

ZK 蜗杆齿形误差及其控制方法的研究

韩云鹏 孟剑锋

(山东大学机械工程学院 济南 250061)

摘要: 首次建立了包含砂轮修整参数的 ZK 蜗杆数学模型, 分析了当砂轮半径发生变化时, m 、 z_1 、 d_1 对蜗杆齿形误差的影响规律, 给出了计算 ZK 蜗杆齿形误差的经验公式。提出了 ZK 蜗杆磨削过程中砂轮的智能化修整原理, 实现了根据砂轮半径的变化对砂轮廓形的自动修整。

关键词: 蜗杆 数学模型 齿形误差

中图分类号: TH132.44

0 前言

相对于 ZI、ZA、ZN 蜗杆传动而言, ZK 蜗杆还属于一种新型蜗杆。目前, 国内外对它的研究大多集中在啮合原理、啮合特性等方面^[1~3], 在 ZK 蜗杆的加工和应用方面虽然也进行了某些方面的研究, 并取得了一定的成果^[4~10], 但总的来看, 还缺乏深入和系统的研究, 主要反映在: ① 砂轮直径的变化将影响到 ZK 蜗杆的齿形虽已有定论, 但是, 这种影响随蜗杆参数(m 、 d_1 、 z_1)的变化规律还有待于进一步深入的研究。② 由于砂轮直径的变化会带来蜗杆齿形误差, 目前在生产实际中, 控制蜗杆齿形加工误差的方式是控制砂轮直径的变化(磨损)量, 显然, 这是一种被动的方式。因此, 如果能找到一种可以根据蜗杆齿形误差自动对砂轮廓形进行实时修整的方法, 将为生产实际中减小蜗杆齿形的加工误差提供一种崭新的途径, 这将不但大大提高蜗杆齿形的加工精度, 还将使砂轮得到更加充分的利用。理论研究的滞后是导致 ZK 蜗杆至今难以广泛应用的一个重要原因。为解决上述问题, 从 ZK 蜗杆设计、加工的实际需要出发, 首次建立了包含砂轮修整参数的 ZK 蜗杆数学模型, 并在此基础上研究了 ZK 蜗杆加工中各有关因素对蜗杆齿形误差的影响规律, 提出了 ZK 蜗杆加工中砂轮的智能化修整方法。

1 ZK 蜗杆的数学模型

目前所见到的 ZK 蜗杆的数学模型, 均是以严

格的锥面砂轮模型为基础的, 这种数学模型从研究 ZK 蜗杆本身的特性来看, 是完全能够满足要求的, 但如果要研究砂轮廓形的变化(砂轮修整)对 ZK 蜗杆齿形的影响, 这种数学模型便难以胜任, 必须另辟蹊径。为此, 提出了包含砂轮修整参数的 ZK 蜗杆数学模型。

1.1 坐标系的建立

建立坐标系如图 1 所示。

- 图中 Σ —— 建立在蜗杆上并随蜗杆一起运动的动坐标系
- Σ_g —— 与砂轮固连的坐标系
- γ —— 蜗杆分度圆柱上的螺旋升角

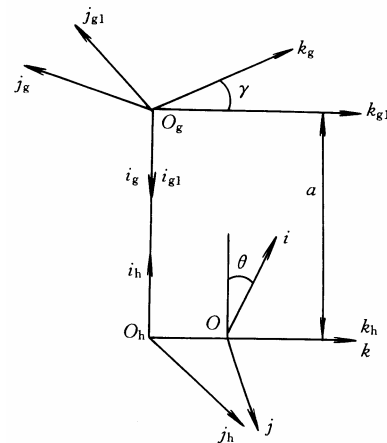


图 1 坐标系间的关系

1.2 砂轮模型的建立

在 Σ_g 坐标系中, 建立砂轮模型

$$\begin{cases} x_g = (R - c) \cos \beta \cos \phi + c \cos \phi + \\ \quad (R - c) \sin \beta \sin \phi \\ y_g = (R - c) \cos \beta \sin \phi + c \sin \phi - \\ \quad (R - c) \sin \beta \cos \phi \\ z_g = B - R \tan \alpha_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $B = R_e \tan \alpha_0$

