

# Valve fault diagnosis technology and maintenance decision method

Xinglong Wu Jichao Yan

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

This paper systematically explores valve fault diagnosis technology and maintenance decision-making methods. Specifically: the text analyzes common valve faults such as leakage, jamming, and abnormal operation, detailing the principles and applications of traditional sensory diagnostic methods, instrument detection methods, and modern fault diagnosis techniques based on vibration analysis, acoustic emission testing, and artificial intelligence. It also delves into maintenance decision-making methods grounded in reliability, risk, and condition monitoring, aiming to provide theoretical foundations and practical guidance for precise diagnosis and scientific maintenance of valves in industrial settings. The goal is to enhance valve operational reliability and reduce equipment maintenance costs, ultimately ensuring the safe and stable operation of industrial production systems.

## Keywords

valve; fault diagnosis; maintenance decision; vibration analysis; condition monitoring

## 阀门故障诊断技术与维修决策方法

吴星龙 严纪超

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518000

## 摘要

本文系统地探讨了阀门故障诊断技术与维修决策方法。展开来说: 在文中通过分析阀门常见的泄漏、卡阻、启闭异常等故障类型及成因, 详细地阐述了传统感官诊断法、仪器检测法和现代基于振动分析、声发射检测、人工智能等故障诊断技术的原理与应用。同时深入地研究了基于可靠性、风险、状态监测的维修决策方法, 旨在为工业领域阀门故障的精准诊断和科学维修提供理论依据与实践指导, 实现提升阀门运行可靠性与降低设备维护成本, 最终保障工业生产系统的安全稳定运行。

## 关键词

阀门; 故障诊断; 维修决策; 振动分析; 状态监测

## 1 引言

阀门是工业生产系统中控制流体流动的关键设备, 它在调节流量、控制压力、隔离设备等方面发挥着不可替代的作用, 因而被广泛地应用于石油、化工、电力、冶金等诸多领域。一旦阀门发生故障, 就可能导致流体泄漏、系统压力失衡、设备损坏等严重的后果, 甚至是引发火灾、爆炸等重大安全事故, 最终会造成巨大的经济损失和人员伤亡, 即阀门的正常运行会关系到整个工业生产系统的安全性、稳定性和经济性。

现阶段随着工业生产向大型化、复杂化、自动化方向发展, 各领域对于阀门的性能和可靠性的要求越来越高。然而在实际运行的过程中, 因为受到介质特性、工作环境、操作条件等多种因素的影响, 阀门不可避免地会出现各种故

障。因此准确、快速地诊断阀门故障, 并且制定出科学合理的维修决策, 成为看保障工业生产正常运行的关键环节。本文就将对阀门常见故障类型及成因、故障诊断技术和维修决策方法进行深入地研究和探讨。

## 2 阀门常见故障类型及成因

### 2.1 泄漏故障

泄漏是阀门最常见的故障之一, 一般可分为内漏和外漏。其中内漏主要发生在阀门关闭的状态下, 因为密封面无法有效地阻止介质流动, 导致介质从阀门内部泄漏。而该情况的成因主要包括: 密封面磨损(长期使用过程中, 介质的冲刷、颗粒杂质的磨损使密封面出现划痕、凹坑等损伤, 破坏了其密封性能)、密封面腐蚀(当介质具有腐蚀性时, 就会对密封面材料造成侵蚀, 进而导致密封面损坏)、密封面变形(阀门在安装过程中受力不均、温度变化引起的热胀冷缩等因素, 可能会导致密封面发生变形, 使其无法紧密地贴合)。

【作者简介】吴星龙(1992-), 男, 中国四川岳池人, 本科, 工程师, 从事阀门管道维修研究。

外漏则是指介质从阀门本体、阀杆填料函、法兰连接等部位泄漏到外部环境。目前已知的外漏原因有：阀杆填料老化或损坏（填料长期在介质压力和温度作用下逐渐地失去弹性，导致密封失效）、法兰连接螺栓松动（因为振动、温度变化等因素的影响，法兰连接螺栓可能出现松动，致使法兰密封垫片受力不均，进而造成泄漏）、阀门本体存在砂眼、裂纹等缺陷（如果制造过程铸造工艺不当，阀门本体就可能会出现砂眼、裂纹等缺陷，而随着使用时间地增加，这些缺陷会逐渐地扩大，最终引发泄漏）。

