

主办单位

- 中国科学技术协会
- 中央电视台
- 中国质量管理协会
- 中国电子学会
- 中国仪器仪表学会
- 中国通信学会

环境试验

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教材之七。书中系统介绍环境试验的意义、分类、程序和方法。内容包括气候、机械等方面的37种试验，并对试验条件、设备、仪器及关键性的操作方法作了详尽的论述。

本书适于可靠性与质量管理人员学习，也可供大专院校工程与管理专业的师生参考。

环 境 试 验

王树荣 李志清 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

中国铁道印刷厂印刷

人民邮电出版社发行

开本：787×1092 1/16 1988年12月第一版

印张：11 页数：88 1988年12月北京第1次印刷

字数：274千字 印数：1—12 000册

ISBN7-115—03814—7/Z-135

定价：4.55元



《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班

主办单位

中国科学技术协会 中央电视台
中国质量管理协会 中国电子学会
中国仪器仪表学会 中国通信学会

教育委员会

顾问:

盛树仁 高镇宁 宋季文 金久源 李维六 刘源张 吕钟瑜

主任委员:

李玉奎

副主任委员(以姓氏笔画为序):

边拱 朱良漪 李玉奇(常务) 李传卿 宋南平 张贵华
钟良(常务) 姜虹

委员(以姓氏笔画为序):

王圣媛 叶杭 宁云鹤 史定华 史鸿良 过元柄 朱玉龙 庄异君
阮观荣 刘宗仁 牟致忠 杨为民 杜立柱 余金梁 何国伟 陆洪时
邱家钦 周济 林中强 单永铮 罗国英 茆诗松 郑毅践 姚纪梅
段爱珍 夏仲平 曹予河 龚兆荣 柴淑敏 章燕翼 傅光民 程光辉

承办教学单位

上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会
上海第二工业大学
中国电子可靠性与环境试验研究所
《电子技术》杂志社

教 研 组

组长、教育录像和教材主编：

傅光民

副组长：

裘履正

成员（以姓氏笔画为序）：

马怀祖 史定华 许 康 庄异君 牟致忠 罗 威 林中强 卓礼章
郁时霖 茆诗松 费鹤良 倪正铭 夏春镗

编 者 的 话

本书是《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教材之七。

环境试验是50年代蓬勃发展起来的一门综合技术，它与环境条件、环境试验设备及其检测仪器、环境保护技术等一起，构成当今世界的一门新的学科——环境工程。

电子电工产品在制造、运输、储存和使用中的任何时刻都处在一定的环境中，为了评价电子电工产品对各种环境的适应性，必须进行环境试验。随着电子电工产品应用领域的日益广阔及其结构愈来愈复杂，环境试验就愈来愈显得重要了。当前，环境试验已贯穿于产品的设计、试制、生产，以至销售、使用的全过程。无论是材料、元器件、模块，还是部件、整机、系统都离不开环境试验。环境试验已成为保证产品可靠性的重要手段。

本书的目的在于使需要学习和熟悉环境试验的人员对环境试验有一全面的、系统的了解，提高电子电工行业的领导干部和管理人员对环境试验在产品质量保证中的作用、地位的认识，帮助产品设计人员设计出环境适应性好、可靠性高的产品，使试验人员能全面掌握、正确进行环境试验，使产品的质量监督、质量管理、验收人员具有丰富的环境试验知识。本书对环境试验的研究人员和标准化人员也有参考价值。

本书的初稿完成后，蒙裘履正高级工程师审核修改，并经教研组组长、教材主编傅光民同志审阅，在此谨向他们表示衷心的感谢。

王树荣 李志清

1988年3月

前 言

可靠性 (Reliability) ,是产品的重要质量指标。可靠性高,意味着寿命长、故障少;可靠性低,意味着寿命短、故障多。电视机的平均无故障工作时间,汽车的平均无故障行驶公里数,运载火箭的发射成功率等都是产品的可靠性指标。

可靠性工程与管理是40年代以来迅速发展起来的新兴综合学科,涉及数学、物理、化学、电子、机械、环境、管理以及人机工程等各个领域。它致力于研究提高产品可靠性,包括从原材料、元器件、零部件到整机及系统的各个环节;从研究、设计、制造到使用及维修的全寿命周期,是一个十分复杂的系统工程。国内外的实践表明,可靠性工程与管理技术的应用,为企业与社会带来巨大的经济效益,因而引起世界各国的普遍重视与关注,纷纷投入大量人力物力进行研究和推广应用。产品的可靠性,必将成为今后国际市场竞争的焦点。

