

化工设备压力容器储罐破坏分析及预防措施

彭翠君（广州机械设计研究所，广东 广州 510030）

摘要：化工设备是化工行业的基础单元，依赖各类化工生产设备运行保障，满足工业和市场等领域的发展需求。压力容器储罐作为关键的化工设备之一，在生产过程中发挥着至关重要的作用，伴随近年来工业生产规模的激增，压力容器储罐的数量以每年20%的幅度递增，并且在各领域和环节的应用也更加广泛。然而，压力容器储罐属于高危密封设备，加之化工产品存在一定的危害性，一旦发生泄漏或爆炸事故，其后果将不堪设想。为此，在安全管理过程中应全面分析压力容器储罐破坏因素，注重安全管理和生产控制，制定行之有效的预防措施，降低压力容器储罐破坏的几率，切实保证化工设备运行安全。

关键词：化工设备；压力容器储罐；破坏分析；预防措施

目前，化工设备中压力容器储罐的应用日益广泛，主要用于压力管道、锅炉等关键领域，由于应用领域和功能等差异，其可以划分为诸多的设备类型。比如，按照承压方式可分为内压容器和外压容器；依据压力大小可分为低压、中压、高压和超高压；依据工作温度可分为低温、常温和高温等。由此可见，针对化工领域压力容器储罐的管理，受应用方式和设备类型的影响，在应用管理方面仍然面临挑战，各类风险事故问题屡见不鲜。尤其是化工产品普遍存在有毒、有害、腐蚀等特点，且需要压力容器储罐持续高负荷运转，如何保证压力容器储罐的安全变得尤为关键。据此，仍然需要在实践中加强风险因素分析，认识压力容器储罐破坏的机理，并结合需求制定预防措施。

1 化工设备压力容器储罐破坏特点

1.1 危险系数较高

化工生产中主要以化工原料及产品为主，其中大部分属于有毒、有害、易燃、易爆物质，因此在生产环节必须要做到万无一失，否则一旦引发安全生产事故，其危害性和影响力可见一斑。压力容器储罐在化工生产环节作用显著，可用于物质的储存或反应，但该过程会产生高温或高压，如果压力容器储罐发生腐蚀、变形、损坏等问题，极易导致物质泄露或爆炸，从而造成严重事故发生，大量有毒有害物质烟尘扩散，还会造成大范围的安全风险^[1]。

1.2 环境污染性强

由于化工产品在生产过程中，往往会生成各类中间体或副产品，并且会产生一定的腐蚀破坏性。当压力容器储罐受到破坏时，相关的物质便极易出现泄露，如果挥发到空气中或渗透到地下，将给空气、土壤、地下水等带来污染，严重威胁动植物安全^[2]。同时，

泄露所产生的危害具有持续性，如果无法采取有效的控制措施，势必会影响周边一定范围内的生态环境，给社会造成难以弥补的损失。

1.3 影响生产效益

压力容器储罐作为化工生产中的关键设备，如果发生安全风险，不仅容易引发严重事故问题，还会影响整个生产体系的正常运行。特别是压力容器储罐承担着高危环节生产任务，在较为恶劣的生产条件下，振动、腐蚀、高温、高压等均会成为破坏的诱因，大幅降低设备使用的寿命，也会直接影响化工生产的效益，给行业及相关企业带来重大经济损失。

2 化工设备压力容器储罐破坏的常见风险分析

2.1 腐蚀疲劳

根据压力容器储罐的材料特性，在长期的生产过程中会产生一定的疲劳表现，即常见的金属疲劳。当压力容器储罐发生金属疲劳时，其局部会受到明显的破坏，金属表现会受长期高负荷运行的影响，表现保护膜会产生拉伸应力，腐蚀物质也会随之与金属材料产生反应，造成表面局部的腐蚀^[3]。而压力容器储罐的保护膜受到破坏后，将难以再形成有效的保护功能，大量的腐蚀物质也会在受损部位沉积，进一步加剧保护膜的损害范围，形成恶性循环效应。另外，在持续的化工产品生产过程中，产生腐蚀的部位还会呈现较为活跃的状态，由此产生腐蚀阳极，在应力与腐蚀多重影响下，压力容器储罐将逐渐产生裂纹，从而增加事故风险。

2.2 大应变疲劳

受压力容器储罐局部结构特征影响，在不连续处或开孔接管处，化工压力容器储罐容易受到交变应力的影响，且金属晶粒会受到最大应力而导致滑移，由

此导致压力容器储罐内部金属材料出现微小裂纹。随着设备运转时长的增加,裂纹两端也会逐渐开始延伸扩展,使压力容器储罐在大应力作用下产生疲劳,最终使压力容器储罐内部应力结构变化,设备破坏的风险也大幅增加。特别是压力容器储罐在生产环节,内部往往需要承受较大的压力,也加剧了应力对压力容器储罐的影响,这也是诱发压力容器储罐破坏的重要因素。目前,根据大应变疲劳的发生机制看,主要是受应力变化的影响,设备会因疲劳裂纹的加剧而使性能下降,并且当处于一定的阈值时,设备将发生开裂风险且逐步失效,该风险多发生于设备频繁加卸载状态。

