

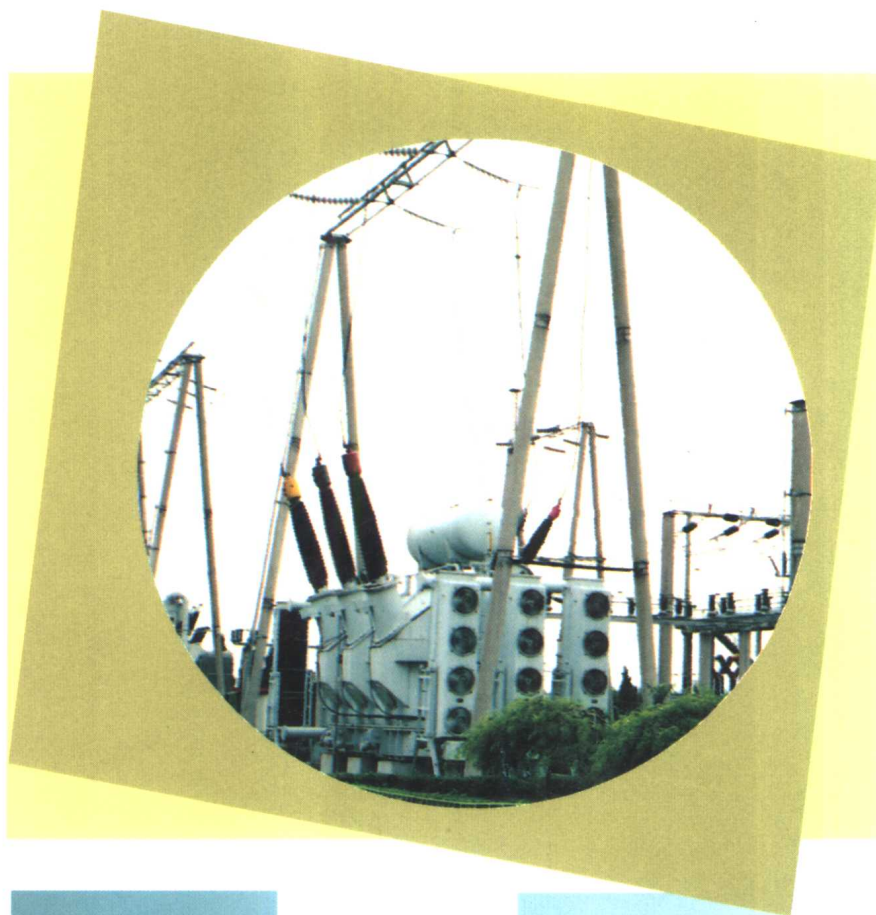
电力设备

可靠性维修

邱仕义 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



ISBN 7-5083-2151-0



9 787508 321516 >

ISBN 7-5083-2151-0

定价: 31.00 元

电力设备

可靠性维修

邱仕义 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

电力设备可靠性维修是近年发展的一门新的技术和新的管理观念。本书介绍了可靠性维修的基础理论和应用方法, 主要内容包括可靠性、维修性的数理统计基础、维修理论、以可靠性为中心的维修方法及在电力系统中的应用、状态维修及维修质量的可靠性控制等。

本书注重理论与实际相结合, 侧重维修的通用性, 而不介绍设备具体的维修。书中数学分析简明扼要, 介绍基础理论时突出使用的特点。

本书可供从事电力设备管理、维修、运行及研制的有关工程技术人员、工程管理人员阅读, 也可作为电力院校有关可靠性及设备管理专业的学生参考选读。

图书在版编目(CIP)数据

电力设备可靠性维修/邱仕义编. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2151-0

I. 电... II. 邱... III. 电力系统-电气设备-可靠性-维修 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022606 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 8 月第一版 2004 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 446 千字

印数 0001—3000 册 定价 31.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序言

在我国可靠性工程应用于电力企业管理是在 20 世纪 80 年代,随着电力工业的迅速发展,电网规模不断扩大,特别是近 10 年来电力可靠性管理备受重视。然而对于电力设备维修管理来说,运用可靠性理论和方法,尽管国外已有较好的应用,并取得了一定的效果,但在国内还是最近几年才提到。

