

# 较大的内齿轮变位系数引起的影响

机械系 冯澄宙

## 提 要

本文讨论了较大的内齿轮变位系数对内齿轮弯曲强度和内齿轮副顶隙的影响；本文还讨论了内齿轮是否会发生根切。

本文给出了新的检算外齿轮齿顶和内齿轮齿根间顶隙的表格，该表是根据理论与实践分析和利用电子计算机进行大量计算的基础上建立的。利用该表和笔者以前的论文<sup>[15]</sup>能方便地从工厂中已准备好的插齿刀中选出合适的插齿刀，以便于生产。

## 一、问题的提出

在1978年化学工业出版社组织的《机械设计手册》审稿会议上，许多从事齿轮工作的同志对文献[1]中，推荐的内齿轮变位系数 $X_2$ 取得很大（ $X_2 = 1 \sim 4.7$ ），提出了怀疑，有的同志认为内齿轮的变位系数太大弯曲强度将削弱，有的则认为弯曲强度将增高。又在文献[1]中指出，内齿轮变位系数取上述的值时不会产生根切；而在文献[2]中提出，用插齿刀切制内齿轮时，有时内齿轮会发生根切现象。

由上可知，目前对于内齿轮变位系数过大时，究竟会产生什么问题，还没有定论，因此笔者对这个问题进行了研究，提供给同志们参考。

## 二、内齿轮变位系数对弯曲强度的影响

从文献[3]的内齿轮齿形系数图可知，当内齿轮变位系数愈大时，内齿轮中的弯曲应力愈大，即齿根强度愈弱。

在ISO和DIN的齿轮强度公式<sup>[4]、[5]</sup>中，则近似地把齿条的齿形系数代替内齿轮的齿形系数，这样就认为内齿轮的变位系数的大小，对弯曲强度没有影响。

笔者则用霍菲的30度切线法，根据文献[4]和[5]的强度公式，作得内齿轮的齿形系数 $Y_{Fa}$ 、齿根圆角半径 $\rho$ 、应力集中系数 $Y_{Sa}$ 和综合齿形系数 $Y_{Fs}$ ，现将其中一些数据列于表1中。从表1可以看出，内齿轮的齿形系数是随变位系数的增大而减小，但齿根圆角半径也随着减小，所以应力集中系数随着变位系数的增大而增加；当插齿刀齿数较多时（例如 $Z_0 = 30$ ），应力集中系数的增量较大，因此综合齿形系数 $Y_{Fa}$ 随着变位系数增

表1 内齿轮变位系数对综合齿形系数等的影响

插齿刀 齿数 $Z_0$	内齿轮齿数 $Z_2$	60				100			
	内齿轮变位系数 $X_2$	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5
15	齿形系数 $Y_{Fa}$	—	—	1.527	1.295	—	—	1.759	1.579
	齿根圆角半径 $\rho$	—	—	0.588	0.467	—	—	0.678	0.607
	应力集中系数 $Y_{Sa}$	—	—	1.870	2.141	—	—	1.706	1.822
	综合齿形系数 $Y_{FS}$	—	—	2.856	3.772	—	—	3.001	2.878
30	齿形系数 $Y_{Fa}$	2.044	1.694	1.427	1.200	2.104	1.898	1.702	1.517
	齿根圆角半径 $\rho$	0.536	0.259	0.130	0.101	0.552	0.414	0.307	0.225
	应力集中系数 $Y_{Sa}$	1.784	2.403	3.305	4.011	1.745	1.968	2.254	2.629
	综合齿形系数 $Y_{FS}$	3.646	4.072	4.718	4.812	3.673	3.735	3.837	3.988

注：表中的值是按插齿刀变位系数 $X_0 = 0$ 计算的。

大而增高，只有在插齿刀齿数较小时（例如 $Z_0 = 15$ 、 $Z_2 = 100$ ），由于应力集中系数的增量较小，综合齿形系数 $Y_{FS}$ 才随着变位系数的增大而略有降低。

由上可知，内齿轮的变位系数对弯曲强度是有影响的，并且插齿刀的齿数对弯曲强度也有影响。

### 三、内齿轮是否会产生根切

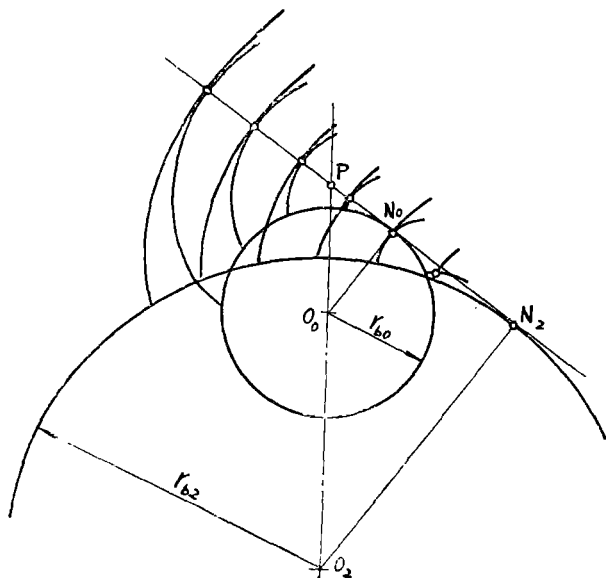


图 1

一般内齿轮用插齿刀加工，用插齿刀加工内齿轮时，犹如一对内啮合齿轮传动。设图1为内啮合传动中一对齿廓的啮合过程，因内齿轮的基圆半径 $r_{b2}$ 大于插齿刀的基圆半径 $r_{b0}$ ，根据渐开线特性可知，在切削啮合过程中，插齿刀的齿廓不可能和内齿轮齿根处的渐开线相交，所以不可能产生根切。

但文献[2]指出：“用插齿刀加工内齿轮时，如果内齿轮齿根圆上的齿槽宽度小于插齿刀的实际齿顶宽度，就会发生

内齿轮的根切现象。”变位内齿轮的齿槽的齿形和变位外齿轮的齿形相同；如所众知，外齿轮的变位系数大时，齿顶会变尖，因此就会产生一个问题——用插齿刀加工的内齿轮，当变位系数 $X_2$ 大时，齿槽是否会变尖？这样也许可能使内齿轮齿根圆上的齿槽宽度小于插齿刀的实际齿顶宽度，从而引起内齿轮产生根切。所以笔者对该问题进一步讨论如下。

