

石油化工设施风险管理丛书

设备风险检测技术 实施指南

A Guidance for Implementing Risk-Based Inspection

中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院
英国 TISCHUK 国际公司 编著

中国石化出版社

石油化工设施风险管理丛书

设备风险检测技术实施指南

A Guidance for Implementing Risk-Based Inspection

中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院
英国 TISCHUK 国际公司

编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书内容密切结合设备安全管理的实际,介绍了以风险为导向的设备管理新理念——RBI(Risk - Based Inspection)技术及实施过程。全书对具体实施和推行 RBI 技术的各个环节和其相关知识进行了阐述,主要内容有 RBI 技术发展和应用现状、RBI 技术介绍、RBI 项目的准备、数据采集、风险评估、基于风险的检验、RBI 的持续改进、RBI 的审核、RBI 案例分析、RBI 软件介绍等。书后还附录了检测方法(技术)简介、设备退化机理与失效模式、易产生应力腐蚀的介质与材料组合数据、国内外常用材料对照表等资料,可方便在实施 RBI 过程中参考。

本书可供石油、石化企业的管理人员和技术人员、特种设备检验人员、安全技术人员和风险分析技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

设备风险检测技术实施指南/中国石化股份公司青岛
安全工程研究院,英国 TISCHUK 国际公司编著.

—北京:中国石化出版社,2004
(石油化工设施风险管理丛书)

ISBN 7-80164-695-9

I. 设… II. ①中… ②英… III. 石油化工-化工
设备-风险管理-指南 IV. TE96-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123764 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 32 开本 7.625 印张 176 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

编委会

主 任	曹湘洪		
副 主 任	洪定一	周培荣	李振杰
	陆 东	凌逸群	张海峰

编委成员	贾鹏林	张晓鹏	何承厚	王建军
	刘 燕	许卫平	郭 群	王玉庆
	牟善军	莫少明	郭 健	董绍平
	麦郁穗	李大仰	沈纯厚	张照鹏
	杨 徐	杜秋杰	俞雪兴	

撰稿成员	牟善军	姜春明	李延渊	李 奇
	John L. Tischuk (英国)			黄贤滨
	兰正贵	毛文邦	蒋利军	赵文芳
	张卫华	李俊杰	姜巍巍	佟晓慧

编者的话

本书从介绍 RBI 技术的发展历史、方法和技术内容入手,按照一个完整的实施过程对 RBI 技术进行了详细的阐述,参考了美国和欧洲两方面的 RBI 技术资料,通过实际的案例进行了说明。本书是帮助读者了解 RBI 技术和实施方法的一本内容新颖、信息量大、系统全面的参考资料。

对于石化企业,安全生产是企业健康、持续发展的保障,装置的长周期运行对提高企业的竞争力具有决定性的作用,能够产生巨大的经济效益和重要的社会意义。为了实现装置运行的“安、稳、长、满、优”和企业“效益的最大化”这一最终目标,需要设备、工艺、检验和安全的各方面专家共同努力,在理论上和管理的实践中不断创新,把设备整个生命周期的各个阶段和所涉及的各种关键要素结合起来作为一个整体统筹考虑,调动各种管理手段

和技术措施为这个目标服务。RBI 技术就是这样一种系统的分析方法,是对企业检验费用、整体安全性、经济效益和社会效益等各方面因素的一个权衡和优化。其从 20 世纪 80 年代末诞生到现在已有十几年的历史,在炼油、化工、油气生产、核电等行业进行了大量应用,得到了业界的广泛认同。欧美等国家在这方面发展很快,已经编制了一系列规范或标准,还有国外众多的技术服务机构和咨询公司投入到这个新的业务方向来,提供培训、项目咨询和审核以及承担 RBI 项目等服务,如英国的 TIS-CHUK 公司、壳牌技术服务公司、TWI 公司、挪威的 DNV、美国的 Aptech 公司等。RBI 技术在我国也得到了业界的认同,目前已在多套石化装置上进行了应用与实践,为此作了大量的工作,并有更多的企业对此项技术都表现出了浓厚的兴趣,迫切需要了解、学习这方面的知识。目前国内介绍 RBI 技术方面的资料却很少,而且多偏重于介绍 RBI 技术文件本身的内容,如介绍 API580、API581 等。