R_e ——砂轮大端半径

α_0 ——砂轮铲形角

β, c ——砂轮修整参数

在上式中, 令 $y_g = 0$, 得砂轮在其轴截面上的廓形方程

$$\begin{cases} x_g = (R-c) \cos \beta \cos \phi + \\ \quad c \cos \phi + (R-c) \sin \beta \sin \phi \\ z_g = B - R \tan \alpha_0 \\ \quad (R-c) \cos \beta \sin \phi + c \sin \phi - \\ \quad (R-c) \sin \beta \cos \phi = 0 \end{cases} \quad (2)$$

该砂轮模型是通过改变标准锥面砂轮的发生线(直母线)的位置而得来的: 如图2, 设 AB 为标准锥面砂轮的锥面发生线, 直线 DE 距砂轮轴线 c , 且平行于砂轮轴线。令 AB 绕直线 DE 旋转 β 角, 再让该直线绕砂轮轴线旋转, 便可得到本砂轮模型。因此, 该砂轮模型具有如下特点。

(1) 当 $\beta = 0$ 时, 它是大端半径为 R_e 、铲形角为 α_0 的锥面砂轮。

(2) 当 $\beta \neq 0$ 时, 砂轮的轴向截形产生内凹, 如图2所示。

(3) 通过改变 β 或 c 的大小, 可以改变砂轮内凹的程度。

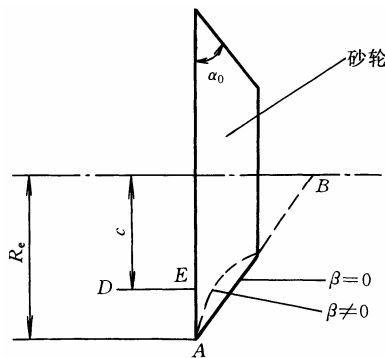


图2 修整参数对砂轮轴截面廓形的影响

因此, 通过改变 β 或 c 的大小, 可以使砂轮产生修形, 并可控制和调整砂轮的修整量。

1.3 ZK 蜗杆齿面方程

根据包络原理, 得 ZK 蜗杆的齿面方程

$$\begin{cases} x = x_h \cos \theta + y_h \sin \theta \\ y = -x_h \sin \theta + y_h \cos \theta \\ z = z_h - p\theta \\ -N_{xh}y_h + N_{yh}x_h + N_{zh}p = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中

$$x_h = -(R-c) \cos \beta \cos \phi - c \cos \phi - (R-c) \sin \beta \sin \phi + a$$

$$y_h = -(R-c) \cos \beta \sin \phi \cos \gamma - c \sin \phi \cos \gamma + (R-c) \sin \beta \cos \phi \cos \gamma - (B - R \tan \alpha_0) \sin \gamma$$

$$z_h = -(R-c) \cos \beta \sin \phi \sin \gamma - c \sin \phi \sin \gamma + (R-c) \sin \beta \cos \phi \sin \gamma + (B - R \tan \alpha_0) \cos \gamma$$

$$N_{xh} = (R-c) \tan \alpha_0 \cos \beta \cos \phi + c \tan \alpha_0 \cos \phi + (R-c) \tan \alpha_0 \sin \beta \sin \phi$$

$$N_{yh} = -(R-c) \tan \alpha_0 \cos \beta \sin \phi \cos \gamma - c \tan \alpha_0 \sin \phi \cos \gamma + (R-c) \tan \alpha_0 \sin \beta \cos \phi \cos \gamma - (R-c) \sin \gamma - c \cos \beta \sin \gamma$$

$$N_{zh} = -(R-c) \tan \alpha_0 \cos \beta \sin \phi \sin \gamma - c \tan \alpha_0 \sin \phi \sin \gamma + (R-c) \tan \alpha_0 \sin \beta \cos \phi \sin \gamma + (R-c) \cos \gamma + c \cos \beta \cos \gamma$$

设 r_0 为蜗杆分圆半径, 由式(3)可得, 过蜗杆齿面上 $O_n(r_0, 0, z_0)$ 点的蜗杆法向齿形方程为

$$\begin{cases} x_n = x - r_0 \\ z_n = -y \sin \gamma + z \cos \gamma - z_0 \cos \gamma \\ z = -y \cot \gamma + z_0 \\ -N_{xh}y_h + N_{yh}x_h + N_{zh}p = 0 \end{cases} \quad (4)$$