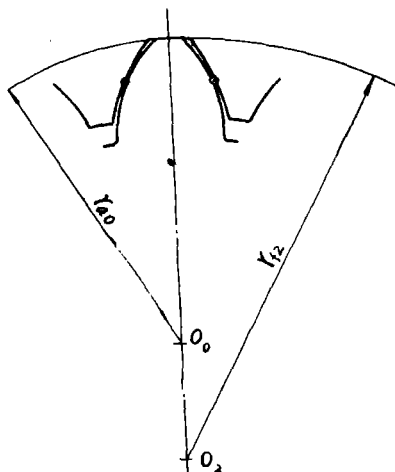


图 2

设用插齿刀加工好的内齿轮与插齿刀进行相啮合运动到图 2 所示的位置，即两轮的齿形与轴线  $\overline{O_0O_2}$  相对称的位置，由渐开线特性可知，这时内齿轮齿根圆上的齿槽宽度一定比插齿刀的齿顶宽度大，由此可知内齿轮变位系数大了不会产生根切现象。

#### 四、内齿轮变位系数对内齿轮副中顶隙的影响

一对相啮合的角度变位的内齿轮副的中心距  $a'$  和分离系数  $y$  分别为

$$a' = \frac{m(z_2 - z_1)}{2} - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} \quad (1)$$

$$y = \frac{a' - a}{m} = \left( \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \frac{z_2 - z_1}{2} \quad (2)$$

式中  $z_2, z_1$  ——分别为内、外齿轮的齿数；

$m$  ——模数；

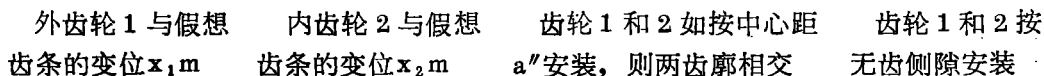
$\alpha$  ——压力角；

$\alpha'$  ——啮合角；

$a$  ——标准中心距， $a = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$ 。

设内、外齿轮的变位系数分别为 $X_2, X_1$ ，若外齿轮和内齿轮分别用同一个假想的齿条刀加工（图 3 a、b），如果齿轮 1 和 2 以中心距  $a''$  安装（图 3 c）〔6〕。

式中  $r_2$ 、 $r_1$ ——分别为内、外齿轮的分度圆半径。



由图 3 c 可看出, 这时内、外齿轮分别与假想齿条相啮合的节点  $p''$ 、 $p'$  不重合, 故两齿廓相交。欲其不相交, 并无齿侧隙, 必须把内齿轮的中心  $O_2$  向外齿轮的中心  $O_1$  靠拢一些, 即使  $a''$  缩短一些, 这时中心距  $a'$  为

如图 3d 所示, 缩短的距离为

以  $\sigma_m$  表示缩短的距离则

即

$$\zeta = x_2 - x_1 - y \quad (3)$$

$\sigma$ 称为反变位系数。图3是内啮合正传动的情况，若负传动时， $x_2 - x_1$ 为“-”，这时 $p''$ 点在 $p'$ 点的上面（参考图3），故两齿廓也相交；欲两齿廓不相交，并无齿侧隙，也必须把内齿轮中心 $O_2$ 向外齿轮中心 $O_1$ 靠拢一些，故角度变位时，反变位系数总

是正值；这是和外啮合相类似的。

当然，在零传动中， $x_2 - x_1 = 0$ ， $y = 0$ ， $\sigma$ 也等于零。

根据以上分析可知，若内齿轮的齿顶圆半径  $r_{a2}$  按 DIN 的公式<sup>[7]</sup> 计算，即

$$r_{a2} = m \left( -\frac{z_2}{2} - h_a^* + x_2 \right) \quad (4)$$

则内齿轮的齿顶与外齿轮齿根间的顶隙  $C_{21}$  至少等于  $(C^* + 6)m$  [当外齿轮用插齿刀加工时，外齿轮的齿根圆直径比用齿条加工时小，则  $C_{21} \geq (C^* + 6)m$ ，式中  $C^*$  为顶隙系数]。

若内齿轮的齿顶圆半径  $r_{a2}$  按文献 [8] ~ [11] 的公式计算，即

$$r_{a2} = m \left( \frac{z_2}{2} - h_a^* + x_2 - 6 \right) \quad (5)$$

则内齿轮的齿顶与外齿轮齿根间的顶隙  $C_{21}$  至少等于  $C^*m$ 。

所以在内啮合传动中，不需要验算内齿轮的齿顶与外齿轮齿根间的顶隙  $C_{21}$  <sup>[12]</sup>。

但外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙  $C_{12}$  则有可能变小，需要进行验算，现讨论如下：

若内齿轮的齿根圆加工成理论的齿根圆半径  $r_{f2}$ ，即

$$r_{f2} = m \left( \frac{z_2}{2} + h_a^* + C^* + x_2 \right) \quad (6)$$

而外齿轮的齿顶圆半径按下式<sup>[7]~[11]</sup> 计算时，

$$r_{a1} = m \left( \frac{z_1}{2} + h_a^* + x_1 \right)$$

则由图 3d 可知，一对齿轮相安装后的顶隙  $C_{12}$  为  $(C^* + 6)m$ ，即外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙增量系数  $\Delta C^*$  为

$$\Delta C^* = (C^* + 6) - C^* = 6$$

将式 (3) 和 (2) 的关系代入上式，得

$$\Delta C^* = x_2 - x_1 - \left( \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \frac{z_2 - z_1}{2} \quad (7)$$

若令  $\Delta x = x_2 - x_1$ ， $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ ，当  $\alpha = 20^\circ$  时， $\Delta C^*$  与  $\Delta x$ 、 $\Delta Z$  之间的关系如

