

双切齿轮滚刀结构设计及三维精确建模

■ 汉江工具有限责任公司 (陕西 723002) 郑潘妥 何 猛

摘要：本文介绍了双切齿轮滚刀结构的特点和 design 方法，阐述了运用Solidworks软件对双切齿轮滚刀进行精确建模的方法和步骤，并列举了几个双切齿轮滚刀模型的应用方法。

双切齿轮滚刀是一种高效的切齿刀具，主要应用于能源、船舶及矿石等大模数齿轮的加工。目前双切齿轮滚刀主要用于模数 $m=6\sim 30$ 齿轮的加工，随着机床和刀具材料技术的发展，双切齿轮滚刀会向更大和更小模数方向发展，因此，进一步了解双切齿轮滚刀（见图1），对设计 and 应用人员都是非常必要的。



图 1

1. 双切齿轮滚刀的结构设计

(1) 双切齿轮滚刀的结构特点。双切齿轮滚刀的实物如图1所示，从图中可知双切齿轮滚刀与普通齿轮滚刀相比，其齿背较宽，容屑槽也较窄，且在齿背上增加了一排较矮的切削齿，称之为副切削齿，一般副切削齿的全

齿高为主切削齿全齿高的30%~40%，圆周上主切削齿和副切削齿交替等分均布，切削刃比普通齿轮滚刀增加了近一倍，并且带有正前角。

(2) 双切齿轮滚刀的结构设计。双切齿轮滚刀是在限定滚刀外径的情况下，为了获得更多的切削齿而采用的设计方法。由于滚刀在滚削过程中70%以上的切削量是由全齿高1/3以上的齿顶部分完成的，其余部分仅完成剩余的30%。

因此，为了保证滚刀刀齿的完整性和高效性，双切齿轮滚刀采用在刀齿齿背上增加一排刀齿1/3以上的副切削刃部分，圆周上主、副切削齿交替等分均布。

设计双切齿轮滚刀的结构时，首先要保证滚刀的结构强度，滚刀的结构强度分为刀体强度和刀齿强度。刀体强度采用刀体轴向键槽与容屑槽底的薄壁厚度与孔径之比计算， B 、 H 、 B_1 、 B_2 、 B_d 及 D 的各尺寸如图2所示， B_d/D 应大于0.2。刀齿强度采用齿底宽与容屑槽深之比近似计算，

对主切削齿 B/H 一般应大于0.5，副切削齿大于0.7。主、副切削齿的容屑槽深为刃部齿高加上铲背值。

设计槽形角时既要考虑滚刀的寿命，又要保证排屑的顺畅，主切削齿的容屑槽深，槽形角小，副齿的容屑槽浅，槽形角大，通常以刀齿的顶宽宽度和容屑槽张口宽度的比 B_1/B_2 来选择槽形角， B_1/B_2 应在0.9~1.1之间为宜。

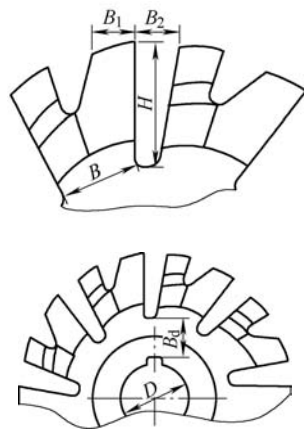


图 2

双切齿轮滚刀主切削刃的容屑槽比普通滚刀小得多，并且刀具的整体刚性不如普通滚刀，因此双切齿轮滚刀往往设计为正

前角的结构型式，以改善切削条件，减小切削力，提高刀具使用寿命，前角一般选择 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。

2. 双切齿轮滚刀的三维精确建模

通常的双切齿轮滚刀图样是二维的，不能直观地反映刀具的整体结构，要求设计和加工人员具有较强的空间想象能力，在加工过程中经常会出现理解错误而导致产品报废的情况。采用三维立体设计，对设计的二维图样进行建模，直观地展现所设计刀具的最终模型，让加工人员更好地理解产品的具体结构，同时对不合理的地方进行优化，使刀具的设计和加工质量得到提升。

利用Solidworks软件，以模数 $m=16$ 的双切齿轮滚刀为例介绍建模的具体过程。滚刀的主要参数如附表所示，刀齿前刀面参数如图3所示。建模按双切齿轮滚刀的加工工艺进行，主要分为车螺纹→铣容屑槽→铲磨齿形3个部分，对这3个主要部分的建模加以举例说明。

