

气体灭火系统施工中管道密封性的关键控制要点

文 / 路 跃 安徽水利嘉和机电设备安装有限公司

摘要：气体灭火系统作为高等级防火场所的重要保障，其管道密封性的优劣会直接影响火灾应急效果。本研究围绕气体灭火系统在施工阶段的关键环节，探讨管材与连接部件的选择、接口密封垫圈与法兰扭矩控制，以及在线检测与施工质量管控等要素，力求在复杂工况下保持稳定的密封水平。通过对现行规范与技术文献的对比分析，总结高压与常压管道在气体输送与释放时易产生渗漏的根本原因，并提出针对性预防与施工流程优化策略。本研究强调在施工前开展细致的压力模拟与材质筛选，并在安装与调试过程中从螺纹、法兰和焊缝多维度强化密封，最终实现灭火剂在释放时的高效利用，减少泄漏与二次损害风险，也为后续系统运行与维护奠定牢固基础。

关键词：气体灭火；管道密封；施工要点；法兰扭矩；高压管材

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.123

引言

气体灭火系统常用于数据机房、电池储能舱等不宜用水灭火的重要场所，气体灭火系统防护区气密性直接影响灭火成功率。近年来，防护区气密性问题导致浸没时间不足，致使火灾复燃的案例时有发生。^[1]气体灭火系统依靠快速喷释的灭火剂来抑制火势。在高层建筑、精密仪器机房及图书馆等场所，对系统的密封要求更为严格。一旦施工阶段存在材料选型或接口安装的疏漏，极易在高压释放时产生泄露问题，导致灭火剂无法在最短时间内充满保护区，也可能带来安全风险。本文将深入分析气体灭火系统施工中管道密封性的关键控制要点，并结合技术标准与实践经验，提出可行性施工流程，为后续系统运维与故障排查提供参考，助力提高气体灭火系统的整体安全水平。

一、材料选用与接口匹配

（一）高压管材的标准化选用

在气体灭火系统施工中，高压管材的选择是确保密封性能和整体系统安全的首要环节。管材的耐压等级、壁厚以及材料属性需要全面满足行业技术规范，不仅直接关系到管道能否在高压环境中长时间运行，还决定了系统面对突发压力波动时的抗冲击能力。例如，高碳钢或不锈钢材料因其具有优异的抗拉强度和耐腐蚀性，常被广泛应用于气体灭火管道中。管材在生产过程中需经过严格的物理性能检测，包括抗弯、抗剪和冲击韧性测试，以保证其在极端条件下的稳定性。施工前的材料核查也是关键环节，技术人员需通过壁厚测量仪、硬度测试设备对每根管材逐一检查，确保其规格与设计参数完全一致。对于较高层建筑或高压环境，可能还需选用经过特殊热处理的强化管材，以进一步提升其耐久性和抗变形能力。通过标准化选材流程，可为施工阶段的密封控制奠定坚实基础。

（二）管道对接的平整度与精度保障

管道对接是实现气体灭火系统密封性能的重要环节，

任何偏差或污染都会对整体密封效果产生重大影响。在对接前，需使用专用清洁设备对管道内外壁进行彻底清理，去除残留油污、灰尘和杂质，这不仅能够提高连接处的紧密性，还能防止异物在管道运行时对内部气流造成干扰。管道端面的平整度直接决定了接口匹配的精度。施工中应使用高精度切割工具对管道进行切割，并配备校准仪器对切割后的管口进行逐一检查，确保其截面光滑无毛刺。安装过程中，技术人员需通过夹具固定对接管段，以避免接口错位或变形导致局部应力集中，这种现象可能在系统运行中引发管道破裂或连接处松动。^[2]施工后应通过压差试验对接处的气密性进行验证，以确保连接点在高压条件下依然能够保持稳定的密封性能。高质量的对接工艺是保障管道密封性的重要基础。

