



发电设备状态检修

主 编 黄雅罗 黄树红

副主编 彭忠泽



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

1009070

发电设备状态检修

主 编 黄雅罗 黄树红
副主编 彭忠泽



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书从我国电力行业目前的实情出发,详细论述了发电设备状态检修的基本知识、发展状况和状态检修的具体实施,阐述了发电设备状态检修中的管理问题,介绍了设备状态检修的管理信息系统,探讨了状态检修涉及到的设备可靠性、寿命、监测与诊断等技术问题,并给出了一些有价值的参考实例。

本书是推行和实施状态检修的应用型参考书,可供有关工程技术人员和管理人员参考,也可作为高等学校相关专业学生和研究生教材。

图书在片版编目 (CIP) 数据

发电设备状态检修/黄雅罗 黄树红主编. -北京:中国电力出版社, 2000. 8
ISBN 7-5083-0349-0

I. 发… II. 黄… III. IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1998) 第 0000 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](http://www.cepp.com.cn))

三河实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 7 月第一版 2000 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 361 千字

印数 0001—4000 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)

编 审 委 员 会

主 任 委 员：詹仲晦

副主任委员：周莫邦 杨祝辉

委 员：黄雅罗 黄树红 施定中 韩守木 叶鲁卿

彭根鹏 谭少华 张鼓峰 周国武 龚 毅

夏才清 蒋庆其 谭士森 葛荣根 涂元戟

涂贞禧 袁 波

主 编：黄雅罗 黄树红

副 主 编：彭忠泽

参加编著人员：涂长庚 张燕平 胡 扬 谭士森 葛荣根

匡爱钧 张永刚 余 刃

主 审：涂元戟 涂贞禧

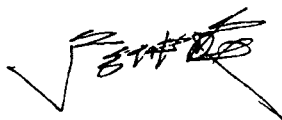
序

发电设备状态检修是随着管理水平提高和科学技术进步而发展起来的先进维修方式,目前已经在少数发达国家取得了一定的经验。我国从1996年开始,在电力系统内加快了维修管理现代化的步伐,积极研究推行状态检修。状态检修方式以设备当前的实际工作状况为依据,而非传统的以设备使用时间为依据,它通过先进的状态监测和诊断手段、可靠性评价手段以及寿命预测手段,判断设备的状态,识别故障的早期征兆,对故障部位及其严重程度、故障发展趋势作出判断,并根据分析诊断结果,在设备性能下降到一定程度或故障将要发生之前主动实施维修。由于科学地提高了设备的可用率和明确了维修目标,这种维修方式耗费最低,它为发电设备安全、稳定、长周期、全性能、优质运行提供了可靠的技术和管理保障。

但是,状态检修在我国仍然是一种发展中的维修方式,还有许多理论和实践问题值得探讨和澄清,确实需要有这样一本书来论述这些问题,编著《发电设备状态检修》就是一个很好的尝试。

这本书详细叙述了状态检修的基本知识、国内外状态检修的发展沿革、状态检修中的管理问题和技术问题、状态检修的实施步骤以及一些有价值的参考实例。本书结构严谨,内容丰富翔实、直观适用,文字流畅,易于理解,为我们实施发电设备状态检修少走弯路指明了方向。可贵的是:书中还反映了作者长期以来在相关领域中的工作成就,并融合在状态检修技术的介绍中,使本书成为一本很好的教学参考书。经过华中电力集团公司、华中理工大学、华北电力集团公司等单位有关专家、教授、技术人员近两年竭诚合作和辛勤耕耘,《发电设备状态检修》一书即将由中国电力出版社付梓面世,希望本书在出版以后,对推动状态检修工作、培养人才起到积极作用。

值本书出版之际,谨为作序。



二〇〇〇年二月

前言

状态检修是运用综合性的技术手段, 准确掌握设备状态, 预测设备故障发生、发展情况, 借助技术经济分析, 进行检修决策和管理的一种先进的设备检修模式。

1987 年原水利电力部颁发的《发电厂检修规程》(SD230—87) 总则中规定“应用诊断技术进行预知维修是设备检修的发展方向, 各主管局可先在部分管理较好且检修技术较完善的电厂进行试点, 积累经验, 逐步推广”。随着技术装备和管理水平的日益提高, 目前预知性状态维修技术已在我国电力行业取得一定成功。从 1996 年开始, 随着检修管理体制改革的发展, 一些发供电企业在实施状态监控、故障诊断方面取得了实践经验, 为推广状态检修奠定了基础。