当今电力设备在向大机组、大容量、高电压和高自动化方向不断发展,电网管理的最基本的任务是维护好这些设备,确保电网安全可靠运行,由于电网装置的急剧增加,其维修工作量在不断加重,而且费用也在不断攀升,已构成了电力企业最基本和最主要的成本之一,因此如何提高设备的维修效率,减少维修成本,提高设备的安全可靠性水平,是电力企业设备管理所不断追求的目标。

传统的设备定期计划维修是目前电力企业设备维修的主要方式。尽管现在已有部分电力企业在探讨和应用一些在线监测技术和开展状态维修管理,并且已取得一些效果,但主要还是试点和局部的应用。电力设备维修的方式有多种,到底应采用哪种方式,应根据设备维修的技术条件和设备本身的故障后果来确定,受技术经济条件的限制,即使是理想的状态维修也不是都能很好采用,而如何分析和确定维修方式,就是要围绕设备的可靠性,以可靠性为中心来选择最优的维修策略,这就是国际上许多行业所采用的以可靠性为中心的维修即 RCM 方法。

本书作者在编写中结合长期从事电力设备的运行检修管理工作的体会,经过两年多的努力编著而成,其目的是为电力企业设备管理模式作出探讨。目前,可靠性维修在我国电力企业刚刚起步,本书理论结合实际,详细介绍了以可靠性为中心的维修理论,突出了电力设备运行和维修的特色,尽管书中所提及的一些理论和方法有待进一步努力去研究和探讨,但编者的初衷是抛砖引玉,相信它的出版对传统维修观念的转变和新维修理论的应用,以及对电力设备维修管理的改革和创新将会起着积极的推动作用,从而加快电力企业的发展。

该书参阅了国内外许多关于设备维修的理论、方法和经验,应用可靠性工程理论,紧密结合现场实际,阐述可靠性维修的目的意义和应用方法,为了方便初次接触该理论的需要,从可靠性工程及其数理统计应用的基础知识入手,介绍了维修理论的基本知识和电力设备的可靠性分析,突出介绍了电力设备的可靠性维护及其有关故障诊断、状态维修等问题,最后介绍了维修质量的可靠性控制。该书对当前我国电力企业设备管理具有一定指导意义和帮助,也可供电力院校有关专业学生参考。

教授、武汉大学博士生导师 李卫国

2003 年 12 月 12 日

注:李卫国教授原任长沙电力学院院长,现系上海电力学院教授。

前言

近 20 年来,我国电力系统规模在不断扩大,电力系统的装备急剧增加,成为电力工业和国民经济发展的重要手段,与此同时,设备的维修已成为企业管理的重要工作内容。而传统的计划维修是目前企业设备维修的重要方式,但已日显弊端:不能充分利用设备的寿命,影响设备使用的可靠性,而且企业需要支付大量的维修费用等等。

可靠性维修在美国 20 世纪 60 年代民航工业率先成功应用。之后,在国外一些其他企业、行业,包括电力企业都得到推广应用,并取得很好的效果。

随着我国电力体制改革和电力市场经济的发展,一方面要求电力系统供电的可靠性进一步提高,另一方面要求电力企业在发展中能有较好的经济效益,即把电力企业管理主要成本之一的设备维修费用进一步降低。电力设备可靠性维修的观念和方法给我们带来希望,在防止或减少事故发生,提高安全运行水平,节约维修费用,最大限度利用设备等方面能够取得显著效果,从而提高企业经济效益。

本书理论结合实际,从可靠性及维修理论简介入手,介绍维修理论基础中有关数理统计知识的准备,突出讲述可靠性维修方式及在电力系统中的应用,并结合当前实际介绍在线监测与状态维修的应用,最后提出维修质量的可靠性控制问题。希望本书能对电力企业的设备管理人员、工程技术人员有所帮助,也可供电力高等学校有关专业的学生参考。

由于编者水平所限,书中错误和不足之处,在所难免,恳请有关专家和读者批评指正。

编 者

2003 年 11 月

目 录

序言

前言

第一章 可靠性维修概论	1
第一节 维修的基本概念	1
第二节 维修技术发展简介	2
第二章 可靠性维修性的数理统计基础	6
第一节 可靠性维修性的基本概念	6
第二节 概率与数理统计基础	9
第三节 系统可靠性的数学模型	17
第四节 随机过程	26
第三章 维修与维修理论简介	32
第一节 维修理论的形成	32
第二节 故障率和可靠性函数	37
第三节 参数估计与假设检验	57
第四节 维修理论基础	63
第五节 故障诊断技术基本原理和方法	78
第六节 预防性维修对可靠性影响	98
第四章 以可靠性为中心的维修方法	103
第一节 以可靠性为中心的维修简介	103
第二节 设备的功能与故障	106
第三节 设备的技术履历与分析	126
第四节 预防性维修工作	131
第五节 RCM 的实施与效果	157
第五章 电力设备的可靠性维修应用	172
第一节 主要电力设备的可靠性	172
第二节 电力设备的维修与经济分析	204

