

# 压力容器的检验方法与事故应对措施研究

李晋文

(南京市锅炉压力容器检验研究院)

**摘要:** 本研究着重探讨了压力容器的检验方法及其在工业安全中的重要性,分析了各类检验技术如有损检验、无损检验及耐压试验等。研究强调了安全监管的必要性,包括定期维护、合规审查及应急响应计划的制定。文中还讨论了锅炉压力容器常见的事故类型及其预防措施,如提高设备缺陷预防能力、加强人员培训、降低设备风险及加强焊接质量等。

**关键词:** 压力容器; 检验方法; 事故应对

## 一、压力容器检验的重要性

### 1. 压力容器的功能与风险

压力容器作为工业领域不可或缺的设备,其功能体现在存储和运输各类高压气体或液体,广泛应用于化工、石油、天然气等行业。然而,这些容器在承载极高压力的同时,也暗藏着潜在的风险。一方面,任何材料疲劳、设计缺陷或操作失误都可能引发灾难性的事故,如爆炸或泄漏,威胁到公共安全和环境健康。另一方面,随着使用时间的延长,压力容器的性能会逐渐下降,增加事故发生的风险。因此,理解压力容器的功能及其所带来的风险对于确保工业安全至关重要。

### 2. 安全监管的必要性

为了防范压力容器可能引起的事故,实施严格的安全监管是不可避免的。这不仅包括定期的检验和维护,还涉及合规性审查和安全标准的制定。安全监管确保了容器在设计、制造和运营过程中遵守必要的安全准则,从而减少潜在的风险。此外,有效的监管还包括应急响应计划的制定,以便在事故发生时迅速采取措施,减轻事故后果。因此,安全监管不仅是预防事故的关键措施,也是保障工业持续运行和保护员工安全的重要环节。

### 3. 检验对维护工业安全的作用

压力容器的检验对于维护工业安全具有至关重要的作用。通过定期和全面的检验,可以及时发现容器的损耗、腐蚀或其他潜在的缺陷。这不仅有助于预防事故的发生,还能确保容器在最佳状态下运行,提高整个系统的效率。检验活动不仅涉及物理检查,还包括对容器操作系统的审核,确保操作过程的安全性。检验结果还能为容器的维护和修理提供重要依据,有助于制定更有效的维护策略和预防措施。因此,压力容器的检验是确保工业生产安全、高效运行的关键环节,对于防范事故和保护人员安全至关重要。

## 二、压力容器检验方法

### 1. 有损检验

有损检验(Destructive Testing, DT)是评估压力容器完整性的一种传统方法,其核心在于通过物理破坏或改变被检物体的部分结构来测试其性能。这种检验方法能够提供关于材料特性、强度、韧性和硬度等方面的详尽信息。在压力容器领域,有损检验通常包括拉伸试验、冲击试验、硬度试验和金相分析等。例如,拉伸试验可以测定材料的抗拉强度和延展性,而冲击试验则评估材料在快速加载下的断裂性能。尽管有损检验提供了详尽的材料数据,但其局限

性在于只能对少量样品进行测试,且检验过程会破坏或损耗原材料。

### 2. 无损检验

无损检验(Non-Destructive Testing, NDT)是评估压力容器完整性的一种先进技术,其特点是在不损坏或不影响被检材料性能的前提下进行检测。无损检验的方法多种多样,包括超声波检测、射线检测、磁粉检测和渗透检测等。超声波检测利用高频声波探测材料内部的缺陷,如裂纹和夹杂;射线检测则通过射线透射材料,利用不同密度对射线的吸收程度来发现内部缺陷。磁粉检测适用于铁磁性材料,通过磁化材料并使用带有色粉的液体来显现表面及近表面缺陷。而渗透检测则是将染色剂或荧光剂渗透到材料表面的微小裂缝中,通过视觉检查来识别裂纹。无损检验的优势在于能够在不影响设备正常使用的情况下,全面、快速地评估压力容器的安全状况。这种检测方式还具有灵活性高、应用范围广的特点,适用于各种类型和状态的压力容器。



图1 超声波探伤检测仪

### 3. 耐压试验

耐压试验(Hydrostatic Testing)是一种用于验证压力容器强度和密封性的检验方法。它通过在容器内填充水或其他不可压缩的液体,并施加特定压力,来检测容器是否能承受超过其正常工作压力的应力。在实施耐压试验时,首先要确保容器被充满液体,然后逐渐提高压力至测试所需水平,并在此压力下保持一定时间。期间,检验人员会仔细观察容器是否有泄漏、形变或其他异常现象。耐压试验的优点在于能够全面评估容器的密封性和整体结构强度,是检

测焊接缺陷和材料缺陷的有效方法。然而，这种测试方法存在一定局限性，如需消耗大量水源，且对于某些材料可能引发腐蚀或其他长期损伤。耐压试验通常作为压力容器维护和安全检验的一部分，用于定期检查或在重大维修后验证容器的安全性。

### 三、锅炉压力容器检验过程中常见的事故类型

#### 1. 锅炉容器参数设置导致的事故

锅炉压力容器在运行中若参数设置不当，可能引发严重事故。参数设置错误通常源于对压力、温度或流量等关键性能指标的误判。过高的压力设置可能导致容器超负荷运行，增加爆炸的风险；而温度设置不当则可能引起材料性能下降，甚至造成材料蠕变或疲劳断裂。在某些情况下，流量的不正确控制会导致介质不均匀分布，从而引发内部腐蚀或冲蚀。这类事故通常源于设计阶段的参数选择错误或运行过程中的调节失误，显示出对压力容器操作参数深度理解的必要性。