受国家电力公司原安全运行与发输电部委托, 我们编著了《发电设备状态检修》一书。本书内容包括发电设备状态检修的发展状况、发电设备状态检修的实施、发电设备状态检修的管理与组织、发电设备状态检修管理信息系统、发电设备可靠性管理和评价、设备寿命管理、设备状态监测与故障诊断技术等。本书不仅反映了状态检修理论和实践的最新成果, 而且反映了编著者长期以来在相关领域中的工作成就。书中还介绍了一些发电企业开展状态检修的实例, 以及我国与欧共体合作项目《智能控制—维护—管理集成系统》的研制开发应用情况, 希望对进一步推广发电设备状态检修技术有所裨益。

本书是推行和实施状态检修的应用型参考书, 可供有关工程技术人员和管理人员参考, 也可作为高等学校相关专业学生和研究生教材。

本书的编著在编著委员会的领导下, 由华中电力集团公司生产技术部主任黄雅罗教授级高级工程师和华中理工大学动力系黄树红教授担任主编、华中电力集团公司生产技术部彭忠泽高级工程师担任副主编。

本书的编著工作得到了国家电力公司有关部门、华中电力集团公司和华中理工大学有关领导的大力支持, 得到了华北电力集团公司的积极协助, 在此表示衷心感谢。同时, 也感谢所有支持本书出版的单位和个人。

本书由华北电力集团公司徐元载、徐贞禧教授级高级工程师主审, 他们对原稿进行了仔细的审阅, 并提出了很多宝贵意见, 特在此致谢。

本书涉及的是一个新的领域, 书中会存在不少缺点和错误, 恳请读者批评指正。

编著者

二〇〇〇年二月

目录

序
前言

第1章 概述	1
1.1 发电设备检修体制	1
1.1.1 设备检修体制的演变	1
1.1.2 维修工程学的基本问题	4
1.1.3 我国发电设备检修体制	9
1.2 发电设备状态检修	11
1.2.1 状态检修的一般概念及内容	11
1.2.2 发电设备状态检修	11
1.3 推行发电设备状态检修的收益	13
1.4 国内外发电设备状态检修的发展状况	14
1.5 以经济效益为中心的发电设备管理	20
1.5.1 发电设备寿命周期费用	20
1.5.2 发电设备寿命周期管理	21
第2章 发电设备状态检修实施	22
2.1 实施状态检修的方式	22
2.2 实施发电设备状态检修的基本步骤	26
2.3 实施发电设备状态检修的技术支持	27
第3章 发电设备状态检修管理	29
3.1 发电设备状态检修管理的基本原则	29
3.2 发电设备检修管理的基础工作	30
3.2.1 “三基”工作	30
3.2.2 发电设备资产管理	33
3.2.3 发电设备管理的基本方法和工作程序	35
3.3 发电设备状态检修的技术组织	41
3.3.1 状态检修与技术进步的关系	41
3.3.2 状态检修与发电设备可靠性	42
3.3.3 状态检修与发电设备寿命管理	42
3.3.4 状态检修与发电设备监测诊断技术	43
3.3.5 状态检修与仿真技术	43

