

Optimization strategy for air valve sealing structure in the harsh environment of nuclear power plants

Ming Qin Qingqing Lu Duqiang Li

Zhejiang Shangfeng High-Tech Specialized Wind Industrial Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang, 312300, China

Abstract

Aiming at the sealing structure of the air valve in the harsh environment of nuclear power plants, in order to improve the sealing performance and durability and ensure the safe and stable operation of nuclear power plants. This paper conducts a theoretical analysis of the existing sealing structure of air valves and identifies the key factors affecting the sealing performance. Based on the results of theoretical analysis, experimental samples with different sealing structures were designed and fabricated. Through comparative analysis of experiments and numerical simulations, the optimal sealing structure scheme is determined. The optimized sealing structure of the air valve has been significantly improved in terms of sealing performance, durability and corrosion resistance. The experimental results show that the optimized sealing structure has better sealing performance than the traditional structure in harsh environments such as high temperature, high pressure and high humidity, and the sealing life is prolonged.

Keywords

Nuclear power plant; harsh environment Air valve sealing structure; Optimization strategy

面向核电站严苛环境的风阀密封结构优化策略

秦明 卢青青 李苙强

浙江上风高科专风实业股份有限公司, 中国 · 浙江 绍兴 312300

摘 要

针对核电站严苛环境下的风阀密封结构, 为提高密封性能和耐久性, 确保核电站安全稳定运行。本文对现有风阀密封结构进行理论分析, 找出影响密封性能的关键因素。基于理论分析结果, 设计并制作不同密封结构的实验样品。通过实验和数值模拟对比分析, 确定最佳密封结构方案。优化后的风阀密封结构在密封性能、耐久性和抗腐蚀性能方面均得到了显著提升。实验结果表明, 优化后的密封结构在高温、高压、高湿等严苛环境下, 密封性能优于传统结构, 且密封寿命延长。

关键词

核电站严苛环境; 风阀密封结构; 优化策略

1 引言

风阀密封结构是风阀性能的关键因素之一, 其密封性能直接影响着风阀的使用寿命和核电站的运行稳定性。在传统风阀密封结构中, 存在密封性能不稳定、耐腐蚀性差、使用寿命短等问题。为了提高风阀密封结构的性能, 本研究针对核电站严苛环境, 从材料选择、结构设计、密封原理等方面进行优化, 以期提高风阀密封结构的密封性能和耐久性。

2 核电站严苛环境对风阀密封结构的要求

2.1 核电站环境特点

核电站运行过程中, 设备会产生大量热量, 导致环境温度升高。高温环境会加速密封材料的老化, 降低密封性能。核电站内部压力较高, 尤其在反应堆附近, 压力变化较大。

风阀密封结构需承受高压, 确保系统稳定运行。核电站存在辐射环境, 辐射会对密封材料产生破坏, 降低其性能。

2.2 密封性能要求

风阀在核电站中的密封性能至关重要, 风阀密封结构需具备良好的密封性能, 防止气体泄漏, 确保核电站内部环境安全。风阀密封结构需适应系统压力变化, 保证系统压力稳定, 避免因压力波动导致的设备损坏。密封材料需具备良好的耐久性, 能够承受核电站环境中的高温、高压和辐射等因素。

2.3 可靠性要求

风阀密封结构在核电站长期运行中风阀密封结构需具备长期运行的可靠性, 确保核电站安全稳定运行。密封结构需具备良好的耐久性, 能够承受核电站环境中的各种因素, 延长使用寿命。风阀密封结构应便于维护, 降低维护成本, 提高核电站运行效率。

【作者简介】秦明 (1997-), 男, 中国安徽亳州人, 本科, 助理工程师, 从事机电制造 (通风设备) 研究。

3 风阀密封结构优化策略

3.1 材料选择

核电站运行过程中,设备内部温度较高,因此密封材料需具备良好的耐高温性能。聚四氟乙烯(PTFE)具有优异的耐高温性能,可在-200℃至260℃的温度范围内长期使用。耐高温硅胶具有良好的耐高温性能,可在-60℃至200℃的温度范围内使用。核电站运行过程中,辐射环境较为复杂,密封材料需具备一定的耐辐射性能。氟橡胶(FPM)具有良好的耐辐射性能,适用于核电站等辐射环境。聚酰亚胺(PI)具有优异的耐辐射性能,适用于核电站等辐射环境。核电站运行过程中,设备内部介质可能具有腐蚀性,密封材料需具备良好的耐腐蚀性能。氟橡胶(FPM)具有良好的耐腐蚀性能,适用于各种腐蚀性介质。聚四氟乙烯(PTFE)具有优异的耐腐蚀性能,适用于各种腐蚀性介质。将上述耐高温、耐辐射、耐腐蚀材料进行复合,以提高密封结构的整体性能。根据核电站设备的具体工况,设计合理的密封结构,如采用迷宫式、O型圈等结构,以提高密封效果。提高密封面的加工精度,确保密封面之间的贴合度,降低泄漏风险。对风阀密封结构进行定期检查与维护,确保其长期稳定运行。

