

《军用设备环境试验方法 温度—湿度—高度试验》简介

三〇一所 祝耀昌

我国第一个军用设备环境试验方法标准已于1986年正式发布。该系列标准是军用标准化中心研究室组织航空部、航天部、电子部和中船总公司等部门的许多专家,遵循“……以美国军用标准 MIL-STD-810C《空间及陆用设备环境试验方法》为基础,结合我国实际情况,适当考虑其他国内外有关标准,但不打破原标准的体系”这一原则编制而成的。其技术水平基本上与810C相同,并引用了810D《环境试验方法和工程导则》中的部分内容,因此具备70年代末的水平。在其19个试验方法中,只有温度—湿度—高度一个三综合环境试验,现对该综合试验方法标准作简单介绍,以利于贯彻。

一、制订温度—湿度—高度综合试验标准的必要性

在GJB150系列标准中,不仅有温度、压力这样一类的单因素试验,还有低温低气压和高温高湿(湿热)这样一类的二因素综合试验,显然,这几个试验已经分别或同时对三综合试验中的温度、湿度和高度环境因素进行了考核。既然如此,为何还要制订三综合试验标准呢?进行三综合试验有什么必要性,是否会出现重复,造成浪费呢?这种考虑虽然不无道理,但对于某些机载设备来说,在进行过有关的温压和湿热试验后,仍有必要进行三综合试验。这是因为:

1. 单因素试验和二因素综合试验不能代替此三综合试验。一般的环境试验标准中的环境试验项目,基本上都是单因素试验,这是十分自然的。单因素试验只考虑一个环境因素,试验过程易于控制,试验设备简单易得,投资少,易于推广;另一方面,试验中产品一旦失效,也

便于根据环境因素的影响寻找故障部位,并采取改正措施。因此在产品购置各个阶段的各类环境试验中,主要是进行单因素试验。在工程研制阶段,则更应反复进行各种单因素试验,探索环境因素对产品的有害影响,以便根据暴露的问题及时改用更合适的材料和元件,甚至修改设计和制造工艺,以提高产品对预期使用环境的适应性。单因素试验的明显缺点是不能真实地模拟产品在使用中遇到的综合环境。产品在使用中所遇到的往往是多种环境,例如温度、振动、压力等同时作用于其上面,这些环境除了产生其本身特有的影响和破坏作用外,还往往诱发或扩大其它因素对产品的有害影响。例如高温能加剧湿度和盐雾的腐蚀效应,振动能扩展低温和温度剧变在材料中造成的裂纹。另一方面,各环境因素的连续和反复的作用也能扩大或引入其它因素的破坏作用。例如设备的弹性密封件在极端低温下收缩或冻裂后使密封失效,从而使内部元件暴露于低气压和潮湿的环境中,低温、低气压和湿热环境的连续反复作用将加速密封在设备内部的元件的损坏过程。

由此可见,对于某些设备来说,即使完全通过了一系列的单因素乃至二因素试验,并不能保证其在实际使用中正常工作。解决这一问题的最好办法是进一步进行综合试验。

2. 温度—湿度—高度三综合试验是模拟飞机执行任务中,某些机载设备经常会遇到的环境,是考核处于这种环境中的某些设备的必不可少的试验手段。停在机场的飞机,往往每天要飞行多个起落,以执行战斗任务或飞各种训练课目,如处在热带地区,这就使其机载设备

反复暴露在高温高湿和低温低压的环境中。这一过程的环境作用情况大致如下：当飞机停在高温高湿的机场上时，处于不密封舱内的设备同样也处于高温高湿的环境中，飞机迅速起飞爬到低温低气压的高空过程中，设备的环境温度也迅速下降，原来湿度很高的空气中的水蒸气在设备表面和内部凝露和结霜。当飞机在高空作长期低速飞行时，环境温度进一步下降，致使设备的弹性密封收缩或冻裂，造成密封失效，从而产生其内部压力大于外界压力而呼气现象。当飞机返航迅速下降后进入热大气环境时，机载设备温度虽然也升高，但其温度低于空气的温度，因此除了原来在其内外表面的霜融化成水外，空气中的水分还在其内外表面凝露，由于压力升高，压力平衡作用又使设备通过密封失效处进行吸气，从而将潮湿大气和表面凝露水吸入内腔。随着温度升高，密封作用恢复时，就将湿气和水分封在设备内部，当飞机再次

