

■ 国家“十二五”重点规划图书

■ 装备标准化实践丛书

可靠性工程标准化

吕明华 ◎ 主编



 中国标准出版社

 国防工业出版社

可靠性工程标准化

主编 吕明华

中国标准出版社
国防工业出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

可靠性工程标准化 / 吕明华主编. —北京:中国标准出版社:国防工业出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-5066-8224-4

I. ①可… II. ①吕… III. ①可靠性工程—标准化 IV. ①TB114.3-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056134 号

中国标准出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

* 网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 485 千字

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月第一次印刷

*

定价 68.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

国家“十二五”重点规划图书
装备标准化实践丛书

丛书编委会

顾问： 怀国模 李春田

主任： 杨育中

副主任： 李占魁 孔宪伦

主编： 李占魁

执行主编： 金烈元 曾繁雄

委员： （按姓氏笔画排序）

丁 昆 孔宪伦 甘茂治 叶茂芳 吕明华 任占勇
杨育中 李占魁 苗建军 季恒宽 金烈元 郑朔昉
孟昭川 祝耀昌 黄策斌 梁志国 曾繁雄

本书编委会

主 编：吕明华

成 员：胡晓义 戴慈庄 罗学刚 范 增 付永涛

孙宇锋 王 欣 汪启华 姚 燕 王 鑫

黄玉华

主 审 徐 明

审 委 国 瑛

丛书序言

标准是科学、技术和经验的综合成果和结晶。国际、国内大量各级、各类标准是一个巨大的知识宝库和信息平台，它在生产者和消费者之间构建起一座桥梁。标准化是制定、贯彻标准的活动和过程。标准化推动新技术发展、促进科技转化为生产力，有利于建设资源节约型、环境友好型和谐社会；同时对于国防现代化起到重要的保障作用。

从20世纪80年代初开始，在中央的领导和关怀下，国防科技工业系统借鉴我国工业标准化的经验，参考、吸收国外先进标准和系统工程方法，对军用标准化进行了探索和实践，军用标准化领域大大拓宽，水平得到提高。现在军用标准化工作已覆盖装备科研、生产和使用维修的全过程。各类装备和产品及其可靠性、维修性、环境适应性等专业工程，质量、计量管理都成为标准化的重要对象。经过三十多年的不懈努力，我国军用标准化工作已经建立起行之有效的规章制度，比较完整的军用标准体系，基本配套的产品技术标准、管理标准。

近十多年来，围绕现代信息化条件下立体战争和军工制造业数字化的需要，又制定实施了大量信息化标准，促进了军队建设和军工工业由机械化逐步向信息化方向发展。

党的十七、十八大提出，要建立并进一步推动和完善军民结合、寓军于民的装备科研生产体系和保障体系，走出一条中国特色军民融合式发展的路子。在新的历史条件下，标准化将成为加强军民联系，实现军民融合、寓军于民的技术基础。加强军民标准化之间的交流，开创军民标准资源共享的新局面将成为今后标准化工作的一项重要任务。我们组织编写“装备标准化实践丛书”的目的是为了总结和提高军用标准化自身的水平；同时以此加强与民口的交流，相互了解，取长补短，也是贯彻中央提出的

军民融合方针的具体体现。

本套丛书从策划到落实编写人员、编写要求都经过了认真讨论，最终确定其内容除标准制定、标准实施、综合标准化、企业标准化，还包括新产品研制和引进的标准化，电子基础产品的标准化，装备的通用化、系列化、模块化，信息技术及数字化设计、制造的标准化，以及可靠性、维修性、环境适应性、计量等专业工程的标准化。

编写该套丛书有较好的实践基础。所列各项都以国防科技工业系统几十年工作实践为基础，各书的主编大多是相应领域的专家或组织领导者。

本套丛书已被国家新闻出版广电总局列入《“十二五”国家重点图书、音像、电子出版物出版规划》，由中国标准出版社和国防工业出版社联合出版。

该项工作也得到有关领导的重视。原国防科学技术工业委员会副主任怀国模、原国家技术监督局政策法规司司长李春田受聘为顾问，总装备部技术基础局李锦程局长等领导给予大力支持。他们对丛书的编写、出版都提出了许多宝贵的意见。

本套丛书的读者对象为：标准化专业人员（含国防工业、民用工业）；各级技术领导干部及管理人员；企事业单位和军队装备部门的论证、设计、制造、生产和使用维修人员、质量计量管理人员。对工程院校的教师、研究人员、高年级学生和研究生也有参考意义。

丛书筹划和编写过程中，中航工业综合技术研究所和中船信息中心等有关单位，以及韩勤、廖晓谦、洪宝林、陶鸿福等同志给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

