

机械完整性

体系指南

[美] Center for Chemical Process Safety 编著
刘小辉 许述剑 方 煜 等译
王妙云 审阅

Guidelines for Mechanical
Integrity

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

机械完整性体系指南

Guidelines for Mechanical Integrity Systems

【美】Center for Chemical Process Safety 编著

刘小辉 许述剑 方 煜 等译

王妙云 审阅

中国石化出版社

内 容 提 要

本书所述美国化工过程安全中心(CCPS)制定的机械完整性管理体系指南,属于过程安全和风险管理体系中的一部分,是石油化工行业、电力系统及其他存在高风险的生产行业进行机械设备、资产有效管理的重要指南。

本书从机械完整性定义开始,详述了相关概念,明确了领导层在机械完整性管理或者设备管理中的职责,制定了比较详细的实现机械完整性管理的操作指南,内容涵盖相关管理职责、机械完整性管理培训、机械完整性管理对象目标与任务、机械完整性项目的实施程序及执行、针对整个机械设备生命周期的质量保证体系、缺陷管理、风险管理、检验检测及预防性维修、绩效评估、机械完整性评审及持续改进的一系列系统化的内容。

本书可供炼油化工、石油天然气开采、煤炭、电力及其他涉及机械设备管理的行业或企业领导,从事生产、设备、设计、制造、科研、安全、环保工作的管理人员和技术人员,以及基层生产操作、维修人员学习和借鉴参考,从而对机械设备完整性管理水平及整个企业管理水平的提升起到积极的促进作用。

著作权合同登记 图字:01-2013-5864号

Guidelines for Mechanical Integrity Systems

By Center for Chemical Process Safety(CCPS), ISBN: 9780816909520

Copyright © 2007 by American Institute of Chemical Engineers.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

中文版权为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

机械完整性体系指南/美国化工过程安全中心编著;
刘小辉,许述剑,方煜译. —北京:中国石化出版社,
2015.1

书名原文:Guidelines for Mechanical Integrity Systems
ISBN 978-7-5114-3128-8

I. ①机… II. ①美… ②刘… ③许… ④方… III.
①化工机械-完整性-指南 IV. ①TQ05-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 287294 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 13 印张 306 千字
2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷
定价:68.00 元

译 者 的 话

本书系统地介绍了机械完整性管理体系，全书共分为12章，涵盖了机械设备工程、安全工程、软件信息系统、技术经济管理等专业领域。

本书无论是对于相关企业建立完整有效的机械设备管理体系，还是相关高校、科研院所针对设备安全管理的研究，都具有重要的指导意义。书中制定的机械完整性体系由隶属于美国化学工程师学会的美国化工过程安全中心编写，具有较高的权威性；且截至目前，这是仅有的几个涉及机械设备完整性管理的过程安全及风险管理体系之一，具有较高的学术价值。

目前，国内开展机械及设备完整性管理研究的企业、高校、科研院所大多是通过吸收引进国外的先进技术理念，甚少有可参考的中文图书资料。为了能将设备完整性的理念更快地介绍给国内各企业从事设备管理的同行人员，中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院组织从事设备安全相关专业的技术人员，对本书进行了翻译。其中方煜负责第2章、第3章、第8章的翻译，邱志刚负责第4章的翻译，柴永新负责第5章的翻译，兰正贵负责第6章的翻译，叶成龙负责第7章、第11章的翻译，许述剑负责第9章的翻译，张艳玲负责第10章的翻译，刘曦泽负责第12章的翻译，宋晓良负责第1章的翻译，开婧负责正文之前部分的翻译，书的索引由许述剑、李延渊、邱志刚、方煜负责翻译完成，刘小辉对全书进行了校核与统稿，王妙云对全书进行了最后的审阅。译者希望本书的编译出版，能够对国内该技术领域的发展起到一定的促进作用。

本书编译工作主要是在尊重知识产权并协商好版权问题的前提下，对英文原版著作进行翻译及适当的本土化调整，在编译过程中还得到了设备安全管理领域许多专家、学者的指导，在此表示衷心感谢。