#### 2. 人为原因导致的事故

人为因素是导致锅炉压力容器事故的一个显著因素。操作人员的失误、维护不当或对安全规程的忽视都可能导致严重后果。有些操作人员可能由于经验不足或疏忽而错误操作控制系统，造成参数异常。维护不当，如未能及时更换磨损部件或忽略了定期检查，也可能导致容器性能下降。此外，对安全规程的忽视，如在危险环境下强行操作或未采取必要的安全防护措施，同样可能引发事故。这些人为因素反映了专业知识和责任意识在操作安全中的作用。

#### 3. 环境因素导致的事故

环境因素对锅炉压力容器的安全运行产生显著影响。极端温度、湿度、化学腐蚀环境或震动等环境因素都可能加速容器的磨损或损坏。例如，在高温环境下，容器材料可能会发生热膨胀，从而增加应力和潜在的泄漏风险。在腐蚀性环境中，容器的外壁和内壁可能会逐渐腐蚀，降低其整体结构强度。震动或冲击也可能导致焊接缝或接合部位的损坏，进而引起泄漏或破裂。因此，环境因素在容器的长期安全运行中起着不容忽视的作用。

#### 4. 焊接质量导致的事故

焊接质量直接影响锅炉压力容器的安全性能。不良的焊接工艺可能导致焊缝缺陷，如裂纹、气孔、夹杂或未焊透，这些缺陷是引发泄漏或爆炸的潜在原因。例如，裂纹是由于焊接应力和材料脆性造成的，而气孔则通常是由焊接过程中气体保护不足引起的。焊接质量不仅取决于焊工的技能 and 经验，还受焊接材料、设备和环境条件的影响。焊接过程中的精细控制和后期的检验都对保证焊缝质量至关重要。因此，焊接工艺的管理和监控在维护压力容器的结构完整性方面发挥着重要作用。

### 四、锅炉压力容器检验事故的应对措施

#### 1. 提高相关设备的缺陷预防能力

预防设备缺陷的策略包括采用先进的设计方法、选择合适的材料和实施有效的维护计划。在设计阶段，利用计算机辅助设计(CAD)和有限元分析(FEA)等工具可以提前识别潜在的结构弱点。同时，选择适合特定应用的材料，如耐高温和耐腐蚀的合金，可以显著提高容器的耐久性和安全性。此外，实施基于条件的维护而非传统的时间表维护，例如通过持续监测设备的运行状况来确定维护时间，

能够更有效地预防缺陷的发生。这些措施可以提前识别并解决潜在的问题，从而减少事故发生的概率。

#### 2. 加强对检验人员的培训工作

对于检验人员而言，专业的培训和持续的教育至关重要。培训内容应覆盖压力容器的设计原理、操作规程、检验技术及安全规范。通过模拟培训和现场实操，可以增强检验人员对理论知识的实际应用能力。鼓励人员参加专业研讨会和技术研究，不仅有助于他们了解行业最新动态，还能促进经验和知识的共享。定期的考核和评估也是确保技能和知识保持最新的有效方式。

#### 3. 降低设备自身存在的风险

设计阶段的措施着重于增强设备的内在安全特性。工程师们通常会在设计中包含多个安全层次，比如添加冗余系统，以防一个系统失败时能有备用系统接替其工作。具体实施中，例如安装压力释放阀，这是为了在压力超过安全极限时能够自动减压，防止设备损坏。同样地，紧急停机系统的设置是为了在检测到关键参数异常时立即中断设备运行，避免进一步的风险扩大。安装阶段的关键措施包括严格按照制造商的规范进行设备安装，确保所有的部件和系统都正确地放置和连接。在设备运行期间，定期执行性能监测和维护检查，以确保所有部件均在正常工作状态，并及时修复或替换出现磨损或故障的部分。此外，实施一套全面的风险管理和评估流程，定期对设备进行安全审查，识别潜在的危险源，并据此调整运行和维护策略。

#### 4. 加强焊接质量

焊接过程的管理起着至关重要的作用。首先，应用先进的焊接技术，例如自动化焊接和数字化监控，有助于提高焊接过程的精确性和重复性，从而减少人为错误的可能性。选择合适的焊接材料和优化焊接参数是确保焊缝质量的基本步骤。这包括根据使用环境和负荷要求选择适当的焊接材料，并调整焊接速度、温度等参数，以适应特定的焊接任务。对焊工进行定期培训和技能评估，确保他们掌握最新的焊接技术和安全规程，这对于维护高标准的焊接工艺至关重要。完成焊接后，进行详尽的检查，包括采用无损检测技术如X射线或超声波检测，确保焊缝无缺陷，对于确保焊接质量和设备安全性至关重要。

### 五、结语

通过本研究，笔者深刻认识到压力容器在工业应用中的关键作用及其潜在风险。安全监管的重要性不容忽视，它不仅关乎设备的长期稳定运行，更涉及员工及公众的安全。有效的检验方法和事故预防措施是确保这一目标的关键。随着技术的发展和安全意识的提高，笔者期望这些措施能够进一步完善，为实现更安全的工业环境作出积极贡献。

#### 参考文献:

- [1]王东.锅炉压力容器检验方法与通用措施研究[J].中国设备工程, 2023(14):173-175.
  - [2]张沛.锅炉压力容器检验中的问题及解决措施[J].中国设备工程, 2020(03):162-163.
- 江苏省市场监督管理局科技项目(KJ21125056)