

高温高压工况下金属硬密封球阀的寿命预测与可靠性分析

熊敬学

中鼎恒盛气体设备(芜湖)股份有限公司 安徽芜湖

【摘要】在高温高压工况下,金属硬密封球阀的工作环境极为复杂,面临着密封性能退化、磨损、腐蚀等多重影响因素,导致其寿命及可靠性具有较大的不确定性。本文通过建立金属硬密封球阀的寿命预测模型,结合高温高压工况下的实际工况,分析其可靠性,提出基于多种因素综合分析的寿命评估方法。通过实验数据与理论模型相结合的方式,针对阀体、密封面等关键部位的失效机理进行分析,最终为提高阀门的使用寿命与安全性提供理论依据和工程参考。

【关键词】金属硬密封球阀;寿命预测;高温高压工况;可靠性分析;失效机理

【收稿日期】2024年5月1日

【出刊日期】2024年12月22日

【DOI】10.12208/j.ijme.20240020

Life prediction and reliability analysis of metal hard-sealed ball valves under high-temperature and high-pressure conditions

Jingxue Xiong

Zhongding Hengsheng Gas Equipment CO., Ltd., Wuhu, Anhui

【Abstract】 Under high-temperature and high-pressure conditions, the working environment of metal hard-sealed ball valves is extremely complex. They are subject to multiple influencing factors such as degradation of sealing performance, wear, and corrosion, resulting in significant uncertainty in their service life and reliability. This paper establishes a life prediction model for metal hard-sealed ball valves, analyzes their reliability by combining actual operating conditions under high-temperature and high-pressure environments, and proposes a life evaluation method based on comprehensive analysis of multiple factors. Through the integration of experimental data and theoretical models, the failure mechanisms of key components such as valve bodies and sealing surfaces are analyzed. Ultimately, this study provides a theoretical basis and engineering reference for improving the service life and safety of valves.

【Keywords】 Metal hard-sealed ball valve; Life prediction; High-temperature and high-pressure condition; Reliability analysis; Failure mechanism

引言

金属硬密封球阀作为一种广泛应用于高温高压工况中的关键设备,其密封性能与寿命直接影响到系统的安全性与运行稳定性。当前在高温高压环境下,球阀的失效机理复杂,常常由于材料疲劳、腐蚀以及热膨胀等因素造成密封性能的退化。准确预测金属硬密封球阀在极端工况下的寿命,并评估其可靠性,对于提高设备的安全性与经济性具有重要意义。本研究旨在通过结合理论与实验的方法,深入分析金属硬密封球阀在高温高压工况下的失效特性,提出一种基于多因素综合分析的寿命预测与可靠性

评估方法,从而为相关行业提供有效的技术支撑。

1 金属硬密封球阀的失效机理与影响因素

金属硬密封球阀的失效机理通常是由多种因素引起的,尤其是在高温高压工况下。密封面的磨损是最常见的失效原因之一。在极端工况下,密封面之间的摩擦力往往导致磨损加剧,甚至出现裂纹。这种磨损通常是由于操作过程中球体与阀座之间的相对运动所产生的,尤其是在阀门开关频繁或操作不当的情况下,磨损问题尤为严重^[1]。随着磨损的积累,密封性能逐渐降低,导致阀门失效。金属硬密封球阀的密封面还可能由于高温或过压导致形变,进一步加

剧密封不良的情况，增加了其失效的风险。

除了磨损，热膨胀也是高温高压环境中金属硬密封球阀失效的一个重要原因。由于金属的热膨胀特性，阀门在高温条件下会发生尺寸变化，导致密封面间隙增大，从而影响密封效果。尤其在温度剧烈变化的情况下，热膨胀导致的密封失效问题更加突出。高温环境下材料的强度和硬度会下降，这使得金属硬密封球阀在工作过程中容易发生永久性变形，影响其长期稳定性^[2]。腐蚀也是金属硬密封球阀失效的一个不可忽视的因素。高温高压环境下，阀体及密封面的金属材料可能受到流体中的化学成分侵蚀，尤其是在石油化工、天然气等行业中，腐蚀问题尤为严重。金属材料与流体中的化学物质反应，产生化学腐蚀，造成材料表面出现凹坑、裂纹等缺陷，从而影响密封性能。对于金属硬密封球阀来说，长期的腐蚀会显著缩短其使用寿命，甚至导致完全失效。