机械完整性体系融合了技术与管理等众多方面，涉及多个领域的交叉组合，由于编译水平有限及时间仓促，书中难免有疏漏和不恰当之处，敬请读者批评指正。

我们真诚地希望，本文中出现的信息将引领整个行业产生更加令人印象深刻的安全记录；尽管如此，无论是美国化学工程师学会及其顾问，CCPS 技术指导委员会及委员会成员，他们的雇主，雇主的管理层及董事，还是 ABSG 咨询及其员工，均不能明确或者暗示性地对本文内容中信息的正确性或准确性作出保证或声明。同样地对于(1)美国化学工程师学会及其顾问，CCPS 技术指导委员会及委员会成员，他们的雇主，雇主的管理层及董事，以及 ABSG 咨询及其员工和(2)本文的用户，任何使用或误用导致的后果由用户承担全部法律责任或职责。

简称和缩略语《《《

ACC	美国化学理事会
ACCP	ASNT 中央认证项目
ACGIH	美国政府工业卫生学家会议
AIChE	美国化学工程师学会
ALARP	尽可能低且合理可行性
ANSI	美国国家标准学会
API	美国石油学会
ASM	美国金属协会(ASM 国际)
ASME	美国机械工程师协会
ASNT	美国无损检测学会
ASTM	美国材料与试验学会(ASTM 国际)
AWS	美国焊接学会
BPVC	锅炉及压力容器规范
CCPS	化工过程安全中心
CF	事故原因
CFR	美国联邦法规
CI	氯气学会
CM	状态监测
CMMS	计算机维护管理系统
CPI	化学加工工业
DOT	美国交通部
E&I	电气与仪表
EPA	美国环境保护署
ESD	紧急停车
FFS	工程适用性
FM	工厂互助研究
FMEA	失效模式及影响分析
FMECA	失效模式、失效影响及危害性分析
FTA	故障树分析

HAZMAT	有害物质
HAZOP	危险与可操作性研究
HI	美国水利协会
IEC	国际电工委员会
IAR	国际氨制冷学会
IPL	独立保护层
ISA	仪表、系统与自动化协会
ISO	国际标准化组织
ITPM	检验、测试和预防性维修
LOPA	保护层分析
MI	设备完整性
MOC	变更管理
NB	美国(锅炉与压力容器检验师)协会
NBBPVI	美国锅炉与压力容器检验师委员会
NBIC	美国锅炉检验规范
NDE	无损探伤
NDT	无损检测
NEC	美国国家电气规范
NFPA	美国防火协会
OEM	原始设备制造商
OSHA	职业安全与健康管理局
P&ID	工艺流程图
PFID	工艺物料平衡图
PHA	过程危害分析
PM	预防性维修
PMI	材料可靠性鉴别
PPE	个人防护用品
PRV	泄压阀
PSM	过程安全管理
PSSR	启动前安全审查
PSV	压力安全阀
PWHT	焊后热处理
QA	质量保证
QC	质量控制

RAGAGEP	被认可和普遍接受的良好工程实践
RBI	基于风险的检验
RCA	根原因分析
RCM	以可靠性为中心的维修
RMP	风险管理程序
ROI	投资回报率
RP	推荐作法
SCBA	自给式呼吸器
SCE	关键安全设备
SHE	安全、健康和环境
SIF	安全仪表功能
SIL	安全完整性水平
SIS	安全仪表系统
SME	学科专家
TML	测厚点
UL	美国保险商实验室公司
UPS	不间断电源
USCG	美国海岸警卫队
UT	超声检测

术语《《《

验收标准：用于确定设备是否缺陷的技术基础(例如，分析检验、测试和预防性维修 [ITPM]的结果时)。

事故原因 (CF)：造成事故或导致更严重的后果的设备故障或人为失误。

事故原因图表：以图形方式描述一个事件从开始到结束的序列图，通常用于整理事件数据，并确定事故原因。

认证：完成适用规范和标准所指定的正式培训和资格要求。

计算机维护管理系统 (CMMS)：用于计划、调度和记录维护活动的计算机软件。一个典型的 CMMS 包括工单生成、作业指导书、零件和人工支出跟踪、备件库存，以及设备的历史资料。