第三节	预防性维修间隔期的确定	212
第六章	电力设备的状态维修	219
第一节	传统的定期维修制度及变革	219
第二节	状态维修的技术要求与分类	222
第三节	电力设备监测与诊断概述	246
第四节	温度在线监测与诊断技术	249
第五节	绝缘在线监测诊断技术	254
第六节	电力设备在线监测及应用	261
第七节	电力设备的状态评估	279
第七章	维修质量的可靠性控制	287
第一节	维修质量的波动	287
第二节	维修质量控制图	288
第三节	质量改进	296
第四节	人为差错及预防	298
附录		303
附表 1	标准正态分布表	303
附表 2	χ^2 分布的分位数表	306
参考文献		307

可靠性维修概论

工业革命的出现和发展,表现在各种工业设备的大量应用,设备的使用则伴随着维修的活动。早期的设备维修是设备操作与使用中的一种技艺,随着科学技术的发展和生产的自动化程度的提高,维修活动愈显得重要和不可或缺。维修活动也从设备操作使用过程中分开而专门进行。人们对维修的认识也不断加深和提高,维修理论也逐渐得以形成和发展。尤其是 20 世纪六七十年代,以可靠性为中心的维修理论在航空工业领域获得成功应用,并在机械、化工、食品、电力等领域部门被推广应用而得到迅速发展。

电力设备的维修一直是电力企业不可缺少的一项重要活动,并较早把维修活动从设备运行、操作中分开,形成专门的维修人员和组织。如何提高维修水平,开展卓有成效的维修活动,已愈来愈被电力设备管理者所重视。本书主要阐述电力设备的维修基础理论和基于可靠性理论发展起来的可靠性维修以及它的实际应用。

第一节 维修的基本概念

一、维修的含义

日本工业标准 JIS 对维修做了如下定义:“所谓维修,是指把产品保持在使用及运用状态以及为排除故障和缺陷所进行的一切处置及活动”。这种定义有两层含义:一是强调维持在可使用、可运行状态,如日常维护工作中的设备注油、润滑、清扫等;二是设备在使用、运行过程中不可避免地要出现故障和缺陷,因此它包含为排除这种故障和缺陷所进行的处置活动。

在现代汉语词典中,对维修一词的解释为“保护和修理”,因此设备维修通常包含两层意义:一是对设备进行维护;二是对设备进行修理。

从工程管理上讲“维护”是指设备保持 $\times \times \times$ 状态的活动。这种状态通常指可使用或可运行的状态,在设备使用运行过程中,这种状态是指设备初始状态或初投入运行状态。一般情况下,这种初始状态是设备出厂时由于设计和制造所表现的设备固有特征状态。

“修理”一词在现代汉语中解释为“使损坏的东西恢复到原来的形状或作用”。

这样我们可以从可靠性工程来讲维修目的是为确保设备保持并实现产品设计其固有的功能状态而进行的一些活动。

根据这个观点告诉了我们,维修仅是保持或恢复原有的功能与特性,而不能提高它的性能,不能要求和指望通过维修能实现设备新增功能或产品能达到更高的性能。

二、维修的意义及应用

维修是伴随设备的运用而产生的,而且随着生产的发展,工业技术水平的不断提高,人们对维修的认识也在不断深化,对维修的要求和活动也在不断变化。

早在工业化初期,设备的总体结构粗犷、简单,设备的设计裕度较大,设备的故障可以凭操作者的感官(眼看、耳听、手摸等)就可以判断,并且自行随即排除。随着工业化的发展,技术水平的提高,企业出现了流水线的大规模化生产。此时流水线作业中任一环节的设备故障,都将影响整个生产,而使企业蒙受损失。因此,人们提出了预防性的定期维修方法,即事先对设备进行检查,进行必要的维护,对缺陷或异常进行修理,使之恢复到原始的良好状态。定期维修,对减少设备故障、延长设备使用寿命,从而减少设备停机损失,提高生产经营效益有显著作用。无疑这种维修方法优于那种认为“不坏不修,坏了才修”的事后维修。

