

# 焊接接头缺陷对压力容器安全运行的影响及检验检测技术优化

胡革春<sup>1</sup> 王贞琼<sup>2</sup>

1 湖北特种设备检验检测研究院, 湖北武汉, 430060;

2 湖北特种设备检验检测研究院孝感分院, 湖北孝感, 432100;

**摘要:** 压力容器焊接接头属于设备的核心受力连接部位, 其完整性会直接左右压力容器的安全性、耐久性以及运行稳定性, 在当下压力容器制造与运行过程中, 仍然存在诸如气孔夹渣、未焊透未熔合、裂纹萌生扩展之类的常见焊接缺陷, 这些缺陷极大危及设备的运行安全。本文依照压力容器焊接接头的质量特性, 全面论述体积型缺陷、平面型缺陷、腐蚀型缺陷这三类常见焊接缺陷, 并且剖析缺陷产生的原因及对安全运行的影响, 从而明确各个阶段检验检测的重点之处, 进而给改善压力容器焊接接头质量、加强安全管控供应一些参考。

**关键词:** 压力容器; 焊接接头缺陷; 安全运行; 检验检测; 监督要点

**DOI:** 10.69979/3041-0673.26.04.034

## 引言

压力容器焊接接头是设备结构的关键连接部分, 要承受设备运行过程中的压力、温度、腐蚀介质等复杂载荷, 质量好坏关乎工业生产稳定、民众生命财产安全以及社会公共利益。如今工业行业极速发展, 大型化、高参数压力容器变得越发常见, 所以对焊接接头的质量要求也就越来越高。但是在制造和运行的时候, 由于焊接工艺、材料质量、人员技术水平以及管理水平等诸多因素的影响, 焊接接头仍然存在不少质量隐患, 比如焊缝气孔、裂纹扩展、应力腐蚀开裂之类的问题, 要是不能及时加以控制, 就很有可能引发泄漏、爆炸等安全事故, 带来很严重的后果。检验检测对于保证压力容器焊接接头质量十分关键, 只有准确找出焊接缺陷, 清楚检测重点, 并加强过程控制, 才能够有效地防止安全隐患出现, 使得焊接接头质量达到设计和规范所要求的标准。所以, 深入剖析压力容器焊接接头常见缺陷及其产生原因, 理清检验检测的重点, 这对改善压力容器的整体安全水平有着非常重要的实际意义。

## 1 压力容器焊接接头的质量特性与检测原则

### 1.1 焊接接头的核心质量特性

压力容器焊接接头的质量特征会直接左右其承载能力与安全性能, 主要可总结为三个方面。第一是完整性, 焊接接头作为压力容器的受力关键部分, 要保证焊缝金属与母材的完全熔合, 不存在气孔、夹渣、未焊透、裂纹等缺陷, 能够承受设计压力、温度交变、腐蚀介质

等各种作用力, 在规定的使用期限内不会出现泄漏、断裂之类事故, 这便是焊接接头最为关键的质量标准。第二是耐久性, 焊接接头要在复杂工况长时间的影响之下, 维持结构性能的稳定, 抵御焊缝腐蚀、裂纹扩展、应力松弛等现象的破坏, 达到压力容器设计的使用年限, 从而削减后期维修的费用。第三是适配性, 焊接接头的尺寸精确度、表面平整度等都要合乎设计规范, 给后面的设备组装、防腐处理创建良好的根基, 保证压力容器的运行功能得以正常发挥, 满足工业生产的实际需求。

### 1.2 焊接接头检验检测的核心原则

焊接接头检验检测要按照科学、严谨、全面的原则来执行, 这样才能保证检测工作既精准又有效, 从而保障设备的质量和安全性。其一, 预防为主原则表明, 检验检测应覆盖焊接接头制造与运行的整个阶段, 包含原材料入库、焊接工艺调控直至成品检测、在线监测等环节, 事先察觉可能存在的质量风险, 并采取相应的防范手段, 把质量隐患扼杀于初始阶段, 免除因后续整改而产生的额外费用及安全隐患。其二, 精准检测原则指出, 由于焊接接头各个部位、各制造环节具有不同的质量特性, 所以要关注关键焊缝、重点区域以及容易出现问题的地方, 制订出差异化检测计划, 精确把握住质量控制的重点之处, 从而加强检测工作的指向性和实际效果。其三, 要形成起“缺陷识别-原因剖析-整改执行-复查验收”这样的循环检测体系, 对于找到的质量缺陷务必紧密跟进其整改情况, 保证彻底完成整改并经由复查确认, 创建

