

# 基于 UG 仿真的齿轮滚刀变模数变压力角设计

姚佳维

上海工具厂有限公司

**摘要:** 为研究齿轮滚刀变模数变压力后对齿轮齿廓的影响,结合 UG 建模和宏功能进行三维仿真切削模拟,论证了当滚刀触角为极限值时仍无法满足齿轮渐开线起始圆值,应改变滚刀的模数及压力角来改善滚刀齿形,以获得更佳的齿轮齿廓。本文提出了正确的改变模数和压力角的方法,探讨了当被加工齿轮为螺旋齿轮时,修正滚刀与齿轮间的轴交角的方式。

**关键词:** 滚刀;变模数变压力;有效齿廓

中图分类号: TG721;TH164

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.08.018

## Design of Gear Hob with Variable Modulus and Variable Pressure Angle Based on UG Simulation

Yao Jiawei

**Abstract:** In order to study the influence of variable modulus and variable pressure of gear hob on gear tooth profile, UG modeling and macro function are combined to carry out three-dimensional simulation cutting simulation, and demonstrates that when the hob contact angle is the limit value, but still can not meet the initial circle value of gear involute, the tool designer should change the module and pressure angle of hob to improve the hob tooth profile to obtain better gear tooth profile. This paper also puts forward how to change the modulus and pressure angle correctly, and discusses how to correct the shaft angle between the hob and the gear when the gear to be processed is a helical gear.

**Keywords:** gear hob; variable modulus and variable pressure; tooth profile

### 1 引言

在齿轮加工中,直齿轮和斜齿轮都有渐开线起始圆直径的要求。理论上渐开线起始于基圆,而在实际加工时,受齿轮刀具结构的限制,渐开线起始圆并非齿轮基圆。一般来说,配对齿轮的齿顶圆和啮合线的交点到该齿轮圆心的距离就是渐开线啮合起始圆的半径。但齿轮外圆和齿厚均有公差,制造、测量及装配时也存在误差,可能导致齿轮齿顶圆和啮合线的交点低于渐开线。汽车行业对齿轮精度的要求日益增高,为降低齿轮啮合时的噪音,设计刀具时,实际滚出渐开线起始圆需低于齿轮图纸要求,更靠近齿根。当滚刀原始齿形无法满足齿轮渐开线起始圆的要求时,改变滚刀齿形角和模数是解决该问题的有效手段。遵循齿轮啮合原理,在保证滚出齿轮有效齿廓不变并正确啮合的前提下,通过变模数变压力的方式可以获得更好的滚刀齿形。

### 2 基于 UG 仿真切削的对比

UG 软件可轻松实现各种复杂实体及造型的建

构。滚刀切削齿轮的过程可看作是齿条与齿轮的啮合,建立如图 1 所示的三维坐标系。当齿条向  $X$  轴负方向移动一个单位时,齿轮围绕  $Z$  轴逆时针转动一定角度。假设齿轮转动角度为  $1^\circ$  时,齿条的移动量  $t = \pi m Z / 360$ 。滚刀滚切成一个完整的齿廓,可看作在不停地重复以上动作。

UG 软件中的宏程序可整合常使用的加工过程,提高使用效率。利用该功能模仿齿条齿轮啮合过程,模拟出滚刀切削齿轮。该方法也可模拟不同的滚刀设计方案,滚切出不同的齿廓,通过对比分析切出齿轮的区别,或许能直观地检测出齿轮是否符合图纸要求。

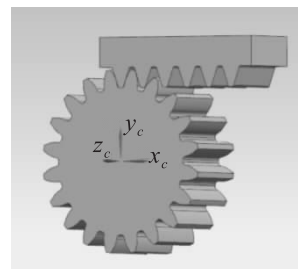


图 1 齿轮与齿条啮合原理

表 1 为齿轮参数,按照定模数和变模数两种方案设计剃前滚刀。根据要求设计定模数滚刀,滚刀

法向齿形见图2, 触角高度和宽度分别为1.2mm和0.08mm, 滚刀齿底倒角为43°, 倒角高度为3.945mm。

图3为变模数变压力角滚刀的法向齿形, 压力角设为17°30', 模数为1.97059。为方便比较, 将滚刀触角和倒角部分设计成与定模数的滚刀一致, 包括齿顶圆角, 其它则按要求设计。采用两种滚刀分别切削相同的两个齿坯, 并对比两种齿形。图4为两种方案的滚刀加工效果, 黑色齿廓为定模数滚出齿形, 红色齿廓为变模数滚出齿形, 可以看出, 黑色齿廓的倒角大于红色齿廓, 红色齿廓的渐开线起始圆低于黑色齿廓的0.2mm, 且齿底过渡圆部分曲线不同。

