

环境试验作为可靠性试验的一种类型已经发展成为一种预测产品使用环境是如何影响产品的性能和功能的方法。也就是说，在产品投入市场之前，环境试验被用来评估环境影响产品的程度；当产品的功能受到了影响，环境试验被用来查明原因，并采取措施保护产品免受环境影响以保持产品的可靠性。这些试验已经远远地超过了其最初的目的，现在被广泛应用于包括材料和产品的研发、生产过程中的各种不同检查、运输之前的检验和运输后的质量控制，也被用来分析产品的实际使用过程中出现的缺陷以及新产品的改进。环境试验对于检测方法和保持产品可靠性是非常有效的。

我们这里讲的环境试验是狭义的，实际是指人工模拟的环境试验（以下称为环境试验）。广义上环境试验基本分为“自然暴露试验”、“人工模拟试验”和“现场运行试验”三类。自然暴露试验，是将样品长期暴露在自然环境条件下进行测试。现场运行试验，是将样品装置在各种典型的使用现场并使它处于正常运行状态进行测试。这两种试验都能直接反映产品实际使用中的性能和可靠性，也是验证人工模拟试验准确性的基础。但是试验周期都较长，花费人力物力大，并且前者试验条件不能控制，影响试验的再现性，且有时跟不上产品的发展；后者数据反馈慢。因此为了在较短时间内能鉴定产品对环境的适应能力，在科研和生产工作中多采用人工模拟环境试验，即在实验室的试验设备（箱或室）内模拟一个或多个环境因素的作用，并予以适当的强化。人工模拟试验的试验条件的确定，要求既能模拟环境中主要因素影响的真实性，又能在时间上起一定的加速作用，但是加速的程度不应改变产品实际损坏机理的规律。为此，人工模拟试验的试验条件和方法必须与产品环境条件的等级、数值有机地联系起来。

如图 1 所示，环境试验简单划分可分为“气候环境试验”、“机械环境试验”和“综合环境试验”。与气候有关的环境试验包括温度、湿度与压力等环境应力试验，而机械环境试验则包括冲击和振动等环境应力试验，综合环境试验则是综合气候和机械等环境因素的应力试验。

图 1 环境试验类型

环境试验

机械环境试验

综合环境试验

气候环境试验

所处环境应力：冲击、振动、碰撞、加速、高噪音、疾风

所处环境应力：机械环境和气候环境相结合的环境因素

所处环境应力：温湿度、气体、盐雾、风雨、压力、太阳辐射

当然，使用环境试验设备进行的试验并不可能完全精确地再现出产品的使用环境以及模拟出所有的环境因素，在这里必须理解环境试验的局限性。由单一因素（温度、湿度、压力、振动、冲击或某一物质如盐）构成的环境试验称之为简单环境试验。实际上产生完全单一的环境很困难，而且大部分试验环境都是十分复杂的。因此在设计试验条件时，试验人员需要选择对产品有最大影响最为重要的环境因素，所以说环境试验只能是一个与真实环境还存在很大区别的人为环境。一般性，产品的缺陷是由以下几个方面造成的：

- a. 原材料的浓度和多样性、摩擦、磨损、应力、热、电流以及电场强度，这些因素会影响产品某些方面的性能；
- b. 在产品设计和制造过程中由产品特性（原材料、制造工艺、结构部件以及大规模生产时）所引发的因素；
- c. 外界环境产生的应力。

因此，试验条件必须依据具体的产品条件而定，对于不同的产品是不一样的。如果被试验研究的产品发生了变化，相应的环境试验也要改变。

2. 温度应力

环境应力条件可以引起产品失效，Hughes 航空公司（美国）技术资料明确地表示了失效与环境应力之关（见图 2）。可见在各种应力影响之中温度和湿度环境应力所引发地失效占有环境应力引发失效的 60% 左右，而温度应力与失效之间存在着密切的关系。

目前，在世界各地，无论从陆地到海洋或者从高空到宇宙空间，都广泛地使用电子电工以及其他领域的产品。由于气温随着高度的增加而降低或在冬季高纬度地区，或者有些产品所在位置接近制冷元件、设备或系统，或者有些产品本身就包括制冷元件、设备或系统，从而产生低温环境。低温几乎对所有的材料都会产生不同程度的有害影响，构成产品的各种材料的物理性能、电性能等将发生变化，导致暂时性或永久性的性能下降，甚至引起失效。

同样，低纬度热带地区的自然高温、太阳辐射的增温、通风不良引起的温升以及散热样品在使用中自身发热引起的温升等产生的高温，高温会使电子组合可靠性下降，机械结构的密封件、橡胶件和塑料件等受高温和太阳照射作用会迅速老化和劣化，其他各种材料的结构、物理性能、电性能也会发生很大的变化，导致暂时或永久性的损伤和性能变化。

