

可靠性与维修性

[日] 益見 弘 著

国外现代管理初级读物



BQ49/10

87
F403.7
27
3

国外现代管理初级读物

可靠性与维修性

[日] 雄見 弘 著

姚 普 译



机械工业出版社

B 408664

本书深入浅出、循序渐进地介绍了可靠性与维修性技术。全书共有三部分：第一部分为入门，向初学的人们介绍了名词术语的含义，可靠性与维修性管理的重要性，可靠性与维修性不可缺少的对故障的观察方法与思考方法等；第二部分为管理与技术，介绍可靠性与维修性的实施方法和故障分析方法，维修技术和可靠性、维修性的关系；第三部分为数据分析，包括可靠度的基本算式及方法，可靠性与维修性数据的分析方法，保养维护的装置及其零部件的可靠性。

本书适合工厂企业有关设计、制造、安全、维修和质量管理等方面的技术人员及管理人员阅读，也可供有关专业的大专院校的师生学习参考。

トラブルフリーをめざす

信頼性・保全性の考え方と進め方

塩見 弘 著

技术评论社，1981

* * *

国外现代管理初级读物

可靠性与维修性

[日] 塩見 弘 著

姚 普 译

*

责任编辑 谢景文

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经营

*

开本 787×1092 1/32 · 印张67/8 · 插页1 · 字数160千字

1987年1月重庆第一版·1987年1月重庆第一次印刷

印数 0.001—4.150 · 定价：1.60 元

*

统一书号：15033·6289



《国外现代管理初级读物》

出 版 说 明

为了普及现代管理知识，我们选择了一批国外企业经营管理科学的入门书籍和基础读物，编成《国外现代管理初级读物》供读者选用。这批图书力求反映国外企业经营管理科学的某些最新成果，内容也较为通俗易懂，可供管理专业的师生、各级管理人员以及广大爱好企业经营管理科学的读者学习、参考。

前 言

可靠性与维修性这门专业技术，是在20世纪50年代以电子领域为中心开始进行研究、开发的。当进入60年代，这门技术在宇宙开发等方面发挥了巨大的威力。

到了1962年，在美国召开了一系列这方面的专业会议：第一届可靠性与维修性会议，以分析零部件故障（失效）和探讨故障（失效）原因为目标的失效物理讨论会；关于采取冗余设计使可靠性较低的零件构成的系统实现较高的可靠性的冗余设计讨论会等。在这个时期，还开展了新的研究工作，如对故障（失效）模式效应分析（FMEA）、故障树分析（FTA）等新的预测技术；研究机械设备与零部件的故障机理、实行故障预防维修；研究故障（失效）分析方法，使设计或维修更加合理化等等。

进入70年代，开始强调公害、环境污染、安全性、保护消费者利益、产品责任赔偿（PL）等方面的问题，因而，在这些领域也引进了可靠性与维修性的思维方法。在工业上，进而要求不能单从提高生产效率和尽量减少由于故障造成的设备或系统的损失的角度去考虑问题，而且要求对维修工作的合理化、确保安全、降低成本和节省资源等方面也不能忽视。

因此，作为可靠性、维修性和诊断技术基本方法的故障的预测、预防、诊断，零部件的失效率、寿命分布等等的研究，已经用于现场的工程分析和制定维修计划等方面。这种

动向之一，可以从1970年以后英国所推广的综合安全设计技术（Tero-technology）中体现出来。它的基本精神是要牢牢记住设备的寿命周期费用，或在设备设计阶段就把可靠性与维修性考虑进去，或把对设备状况的监视维护（监视设备状况、实行故障预防）等科学合理的方法，不局限于规划设计和有关人员的工作范围之内，而且要使在现场工作的具体地对每个故障采取对策的这一级的技术人员认真地学习思考和应用。为了使日本能在经济低增长时期生存下去，我们无论如何也要把这门技术学到手。

目前日本对这方面的研究、开发，不仅有机械学会、电气学会、计量自动控制学会和石油学会等学术团体，而且也有以企业为中心积极推动这项工作开展的机械工程师协会和日本科学技术联盟等在这方面所作的努力。

