



湖南大学出版社
图书出版基金资助项目

设备e-维护模式 的理论与技术

于德介 刘坚 李蓉 著

湖南大学出版社

内 容 简 介

本书以提升企业的核心竞争力和改进企业的设备维护整体水平为目标,提出了一种效益驱动的设备维护新模式——设备e-维护,从组织形式、工作方式、管理机制和改进策略四个方面对e-维护模式的关键支撑技术展开了研究。本书可以作为企业经营、工业工程、企业信息化与制造工程等各类与设备维护相关学科和专业的参考书和研究生教材,也可供制造企业工程技术人员和管理人员参考和培训。

图书在版编目(CIP)数据

设备e-维护模式的理论与技术/于德介,刘坚,李蓉著.

—长沙:湖南大学出版社,2005.11

ISBN 7-81113-000-9

I. 设... II. ①于... ②刘... ③李... III. 设备
维修—研究 IV. F273.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第130744号

设备e-维护模式的理论与技术

Shebei e - Weihu Moshi de Lilun yu Jishu

作 者: 于德介 刘 坚 李 蓉 著

责任编辑: 厉 亚

责任校对: 祝世英 张建平

封面设计: 吴颖辉

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部), 8821142(编辑室), 8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部), 8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.cn

网 址: <http://press.hnu.cn>

总 经 销: 湖南省新华书店

印 装: 湖南航天长字印刷有限责任公司

开本: 880×1230 32开 印张: 5.5

字数: 159千

版次: 2005年12月第1版

印次: 2005年12月第1次印刷

印数: 1~2 000册

书号: ISBN 7-81113-000-9/F·116

定价: 12.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

前 言

设备维护是保证制造企业经营成功的关键因素之一。提升制造业的设备维护水平不仅能增强整个制造业的核心竞争力,还能有效地推动生产、环境与社会的和谐发展。

近年来兴起的先进制造方式极大地改变了设备维护的工作对象和工作环境,而可持续发展策略的推行也要求人们重新认识设备维护的社会价值,因而传统的设备维护模式面临着如下五个方面的挑战:维护资源配置的优化、设备状态的预知化、设备维护组织的柔性化、设备维护管理的工作流化和设备维护评估的量化。应对上述挑战必须立足于设备维护模式的创新,通过构建新维护模式的体系理论和研究其关键支撑技术来指导新维护模式在企业的实施和推广,从而带动制造业设备维护水平的整体提升。

设备维护的整体改进需要设备维护模式的创新加以支持,而设备维护模式创新源于对维护相关学科领域新技术和新思想的吸收与总结。本书中以系统论为指导,以提升企业的核心竞争力和提高企业的设备维护整体水平为目标,以信息技术和管理科学为研究手段,综合考虑电子商务(e-service)、预知维护、敏捷制造和e-制造等制造业环境的发展趋势,提出了一种效益驱动的设备维护新模式——设备e-维护。从共有维护观和方法论的角度辨识了e-维护模式的构成要素,从学科结构性的角度分析了e-维护模式构成要素的结构框架,从学科整体性的角度分析了e-维护模式构成要素间的相互关系,从相对稳定性和灵活性的角度开展了e-维护模式的进化研究,从工具性和实践性的角度开展了e-维护模式实施战略的研究,从指导e-维护模式研究与实施的角度构建了设备e-维护模式的体系理论框架。

本书从组织形式、工作方式、管理机制和改进策略四个方面对e-维护模式的关键支撑技术展开了研究。设计了e-维护的联盟组织

框架和矩阵组织结构,提出了基于 Agent 的组织建模方法 ABOAM;探讨了 e-维护模式的在线化工作方式,开展了维护资源的数字化研究和维护设备的 e-维护数字化改造;针对 e-维护模式中维护流程的优化研究了设备维护系统的工作流建模方法及其性能仿真技术;着眼于 e-维护模式的持续改进,本书提出了设备维护模式的量化评估方法。在上述内容的论述中也简要介绍了设备 e-维护模式在石化企业的部分实施情况。

