

化工设备压力容器与压力管道破坏原因及预防思考

杨 斌 (山东沾化阳光化学有限公司, 山东 滨州 256800)

摘要: 化工行业中的压力容器与管道系统是能源转化、物料处理的关键环节, 主要承载着高压、高温下的化学反应与物质运输任务, 其安全性和可靠性直接影响到生产效率与人员安全。本文将深入剖析压力容器与管道的主要破坏原因并提出一系列科学预防措施, 希望为提高设备的整体安全水平, 促进化工生产的可持续发展发挥一定参考作用。

关键词: 化工设备; 压力容器; 压力管道; 破坏原因; 预防策略

压力容器和压力管道是化工生产中不可或缺的设备, 在承受高温、高压、腐蚀性介质等恶劣条件下工作, 其安全性至关重要。一旦发生破坏, 不仅会造成经济损失, 还可能引发严重的安全事故, 威胁人员安全。因此, 分析其破坏原因并采取有效预防措施是化工行业的重要任务。

1 化工设备压力容器与压力管道破坏原因

1.1 材料选择与应用缺陷

在化工生产环境中, 压力容器与管道承担着极其重要的角色, 但其稳定性和安全性常常受到材料选择与环境条件的影响。以下两个关键因素揭示了设备损坏的根本原因: 一方面, 不同化学品与介质对材料有独特要求, 例如某些强腐蚀性液体可能促使普通钢材迅速锈蚀, 高温气体则可能使常规合金强度骤降。若未针对特定介质选用适宜的抗腐蚀、耐高温材料, 设备便会在使用初期就暴露出问题。错误的材料匹配会导致应力无法均匀分散, 诱发热点与裂纹, 甚至在应力集中处产生裂纹扩展, 危及结构完整。另一方面, 温度与压力不匹配, 当材料所处的温度与承受的压力超出设计范围特别是处在临界值附近时, 材料的物理性能会发生显著变化。高温下, 多数金属会出现“蠕变”现象, 即在恒定载荷下缓慢变形直至断裂, 而低温又可能令材料变得脆硬, 对抗冲击的能力锐减。压力波动也会造成相似后果, 长时间的高压状态下, 即使材料初始表现出较高韧性也可能因疲劳而逐步恶化, 直至脆裂。

因此, 合理地选择材料并严格控制工作条件是预防压力容器与管道系统遭受破坏的基本前提。企业应在设计阶段充分考虑化学品特性, 结合工程实践经验选取既能抵抗外部侵蚀又能承受作业负荷的优质材料, 同时建立完善的监测与维护机制, 确保温度、压力参数始终维持在安全范围内。通过综合施策可极大

降低设备故障率, 保障化工生产线的安全与高效运转。

1.2 加工制造过程中的瑕疵

在化工设备的生产制造过程中, 细微的瑕疵往往成为日后灾难性事故的导火索, 焊接热影响区的微观结构变化与铸造、锻造中的内在缺陷, 严重削弱了压力容器及管道的承载能力, 埋下了安全隐患。一方面, 焊接过程中产生的高温使金属材料的微观组织发生变化, 特别是在热影响区, 晶粒粗化、硬化, 形成脆性较高的马氏体组织增加了裂纹生成的风险。这一区域往往是应力集中的敏感地带, 稍有不慎便会引发裂纹沿此薄弱线路扩展, 造成设备功能受损乃至完全失效。另一方面, 铸造、锻造中的内部缺陷, 铸造与锻造工序虽赋予了材料所需的形状, 但有时也会留下诸如气孔、夹杂、缩松等内部缺陷, 这些瑕疵在后续受压环境下容易成为应力集中点, 承受不住高强度载荷时就会突然破裂, 尤其是在高周疲劳条件下, 微小的初始缺陷足以引发连锁反应导致整体结构的崩溃。由此可见, 精细化的生产工艺与严格的质检措施至关重要。制造商需重视每一个加工细节, 采用先进的检测技术, 如超声波探伤、磁粉检测等手段排查潜在的质量隐患, 保证每一台出厂设备都能达到最高的安全标准, 守护化工生产的生命线。

1.3 化学与电化学的腐蚀侵蚀

1.3.1 化学腐蚀

化工设备中的压力容器与管道系统长期暴露于各种强酸、碱、盐溶液之中, 这些强烈腐蚀性的介质能够轻易穿透材料表面的保护膜, 破坏金属构件的钝化层, 加快金属熔解进程。这种直接的化学攻击不仅削弱了结构的承载能力, 还可能引发泄漏、裂纹等一系列连锁反应, 严重影响设备的安全运行与使用寿命。防范化学腐蚀, 选择合适的抗腐蚀材料, 加强防护涂层, 是化工企业维护设备健康、保障生产稳定的必要举措。