3.3.6 状态检修与智能决策	44
3.4 发电设备状态检修管理	44
3.4.1 数据综合管理	44
3.4.2 检修风险分析与决策	46
3.4.3 备品备件管理	47
3.4.4 优化检修计划	49
3.4.5 检修人员管理	50
3.4.6 状态检修技术经济分析与管理	51
第4章 发电设备状态检修管理系统	53
4.1 计算机化维修管理系统 (CMMS)	53
4.1.1 CMMS的一般描述	53
4.1.2 CMMS的基本功能	55
4.1.3 CMMS的软硬件要求	56
4.1.4 典型CMMS	56
4.2 发电设备运行维修 (O&M) 工作站	59
4.2.1 运行维修工作站的功能要求	59
4.2.2 运行维修工作站发展情况	61
4.3 区域性发电设备优化维修计划编制系统	63
4.3.1 电力公司发电设备维修计划	63
4.3.2 区域性发电设备维修计划优化	64
4.3.3 区域性发电设备优化维修计划编制系统	67
第5章 发电设备可靠性管理和评价	70
5.1 可靠性的基本概念	70
5.1.1 可靠性的定义	70
5.1.2 发电设备运行可靠性的概念	71
5.1.3 设备可靠性的数学描述	72
5.1.4 发电系统的可靠性模型	75
5.2 发电设备可靠性评价	81
5.2.1 发电设备状态的定义和划分	81
5.2.2 可靠性评价指标体系	84
5.2.3 发电设备可靠性管理信息系统	86
5.3 基于可靠性的设备维修	90
5.3.1 以可靠性为中心的维修 (RCM)	90
5.3.2 RCM维修决策的数学分析方法	91
5.3.3 以可靠性为中心的设备维修工作步骤	100
5.3.4 以可靠性为中心维修的实施	105
第6章 设备寿命管理	107
6.1 设备寿命的基本概念	107

6.1.1 设备的磨损	107
6.1.2 设备寿命	108
6.1.3 设备剩余寿命	108
6.1.4 发电设备寿命管理	108
6.2 汽轮机转子寿命	109
6.2.1 发电设备寿命损耗评价	109
6.2.2 汽轮机转子寿命研究状况	109
6.2.3 汽轮机转子寿命计算	110
6.2.4 汽轮机转子寿命损耗监测	113
6.2.5 汽轮机转子剩余寿命	115
6.3 寿命评价与维修决策	116
6.3.1 可靠性定寿与最佳检修周期确定	116
6.3.2 寿命探索与检修周期	118
6.3.3 寿命评价和状态检修决策	119
第7章 监测诊断技术	120
7.1 概述	120
7.2 发电设备状态监测	123
7.2.1 离线状态监测	123
7.2.2 在线状态监测	124
7.2.3 主要发电设备状态监测	127
7.3 发电设备性能监测	129
7.3.1 设备性能指标体系	129
7.3.2 性能试验	130
7.3.3 在线性能监测	130
7.4 发电设备故障诊断	134
7.4.1 设备故障诊断技术	134
7.4.2 设备故障诊断方法	141
7.4.3 静态诊断和在线诊断	142
7.4.4 国外典型监测诊断系统	144
7.5 诊断专家系统	146
7.5.1 产生式诊断专家系统	146
7.5.2 人工神经网络诊断专家系统	149
7.5.3 复合式诊断专家系统	151
7.6 监测诊断与维修决策	153
7.6.1 状态趋势分析与预测	153
7.6.2 基于监测诊断的维修决策	154
第8章 控制—维修—管理系统技术	155
8.1 控制—维修—管理系统技术综述	155
8.1.1 问题的提出	155

8.1.2	系统的总体结构	156
8.1.3	控制—维修—管理系统的主要特征	157
8.1.4	国内外发展及应用情况	161
8.2	控制—维修—管理系统框架中的维修子系统	162
8.2.1	维修子系统的构成	163
8.2.2	控制—维修—管理系统框架中维修子系统的分析与设计方法	163
8.2.3	控制—维修—管理系统框架下的状态检修	169
8.3	控制—维修—管理一体化技术在华中电网电力调度 AGC 系统中的应用	172
8.3.1	AGC 概述	173
8.3.2	实时发电控制中的控制—维修—管理功能分析	174
8.3.3	AGC 的功能分解与分析	183
第 9 章	发电设备状态检修技术的应用	188
9.1	发电设备状态检修技术在姚孟电厂的应用	188
9.1.1	状态检修项目的技术框架	189
9.1.2	状态检修项目的技术路线	189
9.1.3	技术特点	189
9.1.4	要采用和开发的技术	189
9.1.5	技术关键	193
9.1.6	主要项目及分工	193
9.2	石门电厂设备管理及检修决策支持系统总体设计方案	194
9.2.1	系统的总体框架	195
9.2.2	系统的主要功能	195
9.2.3	模块及功能模型	199
9.2.4	系统软硬件平台配置方案	203
9.3	发电设备状态检修技术在隔河岩水电站的应用	206
9.3.1	系统的总体布置模式及实施方案	206
9.3.2	系统实施的关键技术	214
9.3.3	系统的主要技术指标及特点	216
9.4	发电设备状态检修技术在耒阳电厂辅机设备检修中的应用	218
9.4.1	给水泵状态检修	219
9.4.2	循环水泵状态检修	223
9.5	状态检修技术在巴尔的摩煤气和电力公司的应用	226
9.5.1	状态维修与预防性计划维修的集成	226
9.5.2	设备的评估建档工作	228
附录一	英文缩写对照表	230
附录二	关于转发“电力设备实施状态检修研讨会会议纪要”的通知	232
附录三	关于印发华中电网发电设备实施状态检修研讨会会议纪要的通知	235
参考文献		241