本书的章节安排如下:第 1 章提出了创新的设备 e-维护模式;第 2 章构建了 e-维护模式的体系理论,明确了后续章节的研究内容;第 3、4、5、6 章从组织形式、工作方式、管理机制和量化评估四个方面对 e-维护模式的支撑技术进行了深入研究,为 e-维护的企业实施奠定了技术基础。

本书是作者及其指导的博士研究生和硕士研究生共同研究的成果。书中很多内容均取材于他们的研究报告和学位论文,特别是袁少辉和郭建文等人为本书的成稿做出了许多贡献。在此对他们的辛勤工作表示由衷的谢意。还要感谢中石化巴陵分公司李德刚、李海根、胡跃华、黄雍强和舒浩华等同志在 e-维护模式企业验证实施中给予的支持与建议,他们的帮助使本书增色不少。

本书吸收了课题组多年来的研究成果,参考了大量的国内外最新资料,作者已尽可能在参考文献中列出,在此对这些研究者表示真诚的感谢。

作者受水平的限制,本书所提出的 e-维护模式仍处于研究和探索中,诸多的理念、方法和关键技术仍有待进一步地深入和拓展,e-维护模式的实施与运作也处于初级阶段。因此本书难免会有疏漏和谬误之处,真诚希望广大读者批评指正、不吝赐教。

作 者

2005 年秋于长沙岳麓山下

目 次

第 1 章 绪论

1.1 设备维护及其面临的挑战	(1)
1.1.1 设备维护的重要性	(1)
1.1.2 设备维护方式的发展历程	(3)
1.1.3 设备维护所面临的挑战	(4)
1.2 设备维护的发展与创新	(6)
1.2.1 设备维护的发展趋势	(6)
1.2.2 远程维护模式与集成维护模式	(13)
1.2.3 设备 e-维护模式的提出	(16)
1.3 本章小结	(19)

第 2 章 设备 e-维护模式的基本体系理论

2.1 设备 e-维护模式的基本体系理论	(21)
2.1.1 设备 e-维护模式构成要素的辨识	(21)
2.1.2 设备 e-维护模式构成要素的结构框架及 相互关系	(24)
2.1.3 设备 e-维护模式的进化研究	(25)
2.1.4 设备 e-维护模式的实施战略与流程	(27)
2.1.5 设备 e-维护模式的体系理论框架	(30)
2.2 本章小结	(31)

第 3 章 设备 e-维护模式的组织研究

3.1 e-维护模式组织设计的影响要素分析	(33)
3.2 e-维护的联盟组织框架和矩阵组织结构	(35)
3.3 e-维护的组织结构设计	(37)
3.3.1 基于 Agent 的 ABOAM 组织建模方法	(39)
3.3.2 设备 e-维护组织的分析与建模	(42)
3.4 e-维护的组织运作设计	(53)
3.4.1 基于关系网模型的 e-维护联盟盟友搜索 研究	(55)
3.4.2 基于动态合同网的 e-维护联盟协调研究	(61)
3.4.3 e-维护联盟的风险管理研究	(66)
3.5 本章小结	(70)

第 4 章 设备 e-维护模式的在线化工作方式研究

4.1 e-维护模式的在线化工作方式	(72)
4.1.1 在线化维护工作方式的特点	(72)
4.1.2 在线化工作方式的关键支撑技术	(73)
4.2 设备 e-维护工作的数字化研究	(74)
4.2.1 设备的 e-维护数字化改造	(75)
4.2.2 设备维护知识的数字化表示	(79)
4.3 设备 e-维护工作的协同研究	(90)
4.3.1 基于 CSCW 的远程协同诊断研究	(91)
4.3.2 基于 IP 组播技术的多媒体通讯研究	(101)
4.3.3 远程协同诊断系统的实现	(105)
4.4 本章小结	(108)

