

高等学校教材

过程装备安全技术

魏新利 刘华东 张东伟 编著
王威强 主审

GUOCHENG ZHUANGBEI
ANQUAN JISHU



化学工业出版社

高等学校教材

过程装备安全技术

魏新利 刘华东 张东伟 编著
王威强 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

《过程装备安全技术》根据过程工业与装备特点,分别从过程装备安全检测、过程装备安全装置、承压设备的监察管理、典型过程装备安全技术、过程装备结构完整性评价、过程装备事故分析与处理等几个方面介绍了过程装备安全知识。旨在提升读者过程装备事故危害与预防、安全监测与监察管理、故障分析与事故处理等安全技术能力。

本书可以作为高等学校机械类、化工类等相关专业本科专业教材或参考书,也可供相关工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备安全技术/魏新利,刘华东,张东伟编著. —北京:
化学工业出版社, 2018.4
高等学校教材
ISBN 978-7-122-31607-3

I. ①过… II. ①魏…②刘…③张… III. ①化工过程-化
工设备-设备安全-高等学校-教材 IV. ①TQ051

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第038234号

责任编辑:程树珍 丁文璇

装帧设计:关 飞

责任校对:宋 玮

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:河北鹏润印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张8 $\frac{3}{4}$ 字数213千字 2018年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00元

版权所有 违者必究

《《 前 言 》》

随着过程装备的大型化，流程工业生产装置日益复杂，许多装备互相连接，形成一条很长的连续生产线，装备间互相作用、互相制约。而且大量有毒有害化学物质存在于工艺过程中，一旦某些薄弱环节出现故障，就可能造成重大事故，给生命和财产造成巨大损失。因此，为了确保流程工业生产装置的正常运转并生产出符合质量标准的产品，要特别重视过程装备的安全可靠性。

在工程教育专业认证的标准中，对本科毕业生明确提出：“能够设计针对复杂工程问题的解决方案，设计满足特定需求的系统、单元（部件）或工艺流程，并能够在设计环节中体现创新意识，考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素”，“能够基于工程相关背景知识进行合理分析，评价专业工程实践和复杂工程问题解决方案对社会、健康、安全、法律以及文化的影响，并理解应承担的责任”。这就要求过程装备与控制工程及相关专业的本科生，应当掌握必要的装备与工程安全知识，具备必要的装备与工程安全技术能力。

本书根据过程工业与装备特点，分别从过程装备安全检测、过程装备安全装置、承压设备的监察管理、典型过程装备安全技术、过程装备结构完整性评价、过程装备事故分析与处理等几个方面介绍了过程装备安全知识。

本书可以作为高等学校机械类、化工类等相关专业本科专业教材或参考书，也可供相关工程技术人员学习与参考。

本书第1章、第6章由郑州大学的魏新利编写，第4章、第7章由郑州大学的刘华东编写，第2章、第3章、第5章由郑州大学的张东伟编写，全书由魏新利统稿。山东大学的王威强主审。

由于编写时间仓促和水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编者

2018.01

《《 目 录 》》

| | |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 概论 | 1 |
| 1.1 过程工业生产特点 | 1 |
| 1.1.1 过程工业的概念 | 1 |
| 1.1.2 过程工业生产特点 | 1 |
| 1.1.3 过程工业安全生产 | 3 |
| 1.2 过程装备安全的特点 | 3 |
| 1.2.1 过程装备概念及分类 | 3 |
| 1.2.2 影响过程装备安全的主要因素 | 4 |
| 1.2.3 过程装备失效的主要原因 | 5 |
| 1.2.4 过程装备安全的基本要求 | 7 |
| 1.2.5 过程装备事故的预防 | 8 |
| 1.3 过程装备事故及危害 | 10 |
| 1.3.1 过程装备常见事故 | 10 |
| 1.3.2 过程装备事故的危害 | 11 |
| 1.4 过程装备安全人机工程 | 13 |
| 1.4.1 安全人机工程学概念 | 13 |
| 1.4.2 影响过程装备安全的人机因素 | 14 |
| 第 2 章 过程装备安全检测 | 17 |
| 2.1 过程装备的无损检测 | 17 |
| 2.1.1 射线检测 | 17 |
| 2.1.2 超声检测 | 20 |
| 2.1.3 磁粉检测 | 23 |
| 2.1.4 渗透检测 | 25 |
| 2.1.5 磁记忆检测 | 27 |
| 2.1.6 声发射检测 | 29 |
| 2.1.7 红外检测 | 31 |
| 2.2 运行参数的检测 | 34 |