2.3 过度塑性变形

伴随化工行业的持续发展,产品的生产周期变得更加紧迫,化工企业为实现生产与需求的平稳,往往需要使化工设备处于高负荷运行状态。压力容器储罐在设计之初便设定了相应的阈值,如果在生产环节忽视了设备应用安全,则会使压力容器储罐面临过载风险。在压力大于设定的阈值时,则会在压力的作用下使容器发生塑性变形,压力容器壁随之变薄,且处于极不稳定的状态,严重时还会发生直接破裂的风险。从以往塑性变形事故案例看,其断口通常为撕裂状,同时容器中也会存在少量碎块,通过相关的研究显示,压力容器储罐破坏的程度与压力值直接相关,即决定着爆破口的大小。

2.4 过度弹性变形

所谓过度弹性变形是指压力容器储罐在受到外力作用下产生形变,即当压力容器储罐的压力下降时则慢性恢复至原始状态的过程。虽然,弹性变形能够使压力容器储罐回复原始状态,但其对于压力容器储罐的损害仍是不可逆的,尤其是当压力容器储罐产生过度弹性变形后,容器的稳定性及相关性能将大幅下降,也极大增加了产生破坏的风险。

2.5 应力腐蚀

构成应用腐蚀的条件包括拉伸应力和金属腐蚀介质,在两个因素的联合作用下,会对压力容器储罐产生严重影响。一方面,化式压力容器储罐在受到金属应力腐蚀后,会使压力容器储罐的整体性能下降,并且会使内壁金属表面形成缺口,导致腐蚀效应进一步扩展,这同时将影响压力容器储罐的内部应力平衡,当压力容器储罐产生压力时会使局部失稳,腐蚀的速度也会大幅增加,压力容器储罐的耐压性、密封性会

逐步丧失,直到最后产生断裂。

2.6 氢腐蚀破裂

压力容器储罐在工作生产中,往往需要处于高温、高压的状态,由此将使容器内壁表现吸附大量氢分子,通过一系列转化反应后,氢分子还会分解为氢原子或氢离子,诱发压力容器储罐内部的因溶现象。受氢元素对金属内壁的持续影响,压力容器储罐内壁极易出现腐蚀问题,并且会呈现出持续扩散的状态,当氢离子或氢离子与金属材料反应后,易与非金属杂质或碳等元素发生反应,在此过程中会产生大量生成物并沉积,在高压、高温等持续作用下,压力容器储罐内部将出现微裂纹,压力容器储罐的材料性能出现弱化。

2.7 其他破坏因素

化工压力容器储罐由于处于特殊环境中,导致其破坏的因素较为复杂和多元,其中以脆性断裂和蠕变较常见。其中,脆性断裂是一种较典型的破坏问题,通常出现在压力容器储罐设备低温状态时产生,主要是指未显著塑性变形的断裂。一般情况下,化工设备压力容器储罐在使用中,出现脆性破裂风险较高的是中低强度制造的厚壁容器,或者使用高强度钢制的压力容器储罐中。当出现压力容器储罐脆性破裂时,会形成碎块状形态。而蠕变则是受外部温度及应力环境变化,如高温环境下压力容器储罐的材料刚性下降,导致压力容器储罐长期使用中出现损坏。

3 化工设备压力容器储罐破坏预防措施

3.1 制造前质量检验

化工设备压力容器储罐具有其特殊性,一般需要针对性的设计和制造,以实现与化工生产线的有效匹配。为避免风险问题对压力容器储罐的影响,有必要在其设计制造阶段做好质量检验,以降低各类安全管理风险。首先,严格审查施工图纸。作为压力容器储罐制造的依据,设计上应注重合理性和安全性,综合考虑使用过程中的各类指标数据,确保符合行业技术标准。其次,加工流程的质量控制。在压力容器储罐的制造加工环节,应严格按照设计及参数进行制造和试验,明确制造流程和技术方法,使压力容器储罐性能得到保证。最后,加强对原材料质量检验。选择高性能的制造材料,加大对材料领域的检验力度。