## 2.2 阀门卡阻故障

阀门卡阻故障表现为阀门在开启或关闭过程中操作困难，甚至是无法动作。实际当中，造成阀门卡阻的原因主要有以下几个方面：第一是介质中含有大量杂质、颗粒，它们容易堆积在阀门内部（如阀座、阀芯、阀杆等部位），从而会阻碍阀门的正常运动；第二是阀门内部零件的磨损、变形，像阀杆弯曲、阀芯磨损等，都会导致零件之间的配合间隙发生变化，进而产生卡阻现象；第三个原因是润滑不足，通常阀门的转动部件如阀杆、传动机构等都需要良好的润滑，如果润滑脂干涸、缺失或质量不佳，就会增加部件之间的摩擦力，导致阀门卡阻；第四点是安装不当，如果阀门在安装过程中管道与阀门不同心、阀门受力不均，都将会使阀门内部零件受到额外的应力，最终造成卡阻<sup>[1]</sup>。

## 2.3 阀门启闭异常故障

阀门启闭异常故障包括了阀门无法正常开启或关闭、开启或关闭时间过长、阀门开启后流量异常等情况。其成因较为复杂，主要有以下几点：首先是执行机构故障，对于电动阀门和气动阀门来说，执行机构是实现阀门启闭动作的关键部件。而电动执行机构的电机故障、电气控制系统故障，以及气动执行机构的气源压力不足、气缸泄漏、气动元件损坏等，都会导致阀门启闭异常。其次是传动机构故障，也就是阀门的传动机构如齿轮、蜗轮蜗杆、丝杠螺母等部件磨损、卡死、断裂，影响到了阀门的正常传动，导致启闭困难或者是无法动作。再者是阀门的内部结构损坏，像阀芯脱落、阀杆断裂、阀座损坏等等情况，都会使阀门失去正常的启闭功能。最后为控制信号异常，如果在自动化控制系统当中，阀门的控制信号传输出现了故障，如信号丢失、信号干扰、信号错误等，就会导致阀门无法按照指令正常地启闭<sup>[2]</sup>。

# 3 阀门故障诊断技术

## 3.1 传统故障诊断技术

### 3.1.1 感官诊断法

感官诊断法是一种基于维修人员经验和感官判断的故障诊断方法。它具有简单、快速、成本低等优点，但因为诊断的结果依赖于维修人员的经验和技能水平，所以准确性和可靠性相对较低，比较适用于初步故障排查和简单的故障诊断。

此方法需要维修人员通过眼看、耳听、鼻闻、手摸等方式，对于阀门的运行状态进行初步地判断。其中眼看主要观察的是阀门是否有泄漏痕迹、阀门表面是否有裂纹、变形，以及阀门的启闭位置指示是否正常等等。而耳听是通过听阀门在运行过程中是否有异常声响，如摩擦声、撞击声、振动声等，判断出阀门的内部是否存在故障。鼻闻则用于检测是否有介质泄漏而产生的特殊气味，以此可以判断是否存在泄漏故障。最后的手摸为通过触摸阀门表面温度、振动情况，判断出阀门是否存在异常发热、振动过大等问题。

### 3.1.2 仪器检测法

仪器检测法需要利用各种检测仪器，对于阀门的运行参数进行测量和分析，从而判断出阀门是否存在故障。现阶段常用的检测仪器有压力表、流量计、温度计、测振仪、超声波检漏仪等。就压力表来说，其主要被用于检测阀门前后的压力变化，此时检测人员通过分析压力数据，就可以判断出阀门是否存在堵塞、泄漏等故障。

显而易见的是仪器检测法比感官诊断法更加准确、客观，可是使用该方法需要专业的检测仪器和操作人员，导致其成本较高。

## 3.2 现代故障诊断技术

### 3.2.1 基于振动分析的故障诊断技术

振动分析技术具有灵敏度高、诊断准确等优点，其能够实时地监测阀门的运行状态，及时地发现潜在的故障，因而被广泛地应用于阀门的在线监测和故障诊断。该技术需要利用振动传感器采集阀门在运行过程中的振动信号，而后通过对振动信号进行时域分析、频域分析和时频域分析，从中提取出故障的特征信息，然后以此为基础判断出阀门是否存在故障以及故障的类型和程度。其原理为不同类型的阀门故障会产生不同特征的振动信号，例如阀门内部零件磨损、松动时，就会产生周期性的振动信号，此时通过对振动信号的频谱分析，即可识别出故障零件的特征频率<sup>[3]</sup>。

### 3.2.2 基于声发射检测的故障诊断技术

声发射检测技术即利用声发射传感器来检测阀门在运行过程中因内部缺陷、磨损、泄漏等故障产生的声发射信号。一般在阀门内部发生了材料损伤、裂纹扩展、介质泄漏等情况时，就会释放出弹性波，也就是声发射信号。此时通过对声发射信号的分析，如信号的幅值、能量、频率等，以及采用声发射源定位技术，就可以判断出阀门故障的类型、位置和严重程度。由于声发射检测技术具有实时性好、能够检测到早期故障等优点，因此较为适用于检测阀门内部的动态故障和微小缺陷，但因为该技术对检测环境要求较高，所以在使用时容易受到外界噪声的干扰。

