

可靠性·维修性·保障性丛书

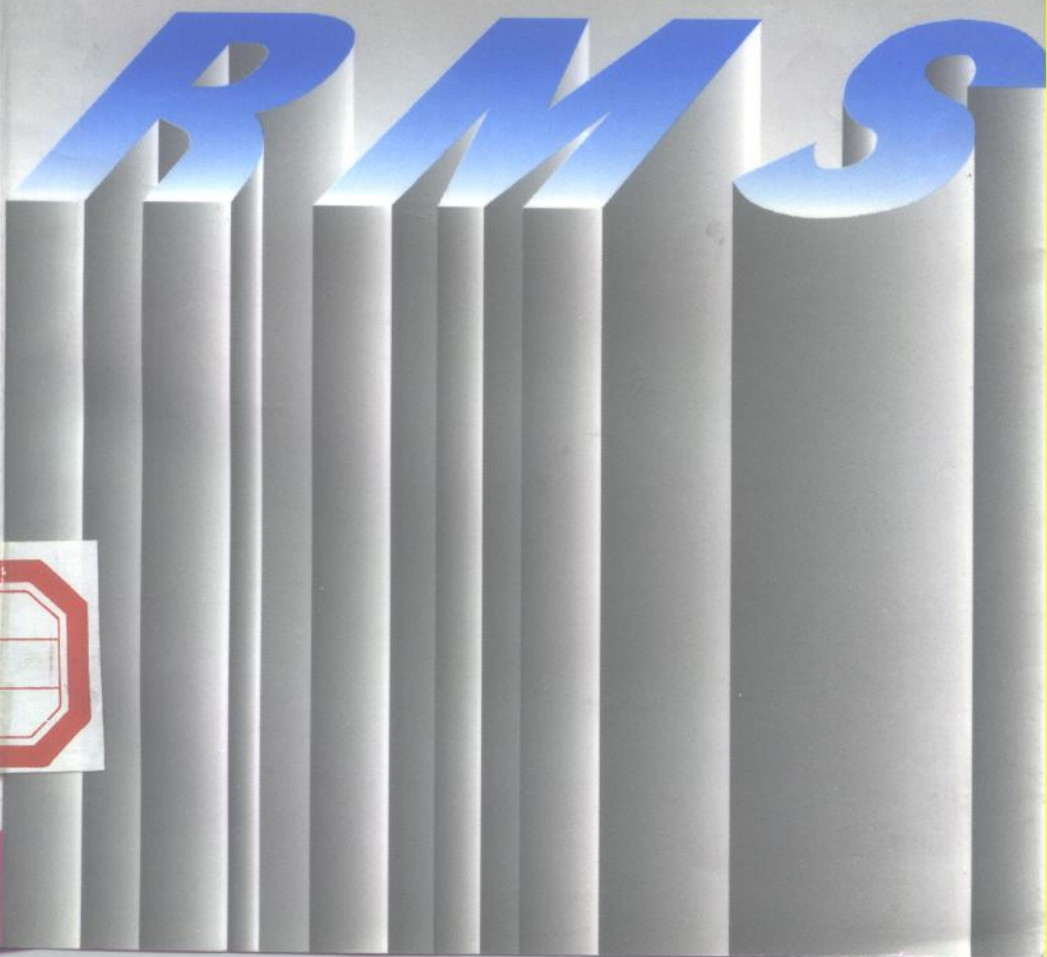
9

机械可靠性设计与分析

主编 李良巧 副主编 顾唯明

KEKAOXING · WEIXIUXING BAOZHANGXING
CONGSHU

国防工业出版社



机械可靠性设计与分析

主 编

✓ 李良巧

副主编

顾唯明

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

机械可靠性设计与分析/李良巧主编. — 北京:国防工业出版社,1998.10

(可靠性、维修性、保障性丛书)

ISBN 7-118-01930-5

I. 机… II. 李… III. 机械-可靠性工程 IV. TH123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13605 号

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 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$ 271 千字

1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:16.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