概述

1.1 发电设备检修体制

1.1.1 设备检修体制的演变

工业发展从手工作坊到机械化和电气化，各个时期的设备管理与检修方式有很大的变化，一般来说可概括为四个阶段。第一次产业革命时期对设备实行事后维修，运行人员兼做维修工作。第二次产业革命时期开始实行预防性计划检修，检修从生产中分离出来，形成相对独立的专业工作，产生了检修人员，有了专业性检修队伍。第三次产业革命时期推行考虑经济目标的检修，开始应用设备寿命周期费用概念进行设备管理。第四次产业革命时期正逐步实施以设备状态监测和故障诊断为基础的状态检修，即基于设备状态的检修，参见表 1-1。从表 1-1 清楚地看到，设备检修体制是随着生产力的发展、科学技术的进步而不断演变的。它在很大程度上反映出生产力发展水平和技术管理水平的高低。

在检修体制演变的过程中，根据不同的行业特点、不同的设备管理要求，出现了各种追求不同具体目标的检修方式。但就检修体制而言，归纳起来有四种，即事后维修、预防性定期检修、状态检修和改进性检修，参见图 1-1。这四种检修体制并不是互相排斥的，在不同的管理要求下，它们是可以共存的。

检 修 体 制			
事后维修 Break-down Maintenance	预防性计划检修 Time-Based Maintenance	状态检修 Condition-based Maintenance 或预知维修 Predictive Maintenance	改进性检修 Corrective Maintenance

图 1-1 四种基本检修体制

事后维修(Break-down Maintenance)是当设备发生故障或其他失效时进行的非计划性维修。在现代设备管理要求下，事后维修仅用于对生产影响极小的非重点设备、有冗余配置的设备或采用其他检修方式不经济的设备。这种维修方式又称为故障维修。

预防性定期检修(Time-Based Maintenance)是一种以时间为基础的预防检修方式，也称计划检修。它是根据设备磨损的统计规律或经验，事先确定检修类别、检修周期、检修工作内容、检修备件及材料等的检修方式。定期检修适合于已知设备磨损规律的设备，以及难以随时停机进行检修的流程工业、自动生产线设备。

状态检修(Condition-Based Maintenance)或预知维修(Predictive Maintenance)是从预防性检修发展而来的更高层次的检修体制，是一种以设备状态为基础、以预测设备状态发展趋势为依据的检修方式。它根据对设备的日常检查、定期重点检查、在线状态监测和

故障诊断所提供的信息,经过分析处理,判断设备的健康和性能劣化状况及其发展趋势,并在设备故障发生前及性能降低到不允许极限前有计划地安排检修。这种检修方式能及时地、有针对性地对设备进行检修,不仅可以提高设备的可用率,还能有效降低检修费用。它与预防检修相比较,带有很强烈的主动色彩。

改进性检修 (Corrective Maintenance) 是为了消除设备的先天性缺陷或频发故障,对设备的局部结构或零件的设计加以改进,并结合检修过程实施的检修方式。严格说来,它并不是一种检修体制,但是它不能划入上述三种体制,因此单独把它列为一类是合适的。改进性检修通过检查和修理实践,对设备易出故障的薄弱环节进行改进,改善设备的技术性能,提高可用率。与技术改造针对补偿设备的无形磨损相比,改进性检修是要通过改进和提高设备的可靠性、维修性来提高设备的可用率。

