# 轴类零件矩形槽的数控加工与工艺设计

陈巍
上海市大众工业学校　上海　201899

**摘要**：介绍数控车削中轴类零件矩形槽的加工方法，在工艺设计中突出矩形槽切削参数和编程思路，结合编程指令或编程软件灵活切换切槽刀的两个刀尖进行切槽加工。

**关键词**：轴类零件；矩形外沟槽；数控车床；刀具；编程；工艺设计

## 1　序言

在数控车床上加工轴类零件时，常会遇到外圆轴肩和内孔台阶的内外矩形沟槽加工、端面槽加工及内外圆弧沟槽加工等[1]。沟槽设计是机械零件设计中的重要方面，其与零件的力学性能、装配便利性以及整个机构的工作效率和可靠性息息相关[2]，各类槽在不同机构中担负着不同的使命。常见的槽类型有内外矩形沟槽、内外梯形沟槽、端面沟槽、内外圆弧沟槽及各类异形沟槽等。

沟槽轴类零件的加工关键在于制定加工工艺。编程人员必须结合零件图样对各类槽先进行识别，再设计加工工艺路线，进而制定零件加工工艺，编写加工程序（包括正确选择加工切削参数），准备工量具等。

图1所示为沟槽轴类零件加工图样，对于编程人员来说，要先进行零件图样分析，形成加工工艺思路，再编制零件加工程序，因而加工工艺方案是零件生产的先行者，是零件生产前的指导性文件。

