

# 核电厂闸阀的维修及工艺分析

唐 歆

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

**摘要:** 随着工业自动化的不断发展, 阀门作为流体控制系统中不可或缺的一部分, 其稳定运行对于整个系统的安全、高效运行至关重要。对阀门的维修及工艺进行深入分析, 不仅有助于提高设备的可靠性和使用寿命, 还能降低维修成本, 保障生产安全。在核电厂机械维修经验的基础上, 此文对核电厂闸阀的结构特点、制造工艺、维修方法、缺陷检修工艺以及鉴定标准进行了总结和介绍。

**关键词:** 核电厂; 闸阀; 维修; 工艺分析

## 引言

阀门作为工业生产中不可或缺的设备, 其维修及工艺分析对于确保设备正常运行具有重要作用。本文首先介绍了闸阀的结构特点, 分析了闸阀的制造工艺, 接下来概述了常见的闸阀维修方法, 包括检修相关的检查和试验、填料维护、注脂维护和传动部件的维护等阀门检修工艺及注意事项, 旨在提供一套全面的维修指引方案。最后, 总结分析了阀门维修的鉴定标准来源。

### 1 闸阀的结构特点

阀门是核电厂系统管道上控制介质流量情况的装置, 有关断、控制、引导、分流、稳压、卸压及防止逆流的作用。核电厂内安装的起关断作用的阀门, 主要有闸阀、截止阀、蝶阀、球阀等几类, 它们普遍应用于各种流体管道, 可以有效连接或切断管道介质, 改变输送路线, 保证介质流速、压强等技术参数达到要求标准, 为管道系统工作提供良好条件。由于闸阀主要适用于口径较大的位置, 所以在核电厂一回路主要运用于反应堆冷却剂系统(RCP)、化学和容积控制系统(RCV)、安全注入系统(RIS)和安全壳喷淋系统(EAS)等主要系统, 主要的工作介质通常都是带放射性的流体, 其温度、工作压力以及设备安全等级都很高, 在核电厂中起到了不可或缺的作用。

#### 1.1 闸阀的工作原理

闸阀本质上是用于控制流体管道启闭的闸板, 由于闸板方向和流体方向之间呈垂直状态, 通过闸板的直线运动来控制介质的流动和导通, 所以能够起到有效的切断效用。

#### 1.2 闸阀的结构特点

闸阀的结构中使用了极为精密的压铸工艺, 因此精准的尺寸参数可以保证内部空间无需精加工处理即可满足密封标准<sup>[1]</sup>。由于闸阀内部的介质为直线流通, 所以所

受阻力较小, 在启停过程中可以减轻力的消耗; 减少水锤现象的发生次数, 方便安装。闸阀在结构上需要留出全开位置能够容纳整个闸板的腔室, 空间浪费很大。这些结构特点导致闸阀在使用过程中, 密封面部位非常容易冲蚀和磨损, 使得维修难度增大, 而且由于闸阀行程长所以开关过程所需时间较长。

### 1.3 闸阀的分类

#### 1.3.1 平行闸阀

平行闸阀的密封平面与轴线呈平行位置, 即所有密封面都设置在相互平行的位置上。核电厂一回路使用的平行闸阀最常见的类型是带推力楔块的类型, 即将双面推力楔块放置于闸板中间位置, 关闭阀门时双面推力楔块撑开将闸板密封面与阀体密封面紧密贴合, 主要应用于低压中小口径系统。此外, 核电厂部分二回路系统会使用闸板间装设弹簧的平行闸阀, 它通过介质本身的推力和弹簧具有的预紧力来提高密封性能。

#### 1.3.2 楔形闸阀

楔形闸阀的密封平面与轴线间保持一定角度, 可构成楔形结构, 通常夹角大小有 $2^{\circ}52'$ 、 $3^{\circ}30'$ 、 $5^{\circ}$ 、 $8^{\circ}$ 、 $10^{\circ}$ 等, 具体大小由闸阀流通介质的温度所决定。通常来说, 该角度参数会随着温度升高而增加, 以此来降低温度改变过程中闸阀出现卡死故障的概率。对于楔形闸阀来说, 可以进一步细分为楔形单闸板阀、楔形双闸板阀和楔形弹性闸板阀等三类。在核电厂中, 较多使用楔形单闸板阀和楔形弹性闸板阀, 楔形双闸板阀并不常见。

### 2 闸阀的制造工艺

闸阀的常见制造材料有铸铁、碳钢、合金钢、不锈钢等, 具体根据设备的要求等级进行选择, 确保各零部件的化学成分、物理性能和力学性能满足要求, 阀门整体制造符合质量标准。在阀门加工制造的过程中, 常用的工艺有铸造、锻造和机械加工等。其中, 铸造为阀

