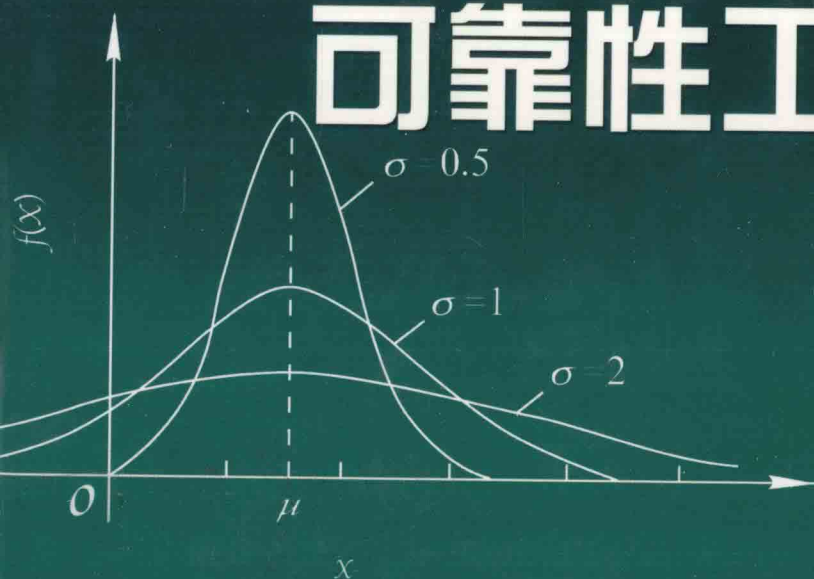




董锡明 编著

机车车辆运用 可靠性工程



中国铁道出版社

铁路科技图书出版基金资助出版

机车车辆运用可靠性工程

董锡明 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2004年·北京

内 容 简 介

本书应用现代科学技术理论,联系机车车辆运用维修实践,对机车车辆运用可靠性方面的问题进行了系统的论述。共分6章,详细论述了可靠性基本概念,可靠性理论基础,机车车辆的故障及其分析方法,可靠性试验,可靠性数据收集、处理与寿命评估,机车车辆的维修性等内容。

本书适用于机车车辆专业的科研、设计人员及工程技术人员阅读参考,也可作为高等院校机车车辆专业的本科及研究生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机车车辆运用可靠性工程/董锡明编著. - 北京:中国铁道出版社,2002.6

ISBN 7-113-04624-X

I.机… II.董… III.铁路车辆-应用-可靠性工程 IV.U279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018748 号

书 名: 机车车辆运用可靠性工程

作 者: 董锡明 编著

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑: 韦和春 编辑部电话:路电(021)73139,市电(010)51873139

封面设计: 冯龙彬

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

开 本: 850×1168 1/32 印张:20 插页:1 字数:528千

版 本: 2002年11月第1版 2004年11月第2次印刷

印 数: 1001—2000册

书 号: ISBN 7-113-04624-X/U·1307

定 价: 58.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:路电(021)73169,市电(010)63545969

前 言

机车车辆运用可靠性直接关系到机车车辆的运用效率和维修费用,影响铁路运输的安全与效益。在机车车辆结构日趋复杂和使用负荷不断提高的条件下,如何运用现代科学理论与方法来改善机车车辆运用、维修中的一些基本状况已成为当务之急。本书主要是应用现代科学技术理论,联系机车车辆运用维修实践,对机车车辆运用可靠性方面的问题进行比较系统的论述。

近代,许多发达国家在机车车辆运用维修管理工作中,除应用机车车辆本身的工程技术理论以外,还常常将运用维修中的大量数据,通过以概率论和数理统计为基础的近代数学方法的处理和分析得出定量的结论,客观地推理出正确的维修策略,从而改变过去运用维修决策中定性、直觉的判断。因此本书重点在于从机车车辆运用维修角度来研究可靠性工程。本书第一章介绍了可靠性基本概念,可靠性工程学科的发展简史、目的和意义以及研究内容;第二章介绍了可靠性理论基础,包括概率、数理统计基础,常用的概率分布,可靠性特征量;第三章介绍了机车车辆的故障及其分析方法,包括故障分类与等级,故障模式及机理,故障分析及其方法,故障模式影响及危害度分析(FMECA),故障树分析(FTA);第四章介绍了可靠性试验,包括可靠性增长试验、寿命试验、环境应力筛选试验、环境试验和可靠性验证试验;第五章介绍了可靠性数据收集、处理与分析,产品的寿命分布及其估计和检验方法;第六章介绍了机车车辆维修性,包括维修性概念、要求,维修性设计与分析,维修性试验与评定。

