

齿轮槽头型新型标准件安装工艺与试验研究

Study on Process and Experiments of Installation for Gear-Recessed-Head Bolt

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 何凤涛 刘顺涛
中国航空综合技术研究所 张辉 尹振波

[摘要] 航空制造领域大量采用了如螺栓连接的标准件连接,随着新型飞机性能的提高,长寿命、高疲劳强度和高振动环境等指标对标准件的使用提出了更高的要求。本文通过开展齿轮槽头型新型标准件安装工艺与试验研究,一方面确定了该型标准件安装力矩等关键工艺参数及对复合材料的适用性,为其装机和使用提供理论依据及数据支持;另一方面,也对开展新型标准件安装工艺与试验的研究方法进行了有益的探索,对逐步形成一套完善的试验方法规范具有很好的指导作用。

关键词: 齿轮槽头型 标准件 试验研究 安装工艺 装配连接

[ABSTRACT] Based on studying the process and experiments of installation for gear-recessed-head bolts, a series of key technological parameters like installation moment, etc are proposed, which provides theoretical and data supports. On the other hand, a feasible way to study the technological parameters of the new type standard fasteners is explored through experiments, which helps to form a study and experiment specification in the future.

Keywords: Gear-recessed-head bolt Standard fastener Experiment study Installation process Assembly connection

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.05.089

航空制造领域大量采用了如螺栓连接的标准件连接,随着新型飞机性能的提高,长寿命、高疲劳强度、高振动环境及材料防腐等指标对标准件的使用也提出了更高的要求。航空新型标准件,除了产品本身性能之外,其应用性也一直是飞机设计、装配研究关注的重要内容。

复合材料目前在飞机制造中已经得到大量使用,但由于其本身沿厚度方向为层状的结构而具有层间剪切强度低、抗拉脱强度低、抗冲击力差等不同于金属结构的特点。另外,复合材料本身的低塑性导致制孔后会存在较强的孔边应力集中,同时复材及钢、铝之间还存在电位腐

蚀问题,这些特点要求选用合理的新型钛合金标准件及相配套的安装工艺方法来保证复材结构装配连接的高质量要求。

某型飞机研制中需要采用大规格(直径为10mm、12mm)齿轮槽100°沉头拉伸型高性能钛合金螺栓及自锁螺母,其在安装力矩、预紧力、对复合材料的适用范围等方面均缺乏可参考的安装工艺技术参数。本文将针对该型标准件的安装工艺开展试验研究,探索安装力矩、预紧力、应力场分布及复合材料夹层损伤之间的相互关系,确定安装力矩等关键工艺参数,为其装机和使用提供理论依据及数据支持。

1 试验研究内容

螺栓安装施加规定的力矩,其核心目的是控制安装的预紧力。飞机结构连接需要的预紧力也是结构设计关注的重要指标。在波音公司的安装规范中,只给出了安装力矩,没有规定与安装力矩相关的理论轴向预紧力的内容。在与国外紧固件公司的技术交流过程中,对于预紧力控制范围,一直作为保密参数而不予提供。本文试验研究包括以下两方面内容:

(1) 齿轮槽沉头拉伸型钛合金螺栓在金属夹层安装力矩与预紧力关系。

确定可稳定控制满足预紧力要求的安装力矩,同时采用非接触式应力测量仪测量施加不同安装力矩,夹层上的残余应力范围,研究预紧力与夹层残余应力的对应关系,检查钛合金螺栓螺纹损伤情况,为今后工程上实际测量和控制预紧力提供技术支持。

(2) 齿轮槽沉头钛合金螺栓在复合材料夹层安装力矩与预紧力关系。

确定可稳定控制满足预紧力要求的安装力矩,并采用工业CT检测试验载荷引起复合材料压伤、分层的安装力矩范围及检查钛合金螺栓螺纹损伤情况。

2 试验方法及条件

2.1 试验材料

试验选取两种规格的齿轮槽螺栓、4 种类型试验夹层组合进行研究,如表 1 和图 1 所示。

表1 试验材料列表

试件	组合件
齿轮槽 100° 沉头钛合金螺栓	铝合金 + 铝合金
六角自锁螺母	钛合金 + 钛合金
钛合金夹层	复材 + 铝合金
铝合金夹层	复材 + 钛合金
复材夹层	

