

Common problem handling in the design and manufacturing-process of pressure vessels

Lizhen Wang Dajiang Lang Hongru Ba Feng Zhang

Henan Xinlianxin Chemical Industry Group Co., Ltd., Xinxiang, Henan, 453700, China

Abstract

In the design and manufacturing of pressure vessels, common problem handling involves rational material selection, optimized design parameters, precise welding processes, strict quality inspection, configuration of safety accessories, stress analysis control, implementation of anti-corrosion measures, standardized operations, and energy-saving and environmental protection requirements. Careful consideration should be given to material properties, welding quality, residual stress, safety devices, and corrosion protection to ensure structural strength and durability, while complying with relevant standards to improve overall safety and efficiency. These measures work together to ensure the reliable operation and long-term stable use of pressure vessels under various working conditions. This article aims to explore the manufacturing process technology of pressure vessels, selecting materials, adjusting design parameters, and ensuring that pressure vessels can maintain stability and reliability in diverse working environments.

Keywords

pressure vessel; design; manufacture

压力容器设计与制造过程中常见问题处理

王丽真 郎大江 巴鸿儒 张峰

河南心连心化学工业集团股份有限公司, 中国·河南 新乡 453700

摘要

在压力容器设计与制造中, 常见问题处理涉及合理选材、优化设计参数、精确焊接工艺、严格质量检测、配置安全附件、应力分析控制、防腐措施执行、标准化作业和节能环保要求。需针对材料性能、焊接质量、残余应力、安全装置及腐蚀防护等方面进行细致考量, 确保结构强度和耐久性, 同时遵循相关标准, 提高整体安全性和效率。这些措施共同作用, 以保障压力容器在各种工况下的可靠运行和长期稳定使用。本文旨在探讨压力容器制造过程技术, 选择材料、调整设计参数等方面确保压力容器能够在多样化的工作环境下保持稳定性和可靠性。

关键词

压力容器; 设计; 制造

1 引言

压力容器在化工、石油和能源等行业中扮演着至关重要的角色, 铬钼钢因其出色的抗腐蚀性、高强度和机械性能而成为其制造的优选材料, 尤其在恶劣的工作环境中表现卓越。然而, 随着工业技术的进步和应用领域的拓宽, 高强度压力容器的设计和制造正面临日益增多的挑战。在极端环境下, 如高温、高压、强腐蚀等, 对其安全、可靠运行提出了极其严苛的要求。与此同时, 环境保护、能源节约等方面的法规也在不断地提高着材质的选择与生产技术。所以, 深刻地剖析高强压力容器的优点和问题, 探讨相应的对策和改善措施, 对提高高强压力容器的安全性、可靠性和经济性, 有着重要的意义。

2 高强度压力容器相关概述

在石油、化工和电力等工业领域, 高强度压力容器作为核心设备, 因其高强度和优异的耐腐蚀性能而备受青睐。这些容器能够在高温和高压的极端环境下长期保持稳定的工作性能。铬钼钢是一种含铬和钼的合金钢, 它因其出色的抗氧化能力和抗蠕变特性而适用于制造压力容器。这种材料不仅能够保持良好的机械强度, 还能在厚壁容器的设计中发挥重要作用, 使其能够承受巨大的内外压力差, 从而确保容器在长期使用中的安全性^[1]。此外, 高强度压力容器还具有优良的焊接性能, 这为现场安装和日常维护工作提供了极大的便利。这些特性使得高强度压力容器成为这些行业中不可或缺的关键设备。

【作者简介】王丽真(1986-), 女, 中国河南荥阳人, 本科, 工程师, 从事化工设计研究。

3 铬钼钢的材料特性

3.1 耐腐蚀性

铬钼钢在压力容器制造领域的广泛应用，得益于其卓越的耐腐蚀性能。这种性能主要归功于钢中所含有的铬和钼元素。铬能够形成一层坚硬的氧化铬保护膜，有效防止钢进一步氧化，增加材料的耐腐蚀性。钼则有助于提升材料的强度和韧性，使其在受到腐蚀因素作用时仍能保持良好的性能。因此，铬钼钢成为制造压力容器的重要材料，确保容器在复杂环境下的安全运行。铬在钢表面形成一层致密的氧化膜（Cr₂O₃），有效防止氧化和腐蚀的进一步发展，增强了抗氧化能力。这些特性使得铬钼钢成为制造耐高温高压压力容器的理想材料。

3.2 高强度

铬钼钢的高强度主要是由于添加了合适的合金成分，使其点阵结构得到了最大程度的改善。C、Cr、Mo的比例是影响钢材的强、硬性能的关键因素，其中C的提高有利于提高钢材的硬度，而C的过量则会造成钢材的脆性和塑性下降。加入适当的Cr、Mo，不但可以使材料的强、硬性能得到改善，而且具有良好的耐氧化性、耐蚀性。另外，Cr-Mo钢中晶粒组织对其力学性质也起着重要作用^[2]，细小且均一的晶体组织有利于强化其塑性，并由此获得更大的强度。

