

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.01.009

民机座舱负压差安全释压功能试飞研究

Research on Cabin Negative Differential Pressure Relief Test of Civil Aircraft

孙丽蓉 郑 丽 李 钧 / SUN Lirong ZHENG Li LI Jun

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 200232, China)

摘 要:

座舱压调系统是保障试飞安全的重要系统,座舱压差过大会对飞机结构造成损坏,严重影响飞行安全。对座舱负压差安全释压飞行试验进行了研究,首先介绍了座舱压力调节系统的基本原理和设计特点,随后从试飞方法、改装方法、数据处理、试飞风险几方面对座舱负压差安全释压试飞技术进行了分析总结,可为民机座舱负压差安全释压功能试验提供参考。

关键词: 压调系统; 负压差; 飞行试验

中图分类号: V223

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] Cabin pressure regulating system is an important system to ensure the safety of flight test. The oversize differential pressure often causes damage to the aircraft structure and seriously affects flight safety. The paper studies the flight test of cabin negative differential pressure relief. Firstly the basic principles and design feature of cabin pressure regulating system were introduced, then we analyzed and summarized the cabin negative differential pressure relief flight test including flight test method, refitting method, data processing method and safety evaluation, which can provide some guidances for the cabin negative differential pressure relief flight test of the civil aircraft.

[Keywords] cabin pressurization control system; negative differential pressure; flight test

0 引言

座舱压力调节系统保证飞机在整个飞行过程中按预先设计的座舱压力制度,自动调节座舱压力环境,使座舱内的绝对压力、压力变化率、压差保持在规定的范围内,为机上人员提供安全且舒适的压力环境。座舱压调系统通常由控制器、控制面板、排气活门、安全活门等部分组成,原理如图 1 所示。压调系统具备自动和手动两种控制模式,通过调节排气活门开度来控制座舱排出的空气量,实现对舱内压力环境的控制。除正常压力调节功能外,压调系统通常还具有正负释压、应急卸压、座舱高度保护、水上迫降等安全保护和应急操作功能。

当飞机在应急下降时,下降率较大,外界环境压力迅速变大,可能会出现外界环境压力大于座舱内压力,出现座舱负压差,当飞机产生较大负压差,一

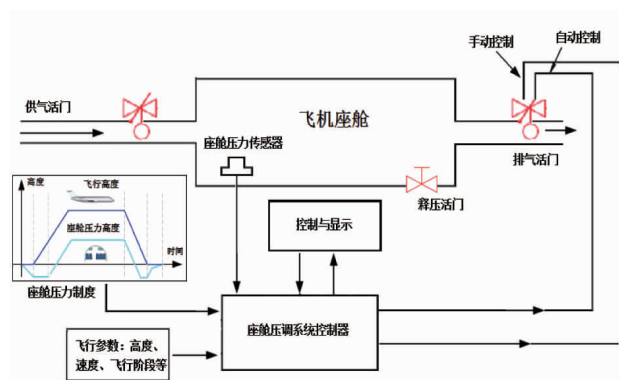


图 1 座舱压调系统原理图

旦超过飞机结构限制,将会导致飞机结构损伤,甚至飞机解体,造成机毁人亡的严重后果。压调系统设置了释压活门(通常包括安全活门、负释压活门)来保障飞机在任何可能的失效情况时,座舱正负压差不会超过限定值,即安全释压功能,座舱负压差安全

释压功能试验即通过模拟空调丧失供气,释压活门可能的故障状态,验证飞机应急下降过程中,单个安全活门足以确保座舱负压差不超过限定值,试验与飞行姿态、大气环境、座舱通风、布局等因素相关,地面试验难以准确模拟,需通过飞行试验来验证。

1 试飞方法及分析

AC25-7C 对负压差释压试飞方法提出建议:如果备有两个活门,试验中只使用其中的一个,在巡航高度,在飞机机身负压的临界条件下执行一次应急下降,检验机身的最大负压差不超限^[2]。结合 AC 建议及型号经验,总结试飞方法如下:1)起飞前使一个安全活门关闭并失效;2)正常起飞爬升到巡航高度,等待座舱压力高度稳定;3)关闭左右空调组件,佩戴氧气面罩,打开应急卸压开关,待座舱压力高度稳定约 1 min;4)切换座舱压力调节系统进入手动模式,选择最大增压速率;5)执行应急下降至安全高度,打开空调组件,按需恢复压调自动模式,正常返场。