体制造使用最多方法，将熔化的金属倒入按照设计图纸开好的模具中，凝固成形后取出。而锻造则多使用在一些强度要求高的零部件制造，在锻造的过程中可以使金属部件获得更好的力学性能。机械加工工艺则多用在零部件进行加工修整的步骤，对于闸板、阀座等零部件，很多制造厂家还会在密封面表面堆焊一层硬质合金层，以增加硬度和耐磨性，涉及焊接工艺的阀门还要根据材料的特性来判断是否需要热处理。核电厂使用的核级闸阀，很多零部件在制造完成后还需要通过无损检测手段来对质量进行把关和验证，以确认其质量达到设计要求。

### 3 阀门的维修方法

#### 3.1 解体检查和打压试验

闸阀的检修，首先要提的是解体检查工作。解体检查工作拆卸前应该注意：及时并准确地标记执行机构与阀体、阀体与阀盖等连接处的相对位置，避免重新装配时，无法原位回装出现位移现象。对阀门进行解体后，应首先对各零部件包括填料函进行彻底的清洁，这种清洁是为了检查阀体和阀盖是否产生了损坏、阀门内部是否产生了腐蚀、阀杆是否弯曲变形、闸板是否冲蚀磨损等等。阀门安装使用前，应对阀门进行打压试验。打压试验是对阀门的强度和密封性标准进行测验，经过打压试验的阀门，后续使用期内，将很少出现故障问题。打压试验时，应着重注意如下事项：首先应保证正在进行中的试验，不能受到外压干扰，因为外压干扰将严重影响打压试验的结果。应使打压试验的压力值处于恒定状态，一般稳压时间应设定为3-5分钟，具体的试验压力、试验时间和泄漏率标准可参考国标或阀门手册等文件。在此时间内，如果阀门的漏量在允许的泄漏率要求范围之内，则符合标准。

#### 3.2 填料维护

给闸阀进行填料维护，是为了保证阀门的密封性良好，降低阀门失效的几率。在市场应用上，并不是所有管路的流体介质都具备恒压、恒温、无腐蚀性等良好特性，部分管路的流体腐蚀性过强、或者流体长期处于较高温度，这都将都是导致填料加速老化的重要原因<sup>[2]</sup>。填料一旦老化，阀门的密封性能也会随之下降。由填料老化而导致的阀门泄漏，处理的措施应为：将填料压盖两侧紧固螺母拧紧，确保阀门不漏，而为了避免填料失去弹性，不可一次性拧死，要为填料的下次紧固保留一定的可压缩余量，核电厂对填料螺栓大多采用力矩控制的方式来避免填料过紧。填料维护在阀门保养中占据着举足轻重的地位。除了上述提到的腐蚀性和高温环境外，填

料的老化还可能受到其他因素的影响，如频繁的操作、不当的安装等。当填料老化导致阀门泄漏时，我们不仅要采取紧急措施如拧紧填料压盖两侧紧固螺母来暂时确保阀门不泄漏，更要从长远的角度考虑，定期进行填料的检查与更换，以预防填料老化带来的潜在风险。

#### 3.3 注脂维护

闸阀齿轮箱润滑脂的选择需要关注粘度、使用温度、抗氧化性、抗辐照性能等特性，具体要根据阀门的环境湿度、工作温度、压力参数、环境是否有辐照来确定，以确保良好的润滑效果和适宜的维护周期及成本，核电厂闸阀设备手册上均有推荐相应牌号的润滑脂。对齿轮箱进行注脂，主要是为避免润滑脂不足或氧化变质导致阀门开关动作过程中卡涩或拒动，保证阀门动作响应的及时性。在阀门加脂前，首先要注意检查旧润滑脂是否氧化变质，如已变质需将旧油脂全部清理干净再加注新的润滑油脂。注脂时，要注意检查齿轮箱注油嘴通畅无堵塞、变形等异常，对于加脂的量要进行合理的控制，不宜过多，一般润滑脂从注油嘴处溢出即可停止注脂。最后，要将注油嘴处溢出的多余润滑脂清理干净，以防灰尘在此处黏连垢，堵塞注油嘴，对于有防尘帽的油嘴要注意盖好防尘帽。

#### 3.4 传动部件的维护

在阀门与执行机构连接的部位，开关的长期动作，极容易使阀门传动部件发生磨损、腐蚀、卡涩、松脱等故障。一般情况下，传动部件产生故障是由于润滑油脂流失变质、系统振动摩擦和氧化腐蚀等原因而引起的。因此，在闸阀的故障中，传动部件发生故障的几率极高，其也是日常检修和维护保养工作的重点。通常，对传动部件进行的最频繁的保养维护作业，就是目视检查、力矩校验以及润滑油脂的清理和补加，这项保养维护工作能够使传动部件减轻磨损，同时防止因传动部件卡涩或松脱而引起的传动失效。对于重要或关键位置的传动部件，我们还可以考虑使用更加耐磨损和耐腐蚀的材料，以提高其使用寿命和可靠性。