本书是为在现场第一线工作的制造技术工作者、安全技术工作者、维修技术工作者以及有关服务人员等这些方面人员编写的。编写时尽可能采取通俗易懂的文体，使读者对可靠性、维修性的基本思考方法和实施方法能有所理解，并能在实际工作中应用。

当然，任何技术都不可能在一夜之间就可以掌握，最重要的是应当从能理解的地方、能应用的地方开始，结合本人自己身边的工作找出存在的问题。首先试行思考，试行应用。如果能对这些方面有所助益，那就符合了著者的期望。

最后，对为本书出版尽了力量的技术评论社的山田克己先生致以谢意。

塩 晃 弘

1979年9月

目 次

出版说明

前 言

第一部分 入 门

第一章 为了初学可靠性与维修性的人们	2
一、可靠性与维修性这一词汇的意义	2
二、可靠性与维修性中“管理”是重要的	9
三、可靠性与维修性管理为什么重要	11
四、可靠性与维修性中“成本费用”也很重要	15
五、可靠性与维修性中“预测技术”决定胜负	18
六、“固有可靠性与维修性”和“使用可靠性与维修性”	19
七、可靠性与维修性要由“人、组织和技术能力的 总合” 来实现	22
八、可靠性与维修性是综合工程技术	25
第二章 可靠性与维修性不可缺少的对故障的观察 方法和思考方法	26
一、故障与三个概率R、M、A的关系	26
二、规定可靠度的五要素	30
三、维修三要素	33
四、用时间计量可靠性与维修性	34
五、可靠性、维修性与有效度的关系	39
六、有关故障的尺度——“故障失效率”与“修复率”	42
七、失效率的三种基本图形与预防更迭	44
八、可靠性、维修性有关尺度的综合归纳	48
九、故障也要考虑“质”这个重要的问题	48
十、故障分析的基础知识——“故障(失效)模式”与“故障	

(失效)机理”	51
十一、故障分析的思考方法	54
十二、故障(失效)的种类及其区别	59
十三、从整体上进行故障的影响分析与评价是不可缺少的	65

第二部分 管理与技术

第三章 可靠性与维修性管理的实施方法和故障分析

方法	69
一、为了便于管理,对寿命周期分阶段的思考方法	69
二、可靠性与维修性管理的原则和计划的实施方法	72
三、可靠性与维修性设计的基本方针	75
四、“可靠度分配”方法	77
五、使用条件越严酷,可靠度越降低	81
六、影响可靠度的冗余设计及维护效应	83
七、对可靠性与维修性设计必要的其他思考方法	87
八、可靠性与维修性不可缺少的预测与分析	90
九、特性的变动和渐变故障的预测	91
十、剖析故障原因的“故障(失效)树分析(FTA)”	92
十一、追查故障发生顺序的“事象树分析(ETA)”	98
十二、分析故障影响的“故障模式效应分析(FMEA)”	100
十三、可靠性试验的重要性问题	103
十四、设计审查的重要性及其方法步骤	106
十五、制造、发货、服务、营业方面的可靠性	108
十六、维修和可靠性,维修性管理	110
第四章 维修技术和可靠性与维修性的关系	114
一、设备维修中不可缺少R, M, A技术	114
二、维修的分类	116
三、维修评价的效果尺度——有效度的种类	119

