



装备科技译著出版基金

加速可靠性 和耐久性试验技术

Accelerated Reliability and
Durability Testing Technology

[俄] Lev M. Klyatis 著
宋太亮 方颖 丁利平 等译
章国栋 宋太亮 等审校



国防工业出版社
National Defense Industry Press

WILEY



装备科技译著出版基金

加速可靠性和耐久性 试验技术

Accelerated Reliability and Durability Testing Technology

[俄] Lev M. Klyatis 著

宋太亮 方颖 丁利平 等译

章国栋 宋太亮 等审校

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2014-131 号

图书在版编目(CIP)数据

加速可靠性和耐久性试验技术/(俄罗斯)凯耶斯(Klyatis, L. M.)著;

宋太亮等译. —北京:国防工业出版社, 2015. 5

书名原文: Accelerated reliability and durability testing technology

ISBN 978-7-118-10029-7

I. ①加... II. ①凯... ②宋... III. ①加速—

可靠性—试验②加速—耐用性—试验 IV. ①TB4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 059941 号

Translation from the English language edition:

Accelerated Reliability and Durability Testing Technology by Lev M. Klyatis

Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 22¼ 字数 439 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

译者序

可靠性是武器装备战斗力的“倍增器”。可靠性水平的高低直接反映了武器装备质量水平和技术水平的高低,可靠性是装备发挥战术技术性能的根本保证,没有可靠性就没有战斗力。因此,发展高可靠性武器装备是世界各国武器装备工作的重点和难点。随着大量高新技术特别是信息技术在装备上的应用,以及武器装备作战方式呈现出基于信息系统的一体化联合作战模式,不仅对可靠性水平要求进一步提高,而且保证可靠性的难度进一步加大。

我国从 20 世纪五六十年代起就开始引入可靠性概念,开展了理论与应用研究,编制了国家军用标准,并在型号中开展了工程实践,取得了一定的成效。但从部队试验、演习、使用和保障情况来看,可靠性问题还是我国武器装备发展提升的瓶颈问题。如果说我们某些武器装备的战术技术性能指标与国外相比差距在进一步缩小的话,武器装备的可靠性、维修性、保障性水平的差距却在进一步扩大。

当前,武器装备作战使命任务需求增加,装备的使用强度进一步提高,使用环境不断扩大和严酷,而且装备的功能性能和复杂程度都在进一步提高,如何保证装备的可靠性,一直是困扰着设计研发人员,尤其是在研制进度要求急、设计研发和试验力量薄弱的情况下,传统的设计分析方法和依靠大量试验的做法受到了挑战。国内引入可靠性工程技术多年后,曾经引起了设计人员和管理人员的广泛兴趣,但是后来发现实践起来难度大,效果不明显,于是就怀疑这些方法的有效性。这是因为可靠性工程技术是从电子产品领域发展而来的,有些分析方法和模型主要适用于电子产品。对于机械产品,故障机理、模式、变化规律等更加复杂,标准化程度更低,故障信息更加缺乏等,可靠性技术方法在机械产品上应用效果不明确。大量的实践表明,产品的可靠性(特别是机械产品)与产品的结构、工艺、材料、负荷、应力、使用方式等密切相关,一旦这些因素在早期方案选择时确定了,后面的可靠性分析方法,对产品可靠性的大幅度提升作用是非常有限的,因此,要提高可靠性关键是在设计的早期。设计后期开展的可靠性设计和分析工作,主要目的是发现设计缺陷,消除故障,以保证产品可靠性的提高,但对可靠性的大幅提高效果有限。

目前,在可靠性工程领域面临两大难题,一是如何提高可靠性水平;二是如何考核可靠性水平,这两个难题是相互关联的。一方面,可靠性水平的真正提高

还是要依靠技术创新,主要包括产品、材料、工艺等方面的技术进步,新材料新工艺的问世,不仅带来技术性能的改善,而且还会带来可靠性水平的提高;同时提高设计研发能力也是重要的手段,许多单位还是采用传统的设计方式,已经不能完全适应装备快速发展的要求,基于数字化平台的多学科优化设计技术在国外应运而生。另一方面,可靠性水平的准确评价不仅可以判断设计方案达到可靠性要求的情况,而且可以精确知道可靠性水平的高低,为保障系统和资源规划提供输入。但是,传统的序贯式试验方法不仅试验时间长,费时费钱,而且不能真实地反映装备的实际使用情况,不能真正发现问题,因为装备出现故障和功能退化是由多种因素共同交互作用的结果。