编委会

2015年6月

前 言

可靠性工程是与产品故障作斗争的一门科学技术，是研究产品寿命周期中故障的发生及其发展规律，并研究预防故障发生和消减故障影响后果。可靠性工程产生于20世纪50年代，经过50多年的发展形成了两种解决可靠性问题的方法和途径，即概率统计方法和故障物理方法，这两种方法在工程应用中会进一步的综合，以获得较佳的效果。可靠性工程是与系统工程全面综合的工程，是可靠性增长过程。

由于装备研制的需要，可靠性标准成为开展型号可靠性工作的重要依据，用于指导各项可靠性工作的开展。我国从20世纪70年代起，至今已经发布许多可靠性的国家标准、国家军用标准和各类行业标准。在型号研制中，这些标准满足了可靠性工作的需要，推进了型号可靠性工作的深入开展。通过型号可靠性工作的发展和创新，获得了大量的工程经验和数据，为标准的制（修）定提供了非常有价值的资料和宝贵的经验。2005年装备采购制度改革正式启动，中央军委有关文件规定“坚持装备建设集中统一领导和装备全系统全寿命管理原则，加强装备科研、购置、维修保障等各阶段工作的统筹谋划”作为改革的首要原则。总装备部2006年5月22日颁布了《装备全寿命标准化工作规定》（装法〔2006〕4号）中明确规定：要将标准化工作贯穿于装备科研、采购、使用管理与维修保障等全寿命各个阶段。

本书以国军标为主体，介绍了可靠性工程方面的有关国家军用标准的内容，以及这些标准在装备研制过程中的应用示例及体会；同时还展望了可靠性新技术发展对可靠性工程可能带来的影响。本书分四部分共14章。第一部分绪论，包含第1章可靠性与可靠性工程，主要介绍了基本概念、装备可靠性的重要意义、可靠性设计特征参数、可靠性工程在装备寿命周期中的地位和作用、国内外可靠性工程发展概况、可靠性工程与标准化。第二部分介绍可靠性标准，共分8章，第2章为可靠性军用标准体系及其形成和发展，从第3章~第9章是对主要可靠性军用标准的介绍，即第3章为装备可靠性工作通用要求（GJB 450A），第4章为故障报告、分析及纠正措施系统（GJB 841），第5章为可靠性鉴定与验收试验（GJB 899A），第6章为电子产品环境应力筛选方法（GJB 1032），第7章为装备可靠性维修性保障性要求论证（GJB 1909），第8章为电子设备可靠性预计（GJB/Z 299），第9章为故障模式、影响及危害性分析指南（GJB/Z 1391）。第三部分是介绍可靠性标准在装备寿命周期中的应用，共分4章，第10章为装备寿命周期各阶段的可靠性工作，第11章为可靠性管理，第12章为可靠性设计与分析，第13章为可靠性试验与评价，第四部分第14章为基本总结和展望。

本书涉及20多项可靠性的国家军用标准，在装备研制、生产和使用过程中起到



了重要的作用，根据经验的总结对部分标准需要进行改版，读者需要注意标准的最新版本发布情况。

由于水平有限，错误之处在所难免，望读者给予指正。

编 者

2015 年 9 月

目 录

第一部分 绪论

第 1 章 可靠性与可靠性工程	3
1.1 基本概念	3
1.2 装备可靠性的重要意义	11
1.3 可靠性设计特征参数描述	12
1.4 可靠性工程在装备寿命周期中的地位和作用	14
1.5 国内外可靠性工程及其标准发展概况	15
1.6 可靠性工程与标准化	23

第二部分 可靠性标准

第 2 章 可靠性军用标准体系及其形成和发展	27
2.1 我国可靠性军用标准产生背景和发展	27
2.2 可靠性军用标准体系	29
2.3 美国军用标准介绍	32
第 3 章 装备可靠性工作通用要求 (GJB 450A)	40
3.1 概述	40
3.2 术语和定义	43
3.3 可靠性工作的一般要求	45
3.4 可靠性及其工作项目要求的确定 (100 系列)	46
3.5 可靠性管理 (200 系列)	48
3.6 可靠性设计与分析 (300 系列)	48
3.7 可靠性试验与评价 (400 系列)	49
3.8 使用可靠性评估与改进 (500 系列)	50
3.9 附录	50
第 4 章 故障报告、分析及纠正措施系统 (GJB 841)	51
4.1 概述	51
4.2 一般要求	51
4.3 详细要求	52
4.4 附录 A (参考件) 应用指南	52