另外，在产品贮存、运输、使用和安装过程以及中，除自然气候的变化以外，也会遇到因人类的社会实践而诱发的环境温度的变化。例如设备从温度较高的室内移到温度相对较低的室外；或者从温度相对较低的室外移到温度较高的室内；或者在室外使用的设备在强烈的太阳辐射之后突然降雨或浸到冷水；或者温度的极度升高导致焊锡回流现象出现，或者启动马达时周围器件的温度

急速升高，关闭马达时周围器件会出现温度骤然下降；或者设备可能在温度较低地环境中连接到电源上，导致设备内部产生陡峭的温度梯度，在温度较低地环境中切断电源可能会导致设备内部产生相反方向陡峭的温度梯度；或者当航空器起飞或者降落时，航空器机载外部器材可能会出现温度地急剧变化等等。由于急剧的温度变化将使产品受到一定热冲击力，在这种热冲击力的作用下，将导致电子电工元件的涂覆层脱落、密封材料龟裂甚至破碎、填充材料泄漏等，从而引起电子器件电性能下降；对于由不同材料构成的产品，由于温度变化时产品受热不均匀，导致产品变形、开裂、破碎等。由于温度变化产生较大的温差，低温时产品表面会产生凝露或结霜，高温时蒸发或融化，如此高低温反复作用的结果导致和加速了产品的腐蚀。

下表给出了温度应力引发失效的主要类型。

表 2 温度应力引发失效的主要类型

失效			环境应力条件	敏感元件和材料
大分类	中分类（原因）	失效模式		
温度	高温老化	老化	抗拉强度老化 绝缘老化	温度+时间 塑料、树脂
		化学变化	热分解	温度 塑料、树脂
		软化、熔化、汽化、升华	扭曲	温度 金属、塑料、热保险丝
		高温氧化	氧化层的结构	温度+时间 连接点材料
		热扩散(金属化合物结构)	引线断裂	温度+时间 异金属连接部位
中级破坏	半导体	热点	温度、电压、电子能	非均质材料
热积聚燃烧	(剩余的热燃烧)	燃烧	加热+烘干+时间	塑料(例如带有维尼纶和聚氨酯油漆的木质芯片)
穿刺	内在的	短路 绝缘性差	高温(200~400℃)	银, 金, 钢铁, 镁, 镍, 铅, 钡, 铂, 钽, 钛, 钨, 铝
	非内在的	短路 绝缘性差	高温(400~1000℃)	铜, 银, 铁, 镍, 钴, 锰, 金, 铂和钡的卤化物

迁移	电迁移	断开, 引线断裂	温度 (0.5Tm) + 电流 (密度为 $10^6\text{A}/\text{cm}^2$)	例如钨, 铜, 铝 (特别是 集成电路中的铝引线)
蔓延	金属	疲劳, 损坏	温度+应力+时间	弹簧, 结构元件
	塑料	疲劳, 损坏	温度+应力+时间	弹簧, 结构元件
低温易脆	金属	损坏	低温	体心立方晶体 (例如铜, 钼, 钨) 和密排立方晶体 (例如锌, 钛, 镁) 及其 合金
	塑料	损坏	低温+低湿度	高玻璃化温度 (例如纤维 素乙炔氨), 低弹性的非 晶体 (例如苯乙烯, 丙烯 酸甲酯)
焊剂流动	焊剂流粘到冷 金属表面	噪声, 连接不实	低温	特别是连接到印刷电路 板上的元件 (例如开关, 连接器件)

因而, 当讨论与温度有关的产品寿命时, 一般采用“ 0°C 规则”的表达方式。具体应用时可以表达为“ 10°C 规则”等, 例如当周围环境温度上升 10°C 时, 产品寿命就会减少一半; 当周围环境温度上升 20°C 时, 产品寿命就会减少到四分之一。这种规则可以说明温度是如何影响产品寿命 (失效) 的。

反之, 人们可以在较短的时间内, 利用升高环境温度或降低环境温度或利用超高温和超低温的交替来加速产品的失效现象发生, 确定产品的特性变化以及由于构成元器件的异种材料热膨胀系数不同而造成的故障问题。多应用于开发筛选试验、材料特性试验、极限试验、评估试验、品质确认试验、加速寿命老化试验等多种场合的需要。

3. 温度试验设备

温度试验设备一般由工作室、调节设备、辅助设备、控制系统组成。其中调节系统包括加热器、蒸发器和送风装置等, 辅助设备主要室制冷机组, 控制系统包括温度控制器、程序设定器、安全报警装置等。

加热器多用电阻丝或电热管的电加热方式实现；除了对无散热试样高温试验的干燥箱可以采用自然加热以外，一般都要都配有送风装置进行强迫空气循环，送风方式多用上侧送下侧回或全面孔板顶送下侧回的方式，对于整个试验设备的均匀性能很重要。

