

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.03.031

座舱盖作动筒接管嘴断裂研究及施胶粘接密封改进*

马良冬¹, 刘震², 任宗强¹, 皮月亮¹, 任义志¹, 倪伟¹, 欧阳康¹

(1. 国营芜湖机械厂, 安徽 芜湖 241000; 2. 中国航空制造技术研究院, 北京 100000)

摘要:为解决某装备救生系统座舱盖作动筒液压腔接管嘴断裂导致的座舱盖下降问题,该文对产品的机上安装受力状态、产品工作原理、接管嘴无损检测、失效情况等展开分析,采取有限元仿真模拟和故障复现等手段确定了断裂原因为外力过载。结合故障原因以及断裂后引发的质量安全风险,制定了一系列措施,以杜绝因误操作等因素导致的接管嘴断裂的情况,确保产品性能稳定可靠。

关键词:接管嘴;断裂;失效分析;有限元分析;过载

中图分类号:V267

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2024)03-0111-04

Study on the Fracture of Nozzle of Cockpit Cover Actuating Cylinder and Improvement of Adhesive Bonding Seal

MA Liang-dong¹, LIU Zhen², REN Zong-qiang¹, PI Yue-liang¹, REN Yi-zhi¹, NI Wei¹, OUYANG Kang¹

(1. State-Owned Wuhu Machinery Factory, Wuhu 241000, Anhui, China;

2. China Academy of Aeronautical Manufacturing Technology, Beijing 100000, China)

Abstract: In order to solve the cabin cover descent problem caused by fracture of the nozzle in the hydraulic chamber of the operating cylinder in a certain equipment lifesaving system, research and analysis on the installation force state, the working principle of the product, non-destructive detection and judgment of the nozzle, and the failure analysis are conducted. Through the finite element simulation and the failure recurrence, it is determined that the fracture reason is the external force overload. Combined with the cause of failure and the severity of quality and safety caused by the fracture, the related measures to prevent the nozzle from breaking due to misoperation and other factors are worked out so as to ensure the stability and reliability of product performance.

Key words: nozzle; fracture; failure analysis; finite element analysis; overload

0 引言

座舱盖位于某装备前段,属于座舱上部组成部分,其作用是保护操纵人员不受气流的影响,确保操纵人员的视野清晰,同时方便操纵人员和其他人员进出座舱,以及在空中和地面应急情况下保证操纵人员顺利离机^[1]。座舱盖操纵作动筒是某装备座舱盖气动系统的附件,用于操纵座舱盖的开启、关闭或任一行程,其产品重要性不言而喻。近年来,某装备作战训练幅度、难度加大,对某装备综合性能要求越来越高,而液压救生类产品长期工作后难免会出现密封失效、维护修理故障、性能不稳定等等问题,这些问题可能导致某装备某项功能失效,尤其是涉及到救生系统弹射部分功能失效后果更严重,因此不允许出现任何威胁操纵人员安全的缺陷出现^[2]。笔者主要围绕出现的某装备座舱盖打开后突然下降问题展开深入研究,确定故障现象原因为座舱盖作动筒液压腔接管嘴断裂,导致无法持续供压,从而便支撑座舱盖无法

支撑自身重量。后续将重点围绕断裂问题开展研究,以确定深层次原因并制定问题解决措施。

1 故障现象

用户反馈某装备座舱盖打开状态时掉落无法锁住,经调查发现座舱盖操纵作动筒液压腔直通接管嘴 X-6 断裂,如图 1、2 所示。直通接头材质为铝合金,材料牌号 LY12。

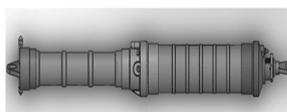


图 1 作动筒三维模型简图



图 2 接管嘴 X-6 断裂图

2 技术分析

2.1 机上状态分析

座舱操纵作动筒在机上属于倾斜安装,座舱盖打开关闭时,活塞杆进行收放,产品有一定角度的摆动。

* 收稿日期:2023-10-27

作者简介:马良冬(1990-),男,江苏徐州人,硕士研究生,工程师、注册安全工程师,主要从事飞机操纵、液压、救生系统等方面的产品质量可靠性研究工作。

为避免对接管嘴产生扭转剪切力,将图3所示区域的导管安装为弹簧导管,以最大限度地起到缓冲作用。从导管形状的选择上可以看出,设计之初就需考虑到角度的变化对接管嘴带来的不利影响。