(1) 螺旋槽的建模。视基准面为基面，按附表中的滚刀外廓尺寸建立草图，用拉伸、切除命令建立滚刀毛坯模型。以右视基准面为草图基面，绘制滚刀法向齿形图，齿厚留量 1.5mm （见图4）。以上视基准面为草图面，

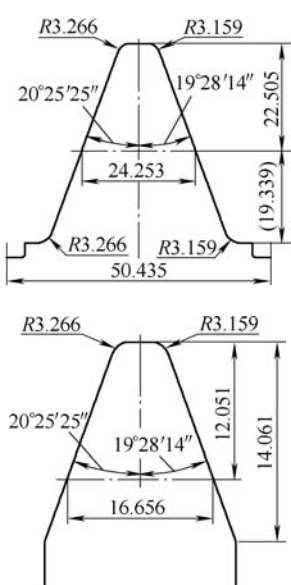


图3 滚刀前刀面齿形

以 $d_f=195.268\text{mm}$ 为半径建立螺旋线，螺距为 50.435mm ，圈数为7，起始角 180° ，顺时针，然后将法向齿形图沿螺旋线扫描切除，建模如图5所示。

(2) 轴向容屑槽的建模。在上视基准面上绘制滚刀端面草图（见图6），绘制草图时需注意滚刀的前刀面错位值，然后轴向拉伸切除。轴向容屑槽的建模也可先拉伸切除一排，然后圆周阵列出其余的容屑槽，建模结果如图7所示。

(3) 齿形后角的建模。齿形后角是双切齿轮滚刀设计中的一个重要参数，计算方法见公式（1）、（2）和（3）。在进行齿形后角建模时采用扫描切除的方

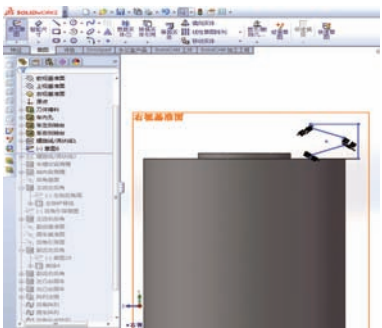


图 4

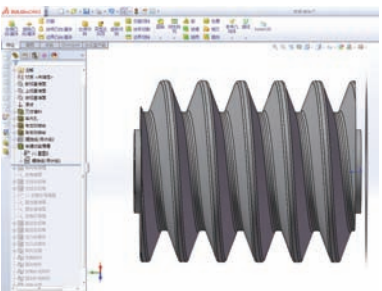


图 5

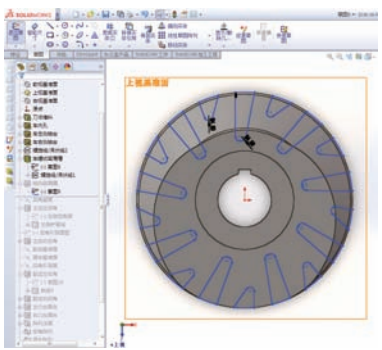


图 6

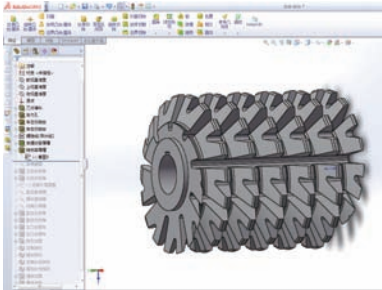


图 7

附表 双切齿轮滚刀的主要参数

模数 m	16	滚刀分径 d_f/mm	195.268	主齿槽深 H/mm	54	法向齿形	
压力角 $\alpha/ (^{\circ})$	20	容屑槽数 Z	9/18	主齿槽形角 $/ (^{\circ})$	11	上齿高 h_s/mm	22.4
滚刀外径 d_e/mm	240	容屑槽方向	直槽	副齿槽深 H_0/mm	23	齿厚 S_n/mm	24.171
滚刀长度 L/mm	300	螺旋升角 $\beta/ (^{\circ})$	4.7°	副齿槽形角 $/ (^{\circ})$	36	全齿高 h/mm	41.6
滚刀孔径 d/mm	60	螺纹旋向	右旋	槽底圆角 R/mm	4.5	齿形角 $\alpha_d/ (^{\circ})$	20
轴台长度 L_f/mm	8	铲背值 K	8/16	滚刀前角 $/ (^{\circ})$	6	齿形圆角 R_c/mm	3.2