四、掌握系统效益度和费用效益度的方法,关键是维修	123
五、选用尺度时要十分注意	128
六、状态监视(预防)维修技术的归纳	130

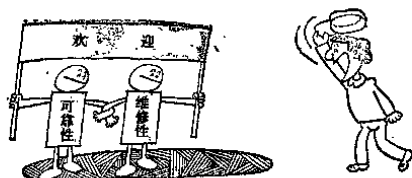
第三部分 数据分析

第五章 可靠度的基本算式及其求法	136
一、有关可靠性尺度的求法	136
二、可靠度的“区间估计值”求法	144
三、有关可靠度的基本算式	151
第六章 可靠性与维修性数据的分析方法	156
一、装置与零件故障数据的分析方法	156
二、使用于估计可靠度与维修度的理论分布种类	158
三、集中故障的代表——“正态分布”	162
四、表现偶然故障(失效)的“指数分布”	169
五、按指数分布的MTTF、MTBF的区间估计	172
六、表示随机偶发的单元故障数——“泊松分布”	175
七、通用性强的“威布尔分布”	177
八、分析不完全数据的“累积危险法”	184
九、表示故障停工时间分布的“对数正态分布”	189
第七章 具有维修的装置及其零部件的可靠性	195
一、机械和人类的寿命图形	195
二、装置的MTBF与零部件失效率的关系——以串联模 型为例	198
三、仅由IFR型零部件构成的装置,其更新率也接近一 定常值	202
四、为发现潜在故障的“最佳检查周期”	204
五、实行状态监视维修,MTBF能得到什么样的改善	205
译后记	208
参考文献	211

第一部分 入 门

第一章 为了初学可靠性与维修性的人们

第二章 可靠性与维修性不可缺少的对故障的观察方法和思考方法



可靠性，维修性等以“性”这个字作语尾的抽象的词汇，仅这一点就给人们一种好象是很难的印象，何况，这些技术的产生与发展是以电子系统为对象（阿波罗宇宙飞船为其象征）的，所以它引起了一部分人的误解，认为这是一门非常复杂的技术。

但是，可靠性与维修性的原理是很简单明确的，那就是：“制造不容易发生故障失效的产品，即使发生了故障失效也容易修理的产品”。

入门篇就是为了给初学可靠性与维修性的人们讲讲可靠性与维修性是怎么一回事，以及这方面使用的名词术语的含义。

第一章 为了初学可靠性与维修性的人们

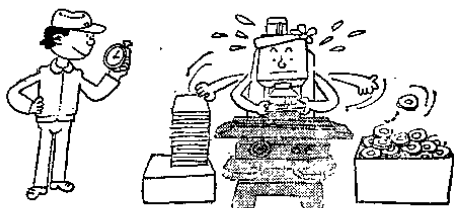
这一章主要想阐明什么是可靠性与维修性，以及它的必要性、重要性。同时概略地讲讲为了实现可靠性与维修性必不可少的基本的手段“可靠性与维修性管理”。

一、可靠性与维修性这一词汇的意义

1. “可靠性”就是设法使其不发生失效故障

从极为常识性的观点去考虑，我们讲某一装置或机器是“可靠的”，是可以信赖的，那么这种情况究竟意味着什么呢？对此，大致可以这样讲：“这种装置或机器被使用的时候，在规定的期间内，它要处于能够满足使用者要求的状态”（这种规定的期间，是指在某一限定的成本内，使用者所要求期望的时间）。

在这里，为使产品处于“能满足要求的状态”，首先最重要的是“使其不发生失效故障”，这就叫做可靠性。



可靠性：在规定的条件下，在规定的期间内，具有完成所要求的功能的能力

具体地讲，就是要使产品不发生失效故障那样地去设计、去制造，而且还要很好地去使用它。

但是，仅仅经常谈论可靠性，如果不采用具体的数字加以定量处理，在实际的设计和生产中还是无法实现的。为此，对计量可靠性的数值（称做尺度或指标）采用了可靠度这样一种概率的名称。

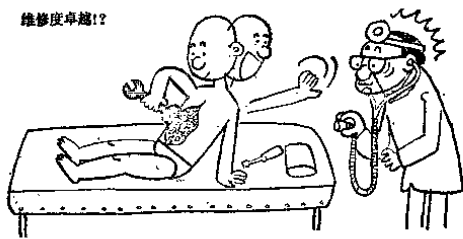
无论是可靠性或是可靠度，在英语中都使用 reliability 这一词汇。这个词汇是由 rely(可靠)+ability(能力)构成的。在这里，可靠性也好，可靠度也好，往往采用 R 这个略写字来表示。本书中有时也用 R 这个字作为略写字，这一点希望读者注意。

另外，可靠性和可靠度在日本工业标准 JIS(Z8115) 中都有定义，我们在下面加以介绍。“可靠度”的表示要严格一些，这里采用了比较严密的表述。至于“可靠性”只要把可靠度中的“概率”二字换成“能力”就可以了。

JIS 术语

可靠度：系统、机器、零部件等，在规定的条件下，在规定的时间内，能完成要求的功能的概率

维修度卓越!?