4 高强度压力容器设计与制造中存在的问题

4.1 材料选择与腐蚀问题

选择不适当的材料会导致高强度压力容器加速老化与腐蚀，从而对其安全和寿命构成威胁。例如，碳含量较高的铬钼合金钢在焊接区域容易出现腐蚀和晶界侵蚀问题，尤其在腐蚀环境中更为显著。焊接过程中碳化物的形成会加剧焊缝侵蚀，削弱整体防腐性能。材料生产中的品控失误或合金成分搭配不当也会导致防腐效果不达标，增加腐蚀风险。腐蚀性介质如氯离子或硫化物能显著加速材料侵蚀，缩短容器寿命，并带来安全风险。

4.2 设计不合理

在高压容器设计过程中，任何设计上的缺陷都可能引入安全隐患。例如，如果受力分布不均匀，可能会加剧疲劳裂纹的产生，从而缩短容器的使用寿命。此外，连接部分的设计如果不合理，可能会导致应力集中，进一步影响容器的整体安全性。因此，在设计压力容器时，必须综合考虑其在各种操作条件下的负载特性，确保容器能够承受预定的压力和温度条件，防止塑性变形或破坏的发生。同时，设计参数的选择需要恰到好处，既不能过弱导致容器强度不足，也不能过强导致资源浪费或增加不必要的开裂风险。总之，合理的设计是确保压力容器安全可靠运行的关键。

4.3 焊接工艺问题

在高压容器制造中，焊接进度的管理是关键，

过快或过慢的焊接速度均可能影响焊缝品质。快速焊接可能导致未融合和焊缝内部空洞，而缓慢焊接则可能使焊接熔池过大，金属晶体粗大，从而降低焊缝的强度。焊接过程中，电流和电压的稳定性对焊接质量有着重要影响。如果电流过大，可能会导致过热现象，而电流不足则会降低焊缝的承载能力。这些因素都可能影响到焊缝的牢固度和气密性，进而影响容器的稳定性和密封性能^[3]。因此，确保焊接过程中的电流和电压稳定是非常重要的。

焊接材料的品质也不容忽视。劣质焊接材料会影响焊缝的塑形和特性，引发焊接缺陷。在铬钼钢制压力容器焊接中，常见缺陷包括孔洞、夹杂物和裂痕。孔洞通常由焊接过程中未释放的气体造成，焊接过程中，夹杂物通常是由于熔渣未能完全清除而产生的。而裂纹则可能是由焊接区域应力集中或材料硬化引起的。这些焊缝缺陷在容器使用过程中可能会逐渐扩展，从而损害其密封性和结构完整性，减少抗疲劳能力，并可能在极端情况下导致泄漏甚至爆裂，对设备和人员安全构成威胁。因此，确保焊接质量至关重要。

5 改进措施

5.1 优化材料选择策略

在容器的设计与制造中，选择耐腐蚀、耐压强度高的材料至关重要。比如ASTMA240TP316L不锈钢，含18%的铬，10%的镍，具有优良的抗腐蚀性及力学特性。通过调节合金成分比例，提高Cr/Mo的用量，提高Cr含量，提高Cr/Mo合金的耐蚀性能。

通过对金属进行化学、电镀等表面改性，可以提高其耐腐蚀性能。通过酸洗、打丸法，使被测物体表面生成一种均匀、紧密的保护层，从而增强了其耐腐蚀性。

为了检验该不锈钢ASTMA240TP316L的抗腐蚀性能，可以在试验室中用氯化物溶液检验其抗腐蚀性能。根据《用氯化铁溶液测试不锈钢和相关合金抗点蚀和隙间腐蚀性能的标准试验方法》（ASTMG48-11）^[4]对不锈钢及有关合金的点蚀及间隙侵蚀进行试验，并对其侵蚀速度及强度进行评价。采用多功能试验机等装置，对试样进行了抗拉实验，测试了试样的压缩、屈服强度。试验数据（表1假定）表明，经优选的材料在抗腐蚀和力学性质上都有明显改善。

表1 材料优化结果

材料	耐腐蚀性能 (抗氯离子腐蚀)	抗压强度 /MPa	屈服强度 /MPa
优化前	100 h 无明显损伤	700	500
优化后	200 h 无明显损伤	750	550

实验结果揭示了一个重要的趋势：通过对合金元素配比的精心优化以及表面处理技术的巧妙应用，能够显著提高压力容器材料的抗腐蚀性能和机械强度。这种材料的改进对于延长压力容器的使用寿命至关重要，因为它能够在长期的

