

压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施

张立平

镇江江工生物工程成套设备有限公司, 江苏 镇江 212009

[摘要] 压力容器作为我国石油化工产业和工业制药产业以及微生物深层发酵产业中的关键设备, 在推动工业生产和储存领域的发展中发挥着至关重要的作用。为了确保压力容器的安全性和稳定性, 设计人员和企业一直致力于提高其性能指标。本文立足于压力容器的特点, 深入分析了在设计及制造过程中可能出现的应力集中问题。基于现有的工艺设计技术, 我们提出了一系列改进工艺结构和设计方法的措施, 旨在降低应力集中现象的发生。这些措施包括合理选择封头类型、减少刚度差、增加圆角半径、优化焊接工艺等。通过这些方法的综合运用, 在提高压力容器的设计与制造质量, 确保其在各种工况下都能够稳定可靠地运行, 为石油化工产业和工业制药产业以及微生物深层发酵产业的持续发展提供坚实的保障。

[关键词] 压力容器; 设计及制造; 应力

DOI: 10.33142/aem.v5i11.10299

中图分类号: TH4

文献标识码: A

Measures to Reduce Stress Concentration in the Design and Manufacturing Process of Pressure Vessels

ZHANG Liping

Zhenjiang Jiangong Biology Engineering Complete Equipment Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212009, China

Abstract: As a key equipment in Chinese petrochemical, pharmaceutical, and microbial deep fermentation industries, pressure vessels play a crucial role in promoting the development of industrial production and storage. In order to ensure the safety and stability of pressure vessels, designers and enterprises have been committed to improving their performance indicators. This article is based on the characteristics of pressure vessels and provides an in-depth analysis of the possible stress concentration issues that may arise during the design and manufacturing process. Based on existing process design techniques, we propose a series of measures to improve the process structure and design methods, aiming to reduce the occurrence of stress concentration. These measures include reasonable selection of head type, reduction of stiffness difference, increase of fillet radius, optimization of welding process, etc. Through the comprehensive application of these methods, the design and manufacturing quality of pressure vessels can be improved, ensuring their stable and reliable operation under various working conditions, and providing a solid guarantee for the sustainable development of the petrochemical industry, industrial pharmaceutical industry, and microbial deep fermentation industry.

Keywords: pressure vessels; design and manufacturing; stress

引言

压力容器作为各种工业领域中不可或缺的关键设备, 在微生物深层发酵、储存和传输液体、气体或蒸汽等物质时扮演着至关重要的角色。然而, 随着工业技术的不断进步和应用领域的扩大, 压力容器的设计和制造面临着日益严峻的挑战。其中, 应力集中问题是影响压力容器结构完整性和安全性的主要难题之一。应力集中问题在压力容器中的产生可能导致材料疲劳、裂纹扩展, 甚至引发结构的突然断裂, 对设备的安全性构成潜在威胁。因此, 深入研究应力集中问题的成因和应对措施, 对于确保压力容器的稳定运行至关重要。

1 压力容器的特点及设计制造发展现状分析

1.1 压力容器的特点

压力容器是一种专门设计用于微生物深层发酵、存储或传递液体、气体或蒸汽等物质的装置, 它具备独特的结构, 能够承受内部介质产生的压力。在压力容器的设计与

制造中, 有几个关键特点至关重要: 首先, 压力容器必须能够承受内部介质产生的压力。这意味着容器的结构必须足够强大, 以保持其稳定性和完整性。材料的选择在这一特点中显得尤为重要。通常情况下, 高强度、耐腐蚀的材料, 例如不锈钢和合金钢, 被广泛选用, 以确保容器在承受内部压力时不会发生变形或破裂。其次, 压力容器必须具备良好的安全性能, 以避免泄漏或爆炸的发生。为了确保安全性, 压力容器的设计、制造和检验必须遵循严格的标准和规定。各种安全装置和防护措施也常常被应用于压力容器上, 以应对可能的突发事件^[1]。另外, 压力容器的密封性能直接影响其使用效果。合适的密封技术和材料选择是确保容器内部介质不泄漏的关键因素。对深层生物发酵压力容器来讲是确保微生物生长的关键条件。良好的密封性能可以提高容器的效率, 并且减少了环境污染的风险。最后, 压力容器通常需要适应不同的工作环境, 例如高温、低温、高压、低压等。因此, 在设计及制造过程中, 需要