图3 座舱盖操纵作动筒机上安装状态图

2.2 产品原理

座舱盖操纵作动筒地面打开方式有两种,一种方式通过减压器组件供气,输出压力2 MPa左右,另一种方式为手动施加液压压力,通过液压接管嘴供压实现座舱盖打开。

第一种打开方式中的2 MPa气压属于正常工作压力,通过气压接管嘴供压,液压腔部位几乎无工作压力(见图4),因此液压接管嘴不存在断裂的可能。

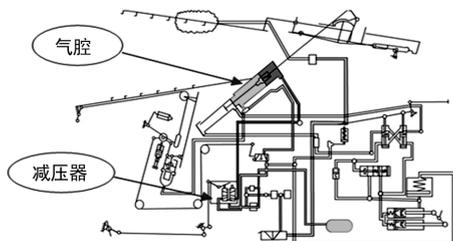


图4 座舱盖气压打开原理图

第二种打开方式为手动施加压力,手动施压使工作液从液压供压接管嘴进入座舱盖并操纵作动筒液压腔工作。随着活塞杆伸出,液压腔压力逐渐增加,直至活塞杆完全伸出,原理图如图5所示。

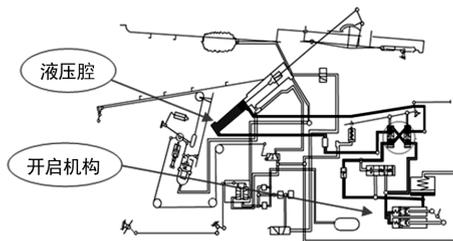


图5 座舱盖液压打开原理图

由于活塞杆放出过程中液压腔压力逐渐增大,因此为分析压力逐渐增大是否会导致接管嘴X-6损坏,需单独对液压腔盖子接管嘴进行增压分析。分析发现,当压力值达到20 MPa时接管嘴未出现异常。经检测,座舱盖操纵作动筒活塞杆完全伸出时压力值在3 MPa左右,这说明正常工作时液压操作不可能将接管嘴X-6损坏。

2.3 无损检测

为分析是否为产品接管嘴内部存在缺陷而使其长期工作后产生裂纹并最终发生断裂的情况,需从现场随机抽取多件产品进行探伤。目前常规的无损检测方法(如磁粉、荧光、涡流、X射线等)无法完全检测接管嘴拧入壳体后的螺纹区域是否存在裂纹等缺陷^[3-4]。为此,决定采用nanoVoxel-4000系列X射线三维显微镜(见图6)360°全方位扫描接管嘴整体质量,该设备分辨率可达500 nm(见表1)^[5]。从扫描结果可以清晰地看出接管嘴安装后无裂纹(见图7)。

表1 X射线三维显微镜测试条件

参数	数值	参数	数值
电压/kV	180	空间分辨率/ μm	12.29
电流/ μA	130	单次旋转角度/ $^\circ$	0.25
单次成像时间/s	1.20	总旋转角度/ $^\circ$	360

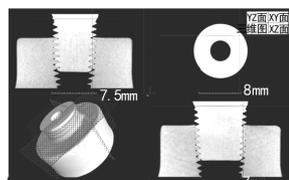


图6 nanoVoxel-4000系列X射线三维显微镜 图7 接管嘴X射线三维360°全方位扫描图

2.4 失效分析

2.4.1 体式观察

将断面置于体式显微镜下进行观察^[6](见图8)。从图8中可以看出,断面平坦,无机械损伤痕迹,无腐蚀痕迹。断面大部分区域呈亮银色,内侧位置颜色较深,断面位置可见与径向呈一定角度的棱线痕迹。

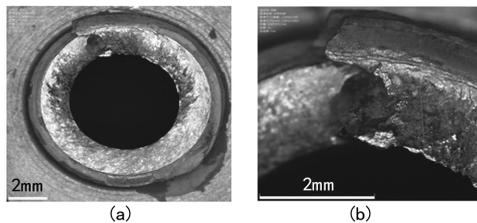


图8 断面体式形貌

2.4.2 断面微观分析

用丙酮清洗断面后置于扫描电子显微镜下进行分析^[7-9]。图9为断面微观形貌。

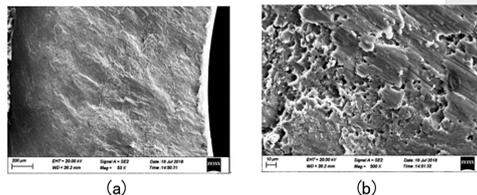


图9 断面微观形貌

图 10 为台阶区域微观形貌。从图 10(a)中可以看出断面位置内侧 1/2 处呈现剪切韧窝特征;由图 10(b)可见韧窝数量较小,变形拉伸量大;由图 10(c)可知光亮位置放大后有明显的韧窝剪切形貌。

