

Design of Chemical Pressure Vessels and Analysis of Unsafe Factors

Hongru Ba Lizhen Wang

Henan Xinlian Xin Intelligent Equipment Technology Co., Ltd., Xinxiang, Henan, 453700, China

Abstract

This article provides an in-depth analysis of the design of chemical pressure vessels and their unsafe factors. Firstly, the basic concepts, classifications, and important roles of chemical pressure vessels in the chemical industry were introduced. Subsequently, the main principles and key aspects of pressure vessel design were elaborated, including material selection, structural design, and configuration of safety devices. On this basis, the article analyzes the unsafe factors that exist during the operation of chemical pressure vessels, such as design defects, material problems, operational errors, external environment, etc., and explores the impact of these factors on the safety performance of pressure vessels. Finally, targeted improvement measures and suggestions were proposed to reduce the risk of accidents and ensure the safe operation of pressure vessels.

Keywords

chemical industry; Pressure vessel; Unsafe factors; security

化工压力容器设计及不安全因素分析

巴鸿儒 王丽珍

河南省心连心智能装备科技有限公司, 中国·河南 新乡 453700

摘要

本文针对化工压力容器的设计及其不安全因素进行了深入分析。首先, 介绍了化工压力容器的基本概念、分类及其在化工行业中的重要作用。随后, 详细阐述了压力容器设计的主要原则和关键环节, 包括材料选择、结构设计、安全装置的配置等。在此基础上, 文章分析了化工压力容器运行过程中存在的不安全因素, 设计缺陷、材料问题、操作失误、外部环境等, 并探讨了这些因素对压力容器安全性能的影响。最后, 提出了针对性的改进措施和建议, 以降低事故发生的风险, 确保压力容器的安全运行。

关键词

化工; 压力容器; 不安全因素; 安全

1 引言

化工压力容器作为石油、化工、制药等行业的关键设备, 其安全性对于保障企业安全生产和员工生命安全具有重要意义。随着我国经济的快速发展和工业化的深入推进, 化工行业对压力容器的需求日益增长, 压力容器的设计、制造和使用安全问题日益凸显。化工压力容器在高温、高压、腐蚀性介质等苛刻环境下工作, 容易产生材料疲劳、应力腐蚀、机械损伤等问题, 导致事故的发生。近年来, 我国化工压力容器事故频发, 不仅给企业造成了巨大的经济损失, 而且严重威胁到员工的生命安全和环境安全。加强对化工压力容器设计及不安全因素的分析研究, 探讨如何提高压力容器的安全性能, 降低事故风险, 对于促进化工行业的健康发展具有十

分重要的意义。本研究旨在分析化工压力容器设计中的关键环节, 识别不安全因素, 提出相应的改进措施, 以为化工压力容器的设计、制造和使用提供理论支持和实践指导。

2 化工压力容器的基本概念、分类及其在化工行业中的重要作用

化工压力容器是指在石油、化工、医药等行业的生产过程中, 用于盛装气体、液体或者气液混合物, 并且能够承受一定压力的密闭设备。它是化工生产中的重要组成部分, 其安全性直接关系到整个化工生产过程的安全与稳定。

根据其承受压力的高低, 化工压力容器可以分为低压容器、中压容器、高压容器和超高压容器四类。低压容器的最高工作压力一般在 1.6MPa 以下^[1], 中压容器的工作压力在 1.6MPa 至 10.0MPa 之间, 高压容器的工作压力在 10.0MPa 至 100.0MPa 之间, 而超高压容器的工作压力则超过 100.0MPa。此外, 根据其使用功能和结构特点, 化工压

【作者简介】巴鸿儒(1987-), 女, 中国河南新乡人, 工程师, 从事压力容器设计研究。

力容器还可以分为反应容器、换热容器、分离容器、储运容器等。

化工压力容器在化工行业中的重要作用主要体现在以下几个方面：

1. 反应过程：许多化工产品的生产过程需要在特定的温度和压力条件下进行，化工压力容器为这些化学反应提供了一个稳定的环境。在合成氨、石油裂化等过程中，压力容器作为反应器，承受着高温高压的工作条件，保证了化学反应的顺利进行。