表1 齿轮参数

模数 $m$	压力角 $\alpha$	螺旋角 $\beta$	齿数 $Z$	齿顶圆 $d_a$	齿根圆 $d_f$	跨齿数 $K$	跨棒距 $W$
2	20°	20°	53	$\phi 116.8$	$\phi 107.55$	8	45.962

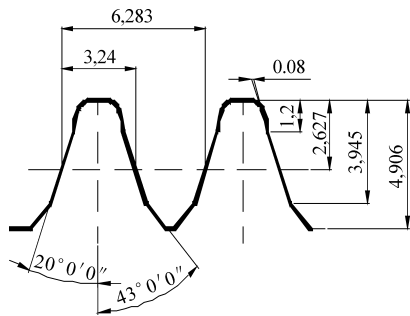


图2 定模数滚刀法向齿形

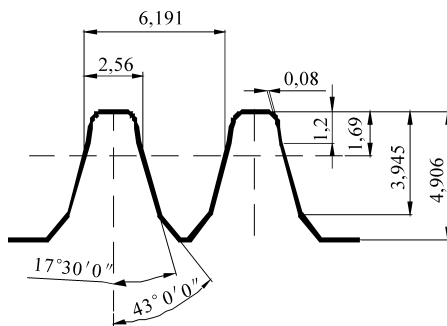


图3 变模数滚刀法向齿形

综上所述: ①在改变滚刀模数和压力角且倒角尺寸保持不变的情况下, 滚出的齿轮倒角与新滚刀的压力角(模数)成正比, 即滚刀压力角(模数)减小, 滚出倒角也随之降低, 反之亦然; ②在滚刀改变模数和压力角且触角尺寸不变的情况下, 滚出齿轮的渐开线起始圆与新滚刀压力角(模数)成正比, 即滚刀压力角(模数)减小, 滚出齿轮的渐开线起始圆降低, 向齿根靠近。

### 3 改变齿轮参数

由图4可以看出, 变模数变压力角后渐开线部分的齿廓形状未改变, 除倒角部分和齿底过渡曲线外, 渐开线部分完全重合。

要改变滚刀的模数及压力角而不影响齿轮的啮合, 可将齿轮参数作为切入点。齿轮的基本参数中, 模数为齿轮分圆和齿数的比值, 齿轮分圆为虚拟变量, 分圆可在合理范围内任意设定, 模数和压力角也随之改变。所以, 改变模数和压力角虽是改变齿轮的某些虚拟参数, 但实际上齿轮客观存在的有效齿廓并没有任何改变, 且仍能与其共轭齿轮进行正确的啮合。因此, 改变齿轮的模数和压力角需满足基圆大小不变和基圆齿距不变两个条件。

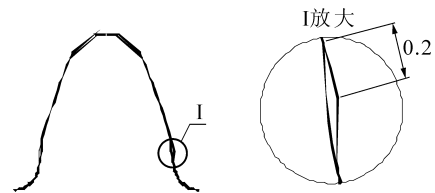


图4 滚出齿轮对比

(1) 保证基圆大小不变

渐开线为直线在定圆上滚动时, 直线上的任意一点的运动轨迹仅受限于定圆大小, 所以渐开线的齿廓取决于基圆大小, 为保证滚出齿轮齿廓不变, 齿轮的基圆大小应保持不变。

(2) 保证基圆齿距不变

齿廓相同的齿轮还需基圆齿距相同才能啮合。在齿轮啮合的过程中, 两齿轮的渐开线齿面上, 工作一侧齿廓的啮合点必须都在啮合线  $N_1N_2$  上, 若有两对齿同时参加啮合, 则两对齿工作一侧齿廓的啮合点必须都在啮合线上, 如图5所示。

即

$$K_1 K_1' = K_2 K_2'$$

式中,  $K_1 K_1'$  和  $K_2 K_2'$  分别为齿轮1和齿轮2的法向齿距  $P_{n1}$  和  $P_{n2}$ , 即  $P_{n1} = P_{n2}$ 。

由渐开线性质可知, 法向齿距  $P_{n1}$  大小与基圆齿距  $P_{b1}$  相等, 故  $P_{b1} = P_{b2}$ 。综上所述, 只要齿轮1与齿轮2的基圆齿距相等, 就能满足两个齿轮的正确啮合。基圆齿距公式为

$$P_b = \pi m \cos \alpha \tag{1}$$

由式(1)结合以上内容可知, 两齿轮啮合只需保证模数与压力角余弦的乘积相等, 即  $\pi m_1 \cos \alpha_1 = \pi m_2 \cos \alpha_2$ , 则有

