

火炮现代设计理论与方法丛书

中国兵器科学研究院组织编写

火炮可靠性设计

张相炎 编著

HUOPAO KEKAOXING SHEJI

兵器工业出版社

火炮现代设计理论与方法丛书

火炮可靠性设计

张相炎 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书结合工程实际,系统地介绍了火炮研制过程中有关可靠性工程,尤其是火炮可靠性设计方面的基本概念、原理、方法以及应用实例,为从事火炮设计的工程技术人员提供参考。主要内容包括:可靠性基本概念、可靠性管理基本内容、可靠性试验与数据处理方法、可靠性设计原理与方法及其在火炮工程中的应用、可靠性分析原理与方法及其在火炮工程中的应用等。

图书在版编目(CIP)数据

火炮可靠性设计/张相炎编著. --北京:兵器工业出版社, 2010.6

(火炮现代设计理论与方法丛书)

ISBN 978 - 7 - 80248 - 422 - 1

I. ①火… II. ①张… III. ①火炮—可靠性—设计
IV. ①TJ302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 090005 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010 - 68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市银祥福利印刷厂

版 次: 2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

责任编辑: 周宜今

封面设计: 李尘工作室

责任校对: 郭 芳

责任印制: 王京华

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.25

字 数: 392 千字

定 价: 50.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

序

我国的火炮设计理论教材经历了从无到有、从翻译到自编的漫长道路，目前已经形成了具有自主设计理论和方法的教材编撰体系，为火炮行业的发展提供了丰富的理论基础。随着科学技术的发展，火炮的技术内涵拓展成为集机械、电气、信息、控制等技术于一体的复杂系统。为了适应火炮技术的快速发展，满足火炮专业人才培养要求和从事火炮研究、开发、设计、管理的广大一线人员对火炮新结构、新原理、新方法的迫切需求，亟需出版一套火炮现代设计理论与方法丛书。

为此，中国兵器科学研究院火炮系统处组织国内部分高校、研究所和企业的火炮专家、学者，对火炮现代设计理论与方法丛书的编写内容和指导思想进行了研讨。为保证火炮现代设计理论与方法丛书的编写质量，聘请了一批学术造诣深、德高望重的火炮专家、学者担任设计丛书主审。

本套丛书构成一个整体，适于配套使用，又有各自的独立性；既是火炮专业教材，又可供火炮科研、设计和管理人员参考使用。本套丛书具有以下特色：

1. 全面更新和充实了火炮设计理论和方法，体现了当代火炮设计的水平。编著者深入到研究所、企业，与工程技术人员一起参加火炮的技术革新和攻关活动，广泛地收集资料，把国内外新火炮和主要部件的新原理、新结构和新设计理论与方法融入丛书。

2. 将火炮设计的理论水平推上一个新的高度。编著者把虚拟样机技术、多柔体系统动力学、非线性有限元分析、遗传优化、模糊控制、动态可靠性、现代传感技术等引入火炮研制，将传统的静态设计或类比设计改为基于火炮物理场精确建模分析的虚拟样机设计，有效地提高了火炮设计水平。

3. 火炮设计对象与时俱进。针对我国近几年火炮型号以履带式、轮式、车载式自行火炮为主的特点，重点介绍自行火炮设计的理论与方法，集理论的系统性、体系的科学性和工程的实用性于一体，进一步增强了设计丛书的时代感和先进性。

本套丛书将于2010年陆续出版。我们相信，本套丛书的出版将对我国火炮专业教学质量及火炮设计理论水平的提高产生积极作用，为我国火炮专门人才的培养和火炮武器装备的发展做出贡献。

中国兵器科学研究院火炮系统处

前 言

可靠性是产品的主要属性之一，是考虑到时间因素的产品质量特性。“产品的可靠性是设计出来的，生产出来的，管理出来的”这一思想，越来越为人们所理解。可靠性工程作为一门综合性的工程学科，为了系统达到可靠性要求而进行的系列有关可靠性设计、试验、生产等活动，已经越来越受到人们的重视，其发展迅速，应用广泛。