国家经委、国家机械委、国防科工委、劳动人事部、广播电影电视部、中国科协等六部委经质〔1987〕541号文件《关于组织干部参加可靠性工程与管理电视讲座和函授班学习的通知》指出:“提高产品质量,是关系到贯彻执行改革、开放、搞活总方针和实现国民经济和社会发展‘七五’计划的一项战略任务。提高产品可靠性,是提高产品质量的重要环节。过去一个时期,我国电子工业部门抓了大批量生产的电视机、军用电子元器件等产品的可靠性,航天工业部门抓了导弹系统的可靠性,航空工业部门抓了飞机的可靠性,均已获得显著的成果。机械、轻工业部门抓可靠性也已初具成效。但是,多数企业和经济主管部门对于可靠性的重大意义和主要技术还缺少认识,措施不力。因此,推行可靠性工程与管理的任务十分艰巨。可靠性是一项必须考核的质量指标。在开展双增双节运动,深化全面质量管理,提高经济效益,增强产品出口创汇能力方面,都必须把这项内容作为一个重要环节,抓紧抓好”。“抓可靠性要从大批培养可靠性管理人才和工程专业人才入手,要充分重视这方面的在职教育和岗位培训”。“各级经济管理部门,国防科工委各有关部门,各企业和相关的科研、设计、生产、监督、试验、使用、维修等部门,应当把可靠性工程与管理列为领导干部、管理人员和科技人员在职教育和岗位培训的一个重要内容”。为此,国家经委等六部委联合决定,由中国科协、中央电视台、中国质协、中国电子学会、中国仪器仪表学会、中国通信学会联合主办全国性的《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班,由上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会、上海第二工业大学、中国电子产品可靠性与环境试验研究所、《电子技术》杂志社担任教学工作。为了加强教学领导工作,聘请国家计委、国防科工委、机械电子工业部、国务院电子振兴领导小组办公室、航空航天部、邮电部、轻工部和各主办单位以及有关院校、研究所、企业的领导干部、专家、教授组成《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教育委员会,由中国通信学会牵头承担组织工作。聘请上海市第二工业大学可靠性研究室主任傅光民同志、上海自动化仪表研究所高级工程师裘履正同志负责组成教研组,承担制订电视讲座及函授班的教学大纲、提出课程设置及详细提纲、组织编写剧本及全

套书面教材的工作。

根据岗位培训的实际需要，教学分设管理班与工程班。管理班学员是有关企业、研究所以及主管部门的领导干部与管理人员。学员应收看中央电视台第一套节目播出的22集电视教学片（每集50分钟），自学《可靠性工程与管理电视讲座教材》，参考《可靠性管理》一书；工程班学员是工程技术人员及可靠性与质量管理工作人员。学员除收看电视讲座，学习《可靠性工程与管理电视讲座教材》、《可靠性数学》、《可靠性物理》、《可靠性管理》外，选学《可靠性设计》、《锡焊技术与可靠性》、《可靠性试验》、《环境试验》、《机械可靠性》等五门课程中的一门。这九本书构成一套较系统、全面的可靠性教材。

在教材编写中，认真贯彻理论联系实际、学以致用方针，注意系统性、实用性，着重阐明物理概念，给出定性分析、定量计算方法及运用实例，避免繁琐的数学推导。内容以民用电子设备为重点，讲授可靠性通用技术，兼顾仪器、仪表、通信、航天、航空、轻工等系统的部分应用实例。通过电视讲座及函授学习，可以帮助学员了解可靠性工程与管理的发展历史与重要意义；掌握可靠性工程与管理的主要工作内容及本岗位的可靠性技术（可靠性设计、制造、试验及管理）；了解部分企业、研究所具有普遍意义、行之有效的实践经验；从而提高可靠性工程与管理技术水平，提高产品可靠性。为此，教材请国内有较丰富工程与教学实践经验的同志编写，总结国内外富有成效的可靠性工作案例，广泛参考国内外可靠性书刊及论文，有较广泛的适用性和较高的实用性，可作为在职可靠性岗位培训的教材，也可作为大专院校可靠性与质量管理专业的参考教材。