状态监测 (CM)：通过对某些独立参数(通常为时间或周期)指标的观察、测量和延伸，来显示当前和未来结构、系统或组分在验收标准内运行的能力。

成本规避：预防事故发生所产生的回报(通常以货币形式表示)。

关键操作参数：超出限值后会导致设备失效的工艺条件(例如，流量、温度)。

损害/失效机理：导致设备降级的机械、化学、物理或其他过程。对损害机理迹象的识别和检查可以用来预测未来的失效。

决策树：一种逻辑树，用于以可靠性为中心的维护(RCM)中，以帮助确定执行正确的维护类型(例如，预测、预防)，从而减少设备失效可能性。

设备类型：一组具有相似设计和操作的单独设备部件，这样的设备应当在所有的产品中执行相似的 ITPM 活动。

设备缺陷：不符合验收标准的状态。

设备失效分析：一种系统方法，用来分析导致设备失效的失效机制和根原因。

失效模式：设备失效的征兆、状态或方式。失效模式可能被确定为功能丧失，功能不成熟(没有需求的功能)，超过极限状态，或一个简单的物理状态，如泄漏。

失效模式与影响分析 (FMEA)：一种系统方法，用来评估和记录设备/零部件已知失效类型的原因及其影响。

失效模式、影响及危害性分析 (FMECA)：FMEA 的一种变化形式，包括对失效模式后果重要性的定量评估。

故障树：一种能够描述引发某个特定事件(如失效或者事故等)的各种失效原因的逻辑关联的方法。

工程适用性 (FFS)：一种评估设备当前状态的系统方法，用以确定设备部件是否能够在规定的操作条件下(如温度、压力)运行。

甘特图：一种用来描述多个的、基于时间的活动的方式(通常是以时间为横坐标的柱

状图)。

危险与可操作性(HAZOP)分析：通过使用一系列“引导词”研究过程偏差，从而识别过程危害和潜在操作问题的一种系统性方法。

检验、测试和预防性维修(ITPM)：预先安排的积极的维修活动，其主要目的是：(1)评估设备当前状况和降级率；(2)检测设备的可操作性/功能性；(3)通过恢复设备状态预防设备失效。

ITPM 程序：一种开发、维护、监控和管理检验、测试和预防性维修活动的管理体系。

保护层分析(LOPA)：对降低不期望事件频率或后果严重性的独立保护层的有效性进行评估的一种过程。

变更管理(MOC)：一种用于确保过程变更被正确分析(例如：存在潜在的不利影响)、记录以及通知受影响人员的管理体系。

设备完整性(MI)：一种以确保设备持续的耐久性及功能性的管理体系。

无损检测/无损探伤(NDT/NDE)：以不损坏或不破坏设备的方法来测量设备参数为目的，从而对设备进行评估。

可操作范围：设备无故障运行的参数范围(例如：安全上限和安全下限、运行时间)。

用户：依法负责压力维持部件(如压力容器)安全运行的人员、工厂或公司。

绩效测量：一种用于监控或评估活动方案和管理系统运行状态的度量标准。

材料可靠性鉴别(PMI)：设备部件或配件在建设时的材料选定(如管道材料选定)。

预防性维修：以设备状态测量为基础的设备维护策略，用以评估设备是否在将来某个时期失效并采取适当行动避免这种失效发生。

启动前安全审查(PSSR)：通过验证设备安装方式与设计意图相一致，从而确保新的或修改过的程序已做好启动准备的管理体系。

过程危害分析(PHA)：对工艺危害的系统评估，目的是确保有足够保障措施应对固有风险。

过程安全信息：管理过程安全所需的有关化学品危险性、技术和设备文件的汇编。

质量保证(QA)：确保设备设计合理，且在设备整个生命周期中不损害其设计意图的活动。

被认可和普遍接受的良好工程实践(RAGAGEP)：基于已有的规范、标准、已出版的技术报告或推荐做法(或类似名称的文件)，为工程、操作或维护活动提供指导的文件。

以可靠性为中心的维修(RCM)：一种系统分析方法，用于评估设备失效对系统性能的影响，并确定已识别出的设备失效的具体管理策略。失效管理策略包括预防性维修、预测性维修、检验、测试和一次性变更(如，设计改进、操作变更)。

剩余寿命：根据检验结果，设备达到规定退役标准(例如，最小壁厚)的时间估计。

风险：衡量损失的严重程度和产生损失的可能性的潜在损失(如人身伤害、环境污染，经济损失)。

风险分析：基于工程评估和数学方法(定量)，结合对事件结果和频率的评估，定性和/或定量评估研究。

基于风险的检验(RBI)：通过识别可靠的失效机制和在役设备失效的后果及可能性，来确定设备检验策略的系统方法。

根原因分析(RCA)：一种方法，用于(1)描述是什么导致了特定事件的产生以及该事件进行期间发生了什么；(2)明确它是如何发生的；(3)识别导致事件发生的潜在原因，从而实施可行的纠正措施以防止事件的再次发生(或类似事件的发生)。