考虑到这些环境因素,选择合适的材料和采取相应的措施,以确保压力容器在各种工作环境下都能够稳定、安全地运行。压力容器的特点包括承受压力、材料选择、安全性、密封性和适应不同环境等方面,这些特点在设计与制造过程中需要得到充分考虑,以保障压力容器的可靠性和安全性。

1.2 压力容器设计及制造发展的现状分析

近年来,随着科学技术的不断进步,压力容器的设计与制造领域也迎来了显著的发展。这一进展主要体现在以下几个方面:首先,新型材料的研发和制造工艺的改进为压力容器的性能提供了强大支持。高强度、耐腐蚀的材料,如先进的不锈钢和合金钢,不仅提高了压力容器的强度,还使其具备了更好的耐腐蚀性和耐高温性,扩大了其适用范围。其次,数字化设计与仿真技术的广泛应用使得设计工程师能够更准确地模拟压力容器的性能。计算机辅助设计(CAD)和有限元分析(FEA)等工具为工程师提供了详细的性能预测和模拟,帮助他们提前发现潜在问题,从而优化设计方案,确保容器的安全运行^[2]。自动化制造技术的引入是压力容器制造领域的又一重大进展。自动化生产线的运用使得生产过程更加高效、精确,大大减少了人为因素对产品质量的影响。机器人技术的应用不仅提高了生产效率,还降低了制造过程中的人身安全风险。最后,智能监测与维护系统的建立为压力容器的安全性提供了全面保障。传感器和物联网技术的运用使得压力容器能够实时监测其工作状态,预测潜在故障,及时采取维护措施。远程监控系统不仅提高了设备的可靠性,还降低了事故风险,为工业生产提供了强大的支持。压力容器设计与制造现状分析表明,新材料、数字化技术、自动化制造和智能监测系统的应用为压力容器的性能、安全性和可靠性带来了革命性的变化。这些进展不仅推动了压力容器制造技术的不断创新,也为各行各业提供了更加安全、可靠的压力容器产品。

2 压力容器应力集中的问题及产生原因

2.1 应力集中问题

在压力容器的设计与制造中,应力集中问题是一项极具挑战性的难题。这种现象往往集中表现在结构的特定区域,使得这些部位的应力远高于周围区域。主要的应力集中区域通常包括尖锐的角和边缘、焊接连接点、异材料界面以及附件连接点等。这种应力集中现象可能导致材料的疲劳和裂纹,甚至可能引发结构的突然断裂。这种问题的存在对压力容器的安全性构成潜在威胁,因此需要极为谨慎地对待。设计师在面对应力集中问题时,必须深入研究结构的几何形状、材料的选择以及受力分布,以期最小化或消除这些特定区域的应力集中,以确保在各种工作条件下压力容器都能够保持稳定和可靠的运行状态。这是一个需要高度专业知识和经验的挑战,要求设计师具备深入的材料力学和结构工程知识。

2.2 产生应力集中问题的主要原因

在压力容器的设计与制造中,应力集中问题产生的原因极为复杂,通常是多种因素的综合作用。首先,几何形状的不合理性是应力集中的主要源头。尖锐的角和边缘、突出的部位等在外部载荷作用下,会导致应力线在这些特定区域聚焦,引发应力集中问题。其次,外部载荷作用也是应力集中的重要原因。振动、冲击等外部载荷在容器结构上产生不均匀的受力分布,使得某些部位的应力明显高于其他区域。此外,材料缺陷是应力集中的隐患之一。例如,材料内部的气孔、夹杂等缺陷会导致局部应力集中,增加了材料的疲劳和裂纹的风险。另外,温度梯度也可能引发应力集中,因为不均匀的温度分布会导致热应力,使得容器在高温区域产生应力集中。异材料界面的存在也是一个潜在问题,因为不同材料的界面由于其强度和刚度的不同,可能在这些区域引发应力集中。最后,在焊接连接处,焊接引入了额外的应力和残余应力,尤其是在焊缝和热影响区域,可能导致应力集中现象的出现。应力集中问题的发生是一个多方面因素共同作用的结果,需要在压力容器的设计与制造中,充分考虑这些因素,采取科学合理的措施来减轻或消除这些特定区域的应力集中,以确保压力容器在各种工作条件下都能够稳定可靠地运行。