在教材编写及电视教学片摄制过程中，得到中央有关部委、有关全国性学会（协会）、上海及各地工厂企业、研究所、大专院校等50多个单位200多位同志的大力支持、指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫，工作量很大，组织编写、摄制系统性的可靠性教材及电视教学片尚属首次，缺乏经验，错误不妥之处，敬请读者批评指正。

教育委员会

1988年3月

目 录

第一章	概论	(1)
第二章	低温试验	(5)
第三章	高温试验	(13)
第四章	温度变化试验	(22)
第五章	湿热试验	(28)
第六章	太阳辐射试验	(43)
第七章	低气压试验	(47)
第八章	大气腐蚀试验	(59)
第九章	霉菌试验	(65)
第十章	砂尘试验	(72)
第十一章	水试验	(75)
第十二章	冲击试验	(81)
第十三章	碰撞试验	(102)
第十四章	正弦振动试验	(108)
第十五章	随机振动试验	(121)
第十六章	倾跌与翻倒、自由跌落和随机跌落三种试验	(130)
第十七章	地震试验	(135)
第十八章	声振试验	(143)
第十九章	恒加速度试验	(146)
第二十章	运输试验	(150)
第二十一章	倾斜和摇摆试验	(155)
第二十二章	综合试验	(157)
第二十三章	电磁干扰试验	(160)

第一章 概 论

1.1 环境试验的由来

环境对产品的影响是在本世纪30年代末、特别是在第二次世界大战中才开始受到人们的重视。那时,在热带和亚热带地区使用的电子电工产品遇到了气候劣化问题。尤其是在第二次世界大战的战场上,由于受各种恶劣的环境及条件的影响,产品出现了许多问题。据当时美国空军调查和统计,产品的损坏有52%是由于环境恶劣所引起的。其中受温度影响而损坏的占21%,受振动影响而损坏的占14%,受潮湿影响而损坏的占10%,受砂尘盐雾影响而损坏的占7%……环境影响使许多产品失灵,失效及误动作,从而贻误了不少战机,造成了很大的损失。这就不得不迫使各先进的工业国家从一连串的战时损坏报告中开始着重解决电子电工产品的环境适应性问题。

美国是开展环境试验较早的国家。这项工作是在国防部领导下进行的,从研究热带防护开始。40年代,他们主要开展现场试验和试验室的人工模拟试验,并进行研究和制订试验规范。50年代末,陆、海、空三军都有了各自的环境试验规范和标准。60年代,又联合制订出三军的通用环境试验方法,即现在的MIL-STD-810D(下称810D),紧接着又开始了对于航环境的研究。这样就形成了从元器件、微电路到设备,从空中、陆地到海洋的完整环境试验军标体系。从60年代到现在,美国的环境试验军标经过多次修改和补充,已成为资本主义国家军方的重要标准,并被不少国家接受和采用。

国际电工委员会(下称IEC)是1948年开始考虑环境试验问题的,当时在TC40和TC12技术委员会里开展一些工作。随着电子电工产品环境试验问题的日益突出,1961年专门成立了TC50“环境试验技术委员会”,从事环境试验机理、试验技术和试验程序的研究。1973年又成立了TC75“环境条件技术委员会”,专门从事环境条件分类和分级的研究。TC50和TC75的文件和标准,吸取了各国环境条件和环境试验的经验,集中了各国专家的智慧,具有体系完整、结构严谨、技术先进和使用方便等一系列优点,已成为当今世界公认的科学技术和国际贸易的准则。IEC标准已被各国广泛采用,成为国际贸易中消除技术障碍的重要基础之一。

我国的环境试验工作是1955年正式开始的,首先在广州、上海、海南建立自然暴露试验站,与东欧六国共同合作探索热带、亚热带、工业气体等对电子电工产品的影响。我国的环境试验刚开始时学习、采用苏联标准,后来逐步建立了我国自己的环境试验标准体系。

为了提高我国电子电工产品的质量和可靠性,为了增强我国电子电工产品进入国际市场的竞争能力,国家已经参照IEC标准和美国军用标准制订我国民用产品和军用产品的环境试验标准。它预示着我国环境试验将有一个大的发展。