2 砂轮半径变化对 ZK 蜗杆齿形的影响

2.1 砂轮半径变化对齿形误差的影响

深入探讨砂轮半径变化对 ZK 蜗杆齿形的影响, 从中发现各个参数对齿形误差的影响规律, 对在实际中减小和控制 ZK 蜗杆的齿形误差, 具有重要的作用。

参考文献[4]为迄今为止研究砂轮半径变化对 ZK 蜗杆齿形误差影响规律的最有代表性的文章。

该文献主要得到如下结论:

(1) 蜗杆头数 z_1 越大, 砂轮半径的变化对蜗杆齿形的影响越大。

(2) 蜗杆直径 d_1 越大, 砂轮半径的变化对蜗杆齿形的影响越大。

(3) 砂轮初始直径越小, 蜗杆齿形对砂轮半径的变化越敏感。

(4) 给出了计算蜗杆齿形误差的经验公式。

对于砂轮半径变化对 ZK 蜗杆齿形误差的影响仍有进一步研究的必要。

(1) 砂轮半径变化所引起的 ZK 蜗杆齿形误差, 受蜗杆参数的影响, 上述结论中, 仅探讨了 z_1 、 d_1 的影响, 而没有探讨蜗杆模数 m 的影响。而根据这

里的研究结果, m 对齿形误差的影响要比 z_1 、 d_1 更为明显。

(2) 上述结论过于定性化, 没有给出 z_1 、 d_1 对齿形误差影响程度的大小。

(3) 所给出的误差计算的公式有进一步改进的必要。

为此, 以 ZK 蜗杆数学模型为基础, 对砂轮半径发生变化时所产生的齿形加工误差与蜗杆主要参数 z_1 、 d_1 、 m 的关系进行了更为深入的研究。需要说明的一点是, 为了深入研究砂轮半径变化所引起的蜗杆齿形误差与蜗杆参数 z_1 、 d_1 、 m 之间的关系, 个别蜗杆的直径 d_1 没有按国家标准选取。

对各种蜗杆参数下砂轮半径变化所引起的蜗杆齿形误差进行了大量计算, 限于篇幅, 仅给出了图 3 和表 1。

图 3 给出了砂轮半径减少时对蜗杆法向齿形误差的影响曲线。

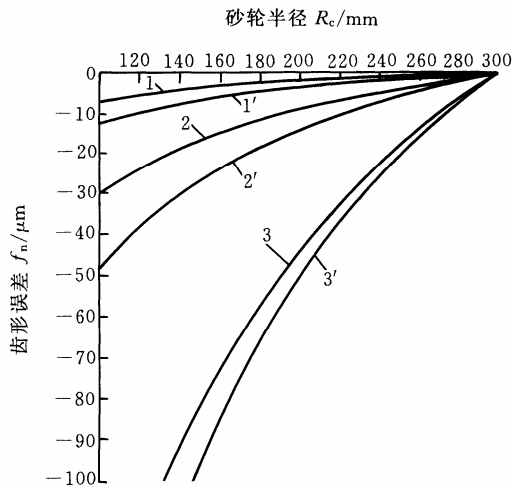


图 3 砂轮半径对齿形误差的影响

表 1 砂轮半径减小所引起的蜗杆齿顶误差 mm

砂轮半径 R_c /mm	$m=5$ mm	$m=5$ mm	$m=10$ mm	$m=10$ mm
	$d_1=90$ mm $z_1=2$	$d_1=90$ mm $z_1=4$	$d_1=90$ mm $z_1=2$	$d_1=180$ mm $z_1=2$
240	-0.000 4	-0.001 7	-0.007 0	-0.001 4
200	-0.000 9	-0.003 3	-0.013 8	-0.002 6
140	-0.001 8	-0.007 1	-0.029 7	-0.005 4
100	-0.002 9	-0.011 4	-0.048 2	-0.008 2