法, 实际的后角扫描曲线是一条复杂的空间曲线, 计算和绘制都比较麻烦, 应用中以较近似的后角曲线代替

$$\tan \gamma = KZ / (\pi D) \quad (1)$$

$$P' = P \pm KZ \tan \alpha_t \quad (2)$$

$$P' = \pi D / \tan \gamma' \quad (3)$$

式中, γ 是齿顶后角; γ' 是齿侧后角; P 是滚刀导程; P' 是刀齿左、右侧导程 (+号为右侧刃导程); α_t 是齿形端面压力角; K 是铲背值; Z 是滚刀槽数; D 是滚刀外径。

由于滚刀的刀齿是在螺旋线上分布的, 刀齿的左右两侧齿形后角不同, 应分开建模。首先建立左侧齿形后角模型, 在上视基准面建立一段齿顶铲背曲线 (见图8), 然后在前视基准面中以铲背曲线的左端点为起点, 建立角度为 4.6735° (螺旋升角-左侧齿侧后角)、长度超过主切削齿宽度的线段, 用曲线投影将两

条线合成一条空间曲线 (见图9)。在主切削齿的前刀面绘制滚刀的左半侧轴齿形草图 (见图10), 将该草图沿着合成的空间曲线扫描切除, 生成左侧后角和齿顶后角 (见图11)。

主齿右侧后角与左侧后角的方法一致, 仅是后角线段的角度为 4.727° (螺旋升角+右侧齿侧后角)。采用相同的方法对副切削齿进行后角建模, 并对干涉凸台进行切除, 得到一个主副切削齿的后角模型 (见图12)。然后利用曲线驱动的阵列对这个建模的齿进行阵列, 阵列方向为螺旋线, 阵列数 Z_1 和间距 D_1 按公式 (4) 和 (5) 计算, 法面线为滚刀的分径面。最终的建模结果如图13所示。

$$D_1 = \pi d / Z \quad (4)$$

$$Z_1 = \pi d N / Z \quad (5)$$

式中, d 是滚刀的分径; N 是螺纹的圈数。

3. 双切齿轮滚刀三维模型的应用

(1) 双切齿轮滚刀结构校验。利用可视的三维模型对设计的双切滚刀结构进行校验, 查看设计的主副齿容屑槽是否合适, 对不尽合理的地方可进行优化处理。对有外径限制而内孔又大的双切齿轮滚刀, 经常会出现壁厚较小的情况, 可对模型进行厚度分析, 改变键槽的位置以满足要求。

(2) 铲磨砂轮的验证。生产中由于加工设备和工艺等原因, 往往不可能配备各种外径规格的砂轮, 而铲磨后角对砂轮外径的要求又比较严格, 经常会出现由于砂轮的外径太大, 造成刀齿顶部出现翘尾现象。利用双切齿轮滚刀的三维模型对铲磨齿形进行模拟加工, 根据模拟的结果选择合适的砂轮直径。

