

利用宏程序实现大螺距梯形螺纹加工

陈巍

上海市大众工业学校 上海 201800

摘要：分析了几种螺纹加工常用的方法及每种螺纹加工方法的优缺点、适用性，在此基础上分析梯形螺纹加工工艺，给出梯形螺纹加工工艺参数；分析梯形螺纹加工方法，编制程序。经过验证，此方法不仅提高了加工效率，还降低了生产成本。

关键词：梯形螺纹；螺纹加工；宏程序；赶刀；大螺距

1 序言

螺纹在机械零件上有着广泛的应用。不同类型的螺纹加工方法不同，通常有直进法、斜进法、左右切削法及仿形法等，其中，仿形法是螺纹加工的核心理念。结合实际操作和应用乃至竞赛，采用数控宏程序加工螺纹的方法，不仅能降低定制刀具的成本，也可以提高加工效率。

在近几年的数控技能比赛中，随着比赛难度的增加，数控加工的内容越来越丰富，简单的宏程序已不能满足加工要求，大赛中都会要求选手利用比较复杂的宏程序编程来加工零件。加工梯形螺纹是卧式车床加工中最基本的实训项目，因此在全国数控车床技能比赛中也成为一项重要的比赛内容。而在常规的中职学生数控实践教学环节中，由于学制的限制，在数控车床实训过程中很少安排梯形螺纹的加工练习。加之梯形螺纹加工的工艺比较复杂，需要有扎实的专业理论知识及数学功底作为支撑，这对中职学生来说有较大的难度。因此，高效率、高质量的加工梯形螺纹是数控专业教师必需解决的难题。笔者认为，通过合理的工艺分析，运用准确的数控加工指令，加工出合格的梯形螺纹完全有可能，前提是中职生要掌握复杂宏程序的编程知识。这样不仅可以提高学生自身的技能和素质，而且还可以降低加工难度，提高生产率，节约加工成本。

2 螺纹加工方法

2.1 螺纹加工方法分析

螺纹加工的常见方法有：直进法、斜进法、左右切削法及仿形法，其主要特点见表1。常用的螺纹加工指令有单一固定螺纹加工循环指令（G92）和复合循环螺纹加工指令（G76）。G92适用于直进法的螺纹加工，适宜螺距 $<3\text{mm}$ 的螺纹，G76适用于斜进法的螺纹加工，适宜螺距 $\geq 3\text{mm}$ 的螺纹。单一固定螺纹加工循环和复合循环螺纹加工的区别在于：单一固定循环加工时，编程时只是通过人为地改动X方向的进刀量，从而改变切削面积。而复合循环是通过程序给机床一个固定的切削面积，机床通过程序给定的参数自动进行计算，控制切削面积。其共同的特点是刀具切削部分的形状一定要和螺纹的形状保持一致。

2.2 螺纹加工工艺分析

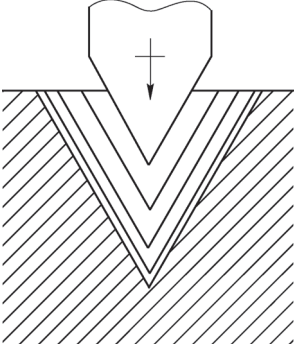
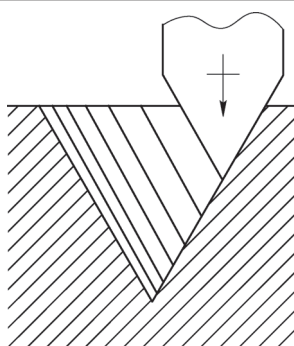
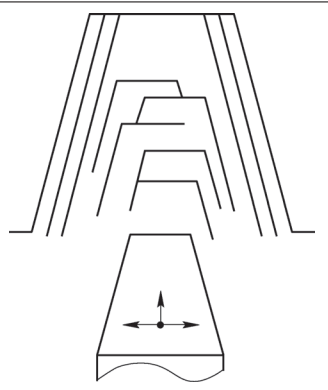
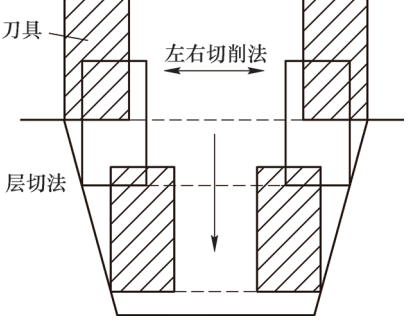
如果加工大螺距的梯形螺纹（螺距 $>6\text{mm}$ ）或任意角度的螺纹，可以用标准的梯形螺纹刀或定制的非标螺纹刀（任意角度），但成本很高。此时，可以考虑编写宏程序来解决大螺距螺纹的加工问题，常采用的方法是仿形法。由于梯形螺纹的螺距和牙型比较大，加工精度要求高，牙型两侧的表面粗糙度值较小，致使梯形螺纹车削时吃刀深，切削余量大，切削抗力也很大。