安全仪表功能(SIF)：由服务器、逻辑解算器和最终控制元件组成的系统，其目的是在超出既定条件时，使生产过程进入安全状态。

安全仪表系统(SIS)：一个或多个安全仪表功能的组合，用于保护生产过程或关键过程组成部分的安全。

安全完整性水平(SIL)：定义了安全仪表系统所需的可接受的失效概率的标准。

技术保障：对过程设备采用适宜技术的交流过程。

技术评估条件：需要开展进一步技术评估的设备条件，以确定继续服役的适用性。

验证活动：确保在培训后已获得必要技能和/或知识的测试、实地观察或其他活动。

致谢<<<

美国化工过程安全中心(CCPS)衷心感谢设备完整性(MI)小组委员会的所有成员在本书筹备过程中提供的技术支持。CCPS 同时也对技术指导委员会所提供的专家意见及技术支持表示感谢。

MI 小组委员会主席:

Brian Dunbobbin	美国空气化工产品有限公司(Air Products and Chemicals)
Thoma Folk	罗门哈斯公司(Rohm and Haas)

CCPS 联系人:

Dan Sliva

委员会其他人员如下:

John Alderman	RRS 工程公司(RRS Engineering)
Dan Long	塞拉尼斯公司(Celanese)
Jon Batey	道化学公司(Dow Chemical Company)
Michael Moriarty	阿克苏诺贝尔公司(Akzo Nobel)
Gavin Floyd	罗地亚集团(Rhodia)
Henry Ozog	IoMosaic 公司
Stan Grabill	霍尼韦尔国际(Honeywell)
Chris Payton	BP 公司(BP)
Michael Hazzan	侨通咨询集团(AcuTech Consulting Group)

设备完整性指南由 ABSG 咨询公司(ABS Consulting)起草。Randal Montgomery 和 Andrew Remson 是主要撰稿人。Steve Arendt, William Bradshaw, Earl Brown, Myron Casada, Douglas Hobbs 及 Daniel Machiela 也为本指南做出巨大贡献。

本书作者非常感谢 ABS Consulting 的科技出版人员。Karen Taylor 是手稿编辑人。Paul Olsen 完成了许多插图工作。Erica Suurmeyer 为同行评审准备书面材料, Jennifer Trudeau 和 Susan Hagemeyer 筹备手稿终稿的出版工作。

CCPS 衷心感谢以下同行审核人员的意见:

Michael Altmann	太阳石油公司(Sunoco Inc.)
Lisa Morrison	PPG 公司
Mike Broadribb	BP 公司(BP)
Jim Muoio	美国莱昂德尔化学公司(Lyondell Petrochemicals)
David Cummings	杜邦公司(Du Pont)
Jack Philley	Baker Risk

Art Dowell	罗门哈斯公司 (Rohm and Haas Company)
Bill Salot	霍尼韦尔国际 (Honeywell)
Cindy Gross	塞拉尼斯公司 (Celanese)
Mark Saunders	佐治亚太平洋公司 (Georgia Pacific)
Peter Howell	Mark V, Inc.
Kenan Stevick	道化学公司 (Dow Chemical Company)
Peter Lodal	伊士曼化学公司 (Eastman Chemical Company)
Jim Willis	美国空气化工产品有限公司 (Air Products and Chemicals)
Bill Marshall	美国礼来公司 (Eli Lilly)

他们的见解和意见为本书的客观性提供了很大帮助。

前言《《《

40 多年来，美国化学工程师学会(AIChE)致力于对化工及相关产业的过程安全及损失控制领域的研究。通过与过程设计人员、设备结构制造者、操作人员、安全专家及学术界人士间密切的联系，AIChE 强化了沟通交流，并鼓励行业高安全标准的持续改进。AIChE 的出版物和专题论文集，已成为从事过程安全和环境保护研究人员的信息源泉。

墨西哥的墨西哥城和印度的博帕尔市相继发生化学品事故灾难后，1985 年 AIChE 创立了化工过程安全中心(CCPS)，特许其发展和传播预防重大化学品事故的技术信息。该中心获得 80 多家化学加工工业(CPI)赞助商的支持，为中心技术委员会提供必要的资金和专业指导。CCPS 为实施过程安全和风险管理体系各要素提供系列指南，本书即该系列的一部分。

