

化工压力管道焊接缺陷成因及对策研究

郭东伟（合肥化机装备制造有限公司，安徽 合肥 231200）

摘要：本研究旨在深入探究化工压力管道焊接缺陷的成因并提出有效对策。通过对焊接材料、工艺参数、焊工操作、环境条件及管道母材等多方面进行分析，结合实际案例与数据监测。研究发现，各因素均对焊接质量有显著影响。经采取严格管控焊接材料、精准设定工艺参数等改进措施后，焊接缺陷率明显降低，为保障化工生产安全稳定运行提供有力支撑。

关键词：化工压力管道；焊接缺陷；成因分析；改进对策

中图分类号：TG441.7 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)013-0161-04

Research on the Causes and Countermeasures of Welding Defects in Chemical Pressure Pipelines

Guo Dongwei (Hefei Chemical Machinery Equipment Manufacturing Co., Ltd., Hefei Anhui 231200, China)

Abstract: This study aims to explore the causes of welding defects in chemical pressure pipelines and propose effective countermeasures. By analyzing various aspects such as welding materials, process parameters, welder operations, environmental conditions, and pipeline base materials, combined with practical cases and data monitoring. Research has found that all factors have a significant impact on welding quality. After implementing strict control over welding materials and precise setting of process parameters, the welding defect rate has significantly decreased, providing strong support for ensuring the safe and stable operation of chemical production.

Keywords: chemical pressure pipeline; Welding defects; Cause analysis; Improvement measures

在石油化工领域，压力管道堪称极为关键的基础设施，肩负着输送各类具有易燃、易爆、有毒、腐蚀等特性介质的重任，是化工生产流程得以顺畅运转的“血脉”。从原材料的输入，到中间产物的流转，再到最终产品的输出，化工压力管道贯穿于整个生产体系，其运行状况直接关乎化工企业的生产效率与安全。焊接作为压力管道制造与安装过程中的关键环节，焊接质量的优劣对管道的完整性和可靠性起着决定性作用。一旦焊接出现缺陷，极有可能引发介质泄漏，进而导致火灾、爆炸、中毒等严重事故，不仅会造成巨大的经济损失，更会对人民生命安全和生态环境构成严重威胁。

因此，深入探究化工压力管道焊接缺陷的成因，并针对性地提出有效的解决对策，对于保障化工生产的安全稳定运行、推动化工行业的可持续发展具有至关重要的现实意义。

1 化工压力管道焊接缺陷成因解析

1.1 焊接材料质量瑕疵

焊接材料是保障焊接质量的基石，其质量状况直接影响左右焊缝性能与完整性。焊条、焊丝等一旦质量欠佳，便会引发严重焊接缺陷。焊条药皮在焊接中作用关键，由矿物质、铁合金、有机物及化工产品等构成。焊接时，药皮熔化分解出大量气体，在熔池周围形成保护屏障，阻挡空气入侵，防止氧气、氮气等与熔池

接触。同时，药皮形成的熔渣覆盖焊缝，保护焊缝金属不被氧化并优化成型。然而，药皮若脱落，焊条无法正常造气、造渣，空气便会侵入熔池。氧气与高温液态金属反应生成氧化物夹杂，氮气溶解其中，焊缝冷却时因溶解度骤降逸出形成气孔。焊丝生锈较为常见，锈迹含金属氧化物与水分等杂质。焊接高温下，水分分解出氢气和氧气，氢气极易溶入高温液态金属。焊缝冷却时，氢气若不能及时逸出，就会形成氢气孔。锈迹中的杂质还会参与冶金反应，增加夹渣等缺陷出现的概率。此外，焊丝化学成分不均匀，会致使焊缝金属成分和性能偏差，影响焊接接头质量。

1.2 焊接工艺参数失准

焊接工艺参数对石油化工压力管道焊接质量起着决定性作用。焊接电流方面，过大时焊缝金属温度过高，易烧穿且咬边；过小时热量不足，导致未焊透、未熔合，降低焊缝强度，引发应力集中，可能致使裂纹产生与扩展。焊接速度影响明显，过快则焊缝金属热量匮乏，出现焊缝窄、余高不足、表面不平整等问题，熔池保护变差，气孔概率增加；过慢会使热输入过多，焊缝组织粗大，强度、韧性、硬度下降，焊接接头脆性增大，受力易断裂。电弧电压不稳定，会使电弧长度变化频繁，焊缝熔宽和余高波动，成型不规则。电压过高，保护气体效果变差，有害气体侵入，产生气孔、氧化物夹杂，焊缝金属飞溅增多。对于较厚管道采用