3.2 焊接质量控制

压力容器储罐由于其制造工艺要求高,每一个环节都可能诱发安全事故。特别是化工压力容器储罐受产能要求,更需要在体积和性能上达标,其中材料的

焊接显得尤为关键。首先,注重焊接材料的质量控制。即在压力容器储罐焊接的关键环节,要注重对焊接材料的选择和控制,从采购、复验再到应用阶段,均就抓好各环节质量控制,严格依据压力容器储罐的性能指标选择焊接材料,并且要求符合国家相关执行标准,确保材料应用领域的安全。其次,焊接工艺的质量控制。压力容器储罐属于高温、高压的特殊容器,焊接的关键在于保证其性能,因此在焊接工艺上必须具备针对性,要求焊接技术人员技艺高超,能够全程把握焊接工艺质量,切实依据焊接方案执行焊接操作,并做好焊缝密封及细节的处理。最后,加强焊接的质量检测。待焊接工艺完成后,需要利用现代检测设备,对压力容器储罐进行无损探伤检测,及时发现潜在的风险隐患,提升压力容器储罐的整体质量。

3.3 金属材料热处理控制

在化工产品生产过程中,制造压力容器储罐的各类金属材料,必须经过严格的筛选和考验,才能够适应复杂且恶劣的工作环境,因此前期的热处理变得至关重要。通常而言,金属材料热处理以正火法为主,用以提升压力容器储罐材料及构件性能均匀性,并且利用材料热处理减少内应力,为后期的设备使用奠定安全基础。

在金属材料热处理阶段最关键的环节是淬火过程,目前常用淬火介质为水或油,当水油温度保持在 450~550℃ 范围时,冷却速度为 500℃/s,而当水油速度温度为 250~350℃ 时,则冷却速度将降至 280℃/s。另外,有工艺提出使用盐水作为淬火介质,相关实验表明,较水油介质淬火而言,盐水对材料的淬火冷却速度为前者的 2 倍,因此在压力容器储罐的热处理阶段,需要依据金属材料的特性及压力容器储罐需求,科学合理地选择热处理工艺,以降低材料变形的风险,确保金属材料淬火冷却处理质量达标。

3.4 设备使用的质量控制

为实现化工企业的安全生产目标,任何设备的使用均应谨慎对待,尤其是针对压力容器储罐这些高危设备,更需要明确潜在的安全隐患问题,在设备的实际使用阶段注重质量控制,将安全管理贯穿于管理与使用的全过程。一方面,化工企业要制定及完善管理制度,培训专业技术人员定岗操作,充分了解压力容器储罐的基本性能、使用方法、参数范围,掌握压力容器储罐的操作、维护、保养、维修等要求,保证在日常的管理与使用中,始终能够发挥出设备性能和管

理优势,预防各类潜在风险的破坏。另一方面,在压力容器储罐的使用过程中,应制定针对性的预防措施和应急预案,通过定期与不定期检查、检测等方式,及时发现可能出现的设备问题,当发现破坏时应停产和全面检修,将容器事故的可能性降到最低。

3.5 应用系统监测技术

在压力容器储罐的生产管理环节,要依托现代先进的数字化、网络化、信息化监测系统,构建全方位、全天候的监测机制,利用无线传感器对压力容器储罐等关键设备进行监测,实时采集相关运行信息,并将各类信息汇集到总控制室,当发现异常数据信息及时报警,由专业维修团队及时跟进,排除各类风险问题。对于压力容器储罐的检测保养中,同样需要利用红外、雷达等无损探伤设备,对压力容器储罐内部保护膜、金属应力、容器形变等进行检测,对于损坏的部位要及时修复,从根本上排除潜在的事故风险,提升化工产品生产的可靠性、稳定性和安全性。另外,检验人员将这些部件损坏的危险因素,整理并归置于数据库内,为后续化工设备压力容器储罐破坏的预防工作展开提供价值参照,用于促使质量控制与预防方案的持续完善。

4 结语

综上所述,伴随我国化工领域的快速发展,逐步成为产品的进出口大国,极大地推动了行业的高质量发展。而在化工产品的生产端,必须要把握安全管理和安全生产前提,针对压力容器储罐等高危设备实施科学管理,避免各类安全事故的产生。在化工生产过程中必须在提高压力容器储罐使用认知度,严格按照操作规范和要求,加大压力容器储罐检查与维护,提升危险因素的分析和控制力度,提高压力容器储罐生产技术与管理技术水平,为化工企业的安全生产提供全方位的支持。

参考文献:

- [1] 刘鹏. 化工设备压力容器破坏原因及预防分析 [J]. 科技创新导报, 2022, 19(2): 37-39.
- [2] 杨中奇. 浅析化工设备压力容器破坏及预防措施 [J]. 天津化工, 2020, 34(3): 70-72.
- [3] 滕雪松. 化工设备压力容器破坏原因及预防措施 [J]. 造纸装备及材料, 2020, 49(3): 24.

作者简介:

彭翠君 (1982-), 女, 汉族, 广东罗定人, 本科, 工程师, 研究方向: 压力容器压力管道。