图 4 和表 2 所示（将表中  $\Delta \gamma_f^*$  改为  $\Delta C^*$ ）。

用插齿刀加工时，若插齿刀的齿顶高系数  $h_{a0}^* = h_a^* + C^*$ ，参考图 3d 可知，这时

实际的内齿轮的齿根圆半径  $r'_{f2}$  将比理论的齿根圆半径  $r_{f2}$  减小  $6m$ ，即

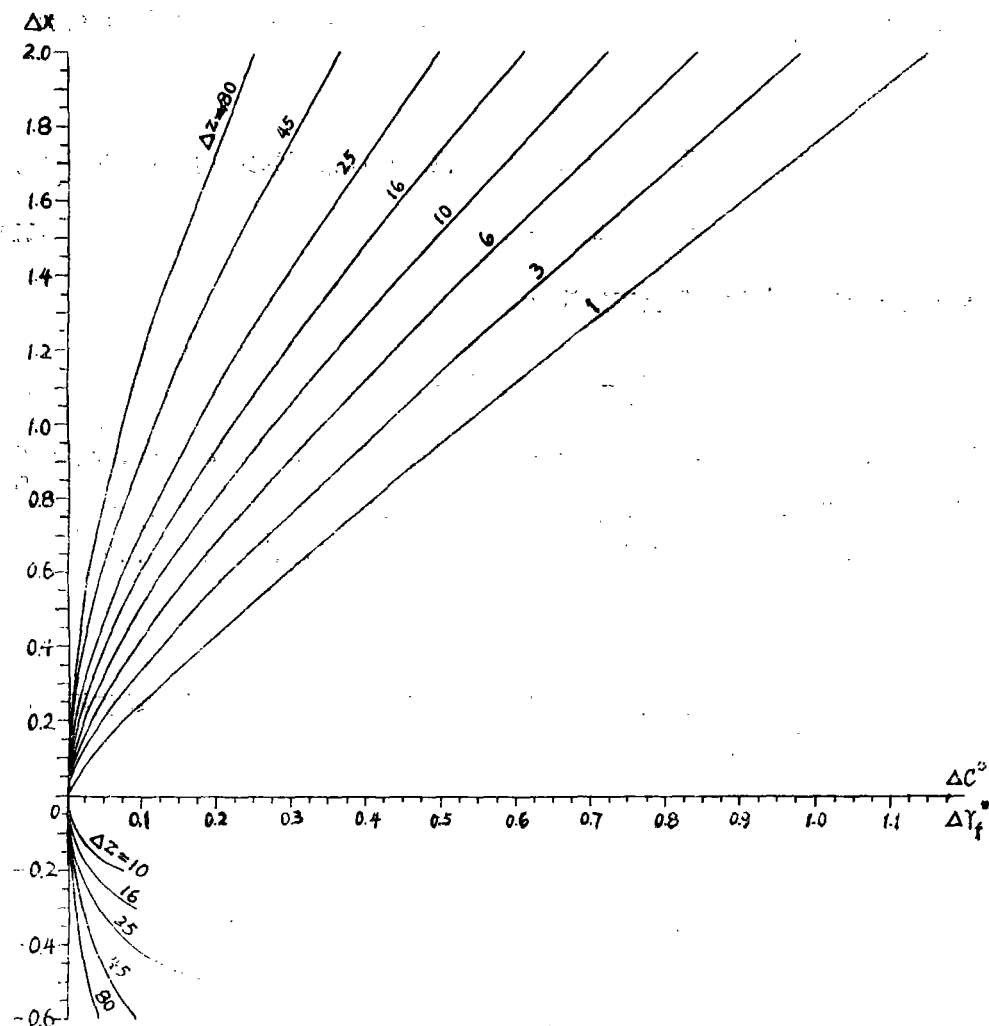


图 4

$$\gamma'_{f2} = \gamma_{f2} - 6m$$

则齿根圆半径的减小系数  $\Delta\gamma_f^*$  为

$$\Delta\gamma_f^* = \frac{\gamma_{f2} - \gamma'_{f2}}{m} = 6 = x_2 - x_0 - \left( \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'_{02}} - 1 \right) \frac{Z_2 - Z_0}{2} \quad (9)$$

式中  $z_0$  ——  $Z$  插齿刀齿数;

$\alpha'_{02}$  —— 插制内齿轮 2 时的切削齿合角

$$\text{inv}\alpha'_{02} = \frac{2(x_2 - x_0) \text{tg}\alpha}{Z_2 - Z_0} + \text{inv}\alpha \quad (10)$$

当  $\alpha = 20^\circ$ 、 $h_{a0}^* = 1.25$  时, 若令  $\Delta Z = Z_2 - Z_0$ ,  $\Delta x = X_2 - X_0$ , 则可利用图 4 或表 2 查得  $\Delta\gamma_f^*$ 。

因此, 一对齿轮相安装后, 外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的实际顶隙系数  $C_{12}^{*'}$  为

$$C_{12}^{*'} = C^* + \Delta C^* - \Delta\gamma_f^* \quad (11)$$

当  $h_{a0}^* \neq h_a^* + C^*$  时, 则上式应改为

$$C_{12}^{*'} = h_{a0}^* - h_a^* + \Delta C^* - \Delta\gamma_f^* \quad (11a)$$

例1. 一内齿轮副, 内、外齿轮的齿数和变位系数分别为:  $Z_2 = 68$ ,  $Z_1 = 17$ ,  $X_2 = 3$ ,  $x_1 = 2.2$ <sup>①</sup>, 模数  $m = 1$  毫米, 压力角  $\alpha = 20^\circ$ , 齿顶高系数  $h_a^* = 1$ ; 若采用的插齿刀齿数  $Z_0 = 50$ , 变位系数  $X_0 = -0.3$ , 试验算外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙系数  $C_{12}^{*'}$ 。

解:

1. 若内齿轮的齿根圆为理论的齿根圆半径, 则外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙增量系数  $\Delta C^*$  可利用表 2 查得。

$$\because \Delta Z = Z_2 - Z_1 = 68 - 17 = 51$$

$$\Delta X = X_2 - X_1 = 3 - 2.2 = 0.8$$

由表 2 查得顶隙增量系数  $\Delta C_{12}^* = 0.072$ 。

2. 计算用插齿刀加工的内齿轮的实际齿根圆半径的减小系数  $\Delta\gamma_f^*$

$$\begin{aligned} \text{由式 (10)} \quad \text{inv}\alpha'_{02} &= \frac{2(x_2 - x_0) \operatorname{tg}\alpha}{Z_2 - Z_0} + \text{inv}\alpha \\ &= \frac{2(3 + 0.3) \operatorname{tg}20^\circ}{68 - 50} + \text{inv}20^\circ \\ &= 0.1483602 \end{aligned}$$

根据文献 [13] 查得  $\cos\alpha'_{02} = 0.7593951$

$$\text{由式 (9)} \quad \Delta\gamma_f^* = X_2 - X_0 - \left( \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'_{02}} - 1 \right) \frac{Z_2 - Z_0}{2}$$

注: ① 此变位系数是根据文献 [1] 推荐的数值选取的。

$$= 3 - (-0.3) - \left( \frac{\cos 20^\circ}{0.7593951} - 1 \right) \frac{68-50}{2}$$

$$= 1.163$$

3. 根据式 (11) 计算实际顶隙系数  $C_{12}'$

一般的理论顶隙系数  $C^* = 0.25$ 。

所以  $C_{12}' = C^* + \Delta C^* - \Delta \gamma_f^* = 0.25 + 0.072 - 1.163 = -0.841$

由此可知, 这时内齿轮副根本不能安装。

例 2 一少齿差内齿轮副, 内、外齿轮的齿数和变位系数分别为<sup>[14]</sup>:  $Z_2 = 44, Z_1 = 43, X_2 = 0.507, X_1 = 0$ , 模数  $m = 1$  毫米, 齿顶高系数  $h_a^* = 0.75$ , 压力角  $\alpha = 20^\circ$ ; 若采用的插齿刀的齿数  $Z_0 = 26$ 、变位系数  $X_0 = -0.263$ , 试验算外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙。

解:

1. 先求外齿轮齿顶和内齿轮的理论齿根圆间的顶隙增量系数  $\Delta C_{12}^*$

因  $\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 44 - 43 = 1$

$$\Delta X = X_2 - X_1 = 0.507 - 0 = 0.507$$

由表 2 并用插入法得

$$\Delta C_{12}^* = 0.233 + (0.290 - 0.233) \times \frac{0.507 - 0.50}{0.6 - 0.5}$$

$$= 0.237$$

2. 求用插齿刀加工的内齿轮的实际齿根圆半径减小系数  $\Delta \gamma_f^*$

因  $\Delta Z = Z_2 - Z_0 = 44 - 26 = 18$

$$\Delta X = X_2 - X_0 = 0.507 - (-0.263) = 0.77$$

由表 2 并用插入法得

$$\Delta \gamma_f^* = 0.118 + (0.146 - 0.118) \times \frac{0.77 - 0.70}{0.8 - 0.7}$$

$$= 0.138$$

3. 根据式 (11a) 计算实际顶隙系数  $C_{12}'$



$$\begin{aligned}
C_{12}^{*'} &= h_{a0}^* - h_a^* + \Delta C^* - \Delta \gamma_f^* \\
&= 1.25 - 0.75 + 0.237 - 0.138 \\
&= 0.599
\end{aligned}$$

则外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙 $C_{12}$ 为

$$C_{12} = C_{12}^* \times m = 0.599 \times 1 = 0.599 \text{ mm}$$

由图4、表2和上面的分析可知：（1）不论 $\Delta X$ 是负还是正， $\Delta C^*$ 和 $\Delta \gamma_f^*$ 总是为正；（2） $\Delta C^*$ 和 $\Delta \gamma_f^*$ 的变化随着 $\Delta Z$ 的增大而减小；（3）如 $X_2 - X_1$ 为一定值时，增大内齿轮的变位系数，将会使外齿轮和内齿轮齿根间顶隙 $C_{12}$ 减小，有时甚至为负值，使一对齿轮不能正确地安装。（4）当 $X_2$ 大时，将限制插齿刀的变位系数 $X_0$ 不能太小。

## 五、结 束 语

根据上面分析可知，内齿轮在切削过程中不可能产生根切，齿根危险断面虽随着变位系数增大而增加，但由于齿根圆角半径变小，应力集中系数增大，所以在一般情况下（除插齿刀齿数较小的个别情况外）内齿轮的齿根弯曲强度将随着变位系数的增大而削弱；内齿轮变位系数过大时，将会使外齿轮的齿顶和内齿轮齿根间的顶隙减少，并且顶隙的减少量还与插齿刀的齿数和变位系数有关，因此在设计和选用插齿刀时，必须进行顶隙 $C_{12}$ 的验算。利用本文中的表2，则可以方便地计算出顶隙 $C_{12}$ 的大小。若利用表2和笔者以前的论文〔15〕，则能方便地从工厂中已准备好的插齿刀中选出合适的插齿刀，以便于生产。

(续)

$\Delta r_i^* \Delta x$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$\Delta z$																						
151	0.020	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.022	0.029	0.036	0.044	0.052	0.062	0.071	0.082	0.093
152	0.020	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.016	0.022	0.029	0.036	0.044	0.052	0.061	0.071	0.082	0.093
153	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.012	0.016	0.022	0.028	0.035	0.043	0.052	0.061	0.071	0.081	0.092
154	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.022	0.028	0.035	0.043	0.051	0.061	0.070	0.081	0.092
155	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.022	0.028	0.035	0.043	0.051	0.060	0.070	0.080	0.091
156	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.022	0.028	0.035	0.043	0.051	0.060	0.070	0.080	0.091
157	0.019	0.013	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.028	0.035	0.042	0.051	0.060	0.069	0.079	0.090
158	0.019	0.013	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.028	0.034	0.042	0.050	0.059	0.069	0.079	0.090
159	0.019	0.013	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.027	0.034	0.042	0.050	0.059	0.068	0.078	0.089
160	0.019	0.013	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.027	0.034	0.042	0.050	0.059	0.068	0.078	0.089
161	0.018	0.013	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.027	0.034	0.041	0.050	0.058	0.068	0.078	0.088
162	0.018	0.013	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.016	0.021	0.027	0.034	0.041	0.049	0.058	0.067	0.077	0.088
163	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.021	0.027	0.034	0.041	0.049	0.058	0.067	0.077	0.087
164	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.021	0.027	0.033	0.041	0.049	0.057	0.067	0.076	0.087
165	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.021	0.027	0.033	0.041	0.048	0.057	0.066	0.076	0.086
166	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.020	0.026	0.033	0.040	0.048	0.057	0.066	0.076	0.086
167	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.020	0.026	0.033	0.040	0.048	0.056	0.066	0.075	0.086
168	0.018	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.011	0.015	0.020	0.026	0.033	0.040	0.048	0.056	0.065	0.075	0.085
169	0.017	0.012	0.008	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.010	0.015	0.020	0.026	0.032	0.040	0.047	0.056	0.065	0.075	0.085
170	0.017	0.012	0.007	0.004	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.007	0.010	0.015	0.020	0.026	0.032	0.039	0.047	0.056	0.065	0.074	0.084