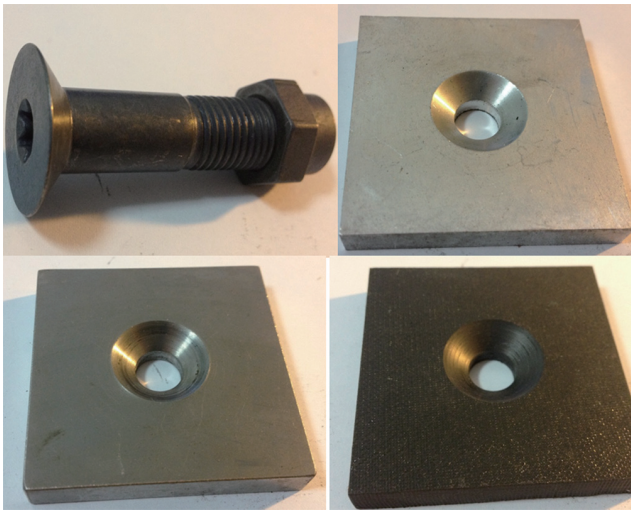


图1 试验材料示意图

Fig.1 Diagram of experimental material

2.2 试验设备

试验采用了如下试验设备:力矩传感器——用于测量安装力矩;垫片式传感器——用于测量预紧力;扫描超声显微镜——用于检测复材夹层的损伤情况;三维应力、应力场测试系统——用于测量表面应力、应变的分布情况。

2.3 试验方法

根据试验研究内容,将采取两种不同的试验方法分别研究安装力矩与预紧力、夹层表面应力以及复材夹层损伤情况的关系。

(1) 研究安装力矩与预紧力的关系。试验按照以下步骤进行:

将上下夹层、传感器、螺栓及自锁螺母按如图 2 所示方式组装在一起;拧入螺栓,测量螺栓伸出自锁螺母端面未扣螺纹时的锁紧力矩;继续拧入螺栓,直至螺母与夹层面贴合;施加安装力矩,直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的 10%,记录安装力矩;继续施加安装力矩,直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的 20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%,依次记录安装力矩值;卸掉安

装载荷,检查夹层及螺栓情况。

(2) 研究安装力矩与表面应力的关系试验按照以下步骤进行:将上下夹层、应力应变测试系统、螺栓及自锁螺母按如图 3 所示方式安装;拧入螺栓,测量螺栓伸出自锁螺母端面未扣螺纹时的锁紧力矩;继续拧入螺栓,直至螺母与夹层面贴合;施加安装力矩,直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的 10%,用应力场测试系统测量记录表面应力情况;继续施加安装力矩,直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的 20%、30%、40%、50%、60%,依次用应力场测试系统测量记录表面应力情况;卸掉安装载荷,

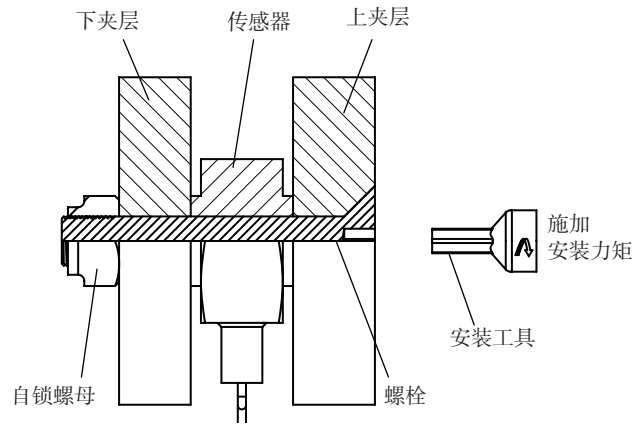


图2 安装力矩-预紧力试验安装示意图

Fig.2 the schematic diagram of Installation torque-pretightening force test installatio

检查夹层及螺栓情况。

(3) 研究安装力矩与复材夹层损伤情况的关系,试验按照如下步骤进行:在未安装状态下对复合材料夹层进行超声扫描并记录内部缺陷情况;将上下夹层、超声扫描仪、螺栓及自锁螺母按如图 4 所示方式安装;拧入螺栓,测量螺栓伸出自锁螺母端面未扣螺纹时的锁紧力矩;继续拧入螺栓,直至螺母与夹层面贴合;施加安装力矩,直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的 10%,进行

