

关于落实石化装备 RCM 决策 突出问题的探讨

孙伟峰^{1,2*}, 宣征南¹, 张兴芳², 刘雁¹, 李志海¹, 李玉朵²

(1. 广东石油化工学院, 广东 茂名 525000; 2. 太原理工大学, 山西 太原 030024)

摘要:随着石化装备日趋大型化、复杂化,基于可靠性的维修(RCM)正逐渐受到石化领域的重视,大多数石化公司都在积极地探索和应用 RCM 这种先进的维修管理理念。RCM 在石化装备的应用过程中,理论分析十分成熟,但实践经验不足。本文分析了影响石化行业 RCM 落实过程中的突出问题,并借鉴其他领域解决这些问题的经验和国外石化公司应用 RCM 的经验,提出了一些加强 RCM 在石化行业落实的解决方法。

关键词:石化装备;RCM;可靠性;维修

中图分类号:TH17

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)02-0001-04

Discussion on outstanding issues of RCM implementation in petrochemical equipment units

SUN Wei-feng^{1,2*}, XUAN Zheng-nan¹, ZHANG Xing-fang², LIU Yan¹, LI Zhi-hai¹, LI Yu-duo²

(1. Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China;

2. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: With the increase of the large-scale and complex petrochemical equipment units, the reliability of maintenance (RCM) is attracted growing attention in petrochemical fields. An active exploration and application of RCM which is an advanced maintenance management philosophy is widely performed in most of petrochemical companies. During the application of RCM in petrochemical equipment units, it lacks in the practical experience though the theoretical analysis is very mature. In this study, the outstanding issues affecting the implementation of RCM in petrochemical fields are analyzed. The experience of solving these problems and better applying RCM by foreign companies has been proposed. The countermeasures of improving the implementation of RCM in the petrochemical industry are put forward as well.

Key words: petrochemical equipment; RCM; reliability; maintenance

以可靠性为中心的维修(RCM)是一种用于确定某设施在其运行环境下维修需求的方法。在开始分析这些设施的维修需求之前,我们要了解这些设施是什么,哪些设施需要进行 RCM 审查。首先需要编写一个较为详细的设备登记表,然后 RCM 方法需要对每一选出设施就下列问题^[1]进行提问:①在现使用环境下设施的功能及相关的性能标准是什么?②什么情况下设施不能实现其功能?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找不到适当的预防性工作怎么办?然而在做上述这些工作的过程中遇到很大的问题和阻力,而且阻力不仅存在于落实设备分析

的过程中,在落实 RCM 维修策略时也会遇到很大的阻力,很容易使得一个完好的计划或策略被架空。

RCM 理论最开始是在航空界有较大发展,随后才逐渐引进到武器装备、核电装备以及石化装备领域^[2]。这些领域在开展 RCM 之初,RCM 落实都曾遇到类似问题和阻力,其在解决这些问题时的方法给石化领域解决这些问题提供了借鉴。国外石化企业较之国内对设备开展 RCM 要早,如 RCM 很早就在国外大型石化公司如 ExxonMobil、Conoco Phillips 等应用成功^[3]。著名风险评价专业公司挪威船级社(DNV)很早开始就一直为石化企业提供设备维护的 RCM 咨询服务^[4]。英国天然气输送公司 UK Gas、加拿大 NOVA 天然气输送公司都采用了 RCM。

收稿日期:2014-08-13;修回日期:2014-09-10

基金项目:国家自然科学基金项目(61174113);国家科技型中小企业创新基金项目(12C26214405347);广东省自然科学基金项目(9152500002000003);广东普通高校青年创新人才项目(自然科学)(2014KQNCX198)

作者简介:孙伟峰(1988-),男,硕士生;宣征南(1962-),女,博士,教授,研究方向为化工设备结构设计及减噪降噪等,通讯联系人,0668-2923260,85337904@qq.com。

该理论正在逐步满足社会越来越高的安全和环境的要求^[5]。针对国内石化企业引进 RCM 理论较晚、在落实装置或设备 RCM 分析或 RCM 决策时存在较大阻力的现状,本文首先分析了这些阻力的来源,然后借鉴航空、武器等领域以及国外石化企业在扫除这些阻力的经验,分别提出了一些解决办法。