试飞方法考虑因素涉及如下几方面:

1)根据 25.831b 条款要求,起飞前使一个安全活门失效^[1],考虑可能的故障;2)飞机在巡航高度,通过关闭座舱供气,打开应急卸压开关直到座舱压力高度稳定,模拟座舱较低的压力环境,确保应急下

降初始阶段座舱维持较大的压力高度,增加应急下降阶段触发释压活门开启的成功率;3)根据 25.833b 条款,需模拟座舱压力调节器活门关闭,通过关闭供气,将压力调置于手动模式设置最大的增压速率,确保排气活门全关,仅因座舱气密泄漏导致座舱高度上升;4)应急卸压释压速率较快,一旦触发,座舱高度会迅速上升,为了确保机组人员安全,要求应急卸压前机组即佩戴氧气面罩;5)关于应急下降高度,根据 CCAR91 部规定,飞机飞行最小安全高度主要取决于障碍物最高点的实际海拔高度,在高原、山区不得低于障碍物最高点以上 600 m(2 000 ft),平原地区不得低于障碍物最高点以上 300 m(1 000 ft)^[3],首先计算出试验时负压差达到安全活门开启设定值的飞机高度 H ($10\ 000\text{ ft} < H < 20\ 000\text{ ft}$),该试验应急下降安全高度应小于 H 大于飞行最小安全高度。

2 改装方法

压调系统通常设置两个功能完全相同的安全活门,在一个安全活门失效时,另一个安全活门可独立保证飞机正、负压差不超过设计值,保持座舱内外压差在合理的范围内,防止压差过大而损坏飞机结构。

根据适航条款要求,试验前需要将一个安全活门进行失效处理,安全活门释压原理如图 2、图 3 所示。

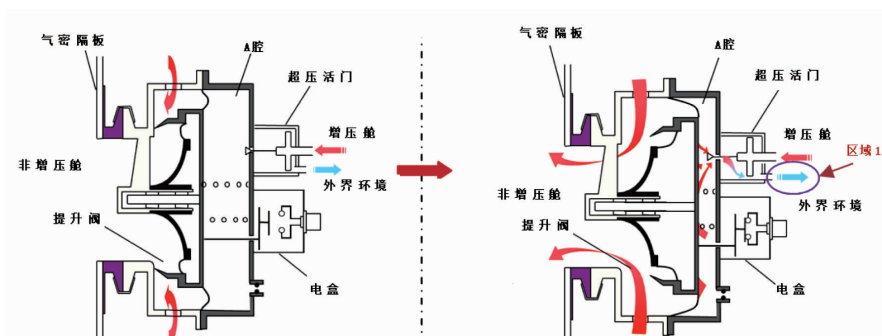


图2 安全活门正释压原理

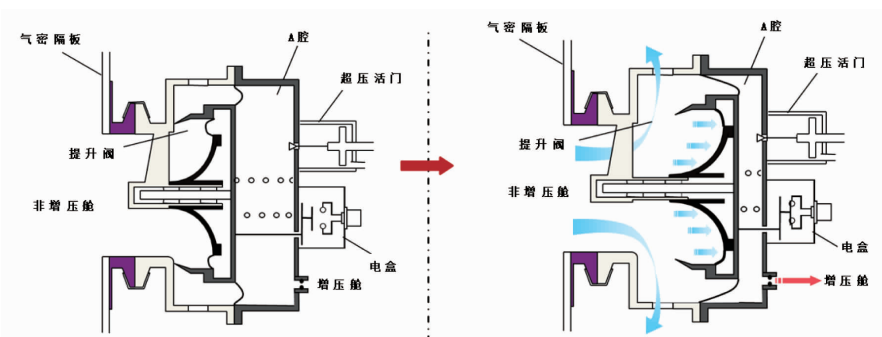


图3 安全活门负释压原理

如图2所示,当座舱正压差达到安全活门开启设定值时,进行正压释放,超压活门(overpressure valve)打开,A腔(chamber A)与大气相通,在正压差的作用下,提升阀(poppet valve)打开,客舱空气排出机外,实现正释压功能;如图3所示,当座舱负压差达到安全活门开启设定值时,在大气压力的推动下,提升阀打开,A腔内的空气通过限流孔排入客舱,同时外界空气进入客舱,实现负释压功能。