3 降低应力集中的有效途径

3.1 合理选择封头类型,提高压力容器的密封性

在压力容器设计与制造中,合理选择封头类型是确保容器密封性的关键因素。不同的封头类型具有不同的性能特点,选择适合特定工况的封头,可以有效提高压力容器的密封性,防止泄漏,确保系统安全运行。首先,椭球形封头是一种常用的封头类型,其流线型的外形使得内部应力分布均匀,减少了应力集中的可能性。椭球形封头通常用于高压容器,其压力分布较为均匀,能够承受更高的内压。其光滑的曲面结构不易积聚污物,降低了污染引起的泄漏风险,提高了密封性。其次,球形封头也是一种常见的选择。球形封头具有最均匀的应力分布,内部应力处于最平衡状态,因此在高压容器和高温容器中被广泛使用。由于球形封头不具有尖锐边缘,避免了应力集中问题,有助于提高容器的耐久性和密封性。此外,扁平封头也是一种常用的封头类型。扁平封头结构简单,制造成本较低,适用于低压容器。然而,由于其较大的面积,对密封性要求较高,需要采取一定的密封措施,如垫片或密封圈,确保容器的密封性能。在选择封头类型时,设计师需要全面考虑压力容器的工作条件、内部介质特性以及操作环境,选择合适的封头类型,并结合适当的密封措施,以确保容器在各种工况下都能够保持良好的密封性,避免泄漏问题,保障设备的安全运行^[3]。因此,在设计阶段,密封性能的充分考虑和合理选择封头类型至关重要,对于压力容器的长期稳定运行起着关键作用。

3.2 减少刚度差，降低应力集中问题的产生

在压力容器设计与制造中，减少刚度差是一项关键策略，旨在降低应力集中问题的发生。刚度差是指在容器结构中，不同部位的刚度差异。这种差异导致在受力时，相对刚度较小的部位容易发生应力集中，因为它们无法均匀分担受到的载荷。为了降低应力集中问题，设计师需要综合考虑以下几个方面：首先，结构的均匀性是关键。在设计阶段，需要尽量确保容器结构的均匀性，避免在连接处或异材料交界面等位置存在过大的刚度差。采用均匀分布的结构，有助于减轻不同部位之间的刚度差异，从而降低了应力集中的可能性。其次，选择合适的材料也是至关重要的。不同材料的密度、弹性模量和热膨胀系数等性质差异可能导致刚度差。因此，在材料选择时，需要综合考虑这些因素，选择相对匹配的材料，使得容器的整体刚度更为均匀，减少了应力集中问题的发生。此外，结构的连接方式和焊接工艺也直接影响刚度差。合理选择连接方式，采用高质量的焊接工艺，确保连接部位的刚度均匀性，避免焊接引入不均匀的应力分布，降低应力集中的风险。通过均匀分布结构、选择合适的材料、合理设计连接方式和优化焊接工艺，可以有效地减少刚度差，降低应力集中问题的产生。这些措施不仅提高了容器的稳定性和耐久性，也确保了在不同工作条件下容器的可靠性和安全性。因此，在压力容器的设计和制造过程中，细致入微地处理刚度差问题至关重要。