（三）螺纹与法兰连接的密封优化

螺纹和法兰是气体灭火系统中常用的连接方式，其密封性能对系统运行的稳定性具有直接影响。在螺纹连接中，密封垫圈的选择需要综合考虑工作压力、温度以及气体介质的化学特性。采用柔性良好的橡胶垫圈或聚四氟乙烯（PTFE）垫圈能够显著提升接口的密封效果。此外，法兰连接需严格按照扭矩规范进行操作，过松的螺栓会导致密封失效，而过紧则可能损坏垫圈或引发法兰变形。施工过程中，分层紧固是确保螺栓受力均匀的关键步骤，通过交叉顺序拧紧可以避免单点受力过大，从而提升整体密封性能。技术人员还应通过水平仪和测量规对法兰面的平整度进行实时监控，发现异常情况需立即调整，以避免连接处出现倾斜或偏移。安装完成后通过气压测试验证螺纹和法兰的密封性，能够有效避免因潜在隐患导致的泄露问题。

二、密封垫圈与扭矩控制

（一）高温与腐蚀环境中的垫圈选择与优化

在高温或腐蚀性环境中，密封垫圈的选择需要充分考虑化学介质的侵蚀特性以及运行条件下的温度变化。垫圈材料的耐化学侵蚀能力是评估其使用寿命的关键指

标之一。复合垫圈因其由多种材料制成，具备较强的耐化学侵蚀性与高温稳定性，成为这些特殊环境中的优选材料。常用的复合垫圈包括由聚四氟乙烯（PTFE）和石墨材料复合而成的产品，这类垫圈不仅能够承受高达200摄氏度以上的温度，还能抵御酸性和碱性介质的侵蚀。在压力等级较高的系统中，垫圈的厚度需要依据具体工况进行调整，以便在高压条件下依然能够保持足够的回弹性。^[3]垫圈设计时需兼顾压缩比与硬度，确保其在受压状态下能够完全贴合法兰面，避免介质从间隙中渗透而造成密封失效。通过严格选择材料并优化厚度和结构设计，复合垫圈能够在苛刻环境中提供可靠的密封性能。

（二）扭矩工具的精确应用与分阶段拧紧策略

扭矩工具的精确应用在密封系统中占据重要地位。法兰螺栓的拧紧过程需要依赖扭矩扳手完成，以确保每个螺栓受力均匀，避免局部区域因受力不均而导致密封垫圈变形或法兰面翘曲。扭矩工具的校准是施工质量的基础，使用过程中应按照使用频率对工具进行定期校验，以避免因扭矩偏差引发的安装隐患。在螺栓拧紧过程中，分阶段紧固策略被广泛采用，通过分层次、交叉顺序逐步加力，能够减少法兰受力中的不均问题。这种方式可以使密封垫圈在逐步受压的情况下均匀变形，最大化其贴合效果。同时，拧紧过程需根据施工手册明确的扭矩值执行，过紧会导致垫圈压缩过度，降低其弹性恢复能力，而过松则会使密封间隙增加，导致泄漏风险。

（三）法兰面的平整度监测与安装偏差修正

法兰面的平整度直接影响到密封垫圈的贴合效果与系统的气密性。安装过程中，法兰表面如果存在凹凸不平或倾斜现象，会导致密封垫圈在受压后局部压力集中，从而增加泄漏风险。施工中需借助精密测量工具对法兰面的平整度进行实时监测，例如使用平面度仪或激光水平仪进行快速检测，可以及时发现潜在问题。在安装偏差较大的情况下，技术人员应利用专业修整工具对法兰面进行加工修正，以确保其达到设计要求的光滑度和平整度。在螺栓拧紧后，倾斜应力可能导致垫圈部分区域无法有效受力，此时需要通过分组重新紧固和校正法兰间隙来缓解应力分布不均的问题。对于特殊形状或尺寸较大的法兰，还可以采用垫圈局部填充技术，使用高弹性材料对不平整区域进行补偿，进一步提升系统的密封效果。