起完备的检测控制流程，防止质量缺陷存留。

### 1.3 焊接接头缺陷的主要成因分析

压力容器焊接接头出现质量缺陷，是由诸多因素共同影响所致，大致可归结为三个方面。其一为材料因素，即焊接材料与母材质量存在瑕疵，这是造成缺陷的底层缘由，比如焊条、焊丝、焊剂等焊接材料的性能未达到标准，又或者母材的化学成分、力学性能与设计需求不符，焊接材料与母材的匹配性不佳等情况，这些都会致使焊接接头性能下滑，进而产生各种质量瑕疵。其二为工艺因素，焊接工艺缺乏规范性、操作失误也是引发质量缺陷的关键所在，譬如在焊接过程中若焊接电流、电压、速度等参数控制不当，焊前预热、焊后热处理措施未得到落实，坡口加工精度不足，焊缝清渣不彻底等情形发生，就会引发结构性的质量缺陷。其三为管理因素，项目管理体系存有漏洞，质量监管不力同样是质量缺陷的主要诱发因素，施工单位若没有形成完备的质量管理体系，质量巡查只是走走过场；监理单位未能切实履行监督责任，不能及时察觉并纠正焊接过程中的质量问题。

## 2 压力容器焊接接头常见缺陷分类解析

### 2.1 体积型缺陷常见问题

体积型缺陷属于压力容器焊接接头的基础缺陷类型，它存在的常见质量问题涵盖气孔、夹渣、未焊透这三个方面。其一，气孔缺陷，即焊缝金属内部或表面存在气体形成的孔洞，这大多是因为焊接材料受潮、保护气体不纯、焊接速度过快，导致熔池中的气体未及时逸出所造成的，这种情况会削减接头的致密性和强度，危及到结构的安全性；其二，夹渣缺陷，焊接熔渣残留在焊缝金属中形成的不规则杂质，主要由于焊接电流过小、运条不当、多层焊时清渣不彻底等原因导致，不但影响焊缝的力学性能，而且会造成接头耐久性能变差，使得焊缝容易遭受腐蚀而生锈。其三，未焊透缺陷，焊缝根部未完全熔合形成的连续或断续沟槽，主要由于焊接电流不足、坡口角度过小、钝边过厚等因素造成，是影响焊接接头强度的严重缺陷，会显著降低接头的承载能力，在压力载荷作用下极易引发裂纹扩展。尺寸偏差和外观缺陷：焊接接头的余高、宽度、错边量等若超出规范允许的偏差范围，多半是因为焊接参数控制不当、坡口装配精度不足造成的；外观上的瑕疵除了气孔夹渣之外，还有焊缝成形不良、咬边、焊瘤等情况，这些会影响结

构的外观美感及其适配性，情形严重的甚至会损害结构性能。

### 2.2 平面型缺陷常见问题

平面型缺陷属于压力容器焊接接头的高危缺陷类型，其质量状况会直接左右主体结构的安全性能，常见的问题大概包含裂纹、未熔合这两个方面。首先，裂纹缺陷，这是焊接接头中最危险的缺陷，大致包含热裂纹、冷裂纹、疲劳裂纹以及应力腐蚀裂纹，热裂纹多在焊接过程中高温阶段产生，主要由于焊缝金属中硫、磷等杂质含量过高，导致晶间脆弱；冷裂纹多在焊接完成后冷却过程中或服役初期产生，主要由于焊接残余应力过大、材料淬硬倾向强、氢含量过高等因素导致，裂纹的存在会显著降低焊接接头的承载能力，极易引发脆性断裂。其次，未熔合缺陷，焊缝金属与母材或焊缝金属之间未完全熔合形成的局部结合不良，常见于坡口侧壁、多层焊的层间，主要由于焊接热输入不足、焊条角度不当等原因导致，会破坏焊缝的连续性，影响接头的整体性和承载能力，在交变载荷作用下容易引发裂纹扩展。焊接接头中的平面型缺陷若未及时发现，在长期工况作用下会不断扩展，最终发展为危及设备安全的重大隐患，引发泄漏、爆炸等严重事故。

### 2.3 腐蚀型缺陷常见问题

腐蚀型缺陷常被用在接触腐蚀性介质的压力容器焊接接头当中，其常见的质量问题大多集中在表面腐蚀、应力腐蚀开裂这两方面。表面腐蚀缺陷：焊接接头表面由于腐蚀介质侵蚀形成的局部损伤，主要是因为焊缝金属耐腐蚀性不足、表面防腐层破损造成的，这会影响到接头的耐久性和美观性；严重的表面腐蚀会形成腐蚀坑，降低接头的有效承载面积，加剧应力集中，诱发裂纹萌生。应力腐蚀裂纹缺陷：在腐蚀介质和拉应力共同作用下产生的树枝状裂纹，常见于接触酸、碱、盐等腐蚀性介质的焊接接头，裂纹扩展速度快，且具有突发性，极易引发设备突发泄漏事故。腐蚀型缺陷的发展往往具有隐蔽性，初期难以通过常规检测手段发现，一旦形成规模，会迅速破坏焊接接头的完整性，给压力容器安全运行带来极大威胁。