大量运行统计表明,影响供电可靠性指标的主要原因是设备的停电维修,尤其是计划检修占有一半以上的比例。而电力设备的完好率很大程度上取决于维修工作与维修质量。提高电力设备维修质量和可靠性是确保设备连续安全运行、提高供电可靠性的重要的措施。

维修是使固定资产投资发挥效益,不断形成生产力的基本保证。为此,企业投入不少资金,确保生产设备正常运行、使用。在电力企业中维修(含各种维护小修、大修、设备改造)发生的费用是企业除购电成本外最大的成本支出。因此如何管理好维修成本的投入,让固定资产不断产生最大经济效益,使这种维修投资变得更加合理更加有效,正日益受到现代企业的重视。

上述表明,人们对维修的认识已从单纯地进行排除故障,发展到通过维修来提高设备的使用率、完好率和取得更大的经济效益,维修已直接影响了企业产品的质量改善、企业的环境保护、售后服务,材料能源的节约,企业的成本和投资以及企业的生存发展的重要因素。

第二节 维修技术发展简介

维修伴随设备的出现而产生,并在工业化的进程和科技进步中发展,此过程经历了三个阶段。

一、维修的第一阶段

维修的第一阶段是从工业革命出现一直延续到第二次世界大战前。这一阶段的最大特点是设备结构较简单、功能较单一,设备运行的最大特点是设备停机无关紧要,对整个生产无足轻重,设备因功能单一而显得可靠性高,且易于修复,因此维修工作仅仅是设备操作人员,运行人员自己简单维护,做些清扫润滑等日常工作而已。维修仅作简单的基本技能要求,不需要进行系统的维修或大规模的修理活动,企业管理人员也没有必要将维修问题提到重大的议事日程上,而设备管理人员关心的是如何使用好设备,因此预防设备本身故障尚未被人们所重视。

二、维修的第二阶段

20世纪40年代,因战争导致产业劳动力锐减,同时战争又刺激了一些物品的需求,因而促使生产机械化程度进一步提高,生产流水线出现,并得到较多应用,设备的种类型

号繁多，由此组成的系统也越来越大，人们在生产中更加依赖于这些设备，而这些设备也就成了生产中至关重要的手段。

然而设备在生产中的重要性越突出、设备的损坏、停机事故就成了生产中突出的问题，企业也愈来愈不能忍受这些事情的发生。这就促使人们思考如何预防设备发生故障，或通过采取一系列的预防性维修的措施、制度和方法来减少设备故障停机事件的发生。其中最为广泛采用的是定期安排设备的检查修理。特别是将设备大修的周期、项目及其检修的标准制定得十分详细周密。有的作为规程、制度的一部分，要求严格执行。新中国成立以来，我国电力工业就是完全套用前苏联的这种设备维修模式，套用其有关规程、标准，设置专业维修的人员和组织机构，至使设备维修已成为设备管理的一项重要内容和环节。几十年来，尽管规程、标准等做了一些适应性修改，但设备维修的基本方式仍没有变。

这种维修方式对设备管理、安全生产、产品质量以及企业经营效益等方面都起了积极的不可忽视的作用。与第一阶段相比较此阶段的维修工作有如下几个特点：

(1) 维修工作已从运行、操作使用中分离出来，形成一门专业。企业有专门人员和组织机构来从事此项工作。我国电力企业内部一般都设有从事维修的工区、车间班组，并配备相应的各种专业检修人员。也有专门从事送变电设备维修、试验的单位和公司。

(2) 对设备维修的要求、规定已形成一整套规范。上至国家颁发的规程标准，下至各企业制定的各项管理制度，对设备的维修都作了严格的管理规定。

(3) 设备的维修费用已明显上升。因为设备变得复杂，设备投资所占的比例增加以及定期维修的要求，使得维修所投入的人力、物力都在增加，而且大规模的现代化生产作业，使设备复杂性在增加，设备自动化、智能化程度在提高，所以对维修的技能要求也愈来愈高，维修费用在企业生产成本中是有增无减。

