

Research on Fault Diagnosis and Prediction Technology for Mechanical Maintenance of Valve in Nuclear Power Plant

Shuaishuai Song

Shandong Nuclear Power Co., Ltd., Yantai, Shandong, 265116, China

Abstract

Valves as the most common mechanical equipment in nuclear power plants, a large number, although the AP1000 unit compared to the second generation of nuclear power plant valve number has been reduced, but the nuclear power plant important valve structure, function, performance parameters are crucial to the stable operation of nuclear power. This paper will give a comprehensive overview of the various fields of nuclear power valve, and deeply discuss the mechanical maintenance of nuclear power valve fault identification and related maintenance measures and analyze its prediction technology.

Keywords

valves for nuclear power plants; mechanical maintenance; fault diagnosis; prediction technology; study

核电阀门机械检修的故障诊断与预测技术研究

宋帅帅

山东核电有限公司, 中国·山东 烟台 265116

摘要

阀门作为核电站最常见的机械设备,数量众多,虽然AP1000机组相比二代核电站的阀门数量有所减少,但是核电站重要阀门结构、功能、性能参数对核电稳定运行至关重要。论文对核电阀门的各个领域进行全面概述,并深入探讨核电阀门的机械维护的故障识别和相关维修措施并分析其预测技术。

关键词

核电站用阀;机械检修;故障诊断;预测技术;研究

1 引言

中国核电事业的发展为满足能源需求提供了强劲动力,并已显著提升了其能源架构。核电从初级阶段到战略级别的快速变化表明了其发展速度之快。同时,经济和社会的发展环境为核电提供了优越的条件,拓展了其发展的可能性。因此,我们需要深入研究和理解核电技术的现状,以更有效地推动生产技术的进步。

2 概述

随着中国经济稳步高速增长,对能源产业的需求变得异常迫切。为了确保能源供应稳定、改善能源结构并推动国家长期经济增长,中国已经设定了以火电为基础,积极推进水电发展并合理利用新型能源的策略。核电和风能等新能源的开发已经从实验性和补充性转变为更具策略性和前瞻性的方向。对于中国的核电行业来说,这是一个极其有利的

发展机遇,同时也为全球的阀门制造商提供了广阔的市场空间,因为核电站对阀门的需求巨大^[1]。

3 核电站常见阀门的类型及结构特点

作为流体管道操纵工具的重要部分,阀门主要负责控制物料的连接和关闭,调整物料流动路径,以及调整物料的压力和流速,以确保管道内的设备能够稳定工作。在核电发电厂中,我们通常会使用一些特定的核电阀门,如闸阀、截止阀、蝶阀、安全阀、止回阀和球阀等。论文将对这些常见的阀门进行深入剖析,详细解读其命名和独特的设计^[1]。详细信息如下:

3.1 闸阀

3.1.1 定义

闸阀是一种具有开启和关闭功能的阀门,其核心部件是一个闸板,其运动路径与流体路径相同。在管路系统中,闸阀的主要作用是进行截止操作。

3.1.2 闸阀的结构特点

① 闸阀通过采用高度精细的铸造工艺来保证其整体结构的精确几何形状,因此无需对阀体内部进行烦琐的处理,

【作者简介】宋帅帅(1988-),男,中国山东烟台人,本科,工程师,从事机械工程技术研究。

从而确保了阀门的密封性能。闸阀的特性包括低流动阻力（由于其内部流体通道是直通的，流体呈直线流动，因此流动阻力相对较小）以及节能（无论启动或关闭闸阀，其闸板的运动方向始终与流体流动方向保持垂直关系）。

②由于介质传输路径可以在闸板两边自由切换，且两边通道都保持平衡，因此闸阀在安装时非常便捷，同时避免了水锤效应的产生。

③闸阀的外观相对简洁，结构长度较短，因此其应用范围更加广泛。当闸阀完全打开时，密封表面对工作介质的侵蚀程度较截止阀小。

④此外，由于密封表面的磨损和划痕，闸阀的维护工作变得更为复杂。同时，由于其外观的几何尺寸较大，使得打开和关闭闸阀需要较大的空间，并且这种方式会消耗更多的时间。

3.1.3 闸阀的分类

①平行式闸阀：一种设计，其中密封部分与垂直的中心线保持一致，即两个密封部分相互对称。在各类平行式闸阀中，最普遍的设计方案是在两个闸门的两侧都安装了推进楔块。此类阀门主要适用于低压以及中等大小（DN40-300mm）的场合。有些平衡式阀门的两个闸板装有弹簧，这些弹簧可以产生预紧力，从而提高闸板的密封性能。