1.2 环境试验的形式和种类

1. 自然暴露试验

自然暴露试验是将样品（产品或材料）放在自然环境条件下进行暴露和测试，评价其环境适应性。这种试验的周期长，通常要两年以上。自然暴露试验可分为无气候防护和有气候防护两种。无气候防护是指在室外暴露，样品直接受气候影响。有气候防护又可分为完全气候防护和部分气候防护两种。完全气候防护是指在空调和半空调室内暴露，能保护样品免受直接气候影响。部分气候防护是指产品在棚下、掩蔽所中的暴露，仅能部分保护产品免受直接气候影响。在自然暴露中，样品是处在静止状态还是在定期的连续的满负荷状态下运行，应视试验的要求而定。通过自然暴露试验，可以获得产品在自然环境条件下电参数变化规律、失效情况、失效水平和失效原因，可以了解产品制造过程中材料、工艺、涂敷层等性能的稳定性和防护能力。自然暴露试验可以为研究人工模拟试验方法及其转换关系提供数据资料，还可以用来验证和比较加速试验的有效性。

自然暴露试验也存在着一定的不足之处，例如试验条件不能控制，每年同一季节的气候以及其它因素不可能固定不变，因而在一定的程度上影响了试验的再现性。其次是试验周期长，有时会跟不上产品的发展。所以，自然暴露试验有它本身的局限性。

2. 人工模拟试验

电子电工产品在运输、储存和使用过程中要经受到多种多样的、错综复杂的环境条件。按对影响产品的因素来分，有下面几种环境因素：

- 气候条件：高低温、湿度、气压、风雨、冰霜等；
- 机械条件：冲击、振动、摇摆、噪声、恒加速度等；
- 生物条件：霉菌、有害动物、海洋生物等；
- 辐射条件：太阳辐射、电磁辐射、核辐射等；
- 化学活性物质：硫化氢、二氧化硫、盐雾等；
- 机械活性物质：沙粒、尘等。

3. 现场使用试验

现场使用试验是将产品放在实际使用条件下，用以评价其环境适应性的试验。产品在现场使用期间，将受到各种环境因素的综合作用，它比单一或组合试验更能暴露产品存在的问题，所以，现场使用试验的结果是最真实的，也是最权威的。

1.3 环境试验在产品的设计、制造和使用中的作用与地位

环境试验的应用贯穿于电子电工产品的设计、试制、生产、销售、使用的全过程。通常是设计—环境试验—改进—再环境试验—直至成功。

1. 用于产品研究和开发
2. 用于产品的定型
3. 用于生产检查
4. 用于产品的验收
5. 用于安全性检验
6. 用于可靠性试验

1.4 环境试验的顺序

1. 根据试验目的来确定试验顺序

用于研究性质的试验，例如为了研究样品的性能，希望尽可能多地取得资料和数据，同时应先进行对产品破坏性小的环境试验，后进行破坏性大的环境试验。这种顺序也适用于复杂的、数量少的、昂贵样品的定型试验。

为了检验设计的有效性，希望以最快的速度取得有关失效和失效趋势方面的资料，应首先进行最严酷的试验。这样若前面的试验通不过，就没有必要进行后面的试验，以节省时间和费用。

2. 根据实际遇到的环境因素来确定试验顺序

对实际使用环境条件已知的整机、系统，可根据它们可能遇到的各种环境因素的先后顺序来确定试验顺序。这种试验顺序的真实性强，大都用在产品的定型试验中。

3. 根据能对产品产生最大的影响来确定试验顺序

这种顺序的编排是前一试验能加强和诱发后一试验所引起的失效，即能最大限度地暴露失效。例如，湿热试验后紧接着进行低温试验，由于样品在前一试验中吸收了潮气，在低温试验时就霜冻，从而加剧了低温的破坏作用。又例如，机械振动试验后紧接着进行交变潮热试验，会加剧交变潮热的影响。

这种顺序特别适用于使用环境未知的元器件和整机、系统的定型试验。

4. 根据试验的经费和时间来确定

试验的经费和时间往往也是考虑试验顺序的一个因素。例如盐雾试验、长霉试验和恒定潮热试验等由于时间长、耗费大，往往放在最后进行。这样，若前面的试验未被通过，就可省去后面的试验。

