

加速可靠性工程

高加速寿命试验 与高加速应力筛选

HALT and HASS, Accelerated Reliability Engineering

霍布斯 (Gregg K. Hobbs) 著

丁其伯 译

航空工业出版社

加速可靠性工程

高加速寿命试验与 高加速应力筛选

(美) 葛瑞格·K. 霍布斯 (Gregg K. Hobbs) 著
丁其伯 译

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

HALT 是利用步进应力,将三轴向六自由度随机振动、温度步进应力、快速温度变换的组合应力施加于产品,一旦发现故障就加以改进,然后加大应力再试验一再故障一再改进,如此循环,直至达到现有技术无法再作改进的极限,以寻求产品耐极限环境能力的试验。而在批生产阶段,则以比通过 HALT 获得的产品耐极限环境能力稍低的应力,作为设计此阶段 HASS 应力的依据。全书内容通俗易懂,工程实用性很强,既可作为 HALT&HASS 技术培训的经典教材,又可作为从事可靠性工作的工程设计和试验人员的重要参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

高加速寿命试验与高加速应力筛选 / (美) 霍布斯 (Hobbs, G. K.) 著; 丁其伯译. -- 北京: 航空工业出版社, 2012. 6

(加速可靠性工程)

书名原文: HALT and HASS, Accelerated Reliability Engineering

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0030 - 9

I. ①高… II. ①霍… ②丁… III. ①加速寿命试验
②加速度模拟—应力分析 IV. ①TB302②TB24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 144953 号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01 - 2011 - 6311 号

Translated from the English language edition: *HALT and HASS, Accelerated Reliability Engineering*; by Gregg K. Hobbs. Originally published by the Hobbs Engineering Corporation. ISBN 0 - 615 - 12833 - 5. Copyright © 2005 by the Hobbs Engineering Corporation. All rights reserved.

高加速寿命试验与高加速应力筛选

Gaojiasu Shouming Shiyan yu Gaojiasu Yingli Shaixuan

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2012 年 6 月第 1 版

2012 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 9

字数: 220 千字

印数: 1—3000

定价: 50.00 元

译者序

众所周知，近二十多年来，我国电子设备的产品质量，已经取得了长足的提高。既由于 GJB 150《军用设备环境试验方法》的贯彻实施，产品的耐自然环境和动力学环境极值的能力，已经有了显著的提高；又由于 GJB 450《装备研制与生产的可靠性通用大纲》、GJB 899《可靠性鉴定和验收试验》以及 GJB/Z 299《电子设备可靠性预计手册》等标准的贯彻实施，产品现场可靠性也已获得大幅度提高。

然而，从试验验证的角度来说，无论是环境试验，还是可靠性试验，上述试验的试验程序都是根据产品规范或技术条件制定的。环境试验的依据是规范规定的极端使用环境，而可靠性试验剖面则是根据产品部署的正常使用环境与部分极端使用环境的组合设计的。同时，产品在交付验收之前，还要 100% 地经受 GJB 1032《电子产品环境应力筛选方法》规定的长时间的、效费比很低的环境应力筛选。然而，通过上述环境试验和可靠性试验定型鉴定，并获得生产许可的产品，从批量生产开始，在生产线上流出的产品（尤其是新品），在通过环境应力筛选和验收试验后，交付现场使用时，还是会不断地出现问题，承制单位还得耗费许多的人力、物力和财力，才能完成外场的综合保障服务工作。这个问题，使人们常常感到十分无奈。这是因为：一方面，规范规定的使用环境不同于真实的使用环境，真实环境的影响往往是若干综合环境的累积结果，是实验室所无法精确模拟的。而且，真实环境应力的量值与往往通过拍脑袋的办法、以规范的形式规定的试验量值，也是有所差别的，甚至是差别很大的；同时，少数产品样本通过上述试验的考核后，产品群体的耐环境能力也会存在一定的散布，具有较大的不确定性，以致产品在现场使用仍然会出现许多故障模式。另一方面，尽管上述试验方法可以发现产品在环境能力方面存在的薄弱环节，通过改进后可以使其环境适应性和可靠性得到提高，但这种“设计—试验—改进—再设计—再试验—再改进—直至产品成熟”的过程，是一个既耗时费钱费力，并且效费比又很低也很无奈的工程实践。实际上，人们总是希望能找到一种使产品设计迅速而有效地达到成熟的方法或途径。

