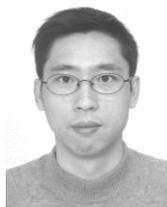


运载火箭一级箱间段壁板自动钻铆工艺研究

章茂云 孙立强 金 健 臧建新 孟令博 庄树鹏
(首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 通过研究无毛刺制孔工艺参数、压铆铆接工艺参数及自动钻铆技术,设计了一种壁板自动钻铆工艺方案。使用自动钻铆装配仿真技术对该工艺方案进行了校验和优化,并通过壁板自动钻铆的实际工程应用对其可行性进行了验证。

关键词: 运载火箭; 自动钻铆; 壁板; 装配仿真

Research on the Process of Automatic Drilling and Riveting for Panel Parts of Launch Vehicle

Zhang Maoyun Sun Liqiang Jin Jian Zang Jianxin Meng Lingbo Zhuang Shupeng
(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: By studying the burrless drilling process parameters, pressure riveting process parameters and automatic drilling and riveting technology, engineering application of automatic drilling and riveting for panel parts is studied. A simulation technology has been used to verify and optimize this process scheme, feasibility of which was tested by practical application.

Key words: rockets; automatic drilling and riveting; panel parts; assembly simulation

1 引言

目前,世界各航空工业大国均采用自动钻铆技术进行飞机等产品的铆接装配工作,其中波音767客机机身的机铆率更是达到了97%^[1]。大量产品的生产实践证明,自动钻铆设备在保证铆接装配质量的同时,其铆接装配效率至少能够达到手工铆接的10倍以上,并能够极好地解决铆接工作的噪声问题,改善劳动条件^[2]。近年来我国越来越重视自动钻铆技术的研究和应用,国内航空制造公司对自动钻铆技术的工程应用进行了大量研究。西飞公司在引进的自动钻铆机主机的基础上开发了多自由度数控托架系统,满足了某型号产品的干涉铆接要求,实现了真正意义上的自动钻铆,为大飞机制造过程中自动钻铆技术的应用奠定了基础^[3]。而西北工业大学、上海交通大学、浙江大学、北京航空制造工程研究所等针对自动钻铆系统开展技术研究也取得了一定成果。

随着航天事业发展,为了提高运载火箭产品质量,提高铆接效率和降低铆接噪音,积极开展了航天产品自动钻铆工艺的研究,并成功用于长征系列运载火箭一级箱间段壁板铆接装配中,大大提升了一级箱间段壁板铆接装配生产能力。

2 产品结构特点

运载火箭一级箱间段是运载火箭重要承力部段,除了用于连接一级氧化剂箱和一级燃烧剂箱外,通常还用于安装各种仪器、气瓶以及安全自毁系统的爆炸装置。如图1所示,一级箱间段主要由4块壁板组成,每块壁板由蒙皮和桁条组成,桁条与蒙皮采用铆钉连接。壁板产品主要有两方面特点,一方面,一级箱间段壁板外形尺寸大,直径为 $\Phi 3350\text{mm}$,弧度为 90° ;长度1330mm;另一方面,桁条与蒙皮间采用直径为 $\Phi 5\text{mm}$ 2A10铝合金铆钉,铆钉强度大,成形困难,