1.5 环境试验的程序

1. 预处理

预处理是指正式试验前对样品的处理。其目的是为了消除和部分消除样品试验前受到的影响。通常包括对样品的表面清洁处理、定位、预紧以及稳定性处理。预处理通常在试验的标准大气条件下进行。

2. 初始检测

初始检测是指将样品放在规定的大气条件（通常为试验的标准大气条件）下进行的电性能、机械性能测量，以及外观检查。

3. 试验（条件试验）

这一步是每项环境试验的核心。在这一步中，样品要暴露在规定的试验条件下经受考核。可以要求在工作状态下进行，还可以在工作状态下进行电性能和机械性能的测量，这种测量叫做中间测量。

4. 恢复

恢复是试验结束后对样品进行的处理。其目的是使样品试验后的性能在最后检测前有可能达到稳定。恢复通常在试验的标准大气条件下进行。

5. 最后检测

最后检测和初始检测一样，是将样品放在规定的大气条件（通常是试验的标准大气条

件) 下进行电性能、机械性能的测量以及外观检查。其目的是和初始检测的结果相比较, 以便对试验结果作出正确的评价。

1.6 环境试验的未来

环境试验和环境条件, 环境试验设备及其测量、检定、校准仪器的制造以及环境保护技术等诸方面内容的研究, 已形成了当今世界的一门新的技术学科——环境工程。而环境试验又是其中的重要组成部分, 它的发展将推动着整个学科的发展。

环境试验的发展是由浅入深、由简单到复杂的过程。目前进行的大多数试验项目是单因素试验, 组合试验和综合试验正在研究和发展中。随着电子电工产品不断深入到各个领域, 一些模拟新的环境因素的试验方法有待我们去研究。为了使试验室的试验结果与产品实际环境条件下的结果更加一致和等效, 探索环境条件与试验要求(严酷等级)、天然试验与人工试验、现场使用与试验室试验之间的相互关系, 是摆在我们面前的重要课题。为了能在较短的时间内得到与产品在长期使用中相同的结果, 研究加速试验方法也是我们的重要任务。为了提高试验的再现性和合理性, 我们还要不断地将先进技术应用到环境试验中, 不断地完善现有的试验方法和试验设备, 以保证试验的科学性和先进性。

第二章 低温试验

2.1 目的和意义

一些电子电工产品会处在低温条件下工作，所以我们要研究产品在低温条件下工作的适应性问题。

据有关资料报道，苏联在南极地区的“东方”科学考察站曾测得 -88.3°C 的低温记录。在我国黑龙江，呼玛漠河和孙吴地区观测站分别测得 -52.3°C 和 -57.0°C 的低地温记录。根据我国多年观测记录的统计，一月份气温低于 -40.0°C 的地区约占我国总面积的3%左右，低于 -30.0°C 的地区约占7%，低于 -25.0°C 的地区约占25%。

由于气温随高度的增加而降低，高度每升高100m，气温降低 0.6°C 左右。因此在高原，高山或高空使用的电子电工产品，也将受到不同程度的低温影响，低温还往往与低气压一起影响着产品的使用环境。有些产品靠近制冷元件、设备或系统，或其本身就包括制冷元件或系统，也会造成低温环境。

低温几乎对所有的材料都会产生不同程度的不良影响，使其物理性能、电性能等发生变化，甚至引起失效。

进行低温试验的目的是为了确定电子电工产品在低温条件下储存或使用时的适应性。所谓低温条件下的适应性是指产品在恒定的低温条件下储存或使用，能保持完好、不受损坏并能正常工作的能力。

