

起落架落震试验环境温度模拟技术研究

李冬梅, 牟让科, 杨武刚

(中航工业飞机强度研究所 飞机气候环境适应性研究室, 西安 710065)

摘要: 目的 验证某型飞机从万米高空俯冲降落直至着陆滑跑过程中, 在经历了环境温度从 $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到常温快速剧烈变化后起落架性能的改变。方法 依据起落架落震试验要求, 进行起落架高低温环境模拟技术研究。结果 综合考虑试验技术指标、试验件结构尺寸和试验场地限制, 成功研制了专用的起落架高低温环境模拟设备。结论 为研究起落架缓冲器内敏感参数与温度的变化规律和起落架结构性能提供了验证手段。

关键词: 起落架; 落震试验; 高低温环境模拟设备

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.08.007

中图分类号: TJ85

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)08-0034-05

Simulation Techniques for Environmental Temperature in Aircraft Landing Gear Drop Test

LI Dong-mei, MOU Rang-ke, YANG Wu-gang

(Aircraft Environmental Adaptability Laboratory, AVIC Aircraft Strength Research Institute, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: **Objective** To verify the performance change of a landing gear after a rapid and severe change of ambient temperature from $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ to normal temperature in the progress of aircraft diving form high altitude to landing and taxiing. **Methods** High and low temperature environment simulation techniques for aircraft landing gear were researched according to requirements on drop test of landing gear. **Results** Special high and low temperature simulation equipment for landing gear was successfully developed in view of indicators on test techniques and restrictions on structural size of test piece and test site. **Conclusion** It provides a method for verifying change rules of sensitive parameters and temperature in the buffer of the landing gear and the structural performance of the landing gear.

KEY WORDS: landing gear; drop test; high and low temperature environment simulating units

现代化、全天候、全方位复杂环境中进行的立体战争要求航空装备面临比以往更为复杂和严酷的使用环境, 其中气候环境是导致飞机性能退化甚至功能丧失的重要原因之一。起落架作为飞机在地面停放、起落滑跑时支持飞机质量、承受相应载荷、吸收和消耗着陆撞击能量的起飞着陆装置, 它的性能直接影响着飞机的使用与安全。随着新一代主战飞机和大型运输机的研制, 对试验模拟条件及其试验设备提出了更高的要求, 形势的发展也促使试验手段要不断提高和完善^[1]。

随着飞行器设计技术水平的提高, 现代飞行器可在较为恶劣的环境下工作, 飞机在着陆滑跑过程中, 环境温度一般在 $-55\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间迅速变化, 这对起落架缓冲器的气腔和油腔都会有一定的影响^[2], 因而要求起落架的设计需能满足高低温环境的大幅变化。文中介绍了一种专为某型飞机起落架高低温落震试验研制的环境模拟设备, 该设备能够真实模拟飞机从巡航高度实施俯冲降落直至滑跑过程的温度变化。通过对经受了高低温变化的起落架进行落震试验, 验证起落架着陆载荷和缓冲性能能否达到设计要求, 研究

高低温环境对缓冲器充填介质的影响,得到缓冲器中对温度较敏感的参数与温度变化的规律,为起落架缓冲性能设计提供验证方法和参考,从而满足缓冲器设计保持较为稳定的性能。

1 设计要求

该设备用于模拟某大型飞机多支柱起落架在规定的高、低温环境下的落震试验,需满足以下各项技术指标和基本要求。

1) 技术指标^[3-6]: 温度范围为 $-60 \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$; 控制方式为多点控温; 控温精度为 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 温度均匀度为 $\pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 温度偏差 $\leq \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 降温速率在 $(0.1 \sim 5)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 可设定; 升温速率在 $(0.1 \sim 5)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 可设定。

2) 基本要求^[7-9]: 设备由箱体、制冷系统、加热系统、空气循环系统、控制系统等系统组成; 设备箱体为可分离式, 分离面结合处必须保证密封; 可根据需要设定高低温度和升温、降温的级差; 环境模拟设备应为全自动控制并具备远程控制接口; 设备采用的保温材料应具有阻燃性能; 暴露在低温环境中的材料应能保证环境模拟设备正常使用; 箱体焊缝要求具有良好的密封性; 制冷和加热过程中试件接受的辐射温度不能超过 $-65 \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$; 达到设定温度后, 设备应能保证持续加热或持续制冷, 时间不低于 120 min ; 环境模拟设备应能够实现自动分离至落震台外, 不能影响落震试验的正常进行, 撤离时间不得超过 5 min 。