## 3 压力容器焊接接头检验检测技术优化要点

### 3.1 制造阶段检验检测要点

制造阶段处于焊接接头质量控制的关键阶段，检验检测工作要重视源头把关，给后续设备运行安全形成基

础。原材料质量检测方面,要仔细核对焊接材料与母材的质量证明文件、合格证、检测报告等等,保证材料规格、性能符合设计要求,对于焊条、焊丝、母材等重要材料,实施见证取样送检,检测合格之后才能使用,还要督促施工单位创建原材料进场验收台账,执行溯源管理,防止不合格材料进入施工现场。焊接工艺检测方面,要审查施工单位制定的焊接工艺规程,重点关注焊接参数、预热温度、焊后热处理等工艺措施是否符合规范和设计要求,监督焊接工艺评定的实施过程,确保焊接工艺的可行性和可靠性;还要监督施工单位开展技术交底工作,让焊接人员了解焊接工艺、质量标准以及操作要点,特别是关键焊缝、特殊位置焊接的技术交底要传达给每个操作人员。焊接设备及人员的检测方面,要检查施工单位所用的焊接机、热处理设备、检测仪器等是否完好无损,计量设备是否已校准,以确保设备性能符合施工需求;还要查看焊接人员的资质证书,必须持有相应证件才能上岗,并且要监督施工单位展开质量安全教育培训活动,从而加强焊接人员的质量意识及其操作技能。

### 3.2 运行阶段检验检测要点

运行阶段对于焊接接头质量的维持十分关键,检验检测工作要着重关注关键焊缝和重点部位,并加强动态监测。在线监测技术应用方面,针对长期运行的压力容器,要采用声发射、红外热成像等在线无损检测技术,对关键焊接接头进行实时监测,及时发现裂纹萌生和扩展情况;定期检验过程中,要根据设备工况和运行年限,合理选择射线检测、超声检测、磁粉检测等离线检测技术,全面排查焊接接头缺陷隐患。缺陷精准识别方面,利用相控阵超声、TOFD等先进检测技术,提升对微小缺陷、隐蔽缺陷的识别精度,实现对缺陷位置、尺寸、形态的精准定位和量化分析;对于检测发现的缺陷,要结合设备工况、接头重要性等因素,评估缺陷的风险等级,制定针对性的防控措施。工况条件监测方面,要加强对压力容器运行压力、温度、介质腐蚀等工况参数的监测,避免设备超温、超压、超负荷运行,减少工况突变对焊接接头的冲击,延缓缺陷扩展。

### 3.3 验收阶段检验检测要点

验收阶段是焊接接头质量控制的最后一道防线,检验检测工作要严格按照规范标准来执行,保证验收质量。分项工程验收检测:焊接接头各个分项工程做完以后,

要监督施工单位实施自检,自检合格之后再报送监理单位去做验收;还要监督监理单位依照规范标准来进行验收,重点关注分项工程的质量控制资料以及实体质量是否达标,只有验收合格之后才能够进入到下一道工序的施工当中。隐蔽工程验收检测:对于像内部焊缝、接管与筒体连接焊缝这样的隐蔽部位,要监督施工单位事先告知检测单位来做验收,验收合格之后才能实施后续工序;而且还要监督验收人员着重检查隐蔽部位的焊接质量,譬如焊缝的内部缺陷、外观成形、尺寸偏差等等,保证隐蔽工程质量符合设计和规范的要求,并保留好验收记录以及相关影像资料。整体验收检测:当压力容器制造完成之后,要督促施工单位整理并完善质量控制资料,其中包含原材料检测报告、焊接记录、无损检测报告等;还要促使建设单位牵头由设计、制造、监理、检测等单位展开整体验收,重点关注焊接接头的实体质量、观感质量及其质量控制资料,对于验收过程中出现的质量问题,要监督施工单位在指定时间内予以纠正,纠正完后再重新组织验收,从而保障压力容器焊接接头质量达标。

## 4 结语

压力容器焊接接头质量属于设备安全的核心部分,关乎设备的安全性能及其使用年限,体积型缺陷、平面型缺陷以及腐蚀型缺陷都是焊接接头的主要缺陷类型,出现质量问题的原因比较繁杂,要从材料、工艺、管理等诸多方面实施综合性防范措施。检验检测对于保障焊接接头质量十分关键,应当按照“以防为主、精准检测、形成闭合回路运作”的原则,加强全流程质量管控。以后,工业技术持续发展,新型压力容器结构形式和焊接工艺会不断出现,检验检测工作要跟上脚步,更新检测方法,改良检测的准确性,保障压力容器的运行安全,助力工业行业达成高质量发展。希望能够为我国压力容器焊接接头工艺性能的优化、调整,提供一定借鉴与思路。

### 参考文献

- [1]陈晓波.压力容器焊接接头工艺性能优化研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2024(3):114-117.
- [2]李光锋.压力容器焊接接头工艺性能优化研究[J].中国新技术新产品,2023(9):66-68.
- [3]李国宁.压力容器焊接过程中的技术要点[J].家电维修,2024(4):9-11.