2.2 低温试验方法

60年代以前，人们按照规定的试验温度、试验温度容差（即容许误差）和试验持续时间进行简单的低温试验。经过多年的实践发现，不仅温度和作用时间会影响产品的适应性，而且温度的作用方式也对产品的适应性有很大影响。因此从60年代中期以后，IEC制订了温度突变和温度渐变两种类型的低温（或高温）试验。所谓温度突变试验是指试验箱（室）的温度预先调整到试验规定的温度，然后，将处于实验室环境温度下的样品放进试验箱（室），当箱（室）温度恢复到试验规定的温度时，开始计算试验持续时间。所谓温度渐变试验是指试验箱（室）和试验样品同处于实验室环境温度下，在样品放进试验箱（室）以后，箱（室）温度以一定的变化速率调整到试验规定的温度上，并保持试验规定的持续时间。试验的严酷等级，即温度（包括容许误差）和试验持续时间，应根据产品预计经受的储存或使用环境条件和时间来选择。这两种类型的试验由于确定产品在低温条件下储存或不工作时的适应性是有效的，但对产品在现场使用环境下工作时，产品本身发热或冷却以及周围环境对产品的影响问题没有考虑。到了70年代，根据环境温度的作用方式和产品在使用中的特点，制订了散热和非散热样品的温度渐变和突变试验。在环境试验领域，散热样品是指当试验箱（室）和试验样品在试验规定的温度上稳定以后，在“自由空气”条件下测量，试验样品的表面最热点温度高于周围大气的环境温度 5°C 以上者。低于 5°C 者则为非散热样品。“自由空气”条件是指在一个无限大的空间内的条件。如果在这种条件下进行试验时，空气的热对流运动是由

样品的辐射热引起的，而样品的辐射热被周围空气所吸收。所谓无限大的空间是相比较而言的，一般来说，只要试验箱（室）和试验样品之间的体积比大于或等于5：1，便可以认为试验是在一个无限大的空间内进行的。

综上所述，现行IEC63-2-1出版物和我国国家标准GB2423.1-81规定的低温试验有三种类型：非散热样品的温度突变的低温试验，非散热样品的温度渐变的低温试验和散热样品的温度渐变的低温试验。图2-1所示为低温试验类型方框图。

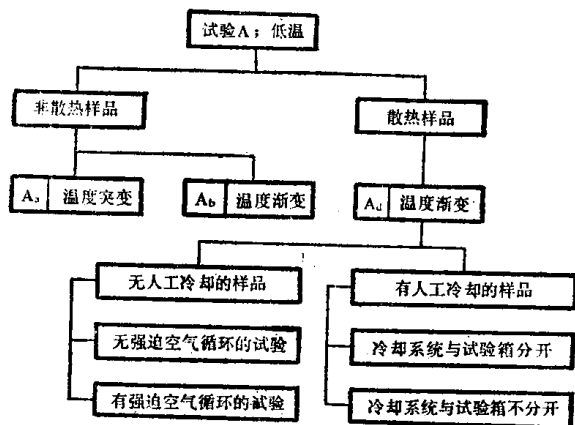


图2-1 低温试验类型方框图

美国军标（下称MIL）MIL-STD-810规定了军用设备低温试验的方法，内容比较简单，试验中包括储存、工作及装拆操作等不同情况。美国军标MIL-STD-202是军用元件的环境试验标准，其中未规定低温试验标准。

在国家标准（GB标准）和IEC标准中，低温试验规定的试验温度和持续时间完全相同，见表2-1。

表2-1 国家标准和IEC标准的低温试验

参 数	IEC 68-2-1	GB2423.1-81
温 度 (°C)	-65, -55, -40, -25, -10, +5	-65, -55, -40, -25, -10, +5
容 差 (°C)	±3	±3
持续时间(h)	2, 16, 72, 96	2, 16, 72, 96

MIL-STD-810的低温试验条件见表2-2。

表2-2 MIL-STD-810标准的低温试验条件

参 数	MIL-STD-810C (1975年)	MIL-STD-810b (1983年)
温 度 (°C)	-57	-51, -54, -57, -61
容 差 (°C)	±2	±2
持续时间(h)	24	根据产品性能及材料而定

2.3 低温试验设备

2.3.1 低温试验设备的类型

1. 直接冷却式低温箱（室）

直接冷却式（简称直冷式）低温箱（室）是利用在试验时，箱（室）内放入冷却剂（如液态氧或二氧化碳等）之后，由于冷却剂的蒸发吸热而降低箱（室）内的温度。

虽然直冷式低温箱（室）的结构简单，降温速度也快，但是冷却剂与被试样品要直接接

触，遇到热空气时易结冰、结霜，温度不易控制，箱（室）内温度分布也不均匀，试验的再现性较差，因而目前在环境试验领域很少采用。

2. 间接冷却式低温箱（室）

间接冷却式低温箱（室）工作时，冷却剂在一个闭环系统的冷冻机内被压缩，然后又在该系统的蒸发器中急剧膨胀蒸发，从而吸收周围空气中的大量热量，使低温箱（室）降温。

间接冷却式低温箱（室）结构复杂，设备成本高，但因冷却能力强，温度容易控制，箱（室）内温度分布均匀和试验再现性好，所以被环境试验、工业、商业、医药卫生等领域广泛采用。