②楔式闸阀：一种设计，其中密封部分与垂直的中心线之间存在一个固定的角度，即两个密封部分形成楔形。一般来说，密封表面的倾斜角度有 $2^{\circ} 52'$ 、 $3^{\circ} 30'$ 、 8° 、 10° 等，但具体角度的大小主要取决于周围的气候状况。一般来说，随着工作场地的温度升高，需要的倾斜角度也会相应增加，从而减少了因温度波动而产生的阻塞问题。楔形闸阀还分为单闸板、双闸板和弹性闸板等类型。

3.2 止回阀

3.2.1 定义

此类阀门也被称为逆止阀、单向阀、逆流阀或背压阀，是一种具有自动化特性的阀门。该设备的操作方式依赖于物料的自由循环，从而实现阀门的自我启动与关闭，其主要目标就是防止物料逆流、防止泵与驱动装置产生逆向旋转，同时也防止了容器中物料的渗漏。在核电厂中，通常会使用升降型止回阀以及旋转型止回阀。

3.2.2 止回阀的结构特点

①自动化。逆止阀的主要优势在于其自动化功能，它可以根据实际的流体状态自动执行打开或关闭操作，这在减少劳动力方面起到了积极的效果。

②逆止阀和闸阀一样，其设置与保养都相对方便。

3.3 安全阀

3.3.1 定义

安全阀是自动阀的一种类型，当受到外部力量的影响时，它将保持开启状态。当设备或管道中的物料压力上升到预定的阈值时，安全阀能够通过将物料从系统中排出，以避

免管道或设施中的物料压力过高。

3.3.2 安全阀常用术语

①开启压力：一旦介质的压力达到预设的标准，自动开启的阀门瓣片会使介质快速喷射，此时阀门的入口压力即定义为启动压力。

②排放压力：当阀门瓣片打开后，若设备管道内的物料压力持续增加，为使阀门瓣片完全打开，此时阀门入口处的压力即定义为释放压力。

③关闭压力：也被称为回座压力，当安全阀打开并释放物料后，如果系统内的压力持续下降至低于设定的工作压力，阀门将关闭，其开启高度将为零。

3.3.3 结构特点

在核电站中，安全阀被广泛应用，其中弹簧式安全阀是最常见的。这种安全阀通过调节弹簧的拉力来达到阀门的压力平衡，并保证其完全关闭。尽管它具有高精度、便携式设备、小巧的构造和广泛的应用，但它对振动的响应却相对缓慢。此外，由于弹簧具有阻挡、抵抗高温和分散能量的特性，导致其设计过程相对复杂。

4 主要存在的阀门故障类型及原因分析

4.1 阀体或阀盖间泄露故障

这种问题的产生主要有几个关键的原因：

①焊接质量不好，阀体和阀盖的焊接过程中存在夹渣、焊接不完整或焊接裂痕等缺陷；

②由于铸造原料的质量不好，所生产的阀门和盖板上出现了诸如沙孔、碎屑等缺陷；

③阀体和阀盖之间的密封垫失去作用；

④法兰的预压缩能力不足或者在安装过程中遇到困难^[2]。

4.2 填料泄露故障

①由于选择了防护性能较差的填料或者存在过期问题，使得阀门极易受到介质的侵蚀，从而难以有效应对阀门在工作过程中所面临的高压、高温和低温环境。

在施工阶段，填充物的尺寸被错误地采用了偏大的规格，导致螺纹环的连接部位质量不佳，同时出现了上部压实而下部松动的情况。

②由于其精度不高，阀杆很可能会出现弯曲、磨损甚至腐蚀的问题。

③由于缺乏足够的填充材料，导致压盖无法完全紧固，或者由于组成部分出现缺陷，这都会使压盖无法完全紧固，从而引发泄漏。另一种可能是压盖偏移导致压盖与阀杆之间的间距过小，从而引起阀杆磨损和填充材料损坏。

④包括设备安装和实际操作过程中的错误行为等。

4.3 内部密封失效故障

①自然原因：也就是说，内部的密封组件已经使用到了寿命或超过了预期使用寿命，导致了内部密封系统出现

故障。

②其他原因：密封表面的打磨质量不佳，填充物过厚导致内部密封表面受到破坏。如果选用物品的性能不当，就无法抵抗环境的侵蚀，异物可能会卡在密封圈表面，操作错误也可能发生其他问题。

4.4 不能关闭或关闭不完全或太慢

①传动机构的配合不良；②由于阀杆被卡住或受到腐蚀生锈等因素影响，导致阀门无法正常关闭；③供气回路存在泄漏问题；④阀门的内部碟簧发生了断裂。

4.5 阀门不能开启或开启不完全

①阀门的预设手动装置的定位出现了偏差（中性点设定不准确）；②阀门开启需要的气压不足；③阀门的填料过紧或者阀杆被堵塞；④当阀门的控制系统出现电路故障或电磁阀出现问题时。