第 5 章 设备 e-维护模式的工作流建模与仿真优化

5.1 Petri 网的基本原理及性能评估研究	(109)
5.1.1 基本 Petri 网	(110)

5.1.2	库所/变迁(P/T)网系统	(110)
5.1.3	Petri 网的时间扩展	(113)
5.1.4	基于 GSPN 的系统性能分析方法	(114)
5.2	基于 Petri 网的 e-维护 workflow 建模	(117)
5.2.1	e-维护基本流程要素的 Petri 网表达	(118)
5.2.2	基于 Petri 网的 e-维护 workflow 建模示例	(119)
5.3	基于 GSPN 的设备维护系统性能仿真研究	(120)
5.3.1	风机机组维护系统的 GSPN 建模	(120)
5.3.2	基于 GSPN 模型的风机维护系统性能 仿真	(122)
5.3.3	保证风机维护系统可靠性的经济性仿真 优化	(125)
5.4	风机维护系统的模型修正与仿真	(127)
5.5	本章小结	(131)

第 6 章 设备维护模式的量化评估研究

6.1	基于功能建模和 DEA 的设备维护模式评估研究	(135)
6.1.1	设备维护模式的功能建模	(135)
6.1.2	基于功能模型的企业设备维护与管理投入 产出分析	(136)
6.1.3	企业设备维护模式评估模型的选择	(137)
6.1.4	方法应用示例与评估结果分析	(139)
6.2	基于 BSC 和 AHP 的设备维护模式评估研究	(142)
6.2.1	设备维护与管理评价指标体系的构建	(142)
6.2.2	目标实现指数设计	(145)
6.2.3	方法应用示例与评估结果分析	(149)
6.3	本章小结	(150)

参考文献	(151)
------------	-------

第 1 章 绪 论

按照英国标准 3811 号的定义,维护(maintenance)被描述为“为确保设备(包括设施和装备)能履行其期望功能或是恢复其期望功能所进行的所有活动,期望功能包括设备用户对设备能力及其程度的要求”^[1]。以此为基础文献[2]给出了设备维护(plant maintenance)的扩展定义:设备维护是企业(部门)依据其生产经营目标,综合地考虑安全、环境保护和资源合理利用等各种因素,动员全体成员参加,通过各种技术、经济、管理手段的相互配合,使包括企业生产设备、设施、系统及产品在内的实体,在寿命周期内保持或恢复自身功能的过程。由此可见,设备维护不仅仅是一种生产技术方式,更是一种企业经营、管理和运作的模式,涉及技术、经济、组织和管理等多个层面。

1.1 设备维护及其面临的挑战

1.1.1 设备维护的重要性

设备维护不仅是保证制造企业经营成功的关键因素之一,同时也对社会的可持续发展有重要意义,所以其重要性要从经济(企业经营)和社会(社会发展)两个视角进行论述。

从经济视角分析,设备维护可视为现代企业核心竞争力的构成要素之一。因为现代企业之间的竞争是全方位的,企业的核心竞争力包括更快的市场响应时间(time)、更优的产品质量(quality)、更优化的产品成本(cost)和更完善的产品服务(service)。

提高企业市场响应能力的核心是缩短其产品的设计和制造周期,而确保设备的正常运行是缩短制造周期的基本保证。从制造的角度,企业对市场的响应表现为生产计划,生产计划的执行情况往往决定了企业的市场响应时间,而设备的非计划停车则是生产计划正常执行的最主要制约因素,所以作为避免设备非计划停车的主要技术和管理手

段,设备维护对企业的市场响应能力有重要影响。

虽然决定产品质量的因素众多,但制造设备的性能往往起着决定性的作用,任何设备性能的劣化或是故障均意味着它所执行工序的质量难以满足相应的设计期望,而设备保养正是延缓设备劣化和避免设备故障的关键技术举措。