| | | |
|------------------------|---------------------|----|
| 2.3 | 生产环境的检测 | 36 |
| 第3章 过程装备安全装置 | | |
| 3.1 | 承压设备的安全泄放装置 | 39 |
| 3.2 | 罐区的安全装置 | 42 |
| 3.3 | 安全连锁装置 | 44 |
| 3.4 | 紧急停车装置 | 44 |
| 第4章 承压设备的安全监察管理 | | |
| 4.1 | 承压设备安全管理规范 | 46 |
| 4.1.1 | 法律法规体系 | 46 |
| 4.1.2 | 安全监察机构 | 48 |
| 4.2 | 承压设备设计的安全监察管理 | 49 |
| 4.2.1 | 设计单位管理 | 49 |
| 4.2.2 | 设计文件管理 | 50 |
| 4.2.3 | 设计人员管理 | 51 |
| 4.2.4 | 监督检查 | 52 |
| 4.3 | 承压设备制造的安全监察管理 | 53 |
| 4.3.1 | 制造单位的管理 | 53 |
| 4.3.2 | 制造文件的管理 | 53 |
| 4.3.3 | 制造人员的管理 | 54 |
| 4.3.4 | 制造质量的监督管理 | 55 |
| 4.4 | 承压设备安装、改造、维修的安全监察管理 | 55 |
| 4.4.1 | 安装单位的资质管理 | 55 |
| 4.4.2 | 安装、改造、维修文件管理 | 56 |
| 4.4.3 | 安装、改造、维修人员管理 | 56 |
| 4.4.4 | 安装、改造、维修质量的监督管理 | 56 |
| 4.5 | 承压设备使用的安全监察管理 | 57 |
| 4.5.1 | 安全运行管理 | 57 |
| 4.5.2 | 运行档案管理 | 58 |
| 4.5.3 | 操作人员管理 | 59 |
| 4.5.4 | 运行设备的监督管理 | 59 |
| 4.6 | 承压设备的检验管理 | 59 |
| 4.6.1 | 检验机构的资质管理 | 59 |
| 4.6.2 | 检验仪器设备的管理 | 60 |
| 4.6.3 | 检验档案管理 | 60 |

| | |
|---------------------|----|
| 4.6.4 检验人员的管理 | 60 |
|---------------------|----|

第5章 典型过程装备安全技术

61

| | |
|----------------------------|----|
| 5.1 锅炉安全技术 | 61 |
| 5.1.1 锅炉结构及特点 | 61 |
| 5.1.2 锅炉设备安全 | 62 |
| 5.1.3 锅炉设备的安全运行与管理 | 64 |
| 5.2 承压设备安全技术 | 68 |
| 5.2.1 压力容器安全技术 | 68 |
| 5.2.2 反应设备安全技术 | 71 |
| 5.2.3 换热设备安全技术 | 73 |
| 5.3 油气储运设备安全技术 | 76 |
| 5.3.1 油气储运设备结构特点及安全 | 76 |
| 5.3.2 油气储运设备的安全运行与管理 | 80 |
| 5.4 过程流体机械安全技术 | 81 |
| 5.4.1 过程流体机械的种类与特点 | 81 |
| 5.4.2 压缩机安全技术 | 82 |
| 5.4.3 离心机安全技术 | 83 |
| 5.4.4 过程流体机械的安全运行与管理 | 85 |

第6章 过程装备结构完整性评定技术

89

| | |
|----------------------------|----|
| 6.1 结构完整性评定基础 | 89 |
| 6.1.1 结构完整性评定概念 | 89 |
| 6.1.2 结构完整性评定原理 | 90 |
| 6.1.3 结构完整性评定的力学基础 | 91 |
| 6.1.4 结构完整性评定的基本程序 | 95 |
| 6.2 结构完整性评定方法 | 96 |
| 6.2.1 概述 | 96 |
| 6.2.2 国际主要的结构完整性评定方法 | 97 |
| 6.2.3 我国结构完整性评定方法 | 98 |
| 6.2.4 结构完整性评定的概率方法 | 99 |

第7章 过程装备事故分析及处理

102

| | |
|------------------|-----|
| 7.1 概述 | 102 |
| 7.1.1 基本概念 | 102 |

| | | |
|-------------------|------------------|-----|
| 7.1.2 | 承压设备常见失效模式 | 102 |
| 7.1.3 | 承压设备常见失效机理 | 103 |
| 7.2 | 事故调查分析程序 | 109 |
| 7.2.1 | 事故分类 | 109 |
| 7.2.2 | 事故报告 | 110 |
| 7.2.3 | 事故现场紧急处理 | 111 |
| 7.2.4 | 事故调查 | 111 |
| 7.2.5 | 事故处理 | 112 |
| 7.3 | 设备事故鉴定分析方法 | 112 |
| 7.3.1 | 现场调查 | 112 |
| 7.3.2 | 事故过程调查 | 113 |
| 7.3.3 | 制造与服役历史的调查 | 113 |
| 7.3.4 | 技术检验与鉴定 | 114 |
| 7.3.5 | 综合分析 | 115 |
| 7.4 | 流体机械故障及处理 | 119 |
| 7.4.1 | 压缩机 | 119 |
| 7.4.2 | 风机 | 124 |
| 7.4.3 | 机泵电机 | 125 |
| 7.4.4 | 泵 | 126 |
| 7.5 | 案例分析 | 127 |
| 参考文献 | | 129 |