3.2 结构设计优化

采用非对称密封面设计,根据风阀使用环境和介质特性,调整密封面的形状和角度,提高密封效果。引入微凹或微凸设计,使密封面与密封件形成紧密贴合,降低泄漏率。采用多边形密封面设计,提高密封面的接触面积,增强密封性能。在原有密封结构的基础上,增加一层或多层密封材料,提高密封效果。采用复合密封结构,将不同性能的密封材料组合在一起,发挥各自优势,提高密封性能。在密封面上增加密封条,形成多层密封,降低泄漏率。采用模块化设计,简化安装过程,提高安装效率。改进密封件固定方式,确保密封件在安装过程中不会松动,提高密封性能。优化密封面加工工艺,提高密封面的精度,降低泄漏率。采用整体式密封结构,减少连接部件,降低泄漏风险。引入弹性密封结构,使密封件在受压时产生弹性变形,提高密封性能。优化密封件与风阀本体之间的配合关系,确保密封件在运行过程中不会产生相对位移,提高密封效果。

对开式隔离阀是核电站中一种重要的安全设备,主要用于隔离核反应堆与辅助系统之间的管道,以防止放射性物质泄漏。在核电站运行过程中,对开式隔离阀需要承受高温、高压、腐蚀等严苛环境。安全级对开式隔离阀主要用于核电站的安全系统中,如反应堆冷却剂系统、安全注入系统等。其主要功能是在核电站发生事故时,迅速切断事故区域的管道,防止放射性物质泄漏。安全级对开式隔离阀需满足以下要求:(1)具有高可靠性,确保在紧急情况下能够可靠地切断管道;(2)具备良好的密封性能,防止放射性物质泄漏;(3)适应高温、高压、腐蚀等严苛环境。

非安全级对开式隔离阀主要用于核电站的非安全系统中,如冷却水系统、辅助系统等。其主要功能是在正常工况下,隔离管道,防止不同系统之间的交叉污染。非安全级对开式隔离阀需满足以下要求:(1)具备一定的密封性能,防止介质泄漏;(2)适应高温、高压、腐蚀等严苛环境;(3)结构简单,便于维护。

针对核电站严苛环境,安全级对开式隔离阀选用耐高温、高压、腐蚀的合金材料,如奥氏体不锈钢、钛合金等;非安全级对开式隔离阀选用耐腐蚀、强度较高的材料,如碳钢、不锈钢等。安全级对开式隔离阀采用双密封结构,即外密封和内密封。外密封采用金属密封圈,具有良好的耐高温、高压性能;内密封采用耐腐蚀的密封材料,如石墨、聚四氟乙烯等。此外,可增加密封预紧力,提高密封性能。非安全级对开式隔离阀采用单密封结构,选用耐腐蚀、强度较高的密封材料。密封面设计为斜面,便于安装和拆卸。阀体结构优化采用流线型设计,减小流体阻力,提高阀门效率;同时,减小阀体厚度,降低制造成本。阀盖结构优化采用整体式阀盖,提高结构强度和密封性能;在阀盖内部增加支撑结构,提高抗振性能。针对核电站严苛环境,采用电动或气动驱动机构,确保阀门在紧急情况下可靠动作。

3.3 密封件的改进

采用硅橡胶、氟橡胶等高性能橡胶材料,具有优异的耐高温、耐低温、耐油、耐老化等性能,适用于各种复杂工况。采用复合材料,如碳纤维增强塑料、玻璃纤维增强塑料等,具有良好的机械性能和耐腐蚀性能,适用于密封件在恶劣环境下的使用。选用不锈钢、钛合金等金属材料,具有高强度、耐腐蚀、耐磨损等特点,适用于高温、高压等特殊工况。采用精密成型工艺,如注塑、挤出、吹塑等,确保密封件尺寸精度和形状稳定性,提高密封性能。对密封件表面进行特殊处理,如镀层、涂层、氧化等,提高密封件的耐磨性、耐腐蚀性和抗氧化性。采用高精度加工设备,如数控机床、激光切割机等,确保密封件加工精度,提高密封性能。引入智能化检测技术,如三维扫描、激光测量等,对密封件进行精确检测,确保密封性能满足设计要求。在保证密封性能的前提下,优化密封件的结构设计,降低成本,提高密封件的可靠性。

该隔离阀由阀体、叶片、转轴、密封垫圈、气控设备、连杆结构、延长杆以及可选的限位开关等关键部件构成。如图2所示,该款阀门支持远程操控。本系列隔离阀的开关操作均采用人工控制,具体操作方法包括手柄操控,手柄直接与阀门的主轴连接,并配备锁定装置,便于在任意位置固定阀门调节状态;采用带延长操作杆的远程操控方法,适用于无法在附近直接操作阀门的情况。此设计将阀门的主轴与一根摇杆连接,通过摇杆推动与固定支架铰接的延长杆,从而实现摇杆的转动,进而控制阀门的开启与关闭。本系列阀门采用多叶片对开的设计,多叶片的协同动作通过平行四杆机