三、焊接与防渗处理

（一）高压焊接工艺与质量管理

在气体灭火系统的施工过程中，高压管道的焊接质量对密封性能具有决定性影响。氩弧焊和等离子焊接工艺是常用的高精度焊接技术，其核心优势在于能够在高

压条件下形成致密的焊缝结构，避免因焊接缺陷引发的泄漏问题。氩弧焊使用惰性气体保护电弧区域，有效减少氧化和杂质混入，同时提供优异的熔深和焊缝均匀性。而等离子焊接则通过高能量密度的等离子束实现焊接区域的快速加热与冷却，特别适合处理厚壁高压管材。^[4]焊工的技术水平是决定焊接质量的关键因素，操作人员需具备相关专业资质，并熟悉管材的物理特性和焊接工艺要求。

（二）焊后缺陷检测与强度提升

焊接完成后，及时进行检测是确保焊缝强度和密封性能的重要步骤。渗透检测是一种高效的非破坏性检测方法，通过在焊缝表面涂覆渗透液，并利用显影剂显现潜在裂纹或气孔的位置，从而实现对微小缺陷的精准识别。这一方法操作简单且对金属表面无损伤，广泛应用于焊后质量控制。对于高压管道，X射线检测能够提供更高的精度和全面性，通过射线穿透焊缝并记录其内部结构，可以发现深层次的焊接缺陷，如夹渣和未熔合问题。检测发现的缺陷需及时通过补焊或返修处理，补焊时需特别关注焊接热影响区的再加热问题，以防材料性能退化。优化焊接热输入参数，可以有效提升焊缝的抗冲击能力，减少因流体高速冲击或温度剧变造成的强度损失。

（三）防渗涂层的应用与维护

防渗涂层是气体灭火系统中不可忽视的保护屏障，其主要功能在于防止管道表面受到外部环境腐蚀以及介质渗透的破坏。涂层材料需要具备耐腐蚀、耐高温和抗老化性能，以适应长期运行中的复杂环境条件。环氧树脂涂层因其优异的附着力和化学稳定性，成为常用的防渗涂层选择。施工过程中，应确保涂层的厚度和均匀性符合设计要求，特别是在焊缝和管道连接处需增加涂层厚度，以弥补这些区域潜在的应力集中问题。后期维护是涂层性能稳定的保障，经常检修管道易受振动部位，通过超声波检测或涂层厚度仪发现可能存在的裂纹点或剥离问题。^[5]发现损伤需立即进行修补，使用相同材料进行局部补涂或重新覆盖，防止介质向周边扩散引发二次损害。通过合理选择涂层材料与实施精细化的维护管理，可以延长管道的使用寿命，并有效降低系统的整体运行风险。

四、施工检测与运行维护

（一）全系统充压测试与节点验收

施工完成后的充压测试是验证气体灭火系统密封性与可靠性的必要环节。通过模拟高压条件，将灭火剂或惰性气体充入管路系统，可以检测管道在工作压力下是否存在暗漏或节点松动问题。另外，需要使用高精度压力表和流量计对系统运行参数进行实时监测，以确保压力维持在设定范围内且流量平稳。充压测试的过程需由

多方监理共同参与,逐一检查管路各节点的密封性能(如图1气体灭火系统冲压测试设备图)。技术人员应对法兰、螺纹和焊缝等关键部位进行重点监测,特别是在高压释放的情况下,这些区域往往是最容易出现泄漏的薄弱点。^[6]对于发现的隐患,例如螺栓未拧紧或密封垫圈偏移,应立即进行修复,并在修复后重新测试以确保问题彻底解决。验收过程中,每个节点的测试数据都需详细记录,形成完整的施工档案,为后续维护提供依据。