认真研究先进理论，
密切联系工程实际，
大力推进可靠性系统
工程的发展。

祝《可靠性、维修性、
保障性丛书》出版

丁继高

一九九四年十月二十四日。

《可排性、维修性、保障性丛书》的出版,对我国可排性系统工程的发展,必将起到巨大的推动作用。

感谢编者的创造性劳动。我们可以为有自己的工程应用价值极高的这部巨著而自豪

许光
一九九〇年八月廿五日

發展可靠性技術
提高裝備質量水平

懷國棟

94.9.30

序 言

树立当代质量观,不断提高产品质量,已成为国民经济和国防科技发展中引人注目的关键问题。可靠性、维修性、保障性是产品效能的决定因素,亦为产品质量的重要内涵。产品不但要性能优越,而且要寿命长、故障少、易维修、易保障,从而使其具有较高的效能及较低的寿命周期费用,以达到获取最佳效费比的目的。

可靠性、维修性技术是与国民经济及国防科技密切相关的、亟待发展的新兴学科分支,世界各发达国家均对此予以高度重视,通过可靠性、维修性技术的开发和应用,已在民用产品与武器装备的研制中获取了巨大效益。进入 90 年代以来,欧美各国在可靠性、维修性、保障性的综合化发展方面又取得了新进展,产生了诸如“并行工程”和“可信性技术”的新概念、新方法;因而更进一步地提高了产品质量、缩短了研制周期并节省了成本。与此相比,我国的可靠性、维修性工程起步较晚,无论从发展需求而言或与国外水平相比,均有明显差距。为尽快扭转这一落后局面,必须首先加强对可靠性、维修性工作的管理,大力发展可靠性、维修性技术。同时,必须重视专业培训,提高可靠性、维修性设计与管理人员的素质。这对于促进可靠性系统工程的深入发展,更有效地提高装备质量,具有重要的现实意义。为适应这一需求,国防科学技术工业委员会组织了国内这一领域中的知名专家和学者撰写了这套《可靠性·维修性·保障性丛书》,准备分批出版,第一批共六册,今后将陆续出版其它各册。

这套《丛书》系统地引进、吸收了发达国家先进的管理思想和相关技术,并在认真总结我国已取得的成果和经验的基础上,从技术和管理两方面深入浅出地阐明了有关专业的基本理论、技术及

其应用和可靠性系统工程管理等问题,具有系统性和实用性,从而有助于人们全面、系统地了解 and 掌握该项技术的主要内涵。《丛书》中所阐述的可靠性、维修性工程的理论和方法对现代工程系统、武器装备系统和一般民用产品均具有普遍的适用性。

《可靠性·维修性·保障性丛书》是一套理论与工程实践并重的著作,它不仅可作为从事现代化工程系统研制的工程技术人员和管理人员指导工作的参考书;而且也为有关工程专业的大学本科和研究生提供了系列化的参考书。我们相信,这套丛书的出版,将对我国可靠性系统工程全面、深入发展起到重要的推动和促进作用。

《可靠性·维修性·保障性丛书》

编辑委员会

一九九四年十一月

前 言

机械可靠性是武器装备可靠性的重要组成部分。大量的统计资料表明:武器装备在使用过程发生的故障中,机械部分的故障明显高于电子部分。因而,机械可靠性日益受到人们的重视和关注。

可靠性工程的诞生、发展和成熟的过程主要是以电子产品可靠性为先导,到目前已经形成一门独立的学科。机械可靠性设计与电子可靠性设计相比,无论是国内还是国外都起步较晚,而我国武器装备研制的实际又急需有关机械可靠性设计与分析方面的技术支持。因此,本书作者在引进吸收国外机械可靠性设计与分析技术的同时,注意结合传统机械设计与分析的经验,论述了机械故障模式的识别和分析的方法;围绕机械静强度可靠性和疲劳可靠性这两大主题,阐述可靠性设计与分析的方法;对机构可靠性也作了简要的论述。此外,为了拓宽机械可靠性设计的思路,最后一章介绍了近几年从国外引进的田口方法在机械可靠性设计中实际应用的几个例子,供广大工程技术人员参考。

本书是国防科工委组织编写的《可靠性·维修性·保障性丛书》的第9分册。在编写过程中我们根据丛书编委会的要求,在结构与内容的安排上力图与各有关分册保持协调一致,特别是丛书第2分册《可靠性设计与分析》第一篇中阐述的各种方法,原则上都适用于机械可靠性设计与分析,本册不再重复。

参加本书编写工作的有:李良巧(第1章)、黄跃德(第2章)、常亮明(第3、4章)、黄文敏(第5章)、施祖康(第6章)、韩之俊(第7章)。全书由李良巧主编,顾唯明主审。本书在经丛书编委会审查过程中,杨为民教授、屠庆慈教授、俞沼高工、白广忱副教授等提出许多宝贵意见,为完善本书做了许多有益的工作,在此表示衷心

感谢!