2. 传热过程：化工生产中常常需要将热量从一个介质传递到另一个介质，化工压力容器可以作为换热设备，换热器、加热炉等，实现热量的高效传递^[2]。

3. 分离过程：在化工生产过程中，需要将混合物中的不同组分进行分离，化工压力容器可以作为分离设备，蒸馏塔、吸收塔等，完成物质的分离任务。

4. 储存和运输：化工压力容器还可以用于储存和运输各种化工原料和产品，液化石油气储罐、化学品储罐等，确保物料在储存和运输过程中的安全。

5. 安全保护：化工压力容器通常配备有安全装置，安全阀、爆破片等，这些装置可以在压力异常升高时自动启动，释放多余的压力，防止设备超压爆炸，保障生产安全。

由于化工压力容器的工作环境复杂，承受的压力和温度变化大，因此在设计和制造过程中需要严格遵守相关的标准和规范，确保其结构强度和密封性能，防止因设计不当、材料缺陷、制造工艺不合理等原因导致的泄漏、爆炸等事故发生。化工容器的安全运行对于整个化工行业的安全生产至关重要。

3 压力容器设计的主要原则

3.1 材料选择

材料必须满足设计压力、设计温度和介质的特殊要求。对于不同的工作条件，高温、高压、腐蚀性介质等，需要选择具有相应力学性能和化学稳定性的材料。此外，材料应具备良好的焊接性能，在满足安全性能的前提下，应选择成本效益高的材料，以降低整体生产成本。同时，应优先考虑标准化和通用化的材料，便于采购和加工。环保性日益成为设计中的重要考量。选择环保材料不仅有助于减少生产过程中的污染，还能在容器寿命周期结束时降低废弃物的处理难度。材料的选择还应遵循相关的国家标准和行业标准，以确保其质量符合规定要求^[3]。

3.2 结构设计

在设计规范方面，必须严格遵守现行的国家规范和行业标准，《压力容器设计规范》等。这些规范包含了设计压力容器所需遵循的基本原则和计算方法，是确保设计安全性的基础。结构简化是提高设计效率、降低成本的有效途径。在满足功能和使用要求的前提下，应尽量简化结构，减少不

必要的部件和接口，以提高容器的可靠性和制造效率。设计时，必须通过精确的计算和合理的结构布局，保证容器具有足够的强度和刚度，以抵御各种载荷的影响。疲劳寿命是考虑容器在长期运行中的疲劳损伤。设计时应通过合理的材料和结构设计，延长容器的疲劳寿命，减少维护和更换的频率。密封性能是压力容器设计的另一个重要方面。必须设计合理的密封结构，法兰、垫片等，合理配置安全阀、爆破片等安全装置，可以在压力异常升高时自动启动，释放多余的压力，防止容器超压爆炸^[4]。检查和维修的便利性也是设计时必须考虑的因素。容器的检查孔、清洗孔等设计应方便操作，以便于定期检查和维修。材料适应性要求在设计中考虑材料性能和结构特点，合理选择焊接方法、热处理工艺等，以充分发挥材料的性能。

3.3 安全装置的配置

对于易爆介质或者毒性程度较高的介质，应配置安全阀、爆破片等装置，以确保在压力超过设计值时能够迅速释放压力，防止容器破坏。安全装置的排放能力应大于或等于压力容器的安全泄放量。这意味着安全装置必须能够在压力异常升高时，迅速排放足够的介质，以降低容器内的压力，防止超压现象，安全装置应具备足够的可靠性和灵敏度。在紧急情况下，安全装置能够及时响应，迅速启动，保证压力容器的安全。为此，设计时需考虑安全装置的维护和检查，确保其始终处于良好的工作状态。

4 化工压力容器运行过程中存在的不安全因素

4.1 设计缺陷

设计缺陷是化工压力容器安全风险的一个重要来源。设计人员对介质的腐蚀性、毒性、易燃易爆性等特性认识不足，未能采取相应的防护措施。设计规范和标准更新换代，设计人员未能及时掌握最新的设计标准，可能会导致设计出的容器不符合最新的安全要求。设计缺陷还可能源于设计计算错误，包括对容器强度的计算失误、对材料性能的误解、对载荷的评估不准确等。这些计算错误可能导致容器在运行中因无法承受实际工作条件下的压力、温度等载荷而失效^[5]。

4.2 材料问题

材料质量不合格也是一个常见问题。材料在制造过程中可能存在微观缺陷，夹渣、裂纹、气泡等，这些缺陷在压力作用下可能会扩展，最终导致容器失效。材料的问题还可能源于材料在运输、储存过程中的不当处理。材料在运输过程中受到污染或损伤，或者在储存过程中因环境因素（温度、湿度）的影响而变质。焊接材料的质量也是化工压力容器安全的一个关键因素。焊接材料的不合格或焊接工艺的不当都可能导致焊缝质量不佳，焊缝是容器中应力集中的区域，一旦焊缝出现问题，很容易引发容器失效。材料在长期运行中可能出现的性能退化也是一个不可忽视的问题^[6]。材料在高温高压的环境下可能发生脆化、疲劳、腐蚀等，这些都会降