可以设想，如果我们使所设计的产品能经受比规范规定的现场环境高得多的使用应力的话，那么，如同身体好的人难得生病一样，产品在正常和极端使用环境下，是不会轻易出现故障的。为此，一方面，人们应该努力利用以往的设计经验，对产品实行健壮设计；另一方面，让产品尽可能地在远高于规范规定的应力下经受试验，并且在通过试验发现问题后应及时找出薄弱环节，采取改进措施，以使产品变得极为“健壮”。国外从 20 世纪 80 年代开始，以美国葛瑞格·K. 霍布斯（Gregg K. Hobbs）为代表，提出了高加速寿命试验（HALT）和高加速应力筛选（HASS）技术，就是这样一种使用高于现场环境的应力，以暴露和改善薄弱的设计和工艺缺陷，通过改进使产品变得更为健壮的方法。通过这种方法的使用，设计队伍既可以获得健壮的产品，又可以更快地获得成熟的产品，同时也使其

自身的设计能力得到迅速提高，成为设计高手或“设计精英”。

目前，HALT 和 HASS 技术，已经发展成为用于指导工程人员进行健壮设计和加速试验的成熟技术。故而，译者向大家介绍的正是 Gregg K. Hobbs 博士的专著：《高加速寿命试验和高加速应力筛选》。该书是约翰·威利有限责任公司（John Wiley & Sons Ltd.）出版的《威廉质量与可靠性工程丛书》中的一本。该丛书包括：

- 电子元器件可靠性：基本原理、建模、评价与保证，芬·詹森（Finn Jensen）。
- 集成电路故障分析：准备技术指南，弗里德里希·贝克（Friedrich Beck）。
- ISO 9000 质量保证用测量与校准要求，艾伦 S. 莫里斯（Alan S. Morris）。
- 加速可靠性工程：高加速寿命试验和高加速应力筛选，Gregg K. Hobbs。

如果本书能使诸位同仁在掌握与实践 HALT 和 HASS 技术的过程中有所得益，在成为设计、工艺、试验和管理精英的道路上有所帮助，译者将不胜欣慰。同时，对于译文中存在的不当之处，亦请识者不吝指正。

丁其伯

2011 年 12 月于洛阳电光设备研究所

原 版 序

建立新范型要经历很长的时间并且极为困难。传统工作提供的例证使人想起：

没有什么事情比负责一项新订货的生产，处理起来更为困难，带来更多的风险，或者在获得成功的过程中存在更多的不确定性。

高加速寿命试验（HALT）和高加速应力筛选（HASS）技术属于加速方法，它们使用高于现场环境的应力，以暴露和改善薄弱的设计和工艺。到本书写作时为止，作者及其众多的咨询客户使用这些方法已经有 30 年的历史了。直至最近的 1999 年，许多最超前的公司仍在严格保密的情况下使用这些方法。这些公司没有公开使用这些方法，是因为这样做会给他们的竞争对手，在传统技术方法之上带来明显的财务收益和技术进步。将传统方法与加速方法在速度、精度和成本等方面稍作比较，就可得知：

- （1）时间压缩因子数以百万计；
- （2）在许多情况下，投资回报（ROI）因子高达百万数量级；
- （3）可靠性改进因子数以千计。

HALT 和 HASS 是用于改善产品的先期有效的技术，而不是如同旨在测量平均故障间隔时间（MTBF）一样的用于产品可靠性试验的技术。按照 HALT 和 HASS 方法的创始人——作者的实践，本书给出了它们的基本原理和方法研究。这些方法是一种先行作用的技术，该方法通过在投产前于 HALT 中利用极端过应力条件找出产品的缺陷，然后在生产期间于 HASS 中利用过应力条件以快速暴露工艺缺陷。如果这些方法始终得到全面贯彻的话，通常会获得令人满意的结果。如果不采取本书描述的所有步骤，所有努力也许会变得毫无价值；也就是说，当忽略了某些关键步骤时，通常会引起现场故障的惊人增加，就像作者在许多场合所看到的一样，在保用期内或保用期后会导导致许多现场故障。请注意：工业界的许多专业人员至今仍然声称，他们要开展 HALT 和 HASS，但正如本书所描述的，他们并没有这样做，因此，他们没有获得成功，而当这些技术被正确地实施时，这种成功是完全可能的。在如何测试可靠性方面，HALT 和 HASS 并不是新技术，在如何有效地寻找设计和制造缺陷，以及在以费用有效的方式寻找无故障产品方面，它们是有用的技术。这真是一种用于制造出实际上决不出故障的产品的方法。

