

电力系统 以可靠性为中心的维修

RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE
IN POWER SYSTEM

束洪春 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械工业出版社基金资助
国家自然科学基金项目资助
云南省自然科学基金重点项目资助

电力系统以可靠性 为中心的维修

束洪春 著



机械工业出版社

电力系统以可靠性为中心的维修 (RCM) 是近年发展起来的一种新的维修理念。RCM 包含了电力设备的维修方式和维修周期决策, 以及电力系统的可靠性评估和维修优化等内容。本书主要内容为电力设备和电力系统以可靠性为中心的维修。电力设备以可靠性为中心的维修侧重于变电站内设备, 论述了电力设备的故障诊断、维修方式决策、维修周期决策等内容; 电力系统以可靠性为中心的维修包含电力系统可靠性评估、发电厂内相关设备的 RCM、电力系统 (包含发电、输电、发输电、配电系统) 的维修优化模型及求解方法等内容。

本书的编写旨在为电力系统维修及维修决策的相关人员提供参考, 也可作为电气类专业大学生和研究生研习电力系统可靠性及维修决策方向的重要选读材料。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统以可靠性为中心的维修/束洪春著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-111-25448-5

I. 电… II. 束… 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 (2008) 第 165976 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 林春泉 版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 王伟光 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 432 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-25448-5

定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379059

封面无防伪标均为盗版

前 言

长期以来,定期检修作为我国电力设备采用的主要维修方式,存在的弊端如下:定期维修周期很难准确确定,当不能准确地制定设备定期维修周期时,可能会导致“维修过剩”或者“维修不足”。维修过剩会造成维修费用额外增加,甚至会出现没故障而修出故障的问题;维修不足则会导致设备可靠性达不到规定要求,即维修没有达到应有的目标。

以可靠性为中心的维修(Reliability-Centered Maintenance, RCM)是基于设备的故障模式和影响效果,其出发点不是单纯提高可靠性和可用率,而是考虑经济性与可靠性的最佳结合,即以最经济的方式提高可靠性。所采用的方法是用技术分析替代经验规定,用技术分析的结果作为维修决策的依据。实践证明,通过RCM分析得到的维修具有很强的针对性,避免了“多维修、多保养”和“故障后再维修”的传统维修思想的影响,使维修工作更具科学性。在保证生产安全性和设备可靠性的条件下,RCM可将日常维修工作量降低40%~70%,大大提高了设备的使用率。

RCM作为国内电力系统维修的一种新型方式,是以概率论和设备的可靠性函数为基础,以设备的状态监测和故障诊断为技术支持的设备维修方式及维修周期决策方法。RCM的关键取决于设备可靠性函数的确定以及设备的状态监测的技术支撑。目前,国内外用于拟合设备故障时间分布的函数有很多种,比较成熟的是指数分布和威布尔(Weibull)分布。本书总结了国内外专家学者多年的研究经验,详细地介绍了各种设备依据不同分布函数和不同维修方式时的维修周期决策模型。针对设备的状态监测,本书介绍了国内外目前正在研究和已经比较成熟的状态监测设备及其原理,同时对设备的故障诊断方法进行了研究和总结。由于电力系统是由电力设备构成的人造物理系统,因此RCM不仅只针对电力设备,还应该涉及全网众多设备维修所面临的维修优化问题。鉴于此,本书还详细介绍了目前国内外有应用价值和有创新性的电力系统维修优化模型。全书以阐述方法原理为主线,在简要介绍RCM应用过程的基础上,详细介绍了相关的设备重要度评估、故障机理、状态监测和故障诊断、设备维修方式与维修周期决策以及电力系统维修优化等问题,以增强针对性。

本书分为3篇,10章内容。第1篇(第1、2章)为绪论及本书涉及的各种常用数学方法。第2篇(第3~7章)为设备实施RCM的过程及相关原理和方法,涉及到设备重要度评估、设备故障机理、设备故障诊断以及设备维修周期计算等各方面的内容。第3篇(第8~10章)为电力系统以可靠性为中心的维修,涉及发电、输电和配电三个环节,包含电力系统可靠性评估和发电、输电、配电系统维修优化,以及第2篇末涉及到的某些设备的故障诊断及维修等方面的内容。

