				T0300	换切槽车刀 (T3)
N0110	G01	X 70.00	Z 0.00	F200.0	→⑨
N0120		X 33.98		F200.0	→⑩
N0130		X 19.60		F 80.0	→⑪
N0110		X 70.00		F200.0	→⑨
N0140		X200.00	Z 60.00	F400.0	→A
N0550				T0100	换精车车刀 (T1)
N0560	M05	M30			主轴停, 程序结束并复位

注：切槽可使用外径切槽循环指令加工 (G75)。

表 1.1.10 数控加工程序单

→ Z(W、K)

↓ X(U、I)

零件名称 花键轴 (零件左端精加工) 校核

P *****

程 序					说 明
N0010	G50	X200.00	Z320.0		工件坐标系设定 A
N0020	M03	S475			精车主轴转速设定
N0030	G01	X 10.00	Z261.83	F300.0	→①
N0040			Z256.83	F 80.0	→②
N0050		X 19.90			→③ 螺纹外径车小 0.1 mm
N0060			Z235.83	F300.0	→④
N0070		X 23.95	Z233.00	F 80.0	→⑤
N0080			Z202.00		→⑥
N0090		X 29.04			→⑦
N0100			Z154.00		→⑧
N0110		X 34.50			→⑨
N0120			Z 76.30		→⑩
N0130		X 80.00			→⑪
N0140			Z320.00	F400.0	→A
N0150				T0300	换切槽车刀 (T3)
N0160	G01	X 80.00	Z 90.00	F300.0	→⑫
N0170		X 34.50		F200.0	→⑬
N0180		X 28.60	Z 90.00	F 80.0	→⑭
N0190		X 80.00		F200.0	→⑫
N0200		X200.00	Z320.00	F400.0	→A
N0210				T0200	换切槽车刀 (T2)
N0220	G01	X 80.00	Z152.00	F300.0	→⑮
N0230		X 34.50		F200.0	→⑯
N0240		X 24.60		F 80.0	→⑰
N0250		X 80.00		F200.0	→⑮