火炮可靠性已经作为火炮质量的重要内容，火炮可靠性设计也越来越引起火炮行业的重视。火炮研制中，实现可靠性指标往往是很花费时间的，可靠性指标也是很难达到要求的一项技术指标。火炮研制过程中，通过试验不断地暴露各种问题，有的问题容易解决，有的问题可能是设计中的先天不足，解决起来难度就大，使研制周期加长。火炮可靠性设计已成为很重要的一项工作。

目前，火炮可靠性设计方面的专业书籍尚缺乏。在兵器科学研究院的大力支持下，根据编者多年从事可靠性工作经验以及讲授可靠性相关课程的体会，结合火炮特点，编写出版《火炮可靠性设计》，对促进火炮可靠性设计具有重要意义。

《火炮可靠性设计》共分8章，将可靠性理论与贯彻实践融为一体，系统地介绍了火炮研制过程中有关可靠性工程，尤其是火炮可靠性设计方面的基本概念、原理、方法以及应用实例，为从事火炮设计的工程技术人员提供参考。主要内容包括：可靠性基本概念、可靠性管理基本内容、可靠性试验与数据处理方法、可靠性设计原理与方法及其在火炮工程中的应用、可靠性分析原理与方法及其在火炮工程中的应用等。

在编写过程中，得到王文中教授、陈常顺副教授、易群智高工等专家的大力支持和帮助，刘宁博士、孙根胜博士、邓志江硕士、王立硕士、张才友硕士、张讯硕士、黄小平硕士等为本书的出版做了许多有益工作，书中还引用了许多中外学者的论文和著作，谨在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

作者
2010年5月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 可靠性及其重要性	1
1.2 可靠性工程	8
1.3 火炮可靠性技术	12
第 2 章 可靠性管理	20
2.1 火炮可靠性大纲	20
2.2 火炮可靠性设计要求	36
2.3 火炮可靠性工作计划	48
2.4 火炮可靠性评审	54
第 3 章 可靠性指标	63
3.1 可靠性的特征量	63
3.2 火炮可靠性的指标	72
3.3 火炮可靠性指标的确定	74
第 4 章 可靠性预计	78
4.1 概述	78
4.2 零部件的可靠性预计	85
4.3 系统可靠性预计	94
第 5 章 可靠性分配	124
5.1 概述	124
5.2 可靠性分配方法	126
5.3 贮备度分配	154
第 6 章 故障分析	164
6.1 概述	164
6.2 故障模式与影响分析	173
6.3 故障树分析	185
6.4 故障事件分析	212
第 7 章 火炮零件可靠性设计	237

7.1 概述.....	237
7.2 火炮零件静强度可靠性设计.....	245
7.3 火炮零件疲劳强度可靠性设计.....	251
第8章 可靠性试验与数据分析	270
8.1 可靠性试验	270
8.2 火炮可靠性试验数据收集与处理.....	287
参考文献	314

第 1 章 概 述

1.1 可靠性及其重要性

1.1.1 可靠性的基本概念

产品的质量指标有很多种。例如，一门火炮的指标就有初速、最大射程、最大射速、射击密集度等。这类质量指标通常称为性能指标，即产品完成规定功能所需要的指标。除此之外，产品还有另一类质量指标，即可靠性指标。它反映产品保持其性能指标的能力。这是用户十分关心的问题。如火炮出厂时的各项性能指标经检验都符合要求，但是在部队服役使用一定时间后火炮是否仍能保持其出厂时各项性能指标呢？生产厂为了说明自己产品保持其性能指标的能力，或者用户希望知道产品保持其性能指标的能力，就要提出产品的可靠性指标或要求。

按国家标准，可靠性定义为“产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。”

定义中的“产品”是指作为单独研究和分别试验对象的任何元件、器件、设备和系统。对火炮而言，根据研究目的不同，可以选择火炮的某个零件、部件作为研究对象，也可以选择整个火炮及火炮系统作为研究对象。

“规定时间”是指产品的工作期限，可以用时间单位，也可以用周期、次数、里程或其他单位表示。对火炮而言，规定的时间一般用射弹数来表示，自行火炮行驶公里数等。

“规定条件”是指产品的环境条件（如室内、野外、海上、陆地、空中等）、使用条件（如气候、气象、载荷、振动等）、贮存条件、维护条件和操作技术等。

“规定功能”通常用产品的各种性能指标来表示。火炮的规定功能主

要是火炮的战技指标，如初速、射速、精度、强度、稳定性等。

对以上四方面内容必须有明确的规定，研究产品可靠性才有意义。

可靠性是产品的一种“能力”，说明可靠性是产品的一种属性。产品制造出来之后，其可靠性就基本确定。因此，有人认为，可靠性是设计出来的，制造是保证设计可靠性的实现，可靠性在使用过程中才表现出来。