4.6 无动作信号

阀门的无法工作由两个关键因素导致，一个是电源故障，另一个是限位开关故障。

4.7 不能操作

通常，这类问题的产生源于多种复杂的因素，例如仪器和设备等。

5 针对故障类型探究维修手段和策略

在第二部分，我们将深入探讨阀门的故障类型及其根本原因，并研究适当的维护措施或解决方案^[1]。

①为了尽可能减少或避免阀体或阀盖之间的泄漏，我们可以采取以下措施：在焊接阀体和阀盖时，必须严格遵循焊接步骤，并在焊接结束后进行严格的检查。使用优质的铸造材料；在选择阀门盖的密封垫时，必须确保它能够适应介质的运行条件。我们需要对经常泄漏的阀门进行评估，选择合适的型号，并及时更换不符合规定的阀门。

②解决填料泄漏故障的具体做法。根据工作环境选择填充物的种类和材料，并按照相关规定妥善放置填充物，保证盘根排列有序且压实，连接处温度保持在 30℃或 45℃。如发现填充物过期、老化或破损，需立即更换。弯曲和磨损的阀杆必须进行校准和修复，严重损坏的部分必须立即更换。填充物的数量应按设定值放置，并确保压盖的稳定性和平衡性。对于破损的压盖、螺钉和其他零件，必须立即修复或更换。操作时需使用均匀稳定的力度。必须均匀地调整压盖的螺纹，如果压盖与阀杆的距离太近，应适当增加距离；如果压盖和阀杆的间距过大，则需要替换。

③为了预防或应对内部密封失效故障，需要进行以下措施：一是应检查内部元件，并及时更换已达到使用寿命的部件；二是需要控制阀门密封面的研磨质量，并对失效部件进行综合分析，判断是否因选材不当而导致故障；三是在检修工作中，应实施防异物控制，对容易积聚杂质的管道进行清洗，以避免异物进入设备导致内部泄漏。

④我们无法完全开启或者开启速度过快。因此，可以

对手动操作设备进行详细检查，并进行 FRATOL 测试，以找出潜在的问题，然后通过手动操作来修正相关部件的位置。此外，还应检查填料力矩，并替换不符合标准的碟形弹簧和阀杆。

如果遇到无法启动或启动不彻底的问题，我们可以采用前面提到的 FRATOL 试验来对手动操作机构进行检查，并根据这些试验或检测的结果，对气压、填料力矩、阀杆组件、电路以及电磁阀进行适当的调整，以满足阀门运行的要求。

6 核电阀门机械检修预测技术分析

故障诊断技术：一般来说，核电站的阀门机械故障检测会包括传统的感官检测和现代化的设备检测。在这里，我们主要依靠专业技术人员进行感官检测，例如通过聆听阀门的声音、观察阀门的外观以及嗅闻阀门的气味。此外，我们还会使用特殊设备来对阀门进行诊断，如振动、噪声和温度等。

状态检测技术：对于核电站的阀门设备维护保养，主要的技术手段包括传统的手动检查、现代的自动检查和智能检查。通常我们需要由专业技术人员定期对阀门进行检查和测试，并记录相关信息，最后做出相应的决策。现代自动化检查利用传感器和数据采集设备实现对阀门的实时监测，同时借助数据传输和处理设备进行相关信息分析和解读。通过运用先进技术，如机器视觉和人工智能等，我们可以实现阀门的智能化检查和预测。

预测模型构建：构建预测模型是核电阀门机械维修预测技术的关键步骤，包括数据收集、数据预处理和模型算法选择等多个环节。在数据收集阶段，主要目标是获取与阀门相关的各类信息，例如温度、压力、振动等。数据预处理包括数据清洗、噪声抑制和特征提取等步骤，旨在提高数据的品质和实用性。在选择建模算法时，我们会根据具体需求挑选最适合的预测模型，例如线性回归、神经网络和支持向量机等。

7 结语

预测核电阀门的机械维护技术在确保核电设备的安全和稳定性方面起着关键作用。论文从多个角度对其进行了深入分析，并提出了相应的维护策略，同时明确了各项技术的发展趋势。未来的科学研究应进一步探索先进的检测方法和数值解读策略，以不断提高阀门设备维护的预测精度和效率，为核电行业的长期稳定发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 何鸿海. 阀门常见故障及维修[J]. 科技传播, 2023(2):143.
- [2] 罗丹, 戴吉生, 张龙, 等. 气动阀调试和常见故障分析与处理[J]. 科技视界, 2021(20):233-234.
- [3] 张丽. 阀门的常见故障及维修策略探究[J]. 城市建设理论研究, 2022(30):163.