第1章

概 论

1.1 过程工业生产特点

1.1.1 过程工业的概念

按照“技术特征”可将制造业分为两类。

一类是通过物质的化学、物理或生物转化，生成新的物质产品或转化物质的结构形态，多为流程性材料产品，以气体、液体、粉体等形态存在，产品计量不计件，连续操作，生产环节具有一定的不可分性，可统称为过程工业（过程制造业），如涉及化学资源和矿产资源利用的产业（化工、石油化工、冶金等）；另一类是以物件的加工和组装为核心的产业，根据机械电子原理加工零件并装配成产品，但不改变物质的内在结构，仅改变大小和形状，产品计件不计量，多为非连续操作，这类工业可统称为装备制造业。

过程工业是加工制造流程性材料产品的现代制造业。我国的主要过程工业按大行业分类有：食品加工业、食品制造业、造纸及制品业、印刷业、石油加工及炼焦业、化学原料及化学制品业、医药制造业、化学纤维制造业、橡胶制品业、塑料制品业、矿物制造业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶金及压延加工业等。

另外还有包含在其他大行业中的过程工业，如：金属表面处理及热处理业、铸件制造业、粉末冶金制品业、绝缘制品业、集成电路制造业（部分生产环节）、电子元件制造业（部分生产环节）、纤维原料初步加工业、棉纺印染业、毛染整业、丝印染业、火力发电业、煤气生产业、自来水生产业等。

1.1.2 过程工业生产特点

从安全的角度来说，过程工业生产具有如下特点。

(1) 工作介质多为易燃易爆、有毒有害和有腐蚀性的危险化学品

过程工业生产中从原材料到产品，包括工艺过程的半成品、中间体、溶剂、添加剂、催化劑、试剂等，许多属于易燃易爆物质，且在高温、高压等苛刻条件下极易发生泄漏或挥

发,甚至发生自燃。如果操作失误、违反操作规程或设备管理不善、年久失修,发生事故的可能性就增大。一旦发生事故,不仅损伤设备,还会造成人员伤亡。如原料药的合成、化肥和农药生产、硫黄制酸、染料生产、氯碱化工等。

过程工业生产中的有毒物质,种类多,数量大。许多原料和产品本身有毒,在生产过程中添加的一些化学物质也多数有毒性,在生产过程中因化学反应又生成一些新的有毒物质。这些毒物有的属于一般毒性物质,也有的属于剧毒物质。它们以气、液、固三态存在,并随生产条件的变化而改变原来的形态。

过程工业生产过程还存在一些腐蚀性物质。如在生产过程中使用的硫酸、硝酸、盐酸和强碱等一些强腐蚀性物质,它们不但对人有很强的化学灼伤作用,而且对金属设备也有很强的腐蚀作用。另外,在生产过程中有些原料和产品本身具有较强的腐蚀作用,如原油中含有硫化物就会腐蚀设备管道。化学反应中还会生成新的、具有不同腐蚀性的物质,如硫化氢、氯化氢、氯氧化物等。如在设计时没考虑到该类腐蚀产物的出现,不但会大大降低设备的使用寿命,还会使设备减薄、变脆,甚至承受不了设计压力而发生突发事故。

(2) 生产过程复杂、工艺条件苛刻恶劣

现代化过程工业生产过程复杂,从原料到产品,一般都需要经过许多工序和复杂的加工单元。而且广泛采用高温、高压、深冷、真空等工艺,有反应釜、塔、换热器、储罐、锅炉等各种各样的设备,再加上众多的管线,使工艺装置更加复杂化。工艺操作不当也会造成危害,例如,进行加氢反应时,不同的反应过程采用不同的反应压力。当选择高压进行反应时,对于低压反应而言,又增加了潜在超压的危害。当工艺系统的运行“偏离”原来的设计条件时,就可能出现异常的工况,进而导致化学品或能量泄漏,形成工艺安全事故。比如意外停电、失去冷却水、失去仪表空气、操作人员开错阀门、加错物料、遗忘操作步骤、环境温度过高或过低、工艺设施遭受车辆撞击、管道破裂、设备穿孔等。有些反应要求的工艺条件苛刻,如丙烯相空气直接氧化生产丙烯酸的反应,物料配比在爆炸极限附近,且反应温度超过中间产物丙烯醛的自燃点,在安全控制上稍有失误就有发生爆炸的危险。

