

中华人民共和国国家军用标准

FL 0109

GJB 150.7A-2009
代替 GJB 150.7-1986

军用装备实验室环境试验方法 第7部分：太阳辐射试验

Laboratory environmental test methods for military materiel—
Part 7: Solar radiation test

2009-05-25 发布

2009-08-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言	11
1 范围	1
2 引用文件	1
3 目的与应用	1
3.1 目的	1
3.2 应用	1
3.3 限制	1
4 剪裁指南	1
4.1 选择试验方法	1
4.2 选择试验程序	2
4.3 确定试验条件	3
5 信息要求	5
5.1 试验前需要的信息	5
5.2 试验中需要的信息	5
5.3 试验后需要的信息	5
6 试验要求	5
6.1 试验设备	5
6.2 试验控制	7
6.3 试验中断	8
7 试验过程	8
7.1 试验准备	8
7.2 试验程序	9
8 结果分析	10
附录 A (资料性附录) 太阳辐射试验详细指南	13

前 言

GJB 150《军用装备实验室环境试验方法》分为 28 个部分：

- a) 第 1 部分：通用要求；
- b) 第 2 部分：低气压(高度)试验；
- c) 第 3 部分：高温试验；
- d) 第 4 部分：低温试验；
- e) 第 5 部分：温度冲击试验；
- f) 第 7 部分：太阳辐射试验；
- g) 第 8 部分：淋雨试验；
- h) 第 9 部分：湿热试验；
- i) 第 10 部分：霉菌试验；
- j) 第 11 部分：盐雾试验；
- k) 第 12 部分：砂尘试验；
- l) 第 13 部分：爆炸性大气试验；
- m) 第 14 部分：浸渍试验；
- n) 第 15 部分：加速度试验；
- o) 第 16 部分：振动试验；
- p) 第 17 部分：噪声试验；
- q) 第 18 部分：冲击试验；
- r) 第 20 部分：炮击振动试验；
- s) 第 21 部分：风压试验；
- t) 第 22 部分：积冰/冻雨试验；
- u) 第 23 部分：倾斜和摇摆试验；
- v) 第 24 部分：温度-湿度-振动-高度试验；
- w) 第 25 部分：振动-噪声-温度试验；
- x) 第 26 部分：流体污染试验；
- y) 第 27 部分：爆炸分离冲击试验；
- z) 第 28 部分：酸性大气试验；
- aa) 第 29 部分：弹道冲击试验；
- bb) 第 30 部分：舰船冲击试验。

本部分为 GJB 150 的第 7 部分，代替 GJB 150.7-1986《军用设备环境试验方法 太阳辐射试验》。

本部分与 GJB 150.7-1986 相比有重大改变，主要变化如下：

- a) 删除了 GJB 150.7-1986 中的“试验条件”，增加了确定试验方法、试验顺序、试验程序和试验条件的剪裁指南；
- b) 增加了对试验信息的要求；
- c) 增加了“附录 A 太阳辐射试验详细指南”；
- d) 用“辐照度”代替原来的“辐射强度”；
- e) 试验光谱中的可见光辐照度与原来不同；
- f) 程序 I 增加了一组温度条件；
- g) 程序 II 增加了两种温度条件；

- h) 增加了对湿度的考虑;
- i) 程序 I 中辐照度与温度随时间变化的试验剖面与原来不同;
- j) 提出了确定程序 I 和程序 II 循环次数的方法;
- k) 对试件响应温度的测定、辐照度测量仪表的技术指标和试验箱的校准提出了要求并作了相应规定;
- l) 对辐射灯的选择提供了指导;
- m) 对试验中断处理比原来的规定增加了一条。

本部分附录 A 是资料性附录。

本部分由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本部分起草单位:信息产业部电子第五研究所、中国航空综合技术研究所、航天科技集团五院 511 所。

本部分主要起草人:王 忠、夏越美、臧友竹。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

GJB 150.7-1986。

军用装备实验室环境试验方法

第 7 部分：太阳辐射试验

1 范围

本部分规定了军用装备实验室太阳辐射试验的目的与应用、剪裁指南、信息要求、试验要求、试验过程和结果分析等内容。

本部分适用于对军用装备进行太阳辐射试验。

2 引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GJB 150.1A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第 1 部分：通用要求

GJB 150.3A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第 3 部分：高温试验

GJB 4239 装备环境工程通用要求

3 目的与应用

3.1 目的

本试验的目的：

- a) 确定太阳直接辐射对装备产生的热效应；
- b) 确定太阳直接辐射对装备产生的光化学效应。

3.2 应用

本试验用于评价寿命期炎热季节直接暴露于太阳辐射环境中的装备耐受太阳辐射产生的热效应或光化学作用的能力。

如果使用的辐射灯与不同地区和海拔高度的自然太阳辐射量值具有合理的对比关系，那么本试验程序 II(见 4.2.1)也可用于模拟不同地区和海拔高度的太阳紫外辐射效应。

3.3 限制

本试验需要注意以下几点：

- a) 由于本试验不能模拟所有的自然气候环境条件(见附录 A.7)，因此在条件允许的情况下，最好在合适的自然场地对装备进行自然环境试验；
- b) 如果试验需要剪裁或关注特殊波长的光，则辐射灯的光谱可以偏离表 1，但应说明偏离的详细理由；
- c) 本试验不适用于封闭环境内均匀热效应的模拟，也不适用于遮蔽区域内和遮盖贮存条件下非直接热效应(见 GJB 150.3A-2009)的模拟；
- d) 由于辐照度不同，本试验不适用于空间环境。

4 剪裁指南

4.1 选择试验方法

4.1.1 概述

分析有关技术文件的要求，应用装备(产品)订购过程中实施 GJB 4239 得出的结果，确定装备寿命

期内太阳辐射环境出现的阶段，根据下列环境效应确定是否需要进行本试验。当确定需要进行本试验，且本试验与其他环境试验使用同一试件时，还需确定本试验与其他试验的先后顺序。