容易看出，能够生产出决不出故障的产品并且使客户高兴的方法，是真正的提高效益的机会。反过来说，正如在华盛顿的技术研究项目部所进行的研究成果中所看到的，出故障且使客户不高兴的产品会使效益受到严重损害，该研究结果的说明如下：

- （1）平均说来，每碰到一个提出申诉的客户，就有另外 26 个客户保持沉默。
- （2）每一个“受委屈的”客户平均会将所受到的“委屈”告诉 8~16 个人。
- （3）有 91% 的不高兴的客户绝不会再次购买已经得罪过他的公司的产品。
- （4）如果努力对客户的申诉进行补偿的话，约有 90% 的客户会与公司保持接触。

(5) 吸引一个新客户的费用大约是保持一个老客户的费用的 5 倍。

HALT 和 HASS 的这本讲义的内容是以作者在有关专题培训班上的论文为基础的。有两个培训班刚刚开过。第一个培训班是有关 HALT 和 HASS 的一日入门班；而第二个培训班是有关 HALT 和 HASS 的两天提高班，最后一天散发了说明相关设备使用方法的实验室经验。本书试图完整地阐述 HALT 和 HASS 的方法和基本原理；但没有包括正确使用这些方法所必需的问题，这些问题在其他地方可以获得。这些问题包括应力分析、动态分析和故障机理。这些问题中任何问题都是单独论述一个专题的若干讲义的题目。在这些情况下，为提供寻找必要信息的出处，将给出相关参考文献。

本书编排的顺序能使熟悉故障机理以及 HALT 和 HASS 所用设备类型的那些人，在深刻理解的情况下按顺序阅读本书。而不熟悉这些问题的那些人，在阅读论述 HALT 的第 2 章之前，可以跳到后面阅读论述故障机理的第 7 章，以及论述设备的第 10 章。第 1 章意在为更详细地讨论后续各章提供基础。重要的是要注意到：像实施该技术所需要的设备一样，其方法仍在快速地发展之中。引言（原文如此——译者）对该方法进行了评述，并给出了这些方法的开发年谱。在该章的末尾列出了通过采用这些方法获得成功改善的某些产品。还有许多产品已经成功地进行过 HALT 和 HASS，但保密协定不允许我们公布这些产品。第 1 章很简要地涉及到了故障机理，这也是所能获得的有关这些方法的某些评价的全部。第 2 章深入研究了 HALT；即在项目的设计阶段如何利用加速应力方法很快地发现设计和工艺缺陷。注意：为了检测在 HALT 中暴露的缺陷，检测筛选和调整激励通常是必需的。第 3 章涉及了这些问题，该章阐述了有关 HASS 的一般问题，以及利用 HALT 中学到的关于产品的信息来设计 HASS 剖面的方法。一旦 HASS 的剖面已经选定，在验证中必须遵循的一点是：剖面要为产品保留足够的寿命（该问题在第 4 章阐述），这一点应予慎重考虑。第 4 章还涉及 HASS 有效性的验证，以说明筛选确实会暴露预期的缺陷。第 5 章说明如何使 HASS 最佳化，以及通常如何保证获得一个费用最低的剖面，因而也就导出一个费用非常有效的剖面。

