

球阀在石油化工管道中的应用及故障诊断技术研究

郑嗣堡 郑秀鑫

中驰阀业集团有限公司 浙江 温州 325025

【摘要】：石油化工行业作为国家关键产业，其管道系统的安全稳定对行业发展至关重要，球阀作为管道中介质控制的核心设备，在该领域应用广泛。本文围绕球阀在石油化工管道中的实际应用与故障诊断展开研究，梳理了球阀的基本特性及在行业中的适配场景，分析了其在复杂工况下常见故障的主要成因，对比了传统与现代故障诊断技术的应用差异，重点探讨了智能化诊断技术的应用价值，展望了其技术发展方向。研究成果可为石油化工行业提升球阀运行安全性、降低故障风险提供参考，助力行业保障生产稳定。

【关键词】：球阀；石油化工管道；故障诊断；传感器监测；泄漏故障

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.070

1 引言

石油化工行业作为国民经济的重要支柱产业，其生产过程涉及大量的流体输送，管道系统则是确保这些流体安全、稳定传输的关键基础设施。在石油化工管道中，各类阀门扮演着至关重要的角色，其中球阀以其独特的优势被广泛应用。

球阀的正常运行直接关系到石油化工管道系统的安全性和生产效率。一旦球阀出现故障，可能引发管道泄漏、堵塞、压力异常等严重问题，不仅会导致生产中断，造成巨大的经济损失，还可能引发火灾、爆炸等安全事故，对人员生命和环境构成严重威胁。

研究球阀在石油化工管道中的应用及故障诊断技术具有重大的实际价值。深入研究球阀的应用，可以进一步优化球阀的选型、安装和维护方案，提高球阀在石油化工管道中的运行可靠性和效率。通过对不同工况下球阀性能的研究，可以为球阀的合理选型提供科学依据，避免因选型不当导致的阀门过早损坏和性能下降。而开展球阀故障诊断技术的研究，则可以实现对球阀运行状态的实时监测和故障的早期预警，及时发现并处理球阀存在的潜在问题，避免故障的发生和扩大，保障石油化工管道系统的安全稳定运行。

2 球阀的工作原理

球阀的核心部件是一个带有圆形通孔的球体，球体通过阀杆与外部的操作机构相连。其工作原理基于球体绕阀杆的轴线进行90度旋转，以此实现阀门的开启和关闭，进而控制流体的流通。当球阀处于开启状态时，球体的通孔与管道的轴线对齐，介质能够无阻碍地通过球体的通孔，实现顺畅的流通；当需要关闭阀门时，通过操作阀杆使球体旋转90度，球体的实体部分将管道完全截断，阻止介质的流动。

3 球阀在石油化工管道中的应用

3.1 球阀在不同工艺环节的应用

（1）原油输送

在原油输送管道中，球阀起着至关重要的作用，其应用对于保障原油安全、高效输送意义重大。原油通常具有高粘度、含杂质等特性，且输送过程往往面临长距离、大流量以及复杂地理环境等挑战。球阀凭借其独特的结构和性能优势，能够很好地适应这些恶劣工况。

在长距离原油输送管道中，球阀主要用于控制原油的流量和流向，实现原油的分段输送和管道切换。在不同的输送区间，通过控制球阀的开启和关闭，可以灵活地调整原油的输送路径，确保原油能够顺利地由油田输送到炼油厂或其他储存设施。

（2）石油炼制

在石油炼制过程中，球阀广泛应用于各个不同的工艺环节，发挥着关键作用。石油炼制是一个复杂的过程，包括蒸馏、催化裂化、加氢精制、重整等多个工艺，每个工艺环节对阀门的性能要求都不尽相同。

在蒸馏塔中，球阀用于控制塔顶和塔底产品的采出流量，以及塔内各塔板之间的回流液流量。在催化裂化装置中，球阀用于控制催化剂的循环量和反应进料的流量。催化裂化过程是在高温、高压和催化剂的作用下，将重质油转化为轻质油的过程，对流量控制的精度要求极高。V型球阀的V型切口能够实现介质流量的精确调节，确保反应进料的比例准确，从而提高催化裂化的效率和产品质量。

加氢精制是提高油品质量的重要工艺，通过加氢反应去除油品中的硫、氮、氧等杂质。在加氢精制装置中，球阀用于控制氢气和油品的流量，以及反应产物的排出。在重整装置中，球阀用于控制重整原料的进料和重整产物的出料，以及循环氢气的流量。重整过程需要在高温、高压和催化剂的作用下进行，对球阀的耐高温、高压性能和抗催化剂中毒性能要求较高。