运行过程中抵抗各种腐蚀性介质的侵蚀,从而减少维护频率和更换成本。同时,增强的机械强度确保了压力容器在面临来自内部压力和外部环境压力时,能够保持结构完整性和稳定性。此外,耐腐蚀性和机械强度的提升还有助于减少事故风险,防止设备故障引发的潜在危害^[5]。在工业生产中,压力容器的稳定性直接关系到生产流程的连续性和产品质量的控制。通过这些技术改进,可以确保压力容器在极端条件下依然能够可靠地运行,从而保障整个生产过程的安全性和稳定性。

5.2 调整设计参数

5.2.1 优化壁厚

为了提升高强度压力容器的性能,对其设计参数进行了优化,特别是将壁厚从 20mm 提升至 25mm。此项技术的目的在于提高压力容器的抗压力及抗疲劳性能,保证其在压力作用下不会发生形变,降低由应力集中引起的破坏。由于采用了较大的壁厚,经过最佳处理的集装箱具有较高的压缩强度,可以更好地适应不同的压力和工作负载^[6]。这意味着在极端工况下,容器能够保持结构的完整性,避免塑性变形,从而提高整体的安全性和可靠性。

5.2.2 优化焊缝设计

在高压容器的结构优化中,原有的直角焊缝连接方式已被倒角焊缝连接所替代。为了解决直角焊缝容易出现的应力集中和裂纹问题,从而提高焊缝的强度和稳定性,采用了倒角焊缝的设计。这一改进显著降低了焊缝缺陷的风险,提升了焊缝的整体可靠性及耐久性。通过采用倒角焊缝连接方式,压力容器的设计得到了显著改善,使其在面临复杂负荷和环境挑战时,能够更加稳健和耐用。这种优化措施为压力容器的安全运行提供了有力保障,有助于降低维护成本,并提升工业生产的安全性。

5.2.3 调整安全阀参数

在压力容器安全性能的优化过程中,安全阀的启动压力从原先的 1.5MPa 上调至 1.8MPa。这一调整是为了增加压力容器的安全储备,同时提高安全阀的启动灵敏度,从而降低容器超压的可能性。通过这种优化,安全阀在保障压力容器安全运行方面起到了更为关键的作用。它能够在关键时刻快速有效地发挥作用,保护容器和整个系统的安全,从而确保了生产过程的安全性,减少了潜在的损失和停机时间。

5.3 改进焊接工艺

为了提升焊接作业的整体水平,采取了一系列综合性措施。专注于开发创新的焊接材料和工艺,通过采纳前沿

技术,显著提升了焊接的效率和质量。严格控制焊接参数,确保焊接过程的稳定性和精度,同时优化焊接速度以减少残余焊接应力,增强构件的可靠性。在焊接过程中,强化了每个步骤的监测和质量控制,建立了一个全面的焊接工艺监测体系,便于及时发现并解决焊接过程中的任何缺陷。此外,高度重视提升焊工的专业技能,通过加强焊工和工程师的培训,不断提高焊接团队的整体素质和技能水平,从而在保证焊接质量的同时,也提高了工作效率和安全性,提高了团队的专业素质。最后,强调了焊接工艺的标准化工作,制定并执行了一套严格的焊接工艺标准,以确保焊接质量不仅满足国家标准,而且达到行业领先水平,不仅提升了焊接作业的效率和质量,也为企业的可持续发展奠定了坚实的基础,确保了焊接产品的高标准和一致性,增强了企业的市场竞争力。

6 结语

在设计和制造高强度压力容器时,关键环节包括焊接技术、材料选择和结构设计,它们对容器的安全性至关重要。通过合理选材、调整设计参数和焊接流程,可以显著提升容器的耐腐蚀性能、力学强度和安全可靠性。这些精细的优化措施,确保压力容器能在各种工作环境中稳定运行,为工业生产和日常生活提供了坚实的安全保障^[7]。通过精确的材料选用与工艺改进,压力容器不仅能够抵抗腐蚀和机械损伤,还能在各种压力条件下安全运行,从而降低了故障风险,提升了使用效率。

参考文献

- [1] 闫海亮,袁伟,姚呈祥,等. 基于损伤模式分析的超设计使用年限压力容器合于使用评价研究[J]. 化工设备与管道, 2024, 61 (06): 1-6.
- [2] 范磊,李亚坤,郝胜,等. 压力容器汽提塔回流罐的设计思路与制造要点[J]. 机械管理开发, 2024, 39 (11): 241-242.
- [3] 张雷. 压力容器设计中减少应力集中的策略分析[J]. 机械管理开发, 2024, 39 (11): 261-263+285.
- [4] 梁元月,董富荣,王建刚,等. 压力容器用整体设备法兰结构优化设计分析[J]. 大众标准化, 2024, (22): 50-52.
- [5] 左安达,罗从仁,姜凤银. 塑性垮塌二元评定准则在压力容器分析设计中的应用[J]. 石油化工设备技术, 2024, 45 (06): 18-23+35+80.
- [6] 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.
- [7] 祁一信. 复合材料高压气瓶设计、监测及失效模式的研究进展[J]. 塑料科技, 2024, 52 (09): 144-14