

Discussion on the Common Defects and Treatment Methods of Pressure Vessel

Sensen Zhang Jie Liu

Huizhou Teyu Petrochemical Engineering Co., Ltd., Huizhou, Guangdong, 516000, China

Abstract

In the petrochemical industry, pressure vessels are widely used in refining, natural gas processing, fertilizer production, oil storage and transportation and other processes, belonging to the category of special equipment, the working environment is relatively special, need to be applied in high temperature, high pressure and corrosive environment and other working conditions, affected by design, manufacturing, operation and other factors, pressure vessels are prone to various defects. This will have a negative impact on the normal use of pressure vessels and production safety. The treatment of defects is a complex and rigorous work, which not only needs to clarify the mechanism of defects, but also needs to solve the root cause, and needs to strictly implement the pressure inspection and maintenance norms. Based on this, the paper analyzes the common defects of pressure vessels, and probes into the circumvention measures and maintenance methods.

Keywords

pressure vessel; defect; treatment method

浅谈压力容器常见缺陷及处理方法

张森森 刘洁

惠州特宇石化工程有限公司, 中国·广东 惠州 516000

摘要

压力容器在石油化工行业中, 被广泛应用于炼油、天然气加工、化肥生产、油品储存和运输等过程, 属于特种设备的范畴, 工作环境较为特殊, 需要应用在高温、高压与腐蚀性环境等多种工况下, 受设计、制造、运行等方面因素的影响, 压力容器容易出现各种缺陷, 这会对压力容器的正常使用以及生产安全产生负面影响。缺陷的处理, 是一项复杂而严谨的工作, 既需要明确缺陷产生机理, 从产生根源着手解决, 且需要严格执行压力检修规范。基于此, 论文分析了压力容器常见缺陷, 并探讨了规避措施及维修方法。

关键词

压力容器; 缺陷; 处理方法

1 引言

压力容器是一类盛装液体或气体、且承载一定压力的密闭设备^[1], 缺陷的发生, 轻则影响压力容器运行, 造成生产中断, 重则导致生产事故, 危及人身安全。统计资料显示, 化工行业60%以上的安全事故, 均和压力容器受损相关^[2]。因此, 压力容器在制造、改造与重大修理过程中, 应当接受监管机构(如特检院)的监督检验, 称为强制性检验。文章针对压力容器常见缺陷进行了整理、分析, 并提出有针对性的维修处理方法。

【作者简介】张森森(1987-), 男, 中国河南三门峡人, 本科, 助理工程师, 从事石油化工设备安装及检维修技术研究。

2 压力容器常见缺陷

2.1 腐蚀

腐蚀是压力容器最为常见的缺陷, 对压力容器的正常运行以及安全性有着非常大的危害。

从腐蚀发生部位的角度而言, 压力容器腐蚀包括外壁腐蚀、内壁腐蚀两种。外壁腐蚀指发生于压力容器外部金属面的腐蚀现象, 受压件与非受压件的接触面是发生外部腐蚀几率最高的地方, 如容器与支架的接触面、容器与地面的接触部分。内壁腐蚀指发生于压力容器内表面的腐蚀现象, 多和压力容器盛放的介质和容器材质有关。如污水罐中含有的硫化氢会和容器壁铁质金属面反应生成硫化亚铁, 从而导致腐蚀。一般来说, 工作介质具有明显腐蚀作用的容器, 设计时都采取防腐措施, 如选用耐腐蚀材料、进行表面处理或表面涂层、在内壁加衬里等。

从腐蚀形态的角度而言, 压力容器腐蚀包括均匀腐蚀、

区域腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳腐蚀等。

均匀腐蚀指压力容器金属表面全面、均匀产生腐蚀现象，是较为严重的腐蚀。均匀腐蚀会使压力容器金属截面不断减少，致使压力容器承受的真实应力持续增加，一旦应力超出金属材料的断裂强度，压力容器便会产生断裂。

区域腐蚀是指在金属表面的特定区域发生的腐蚀现象。区域腐蚀可能由多种因素引起，如局部化学环境差异，金属表面的某些区域可能暴露在与其它区域不同的化学环境中，导致局部腐蚀的发生，如储罐中的气液混合区域更容易产生腐蚀。或者局部应力集中位置，如设备接管位置相对其他位置更容易产生腐蚀。

点腐蚀，也称孔蚀，是一种局部腐蚀形态，指压力容器金属表面在腐蚀介质中形成分散孤立或紧凑分布的小孔。与均匀腐蚀相比，点腐蚀不会导致金属明显失重，但能使金属穿孔破坏，严重危害设备安全。

晶间腐蚀同样属于局部腐蚀的范畴，具体表现为腐蚀沿着金属晶粒的分界面向内部扩散。晶间腐蚀的成因较为复杂，既和晶粒表面及内部化学成分的差异性有关，也和晶界杂质乃至内应力相关。晶间腐蚀具有一定的隐蔽性，压力容器出现晶间腐蚀后，金属表面的光泽仍然存在，肉眼难以观察，需通过金相检测发现。晶间腐蚀会严重破坏金属晶粒间的结合力，降低金属的机械强度。