2 系统设计

起落架结构如图1所示, 要求将作动筒缓冲器和机轮等部件全部放置在高低温环境箱中完成设定温度的模拟。根据多支柱起落架的外形尺寸和试验夹具的尺寸, 并考虑箱体结构的保温密封后, 设计环境箱工作室尺寸为: 7965 mm (航向) $\times 2350\text{ mm}$ (侧向) $\times 2570\text{ mm}$ (高); 外型尺寸为: 8165 mm (航向) $\times 2550\text{ mm}$ (侧向) $\times 3690\text{ mm}$ (高)。箱体外壳材料选用 $\delta 2$ 彩钢板, 内胆材料为 1.5 mm 厚的 SUS304 不锈钢板, 绝热材料为硬质聚胺脂发泡, 厚度 100 mm ^[10-11]。

考虑到该高低温环境模拟设备较强的针对性和使用频率的情况, 决定采用液氮制冷的方式实现对低温环境的模拟^[12]。采用优质镍铬合金电加热丝, PID 调节方式实现对高温的模拟。综合考虑起落架的实际尺寸、试验要求、环境箱的外形尺寸、安装空间及箱体密封/分离等几方面因素, 决定利用落震试验用夹具做为箱体骨架的上半部分, 以解决由于起落架投放高度要求导致的试验件安装空间受限、箱体的密封和快速撤离等关键技术。



图1 起落架外形

2.1 结构方式

由于起落架形状复杂, 干涉较多, 试验场地受限, 且作动筒提升高度、投放质量均有严格的限制, 故对环境模拟设备箱体结构应做特别设计才能保证试验的正常进行。

该高低温环境模拟设备为整体结构, 分为上、下两部分 (见图2)。上箱体为安装在大吊篮上的试验夹具, 采用现场发泡的方式在上面铺设软制保温层作为盖板进行箱体的保温密封。下箱体上部开口, 采用标准冷库板制作而成, 卷扬机的牵引使其在地面沿航向移动。整个箱体通过落震试验用吊篮的升降达到上、下两部分的自然密封、保温和快速分合。

2.2 设计方案

该型高低温环境模拟设备主要由箱体结构、空气循环系统、分合机构系统、液氮制冷系统、加热系统、控制系统、温度监视系统等7部分组成。下面对各系统设计方案分别进行描述。

1) 箱体结构: 分为上、下两部分 (见图2), 通过试验用大吊篮的垂向运动实现箱体的自动闭合。上箱体为安装在大吊篮上的试验夹具, 下箱体是由安装了制冷、加热、通风装置的保温围护结构组成, 并通过钢丝绳和安装在试验室的卷扬机相连接。卷扬机的牵引保证箱体能在试验现场底座安装的两条滑轨上沿航向水平移动, 保证下部箱体的安全移动撤离时间不大于 60 s 。

2) 空气循环系统^[13]: 在下部箱体内设置循环风道, 采用上送下回的循环方式, 内部配置有大风量离

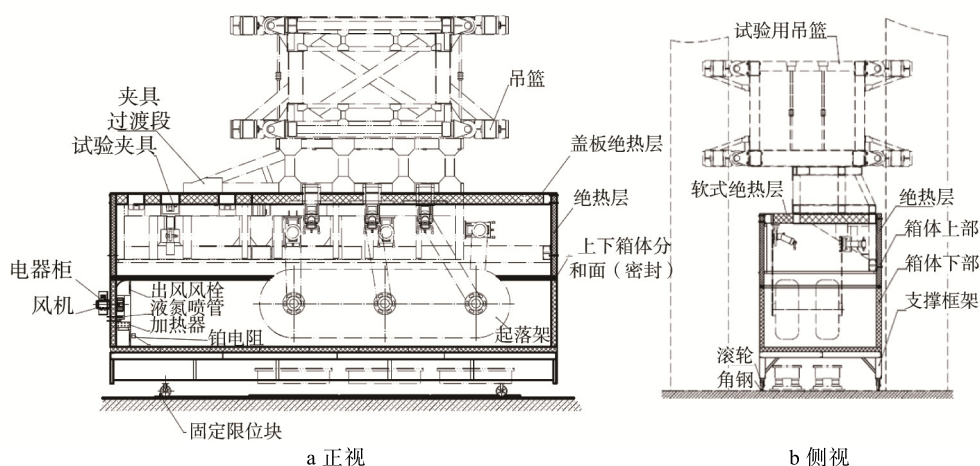


图3 起落架环境模拟设备结构

心风机、导流板、出风风栓等。利用风机的吸气强制箱内空气进行内循环,使箱体内的温度逐渐达到均匀。

3) 制冷系统^[14]: 采用液氮喷射制冷方式,由液氮瓶、混合罐、电磁阀、减压阀、液氮喷管等部件组成。根据低温设定值输出相应的制冷量来达到稳步降温的效果。液氮瓶容量为 180 L,自增压,双层内结构,液氮消耗量 ≤ 5 kg/h。