1.3.2 电化学腐蚀

在含有电解质的环境中，压力容器与管道内的金属部件容易构成原电池，从而触发电化学腐蚀过程，这一现象使得金属在特定区域内加速离子化，形成氧化物或氢氧化物，导致材料的结构性质退化。电化学腐蚀通常在不易察觉的情况下进行，直到出现明显破损才被发现，给化工设备的安全运营带来重大隐患。为预防此类腐蚀应采取有效的阴极保护措施，如牺牲阳极法，以减少金属损耗，延长设备使用寿命。

1.4 应力损伤

1.4.1 疲劳断裂

化工设备中的压力容器与管道长期处于循环载荷之下，面对连续不断的应力交替，即使是高强度材料也无法幸免于疲劳损伤。每一次载荷的加载和卸载都会在材料内部留下微小裂纹，日积月累，这些裂纹逐渐扩展连接，最终在某次载荷作用下形成宏观裂纹，导致设备的突然破裂。尤其在温度循环与压力波动频繁的工况下材料的疲劳极限大大降低，使其更容易进入塑性形变阶段，进一步加剧了裂纹的生长速度。为了应对这一挑战，必须精心设计，确保设备有足够的疲劳寿命，并定期检查潜在的裂纹源，及时修复或更换受损组件，以维护系统的安全可靠运行。针对疲劳断裂的防控策略包括优化设计、提升材料性能以及实施周期性的无损检测，如此才可以形成有效防御，抵御疲劳断裂带来的风险，保障化工生产设备的持续高效运作。

1.4.2 蠕变失效

在高温环境下，压力容器与管道即使承受恒定载荷，也会经历一种称为“蠕变”的缓慢塑性变形过程。随着时间推移，这种变形不断累积，最终超过材料的承载极限导致结构失效。蠕变主要发生在40%以上熔点温度的环境中，且随时间延长而加剧，悄无声息地削弱了材料的力学性能，直至某一刻触发灾难性的破裂。防止蠕变的关键在于选用具有优异高温稳定性的材料，并通过工艺改进、设计优化来减少热应力集中，同时定期监测设备状态，及时识别并处理早期蠕变迹象，是避免结构灾难的有效途径。

2 化工设备压力容器与压力管道破坏的预防策略

2.1 材料优选与工艺改进

2.1.1 智慧选择设备材料

在化工行业复杂多变的生产环境中，设备材料的选择直接关系到装置的安全与稳定。基于化学品的性质及其对不同材质的影响，科学甄选抗腐蚀合金作为主要构件能极大提升压力容器与管道的耐久性。例如，

高镍基合金、钛合金和双相不锈钢等，在酸碱介质中展现出卓越的防腐性能，能够抵挡腐蚀性物质的长期侵害，有效延长设备使用年限，降低因腐蚀引发的泄漏风险。

2.1.2 先进检测技术提供保障

高品质的材料还需配合精湛的加工工艺才能发挥最大效能。无损检测技术在此扮演着至关重要的角色，通过对焊接区、铸造件进行全面细致的筛查，及时捕捉潜在的微观缺陷，如气孔、夹渣、裂缝等，确保每一处连接牢固可靠，无后顾之忧。诸如磁粉探伤、渗透检测、X射线成像等多种手段联合应用，不仅验证了产品的一致性，也促进了整体质量标准的提升，为后续的安装调试与现场运行打下了坚实的物理基础。

2.1.3 开展系统运维，维护安全运转

除了初始的材料与制造把控外，设备投运后的维护同样不可忽视。定期的压力测试、化学成分分析及环境监测能够帮助技术人员准确掌握运行状况，预知老化趋势，适时采取维护措施。此外，智能化传感器的应用让实时监控成为可能，一旦发现异常信号立即启动应急方案，避免小问题演变成大灾难。专业人员的技能培训与操作规范制定也是保持设备完好状态的重要环节，确保每个细节都得到妥善处理。

2.2 加强防腐处理

2.2.1 采用表面涂层技术

在化工设备的高压容器与输送管道中，直接暴露于腐蚀性介质的内壁是最易受侵蚀的部分，采用表面涂层技术，就如同为其穿上一副坚固的铠甲，有效隔绝了介质与材料基体之间的直接接触，极大地减少了腐蚀发生的概率。常用的涂层有环氧树脂、聚四氟乙烯（PTFE）、陶瓷喷涂等，不仅耐磨、抗冲击，还具有优良的化学稳定性，能在极端条件下提供持久的保护效果，确保设备的正常运行。

2.2.2 添加适量缓蚀剂

在无法完全避免介质接触的情况下，添加适量的缓蚀剂成为另一种有效的防腐策略。缓蚀剂能够与腐蚀性成分发生反应，生成稳定的络合物或是钝化膜，阻止或减缓金属溶解的速度，不仅保护了材料本身不受侵蚀，还维持了介质的清洁度，降低了环境污染的可能性。根据不同介质的特点可以选择有机胺类、磷酸盐类或其他专用缓蚀剂，通过精确配比与动态调整，达到最优的防护效果。

