

石油化工工程中工艺管道安装标准及施工风险探讨

陈 崇 李晓鹏

中国机械工业机械工程有限公司, 河南 郑州 450000

[摘要]在石油化工工程中, 工艺管道的主要功能为输送物料、转换能量, 管道的安装质量会直接影响到系统整体的运行安全。但伴随装置的建设规模逐渐增大, 工艺管道安装施工面临多重风险。因此, 本文将首先分析石油化工工程中工艺管道的安装标准, 包含管道预制组对、焊接工艺评定、无损检测与热处理、压力试验与吹洗等, 在此基础上, 从材料预制、安装作业、试验试压等几个方面识别施工中的主要风险, 最后提出更显管控策略, 希望进一步提高石油化工工程中工艺管道安装施工规范性、安全性。

[关键词]石油化工工程; 工艺管道; 安装标准; 施工风险

DOI: 10.64635/ja.2026.1186

中图分类号: TQ055.8

文献标识码: A

Discussion on Installation Standards and Construction Risks of Process Piping in Petrochemical Engineering

Chen Chong, Li Xiaopeng

China Machinery Industry Mechanical Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China

Abstract: In petrochemical engineering, process piping is mainly used for material transportation and energy conversion, and its installation quality directly affects the overall operational safety of the system. With the continuous expansion of plant construction scale, process piping installation faces multiple construction risks. Therefore, this paper first analyzes the installation standards for process piping in petrochemical engineering, including pipe prefabrication and assembly, welding procedure qualification, nondestructive testing and heat treatment, pressure testing, and purging. On this basis, the main construction risks are identified from several aspects, such as material prefabrication, installation operations, and pressure testing. Finally, corresponding risk control strategies are proposed, with the aim of further improving the standardization and safety of process piping installation in petrochemical engineering.

Keywords: petrochemical engineering; process piping; installation standards; construction risks

引言

石油化工工程工艺管道是庞大、复杂的系统, 包含反应器、换热器、储罐、压缩机等多种设备。相比于普通工业管道来说, 石油化工工程工艺管道输送的介质具有易燃易爆、有毒有害等特点, 如果未能严格依据标准进行施工, 将会出现严重安全事故。所以, 在石油化工工程工艺管道安装施工前, 必须全面梳理技术标准, 针对风险制定管控措施, 才可保障石油化工工程运行安全。

1 石油化工工程中工艺管道安装技术标准

1.1 管道预制与组对安装

管道预制中, 要严格控制管段下料尺寸, 确保坡口形式、加工精度符合焊接工艺规程, 管段组对时的错边量、对口间隙、钝边尺寸等参数, 也要控制在允许偏差范围内。现场组对安装环节中, 要保证转向管道走向与设计图纸一

致, 合理布置法兰螺栓孔的跨中位置, 预留充足操作检修空间。对于输送含固颗粒或易凝介质的工艺管道施工, 技术标准中明确要求设置合理坡度、排凝排空设施, 避免介质积聚。组对中, 禁止采用强力对口, 防止强迫组对产生的附加应力叠加介质压力、热膨胀应力, 避免出现破裂泄漏的问题。

1.2 焊接工艺评定与焊工技能标准

依据技术标准来看, 应先做好焊接工艺评定, 才可制定焊接工艺方法、母材与焊材的匹配方案、焊接参数, 形成科学焊接工艺规程。在工艺评定时, 应模拟实际工程条件, 结合力学性能试验、金相检验等技术手段, 对焊接接头的强度、塑性、韧性指标进行验证。焊工作为工艺管道焊接操作者, 技术水平会直接影响到焊缝质量, 所以还应参考焊工技能标准。在施工钱, 应对焊工进行技能考试,