(3) 生产规模大型化、生产过程连续化

现代过程工业生产装置规模越来越大,以求降低成本、提高生产率、降低能耗。因此各国都把采用大型装置作为加快过程工业发展的重要手段。装置的大型化有效提高了生产效率,但规模越大,装置越复杂,危险源越多,安全隐患越大。化工生产从原料输入到产品输出具有高度的连续性,前后单元息息相关,相互制约。某一环节发生故障常常会影响到整个生产的正常进行。安全事故都是瞬间发生,尤其是火灾和爆炸事故,不仅死亡人数多、波及范围广,而且带来的危害也十分巨大。有时还会引起恶性的社会群体性事件,给经济发展以及社会稳定带来巨大影响。

(4) 生产过程自动化程度高

由于装置大型化、连续化、工艺过程复杂和工艺参数要求苛刻,因而现代化过程工业生产中,人工操作已不能适应其需要,必须采取自动化程度较高的控制系统。近年来随着计算机技术的发展,过程工业生产中普遍采用了DCS集散控制系统,对生产过程的各参数及开停车实行监控、控制和管理,从而有效地提高了控制的可靠性。但是也可能因控制系统和仪器仪表维护不好、性能下降、检测或控制失效而发生事故。

(5) 局部停机将导致全线停机

过程工业的最主要特征是某一局部停机会导致全线停机。从胶片、造纸、卷烟、连铸连轧的轧钢设备,到反应介质流动的石油化工过程,局部停机就意味着上、下游存在制品的积

压或短缺，迫使全线停机。全线停机会造成严重的经济损失，化工反应、冶金熔炼设备等停机往往会造成大量在用材料和能源的浪费。

(6) 运行中无法停机排除小故障隐患

过程工业在运行中，局部小故障隐患即使被发现，也会因不能停机而无法排除。只要此故障隐患不会造成质量、成本、安全等严重后果，或者短时间内不会造成全线停机，装备“带病”运行是允许的，也是企业里常见的状况。

(7) 事故应急救援难度大

由于过程工业大量易燃易爆物品的存在、复杂的管道布置，增加了事故应急救援的难度。

1.1.3 过程工业安全生产

过程工业发生事故的可能性及其后果的严重性比其他行业来说要大得多，所以安全生产显得尤为重要。安全是生产的前提，没有安全作保障，生产就不能顺利进行。安全是过程工业生产发展的关键，没有安全作保障，生产就不能实现向大型化、连续化方向发展。随着社会的发展，人类文明程度的提高，人们对安全的要求也越来越高。因此，深入研究安全管理和预防事故的科学方法，控制和消除各种危险因素，做到防患于未然，就显得尤为重要。对于担负着开发新技术、新产品重任的工程技术人员，必须树立安全观念，认真探讨和掌握伴随生产过程而可能发生的事故及预防对策，努力为企业提供技术先进、工艺合理、操作可靠的生产技术，使过程工业生产中的事故和损失降低到最低限度。

由于过程工业的生产装置是由许多机器与设备按照工艺要求通过管道阀门等互相连接形成的，装备之间互相作用、互相制约。因此装备的可靠性研究变得越来越重要。对工艺设备的处理能力和工艺过程的参数要求更加严格，对控制系统和人员配置的可靠性也提出了更高的要求。在这些装备中，大多数危险都具有潜在的性质，即存在着“危险源”。危险源在一定的条件下可以发展成为“事故隐患”，若事故隐患继续失去控制，则转化为事故的可能性会大大增加。即危险失控，可导致事故；危险受控，能获得安全。所以辨识危险源成为重要问题。目前国内外流行的安全评价技术，就是在危险源辨识的基础上，对存在的事故危险源进行定性和定量评价，并根据评价结果采取优化的安全措施。提高过程工业生产的安全性，需要增加设备的可靠性，同样也需要强化现代化的安全管理。

本书按照安全人机工程学理念，从过程装备本身安全检测、工况环境的检测、安全装置、过程装备安全管理、典型过程装备安全技术、过程装备事故分析及处理等方面进行安全分析。

1.2 过程装备安全的特点

1.2.1 过程装备概念及分类

过程装备通常是指过程工业生产过程中应用的各种设备。在过程工业将生产原料转化成

为合格产品的过程中，必须要经过主要的三种工序：第一个是生产原料的预处理；第二个是相关的化学或生物反应；第三个是反应后的产物提炼及分离。这一生产工艺过程主要依靠相应的机械设备实现，这样的机械设备都属于过程装备。