$$m_1 \cos \alpha_1 = m_2 \cos \alpha_2 \tag{2}$$

式中,  $m_1$  为齿轮原模数;  $\alpha_1$  为齿轮原法压力角;  $m_2$  为齿轮新模数;  $\alpha_2$  为齿轮新压力角。

可通过式(2)求得齿轮的其他模数与压力角, 根据齿轮要求并结合滚刀的可加工性和滚刀切削齿强度得出最优参数。

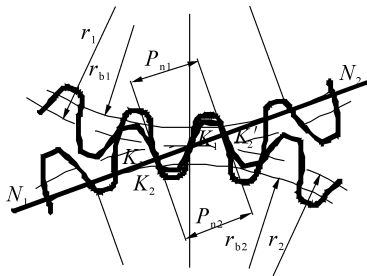


图5 齿轮啮合

### (3) 齿厚确定

齿轮设定模数和压力角后, 齿轮分圆随模数的变化而变化, 理论齿厚为分圆齿厚, 需重新计算该值。实际上, 齿轮的整体齿厚未改变, 仅需定义不同圆上的齿厚。可根据跨棒距结合新的模数、压力角等计算得出新的理论齿厚。需要注意的是, 当齿轮为螺旋齿轮时, 需用新参数将法向模数换算成端面模数。公法线公式表示为

$$W_k = m_t \times \cos\alpha_t \times [(k - 0.5)\pi + Z \operatorname{inv}\alpha_t] + 2\zeta m_t \sin\alpha_t \quad (3)$$

式中,  $t$  为齿轮端面参数。

齿厚  $S$  与变位系数  $\zeta$  关系式为

$$S = 2\zeta m \tan\alpha + \pi m / 2 \quad (4)$$

根据式(3)和式(4)可计算出新的分圆处齿厚。

## 4 计算滚刀与齿轮间的轴交角参数

当滚刀设计成变模数时, 原齿轮的分圆发生变化, 其在分圆处的螺旋角改变, 需提供滚刀与齿轮间的轴交角进行设计。该螺旋角也是齿轮分度圆处的螺旋角, 各处圆上的螺旋角都不同, 但改变模数后各处的螺旋角不变。在新参数中, 螺旋角是新分圆上的螺旋角, 当分度圆产生变化后, 需重新计算螺旋角。因基圆不变, 所以基圆处的螺旋角也不变。

基圆螺旋角与压力角的关系式为

$$\sin\beta_b = \sin\beta \cos\alpha$$

有

$$\sin\beta_1 \cos\alpha_1 = \sin\beta_2 \cos\alpha_2 \quad (5)$$

式中,  $\beta_1$  为齿轮原螺旋角;  $\alpha_1$  为齿轮原法压力角;  $\beta_2$  为齿轮新螺旋角;  $\alpha_2$  为齿轮新压力角。

根据式(2)得到齿轮新压力角, 代入式(5)可求得新的螺旋升角。滚刀轴交角公式为

$$\psi = \beta \pm \lambda \quad (6)$$

式中,  $\beta$  为齿轮螺旋角;  $\lambda$  为滚刀螺旋升角。

当滚刀与齿轮旋向相同时, 选用“-”号; 当滚刀与齿轮旋向相反时, 选用“+”号。将之前所得新螺旋升角代入式(6), 得到修正后的滚刀与齿轮间的轴交角。

## 5 结语

通过 UG 软件模拟滚刀仿切齿轮的过程, 对比采用定模数和变模数设计的滚刀切出的齿廓, 探究了针对齿轮滚刀设计时基圆齿距不变的前提下, 可采用变模数变压力角的设计方法来保证被加工齿轮的渐开线起始圆直径。

在采用变模数变压力角设计时, 由于滚刀切削时齿轮上的啮合圆变化, 要相应选用啮合圆上的压力角、齿厚及螺旋角, 以确保新参数下齿轮与共轭齿轮的正确啮合。

## 参考文献

- [1] 袁哲俊. 齿轮刀具设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.
- [2] 何枫. 变模数变压力角剃(磨)前滚刀的设计[J]. 工具技术, 2003, 37(10): 44-45.
- [3] 张万良. 变模数、变压力角插齿刀的设计分析[J]. 工具技术, 2014, 48(4): 77-79.
- [4] 李学艺, 曾庆良, 江守波. 渐开线圆柱齿轮传动智能设计及啮合仿真分析[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [5] 田培棠. 齿轮刀具设计与选用手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [6] 丑幸容. 非标准剃前滚刀设计[J]. 工具技术, 2007, 41(8): 56-59.
- [7] 袁哲俊. 齿轮刀具的技术发展[J]. 工具技术, 2013, 47(9): 3-9.

作者: 姚佳维, 工程师, 上海工具厂有限公司, 200093 上海市

Author: Yao Jiawei, Engineer, Shanghai Tool Works Co., Ltd., Shanghai 200093, China