合格后才可允许其上岗。如果焊工的停焊时间超过规定期限,要再次进行技能确认^[1]。

1.3 无损检测及热处理技术要求

无损检测可验证工艺管道焊缝的内部质量,严格执行技术标准,可提高缺陷检出率、评判准确性,技术标准主要规定的内容包含检测方法、检测时机、检测比例、缺陷评定。射线检测、超声检测技术可对工艺管道的体积性缺陷与面状缺陷进行精准检测,两种技术的适用范围、灵敏度各不相同,在实际施工中可进行融合应用。渗透检测、磁粉检测技术可对工艺管道表面开口缺陷与近表面缺陷进行筛查,检测的时机可设置在焊缝热处理后、压力试验前,通过这种安排方式,可利用热处理诱发、扩展微观缺陷,结合磁粉检测可充分展现焊缝的真实质量状态。制定热处理工艺标准时,可基于金相组织转变规律。对于壁厚较高、材质淬硬的工艺管焊缝,需控制加热温度、恒温时间、冷却速率,才可消除焊接残余应力、改善热影响区组织、降低氢致裂纹敏感性。此外,为有效控制温度均匀性、加热速率,还要严格依据标准中规定的加热带宽、保温层敷设方式、测温点布置等细节要求,确保工艺执行精度。

1.4 压力试验、吹扫、清洗

为确定试验压力,要将设计压力、材料许用应力之间的比例关系作为基础,如液压试验、气压试验,其系数、升压分级、稳压时间都有不同规定。标准对气压试验的要求更加严格,主要是由于工艺管道气体介质压缩性、储能密度高,如果出现破裂,造成的破坏会超过液压试验产生的破坏,所以只有在水压试验无法应用的情况下,才可使用气压试验,同时也要配套专项安全方案、风险评估。对于吹扫、清洗标准方面,应彻底清除施工过程中残留于管道内的焊渣、铁锈、砂石等杂物。标准中主要规定蒸汽吹扫、压缩空气爆破吹扫、水冲洗等不同方法的适用条件。为精准判定吹扫质量,可利用靶板检查、水质化验等指标^[2]。

1.5 管道支吊架与防腐绝热施工

管道支吊架的主要功能为承受管道自重、收热位移、限制振动、引导应力分布,标准中详细规定支吊架类型的选择方法、安装定位、弹簧支吊架冷态整定值、荷载调整等内容。在承重支架方面,需要生根于结构强度较高的构筑物上,如果安装现场条件不良,将会造成支架间距超出设计允许范围,需要结合应力复核结果采取补强措施。在弹簧支吊架的安装过程中,标准要求严格控制锁定销的拆除时机,从而保障管道热态的应力水平。标准要求,水压试验完成、管道保温施工结束后才可拆除锁定销,保障支

吊架充分发挥变力承载功能。另外,对于管道的防腐与绝热施工标准方面,可延长管道的使用年限、提高管道完整性。具体来说,影响防腐层质量的主要因素包含表面处理除锈等级、底漆涂装间隔时间、涂层干膜厚度,针对不同腐蚀环境,标准中涵盖完整的防腐配套体系,并给出明确技术路线。绝热施工标准要求中,主要囊括保温材料选型厚度、接缝错位搭接、阀门法兰处可拆卸结构等内容,其中,在安装伴热管时,应将其安装时间设置在绝热施工前,还要通过压力试验,为后续的检修工作提供便利^[3]。

2 石油化工工程中工艺管道安装施工主要风险

2.1 材料与预制风险

材料风险是安装工艺管道施工中较为隐蔽的风险,其中最具有破坏性的情况为错误选择材质。如果误用碳钢管材替代铬钼合金钢管材,在施工早期无法及时发现,直至工艺管道投产后,管壁在高温高压下出现蠕变破裂、腐蚀才会将缺陷暴露出来。与此同时,管件制造缺陷也会给工艺管道的安装、施工带来安全隐患。例如,铸造阀门内部疏松、锻造弯头折叠裂纹、法兰密封面径向划痕,当工艺管道运行中,其会受到压力波动、介质侵蚀的长期作用,从而之间发展为泄漏通道。此外,在运输、仓储环节中,由于没有进行科学防护缺失,可能造成管端坡口磕碰、管壁局部凹陷、防腐层剥离等问题,若是没有在管道安装前发现,将会造成严重的安全后果。