其工作原理如图 4 所示。试验温度设定后,打开一级液氮电磁阀,将液态氮注入混合罐中,和原混合罐中的气体进行搅拌,通过控制注入混合罐中的液气比例将温度降至目标值。目的是可线性控制降温速率,既可节省液氮也避免温度过冲太低,对试件产生损坏。在混合罐内的温度达到的目标值后,开启二级液氮电磁阀,将调节后的气液混合体注入试验箱工作室,通过液氮喷管将气液混合体均匀注入风道横面,并经风道搅拌后,在环境箱内部达到均匀降温目的。

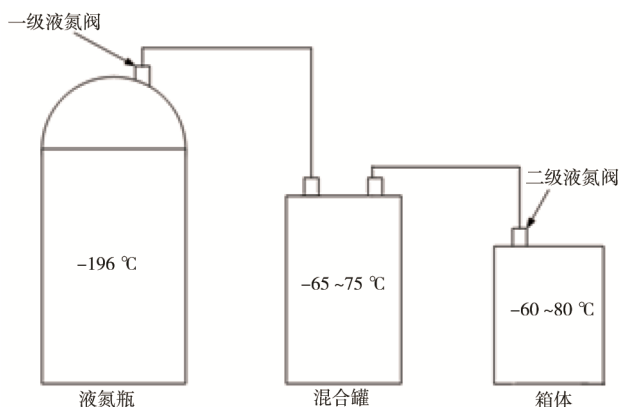


图4 制冷系统工作流程

混合罐主要用于液氮出口至工作室入口之间温度的缓冲,避免温差过大,增加控制精度及降低对试件损坏的可能性。这样的冷却工作方式在实际操作过

程中,简便易行,控制精度高,结果稳定。

4) 加热系统: 由电加热器、E 型散热器和高温限温装置组成,电加热器置于循环风道内,通过仪表控制加热器的输出,最大限度提高加热响应速率和减少温度堆积对实测温度值的过冲影响,如图 5 所示。

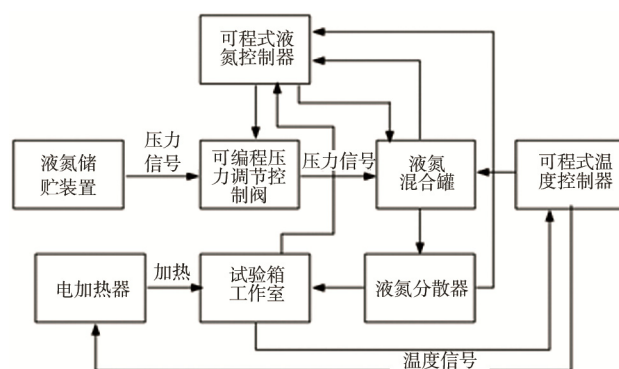


图5 系统工作原理

5) 控制系统^[15]: 系统包括管线回收模块、远程控制模块、电控柜内冷却模块、外来数据检测与控制模块和检测控制模块等 5 个模块。系统控制主控仪表由西门子 PLC 模块+5.7 英寸彩色液晶触摸控制屏、PT100 铠装铂电阻、交流接触器、热继电器、固态继电器、小型继电器等组成。控制方式为冷热平衡调温方式。在箱内随机布置至少 6 个可移动温度传感器对被试件的表面温度进行多点监视,配标准 RS232/RS485 计算机接口及专用通讯软件一套,可实现将环境箱与落震试验台电脑进行远程通讯联接,联机后,通过计算机实现远程对设备运行、温度等参数的连续监控。

其中各功能模块的作用如下。

1) 管线回收模块: 考虑到转场和运输时的便利,电控柜与试验箱体之间采用了可拆卸式的管路联接方式,在试验结束时,系统在面板操作下,可将液氮

管道和电路引线回收。

2) 电控柜内部冷却模块: 由于电控柜内部集中了设备上的所有控制部件和一部分负载元件, 在运行过程中, 会产生相当一部分的热量, 为避免影响设备稳定性和寿命, 需通过风冷方式对整个电控柜部分进行强制冷却。

3) 外来数据检测模块: 将由起落架内的传来的油温参数和压缩气体温度参数的数字信号经变送后送入主控仪表, 以增加最终控制稳定性。通来外部送入的信号转换成温度模拟信号, 与工作室内的温度进行比对, 通过差值来确定当前冷热量的输出比例。