停留在机场时，机载设备完全恢复到了处于原来的高温高湿环境中。飞机多次执行这种任务时，就在其内部积聚起许多冷凝水。有资料证明，美国 F-15 战斗机携带空中发射导弹在高湿度的热大气中起飞，爬升到很冷的高空，在此高度巡航一段时间后带着未发射的导弹返回地面。结果表明，其机载设备零部件上出现的凝露水量比用任何军用标准进行湿热试验时出现的都要大，可见进行一般性的湿热试验不能模拟实际飞行的影响。

上述分析表明，制订温度—湿度—高度试验是必要的。

二、温度—湿度—高度试验的主要内容

1. 目的和应用范围

此三综合试验的目的是要确定飞机执行任务过程中，机载或空运设备对其遇到的温度、压力和湿度急剧变化环境的适应性。

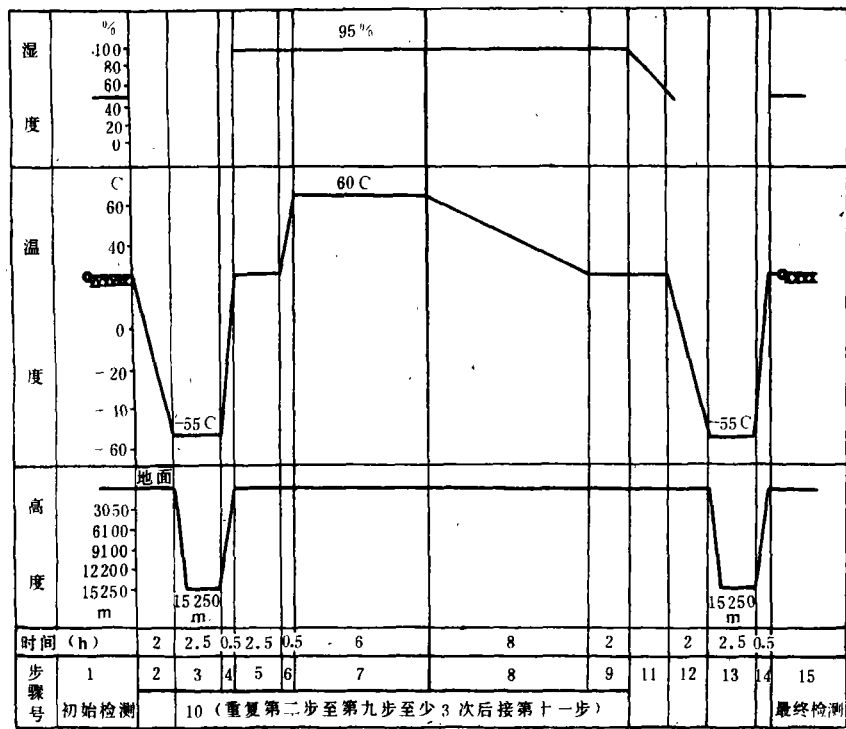
该试验主要用于装在飞机舱内的设备和一些

空运设备，特别是那些包含有弹性密封件的设备，半密封和不密封的带壳设备。

2. 三综合试验的主要内容

温度—湿度—高度试验控制图清楚地表明了这一综合试验的基本组成：

(1) 这一试验方法实际上分为两个阶段。第一阶段为低温低气压试验段，这一阶段模拟飞机在高空低速巡航飞行时遇到的低温低气压条件，即 -55°C 和 11.60kPa ，要求受试产品在低温低气压下保持 2 小时左右。第