在 20 世纪六七十年代，美国航空领域首先试行以可靠性为中心的预防性维修，并取得了令人满意的结果。它可以使维修工作量大大减少，而设备的可靠性却得到提高，经济效果也有明显提高。之后美国空军装备的各部门相继应用此成果，也取得较大成功。而其他国家，尤其是欧洲、北美等发达国家也推广应用以可靠性为中心的维修理论和方法，我国机械行业，尤其是军工装备行业，也积极学习、推广这些技术。电力行业于 90 年代初开始试行了设备的状态检修，力图打破以往定期的计划检修框框，虽然发展并不迅速，远不及机械电子、军工装备行业，然而毕竟有了开始，而且逐步取得了一些成效。

三、维修的第三阶段是以可靠性为中心的维修

(1) 现代工业对维修提出了更高的技术要求，主要表现在如下几个方面：

1) 更高的设备可用度和可靠性。由于世界各国广泛应用标准化生产方式 (JIT)，大规模连续生产企业，已不能忍受因设备故障停机而造成影响和损失。现代电力企业的基本要求是不间断地向客户提供合格的电能。这就对电力设备的可用率和供电可靠性提出了更高更具体的要求。

2) 更高的安全性和更好的产品质量。视质量为生命线的现代企业要求设备确实能保证设计要求实现的功能，不能有任一功能、特性问题而影响到使用不安全性或加工的产品

质量。现代大工业往往是由若干设备组成庞大的企业生产系统，因此任何一台设备或部件的故障都将影响到系统的安全运行，影响到产品质量，从而给企业造成莫大损失。这一点在电力企业也表现得很突出，往往因继电保护的误动和拒动而导致电力网的大面积停电或系统崩溃已经不是罕见的事就是最好的明证。

3) 更长的设备使用寿命。大工业生产企业，各种设备、工装和流水线装备等的投资占有企业的多半固定资产，是生产企业投资的主体。经营者们都企盼这些设备都能有较长的使用寿命，能产生尽可能多的经济效益，不能因设备故障得不到维修而将设备淘汰或更换，这样会使企业遭受巨大的投资压力。为此企业管理人员会千方百计地努力延长设备的使用寿命。电力企业更是资金密集型企业，无论是发电厂还是电力网，其建设投资都是十分巨大的，而各种设备的投资占有整个投资的主要部分，延长电力设备使用寿命即会给企业带来明显的经济效益，而设备的损坏、淘汰严重影响企业生产，并使企业面临严重的投资压力。

4) 更大的设备运行的成本效益。昂贵的设备维修费用已是一些企业的生产成本的主要构成部分。运行维修费用居高不下，而随着新技术、新设备的应用、维修费用还在不断攀升，如何控制维修费已成为企业成本控制重点中的首位。企业为追求更高的成本效益，不得不对维修问题进行变革，取消传统的计划中的定期维修方式，代之以按设备的可靠性和最低经济成本的方式安排设备维修。

(2) 对设备的故障率的认识也是逐渐深刻。在第一阶段时期，人们认为故障的发生是在设备陈旧老化之后产生的，把设备故障看成是简单的一种时间关系，然而这符合当时设备结构的一般特点。而在第二阶段，随着可靠性理论的产生，可靠性工程技术的应用，人们普遍认为设备都有早期故障期、偶然故障期和损耗故障期，可靠性的“盆浴曲线”适用于绝大部分设备，然而通过对可靠性的进一步深入研究和设备及其原部件广泛使用的分析，人们发现实际情况并不完全符合这种典型的“盆浴曲线”，并不是所有的设备都具有三个故障期，有的设备只有其中的一个或两个故障期。

上世纪七十年代末，美国联合航空公司在创立以可靠性为中心的维修理论过程中发现，设备的故障模型不是一种，而有六种之多（见本书图 3-6 所示）。不同的故障率模型，对维修的方式和要求也不一样，必须分别对待，才能找出最佳的维修方案。

(3) 不同阶段的维修技术的应用

第一阶段：主要是依靠操作中的经验和技能，采用有故障就修理或更换的方法。

第二阶段：主要依靠管理、规程、制度和标准，采用定期维修，工作的计划性、设备的检查、测试等方法和技术。

第三阶段：在第二阶段基础上采取许多新技术应用和研究，包括可靠性工程技术、状态监测技术、可靠性维修性设计、故障诊断技术，专家诊断系统，计算机技术应用于维修的技术经济决策分析，故障模式和影响分析。

