



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

压力容器 与管道安全评价

杨启明 / 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

压力容器与管道安全评价

主 编 杨启明
参 编 徐 倩 马廷霞
主 审 潘家桢 刘清友



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书针对流程工业生产中大量使用的压力容器、压力管道和长输管道,系统地介绍了有关安全评价的基础知识及主要的安全评价方法。本书主要包括:石油化工生产安全性评价、燃烧与爆炸的安全评价、压力容器的安全评价、压力管道的安全评价等。本书结合实例较为详细地介绍了各种安全评价方法的应用技术,为读者的实际应用提供了一定程度的指导或借鉴,同时,强调了实际应用安全评价方法时所需要考虑的因素与评价方法的选用原则,具有较强的实用性。

本书不仅可作为高等院校安全工程专业、过程装备与控制工程专业的教材和安全评价培训教材,而且对相关学科研究生从事有关内容的分析研究,具有一定的指导意义。对从事石油化工工程设计、安全分析、安全操作、安全审查等工作的工程技术人员,也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器与管道安全评价/杨启明主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 11

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-22826-4

I. 压… II. 杨… III. ①压力容器-安全性-评价-高等学校-教材
②压力管道-安全性-评价-高等学校-教材 IV. TH490.8 U173.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第177661号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:蔡开颖 责任校对:陈立辉

封面设计:王伟光 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(国英印务有限公司装订)

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·404千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22826-4

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379713

封面防伪标均为盗版

前 言

安全生产和劳动保护是发展社会主义市场经济、强化社会主义企业管理的重要组成部分，也是流程工业生产必须遵循的一条基本准则。石油化工生产是一个连续的流程生产过程，这一过程的安全问题直接关系到企业生产设备与人员的安全，还对环境保护具有不可忽视的影响。

石油化工设备安全分析与评价，是一门多学科综合应用的工作，它不仅涉及安全系统工程方面的知识，还涉及化学、物理化学、概率与数理统计、布尔代数、工艺学、仪表及控制系统、电气、计算机及其应用、人类工程学等方面的学科知识，而且需要综合运用相关设备的工艺、设计、制造、安装、检验、控制、使用和监测等知识，单从一门学科来研究石油化工设备的安全分析问题，难以达到预期的效果。

本书针对流程工业生产中大量使用的压力容器、压力管道和长输管道，不仅介绍了有关安全分析的基础知识，还详细介绍了各种安全分析方法在压力容器、压力管道和长输管道中的应用，强调了应根据不同的情况，采用不同的安全分析方法。这些分析方法要求使用者不仅应该掌握这些安全分析与评价方法的特点，还需要对结果进行正确的分析、判断和综合。

此外，本书也简单介绍了安全设计、操作、维护的工程应用知识。结合实例说明了各种安全分析方法的应用技术。对于部分常用的典型分析方法（如道化学公司火灾、爆炸危险指数评价法等）进行了示例分析，为读者应用这些方法提供了一定程度的指导或借鉴，具有较强的实用性。

在编写过程中，作者除从大量中外文献中搜集有关资料外，还结合多年来从事有关教学、科研工作的体会，参考了一些来自互联网的政府和国际组织、大学、咨询机构的有关研究报告等，撰写成书。希望本书的出版能对流程工业中压力容器与管道安全评价工作的开展、改善以及提高相关设备的安全监督管理水平起到积极的促进作用。

本书注重理论和实际的紧密结合，内容丰富、翔实，实用性和可操作性强，不仅可作为高等院校安全工程专业、过程装备与控制工程专业的教材和安全评价的培训教材，而且对相关学科研究生从事有关内容的分析研究，具有一定的指导意义。对从事石油化工工程设计、安全分析、安全操作、安全审查等的工作者，也具有一定的参考价值。本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书由杨启明教授主编，第一、二章由徐倩老师编写，第三章由马廷霞老师编写，第四、五章由杨启明老师编写。全书由华东理工大学潘家祯教授和西南石油大学刘清友教授主审；此外，本书在编写过程中，得到了华东理工大学潘家祯教授、四川大学李建明教授和阎康平教授的大力支持与帮助，提出了不少的宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者学识有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指教。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 流程工业的危险（安全）分析与评价	2
第二节 压力容器与管道在工业生产中的应用	3
第三节 压力容器与压力管道的特点	7
第四节 系统偏差及其常见原因	8
第五节 风险管理	10
习题	15
第二章 石油化工生产安全性评价	16
第一节 系统安全分析与评价的内容	17
第二节 安全性评价的基本程序与方法	19
第三节 故障类型和影响分析	79
第四节 国内外有关压力容器与压力管道的法令规范简介	86
习题	89
第三章 燃烧与爆炸的安全评价	91
第一节 燃烧	91
第二节 爆炸	105
第三节 爆炸极限理论及计算	111
第四节 防火防爆措施简介	123

习题	127
----------	-----

第四章 压力容器的安全评价	129
第一节 压力容器的破坏形式和原因分析	129
第二节 压力容器的爆炸危害及其事故分析	137
第三节 压力容器的泄漏源与扩散模式	139
第四节 压力容器的安全状况评价	164
习题	195
第五章 压力管道的安全评价	198
第一节 压力管道安全分析的基本方法	198
第二节 长输管道的安全评价方法简介	217
第三节 压力管道的安装及安全评价	225
第四节 压力管道缺陷的安全评价	233
习题	251
附录	252
附录 A 部分可燃性气体和蒸气的火灾、爆炸危险性参数	252
附录 B 化工装置易发生事故部位一览表	254
参考文献	257