图例说明：○温度达到稳定 ——设备不工作 ■■■设备工作并检测性能

温度—湿度—高度试验控制图

二阶段为高温高湿试验段,这一阶段模拟飞机在热带地区机场停放时,机载设备、外挂物遇到的高温高湿条件。标准中规定的温湿度指标为60℃和95%相对湿度。湿度在这一阶段一直不变,但温度要变化,在60℃保持6小时,室温保持4.5小时,其余8.5小时为温度变化过程。

(2) 这是一个多循环试验,至少要进行4次循环,以模拟反复执行任务中遇到的环境条件。

(3) 在试验过程,设备一直处于不工作状态。

3. 确定主要技术指标的依据

此综合试验标准中应用的环境应力,可以分成两部分来说明。

(1) 低温低气压段 这一阶段主要的环境应力指标是-55℃低温和15200米高空对应的压力11.60kPa。

一般飞机的巡航高度均在9000~15000米范围,据美国对战斗机和轰炸机进行的6000飞行小时的统计数据看,现代军用机大部分时间是在15000米高度以下飞行,可见综合试验标准中规定15200米高度能包括绝大部分民用和军用飞机的巡航高度范围。

机载设备在空中的环境温度取决于大气温度、飞机飞行速度、其在机上的舱位,以及周围有无发热设备等情况。15000米高空实际上是在同温层内,按照国际标准大气数据,同温层大气标准温度为-56.5℃。然而,飞行实际上是在非标准大气中飞行,因此其遇到的大气低温温度要低得多。根据航标HB5652.1-81《气候极值 大气温度极值》中规定的设计准则,航空产品设计一般采用1%风险率的温度极值。因此,根据这一准则,可从该航标中查得15000米高度上1%风险率的低温极值温度为-80.5℃。如果按这环境低温要求设计产品,则产品使用中可以耐受-80.5℃及其以下任何高空低温环境。由于出现-80.5℃以上极端低温的概率只有1%,飞机冒的风险也只有1%。-80.5℃的低温只是大气温度,由于飞机飞行中

气动加热,蒙皮温度要高得多,可以根据下述公式计算蒙皮温度:

$$T = T_0(1 + 0.178M^2)$$

式中: T ——蒙皮的绝对温度;

T_0 ——高空大气的绝对温度;

M ——马赫数。

根据上述公式就可计算出飞机在15000米高空,以0.8马赫数飞行时的蒙皮温度为-58℃。这一数值仅是理论的最低值,实测温度一般要高一些。必须指出,飞机在12000米高空以0.8马赫数飞行是最省油的,因此0.8马赫数是大多数飞机采用的最佳巡航速度。可以认为-58℃这一温度是有代表性的,当飞行速度降低时,蒙皮温度还要下降。我国对飞机高空低速飞行也进行过少量的低温实测,1973年在广州××机场上空对在16000米和15000米的高空低速飞行的××飞机蒙皮温度和空中大气温度进行过测量,测得的蒙皮温度分别为-50℃和-48℃,照相枪空间的温度分别为-46.9℃和-44.8℃,此时空中大气温度较相应高度上1%风险极值温度要高,为-71℃和-69℃。因此,如果大气温度为1%风险率的极值低温-86℃和-80.5℃,则蒙皮上测得的温度会更低。

上述理论计算和实测数据可以说明,标准中规定-55℃是一个相对合理的低温条件,这一温度与国内外温度试验标准中的贮存低温也正好一致。

(2) 高温高湿段 这一阶段实际上是一个恒定高湿下的温度循环试验,本综合标准规定的温湿度指标为60℃,95%。

必须指出,这一组温湿度条件在自然界中是不可能出现的。美国军标MIL-STD-810D表507.2-1《高湿日循环种类》中列出的高湿环境中自然界最高温度为28℃。IEC68号出版物有关部分中指出:“在某些实际情况,如化工厂、冶金厂、电镀厂、造纸厂和洗衣作坊等潮湿工作区中的人为高湿条件下的最高温度也只有45℃。”从舰船舱内测得的数据表明,相对湿度