本书得到机械工业出版社基金资助,国家自然科学基金项目(90610024, 50467002, 50347026)资助,云南省自然科学基金重点项目(2005F005Z)资助。在此,编者对资助单

位表示由衷的感谢。

本书的编写旨在为电力系统维修及维修决策的相关人员提供参考,由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2008 年 6 月

目 录

前言

第 1 篇 数学基础	1
第 1 章 绪论	2
1.1 以可靠性为中心的维修基本概念	2
1.1.1 可靠性	2
1.1.2 维修性	3
1.1.3 可用性	4
1.1.4 以可靠性为中心的维修	5
1.2 国内外检修策略的发展	6
1.2.1 事后检修阶段	6
1.2.2 定期检修阶段	7
1.2.3 状态检修阶段	7
1.3 我国可靠性维修应用现状	7
参考文献	8
第 2 章 数学基础	9
2.1 故障概率时间分布	9
2.1.1 指数分布	9
2.1.2 威布尔分布	10
2.2 威布尔分布的参数估计	11
2.2.1 定数截尾时威布尔参数的点估计	11
2.2.2 定时截尾时威布尔参数的点估计	12
2.2.3 威布尔参数的区间估计	12
2.3 粗糙集理论	13
2.3.1 粗糙集理论简介	13
2.3.2 粗糙集属性约简	14
2.4 可拓学理论	16
2.4.1 基本概念	16
2.4.2 问题的物元模型	18
2.4.3 可拓集合与关联函数	18
2.5 人工神经网络	20
2.5.1 人工神经网络概述	20
2.5.2 人工神经元模型	20
2.5.3 BP 人工神经网络模型	21
2.6 ID3 算法	22
2.6.1 嫡值理论介绍	23
2.6.2 ID3 算法形成决策树	23
2.7 层次分析法	26

2.7.1 层次分析法原理	26
2.7.2 层次分析法应用步骤	27
2.8 模糊综合评判模型	30
2.8.1 单层次模糊综合评判的数学模型	30
2.8.2 多层次模糊综合评判的数学模型	32
2.9 贝叶斯估计及贝叶斯网络	33
2.9.1 贝叶斯估计	33
2.9.2 贝叶斯网络	34
2.10 蒙特卡罗模拟方法	36
2.10.1 用蒙特卡罗方法计算的一般步骤	36
2.10.2 蒙特卡罗方法的收敛性	36
2.10.3 蒙特卡罗方法的误差和基本特点	37
2.10.4 随机数产生原理和伪随机数的检验	38
2.10.5 随机变量的抽样	41
2.10.6 蒙特卡罗方法的优缺点	44
2.11 马尔可夫过程及马尔可夫链	45
2.11.1 马尔可夫过程的原理	45
2.11.2 马尔可夫链	46
2.12 Benders 分解法	47
2.13 遗传算法	48
2.13.1 遗传算法简介	48
2.13.2 遗传算法的基本步骤	49
2.13.3 目标函数映射到适应函数	50
2.13.4 适应度函数的设计对遗传算子的影响	51
参考文献	52
第2篇 电力设备以可靠性为中心的维修	53
第3章 设备 RCM 实施过程	54
3.1 变电设备重要度评估	54
3.2 确定变电设备功能	54
3.2.1 主要功能	54
3.2.2 次要功能	55
3.2.3 保护功能	55
3.2.4 多余功能	56
3.3 确定变电设备故障类型	57
3.3.1 变压器故障类型	57
3.3.2 断路器故障类型	58
3.3.3 电容器故障类型	59
3.3.4 避雷器故障类型	60
3.4 变电设备故障诊断	61
3.4.1 故障树分析法	61
3.4.2 基于专家系统的方法	62
3.4.3 基于模糊推理的方法	62
3.4.4 人工神经网络法	63