第一章 绪 论

化工生产是一个连续的流程生产过程，这一流程工业的安全问题直接关系到企业生产设备和人员的安全。而且，安全生产和劳动保护是发展社会主义市场经济，强化现代企业管理的重要组成部分，也是化工生产必须遵循的一条基本准则。

石油、化工生产安全分析与评价是一个多学科综合应用的工作，它涉及化学、物理化学、概率统计、布尔代数、化工工艺学、化工过程设备设计及制造、控制系统、计算机及其应用、人类工程学等学科的知识。仅从一门学科来分析评价化工生产的安全问题，将难以找到有关问题的症结所在。

随着工艺技术的不断更新，现代化工生产中大量使用新设备、新材料、新催化剂及高效节能设备，加上生产工艺过程的复杂性，工作介质的易燃、易爆、有毒、腐蚀等特性，以及生产装置日趋大型化、生产过程的连续性、自动化程度的提高等，使生产过程发生事故的危害性增大，一旦发生事故，所造成的危害和损失极为惨重，这给化工设备的设计、制造、生产和管理提出了更高、更严格的要求。

上述特殊的环境，导致对石油化工生产及其配套设施的安全评价方法日趋复杂，单一的安全分析方法往往不能够满足对其安全性评估的要求。例如，对某装置中单台设备安全性的评价，仅采用简单的故障类型及影响的分析方法就可以获得较好的效果；对生产工艺过程的安全分析，则可以采用危险和可操作性研究（HAZOP）的方法；而对于既要考虑工艺流程本身的安全问题，又要考虑流程和设备布置的安全问题，就需要采用适合该特定条件下的定量风险评估的分析方法（常采用相关专用安全评价应用软件）。

对于专门从事安全分析的工程技术人员来讲，参考较为易于掌握的道化学火灾爆炸危险指数评价法、蒙德火灾爆炸毒性指标评价法及日本劳动省化工厂安全定量评价法，结合本企业的实际情况加以补充或修订，可以较好地完成这方面的工作，这是因为上述各种评价方法中，有许多参数和判定准则可以直接套用，使用比较方便。

对于石油化工安全检测与控制的仪表及控制系统本身的安全问题，可以采用安全度及风险矩阵的分析方法。

由此可见，对于石油化工生产的安全分析与评价，应根据不同的情况，采用不同的安全分析方法。一般情况下，选择安全分析方法应考虑如下几方面的问题：

- 1) 充分了解被分析对象的特点。
- 2) 收集涉及本安全分析所需的各方面参数、指数及相关资料。
- 3) 研究与掌握可用于安全分析的资源与工具。
- 4) 企业或单位对安全分析结果的要求（如定性或定量分析）。

上述问题仅为安全分析与评价工作中的必备内容，对不同的具体对象还需要进一步补充或充实相关的内容或问题。

本书基于石油化工生产安全分析与评价的要求，针对石油化工企业生产中大量使用的压力容器、管道，介绍了安全分析与评价方法的特点与应用条件。除介绍了有关安全分析的基

基础知识外,还详细介绍了各种安全分析与评价方法在压力容器与管道中的应用,要求使用者不仅要学习掌握这些基本的分析方法,还应学会对结果进行正确的分析、判断等综合的基本技能。

有鉴于此,通过介绍有关化工设备安全设计、操作、维护的工程应用知识,结合实例说明各种安全分析与评价方法的应用。对于部分典型的分析方法,汇总了一些常用的参数(如道化学公司火灾、爆炸危险指数评价法、蒙德火灾爆炸毒性指标评价法等)进行了示例分析,具有较强的实用性。

第一节 流程工业的危险(安全)分析与评价

流程工业的危险(安全)分析(PHA——初步危险分析)与评价,主要目的是找出可能引起潜在危险后果的流程设计和工艺操作过程中的薄弱环节。例如,对人员伤害和设备的灾难性损坏,分析原因,评价后果,研究影响事故发生的主要因素,提出预防或减轻灾难性事故的安全可靠性措施等。这种分析与评价,一般采用结构化的评价方法,如安全检查表(Safety Checklist Analysis, SCA)、危险与可操作性研究(Hazard and Operability Study, HAZOP)、故障类型及影响分析(Failure Mode Effects Analysis, FMEA)、故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)等方法。全面、系统和有序地分析,将有助于为发现的薄弱环节提供改进意见或补偿措施,另外,也有利于企业执行国家的有关标准与法规。

一、危险(安全)分析与评价的主要内容

流程的安全分析与评价,综合起来主要包括如下的内容:

- 1) 流程的危险性。
- 2) 已发生事故造成的损失。
- 3) 对安全管理措施提出的新要求。
- 4) 故障可能导致的后果及其影响。
- 5) 对后果的影响进行定性评估。
- 6) 对设备、系统装置和工厂现场的改进要求。
- 7) 人的可靠性。

一般工厂的事故(除火灾)中,一个岗位的事故很少会影响到其他岗位的操作人员。因此,大多数情况下安全保护措施主要考虑的是确保生产操作人员的安全,据此采取了机械保护、超负荷报警和隔离等措施。而流程工业,如石油、石化和化工工业的情形则不尽相同,一旦发生事故,往往就可能引起生产过程中的有毒、易燃、易爆物质的泄漏以及大量能量的释放,这不仅会造成对生产操作人员的直接伤害和对相关群众的伤害,同时还易造成对周边环境的长期或短期的污染,对社会带来一系列的后遗症或危害。

