

压力容器及管道的设计、制造和安全检验的技术研究

刘德全

赛迈科先进材料（宁夏）有限公司 宁夏 银川 750100

摘要：本文围绕压力容器及管道的设计、制造与安全检验关键技术展开系统性研究。依次剖析锅炉压力容器压力管道安装的前期筹备、施工要点及验收调试；探究安全阀选型安装失当、运行故障频发与维护管理疏漏等典型问题；深挖压力容器设计中的疲劳机理、载荷规律及寿命预测方法，给出抗疲劳设计策略；还研讨制造各环节质控与检验要点。为提升其全周期安全可靠提供理论指引与技术参照。

关键词：压力容器；压力管道；安全阀；制造安装质量控制；安全检验

引言：压力容器及管道作为工业生产中不可或缺的关键设备，广泛应用于石油、化工、电力、制药等众多领域，承担着储存、输送和加工各种介质的重要任务。其运行状态直接关系到工业生产的安全与效率，一旦发生事故，不仅会造成巨大的经济损失，还可能引发严重的环境污染和人员伤亡。因此，深入研究压力容器及管道的设计、制造和安全检验技术，对于保障工业生产的稳定运行、保护人民生命财产安全以及促进经济可持续发展具有重要意义。

1 锅炉压力容器压力管道安装分析

1.1 安装前期准备要点

安装前期，需严格审核设计图纸与技术文件，确保其符合行业规范与实际需求。依据审核结果及现场条件，制定详细且可行的施工方案，明确施工流程、进度规划、人员安排及资源配置。安装人员必须具备相应特种设备作业资格，针对不同岗位开展针对性培训。同时对起重机械、焊接设备等安装所需设备进行全面检查，确保性能良好、精度达标且处于有效检定期内。此外对安装现场环境进行评估与改善，保证场地平整、空间合理、通风照明良好，并按照标准对锅炉压力容器及压力管道基础进行验收，确保基础强度、尺寸精度等指标符合要求。

1.2 安装过程关键技术

（1）焊接工艺堪称核心。不同材料有着独特的物理与化学特性，其焊接性差异显著。安装人员需依据材料特性，结合设备结构要求，量身定制焊接方案。例如，高合金钢焊接易产生裂纹，需采用预热、后热等工艺。焊接方法上，对于厚壁管道，电弧焊效率高；薄壁小管径则更适合氩弧焊。焊接参数如电流、电压、焊接速度等，直接影响焊缝质量，必须精准把控。焊接时，通过目视检查焊缝外观，查看有无咬边、焊瘤等缺陷，再借

助超声检测、射线检测等无损检测手段，精准揪出内部气孔、夹渣等问题并及时返修。（2）组装定位环节，要严格遵循既定顺序，利用全站仪等工具精确控制尺寸精度与形位公差，借助专用支架和激光找正仪等确保管道安装位置精准^[1]。密封与防腐处理也至关重要，根据介质腐蚀性、温度等选密封结构与材料，采用涂层防腐、阴极保护等技术为设备穿上“防护服”。

1.3 安装后验收与调试

安装完成后，依据相关标准与程序进行验收，包括压力试验、气密性试验及安全附件校验等。验收中发现的问题需及时整改，确保安装质量达标。调试运行前，做好系统冲洗、吹扫、注水等准备工作，调试过程中密切关注设备运行参数，通过流量、压力、温度等测试指标评估设备性能，保障设备安全、稳定、高效运行。

2 锅炉压力容器压力管道安全阀常见问题研究

2.1 安全阀选型与安装问题

（1）选型不当问题：选型不当是安全阀无法正常工作的常见诱因。排量不足是典型表现之一，若安全阀的排量小于系统在超压状态下的泄放量，将导致压力无法及时降低，设备持续处于高压危险状态。例如，在一些小型化工生产装置中，因对系统超压工况预估不足，选用了排量较小的安全阀，当生产过程中出现异常压力波动时，安全阀无法及时泄压，给设备安全带来极大隐患。整定压力偏差过大同样不容忽视。整定压力是安全阀开启的临界压力值，若偏差超出允许范围，会影响开启时机。若整定压力过高，安全阀可能无法在规定压力下及时开启，导致压力持续上升；若整定压力过低，安全阀会过早开启，影响系统正常运行。适用介质不符也是常见问题，不同介质具有不同的化学性质和物理状态，如腐蚀性介质会腐蚀安全阀内部零件，高温介质可能使密封材料失效。若未充分考虑介质特性，选用了不

