

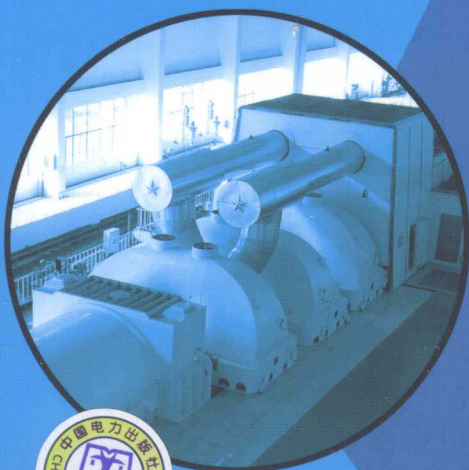
FADIAN SHEBEI

ZHUANGTAIWEIXIU LILUN YU JISHU

发电设备 状态维修理论

顾煜炯 著

与 技术



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

发电设备 状态维修理论

与 技术

顾煜炯 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书较系统地介绍了发电设备状态维修的基本理论和技术体系,对发电设备状态维修实施所需要的技术手段进行了细致的阐述,构建了现代发电设备状态维修技术支持系统。主要内容包括:发电设备状态维修的理论基础,发电设备综合信息管理,改进的以可靠性为中心的发电设备维修理论与技术方法,发电设备状态评价与预测,发电设备故障诊断,发电设备维修决策,发电设备状态维修决策支持系统,发电设备计算机化维修管理系统,基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统应用。

本书可作为发电企业相关工程技术和管理人员的工具书,也可作为高等院校相关专业研究生和本科生教材,以及发电企业生产技术和管理人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

发电设备状态维修理论与技术/顾煜炯著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8930-1

I. 发… II. 顾… III. 发电厂-发电设备-维修 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 091590 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月北京第一次印刷

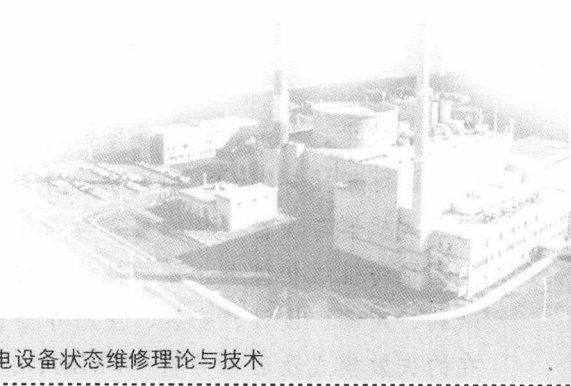
787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 427 千字

印数 0001—3000 册 定价 40.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

发电设备状态维修理论与技术

电力的生产、传输和供应是由大量相互紧密联系的设备和设施共同协调工作来完成的过程,要求其保持安全可靠、连续稳定、经济低耗地运行。电力设备的维修工作是保证实现这个目标的重要环节。除了对发生故障及损坏的设备及时进行被动地维修、使之恢复正常运行之外,还要通过对设备实施定期维修,将设备周期性地恢复至接近新设备的状态,直至无法做到恢复时将设备更新。这种定期维修也是一种比较有效的预防性维修方式,其维修间隔、停用时间以及主要维修项目是由上级管理部门规定的。我国的电力部门从20世纪50年代至今一直沿用这一制度。这种维修制度反映和适应了在一定时期的设备装备水准、设备运行状况和维修管理水平,也较容易配合电网调度和生产计划的安排,在做好电力生产运作、保障社会用电方面发挥了很好的作用。

随着工业生产的发展和现代科学技术的进步,电力设备在容量增大、参数增高的同时,其可靠性也已大大提高。与先进的设备和运行水平相比,设备管理在计划、设计、使用、维护、修理等环节依旧停留在过去的定期维修体制阶段,设备管理体制和技术水平同现代化电力企业管理的要求远不适应。由于对设备的可靠性和维修性从设计到运行均缺乏足够的重视,大多数设备在使用过程中,不同程度地存在“维修不足”或“维修过剩”的问题,导致因设备失修及状态劣化造成的突发事件较为频繁,对安全生产和设备寿命等造成严重影响。先进的技术装备水平与落后的设备管理体制已形成了突出的矛盾。

现代化的发电企业要求对传统的定期维修体制进行改进,而以先进维修理论为基础的状态维修模式则适应了发电设备的这种管理要求和维修要求。在状态维修模式下,从提高设备管理水平着手,在对设备进行状态监测和故障诊断的基础上,根据维修决策结果合理安排维修项目和维修时间。与传统的定期预防维修相比,状态维修提高了设备管理水平,延长了维修间隔,优化了维修项目和工艺,避免了“过修”和“失修”,真正做到“该修才修”,达到提高设备可用率、降低维修费用的目的。

先进的设备状态维修,包括先进的维修理论与技术和先进的维修管理模式。设备维修理论与技术是建立在可靠性工程、维修性工程、疲劳与断裂力学、概率统计、故障物理、故障诊断理论和现代管理理论等现代科学基础上的一门综合性工程技术应用理论,涉及学科领域广泛,已成为一门边缘的、综合的、系统的学科,可用于指导设备全寿命的维修优化,保证设备使用的可靠性和安全性。设备维修管理也是一个系统工程问题,