二、危险(安全)分析与评价的基本原则

对于安全,最重要的原则是确保过程是安全的。在实施生产安全措施的过程中,不应该遗漏任何危及安全的因素,对系统中较复杂的设备,应采用最好的安全分析技术分析其有效性。在流程工业中所存在的有害物质,无论采用哪种安全措施,风险都不会降低为零,因此用有益的物质代替有害物质,可以大幅度降低风险。

由于各种影响人的有益或有害因素的存在,因此对有人参与的生产活动,从根本上消除风险几乎是不可能的,工程技术人员能够做到的就是努力控制风险,确保风险与收益保持一个可以接受的适当的比例。

本书主要分析与石油化工设备中压力容器与管道密切相关的风险,介绍各种安全分析的评价方法,并回答下面的问题:

- 1) 可能发生的事故类型是什么?
- 2) 可能发生事故的频率是多少?
- 3) 事故后果是什么?
- 4) 事故产生的风险是否可以接受?

尽管解决上述第四个问题的责任并不完全取决于工程技术人员,但是必须清楚认识到:石油化工生产的安全问题,不仅是风险分析的数学问题,而且包括伦理道德的因素,这个观念对于进行压力容器与管道的安全分析与评价是相当重要的。

第二节 压力容器与管道在工业生产中的应用

压力容器与管道是石油化工工业生产过程中不可缺少的设备。随着生产的发展,它们的使用日益广泛,数量不断增加。

目前,为了适应石化工业发展的需要,压力容器逐渐趋向大型化和结构复杂化,同时,为了改善压力容器的性能,适应生产的发展,在压力容器的设计制造中不断地采用新材料、新工艺和新技术,这样,压力容器的安全可靠性问题就显得更加突出,引起了人们的密切关注。

同样,压力管道也是一种特种设备,其分布极广,凡是输送流体介质的场合一般都需要使用压力管道。据不完全统计,国内已形成了东北、华东北、西北三大原油输送管道网,管道总长已超过9000km,输送的原油已达总产量的89.31%。近年来建设的四川、西北、华北以及“西气东输”等天然气长输网的管道总长也已超过9000km,输送的天然气占总产量的60.97%。成品油长输管道的数量相对较少,已建成的管道也有近4000km,如1998年12月开工建设的兰州经成都至重庆的成品油管线,全长就有1251km,该管线已于2002年9月投入使用。随着国民经济的快速发展,成品油的管道输送必将迎来一个快速发展的时期。由此可见,石油天然气的长距离输送、城镇燃气和公用动力蒸汽的输送、各种石油化工生产装置等都使用了大量的管道。压力管道在生产中的广泛使用可能引起的燃爆或中毒的危险性也日益增加。

压力容器与管道的安全问题之所以特别重要,主要是因为它们既是工业生产中广泛使用的特种设备,又是容易发生事故且往往是灾难性事故的特殊设备。为了确保它们的安全使用,许多经济发达国家制定了一系列的制度——法律、法规、标准和规定对这些设备进行安全管理和监督、监察,同时还制定了一整套的执行监督机制。近年来,随着我国经济的不断发展,不断增多的压力容器与管道的使用安全问题也受到了日益的关注。我国在安全管理和监督、监察制度方面也取得了明显的进展,一方面参考了国外经济发达国家所实行的行之有效的措施,另一方面又根据我国的实际情况,制定了一系列的法律、法规、标准和规定,指导全国压力容器和管道生产与使用的安全管理和监察工作,争取实现规范化管理。

一、压力容器在工业生产中的应用

压力容器是一种能承受压力载荷的密闭容器。它的主要作用是储存、运输有压力的气体、液体或液化气体，或者是为这些流体的传热、传质反应提供一个密闭的空间。压力容器具有各种各样的结构和形状，无论是容积只有几升的瓶、罐，到上万立方米的球形容器或上百米高的塔式容器，都在工业生产领域中得到了广泛的应用。例如，工业上使用相当普遍的压缩空气，其主要来源为空气压缩机及其附属设备，此外，如气体冷却器、油水分离器、储气罐等，这些都属于压力容器的范畴。工业生产中常使用的各种气体盛装容器或输送管道，往往都要求增压后再储存或输送，如液化气储罐、槽（罐）车等也都是压力容器；制冷装置中的多数设备，如蒸发器、冷凝器、液体冷却剂储罐等也都属于压力容器的范畴。

另外，某些工业产品的制备往往需要在较高的温度下进行，在生产工艺中常需要加热物料，其最常使用的热源为有压力的水蒸气。用这种水蒸气来加热的设备，如蒸汽夹套、蒸汽列管加热器，或是直接加热式设备，如蒸汽锅炉、蒸汽消毒器等也是一种压力容器。

化工生产中所使用的反应装置大部分都是压力容器。为了提高设备的生产效率，许多化学反应需要在加压的条件下进行，或者需要在较高的压力下加速其反应，如用氢和氮来制造合成氨，就需要在 $10 \sim 100\text{MPa}$ 下进行，而且许多参与这些反应的有压力的介质往往又都需要先经过精制、加热或冷却等工序，这些工艺过程所使用的设备必须是压力容器。随着石油化学工业的迅速发展，高分子聚合物的生产不断扩大，大部分聚合反应也需要在较高的压力下进行。如用乙烯气体聚合生成聚乙烯，用低压法生产需在 $3.5 \sim 10\text{MPa}$ 的压力下进行，用高压法生产则需要 $100 \sim 250\text{MPa}$ 。因此，制取高分子聚合物的设备中不仅所使用的聚合釜是压力容器，这些单体分子在聚合反应前的一系列工艺生产过程中（储存、精制、加热等）也需要压力容器。