较大螺距梯形螺纹必须采用分层切削和左右切

削相结合的方法。通常，把梯形槽分成若干层，而每一层的切削深度可以根据刀具材料、工件材料等实际因素而定，往往可以通过查表获得。因梯形螺纹的结构特点，每个切削层必须使用左右切削加工

方法来完成。在切削过程中，刀具沿着梯形槽左、右牙型轮廓分别进行左、右切削，并且保证刀具只有单侧的切削刃参与切削，从而减小切削力，便于切屑排出，降低切削温度。

表1 常见螺纹加工方法特点

常用方法	图示	优点	缺点	适用范围
直进法 (G92/G32单一固定螺纹加工指令)		加工精度高，可以得到比较正确的牙型	切削力比较大，排屑困难，切削时两切削刃容易磨损。随着螺纹深度的增加，进刀量相应减小，否则容易产生扎刀现象	螺纹螺距 $P < 3\text{mm}$ 和脆性材料的螺纹车削
斜进法 (G76复合循环螺纹加工指令)		螺纹车刀始终只有单侧切削刃参与切削，从而排屑顺利，刀尖受力减小，散热情况有所改善，在加工中不易发生“扎刀”现象	刀具切削部分单侧切削刃进行切削加工，切削刃单侧受力。为保证加工精度，对于刀具切削部分的耐磨性要求较高	螺纹螺距 $3 \leq P \leq 6\text{mm}$
左右切削法		切削过程中，每次车削的吃刀量逐渐减少，不会出现崩刀，啃刀等问题	不适用于高速车削螺纹，加工效率较低	—
仿形法 (利用程序控制刀具进行加工，并保证零件加工的精度。)		无需定制标准螺纹刀具或者非标的任意角度的螺纹刀具	程序编制比较麻烦，需要编程人员具备较高的数学计算能力、程序汇编能力，并对机械加工工艺有详细的了解	螺距较大 $P > 6\text{mm}$

3 螺纹加工轴向起点与终点的确定

车削螺纹时进给速度分三个阶段（见图1）：起始需要一个升速进刀距离（ δ_1 ），正常速度车螺纹距离（ L ），结束前有一个降速退刀距离（ δ_2 ）。所以车螺纹时，两端要设置足够的升速进刀距离 δ_1 及降速退刀距离 δ_2 。 δ_1 、 δ_2 的数值与螺纹的螺距和螺纹的精度有关，一般大于等于一个螺距即可。实际生产中，螺距大和精度高的螺纹 δ_1 取大值，一般取值2~5mm； δ_2 值不得大于退刀槽宽度，一般取退刀槽宽度的一半左右，取值1~3mm。