表 1-1 设备检修方式变迁

维修方式	年代	产业革命	生产状况	设备管理情况	我国设备管理情况
事后维修	18 世纪	1760 年第一次产业革命 (以蒸汽机为代表)	手工业生产方式进入大规模工业化生产阶段	有了动力设备,开始有保养维修工作。一般运行人员兼顾维修并凭经验进行。对设备进行事后维修,坏了就修,不坏不修。属于传统经验管理,是早期设备管理的一种主要形式	我国的工业发展基本上是空白,设备维护和维修是简单的事后维修
预防检修	19 世纪到 20 世纪 30 年代	1870 年第二次产业革命 (以电力的应用为代表)	开始实行电气化,重工业体系逐渐建立,有了流水生产线,商品大量成批生产	管理工作专业化,借助事先制定的科学程序和标准对工业生产分配过程进行控制和调节,用经济的方法来维持生产秩序和管理,在工业设备维修和管理中逐步推行预防性的定期检修制度	我国开始有了民族工业的萌芽,在设备的管理和维修方面基本上学习当时西方国家的方式
经济检修	20 世纪 40 年代到 80 年代	1942 年至 1980 年,第三次产业革命 (以原子能、空间技术、电子计算机技术为代表)	建立了以先进的科学技术和生产高度社会化为特征的现代工业。新兴工业和企业国民经济中占有越来越高的比重,设备管理人员比重逐步增加	进入现代化管理阶段。开始有了设备寿命周期评价,产生了设备综合工程学,维修工程学等学科,维修组织向集中化发展。对设备实行检修的手段有预防检修,改进检修,检修预防等,对不重要的设备采用事后维修	我国从 50 年代开始,学习前苏联实行统一的预防性计划检修制度,以后在总结我国实践经验的基础上,逐步形成一种预防性的定期保养和计划检修制度
状态检修	20 世纪 80 年代至今	第四次产业革命 (以信息技术的快速发展为代表)	生产向集约化发展,实现高度自动化和信息化,并向智能化大系统管理和控制自动化发展,电子计算机广泛应用并向巨型、微型、网络、智能方向发展	科学技术领域同时向着分化和综合方向发展,设备事故影响重大,因此对设备管理,不仅有各种理论作为指导,而且有监测和诊断的科学技术手段作为基础,对设备进行状态检修。设备管理也向着社会化、专业化、国际化发展。出现了运行人员参与检修的趋势	在总结我国几十年来设备管理经验的同时,借鉴国外现代设备管理方面的先进经验,确定应用诊断技术进行状态检修为设备检修的发展方向,进行广泛的试点总结和推广,为探索有中国特色的现代化设备管理进行尝试

国内外在现行检修体制下根据各自的国情,采用的设备检修方式呈现出多样化的格局,参见图 1-2。图 1-2 中列出的检修方式都是指具体方式,而非前面提到的检修体制,每种检

修体制都包含有多种检修方式，而有一些检修方式又跨越了不止一种检修体制。

原苏联的检修体制以计划预修制为主，其中主要的检修方式为检查后修理、标准修理和定期修理三种，强调以技术维护为主、检修规范化、以及检修的集中化和专业化。



图 1-2 设备检修方式一览

美国普遍推行的检修体制是生产检修体制，它以生产为中心，为生产服务，包括以下几种检修方式：

(1) 检修预防 (Maintenance Preventing, 简称 MP)。检修预防提倡在设计制造阶段就认真考虑设备的可靠性和维修性问题，从设计、生产上提高设备素质，从根本上防止故障和事故的发生，减少和避免检修。

(2) 事后维修 (Break-down Maintenance, 简称 BM)。

(3) 改进检修 (Corrective Maintenance, 简称 CM)。

(4) 预防检修 (Preventive Maintenance, 简称 PM)。美国的预防检修以设备检查为基础，包括定期检修和所谓视情检修 (On-condition Maintenance)。事实上视情检修也可以作为状态检修的一部分，但各国的划分有所不同，有时也没有严格区分其界限。

(5) 预知维修。在上述维修方式的基础上，现正在逐步推行预知维修，且与其他维修方式进行融合。

美国源于军事工程所发展起来的后勤工程学，是关于生产设备和物料的存储、供给、运输、修理、维护的新兴学科，它对设备管理现代化起了推动作用，设备寿命周期费用就是后勤工程学研究的重要问题。