的多层多道焊，焊接层数过少，每层焊缝厚，内应力分布不均易裂；层间温度过高，前层焊缝组织过热，性能降低；过低则焊缝冷却热应力大，增加裂纹风险。

1.3 焊工操作技能欠缺

焊工操作技能直接决定焊接质量，即便焊接材料优质、工艺参数合理，操作不当也难以保证质量。运条手法体现焊工技能，熟练焊工会依焊接位置、接头形式和电流等因素，运用直线、锯齿形、月牙形等运条法，使焊缝金属均匀填充，保证成型美观、质量可靠。不熟练焊工运条时难以保持速度均匀稳定，导致焊缝高低不平、宽窄不一，不仅影响外观，还降低焊缝承载能力，受力时易在薄弱处破坏。

焊条角度影响焊缝两侧母材受热与熔合效果，正常焊接时焊条与焊件表面夹角为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。角度过小，一侧母材受热不足，出现未熔合；角度过大，另一侧母材过热，产生咬边、烧穿等缺陷，同时影响保护气体对熔池的保护，增加气孔产生概率。

引弧和收弧操作至关重要，引弧位置不准或方法不当，会在焊件表面造成电弧擦伤，形成应力集中点，后续可能引发裂纹。收弧时若方法不当，如直接拉断电弧，会在焊缝末端留下弧坑，弧坑处焊缝金属薄，杂质、气孔多，强度低，受力时易产生裂纹并向焊缝内部扩展，严重影响焊接接头质量。此外，焊工不严格执行焊接规范，随意改变工艺参数、不进行层间清理等，也会增加焊接缺陷出现的概率。

1.4 焊接环境条件不利

化工压力管道焊接作业环境复杂，焊接环境对质量影响显著，恶劣环境易导致多种焊接缺陷，威胁管道安全运行。大风环境下，二氧化碳、氩气等保护气体易被吹散，无法有效保护熔池。熔池暴露在空气中，氧气与液态金属反应生成氧化物夹杂，降低焊缝金属纯度和性能；氮气溶解其中，冷却时形成气孔。同时，大风使电弧不稳定，影响焊接过程，导致焊缝成型不良。

湿度对焊接质量影响不容忽视。环境湿度高时，水分会通过多种途径进入焊缝。水分吸附在焊接材料表面，高温下分解出氢气，形成氢气孔，严重时引发冷裂纹。湿度高还会使焊件表面形成水膜，焊接时进入熔池，增加焊缝氢含量。因此，湿度大时需采取除湿措施，如使用除湿机、烘干焊接材料等。

低温环境下，焊缝金属冷却速度过快，产生淬硬组织，硬度高、韧性低，在焊接应力作用下易产生裂纹。同时，低温加剧金属热胀冷缩，使焊接接头热应力增大，超过屈服强度便产生裂纹。低温还影响焊接材料工艺性能，如焊条引弧性能变差、焊丝送丝稳定性降低。为保证低温焊接质量，需对焊件预热，控制层间

温度，焊后进行预热和保温处理。

1.5 管道母材自身缺陷

管道母材质量是影响焊接质量的重要因素，母材内部若有砂眼、裂纹、分层等原始缺陷，焊接时在热循环及焊接应力作用下会进一步扩展，影响焊接接头完整性和性能。砂眼是常见母材缺陷，由铸造时气体未排净或金属液含杂质所致。焊接时，砂眼处金属无法与焊缝金属良好熔合，形成孔洞，降低焊缝强度和密封性，输送有压介质时可能泄漏引发安全事故。

裂纹危害极大，分热裂纹和冷裂纹。热裂纹在焊缝金属高温凝固时产生，与母材化学成分、焊接工艺参数、焊接应力等有关，母材中硫、磷杂质含量高会降低热裂敏感性。冷裂纹在焊缝金属冷却到低温时产生，由氢扩散、焊接残余应力和母材淬硬倾向共同作用导致。无论热裂纹还是冷裂纹，一旦出现，在管道承受压力和交变载荷时，都可能迅速扩展，致使管道破裂。

