

# Sealing technology and reliability improvement in valve maintenance

Xinglong Wu Jichao Yan

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

## Abstract

Valves, as one of the key devices in fluid control systems, have been widely applied in numerous industrial fields such as oil, chemical, power, metallurgy, and water supply and drainage. Their primary function is to control parameters like the direction, flow rate, and pressure of fluids. The sealing performance is the core indicator that ensures the normal operation of valves and prevents medium leakage. Several valve seals failing can not only lead to medium leakage, causing resource waste and environmental pollution, but in severe cases, may even trigger major safety accidents such as fires, explosions, and poisoning. Therefore, this issue poses a threat to both human life and corporate property safety. Based on this, this paper systematically studies the sealing technology and reliability improvement in valve maintenance.

## Keywords

valve maintenance; sealing technology; reliability; sealing material; sealing structure

# 阀门维修中的密封技术与可靠性提升

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

阀门作为流体控制系统中的关键设备之一, 已然被应用于石油、化工、电力、冶金、给排水等众多工业领域当中。其主要功能是控制流体的流动方向、流量、压力等参数, 而密封性能则是确保阀门正常工作、防止介质泄漏的核心指标。若干阀门密封失效, 不仅会导致介质泄漏, 从而造成资源浪费和环境污染, 严重时甚至还可能引发火灾、爆炸、中毒等重大安全事故, 因此该问题威胁着人员生命安全和企业财产安全。基于此, 本文就阀门维修中的密封技术与可靠性提升问题进行系统的研究。

## 关键词

阀门维修; 密封技术; 可靠性; 密封材料; 密封结构

## 1 引言

因为工业生产不断地向大型化、复杂化、自动化方向发展, 所以对于阀门的密封性能和可靠性提出了更高的要求。特别是在阀门的全生命周期当中, 维修环节对于维持和提升阀门密封性能是至关重要的。而通过合理地选择密封技术、深入地分析影响密封可靠性的因素, 并且采取有效的提升策略, 就可以显著地延长阀门使用寿命, 从而降低维修成本, 以及提高工业生产的安全性和经济性。因此深入地研究阀门维修中的密封技术与可靠性提升, 对于相关领域具有重要的理论意义和工程应用价值。

## 2 阀门常见密封技术分析

### 2.1 接触式密封技术

接触式密封技术主要是通过密封副之间的紧密接触来实现密封的, 它是目前应用最为广泛的密封技术之一。现阶段常见的接触式密封技术包括了垫片密封、填料密封和机械密封。

#### 2.1.1 垫片密封

垫片密封就是利用垫片在压紧力作用下发生变形, 以填充密封面的微观凹凸不平, 从而阻止介质出现泄漏的情况。当前根据垫片材料的不同, 可将其分为非金属垫片、金属垫片和金属-非金属复合垫片。其中非金属垫片如橡胶垫片、石棉垫片等, 均具有良好的弹性和密封性, 虽然成本较低, 但它们的耐温、耐压性能较差, 比较适用于温度和压力较低的场合。而金属垫片如不锈钢垫片、铜垫片等, 均具有较高的强度和耐温、耐压性能, 但它们的弹性较差, 所以安装时需要较大的压紧力。金属-非金属复合垫片则结合了两

【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。

者的优点，它既有较好的弹性，又有较高的强度和耐温、耐压性能，所以应用的范围最为广泛。

实际在阀门维修的过程中，垫片密封的安装质量对于密封效果影响很大。如果垫片的安装位置不正确、压紧力不均匀或者是垫片老化、损坏，都会导致密封失效。例如在高温、高压工况下，垫片就可能因老化、变形而失去弹性，此时就无法进行有效地密封。

### 2.1.2 填料密封

填料密封主要被用于阀门的阀杆密封，此方法是通过压盖将填料压紧在填料函内，使填料与阀杆和填料函的内壁紧密接触，从而阻止介质沿阀杆泄漏。实践当中常用的填料材料有石棉填料、聚四氟乙烯填料、柔性石墨填料等。而石棉填料曾被广泛地应用，但因其对人体的健康有害，所以逐渐被其他材料所替代。虽然聚四氟乙烯填料具有优异的化学稳定性和耐腐蚀性，且摩擦系数小，但它的导热性差，在高温下容易出现变形。相比较而言，柔性石墨填料则具有良好的耐高温、耐低温、耐腐蚀性能，并且回弹性也比较好，所以它是目前应用较为广泛的填料材料。