由此可见，压力容器在工业生产中的应用极为普遍，尤其是在石油化工和化学工业中，几乎每一个工艺过程都离不开压力容器，而且还常常是主要的生产设备。

二、压力管道在工业生产中的应用

压力管道在工业生产中的应用极为广泛，化工、石油、制药、能源、航空、环保、钢铁、公用工程等各类工业企业都不同程度地需要使用压力管道。

通常，管道根据不同的特性有各种不同的分类方法。根据管道承受内压的不同可以分为真空管道、中低压管道、高压管道、超高压管道；根据输送介质的不同可以分为燃气管道、蒸汽管道、输油管道、工艺管道等，而工艺管道又以所输送介质的名称命名为各种管道；根据管道使用材料的不同可以分为碳钢管道、低合金钢管道、不锈钢管道、非铁金属管道（如铜管道、铝管道等）、复合材料管道（如金属复合管道、非金属复合管道和金属与非金属复合管道等）和非金属管道。根据《特种设备安全监察条例》，压力管道是指利用一定的压力，用于输送气体或者液体的管状设备，其范围规定为最高工作压力大于或者等于 0.1MPa （表压）的气体、液化气体、蒸气介质或可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或等于标准沸点的液体介质，且公称直径大于 25mm 的管道。按照《压力管道安全管理与监察规定》的要求，从压力管道的安全管理和监察角度出发，将压力管道分为工业管道、公用管道（包括燃气管道和蒸汽管道）和长输管道。

（1）工业管道 工业管道是指工业企业用于输送工艺介质的工艺管道、公用工程管道和

其他辅助管道。工业管道主要集中在石化、炼油、冶金、化工、电力等行业。

(2) 公用管道 公用管道是指城镇范围内用于公用或民用的燃气管道和热力管道。公用管道主要集中在城镇建设等公用事业行业。

(3) 长输管道 长输管道是指产地、储存库、使用单位之间的用于运输商品介质的管道。长输管道根据所输送介质的不同可以分为输油管道、输气管道、输送浆体管道和输水管道等。其中,输油管道又分为原油输送管道和成品油输送管道。

输油、输气管道系统及输送浆体管道系统的总流程示意图如图 1-1 ~ 图 1-3 所示。

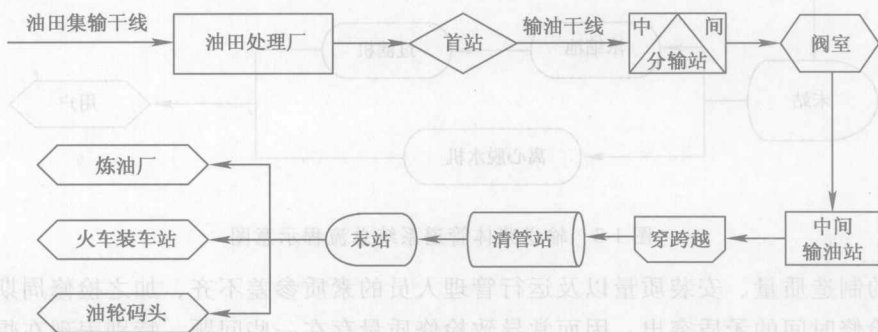


图 1-1 输油管道系统总流程示意图

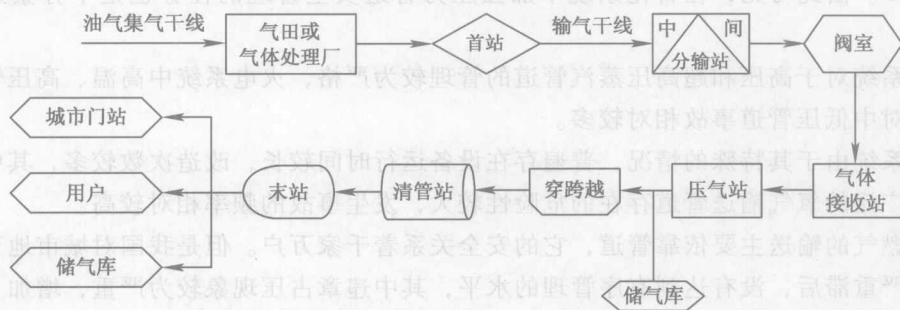


图 1-2 输气管道系统的总流程示意图

迄今为止,国内外已研究和开发的管道运输系统有水力管道、风动管道、集装胶囊管道和旅客运输管道等。除固体浆料输送管道(如煤浆输送管道)已在美国等地应用,国内也正准备建设外,目前应用最广泛的是输油(原油、成品油)管道及输气管道。

由此可见,使用压力容器制备产品过程中,其原材料的输送和工艺流程中物料的运动与传输,都离不开压力管道。此外,在油、气输送管线中,管道是工程的主体。

化工系统中使用大量的压力管道,它们的工作条件各异,工作压力由真空、负压到 300MPa 以上的高压、超高压,工作温度由低于 -200°C 到高于 1000°C 不等,而且许多场合的工作介质都属于有毒、易燃、易爆的范畴。

中国石油化工集团公司系统所属企业均为现代化的大型企业,拥有 I、II、III 类管道 6300km 以上,管内介质多种多样,有的工作压力可高达 300MPa 以上,且多为易燃、易爆、同时还是有毒、有害的物质,工作温度大都为高温。尽管该公司所属各企业的生产设备较为先进,且对安全生产较为重视,但是由于我国目前的科学技术水平较西方发达国家仍相对落