（3）化工原料输送

在化工原料输送管道中，球阀同样发挥着不可或缺的作用。化工原料种类繁多，性质各异，包括易燃易爆、有毒有害、

强腐蚀性等，这对球阀的选型和应用提出了严格的要求。

当输送易燃易爆的化工原料，如乙烯、丙烯等时，球阀的首要任务是确保良好的密封性能，防止泄漏引发火灾或爆炸事故。采用金属硬密封结构的球阀，配合可靠的密封检测和维护措施，能够有效保证在输送易燃易爆介质时的安全性。对于有毒有害的化工原料，如氯气、光气等，除了密封性能要求外，还需要考虑球阀的耐腐蚀性能和泄漏检测与报警功能。

在输送强腐蚀性化工原料，如硫酸、盐酸等时，衬氟球阀是首选的阀门类型。其阀体内壁和球体表面的氟塑料衬里，能够形成一层坚固的防护屏障，有效隔离腐蚀性介质与金属基体的接触，从而保证阀门的正常运行。

4 球阀在石油化工管道应用中的常见故障

4.1 泄漏故障

(1) 密封面泄漏

密封面泄漏是球阀在石油化工管道应用中较为常见的故障之一，其原因是多方面的。磨损是导致密封面泄漏的主要原因之一，在石油化工管道中，介质往往含有颗粒杂质、砂粒等，这些物质在高速流动过程中会对球阀的密封面产生冲刷作用，久而久之，密封面就会出现磨损，导致密封性能下降。化学腐蚀也是密封面泄漏的重要原因，石油化工介质大多具有腐蚀性，如硫酸、盐酸等强酸，以及含有硫化氢、氯离子等腐蚀性成分的介质，它们会与密封面材料发生化学反应，使密封面材料的结构和性能遭到破坏，进而导致泄漏。

为了预防密封面泄漏，在球阀的选型阶段，应根据介质的性质、温度、压力等工况条件，选择合适的密封面材料和密封结构。对于含有颗粒杂质的介质，可选用具有耐磨性能的硬质合金密封面；对于强腐蚀性介质，应选择耐腐蚀的密封材料，如衬氟密封面。

(2) 阀杆泄漏

阀杆泄漏通常是由于填料磨损或密封不严造成的。填料是阀杆与阀体之间的密封元件，长期使用后，填料会因受到阀杆的摩擦、介质的侵蚀以及温度、压力的变化等因素的影响而逐渐磨损，失去原有的密封性能。当阀门频繁开关时，阀杆与填料之间的摩擦加剧，会加速填料的磨损，导致泄漏。

解决阀杆泄漏问题，可以通过更换磨损的填料来恢复密封性能。在更换填料时，要选择合适的填料材料，根据介质的性质、温度、压力等条件，选择具有良好耐腐蚀性、耐磨性和耐高温性能的填料，如石墨填料、聚四氟乙烯（PTFE）填料等。

(3) 阀体泄漏

阀体泄漏主要是由铸造缺陷和裂纹引起的。在阀体的铸造过程中，如果工艺控制不当，可能会出现砂眼、气孔、缩孔等铸造缺陷，这些缺陷会削弱阀体的强度，在介质压力的作用下，

容易引发泄漏。应对阀体泄漏，对于因铸造缺陷导致的泄漏，如果缺陷较小，可以采用焊接的方法进行修复。

4.2 操作故障

(1) 阀门卡死

阀门卡死会严重影响石油化工管道系统的正常运行，其原因较为复杂。异物堵塞是导致阀门卡死的常见原因之一，在石油化工管道中，管道内可能存在焊渣、铁锈、泥沙等杂质，这些异物在介质流动过程中会进入球阀内部，卡在球体与阀座之间、阀杆与填料之间等部位，阻碍阀门的正常转动。

为了解决阀门卡死问题，首先应进行检查和清理，确定卡死的原因是异物堵塞后，需要拆卸阀门，将内部的异物清理干净。在清理过程中，要注意保护阀门的密封面和其他关键部件，避免造成二次损伤。

(2) 开关困难

开关困难也是球阀在石油化工管道应用中常见的操作故障，其原因主要包括扭矩过大和传动部件故障。扭矩过大可能是由于阀门选型不当，所选阀门的额定扭矩小于实际工作所需的扭矩，导致在开关阀门时需要施加较大的力。在一些高压、大口径的管道中，如果选择的球阀规格过小，就可能出现开关困难的情况。

为了改善开关性能，可以根据实际工况条件，重新核算阀门所需的扭矩，选择合适规格的球阀，确保阀门的额定扭矩大于实际工作扭矩。对于因工况条件导致扭矩过大的情况，可以采取相应的措施进行调整。

5 球阀故障诊断技术

5.1 传统故障诊断方法

(1) 人工巡检与经验判断

人工巡检是球阀传统故障诊断基础，主要靠巡检人员感官和简单工具全面检查。巡检人员定期沿石油化工管道系统，对各位球阀做外观检查，看有无锈蚀、变形、泄漏等迹象。

经验判断在故障诊断中很重要，基于巡检人员长期实践经验，能快速初步判断常见故障。如密封面磨损致泄漏，经验丰富者观察泄漏位置、量和介质特性，大致判断磨损程度和原因；判断阀门卡死故障，巡检人员凭经验操作阀门，感受阻力、观察运动状态，初步判断是异物堵塞或阀杆变形等原因。