1 企业在开展 RCM 时对于员工的组织和管理问题

对很多企业来说,RCM 的理念作为一种流行却尚不成熟的技术,很容易受到曲解,全面介绍和实施 RCM 会遇到各种问题的严重制约,大部分是属于管理和组织问题^[6]。例如一些企业实施 RCM 失败了,因为漫长的实施过程和对费用的不合理估计都会导致管理层不再支持该项目^[7-8]。RCM 之所以能成功地应用于航空企业,因为专家们在设计阶段应用 RCM 几乎毫无制约,但在石化领域这些制约变得更加复杂,因为 RCM 实施过程费时费力,而员工习惯于用经验去制定更为方便快捷的维修策略^[9]。由于以可靠性为中心的理论被引进到石化领域比较晚,大部分石化企业员工对于 RCM 理论并不太了解和信任。任志勇^[10]指出某公司由于没有接受 RCM 理论培训,很多人员对公司预防性维修策略的原则并不十分清晰,从而对制定预防性维修计划的任务理解也各不一致。所以不同部门维修人员根据要求编制的预防性维修计划存在较大差异性。过维护、少维护、无效维护、不经济维护等现象普遍存在。RCM 实施过程中的阻力来源除了企业员工维修理念过时、缺乏革新、企业员工缺乏 RCM 理念的培训外,难以组织各部门进行很好的沟通也是一个重要来源。因为参与 RCM 的分析人员一般来自设备、维修、运行、计划等部门,各自都有自己的日常工作,RCM 专项组织容易松散,评审免不了时断时续,长此以往,必然导致项目延期^[11]。

综上所述,石化企业在开展 RCM 时对于员工的组织和管理问题主要在于企业员工缺乏 RCM 基础知识培训以及难以很好地组织各部门进行沟通。使 RCM 这种科学的方法和理念得以在生产维修中吸收和真正应用,还需要开展多层次的 RCM 培训,一般来说分为 4 个层次^[12]:①经理层培训主要是通过真实的数据和例子让管理层人员了解 RCM 的背景、理论基础、分析过程步骤和重要理念观点等,由经验丰富的人员讲授;②对与生产直接相关的工作人员开展 RCM 的一般知识及应用培训;③对与维修管理

或维修优化工作直接相关的人员开展详细的 RCM 背景知识、理论基础、分析过程等;④针对组织 RCM 分析的人员开展 RCM 专业分析培训,理解 RCM 的基础理论,除掌握 RCM 的分析方法外,还应熟悉 RCM 的整体过程,通过讲授和案例实践的方式对这部分人员进行培训。一旦企业各个层次的人员对 RCM 都有认识后,企业不仅有了执行 RCM 的群众基础,而且有了组建 RCM 评审小组的基础。其中 RCM 评审小组的主要工作是回答 RCM 分析过程中的 7 个基本问题^[13]。RCM 评审小组主要由图 1 中的人员组成^[14],其中,生产管理员、技术管理员、操作员以及技工负责 RCM 分析所需要数据的收集工作;外来专家负责验收这些数据,对数据进行补充修正;督导员则定期组织召开 RCM 会议,汇总数据,填写 RCM 工作单,确定接下来的工作任务。评审小组人员必须对设备性能、结构、运行条件以及该设备和其他设备的相互关系等都有丰富的知识和经验,企业应该组织好这部分员工每周抽出时间进行 RCM 分析的沟通。这些工作必须认真细致的做好,不可流于形式,不能简单的以座谈会方式、靠“头脑风暴法”来解决^[15]。企业开展各层次的 RCM 培训不仅能够使员工科学的开展 RCM,更能够增强员工对 RCM 的信任,坚定员工实施 RCM 的信念。而良好的组织管理能够使得 RCM 有序地开展和落实。

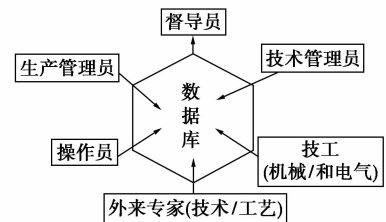


图 1 RCM 评审小组

2 RCM 与其他设备管理系统的关联问题

目前,大部分的石油炼化企业自己开发或引进的 RCM 系统基本都是独立的,无法做到与其他管理系统进行资源共享、互用,这也导致了 RCM 系统不能很好地融进石化企业。企业员工为了实现两个系统间的资源共享互用就要在两个系统间重复工作,从而降低工作效率。所以,RCM 虽然是一个完美的理论,但当它以一个独立系统平台的形式呈现在企业中时就会有很多弊端,因此需要与企业的其他设备管理系统协同工作。真正做到 RCM 系统和其他系统的无缝衔接还是阻力重重,如将 ERP 系统和