一般将“产品”、“规定时间”、“规定条件”、“规定功能”和“能力”简称为可靠性的五要素。

上述传统的可靠性定义，强调的是完成规定功能（完成任务）的能力。然而，在进行可靠性设计时需综合权衡完成规定功能和减少用户费用两个方面。例如：可靠性设计中常采用冗余技术来提高整个系统完成任务的概率，但是，冗余技术将使系统复杂化，因而增加故障发生的概率，导致增加维修（包括人力、备件等）及后勤保障的需要，也就是增加了用户的费用。因而，就提出了基本可靠性和任务可靠性的概念。

基本可靠性，即产品在规定的条件下无故障的持续时间或概率。基本可靠性与规定的条件有关，即与产品所处的环境条件、应力条件、寿命周期有关，也就是与“寿命剖面”确定的条件有关。“寿命剖面”即产品从制造到寿命终结或退出使用这段时间内所经历的全部事件和环境的时序描述，它包含一个或几个任务剖面。

任务可靠性即产品在规定的任务剖面内完成规定功能的能力。任务可靠性是衡量产品完成规定任务的能力，反映产品在规定的维护修理使用条件下，在执行任务期间某一时刻处于良好状态的能力。“任务剖面”即产品在完成规定任务这段时间内所经历的事件和环境的时序描述，其中包括任务成功或致命故障的判断准则。

产品运行时的可靠性称为工作可靠性。工作可靠性包括固有可靠性和使用可靠性。

固有可靠性是指产品从设计到制造整个过程中所确定了的可靠性，是产品的内在可靠性，是产品的固有属性。产品固有可靠性与产品的材料、设计、制造工艺及检测精度等有关。

使用可靠性与产品的使用条件相关，考虑了使用、维修对产品可靠性的影响，受使用环境、使用维护方法和程序，以及操作人员的技术熟练程度等因素的影响。

一般认为，产品是否可靠主要取决于固有可靠性。例如，国外介绍机电产品不可靠的原因以及影响程度如表 1-1 所示。

表 1-1 产品不可靠的原因及影响程度

可靠性		原因	影响程度 (%)
产品 可靠 性	固有可靠性	材料	30%
	使用可靠性	设计	40%
		制造	10%
		使用 (运输、环境、操作、安装、维修等)	20%

可靠性有狭义和广义两种意义。狭义可靠性仅指产品在其整个寿命内完成规定功能的能力,有时又简称可靠性。以后对“可靠性”一词若不加另外注明,均指狭义可靠性。广义可靠性通常包含狭义可靠性和维修性等方面的内容,有时又称为有效性。有效性是指可维修产品在某时刻具有或维持规定功能的能力。

维修是为了保持或恢复产品能完成规定功能而采取的技术管理措施,仅适用于可修复产品。维修性则是在规定条件下使用的产品在规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能的能力。维修性(也称可维性)也是产品的固有属性。

产品长期贮存,其材料将会老化变质。在规定的贮存条件下,产品从开始贮存到丧失其规定的功能的时间称为贮存寿命。

可靠性、有效性和贮存寿命三种指标合起来全面描述了产品寿命期内的性能稳定性。

1.1.2 可靠性的特点

(1) 可靠性是产品的一种时间质量指标

可靠性是指产品在规定的的时间和规定的条件下完成规定功能的能力,或者是在规定的条件下能保持完成规定功能的时间。它表示一个产品的耐久性、无故障性、维修性和经济性等特点。

可靠性与一般质量指标的区别在于它是一种时间质量的指标。一般产品的性能指标,只要产品完成就可考核,即在出厂检验中可以得到评定,因而称作 $t=0$ (使用前)的质量,也称作狭义的质量。而可靠性是指产品保持功能时间,或是在规定时间内保持功能的能力。对它的评定要等用户使用后,或者模拟使用后才能进行,一般要到使用现场考核,所以称作 $t>0$ 的质量。比如火炮初速作为一个性能指标是事先规定的,火炮出厂时经过检验,肯定达到要求,不然不会出厂。但是,对不同质量的花炮,随