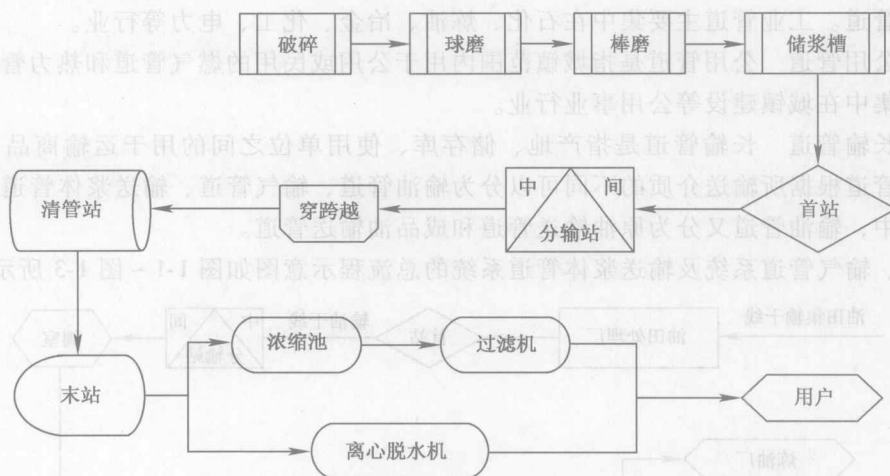


图 1-3 输送浆体管道系统总流程示意图

后，管件的制造质量、安装质量以及运行管理人员的素质参差不齐，加之检修周期延长，检修项目与检修时间的矛盾突出，因而常导致检修质量存在一些问题，特别表现在焊接质量方面，有的企业焊接缺陷占总缺陷数的 80%，某些单位甚至在检验中发现焊缝合格率仅为 20%~30%。由此可见，在石化系统中加强压力管道安全管理的任务也是十分紧迫和繁重的。

电力系统对于高压和超高压蒸汽管道的管理较为严格，火电系统中高温、高压管道事故较少，但对中低压管道事故相对较多。

冶金系统由于其特殊的情况，普遍存在设备运行时间较长，改造次数较多，其中特别是应用较为广泛的氧气输送管道存在的危险性较大，发生事故的频率相对较高。

城市燃气的输送主要依靠管道，它的安全关系着千家万户。但是我国对城市地下输气管道的管理严重滞后，没有达到有序管理的水平，其中违章占压现象较为严重，增加了地下管道的负荷，容易造成管道损坏，一旦发生泄漏，其后果是相当严重的。例如，1995 年某市因地下煤气管道密封不严，煤气漏入高压电缆沟中，由附近的一个蜂窝煤炉引燃了泄漏的煤气，导致一次爆炸发生，随后由于 10000V 埋地高压电缆突然跳闸，再次引爆电缆沟内的煤气，引起二次大爆炸，并造成多人伤亡，直接经济损失达上百万元，这仅是近年来发生的重大事故之一。因此，预防有关事故的发生值得我们高度重视。目前，随着我国城市建设的迅速发展，地下管网管理不善、管网资料不全、分布混乱的问题，还没有得到有效的改善，存在着一些不安全的因素。

我国的长输管道主要是输油、输气管道、油田集输管道和部分成品油管道。长输管道设有专门的管理系统，设计、施工和技术管理均有一定的质量控制措施和较为先进的检测手段。进入 20 世纪 90 年代以来，有关部门陆续引进了国外的先进监测仪器，对部分管道进行了内检测，有效地控制了腐蚀泄漏事故，并且国家颁布了《石油天然气管道保护条例》，对保证石油、天然气长输管道的安全起到了一定的作用，但因没有配套完整的实施细则，具体执行中存在一定的困难。例如，某些地方政府及沿途农民存在抵触情绪，仍有一些违章建筑强行施工，多处管道被取方挖砂，造成管道裸露、悬空；公路、水利工程多处与管道交叉；

部分管道通过的地带被划入经济开发区。所有这些都对管道的安全构成了威胁,有些地方,甚至被不法分子在管道上打孔盗油、盗气,存在着严重的不安全因素。

目前,压力管道与压力容器的安全问题已逐步引起了各方面的注意,有关管理部门也已采取了若干措施,并取得了一定的成效。国家1996年颁布的《压力管道安全管理与监察规定》,有力地推动了压力管道安全管理工作。在2003年,国务院专门颁布了《特种设备安全监察条例》,将压力容器与管道的管理工作提高到一个新的水平。但是,要真正实现这一目标,还需要做很多工作,首先是需要让更多的人了解有关安全管理的意义,其次是提高相关施工人员和管理人员的技术素质和责任心。同时,要建立、健全一整套行之有效的法律、法规、技术规范和实施细则。

第三节 压力容器与压力管道的特点

一、压力容器的特点

1. 压力容器的定义

压力容器,或称为受压容器,从广义上来说,应该包括所有承受流体压力的密闭容器。但在工业生产中承载压力的容器很多,其中只有一部分相对来说比较容易发生事故,而且事故的危害性较大。为此,许多国家就把这样的容器作为一种特殊的设备由专门的机构进行监督,并按规定的技术法规进行设计、制造和使用管理。习惯上所说的压力容器,就是指这一类作为特殊设备的容器。一般规定中并不把盛装液体介质的容器列入特殊设备的范畴,但必须注意的是,这种液体是指在常温下的液体,而不包括高于标准沸点和沸点低于常温的液化气体。

