

标准圆柱齿轮的 3D 模拟及其数据库的建立^{*}

张国兴¹, 娜日图², 张旭丰³, 裴承慧^{1*}

(1. 内蒙古工业大学 机械学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古工业大学 理学院, 内蒙古 呼和浩特 010051;
3. 丰镇发电厂, 内蒙古 丰镇 012100)

摘要: 为了建立标准圆柱齿轮的草图和 3D 模型数据库, 在基于 Solidworks 绘图软件基础之上, 根据机械设计的原理, 作出标准圆柱直齿轮、斜齿轮、人字齿轮的草图, 然后把上千个设计齿轮的数据用方程式关联到相应的圆柱直齿轮、斜齿轮、人字齿轮的草图中, 在草图中只要改变齿轮的齿数和模数等主要数据, 就可以得到新数据下的齿轮的草图和 3D 图形。研究表明, 建立这样的数据库能在很大程度上方便标准圆柱齿轮的设计和加工, 同时对于齿轮的教学培训也有很有帮助, 相应的图块和方程式也可以做 Solidworks 软件的插件使用。

关键词: 齿轮; 3D 模拟; 数据库

中图分类号: TH126.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)04-0024-04

3D simulation and database establishment for standard cylindrical gears

ZHANG Guo-xing¹, NA Ri-tu², ZHANG Xu-feng³, PEI Cheng-hui¹

(1. College of Mechanical, Inner Mongolia Polytechnic University, Hohhot 010051, China;
2. College of Science, Inner Mongolia Polytechnic University, Hohhot 010051, China;
3. Power Plant of Fengzhen, Fengzhen 012100, China)

Abstract: In order to establish the standard cylindrical gear sketches and 3D model database, based on the drawing software of solidworks, according to the principle of mechanical design, a standard cylindrical spur gears, helical gears, herringbone gears sketch were made. The standard cylindrical spur gears, helical gears, herringbone gears with thousands of items of data were related to the gears sketch in the equation, in the sketch so long as number of teeth and modulus data was changed, the gear sketches and 3D features under the new data were gotten. The results indicate that it makes the counter gear's design and processing convenient, and the teaching has the very vital practical significance. The corresponding tiles and equations can also be done using Solidworks software plug-ins.

Key words: gears; 3D simulation; databases

0 引言

齿轮被广泛应用到工业生产的各个领域, 无论设计技术还是生产制造都已经很成熟了。美国的 AutoDESK 公司、SDRC 公司、法国的 Tesksoft 公司等都在研发 CAD 软件过程中, 对于单一齿轮的计算机成图与 3D 模拟已进行了很多相关研究^[1-5], 但还没有建立过成型的系列化标准圆柱齿轮的计算机数据库, 尤其是国内在齿轮建模建库方面与美欧发达国家还有一定差距。

本研究就用 Solidworks 软件进行尝试性建立系列化标准圆柱齿轮的计算机数据库。只要输入齿轮的模数、齿数和齿宽等主要参数就能得到相应的圆柱齿轮的草图和 3D 模型。

1 圆柱直齿轮数据库的建立

1.1 圆柱直齿轮轮齿齿形渐开线的建立

标准齿轮的齿面是渐开线型的^[6], 笔者通过 Solid-

收稿日期: 2009-11-30

基金项目: 内蒙古工业大学校重点基金资助项目 (ZD200807)

作者简介: 张国兴 (1970-), 男, 内蒙古宁城县人, 高级实验师, 主要从事工程图学方面的研究. E-mail: zgx2698@tom.com

通信联系人: 裴承慧, 女, 副教授. E-mail: peichh@126.com

works 得到如图 1 所示的渐开线。我国标准圆柱直齿轮的压力角为 20° , 则渐开线基圆直径 $d_b = \text{分度圆直径 } d \times \cos 20^\circ$, 标准齿轮的齿间 $e = \text{齿厚 } s = \text{齿距 } P/2$ 。

1.2 圆柱直齿轮轮齿齿形的建立及齿轮成型

根据圆柱直齿轮轮齿齿形的性质^[7-11], 则:
 $d = mz, d_a = m(z + 2), d_f = m(z - 2.5), p = \pi m$ 。
上式中字母的含义如表 1 所示。

表 1 上述公式中字母的含义和图 1 中各代号的含义

模数/ m	模数 MD1
齿数/ z	齿数 ZD1
齿宽/ B	齿宽 D31
分度圆直径/ d	FDYD1
渐开线基圆直径/ d_b	JYD1
齿顶圆直径/ d_a	CDYD31
齿根圆直径/ d_f	CGYD31
齿距/ P	
齿厚/ s	seD31