作者简介:章茂云(1978-),高级工程师,飞行器制造工程专业;研究方向:航天产品复合材料铆接工艺、自动化钻铆装配等。

收稿日期:2014-04-08

需要多次锤击铆接才能形成有效铆头。

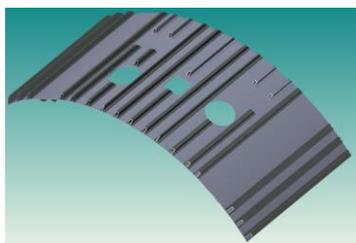


图1 一级箱间段壁板

3 自动钻铆工艺研究

3.1 工艺方案设计

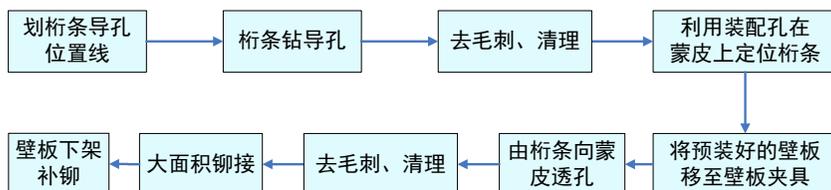


图2 壁板产品手工装配工艺流程图

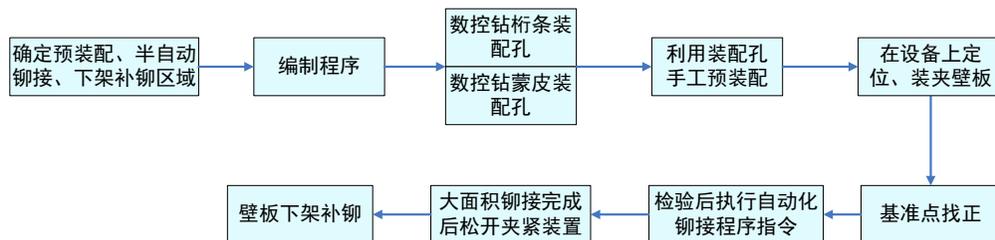


图3 壁板自动化铆接装配工艺流程示意图

3.2 自动钻铆关键工艺参数研究

自动钻铆技术是指在装配中连续完成定位、钻孔、铆接等工序过程，中间无去毛刺工序，并且采用压铆铆接来保证产品质量和降低噪音的一项技术。一方面，为了保证自动钻铆工作连续性，需要实现无毛刺制孔，保证自动钻铆流程顺畅无阻滞（目前所说“无毛刺”是指毛刺高度满足装配要求，其值一般在 0.1~0.15mm 之间，从而不需要额外的去毛刺工序^[4]）。另一方面，为了保证铆接质量，降低铆接噪音，采用静压力铆接技术，需要开展相应的工艺技术研究，确定工艺参数，确保铆接能够实现比较理想的、均匀的干涉配合，铆钉钉头成形质量符合铆接通用技术条件要求。

3.2.1 铝合金材料无毛刺自动钻孔工艺参数研究

钻孔工艺参数选择不当，则会直接影响钻孔质量，由于铝合金材料钻孔时容易产生毛刺，且去除工

目前，一级箱间段壁板采用的传统手工铆接装配工艺，一方面，工人手工劳动工作量较大，劳动强度高；另外一方面，铆接工作重复性工作量较大。壁板产品手工铆接装配工艺流程如图 2 所示。

从现有手工铆接工艺流程来看，划线、钻孔、去毛刺、铆接等均为手工操作，工作量巨大，且均为重复性操作。根据产品结构特点和壁板自动化铆接装备，采用人机结合方式，确定了需要手工铆接定位区域、自动铆接装配区域、需下架补铆区域等，同时考虑到钻孔单元、铆接单元和装夹单元在工作过程中可能与产品发生干涉、碰撞等问题，制定了一级箱间段壁板自动钻铆工艺流程，如图 3 所示。

作量较大。毛刺对产品的钻孔精度有着极大的影响，如果在有毛刺情况下进行铆接，很容易产生应力集中，从而影响产品的铆接强度，同时毛刺会在产品内部形成多余物，且难以清除，使产品质量存在安全隐患。

利用自动钻孔机，通过进行钻头材质、钻刃磨参数、钻孔转速和进给速度的调整，对各项数据进行了单排列组合试验，最终解决了壁板典型夹层厚度(3~7mm) $\Phi 5.1\text{mm}$ 铆钉孔钻孔过程中的毛刺问题，其工艺参数如表 1 所示，按照此工艺参数钻制的铆钉孔满足自动钻铆产品的质量需求，钻孔实物如图 4 所示。

表1 无毛刺钻孔工艺参数表

钻头材质	钻头钻尖顶角/(°)	主轴转速 /r min ⁻¹	进给量/mm r ⁻¹
硬质合金	108~112	8000~16000	0.09~0.18



图4 无毛刺钻孔实物

3.2.2 压力铆接工艺参数研究

压铆试验使用 CEC08 特殊型立式压铆机，其参数如表 2 所示，该设备的铆接工作原理与壁板自动化铆接机铆接系统一致，均选用气液增力缸作为设备动力驱动及执行元件。该设备能够通过设定压力值来控制铆钉的压铆成形，其工作活塞杆行程包括快进行程、工作行程和返回行程。当踩下开关时，活塞杆快速行进直至接触到铆钉转化为力行程，当压力达到所设定值时开始返程，完成整个压铆过程。