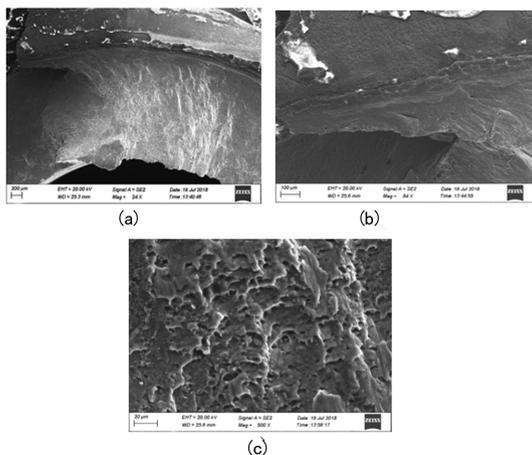


图 10 台阶区域微观形貌

根据接管嘴断裂的宏微观形貌可知,断面平整,表面呈金属光泽,无机械损伤痕迹,无腐蚀痕迹;断面微观观察可见韧窝痕迹。结合铝合金材料韧性较好的特点以及微观观察到的拉伸量较大的剪切韧窝特征可以推断,直通接管嘴断裂原因为剪切过载。

2.5 有限元仿真模拟分析

该接管嘴为锥形螺纹,断裂处内径 5.5 mm,螺纹根部外径 8.8 mm,建立简化仿真模型计算接管嘴剪断力值的大小。接管嘴材料为 LY12-CZ,抗拉强度 440 MPa,剪切强度 265 MPa。

通过分析断口情况,初步判断接管嘴断裂原因为剪切扭转破坏。在有限元模型上施加扭矩进行仿真分析^[10-12],结果如图 11 所示。

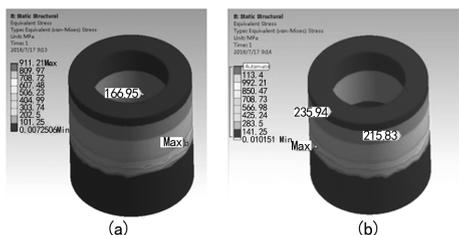


图 11 接管嘴仿真模拟模拟图

由图 11(a)可知,当扭矩为 25 N·m 时,模型外部已达到 600 MPa,内部 166 MPa,计算的剪切结果小于 265 MPa,未达到剪切强度,但接管嘴与盖子装配根部已达到剪断临界值。由图 11(b)可知,当扭矩为 35 N·m 时,有限元模型外部已达到 850 MPa,内部为 283 MPa,已超过剪切强度,理论分析接管嘴已完全断裂。

2.6 故障复现研究

2.6.1 现场拧断分析

(1) 选取一旧件接管嘴 X-6 安装至盖子上,现场使用力矩扳手拧断接管嘴,力矩值大约为 35 N·m,如图 12 所示,现场操作结果与仿真模拟结果一致。



图 12 旧件接管嘴 X-6 拧断现场操作图

(2) 选取新件接管嘴 X-6 安装至盖子上,现场使用力矩扳手拧断接管嘴,力矩值大约为 40 N·m,操作图如图 13 所示。



图 13 新件接管嘴 X-6 拧断现场操作图

(3) 前两次均为扭转剪断试验^[13],旧件和新件的剪断力矩值相差不大。为判别断裂原因是否为机上操作时垂直方向的剪切作用,选取一旧件接管嘴 X-4,现场使用力矩扳手垂直向下施加剪切力,剪断时力矩值大约为 52.5 N·m,操作图如图 14 所示。

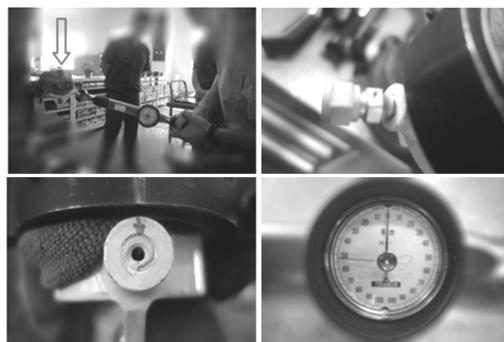


图 14 旧件接管嘴 X-4 剪断现场操作图

(4) 对比扭转剪断与垂直剪断的接管嘴端口表

面,如图15所示,不难发现垂直方向剪断的接管嘴断面发暗,扭转剪断的接管嘴断面发亮,而某装备断裂的接管嘴断面发亮,与扭转剪断的断面层相似程度较大。

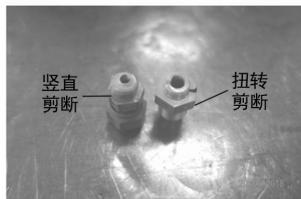


图15 拧断与剪断接管嘴断面效果对比图

2.6.2 接管嘴受力分析

对第2.6.1节(1)、(2)步骤的接管嘴断裂单位有效面积进行受力计算分析,结果如表2所列。

表2 接管嘴断裂单位有效面积受力计算分析表

参数	接管嘴 X-6	接管嘴 X-4
断裂力矩值/(N·m)	40	52.5
面积/mm ²	18.09	30.57
单位有效面积受力 /[N·m/mm ²]	2.2	1.72