关于压力容器的界限,目前各国都有规定,尽管其规定可能有所不同,但是基本原则是一致的:指的是那些比较容易出事故,且事故的危害性较大的那些设备。一般来说,压力容器发生事故的可能性和危害程度与所盛装的工作介质、工作压力和容积有关。

工作介质指的是容器所盛装的或在容器中参与反应的物质。压力容器爆破时所释放的能量大小首先与其工作介质的物性、状态有关。从物质的物性状态考虑,压力容器的工作介质应该包括压缩气体、水蒸气、液化气体和工作温度高于其标准沸点的饱和液体。除此之外,还应考虑容器的工作压力和容积。工作压力和容积范围的划分,一般都是人为地加以规定,而不像工作介质那样有一个明显的界限,对这种范围,一般都规定了一个下限值。

目前,纳入我国监察范围的压力容器应是同时具备下列三个条件的容器:

- 1) 最高工作压力 $p \geq 0.1 \text{ MPa}$ (表压,不含液体静压力)。
- 2) 内径(非圆形截面则表示的是其断面的最大尺寸) $D \geq 0.15 \text{ m}$,且容积 $V \geq 0.025 \text{ m}^3$ 。
- 3) 介质为气体、液化气体或最高工作温度大于等于标准沸点的液体。

2. 压力容器的特点

压力容器一般多承受静止而比较稳定的载荷,不像旋转机械那样容易因过度磨损而失效,也不像高速发动机那样因承受高周循环载荷而容易发生疲劳破坏。其工作特点为:

- (1) 使用条件比较苛刻:工作中不但承受大小不同的压力载荷(有时还是脉动循环载荷),而且工作介质多为有毒、易燃、易爆物质。
- (2) 容易超负荷:容器内压力常会因操作失误或发生异常反应而迅速升高,而且往往

在发现时，容器已经破裂。

(3) 局部应力比较复杂。在容器开口处和结构不连续处，常会因局部应力或交变载荷而引起疲劳破裂。

(4) 容器内可能隐藏有严重缺陷。焊接或锻造的容器常会因制造中留下微小裂纹等严重缺陷，在工作中，一定条件下这些缺陷会导致容器突然破裂。

二、压力管道的特点

1. 压力管道的定义

本书所指的压力管道是1996年4月原国家劳动部颁布的《压力管道安全管理与监察规定》所限定范围内的管道，是指生产、生活中使用的可能引起燃爆或中毒等危险性较大的特种设备，并不是简单意义上的受压管道。蒸汽管道，有毒、易燃、易爆介质的管道，煤气、天然气管道，石油、天然气长输管道，管内介质工作压力大于等于0.1MPa的管道等，都属于压力管道。若管内为容易引起燃烧、爆炸和强腐蚀介质的物质，即使在常压下，仍规定将这些管道作为压力管道管理。而输送无毒、不可燃、无腐蚀性介质的管道，如压缩空气等，只有当压力大于1.6MPa时，才把这些管道列入压力管道的管理范畴。

2. 压力管道的特点

压力管道的特点基本上与压力容器相似，不同之处在于压力管道输送的介质一般都是流动的液体、气体或固体，因而存在一些与压力容器不同的特点：

(1) 工作环境常为高温、高压，这些介质往往为有毒、易燃、易爆且常具有腐蚀性，因此对系统的完整性有特别高的要求。

(2) 管道常温安装，高温运行，金属材料受热膨胀。若设计不当，可能在某些位置产生较大的应力和弯矩，影响管道或与管道连接设备的正常运行。

(3) 运行过程中管道出现振动是一种常见的现象。严重的振动会加速裂纹扩展，威胁系统的安全运行。

(4) 管道设计时既需要考虑满足工艺要求，又需要考虑具有一定的柔性，以提高其吸收金属热膨胀变形的能力和抵抗振动的能力。

(5) 施工安装一般都在生产现场进行，环境和工作条件较差，温度和湿度难以控制。由于通常需要在高空作业，而管道的位置既不能随意移动，也无法旋转，所以，给安装作业带来了较大的困难。

(6) 管道输送的介质常具有腐蚀性，因而必须针对腐蚀问题采取必要的防腐蚀措施。

(7) 需要严格控制管道组件和附件的质量，否则可能出现严重事故隐患。

总之，压力容器和压力管道都是具有其自身特点的一类特殊设备，对其安全问题，需要严密关注和认真地分析研究，采取必要的应对措施，防止由此产生不良的后果或严重的安全事故。

第四节 系统偏差及其常见原因

化工生产中的事故，常与工作介质的类型和物质的物理量有必然的联系。而与工艺生产操作系统的偏差（Deviations of Process System）发生关系的则主要涉及数量的偏差、化学状态的偏差及物理状态的偏差。下面通过系统偏差的角度来分析化工系统出现的各种偏差及其

常见原因。

一、量的偏差及其常见原因

1. 无流量、断流

无流量、断流的常见原因有：管道堵塞，输送路线错误，出口超压，泵故障，泵发生气堵（气塞、气封），控制器故障，阀被卡住或关闭，止回阀装反，盲板未拆除，吸入容器抽空，管道断裂，供电或供汽故障等。

2. 流量过低

流量过低的原因常为：泵故障，气蚀，喘振，管道泄漏，管道部分堵塞，排出端结垢或部分堵塞，吸入压头降低，阀故障导致卡住，控制信号减弱，控制器动作异常，物料粘度增大，增加流量的时间不恰当，过滤器堵塞等。