值得注意的是，填料密封在使用过程中随着阀杆的频繁启闭，填料会逐渐被磨损，进而导致密封性能的下降。因此需要维修人员定期对填料进行调整和更换，以保证密封的效果。

### 2.1.3 机械密封

机械密封在当下是一种较为先进的接触式密封技术，它由动环、静环、弹簧、密封圈等部件组成。其原理是通过动环和静环的端面相互贴合，再在弹簧力和介质压力的作用下保持紧密地接触，以此形成密封面，阻止介质的泄漏。由于机械密封具有密封性能好、泄漏量小、使用寿命长、功率消耗低等优点，所以被广泛地应用于高温、高压、高转速、强腐蚀等苛刻工况下的阀门密封<sup>[1]</sup>。

然而机械密封的结构复杂，其制造和安装精度要求高，因此成本也相对较高。同时在阀门维修时，机械密封的安装和调试还需要专业的技术人员进行操作，否则容易出现密封失效的问题。

## 2.2 非接触式密封技术

非接触式密封技术顾名思义就是密封副之间不直接地接触，而是通过特殊的结构和原理来实现密封的技术。现下非接触式密封技术有迷宫密封、气膜密封和磁流体密封。

### 2.2.1 迷宫密封

迷宫密封主要利用了一系列依次排列的环形密封齿与转子，二者之间会形成微小的间隙，而介质在通过这些间隙时会产生节流效应，从而降低介质的压力和流速，从而达到密封的目的。因为迷宫密封的结构简单且工作可靠，也不需要密封润滑，所以比较适用于高速旋转的阀门。但迷宫密封的密封效果相对比较差，且存在一定的泄漏量，所以通常用于对密封要求不是特别高的场合，像汽轮机、风机等设备的

阀门密封。

不仅如此，迷宫密封在阀门维修中会出现密封齿受到介质冲刷、磨损或碰撞变形的情况，此时就会导致间隙增大，密封性能也会随之下降。因此需要定期地检查密封齿的状况，及时地修复或者更换损坏的密封齿。

### 2.2.2 气膜密封

气膜密封是利用气体在密封端面之间形成的气膜来实现密封的。它主要通过密封端面之间通入具有一定压力的气体，使密封端面之间能够保持一定的间隙，以此形成稳定的气膜，阻止介质出现泄漏。气膜密封具有密封性能好、泄漏量小、使用寿命长、无磨损等优点，比较适用于易燃易爆、有毒有害等介质的密封。

就气膜密封的工作原理来看，其对气体的压力、流量和质量要求较高。所以在阀门维修中，需要确保供气系统的稳定运行，且定期地检查气膜密封的密封端面状况，才能防止密封端面出现磨损或损坏。

### 2.2.3 磁流体密封

磁流体密封利用了磁流体在磁场作用下的特性，以此实现密封的效果。而磁流体是一种由磁性纳米颗粒、表面活性剂和载液组成的稳定胶体溶液，它在磁场作用下可以形成具有一定强度的密封环，从而阻止介质泄漏。磁流体密封的优点有密封性能好、无磨损、寿命长、适用于高速旋转等等，因而常用于真空设备、旋转机械等的阀门密封。

对于阀门维修来说，磁流体密封需要注意的是磁场强度的稳定性和磁流体的性能变化。如果磁场强度减弱或者是磁流体性能下降，都会导致密封失效。

## 3 阀门密封可靠性影响因素

### 3.1 密封材料因素

不同的密封材料具有不同的物理、化学和机械性能，因此不同的材料适用于不同的工况条件。也就是说密封材料的性能会直接影响着阀门的密封可靠性。如果选择的密封材料不适合阀门的工作介质、温度、压力等工况，就会导致密封材料过早老化、变形、腐蚀或磨损，从而降低密封性能。例如橡胶垫片在强氧化性介质中就容易发生老化和腐蚀。又比如石棉垫片在高温下会失去弹性，导致密封失效。

### 3.2 密封结构因素

密封结构的设计是否合理对于阀门密封的可靠性起着关键的作用。只有合理的密封结构才能够有效地分散密封面上的压力，进而保证密封面的均匀接触，最终才能提高密封性能。反之如果密封结构设计不合理，就会导致密封面受力不均，此时就会出现局部泄漏<sup>[2]</sup>。

### 3.3 工作环境因素

阀门的工作环境对密封可靠性也有很大的影响。若处于恶劣的工作环境，如高温、高压、强腐蚀、高粉尘、振动等，就会加速密封材料的老化、磨损和腐蚀，从而降低密封性能。

### 3.4 安装与维修因素

密封可靠性与阀门的安装和维修质量也是直接的关系。通常在安装的过程中,如果密封件安装不正确,像垫片安装偏斜、填料压盖未压紧、机械密封动环和静环安装不到位等情况,都会导致密封失效。同时在维修的过程中,如果对密封件的检查和更换不及时,又或者是维修操作不当,依然会影响到阀门的密封性能。