设备维护是企业实现其成本优化必须考虑的重要内容。一方面,设备的维护与管理开支是企业最大的单个可控制费用^[3],就制造企业而言其设备维护与管理费用占到企业制造成本的 15%~40%(平均为 28%)^[4],且随着各种新技术与新设备在制造业的广泛应用而不断增加,年增幅达到 10%~15%^[5];另一方面,制造企业中设备价值占到固定资产总价值中的 70%左右^[6],强化设备的维护与管理不仅是企业固定资产保值和增值的关键内容,还是提高企业设备投资效益的重要保证。

设备维护也是设备制造商必须向设备用户提供的核心服务,在产品日趋同质的市场竞争中,良好的售后服务往往对企业的市场地位具有决定性的意义,作为设备制造商售后服务的主要内容,设备维护的水平是设备制造商核心竞争力的重要标识^[7]。随着时间因素在企业竞争中重要性的不断提高,设备用户更关心设备的正常运行能力(设备的可靠性),而保证设备的上述能力正是设备制造商的职责,这点对石化、冶金、电力和航空运输等行业的设备供应商尤为重要。波音公司通过为飞机用户提供良好的设备维护、客户支持,为其产品赢得了极高的用户满意度^[8]。

综上所述,设备维护从市场响应时间、产品质量、产品成本和产品服务四个方面对企业的竞争力产生重要影响,因而也是企业核心竞争力的构成要素之一。

从社会视角考虑,设备维护是支持社会可持续发展的重要保障。一方面,设备维护是避免设备事故的关键机制。相关部门的资料统计显示,70%左右的事故与设备维护与管理不善有关^[9],“2003 年 12 月 23 日中石油川东北特大井喷”和“印度博帕尔毒气泄漏”等重大恶性事故的发生都是设备维护不当造成的严重后果。另一方面,设备维护是

影响企业生产经营与其作业环境协调发展的重要因素,生产造成的环境污染和资源浪费是企业与其作业环境协调发展的主要威胁。随着各种强制性环境保护法规和健康、安全与环境管理体系(health safety and enviroment management system, HSE)的推行,因为工艺落后等原因造成的“主动”环境污染日益减少,而由于设备故障和设备非正常运行造成的“被动”环境污染成为制约企业与其作业环境协调发展的主因。激烈的市场竞争要求企业以最少的资源消耗获得最大的产出,而主要的资源浪费源于设备的非正常运行。所以 Tschuschke 指出“对于所谓可持续发展,维修是一项关键性的技术”^[10],而“绿色维护”^[11]已成为设备维护与管理的工作目标。

鉴于设备维护的重要性,设备维护的改进研究多年来一直是机械工程领域和管理工程领域的研究热点。

1.1.2 设备维护方式的发展历程

随着生产设备的大规模应用,设备维护逐渐成为社会生产经营活动中的一个必要环节。John Moubay^[12]将设备维护方式的发展划分为三代,表 1.1 从发展时间、工业背景、维护目标、设备劣化理论、维护支撑技术和典型维护策略等方面对设备维护方式的发展历程进行了比较。由设备维护的发展历程可知,追求更高的生产效率和更优良的生产作业环境是企业改进设备维护的内在动力,反映社会可持续发展意愿的各种安全、环保和能源法规是推动设备维护进步的外部积极因素,而科学技术的不断进步和管理思想的不断创新为设备维护的发展奠定了技术手段和方法论的基础。

表 1.1 设备维护方式发展历程的分析与比较

方式 内容	第一代设备维护方式 1950 年以前	第二代设备维护方式 1950~1970 年	第三代设备维护方式 1980 年至今
工业背景	工业领域的机械化程度不高,设备的停机损失不大;设备结构简单,易于维护	二次世界大战极大地推动了工业领域的机械化,从而增加了设备的停机损失;设备种类增加,结构变得复杂,增加了设备的维护难度	推动工业变革的因素越来越多,企业由静态竞争转向包括时间、质量、成本和服务(TQCS)等因素的全面动态竞争