本书的作者,Lev M. Klyatis 教授解决了这一问题。他创造性地提出了作为跨学科体系方法一部分的加速可靠性试验和加速耐久性试验技术、方法和设备,可以精确地预计复杂产品的可靠性和耐久性水平。Lev M. Klyatis 博士是苏哈尔 (SoHaR) 公司的高级顾问,是纽约国际艺术与科学协会董事会的成员。他在 1991 年被苏联最高考试委员会任命为终生教授,1990—1992 年担任莫斯科农业工程师大学全职教授。他于 1993 年来到美国。他发表了大量学术论文,多部学术著作,拥有多国多项专利,具有丰富的理论和实践经验。

希望本书的引进、翻译和出版能对提高我国装备可靠性水平起到积极的促进作用,也希望广大的设计研发人员、试验人员加强理论研究和应用实践,开发出适合我国装备特点的加速可靠性试验和加速耐久性试验技术、方法和设备,为提高装备可靠性水平做出新的贡献。



2014 年 12 月

译者的话

有人经常会问:在装备研发过程中已经开展了大量试验,而且又通过了定型试验,证明装备已满足了可靠性要求,为什么装备部署到部队后,还是故障不断,质量问题多发?

问题还是出在研发过程和定型试验上。我们知道,研发过程开展的大多数试验,都是简单条件下的单项试验,不仅试验条件不是装备到部队后的真实使用环境条件,而且许多试验不是真正意义上的可靠性试验。定型试验通常考核的主要是战术技术性能,因为这些性能参数比较直观,短期内比较容易考核。但是,可靠性问题比较复杂,主要原因是装备出现故障和性能退化,是多个环境和应力因素共同交互作用的结果,目前的所有研制试验都不可能反映装备的真实作战使用条件。因此,最近提出了贴近实战条件的质量考核验证问题,但是目前不仅真实的实战条件难以搭建,而且最后试验时已是装备研发的后期,装备本身早期设计所遗留的固有的可靠性问题如果不及时发现,造成使用中故障多发。

与此同时,产品的可靠性(特别是电子产品)要求越来越高,寿命越来越长,采用传统的试验技术,要求试验样本大,试验时间长,试验费用高,已不能完全解决快速发展高质量装备的需求,需要研究新的更经济有效的可靠性试验技术和方法。

本书提供的技术和方法是解决以上问题的有效途径。本书通过运用跨学科体系建模仿真技术,利用现场收集数据,采用多环境试验及其设备的组合,实施加速可靠性试验和加速耐久性试验,最终精确地预计产品的可靠性水平。不仅可以节省时间和经费,而且预计的可靠性水平比较准确,可以在产品研发的早期广泛使用,具有较强的通用性和实用性。

本书共8章,第1章由宋太亮翻译,第2章由余博彪翻译,第3章由邢彪翻译,第4章由帅勇翻译,第5章由丁利平翻译,第6章和第7章由张宝珍翻译,第8章及结论、术语和定义部分由方颖翻译。全书由章国栋、宋太亮审校。宋太亮、方颖负责全书的翻译策划、统稿等工作。参加本书翻译工作的还有黄金娥、张扬、徐东、唐伟丽、王琴琴。

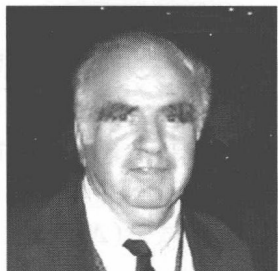
本书在版权引进和出版过程中,得到了国防科技翻译出版基金的资助,在此

表示衷心的感谢。

本书的作者 1993 年由俄罗斯来到美国,他的大量研究成果可能都是由原来的俄文翻译成英文的,现在由英文翻译成中文,有些用词和句子不太符合英文的习惯,因此翻译起来不够顺畅。加之译者和审校者水平所限,错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

译者
2014 年 12 月

作者简介



Lev M. Klyatis 博士是苏哈尔 (SoHaR) 公司的一名高级顾问,是纽约国际艺术与科学协会董事会的成员。他从事的专业是可靠性、耐久性和维修性。他通过创新现场条件下精确的物理仿真、加速可靠性/耐久性试验,以及质量/可靠性/耐久性/维修性的准确预计,创造性地提出了可靠性/耐久性/维修性问题的加速解决方案这种新方法。他开发了减少投诉和召回的方法。他拥有三个博士学位:工程技术博士、高级工程技术东欧博士学位(理学博士)以及高级西欧工程学博士学位(博士取得了资格)。

