

基于 SolidWorks Simulation 分析 手动钻锯扭一体机主轴

广东工业大学华立学院 蔡凯武 王映丽 黄润光

本研究旨在用 SolidWorks Simulation 分析手动转锯扭一体机（以下简称一体机）的主要零件主轴的受力与设计可行性，确定整个产品的载荷承受能力。首先选择最容易导致主轴损坏的情况和主要的压力，然后设定其方向、大小和作用面，用于主轴的三维模型中，定为载荷，设定好后进行网格化并运行，研究主轴在切削力载荷工况作用下的最大应力及变形，对主轴进行模态分析，将得出的结果进行分析，以验证其可行性。

一、引言

手动工具以其方便、便宜且灵活的优点，在日常生活得到广泛的应用。但是目前手动工具多为单件单用途，为了满足使用要求，通常需要配备多种工具，如手工钻、锯子、钳子，很多情况下需要在各种工具下来回切换，有碍作业，而且携带与保管不便，容易散落遗失。

目前，手工钻为利用锥齿轮传动，将手施加的力矩传递到钻头，再进行下压，钻头的尖端对物体进行钻削，从而实现钻孔。手工锯通过给锯子施加压力，以一定角度来回运动，靠锯片上的锯齿切开物体。手工钳为利用杠杆原理来获取较大的扭矩与夹持力，实现将物体扭断或者扭弯。如能设计一种将钻孔、锯切和扭转融合到一起的手动式钻锯扭一体机，将有效解决以上问题，且极大地提高工作效率。用 SolidWorks Simulation 分析手动转锯扭一体机的主要零件，主轴的受力与设计的可行性，以得出关键性结果来确定整个产品的载荷承受能力。

二、确认载荷来源

分析对主轴施加的载荷，需要从整个产品被施加的外力入手。在使用一体机锯切功能时，有来自于键的切向力，还有一定程度的竖直向下的压力。钻孔时与扭转时主要受到切向力。先分析锯切。做受力分析，排除无关零件，结果如图 1 所示。 P 是右手推动手柄对行星轮产生的拉力。 F_1 为工件切削位置对锯片的压力，其大小取决于切削力。这些部分固连于中心轴承并可绕其旋转。 P 与 F_1 为一对在整体上的一对平衡力，最终会传导到主轴键槽。 F_N 为左手下压所导致的压力。因为内齿轮浮动，且齿轮存在侧隙，所以若行星齿轮都浮动，则都可以做过中心点的运动，而每个轴与配合零件运动空间较小或没有。所以可以得出工件对一体机的压力传导路径是：锯片→行星轮→基座法兰→轴（左端）。因为主要的重力已被工件对一体机的压力所抵消，实际传入轴的压力大小与 F_N 相等即为 F_2 。所以 F_N 与 F_2 为主轴在整体上的竖直方向平衡力。

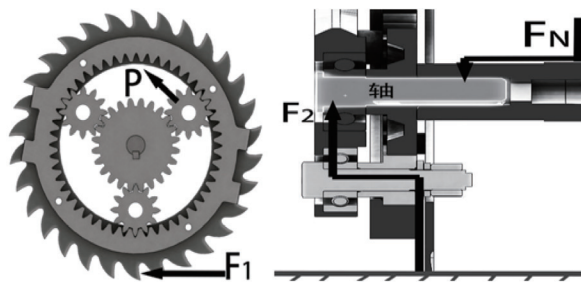


图 1 确认载荷

三、基本设置

如图2为主轴的三维模型外观，并在轴上建立直角坐标系，上下左右以坐标系为基准。已将每个接触面通过分割线划分开。

接触面包括键槽与键的侧面和底面，与把手的接触（手柄段），与轴承的接触（轴承段）。分割线可通过在装配体上测量尺寸进行绘制，用于载荷和夹具的施加面。

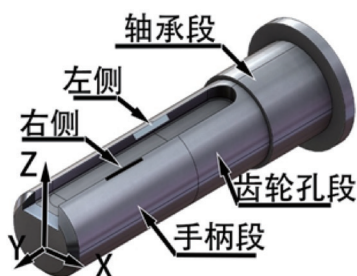


图2 基本设置

四、建立 Simulation 算例

为了得出施加的力对主轴造成的影响，在选新算例时选用“静应力分析”，因手柄处为施力位置，齿轮处有可移动的间隙，所有不予固定，选用与轴承内圈配合处固定，为了模拟轴承带来的固定效果，可选用“固定几何体”如图3所示。

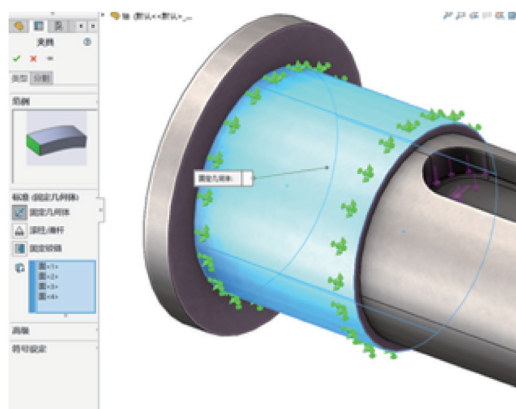


图3 夹具设置

五、切向载荷

固定完毕，施加载荷。先设定切向力，从 F_1 入手，经过类比实验，切削压合纸板所需切削力估算值 F_1 为15N，力会从锯齿切削部位传递至内齿轮与行星轮啮合

处，经过杠杆原理放大，即为 $X=F_1 \times 74/46=24.13\text{N}$ 。后再传至太阳轮啮合处，经过齿轮传动的传动比，即为 $Y=1/2 \times X=12.07\text{N}$ ，后再传至中心的主轴的键槽上，再次因杠杆原理放大： $Z=23/5 \times Y=55.5\text{N}$ 。

Z 为施加于键槽上的力，位于与齿轮孔上那段部位上的键槽侧面，因锯片为逆时针旋转并对工件施力，所以可设对与齿轮孔处接触那段的键槽左边的侧面有一法向压力，大小为55.5N。该力的另一平衡力也是55.5N，位于与手柄孔相接触处的那段的键槽右侧侧面。如图4所示。

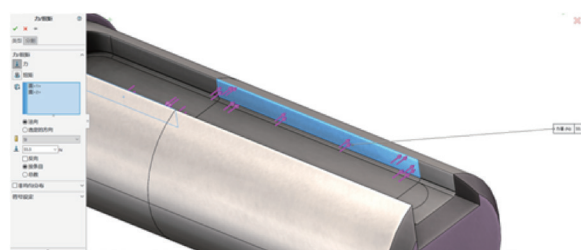


图4 切向载荷

六、竖直方向载荷

在下压手柄时，键槽的方位是不定的，可建立极坐标系用于定义键槽方向，以下压方向为极轴，圆心为 O ，如图5所示，此时键的方向是 180° 。根据其配合方式，可设为力均布在手柄段的上半圆柱面上和整个键槽与键接触的底面。大小设为20N，在合理的下压力内。

在分析完此方向的算例后，可同理建立 0° 、 90° 、 270° 共四个下压时键槽方向的算例。其中 0° 时只有半圆柱面受力， 90° 和 270° 时为半圆柱面和一整个键槽侧面受力。

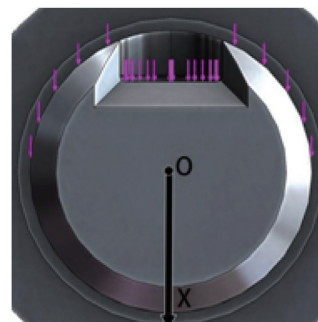


图5 竖直方向载荷

完成以上步骤后，设定材料均为“1060-H8 棒材(SS)”进行网格化，网格密度设为最良好（指针拖向最右），以

获得最佳结果，结果如图 6 所示。



图 6 网格化

七、结果分析（锯切情况下）

运行这四个算例后，显示应力，以了解其受力情况，变形比例统一设为 1000 以方便查看变形和对比。为了简单地表示应力数据，在“应力图解”中修改“数字格式”为“浮点”，“小数位数”为 0。并显示最大注解以了解应力最大的位置，此处不超出屈服力，主轴即可在该受力情况下不损坏。例如键槽在 180° 的结果如图 7 所示。

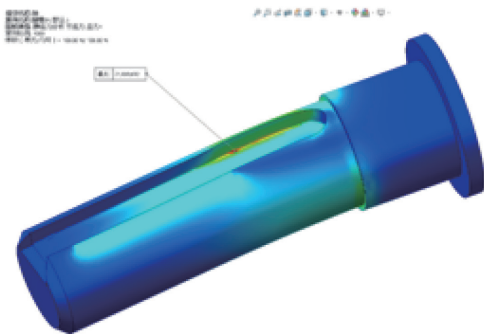


图 7 应力分析

为得出包括内部的应力，可以使用“ISO 剪裁”其等值都定为 5000000，此时可以清楚直观地从一个视图了解较大的应力分布区域。以下压的力为参照物，让主轴绕 Y 轴旋转，做各自的等轴测图。可得出以下四个结果如图 8 所示。

从中可知，键槽在 0°、180°、270° 时的最大的应力处位于齿轮孔段的左侧键槽侧面与底面交线处。超过承受范围会在此处裂开，影响键的配合。

键槽在 90° 时为右侧轴承段与齿轮孔段圆柱面交界处，其次是左侧。超过承受范围会在此处裂开，导致轴开始沿此处断裂。

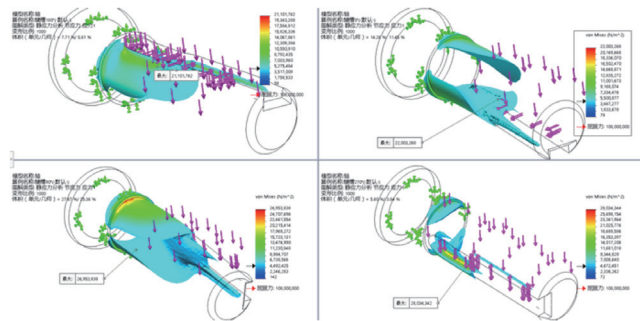


图 8 应力状况

力的分布在表面，5000000N/m² 压力的厚度为 1mm 左右，且压力越大，越往表面移动，最大应力位于表面，所以表面硬度需求较高。

施加力在屈服力以内，不会造成损坏，键槽为 180° 时应力最小，270° 时应力最大。以应力最大时为基础，当施加的力放大到一定倍数后会达到屈服力，经计算，放大倍数为 3.8524 倍，所以，当下压力为 77.0484N，切削力为 57.7862N 时，主轴开始损坏。需要施加极大的力才可以损坏。在要求质量轻并满足基本要求可用此材料。成本较低。

若材料设为“AISI 1045 钢冷拔”，此材料屈服力为 530000000N/m²，为“1060-H8 棒材 (SS)”的 4.9074 倍，此时开始损坏的下压力为 378.1073N，切削力为 283.58N，在人力的极限上，且其他部件会在主轴损坏前损坏，若需要更长的使用寿命与有施加更大的力的要求时可以用此材料，成本较高。

八、结果分析

类比锯切情况下的算例，在此基础上去掉下压力，保留切削力，得出以下结果如图 9 所示。

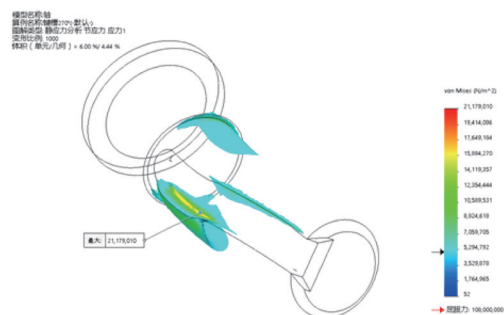


图 9 锯切分析结果

齿轮孔段的左侧键槽侧面与底面交线处存在最大应

智能工厂框架下的 MES 系统构建与应用

北京航天长征飞行器研究所 王锦程 谢蕾 李欣冀 赵振杰

本文基于研究所近年来形成的智能工厂体系，重点介绍了该体系中 MES 系统的构建与应用情况。

一、引言

研究所主要以飞行器的设计为主，产品的设计和少部分零部件由北京总部完成，部分产品及器件的供应则由全国各地的配套厂商完成，产品测试及总装则是在研究所的外协配套工厂开展，在形成了跨区域的全国协同研制体系的同时，也表现出了生产环节对外协厂商的依赖性。与此同时，外协厂商的地域分布及研制产品的特性等因素，也导致研究所无法通过一体化信息网络进行全局协同管理。近年来，在市场

竞争环境日益严峻的形势下，外协质量难以有效保证，外协信息沟通效率不高且响应不迅速等问题成为了制约研究所快速提升竞争力的重要因素，大力提升自身的制造生产水平的成为了迫在眉睫的问题。而研究所传统的产品生产模式主要依靠员工手工操作设备与填写纸质记录单来完成，生产过程与进度管理则主要依靠调度人员的现场管理经验，生产过程及其数据、产品履历和产品质量信息等均无法进行有效的追溯。基于这种现状，研究所组织团队对生产现状进行分析、调研并论证智能工厂架构，规划相应的实施途径，形成了以 MES 系统为核心的智能工厂建设思路。MES 系统（制造执行系统）旨在建立与车间设备的连接，采集与分析制造过程

力。同理，钻孔时，开始损坏时钻头对工件的切向力为 452.8257N（钻头规格为 $\phi 4.75$ ）。扭转时，开始损坏时夹头边缘对工件的压力为 258.091N，而手柄施加的力为 30.7251N（换成 1045 钢则是 150.7804N）。

综上所述，主轴在满足使用需求上是可行的。主轴的材料应为 45 钢，可对键槽和圆柱面上应力较大拐角处进行激光加热表面淬火。

九、结语

本文通过 SolidWorks 建立手动转锯扭一体机三维设计模型，并直接应用 SolidWorks 软件中的 SolidWorks

Simulation 分析计算模块手动转锯扭一体机主轴进行了有限元静力学分析计算，对于主轴的静力分析以及模态分析，文中所采用的方法操作性较强，静力分析得到的云图清晰地显示了主轴在切削力作用下的受力及其薄弱区域，用于校核主轴刚度，分析计算结果表明主轴强度能够满足使用要求，分析的可靠性，以及实用性，对整机设计优化具有一定的参考价值。