

滚刀齿形几何展成

■ 陕西法士特齿轮有限责任公司 (西安 710077) 代建军

摘要: 本文通过归纳几类常见的滚刀法向齿形特征, 完成其在AutoCAD上的参数化建模, 并基于齿轮滚切原理, 通过计算各瞬态滚刀齿条与工件啮合关系, 完成了滚刀齿形展成动态模拟。基于展成结果, 对有效点沉切计算等问题进行了研究。

滚刀是利用展成法加工齿轮的一类复杂刀具。加工齿轮时, 滚刀轴线与工件端面倾斜一个角度, 以使滚刀和工件在啮合节圆处法面重合。滚刀的旋转运动为主运动。刀具每转一转, 工件转过一齿(滚刀为单头时)或几个齿(滚刀为多头时), 以形成展成运动。为切出全齿, 滚刀沿齿坯轴线进给。本文目的就是利用几何方法, 以AutoCAD为平台, 模拟滚刀与工件的展成运动, 形成工件端面齿形, 以校验滚刀设计。

1. 滚刀法向齿形的特征

根据产品设计要求及选择的加工工艺方案, 设计的滚刀法向齿形通常具有以下几类特征:

(1) 凸角特征。剃前滚刀、磨前滚刀通常在刀具齿顶带有凸角, 以便在工件齿根部为剃齿或磨齿切出退刀空间; 而精加工滚刀(如渐开线花键滚刀)通常不带凸角, 滚刀齿顶处采用圆弧光滑过渡。

(2) 修缘特征。剃前滚刀通常在刀具齿根部设计一段齿形角大于齿条基本压力角的切削刃, 以便切去工件齿顶的一部分材

料。这样, 剃齿的翻边毛刺不会留在齿顶, 影响齿轮啮合精度。

(3) 齿顶圆弧特征。产品设计通常要求刀具齿顶为整圆弧(单圆弧), 以提高齿轮弯曲强度, 但有时根据工件渐开线最小曲率半径、根径等因素综合考虑, 刀具齿顶不能形成整圆弧, 而只能设计成双圆弧。

下面以实际生产中应用较多的修缘、凸角齿顶双圆弧齿形为例, 介绍其在AutoCAD上展成模拟的实现。

2. 展成算法

(1) AutoCAD接口概述。在AutoCAD中, 绘制的每条直线、每段圆弧, 都是一个对象, 而完成的每张图样, 都是一个包含若干对象的数据库。通过AutoCAD提供的接口函数, 可以访问图样上的每个对象, 调用其方法、修改其属性从而改变其外观。

AutoCAD通过动态链接库对外公开其类库和接口部件, 使用ActiveX机制, 用户可在各种外部编程语言中操纵AutoCAD, 让其完成某些自动化任务。

AutoCAD中的“块(Block)”

是一个集合, 将许多对象联系在一起, 形成单个对象。用户可以像操作简单对象一样, 在图样上放大缩小、旋转、移动或复制“块”。本文中利用“块”来记录滚刀展成各瞬态齿形的位置, 按先后次序在AutoCAD上绘制, 达到动态模拟的效果。实现流程如下: 定义块→往块中添加元素(圆弧、直线), 以绘制滚刀法向基本齿形轮廓→计算参与切削的滚刀造型刃数, 绘制造型齿条轮廓→按先后依次绘制造型齿条, 实现动态模拟。

(2) 滚刀法向齿形的参数化造型。构成滚刀法向齿形的参数按齿形特征可划分为以下几类(见图1)。

凸角特征参数: 包括凸角宽度 a 、凸角最高点至齿顶距离 b 和凸角起点至齿顶距离 c 。

修缘特征参数: 包括修缘角 α_t 、修缘高度 h_t 。

齿顶圆弧特征参数: 齿顶圆弧半径 R 。

齿形其他基本参数: 法向齿厚 S_{n0} 、齿顶高 h_{a0} 、齿形角 α_n 、齿全高 h_0 及法向齿距 P_{n0} 。

由上述参数可确定构成滚

刀法向齿形的各线段、圆弧的位置。以第5种齿形为例,按图1所示建立坐标系(坐标原点取在法向齿厚中点),计算出构成法向齿形的各直线、圆弧的参数如下。

N点坐标: $(0.5P_{n0}, h_{a0} - h_0, 0)$

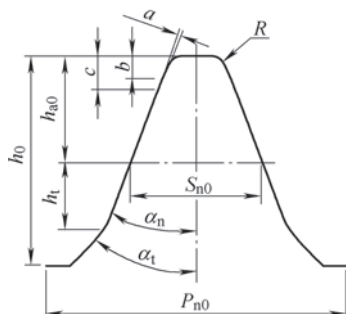
M点坐标: $(0.5S_{n0} + h_t \cdot \tan\alpha_n + (h_0 - h_{a0} - h_t) \tan\alpha_n, h_{a0} - h_0, 0)$

