

## 压力容器设计制造常见缺陷与应对措施

张玉静 石文 徐磊

山东大齐石油化工设计有限公司, 山东 淄博 255400

**[摘要]**随着工业化进程的加速,压力容器在化工、石油、冶金、电力等多个行业中得到了广泛应用,成为提升生产效率与保障操作安全的关键设备。随着使用环境日益复杂,设计与制造过程中暴露出的问题也愈加显著,尤其是在法兰设计、材料选择、焊接工艺及制造流程等方面。通过对多个事故的分析,发现设计与制造缺陷常常是引发安全事故的主要原因之一。因此,研究并解决这些常见问题,优化设计与制造工艺,已成为提升压力容器性能与确保生产安全的关键任务。

**[关键词]**压力容器;设计制造;常见缺陷

DOI: 10.33142/ec.v8i3.15639

中图分类号: TH49

文献标识码: A

### Common Defects in Design and Manufacture of Pressure Vessels and Countermeasures

ZHANG Yujing, SHI Wen, XU Lei

Shandong Daqi Petro Chemical Design Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255400, China

**Abstract:** With the acceleration of industrialization, pressure vessels have been widely used in chemical industry, petroleum, metallurgy, electric power and other industries, and become the key equipment to improve production efficiency and ensure operational safety. With the increasingly complex use environment, the problems exposed in the design and manufacturing process are becoming more and more obvious, especially in flange design, material selection, welding technology and manufacturing process. Through the analysis of several accidents, it is found that design and manufacturing defects are often one of the main causes of safety accidents. Therefore, studying and solving these common problems and optimizing the design and manufacturing process have become the key tasks to improve the performance of pressure vessels and ensure production safety.

**Keywords:** pressure vessels; design and manufacture; common defects

### 引言

压力容器广泛应用于石油、化工、电力、食品等多个领域,作为承受内外压力、确保物质安全储存与运输的关键设备,其设计、制造及使用安全性至关重要。由于在高压和极端环境下运行,任何设计或制造过程中存在的缺陷,都可能导致设备失效、泄漏,甚至引发爆炸,从而对人身安全及环境构成严重威胁。因此,确保压力容器在设计及制造阶段严格遵循标准,已成为行业关注的核心问题。通过优化设计、提升制造工艺以及加强材料控制等措施,潜在的缺陷得以有效避免,压力容器的安全性与可靠性也得到了显著提高。

### 1 压力容器设计制造的特点

#### 1.1 专业性

压力容器的设计与制造涵盖了力学、材料学、热学以及流体力学等多个技术领域,这些学科的交叉融合使得整个过程充满了复杂性。在这一过程中,高度的专业技能是必不可少的,设计人员和制造工人必须拥有扎实的理论基础与丰富的实践经验。在设计阶段,容器能否达到所需的性能标准,必须通过严谨的计算与模拟来确保,涵盖了承受内外压力、耐腐蚀性及结构强度等多个关键参数。在制造过程中,每一个工艺环节都需要极高的精度,任何微小的偏差都可能对容器的安全性与可靠性带来影响。特别是

在焊接工艺、材料选择与质量控制以及热处理过程的细节上,均需通过专业的技术手段严格把控。这些高标准要求使得压力容器的设计与制造不仅仅是技术任务,更是对设计能力与工程实践的一次全面考验,突显了其在生产中的专业性。

#### 1.2 安全性

作为高风险设备,压力容器的安全性在设计及制造过程中始终占据着最重要的位置。任何设计上的缺陷、材料问题或工艺不当,都可能导致容器在使用过程中出现故障,严重时甚至引发爆炸或泄漏,从而对人员的生命安全和环境造成极大威胁。为确保容器的安全性,每个环节都必须严格按照安全标准与规范进行管理。从设计计算、材料选择,到制造工艺、质量控制等各个方面,都应经过严格把关。在设计阶段,应充分考虑极限工况并合理设置安全系数,确保容器在超负荷或突发压力下仍能稳定运行。焊接质量、材料的耐腐蚀性与抗疲劳性等因素,在制造环节中直接影响容器的安全性。此外,制造过程中的多次检验,如无损检测与压力测试等,也是确保潜在问题能够及时发现并处理,进一步提升整体安全性的关键手段。