表 2 CEC08 特殊型立式压铆机主要技术参数

型号	CEC08 特殊型	主要技术参数
最大冲压力		71kN/6bar
最大允许输入气压		6 bar
总行程		200mm
力行程		12mm
活塞杆最大速度		200mm/s
最大瞬时过载能力		10% 额定力

针对一级箱间段壁板产品所用 $\Phi 5\text{mm}$ 直径铆钉，开展不同夹层厚度、不同铆钉硬度的伺服压铆工艺参

数试验研究，得出墩头成形满足 QJ 782A 要求的压力铆接参数，如表 3 所示。利用摸索出的压铆工艺参数进行力学试验件和金相分析试验件的铆接，通过拉脱试验和剪切试验对比分析手工铆接和压铆试件的连接强度，结合金相分析从铆钉成形机理方面解释其原因，根据干涉量情况，形成了如表 4 所示的压力铆接最佳制孔孔径参数。

表 3 压力铆接参数

铆钉规格	夹层厚度	气压 /bar	油压/bar	合格范围 /bar
5×9 2A01	3 mm	4	85×, 90×, 95×, 100, 110, 120, 125×	100~120
5×10 2A01	4 mm	4	95×, 100, 110, 120, 125×	100~120
5×11 2A01	5 mm	4	95×, 100, 110, 120, 125, 130×	100~125
5×12 2A01	6 mm	4	95×, 100×, 105, 115, 125, 130×	105~125
5×13 2A01	7 mm	4	100×, 105, 115, 125, 130×	105~125
5×9 2A10	3 mm	4	100×, 110×, 115, 125, 130, 135×	115~130
5×10 2A10	4 mm	4	110×, 115, 120, 130, 135, 140×	115~135
5×11 2A10	5 mm	4	115×, 120, 125, 135, 140×	120~135
5×12 2A10	6 mm	4	115×, 120×, 125, 135, 140×	125~135
5×13 2A10	7 mm	4	120×, 125, 135, 140, 145×	125~140