本书从应用、实施 RBI 技术的角度,系统深入的介绍 RBI 项目成功实施所涉及各项内容。本书第一章“前言”,从 RBI 的发展过程开始,回答了“为什么需要 RBI 技术”的问题,全面介绍了 RBI 技术的文件体系和国内外的的发展情况。第二章按照美国石油协会的 API580 的内容

介绍了石化行业所应用的 RBI 技术的主要内容。从第三章“RBI 项目的准备”开始到第八章“RBI 的审核”,按照一个完整 RBI 项目的管理环节进行详细的描述,把 RBI 技术的各个内容以及 API580 的内容按照实际的操作过程进行分解。并根据实践中的经验,把“RBI 项目的准备”单独成章,这是由于作为一个大型的项目,项目潜在的风险很高,许多因素都会导致项目的延期或未能达到预期目标,因此项目的管理和准备尤为重要。第七章“RBI 的持续改进”重点是使 RBI 技术能够融入企业的管理体系中,描述了企业如何建立一个以风险为导向的设备管理闭环。第八章“RBI 的审核”是描述了针对 RBI 管理体系整体的审核要点,而不单是对一个具体的 RBI 项目或其中技术或结论报告的审核。这一些内容都是 API580、API581 等技术文件所没有包括或不作为重点的内容。第九章“RBI 案例分析”按照前几章的内容具体分析了一段工艺流程,可以帮助读者理解和参照。第十章“RBI 软件介绍”把国内主要应用的几个 RBI 分析软件包进行了分析比较,并以编者自身的经验提供了选择软件的几点建议。附录主要包含检验方法的简介、石化设备退化机理和失效模式的简介、易产生应力腐蚀的介质与材料组合数据、国内外常用材料对照表,方便在国内实施

RBI 项目中参考和对照。

本书在中国石化股份有限公司的组织与安排下,由中国石化股份有限公司青岛安全工程研究院和英国 TIS-CHUK 国际公司合作编写,石化企业的设备管理人员和特种设备检验人员参与了其中部分章节的编写工作。另外,在本书编写过程中得到了顾望平教授高工和 STEVE TOOBY 工程师的指导,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有缺点和遗漏,敬请读者批评指正。

目 录

1 前言	(1)
1.1 RBI 技术的背景	(1)
1.2 API RBI 文件体系	(5)
1.3 RBI 在国外应用情况及相关法规	(7)
1.4 国内 RBI 应用情况介绍	(12)
1.5 实施 RBI 技术的目的	(13)
参考文献	(17)
2 RBI 技术介绍	(18)
2.1 引言	(18)
2.2 风险的概念	(20)
2.3 什么是 RBI?	(21)
2.4 RBI 项目实施过程	(25)
2.5 RBI 项目成功的关键要素	(28)
2.6 RBI 项目失败的主要原因	(29)
参考文献	(29)

3 RBI 项目的准备	(31)
3.1 RBI 策略的制定	(32)
3.2 培训	(34)
3.3 RBI 工作组	(35)
3.4 项目配置	(37)
3.5 资料的准备	(40)
3.6 RBI 项目管理	(41)
参考文献	(46)
4 数据采集	(47)
4.1 数据采集的原则	(47)
4.2 单位和规则的设定	(48)
4.3 数据采集流程	(49)
4.4 数据采集内容	(49)
4.5 数据敏感性	(60)
参考文献	(65)
5 风险评估	(66)
5.1 RBI 风险的定义	(66)
5.2 设备事故场景的辨识	(69)
5.3 设备失效机理的识别	(73)
5.4 失效概率的评估	(80)
5.5 失效后果评估	(87)
5.6 RBI 风险计算	(90)
5.7 RBI 的风险排序	(92)
参考文献	(93)

6 基于风险的检测	(95)
6.1 检测在风险管理中的作用	(95)
6.2 基于风险的检测策略与常规检测方法的对比	(95)
6.3 RBI 检测方案的制定	(101)
6.4 检测方案的优化	(121)
6.5 其他风险管理措施	(124)
6.6 检测方案的审核批准	(124)
参考文献	(125)
7 RBI 的持续改进	(127)
7.1 RBI 再评估	(128)
7.2 RBI 风险评估是一个动态的过程	(128)
7.3 RBI 评估中的不确定性	(130)
参考文献	(131)
8 RBI 审核	(132)
8.1 审核的目的	(132)
8.2 RBI 审核的特点	(133)
8.3 审核类型	(133)
8.4 审核程序	(135)
8.5 审核内容	(135)
参考文献	(149)
9 RBI 实例分析	(150)
9.1 RBI 项目的目标	(150)
9.2 RBI 工作过程	(151)
9.3 分析实例	(152)

