滚齿防干涉三维模拟技术开发

储召萍[1] 张瑞强[1] 刘永青[2] 吴卓[3]

（1. 陕西法士特汽车传动集团有限责任公司工艺研究所；2. 陕西法士特汽车传动集团有限责任公司咸阳精密机械分公司；3. 陕西法士特汽车传动集团有限责任公司工艺研究所）

摘要：本文基于 VERICUT 软件研究开发三维模拟滚齿加工过程，并将其应用于实际加工设计生产中，让干涉情况及行程不够情况在工装及工艺设计阶段被避免。

关键词：三维模拟加工；VERICUT；小型大螺旋角齿轮

0 前言

为降低噪声并增加传动平稳性，变速器齿轮会采用小型大螺旋角齿轮结构等。此前滚齿并无仿形、模拟加工程序，设计夹具及加工过程凭工艺人员的加工现场经验，而小型大螺旋角齿轮总会出现加工干涉，如滚刀与夹具干涉、刀架与底座干涉以及刀架头与机床工作台干涉等，出现拉杆、顶尖和机床行程不够等情况，更有不可预计的现场加工问题。而一旦出现干涉，轻者耽误生产线加工进度，造成生产线停线，重者造成废品，需重新投制或返修夹具，返修的夹具刚度低，往往对加工零件的齿部精度的稳定性控制有较大影响，更甚者撞坏机床、打伤报废滚刀。

1 主要研究内容及创新点

基于上述滚齿现场加工干涉问题，此项目研究开发滚齿防干涉三维模拟技术，并将其应用于实际加工设计生产中，将不可预计问题扼杀在设计阶段，提升换产加工效率、降低现场废品率并提高加工质量。

主要研究内容：

（1）统计各类滚齿机行程参数、各机床参数，并设计模拟三维机床情况。

（2）模拟设计各机床工况下的滚齿三维加工情况。

（3）设计滚齿夹具时，将滚齿夹具及滚刀、被加工零件及滚齿机行程放置三维空间模拟现场加工的情况。

应用 VERICUT 软件进行三维模拟滚齿加工过程，让干涉及行程不够情况在工装和工艺设计阶段被避免。

2 VERICUT 环境下的滚齿加工过程仿真

选用数控仿真软件 VERICUT 对滚齿过程进行仿真，该软件没有现成的滚齿加工模型可供使用，也无电子齿轮箱，必须对滚齿过程进行分析后建模。滚齿机使用螺旋滚刀按展成法加工，相当于齿条与被加工齿轮组合，我们用插补的方法模拟滚齿加工过程，转化为六轴四联动的数控展成加工，滚刀作为齿条，六轴分别是工件的旋转运动（C 轴）、滚刀的 Z 向移动、滚刀的 X 向切入运动、滚刀自身的旋转运动（B 轴）、刀架移动（Y 轴）以及刀架的旋转运动（A 轴）。这样就可以在 VERICUT 环境下进行滚齿加工过程的仿真和预测。

使用 VERICUT 对数控加工过程进行仿真，需要建立机床的几何模型、运动学模型，再建立刀具、夹具和工件等的几何模型，给定走刀轨迹（NC 代码程序），设定合适的参数，从而实现数控加工过程仿真和优化，仿真系统加工流程如图 1 所示。

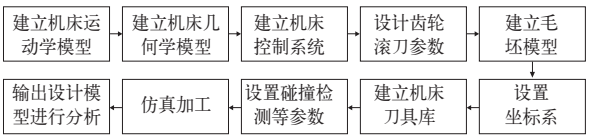

图 1 仿真系统加工流程

2.1 建立滚齿机几何建模

在 VERICUT 中没有滚齿机床模型，因此在仿真前需要创建机床几何模型。首先，统计并整理各类滚齿机加工行程参数，现场测量滚齿机的机床内部形状尺寸参数，形成完整机床参数数据库。然后，应用 NX 软件，依次创建滚齿机的各个部件的几何实体模型并完成装配，主要包括机床床身、上顶尖、工件旋转 C 轴、主轴箱（X 轴）、Z 轴、刀架旋转轴 A 轴、刀架移动轴 Y 轴和旋转刀杆 B 轴等，还有滚刀、夹具、加工工件及毛坯，然后根据它们之间的位置关系将各个组件进行装配，得到机床的装配模型，如图 2 所示。

再设置机床坐标系，本实例机床坐标系设置在

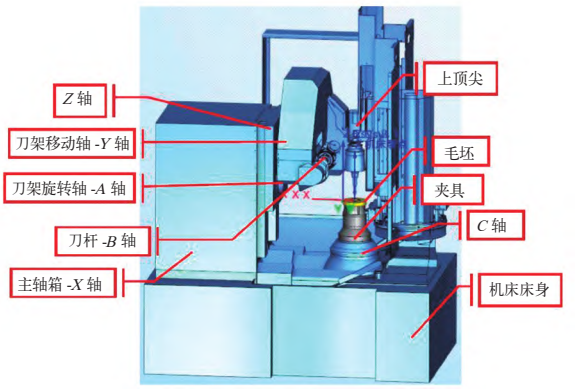

图 2　滚齿机、夹具、滚刀和加工件装配模型

工件上表面中心。最后，将滚齿机床的各部件导出为 VERICUT 可识别的 STL 格式，各部件模型在导入 VERICUT 之后，它们相对于该坐标系的空间相对位置仍然不会变。在滚齿机装配体模型中，依次导出机床床身、上顶尖、工件旋转 *C* 轴、主轴箱（*X* 轴）、*Z* 轴、刀架旋转轴 *A* 轴、刀架移动轴 *Y* 轴及旋转刀杆 *B* 轴等，还有滚刀、夹具和加工工件毛坯等模型的 STL 文件。

2.2　建立滚齿机运动建模

第一步：建立机床的模型部件树。滚齿机床组件相互间的运动拓扑关系有两条运动链再加上顶尖运动，即滚齿机的三条运动链为：

（1）机床床身 <= *X* 轴 <= *Z* 轴 <= *A* 轴 <= *Y* 轴 <= *B* 轴 <= 刀具（滚刀）。

（2）机床床身 <= *C* 轴 <= fixture 夹具 <= stock 毛坯 <= 工件（齿轮）。

（3）机床床身 <= 上顶尖。

打开 VERICUT 软件，选中机床组件树。在机床组件树中添加运动组件，然后将它们相互间的运动拓扑关系按滚齿机的三条运动链添加，就能够完成滚齿机床运动模型的创建了。然后将 UG 导出的各部件几何模型的 STL 文件按顺序导入到组件树中，同时将各部件的坐标位置设置好。机床的模型部件树如图 3 所示。

第二步：配置控制系统、坐标系、*G* 代码和加工刀具。需要注意的是创建加工刀具时导入绘制好的滚刀 STL 格式，然后需要设置滚刀的每个刀刃，如图 4 所示。

第三步：编制数控程序。此软件无电子齿轮箱，我们用插补的方法模拟滚齿加工过程，应用两个嵌套的循环，让工件 *C* 轴转动一周，滚刀 *B* 轴转 *Z*/*Z*0 转（*Z* 为工件齿数，*Z*0 为滚刀头数），同时工件沿 *Z* 向进给。

2.3　设置滚齿机加工环境

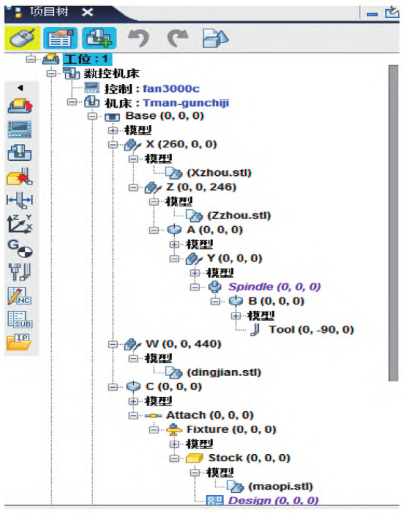

图 3　机床的模型部件树

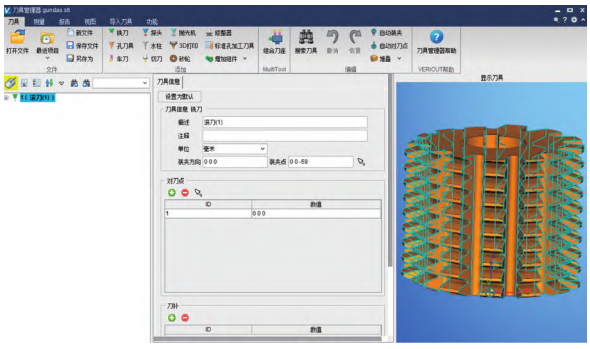

图 4　创建滚刀

（1）设置碰撞检测：根据实际情况设定，刀具与夹具碰撞干涉检测、刀具与上顶尖碰撞检测及刀架与机床碰撞检测。模拟过程出现刀具与夹具碰撞时以红色警示提醒，如图 5 所示。

（2）设置行程控制：根据之前统计的滚齿机行程在此设定各轴的行程和超行程提醒，超行程时停止运动，

图 5　碰撞检测设定及碰撞红色警示

如图 6 所示。

（3）设置轴优先级：①先动油缸拉杆、上顶尖、*A* 轴，

图 6　行程检测设定及超程红色提醒

最后复位。②*B*、*C* 轴转动。③*X*、*Y*、*Z* 线性移动。

（4）设置初始化变量。调入零件、刀具和夹具，输入被加工件与刀具的参数，即可进行滚齿机模拟加工。

3.4　编程时需要考虑的问题

（1）滚齿原理是 *B* 轴、*C* 轴传动比 *i*。滚齿机使用螺旋滚刀按展成法加工，相当于齿条与被加工齿轮组合，随着滚刀旋转，这些分布在螺旋面上的切削刃便沿着工件的切向方向移动。滚刀与工件的转速比等于工件齿数 *Z* 与滚刀头数比，即工件转动一周，滚刀转 *Z*/*Z*0。即：*ω* 刀 /*ω* 工件 =*Z*/*Z*0。

（2）滚刀安装角度为工件螺旋角与刀具螺旋升角相加减，即同减异加，具体如图 7 所示。

（3）进刀与出刀问题。滚刀进刀大多不是直进，需

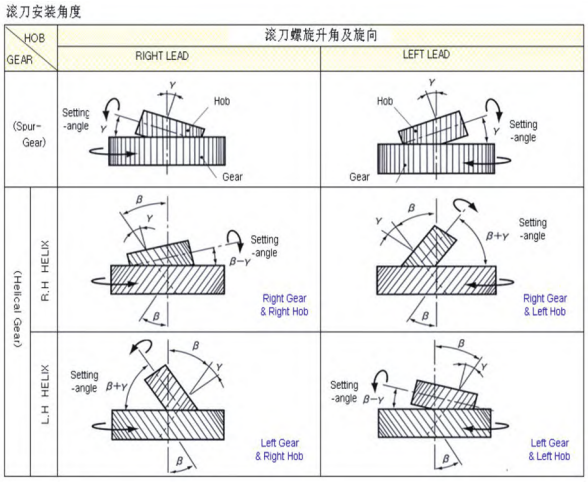

图 7　滚刀安装角度

要滚刀切深到齿根快速靠近，然后轴向切削进给，出刀要保证滚刀全部出头。

（4）窜刀问题。刀具每加工一件会轴向窜刀，而且不会利用整个刀长，所以，使用长度 = 总长 -2 倍刀台长 -2 *L*。*L* 值（工件中心距刀具边缘），最小取 1.5 倍齿距，如图 8 所示。

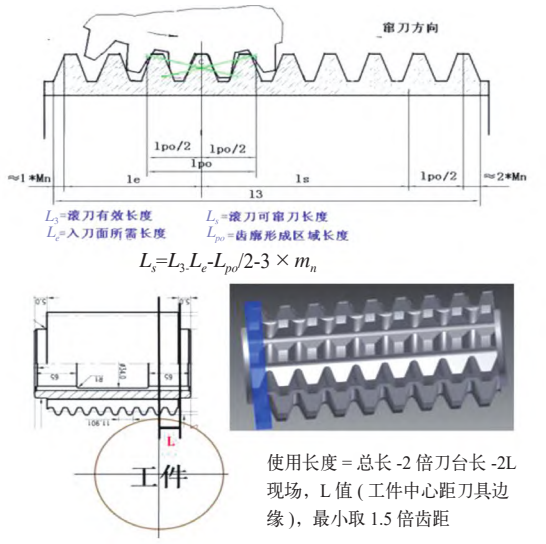

图 8　针对窜刀进行设置

3.5　加工仿真

完成以上准备工作后，即可开始在 VERICUT 中进行仿真，按加工顺序大致为刀具、机床准备、上顶尖向下运动，同时压盖压住被加工零件、进刀、切削齿轮、加工完成后退刀，完成动态加工仿真。

4　结语

基于 VERICUT 软件研究开发三维模拟滚齿加工过程，并将其应用于实际加工设计生产中，让干涉及行程不够情况在工装及工艺设计阶段被避免，特别是小型大螺旋角齿轮结构，不易发现干涉情况，用此模拟加工，将不可预计问题扼杀在设计阶段，提升换产加工效率、降低现场废品率、提高加工质量。

参考文献：

[1] 金成杰，李国龙，刘飞.《VERICUT 环境下的齿轮滚刀铲磨加工过程仿真》[J]. 现代制造工程 ,2008,(08).63.