2.2.3 进行环境控制与材料兼容性考量

然而，无论是采用表面涂层还是缓蚀剂，都需要

充分考虑材料间的兼容性与环境适应性。涂层应具备良好的黏附力，不易剥落，缓蚀剂则须与设备材料和谐共存不会引起新的腐蚀或副反应。因此在选择防护措施时需结合具体工况进行详尽的实验论证与现场试用，确保所选方案既安全又经济，真正起到预期的保护作用。

2.3 开展定期检验与维修

2.3.1 精细化巡检

在化工行业中，压力容器与管道面临着复杂的工作环境，潜在的损害往往隐藏于肉眼难以察觉之处。为，此建立一套完善的巡检制度显得尤为重要。这一制度需覆盖所有关键区域，包括但不限于承压部件、焊缝、法兰接口等易受损位置，以期早发现、早诊断、早治疗。

2.3.2 利用先进技术，深入探测

在巡检过程中，超声波探伤、射线照相等先进技术发挥了重要作用。超声波探伤能够穿透材料内部精确定位微小裂纹的位置、大小及深度，适用于各类金属及复合材料的检测。射线照相则通过对比图像差异，揭示内部空洞、未融合等瑕疵，尤其擅长处理厚度较大的工件。这些非破坏性检测方式既能确保结构完整性，又能评估潜在危险程度，为后续维修决策提供有力支持。

2.3.3 及时修复，阻断恶化链条

一旦发现问题必须迅速响应，实施修复行动。针对磨损、腐蚀、裂纹等情况，采取恰当的补救措施，比如局部打磨、填充、加固等，避免损伤进一步扩散，恢复原有功能。与此同时，记录每一次的损伤类型、位置及处理方法，形成案例库，指导未来的巡检工作，逐步优化设备维护策略。

2.3.4 持续跟踪，确保长效治理

对于化工设备压力容器与压力管道问题来说修复并非终点，而是开始，对已修复部位进行持续关注观察是否出现复发迹象，必要时重复检测，确保整改彻底。此外，加强材料性能研究，探索更高效、更耐用的技术解决方案，从源头减少损害的发生概率，延长设备生命周期。

2.4 智能监控与预测维护

2.4.1 运用智能化监测网络

在数字化转型的大背景下，化工生产设备正逐步向智能化方向迈进。集成传感器成为新一代监控系统的关键组成部分如同遍布设备全身的神经末梢，能够实时感知压力、温度、振动等一系列重要参数的变化，

并立即将信息传输至中央控制系统。这种全天候、无缝隙的数据采集模式使得异常趋势得以被即时识别，预警机制随即激活，大幅提升了应对突发事件的能力。

2.4.2 借用大数据分析工具

获取海量数据只是第一步，更重要的是如何从中挖掘价值。借助大数据分析工具，工程团队能够透过纷繁复杂的数字迷雾提炼出设备运行的本质规律。机器学习算法能够识别出以往未曾注意到的关联性，预测潜在的老化征兆，甚至在故障发生前数周乃至数月发出警示，给予充足的时间准备相应的维修计划。这种方式由被动转为主动，实现了从定期检修到预知性检修的转变，最大程度地减少了非计划停工时间，提高了运营效率与经济效益。

2.4.3 引入虚拟模型

更进一步，基于历史数据分析的虚拟模型能够模拟设备在各种条件下的行为表现，帮助企业领导层做出更加明智的战略规划。例如通过模拟不同维护方案的效果，比较成本收益，确定最合理的更换周期，避免过度投资或延迟修理带来的损失。此外，虚拟实境技术也为员工培训提供了全新的平台，新入职者可以在逼真的场景下练习紧急情况的处置，增强了实战能力，降低了真实操作中的错误率。

3 结语

综上所述，压力容器与管道系统在化工生产中扮演着至关重要的角色，面对复杂多变的操作环境，必须采取综合防治措施，从材料选择到维护保养，每一步都不可轻视。只有不断提升安全管理意识，强化技术革新，才能有效规避各类破坏风险，保障化工产业健康发展。

参考文献：

- [1] 王繁华. 石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐措施研究 [J]. 中国设备工程, 2024, (20): 179-181.
- [2] 熊燕. 化工设备腐蚀原因及防腐策略 [J]. 化学工程与装备, 2022, (08): 190-191.
- [3] 杨成坤, 尹先清. 石油化工设备安装工程质量控制技术探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (14): 38-40.
- [4] 段军军, 贺杠, 刘艳雄. 化工设备压力容器破坏原因及预防分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (01): 196-198.
- [5] 欧阳伟媛. 化工换热器常见腐蚀问题及防控措施的研究 [J]. 石化技术, 2023, 30(12): 21-23.
- [6] 湛绍晨. 化工设备压力容器破坏原因与预防策略探讨 [J]. 中国设备工程, 2023(20): 191-193.