RCM 系统的关联必须解决两个关键点:其一是什么数据作为切入点,其二是由于石化动设备受一些随机因素的影响故障率数据统计困难,故障概率的确定往往引起争论^[16]。另外,随着石化设备日趋大型化、高速化、连续化、复杂化,管理和维护设备涉及的信息量越来越大,传统的基于纸笔管理模式或维修人员经验的 RCM 分析过程越来越不能适应设备管理的新需求,因此为 RCM 分析提供强大信息支持的系统并建立与 RCM 过程的密切联系是十分有必要的^[17]。例如 CIMS/CMMS 系统将数据自动输入给 RCM 系统就会打破这种基于纸笔记录数据的传统,然而难点在于 CIMS/CMMS 系统数据的自动输入需要数据接口^[18]。总的来说,国内石化企业在应用 RCM 管理系统时大部分是引进国外已有的系统(如 RCM++),这样可能导致与国内石化企业的实际情况不符,并且在与其他系统关联和其他模块集成时难以进行。

某国内石化企业很早就开始了 ERP-PM 系统与 RCM 风险技术关联应用的研究,该企业在实现 ERP-PM 系统与 RCM 风险技术关联时,主要应用了 M2 型通知单。当设备运行参数不在运行范围时,系统报警给出故障信息,设备员经过判断后直接在 RCM 风险评估系统中创建 M2 型故障通知单,传给 ERP-PM 系统,故障处理完后,再将 ERP-PM 系统记录的故障体系数据传给 RCM 系统,形成设备故障的闭环管理^[17]。另外,将 RCM 和 CMMS 构建成集成的系统^[19],为企业更好地落实 RCM 提供了借鉴。周川^[20]构建了基于 TPM(全员生产维护)/RCM 协同关系的计算机化维修管理系统(CMMS),该系统能将 RCM 分析过程和 TPM 现场执行情况同设备资产信息紧密结合,从而达到动态地根据设备现状改变维修策略的目的。国外在将 RCM 集成于 CMMS 中颇有建树。Hassam A Gabbar^[21]研究开发的 RCM-CMM S 集成系统,将 RCM 分析过程与系统设计情况、当前和历史运行状况、维修状况等信息密切结合,可以根据设备运行状况动态地改变维修策略,因而增强了维修决策的适应性。他还针对核电站研究开发了 RCM-CMM S 集成系统,依据 RCM 分析步骤对 CMMS 的各模块进行了修改^[22]。温亮^[18]提出,在缺乏数据接口的情况下,也可导入 TXT、Excel 等格式数据,然后进行半自动化的人工筛选,然后再导入 RCM 系统。实现 RCM 系统与其他系统的对接不管在国内还是国外,都是一个比较新的课题,研究并不太成熟,还需做进一步深入研究。

3 设备失效数据缺失的问题

RCM 在石化领域难以落实的一个重要问题是缺乏设备失效数据。在石化装置数据统计及失效数据库建立方面,我国与发达工业国家存在较大差距,一些重要的失效数据库,如重要阀门失效数据库不得不依赖于国外数据库,给 RCM 评估的客观性及科学性带来影响^[23]。这些影响会导致通过 RCM 制定的维修策略不准确,尤其是得出的一些设备的预防性维修周期不准确,因此维修人员会对这种新的维修理论产生疑虑,而将其搁置不用。失效数据缺乏根本在于国内石化行业只重视大事故的分析,而轻视轻微事故及未遂事故、事件的分析 and 共享,不利于发现规律,难以做到防患于未然。另外国内对于设备“失效”的界定尚不十分明确,需要进行准确的定义或量化指标,并且各地区公司事故共享、无责备管理的文化尚未形成,事故事件还存在瞒报、漏报的情况^[24]。而且,在缺乏通用设备数据的情况下,一旦设备改进或变动后,又没有类似设备失效数据进行参考,RCM 系统中的该项设备数据就要清零,后续对该设备的维修策略也将无法制定。而企业对设备的改进或更换是常事,长此以往很可能导致 RCM 系统的瘫痪。