目前，过程工业正在朝着大型化和集成化方向发展，这样就要求我们使用的装备有着非常好的使用性能以及运行的安全稳定性。在整个过程工业生产中如果某一个机械设备出现故障就会严重地影响系统的稳定运行。因此在过程工业领域，装备运行的安全至关重要。

(1) 过程装备的分类

过程装备通常可分为过程机械和过程设备两大类。

过程机械（流体机械），指主要作用部件为运动的机械，如各种泵、风机、压缩机、破碎机、过滤器、离心分离机、旋转窑、搅拌机、旋转干燥机等。

过程设备，指主要作用部件是静止的或者只有很少运动的机械，如各种储存设备（槽、罐、釜等）、反应设备（反应器、合成塔、反应炉、电解槽、聚合釜等）、换热设备（换热器、散热器、废热锅炉、储热器等）、分离设备（精馏塔、干燥器、蒸发器、结晶设备、吸附设备、普通分离设备）等。

(2) 过程装备的主要性能

过程工业的生产产量以及相应的生产成本和生产质量与过程装备密切相关。同时过程装备必须能够承受高温、高压以及易燃易爆等苛刻的条件。因此过程装备至少应该具备以下五种使用性能：①过程装备应该在连续高速运转的情况下保障其可靠性以及安全性；②过程装备应该在特殊的条件下还能够保障标准要求的使用强度性能；③过程装备必须具有非常好的耐腐蚀性；④过程装备必须要有好的密封性能；⑤过程装备必须要按照国家节能减排的要求实现高效率、低能耗、低排放。

(3) 过程装备的主要特点

由于过程装备的用途不同，涉及的形式种类非常多，过程装备内物料的相互转化是非常复杂的，常见的能量转化主要有热能转化、机械能转化以及化学能转化等。

过程装备在运行过程中由于运行物料的性质发生变化，导致过程装备的组成以及相应的运行状态也随之变化。

过程装备的运行工况会随着生产系统运行参数的变化而变化，例如随着温度、压力的变化而变化等。

过程装备要求能够在不同化学物质的生产运行过程中灵活转换，因此过程装备的设备结构比较复杂。

1.2.2 影响过程装备安全的主要因素

(1) 过程装备安全的本质因素

通过对大量过程装备事故数据统计分析，可以看到，由于过程装备的设计不合理，造成过程装备在使用中发生事故的情况时有发生。比如，有些过程装备由于选材不当而引起装置腐蚀、损坏及材料的疲劳；有些过程装备由于设计不合理，缺少可靠的控制仪表等，在操作时，过程装备往往会出现故障；有的过程装备是因为外部附件设计不合理而存在危险因素；有的是操作部位不合理等。这些都直接影响过程装备的安全性，从而使生产装置处于不安全状态。

过程装备的本质安全是保证生产运行的关键所在。设计者必须严格遵循相关的规范标准,根据过程装备的使用条件,严格设计,力求使过程装备达到技术先进、性能可靠、安全耐用的标准。

在过程装备的加工制造以及装配过程中,可能存在不足,形成危险因素,引发事故。如过程装备制造过程中存在的制造工艺不符合标准、加工方擅自变更图纸、加工精度不能满足标准或设计要求、没有进行充分的无损检验或没有经过专家验收、对过程装备预处理或热处理不当、过程装备安装达不到技术标准要求等,均会形成潜在的不安全因素。

制造和安装单位一定要严格按照过程装备制造和安装技术标准,在制造以及安装过程中,确保质量达标。属于压力容器的,还应符合国家关于特种设备安全监察方面的相关规定。

(2) 过程装备安全的使用因素

在过程工业生产中,大多数过程装备都是在苛刻的温度、压力、介质条件(如高温、高压、低温、真空、腐蚀等)等环境下运行的。相关操作人员的违规操作、误操作,工作人员对过程装备维护保养的缺失,对过程装备本身及安全附件定期检验校验的不到位,检修维修前后开停车的不按规操作等,都是过程装备在使用过程中的安全隐患,稍有不慎,就可能导致过程装备事故的发生。

为了实现过程装备安全,在使用过程中,所有过程装备管理人员和操作人员都必须经过严格地培训或考核合格,并能够自觉遵守各项规章制度。每位操作人员都必须熟悉和掌握过程装备的性能、操作要领和工艺指标,严格按照操作规程进行操作,杜绝“三违”现象。严禁过程装备超温超压超负荷运行以及超期服役,同时,要及时对过程装备进行维修和保养,以保证过程装备处于完好状态。