表 1 给出了一组典型计算数据。

对图 3 和表 1 说明如下。

(1) 砂轮原始半径为 300 mm, 并将此时的蜗杆齿形称为基准齿形。

(2) 齿形误差 f_n 是指蜗杆法向齿形误差。负值表示实际齿形位于基准齿形的外侧。

(3) 图 3 中蜗杆的参数为 $m=10$ mm、 $d_1=90$ mm。曲线 1、2、3 和 1'、2'、3' 分别表示在 z_1 等

于 1、2、4 时, 蜗杆在齿顶(r_0+m)处和齿根(r_0-m)处的齿形误差。

由图 3 和表 1 可以看出如下问题。

(1) 随砂轮半径的减小, 蜗杆齿形向基准齿形的外侧偏移(f_n 为负), 且齿顶处的误差大于齿根处的误差。

(2) 齿形误差与砂轮半径呈指数关系, 砂轮半径越小, 齿形误差对砂轮半径的变化越敏感。

(3) 在同样砂轮半径变化量的情况下, m 、 d_1 不变时, 蜗杆头数 z_1 增加一倍, 蜗杆齿顶误差约增加到原来的 4 倍。

(4) z_1 、 d_1 不变时, m 增加一倍, 蜗杆齿顶误差约增加到原来的 16 倍。

(5) m 、 z_1 不变时, d_1 增加, 蜗杆齿形误差减小。 d_1 增加一倍, 蜗杆齿顶误差约减少 4/5。

由上述结论可以看出, 蜗杆参数 m 、 d_1 、 z_1 对齿形误差影响的程度是不同的: m 影响最大, d_1 次之, z_1 最小。

需要特别指出的是, 所得出的上述结论(5)与参考文献[4]的结论相反: 参考文献[4]认为, 在同样砂轮半径变化量的情况下, 蜗杆直径越大, 蜗杆齿形的误差越大。产生这种差别的主要原因在于参考文献[4]没有将 m 与 d_1 加以区分: 因为按当时的国家标准 d_1 并非独立的蜗杆参数($d_1=mq$, m 、 q 为标准值), d_1 的大小依赖于 m 、 q , 而参考文献[4]没有进一步对此加以区分。当 q 不变时, m 增加会引起 d_1 增加, 而 m 增加, 会导致齿形误差随砂轮直径的变化迅速增加。

2.2 试验验证

为验证所建立的蜗杆理论模型和计算结果的正确性, 对蜗杆齿形进行了实际测量。

试验条件如下。

蜗杆参数: $m=10$ mm, $z_1=4$, $d_1=90$ mm

砂轮原始半径: 170 mm

测量设备: 万能工具显微镜 19JA

分辨率: 0.001 mm

测量结果见表 2。由表 2 可以看出, 计算结果与理论结果非常接近, 证明所建立的蜗杆理论模型和计算结果是正确的。

表 2 蜗杆齿顶误差实测与计算数据比较 mm

砂轮半径 R_c	计算数据	实测数据
150	-0.020 7	-0.023
130	-0.046 4	-0.049
100	-0.099 1	-0.102

2.3 计算齿形误差的经验公式

目前控制由于砂轮半径减小所引起的蜗杆齿形加工误差的方式是控制砂轮半径的变化量, 因此,

根据砂轮半径的变化量计算蜗杆的齿形误差便显得十分必要。但是, 由于计算蜗杆齿形误差的理论公式过于复杂, 以至于无法借助于简单的计算工具进行计算, 难以满足生产实际的需要, 因此, 给出简单的齿形误差计算公式就显得十分必要。参考文献[4]中曾给出了一种根据砂轮直径的变化量计算蜗杆齿形误差的公式, 但该公式有进一步改进的必要。

(1) 根据新的国家标准 GB10087—1988, ZK 蜗杆的分圆齿形角已经不再作为蜗杆的标准参数, 取而代之的是砂轮的铲形角(标准值为 20°)。参考文献[4]中所给出的公式, 是将蜗杆分圆齿形角作为计算参数的, 在目前已经采用新标准的情况下, 该公式已经不适用。

(2) 公式仍比较复杂, 并且当蜗杆直径处于不同范围时需要采用不同的计算公式。

(3) 从公式中难以直观地反映蜗杆各参数对齿形误差的影响规律, 因而对蜗杆的设计和加工缺乏进一步的指导作用。

依据上面第 2.1 节中的分析结论, 并通过对大量计算数据的分析处理, 得出了更为简单实用的计算公式

$$f_n = -8.495 \times 10^{-6} m^4 z_1^2 d_1^{-2.43} (300 - R_e)^{1.688} \quad (5)$$