从上述设备失效数据缺失的原因来看,石化企业解决这一问题的根本办法是建立各种化工设备的数据库。国外已建成了 Off shore Reliability Data (OREDA)数据库,该数据库不但包括了静设备,如反应器、容器的失效数据,还包括动设备压缩机、泵等的失效数据^[25]。除此之外还有 WASH21400 数据库 Bib-electronic Parts Reliability Data Book (NPRD)以及 US Source of Power Generation Data (Industry Specific)数据库等可以借鉴^[23]。小子样系统评估和数据融合技术也能在一定程度上解决可靠性数据缺乏这一问题,这种方法在航空和武器装备领域应用比较广泛,何江^[26]研究了基于信息融合技术的民航飞机可靠性数据分析,宋贵宝^[27]针对导弹系统进行了基于信息融合技术的多阶段可靠性评估方法的研究。对于设备改进后数据可能清零的问题,借鉴同类设备的失效数据可以得到一定的解决,而开发更好的解决办法,还需要进一步研究。

4 相关问题解决办法汇总及结论

为了更直观地观察石化装备 RCM 分析和落实的突出问题及解决办法,现将上述问题及对应的解决办法汇总成表,如表 1 所示。

表 1 石化装备 RCM 分析和落实的突出问题及解决办法的总结

石化装备落实 RCM 决策的突出问题	主要解决方案	应用经验或成果借鉴
I. 员工的组织和 管理问题	(1) 企业组织员工进行多层次的培训, 革除过时的维修理念, 使 RCM 深入人心。 (2) 企业应该组织好这部分员工组成 RCM 评审小组每周抽出时间进行 RCM 分析的沟通	①如文献[12]中提到的从 4 个层次对企业员工进行培训 ②文献[14]中更为全面的介绍了适合于不同人员的详细课程组合 ①文献[14]具体给出了 RCM 评审小组应该有哪些人员构成 ②文献[15]提出评审小组每周抽出固定时间进行会议沟通, 沟通不能流于形式
II. RCM 管理系统 与其他设备管理系 统的关联问题	(1) 为数据之间寻找数据接口 (2) 借鉴国外系统之间的关联技术	①文献[16]提到了创建 M2 型故障通知单 ②文献[18]提到了导入 txt、Excel 等格式数据, 然后进行半自动化的人工筛选 ①详见文献[21-22]
III. 设备失效数据 缺失的问题	(1) 从长远来看, 要建立数据库 (2) 小样本评估方法和数据融合技	①Off shore Reliability Data(OREDA) 数据库 ②WASH21400 数据库 ③Bib-electronic Parts Reliability Data Book(NPRD) 数据库 ④US Source of Power Generation Data (Industry Specific) 数据库 ①详见文献[26-28], 这些案例来自武器和航空领域, 对石化领域有指导意义 ②对于新装置、设备小样本评估方法和数据融合等技术应大力推广

综上所述, 得出以下结论。

(1) 重点总结了石化装备在落实 RCM 这项新型而又实用的维修理论时阻力重重的原因。这些原因主要有: 企业对员工的组织管理问题、RCM 管理系统和其他系统的关联问题以及设备失效数据缺乏问题。

(2) 对应这些阻挠 RCM 在石化领域落实的问题找到了一些解决方案。这些方案或是来自应用 RCM 比较成熟的国外石化企业, 供国内石化企业学习和效仿; 或是来自航空、武器等领域 RCM 应用的经验, 供国内石化企业借鉴。

(3) 国内石化行业对于 RCM 的研究, 应该从研究理论的方向上逐步转移到研究如何更实用的方向上, 使完美的理论得以真正造福社会。

参考文献

- [1] Anthony M. (MAC) SMITH. RCM in a nutshell: The learnings of mac smith[J]. Webinar Review, 2013, 8(3): 12-16.
- [2] Jia Xi-sheng, Cheng Zhong-hua. The development trend of reliability centered maintenance (RCM)[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2002, 14(3): 29-32.
- [3] 刘岑, 黄汪平, 杜洪奎. 以可靠性为中心的维护(RCM)技术在石化企业中的应用[J]. 通用机械, 2005, (12): 8-9.
- [4] 张华兵, 冯庆善, 税碧垣. RCM 在石油化工设备维护中的应用[J]. 设备管理, 2007, (12): 28-30.
- [5] Risdon D J, Van Hardevel D T. Reengineering maintenance for dependability[A]. ASME international pipeline conference [C]. America; ASME, 1998(1): 205-213.
- [6] Schawn C A, Khan I U. Guidelines for successful RCM implementation[A]. Proceedings of the ASME joint international power gener-

ation conference[C]. Phoenix, AZ: ASME, 1994: 1-16.

