

大尺寸双曲率曲面自动制孔防碰撞技术应用研究

谈宝林

(中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089)

摘要: 目前飞机气动外形多采用双曲率曲面, 在进行自动化制孔时, 机床须使用五轴制孔设备来进行制孔操作。由于曲面尺寸比较大, 为了效率的提高和产品、设备的安全需要对机床运动逻辑、机床压脚传感器做出一定的要求。本文积极探索某飞机的自动制孔设备的运动逻辑、加工产品时的路径规划方式、设备压脚设置等方面, 预防设备与产品的碰撞, 保证设备在加工过程中安全高效率运行。

关键词: 飞机装配; 双曲率; 工艺装备; 自动制孔

0 引言

对于航空制造业来说, 其有与普通制造业所不同的特点。飞机制造有尺寸大、结构复杂、零件种类和数量多等特点。而且, 铆接和螺栓连接是飞机制造业中的主要连接方式, 因此造成了飞机制造业中的大量制孔工作。在飞机制造业中, 机翼制造过程具有外形复杂、制孔空间狭小、连接标准件种类多样等特点。因此, 对于机翼的自动制孔目前都只应用在机翼外表面区域上。对于双曲率的机翼表面来说, 为了保证制孔垂直度, 都是用五轴制孔设备。由于所制孔区域面积大, 制孔设备运行逻辑复杂, 而在航空产品领域, 质量要求是重中之重, 因此, 设备与产品绝不允许发生损伤性碰撞。在制孔过程中, 要严格规范设备的运动路径, 防止设备与产品发生碰撞。

本文在某飞机的自动制孔设备应用过程之中, 积极探索设备的运动逻辑、加工产品时的路径规划方式、设备压脚设置等方面, 预防设备与产品的碰撞, 保证设备在加工过程中安全高效率运行, 既保证产品的质量, 又保证设备的安全。

1 发生碰撞损伤的因素

五轴制孔设备对产品碰撞造成损伤的因素, 主要有速度过快、力量过大、各轴运行顺序不合理等几个因素。由于机翼翼面外形较为复杂, 且产品实际情况与理论存在误差, 尤其在装配阶段, 误差积累会非常大, 所以在进行设备程序及运动逻辑编辑时, 一定要注意因不确定性造成的碰撞风险。

(1) 设备制孔时与产品靠近速度过快造成碰撞损伤。机翼外形由于是双曲率曲面, 在进行制孔作业时, 为了保证制孔垂直度, 要使用压脚压在机翼表面。在制孔设备压脚装置靠近机翼产品前的这段时间里, 是每一次制孔时设备与产品的第一次接触, 是风险最大的一个阶段。若此阶段设备运行速度过快, 而机翼外形出现较大误差, 或者其他非预计因素, 就会发生设备与产品的快速碰撞, 造成设备及产品的损伤。

(2) 设备制孔时的压脚力过大造成碰撞损伤。为了保证制孔精度, 除了在制孔时要使用预紧固钉每隔一定距离将机翼蒙皮紧固在机翼骨架上外, 制孔设备压脚装置还要在机翼蒙皮上施加压力, 以消除蒙皮与骨架间隙, 保证制孔精度。

而压脚施加于蒙皮之上的力若过大, 将会造成压脚或者机翼表面的损伤。

(3) 设备各个运动轴运动顺序不当导致碰撞。将五轴制孔设备的各轴设置与机翼方向进行规定。将机床与机翼的展向方向一致的运动轴设为 X 轴; 将机床与机翼的前后缘方向 (航向) 一致的运动轴设为 Y 轴; 将机床与机翼的弦向方向 (上下翼面方向) 一致的轴设为 Z 轴; 将机床绕 X 轴旋转的运动轴设为 A 轴; 将机床绕 Y 轴旋转的运动轴设为 B 轴。