### 2 压力容器设计制造中存在的缺陷

#### 2.1 法兰设计缺陷

法兰作为压力容器各部件连接的关键组成部分,设

计合理性直接关系到容器的密封性与承载能力。在实际设计过程中,法兰的尺寸与形状常常存在一定的偏差,这些偏差通常源自对材料力学性能理解的不充分或设计公式应用的错误。例如,若法兰厚度未能充分设计,或环向应力的计算存在不准确之处,连接部位可能在高压条件下发生变形或泄漏,严重时甚至可能导致容器破裂。此外,在高温高压条件下,法兰可能出现应力集中现象,从而加速材料的疲劳,增加失效的风险。若法兰设计未能考虑温度波动、压力波动等多重因素的影响,长期运行的可靠性也将受到显著影响。因此,法兰设计中的缺陷在压力容器设计中占据着重要地位,必须予以足够的关注与重视。

## 2.2 材料问题

压力容器作为一种高性能设备,核心性能在很大程度上依赖于材料的选择与质量。合理的材料不仅能够确保容器的强度与耐久性,还对容器在极端工况下的稳定性与安全性起着关键作用。在实际生产过程中,材料的选用必须根据具体的使用环境与工作需求进行精确匹配,以确保容器达到最佳的性能标准。然而,材料问题已经成为压力容器生产中的一个常见且严重的缺陷。调查显示,部分企业在材料采购时,由于工作人员疏忽,未能严格按照相关标准进行筛选,导致选用了不合格或不适用的材料。压力容器制造过程中,涉及的材料种类繁多,任何一种材料未能符合标准要求,都有可能对容器的整体安全性与性能产生致命影响。在高温高压的工作环境下,材料性能不符合要求可能引发裂纹、腐蚀或脆性断裂等问题,甚至引起爆炸或泄漏等严重安全事故。材料问题不仅会给企业带来巨大的经济损失,更为重要的是它直接威胁到操作人员的生命安全,带来不可预见的风险。

## 2.3 焊接缺陷

焊接在压力容器制造过程中具有至关重要的地位,其质量直接关系到容器的结构完整性与密封性。焊接缺陷是压力容器常见的质量问题之一,焊缝裂纹、气孔、夹渣以及未焊透等问题时常发生。尤其在高温高压环境下,焊接缺陷可能成为容器失效的根本原因。例如,焊缝裂纹不仅削弱了容器的承载能力,还可能引发应力集中,从而导致疲劳破裂。气孔与夹渣的存在显著降低了焊接区域的力学性能,使局部应力分布不均,进而增加了容器运行过程中发生故障的风险。如果焊接过程中未能完全焊透,焊缝未能有效连接相关部件,这一缺陷在容器承受高压时,可能引起泄漏或断裂。焊接质量对容器的安全性至关重要,任何细微的缺陷都可能在后期使用过程中引发严重的安全问题。

## 2.4 设计计算错误

设计计算错误是压力容器设计过程中常见的缺陷,这一问题可能直接影响容器的安全性与性能。压力容器的设计需要涉及多个方面的精确计算,包括强度、刚度、耐压

能力等指标。任何计算环节的疏忽或不准确,都可能导致设计与实际工况之间的差异,从而影响容器的整体结构性能。例如,在进行内外压力承受能力的计算时,若未能准确考虑材料的屈服强度或忽视了应力集中效应,容器在实际使用过程中可能会发生变形,甚至破裂。此外,外部因素如温度波动、压力波动等若未被充分考虑在内,也有可能导致容器在极端工况下发生失效。安全系数设置不当,也是设计计算中常见的错误。若设计人员未能充分预见突发事件,容器在承受超载时,可能无法保持稳定,最终引发严重的安全事故。