4) 检测控制模块: 主要用于混合罐和工作室腔体的温度检测和控制。

关键技术

起落架高低温环境模拟设备在设计和使用中必须解决如下几个问题才能保证起落架高低温落震试验安全可靠的进行。

3.1 试验夹具与起落架之间的热传导

由于采用箱式设备对已连接在落震台上起落架包围后进行升温或降温, 并不能完全将金属结构(试验夹具过渡段)置于环境箱体内, 因此必然会存在冷桥。钢结构的热传导速率非常快, 在升温或降温过程中, 如果在试件与夹具之间没有阻断热传导的设施, 温度很难控制在某一恒定值。因此, 这一点是必须解决的关键技术。

安装试验件时, 通过在试验夹具及其过渡段的连接处采用硅橡胶垫片和在试验夹具过渡段上包覆保温层两种方法, 增加热阻, 减少向外传热(如图6所示)。以减小高低温环境模拟落震试验中起落架及试验夹具的热载荷、冷桥所产生的大量热损失等技术问题, 保证试验件的升、降温温度和速率能达到设计要求^[16]。

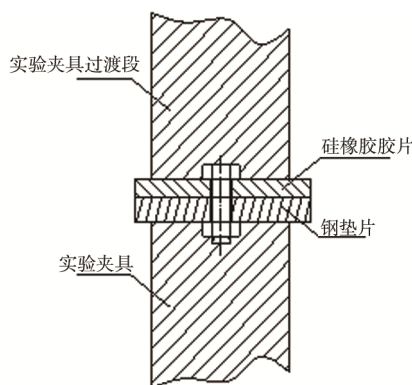


图6 夹具连接方式

3.2 温度箱的密封和分离

降温采取的是充氮气的方法, 这需要对接缝进行良好的密封, 但是良好的密封将会使箱体的分离变得

较为困难, 如何密封好又能顺利分离箱体是一关键技术。箱体结构设计时采用了如下方案。

1) 多支柱起落架高低温环境模拟设备采用硬式箱体结构, 为上下两半分合的结构方式。上半箱体利用起落架落震试验夹具为骨架, 在其外表面安装标准冷库板, 将整个夹具罩起来形成围护。

2) 下半箱体采用标准冷库板制作而成, 底部安装有脚轮。通过在测力平台外围安放的下部支架轨道上进行水平移动, 实现下部箱体的快速撤离。

3) 利用试验夹具本身做为设备箱体的上半部分, 上半箱体通过提升作动筒带着投放吊篮的升降达到和下箱体对准连接和分离。

4) 利用上半箱体中的吊篮、试验夹具及起落架的自身质量完成上下箱体的自然密封。

3.3 缓冲支柱内部油/气腔温度测试

由于起落架上开孔受限, 进行真实的起落架高低温环境模拟试验时, 缓冲支柱内油液的温度为不可测参数, 而充气、充油容积却是影响缓冲器性能的两个重要参数。因此, 采取何种方法进行温度、压力测试是必须解决的关键技术。

通过设计缓冲支柱模拟件(完全按照该型起落架缓冲器支柱的实际尺寸和材料设计), 在模拟件的油液内部埋设温度传感器(如图7所示), 与在其外壁油孔附近所装温度压力传感器作数值比较, 获得达到试验设定的高低温温度所需要的温度恒定时间。得出油液在降温与加热过程中的温度变化规律, 从而得出起落架的最佳投放时机。使得高低温环境对缓冲器分油盘阻尼性能的影响、对缓冲器气腔空气压缩多变指数及空气弹簧力的影响、对缓冲器油腔油液运动粘度及油液阻尼力的影响的研究更加真实可靠。

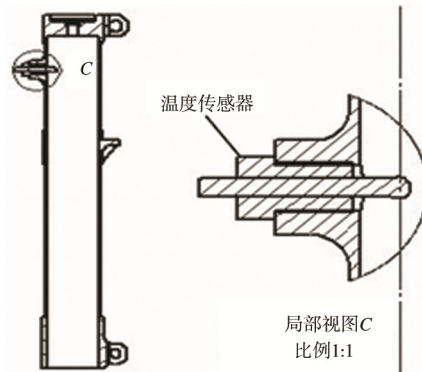


图7 缓冲支柱内腔温度及压力测量

模拟试验^[5-6]结果如图8和图9所示, 在做低温 -55°C 试验时, 油缸外壁表面温度达到 -55°C 、170 min后, 油液温度能达到 -55°C 。开启箱门10 min后, 油液温度仍保持在 -55°C , 温差不超过 $+0.2^{\circ}\text{C}$ 。在做 $+70^{\circ}\text{C}$ 高温试验时, 油缸外壁表面温度达到