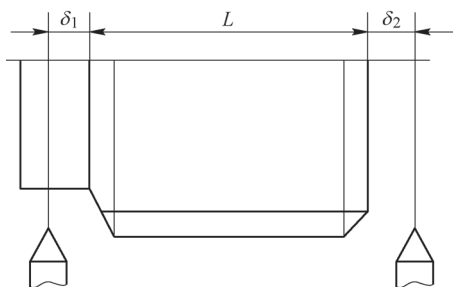


图1 车螺纹时的进刀与退刀

4 梯形螺纹加工

加工如图2所示Tr52×8梯形螺纹，为降低成本，选用割槽刀进行螺纹加工。

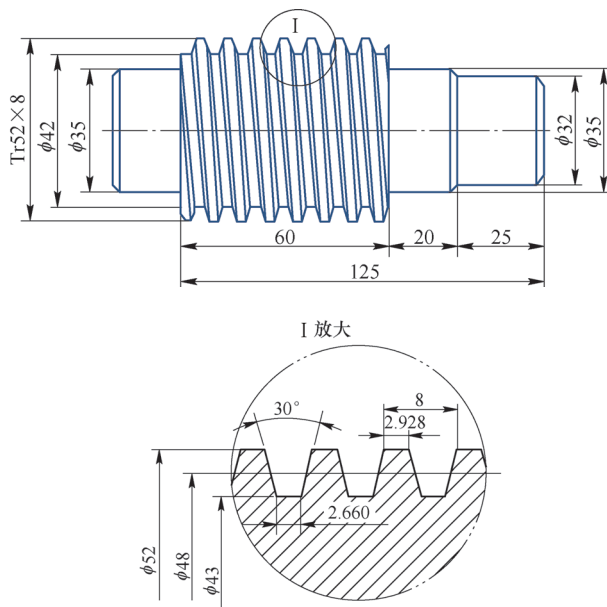


图2 梯形螺纹

4.1 螺纹加工参数计算

螺纹加工时主要的加工参数是螺距、大径及小径。具体数值见表2。

表2 梯形螺纹加工参数

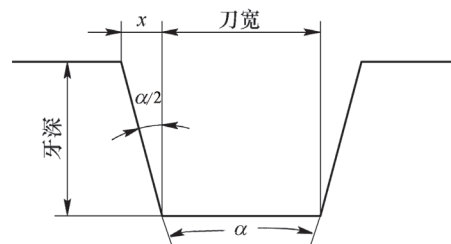
名称	计算公式	数值
螺距 P /mm	—	8.000
大径 d /mm	$d = \text{公称直径}$	52.000
中径 d_2 /mm	$d_2 = d - 0.5p$	48.000
小径 d_1 /mm	$d_1 = d - 2h$	43.000
顶隙 a_c /mm	—	0.500
牙高 h /mm	$h = 0.5p + a_c$	4.500
牙顶宽 f /mm	$f = 0.366p$	2.928
牙槽底宽 w /mm	$w = 0.366p - 0.536a_c$	2.660

4.2 选刀依据

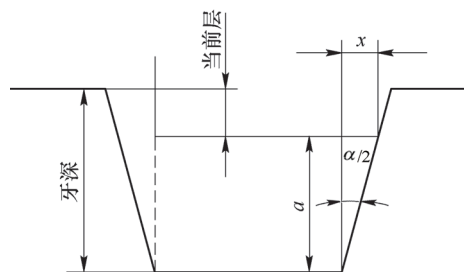
由于梯形螺纹用割槽刀进行加工，为保证梯形螺纹的加工精度，割槽刀的刀宽必须小于螺纹槽底的宽度。经过计算，槽底宽度为2.660mm，所以，选用刀宽为2mm的割槽刀。

4.3 加工方法分析

（1）左右赶刀移刀量计算 当螺纹槽底宽度与割槽刀宽度相等时，根据先前介绍的梯形螺纹加工工艺分析，第一层的左右赶刀移刀量 $x = \text{牙深} \times \tan(\alpha/2)$ （见图3a），而任意层的左右赶刀移刀量 $x = a \times \tan(\alpha/2)$ ， a 表示牙深当前层背吃刀量（见图3b）。



a) 第一层的左右赶刀移刀量



b) 任意层的左右赶刀移刀量

图3 螺纹槽底宽度与割槽刀宽度相等时赶刀移刀量

当螺纹槽底宽度大于割槽刀宽度时（见图4），任意层的左右赶刀移刀量 $x = a + b = (\text{牙深} - \text{当前层背吃刀量}) \times \tan(\alpha/2) + b$ ，其中 $b = (\text{槽底宽度} - \text{刀头宽度})/2$ 。