根据安全活门释压原理,当过大正压差出现时,安全活门开启所需的感压口为图2区域1所示,所以把区域1中通大气的静压管断开后,安全活门的正释压功能不起作用,而负压差释压纯粹靠外部压力推动,切断静压管的方法并不适用。负压差释压试验安全活门失效模拟方法为:把某个安全活门拆下来,用一个实心的机加零件代替,堵住支座孔,达到飞机上只有一个安全活门工作的效果,改装方法如图4所示。

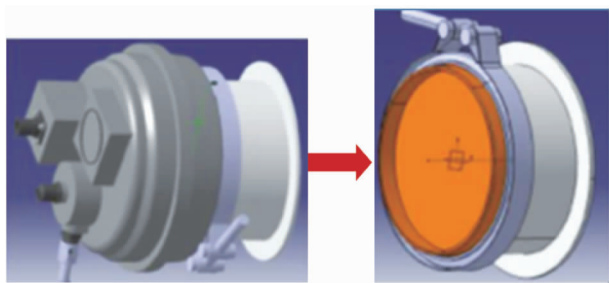


图4 安全活门失效改装图

3 数据分析

压调负压差安全释压数据分析涉及的主要参数包括气压高度(记作ZA)、座舱高度(记作ZC)、座舱压差DP(记作DP)、安全活门开关位置(记作SFV status)、座舱高度告警(记作ZC caution and warning)等,数据分析结果如图5、图6所示。

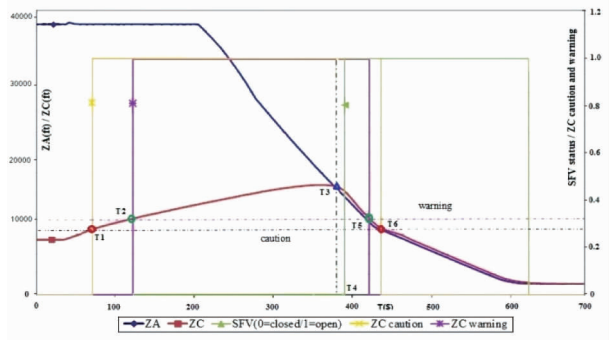


图5 座舱负释压试验曲线

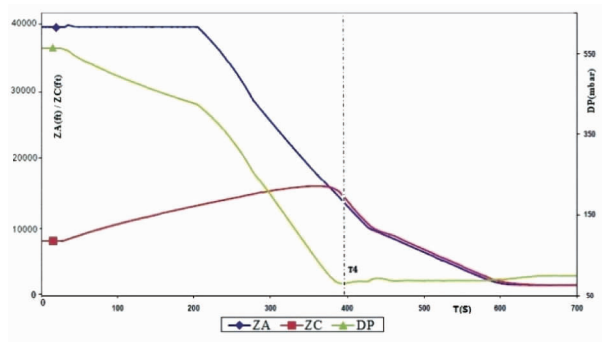


图6 负释压座舱高度和座舱压差曲线

从图5可看出,飞机在最大高度巡航,高度稳定后座舱释压,座舱高度快速上升,在T1时刻,座舱高度上升至警戒阈值(蓝色虚线)直至T6时刻,期间ZC caution值为1,触发了caution级别的座舱高度告警。在T2时刻,座舱高度上升至警告阈值时(红色虚线)直至T5时刻,期间ZC warning值为1,触发了warning级别的座舱高度告警,座舱告警功能正常。飞机在最大高度应急下降阶段,气压高度迅速降低,座舱高度因飞机气密泄漏先缓慢上升至T3时刻(黑色虚线,此时座舱高度与气压高度值相等),随后座舱高度开始缓慢下降,座舱压力小于外界环境压力,飞机出现负压差。在T4时刻,安全活门开启进行负释压(绿色实线,此时SFV值为1)。从图5可看出,T4时刻,负压差达到安全活门开启设定值,活门打开,座舱内外压差迅速平衡稳定。