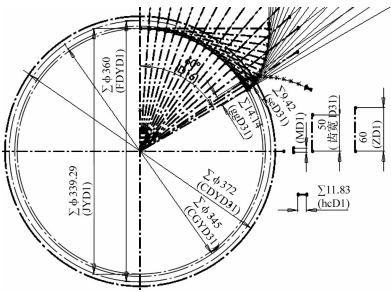


图 4 变更后的齿轮草图

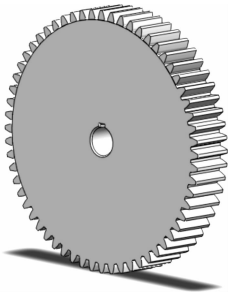


图 5 变更后的齿轮特征图

圆柱直齿轮渐开线的形成及轮齿草图如图 1 所示。

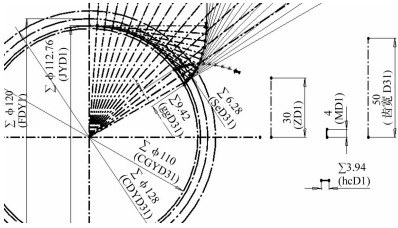


图 1 圆柱直齿轮渐开线的形成及轮齿草图

本研究把上述各式输入到 Solidworks 软件中。对图 1 的草图进行拉伸, 可以得到如图 2 所示齿形特征图, 然后圆周阵列此特征得模数为 4 mm, 齿数为 30, 齿宽为 50 mm 的齿轮 3D 特征图如图 3 所示。

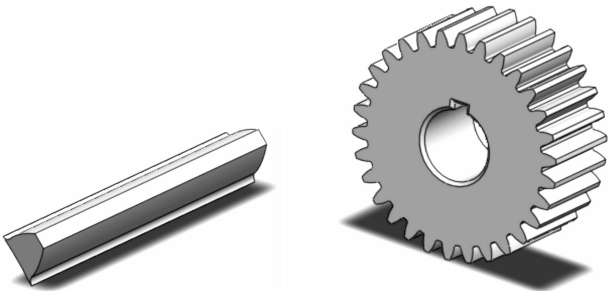


图 2 齿形特征图 图 3 齿轮 3D 特征图

在图 1 中只要改变齿轮的模数(模数 MD1)、齿数(齿数 ZD1)和齿宽(齿宽 D31)3 个变量, 重新建模后就可以得到一个新的齿轮草图及 3D 特征图。把模数改为 6 mm, 齿数改为 60, 齿宽为 60 mm, 得到的变更数据后的齿轮的草图和特征图, 如图 4、图 5 所示。

1.3 圆柱直齿轮成形所需的方程式

在 solidworks 软件环境下建立标准圆柱直齿轮数据库所输入的方程式如图 6 所示。

```
1  "FDYD1@草图1" = "模数MD1@草图1" * "齿数ZD1@草图1"
2  "JYD1@草图1" = "FDYD1@草图1" * cos( 20 )
3  "hcD1@草图1" = 3.146 * "JYD1@草图1" * 4 / 360
4  "D15@草图1" = "hcD1@草图1"
5  "D17@草图1" = 2 * "hcD1@草图1"
6  "D18@草图1" = 3 * "hcD1@草图1"
7  "D19@草图1" = 4 * "hcD1@草图1"
8  "D20@草图1" = 5 * "hcD1@草图1"
9  "D21@草图1" = 6 * "hcD1@草图1"
10 "D22@草图1" = 7 * "hcD1@草图1"
11 "D23@草图1" = 8 * "hcD1@草图1"
12 "D24@草图1" = 9 * "hcD1@草图1"
13 "D25@草图1" = 10 * "hcD1@草图1"
14 "D26@草图1" = 11 * "hcD1@草图1"
15 "D27@草图1" = 12 * "hcD1@草图1"
16 "D28@草图1" = 13 * "hcD1@草图1"
17 "D29@草图1" = 14 * "hcD1@草图1"
18 "D30@草图1" = 15 * "hcD1@草图1"
19 "CDYD31@草图1" = "模数MD1@草图1" * ( "齿数ZD1@草图1" + 2 )
20 "CGYD31@草图1" = "模数MD1@草图1" * ( "齿数ZD1@草图1" - 2.5 )
21 "seD31@草图1" = 3.1416 * "模数MD1@草图1" / 2
22 "ggD31@草图1" = 3 * "seD31@草图1" / 2
23 "D1@拉伸1" = "齿宽D31@草图1"
24 "D1@阵列(圆周)1" = "齿数ZD1@草图1"
25 "cgD1@草图2" = "CGYD31@草图1"
26 "D1@拉伸2" = "D1@拉伸1"
27 "D1@拉伸3" = "D1@拉伸2"
```