需要从技术、经济、组织各方面进行整体规划和优化，以达到低成本、高效益的目标。

国际工业标准 QS 9000 质量体系中对企业规定了“预防性维护”的有关条款，并提供了《机器与设备制造的可靠性与维修性导则》，要求企业必须建立有效的、有计划的全面预防性维护体系。预防性维护体系包含设备的维护和修理制度，要求从设备选型、采购、定制、设计、安装、使用等全过程进行控制管理；要求设备管理人员参加包括潜在的失效模式及后果分析（FMEA）、测量系统分析（MSA）在内的内部审核活动，将设备的维修管理与生产和服务活动紧密地结合在一起，使之最终达到企业的目标。

本书作者在国家 863 计划（2006AA04Z426）和教育部新世纪优秀人才支持计划（NCET-08-0769）的资助下，结合课题组多年来从事发电设备状态维修的理论研究和工程应用的经验，撰写了这部专著。本书较系统地介绍了发电设备状态维修的基本理论和技术体系，在先进的维修技术和管理模式方面进行了较深入的研究，并对发电设备状态维修实施所需要的技术手段进行了细致的阐述，并紧密结合现代信息技术，构建了现代发电设备状态维修技术支持系统，对发电设备的运行与维修决策具有指导作用。本书涉及众多科技领域，覆盖多方面的工程应用，技术内容广泛，信息量较大，可作为发电企业相关工程技术和管理人员的工具书，也可作为高等院校相关专业研究生和本科生教材，以及发电企业生产技术和管理人员的培训教材。

本书的主要内容是作者及其研究团队的研究成果，尤其是凝聚了历届研究生在该领域的创造性工作。陈昆亮、董晓峰、王子刚、程东涛、滕德、李晓敏、罗冠军、王琳、欧阳小环等人为本书的撰写做了很多有创造性的工作，其中陈昆亮对全书进行了审阅，董玉亮也对部分书稿进行了审阅，感谢他们为此付出的辛勤劳动。

要特别感谢杨昆教授，他最早鼓励作者完成本书，并提出了卓有成效的建议。

感谢所有本书所引用文献的作者及为本书提供资料的个人和单位，特别感谢本书所引用的各种案例的原作者。

感谢中国电力出版社的大力支持。

感谢所有关注本书和支持作者的各界朋友。

顾煜炯

2009 年 6 月于北京

目 录

发电设备状态维修理论与技术

前言

第 1 章 发电设备状态维修的理论基础	1
1.1 设备维修与管理的基本理论	1
1.2 发电设备状态维修的基本含义	11
1.3 发电设备状态维修的管理工作	13
1.4 发电设备状态维修管理与决策系统	17
1.5 发电设备状态维修的工作程序	23
1.6 发电设备状态维修的组织管理	32
第 2 章 发电设备综合信息管理	40
2.1 设备基本信息管理	41
2.2 设备润滑管理	45
2.3 设备运行信息管理	46
2.4 设备变动信息管理	47
2.5 设备缺陷与故障管理	48
2.6 设备维修管理	49
2.7 备件管理	51
2.8 设备技术管理	57
2.9 设备经济管理	60
第 3 章 改进的以可靠性为中心的发电设备维修理论与技术方法	64
3.1 概述	64
3.2 传统的以可靠性为中心的维修分析方法	64
3.3 改进的以可靠性为中心的维修分析方法	66
3.4 发电设备故障模式及其影响分析 (FMEA)	69
3.5 发电设备故障树分析 (FTA)	72
3.6 发电设备可靠性分析	79
3.7 发电设备重要度分析	83
3.8 发电设备维修方式制定	89
第 4 章 发电设备状态评价与预测	93

4.1	概述	93
4.2	设备状态评价与预测的背景	93
4.3	设备状态评价与预测的发展状况	94
4.4	发电设备状态评价	96
4.5	发电设备状态预测	113
4.6	发电设备状态评价及预测应用示例	122
第5章	发电设备故障诊断	133
5.1	概述	133
5.2	发电设备故障诊断分析方法和实施技术	137
5.3	发电设备故障诊断的结构及内容	141
5.4	发电设备故障诊断分析应用示例	150
第6章	发电设备维修决策	154
6.1	概述	154
6.2	维修决策理论与方法	154
6.3	发电设备维修周期决策及优化	158
6.4	发电设备维修方案决策及优化	174
第7章	发电设备状态维修决策支持系统	183
7.1	概述	183
7.2	决策支持系统	185
7.3	发电设备状态维修决策支持系统设计要求及构成	189
7.4	发电设备状态维修决策支持系统的开发	214
第8章	发电设备计算机化维修管理系统	217
8.1	概述	217
8.2	计算机化维修管理系统	222
8.3	发电设备计算机化维修管理系统的功能及结构	231
8.4	发电设备计算机化维修管理系统的实现	249
第9章	基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统应用	258
9.1	概述	258
9.2	基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统结构	259
9.3	基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统功能	261
9.4	基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统技术支持	265
9.5	基于 Internet 的发电设备状态维修决策支持系统开发实现	270
参考文献		273

第 1 章

发电设备状态维修的理论基础

1.1 设备维修与管理的基本理论

1.1.1 设备维修的基本模式

设备维修是对设备进行维护和修理的统称。这里所称的维护是指为保持设备良好工作状态所做的所有工作,包括清洗擦拭、润滑涂油、检查调校等;修理是指为恢复设备设计功能状态所做的所有工作,包括故障检查、故障诊断、故障排除、故障排除后的测试以及全面翻修(包括大修、小修)等。由此可见,设备维修包含了为保持和恢复设备良好工作状态而进行的一切活动。