## 2.5 制造工艺缺陷

制造工艺缺陷在压力容器的生产过程中普遍存在,且其对容器的结构完整性与运行安全至关重要。压力容器的制造涉及多个关键工序,如切割、焊接、热处理与检验等,其中任何环节的操作不当,都可能导致工艺缺陷的产生。例如,在焊接过程中,若热输入过高或冷却速度过快,焊缝区域可能出现应力集中,从而增加裂纹形成的风险。热处理工艺中,温控不精确会对材料的硬度与韧性产生不利影响,进而降低整体强度。在切割与加工环节,若精度不足,装配时可能产生间隙或不对中,影响密封性与安全性。即便是微小的工艺缺陷,在长期运行中也可能积累,导致疲劳损伤或腐蚀,最终引发压力容器失效。因此,必须对每一个制造工序实施严格的控制,任何疏忽都可能对容器的长期稳定性构成隐患。

## 3 压力容器设计制造缺陷的应对措施

### 3.1 优化法兰设计

法兰是压力容器设计中的关键组件,其设计质量对容器的安全性与性能起着至关重要的作用。合理的法兰设计不仅要保证连接处的密封性与承载能力,还需要充分考虑容器在工作中所面临的压力、温度变化等复杂的工况。为了确保法兰设计的精确性与可靠性,国际上广泛采用了Waters法<sup>[1]</sup>。这一方法已经经过实践验证,能够准确计算法兰在使用过程中所受到的各类应力。通常,法兰所承受的应力包括三个部分:法兰力矩应力、由内外压力直接作用于法兰产生的环向应力以及法兰各个组成部分在压力作用下产生的应力。对每一部分应力的计算都必须做到精确无误,因为任何计算误差都有可能影响法兰的承载能力,进而危及压力容器的整体稳定性与安全性。法兰设计时,需要综合考虑结构形态、受力情况以及材料特性等多方面因素,并结合压力容器的设计要求进行严谨的核算,确保设计参数准确。这种严密的设计过程能够显著提升压力容器的整体设计质量,提高其在实际使用中的安全性与可靠性。

### 3.2 加强材料选择与控制

材料在压力容器的设计与制造中扮演着至关重要的角色,其强度、耐压性及使用寿命直接由所选材料决定。为了确保压力容器的安全性与高性能,必须对材料的选择

与质量进行严格控制。材料的挑选需根据容器的工作环境精确匹配,考虑到温度、压力及腐蚀等环境因素<sup>[2]</sup>。如果材料未能满足相应标准,容器在使用过程中极易出现故障,甚至可能导致事故的发生。材料采购环节必须严格把关,确保每一批次材料都经过细致的检验与测试,完全符合设计要求。材料控制不仅仅是选择合适类型,更包括对整个生产过程中的质量监控,以确保材料性能在任何情况下都不受影响。无论是化学成分、力学性能,还是热处理状态,都必须符合相关规范,任何偏差都可能危及压力容器的安全性。特别是对于某些特殊工况下使用的材料,其耐腐蚀性、抗疲劳性及抗裂纹性能等特点更需特别关注。通过加强材料的选择与控制,压力容器的可靠性能够显著提升,潜在故障的发生也会大大减少,确保容器在高温、高压等极端条件下持续稳定运行。