2 高温高压工况下金属硬密封球阀的寿命预测模型

针对金属硬密封球阀在高温高压工况下的寿命预测，通常采用多种数学模型进行精确分析。其中，基于应力-应变分析的模型是最为常见且有效的预测方法之一。该模型通过模拟阀门在高温高压环境下所受的复杂应力和应变状态，进一步计算密封面材料的疲劳寿命。阀门在工作过程中承受的高压力和温度变化，以及流体特性如黏度、腐蚀性等，都会对材料产生不同程度的影响，从而直接关系到阀门的使用寿命^[3]。通过对材料力学性能的深入研究，结合具体工况下应力分布和温度梯度的变化，能够更准确地评估阀门在极端环境下的可靠性。考虑到材料的本构关系、疲劳特性及其在长时间工作后的性能衰退，能为金属硬密封球阀的设计和优化提供理论依据，确保其在高温高压工况下的安全性和持久性。

还有基于损伤累积理论的寿命预测方法。该方法通过对金属硬密封球阀在工作过程中的损伤过程进行建模，估算其寿命。损伤累积理论认为，在工作过程中，阀门会经历多次的微小损伤，随着时间的推移，损伤逐渐积累，最终导致失效。通过对损伤机制的分析，能够推算出阀门的使用寿命。具体而言，该模型通常结合实验数据和实际工况，考虑阀门材料的疲劳、磨损、腐蚀等因素，进行综合计算，从而得到更加准确的寿命预测结果^[4]。采用数据驱动的方法

也是近年来发展较为迅速的寿命预测方式。通过采集金属硬密封球阀在实际工况下的运行数据，包括压力、温度、流量等参数，可以利用机器学习和统计学方法构建预测模型。这些数据驱动模型能够在大量数据的支持下，实时调整寿命预测结果，从而提高预测的准确性。这种方法特别适用于复杂工况下的寿命预测，因为它能够根据工况的实时变化进行动态调整，具有较强的适应性和准确性。

3 金属硬密封球阀的可靠性分析方法与实施

金属硬密封球阀的可靠性分析是确保阀门能够长期稳定运行的基础。通过可靠性分析，不仅能帮助识别可能导致阀门失效的关键因素，还能为改进设计和优化操作提供依据。在高温高压工况下，传统的可靠性分析方法可能无法全面反映所有复杂的影响因素，必须根据实际工作环境进行调整和优化。概率统计方法常用于可靠性分析，通过对历史数据和实验数据的分析，可以估算阀门在不同工作条件下发生故障的概率。这种分析方法能够帮助识别出潜在的失效模式，如密封面磨损、腐蚀损伤或材料疲劳等，进一步定位到阀座、球体、密封面等关键部件，帮助采取有针对性的预防措施，从而提高阀门的整体可靠性和寿命^[5]。

有限元分析(FEA)方法在金属硬密封球阀的结构可靠性分析中发挥着重要作用。该方法能够通过模拟阀门在高温高压工况下的受力和变形情况，揭示其潜在的失效风险。高温高压环境下，阀门受到的外部压力和温度梯度非常复杂，可能会导致应力集中和结构变形。利用有限元分析能够帮助工程师精确预测阀门在不同工况下的应力分布和变形情况。通过建立精确的三维模型，可以深入分析阀门的关键部件是否会因为局部受力过大而发生破坏或失效，尤其是密封面和阀座等部位。有限元分析还可以帮助设计人员优化阀门的结构，确保其在高温高压环境中能够保持良好的承载能力和耐久性，进一步提升阀门的可靠性。

进行系统可靠性分析是提高金属硬密封球阀整体可靠性的关键步骤之一。在复杂的工业系统中，阀门通常处于核心控制位置，一旦发生故障，可能会引发整个系统的连锁反应。必须将球阀与其他系统部件的协同工作情况纳入可靠性分析之中，评估其对整个系统运行的影响^[6]。系统可靠性分析考虑了设备间的相互作用，可以模拟阀门发生故障后对系统

其他部分的影响,例如压力变化、流量波动等。在这一过程中,能够及时识别出潜在的风险点并采取相应的预防措施,确保系统的整体稳定性。系统级的可靠性分析也能够帮助优化阀门的运行和维护策略,提高其在实际工作中的稳定性,降低整个系统的故障概率,从而保障工业系统的安全和高效运行。