- [7] Hipkin I B. A new look at world class physical asset management strategies[J]. South African Journal of Business Management, 1998, 29(4): 158-163.
- [8] Hipkin I B, De Cock C. TQM and BPR, lessons for maintenance management. OMEGA[J]. The International Journal of Management Science, 2000, 28(3): 277-292.
- [9] Aditya Parida, Daniel Johansson, Martin Edelman. 可靠性维修实施案例研究[J]. 设备管理与维修, 2005, (11): 45-47.
- [10] 任志勇. 基于可靠性的 AB 石化公司维修管理研究[D]. 山东大学, 2013.
- [11] 沈爱东. 以可靠性为中心的维修在 CANDU6 核电机组的应用[D]. 兰州大学, 2011.
- [12] 陈宇. 关于生产企业开展 RCM 技术的关键点分析与建议[A]. 见: 第四届世界维修大会论文集[C]. 2008: 170-175.
- [13] 李永华, 卢碧红, 兆文忠. 铁路重载货车 RCM 管理体系理论框架研究[J]. 大连交通大学学报, 2009, 30(2): 48-53.
- [14] John Moubray. Reliability centered maintenance (Second Edition) [M]. Industrial Press, 2001.
- [15] 曾澄湘. 状态维修与 RCM 维修体制[A]. 见: 第五届设备管理第八届设备润滑与液压学术会议论文集——《设备管理设备润滑与液压技术》[C]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 366-369.
- [16] 梁国华. ERP-PM 与动态 RCM 风险技术关联应用的有效探索[J]. 中国石化, 2010, (10): 35-37.
- [17] 童晟. 构建 RCM 与 CMMS 的集成系统[J]. 现代制造工程, 2007, (8): 36-37.
- [18] 温亮, 贾希胜. RCM 模型决策系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(23): 4537-4539.
- [19] 温亮, 王丹. 基于 RCM 需求的 CMMS 系统设计[J]. 兵工自动化, 2006, 25(3): 36-37.
- [20] 周川, 刘颖. 基于 TPM 和 RCM 协同关系的 CMMS 系统的研究与应用[J]. 2008, 6(30): 735-738.

(下转第 6 页)

此这两种贵金属催化剂选择性和活性高于其他贵金属,并指出 Pd 金属催化活性和稳定性不及其他贵金属的原因是其表面有积炭生成和晶粒烧结。

Moniri 等^[9]研究 Ni/ α -Al₂O₃ 催化剂在 600 ~ 900℃ 催化重整 CO₂-CH₄ 制合成气时,指出金属 Ni 负载量 5% 时活性最好, Ni 负载量超过 5% 导致镍在载体表面分散性变差。其他研究者^[10-11]也发现镍负载量存在最佳值,徐恒泳等^[18]指出镍含量达到或超过最佳值时催化剂活性基本保持不变,当镍含量达到某一更高数值时,催化剂在反应过程中极易粉碎,明显积炭。

陈荣娟等^[12]研究不同 Co 添加量的 Ni-Co/BaTiO₃ 双金属催化剂,发现 Ni、Co 质量负载均为 5.0% 的 Ni-Co/BaTiO₃ 催化剂活性最好, Ni-Co/BaTiO₃ 双金属催化剂催化活性更高, Ni 和 Co 之间产生的协同作用、相互促进使催化剂抗积炭性能明显增强。Xiao 等^[13]发现钨金属有利于提高 Ni 催化剂稳定性和抗积炭能力,添加合适量的钨金属, Ni 催化剂的反应活性接近负载型贵金属催化剂。Foo 等^[14]指出过渡金属 Co、Cu、Fe 能够与活性组分之间发生协同作用而明显提高催化剂的活性。

1.2 载体的影响

纪敏等^[15]发现在不同酸碱性的 γ -Al₂O₃、MgO、SiO₂ 载体上的镍催化剂上,催化剂表面酸碱性不是影响重整反应活性和积炭量的主要原因,而是金属 Ni 表面分散度金属以及 Ni 与载体之间相互作用的强弱,相互作用越强,催化剂越难还原,还原后金属在表面的分散度越高,在反应过程中的抗烧结能力越强,有利于提高催化剂在重整反应中的活性与稳定性。