式中 m ——蜗杆模数(mm)

d_1 ——蜗杆分圆直径(mm)

z_1 ——蜗杆头数

R_e ——砂轮半径(mm)

f_n ——蜗杆法向齿形(齿顶)误差(mm)

公式使用说明如下。

(1) 公式适用于砂轮铲形角为 20° 的标准 ZK 蜗杆。

(2) 误差的正负分别表示实际齿形位于基准齿形的内、外侧。

(3) 公式是以砂轮原始半径为 300 mm 为基础建立的。但当砂轮原始半径不等于 300 mm 时, 该公式同样适用。现举例说明。

例: 已知 ZK 蜗杆的参数为: $m=10$ mm, $z_1=4$, $d_1=90$ mm, 砂轮原始半径 $R_e=170$ mm, 求当砂轮半径减少到 100 mm 时, 所引起的蜗杆齿顶处法向齿形误差。

解: 假设砂轮的原始半径为 300 mm, 则当砂轮半径减少到 170 mm 时, 将 $R_e=170$ mm 代入式(5), 得

$$f_{n1} = -0.0897 \text{ mm}$$

当砂轮半径减少到 100 mm 时, 将 $R_e=100$ mm 代入式(5), 得

$$f_{n2} = -0.1856 \text{ mm}$$

则本题的计算结果为

$$f_n = f_{n2} - f_{n1} = -0.1856 + 0.0897 = -0.0959 \text{ mm}$$

由表 2 可知, 此时的理论齿形误差为 -0.0991 mm, 由此可以看出, 公式(5)的计算结果比较准确。

为全面验证公式(5)的计算精度, 根据 GB10088—1988 所给出的所有 m 与 d_1 的搭配, 每种搭配分别取 $z_1=1、2、4$, 将公式(5)的计算结果与理论齿形误差进行了比较, 表 3 给出了砂轮原始半径为 300 mm 时的部分典型计算数据。计算结果证明, 公式(5)具有非常高的计算精度: 当理论齿形误差小于 0.01 mm 时, 其计算误差小于 0.001 mm; 当理论齿形误差处在 0.01~0.10 mm 时, 其计算误差小于 0.004 mm; 当理论齿形误差处在 0.1~0.50 mm 时, 其计算误差小于 0.01 mm。因此, 式(5)完全可以满足生产实际中蜗杆设计的需要。

表 3 齿形误差的计算结果与理论结果的比较 mm

蜗杆参数			砂轮半径 R_e	齿形误差 f_n	
m	d_1	z_1		理论值	计算值
10	90	1	220	-0.002 62	-0.002 47
10	90	1	140	-0.007 65	-0.007 96
10	90	2	220	-0.010 14	-0.009 88
10	90	2	140	-0.029 68	-0.031 84
10	180	4	220	-0.007 60	-0.007 33
10	180	4	140	-0.020 80	-0.023 63
5	90	4	220	-0.002 46	-0.002 47
5	90	4	140	-0.007 11	-0.007 96
20	160	1	220	-0.011 32	-0.009 77
20	160	1	140	-0.031 88	-0.031 47
20	160	2	220	-0.043 50	-0.039 06
20	160	2	140	-0.122 39	-0.125 86
20	160	4	220	-0.152 21	-0.156 25
20	160	4	140	-0.424 27	-0.503 44

3 ZK 蜗杆磨削中砂轮廓形的修整

控制由于砂轮半径的减小所引起的蜗杆齿形误差, 是磨削 ZK 蜗杆的过程中必须解决的问题。由于蜗杆的理论廓形依赖于砂轮的初始设计半径, 也就是说, 即使蜗杆的 $m、d_1、z_1$ 完全相同, 由于砂轮的初始设计半径不同, 蜗杆的理论齿形也不同, 因此, 在其他类型的蜗杆磨削中经常采用的使用靠模对砂轮进行修整的方法也难以应用到 ZK 蜗杆的磨削中。目前主要采用的方法是: 在蜗杆的设计阶段, 便规定出加工蜗杆所允许的最大和最小砂轮半径。显然, 这是一种被动的办法, 既不能消除误差, 也将导致砂轮过早报废。