通常不需要在 HASS 中保持（筛选剖面）严格一致且具有可重复性，第 6 章说明了这样做为什么是正确的理由。第 6 章中所描述的对于筛选方法的仔细研究，已经节省了许多公司的大量经费，而且通过允许采用与在 HALT 和 HASS 中所施加的应力稍有差异的应力，还提供了从设计到全尺寸制造全过程的真实的加速。为什么要压缩时间，以及为什么进行 HALT 和 HASS 的理由，将在论述故障机理的第 7 章中提及。第 8 章深入探讨了试验系统检测率和分辨力（又称分辨率）方面的问题，用于确定产品的设计和组装是否正确，因为它能够加快软件达到成熟状态的速度，同时具有良好的检测率和分辨力，所以也称为软件 HALT。这是一项与常见的 HALT 不同的工作，它是作为软件开发工具来进行的。已经发现其检测率较窄，因为有许多“没有发现缺陷”，“不能复制”或“可能不能验证”现场引起的故障。这类现场工作正在取得重要进展，但管理成员还是不愿公开这些进展情况，因为利用这些方法能够获得很大的技术效益和经济效益。如果没有广泛的检测率，HALT 和 HASS 的有效性将明显降低，也就是说，如果人们不能检测所存在的问题，他们也就无法提出问题。

第 9 章讨论了进行 HALT 和 HASS 的设备，还讨论了使用为进行 HALT 和 HASS 而专

门设计的设备的理由。第 10 章讨论了方案验证，这种方案用于验证在特定生产线上的 HALT 和 HASS 工作。HALT 和 HASS 还有许多其他应用，许多新手可能并不太了解，第 10 章还讨论了已经处在使用中的这些应用。评价供货方或者采购要考虑的公司的大纲，常常是必要的，第 10 章阐述了这一问题，包括外部货源对于成本、质量和可靠性的影响。另外，第 10 章还汇总了本书中涉及的问题，得出了结论，并且讨论了作者所看到的某些共同的错误观点。该章的参考文献对于没有研究过本书所介绍的技术的那些当代专业人员是很好的建议。第 11 章给出了本书所使用的术语汇编。

要注意的是：许多公开发表的有关 HALT 和 HASS 的论文，在技术和设备上有不少严重的疏漏。因此，可以预期其结果如果不是完全不能生产的话，充其量也只是劣质的。因为某些人没有完全遵循这些方法的步骤，就试图使用 HALT 和 HASS，而又忽略了某些关键步骤，已经发生了几起重大事故。只有而且只要始终而正确地使用这些方法，它们是绝对安全的。

为简短起见，本书没有包括在其他教科书中可以轻易获得技术资料。为了完整起见，还给出了许多参考文献。

为了全面了解 HALT 和 HASS 技术方法，阅读和理解整个课本是必要的。建议想要以任何显著方式参与 HALT 和 HASS 大纲的人，不仅应该熟悉整个课本，而且应该成为熟悉 HALT 和 HASS 所有各方面问题的专家。无论从技术层面，还是从经济层面来说，正确地执行 HALT 和 HASS 大纲的结果确实是很有价值的。

衷心祝愿您使用 HALT 和 HASS 获得成功。

葛瑞格·K·霍布斯
美国科罗拉多州威斯明斯特
1999 年 4 月

《HALT & HASS 丛书》前言

现代的工程化产品，从独立元件到大型系统，都必须设计和制造成使用可靠的产品。必须执行正确而变动最小的制造工艺。所有这些问题均会影响设计、研制、制造和使用的成本，或者，像通常所说的一样，会影响产品的寿命期成本。现代竞标工程的任务是：保证寿命期费用最低，同时达到投放市场的性能和时间要求。

如果产品在市场是有竞争力的，则提高质量和可靠性能够产生很强的竞争优势。我们已经看到许多产品照此执行的结果，特别是日本的插件板、机床、地面移动设备、电子元器件和消费型电子产品，最近三四十年内，在国际市场上已经占据了大部分份额。他们的优势是学习已故的 W. 爱德华兹·戴明 (W. Edwards Deming) 先生的课程，W. Edwards Deming 先生致力于教授质量、生产能力与竞争力之间的基本关系。几乎所有的面对新的竞争对手的工程公司，以及那些确实不了解而迷失位置或受到削弱的工程公司，今天都已充分了解了这类消息。

包括基本原理和方法在内，最初是在日本扎根，而后又回过头来向其最大的发源地——西方推广的，方法是在美国开发的，用于论述军用设备的质量和可靠性不能令人满意的问题。这些问题包括用于质量和可靠性管理 (MIL - Q - 9858 和 MIL - STD - 758) 的格式体系，以及用于可靠性预计和测量的方法 (MIL - STD - 721、MIL - HDBK - 217 和 MIL - STD - 781)，MIL - Q - 9858 是用于质量体系国际标准 (ISO 9000) 的模型，同样，已经开发了用于定量可靠性的方法，并且适用于其他类型的产品。

