



装备科技专著出版基金

高新科技译丛

 Springer

The Maintenance Management Framework:
Models and Methods for
Complex Systems Maintenance

复杂系统维修管理 模型与方法

【西】 Adolfo Crespo Márquez 著 尹晓虎 刘海燕 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

高新科技译丛

复杂系统维修管理模型与方法

The Maintenance Management Framework:
Models and Methods for Complex Systems Maintenance

【西】Adolfo Crespo Márquez 著

尹晓虎 刘海燕 译



重庆科技学院图书馆



1318508

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2012-095 号

图书在版编目(CIP)数据

复杂系统维修管理模型与方法 / (西) 马克斯著;
尹晓虎, 刘海燕译. —北京: 国防工业出版社, 2013. 1

(高新科技译丛)

书名原文: The Maintenance Management Framework:
Models and Methods for Complex Systems Maintenance
ISBN 978-7-118-08397-2

I. ①复... II. ①马... ②尹... ③刘... III. ①工业
工程-系统管理 IV. ①F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 253672 号

Translation from the English language edition:

The Maintenance Management Framework: Models and Methods for
Complex Systems Maintenance by Adolfo Crespo Márquez

Copyright © 2007, Springer London

Springer London is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

本书中文版由 Springer 授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 16 字数 301 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

献给 Rafael Ruiz Usano 教授

序

工业设施的失效预防及其发生故障后的及时辨识与修理,十分重要。维修问题已经成为研究热点,从近年来出版的学术论文和专著的数量上即可看出端倪。简单检索《可靠性工程与系统安全》(*Reliability Engineering and System Safety*)杂志,从1988年到现在发表的相关文章多达274篇。这些文章论及维修的各个方面,如特定维修策略的数学模型、人为因素、实践经验的利用、维修组织问题、工业案例研究等。这些仅仅是在这一本杂志上发表的论文,而类似的杂志还有很多。

广义上讲,建立一个好的维修计划涉及多个学科领域,因为这不仅需要管理/经营方面的专业知识,而且需要利用数学模型进行定量分析。最近15年来,美国核电站效能的显著提升就是充分利用了定量信息的结果。概率风险评估(Probabilistic Risk Assessments, PRAs)的定量结论使核电站管理机构相信,在核电站运行期间所进行的特定维修不会对公众健康和安全造成风险。PRAs还能量化定义系统和部件的可用度目标,这为管理者建立满足这些目标所需的最佳组织流程提供了可能。无论是从安全性角度,还是从电力供应角度看,这一基于效能的系统都是大有裨益的。

写这样一本交叉学科的书,诚非易事。本书能够付梓,归功于 Crespo Márquez 教授长期以来在维修管理和分析两方面所进行的不懈努力。书中包含了许多维修的数学模型,作者在系统介绍这些模型时深入浅出,这使得即使对特定模型不甚了解的读者也能理解其内涵和假设;当然,具备概率论的基本知识是必要的前提。这部分内容对于可靠性和风险评估等其他领域的研究人员和工程技术人员都将十分有用。

本书不仅注重维修模型数学推导的严密性,而且重视维修活动的组织和实施。此外,一些案例研究对于验证模型和方法在实践当中的适用性也很有帮助。

本书是对现有文献的有益补充,相信对工程实践人员和分析人员都很有帮助。

George E. Apostolakis

于麻省理工学院

前 言

本书主要讨论维修管理,它是为恰当地管理维修而采取的不同活动和经历的一系列阶段或步骤。书中特别强调了维修管理框架,这一概念指的是有效管理维修所需的必要的支撑结构和基础系统。为此,本书主要包括了以下三部分内容:

第一部分,维修管理的定义与描述;

第二部分,复杂系统维修的基本概念;

第三部分,维修管理框架的建立。

通过这三部分的论述:

(1) 详细刻画维修管理过程和框架,见第一部分;

(2) 回顾设计、开发及实现维修管理和维修工程领域相关管理和决策工具所需的基本概念和模型,见第二部分;

(3) 从实践的观点考察维修管理过程,确认可以使用特定建模工具的关键决策领域,见第三部分第7章;

(4) 介绍维修管理建模工具和工程方法,形成维修管理框架的基本支撑,见第三部分。

第一部分综述了维修管理的概念、过程和框架,探讨了有关这方面内容的不同观点。

第二部分分别介绍了失效和维修的概念与模型。在现代组织中很难见到维修概念的说法,这部分内容在其他著述中常被理解成维修策略。在许多组织中,这一概念并不明确,通常相互混淆,进而导致管理缺乏有效性和效率。

第三部分是本书的核心,从实践角度探讨了如何建立维修管理框架。这部分内容介绍了工程实践中构成维修管理的一系列活动,并把它们组合和抽象为对应于维修管理过程中特定功能的管理模块。