他在 1991 年被苏联最高考试委员会任命为终生教授,1990—1992 年担任莫斯科农业工程师大学全职教授。他于 1993 年来到美国。他发表了超过 250 多种出版物,包括 8 本书。他最近的工作是研究质量和加速可靠性解决方案(2006 年)。他在不同的国家拥有 30 余项专利。他是 ASQ 研讨会产品加速试验研讨会的指导员。

他经常在美国以及国际性会议、学术交流会和专题讨论会上,举办现场条件下准确仿真、加速试验和质量可靠性、耐久性和维修性准确预计方面的讲座。Klyatis 博士在汽车、农业机械、航空航天等行业任职。他是福特、戴姆勒—克莱斯勒、Thermo King、Black & Dekker、美国航空航天局(NASA)研究中心、卡尔·申克(德国),以及其他行业的高级顾问。

Klyatis 博士作为美国专家和风险评估安全方面 ISO / IEC 的联合研究小组专家,供职于美国—苏联对外贸易经济委员会、联合国欧洲经济委员会和国际电工委员会。他是国有企业 TESTMASH 的首席研究员和董事长,政府试验中心的首席工程师。他目前是某一美国机构 ACDI VOCA 的顾问,世界质量委员会成员,Elmer A. Sperry 委员会奖获得者,美国汽车工程师学会工作组 G-11 行政与可靠性委员会委员,美国汽车工程师学会的质量和稳健性设计委员会委员,美国汽车工程师学会国际大都会理事会成员。

前 言

2009—2010 年,丰田公司在全球轿车和卡车的召回量猛增到 850 万辆^[1]。其他的汽车制造商也发生了类似的情况并有可能再次发生,同样的问题也可能发生在其他类似的企业。丰田公司今后同样可能发生类似的问题。造成更多召回和投诉,以及更高成本、更长维修时间和寿命周期成本的原因,是在设计和制造过程对产品的可靠性、耐用性和质量所做的预计不准确。预计不准确的主要原因,是由于缺乏适当的加速可靠性试验(ART)和加速耐久性试验(ADT)作为预测的初始信息来源。

本书的重点是给出技术(方法和设备)多种应用,这些技术以反映现实世界的多产品交互影响的方式,提供了真实产品的实用 ART 和 ADT。

过去,在质量、安全、人的因素、可靠性、维修性、耐久性和维修性领域,无法获得针对综合多种工程问题的全面解决方案。这种设计缺陷的最基本原因是无力解决一个极其重要的问题——加速可靠性(耐久性)试验。ART 和 ADT 提供了综合的解决方案,这种解决方案将对产品研发时间、成本、质量、设计和有效的产品/工艺产生积极的影响。本书的应用背景是工业产品的设计和开发。这种方法同样适用于大量其他产品和工艺的研发,例如,消费品、工业、制造、医疗、银行、医药、教育、军事等领域。

以前加速试验方法的弱点,如振动测试、腐蚀试验、步进应力试验、热振动(thermoshock)试验、高加速寿命试验(HALT)、高加速应力筛选(HASS)、加速老化、机械裂纹扩展和增长、环境应力筛选(ESS),是不适当地仅利用了少数影响因素,并孤立地利用这些因素。这样的试验以单一方式改进设计,但未能提供以系统集成的方法结合诸多复杂因素形成的全局最优解决方案。这类单独实施的试验,不能为定期准确预计产品和工艺的退化及故障提供足够的信息,没有考虑这些因素与真实世界的大量因素之间的复杂相互作用。

这种解决方案不能准确地考虑各种复杂因素相互作用的影响,这种影响可能导致研制进度延迟和增加与下述有关的费用:

- 设计时间和结果;
- 客户满意度和费用;
- 维护频率、费用和改装;
- 担保费用和召回;

- 产品/工艺随着时间的恶化;
- 故障时间间隔和担保期;
- 质量要求和指标;
- 产品安全性;
- 人的因素。

很多人试图通过在标题中包含“耐久性”,人为地增加有限的试验值(即“耐久性振动试验”)。振动试验不足以评价或预测产品的耐用性。振动试验只是适用于作为复杂耐久性试验一部分的大量机械部件试验的一种试验而已。单独的振动试验不足以研究加速预测可靠性、维修性和耐用性改善或解决其他许多相关的问题。

基于多种类型加速试验(现场、实验室、多环境、机械、电气等)组合的 ART 或 ADT,集成了安全和人的因素,这有助于解决所确认的各种问题。ART 和 ADT 都使用了一种现场环境准确仿真技术,在第 1 章中说明了这种情况。