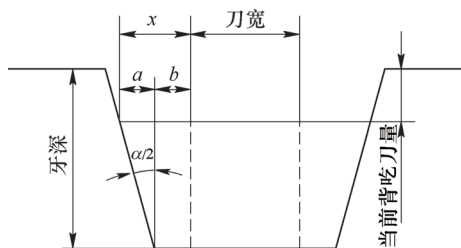


图4 槽底宽大于刀宽时赶刀移刀量

(2) 层切法 分层加工就是把梯形螺纹的深度分成若干层（一般取0.1mm一层，见图5），给定参数后，程序会根据给定的参数自动计算。

加工原理：根据给定的参数，程序会自动计算当前层的深度和槽的宽度，然后再根据所设定的每一刀的切削量来加工当前层，等当前层的宽度加工完毕后，程序会自动进入下一层计算，以此类推最终完成加工。螺纹粗加工结束后，改变编程方法，只要编出螺纹的轨迹，也就是只要加工螺纹的两个斜面及底平面，采用这样的加工方法，既能保证每一层的宽度、螺纹的质量，还能很好地保护刀具。

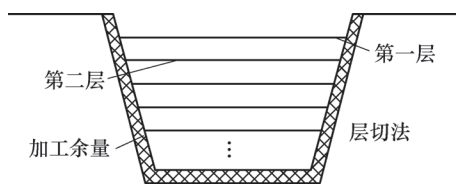


图5 分层加工

4.4 参考程序

利用宏程序进行编程时，变量设置是关键，且需要注意两点。第一，为了提高数控系统运算速度，参数变量要尽量少。第二，程序编制要有循环功能。通过数学分析，本案例共计用到7种不同含义的变量。#1（#8）为螺纹牙高（mm），初始值为4.5mm，#2（#9）为梯形螺纹的牙型半角（°），#3（#10）为螺纹槽顶宽与槽底宽差值的二分之一（mm），#4（#11）为（牙槽底宽-刀头宽度）/2减去侧面精车余量（mm），#5（#12）为左赶刀移刀量（mm），#6（#13）为右赶刀移刀量（mm），#7为每次切削螺纹终点X坐标，其中括号内的变量用于梯形螺纹的精加工程序编写。

本案例中，宏程序编程的关键是实现两个加工功能，即分层切削加工和左右切削加工。结合G92单一固定螺纹切削循环指令，左右切削加工功能可

以通过切削起点的相应移动，即利用“#5=-#3-#4”和“#6=#3+#4”程序语句来实现。当前层相邻两刀间的移动量通过“#5=#5+1”来实现循环。深度方向相邻层的实现通过“#1=#1-0.1”来循环实现，每层的切削深度取0.1mm，而每层中螺纹的X坐标不变，始终为#7=43+2[#1]。参考程序如下。