2.2 安装作业

焊接缺陷是工艺管道安装作业中的主要风险,如未熔合、未焊透、气孔、夹渣、裂纹等缺陷,会将工艺管道焊缝的有效承载截面削弱,在缺陷尖端形成应力集中。基于交变载荷、腐蚀介质的耦合作用下,微裂纹逐渐扩展,直至剩余壁厚无法承受操作压力时便会发生破裂。另外,在大型工艺管道预制段的吊装过程中,需要涵盖计算吊点位置、校核索具强度、干涉判断作业半径内空间、评估风力影响,任何环节发生疏漏都会造成吊物失稳坠落。并且,在工艺管道安装中,经常会采用高处作业,如管廊上层管道的组对焊接、安装阀门操作平台等作业,均需在高空完成,若频繁转换垂直作业面,将会增加坠落风险。对于机械伤害风险方面,主要存在于坡口加工、打磨、切割等工序中,造成风险的主要因素为缺少旋转设备防护装置、操作人员防护意识薄弱等^[4]。

2.3 试验与试压

在高压状态下,试压介质会储存巨大弹性,如果出现超压爆裂将会带来灾难性后果。造成超压的主要因素包含

试验用压力表不准确、升压速率失去控制、泄压装置设定值不科学、操作人员错误判断压力等级等。尤其对于气压试验来说,其危险性更高,压缩气体会生成绝热膨胀效应,使破裂瞬间释放的能量呈几何倍数急速放大,碎片分散的范围也会远远超过液压试验。此外,在有毒化学品、惰性气体窒息性介质管道试验操作中,还会可能出现泄露中毒风险,如果试压区域通风不良,泄露经缓慢积聚,将会逐渐达到危险浓度。

2.4 特殊环境作业

在石油化工工程的工艺管道安装中,面临诸多特殊环境,如在受限空间作业中,需要在大型容器内完成管道的组对焊接操作,技术人员可能会面临缺氧窒息、有毒气体聚集、焊接烟尘积聚等威胁。在改扩建工程中,还会面临有毒有害介质的环境风险。在交叉作业风险方面,施工现场的垂直空间中,会包含多种工种进行同时施工,如果上层坠物,将会对下方施工人员的安全造成危险,焊接弧光也会对周围作业人员的眼睛造成伤害,从而提高施工风险发生概率,也会大幅增加施工管理难度。

3 石油化工工程中基于工艺管道安装标准施工风险管控措施

3.1 风险预控

为严格管控工艺管道安装施工的各项风险,应制定风险预控方案,才可将风险管理重心从事后补救前移到事前预防。具体来说,应科学编制工艺管道安装施工方案,使标准条款、风险点之间形成逐条映射的关系。每道安装工序遵循的技术标准条款,都要与失效模式、风险后果一一对应,确保施工技术人员严格遵守技术标准,彻底阻断可能出现的风险路径。例如,法兰螺栓紧固扭矩的技术标准要求,可与密封垫片压溃导致的介质泄漏风险互相对应;管道坡口角度、钝边尺寸标准规定,需要对应未焊透、烧穿导致的焊缝强度不足风险。通过这种方式,利用技术标准条款为风险防控赋予深度内涵,彻底将被动的标准执行升级为主动防控。此外,为贯彻落实风险防控方案,还要做好安全技术交底、标准培训的一体化工作。在同一交底平台中,将某项施工工序的操作标准、违反标准导致的风险后果、风险防护措施构建成完整的知识体系,要求作业班组将其深刻记忆,从而达到遵标准、控风险的一体化培训效果^[5]。

