

液化天然气用上装式固定球球阀的开发与研究

王卫东

欧克邦阀门（江苏）有限公司，江苏 无锡 214000

摘 要： 为提升液化天然气的存储效能，降低运输成本，防范安全隐患。文章从多个维度出发，综合液化天然气物化属性，着眼上装式固定球球阀结构组织，运用系统思维，调整球阀开发思路，优化球阀研究方法，细化球阀安装要点，旨在提升结构性能，满足特种设备使用要求。

关 键 词： 液化天然气；上装式；固定球；球阀；开发研究

Development and Research of Overmounted Fixed Ball Ball Valve for Liquefied Natural Gas

Wang Weidong

Okebang Valve (Jiangsu) Co., LTD, Wuxi, Jiangsu 214000

Abstract： In order to improve the storage efficiency of liquefied natural gas, reduce transportation costs, and prevent potential safety risks. Starting from multiple dimensions, the article integrates the physical and chemical properties of liquefied natural gas, focuses on the structure organization of the mounted fixed ball valve, uses the system thinking, adjusts the development idea of ball valve, optimizes the research method of ball valve, refines the key points of ball valve installation, and aims to improve the structural performance and meet the requirements of special equipment.

Keywords： liquefied natural gas; mounted; fixed ball; ball valve; development research

前言

液化天然气作为我国能源体系重要组成，近些年来，相关企业投入大量资源，进行液化天然气接收站等配套设施建设，据不完全统计，2023国内建成液化天然气接收站28座，年接收能力达到1.16亿吨。着眼液化天然气物化属性，接收站在上装式固定球球阀等配套设施选装中，要加强设备开发与技术研发，通过性能迭代，发挥球阀功能优势，实现液化天然气存储的安全化、高效化。

一、液化天然气用上装式固定球球阀结构组成

（一）上装式固定球球阀结构组成

上装式固定球球阀结构主要涉及阀体、阀座、球体、阀杆、填料箱、操作机构。阀盖等模块，研发人员着眼液化天然气接收站功能定位，参照《石油、石化及相关工业用的钢制球阀》（GB/T 12237）、《阀门的检验和试验》（GB/T 26480）等行业标准，实现球阀结构合理布局，为功能发挥提供有力支持^[1]。具体来看，阀体作为球阀主体结构，为内部零件提供了充足空间，承受介质压力；阀座处于阀体与球体之间，有着较强的支撑和密封作用，阀座主要由耐磨、耐腐蚀材料组成，借助材料优势，提升球阀结构的密封性，降低泄露风险；球体作为球阀核心组成，对存储物有着较强的截断或导通作用；阀杆作为操作结构，在外力作用下，驱动球体转动，实现球阀开关动作；填料箱处于阀杆和阀体的中间区域，作为存储区域，能够调节传输速度，保证运输活

动的可控性。研发人员通过对上装式固定球球阀结构组成、功能定位的整体性把控，为后续球阀结构开发以及性能研究提供便利条件。

（二）上装式固定球球阀功能定位

上装式固定球球阀作为液化天然气接收站配套设施，凭借稳定的结构，提供可靠的截断功能，保证良好的调节性能，为液化天然气传输创设有利条件。具体来看，上装式固定球球阀实现了球体与阀座的联动，在关闭状态下，依托良好的密封性，能够阻断液化天然气传输，在开启状态下，借助高效的通过性，快速传输液化天然气到指定区域。上装式固定球球阀有着极强的液化天然气流量调节能力，接收站工作人员根据传输计划，旋转球阀，快速改变通孔与管道之间的相对位置，实现流通面积的灵活调整，增强液化天然气流量控制能力。上装式固定球球阀结构简单，在低温、高压等环境下，发生结构故障的概率较高，结构故障发生后，工作人员进行破损零部件的检修、更换，节约维修成

作者简介：王卫东（1969.8-），男，汉族，江苏无锡，现就职于：欧克邦阀门（江苏）有限公司，学历：MBA，研究方向：机械制造与自动化、阀门/流体机械。

本，压缩故障排除周期，保证液化天然气接收站运行的稳定性和连续性。

二、液化天然气用上装式固定球阀开发基本思路

（一）科学选择材料种类

液化天然气物理属性和化学属性较为特殊，液化天然气主要由甲烷组成，浓度占比达到95%，其温度保持在 -162°C 左右，作为液态物质，密度保持在 $420 - 470\text{kg/m}^3$ ，表现出较强的流动性^[9]。为保证天然气的稳定、高效传输，研发人员在球阀开发阶段，要做好材料类型的选择，旨在发挥材料优势，减少球阀腐蚀等情况发生。具体来看，研发人员通过分层、分类处置的方式，对阀体、球体以及密封材料分别采取差异化的选择标准，考虑到液化天然气的低温特性，研发人员在球阀材料选择方面，选用成本造价低、抗低温能力强的304L、316L等奥氏体不锈钢作为材料，上述材料有着韧性和强度。对于球阀的关键区域，可以选用低温合金等特殊材料，借助这种方式，提高球阀的耐久性，减少质量问题。为确保液化天然气运输的安全性，避免泄漏等问题发生，在结构材料类型选择方面，阀座等区域的密封可以使用聚四氟乙烯等高分子材料，这类材料有着极强的耐低温性、密封性^[9]。