注: 1 当内齿轮副时, 则表中 $\Delta r_i^*$ 改为 $\Delta C^*$ 。

表2 内啮合时顶隙的增量系数 $\Delta C^*$ 和内齿轮齿根圆半径的减小系数 $\Delta r_f^*$

$\frac{\Delta r_f^*}{\Delta z}$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1	—	—	—	—	—	—	0	0.028	0.073	0.123	0.177	0.233	0.290	0.349	0.408	0.468	0.529	0.590	0.652	0.714	0.776	0.838
2	—	—	—	—	—	—	0	0.020	0.056	0.098	0.145	0.195	0.246	0.300	0.354	0.410	0.466	0.523	0.581	0.639	0.698	0.817
3	—	—	—	—	—	—	0	0.015	0.046	0.083	0.125	0.170	0.218	0.267	0.318	0.370	0.423	0.477	0.531	0.587	0.642	0.699
4	—	—	—	—	—	—	0	0.013	0.039	0.073	0.111	0.153	0.197	0.243	0.290	0.339	0.390	0.441	0.493	0.546	0.599	0.654
5	—	—	—	—	—	0.039	0	0.011	0.034	0.065	0.100	0.139	0.180	0.224	0.269	0.315	0.363	0.412	0.462	0.513	0.564	0.616
6	—	—	—	—	—	0.023	0	0.009	0.031	0.059	0.091	0.128	0.167	0.208	0.251	0.295	0.341	0.388	0.436	0.484	0.534	0.584
7	—	—	—	—	—	0.017	0	0.008	0.028	0.054	0.084	0.118	0.155	0.194	0.235	0.278	0.322	0.367	0.413	0.460	0.508	0.557
8	—	—	—	—	—	0.014	0	0.007	0.025	0.049	0.078	0.111	0.146	0.183	0.222	0.263	0.305	0.349	0.393	0.439	0.486	0.533
9	—	—	—	—	—	0.012	0	0.007	0.023	0.046	0.073	0.104	0.137	0.173	0.211	0.250	0.291	0.333	0.376	0.420	0.465	0.511
10	—	—	—	—	0.077	0.010	0	0.006	0.022	0.043	0.069	0.098	0.130	0.164	0.200	0.238	0.278	0.318	0.360	0.403	0.447	0.492
11	—	—	—	—	0.056	0.009	0	0.006	0.020	0.040	0.065	0.093	0.123	0.156	0.191	0.228	0.266	0.306	0.346	0.388	0.431	0.474
12	—	—	—	—	0.045	0.008	0	0.005	0.019	0.038	0.061	0.088	0.117	0.149	0.183	0.218	0.255	0.294	0.333	0.374	0.415	0.458
13	—	—	—	—	0.039	0.007	0	0.005	0.018	0.036	0.058	0.084	0.112	0.143	0.175	0.210	0.246	0.283	0.321	0.361	0.402	0.443
14	—	—	—	—	0.034	0.006	0	0.005	0.017	0.034	0.055	0.080	0.107	0.137	0.169	0.202	0.237	0.273	0.311	0.349	0.389	0.429
15	—	—	—	0.116	0.030	0.006	0	0.004	0.016	0.032	0.053	0.077	0.103	0.132	0.162	0.195	0.229	0.264	0.301	0.338	0.377	0.417
16	—	—	—	0.091	0.027	0.006	0	0.004	0.015	0.031	0.050	0.073	0.099	0.127	0.157	0.188	0.221	0.256	0.291	0.328	0.366	0.405
17	—	—	—	0.078	0.025	0.005	0	0.004	0.014	0.029	0.048	0.071	0.095	0.122	0.151	0.182	0.214	0.248	0.283	0.319	0.356	0.394
18	—	—	—	0.068	0.023	0.005	0	0.004	0.014	0.028	0.046	0.068	0.092	0.118	0.146	0.176	0.208	0.240	0.274	0.310	0.346	0.383
19	—	—	—	0.061	0.021	0.005	0	0.004	0.013	0.027	0.045	0.065	0.089	0.114	0.142	0.171	0.201	0.234	0.267	0.301	0.337	0.373
20	—	—	0.155	0.055	0.020	0.004	0	0.003	0.012	0.026	0.043	0.063	0.086	0.111	0.137	0.166	0.196	0.227	0.260	0.293	0.328	0.364
21	—	—	0.128	0.051	0.019	0.004	0	0.003	0.012	0.025	0.042	0.061	0.083	0.107	0.133	0.161	0.190	0.221	0.253	0.286	0.320	0.355
22	—	—	0.111	0.047	0.018	0.004	0	0.003	0.012	0.024	0.040	0.059	0.080	0.104	0.129	0.157	0.185	0.215	0.247	0.279	0.313	0.347
23	—	—	0.100	0.044	0.017	0.004	0	0.003	0.011	0.023	0.039	0.057	0.078	0.101	0.126	0.152	0.180	0.210	0.241	0.272	0.305	0.339
24	—	—	0.091	0.041	0.016	0.003	0	0.003	0.011	0.022	0.038	0.055	0.076	0.098	0.122	0.148	0.176	0.205	0.235	0.266	0.298	0.332
25	—	0.194	0.084	0.039	0.015	0.003	0	0.003	0.010	0.022	0.036	0.054	0.074	0.096	0.119	0.145	0.172	0.200	0.229	0.260	0.292	0.325
26	—	0.165	0.077	0.036	0.014	0.003	0	0.003	0.010	0.021	0.035	0.052	0.072	0.093	0.116	0.141	0.168	0.195	0.224	0.254	0.286	0.318
27	—	0.146	0.072	0.035	0.014	0.003	0	0.003	0.010	0.020	0.034	0.051	0.070	0.091	0.113	0.138	0.164	0.191	0.219	0.249	0.280	0.311
28	—	0.133	0.068	0.033	0.013	0.003	0	0.003	0.009	0.020	0.033	0.049	0.068	0.088	0.111	0.135	0.160	0.187	0.215	0.244	0.274	0.305
29	—	0.122	0.064	0.031	0.012	0.003	0	0.002	0.009	0.019	0.032	0.048	0.066	0.086	0.108	0.132	0.156	0.183	0.210	0.239	0.269	0.299
30	0.232	0.114	0.061	0.030	0.012	0.003	0	0.002	0.009	0.019	0.032	0.047	0.065	0.084	0.106	0.129	0.153	0.179	0.206	0.234	0.263	0.294

(续)