3.4.5 贝叶斯网络法	63
3.5 检修策略决策	63
3.5.1 设备维修方式	64
3.5.2 检修决策方法	65
3.6 维修周期决策及优化	66
3.6.1 维修周期决策	66
3.6.2 维修周期优化	67
参考文献	67
第4章 设备重要度评估	68
4.1 基于层次分析法的设备重要度评估	68
4.1.1 应用层次分析法作设备重要度排序	68
4.1.2 设备重要度权值计算	69
4.2 基于蒙特卡洛模拟的供电设备重要度评价	70
4.2.1 蒙特卡洛模拟方法简介	70
4.2.2 供电设备重要度评价因素的确定	70
4.2.3 供电设备重要度评价指数的确定	72
4.2.4 基于蒙特卡洛模拟的供电设备重要度评价	73
参考文献	74
第5章 变电设备在线监测及故障诊断	75
5.1 变压器在线监测	75
5.1.1 油色谱在线监测	76
5.1.2 油中氢气含量在线监测	76
5.1.3 局部放电的在线监测	77
5.1.4 介质损耗因数 $\tan\delta$ 的在线监测	78
5.1.5 变压器油中微水在线监测	78
5.1.6 MGA2000-6E 型变压器油色谱在线监测系统简介	78
5.2 变压器故障诊断依据	80
5.2.1 油中溶解气体分析法	80
5.2.2 变压器油故障定性分析	82
5.2.3 固体的绝缘老化	85
5.3 变压器故障诊断方法	86
5.3.1 基于朴素贝叶斯网络的故障预测诊断	86
5.3.2 粗糙集专家系统	90
5.3.3 模糊粗糙集理论在变压器故障诊断中的应用	93
5.3.4 粗糙集理论与可拓学相结合的诊断方法	98
5.3.5 用 ID3 算法形成故障决策树	102
5.3.6 用人工神经网络算法建立设备故障诊断模型的应用研究	106
5.3.7 基于粗糙集理论的变压器复合故障分析	109
5.4 高压断路器的状态监测及诊断分析	115
5.4.1 断路器结构	115
5.4.2 断路器性能指标	116
5.4.3 断路器监测量及状态监测的实现	116
5.4.4 断路器寿命分析	117

5.5 避雷器试验及在线监测	123
5.5.1 避雷器试验	123
5.5.2 避雷器在线监测装置	124
5.6 电容性设备故障诊断	124
5.6.1 电容性设备故障、故障机理及诊断概况	124
5.6.2 常规预防试验及故障判断	125
5.6.3 电容性设备绝缘在线监测和诊断	127
5.7 互感器的故障诊断及在线监测	127
5.7.1 JCC 型电压互感器的在线监测	127
5.7.2 利用气体收集器在线诊断充油互感器故障	128
参考文献	128
第 6 章 设备维修方式决策方法	129
6.1 设备维修方式	129
6.1.1 事后维修	129
6.1.2 隐患检测	129
6.1.3 定期维修	130
6.1.4 状态维修	130
6.2 基于模糊综合评判的维修方式决策模型	131
6.2.1 维修方式决策模型	131
6.2.2 应用模糊综合评判方法决策设备维修方式	135
6.3 基于决策树的维修方式决策模型	137
6.4 设备短期维修风险决策	139
6.4.1 短期维修决策步骤	139
6.4.2 设备短期维修风险决策模型	140
参考文献	141
第 7 章 RCM 维修周期决策	142
7.1 定期维修周期的确定	142
7.1.1 定期维修的分类	142
7.1.2 定期维修的分类及周期确定	142
7.2 定期更换周期的确定	151
7.2.1 定期更换的维修工作条件	151
7.2.2 按可用度最大来确定预防性更换周期	152
7.2.3 按最小经济损失来确定预防性更换周期	153
7.3 定期检测周期的确定	153
7.3.1 影响定期检测工作的频度	154
7.3.2 按安全性要求确定定期检测的周期	154
7.3.3 按可用度最大确定定期检测的周期	156
7.3.4 按经济性要求确定隐患功能的定期检测周期	159
7.4 状态维修周期的确定	163
7.4.1 决定 $P-F$ 间隔期的主要因素	164
7.4.2 状态维修周期的基本要求	164
7.4.3 状态维修周期的确定	165
7.4.4 模糊决策的绝对比较法理论	168