低材料的性能,增加容器失效的风险。

4.3 外部环境

地震、洪水、台风等,可能导致压力容器受损。这些灾害不仅直接破坏容器结构,还可能引起电网故障、燃料中断等次生灾害,进一步影响容器安全。长期的温度变化、湿度变化等可能导致材料性能的退化,增加容器失效的风险。工业环境中的腐蚀性气体、粉尘等也可能对压力容器造成损害。这些腐蚀性介质可能会加速材料的腐蚀速率,缩短容器的使用寿命。压力容器附近有其他设备或建筑物发生泄漏、火灾等事故,可能会对容器造成连锁反应。外部环境的物理和化学变化也可能影响容器的安全。地基沉降可能导致容器支撑结构变形,影响容器的稳定性。

5 化工压力容器运行安全建议

5.1 设计建议

设计前应对化工工艺流程有全面深入的了解,确保容器设计能够满足实际生产需求,包括压力、温度、介质特性等。依据最新的国家和行业标准,确保设计符合当前的安全要求。对容器结构细节进行精心设计,避免尖角和应力集中,确保足够的腐蚀余量,合理设计接管和支撑结构。在设计计算中,应考虑足够的安全系数,以应对可能的异常工作条件。合理配置安全装置,安全阀、爆破片等,并确保它们能够在紧急情况下迅速启动。

5.2 材料建议

根据容器的工作条件和介质特性选择合适的材料,确保材料具有良好的机械性能和耐腐蚀性能。对材料进行全面的检验,包括化学成分分析、力学性能测试、无损检测等。对材料在特定工作条件下的耐久性进行评估,考虑长期运行下的性能退化。随着技术的进步,新型材料不断出现^[7],应根据具体情况评估新材料的适应性。考虑环境因素对材料性能的影响,温度变化、湿度变化、化学侵蚀等。

5.3 操作建议

操作安全对于化工压力容器的运行安全至关重要。在化工生产中,压力容器是存储和运输危险介质的关键设备,任何操作上的失误都可能导致严重的后果。

操作安全还涉及对操作环境的优化,确保操作界面直观易用,减少操作人员的认知负荷,以及利用自动化控制系统来辅助操作,降低人为错误的可能性。通过这些措施,操作人员能够在日常工作中更加安全地管理压力容器,从而保障化工生产的连续性和安全性。总之,操作安全是确保化工压力容器运行安全的关键环节,必须给予高度重视。

5.4 外部环境建议

外部环境的优化对于化工压力容器的运行安全同样具有显著影响。外部环境包括自然条件、周边设施、地质状况等多种因素,这些因素的不稳定性可能成为压力容器安全的潜在威胁。某化工企业位于地震多发区,在一次地震中,由于地基不稳导致压力容器发生位移,管道接口断裂,泄漏出的化工原料引发了火灾和周边环境的污染^[8]。

为了避免类似事件,外部环境建议的实施至关重要。首先,应进行周密的地质和环境评估,选择合适的厂址,确保压力容器安装在稳固的基础上。其次,建立自然灾害预警系统,对地震、台风等灾害进行实时监控,提前采取预防措施。

对于周边设施,应确保其安全距离和防护措施符合规定,防止因周边设施的事故而影响压力容器的安全。确保足够的防火间距,安装防护墙和隔离带,以及定期检查和维护周边设施。

6 结语

化工压力容器作为化工行业的重要设备,其安全性能直接关系到企业的生产安全和员工的生命财产安全。本文的研究表明,压力容器的设计环节是确保其安全性的关键,合理的设计能够有效降低事故发生风险。然而,在压力容器的实际运行过程中,仍然存在诸多不安全因素,这些因素可能导致压力容器的失效甚至事故的发生。

参考文献

- [1] 王繁华. 开孔补强技术在石油化工压力容器设计中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2024, (19): 202-204.
- [2] 陈振伟. 化工压力容器的设计、制造及检验检测中的质量监督控制[J]. 山东化工, 2024, 53 (14): 221-223.
- [3] 赵倩茹. 化工压力容器设计的成本效益及安全性分析[J]. 化工设计通讯, 2023, 49 (12): 45-48.
- [4] 李勤,朱小平,李福宝,等. 过程装备机械基础[M]. 化学工业出版社: 202309. 320.
- [5] 李彬楠. 试论化工设备压力容器规范设计及发展[J]. 当代化工研究, 2023, (17): 147-149.
- [6] 李林,朱健. 化工压力容器设计及不安全因素分析[J]. 山东化工, 2023, 52 (09): 233-234+247.
- [7] 李家雄. 煤化工压力容器设计要点及质量要求[J]. 化工管理, 2023, (08): 111-113.
- [8] 郑顺城. 化工压力容器设计及不安全因素的研究[J]. 化工管理, 2022, (26): 138-140.