着射击发数增加，初速下降速度会不同，也就是保持初速在允许的初速下降量范围的时间也就不同，也就是具有不同的可靠性。

(2) 可靠性是规定意义下的可比性能

从可靠性的定义看出，一个产品的可靠性受三个“规定”的限制。

“规定的时间内”是说，对保持产品的质量和性能要有一定的时间要求，即产品的可靠性随时间而变化。一般机电类产品的功能、性能都有随时间衰退的特点，比如火炮膛会随着射击发数的增加逐步磨损，导致火炮初速下降。同一产品不同的使用时间范围，其可靠性水平是不同的。

“规定的条件下”是说，对保持产品的质量和性能要有一定的条件要求。使用工况和环境条件不同，可靠性水平有很大差异。因此，要保证使用可靠性，必须严格明确使用条件和环境，对不按规定条件使用的产品，不能要求保证达到原定的可靠性水平。比如，火炮设计时考虑温度范围为 $-40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，当火炮在温度低于 -40°C 或高于 50°C 条件下使用时，其性能不可能保持不变。

“规定的功能”是说，对产品的质量和性能要求要有明确规定。规定的产品功能判据不同，将得到不同的可靠性评定结果。同一产品，规定的功能要求不一样，其可靠性也不同。产品丧失规定的功能叫“故障”，对于不可修复的产品也称“失效”，但在习惯上，二者没有严格的区别。这里的“规定功能”是指产品应具备的技术性能。研究可靠性必须首先确定故障定义，有这样的情况：对于这个用户来说，产品已出故障；但对另一个用户来说产品未出故障。例如：某些电子产品作为军品来说是不合格的，但作为民品来说却是合格的。可见故障定义不同，将造成可靠性定量要求的不同，因此在建立可靠性定量要求之前必须先确定故障定义。比如，规定初速下降5%，认为火炮身管就丧失功能；也可以规定初速下降8%，认为火炮身管就丧失功能；对应着两种规定，可靠性肯定是不同的。

所以，在讨论和评估产品的可靠性时，应明确上述三个“规定”，否则会失去可比性。

(3) 可靠性是产品统计意义下的特性

可靠性是以不可靠来反映的。完成功能和发生故障是可靠性问题的正反两个方面，产品完成了规定的功能认为是可靠的，丧失了功能就是发生了故障或失效。

一个产品何时出现故障受许多随机因素影响，致使最终产品的无故障工作时间也具有随机特性。因此产品的可靠性观测值是多少，很难预料，

可以利用概率统计理论估计整批产品的可靠性。比如,对某厂生产的某批火炮,其平均无故障射击发数为200发,而对这一批中的某门具体火炮,并不能肯定在射击200发过程中就不会出现故障,更不能肯定刚好在射击200发时就出现故障。

由于产品的可靠性要经过使用或模拟使用试验后才能评定,一般不能对整批产品逐个试验,需要采用抽样试验的方式进行可靠性评定。

(4) 可靠性是管理和技术两个方面的综合技术

可靠性技术是以赋予产品可靠性为目的的应用科学和技术,因而可靠性技术涉及范围相当广泛,但其主要内容是解决产品不可靠的问题,也就是为了产品少出故障、不出故障,从而研究预测故障、预防故障和消除故障。

有人将可靠性技术比喻为病疫学和病理学高度结合的技术。病疫学是研究疫病的起源、传播和预防对策。病理学是研究病因、症状和治疗。在可靠性中,疫病就是故障,对可靠性来说就是研究故障机理、消除和预防故障的技术。这既有管理的作用,又有技术的作用。管理和技术两者高度结合,通过管理指导技术的合理应用,这就是可靠性技术的基本思想。

1.1.3 可靠性的重要性

可靠性的问题自古有之,有产品就有可靠性问题。现在特别强调可靠性,主要有如下几方面原因:

(1) 产品高性能的要求

随着现代工业技术的发展,对产品性能要求越来越高,使得结构日益复杂化,使产品发生故障的机会增多,危害性增大。现在有些产品的零件构成数是以数量级计数,其中一个部件发生故障,就有可能使整个产品丧失规定的功能,即使单个元件和零件失效的可能性很低,但是整个系统发生故障的概率就相当惊人。万一发生事故,危害性将会急剧增大,甚至会导致灾难性的事故。随着产品复杂程度的增加,人一机关系也就更加复杂。由于人的能力存在一定的限度,即使写出详细的设备使用说明书和操作程序,也不可能完全避免过失和错误。无论是产品本身不可靠,还是人为的不可靠,都会给经济带来损失,而且还可能造成灾难性事故。例如,1986年1月28日美国“挑战者”号航天飞机由于右侧助推火箭密封装置失灵,在第十次飞行时,刚刚升空即突然发生爆炸,机上七名宇航员不幸遇难,造成美国航天史上机毁人亡的最大惨案。1986年苏联切尔诺贝利核电站发生严重事故,“使全世界掉进了恐怖的深渊”。另外,对发电、冶

金、运输等许多连续作业设备，一旦因事故停机，经济损失巨大。例如一台30kW发电机组因事故强迫停机一天，则少发电720万度（1度=1kW·h），电费损失近百万元不说，影响工业产值损失可能会非常巨大，造成的社会影响就更大。兵器装置的可靠性具有特殊的重要意义。因为，兵器是直接为战争服务的，在战场上兵器可靠与否直接影响战争的胜负。因此，军工生产与国家利益息息相关，所以必须不惜一切代价，不折不扣地满足可靠性方面的要求。

（2）产品责任法规的压力

为了防止因产品粗制滥造，可靠性低劣对用户造成的危害，已经形成了相关产品责任法规。只要因产品缺陷、故障对用户造成损失，制造者要承担相应的法律责任和经济责任。这就迫使各企业从可靠性上找出路，采用预防产品责任的措施，即防止产品故障于未然，避免由于产品故障所造成的损失而引起的法律责任和经济责任。

（3）产品竞争的动力

产品竞争是经济发展的必然趋势，可靠性已经成为竞争的一种有效武器。现在大型设备已经用可靠性指标作为投标和签订合同的主要指标。用户不仅考虑一次购入成本，还要考虑今后的使用和维修成本，即从全寿命成本来权衡产品的优劣。可靠性高的产品才能立足于市场。只有掌握了自己产品可靠性的企业，才能在竞争中取胜。国防科研相关部门已经明确规定，凡新研制的武器装备都必须有寿命和可靠性指标的要求，型号研制费由使用部门管理，通过招标签订合同来开展武器的研制。使用部门对可靠性问题越来越重视，提出的要求越来越多。这就从客观上迫使兵器生产部门和兵器研究单位要加速可靠性的研究工作，迅速组织力量开展可靠性研究。不懂可靠性投标就会遇到困难，即使与使用部门签订了合同，厂所之间、总体单位与分系统单位之间的研制合同，同样也遇到可靠性指标的分配和验收考核等问题。由此可以看出可靠性技术不仅很重要，而且必须很快掌握它。

（4）产品与国际接轨的需要

国际上对产品可靠性要求很高，尤其是先进国家。我国产品若想打入国际市场，就必须与国际接轨，把好进口关，提高出口产品的质量。开展军品外贸既能积累资金又能促进我们兵器技术的发展，是搞活军工企业的一个重要途径。在军品外贸中，可靠性指标是不可缺少的指标。没有可靠性指标，外商是不采购的。再说，外贸出去的军品，一旦出了问题，不仅要造成重大经济损失，还将影响我国的国际声誉。因此，可靠性技术必须重视。

(5) 缩短研制周期的需要

现代社会中科学技术的迅速发展，同类产品之间竞争加剧。产品被淘汰的速度也加快了，这就要求新品研制周期要短。设计时如果不详细考虑可靠性维修性要求，等到试制、试用后发现严重问题，再来改进设计，这就必然会推迟产品投入市场的周期，降低了竞争能力。武器装备使用环境越来越恶劣，要求越来越苛刻，这是军品研制的又一个特点，也是一个难题。因此，在以往的兵器研制中，常常是性能样机出的比较快，但定型工作却一拖再拖，几进几出国家靶场是常事。主要问题是可靠性太差，过不了关。可靠性问题已成为研制工作中的一个突出问题，不抓好研制过程中的可靠性工作，想要缩短研制周期是困难的。总之，随着兵器设备复杂程度的增加，对设备可靠性将提出更高要求。为了满足这些要求，仅仅用提高安全系数的方法来获得可靠性是不够的，必须采用新技术、新材料、新工艺，并利用可靠性技术才能保证兵器设备的可靠使用。