7.5 确定维修周期所面临的问题及解决办法	169
7.6 维修周期优化及初步处理	169
7.6.1 维修周期优化	170
7.6.2 维修周期的初步处理	170
7.6.3 目标函数及约束条件	171
参考文献	171
第3篇 电力系统以可靠性为中心的维修	172
第8章 电力系统可靠性评估	173
8.1 大电力系统可靠性评估	173
8.1.1 大电力系统可靠性评估解析法模型	174
8.1.2 大电力系统可靠性评估模拟法模型	176
8.1.3 大电力系统可靠性评估 MCMC 法	181
8.2 高压直流输电系统可靠性评估	183
8.2.1 高压直流输电系统主要可靠性指标	183
8.2.2 高压直流输电系统可靠性评估方法	184
8.2.3 特高压直流输电系统的可靠性评估	191
8.3 配电网可靠性评估	194
8.3.1 配电系统可靠性指标	194
8.3.2 评估方法介绍	194
8.3.3 基于图论的评估方法	197
8.4 电气主接线及可靠性评估	199
8.4.1 主接线可靠性评估的步骤及假设	199
8.4.2 水电站电气主接线可靠性评估	200
8.4.3 $\pm 800\text{kV}$ 换流站主接线可靠性评估	201
参考文献	204
第9章 发电系统以可靠性为中心的维修	206
9.1 发电设备故障类型简介	206
9.1.1 锅炉设备故障简介	206
9.1.2 汽、水轮机故障简介	207
9.1.3 发电机故障简介	209
9.2 发电设备状态监测	210
9.2.1 锅炉设备状态监测	210
9.2.2 汽、水轮机状态监测	211
9.2.3 发电机状态在线监测	212
9.3 发电设备故障诊断	212
9.3.1 基于人工神经网络和专家系统的锅炉状态诊断	212
9.3.2 基于变权模糊的发电设备状态评价及故障诊断	213
9.4 发电设备维修方式决策	218
9.4.1 设备重要度分析和费用分析	218
9.4.2 利用决策树决策维修方式实例	218
9.5 发电设备维修/故障费用模型	219
9.5.1 预防维修费用	219

9.5.2 机会维修费用	219
9.5.3 故障维修费用	219
9.6 发电厂主设备定期维修优化	220
9.6.1 主设备计划维修周期的优化	220
9.6.2 主设备计划维修内容的优化	220
9.7 辅助设备定期维修决策及优化	221
9.7.1 利用数值方法确定设备最优定期更换周期	222
9.7.2 利用解析法确定设备最优状态检查间隔	224
9.8 发电设备隐患检查周期的确定	224
9.8.1 按安全性要求确定隐患检测周期	224
9.8.2 按经济性要求确定隐患检测周期	225
9.9 发电设备基于状态的维修决策	225
9.10 基于 Benders 分解的多机组多电厂检修优化	226
9.10.1 基本数学模型	226
9.10.2 Benders 分解后求解主问题与子问题的快速算法	228
参考文献	229
第 10 章 输电系统以可靠性为中心的维修	230
10.1 主设备以可靠性为中心的维修	230
10.2 绝缘子在线监测	230
10.2.1 在线监测原理	231
10.2.2 污秽监测报警模型	233
10.2.3 绝缘子在线监测系统实际应用简介	235
10.3 输电线路覆冰的危害及防护措施	236
10.3.1 覆冰的概念、分类及危害	236
10.3.2 防护覆冰的措施	237
10.3.3 输电线路的防冰设计	241
10.4 输电线路状态检修方针	243
10.4.1 转变固定周期性停电检修观念	243
10.4.2 认真细致地开展设备评估	243
10.4.3 强化状态检修工作的组织领导	243
10.4.4 注重提高巡视、检修工作质量	243
10.5 输电系统维修优化安排	244
10.5.1 隐性损失的经济性量化	244
10.5.2 输电网络计划检修优化模型	245
10.5.3 基于 Benders 分解的主子问题分解	246
10.6 特高压直流输电系统维修安排优化	248
10.6.1 检修优化模型	248
10.6.2 Benders 分解法求解	249
10.7 发输电系统维修安排优化	251
10.7.1 维修安排优化的基本思想	251
10.7.2 维修安排优化的目标函数	251
10.7.3 维修安排优化的算法流程	251
10.7.4 维修安排优化的约束条件	252