日本从 70 年代初至今主要推行全员生产维修体制 (TPM)。TPM 有丰富的理论基础，是各种现代管理方法在企业生产中的综合应用 (参见图 1-3)，具有鲜明的日本管理特色。日本工程师学会对 TPM 的描述如下：

- (1) 以最高的设备综合效率为目标；
- (2) 确立以保证设备一生正常工作为目标的预防检修；
- (3) 设备的计划、使用、检修等所有部门都要参加 TPM；
- (4) 从企业的最高管理层到第一线职工全体参加 TPM；
- (5) 通过开展小组自主活动来推进生产检修。

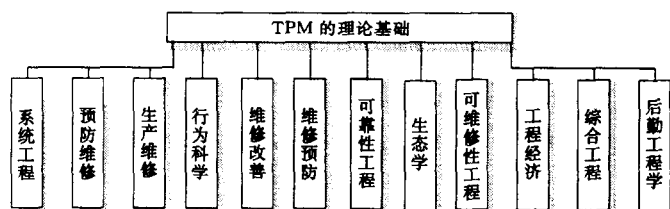


图 1-3 TPM 的理论基础

英国在设备综合工程学的指导下，强调设备综合管理，把检修融入设备整个寿命周期管理中，根据全寿命费用优化的原则安排采用合适的检修方式。

德国的检修体系可分为集约型和粗放型。集约型检修的目标是充分发挥设备潜力，延长设备使用寿命，尽可能采用预防检修。这种检修体系主要用于价值高昂、自动化程度高、关键流程设备及工艺和技术进步缓慢的设备。粗放型检修不追求设备潜力的充分利用和使用寿命的延长、多采用事后维修方式。主要用于设计使用寿命较短、故障后果较小及经济磨损快于其技术磨损的设备。

瑞典的检修科学和实践在 80 年代后，引入了系统工程、计算机技术、行为科学、现代管理科学等，更多地采用社会化、专业化的检修，检修技术也更加先进。企业从设备管理的角度综合采用事后维修、预防检修和状态检修，检修已经从过去单纯追求技术效果发展到以经济指标为中心。

法国的检修体制以预防检修为主，并使定期检修尽量和状态检修结合。法国企业中的重点设备实行点检管理。事实上随着欧洲联盟的发展和强大，欧洲各国加强了相互交流、借鉴，各个国家的设备检修和管理方面的差异不断缩小，每两年一届的欧洲维修团体联盟国会议更加速了这个同化的过程。意大利、瑞士等国也都从设备综合管理的角度来组织设备检修，采用的检修方式也都是综合的方式，以追求设备可靠性、可用率以及运行检修费用最小为核心。

1.1.2 维修工程学的基本问题

社会生产力发展到今天，设备日益大型化、复杂化，各种维修体制和方式也在不断进化。现代设备特别是大型设备，一旦出现故障，对人类的影响以及造成的损失是巨大的，如飞机故障，核电站泄漏等。发电设备也正是属于这类对经济和社会影响巨大的机电设备。比如 1986 年 10 月和 1988 年 2 月，我国先后于山西和陕西发生两起 200MW 汽轮发电机组由于剧烈振动导致轴系断裂、零件飞出、毁坏厂房及生产设施的恶性事故，直接和间接损失巨大。因此，为了减少损失和增加社会财富，人类耗费大量的人力、物力和财力进行设备

维修。目前,世界各国每年用于设备维修的费用都相当惊人。据美国统计局公布,美国 1980 年全年税收 7500 亿美元,用于工业设备维修的费用有约 2500 亿美元,且其中至少 750 亿维修费用属于浪费性质,主要是修理了不该修理的设备。我国设备年维修费用约为 800 多亿元,约占资产总额的 7%~9%,由于设备维修体制与维修手段落后,维修过程中的浪费严重,总的维修效益低下。可见,作好设备维修这篇大文章,在维修中做到不该修的坚决不修,该修的则修好,节约维修投资,提高维修效益,改善设备状况,是大有潜力可挖的。

设备维修就是为保持或恢复设备功能而采取的技术活动。管好,用好,修好设备,保证设备处于良好技术状态,满足生产需要,并使维修费用降低,这是维修工程的目的。70 年代以来,国内外工程界就设备管理中的维修问题进行了大量研究,逐渐形成了一门新兴的综合性的学科:维修工程学。