综上所述,试验期间座舱压力环境及安全活门响应均符合预期,座舱负压差的安全释压功能正常。

4 试飞风险分析

试飞安全是飞行试验运行过程中所面临的首要问题,试飞风险分析是对试飞执行过程中可能遇到的各种风险进行识别、分析和制定应对措施的过程,是试飞实施和安全保障工作的基本前提,是降低试飞风险,控制飞行安全的基础^[4]。民机试飞安全影响因素众多,很难针对每种风险源进行定量评估,目前,民机试飞过程中通常采用定性评估法(代表有FAA发布的指令4040.26B),本文参考FAA指令4040.26B^[5]风险管理程序,对座舱负压差安全释压功能试验进行试飞风险分析,识别出机组遭遇不利座舱压力环境①和飞机结构损坏②两项风险源,风险评估结果如图7所示,详细分析见4.1节。

试验点风险等级	发生概率					
	高□	中□			低□	
严重程度	经常	可能	偶然	不太可能	极不可能	
灾难性的	避免		②			
危险性的		高				
重大的			中	①		
较小的					低	
对安全无影响的						

图 7 风险评估结果

4.1 机组遭遇不利座舱压力环境①

1) 风险发生概率:不太可能。

2) 严重程度:机组人员身体不适,机组工作负荷显著增加(严重的)。

3) 发生原因:(1)应急卸压时,座舱压力和压力变化率过大,超出预期;(2)座舱压力调节功能失效。

4) 风险降低措施:(1)试验前机组人员可参加低压耐力训练;(2)试飞前机组人员保持身体处于良好状态;(3)试验一开始机组佩戴氧气面罩,试验过程中实时监控座舱高度和座舱压力变化率;(4)试验过程中机组佩戴飞行降压耳塞;(5)客舱试验人员配备氧气供应设备。

5) 应急处置程序:试验过程中,如机组人员感觉座舱压力环境难以适应可中止试验,按需恢复座舱高度,如无法恢复,降低飞行高度至 10 000 ft 以下。

4.2 飞机结构损坏②

1) 风险发生概率:偶然。

2) 严重程度:飞机失控(灾难性的)。

3) 发生原因:安全活门故障,座舱内外压差超限。

4) 风险降低措施:(1)飞行前机组进行模拟机演练,熟练掌握试验程序及应急处置程序;(2)试验过程中机上和地面实时监控座舱压差、座舱高度等压调关键参数,如发现异常及时通报指挥员。

5) 应急处置程序:如应急下降过程中发现座舱压差值超过限定值,则中止试验,打开空调组件、恢复压调自动模式、增加飞机高度,使座舱压差尽快控制在正常范围内。

5 结论

本文从系统设计构架、试飞方法、改装方法、数据处理等方面对民机座舱负压差安全释压功能试验进行了分析总结,参考 FAA 飞行试验风险管理程序,从风险源、发生原因、风险降低措施及应急处置程序等方面进行试飞风险评估,为民机座舱负压差安全释压功能试飞工作提供了技术参考。

参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. 中国民用航空条例第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 中国:中国民用航空总局,2011.
- [2] Federal Aviation Administration. Flight test guide for certification of transport category airplanes: AC 25-7C [S]. USA: Federal Aviation Administration,2012.
- [3] 中国民用航空局. 一般运行和飞行规则:CCAR-91-R2 [S]. 中国:中国民用航空局,2007.
- [4] 刘超强. 民机试飞风险评估方法研究[J]. 民用飞机设计与研究,2015(4):19-22.
- [5] Federal Aviation Administration. FAA Order 4040. 26B, Aircraft certification service flight test risk management program [S]. USA:Federal Aviation Administration, 2012.

作者简介

孙丽蓉 女,硕士,工程师。主要研究方向:环控气源、压调系统试飞研究。E-mail:sunlirong@comac.cc

郑丽 女,本科,工程师。主要研究方向:环控空调、压调、气源、防冰除雨及氧气系统试飞技术研究。E-mail:zhengli@comac.cc

李钧 男,本科,试飞工程师。主要研究方向:环控压调、防冰除雨系统试飞研究。E-mail:lijun5@comac.cc