

基于 UG 软件的五轴联动机床精度检测 S 形试件设计与编程研究

韦筱斌 王晖

(广东省机械技师学院 广东 广州 510450)

摘要: S 形试件的检测及加工技术是五轴联动数控机床精度测试和评价标准,也是五轴联动数控机床验收标准,并经过国际标准化组织认定成为国际标准,其检测及加工技术获得国家科学技术进步二等奖。本文经过分析和实验,根据 S 形试件的结构特征,基于 UG 软件三维模型设计,制定合理的加工工艺、加工策略及编程加工方法进行阐述,为 S 形试件的设计与编程加工提供一种有参考价值的解决方案。

关键词: 五轴联动机床;多轴刀路;弯边曲面;精度检测

0 引言

五轴联动数控机床是加工叶轮、叶片、船用螺旋桨、重型发电机转子、汽轮机转子大型柴油机转子等零件的重要加工设备。五轴联动数控机床是指一台机床上至少有 5 个坐标轴,3 个直线坐标轴和 2 个旋转坐标轴,而且可在系统控制中实现 5 个坐标轴同时协同运动,在加工复杂曲面零件时,不仅可实现 3 个线性坐标轴运动,而且两个旋转轴也在同时运动,协同运动的精度要求非常高。机床的精度决定零件的加工精度,因此机床精度检测是机床调试及机床验收的关键环节。对五轴联动数控机床精度进行检测和评价是一个国际难题。过去五轴联动数控机床精度验收一般是依据 NAS979 标准,但是 NAS979 标准在加工某些复杂零件曲面时精度容易出问题,会出现铣伤零件的现象,这给五轴联动数控机床的精度检测与验收带来严峻挑战。为了验证机床的加工精度,必须建立新的检测标准。某公司研究出了 S 形试件。S 形试件的检测及加工技术能够对五轴联动机床动态精度进行全面检测评价,对五轴联动机床的重要功能 RTCP (Remote Tool Center Point) 以及对编程软件的后置处理程序的正确性作出较好的评价,经过国际标准化组织认定成为国际标准,其检测及加工技术获得国家科学技术进步二等奖。本文经过分析和实验,根据 S 形试件的结构特征,基于 UG 软件三维模型设计、加工难点、加工工艺制定、工装夹具、加工策略及编程加工等进行阐述,为 S 形试件的设计与编程加工提供一种有参考价值的解决方案。

1 S 形试件的结构特征

S 形试件的主体形状由一个呈 S 形状、厚度为 3 ~ 5mm 的直纹面薄壁等厚缘条和一个矩形基座组合而成,

如图 1 所示。S 形试件薄壁等厚缘条两侧曲面的 A 面和 B 面比较特殊,其曲面特征具有综合变曲率、跨奇异、变扭曲等特点,并且在交汇处转换变化弯曲形成的开/闭角形态(注:缘条 A 侧面及 B 侧面与基座顶面夹角称为 α 角, $\alpha < 90^\circ$ 的夹角为闭角, $\alpha \geq 90^\circ$ 的夹角为开角)。S 形试件薄壁等厚缘条两侧曲面的 A 面、B 面与基座顶面形成的夹角在 $85^\circ \sim 95^\circ$ 范围内连续变化, S 形试件结构特征是在飞机结构零件外形主要特征的基础上加以抽象、简化得来,因此能检测出五轴联动数控机床多种精度。

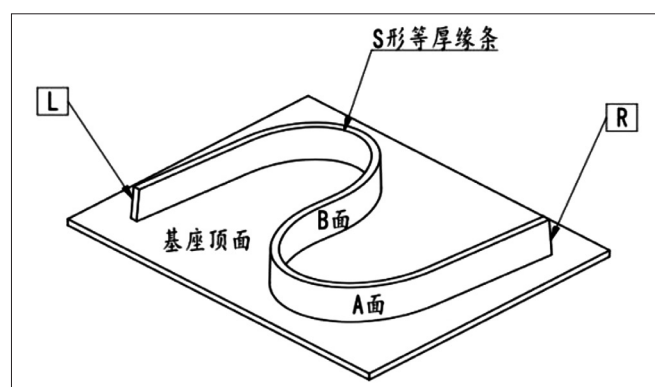


图 1 S 形试件结构图

2 基于 UG 软件对 S 形试件模型设计

S 形试件模型设计的难点是 S 形状的薄壁等厚缘条两侧面在交汇处转换变化弯曲形成的开/闭角形态,两侧曲面与基座底面形成的夹角在 $85^\circ \sim 95^\circ$ 范围内连续变化,两侧曲面比较特殊,不是由圆弧和直线组成的,上下两条曲线也不一样。薄壁等厚缘条是 S 形试件模型设计的重点和难点。S 形试件工程图如图 2 所示。S 形试件基于 UG 软件模型设计步骤如下:

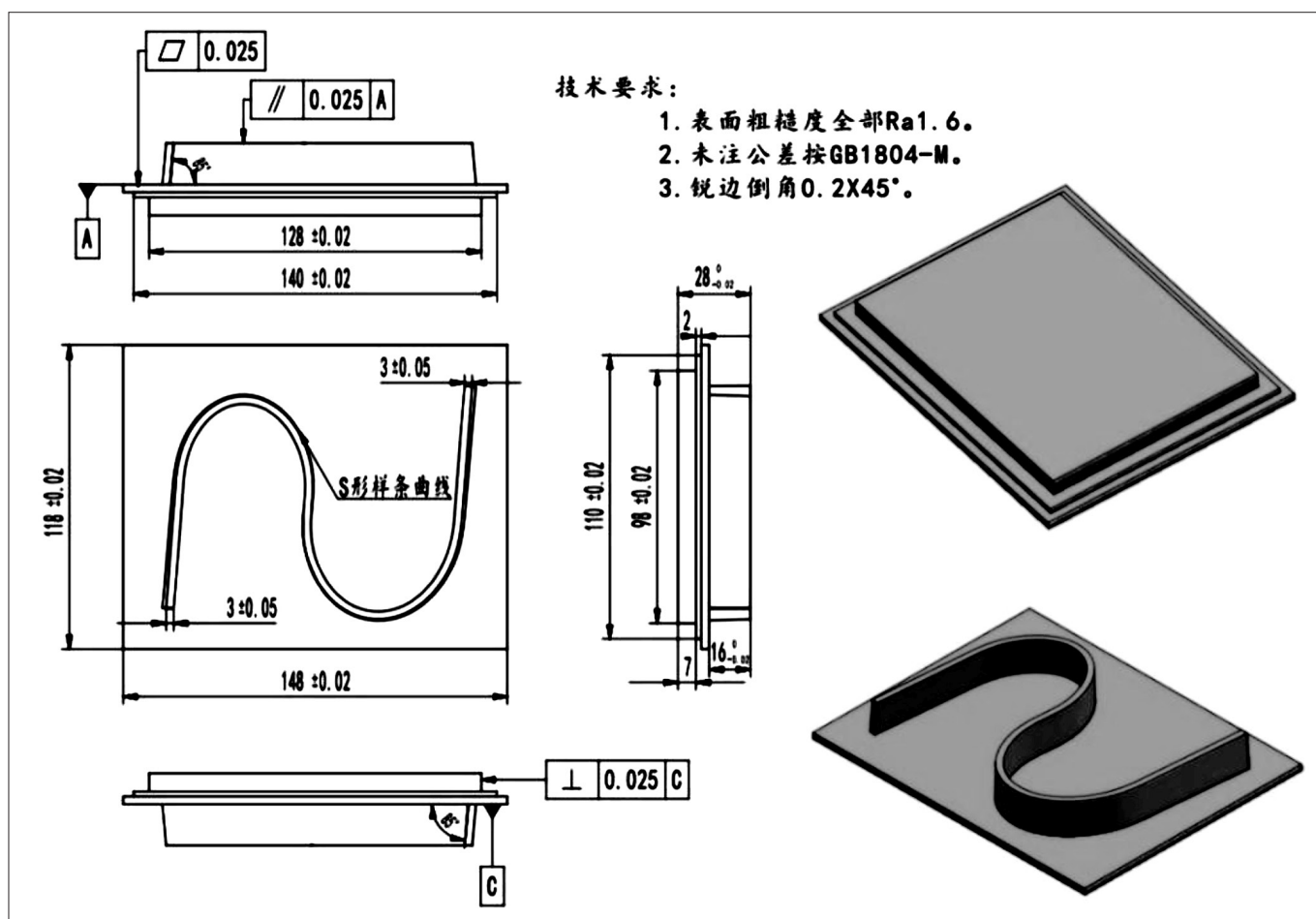


图2 S形试件工程图

(1) 在草图中画 148mm×118mm 的矩形, 用尺寸约束进行完全约束, 完成草图, 用“拉伸”命令选择 148mm×118mm 矩形截面线, 拉伸高度为 10mm, 拉伸出 S 形试件底座;

(2) 利用底座底面四条边, 拉伸出装夹工艺台尺寸为 128mm×98mm, 高度为 10mm, 再画 140mm×110mm×2mm 的避刀工艺台;

(3) 选择底座顶面为草图平面, 进入“草图”, 画出 S 形的样条曲线, 完成后退出“草图”;

(4) 选择弯边曲面“规律延伸”命令, 进入“规律延伸”命令对话框, 参数曲线选择 S 形的样条曲线, 面选基座顶面, 长度规律(规律类型)选择恒定值为 15, 角度规律(规律类型)选“线性”, 起点角度为 85°, 终点角度为 95°, 构建出弯边曲面;

(5) 利用“加厚”命令对弯边曲面进行加厚, 厚度为 3mm 的 S 形试件薄壁等厚缘条的建模, 再对主体模型进行编辑, 完成 S 形试件设计。

3 S形试件加工难点

S 形试件看似比较简单, 只是一个 S 形的薄壁等厚缘条, 但实际上这个薄壁等厚缘条却非常巧妙地将航空

零件的若干加工特征集成于一体, S 形试件加工难点如下:

(1) S 形试件等厚缘条是壁薄, 壁薄零件刚性差, 切削力稍大, 零件就会切削变形, 内应力增大, 加工时易颤振和振动, 影响加工精度和表面粗糙度;

(2) S 形试件加工 A 面、B 面时刀轴频繁摆动换向, 由于在 S 形试件薄壁等厚缘条两侧曲面呈开/闭角形态, S 形试件薄壁等厚缘条两侧曲面与基座底面夹角在 85°~95° 范围内连续变化, 加工时刀轴也随之频繁摆动换向, 机床 5 个坐标轴需同时协同运动, 对机床的联动精度要求很高, 能够直观检验出五轴联动数控机床的联动精度;

(3) S 形试件表面粗糙度、尺寸精度、形位精度要求较高, 在加工过程中, 机床进行五轴联动的坐标连续换向, 因而能集中反映机床的几何精度、定位精度、动态特性和反向误差等特性;

(4) 对五轴联动数控机床回转轴与直线轴传动刚性的匹配要求较高, 如果五轴联动数控机床的几何精度、动态精度有问题, S 形试件编程精度不高, 或者机床控制系统的运动控制方法不佳等, A 面、B 面就会出现型面不光顺、表面质量不好、过切、欠切、零件几何精度

达不到要求等问题。

4 S 形试件加工工艺制定

五轴联动数控机床具有一次装夹多工位加工、加工效率和加工精度高、加工异形复杂零件等特点，在现代制造业中得到广泛应用。根据 S 形试件结构特征和加工难点，制定如下加工工艺：

- (1) 根据 S 形试件最大外形尺寸，确定毛坯尺寸为 150mm×120mm×30mm；
- (2) 利用平口虎钳装夹，粗、精加工装夹工艺台、避刀工艺台，精加工基座外形尺寸 148mm×118mm，预留余量 0.2mm；
- (3) 调头装夹 128mm×98mm 工艺台，用百分表找正装夹和找正对刀，确定 G54 坐标系，铣平薄壁等厚缘条顶面，控制总高尺寸，精加工基座外形尺寸 148mm×118mm；
- (4) 粗加工基座顶面和 S 形试件薄壁等厚缘条，用五轴联动刀路对 S 形试件薄壁等厚缘条进行二开粗，预留余量 0.2mm；
- (5) 先精加工基座顶面，再精加工 S 形试件薄壁等厚缘条；
- (6) 最后进行锐边倒角。

5 基于 UG 软件的 S 形试切件加工策略

UG 软件是当前世界最先进、面向先进制造行业、紧密集成的 CAID/CAD/CAE/CAM 软件系统，提供了从产品设计、分析、仿真、数控程序生成等一整套解决方案。

表 1 A 面加工策略

序号	加工策略	加工区域	加工方法	刀具	壁余量	底余量	进给	转速
1	面铣	A 面顶面	粗加工	φ 12	0	0.2	4000	6000
2	平面铣	148mm×118mm	粗加工	φ 12	0.5	0	4000	6000
3	自适应铣	装夹工艺台	粗加工	φ 12	0.2	0.2	4000	6000
4	面铣	A 面顶面	精加工	φ 12	0	0	1000	8000
5	平面铣	148mm×118mm	精加工	φ 12	0	0	1000	8000
6	底壁铣	装夹工艺台	精加工	φ 12	0	0	1000	8000
7	平面铣	锐边倒角	精加工	C6	-0.2	0	600	8000

表 2 B 面加工策略

序号	加工策略	加工区域	加工方法	刀具	壁余量	底余量	进给	转速
1	面铣	S 形缘条顶面	粗加工	φ 12	0	0.2	4000	6000
2	自适应铣	S 形缘条	粗加工	φ 12	0.3	0.3	4000	6000
3	外形轮廓铣	S 形缘条	二次开粗	φ 12	0.2	0.15	4000	6000
4	底壁铣	基座顶面	精加工	φ 12	0	0	1000	8000
5	平面铣	S 形缘条顶面	精加工	φ 12	0	0	1000	8000
6	外形轮廓铣	S 形缘条侧面	精加工	φ 6	0	0	1000	8000
7	平面铣	锐边倒角	精加工	C6	-0.2	0	600	8000

(下转第 10 页)

UG CAM 是整个 UG 软件的一部分，它以三维主模型为基础，具有强大可靠的刀具轨迹生成方法，可以完成铣削（2.5 轴～5 轴）、车削、线切割等的编程。UG CAM 具有强大的五轴编程模块，基于 UG 软件的 S 形试件加工策略如表 1、表 2 所示。

S 形试件加工策略的重点及难点是粗、精加工壁薄等厚形缘条，S 壁薄等厚形缘条的加工余量较多且是壁薄，为了防止加工变形，S 形薄壁等厚缘条分粗加工和二次开粗再进行精加工，粗加工时策略采用自适应动态铣，自适应动态铣的优点是切削参数采用高转速、快进给、小切削步距，采用立铣刀的侧刃加工，这种高速动态铣的方法可以快速去除余量，减小切削变形，提高加工效率，而且还能保护刀具，降低加工成本。S 形缘条为了防止变形，需进行二次开粗，二次开粗加工策略采用多轴加工外形轮廓铣如图 3 所示，加工时刀轴沿着 S 形缘条侧面摆动变向，用多重深度分层铣，每层吃刀深度为 2 mm，S 形缘条精加工策略采用多轴加工外形轮廓铣，采用刀具的侧刃切深到底把 S 形缘条侧面精加工成形，如图 4 所示。

6 结语

通过对 S 形试件的结构特征及加工难点进行分析，基于 UG 软件进行三维建模设计，加工工艺制定及加工策略的合理选择，构建加工刀路，对刀路进行后处置理生成数控加工程序，把 S 形试件数控加工程序导入进 VERICUT sin840d dmɡ dmu 50 机床仿真验证程序。通过对仿真出来的加工模型与设计模型进行分析对比，得

板和链条等各部分可以顺利达到指定工位,满足结构拆装要求。完成各部分装置动作调试后,进行整体组装和测试,确认设备能否完成整套刮板链条的自动拆装。在设备研发人员和安装人员相互配合下,通过反复调试确认设备可以正常运行,各部分机械结构可以正确动作,达到设备开发目标。

2.6 设备应用效果

将研制的矿用刮板链条自动拆装设备投入实践生产,经过为期 3 个月的试运行后,通过统计确认设备拆卸效率平均能够达到每小时 63 个,达到了较高的工作效率,并且可以保证拆装质量达到矿用刮板使用要求,能够满足煤矿高效、安全生产需求,具有良好的发展前景。

3 结语

综上,针对人工拆装矿用刮板链条存在的劳动强

度大、效率低等问题,研制链条自动拆装设备应做到准确把握链条结构特点,从而明确设备拆装工作原理,结合拆装流程提出有效的机械结构设计方案。在设计实践中,还应做好拆卸、组装和传送等结构设计,掌握螺栓拆装、钻铣和刮板分离、平移等过程设计要点,保证装置能够顺利完成刮板链条拆装动作,配合矿用输送机高效作业。

参考文献:

- [1] 路超超,周好斌,徐向前.矿用刮板链自动拆装控制系统设计[J].工程机械,2022,53(1):78-81.
- [2] 赵连儒.刮板运输机液压自动张紧控制系统设计分析[J].能源与节能,2021(4):142-143.
- [3] 王发达,王旭东.矿用刮板链条组装系统的设计[J].煤矿机械,2021,42(4):8-10.

(上接第 6 页)

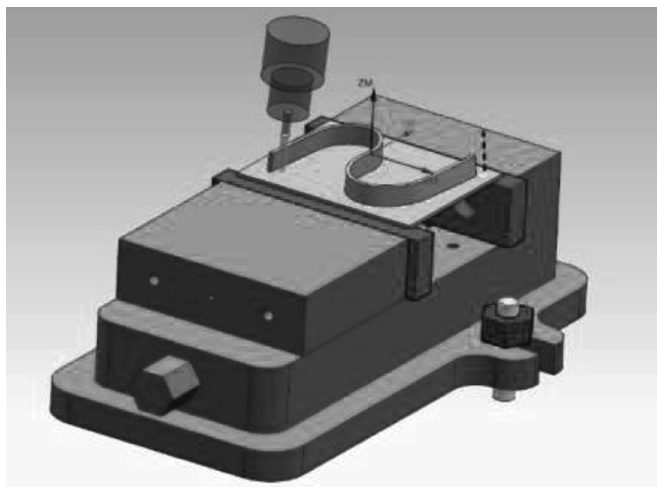


图 3 S 形缘条二次开粗

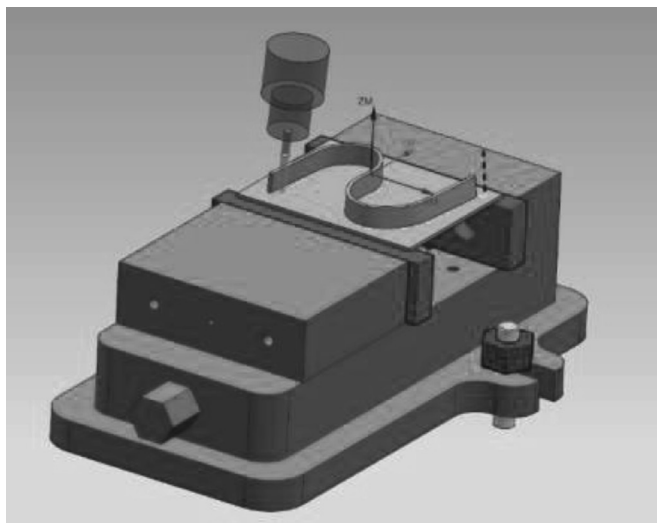


图 4 S 形缘条精加工

出加工模型与设计模型完全一致,说明基于 UG 软件进行的三维建模设计、加工编程策略完全正确且合理,为 S 形试件的设计与编程加工提供一种有参考价值的解决方案。今后可在机床用户企业用于新机床验收、机床日常维修和零件质量分析、机床和数控系统厂家检测、调试精度及优化设计等方面提供有参考价值的设计与编程。

参考文献:

- [1] 寇文化.数控铣多轴加工工艺及编程[M].北京:化学工业出版社,2015.
- [2] 张喜江.多轴数控加工中心编程与加工[M].北京:化学工业出版社,2022.
- [3] 佛新岗.UG 多轴编程与 UERICUT 仿真加工应用实例[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [4] 王灵珠,许启高.UG NX 12.0 建模与工程图实用教程[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [5] 黄雪梅.UERICUT 数控仿真实例教程[M].北京:化学工业出版社,2019.

作者简介: 韦筱斌(1980.10-),男,汉族,广西河池人,本科,高级讲师,研究方向:数控加工;王晖(1983.03-),男,汉族,江苏泰州人,本科,高级讲师,研究方向:数控加工。