维修工程学研究的主要内容有:①设备的磨损及补偿;②设备的寿命理论;③可靠性和维修理论;④维修技术与工艺等。

一、设备的磨损及补偿

设备在使用或闲置过程中,必然会产生磨损。磨损分为有形磨损、无形磨损和综合磨损三种。根据不同磨损情况,可采取修理、改造和更新等不同方式进行补偿。

1. 有形磨损(物质磨损)

设备由于运行中机械力或外界自然力的作用而实际产生的损耗和磨损叫做有形磨损或物质磨损。有形磨损又分为可消除有形磨损和不可消除有形磨损,前者通过一定的维修手段可以修复,而后者只能通过更新来解决问题。合理使用设备,做好设备的维修保养工作,可以减轻、延缓设备的使用磨损。加强设备管理,做好停用设备的防腐蚀和维护等工作,可以避免设备的自然磨损。

在设备的整个寿命周期内,随着使用时间的推移,设备的磨损速度和程度是不平衡的,一般分为三个阶段,即初期磨损,正常磨损和急剧磨损,可用图 1-4 所示的关系曲线表示。

初期磨损指设备在开始投产使用后,零件上的毛刺和加工表面的不平整在使用时经过研合或转动摩擦,达到正常的过程,因而磨损较快,也容易形成间隙。同时设备在制造、安装方面存在的某些问题也迅速暴露出来,如不处理,磨损必然加快,因此要加强检查,及时调整以减少初期磨损。在正常磨损期,磨损速度较慢,因而曲线比较平,这时要加强设备的维修保养,延长正常磨损期。到了后期,设备零部件普遍老化,故障增多,磨损会急剧上升。这时候要认真研究设备修理的经济性,进行维修决策。

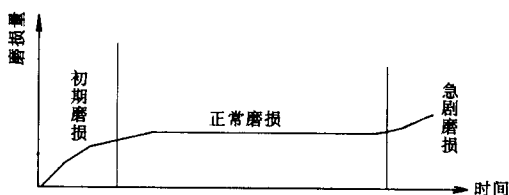


图 1-4 磨损程度与时间的关系

有形磨损与工作介质、负荷的大小、参数的高低、操作调整均有关联,而依靠科学技术的进步,如采用新材料、提高零部件精度等可以减缓磨损,有些部件甚至可延长至原寿命的五倍。

由于物理或化学作用造成有形磨损,原因极其复杂,外部表现也多种多样。常见的有

形磨损形式主要有：

- (1) 磨料（粒）磨损，由于硬质颗粒引起的划伤磨损。
- (2) 粘附（著）磨损，两个固体摩擦表面接触时，由于表面间分子作用引起局部粘附，使材料由一个表面转移到另一表面所造成的磨损。
- (3) 刮研磨损，由于磨擦表面凸凹不平而在移动时形成磨损。如滚动轴承初期形成的刮研磨损。
- (4) 点蚀磨损，主要部件金属微粒的剥落，在表面重复接触应力下引起微观裂痕，不断扩大以至引起斑点式剥落。
- (5) 塑性变形，物体在外力作用下，受力超过弹性极限而产生塑性变形。此时即使除掉外力，物体也不能恢复到原来的状态。变形的基本形式有拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲等。
- (6) 金属腐蚀，如在锅炉燃烧时，由于高温破坏了金属组织而产生的腐蚀。
- (7) 垢下腐蚀，如锅炉管内出现水垢，在垢下形成的一种腐蚀。
- (8) 电化腐蚀，两种不同金属发生电气和化学分解作用而造成的腐蚀。
- (9) 高频腐蚀，在高频率下造成的腐蚀。
- (10) 气蚀与水蚀。

2. 无形磨损

新设备的出现引起原有设备的贬值，称为无形磨损。无形磨损有两种。一种是由于制造部门劳动生产率的提高，设备成本的降低而引起的贬值，称为价值损耗；另一种是由于采用新技术对原有产品更新换代，设备性能效率提高，使原有设备贬值，称为技术损耗。科学技术的飞速发展使无形磨损在设备管理中越来越受到重视，企业应及时更新设备和应用新技术进行技术改造，补偿无形磨损。