4 提高金属硬密封球阀可靠性的技术对策

为了提高金属硬密封球阀在高温高压工况下的可靠性,材料选择是至关重要的一步。材料的选择不仅需要考虑到其强度和硬度,还要考虑到其在极端工况下的耐高温和抗腐蚀性能。在高温高压环境中,阀门的材料必须具备良好的热稳定性和机械性能,以防止材料在长时间工作后发生形变或损坏。钛合金、铬钼合金等合金材料由于其优异的高温性能和抗腐蚀性能,常用于高温高压工况下的阀门制造。这些材料能够有效地减少在高温环境下由于热膨胀和腐蚀造成的失效,延长阀门的使用寿命,并提高其整体可靠性。优化阀门的材料选择是保证其稳定性的基础^[7]。

密封设计是金属硬密封球阀中的关键部分,直接影响到阀门的可靠性与密封性能。设计时,密封面材料的选择至关重要,应采用具有较高耐磨性、抗腐蚀性及热稳定性的材料,以提高密封面的耐用性。为了适应高温高压环境,密封面的形状和配合方式也应精确设计,避免因热膨胀、应力集中等因素导致密封失效。精密加工和先进的表面处理技术如硬化处理和涂层技术,能够有效增强密封面的强度与耐磨性,减少磨损和腐蚀的发生。通过提高密封性能,可以确保在恶劣环境下阀门能够长期保持优异的密封效果,从而有效延长阀门的使用寿命并提高其安全性。

定期的维护与检测是确保金属硬密封球阀长期可靠运行的必要措施。阀门在长时间运行过程中,会不可避免地受到摩擦、腐蚀和热疲劳等因素的影响,可能导致其密封面和阀体出现磨损或损坏^[8]。定期的检查和维护非常关键,能够在问题发生前及时发现并处理潜在故障。通过定期检测阀门的密封性能、密封面的状况以及整体的机械性能,可以有效防止突发性故障的发生。借助现代化的监控系统,阀门的运行状态可以实时监测,帮助运维人员实时了解阀门的工作状况,并提前采取措施进行修复或更换,确保阀门始终处于最佳工作状态,从而提高其可靠性

和安全性。

5 结语

金属硬密封球阀在高温高压工况下的可靠性与寿命预测是确保工业系统稳定运行的关键。通过综合运用应力-应变分析、有限元分析等多种方法,可以精确评估阀门在极端环境下的性能,提前识别潜在的故障模式并采取相应的改进措施。这不仅有助于延长阀门的使用寿命,也能降低因设备故障带来的风险与损失。随着技术的发展,材料科学和计算方法的不断进步,金属硬密封球阀的设计、寿命预测和可靠性分析将更加精准和高效,为相关行业提供更为安全、可靠的运行保障。因此,加强对金属硬密封球阀的研究,不断优化其性能和维护策略,将是未来提升工业安全性和稳定性的必由之路。

参考文献

- [1] 陈长奔,叶凯强,叶显斌,等.一种高性能金属硬密封球阀弹性阀座设计与研究[J].石油化工设备,2023,52(04):19-22.
- [2] 李力,何世权,王佳琪,等.基于 Fluent 的金属硬密封球阀流场数值模拟[J].化工机械,2020,47(05):626-630.
- [3] 张力.蒸汽疏水管道金属硬密封气动球阀故障原因分析及处理方法研究[J].中国科技投资,2021,(14):129+131.
- [4] 刘帅帅,何世权,李力,等.基于热固耦合的金属硬密封球阀密封特性分析[J].化工机械,2021,48(03):406-408+424.
- [5] 林洞峰,把全龙,侯辰光,等.金属硬密封球阀在海洋平台的应用探讨[J].设备管理与维修,2023,(19):183-184.
- [6] 许俊,周杰士.煤化工金属硬密封球阀有限元分析及结构优化设计[J].化工设备与管道,2022,59(06):6-11.
- [7] 李松岭,景欢,李宏伟,等.硬密封球阀密封比压设计与分析[J].阀门,2024,(05):519-526.
- [8] 张锦,何世权,刘帅帅,等.基于有限元的硬密封球阀密封规律研究[J].化工机械,2022,49(04):618-622.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS