

机身蒙皮精准铣切系统研制

郭 峰, 郝勇智

(中航飞机西安飞机分公司设备总厂, 西安 710089;)

[摘要] 针对某型号飞机机身蒙皮精准外形需求, 研制了一套机身蒙皮精准铣切系统。详细分析了机身蒙皮精准铣切系统的结构和工作原理, 重点讨论了铣切系统刀具设计及其气动控制系统回路方案。机身蒙皮精准铣切系统经过安装、调试和现场应用验证, 在保证安全的同时, 实现了对飞机蒙皮进行切割的功能。结果表明, 该系统能高效准确地完成机身蒙皮的铣切工作, 保证飞机产品的制造准确度。

关键词: 机身蒙皮; 铣切; 气动控制

Development of Efficient Milling System for Fuselage Skin

GUO Feng, HAO Yongzhi

(Equipment Factory, AVIC Xi'an Aircraft International Co., Ltd., Xi'an 710079, China)

[ABSTRACT] An efficient milling system for fuselage skin is developed, according to the shape accuracy demands of aircraft assembly. The structure and operating principle of the system is represented in detail. The key technologies for the system are discussed, including the design for tool choosing as well as the pneumatic control circuit. The milling system can finish the job of fuselage skin milling with safe after debugging and testing in aircraft assembly. The result shows that the purposed milling system can solve the problems of fuselage milling well, and the accuracy suffices requirement of the design.

Keywords: Fuselage skin; Milling; Pneumatic control

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.04.072

在飞机装配过程中, 为保证最终装配准确度, 由前道工序提供的零件会存在一定的余量。因此, 在机身壁板对接完成后, 为了满足装配过程结合面的配合要求, 需要对机身蒙皮进行铣边修形。其中, 由于飞机机身蒙皮已成筒形结构, 其具有尺寸大、刚性低的特点, 普通数控铣床完全不能满足铣边的要求, 通常采用手工画线修切余量或是靠模铣切的方法, 依靠人工修形来完成。由于人工铣切修形工作量大、生产成本高、周期长、效率低, 且修形效果依据工人工作经验的不同而相差较大, 常常无法满足产品的精度要求(端面平面度 $<1.6\text{mm}$)^[1]。同时, 人工铣切过程易出现蒙皮切口歪斜、结合面尺寸不匹配、铣切区域局部变形较大等问题, 影响后续的装配质量。随着飞机产品越来越高的质量要求, 以及要有效降低工人劳动强度的要求, 实现飞机制造过程的机械化和自动化, 飞机蒙皮端面无余量装配成为飞机装配的必由之路^[2]。

对机身蒙皮精准铣切而言, 需要对蒙皮的位置精度、切口垂直度、粗糙度、切削用量、铣削震颤控制问题

等提出解决方案, 提高蒙皮的铣切精度。机身蒙皮精准铣切系统是针对机身蒙皮特点设计的专用铣切设备, 旨在通过自动化铣切手段满足机身蒙皮的精度要求。针对某型号飞机机身蒙皮精准外形需求, 研制了一套机身蒙皮精准铣切系统, 经过试验验证, 该系统能高效准确地完成机身蒙皮的铣切工作, 保证飞机产品的制造准确度^[3]。

1 铣切系统结构及其工作原理

该铣切系统导轨模块与铣切末端执行器组成, 采用气动控制方式。飞机机身水平穿过导轨中央, 铣切末端执行器沿导轨进给一周完成蒙皮切割。该系统在工作时的应用情况如图 1 所示。

导轨模块通过型架平板垂直地面放置, 整体呈圆形, 如图 2 所示。其主要包括双 V 型导轨和链条传动导轨, 导轨部件和链条传动副沿铣切区域连续分布, 形成封闭而连续的闭环轨迹, 保证铣切末端执行器沿机身蒙皮法向进行铣切工作。通过数控加工保证每段双 V 型

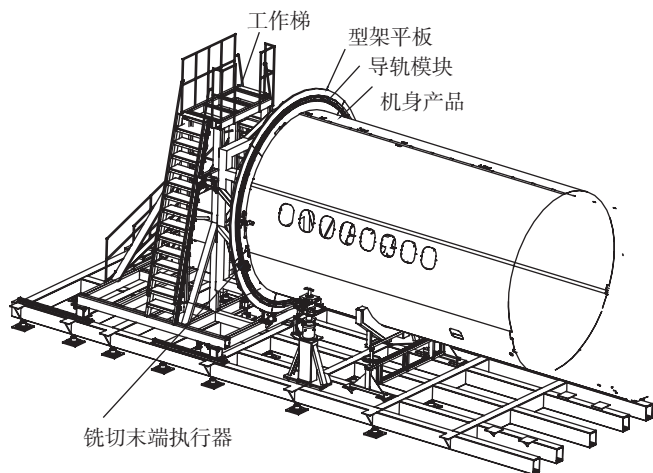


图1 铣切装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of milling device

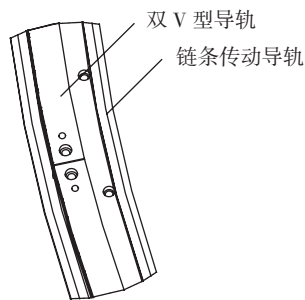


图2 双V型导轨和链条传动导轨

Fig.2 Double V type and chain drive guide rail

导轨都在要求范围内,同时在每段双V型导轨上表面设置多个OPT检测点,安装时通过激光跟踪仪对每个OPT点进行逐个测量并对导轨进行调整,保证整个双V型导轨表面的平面度以及与飞机坐标系的垂直度和同心度,同时还保证了铣切末端执行器在导轨上运行的平稳性^[4]。

铣切末端执行器主要包括行走模块和刀头模块两部分,如图3所示。行走模块中4个V型滚轮跨在双V型导轨上,其中两个为固定轮,两个为浮动轮,工作时浮动轮由气缸压紧于导轨上,在运行过程中气缸始终工作,使得滚轮始终同导轨紧密接触,保证运行精度的同时还能防止切割装置从导轨上坠落。行走驱动采用链轮链条的方式,链条安装在链条传动导轨的侧面,工作时链轮压紧气缸将链轮始终压紧在链条上,同时在保证链轮和链条运动灵活的前提下,通过增加链轮的宽度以减少链轮和链条的间隙,行走气马达带动链轮转动实现切割装置进给。弹簧压紧机构上的压紧轮沿刀片上下布置,刀头模块工作时,上部压紧轮通过弹簧力始终压紧蒙皮,使机身蒙皮处于绷紧状态且易于切割,下部压紧轮在始终压紧蒙皮被切割部分的同时,保证铣切下来

的蒙皮边向里翻折,以防划伤蒙皮及操作人员,在对机身蒙皮进行铣切时,切割气马达带动刀片旋转对蒙皮进行切割。

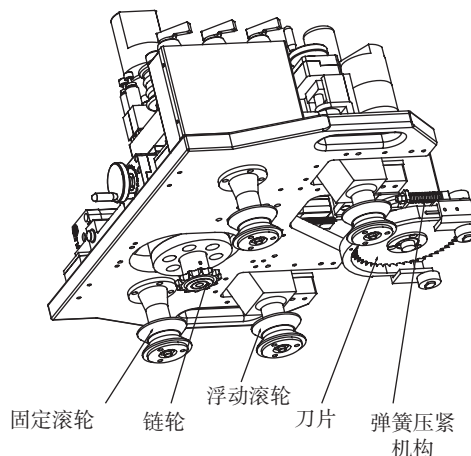
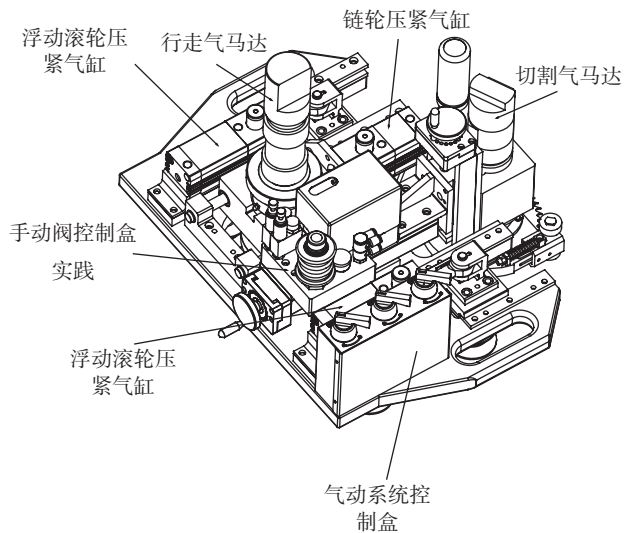


图3 切割装置结构示意图

Fig.3 Structure of cutting device

2 铣切系统主要关键技术

2.1 铣切刀片设计

由图3可知,本铣切系统铣切刀具为圆锯片结构,其结构直接决定着铣切完后机身蒙皮表面的粗糙度、毛刺等,由于在进行机身蒙皮铣切时无法使用冷却液(腐蚀机身蒙皮)。因此,圆锯片必须能耐高温并保证在一次完整切割时不发生裂痕、齿断、粘刀等缺陷,而其关键便是锯片材质、齿数、齿型、厚度等的确定。

2.1.1 材质确定

机身蒙皮材料为2A12硬铝,如果刀片采用硬质合金,则其较锋利,铣切表面平整、毛刺少,但刀片自身比较脆,在铣切过程中不能有震动,但该设备在切割时有震动,很容易造成刀片的断裂^[5];如果刀片采用工具钢,

则铣切表面不平整、毛刺多,刀片自身比较软,在切割时容易放热造成粘刀等缺陷;如果刀片采用粉末合金(HSS-E),则刀片较锋利,切割表面平整、毛刺较少,完成一次完整切割时表面温度小于35°,不存在粘刀现象,刀片自身有韧性,可允许设备有轻微震动,因此在本系统中选用材质为粉末合金质的刀片^[6]。

2.1.2 刀片几何参数确定

对铣切刀片而言,其几何参数的关键是齿型和齿数。

刀片的齿型影响到表面铣切质量与毛刺高度,常见的齿形有竖切齿、横切齿、复合齿、斜切齿等,由于机身蒙皮斜切精度较高,除了要保证锋利外,还需要在斜切的同时去掉毛刺。因此,本系统采用“C”型齿圆锯片,其结构形式如图4所示,具备断屑和防止崩齿的特点,能有效保证机身蒙皮的铣切精度^[7]。

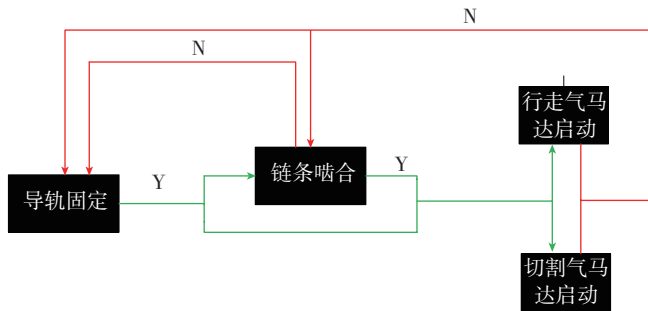


图4 逻辑顺序限制图

Fig.4 Logical sequence limit diagram

对圆锯片而言,其齿数越多,表面质量越高,但是长时间使用将导致发热大,影响表面质量。为保证机身蒙皮的铣切精度,必须设计合适的齿数。通常情况下,齿数与铣切宽度之间满足式(1)则可较好地散热,其中, t 表示圆锯片单齿长度, T 表示圆锯片与被铣切体接触长度, δ 表示比例系数^[8-9]。圆锯片的外圆直径为125mm, $\delta=3$, 由于 $T=15\text{mm}$, 可得 $t=5$ 。由式(2)可进一步求得齿数 $n=80$ 。

$$t/T=1/\delta \quad (1)$$

$$n=2\pi R/t \quad (2)$$

2.2 铣切系统气动控制系统设计

根据某型机机身铣切技术要求,在非工作时间,切割末端执行器与竖直导轨模块分开放置;工作时,需要两名操作人员将切割末端执行器抬起安装到导轨上,故要求切割末端执行器在满足铣切要求的同时还应具有较轻的重量。对电传动、液压传动以及气动系统进行比较,其中气动系统质量最轻,且厂房内有固定气源可以直接使用。气动系统还具有结构简单、造价低、易于控制、维护方便、无污染等特点,能在清洁的环境中生产

出清洁的产品,符合绿色制造原则,是实现低成本自动化的主要途径^[10],所以本系统选用气动系统进行铣切过程的控制。

2.2.1 安全逻辑控制

针对机身蒙皮铣切过程,常见的误操作情况有以下几点:

(1)行走气马达在运行时,链条夹紧气缸松开,会导致设备或者人员损失;

(2)工作人员在铣切完后取下设备时,如果导轨加紧气缸先松开,会导致链条和设备的损坏。

针对上述情况,对设备加入安全逻辑控制,防止误操作,使设备更加安全,优化后各步骤之间的逻辑顺序限制如图4所示。

每个动作的安全条件判定原则如表1所示。

表1 系统安全条件判定原则

序号	运动动作	前置判定原则
1	导轨固定动作	行走气马达未启动 & 链条未啮合
2	链条啮合动作	行走气马达未启动 & 导轨已固定
3	行走气马达启动	导轨已固定 & 链条已啮合
4	行走气马达 Off	导轨未固 & 链条未啮合
5	导轨固定运行	链条已啮合 & 行走气马达已启动
6	链条啮合运行	行走气马达已启动

2.2.2 气动控制系统工作原理

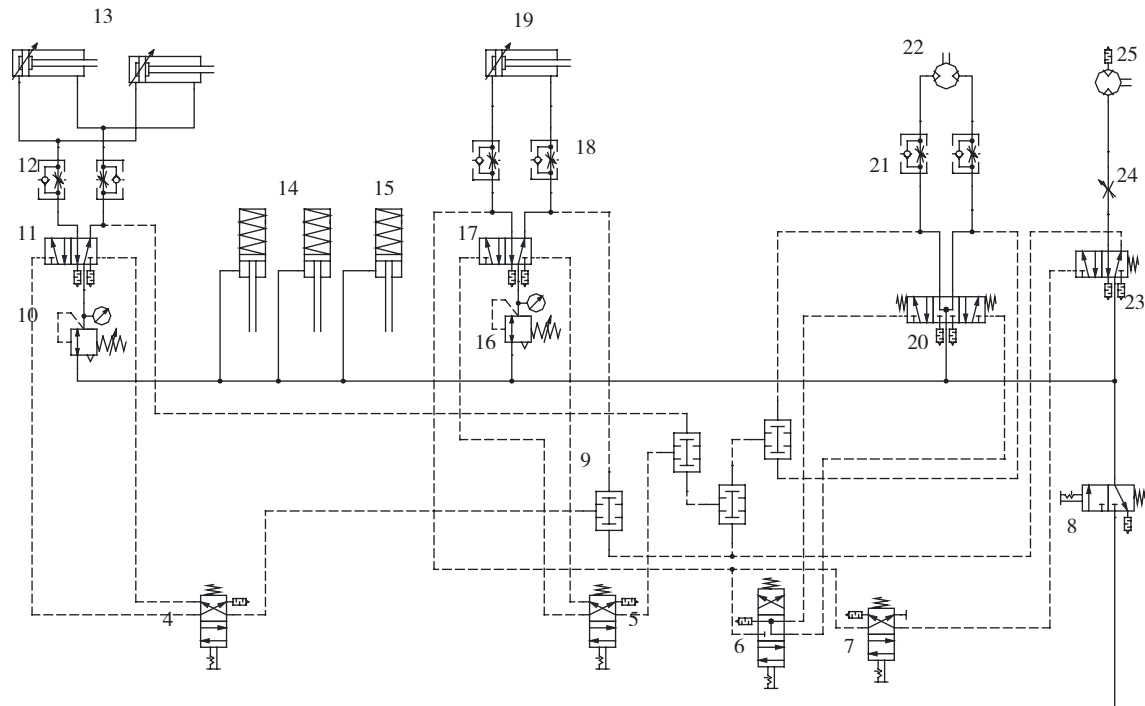
为了实现流程步骤优化,设备控制气路在增加了防止误操作的安全逻辑控制回路之后,还有1个隐患需要预防,即设备正在运行时气管突然断气(管子破裂、接头脱开等意外情况),因为一旦断气,虽然行走气动马达无法工作,但卡在导轨和链条上的3条气缸却要继续保持设备不会从高空坠落。因此,针对实现安全逻辑功能重新设计的控制气路原理如图5所示。