3.2 协同控制关键工序质量与安全

在工艺管道安装中,关键工序主要包含焊接过程、压力试验、吊装与高空作业,为实现风险管控,应对关键工

序的质量、安全进行协同管控。在焊接过程中,要积极使用防缺陷工艺措施,严格管控焊接钱的预热温度、持续监管层间温度、保障后热消氢处理的时间。通过这种管控措施,可有效降低裂纹的发生概率,还可有效消解焊接残余应力,避免延迟断裂。在焊接作业场地中,还可科学设置通风排烟设施,满足工业卫生标准的同时,还可预防焊工中毒、积聚可燃气体。在压力试验过程中,为提高风险管控效果,应做好能量隔离、安全防护。在确定试验范围后,应做好边界隔离,可基于盲板安装、物理确认管线切断,不得仅依靠关闭阀门进行隔离。在升压过程中,要在试压区域周边科学设置警戒线,非操作人员全部撤离到安全距离外,尤其是升压、稳压阶段不可进行任何带压紧固作业与敲击作业。在设计气压试验方案过程中,应对其进行专项风险评估,严格规定升压速率、分级稳压时间、压力值终止时间,如果某项程序不满足标准规定,需要重新进行报批。另外,在吊装与高空作业过程中,要设置标准化作业流程。在吊装开始前,应科学设计载荷数据、优选索具、试吊检验、确认设备。在吊装作业过程中,应合理进行信号指挥、固定就位,每一个操作步骤都要设置明确负责人、检查确认环节。在高处作业的标准化管理中,要科学预设安全带挂点、验收作业平台与安全装置、检查人员的防坠落绳使用情况、协调交叉作业时序,利用标准化管理彻底消除施工中的随意性,保障整个施工过程安全、可控。

3.3 应急预案与应急演练

为增强应急预案效能,应提高其针对性、可操作性。可针对管道泄漏设计专项预案,明确泄漏介质辨识方法、隔离阀位置与操作顺序、堵漏工具、人员疏散集合点。在设计火灾爆炸预案时,重点应为紧急泄压、物料切断程序,确保预案与事故处置预案无缝衔接。对于受限空间救援预案的设计方面,要明确规定外部施救人员的防护要求,避免施救人员盲目进入危险空间扩大伤亡。因此,在预案中必须规定供气式呼吸器的使用方法、救援三脚架与防爆照明的配置方案、受限空间内外通讯保障方式。另一方面,对于应急演练来说,需要通过模拟演练掌握预案与实际情况之间的脱节部位。例如,在管道法兰突发泄漏的堵漏演练中,可检验作业人员对夹具安装程序的掌握程度、应急器材状态;在受限空间人员晕倒的救援演练中,需要考验监护人员的应急响应速度、救援团队协同效率。在演练完成后,还要对演练过程进行评估优化,及时改正演练中发现的不足之处,不断修订预案、日常培训计划,从而持续提高应急能力。

4 结语

石油化工工艺管道安装标准是提高系统运行质量、安全的基础框架,所以要严格执行安装标准。同时,还要在安装中深深嵌入风险识别、风险管控意识,包含材料进场标识查验、压力试验控制、焊接工艺评定等,才可制定科学的风险管控方案,实现精准识别风险、提前预防风险,从而提高管道安装质量与安全性,促进我国石油化工工程行业取得进一步发展。

[参考文献]

- [1]何延鹏.石油化工工程中工艺管道安装施工的问题与对策[J].石油化工建设,2025,47(4):86-88.
- [2]维晓璐.石油化工工程中工艺管道压力试验的质量控制

[J].石油化工建设,2025,47(4):71-73.

[3]于建忠.石油化工工程中工艺管道安装施工的问题与对策研讨[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2025(12):054-057.

[4]马晓旭,尚兆丰,李楠.石油化工工程中工艺管道安装施工的问题与对策[J].山东化工,2023,52(10):174-176.

[5]郝秦生,刘静越.石油化工工程中工艺管道安装施工分析[J].化工管理,2018(20):107-107.

作者简介:陈崇(1988.06—),男,河南西平人,研究生学历,毕业院校:英国考文垂大学,职称:工程师准备评审高级工程师,研究方向:石油化工。李晓鹏(1987.07—),男,汉族,本科,毕业院校:南京工业大学,专业:工程管理。