L点坐标: $(0.5S_{n0} + h_t \cdot \tan\alpha_n, -h_t, 0)$

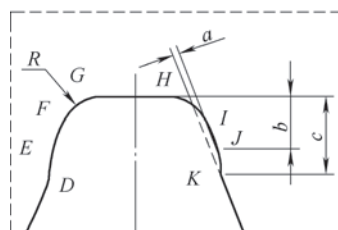
K点坐标: $(0.5S_{n0} - (h_{a0} - c) \tan\alpha_n, h_{a0} - c, 0)$

J点坐标: $(0.5S_{n0} + a/\cos\alpha_n - (h_{a0} - b) \tan\alpha_n, h_{a0} - b, 0)$

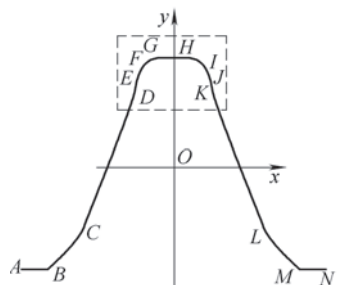
A、B、C、D和E点分别与



(a) 滚刀法向齿形



(b) 齿形头部放大



(c) 滚刀法向齿形坐标系

图 1

N、M、L、K和J点关于y轴对称,x坐标取反即可。

IH段圆弧参数包括:

圆弧圆心坐标: $(0.5S_{n0} + a/\cos\alpha_n - (h_{a0} - R(1 - \sin\alpha_n))$

$\tan\alpha_n - R \cos\alpha_n, h_{a0} - R, 0)$

圆弧半径: R

圆弧起始角度: α_n

圆弧终止角度: $\pi/2$

GF段圆弧圆心与IH段圆弧圆心关于y轴对称,x坐标取反。

圆弧起始角度: $\pi/2$, 圆弧终止角度: $\pi - \alpha_n$ 。

知道各线段的起末点、各圆弧的圆心、圆弧半径、起始角和终止角后,可调用AutoCAD绘制直线、圆弧的接口函数,完成滚刀单个法向齿形的绘制。

(3) 啮合状态计算。为简化模拟过程,让滚刀直接切出齿全深,即将滚齿加工简化为齿轮的分齿运动和展成齿条沿节线的轴向移动,而忽略滚刀旋转、滚刀向齿坯轴线的轴向进给等。为简化程序的实现,按相对运动原理,进一步将运动关系转化为齿坯固定,展成齿条以节线为基准,沿齿轮节圆作纯滚动。

为达到动画模拟的效果,将滚刀滚切齿坯一个齿的过程划分为N个瞬态,分别计算这N个瞬态齿轮和齿条啮合达到的位置,然后按先后顺序在AutoCAD上绘制显示。N的选择取决于模拟所需达到的精度,N越大,包络线越密,精度越高,所耗计算机资源也越多。图2所示的例子是将滚切1齿的过程划分成7个瞬态,分别对应齿条节线和齿轮节圆单个节距长度的6等分点,即A、B、C、D、E、F和G与a、b、c、d、e、f

和g点。在A瞬态,齿条节线与齿轮节圆相切于A(a)点,在B瞬态,齿条节线与齿轮节圆相切于B(b)点,依次类推。图2所示为啮合G瞬态时的状态。

由图2得到齿轮节圆上啮合点(a点、b点等)的坐标方程及齿条转角 β 方程如下

$$\begin{cases} \theta = \frac{3\pi}{2} + \frac{(j-1)2\pi}{z_1} - \frac{\pi}{z_1} + \frac{i \cdot P_{n0}}{(N-1)r_{j1}} \\ x = r_{j1} \cdot \cos\theta \\ y = r_{j1} \cdot \sin\theta \\ \beta = \pi/2 + \theta \end{cases}$$

由于将展成起点设置在 $3\pi/2$ 齿坯的齿槽中心处,所以在计算 θ 时附加了 $3\pi/2$ 。j表示正在滚切自展成起点逆时针方向的第j个齿,i表示第j个齿的节圆齿距上的第i个啮合瞬态点。

(4) 展成模拟实现。展成过程是通过对方程组的双层嵌套循环实现的。里层通过对滚切单齿过程中N个啮合瞬态点的循环,实现单齿齿形的展成;外层通过对工件齿数 z_1 的循环,实现整个零件的展成模拟。展成算法的程序流程如图3所示。