(6) 提高经济效益的需要

为了提高产品的可靠性，在研制、生产、管理、材料、工艺、设备各方面要采取相应的措施，这将导致生产费用的增加。但是，使用和维修费用却随着可靠性的提高而降低。从总的经济效果来看，并不是任何产品的可靠性都是提得越高越好，而是要权衡开展可靠性工作的费用和由于产品不可靠造成损失费用，找出最佳可靠性。可靠性和费用之间关系如图 1-1 所示，图中，1 代表提高可靠性的成本，2 代表提高可靠性而带来的使用及维修成本，3 代表提高可靠性的总成本。

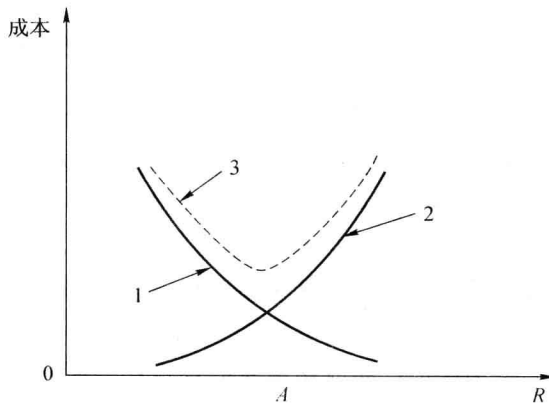


图 1-1 可靠性和费用之间关系

1.2 可靠性工程

1.2.1 可靠性工程

在科学实验、生产实践及日常生活各个方面，可靠性理论都具有重大意义。可靠性理论又分成了三个重要领域或三个独立学科。

(1) 可靠性数学

可靠性数学是研究可靠性的理论基础。它着重研究解决各种可靠性问题的数学方法及数学模型，研究可靠性的定量问题。主要数学手段有概率论、数理统计、随机过程、运筹学、拓扑学等数学分支，应用于数据收集、数据分析、系统设计及寿命实验中。

(2) 可靠性物理

可靠性物理又称为失效物理。它从机理方面、失效本质方面研究产品的不可靠因素，研究失效的物理原因与数学物理模型、检测方法及其纠正措施等，如研究机械零件的疲劳损伤、裂纹的形成和扩展规律等，从而为研制、生产高可靠性产品提供理论依据。

(3) 可靠性工程

可靠性工程是指为了达到产品可靠性要求而进行的有关设计、试验和生产等一系列工作。可靠性工程包括对零件、部件、装备和系统等产品的可靠性数据的收集、分析，可靠性设计、预测、试验、管理、控制和评价，是系统工程的重要分支。

可靠性工程是工程学的分支，工程学的思想和方法也就是可靠性工程的基本思想和方法。

系统是由工作设备、辅助设备、人员、工具器材和软件构成的。它是作为整体使用的、能够完成规定任务的、具有一定复杂程度的综合体。

工程是针对特定目的之各项工作的总和。如果工程的特定目的是系统的构建或运行，则这个工程称为系统工程。

系统工程广义的定义是：应用科学和工程知识，解决人一机系统和系统各组成部分的计划、设计、评定及建造工作的总体。

可靠性工程，是为保证产品成功地完成规定任务所做的各项工作的总和。“产品的可靠性是设计出来的，生产出来的，管理出来的”这一思想，越来越为人们所理解。可靠性工程是为了达到系统可靠性要求而进行的有