现在设备维修管理人员，不仅要熟悉设备本身工艺、标准，还应当了解现代设备维修理论、维修技术及其应用。

(4) 现代设备维修管理人员所面临的几个问题的决择和处理如下：

- 1) 选择最合适的维修技术与方案，从安全性、经济性来作出维修方式的抉择。
- 2) 研究设备的故障模式和故障发展过程，充分了解设备使用过程的可靠性特点。
- 3) 如何提高设备可用性、安全性、可靠性及延长设备使用寿命。
- 4) 以什么样的维修方式可以获得最佳经济效益。
- 5) 如何与制造厂商、设计厂商和使用操作人员密切合作，不断提高设备可靠性可用性。

现代维修理论的基础是以可靠性为中心的维修，人们一切的维修活动，归根到底都是为了保持和恢复设备的初始功能、设计制造功能。因此应当根据设备及其部件的可靠性状况，运用逻辑决断分析，制定设备维修大纲，确定所需维修内容和合理的维修类型，恰当的维修间隔期等，从而达到优化维修的目的。既能提高设备的可用率，又保证了设备运行使用的安全性，同时也较大节约了维修费用。

第二章

可靠性维修性的数理统计基础

第一节 可靠性维修性的基本概念

一、可靠性

可靠性在日常生活中经常遇到,我们对产品或设备进行评价时更会自然用到。我们经常听到这样一些词语或概念来描述产品或设备的基本特征:“质量可靠”、“寿命长”、“经久耐用”等。实际上这些词语就是对产品和设备的一种可靠性评价。因为可靠性是与产品、设备的坚固性、可信性、正常运行、没有损坏、无故障、无失效等相关,它是衡量产品质量的一个重要指标。

在可靠性工程中,可靠性含义是指物(通常指产品、设备、元件、系统)的性质,特别指产品不发生故障的性质。1966年美国采用的标准 MIN—STD—721《可靠性维修性术语定义》中给出了可靠性的定义即“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”。这个定义已为各国的标准所引用。我国1982年的国家标准中的可靠性定义也与此相同。这里的产品,可以指元件、部件、设备、系统,根据所研究的对象而定。这也是可靠性一词广泛用于任何研究对象的原因。结合本书的讨论,一般泛指设备。

从上述定义中不难发现,可靠性定义在“三个规定”的前提之下,即“规定的条件下”、“规定的时间内”、“完成规定的功能”。离开这三个规定的前提,我们就无法评价设备的可靠性的,也不能比较设备之间可靠性的,高低。

设备可靠性与“规定的条件”密切相关,这是因为设备可靠性与其运行使用时的,工作条件、环境条件和工作方式等关系甚大。工作条件指功能模式、负载条件、操作方式等;环境条件指设备所在环境的温度、湿度、气压、污秽等级、振动、雷电活动日等;工作方式可分为连续工作的或间断工作的。对于同一设备在不同的规定条件下,其可靠性是完全不同的。对于电力设备,一般工作条件应是指设备在额定参数下运行,如额定工作电压、额定工作电流、额定断路容量等。超过此额定参数和允许值范围,设备制造商本身就不能保证设备能正常运行。环境恶劣情况下,也很容易使电力设备发生故障或失效。比如污秽或湿度太大常常引起设备绝缘表面放电、闪络甚至因击穿而损坏。环境温度过高引起设备发热、负载能力下降等。因此说“规定的条件”是讨论设备可靠性的前提条件,离开这个条件,可靠性就难以确定和比较。

提出“规定的时间”是因为设备的可靠性本身就是一个与时间密切相关的物理属性。设备随时间的变化,其可靠性这一物理属性也在不断变化。通常可以看到,设备使用时间越长,设备的可靠性在下降,而且最终设备功能会失效或发生故障。很明显,可靠性是一个时间的函数,在评价设备可靠性时,就必须指明是多长时间内的可靠性,离开时间该可靠性是毫无意义的。“规定的时间”是指设备规定使用或运行的期限,可以用时间或其他

相应指标（如周期、次数、里程等）来表示。

所谓“规定的功能”就是设备的性能指标，一般来说，“完成规定功能”是指产品在规定使用条件下能完成所规定的正常工作而不失效；或指设备能在规定的功能参数下运行。“规定的功能”是指设备的若干功能的全体，如变压器的额定电压、额定电流、允许温升，断路器的额定工作电压、额定工作电流、额定遮断电流，电流互感器的电压、电流变化、负载、精度等。