什么是技术? 技术往往是一个通用的术语,用以涵盖人们在开发活动中使用的所有技术。联合国教科文组织把技术定义为“在努力改善人类生活条件下,可能会帮助人们利用工具、资源和系统以解决各种问题,并提高对自然和人造环境的诀窍和创造性的过程”^[2]。因此,技术涉及知识、创意、经验、洞察力和资源的有目的的应用,以产生出满足人的需求或者期望的工艺和产品。在特定团体中,人们的需求和希望加上他们的创意,决定了如何开发和如何应用这些技术。

ART 和 ADT 技术的简单定义是一个由特定试验技术、设备和用法组成的“综合体”,这些因素影响到产品质量、可靠性、耐久性、维修性、可用性和保障性的准确预计及成功的产品加速研发。

按照 ART 或 ADT 组合实施的每一种类型的可靠性和耐久性实验室试验,由许多单项试验组成,对多个输入因素的单独仿真和协同仿真会影响到最终的结果。例如,多环境试验包括温度、湿度、化学污染、粉尘污染、紫外线、红外线、光谱的可见部分、空气压力,以及其他影响因素的组合。

本书是关于 ART 和 ADT 的第一本书,旨在使读者熟悉实施 ART 和 ADT 所必需的技术和设备。为了回答“如何做?”的问题,作者使用了本领域 30 余年的经验总结,特别是在 ART 和 ADT 领域,同时将世界范围的经验介绍到该领域来。

这项工作包括实施 ART 和 ADT 的新思想和新技术,这些思想和技术提高了试验和现场数据之间的高度相关性。这些重要的试验过程在不断发展和壮大。在现实世界中,用于设计和研发的大部分重要因素是相互关联的。模拟、试验、质量、可靠性、维修性、人一系统交互、安全性和许多其他因素是相互联系的,并且彼此之间相互影响。这也适用于温度、湿度、空气污染、光照射、道路条件、

输入电压,以及许多其他参数相互作用的影响。

如果忽略了这些相互作用,那么人们就不能用模拟情况准确表示真实世界的情况。因此,基于模拟的试验,没有考虑现实世界的相互作用,就不可能为准确预计质量参数量值提供足够的信息。本书提供了消除这些消极因素的措施,并充分说明 ART 和 ADT 的策略。

ART 和 ADT 是一个比较复杂问题的重要组成部分,主要包括:利用加速试验对开发产品质量、可靠性、耐久性以及维修性的准确预计。这种独特的方法表明,ART 和 ADT 是重要的工具,用于由其他试验参数产生的多重相互作用的综合。此方法运用体系方法,并说明了如何使用 ART 和 ADT 估计可靠性参数值及相关维修性、耐久性和质量参数值。其中一个用途是用它来获得准确的维修性、耐久性和预计在给定的时间(保修期内,使用寿命)内质量的期望水平。这种方法减少了客户投诉、产品召回、生命周期成本和“上市时间”,同时促进相关问题的解决。

大多数出版物只关注于数据分析的理论方面(包括试验数据)、试验计划、参数估计和加速试验数据统计,对于试验设备的说明、试验协议及其应用很少提及。在这种情况下很少能找到实施 ART 和 ADT 任务所需的过程说明和设备信息。

工程师和管理人员特别需要知道如何正确地实施 ART 和 ADT。本书提供的明确优点是解释技术、技术和设备,这些特点足以使工程师和管理人员及其他专业人员能够成功地实施实用的 ART 和 ADT。本书提供了迅速查找产品和过程方面退化和故障原因(以举例),并迅速消除或减轻这些原因或影响的指南。这种方法证明了如何加快过程,以提供在给定保修期和使用寿命内产品的质量、可靠性、耐久性和维修性研制期间的准确预计。

每个单独的产品都需要一个专门的试验计划和试验技术,但对于解决这些问题的方案是通用的。因此,本书可用在各个不同的行业,对海上、空中和太空不同类型产品的应用领域是非常有用的。

ART/ ADT 需要在设备和高层次专业人才方面有一个资本投资,以便管理和实施 ART 和 ADT。目前,只有非常有限的工业企业有这种适用的试验指南。很多首席执行官(CEO)在对试验进行投资决策时,没有充分地理解在 ART/ ADT 方面的投资,然而这方面的投资通常会导致利润上 10 倍的增加。这不仅可以减少投诉和召回,提高可靠性、耐久性和维修性,还可以降低全寿命周期成本。加速可靠性(耐久性)试验比目前使用的其他类型的加速寿命试验更加复杂。