匹配的安全阀,将引发腐蚀、密封失效等问题,缩短安全阀使用寿命,甚至导致泄漏事故。选型不当的原因主要在于对系统工况参数了解不准确、对安全阀性能特点掌握不全面、忽视特殊工况要求等。为解决这些问题,在选型前应全面收集系统参数,包括工作压力、温度、介质特性等,对比不同安全阀的性能参数,针对特殊工况选择适配产品,必要时可开展模拟试验验证选型合理性。(2)安装位置与方向错误:安全阀的安装位置和方向对其性能有着至关重要的影响。若安装在管道弯头处,流体在弯头处会产生涡流和压力分布不均,改变流体状态,导致安全阀开启压力与排量发生变化。例如,流体在弯头处的流速和压力损失与直管段不同,会使安全阀实际承受的压力与预期不符,影响其正常开启和泄压效果。安装方向与介质流动方向相反时,介质会对阀瓣产生反向作用力,导致密封不严。在设备运行过程中,这种密封不严可能引发介质泄漏,不仅造成资源浪费,还可能引发安全事故。正确的安装要求是将安全阀安装在设备或管道的最高点或易于超压的部位,确保介质流动方向与阀体标识方向一致,以保证安全阀能够正常工作。(3)安装连接问题:安全阀与锅炉压力容器或压力管道的连接问题也不容小觑。连接法兰密封不严会导致介质泄漏,影响系统压力稳定性和安全性。螺栓紧固力矩不均匀会使法兰受力不均,造成局部密封失效。焊接连接存在缺陷,如气孔、夹渣、未焊透等,会降低焊接强度,在高压作用下可能发生开裂,引发严重泄漏事故。为解决这些问题,应采用合适的密封垫片,确保其材质和规格与连接部位匹配;按照规定力矩紧固螺栓,并采用对角紧固等方式保证力矩均匀;对焊接接头进行无损检测,如射线检测、超声检测等,及时发现并修复焊接缺陷,提高安装质量,保障安全阀的可靠性。

2.2 安全阀运行故障分析

(1)泄漏问题:泄漏是安全阀最常见的运行故障之一,可能由密封面损伤、密封件老化、阀瓣与阀座密封不严及弹簧疲劳等原因引起。密封面损伤可能是由于介质中的杂质颗粒冲刷或安装过程中的碰撞导致;密封件老化则是由于长期受温度、介质等因素影响,性能下降。对于轻微的密封面损伤,可采用研磨修复的方法恢复密封性能;对于严重损坏或老化的密封件,应及时更换;弹簧疲劳会导致预紧力不足,可通过调整弹簧预紧力来解决泄漏问题。(2)颤振与频跳问题:颤振与频跳会影响安全阀的性能和设备安全。压力波动、排量不匹配及弹簧刚度不合适是主要原因^[2]。压力波动会使安全阀频繁开启和关闭,产生颤振;排量不匹配会导致安全

阀在开启过程中出现压力振荡,引发频跳;弹簧刚度不合适会使安全阀的动作不稳定。可通过增加阻尼装置来吸收振动能量,调整排量使其与系统需求匹配,或更换合适的弹簧来解决这些问题。(3)未开启或开启后不回座问题:未开启或开启后不回座会严重威胁设备安全。阀瓣被异物卡住、弹簧卡涩及背压过大会导致此类问题。异物可能是在设备运行过程中进入安全阀内部,阻碍阀瓣正常动作;弹簧卡涩可能是由于弹簧生锈或受到杂质影响;背压过大会使安全阀开启后无法顺利回座。此时需解体检查清理安全阀内部,去除异物;对弹簧进行清洁和润滑,调整其位置;通过优化系统设计或增加排汽管道等方式降低背压,确保安全阀正常工作。

2.3 安全阀维护与管理问题

(1)定期校验与维护不足:定期校验与维护不足是当前安全阀管理的主要问题。校验周期执行不严格、方法不规范及记录不完整等会影响安全阀的可靠性。若校验周期过长,安全阀可能因长期使用出现性能下降而未被及时发现;校验方法不规范会导致校验结果不准确,无法真实反映安全阀的工作状态;记录不完整则不利于对安全阀的历史性能进行追溯和分析。为解决这些问题,需建立健全校验档案,详细记录安全阀的校验时间、校验结果、维护情况等信息;制定详细校验计划,严格按照规定的校验周期和方法进行校验;采用先进校验设备与技术,提高校验的准确性和效率。(2)维护人员技能水平参差不齐:维护人员技能水平参差不齐也是一个突出问题。部分维护人员对安全阀的结构原理、工作性能及维护方法掌握不足,在面对安全阀故障时,无法准确判断问题原因并采取有效的解决措施。为提高维护人员的专业素养,可通过专业培训,使其系统学习安全阀的相关知识;开展技术交流活动,分享维护经验和案例;组织技能竞赛,激发维护人员的学习积极性和竞争意识,从而提升整个维护团队的技术水平,保障安全阀的安全稳定运行。

