

直线插补在回转类零件周向槽铣削中的应用*

Application of Linear Interpolation for Milling of Girth Groove in Rotary Part

南昌航空大学航空与制造工程学院 朱志坤 王细洋
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 刘陨双 田 智

[摘要] 利用旋转第四轴、宏程序指令编程和 G01 直线插补编程,提出了实现某些回转类零件外周曲面上的规则槽、螺旋槽、异形槽以及各种凸轮的加工方法。用凸轮加工实例对提出的加工方法进行仿真验证,获得了较好的加工精度,证明了此方法正确可行。

关键词: 周向槽 数控加工 宏程序 直线插补

[ABSTRACT] A method is put forward to realize the processing of rule tank, spiral, shaped grooves and various cams in the peripheral surface of some rotary parts, by using the rotating fourth shaft, macro program instruction programming and G01 linear interpolation programming. The method is simulated and verified with an example of cam processing, obtaining the good machining precision and proves feasible.

Keywords: Girth groove CNC machining Macro-program Linear interpolation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.01/02.101

随着数控技术的发展,普通机床不能加工的异形或复杂回转类零件的加工都得到了较好的解决。比如,普通机床很难加工的回转类零件外周曲面上的规则槽、螺旋槽、异形槽以及各种凸轮,现在可以比较容易地用带第四轴(A轴)的加工中心实现它们的加工,不但节省了普通机床工装夹具定制带来的较大成本,而且明显地缩短了生产周期,提高了生产效率。

国内在回转类零件上加工螺旋槽和异形槽^[1-2],有以下3种常见加工方法。

(1)使用圆柱插补 G107 (G07.1) 功能在车铣复合加工中心上加工,对数控系统和机床的要求较高。

(2)在三轴数控铣床上采用“T”形刀,用“T”形刀具的周向齿以圆弧插补或螺旋插补的形式铣出整周或部分环槽、螺旋槽。

(3)在带有第四轴的数控机床上实现周向槽形的铣削加工。

综合上述3种加工方法,结合生产实际,本文总结出另外一种在回转类零件上加工螺旋槽和异形槽的方法:将螺旋槽在周向展开,建立其在 X-Y 坐标平面内的数学方程,用旋转第四轴代替 Y 轴,仅用 G01 插补和宏编程指令即可实现某些外周曲面上的规则槽、螺旋槽、异形槽以及各种凸轮的加工。

1 周向槽铣削编程方法

下面以实例来说明回转体零件周向槽直线插补铣削编程方法。该零件为凸轮,三维模型如图1所示。

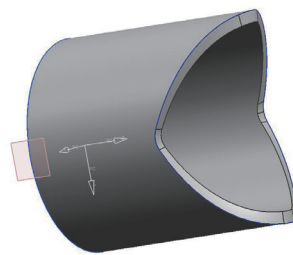


图1 某凸轮的三维模型
Fig.1 3D model of a cam

宏程序的编写建立在 FANUC 控制系统的 G01 插补功能上。在 FANUC 控制系统中,可以进行类似 G01 X100 A90F300 功能的插补。

1.1 周向展开

将槽沿周向展开,如图2所示。

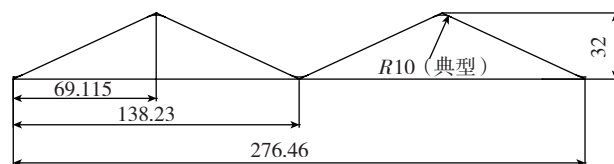


图2 某凸轮周向展开曲线
Fig.2 Circumferential curve of cam

1.2 构建 X-Y 平面内的曲线方程

展开图上 $0 \leq L \leq 69.1156$ 范围内的螺旋线的数学模型如图3所示。

其中, X 表示展开图上螺旋线上升的距离(即数控程序里刀具 X 位移), L 表示螺旋线上升 X 时转过的弧

* 武器装备预研基金项目(9140A18010312HK0501)资助。

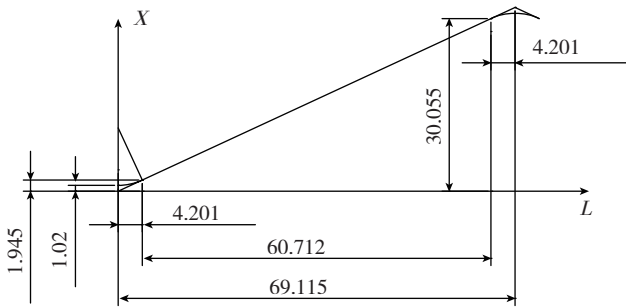


图3 螺旋线的数学模型

Fig.3 Mathematical model of spiral

长(可以转换为数控程序里的第四轴转角 A 值)。

(1) 当 $0 \leq L \leq 4.201$ 时,螺旋线在展开图上的轨迹是一段圆弧,圆弧的半径是 10mm,其数学方程为:

$$(X - 11.02)^2 + L^2 = 100 \quad (1)$$

(2) 当 $4.201 < L < 64.914$ 时,螺旋线的展开图是一条直线,由于其数控程序可以根据 FANUC 系统的 G01 功能直接写出 NC 代码,这里不做具体的分析。