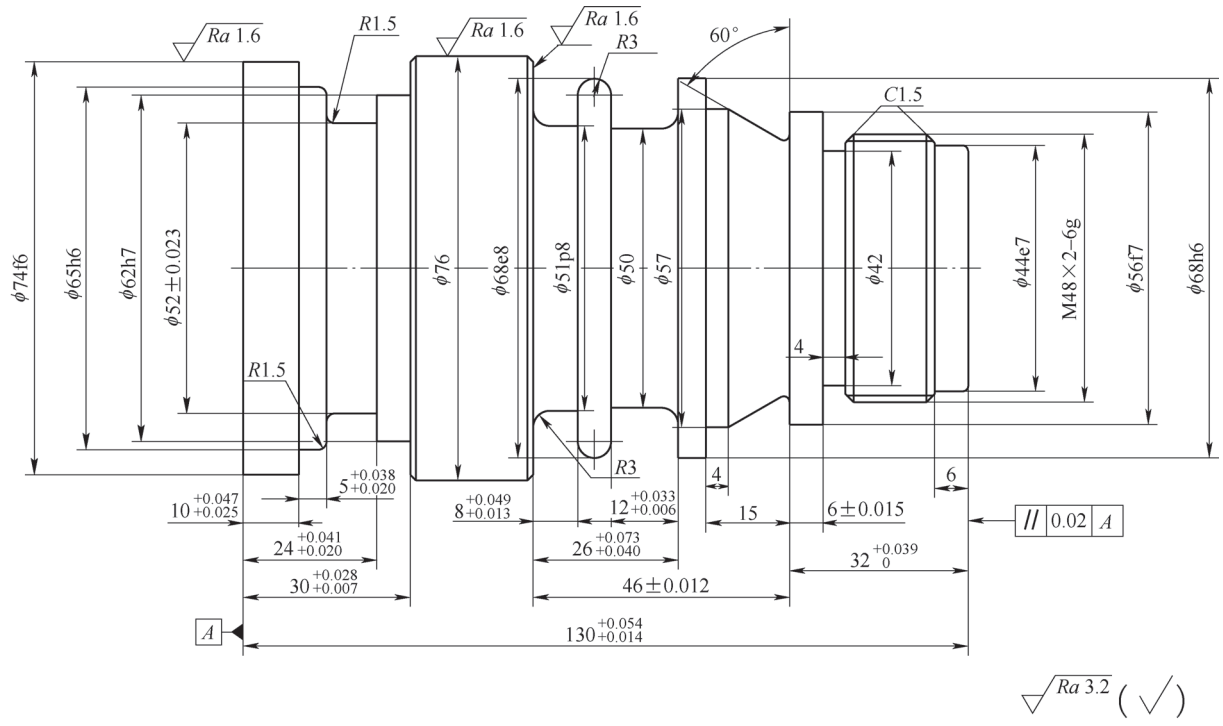


图1　沟槽轴类零件

## 2　零件图样分析

图2所示零件外形比较复杂，由外圆、矩形外沟槽和外螺纹构成，其中矩形外沟槽结构主要有4处，可以用不同的加工工艺思路实现图样的加工要求。4处矩形外沟槽均可采用机夹式外切槽刀加工成形，为保证端面平行度的位置精度，调头加工零件右端轮廓时可运用软爪进行装夹，既可以保证平行度要求，又可以保证零件装夹稳定性、可靠性和零件表面粗糙度要求。

图2　零件轴测图

## 3　制定加工方案

图2所示零件需要两次装夹完成加工。零件左端外轮廓形状加工工艺路线设计如图3所示，第一次装夹先加工零件左端外圆和矩形外沟槽，数控车床按照右偏刀加工工艺路线$A→B→C→D→E→F→G$加工$\phi$74mm、$\phi$62mm和$\phi$76mm外圆，按照左偏刀加工工艺路线1→2→3→4→5加工$\phi$62mm、$\phi$65mm外圆，形成如图4所示外轮廓形状，其中剖面线部分为零件左端矩形外沟槽的加工内容，通过外切槽刀加工最终完成零件左端轮廓形状（见图5）。

零件右端外轮廓形状加工工艺路线设计如图6所示。第二次装夹是调头用软卡爪装夹$\phi$76mm外圆，

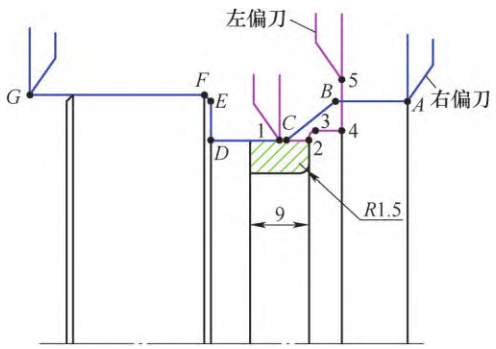


图3　零件左端外轮廓形状加工工艺路线设计

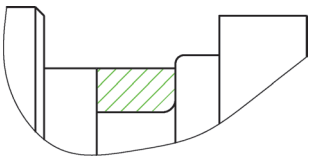

图4　零件左端外轮廓形状

图5　零件左端外轮廓实体形状

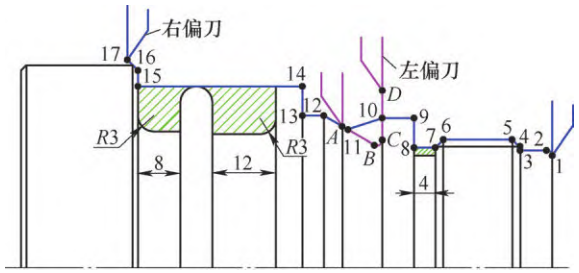


图6　零件右端外轮廓形状加工工艺路线设计

打表找正，保证平行度的精度要求后，再加工零件右端外圆、矩形外沟槽和外螺纹。数控车床按照右偏刀加工工艺路线1→2→3→4→5→6→7→8→9→10→11→12→13→14→15→16→17，左偏刀加工工艺路线$A→B→C→D$加工零件右端外轮廓，形成的3处剖面线部分为零件右端矩形外沟槽的加工内容，矩形外沟槽加工完毕后加工外螺纹，即完成零件的加工，实物如图7所示。