2.2 裂纹

裂纹是压力容器常见缺陷之一，也是压力容器危险系数最高的缺陷，会导致压力容器发生脆性破坏，严重威胁生产安全。压力容器裂纹主要包括设备制造裂纹、运行使用裂纹两大类。

设备制造裂纹是发生在设备制造环节的裂纹，常见的有轧制裂纹、拔制裂纹、焊接裂纹、热处理裂纹等。轧制裂纹的形成和材料本身的缺陷有关，一些金属材料性能不够完善，轧制中，材料缺陷被聚集于钢材表面或钢板内部，为裂纹的形成埋下了隐患。轧制裂纹没有方向性和位置性，较为隐蔽，难以查找^[1]。拔制裂纹指在拔制操作中，因不熟练等因素出现的裂纹。焊接裂纹指因不良焊接，如气孔、咬边、焊瘤、未焊透而导致的裂纹。以气孔为例，当焊接母材表面存在杂物，或焊接工艺参数偏差时，焊接中易出现泡状气孔，小的气孔易被忽略，后期则容易发展为较大的缺陷，致使压力容器出现裂纹。热处理裂纹则是热处理工艺不善而导致的裂纹，最为典型的便是晶间裂纹。受部分晶间不融合的影响，晶间裂纹多呈分支状，而随着压力容器投入运行，晶间裂纹会进一步扩散，乃至导致压力容器断裂。

运行使用裂纹是发生在压力容器运行使用阶段的裂纹，主要包括应力腐蚀裂纹、疲劳裂纹两类。应力腐蚀会削弱金属的晶间结合力，加速腐蚀扩散并产生应力腐蚀裂纹，发展到后期，则会造成压力容器断裂。疲劳裂纹是由于金属抗疲劳性能下降而导致的裂纹，多和材料不合格、结构设计缺陷等有关。

2.3 变形

变形为压力容器主要缺陷之一，指压力容器出现局部或整体的形变，典型的有整体膨胀、整体扁瘪、局部鼓包、局部凹陷等。

整体膨胀指压力容器整个出现向外膨胀的现象。导致整体膨胀的因素有内部压力、温度等。压力容器的类型不同，承压能力也不同。压力容器的内部压力需严格控制在设计工作压力范围内。然而，受操作不当、工艺异常、设备故障等的影响，压力容器内部实际压力可能超过设计压力，导致压力容器出现整体膨胀。高温环境也会增加压力容器整体膨胀的风险。一方面，部分压力容器采用了热膨胀系数较高的金属，高温环境下易受热膨胀；另一方面，压力容器盛放的介质，在高温环境下热胀冷缩，导致压力容器膨胀。

整体扁瘪指压力容器受压失稳而整体向内扁瘪的现象。整体扁瘪主要和内部压力不平衡、支撑结构、材料以及超载工作等有关。系统故障、过压运行、操作失误等，都会打破压力容器内外压力的平衡，导致整体向内凹陷。完善的支撑结构在保障压力容器平稳运行中发挥着重要的作用。

局部鼓包指压力容器表面局部凸起的形变，多和腐蚀、局部过热、超压运行等相关。腐蚀会导致压力容器壁厚降低，随着腐蚀的程度加深，容器壁越来越薄，在内压驱动下，变薄处会向上凸起。压力容器运行中，受加热不均匀或局部热应力的影响，局部地方温度较高，乃至出现鼓包。此外，焊缝开裂、气孔等不良焊接，也与局部鼓包有一定的关系。

局部凹陷指压力容器表面局部地方出现内凹缺陷，多见于薄壁容器。外部撞击是压力容器局部凹陷最为主要的因素。此外，负压效应、材料问题、设计缺陷，等也会导致压力容器局部凹陷缺陷。以负压效应为例，压力容器内外压力差较大，一旦出现内外压力不平衡的现象，便会产生负压效应，导致容器局部凹陷。

3 压力容器缺陷处理方法

3.1 腐蚀处理方法

3.1.1 外壁腐蚀

外壁腐蚀主要和工作环境相关，高温、湿润气候会加剧压力容器外壁腐蚀现象，通过改善压力容器工作环境，加强压力容器工作环境监测等方式，可以防范外壁腐蚀。如在容器外壁表面涂刷防腐涂料，如环氧树脂、聚氨酯油漆、氟碳涂料等。这些涂层可以提供隔绝空气、水分和腐蚀性物质的屏障，保护容器外壁不受腐蚀。在涂层材料涂覆前，可通过喷砂或机械除锈处理去除容器外壁的锈蚀、污垢和旧涂层，使表面清洁并增加粗糙度，以便涂层能够更好地附着。且容器外壁需要定期检查，及时发现并修复涂层破损、锈蚀等问题，确保防腐效果的持续。