$\frac{\Delta r^* \Delta x}{\Delta z}$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
31	0.202	0.106	0.057	0.029	0.011	0.003	0	0.002	0.009	0.018	0.031	0.046	0.063	0.082	0.103	0.126	0.150	0.175	0.202	0.230	0.258	0.288
32	0.182	0.100	0.055	0.027	0.011	0.003	0	0.002	0.008	0.018	0.030	0.045	0.062	0.080	0.101	0.123	0.147	0.172	0.198	0.225	0.254	0.283
33	0.167	0.094	0.052	0.026	0.011	0.002	0	0.002	0.008	0.017	0.029	0.044	0.060	0.079	0.099	0.121	0.144	0.168	0.194	0.221	0.249	0.278
34	0.155	0.089	0.050	0.025	0.010	0.002	0	0.002	0.008	0.017	0.029	0.043	0.059	0.077	0.097	0.118	0.141	0.165	0.191	0.217	0.245	0.273
35	0.145	0.085	0.048	0.024	0.010	0.002	0	0.002	0.008	0.016	0.028	0.042	0.058	0.075	0.095	0.116	0.138	0.162	0.187	0.213	0.240	0.268
36	0.136	0.081	0.046	0.024	0.010	0.002	0	0.002	0.007	0.016	0.027	0.041	0.056	0.074	0.093	0.114	0.136	0.159	0.184	0.209	0.236	0.264
37	0.129	0.077	0.044	0.023	0.009	0.002	0	0.002	0.007	0.016	0.027	0.040	0.055	0.072	0.091	0.111	0.133	0.156	0.180	0.206	0.232	0.260
38	0.122	0.074	0.043	0.022	0.009	0.002	0	0.002	0.007	0.015	0.026	0.039	0.054	0.071	0.089	0.109	0.131	0.153	0.177	0.202	0.228	0.255
39	0.116	0.071	0.041	0.021	0.009	0.002	0	0.002	0.007	0.015	0.025	0.038	0.053	0.070	0.088	0.107	0.128	0.151	0.174	0.199	0.225	0.251
40	0.111	0.068	0.040	0.021	0.009	0.002	0	0.002	0.007	0.015	0.025	0.037	0.052	0.068	0.086	0.105	0.126	0.148	0.171	0.196	0.221	0.247
41	0.106	0.066	0.038	0.020	0.008	0.002	0	0.002	0.007	0.014	0.024	0.037	0.051	0.067	0.085	0.104	0.124	0.146	0.169	0.193	0.218	0.244
42	0.102	0.064	0.037	0.019	0.008	0.002	0	0.002	0.007	0.014	0.024	0.036	0.050	0.066	0.083	0.102	0.122	0.143	0.165	0.190	0.214	0.240
43	0.098	0.061	0.036	0.019	0.008	0.002	0	0.002	0.006	0.014	0.023	0.035	0.049	0.065	0.082	0.100	0.120	0.141	0.163	0.187	0.211	0.236
44	0.094	0.059	0.035	0.018	0.008	0.002	0	0.002	0.006	0.013	0.023	0.035	0.048	0.063	0.080	0.098	0.118	0.139	0.161	0.184	0.208	0.233
45	0.091	0.058	0.034	0.018	0.007	0.002	0	0.002	0.006	0.013	0.023	0.034	0.047	0.062	0.079	0.097	0.116	0.137	0.158	0.181	0.205	0.230
46	0.088	0.056	0.033	0.017	0.007	0.002	0	0.002	0.006	0.013	0.022	0.033	0.047	0.061	0.078	0.095	0.114	0.135	0.156	0.178	0.202	0.226
47	0.085	0.054	0.032	0.017	0.007	0.002	0	0.002	0.006	0.013	0.022	0.033	0.046	0.060	0.076	0.094	0.113	0.133	0.154	0.176	0.199	0.223
48	0.082	0.053	0.031	0.017	0.007	0.002	0	0.002	0.006	0.012	0.021	0.032	0.045	0.059	0.072	0.092	0.111	0.131	0.151	0.173	0.196	0.222
49	0.080	0.051	0.031	0.016	0.007	0.002	0	0.001	0.006	0.012	0.021	0.032	0.044	0.058	0.074	0.091	0.109	0.129	0.149	0.171	0.194	0.217
50	0.077	0.050	0.030	0.016	0.007	0.002	0	0.001	0.006	0.012	0.021	0.031	0.044	0.057	0.073	0.090	0.108	0.127	0.147	0.169	0.191	0.214
51	0.075	0.048	0.029	0.015	0.006	0.002	0	0.001	0.005	0.012	0.020	0.031	0.043	0.057	0.072	0.088	0.106	0.125	0.145	0.166	0.188	0.212
52	0.073	0.047	0.028	0.015	0.006	0.002	0	0.001	0.005	0.012	0.020	0.030	0.042	0.056	0.071	0.087	0.105	0.123	0.143	0.164	0.186	0.209
53	0.071	0.046	0.028	0.015	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.020	0.030	0.041	0.055	0.070	0.086	0.103	0.122	0.141	0.162	0.184	0.206
54	0.069	0.045	0.027	0.014	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.019	0.029	0.041	0.054	0.069	0.085	0.102	0.120	0.139	0.160	0.181	0.204
55	0.067	0.044	0.026	0.014	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.019	0.029	0.040	0.053	0.068	0.083	0.100	0.118	0.138	0.158	0.179	0.201
56	0.066	0.043	0.026	0.014	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.019	0.028	0.040	0.052	0.067	0.082	0.099	0.117	0.136	0.156	0.177	0.199
57	0.064	0.042	0.025	0.014	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.018	0.028	0.039	0.052	0.066	0.081	0.098	0.115	0.134	0.154	0.175	0.196
58	0.062	0.041	0.025	0.013	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.011	0.018	0.028	0.039	0.051	0.065	0.080	0.096	0.114	0.132	0.152	0.172	0.194
59	0.061	0.040	0.024	0.013	0.006	0.001	0	0.001	0.005	0.010	0.018	0.027	0.038	0.050	0.064	0.079	0.095	0.112	0.131	0.150	0.170	0.192
60	0.060	0.039	0.024	0.013	0.005	0.001	0	0.001	0.005	0.010	0.018	0.027	0.037	0.050	0.063	0.078	0.094	0.111	0.129	0.148	0.168	0.189