00001（程序名）

T0101（调用1号刀，1号刀补）

M03S200（主轴正转，200r/min）

G00X70.Z30.（快速移动接近工件）

M08（切削液开）

#1=4.5（螺纹牙高）

#2=15（梯形螺纹牙型半角15°）

N20#3=TAN[#2]*[#1]（螺纹槽顶宽与槽底宽差值的二分之一）

#4=[2.66-2]/2-0.1（割槽刀刀宽为2mm，侧面的精车余量0.1mm）

#5=-#3-#4（左赶刀移刀量）

#6=#3+#4（右赶刀移刀量）

#7=43+2*[#1]（每次切削螺纹终点X坐标）

N10G00X60.Z[#5+20]（移动到左赶刀螺纹切削的循环起点）

G92X#7Z-86.F8.（左赶刀车削螺纹）

#5=#5+1（1为螺纹加工当前层相邻两刀间的移动量）

IF[#5LE#6]GOTO10（当#5≤#6，执行当前层循环）

G00X60.Z[#6+20]（移动到右赶刀螺纹切削的循环起点）

G92X#7Z-86.F8.（右赶刀车削螺纹）

#1=#1-0.1（螺纹分层加工，每层深度为0.1mm）

IF[#1GE0.1]GOTO20（#1≥0.1执行深度方向的层加工循环，其中0.1mm为X向精车余量）

G00X100.（X向退刀）

Z100.（Z向退刀）

M05（主轴停止）

M00（螺纹粗加工结束）

T0101（开始梯形螺纹精加工）

M03S200

#8=4.5（螺纹牙高）

#9=15（梯形螺纹牙型半角15°）

N30#10=TAN[#9]*[#8]

#11=[2.66-2]/2

#12=-#10-#11（左赶刀移刀量）

#13=#10+#11 (右赶刀移刀量)
G00X60.Z[#12+20] (移动到左赶刀螺纹切削的循环起点)
G92X[43+2*#8]Z-86.F8. (左赶刀车削螺纹)
G00X60.Z[#13+20] (移动到右赶刀螺纹切削的循环起点)
G92X[43+2*#8]Z-86.F8. (右赶刀车削螺纹)
#8=#8-0.05 (螺纹分层加工, 每层深度为0.05mm)
IF[#8GE0]GOTO30 (螺纹加工到小径尺寸)
G00X100.
Z100.
T0100 (取消刀具补偿)
M05
M30 (程序结束并返回)

5 结束语

利用宏程序进行大螺距梯形螺纹加工时, 程序编制比较麻烦, 需要编程操作人员具备较高的数学

计算能力、程序汇编能力, 并对机械加工工艺流程有详细的了解与掌握。但是通过整个流程的学习, 可以不断提高编程操作人员的专业素养、技能水平, 以及社会竞争能力。并且利用宏程序进行大螺距梯形螺纹加工无需定制标准螺纹刀具或者非标的任意角度的螺纹刀具, 大大节约了螺纹加工刀具的成本, 对于企业的发展有着不可小觑的促进作用。

参考文献:

- [1] 陈海舟. 数控铣削加工宏程序及应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 杜军. FANUC宏程序编程技巧与实例精解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [3] 浦艳敏. FANUC 0i数控铣床手工编程技巧[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

MW 20210910

(上接第49页)

参数为: 开粗吃刀量0.5mm, 进给速度3800mm/min, 转速2000r/min; 精铣吃刀量0.2mm, 进给速度2500mm/min, 转速3200r/min。

经上机试验, 改进后的加工方案粗铣耗时约23min, 精铣耗时约35min, 共计耗时约58min, 较原方案效率提高1.5倍以上。而且加工时机床振动相对较小, 加工后表面质量明显提高。图5为改进后的方案机床铣削加工过程及加工后的车轮实物照片, 从图中可以看出加工后零件表面质量非常好, 没有

任何刀纹和台阶。

5 结束语

1) 改进后的加工方案经优化刀具选型及刀路设计, 成功提升了加工效率, 同时提高了加工后的零件表面质量。

2) 加工时应根据切削材料及机床特性选用合适的刀具, 并依据刀具性能设定合适的切削参数, 才能保证加工效率和表面质量。

3) 铣削时应在刀具允许的范围内尽可能采取高转速和大进给量切削, 否则转速和进给量太低不仅会影响加工效率和表面质量, 也会降低刀具使用寿命。

参考文献:

- [1] 任国强, 罗啸峰. 前轴主销孔及端面的数控加工工艺和工装设计[J]. 制造业自动化, 2012, 34(5): 39-41.
- [2] 王冬晓, 赫晓东, 刘文博, 等. 二维编织复合材料在正交切削中的切削力和加工表面质量研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(12): 77-82.
- [3] 金玉淑, 贾莹, 裴忠科. 三元叶轮工艺方案分析[J]. 风机技术, 2014(1): 56-60.

MW 20210909



a) 机床加工过程



b) 加工后的实物

图5 改进后的方案机床加工过程及加工后的实物