每个管理模块涵盖了不同的维修工程工具,包括模型、技术和方法等。第3部分对这些工具逐个进行了描述,介绍了其概念和分析基础。只有掌握了这些基本知识,才能理解和实现本书案例中所采用的工具。

通常,我们习惯于用不同的工具来解决相同的问题,这可为解决具有不同程度的非完美信息或具有不同复杂度的系统及其运行问题时,提供一定的灵活性。书中既有定性模型,也有定量模型,相关工具有些是解析性的,有些则是高度经验性的。

本书所选择介绍的工具及其性质和特征的描述,是作者近 17 年来在此领域研究和在许多项目及组织中实践应用的经验总结。书中介绍的案例都来自作者的工程实践,这为建立现代维修管理框架所定义的工具提供了最鲜活的应用证明。

Adolfo Crespo Márquez

Escuela Superior de Ingenieros

Isla de la Cartuja, Sevilla

致 谢

在此,笔者向帮助本书出版的人们和机构致以最诚挚的谢意!

多年来,Rafael Ruiz Usano 一直领导着 Seville 大学工程学院的工业组织研究小组从事维修管理和工程方面的研究,并倡导形成和谐友好的工作氛围。为此,我们都很感谢 Rafael 的支持,特用本书向他致敬。

Pedro Moreu de León 现为 AENOR 的维修标准化委员会主席和欧洲标准化组织维修管理标准化工作组的召集人,他在维修和维修管理概念的有关问题上给予了很大帮助。

Carlos Parra 来自委内瑞拉的 IngeCon,是使用可靠性领域的国际一流专家,他把在世界各地的组织中从事顾问活动的经历贡献出来作为案例研究,这些素材主要与危害度分析、RCFA、RCM 和 LCCA 有关。

来自 Heineken 的 Marcelo Tardelli 是一名经验丰富、学识渊博的维修工程师,他主要负责其公司在欧洲的维修改进项目,在有关维修概念的工程实践、重要设备的评估、预防性维修的规划和改进,以及建立全员生产维修(TPM)计划来优化维修组织的效率等方面,为我们提供了极有价值的信息。

工程学院的同事们,Rafael Ruiz Usano 和 Miguel Angel Muñoz 帮助完成了第 14 章维修活动调度的有关内容。

除了上述诸位给本书提供素材之外,还有其他一些同事也对书中的概念和案例进行了推敲。在此,非常感谢 Iberdrola 的 Antonio Sola 和 Luis Plaza, Ibermansa 的 Lauro Benito 和 Tomás Ruiz, GE Plastics 的 Ricardo Conde,以及 Alabama Huntsville 大学的 Jatinder Gupta 等,对我们的帮助。

感谢 Sevillana-Endesa 的 Fernando Diz-Lois、Ertisa 的 Alfonso Pascual、Intel 公司的 James Ignizio 等,他们对如何在不同的企业和工业部门实现维修管理的概念及维修管理系统提出了很多有益的意见和建议。

本书得以完成,离不开西班牙科技和教育部的资助(研究项目编号 DPI:2004-01843“Modelling Policies for the Improvement of Productions Systems Dependability”)。

最后,特别感谢笔者的家人:Lourdes, Lourdes Jr, Adolfo Jr 和 Gonzalo,正是他们的关爱、理解和宝贵支持,才使得本书如期出版。

再次感谢上述诸位,谢谢!!

目 录

第一部分 维修管理的定义与描述

第 1 章 维修管理的概念	1
1.1 维修管理的定义	1
1.2 维修管理的有效性与效率	2
1.3 维修目标、策略和职责	3
1.3.1 设定维修目标	3
1.3.2 确定维修策略	4
1.3.3 明确维修职责	4
1.4 战役、战术和作业三个层次上的维修策略实施	5
参考文献	6
第 2 章 维修管理的过程、框架和支柱	7
2.1 描述维修管理的原因	7
2.2 维修管理过程	9
2.2.1 基本活动	9
2.2.2 维修规划	9
2.2.3 维修调度	12
2.2.4 管理维修活动的实施	12
2.2.5 维修评估	13
2.2.6 确保持续改进	14
2.2.7 考虑重新设计设备	15
2.3 维修管理框架	15
2.3.1 维修框架综述	16
2.3.2 定义维修管理的支撑结构	17
2.4 维修管理支撑支柱的作用	20
2.4.1 信息技术的作用	20