制冷方式使用较多为机械制冷，冷冻机有半封闭或全封闭形式，冷却回路也有水冷形式或空冷形式，冷媒现已多采用环保型冷媒，节流方式采用毛细管或者电子膨胀阀方式，可以提高精度和回路的寿命，并且能长期连续工作。

控制系统现在一般采用 PID 方式，使加热功率随设备实际温度与设定温度偏差自动进行调节、控制，实现无级调节，温度波动度小；显示部分也由以前数显方式提升到液晶触摸屏方式，例如 ESPEC 集团的 P 计装就是采用 6.54 英寸 TFT 彩色液晶显示画面，清晰美观，更便于操作。

另外，设备的保温层采用玻璃棉或者聚氨酯发泡层，导热系数小，耐高温性好。温度检测采用热电偶、铂电阻和热敏电阻方式等，精度高。

进行温度试验时需要考虑详尽周全，所以考虑选择相应合适的试验设备也是至关重要的。

1. 必须要求测试范围要满足产品失效可能性试验范围，即无论是高温箱还是低温箱或者冷热冲击箱都应能够满足试验要求所规定的极值温度条件。
2. 必须以保证试验样品的体积不应大于试验设备工作容积的 1/5 的原则来选择试验设备。
3. 为保证试验区内温度的均匀性，根据样品的散热性来选择是否采用强迫空气循环或无强迫空气循环方式。例如上海 ESPEC 生产的 LG 型干燥箱采用热风自然对流方式，特别适宜粉状物干燥，而 LC 型干燥箱就采用热风强制循环方式。设备温度分布的差异对试验结果影响会更大，当采用较大的样品时，或者在同一时间测试的样品数量较大时，试验的结果将随着位置的不同而存在很大差别，因此应该选择温度均匀性尽可能好的设备。例如上海 ESPEC 生产的 Z 系列调温箱，均匀性达到 2.0℃。
4. 样品温度有采用上风 and 采用下风传感器温度测量两种方式。设备的温度控制传感器位置及控制方法是可以选择的，要根据试验要求选择合适的设备。
5. 防止试验区产生热辐射或者热传导所引起的样品吸热或放热，要求设备的加热或冷却系统装置对样品无影响。
6. 便于记录、显示，进行循环试验时要求安装自动计数器、指示灯、记录设备以及自动关闭等仪表装置。
7. 便于样品放置可以要求用于放置或悬挂的样品架，且样品架不会因高低温变化改变其机械性能。
8. 应具有将测试电源引入设备工作室内的引线孔。

9. 无论对于样品的损坏性和试验人员安全都要有保护防范措施。例如设有观察窗及照明，设有电源断相、缺水、超温保护、操作人员保护等报警装置。

10. 是否需要远程遥控监测功能。

使用温度试验设备时的注意事项：

1. 进行大块样品试验时上升气流和下降气流会出现温湿度偏差，因此应该仔细考虑放置样品位置。尽量放置在试验设备工作空间的中心位置上，样品之间不得互相接触和重叠，应留有一定的间隔以使空气流通；而且还应该保证进行试验时样品易于移动，测试时容易替换样品。

2. 检查试验区内有无油气等易挥发性物质，检查有无气味的物质，这类物质试验后果必须预先进行确认。

3. 注意确认试验区内试验样品的温度状况。

4. 为保持温度区内温度一致，需要尽可能保证试验环境温度及设备动力电源波动最小，确保试验样品不产生热辐射并不吸收热量从而保证试验区温度平稳。

5. 在温度试验设备结束测试以后，迅速取走试验样品会对样品产生不必要的应力，并可能得到意想不到的结果。因此，必须在试验样品冷却到环境温度后才能取出样品。

6. 试验样品的安装和支撑架的热导率应低，以保证试验样品与安装和支撑架间处于一种绝热状态。

不同产品的试验内容是由试验要求者、设计者以及试验人员共同决定的。从提供试验相符合的试验设备的角度出发，建立一个试验设备的技术规格框架，试验设备供应商可以根据这个框架来提供设备的具体规格。每一种可模拟试验环境的试验设备一般都有测量系统，因此使用现成的设备和购买新设备都是非常容易的。简单的试验设备也可以自己动手制造，但是要考虑成本、试验结果的可靠性、精确控制程度以及连续运转的安全因素等。

结语

环境试验是一个可使产品增值的过程，不容忽视。而温度型环境试验作为环境试验中最为基础的一种，运用领域及其广泛，大大提高了我国军用和民用产品的环境适应性和可靠性，并直接导致了产品的质量提升。本文就温度应力和相关的温度型环境试验设备作了简单的基础的介绍，根据使用要求准确选择使用，才能达到环境试验的真正目的。