西方所开发的方法在很大程度上是由买主，特别是军方所驱动的。他们只对所看到的强制标准和程序实施较差的情况做出反应，而他们的供货方看到的改进促进很小，因为他们已经交付了备件和修理件。反之，日本的质量活动是由工业界管理的，他们已经学会了如何提供优质产品，而这是迅速提高生产率和竞争力的关键。

这两种开发潮流集中体现了日本人通常向工业界，特别是工程界灌输的演绎方法与更诱人的西方方法之间的截然不同的差别。面对广阔的战线，演绎方法试图进行不断的改进，且使新的理念经受仔细的评价。诱人的方法带来创造和“突破”，并且更多地依赖于“系统”对于人员和过程的控制。演绎方法允许更清晰地审查，特别是理性方法和非理性方法之间的区别。但是，这种方法不会导致新的基本理念的开发。显然，这些特性没有排他性，大多数工程工作会用到这两种基本原理。但日本人的思想的总趋势显示了他们在工业界协作方面的热情和成功，以及在他们已经采纳了西方的老师，比如戴明 (Deming) 和德鲁克 (Drucker) 的基本观点方面的热情和成功。因为他们的西方竞争者已经发现：要摆脱“科学的”管理模式、摆脱他们对于系统以及更强硬的组织方式和程序的依赖是更为困难的。

令人遗憾的是：质量和可靠性工程的开发已经较任何其他工程分支受到非理性的困

扰。这种情况已经导致与演绎逻辑相反的分析和控制方法与体系的开发，这些方法和体系、演绎逻辑是通过了解、注意细节以及涉及人员部分的不断改进来实现质量和可靠性的。当然，西方人的思想做出了很大、很积极的贡献：我们只需回忆休哈特（Shewhart）的有关统计过程控制的专利以及费希尔（Fisher）的有关统计实践的专利，当然，还有美国人 Deming 的专利。对于研究者、教师、工程师和管理者来说，要有效区分这一点是困难的，而且有许多人已经被引入错误的道路。

在本系列丛中，我们将试图提供平衡的和使用的原始资料，包括质量与可靠性工程和管理的所有方面的问题，这些问题与现在的和未来的条件相关，也与将会影响未来产品构成的新的科学和工程开发范围相关。我希望本丛书能为工程教学和实践做出积极的贡献。

帕特里克·D. T. 奥康纳 (Patrick D. T. O'Connor)

1994年8月

作者介绍

Gregg K. Hobbs 于 1939 年生于加利福尼亚州的好莱坞，住在加利福尼亚，1960—1965 年在洛杉矶加利福尼亚大学学习。于 1963 年完成他的工程学士学业。在完成哲学博士教学大纲全部学业课程后，他于 1965 年留在大学里主要研究流体力学，同时也研究结构动力学、材料强度和应用数学。随后，他在工业界，相继供职于加利福尼亚 Redondo Beach 的 TRW 系统公司和加利福尼亚洛杉矶的休斯宇航系统分部。在休斯公司，他通过考试获得洛杉矶加利福尼亚大学授予的机械工程硕士学位。后来，他在 1967 年移居加利福尼亚州的圣·巴巴拉 (Santa Barbara)，当他回到圣·巴巴拉加利福尼亚大学的研究生院学习时，他在天体研究公司 (Astro Research Corporation) 从事可利用空间结构的研究和试验工作直到 1969 年。1970 年，他完成了哲学博士教学大纲的规定学业，主要研究结构动力学，同时也研究非线性分析、控制系统和材料强度。在完成技术训练的基础上，他获得了机械工程、控制系统工程，以及加利福尼亚各地的民用工程的专业技术工程师的注册登记。