图4所示为某工件的展成模拟图,图5所示为该工件及其滚刀法向齿形的参数输入。

3. 有效点沉切量经验计算公式的验证

当齿坯加工采用滚剃、滚磨

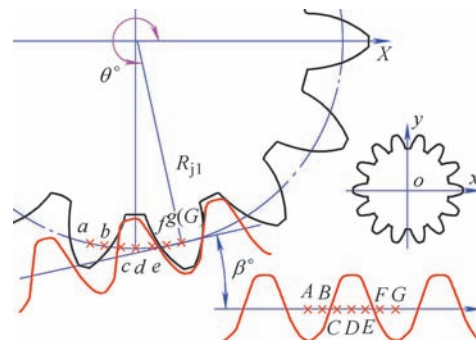


图 2

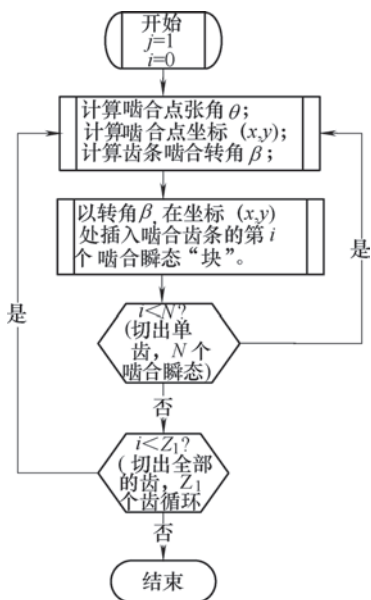


图 3

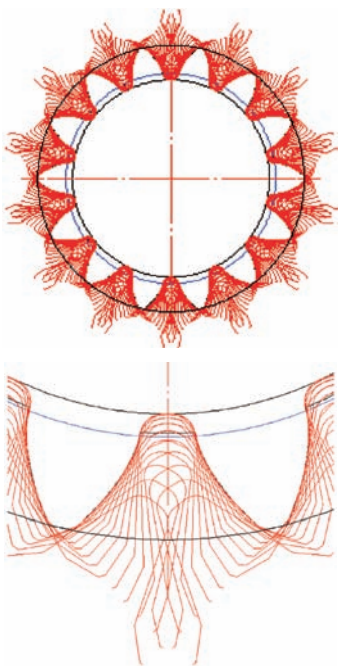


图 4



图 5

工艺时，滚刀设计或滚刀复算通常需计算渐开线有效起点处的沉切量，以避免由于滚齿序沉切

太大而导致剃齿或磨齿序失效。滚削沉切时，啮合的几何关系如图6所示。滚刀设计采用与齿坯相同的压力角时，齿轮分圆与滚削啮合节圆重合，滚刀法向节线齿厚等于齿轮法向节圆齿槽宽。基于上述结论推导出沉切量的计算公式如下。

沉切量：

$$\hat{a}b_{Ha} = \hat{B}C = r_{Ha} \cdot \text{rad}(\angle BOC)$$

其中：

$$r_{Ha} = \sqrt{4\rho_{1\min}^2 + d_{b1}^2}/2$$

$$\angle BOC = \angle AOC + \angle DOQ - \angle AOQ - \angle DOB$$

$$\begin{aligned} \angle AOC &= \lambda = \cos^{-1} \left(\frac{AO}{CO} \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{r_{j1} - h_{a0} - h_2}{r_{Ha}} \right) \end{aligned}$$

$$\angle DOQ = \text{inv}\alpha_t$$

$$\angle DOB = \text{inv}\alpha_{Ha}$$

$$\begin{aligned} \angle AOQ &= \varphi = \frac{\hat{P}Q}{\hat{O}P} = \frac{\overline{PH}}{\overline{OP}} \\ &= \frac{\overline{PG} - \overline{GI}}{\overline{OP}} = (r_{Ha} \cdot \sin\lambda + (h_{a0} - h_2) \cdot \tan\alpha_n - K) / r_{j1} \\ K &= a / (\cos\alpha_n \cdot \cos\beta_1) \end{aligned}$$

经过多组参数计算与模拟结果的比较验证，两项的误差在0.01mm以内。以图6所示的滚刀及齿坯参数为例，按公式计算出有效点沉切量为0.045mm，按几何模拟测量得沉切量为0.042mm。考虑到计算及模拟过程中的精度取舍，认为计算与模拟结果基本相符。

4. 结语

CAD技术的高速发展和广泛应用，使得工程技术人员能够以计算机系统为工具，综合运用多学科专业知识进行产品设计和工艺仿真模拟，达到改善产品设计

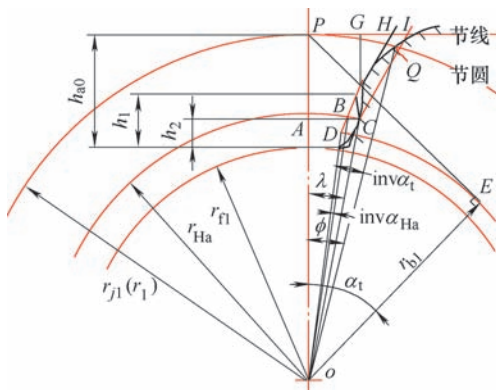


图 6

质量、缩短研发周期的目的。本文以AutoCAD为平台，动态模拟了滚刀法向齿条展成渐开线齿形的过程，直观清晰地反映了各瞬态齿条和齿坯的啮合关系，校验了滚刀设计。

参考文献：

- [1] 袁哲俊，等. 齿轮刀具设计[M]. 北京：新时代出版社，1983.
- [2] 四川省机械工业局. 复杂刀具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，1979.

MW (收稿日期：20160222)

欢迎关注微信公众号： 机工刀具世界

“机工刀具世界”定位于指导制造企业一线技术员工如何合理选择和使用数控刀具，介绍数控刀具使用技巧。关注数控刀具行业进展，为广大制造企业推荐先进、实用数控刀具产品。

扫描二维码即可关注！