由于机翼翼面为双曲率曲面, 而且前后缘方向的曲率较大, 为了能够在制孔设备尺寸一定的情况下保证 Z 轴行程, 故将机床 Z 轴分为 Z1 轴和 Z2 轴, 在 Z2 轴上固定制孔执行器。由于制孔设备运动轴较多, 若未对运动轴运行顺序做出规定, 很容易就发生运动轴与设备之间的碰撞干涉, 运动轴与产品之间的碰撞损伤等。

2 防碰撞措施

针对制孔设备运动轴之间、制孔设备与产品之间可能发生的碰撞因素进行分析后, 下文中列出了一些适当的措施, 根据这些措施可对碰撞发生因素做出很好的预防, 防止制孔设备及产品发生碰撞损伤, 造成经济损失。

(1) 对于设备制孔时与产品靠近速度进行限速规定。由于制孔设备在制孔前与产品靠近的这段时间内, 是碰撞风险最大的一个阶段。自动制孔时操作工实时监控设备运行状态, 为了保证在发生异常情况时操作工能够有足够长的时间反应, 且防止若发生碰撞, 因速度过快而造成的损伤。将机床的 Z 方向运动轴在伸出时的速度, 理论上快靠近机翼表面的一定距离内, 设置成较慢的速度。

即对制孔设备在制孔时设置一定的安全距离, 此安全距离要保证不会对制孔效率造成较大的损失, 同时保证足够的距离。在此安全距离内进行强制性限速设置, 这是对防止设备与产品发生碰撞的设备参数规定措施。

(2) 根据制孔位置对设备制孔执行器的压脚力进行规定。本文前面已经分析过了, 制孔设备压脚力过大对机翼表面和压脚本身会造成一定的损伤。为了在保证消除机翼蒙皮与机翼结构间的间隙后, 不对机翼表面和设备压脚产生损

(下转第 96 页)

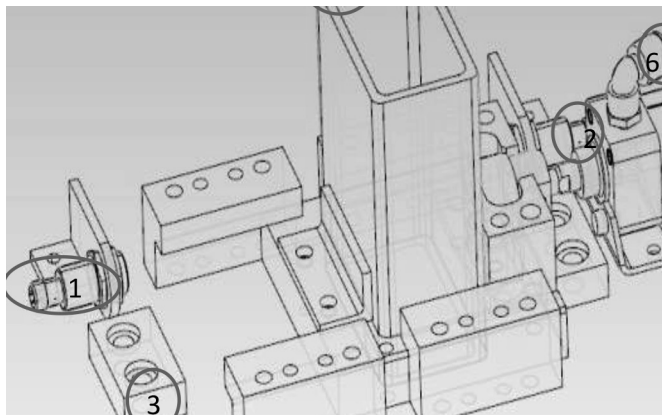


图2 模具自动存放机构示意图

切换。一是避免人工拿取耽误生产效率，提升生产效率；二是降低事故率，通过本机构结合压机对其的信号串联，避免出现人为的漏做动作，导致模具压机出现损坏；三是保护多层模具堆叠状态下模具内的工作元件功能和寿命正常。

通过改进，经济效益也得到有效提升。例如，在模具的刚性存放边上连接一组气缸，通过设备的自动气源实现生产状态和模具存放状态，同时，在单个存放块的工作和存放位置两侧分别增加1组到位感应器，使整个结构更安全可靠，这种结构可实现“零”风险。对于4序的模具，每套节省人工操作工时（模具进压机前和模具出压机后）2min，按照

商用车单条线生产一天两班至少16套模具计划，一天共节约32min，一年共计工时节约11680min，按照成本计算可节省大量的人力成本，更重要的是，可以避免模具的损坏，以及保障人员的安全，这些无形价值均在百万级别以上，其价值不可估量。