注：工作油压值列中，油压值后带“×”的，表示该油压值时，铆钉墩头尺寸不符合要求；未标注符号表示铆钉墩头尺寸符合要求。1bar=0.1MPa。

表 4 不同铆钉的干涉量及最佳制孔参数

铆钉直径/mm	钉孔直径/mm	干涉量/%	最佳制孔孔径/mm
5	5.1	6.8	5.1/5.2
	5.2	6.1	
	5.3	4.8	

3.3 自动钻铆程序的生产及其装配过程仿真

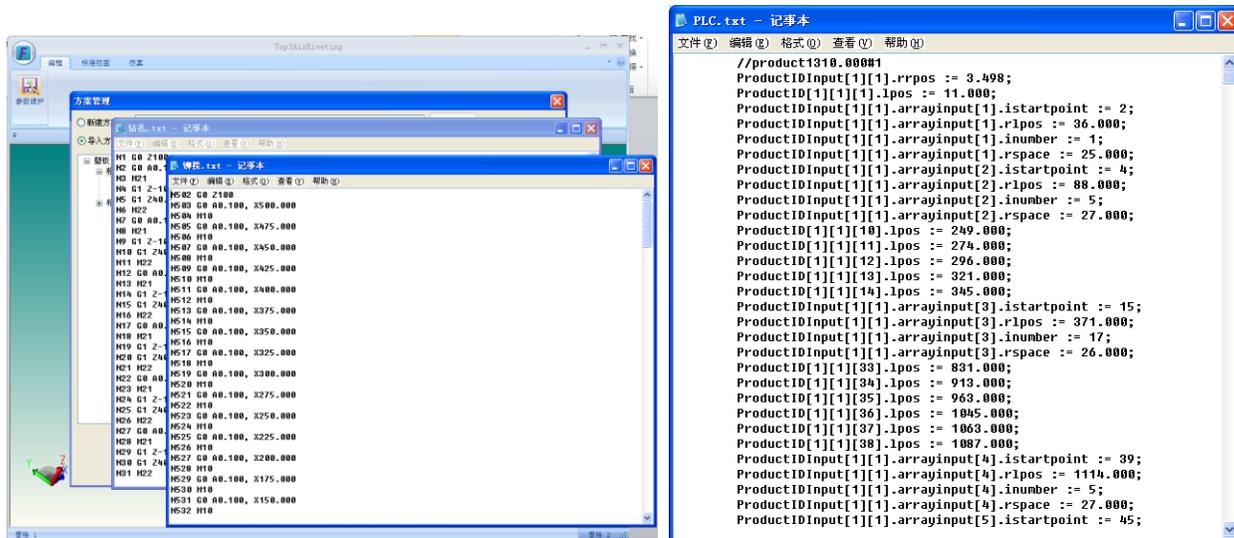


图5 程序生成及浏览

自动化钻铆技术的应用是铆接工艺技术的一次重大改进,面对这样新的工艺技术,需要对整个装配工艺方法以及工艺流程进行研究。在自动钻铆工艺方案基础上,依托壁板自动钻铆机编程系统,形成自动钻铆程序如图5所示。

为了验证程序的正确性,保证在工作过程中自动钻机末端执行器不与装夹夹具、产品自身等发生碰撞干涉以及装配不协调问题,对程序进行了仿真验证。通过建立一级箱间段壁板、设备等模型,基于专用模拟仿真软件,对自动钻铆程序的运行路径、与工件的干涉等进行了工艺仿真,并基于仿真结果对自动钻铆流程进行优化,保证了系统安全、高效的运行,工艺仿真过程如图6所示。

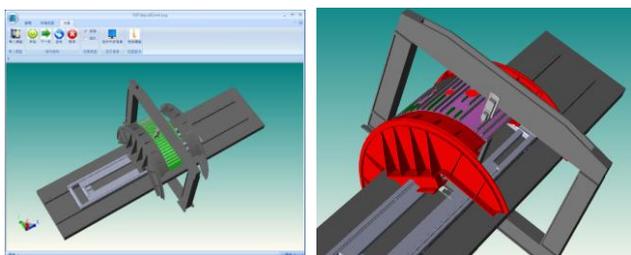


图6 自动化铆接工艺仿真过程

4 自动钻铆工程应用

4.1 自动钻铆质量

采用壁板自动钻铆设备对长征系列运载火箭一级箱间段壁板进行了试生产,产品实物图如图7所示。通过铆钉卡板对铆钉镢头进行了检查,铆钉镢头满足QJ782A中技术指标要求;从产品外观来看,铆钉镢头一致性好,产品外表无铆接窝头印等机械损伤。



图7 自动化铆接壁板产品

4.2 自动钻铆效率

一级箱间段壁板手工铆接分为桁条划线钻导孔、壁板组合、透孔、去毛刺、铆接等过程,而自动钻铆只需组合壁板、钻孔、壁板铆接等过程,所需要的人员和时间见表6。从表中可以得到,壁板自动钻铆综合效率是手工铆接的3倍多。

表6 手工铆接与自动钻铆生产效率对比

	手工铆接		自动钻铆	
	人数/(个)	时间/h	人数/(个)	时间/h
桁条划线钻导孔	2	4	/	/
壁板组合	2	4	2	6
透孔(钻孔)	4	2	1	2
去毛刺	4	0.5	/	/
铆接	4	8	1	4
总时效	58		18	

5 结束语

通过开展运载火箭一级箱间段壁板自动化铆接技术研究,取得了自动钻铆关键工艺参数,并对壁板进行自动钻铆加工,加工结果表明:

- a. 自动钻铆能够提高铆接质量和铆接效率;
- b. 采用压铆技术,有效降低铆接噪音;
- c. 自动钻铆技术可以满足进行连续工作的条件,

缩短产品制造周期。

壁板自动钻铆技术的应用,实现了运载火箭壁板类产品高质量、高效率、低噪音的制造,提高了运载火箭铆接自动化水平和能力,为完成运载火箭高密度发射任务奠定了基础。

参考文献

- 1 韦红余. 面向现代飞机装配的长寿命机械连接技术[J]. 航空制造技术, 2009(17): 34
- 2 楼阿莉. 国内外自动钻铆技术的发展现状及应用[J]. 航空制造技术, 2005(6): 50
- 3 曹增强. 应对我国大飞机研制的装配连接技术[J]. 航空制造技术, 2009(2): 89
- 4 王珉. 面向飞机自动化装配的单向压紧制孔毛刺控制技术[J]. 航空制造技术, 2011(9): 27