4.1.2 环境效应

4.1.2.1 热效应

与高温产生的热效应不同，太阳辐射的热效应具有方向性，并产生热梯度。在太阳辐射试验中，热量的吸收或反射主要取决于被辐射表面的粗糙度和颜色。太阳辐照度的变化导致不同材料和部件以不同速率膨胀或收缩，从而产生严酷的应力并破坏结构的完整性。

为有助于确定本试验是否适用于受试装备，除考虑 GJB 150.3A-2009 指出的效应外，还应考虑下列典型效应：

- a) 活动部件卡死或松动；
- b) 焊接和胶粘部位的强度降低；
- c) 强度和弹性发生变化；
- d) 联动装置不能校准或失灵；
- e) 密封完整性破坏；
- f) 电气或电子部件发生变化；
- g) 电触点过早动作；
- h) 合成橡胶和聚合物性能发生变化；
- i) 涂层、合成材料和采用粘合剂胶粘的表面层压材料(如雷达波吸收材料)起泡、脱落和分层；
- j) 封装化合物软化；
- k) 压力变化；
- l) 合成材料和炸药热析；
- m) 装备操作困难。

注：以上所列并未包括所有的效应。

4.1.2.2 光化学效应

除产生热效应外，太阳辐射(尤其是其中的紫外线)还会产生光化学效应。由于光化学反应的速率一般随温度升高而加快，因此应使用全光谱充分模拟太阳辐射的光化学效应。下列为光化学效应导致劣化的例子，但所列并不全面。

- a) 织物和塑料颜色变色；
- b) 涂层开裂、粉化和变色；
- c) 较短波长辐射引起的光化学反应导致天然橡胶、合成橡胶和聚合物劣化。

4.1.3 选择试验顺序

4.1.3.1 一般要求

见 GJB 150.1A-2009 中的 3.6。

4.1.3.2 特殊要求

太阳辐射试验在试验顺序中一般不作限制，但高温或光化学效应可能影响材料的强度或尺寸，以致影响后续试验(如振动试验)的结果，对此宜予以考虑。

4.2 选择试验程序

4.2.1 概述

本试验包含两个试验程序：程序 I——循环试验和程序 II——稳态试验。确定要使用的试验程序。两个程序都可用于确定光化学效应，但程序 II 所需试验持续时间较短。

4.2.2 选择试验程序考虑的因素

选择试验程序应考虑下列因素：

- a) 装备的使用目的。装备的使用目的决定了评价试件在试验期间和试验后的性能所需要的功能模

式和试验数据。

- b) 预期的部署区域。
- c) 装备的技术状态。
- d) 预期的暴露环境(使用、运输、贮存等)。
- e) 预期暴露于太阳辐射环境的持续时间。
- f) 预计试件出现问题的部位。

4.2.3 各程序的差别

两个程序都是将试件暴露于模拟的太阳辐射环境中,但由于考虑的重点不同,所用的太阳辐射载荷和加载的时间不同。

程序 I 着重于太阳辐射产生的热效应,它将试件暴露于模拟世界实际最大量级的太阳辐射中,24h 为一个循环。

程序 II 着重于加速太阳辐射产生的光化学效应,它是将试件暴露于强化的太阳辐射载荷中(约为正常量级的 2.5 倍),也是 24h 为一个循环。每个循环包含 4h 无辐射期,以加速实现在正常太阳辐射载荷下需要较长时间才能积累起来的光化学效应。实际产生的加速速率与材料的特性有关,2.5 倍于自然太阳辐射载荷的暴露不一定能提供 2.5 倍的加速结果,但如果该试验产生的失效机理与真实环境中预期出现的失效机理相同,则该程序是一种更快速的试验。

两个程序的差异如下:

- a) 程序 I——循环试验(热效应)。当装备暴露于户外炎热的气候环境并期望在暴露期间和暴露后不降低性能时,应使用程序 I 检测装备对太阳辐射的响应温度。当装备受到非均匀加热的影响(见 4.1.2.1),或太阳辐射导致的加热量级或加热机理不清楚时,最好采用太阳辐射试验而不用 GJB 150.3A—2009 规定的高温试验。程序 I 可使用单一发热的红外辐射灯,若采用全光谱光源,则还可对光化学效应进行有限的评价。仅当构成装备的材料颜色和各部分结构相同或相似时,才使用红外辐射灯进行试验。由于玻璃会削弱太阳光谱中的红外部分,因此当玻璃是装备结构的一部分,或所关心的组成部分暴露于透过玻璃的太阳辐射时,则应使用全光谱辐射灯,除非证实使用红外辐射灯时红外透射不受影响。
- b) 程序 II——稳态试验(光化学效应)。程序 II 用于检测长期太阳辐射对装备产生的影响。光化学效应通常在装备表面接收大量阳光照射(还有热和湿气)后才会产生,而采用程序 I 需要几个月时间才能达到此目的,因此采用重复正常太阳辐射量的长期循环(见程序 I)来产生光化学效应是不经济的。程序 II 是一种加速试验方法,以缩短再现长期暴晒累积效应的时间,每 24h 循环中的 4h 无辐射期是为了使试件的物理和化学状态回到无辐射条件下的“正常状态”,在此期间试件还会经受一定程度的热应力。

4.3 确定试验条件

4.3.1 概述

选定本试验和相应程序后,还应根据有关文件的规定和为该程序提供的信息,选定该程序所用的试验条件和试验技术。应确定日循环、试验持续时间、相对湿度、光谱分布、温度等试验参数和试件的技术状态,确定时应考虑 4.3.2~4.3.8 的内容。

4.3.2 日循环

4.3.2.1 程序 I 包括 3 种高温日循环,图 1 给出了对应于程序 I 的 A1~A3 类别的温度和太阳辐射日循环。根据装备预期经受的气候环境或装备实测数据以及下列内容来选择试验条件:

- a) 循环 A1 的峰值条件为 $1120\text{W}/\text{m}^2$ 和 49°C ,代表了世界范围内的最热条件,在最热地区最热月份中出现和超过这一条件的小时数不超过 1%,这些最严酷地区具有十分高的温度并伴随高强度太阳辐射,例如中国新疆的沙漠地区、北非炎热与干燥的沙漠地区、中东的部分地区、印度北部和美国的西南部地区;