3. 流量过高

流量过高的原因主要有：管道出口端压力降低，吸入端压力过高，喘振，控制器故障，阀故障，内部泄漏，容器或管道破裂，泄压阀非正常开启，爆破片破裂，物料粘度下降，填充床、沸腾床产生沟流，添加物料的时间不当等。

4. 倒流

倒流的常见原因有：自流情况下的出口超压，倒虹吸现象发生，泵故障，止回阀装反，溢流、泄压阀故障，隔离设施故障等。

5. 液位偏差

液位偏差的常见原因有：冷凝，释放热量不当，存在额外的物相，存在额外的物料，控制阀故障，供料过多或过少，振动，虹吸，膨胀，收缩，局部积聚等。

二、化学状态的偏差及其常见原因

1. 存在污染或杂质

常见污染介质有空气、氮、水、润滑油、进入系统的蒸汽，损裂的催化剂及腐蚀产物等。此外，还可能因内部泄漏、真空度不够、隔离措施故障、不合格产品再循环、物料在炉管内或再沸器内发生热裂解、物料输送错误、原料中的杂质变化等引起污染。

2. 浓度偏差

产生浓度偏差的主要原因有排出物质发生变化，混合物比例变化，在反应器内或其他位置发生额外的反应，进料变化，间歇生产中加料次序及数量的不合理改变，填充床或沸腾床中的沟流，催化剂活性变化，搅拌器故障，非预期物相的分离，反应速度发生变化，与设备材料发生反应（腐蚀）溶解等。

三、物理状态的偏差及其常见原因

1. 压力偏差

压力偏差的主要原因有：沸腾、冷凝、凝固、反应、分解、闪蒸、起沫、爆炸、爆聚，进料和出料不平衡、堵塞，物料充满容器或管道无膨胀空间，控制阀故障，排液管故障，真空系统故障，外界额外的温升，外部火灾等。

2. 温度偏差

温度偏差的常见原因有：冷凝，蒸发，环境条件变化，热损失，粘度或密度的变化，外部或内部的火灾或泄漏，放热或吸热反应，催化剂活性变化，过热，热点变化，火焰点燃，积炭，表面结垢，外界额外温升，换热器一侧堵塞，热冲击（温度骤降，急冷急热），雨淋

结冰,火焰熄灭,润滑故障,振动等。

3. 外形、尺寸偏差

外形、尺寸偏差常见的原因有破碎、研磨、滞止、粘着、沉降、膨胀、收缩及搅拌不良等。

第五节 风险管理

从有生物开始,各种风险就长期存在。在长期实践中,人类根据所掌握的安全及风险评估方法来作出判断,认识风险,并通过评估风险的大小来确定是否接受风险,采取降低风险的措施,或利用对风险的认识来进行必要的冒险。

一、风险的分类

1. 对风险的认识

在英国化学工程师协会(ICHemE)对风险的定义中,采用了事故概率函数(或频率)和后果的概念,或“期望的损失”。在实际应用中,可以将降低风险的方法分成降低频率和减小后果两个方面。

对于风险的后果,有许多表示方法。最常用的两个方法是简单地用总的经济损失和死亡人数来表示,后一种表示方法可用于许多对风险的统计比较,因而这种方法是一种绝对的方法。

2. 风险的分类

风险可以有許多不同的表示方法。由于并非所有的风险都能明显地暴露出来,因此可将风险分为未知风险,隐、显风险或无意识、有意识的风险,可预测或临时性风险等。

(1) 未知风险 采用新工程技术时,一般并不知道风险的后果,同时对该风险也不完全了解,这种风险就属于未知风险。

(2) 隐风险或无意识风险 隐风险或无意识风险一般是指不明显的危险,一般检测手段难以检测到。对于这类风险,人们可能很自然地产生错误的安全感觉。例如,局部腐蚀导致的设备损坏难以通过检测手段准确地检查出来,这种风险就是隐风险。

(3) 显风险或有意识的风险 显风险或有意识的风险属于那种可以通过检测手段检测出来的风险。对这类风险可及时给予处于危险环境中的人警告或采取缓和或减轻风险的手段。在火灾事故中燃烧的风险就属于显风险或有意识的风险。

(4) 可预测的风险 对危险的概率与后果均可采用一定的方法计算出来的风险,属于可预测的风险范畴。这种危险允许那些处于危险状态的人员和负责对他们进行保护的人事先作出某些判断,提前制定某些具有针对性的预防或处置预案的措施。

(5) 临时风险 仅在短期存在,或可能在某些特定原因条件下存在的风险。如在对化工厂某些储存过易燃、易爆、有毒物质的设备维护期间进行某些操作存在的危险。例如,2006年5月29日下午,某石化公司已经停产检修的有机厂苯胺装置废酸单元发生火灾,致使在现场内部进行粉刷施工的4人死亡,另有11人受伤,其中4人伤势较重。又例如,在6月28日上午,某石化公司炼油厂300万t/年重油催化的40万t/年气体分馏装置507换热器头盖(介质为液态烃)发生泄漏,由此引发火灾爆炸事故,造成2名企业消防队员牺牲,9名队员受伤,其中5人重度烧伤。

针对不同的风险,要求采用不同的分析方法。在分析和设定可接受的风险标准时,主要根据风险的概率和后果的关系,对其进行恰当的分类,因此风险能够按高概率/轻微后果到严重后果/低概率进行分类。