续表 1.1

方式 内容	第一代设备维护方式 1950 年以前	第二代设备维护方式 1950~1970 年	第三代设备维护方式 1980 年至今
维护目标	故障维修	追求更高的设备利用率和可靠性,更高的设备寿命和更低的设备运行成本	追求更高的设备利用率和可靠性,更高的生产安全性,更好的产品质量,更长的设备寿命和更好的费用效率
劣化理论	无	认为所有设备的劣化过程都表现为“浴盆曲线”	设备的劣化过程表现为 6 种模式(见图 1.1)
支撑技术	简单的设备维修、润滑、清洁和保养技术	定期的设备检查、维护计划与控制技术(PERT 和 Gantt 图)和原始计算机	状态监测、设备的可靠性设计、风险研究、故障模式、故障影响及危害性分析、高性能计算机、专家系统和自主的团队工作
典型策略	事后维护(breakdown maintenance)	计划维护(scheduled maintenance)和预防维护(preventive maintenance)	状态维护(condition based maintenance)和可靠性维护(reliability centered maintenance)

Nowlan 和 Heap^[13] 针对美国航空公司的设备可靠性进行了统计和分析,发现设备的劣化进程表现为图 1.1 所示的六种模式,其中模式 A 占样本总数的 4%,模式 B 占样本总数的 2%,模式 C 占样本总数的 5%,模式 D 占样本总数的 7%,模式 E 占样本总数的 14%,模式 F 占样本总数的 68%。图中 T 表示设备的使用时间, P 表示设备发生故障的可能性。Nowlan 和 Heap 的研究为设备维护的发展创新提供了理论支撑,从而衍生出多种维护策略。

设备维护方式的发展是一个持续的动态过程,它必将随着生产方式的进步而不断发展完善。

1.1.3 设备维护所面临的挑战

设备维护作为制造企业的一项关键业务流程,它服从并服务于企业的生产经营。近年来兴起的先进制造模式极大地改变了设备维护的工作对象和工作环境,使得设备维护的工作对象——设备日益复杂化、

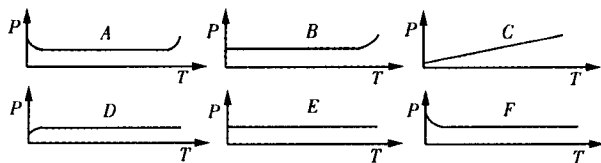


图 1.1 不同的设备劣化模式曲线

大型化和高速化,同时也使得制造企业的组织形式更多样,生产方式更具柔性。这些变化使得企业的设备维护面临着五个方面的挑战:

(1)设备的复杂化和大型化对企业的设备维护资源提出了更高的要求^[14,16,22,66,112,115]。现代生产设备是一个复杂系统,不仅包括机械、液压和电气控制等多个构成部分,而且日趋精密,这类设备的维护要求企业必须具备更全面的维护资源(包括宽知识面和多维护技能的设备维护人员、更先进的设备监测与维修工具和更全面的维护设备技术资料等),而企业仅仅依靠自身的维护资源往往难以满足上述要求,因而如何通过社会化维护资源的优化配置和综合利用来满足设备复杂化与大型化对企业设备维护资源的高要求是当前设备维护改进研究的重要课题。

(2)设备的高速化和满负荷运行要求实施更先进的预知维护策略^[25,29~31,66]。设备的高速化和满负荷运行一方面提升了企业的劳动生产率,另一方面也意味着设备故障造成的损失也会激增,同时设备事故的后果也更严重,所以必须实施更先进的预知维护(predictive maintenance)策略以力求设备的“零故障运行”。但预知维护策略的实施不仅需要设备状态评估与预测技术的支撑,还需要有相应组织形式、工作流程、管理机制和软件工具的配合,这都是设备维护改进研究的重要内容。