随着设备自动化程度的不断提高,生产运行对设备维修的依赖性也不断增加。维修能提高设备的可用性和完好率,并且可延长设备的使用寿命,因此维修已成为保障企业生产能力的重要组成部分。维修成本是企业固定资产的生产力得以维持的必要投资,是电力工业和其他大工业别无选择的基本生产投入。像投资购置固定资产形成生产力一样,维修的投入同样能创造经济效益。

设备维修的模式大体上可分为事故维修、预防维修和改善维修三类。

(1) 事故维修。事故维修就是在设备发生故障后停止运行,或在日常定期巡回检查发现缺陷时进行非计划性维修的一种维修方式。事故维修模式在 1950 年以前占据主导地位,它依靠操作工专门操作、维修工专门维修,实行“坏了修,不坏不修”的策略。这种维修方式对设备的事故发生没有预测,完全属于被动式维修,因而往往会造成设备的严重损坏,既不安全又延长了维修时间。对故障强迫停运设备进行的消除缺陷和抢修就属于此类维修方式。事故维修工作一般包括故障定位、故障隔离、分解、更换、再装、调校、检验,以及修复损坏件等。事故维修因其维修内容和时机带有随机性,因此不能在事前做出确切安排。一般来说,这种维修方式可用于设备简单、可靠性要求不高或有备用设备的系统。

(2) 预防维修。预防维修就是通过对设备的检查、检测,发现故障征兆或为防止故障发生,使其能保持设计功能和状态,在故障发生之前所进行的各种维修活动,其目的是消除故障隐患,防患于未然。这种维修方式主要用于故障后果会危及安全和影响任务完成,或导致较大经济损失的情况。预防维修主要包括定期维修、预知维修和状态维修。

1) 定期维修。定期维修是为防止设备的意外故障,按照预定的时间间隔或维修周期进行计划性维修的一种维修方式。它依据已知的设备维修方式、设计寿命、设备制造厂提出的维修计划以及平均故障间隔时间,制订相应的维修程序,每隔一定时间对设备进行一次规定

作业内容的检查、维护、调整和修理，是一种以时间为基础、维修周期和维修内容相对固定的预防性维修方式。我国电力行业由于受前苏联的影响，长期以来一直采用此种维修方式。定期维修方式认为，影响设备运行性能或造成设备故障的主要因素是磨损、腐蚀和老化等，因此定期维修制度是按照设备损伤机制和规律制定的。以磨损为例，设备磨损一般包括磨合、渐进磨损和加剧磨损三个阶段，如果将设备维修选择在渐进磨损期结束、加剧磨损期起始阶段进行，显然可以减少或避免一些意外故障。定期维修制度要求根据不同的设备特点、工作条件、负荷特性，研究其磨损、腐蚀和老化规律，分析其运行小时数与维修工作量之间的关系，明确规定设备的使用周期、维修工作量和维修内容。定期维修的理论基础是设备故障率的规律呈浴盆曲线形式，在设备故障率增高前进行维修能有效地减少设备意外故障。这种维修方式适用于已知寿命分布规律、而且有耗损期的设备，这种设备的故障发生、发展同使用时间有明确的关系，设备基本上能工作到预期的时间，否则难以保证定期维修的有效性。定期维修的核心内容是维修周期结构和维修复杂系数的确定。

2) 预知维修。预知维修就是在事先规定了一些界限值或标准的情况下对设备进行检查，当发现潜在问题暴露、并能确定何时将超过规定的界限值时，在超过规定的界限值之前进行维修以避免故障的一种维修方式。这种维修方式是基于这样一种事实进行的，即大量的故障不是瞬时发生的，故障从开始发生到发展成为最后的故障状态总有一段出现异常现象的时间，而且有征兆可查寻。因此，如果找到故障的迹象，就可能采取措施预防故障的发生或避免故障后果。预知维修的理论依据是故障率曲线中的浴盆曲线不是唯一的，也不是主要的。预知维修的工作重点是按规定的时间间隔进行检查，通过以安全为主要目标对关键部件的检查，发现存在的问题，及时修理更换，只有在需要时才允许拆卸设备。

3) 状态维修。状态维修是预知维修发展的高级阶段，是一种以设备技术状态为基础的预防性维修方式。它根据设备的日常点检、定期检查、状态监测和故障诊断提供的信息，经过统计分析和数据处理，来判断设备状态的劣化程度，或由维修人员根据参数的变化趋势或幅值变化作出判断，并在故障发生前有计划地进行适当的维修。对于这种维修方式，设备状态监测与故障诊断技术显得十分重要。状态维修方式不规定设备的使用时间，能够有效地避免“维修不足”和“维修过剩”，因此能最充分地利用设备寿命，使维修工作量达到最少，是一种经济合理的维修方式。

(3) 改善维修。改善维修就是利用完成其他设备维修任务的时机，对设备进行局部结构或部分系统改造，消除设备的先天缺陷，为防止特定故障的重复发生，或为日常维护、检查、修理方便而进行的改良性维修，其目的是提高设备的固有可靠性、维修性和安全性水平。电力行业的技术改造项目和部分更新改造项目就属于此类维修方式。这种结合维修工作进行改进和改造，是维修工作的扩展，实质上是设备设计的修改，应属于设计、制造部门的范畴。但由于维修部门的职责是保持、恢复设备的良好状态，也最了解设备使用和维修中的问题所在，因此在设备固有可靠性、维修性和安全性水平不足时，提出改善维修是进行有效的预防维修工作而采取的一种补充手段。

