

用电子计算机对YM3150E型滚齿机加工大质数齿轮的挂轮的计算与分析

施德安 宋希明

摘要: 本文分析了滚齿机加工大质数齿轮的计算方法和精度等问题, 提出了用电子计算机计算机床挂轮的方法及程序, 并算出了YM3150E型滚齿机能加工的所有大质数及其倍数工件的分齿及差动挂轮。

一、问题的提出

一般滚齿机的分齿挂轮, 不配备大质数齿数的齿轮。因此, 在加工大质数齿数及其整倍数齿数的工件时, 不能简单地只用分齿挂轮来实现, 而是要同时使用差动挂轮。传统的解决办法是, 先以一个与工件齿数 z 接近的、可以用齿数小于100的分齿挂轮正确分度的非整数的假想齿数来计算分齿挂轮, 再用差动挂轮来校正因假想齿数和工件齿数的一致而可能造成的齿向误差。对YM3150E型滚齿机, 具体计算方法是:

先用下式计算分齿挂轮 a, b, c, d 。

$$i_{\text{分齿}} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{48K}{z + \alpha} \quad (1)$$

式中: K ——滚刀头数; z ——工件齿数; $z + \alpha$ ——假想齿数, 其中 α 为一绝对值小于1的数值。

然后按下式计算差动挂轮 a_2, b_2, c_2, d_2

$$i_{\text{差}} = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \pm \frac{625\alpha}{32i_{\text{走}} K} \quad (2)$$

式中: $i_{\text{走}}$ ——由垂直走刀量决定的数值 (见机床说明书)。

以上计算中, 选择好 α 值很关键, 它要考虑以下这些条件: 1. 要满足公式(1)并能算得符合机床备有挂轮齿数的 a, b, c, d ; 2. 要使 $\left| \frac{625\alpha}{32i_{\text{走}} K} \right|$ 控制在合适的范围内, 并能找出 a_2, b_2, c_2, d_2 四个挂轮, 使其传动比误差在一定范围内; 3. 要使算得分齿挂轮 a, b, c, d , 差动挂轮 a_2, b_2, c_2, d_2 和说明书确定的走刀挂轮 a_1, b_1 彼此不能相等 (除齿数为20和60的挂轮有二个外); 4. 要满足机床挂轮架尺寸的限制条件; 5. 为获得较好的传动性能, 每对齿轮的传动比要在一定范围内。很明显, 由于计算中受到很多条件的限制, 实际计算变得相当繁杂, 很费时间。

从实际工作考虑, 如能设法将加工齿数在101~251范围内的大质数及其倍数的工件用的挂轮逐一算出, 并列成表格, 无疑是一项很有意义的工作。不过做这项工作时, 如仍采用上述传统方法, 其工作量就太大了, 若采用电子计算机, 则工作量可大大地减少。

二、计算方法

用电子计算机计算时,为了计算方便,采用了另一种计算过程,即不是先定出 α ,而是先找出二个整数 U 和 V ,其比值 $\frac{U}{V}$ 和分齿挂轮的理论传动比 $i_{分齿} (= \frac{48K}{z})$ 接近。由于两者的差值 W 可通过差动挂轮来校正,所以 W 值是按如何能较好地算得差动挂轮来考虑,而不是愈小愈好。接着对 U 和 V 分别分解为 a, b, c, d 四个数,然后检验 a, b, c, d 作为分齿挂轮的齿数能否在挂轮架限制的条件以内,以及每对齿轮的传动比是否在限定的范围。差动挂轮的传动比是由差值 W 和选定的走刀量决定的。挂轮齿数的计算方法与分齿挂轮的计算方法相似。但必须注意处理好差动挂轮齿数不能与分齿挂轮、走刀挂轮的齿数相同的问题。

有关的计算公式推导如下:

$$W = i_{分齿} - i_{分理} = \frac{48K}{z + \alpha} - \frac{48K}{z} = \frac{-48K\alpha}{z^2 + z\alpha} \quad (3)$$

或
$$\alpha = -\frac{z^2 W}{48K + zW} \quad (4)$$

将 α 值代入(2)式得:

$$i_{差} = \mp \frac{625z^2 W}{32i_{走}(48K + zW)K} \quad (5)$$

式中的正负号只表示是否需要加惰轮,所以计算时可以只考虑 $i_{差}$ 的绝对值。式中的 K 一般为1。如令 $T = \frac{625}{32i_{走}}$,则式(5)可简化为:

$$i_{差} = \frac{T \cdot z^2 \cdot W}{48 + z \cdot W} \quad (6)$$

式中的 T 值与常用走刀量 S 及 $i_{走}$ 的关系经计算可得:

S	0.87	1	1.16	1.41	1.6
$i_{走}$	$\frac{16 \times 13}{23 \times 15}$	$\frac{7}{10}$	$\frac{23 \times 25}{16 \times 9}$	$\frac{16 \times 7}{23 \times 5}$	$\frac{10}{9}$
$T (= \frac{T_1}{T_2})$	$\frac{215625}{6656}$	$\frac{3125}{112}$	$\frac{1125}{46}$	$\frac{71875}{3584}$	$\frac{1125}{64}$

三、几点分析

1. 关于 W 值。前面已经提到, W 值是靠差动挂轮来校正的,而差动挂轮的传动比则决定于走刀量、 z 和 W 值,如对这几个因素不加控制,那么 $i_{差}$ 之值将在一个极广的范围内变动,不利于计算。我们将 W 值控制在 $1/z^2 \sim 3/z^2$ 的范围内。计算表明,这个范围是合适的。

2. 关于 W 值的允差。由以上分析可知, W 总是一个无穷小数,因此,计算中对 W 值就有取多少位有效数字的问题,如果 W 值的取位精度不够,会直接影响被加工工件的齿向精

度。

按理想情况, 分齿挂轮的传动比 $i_{\text{分理}} = \frac{48}{z}$, 则 $di_{\text{分理}} = -\frac{48dz}{z^2}$, 而 dz 与 $d\beta$ 有如下关系:

$$d\beta = \frac{\pi m dz}{S}$$

由于说明书中提供的走刀量 S 只是近似值, 因此不能直接代入计算, 根据该机床的传动关系可推得:

$$S = \frac{288\pi}{625} i_{\text{走}}$$

于是可得:

$$di_{\text{分理}} = \frac{13824i_{\text{走}} d\beta}{625m z^2} \quad (7)$$

按最不利的情况考虑, 即令 $i_{\text{走}} = \frac{5}{18}$, $m z = 500$, $z = 251$, $d\beta$ 以6级精度最严格的情况计,

即 $d\beta = \frac{0.019}{220}$, 代入(7)式得:

$$di_{\text{分理}} = 4.23 \times 10^{-9} \quad (8)$$

式(8)说明, 单用分齿挂轮时, 为保证齿轮加工精度要求而允许的 $i_{\text{分理}}$ 的误差值。现在采用差动挂轮来校正分齿挂轮传动比的偏差 W , 那么 W 值的有效位数取至 1×10^{-10} 是可靠的。

3. 关于 $i_{\text{差}}$ 的允差。由于 $i_{\text{差}}$ 的误差对齿向误差的影响, 可借用加工螺旋齿轮时差动挂轮的公式推出。因 $i_{\text{差}} = \frac{9}{m} \sin\beta$, 则 $di_{\text{差}} = \frac{9}{m} d\beta$ (对直齿 $\cos\beta = 1$)。也以6级精度考虑, 其最严格的角值误差 $d\beta = \frac{0.019}{220}$, 被加工的齿轮最大模数 $m = 8$, 代入上式后得:

$$di_{\text{差}} = 9.72 \times 10^{-5} \quad (9)$$

另一方面机床几何精度中直接影响齿向误差的主要项目是刀架垂直移动对机床回转工作台中心线的平行度。根据机床合格证书, 该项允差为 $\frac{0.012}{250}$, 这样的角值误差相当于差动挂轮传动比的误差为:

$$di_{\text{差}} = 5.40 \times 10^{-5} \quad (10)$$

可见, 对 $i_{\text{差}}$ 的允差可以采用 4×10^{-5} 。

四、结 束 语

采用本文计算的加工 $z = 101 - 251$ 范围大质数及其倍数齿轮的挂轮表时, 有几点应予注意:

1. 本表只适用于使用 $K = 1$ 的滚刀滚切工件。
2. 差动挂轮是否要加惰轮, 要根据 W 值的正负号和采用顺铣或逆铣方式而定, 具体要

求如下：

W 值的符号	+	-
顺 铣	加惰轮	不加惰轮
逆 铣	不加惰轮	加惰轮

3. 必须使用挂轮表中指定的走刀量。

对于表列的40种工件齿数，我们经过试挂，都是可行的。有了这个挂轮表，加上机床说明书中非大质数齿轮的分齿挂轮表，在加工齿数为5~251范围内的直齿圆柱齿轮，就不必再行计算了。