3.3 增加圆角半径，减少棱角产生的应力集中

在压力容器的设计和制造中，增加圆角半径是一种有效的策略，旨在减少棱角产生的应力集中问题。棱角是指结构中突出的直角或尖锐角部位，这些区域由于其几何特性，容易导致应力集中。通过增加这些棱角的圆角半径，设计师可以有效地分散应力，减少应力集中，提高压力容器的稳定性和耐久性。增加圆角半径的主要优势之一在于它能够消除或减轻尖锐边缘和角的影响。尖锐的边缘和角会使得应力线聚焦在这些区域，引发高应力区域的形成，增加了断裂的风险。然而，通过增加圆角半径，这些尖锐边缘和角就会被平滑地连接起来，减少了应力集中的可能性，从而提高了结构的耐久性。此外，增加圆角半径还可以改善焊接连接处的情况。在焊接过程中，尖锐边缘和角容易产生焊接应力集中，从而引发裂纹和断裂。而通过增加圆角半径，焊接过程中的应力得以分散，减轻了焊接区域的应力集中，降低了断裂的风险，提高了焊接连接的可靠性。因此，在压力容器的设计中，合理增加棱角的圆角半径，不仅有助于减少应力集中问题的产生，还提高了结构的抗压性能和安全性。这一设计原则在现代压力容器制造中得到广泛应用，确保了压力容器在各种工作条件下都能够稳定可靠地运行。

3.4 优化焊接工艺，严格控制焊缝余高

在压力容器的设计与制造中，优化焊接工艺并严格控制焊缝余高是非常关键的步骤，旨在降低应力集中问题的产生，提高容器的结构强度和安全性。焊接工艺的优化包括焊接参数的合理选择、焊接序列的设计以及焊接方法的优化。合适的焊接参数，如焊接电流、电压、焊接速度等，能够确保焊缝的均匀性和质量稳定性。焊接序列的设计则能够避免焊接过程中的热应力积累，减轻焊接区域的变形和残余应力，降低应力集中的风险。此外，选择适当的焊接方法，如手工焊、自动化焊接或者机器人焊接等，也能够影响焊缝的质量和均匀性，进而影响应力分布的均匀性。严格控制焊缝余高是焊接工艺中的一个关键环节。焊缝余高指的是焊缝表面相对于母材表面的高度差。如果焊缝余高过大，容易形成尖锐边缘，导致应力集中。因此，在焊接过程中，必须严格控制焊接参数，确保焊缝的均匀性和平整度，尽量减少焊缝余高。采用合适的焊接技术，如充分预热、控制焊接速度、选择适当的填充材料等，能够有效减小焊缝余高，降低应力集中的可能性。通过优化焊接工艺，确保焊接质量，严格控制焊缝余高，可以有效减轻应力集中问题，提高压力容器的结构稳定性和安全性。这一措施在压力容器制造中至关重要，确保了容器在各种工作条件下都能够稳定可靠地运行，提高了其长期耐久性和安全性。

4 结语

在压力容器的设计与制造中，应力集中问题是一项极具挑战性的工程难题。合理选择封头类型、减少刚度差、增加圆角半径、优化焊接工艺等措施，都是为了降低应力集中问题的产生，提高压力容器的稳定性和安全性。通过对材料力学、结构工程和焊接技术等领域的深入研究和综合运用，现代压力容器的设计与制造取得了显著进展。然而，我们也要认识到，在不断追求技术创新的过程中，我们仍然面临着挑战。新材料、新工艺的引入，新环境、新工况的考量，都可能带来新的应力集中问题。因此，持续的研究与发展是必要的，以不断提高压力容器制造领域的技术水平，确保设备的安全可靠运行。

【参考文献】

- [1] 杨文辉, 汉正霞. 压力容器设计制造常见缺陷及应对措施[J]. 化工管理, 2022(23): 149-152.
 - [2] 党亚茹, 张满航. 压力容器设计及制造过程中降低应力集中的措施[J]. 石化技术, 2021, 28(2): 166-167.
 - [3] 曹野, 赵明. 压力容器设计阶段风险评估过程中存在的问题和建议[J]. 石化技术, 2020, 27(3): 177-180.
- 作者简介：张立平（1979.3—），女，目前职称：机械设计专业中级工程师，学历：硕士研究生，专业：工程热物理，目前就职单位：镇江江工生物工程成套设备有限公司。