以带有砂轮修整参数的 ZK 蜗杆数学模型为基础, 提出了蜗杆磨削中砂轮的智能化修整的思想。

3.1 砂轮廓形智能化修整原理

根据蜗杆的基本参数 m 、 d_1 、 z_1 以及砂轮原始设计半径(将此时的蜗杆齿形称为基准齿形), 自动计算出蜗杆在当前砂轮半径下的齿形, 并与蜗杆基准齿形进行比较, 计算出其齿形误差。根据优化设计理论, 以齿形误差最小为目标, 计算出砂轮的最佳修整参数 β 、 c 和 α_0 , 将此参数代入蜗杆方程, 计算出蜗杆在该参数下的齿形, 以及该齿形相对于蜗杆基准齿形的误差。若该误差在所允许的范围之内, 则根据砂轮轴截面方程式(2), 计算出砂轮的轴截面廓形, 并据此驱动数控砂轮修整装置, 实现砂轮的自动修整。如误差超出允许的范围, 则提出报警, 并中断系统的工作循环。具体修整原理见图4。

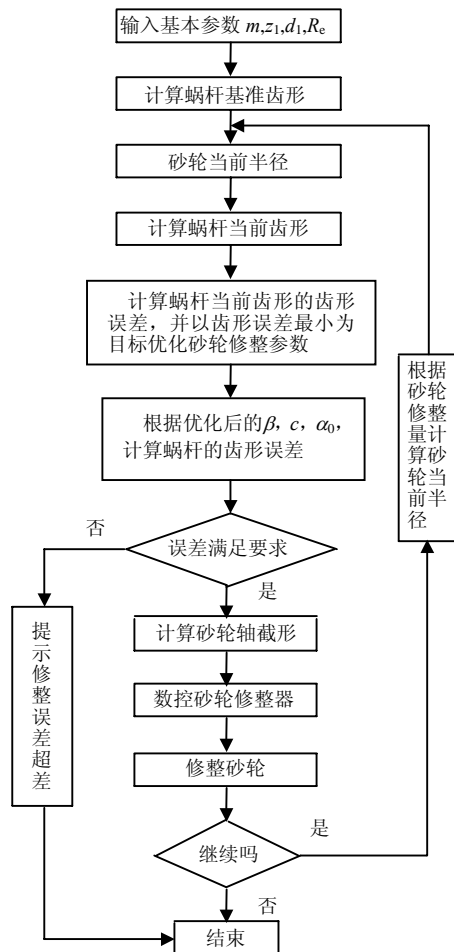


图4 砂轮智能修整原理图

3.2 实例

表4给出了砂轮修整前后的蜗杆齿形误差的对比。表中齿形误差的正负是这样规定的: 当实际加工齿形处在基准齿形外侧时, 齿形误差为负, 反之, 齿形误差为正。

由 GB10089—1988 可知, 当 $m=10$ mm 时, 6 级精度蜗杆的齿形公差为 0.019 mm, 7 级精度蜗杆

的齿形公差为 0.028 mm。由表4可以看出, 若砂轮不经过修形, 当其半径从 200 mm 减小到 150 mm 时, 所引起的理论齿形误差已经大于 7 级精度蜗杆的齿形公差, 如果再考虑到实际加工中的系统误差, 其实际加工误差将大大超出公差范围。砂轮经过修整后, 即使砂轮半径减少 100 mm, 其理论误差仅有 0.002 mm, 且为正向误差, 该误差对蜗杆的齿形具有修形作用。

表4 砂轮修整前后蜗杆齿形误差对比 mm

原始参数: $m=10$ mm $z_1=4$ $d_1=90$ mm 砂轮原始设计半径 $R_c=200$ mm 砂轮铲形角 $\alpha_0=20^\circ$			
	砂轮半径	砂轮半径	
	$R=150$ mm	$R=100$ mm	
砂轮未经修整时, 蜗杆的法向齿形误差	齿顶误差	-0.045	-0.124
	齿根误差	-0.037	-0.097
	分圆齿形角误差	-0.054°	-0.145°
	角误差		
优化后的砂轮修整参数	β	26°	30.58°
	c	150	100
	α_0	17.781°	16.6°
砂轮修整后, 蜗杆的法向齿形误差	齿顶误差	0	0.002
	齿根误差	0.001	0.000 4
	分圆齿形角误差	-0.011°	-0.067°
	角误差		