下面列出了计算分齿挂轮的程序框图（图1）和整个挂轮表。计算差动挂轮的程序框图与计算分齿挂轮的框图基本相似，这里省略了。

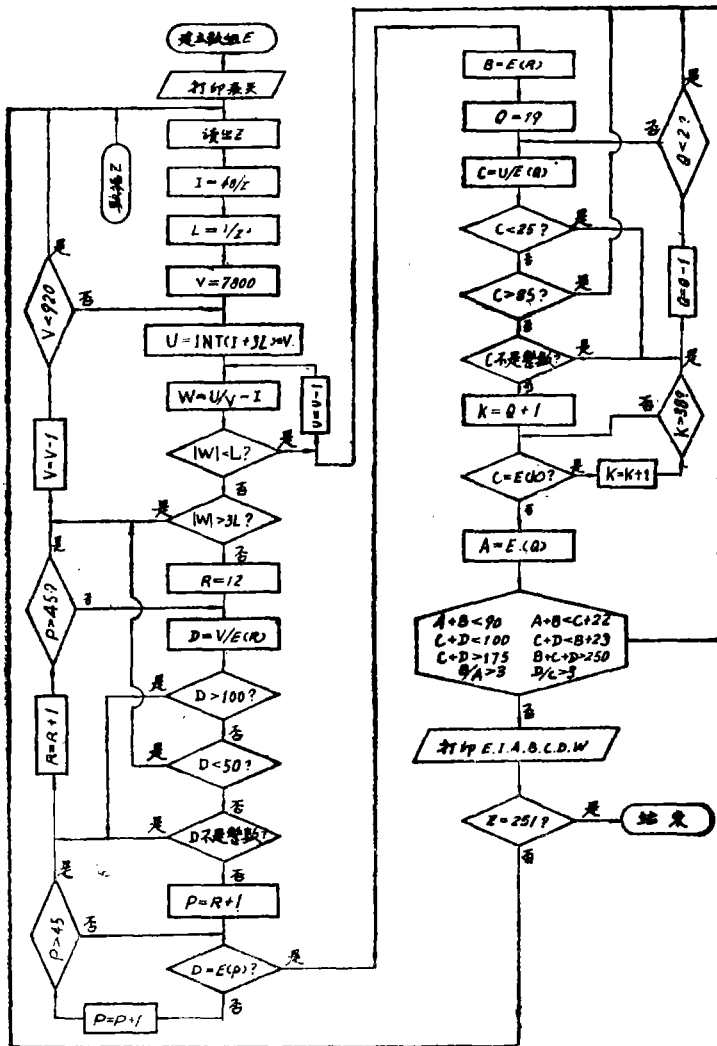


图1 计算分齿挂轮的程序框图

YM3150E型滚齿机滚制大质数工件挂轮表

($K = 1, e = 24, f = 48$)