3.1.2 内壁腐蚀

内壁腐蚀和盛放介质的腐蚀性相关，可从容器设计、材料选择和设备制造三个方面采取处理措施。容器设计之

初,充分考虑工艺需求,主要是物料的特性和运行时的工况,针对运行工艺的具体情况选择合适设计方案,如在内壁与介质接触的表面,设计增加堆焊耐蚀层,或采用不锈钢衬里结构,减少内壁与腐蚀介质的接触,降低内部腐蚀风险。如针对地下储存石油的压力容器,设计电化学保护的方法,通过增加牺牲阳极,以保护容器减缓腐蚀。在材料选择方面,应采用耐蚀性强的材料,从根本上提高压力容器的抗腐蚀性,如304不锈钢具有良好的耐腐蚀性,能抵抗大多数酸、碱和盐溶液的腐蚀,广泛应用在含腐蚀性物料的压力容器中。在设备制造方面,针对材料的处理,如实施化学钝化、阳极氧化等表面改性处理,形成一层保护膜,提高材料的耐腐蚀性。同时控制焊接质量,选择合适的焊接工艺和焊接材料,确保焊缝的质量。对焊缝进行适当的热处理,消除焊接残余应力,减少应力腐蚀的风险。

即便有前期的充分考虑,生产运行中的压力容器仍不可避免的会有内壁腐蚀的发生,针对腐蚀形态,可采取不同解决方法。均匀腐蚀处理中,要计算容器壁的剩余厚度,并根据剩余厚度,采取针对性的措施,如剩余厚度尚可,则继续使用,但需缩短检测周期;如剩余厚度已不符合设计要求,应作报废处理,或改变工况。在设备常规检修中,区域腐蚀比较常见,针对腐蚀深度与面积的不同,采取对应解决方法。如小区域浅层腐蚀,采取补焊修复,先对腐蚀区域进行打磨清理,去除锈迹、腐蚀产物和杂质,露出新鲜的金属表面,然后采用合适的焊接工艺和焊条进行补焊。或采取堆焊修复,在腐蚀区域堆焊一层或多层耐腐蚀的金属材料,以增强耐腐蚀性和恢复强度。如大区域浅层腐蚀,可采取内部贴板的维修工艺,如在碳钢设备内部贴合不锈钢衬板,贴板时要保障壁板的贴合度,一方面是弯制合适的弧度,另一方面是需在贴板上开孔,采用塞焊工艺,增大贴板与容器壁的焊接面,防止腐蚀在壁板与贴板之间的继续。针对设备接口或者小面积的深度腐蚀,可以采取更换接管或者部件的方法,达到修复的目的。点腐蚀的危害相对较小,如仅存在点腐蚀,且腐蚀深度尚未超出强度计算范围,可不作特别处理。晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳腐蚀具有较大的危害性,且难以检测,应通过金相检验、化学分析等工具,研判腐蚀情况,并根据检测结果,决定是否淘汰。

3.2 裂纹处理方法

与腐蚀相比,裂纹的观测难度更大。因此,裂纹检测,就成为压力容器裂纹处理的基础步骤。当前,裂纹检测的方

式主要包括直观检测、无损检测两种,前者凭肉眼、经验判定,后者则采用渗透检测或磁粉检测的方式来判定。应综合采用好两种检测方式,确定裂纹的位置、形状、数量、危害程度,再编制系统性的裂纹处理方案。不同裂纹的处理要点有一定的差异性。轧制裂纹、拔制裂纹一般通过人工打磨便可消除。焊接裂纹、热处理裂纹需要将原有焊缝打磨清除,打磨前,需要在裂纹两端设置止裂孔,即在裂纹尖端制造一个应力集中点,改变裂纹尖端的应力分布,从而阻止裂纹的继续延伸。

3.3 变形处理方法

变形缺陷的处理要点有五:一是科学评估,确定变形的类型,如整体膨胀、整体凹陷等,研判变形的位置和程度,并评估变形对压力容器安全性的影响。二是变形修复,对严重变形,或对压力容器使用存在较大影响的变形,应立即停止使用,更换新的压力容器。对可修复的变形,则应根据变形情况、成因,采取针对性的修复措施,如使用液压机、千斤顶等工具恢复变形的形状,又如,使用加热和冷却的方法矫正变形。亦或者针对裂缝或变形进行局部焊接修复。三是加固,对于无法修复的严重变形,需要考虑加固或更换压力容器的部分或整体。比如,加强受力部位的支撑和加固结构,使压力容器能够继续使用。四是严格的质量检验,修复完成后,要进行全面的质量检验,包括外观检查、尺寸测量、无损检测和压力试验等,确保修复后的容器符合安全使用要求。五是定期维护检查,加强压力容器的定期检查和维护工作,及时发现并处理变形缺陷问题。

4 结语

针对腐蚀、裂纹、变形三大类缺陷,在处理过程中,应充分分析成因,考虑各种因素,采取好针对性的处理措施,需要注意的是,压力容器的维修工作必须由具备相应资质的单位和人员进行,并严格按照《固定式压力容器安全技术监察规程》等相关标准的要求进行操作,确保处理后的压力容器能够安全可靠地运行,更好地发挥作用。

参考文献

- [1] 王聪智.压力容器常见缺陷及处理措施[J].中国设备工程,2024(2):194-195.
- [2] 朱延良.基于压力容器探讨常见缺陷及影响[J].石化技术,2022,29(2):18-19.
- [3] 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.