（二）高效进行结构设计

具体来看，上装式设计在液化天然气系统中具有显著的优势，当阀门需要安装时，无需对管道进行大规模的拆卸，可直接从管道上方进行安装操作，大大提高了安装效率。在维修方面，一旦阀门出现故障，维修人员能够在不拆卸管道的情况下，轻松地使球体从管道上方将阀门的内件取出^[4]。这样不仅节省了大量的维修时间，还避免了因拆卸管道而带来的额外成本和工程复杂性。为了确保上装式结构的密封性，必须采用可靠的密封结构和密封材料。在密封结构方面，可以设计多重密封系统，如主密封和副密封相结合的方式。主密封通常采用高性能的密封材料，如金属密封环或特殊的高分子材料，能够在正常工作条件下提供可靠的密封性能。副密封则作为备用密封，在主密封出现问题时能够及时发挥作用，防止泄漏问题发生。在密封材料的选择上，要充分考虑到液化天然气的低温特性和化学性质，采用耐低温的橡胶材料或聚四氟乙烯等高分子材料，这些材料在低温下仍能保持良好的弹性和密封性能。同时，还可以对密封材料进行特殊的处理，如表面涂层或添加增强纤维，以提高其耐磨性、耐腐蚀性和密封性能。在设计固定球阀时，要确保球体的精度和表面质量，使其能够与阀座完美贴合，实现可靠的密封。为了提高流通能力，球体的设计应尽量减少流道阻力。可以采用流线型的球体形状，优化流道的设计，使介质能够顺畅地通过阀门。同时，合理选择球体的尺寸和阀座的孔径，以满足不同流量要求的液化天然气系统。球体支撑结构的设计至关重要，它直接影响球体在开关过程中的稳定性和可靠性。可以采用多点支撑的方式，如在球体的上下两端设置支撑点，确保球体在转动过程中不会发生偏移或晃动。支撑点的材料应具有高强度和耐磨损性能，以保证长期

稳定的支撑效果，还可以在支撑结构中加入减震装置，减少球体在开关过程中的冲击和振动，延长阀门的使用寿命。考虑到液化天然气系统的潜在火灾风险，阀门必须具备一定的防火性能。防火密封结构是提高阀门防火性能的重要措施之一。可以在阀门的密封部位设置防火密封环，当发生火灾时，防火密封环能够在高温下膨胀，填补密封间隙，防止火焰和高温气体通过阀门泄漏。防火涂层也是一种有效的防火措施。在阀门的外部表面涂上防火涂料，能够在火灾发生时形成一层隔热保护层，延缓阀门的升温速度，保护阀门内部的密封结构和操作机构。防火涂料应具有良好的耐高温性能、附着力和耐久性，能够在长时间的火灾环境下保持稳定的性能。还可以在阀门的设计中考虑其他防火措施，如设置防火隔离阀、安装火灾报警系统等。这些措施能够在火灾发生时及时切断液化天然气供应，减少火灾损失，提高系统的安全性。

（三）稳步提升性能要求

在低温和高压条件下，确保阀门具有良好的密封性能是至关重要的。为了达到这一要求，需要进行严格的密封性能测试。低压密封试验主要用于检测阀门在较低压力下的密封性能，模拟阀门在正常工作状态下的密封情况。高压密封试验则是在较高压力下进行，以验证阀门在极端工作条件下的密封可靠性。为了提高密封的可靠性和耐久性，需要优化阀座结构和密封材料。阀座结构的设计应考虑到压力分布、密封面的接触应力等因素，以确保密封面在不同压力下都能保持良好的贴合。密封材料的选择要综合考虑耐低温性、耐磨性、耐腐蚀性等性能，同时还要考虑密封材料与阀座和球体的兼容性^[5]。可以采用先进的密封技术，如唇形密封、波纹管密封等，提高阀门的密封性能，唇形密封具有良好的弹性和自密封性，能够在压力变化时自动调整密封状态，波纹管密封则能够有效地防止介质泄漏，同时还具有良好的耐高温和耐腐蚀性。操作机构可以采用电动、气动或手动操作方式，根据实际需求进行选择。电动操作机构具有操作方便、自动化程度高的优点，适用于大型阀门和需要频繁操作的场合。气动操作机构则具有动作迅速、可靠性高的特点，适用于对操作速度要求较高的场合。手动操作机构则适用于小型阀门和紧急情况下的操作。

三、液化天然气用上装式固定球阀开发主要路径

（一）做好性能测试

对球阀进行高压测试，以验证其在高压条件下的强度和密封性，逐步增加压力，直到达到设计压力的一定倍数，观察球阀是否出现变形、泄漏等情况。高压强度试验不仅要测试阀体和阀盖的强度，还要检查密封结构在高压下的可靠性。