(3)设备维护工作的随机性和先进制造技术的应用对设备维护的组织柔性提出了更高要求^[48,49,66]。企业设备构成的多样性导致其劣化进程也彼此不同,加之影响设备劣化的因素众多,所以设备维护工作的负荷是随机的,这要求设备维护组织在职能和结构维度上具备更高的柔性。作为应对动态市场竞争的重要手段,先进制造技术的应用提升

了制造企业的制造柔性;作为服务于生产(制造)的设备维护,它的组织柔性必须适应企业制造柔性的变化,研究柔性的设备维护组织形式是改进设备维护工作不可回避的难题。

(4)设备维护的长流程特性要求更科学和更规范的维护管理机制以提高其管理效能^[24,50,51,66]。设备维护包括设备保养、设备状态的监测与评估、设备故障的诊断、设备维修、备配件供应与管理及设备改造等多个业务流程,涉及多个设备维护职能部门,传统的面向职能的设备维护管理机制使得设备维护任务在各职能部门之间的流转耗费了大量的人力和时间资源,降低了设备维护的管理效能。如何在设备维护中实施面向流程的管理机制是设备维护改进研究的又一新课题。

(5)先进制造模式的不断完善要求设备维护的改进必须是持续的^[95~102,115]。设备维护是企业的持续过程改进(continuous process improvement)业务,一方面它要适应制造模式的不断进步,另一方面企业有持续提升设备维护效能的需求。维护改进的持续性对设备维护的评估方法有明确要求,即不同考核期的评估结果必须在反映维护改进的同时指明后续改进研究的重点与方向,所以设备维护的评估方法研究成为设备维护持续改进的技术保障。

应对设备维护所面临的挑战成为当前设备维护改进研究的主旨,也决定了设备维护的发展趋势。

1.2 设备维护的发展与创新

1.2.1 设备维护的发展趋势

从应对设备维护所面临的挑战出发,设备维护的发展趋势可以归纳为如下五个方面:维护资源配置的优化、设备状态的预知化、设备维护组织的柔性化、设备维护管理的工作流化和设备维护评估的量化。下面就设备维护五个发展趋势的表现形式、具体内容和相关研究工作进展进行论述。

(1)设备维护资源的优化配置

设备维护所需的资源是多样的,包括人力、信息、工具、资金、材料和能源等,其中核心的是人力资源和信息资源。以改进企业的设备维

护为目标,对维护资源进行优化配置的关键在于两点:设备维护职能的社会化专业化分工和设备维护资源的数字化共享与集成,前者的表现形式是设备维护业务的外包,后者的表现是在设备维护领域实施集成维护。

改进设备维护的首要目标是提升设备维护效能,而让最具比较优势的单位承担相应的设备维护职能是提升设备维护效能最有效的手段。设备用户有最丰富的设备使用经验和最明确的维护需求,设备制造商有最完备的设备结构信息和最明了的设备设计意图,设备维护服务商有最丰富的设备维护人力资源和专业工具,备配件供应商有最优化的备配件供应渠道,而科研院所拥有最先进的设备故障诊断技术,鉴于此将企业的设备维护业务外包给相应的设备维护服务商(包括制造商、供应商和科研院所)逐渐成为企业的共识,同时也成为设备维护改进研究的热点。Tsang^[14]将设备维护的外包决策列为设备维护战略决策的四个构成内容之一,并归纳了设备维护外包的三个关键问题:外包设备维护业务的选择、设备用户与设备维护外包服务商的合同关系和设备维护外包的风险管理。Quinn 和 Hilmer^[15]指出,决定某项维护业务是否外包的因素有两点:即该项维护业务是否有提升企业竞争力的潜质和该项维护业务的外包市场化程度,并认为只有那些不损害企业核心竞争力的并且具备充分竞争市场环境的维护业务才适宜于外包。Martin^[16]归纳了设备维护业务外包中设备用户与维护服务商之间的三种合同关系:工作包合同、运营合同和租用合同。工作包合同外包主要指将具体的设备维护任务外包给服务商,而维护任务的内容设计、流程规划、进程监控和质量验收仍由设备用户完成,该种设备维护外包是对用户自身维护能力不足(相对于设备维护高峰)的一种补充。运营合同外包将设备的维护业务整体外包给服务商,用户只通过一些设备维护指标指导和约束服务商开展设备维护工作,这些指标包括设备完好率、设备使用率和设备故障间隔时间等,运营合同外包使得用户和服务商之间建立了一种战略依存的关系。租用合同外包指用户只租用服务商的设备,服务商不仅拥有设备的所有权,还负责对设备进行全面维护,租用合同外包是企业降低设备前期投资的一种商业行为。