+70℃ 98 min 后, 油液温度能达到+69.5℃, 10 min 后, 油液温度为+69.8℃。

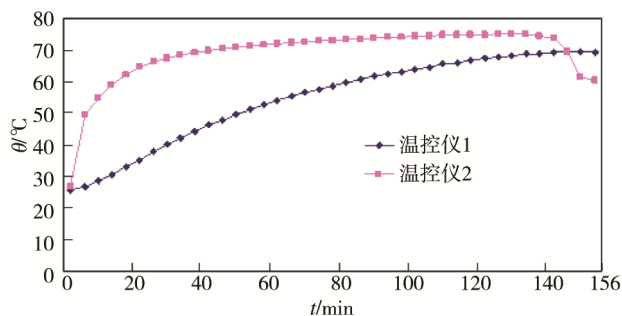


图8 高温试验曲线

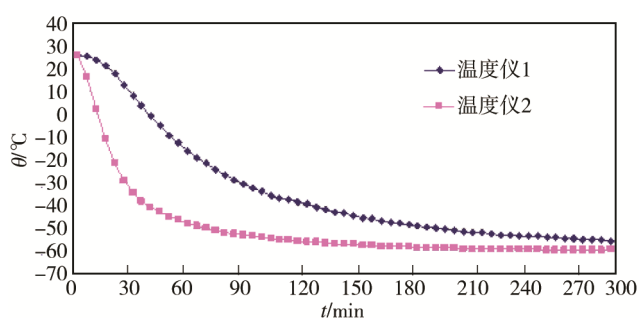


图9 低温试验曲线

4 结语

文中针对某型起落架高低温环境落震试验设计了一种环境温度模拟设备, 其采用试验夹具作为保温箱体的一部分, 节省了试验件的反复安装拆卸, 实用性强, 成本低廉。利用落震试验夹具作为环境模拟装置的上部箱体, 解决了起落架外形复杂、尺寸大导致箱体过大引起试验空间受限的难点。利用起落架吊篮的升降完成上下箱体的闭合、密封和保温, 可重复使用, 定位精准, 密封效果佳。采用液氮制冷方式, 有效制冷量大, 降温速度快。采用远程控制卷扬机拖动下箱体撤离, 即保证了试验的撤离时间要求, 又可避免低温对人体造成的伤害。

综上所述, 利用该设备既可以模拟战机从万米高

空俯冲降落时的温度变化, 又能满足起落架落震试验的高低温环境变化要求。对研究起落架缓冲器内敏感参数与温度的变化规律提供了验证手段, 从而为起落架缓冲器的优化设计提供参考依据。

参考文献:

- [1] 齐丕骞, 牟让科. 起落架缓冲性能分析、试验、设计一体化技术[J]. 航空学报, 1998, 19(3): 70-76.
- [2] 豆清波, 史惟琦, 牟让科, 等. 基于落震试验的油-气式起落架气体压缩多变指数变化规律研究[J]. 实验力学, 2015(2): 215-220.
- [3] GB/ 2423.1—89, 电工电子产品基本试验规程(试验 A: 低温试验方法)[S].
- [4] GB/ 2423.2—89, 电工电子产品基本试验规程(试验 B: 高温试验方法)[S].
- [5] GJB/ 150.3A—2009, 军用装备实验室低温试验方法[S].
- [6] GJB/ 150.4A—2009, 军用装备实验室高温试验方法[S].
- [7] GB 10589—89, 低温试验箱技术条件[S].
- [8] GB 10592—89, 高低温试验箱技术条件[S].
- [9] GB 11158—89, 高温试验箱技术条件[S].
- [10] 陶文铨. 传热学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.
- [11] 于华芳, 李长富. 冷库维护结构绝热层厚度的计算[J]. 吉林化工学院学报, 2010(4): 30-32.
- [12] 李兆坚. 环境室制冷方式的选择[J]. 环境技术, 1994(3): 18-19.
- [13] 刘文斌, 曹广忠, 李永光, 等. 温湿度环境试验设备的现状及发展[J]. 现代制造工程, 2013(11): 133-140.
- [14] 朱魁章, 乐子玲, 韩锐. 用液氮制冷的高低温箱的设计[J]. 制冷, 1997(2): 43-46.
- [15] 韩琦. HLT500 高低温试验箱 PLC 控制系统[J]. 低温与超导, 2008(6): 70-73.
- [16] 王栋, 陶乐仁, 刘训海. 隔断装置对冷风机电热融霜影响的实验研究[J]. 制冷学报, 2014(6): 81-84.