1970—1976 年，Hobbs 博士作为动力学和应力分析公司的首席，供职于圣巴巴拉研究中心。移居明尼苏达州的明尼阿波利斯后，作为高级应用工程师，他供职于从事液压测试设备制造的 MTS 系统公司。1978 年，他创立了 Hobbs 工程公司，任公司总裁，他还支持在美国、欧洲、加拿大和近东地区举办培训班，并且自任顾问。1990 年，他成为质量标志 (QualMark) 公司的唯一创始人，该公司制造进行 HALT 和 HASS 的设备，同时领导实验室进行以合同为基础的工作。作为总裁，他还担任董事和首席技术负责人委员会主席。1995 年，他回到 Hobbs 公司，全力从事公司的工作。

他所发表的技术论文 100 余篇，并且涉及各种各样的技术领域。到 1999 年为止，他已获得 9 项美国专利和多项外国专利，还有几项已经申报和正在准备之中。他在许多技术领域 (包括结构动力学、气体力学、光学、声学、外科手术仪器、气动力学和热动力学) 贡献卓著，是一位多产的发明家。他对飞行很感兴趣，具有飞行多发和仪表级飞机的私人执照，并有他自己的多发飞机。若有要事，可能时，他会驾机飞行。他把家安在科罗拉多州的威斯敏斯特，他与他的妻子弗吉尼亚居住在那里。

作者从事 HALT 和 HASS 的编年表

- 1965 年 遭遇拒收，首次试图进行设计强化。
- 1966 年 拒收的登月舱的强化设计分析。
- 1967 年 首次完成对喀什格朗尼亚（Cassegranian）望远镜结构强化设计。
- 1968 年 海军电子光学系统的强化设计。
- 1969 年 空间探测辐射冷却装置的强化设计。
- 1970 年 对美国国家航空航天局（NASA）的地球资源技术卫星的多频谱扫描仪的强化设计。
- 1978 年 创建 Hobbs 工程公司，提供咨询并举办培训班。
- 1979 年 为美国空军响尾蛇导弹近炸引信进行强化设计。
- 1979 年 首次使用增强的环境应力筛选（ESS）。
- 1979 年 筛选设想和使用验证。
- 1980 年 Tickle 振动用于检测筛选。
- 1980 年 在实践中推行筛选最佳化。
- 1980 年 在培训班上公开提出设计强化和增强 ESS。
- 1983 年 设计柔性六轴振动系统。
- 1984 年 设计较刚性的六轴振动系统。
- 1988 年 创立 HALT 以区分设计强化。
- 1988 年 创立 HASS 以区分增强的 ESS。
- 1989 年 引入析出筛选和检测筛选。
- 1990 年 创办 QualMark 公司，制造 HALT 的 HASS 用设备。
- 1996 年 调整激励设想并在实践中贯彻。
- 1996 年 设计六轴模块化（Modular™）振动系统。
- 1997 年 设计六轴宽带振动系统。
- 1998 年 创立并公开软件 HALT。

To Virginia

致 弗吉尼娅

目 录

第 1 章 HALT 和 HASS 入门：质量和可靠性的新范型	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 产品故障原因	(1)
1.3 HALT 和 HASS 简介	(3)
1.4 HALT 和 HASS 的目的	(5)
1.5 筛选历史回顾	(7)
1.6 涉及的现象	(8)
1.7 需要的设备	(9)
1.8 HALT 成功的实例	(10)
1.9 有关 HALT 和 HASS 的通用工作内容	(12)
1.10 小结	(14)
参考文献	(15)
第 2 章 HALT：高加速寿命试验	(18)
2.1 引言	(18)
2.2 术语定义	(19)
2.3 在 HALT 中施加的激励	(20)
2.3.1 温度	(21)
2.3.2 振动	(25)
2.3.3 电压	(26)
2.3.4 四角试验	(26)
2.3.5 其他应力	(27)
2.4 HALT 的常用方法	(27)
2.5 一次 HALT 够吗	(29)
2.5.1 建议的步进应力间隔	(29)
2.5.2 步进应力和强化止于何处	(30)
2.6 应在什么量值下进行 HALT	(31)
2.7 应由谁进行 HALT	(31)
2.8 应在何处进行 HALT	(31)
2.9 应用多少个单元进行 HALT 以及别的什么产品可以利用 HALT	(33)
2.10 重新进行的 HALT	(34)
2.10.1 设计能力抽查	(34)