9.4 检验计划	(160)
9.5 结论	(163)
参考文献	(163)
10 RBI 软件介绍	(164)
10.1 RBI 软件是实施 RBI 的重要工具	(164)
10.2 常用的 RBI 软件	(165)
10.3 选择 RBI 软件的建议	(177)
10.4 小结	(181)
参考文献	(181)
附录	(183)
附录 1 术语	(183)
附录 2 检测方法简介	(187)
附录 3 设备损伤机理与失效模式	(197)
附录 4 易产生应力腐蚀的介质与材料组合数据	(207)
附录 5 压力容器常用国内外钢号(近似)对照表	(210)

1 前言

1.1 RBI 技术的背景

18 世纪工业革命以来,伴随着由此带来的人类文明进步和生活水平提高,无数次的工业事故也给人类带来了严重的伤害甚至死亡。为了满足对安全的要求,人们不断地提高认识风险和管理风险的水平。例如,蒸汽机的出现是工业革命的标志性事件之一,它所带给人类的益处是显而易见的,但无数次的锅炉爆炸事故也给我们带来沉重的伤害。最终在 20 世纪初发展并制定了锅炉和压力容器的设计规范,促使政府部门立法管理锅炉和压力容器的制造、测试、检测和维护。

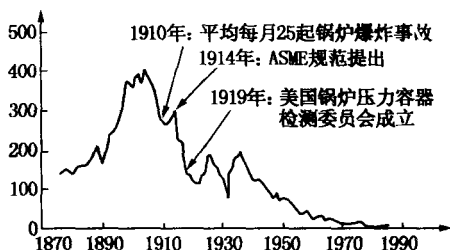


图 1-1 美国发生的锅炉爆炸事故统计(至 1990 年止)

图 1-1 显示了美国在 1880 ~ 1980 年一百年间锅炉爆炸事故的统计数据,该图醒目地展示了这些措施的成功,在 20 世纪末几乎消除了这类事故。

但随着技术不断的进步,现代工业生产向规模集中、设备

设备风险检测技术

实施指南

大型化、生产过程连续化、自动化程度高的方向发展，生产介质具有易燃、易爆、有毒、腐蚀的特点，使生产过程发生事故的可能性增大，诱发事故的因素更复杂，造成的危害和损失也非常惨重。人们逐渐认识到降低工业事故的发生、确保装置安全是一个高度综合的整体化、系统化的工作。图 1-2 显示了世界范围内 1960~1990 年 30 年间，石化行业发生的 100 起损失最大的事故主要引发原因。

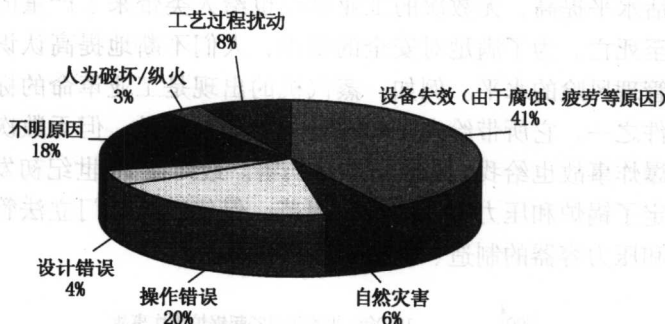


图 1-2 导致发生事故的因素

图 1-3 显示了在重大损失的事故中各类设备失效所占的比重：

通过对这些事故的分析以及来自风险管理方面的压力，引导了设备完整性技术(MI)的发展。希望能够把设备整个生命周期所涉及的各个环节和各种要素结合起来作为一个整体统筹考虑，调动各种管理手段和技术措施为这个整体服务。1992 年美国 OSHA 颁布了过程安全管理办法 (29CFR 1910.119 Process Safety Management for Highly Hazardous Chemicals)，该办法主要特点如下：