### 3.3 完善焊接工艺

焊接工艺在压力容器制造中扮演着至关重要的角色,焊接质量直接决定着容器的结构强度与使用寿命。完善焊接工艺不仅是提高操作水平的要求,更是确保容器安全性的核心要素。焊接方法的选择是其中的关键步骤,不同的材料与工作条件要求采用不同的焊接技术,如手工电弧焊、气体保护焊等。此外,温控、焊接速度以及填充材料的选择,在焊接过程中也必须严格遵循标准,以确保焊缝的质量达到预期,避免均匀性问题的出现。操作不当或工艺控制不精准常常导致焊接缺陷,如气孔、夹渣或裂纹,这些缺陷会引起应力集中,显著增加容器失效的风险。因此,采用先进的焊接技术,并结合现代检测手段,如X射线或超声波检测,是确保焊接质量的有效途径,能及时发现潜在的微小缺陷。同时,优化焊接工艺还应注重操作人员的培训与规范操作,以确保每一道焊缝都符合设计要求。通过不断改进焊接工艺,压力容器的结构强度与密封性能能够显著提升,使用寿命得以延长,安全隐患的发生也大大减少。

### 3.4 完善设计计算与验证

设计计算在压力容器设计中占据着至关重要的地位,任何疏忽或错误的计算都可能导致容器无法满足实际使用要求,甚至威胁其安全性。为确保设计计算的准确性与可靠性,必须对所有公式与参数进行严格核对,确保它们能够准确反映容器在各种工况下的综合性能。这些计算涵盖了容器承受的内外压力、温度波动、冲击载荷等多种因素。在设计过程中,进行多轮验证与优化是尤为重要的,通过采用现代仿真技术,如有限元分析,可以模拟容器在不同工作条件下的应力与热应力分布,从而预测潜在的风险点,避免设计偏差<sup>[3]</sup>。同时,设计计算必须与实际制造工艺紧密结合,以确保计算结果与生产实践相一致。设计

完成后,必须通过严格的验证程序,包括材料性能测试、焊接质量检查与强度试验等,确保压力容器在投入使用前符合所有安全标准。通过不断改进设计计算与验证,不仅能够排除潜在缺陷,还能显著提升容器的使用可靠性与安全性。

### 3.5 优化制造工艺

优化制造工艺是提升压力容器质量与安全性的核心步骤。通过改进制造流程,不仅可以提高生产效率,还能有效减少缺陷的发生,确保容器在极端工况下的可靠性与稳定性。精简设计与加工工艺、简化生产环节以及减少人为误差,是提升整体质量的关键。现代数控技术与自动化设备的应用,使切割、焊接与组装过程得以精确控制,确保每个零部件的尺寸与形状达到高精度。与此同时,焊接技术的创新为容器制造提供了保障,通过合理选择焊接方法与材料,能够有效避免气孔、夹渣等常见焊接缺陷。严格的热处理工艺同样至关重要,能够显著提升材料性能,加强容器在高温高压环境下的抗疲劳性与抗腐蚀性。在各工序中,通过实时监控与质量检测,潜在问题可以被及时发现并加以调整,从而有效避免工艺缺陷的发生。通过综合优化这些制造工艺,容器的整体性能与质量得到提升,同时生产成本得以降低,企业的市场竞争力也得到了增强。

## 4 结语

压力容器作为一种高风险且技术要求严苛的设备,设计与制造过程中每个环节的重要性不言而喻。本文分析了压力容器设计与制造中常见的缺陷,并提出了针对性的优化措施,重点探讨了法兰设计、材料选择、焊接工艺及制造工艺等方面的改进。通过加强各个环节的监管与优化,压力容器的安全性、可靠性及经济性能够显著提升,确保其在高温、高压等极端工况下稳定运行。随着技术的不断发展及相关规范的逐步完善,未来压力容器的制造质量将得到持续提升,这将推动相关行业在安全性与效率方面的进一步发展。持续优化与完善压力容器的设计与制造工艺,不仅是确保生产安全的必要手段,也将促进整个行业水平的提升。

### 【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]周明.压力容器设计制造常见缺陷及应对措施[J].设备管理与维修,2021(22):133-135.
  - [3]谭琇遥.压力容器设计及制造常见问题浅析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(24):26-28.
- 作者简介:张玉静(1976.12—),毕业院校:青岛大学,所学专业:机械设计与制造,当前就职单位:山东大齐石油化工有限公司,职称级别:工程师。