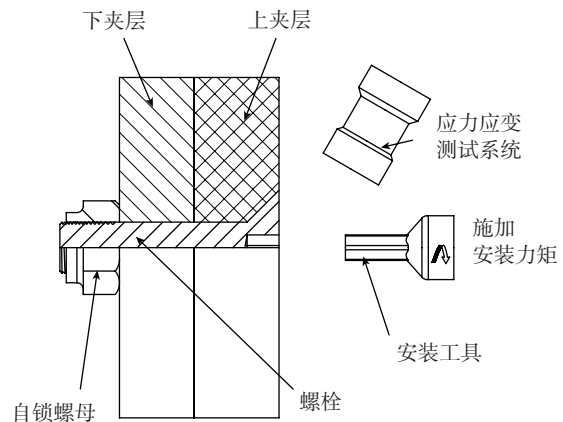


图3 安装力矩-表面应力试验安装示意图

Fig.3 Diagram of torque-surface stress test installation

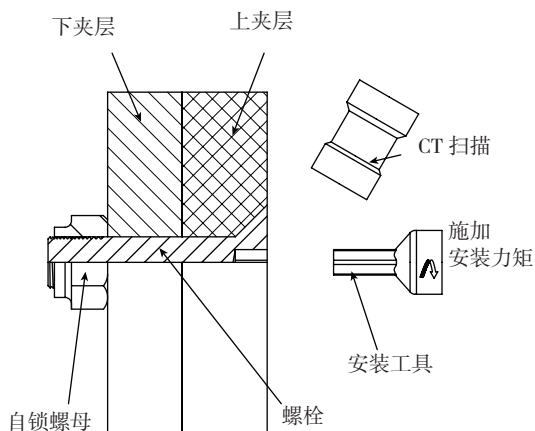


图4 安装力矩-复材夹层损伤情况试验安装示意图
Fig. 4 Diagram of torque-composites laminated damage test installation

超声扫描并记录内部缺陷情况；继续施加安装力矩，直至传感器显示预紧力为理论破坏拉力的20%、30%、40%、50%、60%，依次进行超声扫描并记录内部缺陷情况；卸掉安装载荷，检查夹层及螺栓情况。

3 试验数据及分析

3.1 安装力矩与结构表面应力分布关系

图5为采用规格为M10的齿轮槽螺栓，按试验步骤2.3(2)进行试验得到的应力分布图。其他的安装力矩以及采用M12规格螺栓的应力分布与此图类似。

试验结果表明，无论是对于金属夹层还是复材夹层，齿轮槽螺栓连接中沉头之外的区域应力会迅速衰减，夹层的表面应力完全可以忽略不计。换言之，齿轮槽螺栓安装力矩的大小对于周围夹层的表面应力分布影响不大。

3.2 安装力矩与复材结构损伤关系

采用规格为M10的齿轮槽螺栓、复材-铝合金夹层，

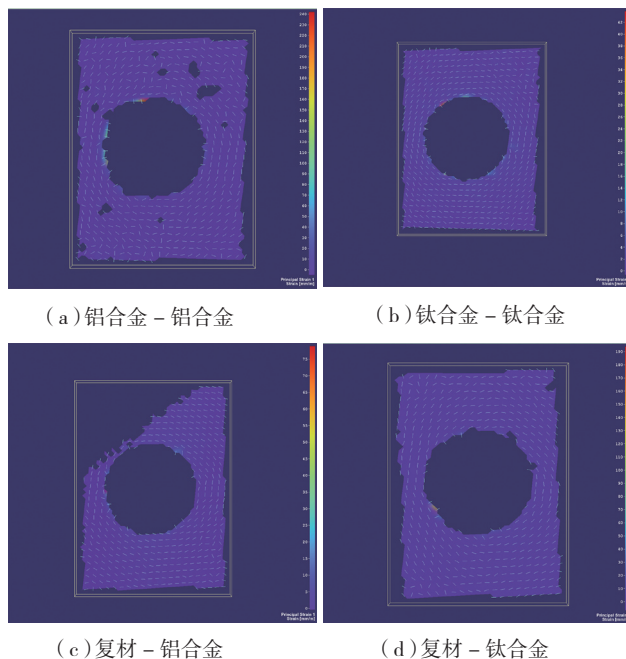


图5 表面应力分布图
Fig.5 Surface stress distribution

按试验步骤2.3(3)进行试验。

表2为不同规格螺栓在不同安装力矩下进行5次试验的数据统计，试验结果表明，在扳拧力矩可承受的力矩范围内，复合材料夹层均未出现分层及损伤情况。

3.3 推荐安装力矩

根据上述试验结果及分析，可确定齿轮槽头型新型标准件安装力矩参数如表3所示。

4 结束语

标准件在航空制造领域占据着举足轻重的地位，为

(下转第95页)

表2 不同安装力矩下复材分层及损伤情况

螺栓规格	1#		2#		3#		4#		5#	
	力矩 / (N·m)	夹层情况	力矩 / (N·m)	夹层情况	力矩 / (N·m)	夹层情况	力矩 / (N·m)	夹层情况	力矩 / (N·m)	夹层情况
M10	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤
	20		20		20		20		20	
	30		30		30		30		30	
	40		40		40		40		40	
	50		50		50		50		50	
M12	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤	10	未出现分层及损伤
	20		20		20		20		20	
	30		30		30		30		30	
	40		40		40		40		40	
	50		50		50		50		50	
	60		60		60		60		60	

