

天然气场站阀门内漏检测技术研究

王川洪（中石油西南油气田分公司重庆气矿工艺研究所，重庆 401120）

张斌（天然气净化总厂大竹分厂，四川 大竹 635100）

摘要：天然气场站是能源输送与调度的核心枢纽，阀门作为其关键控制元件，一旦发生内漏，将直接威胁场站安全运行、造成经济损失并干扰工艺稳定性。本文围绕天然气场站阀门内漏检测技术展开研究，系统梳理了各主流技术的原理与特点，对比分析了不同技术在检测灵敏度、适用场合方面的差异，结合天然气场站实际工况探讨了各类技术的适用场景与应用局限性。

关键词：天然气场站；阀门内漏；检测技术；方法策略

中图分类号：TE973 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 031-0081-03

Research on Valve Internal Leakage Detection Technology in Natural Gas Field Stations

Wang Chuanhong (Chongqing Gas Mining Technology Research Institute of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chongqing 401120, China)

Zhang Bin (Dazhu Branch of Natural Gas Purification Plant, Dazhu Sichuan 635100, China)

Abstract: Natural gas stations are the core hubs for energy transmission and dispatch, and valves are their key control components. Once internal leakage occurs, it will directly threaten the safe operation of the station, cause economic losses, and interfere with process stability. This article focuses on the research of valve leakage detection technology in natural gas field stations. It systematically summarizes the principles and characteristics of various mainstream technologies, compares and analyzes the differences in detection sensitivity and applicable scenarios of different technologies, and explores the applicable scenarios and limitations of various technologies based on the actual working conditions of natural gas field stations.

Keywords: Natural gas station; Valve internal leakage; Detection technology; Method strategy

阀门内漏不仅会导致天然气资源的直接浪费，还会增加场站输差成本，更严重的是，天然气作为易燃易爆气体，内漏气体若积聚达到爆炸极限，遇火源极易引发爆炸、火灾等安全事故，对场站人员生命安全与设备设施造成毁灭性威胁。因此，开展天然气场站阀门内漏检测技术研究是保障天然气场站安全稳定运行、降低经济损失的关键举措，具有重要的工程应用价值与行业发展意义。

1 天然气场站阀门内漏的原因

1.1 设计与制造缺陷

在天然气场站阀门的设计、制造中，部分缺陷往往会引发内漏问题。比如阀体和阀盖体上出现的砂眼、夹渣等铸造缺陷会削弱天然气场站阀门自身的强度以及密封性，在天然气的压力作用下就会发生泄漏；密封面材料的选用不当同样是需要重视的问题，若是密封面材料与天然气介质不匹配或材料硬度、耐磨损等性能达不到要求，那么在长时间的使用期间，密封面就会被磨损、腐蚀，使密封性能大打折扣，从而引发内漏^[1]。

1.2 腐蚀与磨损

天然气中含有的硫化氢、二氧化碳等腐蚀性成分会对天然气场站阀门的金属部件造成腐蚀。管内气体

的流动会携带部分固体颗粒，如铁锈、砂粒等，其在高速流动时会对天然气场站阀门的密封面带来明显冲击和磨损，使密封面不断产生划痕、凹坑等损伤，密封性能进一步下降。阀门在多次的开关操作中，密封面同样会由于摩擦而磨损，当磨损到一定程度时就会发生内漏。

1.3 操作与维护不当

人员在操作天然气场站的阀门时，若是没有遵循操作规程，如开关阀门速度过快、用力过猛等都会对阀门带来损坏、引发内漏。没有按规定对阀门展开按时检查和维护工作同样是引起内漏的关键因素，检查能够第一时间发现天然气场站阀门出现的问题，如密封面的磨损、阀门部件的松动等并采取手段修复。如果没有马上发现并解决问题，那么就会使问题变得越来越严重，从而引发内漏。

2 天然气场站阀门内漏检测技术

2.1 超声波检测技术

①技术特点。超声波检测技术灵敏度非常高，可以检测到极微小的泄漏，即便是微小的缝隙或孔径为毫米级的泄漏点也可以被捕捉。其非接触式检测方式也极为突出，不用和被检测阀门进行接触，防止对阀

门运行造成干扰，也能够减少检测期间对设备带来损坏的几率，可在阀门运行时检测，达到实时监测的目的。该技术还能够在恶劣条件下工作，在天然气场站常见的高温高压、高噪声等环境中，超声波检测技术仍旧可以稳定运行并检测出阀门内漏情况，不会被环境因素干扰太多^[2]。②检测设备。在天然气场站中，常用的超声波检测设备如防爆型多功能超声波检测仪N4200EX，专为工业现场的泄漏检测、电气局部放电检测等应用而设计。该设备具有本安防爆设计，适合有着易燃易爆气体的危险环境中，可以屏蔽电磁干扰和非泄漏/放电噪音，在环境嘈杂和复杂的现场定位泄漏，其检测频率范围往往在20kHz~100kHz之间，可以覆盖绝大多数泄漏产生的超声波信号频率。灵敏度极其高，如当泄漏介质为空气且压力在0.006MPa时，可以贴近检测到0.05mm直径小孔的泄漏，保证即使是微小的内漏也可以被第一时间捕捉到^[3]。