(3) 当 $64.914 \leq L \leq 69.115$ 时,螺旋线在展开图上的轨迹是另一段半径为 10mm 的圆弧,其数学方程为:

$$(X - 20.98)^2 + (L - 69.115)^2 = 100 \quad (2)$$

1.3 构建转角表达式

根据图 2 可以写出第四轴转角 A 与 L 的关系式:

$$A = 360L/276.46 \quad (3)$$

因此在 $0 \leq L \leq 69.115$ 范围内,据图 3 和式(1)~

(3) 可得出螺旋线的数学表达式。

(1) 当 $0 \leq L \leq 4.201$ 时:

$$\begin{cases} X = 11.02 + \sqrt{100 - L^2} \\ A = 360L/276.46 \\ 0 \leq L \leq 4.021 \\ 0 \leq A \leq 5.47 \end{cases}$$

(2) 当 $4.201 < L < 64.914, 5.47 < A < 84.53$ 时, X 与 L 成线性关系,不作叙述。

(3) 当 $64.914 \leq L \leq 69.115$ 时:

$$\begin{cases} X = 11.02 - \sqrt{100 - L^2} \\ A = 360L/276.46 \\ 0 \leq L \leq 4.021 \\ 0 \leq A \leq 5.47 \end{cases}$$

1.4 编写宏程序

(1) 当 $0 \leq L \leq 4.201$ 时,加工宏程序如下:

先定义参数 #1=L; #3=X; #4=A;

#1=0 (初始化 L)

#2=0.001 (定义 L 的增量)

N1 IF [#1 GT 4.201] GOTO 2 (判断 L 是否在给定范围之内)

#3=11.02-SQRT[100-#1*#1] (根据 L 计算 X)

#4=#1*360/276.46 (将 L 转换为角度 A)

G90 G1 X#3 A#4 (X 轴和 A 轴直线插补进给)

#1=#1+#2 (实现 L 的增加)

GOTO 1 (循环)

N2 M5

(2) 当 $4.201 < L < 64.914, 5.47 < A < 84.53$ 时,加工宏程序如下:

G90 G1 X89.055 A84.528 (数控控制系统的 G01 插补功能)

(3) 当 $64.914 \leq L \leq 69.115$ 时,加工宏程序如下:

#6=0 (初始化 L)

#7=0.001 (定义 L 的增量)

N1 IF [#6 GT 69.115] GOTO 4 (判断 L 是否在给定范围之内)

#9=#6-69.115

#8=79.98+SQRT[100-#9*#9] (根据 L 计算 X)

#10=#6*360/276.46 (将 L 转换为角度 A)

G90 G1 X#8 A#10 (X 轴和 A 轴直线插补进给)

#6=#6+#7 (实现 L 的增加)

GOTO 1 (循环)

N4 M5

在以上的宏程序中,把圆弧看作由一小段一小段的直线拟合而成,具体的体现是用 #2 变量作为增量来控制小直线段的长度,也就控制圆弧的精度。如果 #2 越小,则直线段越短,与圆弧拟合越好,精度越高;反之,则相差越大,精度越低。

1.5 编制加工程序

在实际的加工过程中,要考虑刀具半径,假如使用 $\phi 8$ 的立铣刀,刀具中心轨迹应该如图 4 所示。

则根据图 4 可以写出刀具中心的轨迹方程,再根据方程可以写出 NC 加工程序:

T1 M6 (刀具直径 8mm)

G90 G54

S2000 M3

G0 X150. Z50.

G1 Z38. F300

G1 X64.02

#1=0

#2=0.001

N1 IF [#1 GT 2.5209] GOTO2

#3=11.02-SQRT[36-#1*#1]