上述数据说明,相比CX-4,扭转剪断时接管嘴X-6单位面积受力较大,更容易断裂,而该装备座舱盖操纵作动筒断裂的接管嘴恰为X-6。

3 改进措施

接管嘴断裂后产品内腔无法保压,飞机座舱盖在300 kg自重作用下快速下降,存在质量和安全隐患。为避免故障的再次发生,经充分论证并与设计所沟通后,决定统一将某装备座舱盖操纵作动筒铝制接管嘴X-6更换为不锈钢接管嘴X-6。接管嘴拧入端盖时在接管嘴螺纹区涂抹胶黏剂,通过粘接增强密封效果^[14-15],铝制接管嘴目前主要采用HM109胶黏剂进行粘接密封^[16],具体使用要求如下。

HM109为双组份密封剂,手工混合组份时每次混料要均匀,且要现用现配,确保一次性使用完毕。涂抹时将接管嘴螺纹首扣和尾扣空置不涂,安装后胶黏剂会自然充满,这样既保证了HM109胶黏剂基本充满接管嘴和安装壳体内外螺纹缝隙,又保证胶黏剂不会溢出而堆积在出口处。最后要在涂抹安装固化8 h后方可进行产品装配试验。

4 结语

通过对产品机上状态、产品原理、无损检测、失效分析、有限元仿真模拟和现场操作故障复现研究等各项分析可知,理论与实际所得结论相互吻合,均证明该产品接管嘴X-6正常使用过程中不会发生断裂,故障发生的原因因为外力导致的过载断裂。同时,为规避接管嘴断裂导致发生质量问题而制定了相应应对措施。该类问题的解决为类似故障的排除提供了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 张三展,贺发国.机座舱盖系统分活门典型故障分析与改进[C].2020中国航空工业技术装备工程协会年会论文集,2020:389-392.
- [2] Zhang T,Cai W,Hu M. Configuration Design of a Cruise Ship Life-saving System Based on a Genetic Algorithm[J]. Journal of Coastal Research,2023(3):569-581.
- [3] 柴文英.大型循环水泵主轴超声波探伤方法分析和探讨[J].工程机械,2023,54(9):27-31+8.
- [4] 李一兵.磁粉探伤技术在压力容器焊接接头缺陷检测中的应用[J].中国设备工程,2023(16):181-183.
- [5] 丁旭,王方方,王皓煜,等.用于三维电镜及X射线显微镜的完整小鼠耳蜗块染方法[J].听力学及言语疾病杂志,2020,28(3):321-325.
- [6] 郭涛,黄超,姜涛.平尾终点开关传动轴断裂分析[J].航空维修与工程,2019(10):88-90.
- [7] 杨振华,高磊,陈泊希,等.飞机液压导管裂纹分析与改进措施[J].液压气动与密封,2023,43(9):118-123.
- [8] 马中原,李政广,秦海勤,等.某型发动机导管断裂原因分析[J].航空维修与工程,2023(8):48-50.
- [9] 刘刚,杜爱国,王威琦,等.10MnNi2MoV低合金钢管接头裂纹性质分析[J].焊接,2023(7):59-64.
- [10] 马良冬,从德胜,鲍益东,等.O形密封圈高压咬伤问题研究及改进[J].粘接,2023,50(3):1-4.
- [11] 孙家冬,杨巍,康凯.0Cr16Ni6热轧退火钢螺纹定位销断裂原因[J].理化检验-物理分册,2022,58(10):50-53.
- [12] 郝地龙,何霞,王国荣,等.整体式卡瓦断裂仿真及实验研究[J].应用力学学报,2020,37(4):1641-1648+1866.
- [13] 王健,夏俊勇,罗勇斌,等.桥梁减隔震钢支座剪力销剪断性能试验研究[J].中外公路,2021,41(4):142-144.
- [14] 晓红.不同胶粘剂粘接击弦机弦槌综合性能研究[J].粘接,2023,50(9):23-26.
- [15] 洪秀岩.胶接技术在铝合金运动训练器材接头中的应用及性能研究[J].粘接,2023,50(5):12-16.
- [16] 董超群,王陆阳.HM109-1密封剂应用工艺研究[J].黑龙江科技信息,2016(31):17-18.