### 4 缺陷检修工艺及注意事项

#### 4.1 闸板、阀座密封面的缺陷

闸板、阀座密封面产生的缺陷，核电厂多采用电动研磨机对密封面进行研磨处理。在研磨过程中，要人工进行找平确保研磨前后的角度一致，否则可能导致闸板和阀座密封面角度不匹配而密封不严。对于闸板表面的伤痕，如果深度较大，可以先使用车床进行辅助车削消除缺陷，再对密封面进行抛光。若密封面硬质合金层不足，需要考虑对硬质合金层进行堆焊修补或直接更换新

的备件。

在阀门回装前,有一些关键的注意事项值得一提。核电厂一般会对完成检修的闸板和阀座进行蓝油试验:在闸板上涂抹一层薄薄的蓝油,试装闸板和阀座后再次取出,通过闸板上蓝油的印记来判断闸板与阀座的角度是否匹配,密封面在阀门关闭时能否完全接触。此外,核电厂尤其注重防异物的管理,阀内组件正式回装前都会仔细检查阀腔和管道上下游无异物及研磨残留颗粒状物质:一是基于核安全的严肃性,防止系统内残留异物对主设备造成损害;二是防止残留的研磨颗粒物在阀门开关过程中损伤密封面,导致阀门内漏。

#### 4.2 阀杆的缺陷

阀杆上产生的缺陷,若缺陷位置不在填料密封段上且不影响阀杆强度,大多可以保持原状不做特别处理,保持定期跟踪即可。若位于填料密封段上,可打磨抛光消除或打磨至缺陷使用指甲触探圆滑过度无明显触感的,理论上可以通过填料的补偿来继续保持密封的有效性。若位于填料密封端上的缺陷较大,可以通过喷涂工艺进行修复还原,但是核电厂一般只有非核级的阀杆会使用喷涂工艺进行修复,核级设备的阀杆不允许使用喷涂工艺,缺陷过大一般直接更换新阀杆备件。

#### 4.3 其他零部件的缺陷

闸阀的主要零部件中,除闸板、阀杆、传动铜套、轴承等运动部件外,其余零部件基本没有相对运动,属于静止部件,较少出现缺陷。核电厂中发生故障概率较高的部件都会准备有一定数量的备件库存,多数情况下零部件的缺陷只要不影响阀门的动作响应和功能性都会维持原状,有可能影响阀门的操作和性能的缺陷零部件都会及时安排进行更换。这里需要注意的是,不管缺陷处于哪个位置,当前是否影响阀门的功能,每一个缺陷从第一次发现起都要详细的记录,并做好定期复查,以便定期掌握缺陷的最新状态,确保不会因为缺陷的扩大造成设备失效。

### 5 鉴定标准分析

核电阀门品种繁杂,一般阀门的出厂品质和性能都有保证,核电阀门设备的认证,通常需要符合ASME QME-1。主要的鉴定内容包括到ASME QR-A卷机械设

备的动态评估,以及QV卷核电厂内能动阀组的性能评估等。此外,还需要参考ANSI B16.41核电站的动力操作型能动阀门装置性能鉴定要求、IEEE 382核电站安全型阀门驱动设备的鉴定测试要求<sup>[1]</sup>。根据ASME QV-500阀门功能鉴定,主要包括项目为阀的密封功能试验:制冷状态下循环试验;加热状态下循环测试;在最大的管道反应端的压力下可操作性试验;振动测试;流阻试验;对内部材料充分适应的自然变化和老化试验。如ASME QVP-7320中规定的阀门鉴定标准,其方法主要是:试验时的测量;基本频率的确定;对环境改变和衰老的实验模拟和中间试验;循环测试和中间试验;端部负荷试验和中间测试;振动试验和中间检测;额定电流抑制能力试验;测试后的检验结果。在鉴定试验过程中,可按照实验内容对某些实验加以划分或改变次序。

但在使用方调试和检修时,阀门的密封泄漏、卡涩等机械故障就成为了普遍的问题。通常在阀门投入现场使用后的检修阶段,在现场维修有限的试验条件下,一般核电厂会对闸阀进行密封性打压试验,闸板和阀座蓝油试验,开关操作验证,电动或气动闸阀还会执行远程动作验证、开关时间验证等再鉴定检查,以确保阀门的功能性符合设计要求。

#### 结语

通过对核电厂闸阀的维修及工艺分析,我们可以更加深入地了解其工作原理、结构特点和制造工艺,掌握有效的维修方法和缺陷检修工艺,清楚相关鉴定标准。这不仅有助于提高闸阀的维修效率和质量,还能确保其长期稳定运行,为工业生产提供坚实的保障。通过以上探讨,希望能为相关领域的工程技术人员提供一定的参考和借鉴,共同推动阀门维修及工艺分析技术的不断进步。

#### 参考文献

- [1]陈佳欣,李乃安.探究电站阀门现状分析与改进思路[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2021(9):0272-0273.
- [2]侯永坤.浅谈阀门的常见故障及保养维护[J].内蒙古石油化工,2021,47(12):53-55.
- [3]曲先民,陶姬,于涛.电站阀门检验中的问题分析[J].中国特种设备安全,2023,39(06):63-67,79.