(3) 过程装备安全的管理因素

安全管理是保证生产经营单位安全运行的重要环节,也是保障过程装备安全的必要措施。必须不断完善安全管理制度,建立一套科学、合理、有效、可操作性强的安全管理和应急管理体系。通过安全管理,提高各级管理人员和员工的安全意识,规范员工的操作行为,加强对过程装备的维护保养,使设备本身和各个安全附件都处于良好状态。属于特种设备范畴的承压设备,还必须严格遵守特种设备有关定期检验的要求。积极开展安全生产标准化工作,努力提升企业对过程装备的管理水平。

加强对从业人员教育培训,不断提高对过程装备安全运行知识的掌握程度,增强员工安全意识和自我保护能力。首先,要正确认识和学习国家有关安全生产的方针、政策、法律法规以及有关过程装备方面的规章、规程、规范、标准等;其次,要普及和提高过程装备安全技术知识,使其了解相关的安全管理要求,增强安全操作技能,掌握过程装备和工作岗位存在的危险因素及防护措施、应急措施等;再次,通过对典型的事故案例进行分析,使员工从事故中汲取深刻的教训,让他们了解到自己所执行的安全管理制度及操作规程,不但是国家法律法规和标准的要求、是实践中经验的积累,也是在血淋淋的事故中总结出来的教训。要使员工明白过程装备事故的严重性和危害性,增强员工对过程装备安全运行的重视程度,以保障生产的有序进行,实现对过程装备安全的有效控制。

1.2.3 过程装备失效的主要原因

过程装备有别于其他机械装备的显著特点是:

- i. 涉及的能量形式多种多样, 相互间转换过程也较复杂, 最常见的能量形式有热能、机械能、化学能、电磁能等;
- ii. 工质性质多变, 如其组成、组分及其相态的多变等;
- iii. 运行工况域十分宽阔, 操作参数特殊, 如高低压、高低转速、高低温、高低黏度等;
- iv. 具有优良的适应不同化学性质要求的特点, 从而构成了过程装备特殊结构的千变万化。

因此, 过程装备的损坏形式也是多种多样的, 如: 表面损坏、畸变损坏、泄漏损坏、断裂损坏等。但究其原因主要有以下几个方面。

(1) 腐蚀和冲蚀磨损

相关调查显示, 在世界上生产的钢铁中, 每年就有将近总量的 10% 的钢铁被腐蚀掉, 因为腐蚀问题造成的经济损失大约占据了国民生产总值的 2%~5%。

从过程工业生产过程看, 腐蚀问题大致可以分为三种类型, 即来自原料组分的腐蚀、生产过程中来自化学药剂的腐蚀以及环境的腐蚀。在各种炼油加工过程中, 作为处理剂、吸收剂、催化剂等加入的各种酸及化学药剂, 几乎都会对设备造成腐蚀。

另外, 在机械、冶金、能源、航空等行业都广泛存在着冲蚀磨损的问题, 其已经成为材料损坏的重要原因之一。据有关部门调查, 在所有的锅炉事故中, 有近 1/3 的是由于锅炉管道的冲蚀磨损造成的; 运输管道、弯头的冲蚀磨损比直通管道的冲蚀磨损程度严重 50 倍以上。

许多储存在容器内的原料及化学品会与容器金属本身反应而造成腐蚀, 在流体输送过程中对材料造成冲蚀。在一些生产操作中, 腐蚀和冲蚀同时发生。

(2) 疲劳

在静设备上, 疲劳损坏常发生在管路和压力容器上, 它的产生是由温度和压力载荷的周期性变化导致的。设备的损坏最初是以疲劳裂纹的形式出现的, 随着时间的积累, 逐渐形成交变应力, 最终导致裂纹的快速扩展, 造成设备及配件损坏。

在旋转机械特别是在往复运动的部件上, 疲劳裂纹的产生非常普遍。机械的疲劳损坏, 一般始于金属的表面, 以裂纹形式出现, 起初裂纹扩展比较缓慢, 之后发展越来越快, 最后导致裂纹迅速扩展以至造成设备或其零部件损坏。

(3) 渗漏与泄漏

通常情况下, 渗漏是由于零件的质地疏松或者存在肉眼看不到的缝隙等原因造成的液体或者气体向外流动的现象。出现渗漏的原因主要就是存在缝隙和密闭系统的压力过大, 有时多种因素的共同影响也会导致渗漏的发生。要更好地解决渗漏问题, 就必须采取针对性的措施, 根据具体原因对症下药。

过程装备和管道上存在大量密封点, 在压力、温度、介质腐蚀的联合作用下, 随着时间的延续, 往往出现泄漏。渗漏或泄漏都会引起有毒物质的外泄, 从而危害生产和人民群众公共安全。