设备完整性(MI)是有效的过程安全方案的基本组成部分。为维持有效的过程安全方案，工厂在生产过程中不断受到挑战。CCPS 技术指导委员会启动这些指南的编制工作，旨在协助工厂应对这些挑战。本书涵盖 MI 程序从设计、开发、实施到持续改进的方法。

本书综述<<<

机械完整性(Mechanical integrity, MI)是许多作业活动的产物,通常由人执行。当这些作业活动执行到位时,MI可以为安全可靠的工厂提供基础,最大限度减少对环境、公众及作业人员的威胁。这些因素加上管理的推动,为确保适当的MI提供了充足的动力。简言之,优秀的MI与良好的商业实践是相一致的。

优秀的MI是适当的设备、可靠的人员绩效和有效的管理体系的综合产物。《机械完整性体系指南》(以下简称MI指南)向读者展示包括重点领域在内的MI方案的设计、开发、实施和持续改进。这些重点领域的背后是复杂且支持性的管理体系。MI指南还包括对支持方案的建议。

要开发一套MI方案,工厂管理部门需明确应包括哪些设备单元,以及这些信息应细化到何种程度。同样,提升现有的MI方案,要求确认这些决策正确且被贯彻实施。因此,这些指南针对广泛的读者和潜在用户。此外,尽管对于工厂而言,符合联邦、州和地方规章往往是激励因素,但MI指南并不受任何规章制度的限制。相反,遵循MI指南可以帮助工厂开发、实施和/或提升现有的MI方案,同时符合这些规章的要求。

一旦明确目标和设备的定义,工厂管理部门需要制定并执行与MI相关的系统性的活动。包括:

- 检验、测试和预防性维修(ITPM)
- 所有受影响人员的培训
- 相关程序
- 质量保证(QA)
- 设备缺陷的判定

MI指南包括了以上所有内容的方法。这些活动的具体细节取决于工厂文化、监管责任和公司的优先次序。虽然书中几乎未包括任何约定俗成的信息,但该MI指南提供的方法适用于各种行业和各种规模的工厂。

MI活动的实施很大程度上取决于所涉及的设备特定类型。因为大多数的法规、标准和其他指南针对特定设备类型,MI指南中有一章内容专门描述适用于不同设备类型的具体方法。该章节中列出了许多被认可和普遍接受的良好工程实践(RAGAGEPs)。RAGAGEPs的关键方面(如检验的时间间隔)也在该章节中列出,但鼓励读者查阅参考文献获取更详细的信息。

MI方案的有效执行需要大量的资源。通常这些资源包括一个计算机维护管理系统(CMMS)。尽管一些内部软件也十分有效,但现在有许多商业的CMMS软件包可以购买到。MI指南包括CMMS中应包含的基本信息,CMMS应作为一部分安装到有效的MI方案中。

由于大多数MI方案需要大量的资源,可以有效利用基于风险的决策优先分配资源。各

种各样的文本已经写入适用工具中用于作出决策。MI 指南包括许多工具的概述和可以获取这些资源的参考文献。

MI 指南的最后一章是关于 MI 方案的持续改进。持续改进可确保 MI 方案持续在高水平下运行。某些改进可以简单地通过询问恰当的问题(如审核)及跟踪解决问题的方式实现。频繁开展改进活动将实现持续改进。

为方便读者,附录中的材料和参考文献列在书中相关章节的末尾。另外,由于材料部分存在:过于冗长而没有在附录中完全列出;经许可从其他来源中直接复制;需要使用电子版等上述原因,读者可参考原版书所附的英文光盘。

最后,读者和管理者应注意,有效的 MI 方案并不能保证不发生事故。但有效的 MI 程序结合其他有效的风险管理程序(RMPs)能够降低与化学品操作相关的风险。

目录<<<

表格清单
插图清单
简称和缩略语
术语
致谢
前言
本书综述

1 引言 / 1

- 1.1 什么是设备完整性 / 1
- 1.2 MI 与其他方案的关系 / 2
- 1.3 MI 方案的预期成果 / 2
- 1.4 RAGAGEP 的效果 / 4
- 1.5 本书的结构 / 4
- 参考文献 / 6

2 管理职责 / 7

- 2.1 工厂领导层的角色、责任 / 7
- 2.2 技术保障职责 / 9

3 设备选型 / 12

- 3.1 审查方案目标 / 12
- 3.2 确立设备选型准则 / 12
- 3.3 定义细节程度 / 15
- 3.4 记录设备的选择 / 15
- 3.5 设备选择的作用和职责 / 16