#5=#3+59

#4=#1*360/276.46

G90 G1 X#5 A#4

#1=#1+#2

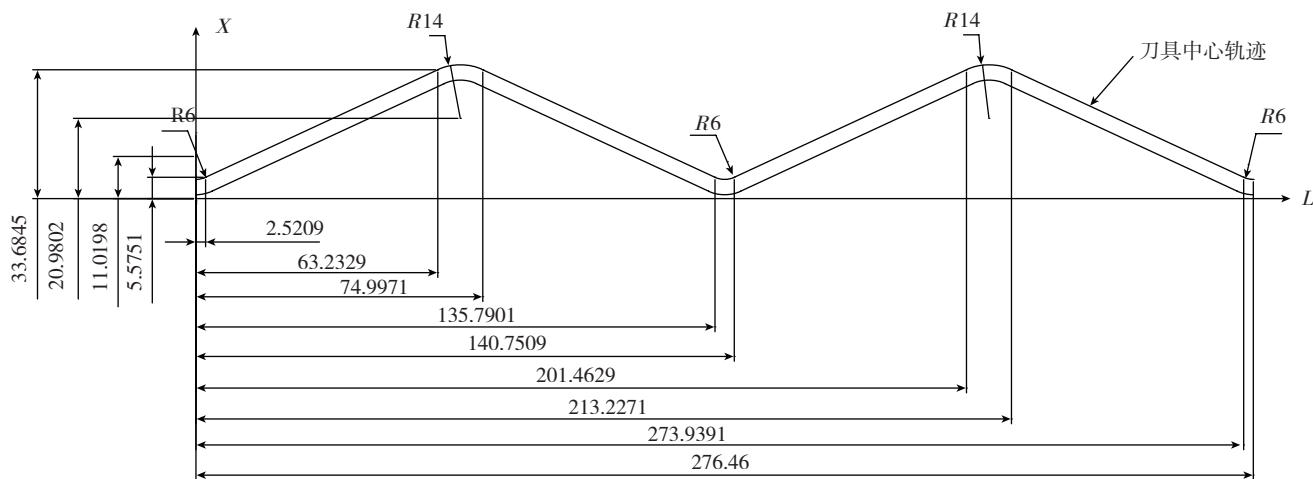


图4 加工刀具轨迹
Fig.4 Path of machining tool

```
GOTO1
N2 G90 G1 X92.6845 A82.3405
#6=63.2329
N3 IF[#6GT74.9971]GOTO4
#9=#6-69.115
#8=79.98+SQRT[196-#9*#9]
#10=#6*360/276.46
G90 G1 X#8 A#10
#6=#6+#2
GOTO3
N4 G01 X64.5751 A176.7173
#11=135.7091
N5 IF[#11 GE 140.7509] GOTO6
#12=#11-138.23
#13=11.02-SQRT[36-#12*#12]+59
#14=#11*360/276.46
G90 G1 X#13 A#14
#11=#11+#2
GOTO5
N6 G1 X92.6845 A262.3405
#15=201.4629
N7 IF[#15GT213.2271]GOTO8
#16=#15-207.345
#17=79.98+SQRT[196-#16*#16]
#18=#15*360/276.46
G90 G1 X#17 A#18
#15=#15+#2
GOTO7
N8 G01 X64.5751 A356.7173
#19=273.9391
```

```
N9 IF [#19GT276.46]GOTO10
#20=#19-276.46
#21=70.02-SQRT[36-#20*#20]
#22=#19*360/276.46
G90 G1 X#21 A#22
#19=#19+#2
GOTO9
N10 Z100.
G1 X150.
M30
```

以上程序就是用 #2=0.001 来控制圆弧的精度,如果机床允许,令 #2 为 0.0001 或 0.00001 能使圆弧的精度更高。

2 模拟加工与验证

将此程序在 VERICUT 模拟软件上进行模拟,得到的最终结果如图 5 所示。

下面来判断加工出来的零件是否合格。在 VERICUT 软件中,可以把设计的零件模型装配到毛坯中,然后把加工后的毛坯和设计的零件模型进行对比,就可以看出加工后的零件与设计的模型之间的差别。VERICUT 中测量工具 X-Caliper 可以实现这一功能,对加工后零件的螺旋面进行测量,测量方式为“From Design To stock”,在螺旋面上均匀采集 15 个点,测得的数据如图 6 所示。