图7　零件实物

## 4 确定加工工艺

本案例重点研究矩形外沟槽的加工工艺。

### 4.1 刀具的选择与安装

工件材料为45钢，刀具的选择应根据零件的形状、尺寸及表面质量要求，由于刀具材料对加工质量、加工效率有直接影响，因此选择硬质合金材料机夹式外切槽刀，如图8所示，刀宽为3mm，用于加工左端槽宽为9mm、右端槽宽为8mm及12mm的矩形外沟槽和4mm的螺纹退刀槽。

图8 机夹式外切槽刀

安装刀具时，为增加刀具刚性，刀具伸出长度应尽可能短。当刀具刀尖高于工件轴线时，切削深度达到一定深度后，工件上的过渡表面与刀具后刀面会发生干涉，摩擦力急剧增大，切削力增大，此时刀具会出现啃刀现象；当刀具刀尖低于工件轴线时，切屑不易排出，也会出现啃刀现象，因而一定要严格将外切槽刀刀尖装得与工件轴线等高，即刀具主切削刃与工件轴线等高，且应平行于工件轴线。

### 4.2 确定刀具路径

（1）确定对刀点 本案例以后置式刀架为准，矩形外切槽刀均用左刀尖进行对刀，第一次装夹对刀时，工件坐标系原点设置在零件左端面中心；第二次装夹对刀时，工件坐标系原点设置在零件右端面中心。

（2）确定换刀点 为了保障换刀安全，不发生碰撞或干涉，应尽可能缩短空行程距离，以提高工作效率，故两次装夹零件加工时的换刀点坐标设置为*X*100、*Z*100。

（3）选择加工路径 图1所示沟槽轴类零件有3处是深槽且宽槽类的矩形外沟槽，此3处槽宽、槽底直径、槽位置精度及表面粗糙度要求比较高。由于槽比较深，所以切槽过程中可能会因切屑排出不顺畅，使刀具前面压力很大而出现扎刀或断刀情况，建议采用径向分层进刀方法，即刀具切入一定量后停止进刀并径向退刀，以达到断屑、排屑的目的[3]；同时，3处矩形外沟槽槽宽远大于外切槽刀刀宽，建议采用排刀加工方法先进行粗车，再进行精车，而精车时往往是从槽的一侧车削到槽底，再从槽底车削到槽的另一侧，最终沿着侧面退刀。“径向分次进刀+排刀加工”解决了深而宽矩形外沟槽的粗加工问题，而G75指令正好能满足这一加工方法。第4处的螺纹退刀槽属于简单槽，加工精度要求比较低，采用G01指令编程加工完成即可。

（4）零件左端矩形外沟槽的加工路径 如图9所示，矩形外沟槽槽宽、槽底直径、槽位置精度及表面粗糙度要求比较高，粗加工时分别在两侧面及槽底预留0.5mm精加工余量，采用G75指令完成粗加工轮廓。槽底有*R*1.5mm圆角，精加工时采用外切槽刀右刀尖建立刀尖圆弧半径补偿来保证精加工轮廓尺寸，刀尖方位号为4，刀具补偿方向为G41。

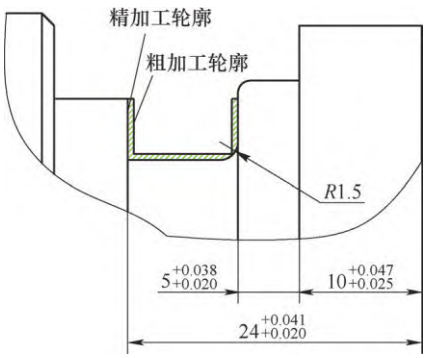


图9 零件左端矩形外沟槽的加工路径

（5）零件右端矩形外沟槽的加工路径 如图10所示，矩形外沟槽槽宽、槽底直径、槽位置精度及表面粗糙度要求比较高，考虑到槽底有*R*3mm的圆角，尺寸比较大，粗加工时在侧面1、侧面4及槽底预留1mm精加工余量，侧面2、侧面3留0.5mm精车余量，采用G75指令完成粗加工轮廓。精加工分两次进行，槽底及中间凸起有*R*3mm圆角，采用外切槽刀左刀尖加工粉色轮廓，建立刀尖圆弧半径补偿保证精加工轮廓尺寸，刀尖方位号为3，刀具补偿方向为G42；右刀尖加工蓝色轮廓，建立刀尖圆弧半径补偿保证精加工轮廓尺寸，刀尖方位号为4，刀具补偿方向为G41。为便于测量$\phi$68mm尺寸，在加工中间凸起轮廓时，人为添加0.2mm长度的圆柱外表面。