## 4 阀门密封可靠性提升策略

### 4.1 密封材料优化

根据阀门的工作介质、温度、压力等工况条件,操作人员需要综合地考虑密封材料的物理、化学和机械性能,然后选择出合适的密封材料。具体来说:对于高温、高压工况,一般可选用金属垫片、柔性石墨填料等耐高温、高压的材料;而对于强腐蚀工况,应该选用聚四氟乙烯垫片、陶瓷密封材料等耐腐蚀性能好的材料;对于易燃易爆、有毒有害介质,则可选用密封性能好、泄漏量小的密封材料,像机械密封的动、静环材料。无一例外的是,都要关注密封材料的质量,一定要选择信誉好、质量可靠的生产厂家的产品,避免劣质密封材料的出现。

现阶段随着科技的不断发展,新型的密封材料在不断涌现。所以相关企业还应该大力研发具有更高性能的密封材料,比如具有更好的耐高温、耐低温、耐腐蚀、耐磨性能的材料,以及具有自修复、智能监测等功能材料,这些都是提高阀门密封可靠性的重要方向。举个例子,纳米复合材料具有优异的力学性能和化学稳定性,如果将其应用于密封材料中,就可以显著地提高密封材料的性能。

### 4.2 密封结构改进

对于现有的密封结构进行分析和研究,从中找出存在的问题和不足之处,之后通过优化设计,即可提高密封结构的合理性和可靠性。例如在垫片密封中,要合理地设计垫片的形状、尺寸和材质,使其能够更好地适应密封面的形状和受力情况。而在机械密封当中,需要优化动环和静环的结构设计,以此提高密封端面的加工精度和表面质量,使得密封端面能够保持均匀地接触<sup>[1]</sup>。

与此同时,结合现代的科技和工程的实际需求,开发出新型的密封结构也是至关重要的举措。比如采用组合密封结构,即将不同类型的密封技术相结合,可在实践中发挥出各自的优势,促使密封性能得以提升。又或者是开发出具有自适应功能的密封结构,该结构能够根据阀门的工作状态自动地调整密封力,进而保证密封效果。但是新型密封结构的开发需要充分地考虑到阀门的工作特点和工况要求,且要通过理论分析、数值模拟和试验研究等手段,来确保新型密封结构的可靠性和实用性。

### 4.3 制造与安装工艺革新

对于阀门的制造过程,提高密封件和相关零部件的制造精度是保证密封可靠性的重要措施之一。为此需要采用先进的加工设备和工艺,来严格地控制加工精度和表面质量,以确保密封面的平整度、粗糙度等参数符合设计要求。但同时还应该制定详细、规范的阀门安装工艺规程,并加强对安装人员的培训和管理,确保其在安装的过程中严格按照工艺规程进行。

### 4.4 监测与维护技术应用

一方面可使用在线监测技术,即利用传感器、物联网、大数据等技术,对阀门的密封状态进行在线监测。此时通过监测密封面的温度、压力、泄漏量等参数,操作人员能够实时地掌握阀门的密封状况,确保能够及时地发现密封失效的隐患。

另一方面是要建立科学、合理的预防性维护计划,此计划需要根据阀门的工作工况和在线监测数据,定期地对阀门进行检查、维护和保养。而预防性维护则包括了密封件的检查和更换、密封面的修复和研磨、阀门的润滑和防腐等。经由预防性维护,相关人员可以及时地发现和解决阀门密封存在的问题,从而延长阀门的使用寿命,提高密封的可靠性。

## 5 结语

阀门密封技术与可靠性提升是一个复杂的系统工程,其中涉及了密封技术原理、材料科学、机械设计、制造工艺、安装维修等多个领域。在本文当中通过对阀门常见密封技术的分析,明确了不同密封技术的特点和应用范围,而后深入地探讨了密封材料、密封结构、工作环境、安装与维修等因素对阀门密封可靠性的影响,并且针对性地提出了密封材料优化、密封结构改进、制造与安装工艺革新、监测与维护技术应用等提升策略。

但在实际工程的应用中,操作人员应根据阀门的具体工况和使用要求,综合地运用各种密封技术和提升策略,才能不断地提高阀门的密封性能和可靠性。同时由于科技的不断进步,还需要持续地开展阀门密封技术的研究和创新,开发出更加先进、可靠的密封技术和产品,以满足工业生产日益增长的需求,使得工业生产的安全、稳定、高效运行有所保障。

### 参考文献

- [1] 管会龙.关于阀门密封技术研究与展望[J].城市建设理论研究(电子版),2018(16):155.
- [2] 张威.阀门密封技术研究现状及发展趋势分析[J].阀门,2020(05):21-24.
- [3] 刘波.阀门密封技术研究现状及发展趋势分析[J].轻工标准与质量,2021(03):122-123.