直到 20 世纪 50 年代后期,专业人士才开始认识到对产品/过程的不同影响之间的大量相互作用,这可能导致忽视重要的退化和失效机理。起初,试验采用串联方式,即在某一时间输入一种影响因素,如单独考虑温度试验。然后在试验

中加入其他因素,如湿度。当明确地表明温度和湿度不能解释所有的故障时,再重新试验其他的影响因素,例如振动。这种串联过程需要不断地增加其他必要的影响参数来解释非预期的故障。虽然进行了设计改进,以确保设备在每个单一环境将是可靠的,但在真实环境中的最终试验中,意外故障还是发生了。这是由于没有进行由许多输入影响因素综合相互作用的评估。最终,工程师们认识到,不同环境因素相互作用的协同效应造成了产品的退化的故障。

产品同时经受不同影响因素的一种新的试验方法,就是联合环境可靠性试验(CERT)^[3]。CERT需要新的试验设施和试验设备。例如,振动台和烤箱相结合,生产了被幽默地称为“摇烤”的装置^[4]。事实上,这样的多环境试验只是部分地反映了投入现场的影响因素,力学性能试验、电子试验以及其他类型的试验也是存在的。ART和ADT的基础,是对产品或过程集成了安全和人的因素的同步模拟所有现场的影响因素。

每个实验室研究应用不同领域现场的仿真和试验。本书可以通过使专业人士在更高层次上实施研究,以提高这项工作的质量。

ART在许多方面是与ADT相同的。因此,许多情况下将ART作为ADT“同时结合”这个词的重复,反映了ART和ADT的基本精神。

本书是为工业工程师、试验工程师、可靠性工程师和管理人员编写的,也适用于服务业和维修业的人员、工程研究人员、教师和从事质量、可靠性、耐久性、维修性、人员、仿真和试验学习的学生。作者希望感谢在各个阶段提供帮助的人员:Y. M. Abdulgalimov, J. M. Shehtman, E. L. Klyatis, V. A. Ivnitsky。

Lev M. Klyatis

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 加速试验(AT)的目的	1
1.2 AT 的现状	2
1.2.1 第一种途径	2
1.2.2 第二种途径	5
1.2.3 第三种途径	6
1.2.4 第二种途径:更为详细的回顾	7
1.2.5 医疗器械的耐久性试验	14
1.3 与建立试验工作项目相关的风险的财务评估	19
1.4 ART 和 ADT 的共同原则	22
1.4.1 现状	22
1.4.2 改进	24
1.5 ART 和 ADT 的有效性水平	26
练习题	33
第 2 章 作为跨学科的系统体系方法组成部分的加速可靠性试验	34
2.1 可靠性、维修性和质量方面当前的习惯做法	34
2.2 作为跨学科系统体系方法组成部分的产品/过程	
可靠性和耐用性	38
2.3 外场的失效及使用数据的收集与分析	41
2.4 现场输入影响因素	46
2.5 作为现场状况一个组分的安全性问题	48
2.6 作为现场状况组分的人的因素	49
2.6.1 一般信息	49
2.6.2 心理生理学的影响	53
2.6.3 人的因素的准确模拟	54
2.7 质量与可靠性的相互联系	55
2.8 将质量与可靠性综合的策略	57
2.8.1 工程文化的影响	57

2.9	ART/ADT 在达到高的质量、可靠性、维修性和耐久性中的作用	62
	练习题	64
第3章	加速可靠性和耐久性试验的基本概念	66
3.1	开展作为成功的 ART 和 ADT 基本组分的外场状况准确模拟	66
3.1.1	总论	66
3.1.2	内容	66
3.2	实现用以准确模拟外场条件的典型区域的概念性方法论	74
3.2.1	算法	75
3.2.2	过程选择及其表征	75
3.2.3	典型区域的长度 T_R	75
3.2.4	波形图不同区域间数值的比较	76
3.2.5	典型区域的选择	77
3.2.6	选择典型区域的示例	77
3.3	ART 与 ADT 的基本程序	80
3.3.1	步骤1:来自外场的初始信息的收集	80
3.3.2	步骤2:作为随机过程的初始外场信息分析	83
3.3.3	步骤3:确立对外场条件下的产品进行物理模拟的方案	83
3.3.4	步骤4:模拟外场输入影响因素对实际产品影响的试验设备的研发与使用	85
3.3.5	步骤5:在 ART/ADT 过程中确定要分析的试验参数的数目和类型	86
3.3.6	步骤6:为 ART 选择一个典型的输入区域	87
3.3.7	步骤7:ART/ADT 的准备工作程序	87
3.3.8	步骤8:应用统计准则进行 ART/ADT 结果与外场结果的比较	88
3.3.9	步骤9:ART/ADT 数据的收集、计算与统计分析	91
3.3.10	步骤10:受试对象在其使用寿命期内的可靠性、耐久性和维修性动态变化的预计	93
3.3.11	步骤11:将 ART/ADT 结果用于进行受试对象的快速且经济有效的研发和改进	93
3.4	ART 和 LCC	95
3.4.1	概述	95
3.4.2	间接费用	98
3.4.3	保修(担保)费用	99
3.4.4	将 LCC 分解为各费用元素	99