2. “维修性”指即使产生了失效故障也能容易发现而又能很快地修复

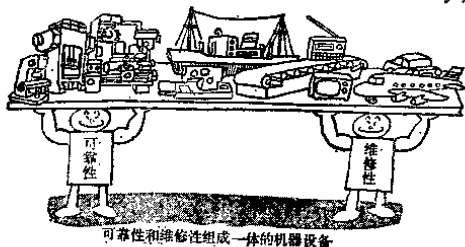
前项中所讲的可靠性，可以说是指发生失效故障前这一阶段的事情。与此相对应，当机器或设备等发生了故障或老化了的时候，能尽可能做到早期发现，及时修复，使其维持正常状态的能力，这就叫做维修性。

维修性不只是指一般的维修技术(如换备件、修复等)，而更重要的是从设计阶段开始就要考虑易于发现故障或老化问题和易于修理的结构。

总之，象电子计算机或汽车等，那种在人们能边操作边维修情况下使用的系统或装置(称做“可修复系统”，也可简称为“修复系统”)要求其可靠性高、不容易出故障，虽然是很重要的，但还应该从最初设计起就把修理、维护服务等维修性与可靠性结合起来考虑到产品的结构中去。

不过，象无人操纵的人造卫星或其他结构无法修理的产品，由于不可能依靠维修性，那只能从一开始就尽可能地提高其可靠性，此外别无他法。

与可靠度一样，表达维修性的尺度叫做“维修度”。维修性也好，维修度也好，英语中都用maintainability这一词



汇。其语源是 *maintain* (保持正常) + *ability* (能力)。在这里, 维修性或维修度有时使用 *M* 作为略写字。

与可靠性的情况相同, 在日本工业标准 (JIS) 中对维修性、维修度作了下面的定义。不过由于行业的不同, 有的用保养、修配等词汇来代替维修。

JIS 术语

维修性: 在规定的条件下, 在规定的时间内, 对可修复的系统、机器、零部件等的维修, 能完成的能力

维修度: 在规定的条件下, 在规定的时间内, 对可修复的系统、机器、零部件的维修, 能完成的概率

3. 可靠性和维修性是密切不可分离的

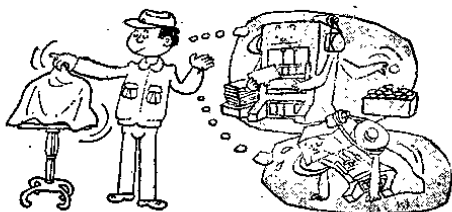
如以上所讲到的, 对可修复的机器或设备, 可靠性和维修性绝对不能分开考虑。也就是说, 如同车子的两个轮子、硬币的表 and 里一样, 它是构成一体的东西。

人们常常把上述两者结合在一起, 从广义上称为可靠性或者叫可靠性工程学。在这种情况下, 要和前面讲到的使其不发生失效故障的可靠性, 也就是狭义的可靠性二者区别开来。

广义的可靠性 { 狭义的可靠性 (不发生失效故障)
维修性 (故障发生后容易修复)

但本书主要目的是希望对维修性的概念有很好的理解, 因此, 在单独讲到可靠性时, 是指狭义的可靠性。如果要表示包括两种含义在内的广义的可靠性时, 就明确地用“可靠性与维修性”或“可靠性-维修性”。采用字头字母的略语时, 就使用“*R/M*”的符号, 当然这里的 *R* 是指可靠性 (*reliability*), *M* 是指维修性 (*maintainability*)。

4. 表示广义可靠性的尺度称为“有效度”