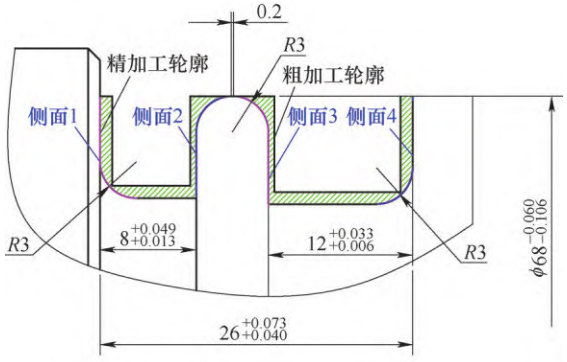


图10　零件右端矩形外沟槽的加工路径

## 5　G75指令功能说明

为了使编程简化，发那科数控系统专门为径向槽循环加工设计了循环加工指令G75，如图11所示，其中*W*表示槽终点相对槽起点在*Z*方向的增量值，*U*表示槽终点相对槽起点在*X*方向的增量值。该指令的设计确实可以简化编程，使程序长度大大缩短[4]。

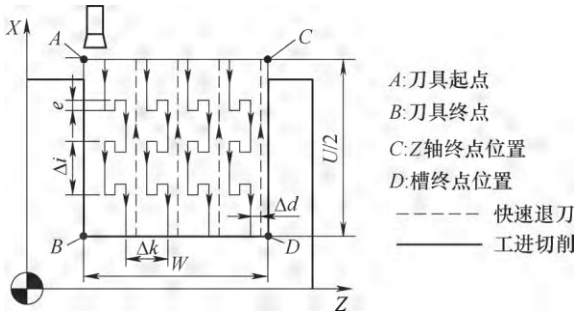


图11　径向槽复合循环G75指令刀具路径

指令格式如下。

G75 R（e）；

G75 X(U)__Z(W)__P（Δi） Q（Δk） R（Δd） F__；

其中，*e*为分层切削每次退刀量，半径值（mm）；*X*（*U*）、*Z*（*W*）为槽底位置坐标；Δ*i*为*X*向每次的切入量，半径值（μm），无正负、无小数点；Δ*k*为*Z*向每次的切削量（μm），无正负、无小数点；Δ*d*为*Z*向退刀量（μm），一般取0，以免断刀，省略时则视为0；*F*为进给量（mm/r）。

## 6　程序编制

### 6.1　零件左端矩形外沟槽的加工程序

零件左端矩形外沟槽加工选用机夹式、硬质合金材料外切槽刀，安装在3号刀位，刀宽3mm，用左刀尖进行对刀，将刀具偏置量放在03号补偿地址中，根据刀宽计算右刀尖的刀具偏置量，并将偏置量放在04号补偿地址中。