一般规定的功能主要指设备的作用或主要性能，而这和技术要求有密切相关。不同的技术要求，其完成的作用或性能指标是不一样。如断路器在开断不同值的短路电流时，能可靠开断的次数是不一样的。在开断的故障短路电流较小时，其正确开断的可能性就大，而开断失败（不成功）的可能性就较小。也就是说断路器工作的可靠性就高些。这也是通常所说的，技术条件下降了，保证完成的作用或任务的裕度就更大些。设备的功能有主次之分，完成规定的功能必须指明是什么功能，一般情况通常指的是主要功能。

综上所述，我们在讨论或评价设备的可靠性时，首先应明确这三个规定，离开这一前提，就没有可比性，就无法进行可靠性的论述。

二、维修性

维修性是对设备进行维修时的要求和能力的描述。他是指设备在规定的条件下和规定的时间内，按规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到规定状态的能力。

“规定的状态”，是指设备初始投运使用的状态，或设备在设计或出厂时所固有的特征性能。“规定的时间”表明维修性也是时间的函数。“规定的条件”是指影响维修工作的有关作业环境、准备条件、人员组合等而“规定的程序和方法”是因为完成维修的方法和作业程序可能有多种不同的方法和程序，其维修效果也可能不一样。因此有必要作出这一规定，这也是一种规定的条件。

维修通常包括检查、观察、寻找故障、诊断、调整、修理、更换、安装、试验等与设备故障有关的作业要素，以及这些要素的组合、组织等的总称。

从设备发生故障而停运到维修作业完成，设备恢复功能状态所经历的时间为设备故障停机时间，影响设备故障停机时间有如下一些因素：

(1) 设备的可维修性指设备的结构、布置与维修人员的相关性。如设备的构造、组成、尺寸、重量等与人的固有条件即身高、手脚长度与活动范围、视力、听力等的接近性；设备各元件组装的合理性、简易性，如模块化积木式结构使得更便于拆卸和组装，较大地缩短维修过程，提高维修率；以及设备维修的智能性，如具有自检或自诊断功能的设备，为维修人员提供了更快更准确的故障诊断与定位。

(2) 故障的大小。故障部位的种类、尺寸，故障的模式，故障的零件数，损伤的范围和程序。如断路器是操作机构故障还是本体故障，是机构部件还是电气绝缘，是导体接触部分还是固定部件，其间维修工作量是大不一样的。

(3) 维修作业的方式。是零部件更换、还是模块化、积木式整件的更换。是设备大修还是小修。这既与故障的大小和使用程度有关，也与产品的结构型式有关。

(4) 维修作业的手段。检测仪器的优劣，调整测试设备的性能好坏，维修作业工器具

是否完整、合理及先进。例如检测仪器的智能化、多功能化和专家诊断系统地应用等，可以更快、更准确找出故障点。

(5) 维修作业的环境。设备安装场所是否具有良好的维修条件，设备安装于室内还是室外，设备布置是高型还是低型。显然设备是室内低型安装有利于维修作业，但高型布置是否有检修作业平台，或是要临时搭建。维修作业时的气候条件，如果室外设备遇上雨雪天气会对维修作业增加不少难度。此外设备安装场所的照明、色彩等也会影响维修作业。

(6) 维修人员的能力与管理组织的组织。维修作业人员所接受的教育培训以及他们的经验和熟练程度等是完成维修任务的重要因素。而管理组织的组织协调作用、编制作业指导书、说明书，合理组织人员，以及作业队伍的士气、协作精神等都将直接影响到维修作业的顺利进行。

上述表明，有诸多因素影响维修作业进行的时间，影响着设备的停机时间。因而同一种维修任务，对于同一种设备，其维修性存在着较大差异。维修性的研究应从人机工程学出发，对人的基本动作、心理和生理能力做深入分析和对管理上的种种手段进行研究，但重点研究应集中在停机时间中实际耗费的维修作业时间上。其他则视为决定维修性的附带条件，着重抓住对设备本体的维修性。

三、可用性

设备的可用性是指设备在任一随机时刻需要和开始执行任务时处于工作或可使用状态的程度。

设备的可靠性是用以描述设备处于正常工作状态的能力程度，维修性是描述设备处于不能工作状态的特性。应用中的每一设备都表现出这两方面的性质特点。因此，人们自然想到如何综合可靠性、维修性的特性来表述设备的使用性。这就是上述所指的设备的可用性。