近年来,有关可靠性工程理论方面的论述在国内外已有不少,我国国民经济的各个领域(电子、航天、冶金、化工、汽车和船舶等)也进行过不少的研究,但是由于铁道运输的特殊性,这些研究成果

不能简单地搬用到铁道机车车辆运用维修实践中来。至今在铁道机车车辆领域内,应用可靠性理论解决实际问题的成果还很少。提高机车车辆可靠性虽然是我国机车车辆业当前面临的紧迫任务,但由于其涉及面广、难度大,在短时间内还难于彻底解决,因此在此领域内问题的局部解决和用于实践的有限成果,也都具有很大的意义。基于这样的原因,作者编写了这样一本阐述机车车辆运用可靠性的专著,其中的素材一方面来自作者及其同事们近年来在这一领域内的研究成果;另一方面来自国内外发表的许多标准、文章和资料,在此作者对他们表示诚挚的谢意。作者并不希图这本书所包含的内容十分完整和无可争议,只是试图将这一领域内的知识加以系统化,同时以现代科学技术的观点加以阐明。如果读者能从中有所收益,作者将感到极大的欣慰。

作者感谢中国铁道科学研究院机车车辆研究所的同事们,这里特别要感谢科学技术信息所的龚深弟研究员,他提供了机车车辆可靠性方面的一些资料;感谢王华胜同志为本书所做的许多繁琐性工作;还要感谢铁道部机车车辆大修规程管理研究室陈淇、王海波、李忠厚等同志在编写本书过程中所给予的支持。

由于作者水平所限,遗漏、谬误恐所难免,对所提出的批评指正,谨表谢意!

作者于北京

2001.10

目 录

第一章 绪 论

第一节 可靠性基本概念	1
一、可靠性定义	1
二、广义可靠性	3
三、运用可靠性	6
四、可靠性与质量	7
第二节 可靠性工程学科的发展简史	9
一、可靠性工程的历史与发展	9
二、国外铁道机车车辆可靠性工程发展状况	13
三、我国可靠性工程的发展状况	19
第三节 机车车辆可靠性工程的目的和意义	21
一、为什么要重视和研究可靠性	21
二、我国铁道机车车辆开展可靠性工程的必要性	23
三、机车车辆可靠性的特点	24

第二章 可靠性理论基础

第一节 可靠性概率基础	27
一、随机事件	27
二、频率与概率	32
三、概率的基本运算法则	35
第二节 可靠性常用概率分布	42
一、随机变量	42
二、离散型随机变量	43
三、连续型随机变量	44

四、随机变量的数字特征	48
五、可靠性常用分布	55
第三节 可靠性数理统计基础	75
一、基本概念	76
二、抽样分布	81
三、参数估计	88
四、假设检验	112
第四节 可靠性特征量	122
一、可靠性特征量	122
二、维修性特征量	133
三、有效性(可用性)特征量	138
四、机车车辆可靠性指标	144

第三章 机车车辆的故障及其分析方法

第一节 故障分类与故障等级	153
一、故障与失效	153
二、故障分类	157
三、故障严重等级	160
四、机车车辆破损范围	170
第二节 故障模式及故障机理	176
一、故障模式	176
二、故障机理	188
第三节 故障分析及其方法	199
一、故障分析的目的与程序	199
二、常用故障分析方法	201
第四节 故障模式、影响及危害度分析	210
一、概述	210
二、FMECA 的目的和任务	212
三、原始数据及资料准备	213
四、FMECA 方法	213

五、FMECA 分析过程与步骤	218
六、FMECA 报告	234
七、FMECA 维修性信息分析	235
八、机车车辆转向架 FMECA 应用示例	236
第五节 故障树分析(FTA)	243
一、概述	243
二、故障树的建造	246
三、故障树表达	259
四、故障树定性分析	271
五、故障树定量分析	277

第四章 可靠性试验

第一节 可靠性试验总则	284
一、概述	284
二、可靠性试验分类	287
三、可靠性试验计划	291
四、可靠性试验总要求	293
第二节 可靠性增长试验	305
一、概述	305
二、可靠性增长试验要求	306
三、可靠性增长模型	307
四、可靠性增长试验的监控	321
第三节 寿命试验	325
一、概述	325
二、使用寿命试验	327
三、加速寿命试验	332
第四节 环境应力筛选试验	342
一、概述	342
二、环境应力筛选要求	344
三、环境应力筛选试验程序	351