关设计, 试验和生产等一系列工作的总和。系统可靠性工作贯穿于系统的研究、设计、生产、试验、使用和管理的全过程中。

可靠性工程的基本任务概括起来就是: 确定产品可靠性和获得产品可靠性。在时间上, 这两个基本任务是相互穿插在一起的。

确定产品可靠性就是通过各种途径, 如各种预计、试验、系统分析等, 来确定产品的失效机理、失效模式以及各种可靠性特征量的数值或范围等。

获得产品的可靠性就是通过产品的寿命循环期(包括仅存在于意识、图纸、计划、公式中的“虚”的产品时期和从产品生产、出厂到报废为止的“实”的产品时期), 即从构思、审查、研制、生产、使用、维修等一系列活动中的各种获得并提高可靠性的各项措施, 得到最优化的可靠性。

火炮可靠性的基本目标是保证火炮符合下述要求:

- ①做好随时使用的准备。
- ②能够成功地完成规定任务。

火炮可靠性工程, 就是为保证火炮成功地完成上述规定任务所做的各项工作的总和。

1.2.2 可靠性工程的内容

可靠性是衡量产品保持其功能的能力。丧失了功能就是发生了故障。研究可靠性实际上是从研究故障着手的。一切可靠性活动都是围绕故障展开的, 都是为了防止、消除和控制故障的发生。一切可靠性投资都是为了提高产品可靠性, 降低可靠性方面的风险。所以, 对在研制、试验和使用过程中出现的故障, 一定要抓住不放, 充分利用故障信息去分析、评价和改进产品的可靠性。

实践证明, 可靠性工程与系统整个寿命周期内的全部可靠性活动有关。从方案论证开始到系统报废为止的整个寿命周期内, 都要有计划地开展一系列的可靠性工作。

1. 可靠性工程的主要内容

产品可靠性工程可分为以下三部分:

- ①可靠性管理。它包括制订可靠性计划和其他可靠性文件, 如可靠性标准等, 对供应厂的可靠性监督, 计划评审, 建立失效报告、分析和改进系统, 成立失效评审委员会, 收集可靠性数据和进行可靠性教育等。
- ②可靠性设计。它包括建立可靠性模型, 进行可靠性分配、可靠性预

计和各种分析（失效模式、影响及后果分析、失效树分析、潜在通路分析、容差分析、贮备分析、功能试验、贮存、装卸、包装、运输及维修的影响分析，并提出必要的对策），以及部件选择和控制，确定可靠性关键部件等。

③可靠性试验。它包括环境应力筛选试验、可靠性增长试验、可靠性鉴定试验、可靠性验收试验等。

事实上，还有许多内容可作为可靠性工程的分支或与可靠性工程有关的边缘学科。例如由组成系统的单元可靠性出发研究系统可靠性问题的系统可靠性；专门研究可靠性工程数学基础的可靠性数学；专门研究机械结构可靠性问题的机械工程概率设计；研究在人—机系统中，人为因素造成的系统失效及对策的人机工程也与可靠性工程有关；还有研究软件故障及对策的软件可靠性等。

可靠性工作应该贯穿于产品寿命的全过程，它与产品的设计、制造、使用、维护、管理、人员因素和环境状况密切相关。设计、制造决定了产品的“固有可靠性”，使用、维护则能保持“使用可靠性”。因此，为提高产品的可靠性，需采取综合性措施。

可靠性工作主要包括可靠性工程技术与可靠性管理两个方面。一切可靠性工程技术活动都应在可靠性管理之下去规划、组织、协调、控制与监督。因此，可靠性管理在可靠性活动中应处于领导与核心地位。

2. 产品各阶段的可靠性工作

产品的可靠性工作阶段可划分为论证阶段、方案阶段、工程研制阶段、设计定型阶段和生产定型阶段，共五个阶段。

(1) 论证阶段

根据设备的使命、对象确定设备特点和使用要求，同时提出可靠性的定性要求。

根据设备的特点与使用要求确定其寿命剖面 and 任务剖面，同时也要确定设备的使用环境剖面，这些条件是确定可靠性定量指标、可靠性指标验证方法及方案，以及确定可靠性保证大纲、可靠性设计准则与规范，进行可靠性设计评审及确定工程制造的可靠性保证工艺等的依据。

可靠性定量指标包括系统（设备）完好性、任务成功性的定量要求等。同时，在论证阶段应拟制出可靠性指标要求及其依据的分析报告。

在形成初步技术指标与可靠性指标后，需进行可靠性指标及实现的可行性论证。包括：对可靠性指标体系、指标要求的必要性进行论证；对可