2.2 声学成像检测技术

以北控电力声学激光多维安全监测系统BK-SYSTEM300EX-D为例，该系统集成了声学成像技术以及激光检测技术等一系列现代化的技术方法，安全监测功能十分突出且优秀。在声学成像方面采用了麦克风阵列，可以捕捉阀门内漏产生的声音信号并应用算法展开处理，对泄漏源给予精确定位。而且该系统还拥有高清摄像头，可以把声像图与具体场景之间实时融合显示，为操作人员带来直观的监测画面。除此之外，该系统还拥有激光检测功能，能够对天然气场站阀门温度、位移等相关参数进行监测，实现对阀门运行状态的全方位监测，为天然气场站的安全运行带来强大的技术支持。

2.3 激光甲烷扫描检测技术

①甲烷检测原理。激光甲烷扫描检测技术是基于激光光谱技术来检测甲烷浓度，判断天然气场站阀门有没有出现内漏。甲烷分子具有特定的吸收光谱，在特定波长的激光照射下，甲烷分子会吸收相应波长的激光能量。激光甲烷扫描检测仪通过发射特定波长的激光束，当激光束穿过含有甲烷气体的区域时，如果存在甲烷泄漏，激光的能量就会被甲烷分子吸收，导致激光强度发生变化。检测仪通过精确测量激光强度的变化并根据朗伯-比尔定律，能够计算出甲烷气体的浓度。设定科学的浓度阈值，当检测到的甲烷浓度大于阈值时就能够快速判断阀门出现内漏。②检测范围与精度。激光甲烷扫描检测技术的整体检测范围较大，通常能够在50~200m范围内对甲烷展开检测，符合天然气场站大范围检测需求。在检测精度上，该技术的常规检测精度能够达ppm级别，可以检测到百万分之一浓度的甲烷气体，部分采

用了现代化技术和高精密光学系统的检测仪，精度能够达到亚ppm级别，如0.1ppm满足对甲烷浓度检测要求极高的场合，为觉察到微小的天然气场站阀门内漏带来了高精度的检测技术。

3 天然气场站阀门内漏检测技术应用现状

3.1 传统检测方法的局限性

3.1.1 人工巡检的弊端

在天然气场站运行期间，人工巡检是传统检测阀门内漏的手段，这种方法要求工作人员按时去往不同的阀门位置，然后依靠自身感官以及工具展开检查。但是这种方法的缺点也比较多，天然气场站规模庞大且阀门数量无数，分散在各个地方，工作人员往往要消耗无数时间、精力去挨个检查天然气场站阀门，导致人工巡检的工作量极大。根据统计数据可以得知，一个中等规模的天然气场站的阀门数量能够达数百个甚至上千个，工作人员进行一次全面巡检要耗费数天时间。人工巡检的效率较低，由于工作人员的检测速度有限，难以对阀门进行快速、全面的检测，无法及时发现潜在的内漏问题。

3.1.2 催化式与红外点式检测器的不足

催化式检测器借助催化燃烧原理来检测可燃气体浓度，在检测到可燃气体时催化剂会加快气体燃烧、产生热量，凭借检测热量的变化来掌握气体浓度。红外点式检测器则是利用红外吸收原理，不同气体对特定波长的红外线具有不同的吸收特性，通过检测红外线的吸收程度来确定气体浓度。

在具体应用期间，这两种检测器有着各种各样的问题。其中，催化式检测器的传感器会被中毒、老化等原因所干扰，致使检测精度大打折扣，甚至发生故障。当检测环境中对催化剂存在抑制效果的物质时，就会使催化剂中毒而不能继续工作。催化式检测器在检测高浓度可燃气体时会有一定几率发生“熄灭”情况，使检测结果存在一定偏差。而红外点式检测器对检测环境有着较为严格的要求，环境中出现灰尘、水汽等杂质时就会制约着红外线的传播和吸收，检测精度明显降低。这两种检测器都属于点式检测，只可以检测检测器附近局部区域的气体浓度，对于距离检测器较远的阀门内漏情况，容易发生漏报。当阀门内漏点与检测器之间存在障碍物时，也会影响检测效果，导致误报和漏报频发，无法准确及时地发现阀门内漏问题^[4]。

3.2 新型检测技术的应用情况

3.2.1 超声波传感技术的推广

在天然气场站中，超声波传感技术展现出了非常明显的应用效果。某大型天然气场站采用了基于超声波传感技术的阀门内漏在线监测系统，可以持续监测

场站中数百个阀门的运行状态。长时间对运行数据展开统计分析之后，该系统检测出了数十起阀门内漏事件，第一时间发现并解决了隐藏的安全问题，从根本上防止由于阀门内漏造成安全事故以及损失。不仅如此，该系统还可以对阀门内漏的发展趋势展开跟踪监测，为场站设备维护、管理带来了良好的依据。据统计，在应用超声波传感技术后，该天然气场站因阀门内漏导致的天然气泄漏量大幅减少，每年可节约天然气成本数百万元，而且也进一步增强了天然气场站的运行安全性。