1）零件左端矩形外沟槽粗加工程序如下。

O0001；程序名

T0303；选用3号刀位的外切槽刀，调用03号刀补

M04 S500；后置刀架，主轴反转，转速500r/min

G00 X78. Z2. M08；刀具快速运动到（*X*78，*Z*2），切削液开

Z-23.5；快速定位至切槽起点

G75 R1.；设置径向槽循环粗加工径向退刀量

G75 X53. Z-18.5 P2000 Q2500 F0.1；设置径向槽循环粗加工时各加工参数

G00 Z100. M09；*Z*向快速退回，切削液关闭

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

2）零件左端矩形外沟槽精加工（见图12）程序如下。

图12　零件左端矩形外沟槽精加工

O0002；程序名

T0304；选用3号刀位的外切槽刀，调用04号刀补

M04 S550；主轴反向转动，转速550r/min

G00 X78. Z2. M08；刀具快速移动到定刀位置（*X*78，*Z*2），切削液开

Z-24.；刀具快速移动到定刀点

G01 G41 X74. Z-21. F0.3；刀具移动到加工起点，建立左补偿

X52. F0.1；加工槽底直径

Z-16.5；按轮廓加工槽底外圆

G03 X55. Z-15. R1.5；加工槽底*R*1.5mm圆角

G01 X78.；*X*向退刀

G00 G40 Z100. M09；*Z*向快速退回，切削液关闭，取消

刀具左补偿

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

### 6.2 零件右端矩形外沟槽的加工程序

零件右端矩形外沟槽加工也选用机夹式、硬质合金材料外切槽刀，安装在3号刀位，刀宽3mm，用左刀尖进行对刀，将刀具偏置量放在05号补偿地址中，根据刀宽计算右刀尖的刀具偏置量，并将偏置量放在06号补偿地址中。