(3) 边牙齿的铣削编程。

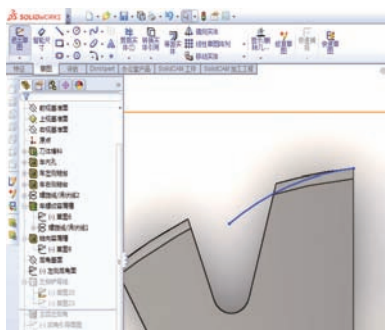


图 8

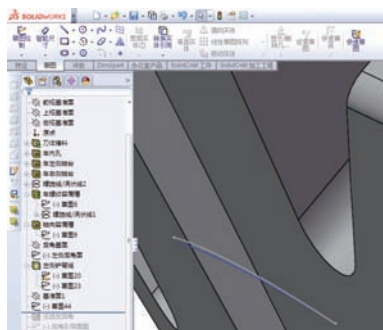


图 9

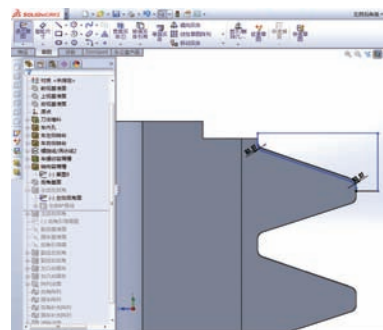


图 10

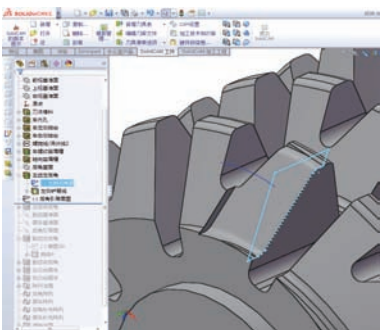


图 11

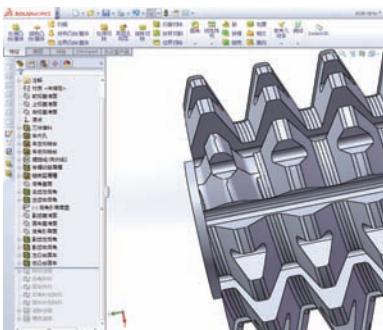


图 12

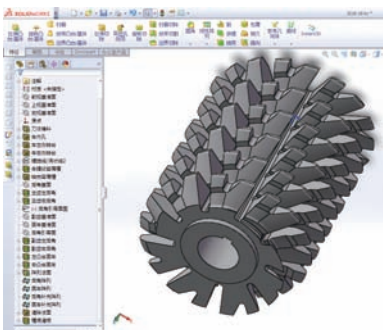


图 13

创新性B轴刀架设计

■ 沈阳机床股份有限公司 (辽宁 110142) 郭秀英

摘要: 车铣复合加工中心机床多功能的实现, 主要是由B轴刀架完成, 如何摒弃B轴刀架传统结构的弊端, 强大B轴刀架功能, 是机床制造业的难题。本文推出一款创新性B轴刀架, 论述了其机构的高刚性、高性能, 旨在推广和倡导机床制造业的创新性技术。

车铣复合加工中心机床通常具有车、铣、钻、镗、攻螺纹、深孔加工及车铣内外螺纹等功能, 这些功能主要依靠具有B轴功能的刀架装置来实现。因此要求此类装置既能安装车削刀具又能安装各类旋转刀具。

目前, 国内外车铣复合加工中心的B轴刀架装置均设有一个装刀位, 所有刀具都是通过此接口与动力主轴联接的。这种结构形式存在两方面的弊端: ①由于车削刀具工作状态不同于旋转刀具, 它在加工过程中不转动, 就需要在旋转的动力主轴的前端或后端设有一套齿盘锁紧机构或插

销机构, 或离合器机构等; 前端设置机构加长了动力主轴轴承支撑至刀具刀尖的距离, 致使动态系统的刚性低, 后端设置机构易产生扭曲变形, 刀具主轴的定位精度低、刚性低。②旋转刀具需求高转速, 而大型回转体零件的粗车加工毛坯余量大、表面硬度高, 动力主轴需承载高负荷, 因此, 旋转刀具与车削刀具安装在同一刀位时, 如满足旋转刀具高转速的需求, 动力主轴就显得薄弱, 既无法满足车削时的刚性需求, 又会损伤刀具主轴的精度。基于上述原因, 设计了一款B轴刀架(见图1): 旋转刀具和车削

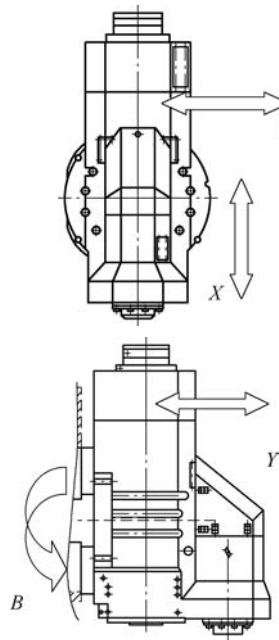


图1 创新性B轴刀架外观图

双切齿轮滚刀加工时, 在两端留有数个不完整齿, 这些齿中壁厚较小的齿在热处理前需要铣掉。根据建立的三维模型, 利用Solidcam软件在模型上直接进行模拟铣削, 生成铣削程序代码, 能够提高产品的加工质量和效率。

4. 结语

采用本文介绍的双切齿轮滚刀结构设计方法能够快速获得

较为合理的滚刀结构。对于建立的双切齿轮滚刀三维模型, 其前刃面为精确齿形, 齿侧后角和齿顶后角接近实际值, 在应用时可认为该模型为双切齿轮滚刀的精确模型, 可以利用建立的双切齿轮滚刀进行滚齿过程模拟, 查验刀具的受力和排屑过程, 使刀具的设计和加工精度进一步提高。

参考文献:

[1] 王小雷. 新结构高效双切齿轮

滚刀[J].航空制造技术, 2009(2): 45-47.

[2] 赵果, 王平. Solidworks2010快速入门与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

[3] 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: 20150403)