图 6 圆柱直齿轮的方程式

2 标准圆柱斜齿轮的计算机数据库的建立

2.1 标准圆柱斜齿轮端面齿形渐开线的建立
根据圆柱斜齿轮轮齿齿形的性质, 则有 $\text{tg}\beta = \pi d /$

s , 其中 β 为斜齿轮的螺旋角, s 为螺旋线的导程, 相关的公式如表 2 所示。

表 2 标准圆锥斜齿轮各公式

端面模数	$m_t = m / \cos \beta$	端面模数 D1
端面压力角	$\alpha_t = \arctg(\operatorname{tg} \alpha / \cos \beta)$	$\alpha = 20^\circ$
齿数	z	齿数 ZD1
齿长	B	齿宽 D31
端面分度圆直径	$d_t = m_t z$	端分 D1
端面渐开线基圆直径	$d_{bt} = d_t \cos \alpha$	端 D1
端面齿顶圆直径	$d_{at} \approx d_a$	端齿顶 D31
端面齿根圆直径	$D_{ft} \approx d_f$	端齿根 D31
端齿距	$P_t = \pi m_t$	
端面齿厚	$s_t = P_t / 2$	端齿厚 D31

由端面渐开线基圆直径可以做出标准圆柱斜齿轮轮齿端面的渐开线, 并由此得到标准圆柱斜齿轮轮齿端面草图, 如图 7 所示。

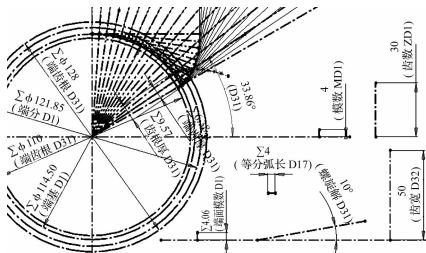


图 7 标准圆柱斜齿轮轮齿的渐开线及轮齿端面草图

2.2 标准圆柱斜齿轮轮齿的成形及齿轮的成形

通过指定路径(螺旋线)对图 6 草图进行扫描, 可以得到如图 8 所示轮齿的形状, 再对该特征进行阵列等步骤操作, 得到标准圆柱斜齿轮的特征图, 如图 9 所示。