第 5 章 可靠性鉴定与验收试验 (GJB 899A)	55
5.1 概述	55
5.2 术语和定义	56
5.3 通用要求	56
5.4 详细要求	58
5.5 说明事项	60
5.6 附录 A (规范性附录) 可靠性验证试验统计方案和可靠性参数估计	60
5.7 附录 B (规范性附录) 综合环境条件	60
5.8 附录 C (资料性附录) 可靠性验证试验的实施	61
第 6 章 电子产品环境应力筛选方法 (GJB 1032)	63
6.1 概述	63
6.2 一般要求	64
6.3 环境应力筛选条件	64
6.4 筛选程序	65
6.5 附录 A (补充件) 环境应力筛选故障寻找方案	66
6.6 附录 B (补充件) 温度循环保持时间的确定	66
6.7 附录 C (参考件) 环境应力筛选试验时间的确定	67
6.8 附录 D 环境应力筛选试验的抽样和简化	67
第 7 章 装备可靠性维修性保障性要求论证 (GJB 1909A)	68
7.1 概述	68
7.2 总则	69
7.3 装备 RMS 定量要求	69
7.4 装备 RMS 定性要求	70
7.5 装备 RMS 要求确定	70
7.6 附录 A (资料性附录) 可靠性维修性保障性参数说明	72
7.7 附录 B~附录 I (资料性附录) 各类装备可靠性维修性保障性要求示例	73
第 8 章 电子设备可靠性预计 (GJB/Z 299)	74
8.1 概述	74
8.2 要求	76
8.3 元器件应力分析可靠性预计法	77
8.4 元器件计数可靠性预计法	77
8.5 元器件及组件的失效模式及其频数比	77
8.6 附录 A (资料性附录) 采用进口电子元器件的电子设备可靠性预计	78

第 9 章 故障模式、影响及危害性分析指南 (GJB/Z 1391)	79
9.1 概述	79
9.2 一般要求	80
9.3 功能及硬件 FMECA 的步骤与实施	84
9.4 软件 FMECA (SFMECA)	86
9.5 损坏模式及影响分析 (DMEA)	88
9.6 过程 FMECA	89
9.7 应用案例	90

第三部分 可靠性标准在装备寿命周期中的应用

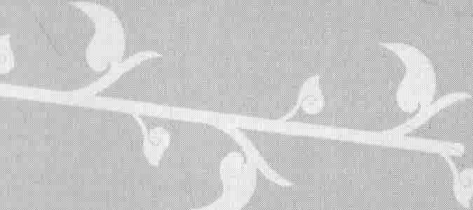
第 10 章 装备寿命周期各阶段的可靠性工作	95
10.1 概述	95
10.2 装备研制各阶段可靠性工作主要内容	97
第 11 章 可靠性管理	125
11.1 综述	125
11.2 建立可靠性工作系统	126
11.3 制定可靠性计划和可靠性工作计划	128
11.4 可靠性工作项目的剪裁	130
11.5 监督与控制	133
11.6 可靠性评审	135
11.7 故障报告、分析和纠正措施系统以及故障审查组织	139
11.8 建立故障审查组织	143
11.9 可靠性增长管理	144
第 12 章 可靠性设计与分析	150
12.1 概述	150
12.2 可靠性建模	150
12.3 可靠性分配	158
12.4 可靠性预计	173
12.5 故障模式、影响及危害性分析	183
12.6 故障树分析	190
12.7 电路容差分析	197
12.8 制定可靠性设计准则	204
12.9 元器件、零部件和原材料的选择与控制	210



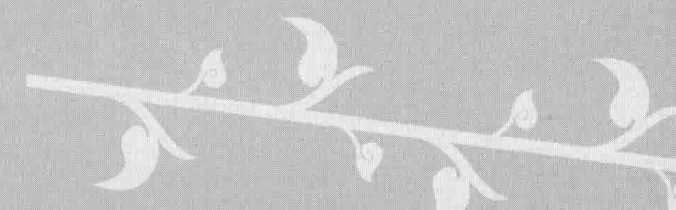
第 13 章 可靠性试验与评价	225
13.1 概述	225
13.2 环境应力筛选	227
13.3 高加速应力筛选 (HASS)	242
13.4 可靠性研制试验	245
13.5 可靠性强化试验	251
13.6 可靠性增长试验	264
13.7 可靠性鉴定试验	282
13.8 可靠性验收试验	309
13.9 可靠性分析评价	310
13.10 寿命试验	318

第四部分 基本总结和展望

第 14 章 总结和展望	333
14.1 可靠性军用标准制定	333
14.2 可靠性军用标准推广应用及其特点	334
14.3 展望	340
参考文献	342



第一部分 绪论



第 1 章 | 可靠性与可靠性工程

可靠性是产品尤其是高技术武器装备的重要质量特性。所有产品的最终目标都是以合理的成本尽可能地实现既定的功能。可靠性是决定产品效能的一项关键特征，可靠性是产品避免失效的能力。可靠性低会导致产品容易发生故障或性能降低，进而影响安全和任务的完成，并且会增加对维修的需求和对保障资源的需求。可靠性高的产品能长时间运行，实现产品的高效能，减少维修保障费用。