1.1.2 设备维修模式的发展演变

维修是伴随着蒸汽机等大型工业设备的使用而出现的。随着生产的发展，人们对维修的认识也在不断地深化。最初认为，维修是为了排除设备故障以及预防故障的发生；后来认

为, 维修是保持设备正常状态和安全运行的保障。如果设备发生故障, 那么设备的功能就会丧失, 生产将被迫停止, 甚至会危及人身和设备的安全, 导致严重后果。

20 世纪 50 年代以前, 维修基本上属于一门操作技艺, 缺乏系统的理论。当时的机器大多数采用皮带、齿轮传动, 由于设备简单, 因此可以凭眼睛看、耳朵听、手摸等直观判断或通过师傅带徒弟传授经验的办法来排除故障。随着工业的发展, 出现了流水线生产。为了使生产不致中断, 20 世纪 20 年代, 美国率先实行预防性的定期维修制度, 即事先规定在某一固定时刻对设备进行分解检查、更换翻修, 以预防故障的发生, 防患于未然。这种定期维修方式在减少设备故障和事故、减小停机损失、提高生产效益上, 明显优于早先的对设备“不坏不修, 坏了才修”的事后维修方式。因此, 定期维修体制迅速传遍世界各地, 并在设备维修模式中占据了统治地位。我国从第一个五年计划开始, 各大型企业由前苏联引进了计划(定期)预防维修方式, 即定期维修。

传统的定期维修基于这样一个概念, 即设备的每个机件在工作时都会出现磨损, 磨损就会引起故障, 有故障就存在不安全性。因此, 每个机件的可靠性与使用时间有着直接的关系, 都有一个可以找到、并且在使用中不得超越的寿命, 那就是定时拆修间隔期, 即“到寿”必须拆修, 以确保设备的安全性和使用的可靠性。并且认为, 拆修得越彻底, 分解得越细, 则防止设备故障的可能性就越大; 定期维修工作做得越多, 则设备的可靠性就越高。为此, 常常依靠缩短定期拆修间隔期的办法来预防故障的发生。然而, 超出人们意料的是, 故障仍旧发生。于是认为这是因为所定的拆修间隔期仍然过长, 因此就再缩短拆修间隔期来预防故障的发生。但发现, 不管怎样缩短拆修间隔期, 或加大拆修范围以及拆修深度, 无论维修活动进行得多么充分, 很多故障仍然不能避免或有效减少, 相反故障率反而增加。频繁的维修, 不仅限制了设备的使用, 降低了可用率, 而且消耗了大量的人力和物力, 增加了维修费用。因此, 传统的定期维修体制存在着以下明显的缺陷:

(1) 由于强调定期预防维修, 按规定时间安排维修, 因此必然出现“维修不足”和“维修过剩”的问题。两者都增加了生产成本, 降低了企业的经济效益。

(2) 由于强调操作人员和维修人员明确分工, 只注重专业维修人员的维修, 而忽视操作人员的参与, 因此往往造成设备使用部门与维修部门的不协调, 甚至发生矛盾, 出现“用设备的人不管设备、管设备的人不用设备”的脱节现象。

(3) 设备管理和维修计划的制订等都按预先的规定进行, 往往不能确切地反映客观实际需要, 只按管理顺序分工, 职责呆板, 管理层次也过于繁杂。

20 世纪 50 年代末, 在定期预防性维修体制下, 美国航空公司的维修费用约占使用总费用的 30%, 美国空军有超过 30% 的人力和将近 1/3 的经费用于维修, 维修费用超过了购置费用, 形成了“买得起, 用不起”的现象。由此使人们对“多做维修工作能预防故障”的效果产生了怀疑。1960 年, 美国联邦航空局与联合航空公司双方的代表组成了一个维修指导小组 (Maintenance Steering Group, 简称 MSG), 对可靠性与拆修间隔期之间的关系进行了研究。可靠性工程、维修性工程、故障物理学和故障诊断等新兴学科的相继出现, 以及概率统计和管理科学的新发展, 为维修问题的研究提供了理论基础。经过多年的实践, 不仅积累了维修经验, 而且还取得了足以进行科学研究的实践数据和资料。在此基础上, 美国于 1961 年 11 月 7 日颁布了《联邦航空局/航空工业可靠性大纲》(FAA/Industry Reliability

Program), 指出: “过去人们过分强调控制拆修间隔期以达到满意的可靠性水平, 然而经过深入研究后深信, 可靠性和拆修间隔期的控制并无必然的直接联系。因此, 这两个问题需要分别考虑。”这个研究成果对于传统维修观念, 即机件两次拆修间隔期的长短是影响可靠性的重要因素, 是一个直接的挑战。于是, 从 1961 年 11 月开始对航空发动机进行维修改革试验, 1963 年 2 月又在 DC-8 飞机和波音 720 飞机上进行试验。试验结果证明, 尽管其拆修间隔期不断延长, 但可靠性未见下降。1968 年 7 月出现《MSG-1 手册: 维修的鉴定与大纲的制订》, 用于制订波音 747 飞机预防性维修大纲; 1970 年 3 月形成《航空公司/制造公司的维修大纲制订书: MSG-2》。MSG-1 和 MSG-2 改革了传统的定时维修体制, 经实践检验获得了成功, 这是维修从技艺发展为科学的重要标志。