由于机械可靠性设计与分析技术尚不很成熟,加之我们水平有限,因此,本书中的错误和不妥之处定然有之,恳请读者批评指正。

本册编写组
一九九八年四月

内 容 简 介

机械可靠性是武器装备可靠性的重要组成部分。机械可靠性设计是保证机械产品可靠性的关键。本书简要介绍国内外开展机械可靠性工作的概况;分析机械可靠性的特点和常用方法;论述了机械故障模式的识别和分析的方法;围绕机械静强度可靠性、疲劳可靠性两大主题阐述可靠性设计与分析的方法;对机构可靠性也做了简要论述。此外,还介绍了近几年国外引入的田口方法应用于机械可靠性设计的几个实例。

本书是《可靠性·维修性·保障性丛书》第9分册,可供我国从事武器装备研制和机械产品设计的工程技术人员学习,也可作为高等工程技术院校有关专业的教材或参考书。

可靠性·维修性·保障性丛书

编辑委员会

主 任

王统业

副主任

陈丹淮 黄 宁 杨为民

(按姓氏笔画排序)

么子臣 王 明让
邱德富 何 俞 沼
高志强 殷 屠 慈

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 机械可靠性的重要性	(1)
1.1.2 国外机械可靠性发展动态	(1)
1.1.3 国内机械可靠性发展简况	(3)
1.2 机械可靠性的特点	(6)
1.3 机械概率可靠性设计与传统安全系数法机械设计的 关系	(7)
1.4 机械可靠性设计方法	(12)
1.5 机械可靠性设计步骤	(16)
第 2 章 机械故障分析	(19)
2.1 机械故障模式	(20)
2.1.1 故障模式的基本概念	(20)
2.1.2 零件常见的故障模式	(21)
2.1.3 典型零件的故障模式	(22)
2.1.4 故障模式实例	(27)
2.2 机械故障的预防	(35)
2.2.1 可靠性设计准则	(36)
2.2.2 可靠性设计检查表	(38)
2.2.3 可靠性设计检查表示例	(39)
2.3 机械故障原因及机理的分析方法	(48)
2.3.1 机械故障原因分析的通用程序	(49)
2.3.2 机械故障原因分析方法	(51)
2.3.3 机械故障原因分析示例	(54)
第 3 章 概率分析和设计基础	(58)

3.1 随机变量的综合计算	(58)
3.1.1 代数运算	(58)
3.1.2 台劳级数近似求解	(63)
3.2 蒙特卡洛模拟法	(67)
3.2.1 基本原理	(67)
3.2.2 求解步骤	(69)
3.2.3 应用举例	(72)
3.3 设计参数的统计处理	(76)
3.3.1 概述	(76)
3.3.2 几何尺寸的随机性	(79)
3.3.3 材料性能的随机性	(81)
3.3.4 载荷的随机性	(87)
3.4 干涉理论及可靠度计算的一般公式	(90)
3.4.1 应力—强度干涉模型	(90)
3.4.2 可靠度计算的一般公式	(92)
3.4.3 关于干涉理论的几点讨论	(95)
3.5 几种常用分布的可靠度计算	(98)
3.5.1 应力和强度均为正态分布时的可靠度计算	(98)
3.5.2 应力和强度均为对数正态分布时的可靠度计算	(100)
3.5.3 应力和强度均为指数分布时的可靠度计算	(102)
3.5.4 应力和强度为其它分布时的可靠度计算	(103)
第4章 概率分析和设计的工程方法	(107)
4.1 一次二阶矩法	(108)
4.1.1 均值点法和验算点法	(108)
4.1.2 可靠度系数 β 的几何意义	(110)
4.1.3 均值点法和验算点法的算例比较	(114)
4.2 非正态分布变量的当量正态化	(117)
4.2.1 二参数等效正态法	(117)
4.2.2 三参数等效正态法	(124)
4.3 相关变量的独立变换	(127)
4.3.1 相关正态变量的独立变换	(127)
4.3.2 一般情况下可靠度的求解过程	(132)