构实现同步，而叶片的对开则通过反向四杆机构完成。在叶片的两侧均设有橡胶密封条，从而保证阀门的内泄漏要求。叶片轴端增加了调心滚动轴承，确保阀门的灵活运行。针对轴套介质侧易进灰尘这一现象，在轴承内侧增加了防尘圈。流线型叶片使得阀门具有很小的流体阻力和噪音。

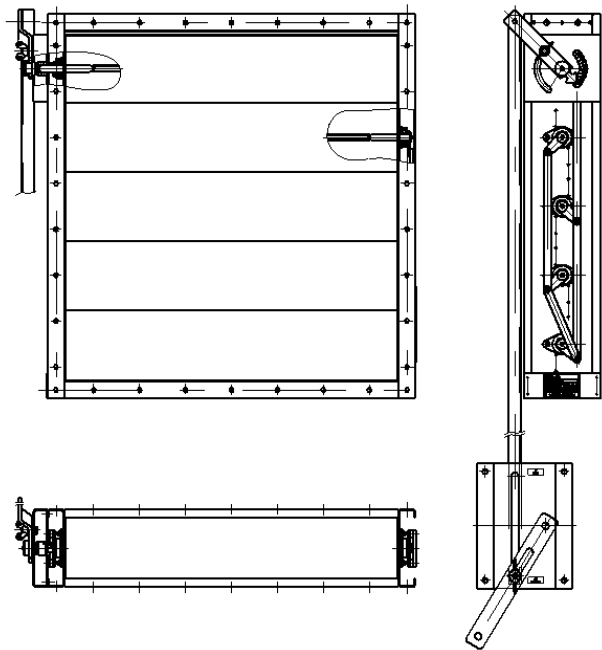


图2 隔离阀结构

该系列阀门主要由阀体、叶片、轴、橡胶密封圈、气动装置、连杆机构、加长杆(仅仅3EVR106、107VAI、4EVR107VAI)、限位开关(配带限位开关的产品)等组成。如图所示，增加远距离操作装置的阀门。该系列隔离阀的启闭均由手动操作。手动操作方式有两种：一种为手柄操作方式，操作手柄直接和阀门的主动轴相连，并设有任意位置的锁定机构，确保阀门的调节功能；另一种为一配带加长杆的远距离操作，此种方式用于阀门不宜就近操作的场合，阀门的主动轴和一摇杆相连，推动和固定架铰接在一起的加长杆，使摇杆转动，带动阀门开或关。该系列阀门采用多叶对

开的结构形式，多叶片的同步运动是靠一平行四连杆机构来实现的，叶片的对开是靠一反向四杆机构来实现的。在叶片的两侧均设有橡胶密封条，从而保证阀门的内泄漏要求。叶片轴端增加了调心滚动轴承，确保阀门的灵活运行。针对轴套介质侧易进灰尘这一现象，在轴承内侧增加了防尘圈。流线型叶片使得阀门具有很小的流体阻力和噪音。通过优化设计，迷宫式密封结构有效提高了密封性能，降低了泄漏风险。耐高温、耐高压、耐辐射的密封材料，延长了密封圈的使用寿命，降低了维护工作量。耐磨处理降低了密封面磨损，提高了使用寿命。

4 结论

核电站所处的环境条件极其严苛，包括高温、高压、腐蚀性气体等，这对风阀密封结构提出了极高的要求。风阀作为核电站通风系统的重要组成部分，其密封性能直接影响到核电站的运行效率和安全性。应选用具有优异耐腐蚀性、耐高温性和密封性能的材料，如不锈钢、合金等，以提高风阀密封结构的整体性能。采用多级密封结构，提高密封效果；采用可调节密封垫，适应不同工况下的密封需求；优化风阀的安装方式，提高密封结构的稳定性。采用先进的制造工艺，如精密加工、热处理等，提高风阀密封结构的精度和可靠性。本研究为风阀密封结构优化提供了理论依据和实践指导，具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 高腾飞,郭凯,李心刚,等.某核电站凝汽器密封结构用镍铝青铜螺栓断裂原因[J].理化检验-物理分册,2023,59(11):32-34+37.
- [2] 侯兴鑫,李帅,佟宇轩,等.IGCC燃气轮机二次风阀控制优化[J].机械工程师,2023,(01):132-135.
- [3] 张立德,李建维,谭璞.FlowMaster在核电站复杂通风系统风量调节的应用研究[J].暖通空调,2022,52(S2):297-301.
- [4] 汪正洪,王飞.浅析三代核电风阀设备鉴定[J].暖通空调,2020,50(S2):122-124.
- [5] 张庆涛.核级安全壳隔离阀抗震设计与研究[D].河北科技大学,2020.