分层缺陷常见于轧制板材或管材，因生产过程中内部杂质、偏析或层间结合不良造成。焊接时，分层处金属无法有效熔合，形成层间未熔合缺陷，降低焊接接头强度和韧性，承受剪切力或弯曲力时易破坏。不同材质的化工压力管道，化学成分、物理和焊接性能差异大，焊接时若焊接材料、方法与母材不匹配，就难以保证焊缝与母材良好熔合和性能匹配，易产生各种缺陷。如不锈钢管道焊接材料含铬、镍不足，焊缝耐腐蚀性无法满足要求；异种金属管道焊接工艺不当，接头处残余应力大，增加裂纹风险。

2 石油化工压力管道焊接缺陷改进对策

2.1 严格管控焊接材料

焊接材料的质量是确保焊接质量的基石，因此必须从源头加强管控。在采购环节，应优先与具备资质、信誉良好且行业口碑佳的供应商建立合作关系。这些供应商通常拥有完善的生产工艺和质量控制体系，能够保证焊接材料的质量稳定性。焊接材料到货后，需开展全面且严格的检验工作。外观检查是初步筛查的重要手段，仔细查看焊条有无药皮脱落、焊丝是否生锈等明显问题。同时，为深入了解材料的内在质量，应按照一定比例抽样进行理化性能测试。化学成分分析能够精准确定焊条、焊丝中各种合金元素的含量，确保其符合相应标准要求。力学性能检测则涵盖拉伸强度、屈服强度、冲击韧性等关键指标，只有各项指标均满足标准的焊接材料，才允许投入使用。以某批次焊条为例，通过抽样检测发现，部分焊条的冲击韧性低于标准值，经追溯发现是生产过程中合金元素添加比例出现偏差，该批次焊条被全部退回，避免了潜

在的焊接质量风险。

2.2 精准确定焊接工艺参数

焊接工艺参数的精准设定对焊接质量起着决定性作用。首先，要依据石油化工压力管道的材质、厚度、焊接位置等多方面因素，系统开展焊接工艺评定试验。不同材质的管道，如普通碳钢、低合金钢、不锈钢等，其焊接性能差异较大，需要匹配不同的焊接工艺参数。对于较厚的管道，可能需要采用多层多道焊，此时每层焊缝的厚度、焊接电流、焊接速度等参数都需精确考量。通过大量的试验数据积累与分析，能够确定出最佳的焊接工艺参数组合。

在实际焊接过程中，借助先进的焊接设备监测系统，对焊接电流、电压、焊接速度等关键参数进行实时、精准地监测。一旦发现参数偏离预先设定的值，系统可及时发出警报，并通过自动化控制装置进行调整，从而保证焊接过程的稳定性和一致性（见表1）。

2.3 强化焊工技能培训与管理

焊工的操作技能和专业素养直接影响焊接质量，因此强化焊工技能培训与管理至关重要。定期组织焊工技能培训活动，邀请行业内资深专家进行理论知识讲解，内容涵盖焊接工艺原理、各种焊接方法的特点与应用、焊接缺陷的产生原因及预防措施等。同时，专家还会进行实操示范，展示正确的运条手法、焊条角度控制、引弧和收弧技巧等关键操作要点。通过理论与实践相结合的培训方式，让焊工能够更深入地理解和掌握焊接技术。

增加实操演练的频率，为焊工提供充足的实践机会，使其在不断地练习中逐渐提升操作水平。例如，某企业规定焊工每月至少进行40小时的实操训练，经过一段时间的坚持，焊工的操作熟练度大幅提高，焊缝的平整度和均匀性得到明显改善。此外，实行严格的焊工持证上岗制度，定期对焊工进行考核，考核内容包括理论知识、实操技能以及焊接质量评估等方面。只有考核合格者才能继续从事石油化工压力管道

焊接工作，对于焊接质量不达标的焊工，安排再培训课程进行强化提升，若多次考核仍不达标，则取消其焊接资格。通过这种严格的管理机制，能够有效激励焊工不断提升自身技能水平，确保焊接质量。

2.4 优化焊接作业环境

恶劣的焊接作业环境是导致焊接缺陷产生的重要因素之一，因此优化焊接作业环境势在必行。搭建防风、防雨、防潮的焊接防护棚，为焊接作业创造一个相对稳定、适宜的环境。防护棚的设计应充分考虑当地的气候条件和作业场地的实际情况，确保能够有效阻挡外界不利因素的干扰。