在这些研究的基础上, 随着状态监测和计算机技术的发展, 20 世纪 80 年代形成了更为完善的维修体制, 设备维修模式也逐渐从以定期预防性维修为主向更加科学合理的预知维修及状态维修转变。

1.1.3 设备维修管理的基本理论

1.1.3.1 后勤工程学

后勤工程学是一门研究武器装备存储、供给、运输、修理、维护的新兴学科。在军事方面, 后勤工程学定义为计划和执行军事力量移动和维修的科学。后勤工程学主要针对系统和装备的保障, 涉及装备及其维修计划、保养、供应、运输、资料管理和人员培训等内容。

后勤工程学最早提出了全寿命周期费用的概念, 它还吸收了可靠性理论, 成为军事装备综合管理和保障的比较系统的科学。

设备全寿命周期费用的构成包括: 研制和设计费用, 制造和安装费用, 运行和维修费用, 管理和人员培训费用, 以及报废处理费用。

设备维修方案的确定, 包括维修级别、维修策略和维修职责的确定。

根据维修作业复杂程度、对人员技术水平的要求和所需设施来划分, 维修等级共分三级:

(1) 使用部门维修: 即用户的现场维修, 如定期检查、清扫、维护、调整、局部更换零部件等。

(2) 中间维修: 即由专职的部门和固定的设施, 以流动或半流动方式对设备进行专业化的维修。

(3) 基地维修: 即由固定的专业修理厂进行设备的维修, 这是最高级别的维修。

维修策略是指从一定的技术经济因素考虑, 对设备或其零部件所进行的维修方式和程度的规定。在实施具体的维修策略之前, 可以先列出若干可行的维修策略, 然后按照其对设备性能的影响, 从经济、技术等方面作综合考虑, 并加以评价, 从中选出最优方案进行实施。

按照维修策略的要求, 设备可分为不可修复的、局部可修复的和全部可修复的三类。不可修复的设备一般在使用一定时间后就自行报废, 采用“弃件”方式处理。局部可修复的设备可以通过各种灵活方式进行修复, 如修补、更换部分零件等。全部可修复的设备则要求从外到内、从部件到元件均作无替换修复。

后勤保障分析是后勤工程学的核心内容。它是以设备从研制、运行一直到报废一生的实际过程为对象, 以费用/效果、有效性和可用性、后勤效能、全寿命周期费用等指标为内容, 把分析结果再反馈到设备全寿命管理的各个环节, 用于指导设备的研制、设计、制造、运

行、维修等。这个过程周而复始，使后勤保障水平得以不断提高。设备的全寿命管理还包括：

(1) 设备设计中的后勤：包括设计准则的选择、分析与综合平衡，可行性设计（含故障模式和影响分析、关键部件寿命分析），维修性设计等。

(2) 设备制造与安装中的后勤：包括制造与安装要求、制造企业的经营与管理、质量管理等。

(3) 设备运行（或使用）中的后勤：包括主要设备之间的匹配、人员和技术保障等。

1.1.3.2 设备综合工程学

设备综合工程学是寻求设备全寿命周期费用最经济的设备管理方法。设备全寿命周期费用是指设备一生所花费的总费用，包括设备设置费和设备维持费。设备设置费包括研究、设计、制造、购置、运输、安装和调试费用。设备维持费包括能源、维修、报废费用、操作工人工资以及与设备有关的各种杂费，如保管、安全、保险、环保费等。研究表明，有些设备的设置费高，但维持费较低；而有些设备的设置费虽低，但维持费却较高。因此，对设备一生的设置费和维持费要作综合的研究和权衡，以全寿命周期费用最经济为目标进行综合管理是非常必要的。

一般而言，设备一经出厂就决定了其整个寿命周期的总费用。也就是说，设备的价格决定了其设置费，而可靠性又决定了其维修费。

设备综合管理包括技术管理、组织管理和经济管理三个方面。具体内容包括：设备规划、选型和购置，设备安装和调试，设备验收和移交，设备分类和档案管理，设备报废和更新，设备管理机构的设置，维修体系的建立，目标管理，人员管理，各种责任制，维修管理，故障管理，事故管理，备品备件管理，材料管理，等等。

(1) 技术是基础。设备是科学技术的产物，涉及科学技术的各个领域，包括机械、力学、电学、热学、化学、摩擦学、可靠性工程、维修工程、故障诊断理论、润滑理论等学科。随着科学技术的不断深入发展，设备综合管理将越来越依赖于技术和管理科学。

(2) 管理是手段。近年来不断涌现和发展起来的管理科学，如系统论、运筹学、信息论、行为科学以及作为管理工具的计算机系统，无疑也是设备综合管理的手段。设备从引进到报废的全过程都要运用科学的管理手段，也只有应用科学的管理手段，才能做好设备综合管理。

(3) 经济是目的。企业的经营目标是提高经济效益，设备管理也应为此目标服务。设备综合管理就是要以最经济的设备全寿命周期费用创造出最好的经济效益。要实现这一目标，一方面要从设备全寿命周期进行综合管理，降低费用；另一方面则要努力提高设备的利用率和工作效率。