- b) 循环 A2 的峰值条件为 1120W/m^2 和 44°C ，代表了较不严酷的条件，其所在地区具有高温和中等偏低的湿度并伴随高强度太阳辐射，例如中国大部分地区、欧洲最南部地区、澳洲大陆的大部分地区、东南亚、非洲的北部和东部地区、北非的沿海地区、美国的南部和墨西哥的大部分地区；
- c) 循环 A3 的峰值条件为 1120W/m^2 和 39°C ，代表了更不严酷的条件，其所在地区在一年中至少部分时间经历中等偏高温和中等偏低湿度条件，特别代表了欧洲最南部以外的地区、加拿大、北美和澳洲大陆的南部地区。

4.3.2.2 程序 II 包括 3 种循环，其相应的温度和太阳辐射量值见图 2，试验条件的选择见 4.3.2.1。

4.3.3 试验持续时间

4.3.3.1 程序 I

至少进行 3 次循环，最多进行 7 次循环。每次循环时间为 24h，按图 1 所示或按技术文件的规定对太阳辐射和干球温度加以控制。

至少进行 3 次循环的理由是大多数情况下，在其他试验条件确定的情况下，试件经历 3 次循环就可以达到最高响应温度(即末次循环达到的响应温度峰值与前一次循环达到的响应温度峰值之差在 2°C 以内)。

若在 3 次循环期间没有达到最高响应温度，则进行更多次循环，直到试件达到最高响应温度为止，但最多不宜超过 7 次循环，这是因为对于选定的气候地区高温峰值在极端热的月份大约出现 7h。若需要更精确的模拟，则应查询需要考虑的特殊地区的气象数据，详细说明理由和提出充分证据，以此可调整试验的持续时间。若可能的话还应说明纬度、海拔、预期暴露的月份或其他因素(例如某个产品专门在北方使用或专门在冬天使用)。

在保证每次循环太阳辐射总能量保持不变的前提下，该程序每次循环的上升段和下降段可以分别采用至少 4 个量值(8 个量值更好)来分段或连续改变辐照度。

4.3.3.2 程序 II

就试件接收到的总能量而言，程序 II 的 1 次 24h 循环(图 2 所示)提供的能量约为 1 次 24h 自然太阳辐射日循环的 2.5 倍。程序 II 的每次循环含有 4h 无照射期，以使热应力和所谓的“黑暗”过程交替出现。

为了模拟 10d 的自然暴露，可以按图 2 所示进行 4 次循环。

对于偶然在户外使用的装备，如便携式装备等，建议进行 10 次循环。

对于连续暴露在户外条件的装备，建议至少进行 56 次循环。

由于有过热危险，不要使辐照度超过规定的量值。目前尚无证据表明这种加速试验的结果与装备在自然太阳辐射条件下得到的结果之间的相关性。

4.3.4 湿度

在自然环境中相对湿度的量值各不相同，在很多情形下湿度、温度和太阳辐射综合对装备造成有害影响。若已知或认为装备对相对湿度敏感，则在程序 I 的试验要求中应包括湿度条件。湿度条件由实测值来确定，也可参考有关标准确定。

4.3.5 光谱的分布——海平面与高海拔地区

建议一般使用表 1 所示的国际公认光谱进行试验，该光谱更接近于海平面以上 $4\text{km}\sim 5\text{km}$ 的实际环境。与海平面相比，高海拔地区的太阳辐射含有更大比例的有害紫外辐射。如果使用表 1 所示的光谱评价海平面太阳辐射对试件的影响效应，则在试验期间试件预期的劣化速度可能比使用海平面相应光谱产生的劣化速度要快，此时宜对试验持续时间作相应调整。

4.3.6 风速

保持适当的风速是应用程序 I 和程序 II 的关键。应控制风速，以免试件产生不符合自然条件下的响应温度。因此进行本试验前应确定装备在自然条件下将经受的最高响应温度。最高响应温度可采用现场

或平台数据, 根据确定的最高响应温度来调节风速。

对于程序 II, 当试验前无法获知装备在自然条件下将经受的最高响应温度时, 也可采用程序 I 来确定装备的近似最高响应温度, 此时风速宜尽可能小。建议按程序 I 对完整的试件做一个预备试验(最少一个完整循环)来确定试件的近似最高响应温度。若不能使用完整的试件, 则可使用模拟件代替完整的试件。模拟件应能代表试件的实际颜色、表面粗糙度和绝热度等, 并对试件任何内在的加热效应都要模拟。模拟件的预备试验仅仅用于确定试件的近似最高响应温度, 不是用于代替程序 I 或程序 II。如果要对多个相同的试件进行试验, 则可选取一个或多个试件进行预备试验以确定最高响应温度。由于光化学效应很大程度取决于太阳辐射光谱(也与辐照度和持续时间有关), 因此预备试验光谱应尽可能接近自然日光。

4.3.7 试件的技术状态

试件的技术状态应与装备暴露于自然太阳辐射的实际状态相同。试件相对于辐射方向的取向对热效应会产生显著影响。若已知试件的某些部位对辐射效应敏感, 则调整试件与辐射灯的相对方向来模拟自然的日循环。按照技术文件的要求安装试件, 尽可能模拟装备实际部署时的状态, 进行安装时可采用规定特性的支架或底座(例如规定厚度的混凝土层或具有一定反射率的沙床)进行模拟。

4.3.8 试件工作

4.3.8.1 一般要求

当需要试件工作时, 一般要求见 GJB 150.1A-2009 中 3.9.2。

4.3.8.2 特殊要求

当需要试件工作时, 特殊要求如下:

- a) 采用最大能耗的工作模式(产生最多热量)。
- b) 若电压的变化会影响试件的热耗散或热响应, 则指明试件输入电压的变化范围。
- c) 引入装备使用期间通常使用的冷却介质(如强迫的空气或液体冷却剂)。考虑冷却介质的入口温度和流速, 使其既能代表典型的温降和流速, 也能代表最差情形下的温降和流速。

5 信息要求

5.1 试验前需要的信息

一般信息见 GJB 150.1A-2009 中的 3.8, 特殊信息如下:

- a) 程序 I 日循环包含的湿度条件(适用时);
- b) 试件的工作要求;
- c) 辐射灯的光谱;
- d) 温度测量方法。

5.2 试验中需要的信息

一般信息见 GJB 150.1A-2009 中的 3.11, 特殊信息如下:

- a) 试验箱温度和辐照度随时间变化的记录;
- b) 试件温度随时间变化的记录。

5.3 试验后需要的信息

一般信息见 GJB 150.1A-2009 中的 3.14, 特殊信息如下:

- a) 温度传感器在试件上的位置;
- b) 试件的温度和暴露周期数;
- c) 辐射灯的标识。

6 试验要求

6.1 试验设备

6.1.1 基本要求

试验设备由试验箱(室)、辅助测量仪表和太阳辐射灯组成,其基本要求如下:

- a) 能够保持和监测试验要求的温度、风速和辐照度,并符合 GJB 150.1A-2009 中 3.18 的规定。
- b) 应考虑两种程序的风速对试件可能产生的冷却效应。1m/s 的风速就能导致温升减少 20%以上。除另有规定外,应测量并控制试件附近的风速,并使其尽可能小,通常在 0.25m/s~1.5m/s 之间。
- c) 为最大程度地减小或消除来自试验箱内表面的辐射反射,通常试验箱的容积至少为试件外壳体积的 10 倍。

6.1.2 底座

安装试件的底座可以是一个凸起的支架或具有规定特性的底座。例如按照产品技术文件的规定,可采用规定厚度的混凝土层或具有传导性和反射性的沙床。

6.1.3 太阳辐射灯

6.1.3.1 太阳辐射灯包括发热的辐射灯(用于程序 I)或模拟太阳光谱的辐射灯(用于程序 II 或程序 I)。

6.1.3.2 使用 $1120\text{W}/\text{m}^2 \pm 47\text{W}/\text{m}^2$ 的最大辐照度,确保试件受到均匀辐射,并且在试件的上表面所测得的辐照度偏差不超过要求值的 10%。当需要评估光化学效应时,应确保辐照在试件表面上的光谱分布与表 1 所示相一致(在给定的允差范围内)。当仅评估热效应时,应至少保证所用光谱的可见光和红外线部分符合表 1 的规定。若达不到,可偏离表 1 的光谱分布,但应调整辐照度以得到与表 1 所列光谱相同的加热效应。为了确定所需的调整量,可选用下列方法之一:

- a) 利用以下信息用数学方法计算调整量:
 - 1) 被辐射表面的光谱反射率或透射率;
 - 2) 所用辐射灯的光谱能量分布(包括任何有关的反射器或玻璃对光谱的影响效应)。
- b) 通过对能代表装备特性(最重要的特性是颜色和表面粗糙度)的试样做预先试验来确定调整量:
 - 1) 测量在自然太阳辐射条件下试样相对于周围空气温度的温升;
 - 2) 收集在自然条件下试验的足够数据来计算流经试样的气流冷却效应(户外条件几乎没有零风速),推断在无风条件下自然太阳辐射导致的温升;
 - 3) 测量在模拟太阳辐射条件下试样相对于周围空气温度的温升;
 - 4) 比较 2) 和 3) 的温升结果;
 - 5) 调整辐射灯的辐照度,使试样在试验箱模拟环境中的温升与自然太阳辐射条件下的温升具有可比性。

表 1 光谱能量分布和允差

特性	光谱范围			
	紫外线		可见光	红外线
波长范围 μm	0.28~0.32	0.32~0.40	0.40~0.78	0.78~3.00
辐照度 W/m^2	5	63	560	492
辐照度允差 %	± 35	± 25	± 10	± 20

注:到达地球表面波长小于 $0.30\mu\text{m}$ 的辐射量是很小的,但对材料的劣化效应可能很显著。如果装备在自然环境中不会受到波长小于 $0.30\mu\text{m}$ 的短波辐射而在试验中受到这种辐射时,则其材料可能产生不必要的劣化;与此相反,如果装备在自然环境中会受到波长小于 $0.30\mu\text{m}$ 的短波辐射而在试验中没有受到这种辐射时,则会导致本来不合格的材料可能通过试验。这完全取决于材料的特性及其使用的自然环境条件。

表 2 仪表误差要求

测量仪表	测量参数	误差
总辐射表/直接日射表	总辐射(直射和散射)	$\pm 47\text{W/m}^2$
分光辐射表或滤光总辐射表	光谱辐照度	读数的 $\pm 5\%$

对于总辐射表的要求如下:

- a) 光谱范围: $0.280\mu\text{m}\sim 2.500\mu\text{m}$ ($3.000\mu\text{m}$ 更好);
- b) 方位响应误差: $\pm 1\%$;
- c) 余弦响应误差: $\pm 1\%$;
- d) 非线性误差: $< 1.5\%$;
- e) 倾斜误差: $< 1.5\%$;
- f) 工作温度: $-40^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$;
- g) 灵敏度: $\pm 2\%$ ($-10^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$)。

6.2.4 试验箱的校准

当仅关心热效应时,试验箱的校准应确保红外辐射能量施加在试验辐射区内;当仅关心光化学效应时,试验箱的校准应确保太阳辐照度和光谱分布施加在试验辐射区内。试验箱内没有试件时,则在试件预计占据区域的上方进行测量,即在与试件上表面位置约等高的水平面上进行测量,并确保辐照度偏差在要求值的 10%以内;若试验箱内有试件时,则在试件上方接近上表面处测量得到的辐照度偏差应在要求值的 10%以内。随着大多数辐射灯的老化,其光谱输出会发生变化。为了确保太阳辐射试验箱满足规定要求,辐射灯每累计工作 500h 就应对其光谱分布、辐照度和均匀性至少进行一次彻底检查,并且在每次试验前后都应对试验箱的辐照度和均匀性做一次检查。

6.3 试验中断

一般要求见 GJB 150.1A—2009 中的 3.12。特殊要求如下:

- a) 欠试验中断。任何欠试验中断后都应重新稳定到规定的量值并从中断点处继续试验,但程序 I 出现下述情况除外,即若在程序 I 最后一个循环进行了 19h 后出现中断,则可认为试验已完成,因为试验至少已完成 92%。并且在余下的试验期间温度和太阳辐射量值已减低,试件出现故障的可能性很低。
- b) 过试验中断。任何过试验中断发生后都要对试件进行彻底检查,以查实过试验的影响。由于很难说明过试验中断后继续试验中试件出现的故障与过试验无关,因此应使用新的试件重新试验。

7 试验过程

7.1 试验准备

7.1.1 试验前准备

试验前,根据有关文件确定:

- a) 试件技术状态;
- b) 试验程序;
- c) 采用的日循环;
- d) 试验持续时间(循环次数);
- e) 试件表面污染物需去除的程度(见 6.2.2);
- f) 试件贮存或工作的参数量值;
- g) 试验前后的对比信息(例如试验前后是否需要拍对试件拍照和提取试件的材料样本)。

7.1.2 初始检测

- f) 在最后一次辐射循环结束时，将试件恢复到标准大气条件。
- g) 按 7.1.2 b) 和 7.1.2 d) 对试件进行外观检查和工步检测，并记录结果。为便于试验前后对检查结果进行比较，必要时可对试件拍照并提取试件的材料样本。

8 结果分析

除 GJB 150.1A-2009 中 3.17 提供的指南外，下列信息也有助于评价试验结果：

- a) 程序 I：在温度峰值条件下和恢复到标准大气条件后，试件性能和特性的改变都不能出现不满足产品规范要求的情况。对于不影响性能、寿命或要求特性的光化学效应只作为观察资料记录下来。
- b) 程序 II：试件性能和特性(如颜色或其他表面状态)的改变不能出现不满足产品规范要求的情况。对于不影响性能、寿命或要求特性的光化学效应只作为观察资料记录下来。试件的变色有可能导致试件内部产生更高的热效应，对此在结果分析中宜予以考虑。

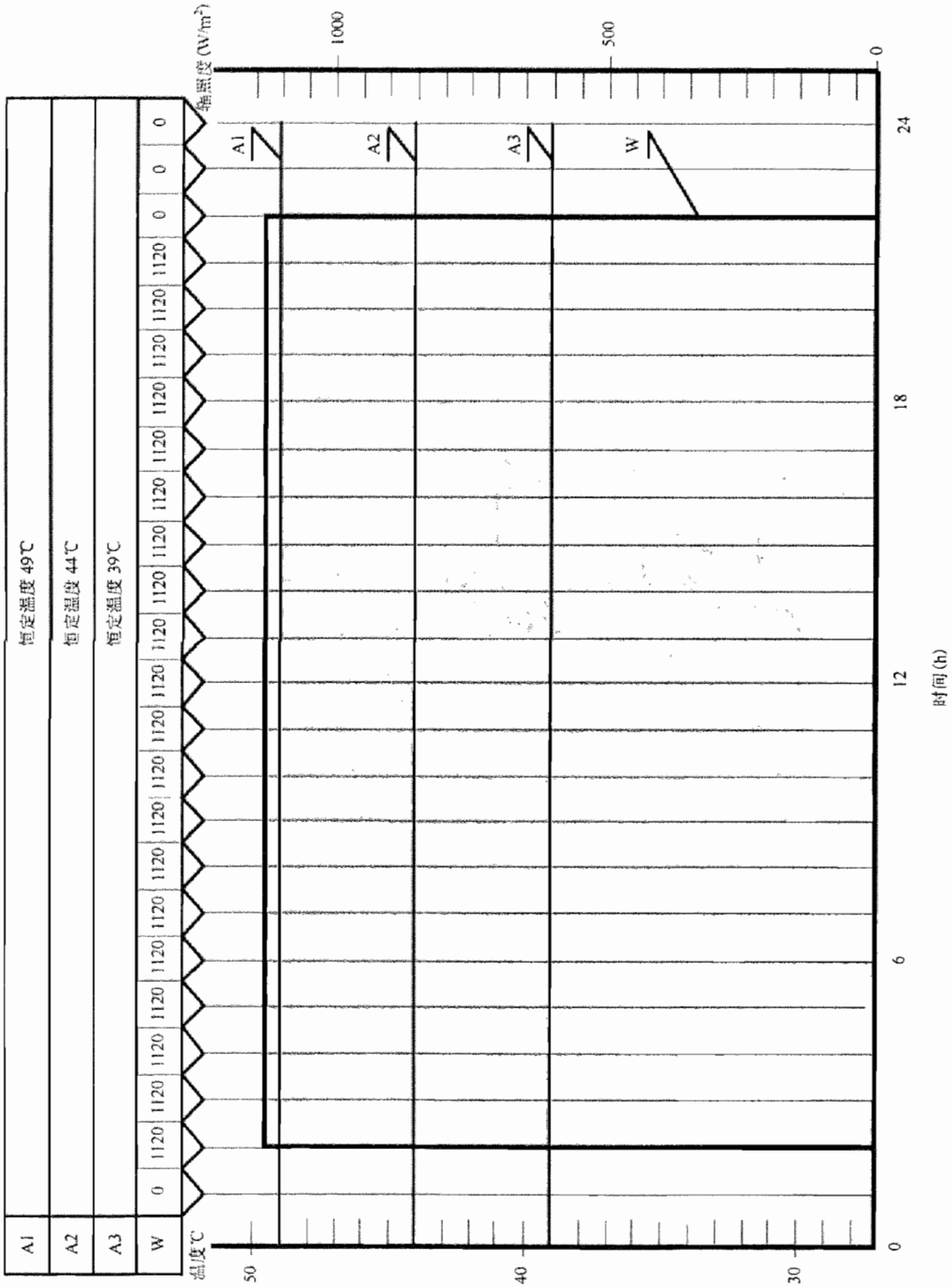


图 2 程序 II——稳态试验

附录 A
(资料性附录)
太阳辐射试验详细指南

A.1 概述

本附录描述的试验方法用于评定太阳辐射对装备产生的影响。太阳辐射试验主要模拟了地球表面观测到的光谱分布和辐射能量，并包括了可控的温度条件。然而，可能还需要考虑太阳辐射(包括天空辐射)和湿度、风速等其他环境条件的综合影响。