高于95%时的最高温度只能达35℃。上述数据表明,无论是自然环境中,还是人为的诱发环境中,相对湿度95%以上时,不可能出现60℃的高温。因此,正如美国专家在810C背景分析资料中指出的那样,这是一种超常条件。试验采用了提高温度的办法达到加速的目的,这是一种工程处理办法。

总的说来,使用这一组超常的温湿度条件进行试验是非常严酷的。美国人自己对这一组条件已进行过两次修改,即从71℃降到65℃,从65℃降到60℃。810D中采用60℃,目前本系列标准的湿热试验也采用60℃。

4. 本标准的特点

从上面介绍本标准的主要内容可以看出,该综合标准具有以下主要特点:

(1) 技术指标和试验程序基本上与810C一致,但作了少量的修改和补充,即高温高湿段的温度从65℃下降到60℃,提供了温度—湿度—高度试验控制图,从而比810C更为清楚地表明了试验参数、试验步骤和试验时间的变化关系,便于使用。

(2) 该三综合试验实际上是低温低气压综合试验和温度湿度(湿热)综合试验的组合起来的多循环试验。试验可分为两个阶段,交替使用低温低气压和高温高湿条件。低温低气压条件代表了极端使用条件,高温高湿代表了超常条件。

三、与有关标准的比较

1. 与IEC68-2-39《低温、低气压和湿热综合序贯试验》、GB2423.27-81《低温/低气压/湿热连续综合试验方法》的比较 综合试验应是各环境因素同时控制并作用于产品的试验,据了解,目前国内外试验标准中真正进行温度—湿度—高度三综合试验的标准只有一个,即IEC68-2-39(GB2423.27—81等效采用此标准)。该IEC标准的目的和应用范围与本标准的三综合试验大致相同,都是模拟飞机升降期间其不增压、不控温的舱内的环境条件,主要用于装有弹性密封的非散热设备和配有很紧的

盖子而又没有排水孔的设备。不同的是IEC综合试验中要求在低气压下同时升温 and 加湿,而本标准的综合试验在压力恢复后才加湿。技术指标也不相同,IEC中低温的温度和低气压的压力不作硬性规定,可根据具体情况选定,温湿度段为30~35℃,95%,时间为1小时;而本标准则规定了一55℃,11.60kPa和60℃,95%,6小时的指标。目前还没有能执行IEC这一标准的试验箱,必须在低气压加热和真空泵进气口除湿方面采取技术措施,改造现有设备;而本标准不存在这一问题。

2. 与MIL-STD-810D方法520.1—3.2.3.2节温度—高度—湿度试验比较 这一试验用以模拟设备舱或座舱内的环境条件。尽管这一名称也是三综合试验,但实际上也是一种二因素试验组合起来的多循环试验。试验条件应根据标准中提供的方法来确定,在无法根据产品的使用环境和810D中的方法确定试验条件时,可参照标准中提供的合格鉴定试验等级来确定试验条件。该合格鉴定试验规定了一个温度,压力,湿度,冷却空气质量流以及设备工作、不工作状态的组合循环。每一循环总时间为4小时,包括贮存低温下1小时,低温工作0.5小时,湿热条件(43℃、75%)下浸泡1小时,贮存高温和低气压下1小时,高温工作0.5小时。可以看出,每次循环中设备只有部分时间处于二因素综合环境中,这一点是与本标准的三综合试验是相同的,只是指标有所不同。两者最大区别是810D的三综合试验的试验样品要工作,因为其试验的主要目的是考核环境变化对其产品工作性能的影响。

3. 与本系列标准的温度—高度试验中的低温低气压试验的比较 温度—高度试验中的低温低气压试验是功能试验,重点考核低温低气压条件下设备工作能否产生电击穿和打火等现象,而三综合试验则重点在于湿度造成的冷凝水的作用。试验方法上两者差别较大。