设备综合工程学是在维修工程的基础上形成的，它把设备可靠性和维修性问题贯穿到设备设计、制造和使用的全过程。除了机械性能，设备综合工程学的研究重点在可靠性和可维修性的设计，强调在设计、制造阶段就争取赋予其较高的可靠性和可维修性，使设备在后天使用中，能长期可靠地发挥其功能，不出故障或者少出故障，即使出了故障也便于维修。

狭义地讲，设备可靠性是在规定时间内保持其规定功能的性质。广义地讲，设备可靠性就是设备机械性能、工艺性能、效率指标的保证。设备可维修性是指设备易于维修的性能，如设

计结构简单合理、易于检查、易于排除故障,设备具有易接近性、可拆卸性、零配件互换性好、标准化程度高等特点。现代化设备甚至带有计算机自检系统、数字显示的故障字典等,因而进一步提高了设备的可维修性。设备综合工程学把可靠性和可维修性设计作为设备一生管理的重点环节,它把设备先天素质的提高放在首位,把设备维修工作立足于最根本的故障预防。

设备综合工程学强调从系统整体优化的角度考虑设备的维修与管理问题,也就是说,要从系统工程的思想来看待设备,从设备一生管理这个全局出发,对技术管理、组织管理、经济管理进行整体规划和优化,注重设计、制造、使用及费用信息的反馈及调整,以达到花费少、效率高这个最佳目标。自从丹尼斯·巴克斯提出设备综合工程学以来,一直在国际上得到广泛的认同和接受。

1.1.3.3 全员生产维修体制

20世纪70年代,日本在学习美国生产维修体制的基础上,结合本国的国情,创造性地提出了全员生产维修体制。这一维修体制,既有对美国生产维修体制的继承,又有英国综合工程学的思想,还吸收了中国《鞍钢宪法》中“工人参加、群众路线、合理化建议及劳动竞赛”的做法。日本人身体力行地把全员生产维修体制贯彻到底,产生了突出的效果,使这一维修体制得到了世界的认同。

全员生产维修就是以最高的设备综合效率为目标,以设备一生为目标的全系统的预防维修,设备的计划、使用、维修等部门都参与,从企业的最高管理层到第一线职工都参加,实行动机管理,即通过开展小组的自主活动来推动生产维修。

全员生产维修的特点是“三全”,即全效率、全系统和全员参加。全效率是指设备寿命周期费用评价和设备综合效率;全系统是指生产维修的各个侧面均包括在内,如维修预防、预防维修、改善维修和事后维修;全员参加是指从公司经理到相关科室人员,直到全体操作工人都要参加,尤其是操作工人的自主小组活动。其中,全效率是全员生产维修的最终目标。

全员生产维修的开展过程要从三大要素的实现方面下功夫,这三大要素是:

- (1) 提高(操作、工作)技能。
- (2) 改进(工作、精神)面貌。
- (3) 改善(企业、操作)环境。

全员生产维修活动要通过对设备现行状态的评估,找出问题及不足,制订改善措施,建立标准化体系,从而使设备状态不断改进,形成状态循环;通过设备综合效率的计算,度量管理的进步,形成度量循环;通过分析六大损失的程序和专题技术攻关,以减少六大损失,达到设备的最佳运行状态,形成改善措施循环。以上三个循环形成闭环,使企业的设备管理工作进入良性循环,使设备综合效率得以循序渐进地提高。

1.1.3.4 设备点检制

点检制是以点检为中心的设备维修管理体制,就是按照一定的标准、一定的周期,对设备规定的部位进行检查,以便在早期发现设备故障隐患,及时加以修理调整,使设备保持其规定功能。值得指出的是,设备点检制不仅是一种检查方式,而且还是一种制度和管理方法。点检是利用人的感官和简单仪器工具,按照预先制定的技术标准,对设备按定人、定点、定期的要求进行检查的一种管理方法。通俗地讲,点检就是根据设备经常发生故障的部位,预先选定一些点对其进行检查和诊断。

点检和传统的巡回检查是有区别的：点检是一种管理方法，点检的核心是定人点检；专职点检员的点检不同于运行人员的巡回检查，而是固定在一定的点检作业区，做到定人、定区、定设备。点检人员实行常日班工作制，不同于维护检修人员，他们是经过专门训练的专业人员。

概括起来，设备点检制具有以下特点：

- (1) 定人：设立设备兼职的和专职的点检员。
- (2) 定点：明确设备故障点，明确点检部位、项目和内容，使点检员做到有目的、有方向地进行点检。
- (3) 定量：对设备劣化倾向应定量测定。
- (4) 定法：明确用什么方法进行点检，是用检测仪器，还是用“五官”去感觉。
- (5) 定周期：根据不同设备的功能、重要程度以及不同设备的故障点，给出不同的点检周期。
- (6) 定标准：应给出每个点检部位是否正常的依据，即判断标准，点检员对规定的点检内容都有一个检查标准，如变形、磨损、振动、腐蚀等。
- (7) 定点检计划表：点检计划表又称作业卡，用以指导点检员沿着规定的路线作业。
- (8) 定记录：包括作业记录、异常记录、故障记录及倾向记录，都有固定的格式。
- (9) 定点检业务流程：明确点检作业和点检结果的处理程序。对急需处理的问题，要通知维修人员；对不需急于处理的问题则记录在案，留待计划检查处理。