1）零件右端螺纹退刀槽加工（见图13）的程序如下。

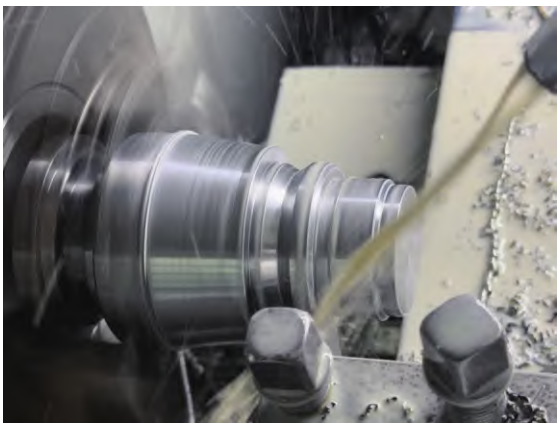

图13 零件右端螺纹退刀槽加工

O0006；程序名

T0305；选用3号刀位的外切槽刀，调用05号刀补

M04 S500；主轴反转，转速500r/min

G00 X49. Z2. M08；刀具快速移动到（*X*49，*Z*2），切削液开

Z-25.5；快速定位至加工起点

G01 X41.5 F0.1；加工槽底直径（槽底留0.5mm精加工余量）

X49.；*X*向退刀

Z-26.；*Z*向移动到槽加工起始点

X42.；加工槽底直径

Z-25.；精车槽底外圆并保证槽宽

X49.；*X*向退刀

G00 Z100. M09；*Z*向快速退回，切削液关闭

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

2）零件右端矩形外沟槽粗加工（见图14）程序如下。

图14 零件右端矩形外沟槽加工

O0003；程序名

T0305；选用3号刀位的外切槽刀，调用05号刀补

M04 S500；主轴反向旋转，转速500r/min

G00 X70. Z2. M08；刀具快速运动到定刀位置（*X*70，*Z*2），切削液开

Z-77；快速定位至第一个槽切槽起点

G75 R1.；设置径向槽循环粗加工径向退刀量

G75 X53. Z-73.5 P2000 Q2500 F0.1；设置径向槽循环粗加工时各加工参数

G00 Z-63.5；快速定位至第二个槽切槽起点

G75 R1.；设置径向槽循环粗加工径向退刀量

G75 X52. Z-55.5 P2000 Q2500 F0.1；设置径向槽循环粗加工时各加工参数

G00 Z100. M09；*Z*向快速退回，切削液关闭

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

3）零件右端矩形外沟槽精加工包括两部分，外切槽刀左刀尖精加工程序如下。

O0004；程序名

T0305；选用3号刀位的外切槽刀，调用05号刀补

M04 S550；后置式刀架，主轴反转，转速550r/min

G00 G42 X70. Z2. M08；刀具快速定位到定刀位置，切削液开，建立右补偿

Z-63.6；快速定位到第一个槽加工起点，准备半精加工

G01 X51. F0.1；半精车到槽底，留0.5mm精车余量

Z-59.5；半精加工槽外圆

X50.；精车到槽底

Z-64.；精加工槽外圆

X62.；按轮廓形状退刀

G03 X68. Z-66.9 R3.；精加工*R*3mm圆弧轮廓

G01 X70.；*X*向退刀

G00 Z-75.；快速定位到第二个槽加工起点，准备半精加工

G01X52. F0.1；半精车到槽底，留0.5mm精车余量

G02 X57. Z-77.5 R2.5；半精加工槽底*R*2.5mm圆弧

G01 X70.；*X*向退刀

G00 Z-75.；快速定位到第二个槽加工起点，准备精加工

G01 X51. F0.1；精车到槽底

G02 X57. Z-78. R3.；加工槽底*R*3mm圆弧轮廓

G01 X70.；*X*向退刀

G00 G40 Z100. M09；*Z*向快速退回，切削液关闭，取消刀具右补偿

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

外切槽刀右刀尖精加工程序如下。

O0005；程序名

T0306；选用3号刀位的外切槽刀，调用06号刀补

M04 S550；主轴反向旋转，转速550r/min

G00 X78. Z2. M08；刀具快速移动到定刀位置（*X*78，*Z*2），切削液打开

Z-74.9；快速定位到第一个槽加工起点，准备半精加工

G01 G41 X72. Z-70.6；建立左补偿

X52. F0.1；半精车到槽底，留0.5mm精车余量

Z-71.9；半精加工槽外圆

X51.；精车到槽底

Z-70.5；精加工槽外圆

X62.；按轮廓形状退刀

G02 X68. Z-67.6 R3.；精加工*R*3mm圆弧轮廓

G01 X70.；*X*向退刀

G00 Z-55.；快速定位到第二个槽加工起点，准备半精加工

G01 X51. F0.1；半精车到槽底，留0.5mm精车余量

G03 X56. Z-52.5 R2.5；槽底*R*2.5mm圆弧（半精加工）

G01 X70.；*X*向退刀

G00 Z-55.；快速定位到第二个槽加工起点，准备精加工

G01 X50. F0.1；精车到槽底

G03 X56. Z-52. R3.；加工槽底*R*3mm圆弧轮廓

G01 X70.；*X*向退刀

G00 G40 Z100. M09；Z向快速退回，切削液关闭，取消刀具左补偿

M05；主轴停止

T0300；取消刀具补偿

M30；程序结束并返回

## 7 结束语

在数控车床上进行轴类零件的矩形外沟槽结构加工，是与工艺设计、程序编制、机床操作及质量控制息息相关的系统工程。通过合理而精细的工艺规划以及现场管理，能有效提高加工效率和零件精度。无论槽类型如何，零件工艺设计是关键，然后结合编程指令或编程软件灵活切换切槽刀两刀尖来进行编程。编程时一定要注意考虑槽刀本身宽度和刀位点实际设置情况，从而减少程序的错误率。

**参考文献：**

[1] 谭永刚，陈江进. 数控加工工艺[M]. 北京：国防工业出版社，2009.

[2] 沈国祥. 数控车床沟槽件加工工艺设计与实践[J]. 机械制造与自动化，2013（3）：63-66.

[3] 李浩权. 平衡轴承T型封闭槽加工工艺方法[J]. 科学技术创新，2022（29）：39-42.

[4] 李蓓华. 数控机床工（高级）[M]. 北京：中国劳动社会保障出版社，2007.

MW 20240517

### 专家点评

文章介绍了数控车削轴类零件矩形沟槽的方法，通过优化切槽路径，灵活切换切槽刀的两个刀尖进行左右交替和分层切削，降低切削力和刀具磨损，提高效率。

文章的亮点是矩形槽切削方法和编程思路，融会贯通数控车床的径向切槽循环指令G75，采用“径向分次进刀+排刀加工”的方法，实现了深而宽矩形外沟槽的高效加工。切槽方法虽然创新不多，但比较实用，对于数控加工初学者有较大帮助。