通过对风险的检测来确定可接受风险的问题是复杂的。为了更好地理解这个问题,风险分析人员必须具有一定的心理学、社会学和人类工程学的知识。

二、风险的认识

对风险的认识受心理学、人类工程学和社会学等多学科的影响,例如公众对大公司的安全期望比小公司的期望大,因此要求大公司采用更高的规避风险的标准。

风险认识一般可以考虑下面的因素:

1) 意外。

2) 人对风险缺乏控制造成的结果。

3) 不确定的因素。

4) 隐形风险。

5) 反应滞后的影响。

6) 不同风险源的影响。

7) 低频率/严重后果的事件。

8) 人的因素或非自然的原因。

通过上述因素的分析,可以避免采用高于实际情况或不协调的安全标准等所提出的不合理要求。例如,比较核电站和水电站的风险。根据对事故的统计分析,可以得到水电站比核电站更危险的结论。近年来国内外时有有关水库决堤的报道,但是,我国的核电站自20世纪80年代建设以来,至今未见发生严重事故报道。可是,公众的感觉恰恰相反,原因在于认识的相对不确定性。一般来讲,人们能够感觉到滞后的影响,但并不了解引起事故的根本原因。事实上,大坝故障通常是由于设计或施工过程中的不合理因素引起的,但表现现象则多是由于洪水等自然因素引起的,因为引起事故的初始因素一般是自然因素。

另一个认知风险的方法是心理方法。主要考虑以下三方面因素:

1) 后果严重的风险因素。

2) 未知的风险因素。

3) 受影响人员的数量。

“后果严重”的风险因素包括人参与控制、将要产生的风险和是否会影响人的思考等因素,此外还必须考虑在使用这些方法时人们可能产生的反感情绪。而且社会、文化和人性的因素使得对风险的认识复杂化。

由于石油化学工业或化学工业这一流程工业的操作参数始终处于连续变化的过程中,操作人员将根据自身对流程的判断来认识每一种危险,并采取相应的安全操作措施,因此,操作人员采取不同的态度去认识风险,将对流程工业的安全操作影响较大。

三、风险的量化判别

对风险进行量化是非常重要的,一般可以采用风险分析的定量统计数据来进行风险比较。

1. 风险的量化数据

在考虑什么样的风险可以接受之前,必须区分出愿意接受的风险和不愿意接受的风险。对于石油化工企业,可以将风险分为操作人员的职业风险、个人风险、社会风险三大类来考

虑风险的量化。

(1) 操作人员的职业风险 操作人员的职业风险一般是由企业来确定，比其他类型的风险具有更高的风险值。公众的个人风险则是指对公众的单个成员可能遭受不幸事故存在的风险，这样的风险一般是针对特定的人和场所而言的。可定义为：

$$\text{风险} = \text{事故频率} \times \text{伤亡概率} \times \text{遭受危险的概率}$$

伤亡概率是指引起灾害或不幸事件的概率，遭受危险的概率是指人出现在有危险场所的时间长短。风险一般是由几个不幸事件或潜在的危险位置所构成的，整个危险程度则是由单个事件和危险位置风险的汇总。

(2) 个人风险 对个人风险，最简单的方法是采用在任何一年的特别活动中出现类似死亡风险的数据。

个人风险数据可用于风险比较，但应用时必须注意，因为即使大量的风险数值是相同的，但不同原因引起死亡的风险则不可同日而语。这类统计最常用的方法是重大事故率 (Fatal Accident Rate, FAR)。这种方法最早是由英国化学工业的专家研究出来的，现在已扩大应用于其他工业和其他活动中。

FAR 是在工作生命周期 (10^5h) 内，预期在 1000 个人中可能会死亡的人数。表 1-1 给出了一些工业职业 FAR 数据，表 1-2 给出了其他活动的 FAR 数据。从两个表的对比可以看出，海洋石油和天然气的操作更为危险，因为海洋石油和天然气的操作人员是乘坐直升机往返，而乘坐直升机飞行的重大事故率为 500。上述两表非常清楚地显示出，人在空闲时比从事活动时遭受的风险更大。因为在空闲时，人可能会从事各种其他非正常的活动。

表 1-1 工业职业重大事故率 (FAR) 数据

行 业	重大事故率	行 业	重大事故率	行 业	重大事故率
化学工业	2	深海捕鱼	40	钢铁工业	70
煤矿	8	海洋油气	62		

表 1-2 其他活动的重大事故率 (FAR) 数据

场 所	重大事故率	场 所	重大事故率	场 所	重大事故率
靠近核电站居住	0.1	汽车旅行	30	骑自行车	96
家 中	1	飞机旅行	40	直升机旅行	500
铁路旅行	5	吸烟 (平均)	40	骑摩托车	660

此外，采集数据的周期也非常重要。许多统计方法采用的是 5 年滚动平均值，因此一次事故的发生对这种统计方法具有非常大的影响，特别对航空和火车旅行这种低概率、后果严重的情形，尤其如此。在过去的 40 年中，工业事故的统计数据显示，工业安全有了较大的提高，特别是化学工业有了一定幅度的提高，而建筑业统计数据显示，该行业在安全方面提高很少或没有提高。

(3) 社会风险 社会风险的概念反映多个伤亡和长期伤害 (包括环境污染) 事故发生的可能性，因此，这类事故对社会的影响，不仅包括当时对单个人的直接影响，而且包括对社会及环境的持续长期的影响。

任何危险流程区域内的风险，依赖于危险流程对个人和群体的风险事故发生的频率和后果。例如，2005 年 11 月 13 日，位于某厂的化工车间苯胺装置硝化单元，T-102 塔发生堵