VERICUT 软件还可以对宏程序的运行过程进行参数监控,从而可以更好地验证程序的正确性,如图 7 所示。

在构建曲线的数学模型时,可以认为曲线上有 A、B、C、D、E、F、G、H 共 8 个控制点,每个点对应的坐

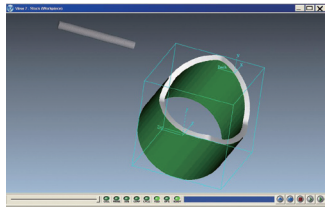


图5 模拟加工图

Fig.5 Diagram of simulation processing

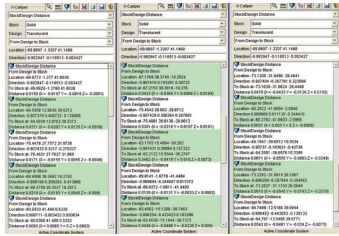


图6 自动测量数据

Fig.6 Automatic measurement data

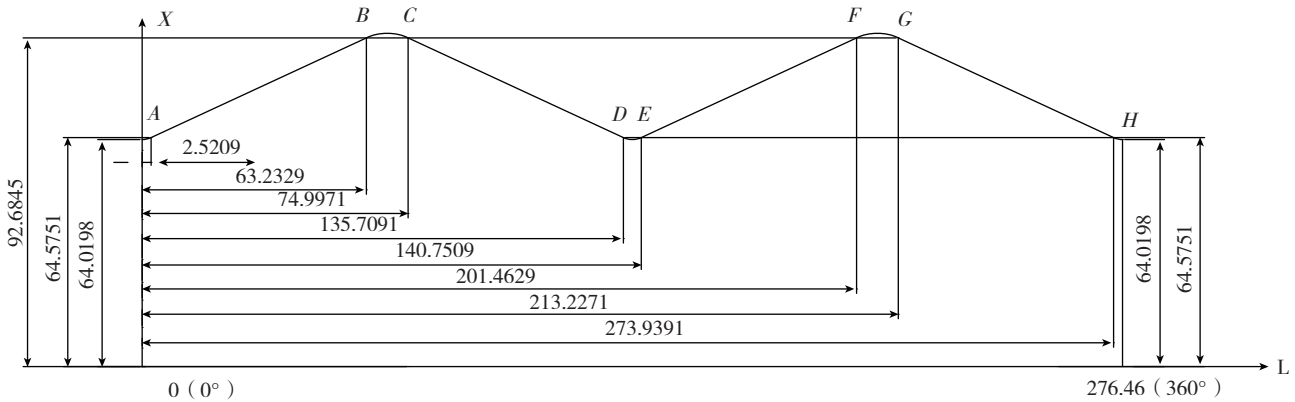


图7 加工刀具轨迹理论值

Fig.7 The oretical values of machining tool path

表1 加工刀具轨迹理论值和监测值对比分析 (表中: $A=360L/276.64$; 单位: mm)

	A	C	E	G	H
$X_{理论值}$	64.5751	92.6845	64.5751	92.6845	64.5751
$X_{监测值}$	#5=64.574855	#8=92.684458	#13=64.574902	#17=92.684458	#21=64.02
$A_{理论值}$	3.2827	97.6595	183.2826	277.6595	360
$A_{监测值}$	#4=3.281487	#10=97.659278	#14=183.281618	#18=277.659278	#22=359.99886

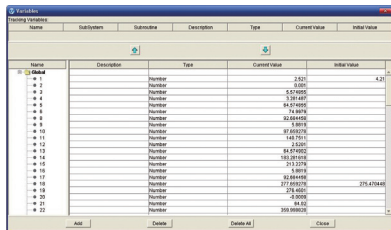


图8 加工刀具轨迹监测值

Fig.8 Monitoring values of machining tool path

标可以用变量 #1~#22 来表示。其中: $X_A=#5, A_A=#4$; $X_C=#8, A_C=#10$; $X_E=#13, A_E=#14$; $X_G=#17, A_G=#18$;

$X_H=#21, A_H=#22$; (X_x 表示程序运行时 x 点的 X 坐标值, A_x 表示程序运行时 x 点对应得 A 值)。对这些变量进行监控得到的数据如图 8 所示。

对图 8 中变量的监测值与图 7 中各点的坐标进行比较(共 $A、C、E、G、H5$ 点),结果见表 1。

从表 1 可以看出:本程序加工出来的零件误差比较小,基本在 0.05mm 以内,零件精度满足要求。

3 结束语

本文所提出的用旋转四轴功能、宏程序指令和 G01 编数控加工程序,实现某些外周曲面上的规则槽、螺旋槽、异形槽以及各种凸轮的加工方法,不但能提高该类零件的加工精度,而且可以大大降低零件的加工成本。理论上只要可以写出展开曲线方程的零件,就可以用这种方法来实现其加工,并且达到较高的精度。

通过对这种加工方法的研究,还能加深对数控系统 G01 插补功能的理解运用,提高数控编程的能力。同时,宏程序使编程变得更具体、更直观,大大提高了编程效率,使用户可以对数控系统进行一定的功能扩展,在数控系统的平台上进行二次开发变得容易。

参考文献

[1] 肖尧先, 聂秋根, 柯映林等. 复杂槽形槽筒数控加工编程技术. 中国机械工程, 2001, 12(S1): 29-31.
 [2] 李克天, 陈统坚, 郑德涛. 直线逼近曲线的原理及在加工凸轮中的应用. 机械设计与制造, 2002 (1): 66-68. (责编 叶枫)