2.3.2 对试验设备的要求

非散热试样样品在进行低温试验时，试验箱（室）的工作空间〔是指试验箱（室）内能满足规定试验条件并且该条件能保持在规定容差范围内的那一部分空间〕应能达到并保持规定的试验温度和相应容差要求。

低温箱（室）应配备能连续监测并记录试验条件的仪表。

为了保证低温箱（室）内试验规定的条件及温度的均匀性，试验箱（室）应采用强迫空气循环，在空载时测得的风速不低于 2m/S 。但在MIL标准中，箱（室）内加上负载时靠近样品测得的风速一般要求不超过 1.7m/S 。

为了限制辐射，整个箱（室）壁的温度应不超过规定的试验温度的 8% （以绝对温标计算）。试验箱（室）的加热或冷却系统（或装置）应对被试样品无影响。

对于非散热样品，在进行温度渐变的低温试验时，要求试验箱（室）的升降温速率不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ （取5分钟内的平均值）。

对于散热样品，在进行低温试验时采用的试验箱（室）也应满足上述要求。所不同的是，为了取得再现性好的试验结果，散热样品进行低温试验时最好采用无强迫空气循环的试验箱（室），但应保证在试验时试验箱（室）的工作空间的体积与样品体积之比不小于 $5:1$ ，样品的任一表面与对应的箱（室）壁之间的最小距离不小于 15cm 。有时，由于箱（室）体积小，样品体积大和耗散热量多而不能满足“自由空气”条件，则允许使用有强迫空气循环的试验箱（室），但是，箱（室）内的风速应尽量低，一般不超过 0.5m/S 。

2.4 试验程序

2.4.1 非散热样品试验程序

试验开始之前，试验样品应在正常的试验大气条件（温度 $15\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $45\sim 75\%$ ，气压 $86\sim 106\text{kPa}$ ）下稳定 $1\sim 2$ 小时，同时应对样品进行全面的外观检查，电性能和机械性能的检查及测量，并记录其结果。

试验开始时，样品应在不包装、不通电、准备使用的状态，并按正常工作位置放进试验箱（室）内。也可以按产品标准规定的状态放进试验箱（室）内。样品本身的安装器件或附件可以与样品一起进行试验。

对于温度突变的低温试验，在样品放进试验箱（室）后，应使试验箱（室）和试验样品在规定的试验温度上重新稳定。对于温度渐变的低温试验，应使试验箱（室）的温度以不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ （5分钟内的平均值）的温度变化速率调整到规定的试验温度。在此温度下保持规定的试验持续时间。

在试验期间，可以根据产品试验标准的要求，对样品加电或加负载。也可以按照要求在

试验期间或试验结束（试验箱仍保持试验条件，样品仍在试验箱内）时，对样品进行中间检测并记录其结果。

2.4.2 散热样品试验程序

1. 无人工冷却的样品

(1) 无强迫空气循环的试验箱（室）

这种试验与非散热样品的温度渐变的低温试验的试验程序基本相同。所不同的是，样品在通电或加负载期间应按产品标准规定检查样品正常工作的能力。而且样品应按照工作循环保持在工作状态，并应按照产品标准规定保持在负载状态。

在试验结束并开始升温之前，样品不应再通电或应去掉负载。

(2) 有强迫空气循环的试验箱（室）

采用无强迫空气循环的试验箱（室）不能满足试验条件时，允许使用有强迫空气循环的试验箱（室）。一般可以根据具体情况分别采用下面两种试验方法。

方法A

在试验用的试验箱（室）足够大，并且可以满足“自由空气”条件，但试验箱（室）内的环境温度的保持有困难，只有采用有强迫空气循环的试验箱（室）进行试验才能满足要求时，一般采用方法A。方法A的试验程序如下：

第一步，测量样品表面温升 ΔT 把样品放进在实验室环境温度（简称室温）下的试验箱（室）内，在不打开试验箱（室）的强迫空气循环和降温系统时，样品加上规定的试验负载并测量其表面有代表性的几个点上的温升 ΔT_1 ，记录其结果。见图2—2