此结构已运用于该公司两个新车型的全部模具中，目前使用效果较好，已实现相关功能的正常化、长期化使用。

4 结语

在汽车行业竞争日益激烈的环境下，应提高各车企的生产效率，避免不必要的成本损失。上述装置的研究将为后续的精益生产提供较好的改进创新方向。

参考文献：

- [1] 闫清,张龙飞,杨洋,陈晨.传统汽车模具进行自动化改造的注意事项[J].锻造与冲压,2020(04):54-56.
- [2] 李用.汽车模具中滑块复位结构的探索[J].模具制造,2019,19(08):5-9.
- [3] 王镭,孟健.用于汽车车身冲压件的大型覆盖件拉深模具的工艺设计要点简析[J].时代汽车,2019(08):71-73.
- [4] 毛静莉,段彦宾,周厚保,王冀军.汽车模具浮顶器结构设计改进[J].模具工业,2018,44(10):48-51.
- [5] 杜鹏鸣,李凤冰.关于汽车模具结构与设计的探索思考[J].南方农机,2018,49(10):70.

（上接第94页）

伤，需对压脚力进行一定的试验探究。尤其易造成结构偏斜的部位，在压紧力范围内选择较小的压紧力数值。

压紧力数值可以在设备试验阶段进行压紧试验，模拟飞机机翼结构，探索消除机翼结构间隙的压紧力，根据试验数值，将试验数据输入到制孔设备内，就可以实现不同部位的压脚压紧力调整，防止设备与产品的碰撞损伤。

（3）制定合理的制孔设备各轴运行顺序，保证制孔设备运行顺利，防止出现机床各个轴运动超出行程，甚至是发生碰撞事故。首先关于旋转轴A轴、B轴与Z轴（包括Z1轴和Z2轴）的运动逻辑关系要明确。由于五轴制孔设备的制孔执行器在设备中央，设备两边是立柱及垂直方向（Y轴）运动丝杠。为了防止五轴制孔设备在制孔时超出行程、发生碰撞，在运动A轴及B轴的一定角度内，必须将Z轴伸出一定距离（可由计算获得），这样才不会出现各轴因空间限制而无法运动的情况产生，不会发生碰撞。

其次比较重要的是关于Z轴的运行顺序。Z方向制孔设备设置有两个运动轴，即Z1轴和Z2轴，Z1轴与旋转轴固联在一起，而将制孔执行器固联在Z2轴上。由于沿Z方向机翼曲率比较大，需要将Z1轴在每一个部位设置一个固定值，方便编程及制孔。为此，Z1轴和Z2轴必须逻辑保证先伸出Z1轴在将Z2轴伸出。若是先伸出Z2轴再运到Z1轴至最终的位置就会使制孔设备与机翼产品发生碰撞。轻者制孔设备发生逻辑运行错误，耽误制孔效率；重者发生碰撞

损伤，引发质量事故。

对于制孔设备与产品的碰撞预防，经总结就是两方面的技术措施预防。一是在使用五轴制孔设备时对各轴运动逻辑先后、一定范围内与某个轴相关联的其他轴的运动距离和角度。通过运动轴逻辑规定防范碰撞事故的发生。二是通过设备本身机械参数设置，在制孔设备与产品产生接触时，保证不会发生产品及设备损伤的设备运行程度规定。通过这两方面的参数规定来避免碰撞损伤的发生。

3 结语

分析可知，对于大尺寸双曲率曲面，使用五轴制孔设备进行制孔，容易产生碰撞损伤的因素主要有三种：设备制孔时与产品靠近的速度，设备制孔时的压脚力，设备各个运动轴运动顺序。根据此三个损伤发生因素，采用相应的技术措施进行预防，可有效保证碰撞损伤的发生，保证设备安全，保障产品质量。

参考文献：

- [1] 王仲奇,杨元.飞机装配的数字化与智能化[J].航空制造技术,2016(5).
- [2] 窦亚冬,王青,李江雄,等.飞机数字化装配系统数据集集成技术[J].浙江大学学报(工学版),2015,49(005):858-865.
- [3] 薛宏,罗群,刘博锋,刘义明,郑炜,肖潇.大飞机活动翼面机器人自动制孔应用研究[J].航空制造技术,2019,62(19):86-91+98.