3. 综合磨损

综合磨损指设备在有效使用期内发生的有形磨损和无形磨损的合成。企业应根据综合磨损情况对设备的维修、改进、更新进行全面技术经济分析，确定补偿方式。

设备各种磨损形式及其补偿方式的相互关系见图 1-5。

二、设备寿命理论

设备从开始设计到最终报废所经历的时间是有限的，也就是说，设备是有寿命的。设

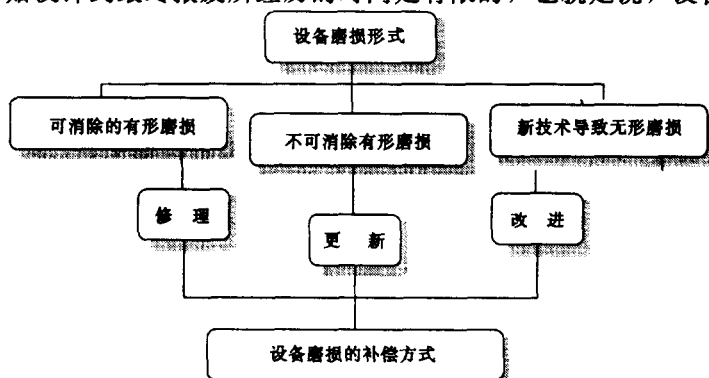


图 1-5 设备磨损及其补偿方式关系

备的寿命可用诸如年、月、日等时间概念来描述，也可用载荷周期、循环次数、损伤累积等来描述。

设备的寿命不仅取决于设计、制造和工作条件，运行操作和日常保养、维修水平和对磨损的补偿等都对设备的寿命有至关重要的影响。维修工程学关心设备寿命与维修的关系，它对设备寿命评价的主要手段是对设备金属组织结构的观察和对设备磨损情况的了解。这种观察与了解通常需要借助试验和检测手段来进行，它更多地体现为一种静态的检测。

维修工程学对寿命问题的研究主要是为了解决以下问题：

- (1) 如何通过科学、合理的维修延长设备的使用寿命。
- (2) 如何通过所掌握的磨损和性能情况预测设备剩余寿命，从而科学地安排维修工作。
- (3) 如何控制包括维修费用在内的设备寿命周期费用。

三、设备可靠性和维修性

设备可靠性和维修性是分别描述设备在规定时间内完成预定功能的概率和设备出故障后在规定的时间内能够修复的概率。

对于可修复系统而言，划分状态是分析其可靠性指标的基础。所谓状态是指设备在特定时间里所处的状态。从使用和运行的角度，设备状态的划分可如图 1-6 所示。

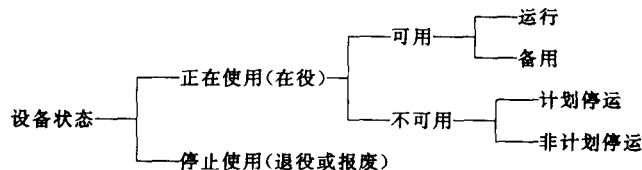


图 1-6 设备状态划分

在不可用状态中，计划停运是按预先安排的计划停止运行，而非计划停运则是随机发生的，与设备健康状况有关。

对可修复设备或零部件，两次相邻停运间的平均工作时间叫平均故障间隔期，以 MTBF 表示，也称为平均无故障时间。发电设备绝大多数属于可修复设备的范畴，为了使其发挥出最大的效益，就必须在整个寿命周期内追求设备最高的运行可靠度、最短的维修时间和最少的维修工作量，综合起来就能得到最佳的可用系数，以及最高的可靠性和维修性，如图 1-7 所示。

四、设备维修方式与工艺

设备维修方式与工艺既包括宏观的内容，也包括微观的内容。宏观的内容是维修体制、维修标准、维修流程等。而微观的内容则主要包括：

- (1) 维修的基础工艺；
- (2) 维修操作规程；
- (3) 针对行业或某一类设备的特殊工艺；
- (4) 维修中新材料、新工具的应用；
- (5) 维修工作实践经验的提炼总结等。

维修工程学对设备维修方式与工艺的研究主要是为了在宏观上寻求科学的维修方式，