(4) 运动与运转故障

润滑不良、工作中加料和加载不均衡, 可加速轴承损坏、运转件磨损和整个转子不平衡, 使得振动加剧, 噪声增大, 严重时使设备损坏。

(5) 温度过高或过低

温度过高,金属也会发生结构变化及化学变化,如晶粒增大、过烧、石墨化、脆化等,使设备发生永久性的变形以致彻底损坏。还有高温下的氢腐蚀、高温蠕变、热膨胀不一致等问题。温度过低,设备内的水或某些化学药剂会冻结,造成管道和容器破裂损坏。对于间歇操作的设备、消防水线及排放水线,特别容易冻坏。

(6) 超压及超负荷

在正常情况下,单纯超压并不一定会造成设备损坏,因为超压时有安全泄放装置可以泄放,或原设计就有输送泵的最大压力限制予以保护。但如果安全泄放装置失灵或泄放通道过小,设备本身存在腐蚀使壁厚减薄过多,或存在裂纹、凹坑等缺陷,就会造成故障导致设备损坏。超压过高时,则会引起设备爆炸。

(7) 脆性断裂

多种原因可使金属材料呈现脆性。在无鼓胀、无变形,即没有先兆的情况下发生裂纹迅速扩展而断裂,其后果常常是灾难性的。

(8) 机械维修不当或缺乏维修管理

由于设备吊装坠落或搬运机具碰撞等类似情况造成的机械损坏,会在装置停工大检修中发生。把起重卷扬机固定在管架上,卷扬机工作时,引起管架弯曲;卡车或其他搬运机动车辆,撞到构筑物柱子上,致使柱子变形、混凝土基础损坏,撞到蒸汽管线的排凝集管或消防水龙头上,迫使装置不得不停工进行修复;推土机严重破坏地下瓦斯管线,引起瓦斯泄漏点燃;预制好的管线从卡车上抛下,使法兰损坏;换热器抽出管束时,将基础拉坏;起吊管束操作不当,将管子撞坏等也属此类。以上事例大多发生在工程施工或大检修过程中,纯属工作马虎或不遵守操作规程及有关安全施工规定所致。

(9) 地震、地基下沉、风载荷

设备经受地震、地基下沉、风载荷时,特别是当基础、支承和框架受到损坏时,设备的损坏将十分严重。还有,脚手架上的踏板没有固定好,被大风吹到附近的管线上,造成管线损坏;安装罐顶圈板,未固定加强,被狂风吹掉,造成不应有的损失等也应引起重视。

1.2.4 过程装备安全的基本要求

过程工业生产装置大型化,在基建投资和经济效益方面的优势是无可争议的,但是大型化必然带来生产的连续化、操作的集中化以及全流程的自动控制,省掉了中间储存环节,生产的弹性大大减弱。生产线上每一环节的故障都会对全局产生严重影响。对工艺设备的处理能力和工艺过程的参数要求更加严格,对控制系统和人员配置的可靠性也提出了更高的要求。大型化把各种生产过程有机地联合在一起,输入输出都是在管道内进行的。许多装置互相连接,形成一条生产线,规模巨大、结构复杂、不再独立运转,装置间互相作用、互相制约,这样就可能存在薄弱环节,使系统变得比较脆弱。为确保生产装置的正常运转并达到规定目标的产品,装置的可靠性变得越来越重要。

为了保证安全生产,过程装备必须满足如下基本要求。

(1) 足够的强度

设计者在设计各种过程装备时必须严格按照国家有关标准进行设计、选材,制造者必须

按照国家标准进行制造，检验人员严格按照相关标准进行检验，保证设备具有足够的强度。严禁粗制滥造和任意改变结构及材料。承压设备在使用时，要求操作人员严格履行岗位职责，遵守操作规程，严禁违章操作，严禁超温、超压、超负荷运行。同时还要加强设备的维护管理，定期检查设备、机器的腐蚀情况，发现问题及时修复更换，以免造成重大事故。

(2) 良好的韧性

韧性是指材料断裂前吸收变形能量的能力。由于原材料、制造和使用等方面的原因，过程装备常带有各种各样的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣等。研究表明，并不是所有缺陷都会危及装备的安全运行，只有当缺陷尺寸达到某一临界尺寸时，才会发生快速扩展而导致过程装备的破坏。临界尺寸与缺陷所在处的应力水平、材料韧性以及缺陷的形状和方向等因素有关，它随着材料韧性的提高而增大。材料的韧性越好，临界尺寸越大，设备对缺陷就越不敏感，因此韧性是设备材料的一个重要指标。

(3) 可靠的密封

在过程工业生产中，设备中处理的物料介质大都具有易燃、易爆、毒性和腐蚀性等特性。如果由于设备与机器密封不严造成泄漏，将会对环境及人民的生命财产带来极大的危害。对于过程装备，不论是动设备还是静设备，必须特别重视设备的密封问题，防止其泄漏，避免造成不必要的危害。