可用性与设备的可工作时间和不可工作时间（停机时间）有关。设备可靠性越高，可工作时间就越长，其可用性自然就高。同样，设备的维修性越好，设备停机修理的时间越短，设备可使用时间就越长，其可用性也自然就高。

按设备的维修作业过程可将设备不可工作时间分为如下三种情况：

(1) 设备故障的修复时间，仅指直接排除设备故障而进行的维修作业时间。

(2) 为预防设备发生故障，事先采取预防性维修而迫使设备停机的时间，称预防维修时间。

(3) 因为维修管理的原因而延误了维修作业的进行，所发生的设备停机时间。它包括维修前的准备，维修信息的延误及气候环境和交通等影响维修人员达到现场等情况。

度量和评估设备的可用性，通常用设备的稳定可用度来表述它，可用度是用设备的工作时间和不可工作时间来描述的，根据上述三种不可工作时间，设备的三种可用度分别描述如下：

(1) 固有可用度：固有可用度是指仅与工作时间和因设备故障而进行的与维修时间有关的一种可用度，记为 A_i

$$A_i = \frac{\text{平均无故障工作时间}}{\text{平均无故障工作时间} + \text{平均故障修复时间}} \quad (2-1)$$

固有可用度反映了设备的可靠性和维修性的固有属性。它只考虑因故障而进行设备的修理作业所造成的停机时间,没有考虑设备因安排预防故障所进行维修工作的停机;也没有考虑设备故障时,由于管理行政上的惰性延误了工作安排;以及因为修复工作所进行的一些维修资源的准备使维修作业不能及时到位等,延误了修复性维修作业的开工时间。在设备的设计、研制时常用的可用性是固有可用度。

(2) 可达可用度:为使设备的效能发挥最大效益,防止设备发生故障,预先安排设备的预防维修,而不得不停机。在工程中评价设备的可用度必须顾虑这种预防性维修的停机时间,因此在上述固有可用度基础上进一步把预防性维修的停机时间考虑进去,这就是可达可用度的意义。

可达可用度是仅与工作时间、预防性维修时间和修复性维修时间有关的一种可用度,记为 A_a , 用下式表示

$$A_a = \frac{\text{工作时间}}{\text{工作时间} + \text{预防性维修时间} + \text{修复性维修时间}} \quad (2-2)$$

与上述固有可用度 A_i 比较,可达可用度 A_a 考虑了为延长设备的使用寿命,而安排了设备的预防性维修,因此增加了设备的不可工作时间,也就是说在设备无故障工作期间内,为避免设备故障,提高设备的使用寿命,事先安排了预防性维修,这是设备在实际运行中可以达到的最高可用度,故称可达可用度。

(3) 使用可用度:设备实际在使用、运行中,其可用度往往达不到可达可用度 A_a ,究其原因设备管理上达不到理想状态。这是因为修复性维修和预防性维修达不到即时性,也就是说在设备因故障停机不能工作时,维修作业的人员不能立即到位进行维修工作。因为维修所需的人员组合,维修作业所需的材料和工器具等都需要花费时间,所有这些造成的不同程度地延误了维修的具体作业时间。

我们在设备可达可用度 A_a 的基础上进一步考虑上述的延误时间,就是设备的使用可用度,用 A_0 表示。它反映了设备的真实使用状况,其表达式为

$$A_0 = \frac{\text{工作时间}}{\text{工作时间} + \text{预防性维修时间} + \text{修复性维修时间} + \text{延误时间}} \quad (2-3)$$

供电企业的一项重要生产、服务指标——配电系统供电可靠性,在一定意义上就是对用户而言的使用可用度。

比较式(2-1)~式(2-3),可以看到 $A_i > A_a > A_0$, 即固有可靠性最大而使用可用度最小,设备维修管理者的责任应当使 $A_0 \rightarrow A_a$, 即努力做到使用可用度尽可能接近可达可用度,主要措施是减少修复的维修时间。在选用设备时,应当是设备的可达可用度尽可能接近固有可用度,也就是选用设备的修复性维修时间尽可能短的设备。

第二节 概率与数理统计基础

一、概率的基本概念

1. 随机事件

在自然界和社会上发生的现象有两种类型。一种是在一定条件下必然发生。例如向上