四、筛选试验评价	352
第五节 环境试验	354
一、概述	354
二、环境试验条件	363
三、一般试验程序	364
四、环境试验项目的顺序	366
第六节 可靠性验证(鉴定和验收)试验	367
一、概述	367
二、可靠性验证试验要求	371
三、可靠性鉴定和验收试验	381
四、可靠性统计试验方案	384

第五章 可靠性数据收集、分析与寿命评估

第一节 可靠性数据收集、处理与分析	428
一、概述	428
二、可靠性数据收集	439
三、可靠性数据的处理与分析	443
第二节 产品寿命分布类型	459
一、寿命分布的意义	459
二、常用寿命分布类型	460
三、寿命分布的应用	460
第三节 分布参数的确定——点估计与区间估计	465
一、指数分布的参数估计	466
二、正态分布的参数估计	474
三、对数正态分布参数的估计	482
四、威布尔分布参数估计	484
第四节 分布类型的检验	501
一、 χ^2 检验(皮尔逊检验)	502
二、K-S 检验(柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫检验)	

d 检验).....	507
------------	-----

第六章 机车车辆的维修性

第一节 维修性概述	517
一、维修性基本概念	517
二、维修性意义	520
三、维修性工程的目的和内容	521
第二节 维修性要求	526
一、维修性定性要求	527
二、维修性定量要求	532
三、维修性要求的选择及其指标的确定	536
第三节 维修性设计与分析	541
一、维修性设计与产品设计	542
二、维修性分析	545
三、维修性设计准则	548
四、维修性设计评审	563
第四节 维修性试验与评定	572
一、维修性试验与评定的目的和作用	572
二、维修性试验	572
三、维修性指标的验证方法	585
附表 1 标准正态分布数值表	595
附表 2 Γ 函数表	598
附表 3 χ^2 分布的分位数表	599
附表 4 t 分布的分位数表	601
附表 5 F 分布的分位数表	603
附表 6 产品故障率数据	615
附表 7 中位秩表	621
附表 8 $F(t_i)$ 的 5% 置信限表	622
附表 9 $F(t_i)$ 的 95% 置信限表	623

附表 10	$F(t_i)$ 的 10% 置信限表	624
附表 11	$F(t_i)$ 的 90% 置信限表	625
参考文献		626

第一章 绪 论

第一节 可靠性基本概念

一、可靠性定义

所谓可靠性是指“产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的能力”(GB 3187—1982)。

以上可靠性定义包含五个要素:

(1) 产品:其中所说的“产品”是指研究对象,可以是硬件,例如东风₄型内燃机车上的一个元器件(如晶体管、开关或灯泡),一个零部件(如气门、转向架),一个系统(如冷却系统、润滑系统)或一个组件(如柴油机、电机),或者是整台机车或车辆等;也可以是软件,例如机车车辆维修指南,机车车辆维修信息系统程序,生产质量控制文件,也可以包括人的使用和操作技术等因素在内。

在可靠性工程中,还可以把产品分为不可修复产品和可修复产品两种类型。产品在使用中发生失效,其寿命即告终结的,称为不可修复产品。当然,没有绝对的不可修产品,实际中多指没有修理价值和修理后不能完全恢复其功能的产品,如机车车辆中的灯泡、皮带、弹簧、齿轮、油封、轴承及有关的电子元器件等。产品发生故障后,可以通过维修恢复其规定功能的,称之为可修复产品。结构复杂、价格昂贵的产品一般设计成可维修的,可以通过更换其中的零部件,重新调整、加工处理等措施恢复其原来的功能。

不可修复产品和可修复产品在可靠性评价理论和方法上有显著差别。例如,不可修复产品是通过寿命统计对其可靠性进行评价,而可修复产品是用两次故障间隔时间的随机变化情况及维修过程的统计量对其可靠性进行评价的。在可靠性工程中,两者共

性的问题在讨论时不予特殊说明,但对于一些特殊性问题,两者必须区别对待。

(2) 规定条件:是指产品在使用中所处的环境条件(温度、压力、湿度、风沙和辐射等)、工作条件(功能模式、负荷条件、冲击振动情况等)、维修条件和操作方式等。所规定的条件对可靠性有着直接的影响。例如,一台内燃机车工作在高原、大风沙的地区和工作在高温、湿度大的地区其可靠性是不一样的。另外,可靠性还和各个地域的线路情况、坡道高低、牵引吨位的大小和司机的熟练程度等有关。