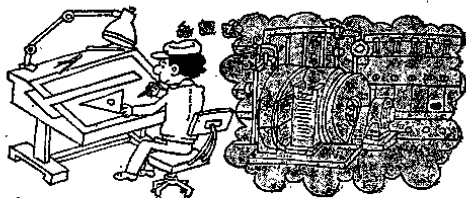


有效度是在特定的瞬时中能维持其功能的概率

前面已经讲到，计量可靠性的尺度叫做可靠度，计量维修性的尺度叫做维修度。这样，在可修复的系统中，也有必要有一个表示综合二者的广义的可靠性，即可靠性与维修性的尺度，我们把这个尺度命名为有效度 (availability)。

所谓有效度，就是表示系统或机器在任意时刻“能圆满地完成其动作的概率”，简单一点也可以这样说：“不论什么时候想要使用都可以使用的能力”。这和日语的“运转率”的意义大体相同，一般直接使用英语 availability 这个词汇的读音，略写字用 A 表示。

我们讲“有效度高的”系统或设备，也就是意味着是良好的系统或设备。



为了提高有效度，提高 R 呢？还是提高 M ？
这要对具体情况作具体分析

在日本工业标准JIS中作了下面的定义：

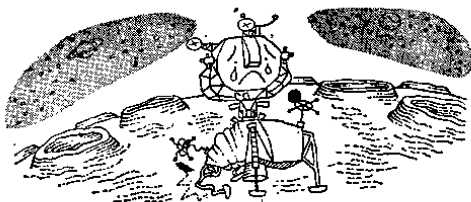
JIS 术语

有效度：可修复使用的系统、机器或零部件等，在特定的瞬时中能维持其功能的概率，或在某一时间中能完成其功能的时间比率

备 考：平均有效度(A)，在多数情况下可以由下式求出，

$$A = \frac{\text{可能工作的时间}}{\text{可能工作的时间} + \text{不可能工作的时间}}$$

从这里可以看到，系统或机器即使发生了失效故障，只要在某一规定的时间内修复了并保证能圆满地工作（即维修度良好），这要与单纯地依靠可靠度相比，可以提高能圆满地完成其动作概率（即有效度）。也就是说，要想提高有效度，维修度的好不好有很大的关系。



虽想进行维修，但也有维修不了的东西

但是，在人造卫星那种不可能维修的系统中，维修度起不了作用，这时，有效度同可靠度是一致的。

此外，对于某种机器或系统，要想达到同样的有效度，是设法提高维修度好呢？还是提高可靠度好？这就要对具体情况作具体分析，采用有利的决策。

5. 与可靠性、维修性相似的“安全性”

还有一个与可靠性、维修性相似的词汇，叫做安全性

(safety, 略写字 s)。它的含义是“不使生命、财产遭受损失”，它与可靠性、维修性的概念不同。

不过， R/M 是为防止对象（系统或产品）丧失其功能的，所以和安全性也有密切的关系，这是没有疑问的。一般可以认为 R 、 M 、 A 高的，其 S 也是高的。

有一种称做“失效故障、安全 (fail safe) 设计”的，是指那种在失去功能时也要保障安全的设计。这也表示出 R/M 和 S 不是一回事。

附：可靠性发展简史

以第二次世界大战为开端

在战争中，当时为电子装置、特别是真空管的失效故障而苦恼的美国，提出要改善这一情况，因此在研制出高可靠性电子管 (reliable tube) 时，引用了可靠性 (reliability) 这一定义，也就是可靠性一词的开端。

奠定可靠性工程学基础的50年代

在这一时期，有一个叫做电子设备可靠性咨询集团 (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment, AGREE) 这样一个美国研究委员会引进了系统工程的设计。把从零部件起到装置、系统为止的全部用可靠性贯穿起来，不是象过去那样仅仅依赖于经验和智慧，而是创出了一种以数据为基础在事前就要保证可靠度的技术工程系统。1954年举行了最初的可靠性讨论会，在1952年已经开始经营使用数据中心。此外，于1958年日本科学技术联盟内部的可靠性研究会也开始了活动。

可靠性的发展与国际化时代的60年代

作为这一年代的象征，是指从1961年起步的、1969年成