Campell^[17]、Lonsdale^[18]、Earl^[19]和 Lacity^[20,21]等一方面对设备维护外包的风险进行了分析,认为大致包括如下几种风险:如关键技能的丧失、维护部门与企业其他职能部门沟通的减少、维护服务商的失控、用户与服务商能力上的失衡、维护员工情绪的低落、外包的隐性成本和优秀员工的外流。另一方面也给出了企业应对上述风险的一些原则,如更多地关注维护业务外包受影响的员工,保持定期修改外包合同的权利,将业务外包给两个以上的服务商,构建专业化的团队与服务商协作和在外包合同的谈判、管理与服务商的评估过程中尊重专家的意见。国内设备维护的外包研究刚刚兴起,范体军^[22~24]以设备维护的工单管理为核心,通过组合设备维护流程维度(事后维护、预防性维护和预测性维护)和时间维度(长期、中期和短期)提出了设备维护外包的九种策略,并定性分析了九种策略的特点,结合发电企业的具体需求设计了发电企业的设备维护外包总体模式。

(2)设备预知维护策略的实施

预知维护是在综合考虑设备的历史状态、当前状态、设备的劣化模式及其固有特性等多种因素的基础上,对设备未来的状态进行预测,依据预测的结果判断设备将要可能出现的故障或性能劣化,从而提前做出维护决策并进行必要的维护准备,以避免设备故障的发生,提高设备维护效率和尽量减小设备停机时间,这在设备的高速化和满负荷运行的环境下尤为重要。预知维护的研究集中在两个领域:预知维护的体系理论研究和关键支撑技术研究。在体系理论研究方面,Swanson^[25]通过对设备维护管理人员的调查分析,比较了主动维护(如全员设备维护, total plant maintenance)、预知维护(Swanson 将预防维护也归为预知维护,这在一定程度上弱化了预知维护的优越性)和反应式维护在制造业应用的效果,发现预知维护对改进产品质量、提高设备利用率和降低制造成本贡献巨大。Leger^[26]分析了预知维护的三要素:状态监测、故障诊断和状态预测,给出了状态监测、故障诊断和状态预测流程的形式化定义,借助 GERAM 和 CIMOSA 框架将其集成为预知维护流程并在水电厂水轮机的维护上得到了应用验证。Kanda^[27]针对预知维护信息量巨大的特点开发了专用的数据管理系统,支持预知维护策略下

设备巡检数据的记录、设备监测工作的安排、设备历史数据的管理和备配件管理等工作的开展。Roylance^[28]分析了基于摩擦学分析的预知维护策略,重点研究了预知维护中的铁谱与油样分析技术和设备磨损寿命的预测。Cooke^[29]的研究显示即便是英国这样高度工业化的国家,预知维护策略的实施仍然有大量工作要做。Iung^[30]在欧盟优里卡计划的资助下研究了港口塔吊的预知维护并设计了相应的支撑软件,实施结果表明预知维护较计划维护能极大地降低塔吊的故障率。余刃^[31]和傅闯^[32]等研究了智能控制-维护-技术管理集成系统(ICMMS)框架下的预知维护的建模、算法设计和实验实施。预知维护关键支撑技术研究的主要内容是设备状态预测技术的研究,作为一种时间序列预测,常用的设备状态预测方法包括基于随机过程的预测(包括AR模型^[33,34]、双线性模型^[35]、多元自适应退化样条方法^[36])、基于神经网络的预测^[31,32,37~43]、基于模糊理论的预测^[44,45]和基于灰色理论的预测^[46,47],上述研究作为预知维护的应用实施奠定了一定的基础。