(3) 规定时间:是指产品完成规定任务或功能所需要的时间,可以用运行时间、走行公里或循环次数等来表示。例如,目前我国干线机车一般用走行公里来表示,调车机车和车辆用运行时间(年、月、日、小时)来表示。其他国家表示机车车辆运行时间的方法也不尽相同,德国、法国、俄罗斯是以机车走行公里数来表示,英国是以柴油机工作时间(小时)来表示,美国则以运用天数来表示。受循环负荷的零部件(如曲轴、轴承等)多用循环次数来表示。一般说来,产品可靠性是时间的递减函数,时间越长,可靠性越差。

(4) 规定功能:通常是指产品和技术文件中所规定的工作能力。对机车车辆而言,规定功能指的是,机车车辆设计任务书、技术条件、使用说明书、订货合同、国家标准及相关技术文件中所规定的各种功能与性能要求。产品不同所规定的功能也不一样,完成规定的功能就是保持规定的工作能力;反之,丧失规定的功能则称为失效(故障)。按照 GB 3187—1982 的规定,失效(故障)的概念是:“产品丧失规定的功能。”对于可修复产品通常称为“故障”;对于不可修复产品则称为“失效”。一个产品应按规定完成它的功能,一方面性能不能低于规定的范围,另一方面在结构上不得发生断裂破损,两者不可偏废。在我国机车车辆研制初期,当时人们只注重产品的性能而忽略了结构和系统可靠性,国产机车车辆在运用中频出故障,带来了巨大的经济效益方面的损失,教训是沉痛的。

(5) 能力:常用概率来度量这一“能力”,称为可靠度。由于产品的故障是随机事件,产品寿命是随机变量,因此产品在规定的寿命周期内完成规定功能的能力也是随机性的,要用概率才能定量地表示产品可靠性程度。

二、广义可靠性

前述可靠性定义是对不可修复产品而言的,因而称为“狭义可靠性”(简称可靠性)。对于机车车辆类的可修复产品,除了应考虑产品的狭义可靠性以外,还要考虑其发生故障后维修的难易程度,也就是它的维修性问题。通常将可靠性和维修性综合考虑的可靠性概念称为“广义可靠性”。对于可修复产品来说,可靠性和维修性都好的产品,有效工作时间就长,可靠性和维修性差的产品有效工作时间就短。所以用有效性(可用性)来综合考虑可靠性和维修性,对产品的广义可靠性进行评定。从扩大的意义上来说,广义可靠性还有更广阔的内涵,除可靠性、维修性以外,主要还有耐久性和安全性,如下所示:

$$\text{广义可靠性} \left\{ \begin{array}{l} \text{可靠性} \\ \text{维修性} \end{array} \right\} \text{有效性(可用性)} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{耐久性} \\ \text{安全性} \end{array} \right.$$

(一) 维修性

维修性的定义为:“在规定的条件下,并按规定的程序和手段实施维修时,产品在规定的使用条件下保持或恢复能执行规定功能状态的能力”(GB 3187—1982)。

由上述定义可知,维修性定义有如下要点:

(1) 维修性不是指具体的维修技术和故障的排除方法,而和可靠性一样,是产品本身的一种特性,是可维修产品广义可靠性的属性之一,是通过设计而赋予产品的一种固有属性。维修性的度量是随机变量,只具有统计上的意义,因此要用概率表示,称为维修度。

(2) 规定条件:包括维修人员的熟练程度,维修设备、工具、备件是否有保障,甚至还包括技术数据是否齐全,操作是否方便,维修规范是否合理,后勤保障是否充分等。

(3) 规定时间:是指维修时间。维修时间规定得越长,维修度越大。正常产品的维修时间与其寿命相比应该是短暂的,也就是说维修度具有快速性,只有这样,产品故障能及时诊断和排除,尽快投入使用。

(4) 规定的程序和手段:按照预定的程序和手段进行维修是十分必要的,不仅可以提高维修度,还可以降低维修费用,延长产品寿命,减少故障发生频率,否则维修之后反而会降低其可靠性。因此,为了提高维修度应当制订详细的维修规程和规范,规定和明确维修性的技术要求,还要考虑使用故障检测装置,设定检测点,使检查程序标准化。

(二) 有效性(可用性)

有效性是反映产品效能的主要特性之一。有效性的定义是:“可以维修的产品在某时刻具有或维持规定功能的能力”(GB 3187—1982)。

由上述定义可知,有效性有如下特征:

(1) 有效性是产品可靠性和维修性的综合表征。对可修复产品而言,总是希望其工作时间要长,非工作时间要短。因此不仅要关心产品的可靠性,即不易出现故障的可能性如何,而且还要关心产品一旦出现故障应能尽快修复,使其早日投入正常运行。因此综合考虑可靠性和维修性的广义可靠性就是有效性。

(2) 和可靠性、维修性一样,有效性也可用概率表达,称为有效度(可用度),即在任意随机时刻,当任务需要时,产品可投入使用状态的概率。

(3) 这里要强调的是,有效性定义是针对“某一时刻”的,而不是“某一时间间隔”,因此它表征某一特定时刻要进行该项工作的完好程度。

(4) 有效性不但与工作时间有关,而且还是维修时间的函数,

随着工作时间和维修时间不同,有效性也不相同。

(三) 耐久性

所谓耐久性是指“产品在规定的使用和维修条件下,达到某种技术或经济指标极限时,完成规定功能的能力”(GB 3187—1982)。机车车辆、汽车、船舶等运输行业常用耐久性作为表征产品技术水平的一个重要特性,一般采用产品的大修周期和报废寿命(使用寿命)作为衡量产品耐久性的指标。

对于耐久性应做如下说明:

(1) 耐久性和可靠性概念不完全相同。耐久性是表示产品工作的持久能力,是一种持续时间的概念,表征产品的寿命。而可靠性则是表示产品完成任务的能力,除与时间有关外,还具有更广的内涵。严格地说来,耐久性应该属于可靠性范畴中的寿命特性,只不过为了强调而将其独立阐述罢了。

(2) 耐久性定义是针对“时间间隔”,而不是过程的某一时刻的特性,因此它不表示产品使用过程中某个瞬间的状态,而表示产品运用某一阶段或整个过程结束时的期限(寿命)。

(3) 产品的极限技术状态系指产品继续使用在安全上不允许或由于规定参数超出了使用指标,而又不能排除;或由于使用效率降低到不允许的程度;或由于零件磨损,修理费用过大,再使用则不经济的状态。

(四) 安全性

安全性的定义是:“产品在一定的功能、时间、成本等制约条件下,使人员和设备蒙受伤害和损失最小的能力。”

对安全性要说明的几点是:

(1) 与安全性相对应的概念是危险性。所谓安全性评价就是对产品的危险性进行定性和定量分析,得出产品发生危险的可能性及其程度的评价,以寻求最低事故率,最少损失和最优的安全投资效益。

(2) 产品发生故障往往会引起程度不等的事故,造成人身伤亡或资财损失,影响产品安全性,因此人机系统的可靠性包括产品

的可靠性,也关系到人体的安全性。所以安全性和可靠性是息息相关的,提高产品的可靠性也有助于提高整个系统的安全性。

(3) 对人机系统的安全性评价内容是非常广泛的,其评价指标也是多方面的,主要有事故造成的最大人员伤亡数,事故造成的最大财产损失数,事故发生的概率,人员暴露于危险环境中的频率以及安全投资水平等。目前已经形成了一门新学科——安全工程学。本书只讨论与产品可靠性有关的安全性,其相应的评价指标是产品事故发生的概率,相应的评价方法是故障模式、影响和危害度分析(FMECA)以及故障树分析(FTA)。

三、运用可靠性

从产品可靠性形成过程来看,可以将可靠性划分为固有可靠性和运用可靠性。通过设计、制造形成的可靠性称为固有可靠性;而产品在使用条件下(包括保管、运输、操作和维修等),保证固有可靠性发挥的程度称为运用可靠性。

由上述运用可靠性和固有可靠性定义可以看出:

(1) 固有可靠性所关心的中心问题是产品由于设计、制造所形成的可靠性,不包括使用、维修中所形成的可靠性,因此属于狭义可靠性问题。而运用可靠性所考虑的主要问题除固有可靠性的内容外,还有运用维修中所形成的可靠性问题,因此它属于广义可靠性。

(2) 某一机车运用可靠性的各种影响因素及其影响程度见表 1-1 所示。由表可见,运用可靠性的范畴大于固有可靠性。为了保证产品在使用中有高的可靠性,首先要做到设计质量高,制造质量好,然后尽量保证合理正确的使用和维修方法。

表 1-1 各种因素对运用可靠性的影响程度

影响因素		影响程度/%
运用可靠性	设计	40
	制造	20
	使用	30
	其他	10