3 压力容器设计中的疲劳分析与寿命预测

3.1 疲劳分析基础理论

疲劳破坏是压力容器在交变载荷作用下的主要失效形式,具有无明显塑性变形、对缺陷敏感及与载荷循环次数密切相关等特点。名义应力法、局部应力应变法及损伤容限法等是常用疲劳分析方法,各有其原理、适用范围与优缺点,设计人员需根据压力容器特点选择合适方法。

3.2 压力容器疲劳载荷分析

压力容器承受的交变载荷来源多样,压力波动、温

度变化、振动及启停操作等均会对容器产生疲劳损伤。通过实际监测、模拟计算或经验数据收集等方式编制载荷谱,可准确反映压力容器在不同工况下的载荷历程,为疲劳分析提供可靠输入。

3.3 疲劳寿命预测模型与技术

基于S-N曲线的寿命预测方法通过将实际应力水平与S-N曲线结合,预测压力容器在给定载荷谱下的疲劳寿命。断裂力学方法则利用裂纹扩展速率模型与临界裂纹尺寸确定方法,通过检测初始裂纹尺寸与监测裂纹扩展速率预测剩余疲劳寿命^[3]。有限元分析技术可对压力容器进行应力分析与寿命预测,通过合理建模、设置边界条件与定义材料属性,获取疲劳分析所需数据。

3.4 提高压力容器抗疲劳性能的设计措施

结构优化设计可降低应力集中程度,如采用合理开孔补强结构、优化接管与壳体连接形式及增大过渡圆角半径等。材料选择与热处理方面,根据工作条件选择合适材料,并通过淬火、回火及表面强化处理等热处理工艺提高材料强度、韧性与抗疲劳性能。制造工艺控制中,严格控制焊接质量、减少残余应力及避免表面缺陷,采用合理焊接参数、进行焊后热处理及表面打磨抛光等措施,可有效提高压力容器的抗疲劳性能。

4 压力容器及管道制造过程质量控制与检验技术研究

4.1 原材料质量控制

原材料采购时,严格审查供应商资质,审核材料质量证明文件,确保原材料来源可靠。验收过程中,依据标准进行化学成分分析、力学性能试验、金相检验及无损检测等,保证原材料质量符合设计要求。储存管理方面,采取有效措施防止材料生锈、变形与混淆,建立完善管理制度,实现原材料可追溯性管理。

4.2 制造工艺过程质量控制

成型工艺中,分析冲压、卷制、弯曲等过程可能出现的起皱、破裂、椭圆度超差等缺陷,优化成型工艺参数,采用合适模具与工装,加强质量检验。焊接工艺是关键,通过焊接工艺评定确保工艺可靠性与稳定性,控制焊接电流、电压、速度及层间温度等参数,加强焊工管理、环境控制与工艺纪律执行,及时返修焊接缺陷^[4]。热处理工艺对压力容器及管道性能影响显著,根据需求

选择合适热处理方法,确定合理工艺参数,控制热处理设备性能与校准,保证热处理质量。

4.3 无损检测技术在制造检验中的应用

射线检测、超声检测、磁粉检测与渗透检测等常用无损检测方法各有其原理、特点与适用范围,需根据压力容器及管道特点合理选择。编制无损检测工艺时,明确检测时机、比例、部位与灵敏度等参数,依据国内外标准规范进行操作与结果评定,确保检测结果准确可靠。近年来,相控阵超声检测、衍射时差法超声检测与声发射检测等新技术不断发展,在提高检测效率与精度、发现早期缺陷等方面具有广阔应用前景。

4.4 制造完工检验与出厂文件编制

制造完工后,进行外观检查、尺寸测量、压力试验、气密性试验及安全附件校验等检验项目,依据标准规范进行操作与判定,确保压力容器及管道质量达标。出厂文件应包括产品质量证明书、竣工图、强度计算书、安全附件质量证明文件、无损检测报告及压力试验报告等内容,保证文件准确、完整与规范,为设备安全使用与维护提供重要依据。

结语

压力容器及管道设计、制造与安全检验工作体系繁杂、技术要求严苛。从安装筹备到调试运行,从安全阀隐患排查到容器疲劳抗性提升,从制造全流程质控到检验规范落实,各环节紧密相连,质量与技术把控缺一不可。未来,设计、制造、检验各方需协同共进,设计精研方案,制造严控品质,检验紧守标准。且要紧跟科技浪潮,引入前沿技术,为工业生产筑牢安全防线,护航经济稳健前行。

参考文献

- [1]刘兴林.锅炉压力容器压力管道检验中裂纹问题及处理措施分析[J].中国机械,2023,(29):101-104.
- [2]赵长龙,孔鹏.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析[J].山东工业技术,2023,(04):87-90.
- [3]陈有强,宋永翔.锅炉压力容器及管道检验技术[J].石化技术,2023,30(07):212-214.
- [4]马宏忠.锅炉压力容器压力管道的安装监督检验对策研究[J].中国设备工程,2023,(10):191-193.