4. 与本系列标准中湿热试验的比较 从技术指标和试验曲线来看,三综合试验和湿热

试验中的程序 I、II 基本相同,均为 60℃ 和 95%。不同之处在于降温段,湿热试验中降温段相对湿度保持 85%以上,而三综合试验中保持 95%以上。三综合试验循环次数 4 次循环能起到积聚冷凝水的作用,但不能揭示长期暴露于高湿环境中设备受到的各种物理和化学影响,所以湿热试验的循环次数比三综合试验多得多,温湿度循环次数是达到湿热试验目的的重要参数。

四、本标准的应用

1. 严酷度等级的确定

此三综合试验标准仅提供一组低温低气压、高温高湿试验条件,显然这是一组十分严酷的条件。在实际使用中,一般不能完全套用这些条件,而应该根据设备将遇到温湿度和压力条件选编(过去译作“编织”)其适用的试验剖面。只有无法选编其特有的剖面时,才完全采用本标准规定的条件。例如 MIL-I-23659C《电引爆设计通用规范》,其试验基本程序与此综合试验相似,但严酷程度大大增加,如低气压试验高度改为 21000 米(低温温度未改变),高温高湿段温度改为 70℃(相对湿度 95%不变),试验时间更长,共进行 28 天。可见电引爆的试验要比此综合试验严酷得多,显然这与爆炸品的高度安全可靠的要求有关。又如导弹综合试验,通过对载机飞行任务剖面的分析,提出了不同的温度-湿度-高度试验剖面,其低温低气压段的参数改为 12200 米, -51℃,而温湿度试验参数改为 32℃, 90%。可见其温湿度条件比综合试验标准中规定的条件松得多,已经不是高温高湿试验,而是常温常湿试验。上述两个例子说明,在实际产品应用此试验时,应尽量根据本身将遇到的实际环境条件选编其特有的试验剖面。

2. 试验方法及设备要求

要在一个试验箱内完成温度-湿度-高度综合试验,目前还有不少困难,往往许多声称能做三综合试验箱子实际上不能做三综合试验,

而只具备分别做三种因素的单因素试验或二因素的组合试验的能力。目前国内外普遍认为,制造真正能进行温度-湿度-高度综合的试验箱,技术上是可能的,但造价很高,而且客观上进行这种试验的产品相对较少。因此许多专家认为,湿度的作用可用临时喷水蒸气产生凝露办法解决,或者用湿热箱和低温低气压箱来解决。事实上在 810C 和 781C 等标准中,并不要求控制湿度参数,只在必要时进行加湿。本三综合试验实际上也不要求温度、压力和湿度同时加以控制,因此不必一定要在一个试验箱中完成此试验,可用二箱法代替,即用一般的低温低气压箱和湿热箱联合起来。本试验中产品不工作,也不要求测性能,而且无论是低温低气压段,还是交变温湿度试验段,对试验箱均没有什么特殊要求,可见常规的温压箱和湿热箱就可使用。在试验中每一循环的第 4 步、第 9 步和最后的第 11 步倒箱,要注意避免造成温度冲击或其它影响。

航空部三〇一研究所可靠性和环境标准试验研究室已用二箱法对几个仪表进行了这一试验。试验证明, GJB150.19-86《温度-湿度-高度试验》是可行的,用 MZH-11H 和 MSL-11H 两台试验箱可以实现该标准规定的控制曲线。

参考资料

- [1] IEC68-2-39《低温、低气压和湿热综合序贯试验》
- [2] GB2423.27-81《低温/低气压/湿热连续综合试验方法》
- [3] MIL-STD-810D《环境试验方法和工程导则》
- [4] Test Tailoring in the 80'S JES1983.1/2
- [5] Environmental Synergisms in the Performance Assessment of Armament Electrical Connectors JES 1983.5/6
- [6] HB5652-1-81《气候极值 大气温度极值》