序号	z	A	B	C	D	W	S	A_1	B_1	A_2	B_2	C_2	D_2	W_2
1	101	45	71	75	100	1.045879×10^{-4}	0.87	32	46	58	67	79	95	2.7×10^{-6}
2	103	47	80	73	92	1.490608×10^{-4}	1.16	46	32	65	75	79	85	1.4×10^{-6}
3	107	47	85	73	90	-1.013988×10^{-4}	1	26	52	55	62	70	92	1.3×10^{-6}
4	109	48	79	71	98	-1.706408×10^{-4}	0.87	32	46	67	62	95	75	1.0×10^{-6}
5	111	45	80	73	95	-1.955903×10^{-4}	1.41	32	46	70	61	79	90	1.3×10^{-6}
6	113	47	79	70	98	1.76031×10^{-4}	1	26	52	60	55	85	71	2.3×10^{-6}
7	127	45	79	65	98	-1.434043×10^{-4}	1.16	46	32	71	67	89	80	1.2×10^{-6}
8	131	48	80	58	95	-9.64243×10^{-5}	0.87	32	46	53	61	90	70	7×10^{-6}
9	137	50	85	53	89	-6.75412×10^{-5}	1.16	46	32	55	62	67	92	1.6×10^{-6}
10	139	47	80	57	97	-9.17822×10^{-5}	1	26	52	73	59	75	90	1.1×10^{-6}
11	149	46	85	53	89	1.259775×10^{-4}	1	26	52	75	65	100	71	1.2×10^{-6}
12	151	45	79	53	95	-9.26535×10^{-5}	1	26	52	70	52	73	80	1.6×10^{-6}
13	157	37	79	62	95	-6.95927×10^{-5}	1	26	52	71	67	80	85	5×10^{-6}
14	163	43	79	53	98	-1.101473×10^{-4}	1	26	52	85	65	95	73	1.6×10^{-6}
15	167	45	80	47	92	-6.10193×10^{-4}	1.16	46	32	57	48	65	89	2.2×10^{-6}
16	169	41	79	52	95	5.36132×10^{-5}	1.41	32	46	60	67	70	98	2.4×10^{-6}
17	173	37	80	57	95	4.33526×10^{-5}	1.16	46	32	62	67	70	98	6×10^{-6}
18	179	33	79	61	95	6.47613×10^{-5}	1.16	46	32	73	65	80	85	2.5×10^{-6}
19	181	41	79	47	92	-5.85325×10^{-5}	0.87	32	46	62	65	95	70	2.8×10^{-6}
20	191	32	83	58	89	-5.67007×10^{-5}	1.6	52	26	59	73	75	80	2.8×10^{-6}
21	193	35	79	55	98	-6.09019×10^{-5}	1.16	46	32	71	58	85	90	4×10^{-6}
22	197	41	79	46	98	-4.85191×10^{-5}	1	26	52	65	61	75	73	1×10^{-6}
23	199	41	85	45	90	-2.95596×10^{-5}	1.16	46	32	58	79	65	80	1.8×10^{-6}
24	202	40	79	46	98	4.09238×10^{-5}	1	26	52	57	65	83	75	3.7×10^{-6}
25	206	41	85	43	89	3.72179×10^{-5}	1.16	46	32	65	73	75	83	6×10^{-6}
26	211	30	85	58	90	-3.71713×10^{-5}	1	26	52	62	48	73	98	2.8×10^{-6}
27	214	34	75	48	97	3.08315×10^{-5}	1	26	52	65	59	73	98	9×10^{-6}
28	218	35	83	47	90	3.07039×10^{-5}	1.16	46	32	58	67	79	92	1.2×10^{-6}
29	222	37	80	43	92	-4.77380×10^{-5}	1	26	52	58	53	75	60	1.7×10^{-6}
30	223	33	80	48	92	-2.92455×10^{-5}	1.16	46	32	62	59	67	95	1.6×10^{-6}
31	226	30	80	47	83	-3.99829×10^{-5}	1	26	52	67	50	70	79	3.3×10^{-6}
32	227	32	85	50	89	4.6586×10^{-5}	1	26	52	73	58	92	83	8×10^{-6}
33	229	24	71	62	100	-2.95221×10^{-5}	1	26	52	59	57	80	92	1.9×10^{-6}
34	231	30	85	53	90	5.09295×10^{-5}	0.87	32	46	73	61	95	62	2.8×10^{-6}
35	233	32	73	47	100	1.88136×10^{-5}	1	26	52	50	65	71	92	1.0×10^{-6}
36	239	32	85	48	90	-5.25064×10^{-5}	1	26	52	71	57	98	70	3×10^{-6}
37	241	25	73	57	98	1.91403×10^{-5}	1.16	46	32	62	79	70	97	5×10^{-6}
38	242	37	85	41	90	-4.64538×10^{-5}	1.16	46	32	67	47	71	73	1.7×10^{-6}
39	243	35	79	37	83	-3.2008×10^{-5}	1.16	46	32	61	50	75	95	6×10^{-6}
40	251	35	79	41	95	-2.9197×10^{-5}	1.16	46	32	62	61	83	90	1.7×10^{-6}

参 考 文 献

- [1] 都世平, 用微机选配机床挂轮,《机械制造》,1985年, 第 5 期.
[2] 卜兴森, 滚齿机挂轮齿数的一些改革,《机床》,1985年, 第 5 期.

**The Programm and Analyse of the Computer Used for YM3150E
Gear Hobber Processing Intermediate Wheel of High Prime Gear**

Shi Dean Song Ximing

Abstract

This paper analyses the problems of precision and computing method of the gear hobber for processing high prime gear. The method and programm for computing the machine intermediate wheel using the electric computer are advanced. Divided gear and differential gear of all kinds of high prime workpieces that can be processed by YM3150E gear hobber are computed.