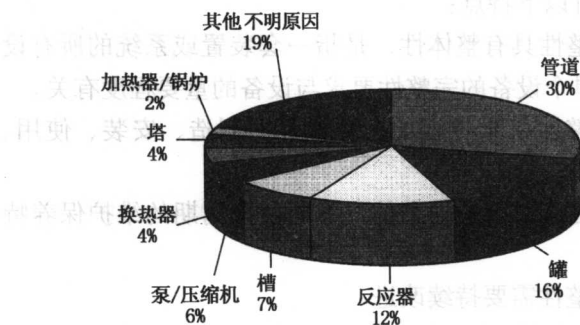


图 1-3 事故中各类设备失效所占比率

- a. 分析了 20000 多台设备、管道和动设备；
- b. 建立了大型的单元、过程和设备的数据库；
- c. 实施的范围包括美国、南非、韩国和澳大利亚等国家的约 25 家炼油、天然气和化工厂；
- d. 与政府权威部门和检测机构的充分交流，应用业界的标准和规范进行检测和测试；
- e. 其中心是：“避免灾难性事故的发生”；
- f. 包括对高度危险化学品 (highly hazardous chemicals) 的管理要求；

g. 其中第 8 条款是关于设备完整性的要求，包括：对设备的文件化管理、作业程序书、维修保养的培训、检查与测试、设备异常管理、品质保证。

设备完整性技术的提出，与传统的设备维修方法经历的事后维修 (BM)，定期维修 (TBM) 和状态维修 (CBM) 三个阶段相比，设备管理更强调安全、效率、效益、环保有机结合的必要性和重要性，企业需要担负更多的职业卫生和安全方面的责任。

设备风险检测技术

实施指南

设备完整性具有以下特点：

- a. 设备完整性具有整体性，是指一套装置或系统的所有设备的完整性。单个设备的完整性要求与设备的重要程度有关。
- b. 设备完整性是全过程的，从设计、制造、安装、使用、维护，直至报废。
- c. 设备的健康情况是动态的，不同生命周期的维护保养特点不同。
- d. 设备完整性需要持续改进。

与此同时，起始于 20 世纪 70 年代核动力工业的风险管理学科，在 90 年代逐渐形成，并在航空、航天、石油化工、压力容器与管道、油气输送管道等工业得到广泛应用。风险管理是在经济与社会效益、风险和费用的三度空间中寻求达到风险最小、效益最大的目标。风险评估技术与设备管理的需求相结合，RBI(Risk Based Inspection，基于风险的检测)技术应运而生，企业应用 RBI 可以使用经过验证的统一的方法来确定如下内容：

- a. 装置中的设备可能会发生哪些问题；
- b. 某个特殊问题发生的可能性有多大；
- c. 问题发生后可能会产生什么样的后果；
- d. 风险分布如何；
- e. 怎样管理这些潜在的风险等。

RBI 满足了企业希望能够采用切实可行、合理的方式把风险降到尽可能低、可接受的程度(ALARP, As Low As Reasonably Practical)的需要。

RBI 最早是应用于核电工业，这项技术被设计用于处理“极端事件”——即低可能性、高后果的事故情况。在石化工业同样存在对这类事件的防范要求，如过程安全管理(OSHA



1910. 119)和欧盟指令 SEVESO II(重大危险控制)等都是要避免高失效后果和灾难性的事故。因此,石化行业对 RBI 技术进行了发展和改进,开发了具有针对性、可实际应用于油气开采、石化和化工工业的 RBI 技术。现在通常所说的 RBI 就主要是指美国石油协会(API)和美国机械工程师协会(ASME)的 RBI 技术。

2000 年初德国的材料测试协会(MPA, Materials Testing Institute)就 RBI 技术作了一次调查,有 43 家电力和过程工业的企业参加(除大部分德国企业之外还有奥地利、比利时、芬兰、法国、英国、美国等其他国家的企业),调查的结果显示,所有的企业对 RBI 技术都抱有极大的兴趣,其中“安全和节约费用”是最主要的原因(占 60%);超过半数的企业对欧洲的 RBI 研究项目表示了支持,“证实欧洲自己的 RBI 技术规范是迫切需要的”;并且超过 70% 的认为应该开发欧洲的 RBI 软件工具包,只有 10% 的企业认为可以应用 API 和 ASME 的技术规范而不用进行新的开发;调查还出乎意料的发现企业的管理层是 RBI 技术的主要推动者(约占 50%,此外检测人员约 25%、其他约 25%)。这也从一个方面说明,RBI 技术是一项建立在充分试验数据和现存经验基础上的企业管理技术,符合石化工艺过程安全管理和设备完整性管理的需要。在根据企业的技术现状和国家法规要求的基础上适当改进并认真实施,RBI 会成为现代企业设备综合管理系统的重要环节和组成部分,将极大提高企业的安全性和竞争力。

1.2 API RBI 文件体系

API RP 750 过程危险管理:对一个有效的过程安全管理系统