A.2 辐照度和光谱分布

A.2.1 概要

辐射对装备的影响主要取决于辐照度的量值和它的光谱分布。

A.2.2 辐照度

在地球大气层外位于地日平均距离处、与太阳辐射垂直平面上的太阳辐照度称之为太阳常数 I_0 ， $I_0=1350\text{W}/\text{m}^2$ ，实际的太阳常数约为 $1365\text{W}/\text{m}^2\sim 1370\text{W}/\text{m}^2$ 。地球表面的辐照度受太阳常数以及大气层对辐射的衰减和散射的影响。本试验规定用最大量值为 $1120\text{W}/\text{m}^2$ 的辐照度来模拟太阳天顶角为 0 时到达地球表面的总辐射(水平面太阳直接辐射与天空辐射之和)。

A.2.3 光谱分布——海平面与高海拔地区

与海平面相比，高海拔地区的太阳辐射光谱中所含的有害紫外辐射比例更大。一般推荐使用国际认可的光谱(见表 A.1)，它实际代表了海拔 $4\text{km}\sim 5\text{km}$ 环境的光谱。在海平面和高海拔地区均推荐使用该光谱。

A.3 要考虑的其他环境因素

气流的冷却效应会导致用于监测辐照度的开敞型热电偶输出错误的数值。但总辐射表可能需要通风，以避免玻璃罩温度的升高。

需要注意装备表面的气流可能造成的冷却效应。由于 $1\text{m}/\text{s}$ 的气流就可以使温升降低 20% 以上，而实际上几乎不存在高太阳辐射条件下完全无风的情况，因此试验时可能需要评价不同风速对装备的影响，产品规范对此宜作特别说明。试验时为了保持试件所要求的空气温度，有必要测量和控制风速。

A.4 辐射灯

A.4.1 概要

辐射灯可以由一个或几个灯管以及与此有关联的光学部件(如反射器、滤光器等)组成，以产生试验所要求的光谱分布和辐照度。带滤光器的高压氙弧灯能够提供分光谱匹配最好的光谱。汞蒸气灯和汞氙灯在光谱匹配上都存在较大缺陷而导致误差。带有掺杂电极的碳弧灯虽然应用广泛，但其稳定性差、维修困难，因此一般不推荐使用。

下面介绍一些辐射灯的特性，以便于选择试验用的辐射灯：

- a) 氙灯。有长弧灯和短弧灯，灯管的外形和大小取决于试验的要求。对于长弧灯，对电极辐射进行屏蔽相对容易些。短弧灯的结构形式使其比长弧灯易产生更大的加工偏差，因此更换时应特别注意。氙弧灯辐射光的光谱分布与辐射灯的功率无关，但辐射灯功率的变化会改变电极的温度，从而改变光谱分布。氙弧灯的辐射会随辐射灯的老化而改变，从而产生不符合要求的辐射，因此无论长弧灯还是短弧灯都需要根据其寿命特性进行更换。
- b) 金属卤化物灯(HMI)。对于关注热效应的试验，金属卤化物灯是一种好光源。与表 1 规定的光

谱相比,金属卤化物灯发出的能量在紫外区较多而在可见光区较少,但超出的紫外能量不到总能量的1%,并且热效应试验的时间一般较短,以致光化学降解效应可忽略。对于光化学效应试验,由于金属卤化物灯的紫外能量要调节到表1的要求,因此热效应范围的能量会比规定值低。当辐射灯的功率减小时,介于 $0.32\mu\text{m}\sim 0.40\mu\text{m}$ 间的能量会急剧增加,因此一旦获得了所要求的光谱分布,则不能用调节辐射灯功率的方法来调节总能量的大小。

A. 4.2 滤光器

尽管玻璃滤光器的精确再现性比不上液体滤光器,但目前最好使用玻璃滤光器,因为液体滤光器在辐射条件下其液体可能沸腾,并且它还只有光谱透射受温度影响和光谱特性长期漂移等缺点。对于玻璃滤光器,可能需要使用不同厚度的滤光片反复试验来校正滤光器的光学特性。玻璃滤光器是专用产品,选择适用于特定目的的滤光器时应咨询制造商。滤光器的选择取决于辐射灯的特性和它的使用方法。例如,通过共同使用红外与紫外吸收滤光器时,氙灯的光谱可以得到校正。当暴露于过量的紫外辐射时,某些红外玻璃滤光器的光谱特性可能会快速改变,因此将紫外滤光器置于光源和红外滤光器之间就可以很大程度地防止这种现象的发生。光源发出的辐射透过玻璃滤光器时,吸收型滤光器通过吸收特定的光谱而使需要的光谱通过,而干涉型滤光器通过反射特定的光谱而使需要的光谱通过,因而干涉型滤光器可减少玻璃的受热,故一般比吸收型滤光器更稳定。

A. 4.3 辐照均匀性

由于太阳离地球遥远,到达地球表面的太阳辐射基本上都是平行光束。人工光源接近被照射表面,发出的光束并不是平行的。为了在测量平面上获得规定量值(如 $1120^{+10}_0\text{ W/m}^2$)的均匀辐照度,因此应提供光线的会聚装置。由于短弧氙灯的电极和支座会遮挡部分光线,因此即使使用抛物面反光器也难以获得均匀的辐照度。如果只有氙弧灯灯体本身位于反光器的焦点处,那么炽热的阳极会产生相当多的稍微偏离主光束方向的辐射,而且其色温低很多。使用多盏短弧氙灯,并采用非常精巧的安装技术,那么在很大的平面上也可能获得具有一定均匀度的辐射。如果使用长弧氙灯并配置长槽型抛物面反光器,则更容易获得均匀辐射。一般建议将辐射灯安装在试验箱或试验封闭区域的外面,这样可避免光学元件的劣化(例如高湿度条件引起光学元件的劣化),并可避免氙灯和其他类型的弧灯产生的臭氧对试件造成影响。通常不必要求辐射光束精确对准试件,除非试件为太阳能电池和太阳跟踪装置等特殊产品。另外,某些用于太空研究目的模拟技术也可用于地球表面的太阳辐射研究。