光滑均匀,钎料无漫流和飞溅。

(2) 超声波探伤检验: 采用 LS-200LP 超声检验设备对盖板与叶片连接的钎缝处进行纵波水浸 C 扫描, 超声波频率为 15MHz, 灵敏度为 35dB。利用超声无损检测 C 扫描图像可以反映出钎焊缺陷及其分布特征, 检测结果如图 9 所示。可以看出扩压器的焊缝质量良好, 钎透率同样达到 90% 以上。

3.3.2 扩压器流道高度的检测

表 3 中记录了该扩压器真空钎焊前后测得的流道高度数值。焊后的流道高度与焊前相比有减小的趋势, 说明焊前的叶片和盖板接触面有局部高点支撑, 焊后在配重和钎焊温度作用下整体进行了调整; 焊前和焊后的流道高度均满足 (7.7 ± 0.1) mm 技术条件的要求。这也证明配重环重量和钎焊温度的合理性。

3.4 钎焊缝的补焊

由于有 3 片叶片未焊上, 在需要补焊的部位注射相同成分的膏状钎料(BNi-2), 然后重新入炉按照相同的配重和钎焊工艺参数进行钎焊。允许补焊次数为 1 次。

表3 钎焊前后气体流道的高度

序号	焊前流道高度/mm	焊后流道高度/mm
1	7.70	7.66
2	7.71	7.67
3	7.72	7.68
4	7.70	7.69
5	7.70	7.69
6	7.71	7.69
7	7.70	7.68
8	7.69	7.68
9	7.69	7.68
10	7.69	7.69
11	7.69	7.70
12	7.69	7.70
13	7.69	7.69
14	7.69	7.68
15	7.69	7.66
16	7.69	7.66
17	7.66	7.65
18	7.63	7.64
19	7.63	7.64
20	7.63	7.65
21	7.63	7.65

4 结论

(1) 某型号扩压器采用 BNi-2 钎料在 (1080 ± 20) °C 的温度下进行真空钎焊。焊后的钎角合格, 钎缝致密均匀。

(2) 真空钎焊过程中的配重重量直接影响扩压器焊后流道高度尺寸。该扩压器采用外配重环为 10.50kg, 内配重环为 8.50kg, 比较合理。

(3) 焊后产品的超声无损检测是判断扩压器焊缝钎透率比较合理可靠的无损检测方法。该扩压器采用上述真空钎焊工艺后, 钎透率达到 90% 以上, 而且流道高度也满足设计要求, 证明该焊接工艺合理可行。

参考文献

- [1] 赵越. 钎焊技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 刘秀芬, 蒲一民, 首鸿燕. 扩压器钎焊工艺. 航天制造技术, 2007(2): 24-26.
- [3] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] 刘师田, 杨凯珍. 保温时间和钎焊温度对真空钎焊 304 不锈钢接头性能的影响. 金属铸锻焊技术, 2011(3): 172-174.

(责编 谷雨)

(上接第 91 页)

表3 齿轮槽100° 沉头螺栓建议安装力矩

螺栓规格	夹层类型	建议安装力矩范围 / (N·m)
M10	铝合金 + 铝合金	30 ~ 35
	钛合金 + 钛合金	30 ~ 35
	复材 + 铝合金	35 ~ 40
	复材 + 钛合金	35 ~ 40
M12	铝合金 + 铝合金	40 ~ 45
	钛合金 + 钛合金	40 ~ 45
	复材 + 铝合金	45 ~ 50
	复材 + 钛合金	45 ~ 50

了满足现代飞机制造技术不断发展的需求, 代表了飞机制造先进水平的波音、空客等国外公司从未间断过对新型标准件的研究和应用, 从某种程度上说, 新型标准件的发展也代表了飞机装配连接技术的进步。因此, 国内航空企业及科研单位, 针对飞机产品自身的特点, 开展新型标准件的设计及应用相关研究, 具有非常重要的意义。

本文通过开展齿轮槽头型新型标准件安装工艺与试验研究, 一方面确定了该型标准件安装力矩等关键工艺参数及对复合材料的适用性, 为其装机和使用提供理论依据及数据支持; 另一方面, 也对开展新型标准件安装工艺与试验的研究方法进行了有益的探索, 对逐步形成一套完善的试验方法及规范具有很好的指导作用。

(责编 叶枫)