使用专业的力矩测试设备，测量球阀在不同开度下的操作力矩，操作力矩应在合理的范围内，过大的操作力矩可能会影响球阀的操作性能，增加操作难度；过小的操作力矩则可能表明球阀的密封性能不足。为了验证球阀可靠性和安全性，除了进行上述性能测试外，还可以进行模拟实际工况的测试^[6]。对改进后的球

阀进行再次测试，验证改进措施的有效性。如果问题仍然存在，继续进行分析和改进，直到产品达到最佳状态。重复测试和改进的过程可能需要多次，需要有耐心和毅力，不断优化球阀的性能和质量。在每次测试和改进过程中，要做好记录和分析，总结经验教训。通过不断地积累和改进，提高球阀的设计水平和制造质量，为产品的批量生产和市场推广奠定坚实的基础。

（二）开展质量检测

建立完善的质量检测体系，从原材料检验、过程检验到成品检验，对产品进行全面的检测和检验。制定详细的质量检测标准和方法，明确每个环节的检测项目和合格标准。在过程检验环节，对加工尺寸、表面质量、焊接质量等进行检测；在成品检验环节，对球阀的密封性能、操作性能、外观质量等进行检测。

质量检测人员要经过专业培训，熟悉质量检测标准和方法，具备丰富的检测经验。质量检测设备要先进、准确、可靠，能够满足产品质量检测的要求。采用先进的检测设备和方法，提高检测的准确性和可靠性^[7-8]。建立质量追溯体系，对每台球阀进行编号管理，记录生产过程中的关键信息，如原材料批次、加工工艺参数、检验结果等。如果出现质量问题，可以通过质量追溯体系快速找出问题的根源，采取相应的措施进行处理。

四、液化天然气用上装式固定球阀安装要点

概括液化天然气用上装式固定球阀安装要点，消除技术

盲区，强化球阀安装工艺的可行性与实用性，强化接收站运转效能。

将上装式固定球阀放置在安装位置，确保球阀的流向标志与管道内介质的流向一致。对于 LNG 应用，流向的正确性尤为重要，以避免因流向错误而导致的安全事故。如果是法兰连接，将垫片正确放置在法兰之间，然后使用螺栓和螺母将球阀与管道法兰连接牢固^[9]。在拧紧螺栓时，应采用对角拧紧的方法，以确保法兰连接的均匀受力和密封性。使用力矩扳手按照规定的力矩值进行拧紧，避免过紧或过松。在球阀安装完成后，对其密封性能进行再次检查。可以通过向管道内注入一定压力的气体或液体，然后观察球阀的密封部位是否有泄漏现象。如果发现泄漏，应及时进行处理，如重新拧紧螺栓、更换垫片或检查密封面等。

五、结语

液化天然气用上装式固定球阀工况环境复杂，为应对低温、高压等因素，保证球阀操作的便捷性、可靠性与密封性，规避内漏等问题^[10]。文章运用系统思维，运用文献资料研究等方法，着眼液化天然气用上装式固定球阀结构，立足复杂工况，理清研发思路，创新开发路径，细化安装要点，提升球阀结构的运行效果。

参考文献

[1] 师晓东, 徐艳华, 金天成. 深冷上装式固定斜面球阀的结构设计与优化分析 [J]. 阀门, 2022 (3): 174-178.
[2] 曾和友, 李铁钉, 雷波等. 油气管道球阀结构设计改进及性能试验研究 [J]. 流体机械, 2023 (10): 18-23.
[3] 王寅. 液化天然气用上装式固定球阀的开发与研究 [J]. 通用机械, 2017,(03):31-33.
[4] 古丽, 贾彦杰, 冯兰婷等. 基于声发射的球阀内漏速率反演研究 [J]. 实验室研究与探索, 2022 (4): 57-62.
[5] 姜子龙, 郭睿, 安黎. 天然气管道球阀的结构特点及使用的注意事项分析 [J]. 智能城市, 2016(3):253-.
[6] 马志锐, 李福宝, 霍英姐. V型调节球阀阀盖内壁气-固冲蚀的数值模拟 [J]. 科学技术创新, 2024 (9): 96-97.
[7] 朱喜平. 天然气管道球阀的维护及故障排除技术 [J]. 天然气工业, 2005, 25(7):102-104. DOI:10.3321/j.issn:1000-0976.2005.07.034.
[8] 于艳敏, 车鹏程, 刘青. 球阀火焰喷涂涂层脱落原因 [J]. 理化检验: 物理分册, 2023 (6): 55-58.
[9] 张清双, 蒋波, 王四方, 等. 液化天然气用上装式固定球阀的研究 [J]. 阀门, 2015,(02):1-3.DOI:10.16630/j.cnki.1002-5855.2015.02.005.
[10] 吴建新, 张清双, 茅岭峰. 液化天然气接收站用上装式球阀技术研究 [J]. 阀门, 2017,(01):1-3.DOI:10.16630/j.cnki.1002-5855.2017.01.001.