(4) 必要的安全连锁保护装置

随着科学技术的发展，现代过程工业生产装置中大多采用自动化控制、信号报警、安全连锁和工业电视等一系列先进安全手段。自动连锁与安全保护装置的采用，在过程装备工作出现异常情况时，会自动发出报警或自动采用安全措施，以防止事故的发生，保证安全生产。

例如，过程装备上安装的安全阀就是为了防止设备和容器内部压力超过限度而发生爆炸的安全装置。又如两种气体混合后进行化学反应，当混合气体的浓度接近爆炸极限时，安装在气体入口管道上的安全保护装置就会自动中断气体的输入，防止燃烧爆炸事故的发生。气体压缩机的油压过低保护装置，在运转时出现短时间油量减少或断油时，就会发出报警与停机连锁，确保压缩机的安全运行。

(5) 合理的冗余

设计者在进行过程装备设计时，要考虑到设备实际运行过程中的种种突发现象，进行合理设计。当设备运行条件稍有变化，比如温度、压力等条件有变化时，设备能完全适应并维持正常运行，以便在短时间内及时修复调整。同时使用厂家还应配备有专业知识、技术熟练、经验丰富的维修队伍。

综上所述，过程装备运行状况的好坏，将直接影响过程工业生产的连续性、稳定性和安全性。因此，为了保证安全生产，过程装备必须满足最基本的安全要求，确保过程装备的安全运行。

1.2.5 过程装备事故的预防

(1) 强化故障预防

在实际的过程工业生产过程中，过程装备故障是非常普遍的一种现象，也是无法避免的

事情。就过程装备生产成本和使用寿命而言，过程装备的故障预防对提高生产安全性显得尤为重要，不仅能够及时发现存在的风险隐患，而且能够有效降低设备故障发生率。在故障预防过程中，维修人员要进行定期或不定期的主动检测，尽管设备维修能够确保机械设备正常运行，但却无法保证过程装备在长期生产过程中不会出现任何故障，所以要以预防为主，维修为辅，而主要的过程装备故障预防措施包括：

i. 利用现代化技术手段对传统落后的过程装备、生产系统加以升级转型，以提高过程装备的可靠性、安全性和高效性；

ii. 定期开展故障检测工作，及时排除设备运行隐患；

iii. 采取积极有效的预防措施，在确保设备正常运行的同时，有计划、有目的地开展预防工作；

iv. 要强化预防意识，坚持以预防为主、维修为辅的原则。

在过程装备维护的过程中，要以过程装备实际运行状况为根本依据，尽量做到对达到使用年限的过程装备及时淘汰、不重复维修。

(2) 强化巡回检查

确保过程装备的良好运行，务必要加强设备的巡回检查工作。在进行巡回检查时，其巡检方法要遵循“听、闻、摸、比、看”的五字原则，来对设备的运行状态进行科学的检查工作，确保设备做到“四不漏”，即不漏电、不漏水、不漏气和不漏液。发现问题时，在作好记录的同时及时向上级部门汇报，通过有效及时的处理，避免设备故障的发生。

(3) 强化故障检测

在过程装备故障预防中，要积极利用现代化检测技术和手段对设备运行状态、零部件破损程度等信息加以及时全面的监测，然后将所得数据与常态下的数据作对比分析，进而实现对过程装备故障的高效检测，及时发现问题并予以处理。

(4) 强化保养维修

i. 必须要做好温度、压力、流量等测量设备的故障处理工作。保证测量设备在运行过程中不会出现异常情况。

ii. 要及时对存在故障的设备加以维修。相关人员必须全面掌握过程装备运行原理、规律，掌握过程装备维护技能，不断提高自身的专业水平和技能素养。在实际的过程装备维修中，要结合现实状况，构建现代化管理模式，采取责任制，明确管理人员的职责，为设备高效可靠的维修奠定坚实基础。

通过对过程装备故障原因的调查结果分析，发现很大一部分的设备故障就是因为操作人员的操作不规范和个别操作人员的素质低下等人为因素造成的。所以要减少机械设备故障的出现，提高操作维修人员的技术水平和道德素质是一项重要的措施。企业可以定期组织操作维修员工，进行操作维修规范和操作维修技术学习培训，定期开展一些针对操作维修工人的知识技能交流会，使员工之间有一个互相学习的平台，通过彼此间的学习，大家可以更多地了解操作维修规范和系统故障的人为原因，更有利于其从自身做起，努力学习，做到懂知识、明规范、会维修，使广大一线员工提高全面的预防和排除常见设备故障的能力。

过程装备是过程工业发展的重要工具，也是促进过程工业发展的重要动力。因此，强化过程装备的保养和维修，加强过程装备管理，保障过程装备安全有效运转，对促进过程工业安全发展具有重要意义。