研究者对新型载体在 CO₂-CH₄ 重整反应中的应用也有研究,田宏等^[16]指出 MCM-41 是一种很好的载体,在低温高空速下具有较高的催化活性,但 Ni/MCM-41 催化剂在反应过程中所产生的微量水

可能导致中孔分子筛骨架倒塌,从而导致催化剂失活。张美丽等^[17]发现 Ni/SBA-15 催化剂具有很高的 CH₄ 和 CO₂ 转化率, 12.5% Ni/SBA-15 催化剂在 800℃ 反应 600 h 后活性没有下降,高温条件下, SBA-15 的介孔结构也没有遭到破坏,分子筛的孔壁能有效阻止活性组分 Ni 的团聚。

1.3 助剂影响

助剂对催化剂表面酸碱性和 Ni 金属电子云分布有直接影响,并进一步影响催化剂的反应活性和积炭性能,因此成为研究热点。徐龙伢等^[18]研究发现 K₂O 助剂可改善催化剂 CO₂-CH₄ 重整制合成气的反应性能, K₂O 和 La₂O₃ 有利于提高 Ni 催化剂的低碳烷烃和 CO₂ 转化率、提高合成气收率,而且具有抑制积炭作用。路勇等^[11]发现少量 MgO、La₂O₃ 可以改善催化剂的稳定性和抗积炭能力,催化剂失活的主要原因之一是 Ni 微晶在反应过程中烧结长大, Ni/MgO 催化剂中 MgNiO₂ 晶相的生成和 MgO 本身在结构上减缓了 Ni 微晶的长大。

宫丽红等^[19]发现 CeO₂ 能够抑制甲烷脱氢积炭反应,增加催化剂表面炭的活性,提高 CO₂ 的消炭能力,加入 CeO₂ 和 MgO 助剂后,能够提高 Ni 的分散度,从而使催化剂活性、选择性、抗积炭性和稳定性都提高。杨咏来等^[20]发现 Ni 金属与半导体氧化物 CeO₂ 之间存在金属-半导体相互作用,添加 CeO₂ 可以提高活性原子 Ni⁰ 的 d 电子密度,抑制 CH₄ 分子的 C-H 电子向 d 轨道迁移,降低 CH₄ 裂解积炭活性,同时加强 Ni 原子 d 轨道向 CO₂ 空反键轨道的电子迁移,提高 CO₂ 的消炭活性,改善 Ni/CeO₂-Al₂O₃ 催化剂的抗积炭性能。

杨雅仙等^[21]发现添加 MgO 能在 γ -Al₂O₃ 表面形成 MgAl₂O₄ 尖晶石,分散催化剂表面活性组分,避免 NiAl₂O₄ 尖晶石形成, MgO 添加量为 10% 反应效果最好。申曙光等^[22]研究发现碱金属氧化物 CaO 能削弱 Ni₂Al₂O₄ 特征峰,催化剂还原性和分散

设想[J]. 石油化工设备, 2009, 38(6): 45-49.

[24] 王婷, 玄文博, 周利剑, 等. 油气管道失效数据库现状分析与展望[A]. CIPIC 2013 中国国际管道会议论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2013: 206-208.

[25] Langseth H, Haugen K, Sandtorv H. Analysis of OREDA data for maintenance optimizations[OL]. http://www.idi.ntnu.no/~helgel/papers/Langseth_Haugen_SandtorvRESS98.

[26] 何江. 基于信息融合的民用飞机可靠性数据分析方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.

[27] 宋贵宝, 张峰伟. 基于信息融合技术的多阶段可靠性评估方法研究[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(2): 41-43. ■

(上接第 4 页)

[21] Hossam A Gabbar Hiroyuki Yamashita, Kazuhiko Suzuki, Yukiyasu Shimada. Computer-aided RCM-based plant maintenance management system[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2003, 5(19): 449-458.

[22] Hossam A Gabbar, Kazuhiko Suzuki, Yukiyasu Shimada. Design considerations of computer-aided RCM-based plant maintenance management system[J]. Computer Aided Chemical Engineering, 2001, (6): 859-864.

[23] 朱建新, 陈学东, 艾志斌, 等. 我国石化装置风险管理体系建设