### 3.2.3 基于人工智能的故障诊断技术

现阶段人工智能技术在快速地发展，使基于人工智能的故障诊断技术在阀门故障诊断领域得到了广泛地应用。而该技术主要包括了人工神经网络、专家系统、支持向量机等

方法。以人工神经网络为例,它是通过模拟人脑神经元的结构和工作原理,对于大量的阀门故障样本数据进行学习和训练,然后建立起故障诊断模型。当操作人员输入新的阀门运行数据时,此模型就能够自动地识别出故障类型和程度。据此了解到基于人工智能的故障诊断技术具有自学习的优点,它能够处理复杂的非线性故障诊断问题,但却需要大量的样本数据进行训练,且模型的建立和优化过程较为复杂。

## 4 阀门维修决策方法

### 4.1 基于可靠性的维修决策方法

基于可靠性的维修决策方法是以提高阀门的可靠性为目标,然后通过对阀门的可靠性进行分析和评估,制定出合理的维修计划。该方法主要包括了可靠性预测和可靠性评估两个方面。对上述两个方面分别阐述如下:可靠性预测是利用数学模型和统计方法,再根据阀门的历史运行数据、设计参数、工作环境等因素,来预测阀门在未来一段时间内的可靠性指标,其中有可靠度、故障率等等,而可靠性评估则是对阀门当前的实际可靠性水平进行评价,以此判断阀门是否满足了预定的可靠性要求。以可靠性的维修决策方法为基础,结合阀门的可靠性状况,就能确定出维修的时间和维修的内容。即当阀门的可靠性下降到一定程度时,需要对其进行预防性维修,进行更换易损件、修复磨损部件等操作,以恢复阀门的可靠性。

### 4.2 基于风险的维修决策方法

基于风险的维修决策方法需要综合地考虑阀门故障发生的概率和故障后果的严重程度,此方法需要以降低维修成本和风险为目标,制定出维修决策。具体使用步骤如下:第一步要对阀门进行风险评估,此时通过分析阀门的工作环境、介质特性、运行参数等因素,确定出阀门故障发生的可能性,并且还要评估阀门故障可能造成的人员伤亡、财产损失、环境破坏等后果的严重程度。第二步是根据风险评估的结果,将阀门划分为不同的风险等级。若面对的是高风险阀门,需要采取更加严格的维修策略,比如增加检测频率、缩短维修周期、进行全面的维修和更换。如果是低风险阀门,则可以适当的延长维修周期,且减少维修的成本。在实践当中应用基于风险的维修决策方法,能够使维修资源得到合理地配置,从而在保证阀门安全运行的前提下,达到降低维修

成本的效果,但风险评估过程需要综合地考虑多种因素,因此具有一定的主观性和复杂性。

### 4.3 基于状态监测的维修决策方法

基于状态监测的维修决策方法核心在于利用各种故障诊断技术,对于阀门的运行状态进行实时地监测,接着根据监测的结果判断出阀门是否需要维修以及何时进行维修。展开而言:该方法通过连续采集阀门的振动、温度、压力、流量等运行参数,可建立起阀门的运行状态模型。而当监测到阀门的运行参数发生异常地变化,且变化超过了设定的阈值时,就表明阀门可能存在着故障,提示相关人员要对阀门进行进一步的故障诊断和分析,确定出故障的类型和严重程度,然后制定出相应的维修决策。经实践应用得出,该方法能够实现阀门的按需维修,可避免过度维修和维修不足的问题,也提高了维修的针对性和有效性,并降低了维修的成本。

## 5 结语

综合上述所有内容来看,阀门故障诊断技术和维修决策方法是保障工业生产系统中阀门安全可靠运行的关键。虽然传统的故障诊断技术简单易行,但其准确性和可靠性有限,而现代故障诊断技术凭借着先进的传感器技术和信号处理方法,能够实现对于阀门故障的精准诊断。同时基于可靠性、风险和状态监测的维修决策方法具备各自的特点,从而为阀门的维修提供了科学的依据。

对于实际的应用来说,操作人员应根据阀门的类型、工作环境、重要程度等因素,综合地运用多种故障诊断技术和维修决策方法,且建立起完善的阀门故障诊断与维修管理体系。在未来,相关领域还需要进一步地深入研究和探索更为先进、有效的阀门故障诊断技术和维修决策方法,以此满足工业生产日益增长的需求,从而推动工业领域的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 蒋振华.电厂阀门维修可靠性专项提升[J].设备管理与维修,2024,(07):9-12.
- [2] 张健,常露丹,蒋永兵,等.阀门预测性维修技术进展[J].流体机械,2023,51(10):49-58.
- [3] 俞书琪,詹瑜滨,高攀,等.核电阀门维修空间不足的分析和改进[J].设备管理与维修,2021,(16):32-33.