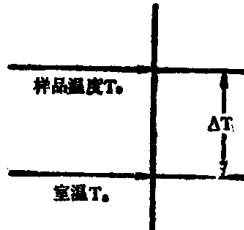


图2—2 在室温下的箱（室）内监测样品表面温升 ΔT_1

第二步，调整箱（室）内的风速 打开试验箱（室）的强迫空气循环系统，当温度稳定以后，重新测量第一步中所测量的各点温度并记录其温升 $\Delta T_1'$ 。一般说来， $\Delta T_1 - \Delta T_1'$ 的差值很小，不超过 3°C 。如果超

过 3°C ，说明风速太大，应降低风速，直至不超过 3°C 。见图2—3。

第三步，试验 调整好试验箱（室）的风速以后，试验箱（室）的温度以不超过 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ （5分钟内的平均值）的降温速率降到规定的试验温度。见图2—4。

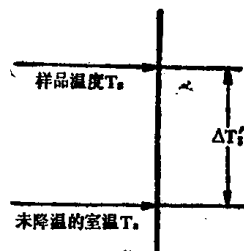


图2—3 在有强迫空气循环的箱（室）内测量样品的表面温升 $\Delta T_1'$

试验按照2.4.2 1. (1)的试验程序进行。

方法B

在试验箱（室）的体积很小，而且不能满足“自由空气”条件的要求时，必须采用有强迫空气循环的试验箱（室）进行试验。其方法如下：

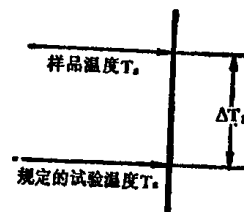


图2—4 规定的试验温度的监测

首先假设在“自由空气”条件下，样品表面热点温度和周围空气的环境温度之差 ΔT_1 与周围空气的环境温度无关。如果 ΔT_1 小于 25°C ，则该假设成立。 ΔT_1 大于 25°C 时，则必须进行以下订正：

根据辐射理论，试验箱（室）内的散热样品通过辐射传递到箱（室）壁的热量为

$$P_1 = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right)} (T_s^4 - T_a^4) \quad (2-1)$$

通过对流的热交换量为

$$P_2 = \alpha (T_s - T_a) \quad (2-2)$$

假设试验箱（室）壁与环境空气具有相同的温度，则

$$\frac{P}{A_2} = P_1 + P_2 = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right)} (T_s^4 - T_a^4) + \alpha (T_s - T_a) \quad (2-3)$$

式中： P 为单位时间内热交换量（ W ）；

A_2 为样品表面积（ m^2 ）；

A_1 为箱（室）壁的表面积（ m^2 ）；

T_a 为箱（室）壁的温度（ K ）；

T_s 为样品表面温度（ K ）；

ε_1 为箱（室）壁的辐射系数；

ε_2 为样品的辐射系数；

σ 为斯蒂芬—玻尔兹曼常数， $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^2 \cdot K^{-4}$ ；

α 为对流系数（ $W \cdot m^2 \cdot k^{-1}$ ）， α 与 $T_s - T_a$ 和 a 有关；

a 为样品的平均尺寸（ m ）。

对于“自由空气”条件或黑色箱（室）壁的情况，式（2—3）可以简化为：

$$\frac{P}{A_2} = \varepsilon_2 \sigma (T_s^4 - T_a^4) + \alpha (T_s - T_a)$$

也可以改写为

$$\frac{1}{\alpha} \frac{P}{A_2} = \left(T_s + \frac{\varepsilon_2 \sigma}{\alpha} T_s^4 \right) - \left(T_a + \frac{\varepsilon_2 \sigma}{\alpha} T_a^4 \right) \quad (2-4)$$

令

$$X_s = T_s + \frac{\varepsilon_2 \sigma}{\alpha} T_s^4$$

$$X_a = T_a + \frac{\varepsilon_2 \sigma}{\alpha} T_a^4$$

则式（2—4）可以写为：

$$\frac{P}{A_2} = \alpha (X_s - X_a) \quad (2-5)$$

由于 α 与 $T_s - T_a$ 和 a 有关。在 $\varepsilon = 0.7$ 时，根据不同的 a 值，便可以得到用环境温度订正表面温度的列线图，见图2—5。

由此可见，本订正包括了对流误差和辐射误差。