3.4.5	费用的估计	99
3.4.6	工程性费用法	100
3.4.7	寿命周期费用计算的审查	100
3.4.8	分析的更新	100
3.4.9	实施的结果	101
练习题		101
第4章	加速可靠性与耐久性试验方法论	104
4.1	现状分析	104
4.2	加速可靠性与耐久性试验的基本原理	109
4.3	作为不同类型试验的組合的 ART/ ADT 方法论	111
4.3.1	本方法的第一组分	112
4.3.2	本方法的第二组分	116
4.4	加速多种环境试验	118
4.4.1	加速多种环境试验的原则	119
4.4.2	环境因素对产品可靠性影响的机理	120
4.4.3	复合材料结构的加速环境试验	121
4.4.4	太阳辐射:全球变暗	123
4.5	加速腐蚀试验	125
4.5.1	腐蚀的代价	125
4.5.2	腐蚀的机理	128
4.5.3	输油管道排放与腐蚀造成的污染	135
4.5.4	海洋环境中的腐蚀	135
4.5.5	飞机腐蚀	136
4.5.6	产品的加速腐蚀试验	137
4.5.7	用于加速腐蚀的先进试验方法	142
4.6	先进的振动试验技术	156
4.7	外场可靠性试验	162
4.8	ART/ ADT 技术的发展趋势	162
练习题		165
第5章	用于可靠性(耐久性)试验技术的设备	168
5.1	用于可靠性(耐久性)试验的设备的现状分析	168
5.2	将用于不同类型试验的设备集成起来,作为进行 ART/ADT 的合成设备	176
5.3	用于 ART/ADT 和集成化设备试验的组成部分的考虑	177

5.3.1	一般考虑	177
5.3.2	如何将天然介质变为人工介质	178
5.3.3	合成设备的研制	187
5.4	用于机械试验的设备	196
5.4.1	振动试验	197
5.4.2	测功器刹车试验	219
5.5	用于多环境试验的设备及其组成部分	225
5.5.1	环境试验箱设计的现状	225
5.5.2	用于多环境试验的合成设备	228
5.5.3	腐蚀试验设备	232
5.5.4	风洞	234
5.5.5	太阳辐射试验箱	245
5.5.6	沙尘试验箱	250
5.5.7	臭氧试验箱	256
5.5.8	加速风化试验	263
5.6	用于电气试验的设备	266
	练习题	268

第6章 作为质量、可靠性、维修性、耐久性精确预计和加速

	产品开发初始信息源的加速可靠性、耐久性试验	271
6.1	关于质量、可靠性、耐久性和维修性精确预计	271
6.2	可靠性、耐久性、维修性和质量的精确预计以及加速 产品开发策略	272
6.2.1	引言	272
6.2.2	基于 ART/ADT 精确预计可靠性、耐久性和 维修性的准则	274
6.2.3	基于 ART/ADT 结果开发产品可靠性、耐久性和 维修性预计技术	276
6.3	ART 和 ADT 在质量、可靠性、维修性和耐久性准确 预计和加速产品开发中的作用	293
	练习题	294

第7章 采用加速可靠性/耐久性试验的财政及设计优势

	练习题	299
--	-----------	-----

第 8 章 加速可靠性试验标准..... 300

8.1 概述和分析..... 300

8.2 IEC 标准 302

8.3 ISO 标准 306

8.3.1 可靠性试验的 ISO 标准 306

8.4 可靠性试验军用标准和适用的文件..... 306

8.4.1 军用标准 306

8.4.2 军用手册 307

8.5 可靠性(耐久性)试验标准化学会 308

附录 A 结论..... 310

附录 B 术语及定义汇编..... 312

参考文献..... 324