但经验判断有局限，过于依赖个人经验和技能，不同人员判断结果有差异，复杂故障难凭经验准确判断根本原因。

(2) 简单仪器检测

在球阀故障检测中，简单仪器如压力表、温度计等发挥着重要作用。压力表可用于检测球阀前后的压力变化，以此判断阀门是否存在堵塞、泄漏等故障。当球阀正常工作时，其前后

的压力应保持在一定的合理范围内,且压力波动较小。若发现球阀前的压力明显升高,而后的压力降低,且压力差值超出正常范围,这很可能表明球阀内部出现了堵塞,导致介质流通不畅。

温度计则用于测量球阀的温度,从而判断其工作状态是否正常。正常运行的球阀,其温度应处于合理的工作温度范围内。若球阀的温度过高,可能是由于阀门内部部件摩擦加剧、介质节流产生热量等原因导致。

简单仪器检测方法具有操作简便、成本较低的优点,适用于对球阀进行初步的故障排查和日常的运行监测。这种检测方法的精度相对较低,只能提供一些基本的参数信息,对于一些复杂的故障,如阀门内部的微小裂纹、密封面的微观磨损等,简单仪器检测往往难以准确检测和判断。

5.2 现代故障诊断技术

(1) 基于传感器技术的诊断方法

压力传感器用于球阀故障诊断,实时监测其前后压力变化。它基于压力敏感元件,将压力信号转为电信号输出。在石油化工管道,其安装在球阀上下游,精确测压并传数据给控制系统。

温度传感器测球阀温度,判断工作状态。常见的热电偶、热电阻等,能将温度信号转为电信号。运行中,它实时监测并传数据给监控系统。正常时,球阀温度在设计范围波动,若过高,可能因内部部件摩擦、介质节流生热等。

振动传感器检测球阀振动信号,判断内部部件运行状况。正常时,球阀振动幅度小、频率稳定,若内部部件松动、磨损、卡滞等,振动信号会明显变化。

(2) 智能诊断技术

在球阀故障诊断中,神经网络通过学习球阀正常与故障状

态的大量数据建立故障诊断模型。它有显著优势,具备强大非线性映射能力,能处理复杂非线性故障数据,准确识别故障模式,通过学习分析复杂数据准确判断不同工况下的多种故障类型,提高诊断准确性。

专家系统是基于领域专家知识经验的智能诊断系统,将专家知识经验以规则形式存于知识库。在球阀故障诊断中,它收集整理专家经验知识,建立完善的故障诊断规则库,检测到运行数据异常时,依据知识库规则推理判断故障。

专家系统优势是能充分利用专家经验知识,对常见故障可快速准确判断。但它也有局限性,诊断能力依赖知识库知识的完整性和准确性,遇到新的复杂故障类型,若无相应规则,可能导致诊断失败或不准确。

6 结论

本研究探讨了球阀在石油化工管道中的应用及故障诊断技术。球阀因结构紧凑、开关迅速等优势,在石油化工各环节发挥关键作用。

在实际应用中,球阀面临多种故障。泄漏故障常见,有密封面、阀杆和阀体泄漏。密封面泄漏由磨损等因素引起,阀杆泄漏多因填料问题,阀体泄漏常由铸造缺陷导致。操作故障方面,阀门卡死和开关困难较突出,卡死可能因异物堵塞等,开关困难主要由扭矩过大等所致。

为诊断球阀故障,介绍了传统和现代方法。传统方法有人工巡检与经验判断、简单仪器检测。人工巡检靠感官和简单工具初步判断故障,但依赖个人经验;简单仪器检测操作简便、成本低,但精度有限。现代技术中,基于传感器技术的诊断方法利用压力、温度和振动传感器监测信号判断故障。智能诊断技术如神经网络和专家系统也有应用。神经网络通过学习样本数据建立模型,能准确识别故障;专家系统基于专家知识建立规则库,可快速诊断常见故障,但诊断能力依赖知识库。

参考文献:

- [1] 王金龙.浅谈石油化工管道安装问题与质量控制[J].建筑工程技术与设计,2016(18):1430.
- [2] 岳红,魏琳.新型结构陶瓷球阀及其在现代煤化工中的应用[J].陶瓷科学与艺术,2023,57(4):77.
- [3] 梁潇.球阀管路系统流场特性分析[D].陕西:长安大学,2022.
- [4] 高慧,侯晓辉.管道球阀密封原理及泄漏分析[J].油气储运,2006,25(3):57-60.