点检管理的要点是实行全员管理，专职点检员按区域分工管理。点检员本身是一贯制管理者。点检是按照一整套标准化、科学化的路线进行动态的管理，它必须与维修相结合。

按点检的目的，点检可分为倾向点检（劣化倾向、突发故障和更换周期）和劣化点检（劣化程度和维修判断）；按设备是否解体，点检可分为解体点检和非解体点检；按周期和业务范围，点检可分为日常点检、定期点检和精密点检。

各个企业可根据各自特点推行不尽相同的点检制，实行全员生产维修体制的一些企业所推行的“三位一体”点检制和“五层防护线”的做法值得借鉴。所谓“三位一体”，是指岗位操作工人的日常点检、专业点检员的定期点检和专业技术人员的精密点检三位一体。“五层防护线”是指把岗位操作工人的日常点检作为第一层防护线，把专业点检员的定期点检作为第二层防护线，把专业技术人员的精密点检作为第三层防护线；在以上基础上，对上述点检中出现的问题，再进一步利用技术诊断和倾向管理探明因果，做出决策，这是第四层防护线；第五层防护线是每半年或一年一次的精密点检。

1.1.3.5 以可靠性为中心的维修

以可靠性为中心的维修（Reliability-Centered Maintenance, RCM）强调以设备的可靠性和故障后果作为制定维修策略的主要依据。按照这种模式，首先应对设备的故障后果进行结构性评价，分析并综合出一个安全、运行经济和维修费用节省的维修策略。RCM的主要研究内容包括故障后果评价、故障特性、潜在性故障和功能性故障、维修管理和维修策略等。

RCM的7个基本问题（对每一个设备）分别是：

- (1) 现行的使用环境下，设备的功能及相关的性能标准是什么？
- (2) 什么情况下设备无法实现其功能？

- (3) 引起各功能故障的原因是什么?
- (4) 各故障发生时会出现什么情况?
- (5) 什么情况下各故障至关重要?
- (6) 做什么工作才能预防各故障?
- (7) 找不到适当的预防工作应怎么办?

围绕这 7 个基本问题的分析和解决, 构成了 RCM 的内容、方法以及实施程序。

RCM 强调, 以故障后果评价作为维修方法选择的依据是不同的故障应采用不同的维修策略: 对潜在故障使用强制性的预防维修; 对危害安全的故障使用强制性的预防维修, 若没有降低故障灾害的维修方法, 则应考虑设备或部件的重新设计; 对运行或非运行的经济性故障, 应根据经济合理性来决策。RCM 的维修策略包括状态维修、预防维修、事后维修和技术改造。

RCM 理论认为, 一切维修活动, 归根到底都是为了保持、恢复设备的可靠性。根据设备及其机件的可靠性状况, 运用逻辑决断分析法来制订设备的维修大纲, 确定所需的维修内容和合理的维修类型、适当的维修间隔期和维修级别等, 从而达到优化维修的目的。在这种理论指导下进行的维修, 既能提高维修质量和设备可用率, 保证使用安全, 又能节约费用。该维修理论不仅适用于军事装备, 也适用于民用设备, 它在迄今 30 多年的实践中不断地得到完善和发展, 已在许多国家广泛应用。

除以上这些维修理论和思想之外, 还有一些较有特色的维修理论和思想, 如: 以利用率为中心的维修 (ACM)、全面质量计划维修 (TQPM)、适应性维修 (AM)、费用有效维修 (CEM) 和商业关键性分析 (CCA) 等, 也是值得学习和研究的。

1.1.4 设备维修管理的发展

1.1.4.1 维修技术的发展

当前, 设备维修技术的发展趋势呈现如下一些特点:

- (1) 把寿命周期理论应用于实际。
- (2) 用状态维修代替部分定期维修。
- (3) 系统工程、计算机及行为科学进入维修管理之中, 维修工程开始运用现代管理科学, 如工业工程、价值工程、质量工程和系统工程。
- (4) 维修科学向多学科组合、维修组织向科学化方向发展。
- (5) 开始更多的合同维修 (社会化和专业化维修)、更多的状态维修和更有计划的维修。
- (6) 计算机应用更加普遍, 维修在企业中的地位更加重要, 已不亚于生产计划、质量控制和生产经营。
- (7) 维修技术更加先进, 体现在状态监测技术的进步, 如容器和管道内部监测、裂纹监测、泄漏监测、温度监测、振动监测等, 以及修理技术的进步, 如热喷涂、电刷镀、带压堵漏、喷射冷冻、冷态成型、平面精研以及特种焊接等。

1.1.4.2 维修管理的发展

(一) 维修策略监控

英国最先提出了维修策略监控的问题。一般认为, 维修过程由三个输入值驱动:

- (1) 物理观测值: 通过对设备现场问题的观察得到。

(2) 计划时间表：由预防维修的检查结果得到。

(3) 状态为基础：以设备状态是否超过事先确定的状态值来决定。

上述事件将会带来的维修活动包括：临时性或计划性改正维修或预防维修工作，临时性或计划性设备改造或更新工作，临时性或计划性设备再设计工作。

确定设备维修是临时性还是计划性，或者是依据其优先序，或者是依据其潜在的维修成本，或者是两者的结合。优先序又由操作、检查或维修部门的组织结构所决定。计划维修还要涉及人力资源、材料和工具，这一切既涉及企业的仓储、购销及合同部门，又涉及企业外的供应商。所有这些相关活动，都应该纳入维修预算之中。这些就是需要监控的内容，其中人工成本是关键项目。