4.4 有限元法在可靠性分析和设计中的应用	(134)
4.4.1 概述	(134)
4.4.2 改进均值法	(135)
4.4.3 改进均值法与有限元法的结合	(138)
4.5 安全系数与可靠度的关系	(139)
4.5.1 均值安全系数	(141)
4.5.2 概率安全系数	(142)
4.5.3 随机安全系数	(143)
4.6 静强度可靠性设计举例	(146)
4.6.1 受拉杆的可靠性设计	(146)
4.6.2 简支架设计	(150)
4.6.3 受扭杆设计	(153)
4.6.4 压力容器设计	(158)
4.6.5 弯扭联合作用的轴的设计	(160)
第5章 疲劳可靠性分析与设计	(165)
5.1 引言	(165)
5.2 基本设计参数随机特性的确定	(166)
5.2.1 载荷随机性的确定及载荷谱的编制	(167)
5.2.2 材料疲劳强度统计特性的确定	(176)
5.2.3 结构件疲劳强度的统计特性	(181)
5.3 规定寿命下的疲劳强度可靠性设计	(184)
5.3.1 稳定循环变应力下疲劳强度可靠性设计	(186)
5.3.2 不稳定循环变应力下疲劳强度可靠性设计	(190)
5.4 给定载荷下可靠寿命的预测	(195)
5.4.1 稳定循环变应力下可靠寿命的预测	(196)
5.4.2 不稳定循环变应力下可靠寿命的预测	(197)
5.5 综合考虑裂纹形成和裂纹扩展全寿命的可靠寿命 预测	(209)
5.5.1 断裂强度的可靠性分析	(210)
5.5.2 疲劳断裂的可靠寿命	(212)
5.5.3 综合考虑裂纹形成和裂纹扩展的结构可靠寿命的预测	(214)
第6章 机构可靠性分析	(218)

6.1 概述	(218)
6.1.1 机构及其功能	(218)
6.1.2 机构可靠性	(218)
6.1.3 影响机构可靠性的主要因素	(220)
6.1.4 机构工作能力及其耗损过程	(220)
6.1.5 机构可靠性指标	(222)
6.2 机构可靠性分析基本原理及方法	(224)
6.2.1 机构可靠性通用数学模型	(225)
6.2.2 机构运动学可靠性数学模型	(226)
6.2.3 机构动态输出特性可靠性模型	(229)
6.2.4 状态变量分析法在机构可靠性分析中应用	(238)
6.2.5 机构可靠性仿真	(241)
6.3 机构故障模式及故障形成过程数学表达	(245)
6.3.1 机构故障模式	(245)
6.3.2 机械功能输出参数变化规律	(247)
6.3.3 渐发性故障模型及数学表达	(250)
6.3.4 突发性故障模型	(256)
6.4 工程应用举例——旋转输弹机构可靠性仿真分析	(257)
6.4.1 旋转输弹机工作原理与功能介绍	(257)
6.4.2 弹距分布的可靠性仿真	(259)
6.4.3 输弹运行过程动作可靠性仿真	(263)
第7章 田口方法在机械可靠性设计中的应用	(276)
7.1 田口方法与机械可靠性	(277)
7.1.1 稳健性基本概念	(277)
7.1.2 稳健性指标——SN 比	(277)
7.1.3 SN 比与机械可靠性	(282)
7.1.4 田口方法的三次设计——稳健设计	(284)
7.2 气动换向装置的三次设计	(286)
7.2.1 系统设计——问题的提出	(286)
7.2.2 参数设计	(287)
7.2.3 容差设计	(293)
7.3 油泵阀头耐磨性的参数设计	(297)

7.4 离合器弹簧耐久性参数设计	(301)
7.5 超高强度抽油杆高频淬火工艺的参数设计	(306)
7.5.1 系统设计——问题的提出	(306)
7.5.2 参数设计	(306)
7.6 汽车操纵性能的动态特性的稳健性设计	(309)
附表 1 正态分布的单侧分位数	(316)
附表 2 常用的概率分布	(322)