通过实例可以看出, 通过所建立的带砂轮修整参数的 ZK 蜗杆的数学模型为基础的砂轮智能化修整方法, 可以实现对砂轮廓形进行自动、实时的修整, 以弥补由于砂轮半径变化所带来的齿形误差。该方法不但可以大大提高蜗杆的加工精度, 还可以使砂轮得以充分利用。同时, 它还可以分别控制蜗杆齿顶和齿根处的误差大小和方向, 因此, 可以用于蜗杆齿形的修形, 以提高蜗杆的啮合性能和承载能力。

4 结论

(1) 首次建立了包含砂轮修整参数的 ZK 蜗杆数学模型, 为实现砂轮的智能化修整奠定了理论基础。

(2) 分析了当砂轮半径发生变化时, m 、 z_1 、 d_1 对蜗杆齿形误差的影响规律, 并定量地给出了上述各参数对齿形误差的影响程度。

(3) 得出了计算 ZK 蜗杆齿形误差的经验公式。该公式不但计算精度高, 而且还能明确反映出 m 、 z_1 、 d_1 对齿形误差影响程度的大小, 对 ZK 蜗杆的设计和加工具有较大的实用价值。

(4) 首次提出了 ZK 蜗杆磨削过程中砂轮的智能化修整原理, 实现了根据砂轮半径的变化, 对砂

轮廓形的自动修整。该原理还可推广应用于其他类型的蜗杆、螺旋面以及齿轮滚刀、蜗轮滚刀磨削过程中的砂轮修整。该原理为砂轮修整开辟了新的途径,在蜗杆加工以及蜗杆磨床、螺纹磨床的设计等领域,具有较高的理论与实用价值。

参 考 文 献

- 1 Su D, Wu H. Study of the meshing characteristics and tooth surface strength of ZK worm gearing. In: Proceedings, 2nd World Congress on Gearing, Paris, 1986: 699~708
- 2 Wu H, Su D. An investigation of the load carrying capacity of ZK worm gearing. In: Proceedings, National Conference on Gearing, Beijing, 1983
- 3 王树人, 刘平娟. 圆柱蜗杆传动啮合原理. 天津: 天津科学技术出版社, 1982
- 4 吴鸿业, 王树国. 砂轮直径变化对锥面包络圆柱蜗杆(ZK)齿廓形状影响的研究. 哈尔滨工业大学学报, 1985, 17(3): 112~118
- 5 赵玉良, 杨军, 王宇辉. ZK1 蜗杆的齿形误差及其控制. 重型机械, 2000 (5): 37~40
- 6 沈谦, 周长秀. ZK 型圆柱蜗杆螺旋面方程简析. 机械, 1990, 17 (6): 14~16
- 7 石照耀, 叶勇, 丁毅, 等. 锥面包络圆柱蜗杆齿廓的精密测量. 实用测试技术, 1999, 25(1): 10~12
- 8 韩云鹏, 孟剑峰. ZK 蜗杆的拟准圆柱及蜗杆在其切平面上的齿形. 工程设计, 1996 (增刊): 325~328
- 9 韩云鹏, 孟剑峰. ZK 蜗杆的齿形角. 工程设计, 1996 (增

刊): 329~332

- 10 韩云鹏. ZK 蜗杆代替 ZI 蜗杆的分析和研究: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 1991
- 11 吴序堂. 齿轮啮合原理. 北京: 机械工业出版社, 1982

INTELLECTUALIZED DRESSING OF THE GRINDING WHEEL IN THE PROCESS OF GRINDING ZK WORM

Han Yunpeng Meng Jianfeng
(*Mechanical Engineering College, Shandong University, Jinan 250061*)

Abstract: A new ZK worm mathematical model which involves several dressing parameters of cone grinding wheel is presented for the first time. The effects of worm parameters on the normal tooth profile error along with the changing of the grinding wheel radius is analyzed. A formula for calculating the tooth profile error is worked out. The principle for intellectually dressing the grinding wheel is presented. According to the principle, the grinding wheel can be dressed automatically as the wheel radius changes.

Key words: Worm Mathematical model
Tooth profile error

作者简介: 韩云鹏, 男, 1962 年出生, 硕士, 副教授。主要从事 CAD、CAM 及空间啮合理论方面的研究工作, 发表论文 10 余篇。

E-mail: hanyunpeng@sdu.edu.cn