3 结论

为验证本机身蒙皮精准铣边系统的可靠性与精度,目前该铣切装置已经试验完成。经过试验测试,其铣切指标如表2所示。由表2可知,本机身蒙皮精准铣边系

表2 系统试验结果

序号	测试指标	系统指标	人工指标
1	完整铣切时间	<15min	2人2天
2	表面平面度	<1.2mm	5mm
3	铣切寿命	3架次/刀片	1架次/4刀片
4	产品质量	能连续一次性切割,不需要后续人工再进行去毛刺	两人分工作区域完成,在两人工作区域结合处误差较大,切割完后需人工进行多次的修复和去毛刺



注:1. 气源; 2. 手动换向阀; 3. 气源处理三元件; 4、5、7、8、11、17、23. 两位换向阀; 6、20. 三位换向阀; 9. 与门单元; 10、16. 调压阀; 12、18、21. 单向节流阀; 13. 浮动滚轮压紧气缸; 14. 滚轮压紧气缸锁死装置; 15. 链轮压紧气缸锁死装置; 19. 链轮压紧气缸; 22. 行走气马达; 24. 节流阀; 25. 切割气马达

图5 气动控制原理图

Fig.5 Pneumatic control diagram

统能有效保证产品精度要求,提高产品的质量和稳定性,减少操作工人的劳动强度,提高工作效率。同时,也为飞机机身筒形件余量修切提供了基础技术和经验。

参考文献

[1] 李东升. 基于可重构柔性工装夹持的飞机蒙皮数控切边关键技术及发展[J]. 航空制造技术, 2009(23):26-27.

LI Dongsheng. Key technology and development of aircraft skin numerical control cutting edge based on reconfigurable flexible tooling[J]. Aviation Manufacturing Technology, 2009(23):26-27.

[2] 李东升, 罗红宇. 飞机蒙皮的数字化成形制造技术[J]. 塑性工程学报, 2009, 16(1):62-84.

LI Dongsheng, LUO Hongyu. Digital forming manufacturing technology of aircraft skin [J]. Plastic Engineering Journal, 2009, 16(1):62-84.

[3] 徐飞. 关于铝材高速经济切割的研究[J]. 制造技术与机床. 2005(4):47-49.

XU Fei. Research on high speed economic cutting of aluminum[J]. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2005 (4): 47-49.

[4] 胡福文, 李东升, 李小强, 等. 面向飞机蒙皮柔性夹持数控切边的定位仿真系统及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(5):993-998.

HU Fuwen, LI Dongsheng, LI Xiaoqiang, et al. Position simulation system and application for aircraft skin flexible clamping and cutting edge[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2012, 18(5):993-998.

[5] 苏宝程. 铝材料高速切割过程中锯带的振动分析[J]. 科技通报, 2014(2):149-151.

SU Baochen. Vibration analysis of sawing process in high speed cutting of aluminum material[J]. Technology Bulletin, 2014 (2): 149-151.

[6] 战力. 废边切割装置的研制与应用[J]. 华东科技·学术版, 2013(3):16-16.

ZHAN Li. The development and application of waste edge cutting device[J]. East China Science and Technology Edition, 2013 (3): 16-16.

[7] 陈广义. 李仁江. 管材切割机的改进设计[J]. 科技资讯, 2009(13):64-65.

CHEN Guangyi, LI Renjiang. Improvement design of pipe cutting machine[J]. Technical Information, 2009 (13): 64-65.

[8] 姚涛, 段国林, 蔡瑾. 圆锯片噪声与振动特性及降噪技术研究综述[J]. 振动与冲击, 2008, 27(6):162-166.

YAO Tao, DUAN Guolin, CAI Jin. Saw blade vibration characteristics and noise reduction technology research[J]. Journal of Vibration and Shock, 2008, 27 (6): 162-166.

[9] 唐秀慧. 圆锯片切割噪声的振动分析和降噪方法[J]. 科技创业月刊. 2010, 23(8):183-184.

TANG Xiuhui. Analysis of vibration and noise reduction method of saw blade cutting noise[J]. Pioneering With Science and Technology, 2010, 23 (8): 183-184.

[10] 王娜, 李国平, 赵方, 等. 铝塑型材锯铣加工中心锯切机的气动系统设计[J]. 液压与气动, 2006(8):18-20.

WANG Na, LI Guoping, ZHAO Fang, et al. Aluminum sawing and milling machining center sawing machine pneumatic hydraulic and pneumatic system design[J]. Chinese Hydraulics&Pneumatics, 2006(8):18-20.

(责编 古京)