10.7.5 对维修约束条件的处理	253
10.7.6 求解方法	253
参考文献	253
第 11 章 配电系统以可靠性为中心的维修	255
11.1 配网设备实施 RCM 的内容	255
11.2 配电设备的故障及检修	256
11.2.1 配电线路的故障及检修	256
11.2.2 配电主设备的故障及检修	256
11.3 配网设备运行维护	257
11.3.1 10kV 断路器的运行维护	257
11.3.2 利用 GPS 信号接收机进行配网巡线、检修	258
11.4 配网维修安排优化	258
11.4.1 售电损失目标函数优化模型	258
11.4.2 含售电损失与检修费用的优化模型	261
11.4.3 基于网络拓扑和遗传算法的配电设备检修计划优化模型	263
11.5 配网实施 RCM 时需要注意的事项	267
参考文献	268

第1篇 数学基础

本书主要内容是电力系统以可靠性为中心的维修。电力系统包含两个方面的内容：一是组成电力系统的电力设备，二是由电力设备组成的人造物理系统。所以本书的内容划分为两个部分：电力设备以可靠性为中心的维修；电力系统以可靠性为中心的维修。本篇简要地介绍了以可靠性为中心的维修以及所涉及到的数学基础。

在绪论中，详细地介绍了 RCM 所涉及的设备可靠性、维修性和可用度等几个概念，并介绍了以可靠性为中心的维修所包含的内容、国内外的检修策略发展过程以及我国 RCM 的发展状况等。在介绍以可靠性为中心的维修所包含的内容时，引用 SAE RCM 标准，并在此基础上综合我国 RCM 发展的实际情况，归纳了 4 条我国电力系统实施 RCM 所需要包含的内容。在详细介绍国内外的检修策略及我国 RCM 发展状况时，将检修策略分为三个阶段进行介绍，并介绍了国内几个实施 RCM 且取得实效性成果的项目。

本书第 2 章详细介绍了常用设备的故障时间分布函数及其参数估计方法，同时介绍了粗糙集、可拓学、ID3 算法、人工神经网络、贝叶斯估计、层次分析法以及模糊综合评判等常用的决策方法，接着介绍了 Monte-carlo（蒙特卡罗）模型以及马尔可夫模型等可靠性评估模型，最后介绍了 Benders 分解以及遗传算法等维修优化问题的常用解法。在本书中，设备故障时间分布函数主要是用来确定设备在不同维修方式下的维修周期，粗糙集、可拓学、ID3 算法、人工神经网络以及贝叶斯估计等方法作为目前较为常用的设备故障诊断方法在书中加以介绍。而在本书第三篇会涉及到系统的维修优化问题，在维修优化问题中基本都包含系统可靠性评估问题，所以在第二章数学基础部分先介绍了蒙特卡罗模型以及马尔可夫模型等常用的可靠性评估模型，然后介绍了维修优化模型求解的 Benders 分解法以及遗传算法。

第1章 绪 论

长期以来,我国电力设备采用的维修方式是定期检修,这种根据经验决定延长或者缩短维修周期的维修方式为设备的可靠性做出了不可磨灭的贡献。但是,定期检修存在着如下的弊端:定期检修周期很难准确确定,当不能准确制定设备定期检修周期时,可能会导致“维修过剩”或者“维修不足”。维修过剩会造成维修费用额外增加,甚至会出现没故障而修出故障的问题;检修不足则会导致设备可靠性达不到规定要求,即检修没有达到应有的目的。

随着社会的发展和市场的变化,定期检修的维修方式已经不能满足电力企业的要求。鉴于我国电力企业目前技术与经济条件,以可靠性为中心的维修(Reliability-Centered Maintenance, RCM)可以算是一种最佳的选择。这种方法是以设备故障模式和影响效果系统分析为基础的,出发点不是单纯提高可靠性和可用率,而是考虑经济性与可靠性的最佳结合,即以最经济的方式提高可靠性。所采用的方法是用技术的分析替代经验规定,用技术分析的结果作为维修决策的依据。