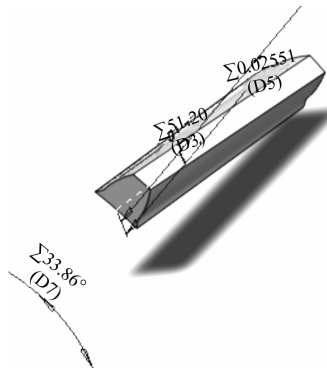


图 8 斜齿轮的齿型

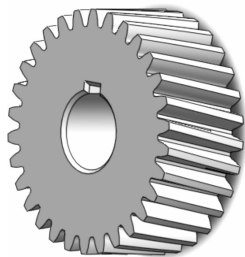


图 9 斜齿轮特征图

2.3 建立标准圆柱斜齿轮数据库所需方程式

建立标准圆柱斜齿轮数据库所需方程式如图 10 所示。

在草图图 7 中笔者只要改变齿轮的标准模数(模数 MD1)、齿数(齿数 ZD1)和螺旋角(螺旋角 D1)这 3

个变量, 本研究就可以得到一个新的齿轮草图及 3D 特征图。如把模数改为 5 mm, 齿数改为 40, 螺旋角改为 16° , 重新建模之后就能很快捷地得到相应的草图和特征图, 如图 11、图 12 所示。

```
1 "端面模数D1@草图1" = "模数MD1@草图1" / cos(10)
2 "端分D1@草图1" = "端面模数D1@草图1" * "齿数ZD1@草图1"
3 "端基D1@草图1" = "端分D1@草图1" * cos(20)
4 "等分弧长D17@草图1" = 3.1416 * "端基D1@草图1" * 4 / 360
5 "D16@草图1" = "等分弧长D17@草图1"
6 "D17@草图1" = 2 * "等分弧长D17@草图1"
7 "D18@草图1" = 3 * "等分弧长D17@草图1"
8 "D19@草图1" = 4 * "等分弧长D17@草图1"
9 "D20@草图1" = 5 * "等分弧长D17@草图1"
10 "D21@草图1" = 6 * "等分弧长D17@草图1"
11 "D22@草图1" = 7 * "等分弧长D17@草图1"
12 "D23@草图1" = 8 * "等分弧长D17@草图1"
13 "D24@草图1" = 9 * "等分弧长D17@草图1"
14 "D25@草图1" = 10 * "等分弧长D17@草图1"
15 "D26@草图1" = 11 * "等分弧长D17@草图1"
16 "D27@草图1" = 12 * "等分弧长D17@草图1"
17 "D28@草图1" = 13 * "等分弧长D17@草图1"
18 "D29@草图1" = 14 * "等分弧长D17@草图1"
19 "D30@草图1" = 15 * "等分弧长D17@草图1"
20 "端齿顶D31@草图1" = "模数MD1@草图1" * ("齿数ZD1@草图1" + 2)
21 "端齿根D31@草图1" = "模数MD1@草图1" * ("齿数ZD1@草图1" - 2.5)
22 "端齿厚D31@草图1" = 3.1416 * "端面模数D1@草图1" / 2
23 "齿根厚D31@草图1" = "端齿厚D31@草图1" * 3 / 2
24 "D7@螺旋线/涡状线1" = "D31@草图1"
25 "D3@螺旋线/涡状线1" = "齿宽D32@草图1"
26 "D5@螺旋线/涡状线1" = "D3@螺旋线/涡状线1" /
(3.1416 * "螺旋圆D1@草图2" / tan("螺旋角D1@草图1"))
27 "D1@阵列(圆周)1" = "齿数ZD1@草图1"
28 "齿根圆D1@草图3" = "端齿根D31@草图1"
29 "D1@拉伸1" = "D3@螺旋线/涡状线1" + 1
```

图 10 建立标准圆柱斜齿轮数据库所需方程式

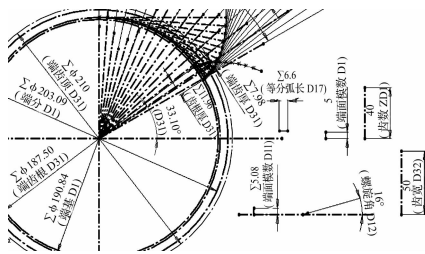


图 11 变更变量后圆柱斜齿轮的草图

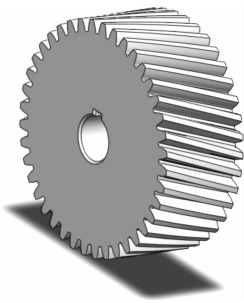


图 12 变更变量后圆柱斜齿轮的特征图

3 标准圆柱人字形齿轮的计算机数据库的建立

标准圆柱人字形齿轮的草图与标准圆柱斜齿轮的草图一样, 可把圆柱斜齿轮特征图镜向即得圆柱人字

形齿轮,在草图中,圆柱人字形齿轮的主要变量是齿轮的模数(模数 MD1)、齿数(齿数 ZD1)和螺旋角(螺旋角 D1)这3个变量,只要改变草图中的这3个变量就可以得到新的草图,重新建模之后就可以得到新变量下的标准圆柱人字形齿轮的特征图,如图13所示。

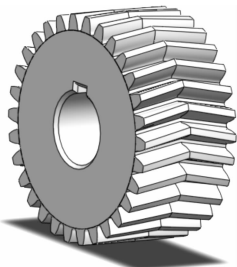


图13 标准圆柱人字形齿轮的特征图

在以上建立标准圆柱齿轮数据库的过程中,草图的绘制是比较难的,它和成百上千个数据联系在一起。本方法在基于 solidworks 软件基础之上用曲线拟合的方法做出齿轮齿面的渐开线,这比以往传统的建立数学模型手工找点法做渐开线要直观、精确。笔者将齿轮的上千个数据利用方程式的形式关联到草图中。只要改变齿轮的模数或齿数就能重新生成齿轮齿廓的草图和齿轮特征图。