2.10.2 设计裕度抽查	(34)
2.11 成功进行 HALT 为何要求更新范型	(35)
2.12 由 HALT 得到的时间和费用节省	(36)
2.13 成为“产品精英”	(38)
2.14 接受 HALT 的最大阻力	(39)
2.15 MTBF	(40)
2.16 小结	(40)
参考文献	(41)
第 3 章 HASS: 高加速应力筛选	(43)
3.1 引言	(43)
3.2 HASS 的对象	(45)
3.3 选择筛选量值	(45)
3.4 单靠 HASS 的结果实例	(45)
3.5 筛选对可靠性的影响	(46)
3.6 产品对激励的响应	(47)
3.7 析出筛选的选择	(47)
3.8 检测筛选的选择	(49)
3.9 受控激励	(50)
3.10 鉴别标志	(52)
3.11 HASS 裕度设置	(53)
3.12 HASS 安全性	(53)
3.13 HASS 的有效性	(55)
3.14 故障检测率和分辨力	(55)
3.15 外场返回的 HASS	(56)
3.16 结论	(56)
参考文献	(57)
第 4 章 HASS 的验证	(58)
4.1 引言	(58)
4.2 HASS 安全性	(58)
4.3 HASS 有效性验证	(60)
4.4 小结	(63)
第 5 章 HASS 的最佳化	(64)
5.1 引言	(64)
5.2 HASS 的最佳化过程	(64)
5.3 有关 HASS 的结论	(67)
5.4 高加速应力抽查	(68)
参考文献	(68)

第 6 章 一致性和可重复性	(69)
6.1 引言	(69)
6.2 一致性	(69)
6.3 可重复性	(71)
6.4 结论	(72)
参考文献	(72)
第 7 章 故障机理	(73)
7.1 引言	(73)
7.2 机械疲劳损伤——HALT 和 HASS 是如何起作用的	(74)
7.3 振动的实例	(76)
7.4 温度变化速率的实例	(76)
7.5 使用哪些应力	(77)
7.6 韦恩图	(79)
7.7 结论	(81)
参考文献	(81)
第 8 章 软件 HALT: 加速软件的检测率和分辨力	(84)
8.1 引言	(84)
8.2 检测	(84)
8.3 检测率	(85)
8.4 分辨力	(86)
8.5 摆脱困境的办法	(86)
8.6 软件故障插入	(86)
8.7 模拟的现场经验	(87)
8.8 买方使用的外场经验	(87)
8.9 人工故障注入	(87)
8.10 自动故障注入	(87)
8.11 生产中的发运缺陷水平	(89)
8.12 自动化信号完整性测试	(92)
8.13 时域反射 (TDR)	(92)
8.14 软件 HALT 和信号完整性测试的结论	(93)
参考文献	(93)
第 9 章 HALT 和 HASS 使用的设备	(94)
9.1 引言	(94)
9.2 振动设备	(94)
9.3 不同的振动系统	(95)
9.4 热设备	(99)
9.5 分布的激励	(101)
9.6 抓好开端	(103)

9.7 自动 HASS	(103)
9.8 小结和结论	(104)
参考文献	(104)
第 10 章 HALT 和 HASS 的管理问题	(105)
10.1 引言	(105)
10.2 原理验证	(105)
10.2.1 培训——最佳途径	(105)
10.2.2 利用新设备在内部试运行——次最佳途径	(106)
10.2.3 节省计算——财务估算法	(107)
10.2.4 利用现有设备在内部试运行——使用你拥有的设备	(108)
10.2.5 在外单位进行的试运行——利用外单位的实验室	(108)
10.2.6 原理验证的结论	(109)
10.3 HALT 和 HASS 的其他应用	(110)
10.3.1 风险投资	(110)
10.3.2 公司的采购及预期的投资	(110)
10.3.3 竞争卖方的评价	(110)
10.4 其他 HALT、HASS 和 HASA 大纲的评价	(111)
10.4.1 HALT	(111)
10.4.2 HASS 和 HASA	(112)
10.5 外购件	(113)
10.6 避免 HALT 和 HASS 中易犯的错误	(114)
10.7 利用 MIL - HDBK - 217 或其衍生出版物	(117)
10.8 小结	(118)
参考文献	(119)
附录 术语汇编	(120)