2.4.2 维修工程的作用	22
2.4.3 组织支柱的作用	26
参考文献	27

第二部分 复杂系统维修的基本概念

第3章 失效的概念	30
3.1 失效事件和相关术语	30
3.2 故障状态和相关术语	31
3.3 维修时间	32
参考文献	33
第4章 失效模型	34
4.1 失效数据的重要性	34
4.2 失效模型的基本函数	34
4.3 经验失效分布函数和理论失效分布函数	37
4.4 威布尔分布函数和威布尔分析	37
4.5 威布尔分析	40
参考文献	47
第5章 维修的概念	49
5.1 维修类型	49
5.1.1 维修活动分类	49
5.1.2 预防性维修	50
5.1.3 修复性维修	50
5.2 维修活动	50
5.3 约定层次	51
5.4 维修级别	52
5.5 维修作业线	53
5.6 维修策略	54
参考文献	55
第6章 维修模型基础	56
6.1 维修策略建模简介	56
6.2 完全换件模型	57
6.2.1 固定间隔换件	57

6.2.2 基于役龄的换件	58
6.3 部分换件模型	60
6.3.1 部分预防性换件的最小修理模型	60
6.3.2 部分预防性换件的正常修理模型	61
6.4 换件的非完美维修模型	62
6.5 换件的冲击模型	64
6.6 检测模型	65
参考文献	66

第三部分 建立维修管理框架

第7章 维修管理建模关键决策领域综述	67
7.1 简介	67
7.2 通用维修管理模型	67
7.3 定义维修目标和策略	68
7.4 定义资产优先级和维修策略	68
7.5 即时干预高影响弱点	69
7.6 设计预防性维修计划和资源	69
7.7 预防性计划、调度和资源优化	70
7.8 维修作业评估和控制	70
7.9 资产寿命周期分析和换件优化	70
7.10 持续改进和利用新技术	71
参考文献	71
第8章 定义维修目标和战略	73
8.1 简介	73
8.2 平衡记分卡和维修	73
8.3 恰当选择维修关键效能指标	74
8.4 从关键效能指标到功能指标	75
参考文献	77
第9章 设定资产优先级的危害度分析	78
9.1 简介	78
9.2 定性危害度分析技术	78
9.3 基于风险评估技术的危害度分析	80

9.4 基于层次分析法的危害度分析	84
9.5 定义维修战略	91
参考文献	92
第 10 章 高影响弱点的失效根源分析	93
10.1 失效根源分析的时机和原因	93
10.2 失效根源分析技术简介	94
10.3 失效原因描述	94
10.4 失效根源分析方法和过程	95
10.5 案例研究	96
参考文献	97
第 11 章 维修计划设计方法	98
11.1 以可靠性为中心的维修简介	98
11.2 以可靠性为中心的维修概念	98
11.3 RCM 实现	99
11.3.1 实现过程和审查小组	99
11.3.2 系统选择和使用环境定义	101
11.4 失效模式和影响分析	102
11.4.1 方法简介	102
11.4.2 功能描述	103
11.4.3 定义功能失效	103
11.4.4 定义失效模式	104
11.4.5 描述失效模式后果	105
11.5 以可靠性为中心的维修和隐藏的失效模式	108
11.5.1 以可靠性为中心的维修和隐藏失效	108
11.5.2 隐藏失效及其维修	109
11.5.3 预防隐藏失效模式导致多重失效的维修活动	109
11.6 以可靠性为中心的维修活动选择	110
11.6.1 确定失效模式影响	110
11.6.2 预防性维修活动	110
11.6.3 修复性活动	112
11.7 结论	112
参考文献	113

第 12 章 维修能力规划模型	114
12.1 维修资源管理模型	114
12.2 维修人员规划和调度	114
12.2.1 生灭过程的排队论模型	115
12.2.2 蒙特卡洛仿真模型	121
12.3 维修物资需求规划	125
12.3.1 统计库存模型	126
12.3.2 带启发式的选择性控制程序	128
12.3.3 采用物料需求规划/制造资源规划(MRP/MRPⅡ)技术	129
12.4 维修合同样本	130
参考文献	132
第 13 章 维修活动规划模型	134
13.1 马尔科夫过程模型	134
13.2 维修优化的马尔科夫过程模型	135
13.2.1 退化模型	136
13.2.2 修复性维修模型	138
13.2.3 计划性维修模型	140
13.2.4 固定役龄的维修模型	142
13.2.5 基于固定役龄和检测的维修模型	145
13.3 半马尔科夫过程规划模型	149
13.3.1 SMDP 模型的形式	150
13.3.2 修复性维修模型	152
13.3.3 非完美修复性维修模型	153
13.3.4 预防性维修模型	155
13.3.5 案例研究	157
参考文献	160
第 14 章 维修调度模型	161
14.1 维修调度过程简介	161
14.2 关键路径方法和计划评审技术	162
14.2.1 网络分析概述	162
14.2.2 关键路径方法	163
14.2.3 计划评审方法	164