(3) 设备维护组织的柔性化设计

组织的柔性可以从三个方面加以理解:从环境的角度考虑,柔性是指组织有效地适应环境变化的能力^[52];从资源的角度,柔性短期内是指组织利用现有资源适应变化的能力,长期则表现为组织使用新资源、新发明和新方法并整合融入到目前组织任务系统的一种能力^[53];从文化的角度,柔性是指组织具有持续学习、开拓创新、系统思考和开放的组织文化氛围^[54]。设备维护组织的柔性化设计就是要充分考虑维护工作的动态特性与发展趋势,通过组织结构的设计和组织文化的创新赋予设备维护组织更高的柔性,从而应对设备维护工作所面临的挑战。该领域的研究工作主要从两个方面展开:柔性组织的特征与机理分析和柔性组织的案例与评估研究。万伦来^[54]运用系统学原理剖析了企业柔性构成的维度、要素及其作用机理,构建了企业柔性创新性的研究框架,结合实例提出了企业柔性构建的基本策略。王满仓^[55]认为传统层级组织结构已不能适应复杂多变的市场环境,能对不确定的环境迅速反应的柔性组织必须具备全方位联盟、竞争性合作、组织型学习等市场行为特征。马士华^[56]从分析现行企业管理模式与计算机集成制造

(CIM)哲理的冲突出发,明确了增强组织柔性是实施 CIM 的前提,讨论了具有高组织柔性管理模式的少层次扁平式组织结构和多功能化职能部门特征。刘曙光^[57]指出技术的引进必然导致组织变革,分析了动态稳定组织的实质,给出了提高组织柔性的指导原则和方法。顾元勋^[58]将两种柔性组织企业联盟和集团的组建过程分解为四个阶段,通过成本的模型得到各组建阶段的最优时间分配,然后对二者组建成本的相对重要程度进行了比较。鲍震宁^[59]将面向对象技术应用到组织建模中,提出了一种柔性的、在模型全生命周期表达一致的组织建模方法。在实例研究方面,Philips^[60]将数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)与组织多样性法则相结合,构建了组织柔性的通用评估模型,并以实际数据验证了该模型。Weiss^[61]通过对澳大利亚近四万家农场的计量经济学分析,阐明了组织战略柔性(一定时间内调整组织产量的能力)与运营柔性(多产品间切换的能力)之间的相互关系。Tienari^[62]从不同的管理组织层次分析了组织柔性 with 组织刚性的辩证关系,以芬兰商业银行组织结构的变迁历程为案例归纳了四种柔性与刚性的配置关系。Schonheit^[63]以一个制造企业的案例说明了面向过程的企业组织在信息技术的支持下,通过业务流程的优化能够大幅度降低任务完成时间和间接成本。Kim^[64]以协调理论为核心,借助仿真技术对韩国汉城基督医院的组织业务流程进行了再造。近年来兴起的全员设备维护(total plant maintenance, TPM)^[65,66]通过构建设备维护小组的方式来实施设备维护,设备维护小组打破以功能(设备计划、设备使用和设备维修等)划分设备维护组织的壁垒,这种面向流程的设备维护组织较面向功能的设备维护组织有更高的柔性。

(4) 设备维护工作的工作流管理

作为一种面向过程的系统集成技术,工作流管理联盟给出了工作流的定义^[67]:工作流是一类能够完全或者部分自动执行的经营过程,它根据一系列过程规则、文档、信息或人物能够在不同的执行者之间进行传递与执行。其应用目标是通过工作的细致分解、规范执行和全程监控实现效率的提高和成本的降低。当前的工作流研究主要集中在三个方面^[68]:工作流的基础理论研究,包括工作流管理系统的体系、模型