3.2.2 声学激光多维监测系统的应用案例

声学激光多维监测系统作为一种现代化检测手段，同样在天然气场站中得到了良好应用。以北控电力声学激光多维安全监测系统 BK-SYSTEM300EX-D 为例，该系统集成了声学成像技术和激光甲烷扫描技术等技术，可以对天然气场站阀门内漏给予全面监测。

在某天然气场站的应用中，该系统发挥了重要作用。一次，场站中的一个关键阀门出现了轻微内漏，系统的声学成像部分利用麦克风阵列波束形成技术，迅速捕捉到了内漏产生的声音信号，并通过与高清摄像头实时画面的声像融合，精确地定位到了泄漏源的位置。与此同时，激光甲烷扫描技术也检测到了甲烷浓度的异常变化，进一步确认了阀门内漏的情况。场站工作人员根据系统提供的准确信息，及时对阀门进行了维修，避免了内漏问题的进一步恶化。在后续的运行过程中，该系统持续对该阀门进行监测，确保了阀门的正常运行。通过应用声学激光多维监测系统，该天然气场站的泄漏检测效率和准确性得到了显著提升，有效保障了场站的安全稳定运行。

4 天然气场站阀门内漏检测技术对比分析

4.1 检测灵敏度对比

超声波检测技术对微小泄漏极为敏感，能够检测到孔径在毫米级甚至更微小的泄漏点，其检测灵敏度极高，如防爆型多功能超声波检测仪 N4200EX 在泄漏介质为空气，压力在 0.006MPa 时，能贴近检测到 0.05mm 直径小孔的泄漏，能够捕捉到极其微弱的超声波信号，哪怕是极其微小的内漏也难以逃脱其“侦测”。声学成像检测技术同样具备较高的灵敏度，通过高灵敏度的麦克风阵列，能够快速准确地捕捉阀门内漏产生的声音信号，实现对微小泄漏源的定位，对一些间歇性的微小泄漏也能有效检测。激光甲烷扫描检测技术的检测精度可达 ppm 级别，部分先进设备甚至能达到亚 ppm 级别，如 0.1ppm，能够精确检测到极低浓度的甲烷泄漏，对于微小的阀门内漏，只要泄漏的甲烷浓度达到检测阈值，就能被及时检测到。声发射检测技术通过对阀门内漏产生的声发射信号进行

分析，能够检测到阀门内部微观结构的变化，对微小泄漏的检测灵敏度也较高，通过对声发射信号的特征提取和分析，能够准确判断阀门是否存在微小内漏以及内漏的发展趋势^[5]。

4.2 不同工况条件下的选择

在高压工况下，天然气场站阀门承受的压力较大，内漏风险同样会上升，这个时候超声波检测技术以及声学成像检测技术会更加适用。其中，超声波检测技术可以在高压环境下工作，准确检测阀门内漏；声学成像检测技术则能够对声音信号做出分析并且定位泄漏源，为高压阀门的维护、修复带来正确的信息。在高温工况下，天然气场站阀门的材料性能会出现变化，使得密封性能降低、发生内漏，而激光甲烷扫描检测技术的耐高温性能比较优秀，可以在高温下工作，第一时间检测天然气场站阀门内漏问题，其非接触式检测手段也避免了由于接触高温阀门而产生的安全风险。除此之外，天然气中存在杂质会对天然气场站阀门密封面带来磨损，导致内漏，声发射检测技术能够通过检测阀门内漏产生的声发射信号，马上看到杂质对阀门的影响，判断阀门的磨损程度还有内漏情况，为阀门维护、更换带来依据。在不一样的工况条件下，要按照相对应的检测技术自身的特点、优势，选择最佳检测技术，以确保阀门内漏检测的准确性，保障天然气场站实现安全运行。

综上所述，在后续发展背景下，通过大数据与神经网络技术的融合应用、多检测技术一体化集成，以及行业标准的完善，将进一步提升天然气场站阀门内漏检测的可靠性，为天然气场站安全、经济运行带来强有力的技术支撑。

参考文献：

- [1] 李美瑜,成思搏,谌枭,等.基于声发射参数和支持向量机的天然气站场阀门内漏诊断[J].管道技术与设备,2024(05):33-36+52.
- [2] 王放,李正峰,姜波,等.天然气管道机械阀门内漏流场声学特性研究[J].化工机械,2024,51(03):348-353+469.
- [3] 刘海松.基于声发射的天然气管道阀门内漏检测技术[J].煤气与热力,2023,43(02):43-46.
- [4] 杨云鹏,程旭明,乔炜.浅析天然气管道球阀内漏与对策[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(12):39-40.
- [5] 王新勇.长输天然气管道大口径球阀内漏故障及检测方法分析[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(13):58-59.

作者简介：

王川洪(1980-),男,汉族,重庆人,职位:首席技师,研究方向:天然气开发及工艺设备。