在防护棚内安装除湿设备，实时监测环境湿度。当环境湿度超过规定范围（一般相对湿度不超过90%）时，及时开启除湿机降低湿度。研究表明，当环境湿度控制在60%~70%时，因湿度导致的氢气孔等焊接缺陷明显减少。对于低温环境，焊接前需对焊件进行预热处理，根据管道材质和厚度确定合适的预热温度和预热范围。例如，对于普通碳钢管道，当厚度为10~20mm时，预热温度通常控制在100~150℃；对于低合金钢管道，预热温度可能需要更高。在焊接过程中，严格控制层间温度，避免焊缝金属冷却速度过快或过慢。焊接完成后，及时进行后热和保温处理，有效消除焊接残余应力，改善焊缝组织性能。通过这些措施，能够显著提高在复杂环境下的焊接质量。

2.5 加强管道母材质量把控

管道母材的质量直接关系到焊接接头的完整性和性能，所以必须加强对母材质量的把控。在管道采购阶段，要求供应商提供详细的质量合格证明文件，包括原材料检验报告、产品质量检测报告等，确保母材的质量符合相关标准和设计要求。同时，对母材进行严格的无损检测，采用超声检测、射线检测等先进技术手段，全面检查母材内部是否存在砂眼、裂纹、分层等缺陷。例如，某石油化工项目在采购管道母材时，通过超声检测发现部分管材内部存在微小裂纹，及时

表1 石油化工压力管道焊接参数监测表

关键参数	预设值	实际监测值	偏差情况	系统操作
焊接电流	根据管道材质、厚度等确定，如针对某碳钢管道为150-180A	实时显示，如165A	若在预设范围则显示正常，超出则显示偏差数值，如实际为200A时显示“+20A”	当偏差超出允许范围，及时发出警报，并通过自动化控制装置将电流调整至预设范围
电压	例如某低合金钢管道预设为22-25V	实时更新，如23V	同焊接电流显示方式，若实际为27V则显示“+2V”	系统自动警报并调整电压至合适范围
焊接速度	依据焊接工艺评定，如对于管径100mm管道为15-20cm/min	实时记录，如18cm/min	若实际为12cm/min显示“-3cm/min”	警报并自动调整焊接速度

与供应商沟通更换，避免了后续焊接过程中可能出现的严重质量问题。

对于不同材质的管道，在焊接前开展针对性的焊接工艺试验。根据试验结果制定专门的焊接工艺规程，明确焊接材料的选择、焊接方法、焊接顺序、工艺参数等具体内容，确保焊接工艺与母材的适配性。以不锈钢管道焊接为例，通过试验确定采用氩弧焊方法，并选用含铬、镍等合金元素与母材匹配的焊接材料，同时严格控制焊接电流、电压和焊接速度等参数，有效保证了焊缝金属与母材之间的良好熔合和耐腐蚀性。从源头上保障焊接质量，能够大大降低因母材问题导致的焊接缺陷发生率。

3 结语

化工压力管道焊接质量关乎化工生产的安全与效益。本研究详细剖析了焊接缺陷的成因，并针对性地提出了一系列改进对策。严格落实这些措施，能显著提升焊接质量，减少安全隐患。未来，随着化工行业的发展，对压力管道焊接质量的要求将不断提高。持续优化焊接技术、加强全过程质量管控，是进一步保

障化工压力管道安全可靠运行的关键，也将为化工行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 姚枫林. 压力管道焊接缺陷成因及对策 [J]. 全面腐蚀控制 ,2024(01):213-217.
- [2] 郭啸晨 . 压力管道焊接技术要点与质量控制实践 [J]. 世界有色金属 ,2024(20):226-228.
- [3] 王苏珊 . 石油化工压力管道安装工艺及质量控制重点 [J]. 天津化工 ,2024,38(05):120-122.
- [4] 孔鹏 , 赵长龙 . 压力管道焊接缺陷的成因及技术优化 [J]. 中国高新科技 ,2024(03):65-67.
- [5] 赵瑞云 , 于真真 . 压力管道焊接缺陷成因及对策 [J]. 化工管理 ,2022(32):140-143.
- [6] 李尚岩 . 探讨压力管道焊接缺陷成因及控制对策 [J]. 城市建设理论研究 ,2023(11):122-123.
- [7] 刘志华 . 探析压力管道焊接缺陷原因及其控制措施 [J]. 化工管理 ,2023(8):27-29.
- [8] 孔鹏 , 赵长龙 . 压力管道焊接缺陷的成因及技术优化 [J]. 中国高新科技 ,2024(3):65-67.