支出是维修监控的主线，但它仅仅反映了总体策略的一部分。另外，维修资源、设备更新、设备运行、备件与工具、紧急需求的响应，都反映了不同侧面的维修实践。管理的艺术是在已有的维修活动下，对“行动”和出现的问题做好“平衡”，决定哪些问题要采取行动，哪些可以暂时放一下，哪些可以取消。

维修策略是与其他过程共同运行的，尽管它们有着不同的目标，如：生产部门要完成生产目标，工程部门要执行已批准的工程项目，仓库要减少库存量，采购部门要尽快满足生产部门的要求。维修策略的成功依靠各个部门的协同努力，而不同的部门互相依赖、相互支持，需要良好的策略来加以调整。传统的方法是通过协调会议解决存在的关键问题，目前有些问题可以通过联网的计算机加以交流和解决。不同部门提出的报告包含不同的目标，这也是监控的主要内容，如：

生产部门：提高产量，改进质量。

检查部门：减少环境污染，改进设备安全，控制法定的检查。

维修部门：减少关键设备故障，改进生产服务水平，减少停机时间和成本。

工程部门：减少项目拖拉，改善设备文档。

仓库：避免短缺，减少过量库存，减少非计划要求。

采购部门：稳定供应周期，减少“紧急供货”，改进关键备件供应，加强供应商多定单供货。

合同部门：增加供货协议，改进对质量保证的监督。

所有以上目标，都可以做到定期的量化监控。

(二) 集中和分散式维修管理

维修的集中或分散式管理就像任何事物发展的规律一样，“分久必合，合久必分”。一些欧洲企业的维修管理模式，经历了从原始的分散管理到集中管理，又从集中管理转变为分散管理的变化。一个企业究竟应采用何种方式进行维修管理，要看企业本身的状况，看企业自身的“软”、“硬”条件。

以法国的发电行业为例，1946～1955年这一阶段，设备维修基本属于分散管理阶段。当时，各个发电企业依靠自己的运行操作人员负责设备维修，参与维修策略的决策；国家电力公司的少数专家只解决重大设备问题，制定综合的、全国性的法规和政策。

1955～1975年，随着电网的扩展，对维修规模效益有了进一步的要求，逐渐形成了15～35人规模的维修部门，其任务是：

- (1) 搜集、分析、综合每一设备及其部件的信息。
- (2) 通过必要的研究手段,对设备劣化机理进行探索。
- (3) 帮助运行操作人员制定长远的维修策略,每个生产单元参照执行。

这样也就逐步形成了一种集中式管理的模式。虽然仍然由操作者进行设备维修,但有关的维修策略是要遵守的。

1975~1995年,随着原子能发电企业的发展,法国国家电力公司的维修部门发展到超过100人,另外还雇用400余人,负责管理公用备件、开发和使用专用工具、制定维修工艺、修改软件、管理公用文件等。这时,维修部门的任务扩展为:

- (1) 发现事故,作出系统分析,决定采用的改正措施。
- (2) 推行基本的预防维修程序,在各企业推广。
- (3) 分析故障后果,计算负荷与疲劳,对监测信号进行解释。

于是,这些维修部门的专家变得越来越不可缺少,他们被操作人员不断提出的设备问题所包围;而操作人员逐渐变化成只执行决定,从不作出决定。这已经变成了一种维修哲学。在这种情况下,除了各运行单元操作者的权威越来越小之外,他们的维修技能也越来越退化,维修部门的指令有时仅仅变成执行的教条而非真正被理解。因此,很有必要引入一种新的体制,这种新体制就是分散式管理。

新的分散式管理并不是倒退到以前的水平,而是因计算机使用的普及而使资源共享程度提高。各企业可以在没有“中心”专家帮助下通过计算机获得相关数据,作出决策;维修管理部门把专家派到各个企业;各企业建立起自己的专家小组(思想库),担负起设备的事故分析、维修优化、长期预测等工作。

(三) 维修和管理的集成化

国际维修界越来越重视世界级维修,也就是维修的集成化、综合化倾向。可以从以下三个方面来理解这种世界级维修的概念:

- (1) 正如设备生产的国际化一样,维修在世界范围内互相渗透,已失去明显的国界,社会化维修成为历史的必然。
- (2) 维修已不再限于维修,它实际上是生产、质量、安全与环保的综合。
- (3) 新的维修策略也绝不仅仅限于组织和行为的变更,还应该是意识和文化的变革。

在维修体制上,国际上对预防维修的重要性的认识是一致的,但对事后维修也不否定。事后维修对于故障后果不严重、对环境 and 人身不造成危害的故障维修,也不失为一种有效的方法。设备维修工程应该是综合、集成的系统,目前很难以一种简单的模式加以概括。

(四) 面向未来的维修

在日益增加柔性制造系统和计算机集成制造系统的形势下,提出了面向未来的维修概念。柔性制造系统虽然代表当代工业发展的新趋势,但由于部件、机床、外围设备的故障,缺乏对停机的系统跟踪,机电一体化设备较差的可靠性、机械部件无法控制的磨损,使得这一代表未来趋势的复杂系统的维修非常具有挑战性。

面对计算机集成制造系统,应该创造一个具有以下特征的集成维修系统:

- (1) 既适用于柔性制造系统,又适用于独立设备;
- (2) 适于面向顾客的小批量生产;