4 结束语

(1)标准圆柱齿轮数据库建立之后,方便设计,只要在原草图基础之上改变齿轮的模数或齿数就能重新生成齿轮的齿廓草图和齿轮特征图。本研究建立标准圆柱齿轮数据库使齿轮的2D与3D模拟更加形象逼真,方便教学和培训。

(2)对标准圆柱齿轮数据库进行改进,可以将它作为 solidworks 软件的一个关于齿轮成型的插件使用。

(3)渐开线齿轮最适宜加工,可以根据齿轮的模数和模仿渐开线草图选择齿轮加工的刀具。

在上述的模拟仿真过程中,也有它的不足之处,就是在草图中变更齿轮的参数范围很窄,如果齿轮参数变化过大,则草图中容易产生自相交的情况,这还有待于进一步深入研究解决。但本研究为以后齿轮的有限元分析和动态仿真打了基础,为 CAD/CAM 进一步集成提供了一个条件。

参考文献(References):

- [1] 邹贵平. 基于 Pro/E 的渐开线圆柱齿轮三维参数化建模[J]. 机电工程, 2007, 24(2): 49-51.
- [2] 聂正东. 齿轮三维参数化建模及其运动仿真分析[J]. 机械研究与应用, 2009(3): 49-53.
- [3] 胡义刚. 渐开线齿轮三维参数化设计方法与实现[J]. 上海工程技术大学学报, 2004, 18(1): 42-46.
- [4] 魏征, 王一惠, 宋晓明. Solidworks2008 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 213-241.
- [5] 刘志红, 劳奇成. 虚拟 CNC 的齿轮测量中心[J]. 机电工程, 2007, 24(4): 23-25.
- [6] 沈继飞. 机械设计基础[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 45-69.
- [7] 徐灏. 机械设计手册: 第4卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [8] 李世伦. 利用 ObjectARX 对渐开线齿轮的开发[J]. 机电工程, 2002, 19(1): 56-59.
- [9] 宋清宇, 张耀宗. 精锻锥齿轮渗碳热处理 CAPP 系统[J]. 机电工程, 2003, 20(6): 89-93.
- [10] 张杰, 柳忠彬. 渐开线圆柱齿轮参数化三维造型研究[J]. 机械, 2009, 36(9): 33-35.
- [11] 郭克希, 王建国. 机械制图[M]. 2版. 内蒙古: 内蒙古大学出版社, 2008: 201-206.

[编辑: 柴福莉]

(上接第19页)

能根据各种输入情况调节消除转矩, 以较小的控制能量保证消除效果, 有利于进一步提高系统运动性能。

参考文献(References):

- [1] 胡超, 施浒立, 宁春林. 齿轮消隙功能实现探索[J]. 机电工程, 2008, 25(2): 11-14.
- [2] RACHED D, KENJI K, MASAHIRO T. Analysis and compensation of speed drive systems with torsional loads[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1994, 30(3): 760-766.
- [3] TOMISLAV J, NEDJELJKO P. Model based backlash compensation[C]//Proceedings of the American Control Conference, 2001, VA [s. n.], 2001: 775-780.
- [4] KONG Jung-shik, JUNG Byung-jae, LEE Bo-hee, et al. Non-linear motor control using dual feedback controller[C]//Proceedings of Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE. [s. n.], 2005: 171-176.
- [5] ZEESHAN H, FAHAD H, MUHAMMAD H M, et al. De-

sign, control and implementation of 2-DOF motion tracking platform using drive-anti drive mechanism for compensation of backlash[C]//IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments, 2007. Canada: Ottawa, 2007: 1-6.

- [6] 赵国峰, 胡维礼. 双电机驱动伺服系统齿隙非线性控制研究[J]. 电气传动, 2005, 35(2): 24-27.
- [7] CHANG Sun-lai, TSAI Lung-wen. On the redundant-drive backlash-free robotic mechanisms[J]. Journal of Mechanical Design, 1993, 115(5): 115-124.
- [8] GAWRONSKI W, BEECH-BRANDT J J, AHLSTROM H G, et al. Torque-bias profile for improved tracking of the deep space network antennas[J]. IEEE Antennas and Propagation magazine, 2000, 42(6): 35-45.
- [9] 赵海波. 双电机同步联动伺服系统的设计与分析[D]. 南京: 南京理工大学自动化系, 2006.
- [10] MERZOUKI R, DAVILA J A, CADIOU J C, et al. Backlash phenomenon observation and identification[J]. Proceedings of the 2006 American Control Conference, 2006(6): 3322-3327.

[编辑: 柴福莉]