A 5 测量仪表

A. 5.1 辐照度的测量

最适于监测辐照度的典型仪表是总辐射表,它用于测量水平面的总辐射(太阳直接辐射和天空辐射)。有两种类型的仪表适合于测量模拟太阳光源的辐射。每种类型都是依靠热电偶来工作的。

A. 5.1.1 Moll-Gorcziński 总辐射表

Moll-Gorcziński 总辐射表由14条康铜-锰铜带($10\text{mm}\times 1\text{mm}\times 0.005\text{mm}$)组成,其“热”端连接于一个平面上,并与水平的感应面紧贴。感应面由热传导率低的黑漆涂覆而成。康铜-锰铜带的“冷”端连接在一起并下弯,与热容量很大的铜片形成良好的热连接。感应面上罩着两个同心玻璃半球。

A. 5.1.2 Eppley 精密分光总辐射表

Eppley 精密分光总辐射表的传感器是一个缠绕50圈金属丝的电镀(铜-康铜)热电偶,封闭在直径分别为30mm和50mm的同心透明玻璃半球内。外面的玻璃半球可拆换,具有吸收型或干涉型滤光器的作用,这样可使太阳辐射光谱分离成明确的波段。这类仪表不受试件或试验箱壁散射的长波红外辐射的影响。Eppley 分光总辐射表是美国应用最广泛的日射表之一。熟知的Kipp日射表由Moll-Gorcziński 总辐射表改型而成,该仪表被用于很多国家的气象部门。这两种仪表使用的玻璃罩都会滤除波长超过 $3\mu\text{m}$ 的辐射。钨灯未经滤光时波长超过 $3\mu\text{m}$ 的长波辐射是很显著的,使用这两种仪表对钨灯的光谱进行测量时应进行修正。

A. 5.2 光谱分布的测量

对光谱总辐照度的测量较容易,但对光谱分布的详细测量就困难得多。使用带有选择性滤光器的总辐射表可以对主要的光谱变化做低成本的例行检测。对太阳辐射试验装置详细光谱分布特性的测量,需要使用精密的分光辐射表。使用带滤光器的总辐射表和分光辐射表进行测量时,应定期对两者做对比检测,以获得两者的相关性。太阳辐射试验装置使用一段时间后,其灯管、反射器和滤光器的光谱特性可能发生改变,从而可能导致光谱分布严重偏离试验的规定值。由于辐射灯存在加工偏差,因此更换辐射灯就可能导致辐照度和光谱分布与原先的设定值不相同,并可能出现不可接受的改变,因此应定期对辐射灯进行检测。在试件进行试验期间,在试验箱内监测辐射灯的详细光谱分布是不可能的。为解决这种问题,现在已经建立了一种检测方法,该方法以聚砜薄膜作为辐射对象,试验期间可在试验箱内对波长小于 $0.320\mu\text{m}$ 的辐照度进行监测(该方法日前正被考虑作为ISO的一种检测方法)。

A. 5.3 温度的测量

太阳辐射试验过程中,需要监测试验箱内空气温度和试件温度。为了减少太阳辐射对温度传感器的加热影响,应对温度传感器进行适当屏蔽。一种可供选择的方法是将热电偶安装在一支垂直的铜-镍管(约为 $\phi 1.5\text{cm}\times 7\text{cm}$)内,铜-镍管的内表面抛光,外表面涂成白色,管外再罩上有间隙的金属罩。当监测试件温度时,传感器(如热电偶)应安装在试件外壳的内表面而非外表面上。由于吸收特性不同,示温漆和蜡不适用于被辐射表面的温度监测。

A. 6 试验设备和试件的准备

A. 6.1 试验设备

确保试验设备的灯管(泡)、反射器和滤光器等光学部件都是清洁的。试验前应在试验箱(室)内规定的测量平面上测量辐照度。在整个试验过程中对任何辅助的环境条件都应进行连续监测,如试件周围温度、风速和其他规定的参数。

A. 6.2 试件

试件的技术状态应在有关规范中做出规定。应特别注意试件的表面状态,观察是否清洁或符合有关规范。试件外表面的状态会很大程度地影响其受到的加热效应,因此要小心处理试件,特别要除去油膜,并确保试件表面的涂镀层完全代表了产品生产的标准状况。测量试件温度响应的传感器按规定(参考A.5.3)贴附在试件上。试件的安装方法和相对于辐射方向的取向都会显著影响试验的加热效应。试件可能要求安装在凸起的支架或规定特性的底座上,例如规定厚度的混凝土层或具有一定传导率的沙床。

A. 7 结果解释

A. 7.1 概要

试件按照规定的试验条件(如辐照度、持续时间等)进行试验后,其外观和性能的变化程度应在产品规范规定的允许范围内。在分析试验结果时,还要考虑以下因素。

A. 7.2 与现场经历结果的比较

太阳辐射对材料的影响效应已有很多资料记载(见A.7.3和A.7.4)。试件试验结果与装备现场经历的影响效应之间存在的显著差异,都应调查并分析,查明差异是由试验设施或程序造成的,还是由试件的某些特性造成的。

A. 7.3 热效应

分析太阳辐射试验对试件产生的热效应时,考虑以下内容:

- a) 试件表面和内部温度达到最高时取决于下列因素:
 - 1) 周围空气温度;
 - 2) 辐照度;
 - 3) 风速;
 - 4) 试验时间;

5) 试件本身的热特性,如表面反射率、大小、形状、热导率和比热等。

- b) 周围温度为 30℃~40℃时,若完全暴露于太阳辐射条件下,试件达到的温度可超过 60℃。物体表面的反射率对太阳辐射引起的温升会产生很大影响。例如,将物体表面的黑色改为光亮的白色会大大降低温升。相反,用于降低温升的表层劣化后会引起温升的增加。大多数材料都是具有选择性的反射器,即材料对不同波长的光谱具有不同的反射率。例如,一般涂料对可见光反射率很高,但对红外线的反射率却较低。此外,很多材料对可见光(对人眼产生色感)和近红外光谱的反射率显著不同。因此,用于模拟试验的任何辐射源,其光谱能量分布应近似于自然太阳辐射。