1.1 以可靠性为中心的维修基本概念

1.1.1 可靠性

在日常生活中经常遇到设备的可靠性的概念,对产品或设备进行评价时更会用到。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可靠性的一种评价。可靠性与产品、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,是衡量产品质量的一个重要指标。

在可靠性工程中,可靠性的含义是指物(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。

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“三个规定”的前提,就无法评价设备可靠性的_{大小},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。工作条件是指功能模式、负载条件、操作方式等;环境条件是指设备所处环境的温度、湿度、气压、污秽等级、振动、雷电活动等;工作方式可分为连续工作方式或间断工作方式。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、额定断路器容量等。超过此额定参数和允许值范围,设备制造商就不能保证设备正常运行。在环境恶劣的情况下,电力设备也更容易发生故障或失效。比如污秽或湿度太大时常会引起设备绝缘的表面放电、闪络甚至因击穿而损坏;当环境温度过高时,会引起设备发热、负载能力下降等。因此,“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。

之所以提出“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。设备性能随时间变化,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,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“规定的功能”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。

一般情况下,“规定的功能”主要是指设备的作用或主要性能,和技术要求密切相关。在不同的技术要求下,设备完成的作用或性能指标是不一样的。例如,断路器在开断不同短路电流值时,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较大,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高。这也是通常所说的,技术条件下降了,保证完成作用或任务的裕度就更些。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,一般情况指的是主要功能。

1.1.2 维修性

设备的维修性是对设备进行维修时的要求和能力的描述,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功能。“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,而其维修效果也可能不一样,因此有必要作出相应的规定,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的有如下一些因素:

- 1) 设备的可维修性。包括设备的结构、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如身高、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型,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,是机构部件故障还是电气绝缘故障,是导体接触部分故障还是固定部件故障,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的应用等可以更快、更准确地找出故障点。

5) 维修作业的环境。设备为安装场所是否具有有良好的维修条件,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,还是要临时搭建。维修作业时的气候条件,如室外设备遇上雨雪天气会对维修作业增加不少难度。此外为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人员的组织。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。而管理人员的组织协调作用,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。

上述情况表明,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。因此,对于同一种设备,同一种维修任务的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地分析,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。

1.1.3 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。

设备的可靠性是用于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,这就是上面所指的设备可用性。

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,从而发生了设备停机时间。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到达现场等情况。

度和评估设备的可用性,通常用设备的稳定可用度来表述。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而进行的与维修时间有关的一种可用度,记为 A_i 。 A_i 为平均无故障工作时间与平均无故障工作时间和平均故障修复时间之和的比值。

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修理作业所造成的停机,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造成工作安排延误,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。在设备的设计、研制时常用的可用度是固有可用度。

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性维修,而不得不让设备停机。在工程中评价设备的可用度必须考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涵义。

可达可用度是与工作时间、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 ,为工作时间与工作时间、预防性维修时间和修复性维修时间之和的比值。

与固有可用度 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的设备预防性维修,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,这就是设备在实际运行中可以达到的最高可用度,故称为可达可用度。

3) 使用可用度:设备在实际使用、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,也就是说设备因故障停机不能工作时,维修作业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准备等都需要花费时间,所有这些因素不同程度地延误了维修的具体作业时间。

在设备可达可用度 A_a 的基础上进一步考虑上述延误时间,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,为工作时间与工作时间、预防性维修时间、修复性维修时间和延误时间之和的比值。

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。

比较三个值,可以看到 $A_i > A_a > A_0$,即固有可用度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维修时间。在选用设备时,应当使设备的可达可用度尽可能接近固有可用度,也就是选用修复性维修时间尽可能短的设备。

1.1.4 以可靠性为中心的维修

以可靠性为中心的维修是指在对设备作维修决策的过程中,首要考虑设备的可靠性,在此基础上兼顾设备的维修性及维修经济性,并且使设备维修后达到规定可用度的一种维修方式。

1996年,SAE技术标准部在美国国防部授意下开始制定一项与RCM有关的标准。在此