$\Delta r^* \Delta x$ $\Delta z$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
61	0.053	0.038	0.023	0.013	0.005	0.001	0	0.001	0.005	0.010	0.017	0.026	0.037	0.049	0.062	0.077	0.093	0.110	0.128	0.147	0.166	0.187
62	0.057	0.038	0.023	0.012	0.005	0.001	0	0.001	0.005	0.010	0.017	0.026	0.036	0.048	0.062	0.076	0.092	0.108	0.126	0.145	0.165	0.185
63	0.056	0.037	0.022	0.012	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.010	0.017	0.026	0.036	0.048	0.061	0.075	0.090	0.107	0.125	0.143	0.163	0.183
64	0.055	0.036	0.022	0.012	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.010	0.017	0.025	0.035	0.047	0.060	0.074	0.089	0.106	0.123	0.142	0.161	0.181
65	0.054	0.035	0.022	0.012	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.010	0.016	0.025	0.035	0.046	0.059	0.073	0.088	0.105	0.122	0.140	0.159	0.179
66	0.053	0.035	0.021	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.016	0.025	0.035	0.046	0.058	0.072	0.087	0.103	0.120	0.138	0.157	0.177
67	0.052	0.034	0.021	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.016	0.024	0.034	0.045	0.058	0.071	0.086	0.102	0.119	0.137	0.156	0.175
68	0.051	0.034	0.021	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.016	0.024	0.034	0.045	0.057	0.071	0.085	0.101	0.118	0.135	0.154	0.173
69	0.050	0.033	0.020	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.016	0.024	0.033	0.044	0.056	0.070	0.084	0.100	0.116	0.134	0.152	0.172
70	0.049	0.032	0.020	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.015	0.023	0.033	0.044	0.056	0.069	0.083	0.099	0.115	0.132	0.151	0.170
71	0.048	0.032	0.020	0.011	0.005	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.015	0.023	0.032	0.043	0.055	0.068	0.082	0.098	0.114	0.131	0.149	0.168
72	0.047	0.031	0.019	0.010	0.004	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.015	0.023	0.032	0.043	0.054	0.067	0.082	0.097	0.113	0.130	0.148	0.166
73	0.046	0.031	0.019	0.010	0.004	0.001	0	0.001	0.004	0.009	0.015	0.023	0.032	0.042	0.054	0.067	0.081	0.096	0.112	0.128	0.146	0.165
74	0.045	0.030	0.019	0.010	0.004	0.001	0	0	0.004	0.008	0.015	0.022	0.031	0.042	0.053	0.066	0.080	0.095	0.110	0.127	0.145	0.163
75	0.045	0.030	0.018	0.010	0.004	0.001	0	0	0.004	0.008	0.014	0.022	0.031	0.041	0.053	0.065	0.079	0.094	0.109	0.126	0.143	0.161
76	0.044	0.029	0.018	0.010	0.004	0.001	0	0	0.004	0.008	0.014	0.022	0.031	0.041	0.052	0.065	0.078	0.093	0.108	0.125	0.142	0.160
77	0.043	0.029	0.018	0.010	0.004	0.001	0	0	0.004	0.008	0.014	0.022	0.030	0.040	0.052	0.064	0.077	0.092	0.107	0.123	0.140	0.158
78	0.043	0.028	0.018	0.010	0.004	0	0	0	0.004	0.008	0.014	0.021	0.030	0.040	0.051	0.063	0.076	0.091	0.106	0.122	0.139	0.157
79	0.042	0.028	0.017	0.009	0.004	0	0	0	0.004	0.008	0.014	0.021	0.030	0.039	0.050	0.063	0.076	0.090	0.105	0.121	0.138	0.155
80	0.041	0.028	0.017	0.009	0.004	0	0	0	0.004	0.008	0.014	0.021	0.029	0.039	0.050	0.062	0.075	0.089	0.104	0.120	0.136	0.154
81	0.041	0.027	0.017	0.009	0.004	0	0	0	0.004	0.008	0.013	0.021	0.029	0.039	0.049	0.061	0.074	0.088	0.103	0.119	0.135	0.153
82	0.040	0.027	0.017	0.009	0.004	0	0	0	0.003	0.008	0.013	0.020	0.029	0.038	0.049	0.061	0.073	0.087	0.102	0.117	0.134	0.151
83	0.039	0.026	0.016	0.009	0.004	0	0	0	0.003	0.008	0.013	0.020	0.028	0.038	0.048	0.060	0.073	0.086	0.101	0.116	0.133	0.150
84	0.039	0.026	0.016	0.009	0.004	0	0	0	0.003	0.008	0.013	0.020	0.028	0.037	0.048	0.059	0.072	0.086	0.100	0.115	0.131	0.148
85	0.038	0.026	0.016	0.009	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.013	0.020	0.028	0.037	0.047	0.059	0.071	0.085	0.099	0.114	0.130	0.147
86	0.038	0.025	0.016	0.009	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.013	0.020	0.028	0.037	0.047	0.058	0.071	0.084	0.098	0.113	0.129	0.146
87	0.037	0.025	0.016	0.008	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.013	0.019	0.027	0.036	0.047	0.058	0.070	0.083	0.097	0.112	0.128	0.145
88	0.037	0.025	0.015	0.008	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.019	0.027	0.036	0.046	0.057	0.069	0.082	0.096	0.111	0.127	0.143
89	0.036	0.024	0.015	0.008	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.019	0.027	0.036	0.046	0.057	0.069	0.082	0.096	0.110	0.126	0.142
90	0.036	0.024	0.015	0.008	0.004	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.019	0.026	0.035	0.045	0.056	0.068	0.081	0.095	0.109	0.125	0.141

(续)

$\frac{\Delta f^* \Delta x}{\Delta z}$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
91	0.035	0.024	0.015	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.019	0.026	0.035	0.045	0.056	0.067	0.080	0.094	0.108	0.124	0.140
92	0.035	0.023	0.015	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.018	0.026	0.035	0.044	0.055	0.067	0.080	0.093	0.107	0.123	0.139
93	0.034	0.023	0.014	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.018	0.025	0.034	0.044	0.055	0.066	0.079	0.092	0.107	0.122	0.137
94	0.034	0.023	0.014	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.018	0.025	0.034	0.044	0.054	0.066	0.078	0.091	0.106	0.121	0.136
95	0.034	0.023	0.014	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.018	0.025	0.034	0.043	0.054	0.065	0.077	0.091	0.105	0.120	0.135
96	0.033	0.022	0.014	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.012	0.018	0.025	0.033	0.043	0.053	0.065	0.077	0.090	0.104	0.119	0.134
97	0.033	0.022	0.014	0.008	0.003	0	0	0	0.003	0.007	0.011	0.018	0.025	0.033	0.042	0.053	0.064	0.076	0.089	0.103	0.118	0.133
98	0.032	0.022	0.014	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.025	0.033	0.042	0.052	0.063	0.076	0.088	0.102	0.117	0.132
99	0.032	0.022	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.024	0.032	0.042	0.052	0.063	0.075	0.088	0.101	0.116	0.131
100	0.032	0.021	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.024	0.032	0.041	0.051	0.062	0.074	0.087	0.101	0.115	0.130
101	0.031	0.021	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.024	0.032	0.041	0.051	0.062	0.074	0.086	0.100	0.114	0.129
102	0.031	0.021	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.024	0.032	0.041	0.051	0.061	0.073	0.086	0.099	0.113	0.128
103	0.030	0.021	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.017	0.023	0.031	0.040	0.050	0.061	0.073	0.085	0.098	0.112	0.127
104	0.030	0.020	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.016	0.023	0.031	0.040	0.050	0.060	0.072	0.084	0.097	0.111	0.126
105	0.030	0.020	0.013	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.016	0.023	0.031	0.040	0.049	0.060	0.071	0.084	0.097	0.110	0.125
106	0.029	0.020	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.011	0.016	0.023	0.031	0.039	0.049	0.059	0.071	0.083	0.096	0.110	0.124
107	0.029	0.020	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.016	0.023	0.030	0.039	0.049	0.059	0.070	0.082	0.095	0.109	0.123
108	0.029	0.020	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.016	0.022	0.030	0.039	0.048	0.059	0.070	0.082	0.094	0.108	0.122
109	0.029	0.019	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.016	0.022	0.030	0.038	0.048	0.058	0.069	0.081	0.094	0.107	0.121
110	0.028	0.019	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.016	0.022	0.030	0.038	0.047	0.058	0.069	0.080	0.093	0.106	0.121
111	0.028	0.019	0.012	0.007	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.022	0.029	0.038	0.047	0.057	0.068	0.080	0.092	0.106	0.120
112	0.028	0.019	0.012	0.006	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.022	0.029	0.037	0.047	0.057	0.068	0.079	0.092	0.105	0.119
113	0.027	0.019	0.012	0.006	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.022	0.029	0.037	0.046	0.056	0.067	0.079	0.091	0.104	0.118
114	0.027	0.018	0.012	0.006	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.021	0.029	0.037	0.046	0.056	0.067	0.078	0.090	0.103	0.117
115	0.027	0.018	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.021	0.028	0.037	0.046	0.055	0.066	0.078	0.090	0.103	0.116
116	0.027	0.018	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.003	0.006	0.010	0.015	0.021	0.028	0.036	0.045	0.055	0.066	0.077	0.089	0.102	0.116
117	0.026	0.018	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.010	0.015	0.021	0.028	0.036	0.045	0.055	0.065	0.076	0.089	0.101	0.115
118	0.026	0.018	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.010	0.015	0.021	0.028	0.036	0.045	0.054	0.065	0.076	0.088	0.101	0.114
119	0.026	0.018	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.015	0.021	0.028	0.036	0.044	0.054	0.064	0.075	0.087	0.100	0.113
120	0.026	0.017	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.027	0.035	0.044	0.053	0.064	0.075	0.087	0.099	0.112