A. 7.4 材料的劣化

太阳辐射、大气气体、温度、湿度等环境的综合效应,常常统称为“气候侵蚀”,它导致大多数有机材料(如塑料、橡胶、涂料、木材等)的老化和最终损坏。很多在温带地区使用良好的材料却完全不适用于条件更恶劣的热带地区,典型效应是涂料的快速劣化与降解、电缆外套的开裂与分解以及颜料的褪色。在气候条件的侵蚀作用下,材料的降解通常不是由单一反应造成的,而是由同时出现、常常相互作用的几种不同类型的反应综合造成的。尽管太阳辐射(主要是紫外线部分)常常是导致光化学效应的主要因素,但实际上它的效应几乎不能与其他气候侵蚀因素的影响分开。例如单一的紫外辐射对聚氯乙烯的影响不明显,但紫外辐射后聚氯乙烯对热降解的敏感性却显著增加,原因在于氧气可能从中发挥了重要作用。人工试验偶然也会产生一些在气候侵蚀条件下不会出现的异常现象,这些异常现象通常由下列一种或多种原因造成:

- a) 很多实验室的紫外辐射与自然太阳辐射的光谱能量分布差异相当大。
- b) 当增加紫外线强度、温度、湿度等的量值以获得加速效应时,各种因素作用的比例(在正常暴露条件下出现的)不一定相应增加。在某些例子中,如荧光灯,其红外能量比实际的太阳辐射显著要小,从而导致试验时的表面温度低于户外条件下的温度。
- c) 人工试验一般不能模拟所有的自然气候影响因素。

A. 8 试验危险与人身安全

A. 8.1 概要

用于太阳辐射试验的试验装置复杂,需要熟练的试验人员进行操作和维护,这不仅仅在于确保试验按规定的要求进行,也是出于对各种健康和安全隐患的考虑。

A. 8.2 紫外辐射

高强度紫外辐射对人有显著的有害影响,应注意防护。在自然阳光中,紫外辐射被大气层很大程度地削弱,太阳的光亮使得眼睛也几乎不可能直视它,因此人的眼睛自然得到保护。对于人工辐射源,情况就不是这样。因此在试验时,应使用滤光护目镜或观察孔来保护眼睛,特别是在设定试验参数时。由于人工光源的集中以及这些光源的高紫外成分,戴上太阳镜也难免造成危险。应警告所有试验人员,在弧型灯产生的未经滤光的辐射中,短暂时间的暴露就能导致眼睛的严重损伤,被照射的皮肤也会出现严重的红斑(晒斑)。因此特别推荐穿戴适当的防护服装保护包括头、手在内的身体,甚至在已被滤光的辐射源照射的试验区内工作时也应如此。

A. 8.3 有害气体

由于使用氙灯和其他弧灯,在试验期间可能造成有毒臭氧的局部积累,这是对健康的另一种严重危害。臭氧最大量的产生出现在辐射灯最初通电时,此后灯壳的受热使臭氧逐渐还原为氧气。在使用强迫空气冷却时,应将冷却空气吸出并排出室外,不宜吹进灯罩内,以大幅降低臭氧危害。应配备合适的臭氧含量检测仪器。加热效应和紫外辐射对某些塑料(如三聚氰胺层压材料)的综合作用也可产生有毒气体,因此应特别注意选择用于试验装置的结构材料。

A. 8.4 辐射灯的爆炸危险

氙弧灯(高压氙气放电灯)是一种主要的辐射源,应制订这类电弧放电灯的操作细则并严格遵守,否则使用时也可能导致严重事故。由于具有相当大的内压(冷却时有2~3个大气压,受热时达到20个大气压),所有这种类型的灯(无论冷、热、新、旧)都具有猛烈爆炸的倾向。在灯壳表面不应有可见的脏物和油污,因此应定期用清洁剂和乙醇进行清洁,在清洁时戴上棉制手套和防护面具。当存放冷态灯管时,使用两层厚度各为0.25mm的聚碳酸酯膜可限制爆炸的影响。在多灯管的试验装置内应特别注意防止发生灯管的连锁爆炸。使用防弹玻璃板能达到阻隔灯管爆炸和校正滤光器的双重目的。保存好每支灯管的检查记录,以方便检查具有异常电压或电流现象的灯管,并将此作为一项例行工作来执行。

A. 8.5 电击

应采取正规的电击防护措施,特别是对于使用高电压触发系统的电弧灯。某些氙灯的电弧触发脉冲超过60kV,因此需要相应的防护措施(如采用互锁系统)。

表 A.1 总辐射的详细光谱分布

光谱范围	波长范围 μm	辐照度 W/m^2	辐照度百分比 %
紫外*	0.28~0.36	32	2.9
	0.36~0.40	36	3.2
可见	0.40~0.44	56	5.0
	0.44~0.48	73	6.5
	0.48~0.52	71	6.3
	0.52~0.56	65	5.8
	0.56~0.64	121	10.8
	0.64~0.68	55	4.9
	0.68~0.72	52	4.6
红外	0.72~0.78	67	6.0
	0.78~1.0	176	15.7
	1.0~1.2	108	9.7
	1.2~1.4	65	5.8
	1.4~1.6	44	3.9
	1.6~1.8	29	2.6
	1.8~2.0	20	1.8
2.0~2.5	35	3.1	
2.5~3.0	15	1.4	
总计	—	1120	100.0

* 到达地球表面波长小于0.30 μm 的辐射量是很小的,但对材料的劣化效应可能很显著。如果装备在自然环境中不会受到波长小于0.30 μm 的短波辐射而在试验中受到这种辐射时,则其材料可能产生不必要的劣化;与此相反,如果装备在自然环境中会受到波长小于0.30 μm 的短波辐射而在试验中没有受到这种辐射时,则会导致本来不合格的材料可能通过试验。这完全取决于材料的特性及其使用的自然环境条件。