14.2.4	基于 CPM/PERT 的维修工程案例研究	166
14.3	维修调度和费用分析方法	170
14.3.1	问题讨论和案例研究	170
14.3.2	以最少的费用增加加速项目进程	171
14.4	预防性维修调度问题的蒙特卡洛仿真模型	175
14.4.1	简介	175
14.4.2	案例研究:有限生产能力系统的维修调度	176
14.4.3	制造系统建模	176
14.4.4	预防性维修调度策略优化	181
14.4.5	仿真和优化结果	185
14.4.6	小结	188
	参考文献	188
第 15 章	维修管理总体评估	191
15.1	简介	191
15.2	时间变量的刻画	191
15.3	与时间有关的常见测度的定义	193
15.4	设备使用可靠性测度	194
15.4.1	使用可用度	194
15.4.2	使用可靠性	194
15.4.3	使用维修性	194
15.5	维修管理效果评估	194
15.6	维修管理效率评估	196
	参考文献	197
第 16 章	失效对全寿命周期费用分析的影响	198
16.1	简介	198
16.2	寿命周期费用分析的基本要素	199
16.3	设备寿命周期中不同阶段费用的刻画	201
16.4	可靠性对寿命周期费用的影响	202
16.5	可靠性对寿命周期费用影响的评估模型	203
16.5.1	固定失效率模型	203
16.5.2	确定性失效率模型	204
16.5.3	威布尔分布失效率模型	205

16.5.4	模型要点与不足	207
16.6	案例研究	208
16.6.1	案例研究——固定失效率模型	208
16.6.2	案例研究——确定性失效率模型	208
16.6.3	案例研究——威布尔分布失效率模型	209
16.6.4	案例研究——结果讨论	209
16.7	总结	210
	参考文献	210
第 17 章	提高组织效率,持续改进维修	212
17.1	简介	212
17.2	建立生产过程人员的主人翁意识	212
17.3	自治维修简介	213
17.3.1	过程定义	213
17.3.2	新职能定义	214
17.4	提高组织整体效能	216
17.5	维修规划和维修质量	218
17.6	早期设备管理和维修预防	219
17.7	通过教育和培训改进维修	220
	参考文献	220
第 18 章	E 维修转型	221
18.1	简介	221
18.2	E 维修的产生原因	221
18.3	E 维修能力	223
18.3.1	E 维修——新的优势领域	223
18.3.2	E 维修对维修类型和策略的潜在改进	223
18.3.3	E 维修对维修保障和工具的改进	225
18.3.4	E 维修对维修活动的潜在改进	226
18.4	E 维修面临的挑战	226
18.4.1	E 维修需求	226
18.4.2	与维修类型和策略有关的 E 维修需求	226
18.4.3	与维修保障和工具有关的 E 维修需求	228
18.4.4	与维修活动有关的 E 维修需求	228

18.5 E 维修现状	228
18.5.1 简介	228
18.5.2 E 维修标准	228
18.5.3 E 维修过程的实现	233
18.6 总结	234
18.7 E 维修的新术语	234
参考文献	235

第一部分 维修管理的定义与描述

第1章 维修管理的概念

1.1 维修管理的定义

根据《韦伯词典》,管理是指通过部署和操纵各种资源(人力、财力、物力、智力或其他无形资源)来领导或指导某一或部分组织机构(尤指商业组织)运营的过程。从功能来看,管理也可以看作是测量某一指标并以此来调整初始计划并使其达到预定目标的过程。这一过程也适用于无初始规划的情况,对测量反映的各种情况进行管理可以先于并归于对目标的管理。

按照上述认识,维修管理可以看作是领导或指导维修组织运行的过程。在描述这一过程之前,首先要理解什么是维修组织,组织内包含哪些资源,组织运行目标是什么。

根据文献[1],维修是指在产品寿命周期内为保持或恢复其执行规定的功能(或为提供规定的服务而需要的功能或功能组合)所采取的所有的技术、管理和经营活动。

这一定义对维修的目标进行了明确界定,有助于理解在一个组织机构中哪些部门与维修有关。下面,给出维修管理的定义^[1]:

“确定维修目标或优先级(管理部门和维修部门所分配和接受的目标)、策略(实现维修目标的管理方法)、职责及实现手段(包括维修计划、维修控制与监控、改善组织经济性等)的所有管理活动。”

维修管理的这一定义与现代维修文献^[2-4]中的解释十分接近。更广义的观点认为,维修管理是企业为使其投资回报最大化而对所有资产采取的管理^[5]。也有文献^[6]将维修系统看成是一个简单的输入/输出系统,系统输入是人力、管理、工具、设备等,输出是配置良好、能可靠执行规定任务的设备,并指出维修系统运行所需要的活动包括维修计划(维修思想、维修任务预测、能力分配和调度)、维修组织(任务设计、标准、任务测评和项目管理)和维修控制(包括任务、物资、库存、费用等的控制及质量管理)。

本书采用了欧洲维修术语标准^[1]中对维修管理的定义,可以概括为以下四个