(续)

$\Delta r_f^* \Delta x$ $\Delta z$	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
121	0.025	0.017	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.027	0.035	0.044	0.053	0.063	0.074	0.086	0.099	0.112
122	0.025	0.017	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.027	0.035	0.043	0.053	0.063	0.074	0.086	0.098	0.111
123	0.025	0.017	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.027	0.034	0.043	0.052	0.062	0.073	0.085	0.097	0.110
124	0.025	0.017	0.011	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.027	0.034	0.043	0.052	0.062	0.073	0.084	0.097	0.109
125	0.024	0.017	0.010	0.006	0.003	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.026	0.034	0.042	0.052	0.062	0.072	0.084	0.096	0.109
126	0.024	0.016	0.010	0.006	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.020	0.026	0.034	0.042	0.051	0.061	0.072	0.083	0.095	0.108
127	0.024	0.016	0.010	0.006	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.019	0.026	0.034	0.042	0.051	0.061	0.071	0.083	0.095	0.107
128	0.024	0.016	0.010	0.006	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.019	0.026	0.033	0.042	0.051	0.060	0.071	0.082	0.094	0.107
129	0.024	0.016	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.013	0.019	0.026	0.033	0.041	0.051	0.060	0.070	0.082	0.094	0.106
130	0.023	0.016	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.013	0.019	0.026	0.033	0.041	0.050	0.060	0.070	0.081	0.093	0.105
131	0.023	0.016	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.013	0.019	0.025	0.033	0.041	0.050	0.059	0.070	0.081	0.092	0.105
132	0.023	0.016	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.013	0.019	0.025	0.032	0.040	0.049	0.059	0.069	0.080	0.092	0.104
133	0.023	0.016	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.009	0.013	0.019	0.025	0.032	0.040	0.049	0.058	0.069	0.080	0.091	0.103
134	0.023	0.015	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.025	0.032	0.040	0.049	0.058	0.068	0.079	0.091	0.103
135	0.022	0.015	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.025	0.032	0.040	0.048	0.058	0.068	0.079	0.090	0.102
136	0.022	0.015	0.010	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.024	0.032	0.039	0.048	0.057	0.067	0.078	0.090	0.102
137	0.022	0.015	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.024	0.031	0.039	0.048	0.057	0.067	0.078	0.089	0.101
138	0.022	0.015	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.024	0.031	0.039	0.047	0.057	0.067	0.077	0.088	0.100
139	0.022	0.015	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.024	0.031	0.039	0.047	0.056	0.066	0.077	0.088	0.100
140	0.022	0.015	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.013	0.018	0.024	0.031	0.038	0.047	0.056	0.066	0.076	0.087	0.099
141	0.021	0.015	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.012	0.018	0.024	0.031	0.038	0.047	0.056	0.065	0.076	0.087	0.099
142	0.021	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.012	0.018	0.024	0.030	0.038	0.046	0.055	0.065	0.075	0.086	0.098
143	0.021	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.012	0.017	0.023	0.030	0.038	0.046	0.055	0.065	0.075	0.086	0.097
144	0.021	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.012	0.017	0.023	0.030	0.037	0.046	0.055	0.064	0.074	0.085	0.097
145	0.021	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.023	0.030	0.037	0.045	0.054	0.064	0.074	0.085	0.096
146	0.021	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.023	0.030	0.037	0.045	0.054	0.063	0.074	0.084	0.096
147	0.020	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.023	0.029	0.037	0.045	0.054	0.063	0.073	0.084	0.095
148	0.020	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.023	0.029	0.037	0.045	0.053	0.063	0.073	0.083	0.095
149	0.020	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.023	0.029	0.036	0.044	0.053	0.062	0.072	0.083	0.094
150	0.020	0.014	0.009	0.005	0.002	0	0	0	0.002	0.004	0.008	0.012	0.017	0.022	0.029	0.036	0.044	0.053	0.062	0.072	0.082	0.094

# 惯性振动落砂输送机理论基础的探讨

机械系 崔光彩

## 提 要

本文从运动学和动力学的观点出发,提出了振动落砂输送机的理论基础是“物料被抛起的铸件落砂疲劳曲线方程”。由这一基本理论,导出了抛射点参数方程,撞击点普遍参数方程、撞击点相对速度方程、振幅介限值、激振器倾角与物料抛射角不互为余角等结论。从而给振动落砂输送机设计与调整进一步提供了理论依据。

## 一、前 言

随着经济与技术的发展,采用铸造生产自动线提高铸件产品的数量与质量已成必然趋势。

(接前页)

## 参 考 文 献

- 〔1〕 上海煤矿机械研究所编,煤矿机械设计手册(下册),1972,第367页。
- 〔2〕 四川省机械工业局编,复杂刀具设计手册(上册),机械工业出版社,1979,第396页。
- 〔3〕 东北工学院机械设计、机械制图教研室编,机械零件设计手册,冶金工业出版社,1976,第248页。
- 〔4〕 ISO/TC60/WG6 (Secr-89) 201E, Principles for the Calculation of Tooth Strength of Spur and Helical Gears, 1978, P3/1~4/5.
- 〔5〕 DIN3990 Teil 3, Grundlagen für die Tragfähigkeitsberechnung von Gerad und Schrägstirnrädern, 1980, 22~23.
- 〔6〕 郑州工学院机械原理及机械零件教研室编,渐开线直齿圆柱齿轮内啮合传动的几何计算,1975,第20~22页。
- 〔7〕 两角宗晴,特殊歯車の精密工作——転位内歯車の効率とその设计,《机械の研究》第22卷,第4号,1970, 611.
- 〔8〕 В.Н.Кудрявцев, Планетарные передачи, Машиностроение, 1966, 115.
- 〔9〕 В.Н.Кудрявцев и др, Конструкции и расчет зубчатых редукторов, Машиностроение, 1971, 18.
- 〔10〕 同文献〔3〕, 第228页。
- 〔11〕 同文献〔1〕, 第401页。
- 〔12〕 郑州工学院机械原理及机械零件教研室编,渐开线少齿差行星传动,1977,第154页。
- 〔13〕 谢日彬、李福庆编译,渐开线齿轮计算常用数表,吉林人民出版社,1975。
- 〔14〕 郑州工学院机械原理及机械零件教研室编,渐开线少齿差内齿轮副几何参数表,1978,第6页。
- 〔15〕 冯澄宙,关于选择少齿差内齿轮副插齿刀参数的探讨,1979。