图1 气体灭火系统冲压测试器械图

(二) 在线实时监控与异常处理

实时监控技术是通过在管道关键部位安装压力传感器和流量计,可以全天候追踪系统的运行状态。这些传感设备能够捕捉到管道内部压力、流速的细微波动,并将数据传输到中央控制系统进行分析。当检测到异常波动,例如压力突然下降或流量剧增,控制系统会自动触发报警,并通过切断主阀门来避免更大范围的泄漏。实时监控的优势在于能够将问题限制在最初阶段,从而避免因隐患扩散导致的系统瘫痪或灭火剂的大量浪费。在异常处理过程中,技术人员需迅速对问题区域进行排查,重点检查管道接口的稳固性和密封垫圈的状态,必要时进行局部拆卸和更换。通过将传感技术与人工巡检相结合,可以实现系统运行状态的全方位管理。智能化的监控手段不仅提高了运行维护的效率,也为紧急情况下的快速反应提供了强有力的技术支持。

(三) 定期维护与应急预案的协同实施

系统运行过程中,管道衔接处的密封垫圈因长时间受压和环境变化,可能会出现老化或失效的情况。定期检测密封垫圈的状态是后期维护的重点工作之一。检测方式可以包括物理观察与机械测试,结合红外热成像仪和压差检测设备,能够快速识别老化区域和潜在泄漏点。对于发现的老化垫圈,应及时更换,并重新对相关部位进行密封测试,以确保修复后系统的密封性能符合设计标准。协同安全部门制定应急预案是维护工作的延伸内

容,应急预案需涵盖事故响应流程、责任分工以及所需设备清单,以保证在突发泄漏或火灾时能够快速组织应对。^[7]系统档案化管理是实现精细维护的重要工具,将每次检测和维修的结果记录在案,不仅便于历史问题追溯,还能为未来的系统升级或改造提供数据支持。通过定期检测和完善应急机制,可以确保气体灭火系统在长时间运行后依然具备优良的密封性能和可靠性,为建筑安全提供持续保障。

结语

气体灭火系统施工中管道密封性的优劣,决定了灭火剂在火灾时能否发挥预期的抑制作用,也直接关系到长时间使用的可靠性。针对高压环境下的管道选择与接口匹配,需要在前期认真核对材料规格,从壁厚、耐压等级到法兰扭矩和垫圈材质都应遵循行业标准与现场条件。焊接与防渗环节,更需专业工艺与精准检测来保障焊缝质量,杜绝渗漏隐患。扭矩控制的精细化操作可避免局部过度挤压或受力不均,从根本上稳固管道连接处的密封性能。施工完成后的充压测试和在线监控手段,则能及时发现微小泄露点并快速修复,减少灭火剂损耗,为后期使用奠定牢靠基础。随着气体灭火系统的普及与技术更新,密封性不仅影响事故发生时的应急能力,也关乎建设单位的经济投入与技术管理效率。通过在设计与施工两个层面将选材匹配、接口精度、检测手段和运行维护协同推进,本研究所倡导的密封性控制方法能在复杂工况下有效降低泄露风险,保障灭火效果,助力消防安全提升至更高水平。后续在智能监测与新型管材领域的探索,也将为气体灭火系统提供更多技术创新与安全冗余,为工业与民用消防防护做出更大贡献。

参考文献

- [1] 张文彬, 吴琼, 宋文琦, 等. 气体灭火系统防护区气密性测试方法分析及试验研究 [J]. 消防科学与技术, 2023, 42(08): 1098-1102.
- [2] 刘常利. 气体灭火系统消防监督检查技术要点探析 [J]. 今日消防, 2023, 8(11): 75-78.
- [3] 朱劲武, 周铁祥. 浅谈气体灭火系统灭火剂输送管道的安装与气压强度试验 [J]. 消防技术与产品信息, 2014, (11): 50-56.
- [4] 雷海英, 丁毅. 气体灭火系统密封性测试技术 [J]. 消防技术与产品信息, 2002, (03): 31-33.
- [5] 徐方. 气体灭火系统应用情况调查与分析 [J]. 中国人民警察大学学报, 2023, 39(12): 63-67.
- [6] 刘建民. 气体灭火系统改造研究 [J]. 设备管理与维修, 2022, (14): 92-94.
- [7] 高源. 气体灭火系统消防监督检查技术关键点分析 [J]. 今日消防, 2021, 6(06): 139-140.