产品的可靠性与其全寿命周期内的全部可靠性活动有关，通过可靠性论证、设计、分析、试验、生产和使用，逐步实现可靠性增长达到用户的可靠性要求。可靠性工程是为了达到产品要求的可靠性而进行的一系列活动。本章将对可靠性及可靠性工程的基本概念、作用和地位、可靠性工程的发展概况做一个简要介绍。

1.1 基本概念

可靠性是产品的固有属性，产品的可靠性是设计出来的，生产出来的，管理出来的。可靠性工程是为了达到产品可靠性要求而进行的有关设计、管理、试验和生产等一系列工作的总和。可靠性工程研究故障发生的机理与规律，以及故障预防、预测、诊断与修复的理论与方法，并运用这些理论、机理与规律、方法进行一系列的活动来提高产品的可靠性，它与产品整个寿命周期内的全部可靠性活动有关。

可靠性工程是产品工程化的重要组成部分，同时也是实现产品工程化的有力工具。利用可靠性的工程技术手段能够快速、准确地确定产品的薄弱环节，并给出改进措施，通过落实改进措施提高产品的可靠性。

通过多年的实践表明，提高装备的可靠性、维修性、测试性、保障性和安全性（简称 RMS 或五性）有助于提高装备的战备完好性和任务成功性，保证装备快速出动和持续作战能力；将减少装备的维修人力并缩小后勤保障规模，降低装备的使用和保障费用，从而减少装备的寿命周期费用。装备的效能是其全部特性综合作用的结果，除了装备的专用特性外，装备的通用特性对装备的效能起了十分重要的作用。RMS 是装备重要的通用特性，RMS 之间有非常密切的关系，在系统工程中应将 RMS 工程作为一个整体来研究，并应用于装备研制中。

1.1.1 常用术语

GJB 451A—2005《可靠性维修性保障性术语》定义了产品、系统、装备系统、可靠性、可靠性工程、故障、可靠性物理等基本概念。本节介绍产品、可靠性、可靠性工程、可靠性系统工程和系统工程等概念。



1.1.1.1 产品与环境

a) 产品：一个非限定性的术语，用来泛指元器件、零部件、组件、设备、分系统或系统。可以指硬件、软件或两者的结合。

b) 系统：为执行一项规定功能所需的硬件、软件、器材、设施、人员、资料和服务等的有机组合；或者为执行一项使用功能或为满足某一要求，按功能配置的两个或两个以上相互关联单元的组合。

c) 分系统：在系统内为执行某一使用功能的一组部件、组件或设备的组合。如电源分系统、姿态控制分系统、动力分系统等。

d) 装备系统：装备及其保障系统的有机组合。

e) 环境适应性：装备在其寿命期预计可能遇到的各种环境的作用下能够实现其所有预定功能、性能和（或）不被破坏的能力。

说明：装备系统是一个复杂产品。复杂产品可以划分为多个层次，层次划分的目的是为了分层设计和集成。目前，最高的顶层是体系（system of systems, SoS），在武器系统的研制和采购中，对武器和武器系统称之装备、装备系统。

如果将体系（SoS）作为产品的最高层次，则在产品设计中，可将产品划分为八个层次，即体系（SoS）、装备系统、装备、系统、分系统、设备、组件、元器件（零件）。

“体系”又称为“系统之系统”，国际系统工程协会（INCOSE）发表的《系统工程手册》（V. 3.2.2 版）将其定义为：“系统之系统适用于所感兴趣之系统，其系统元素本身也是系统；系统之系统带来大规模的跨学科问题，包括多个、多种分布式系统。”

GJB 431—1988《产品层次、产品互换性、样机及有关术语》定义了系统、分系统、机组、装置、单元体、组件、部件、零件。GJB 451A 定义了产品、系统、分系统、装备系统等，本书采用 GJB 451A 的定义。

在产品设计过程中需要考虑的环境包括产品的储存、运输和使用环境。必须要说明产品的环境适应性与可靠性之间的区别和关系。产品环境适应性是产品在寿命期预计可能遇到的各种环境（包括遇到的极端或恶劣的环境）的作用下实现要求的功能、性能并不被破坏。因此，环境适应性是可靠性的基础，在产品满足环境适应性的前提下，产品满足可靠性要求。也就是说环境造成的产品问题应属于产品的环境问题。

1.1.1.2 可靠性、可靠性工程

a) 可靠性：产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。

b) 可靠性工程：为了确定和达到产品的可靠性要求所进行的一系列技术与管理活动。

c) 基本可靠性：产品在规定的条件下，规定的时间内，无故障工作的能力。基本可靠性反映产品对维修资源的要求。确定基本可靠性值时，应统计产品的所有寿命单位和所有的关联故障。