# 高温工况下闸阀选型及安装调试关键技术探析

吉元鑫　雷　霆　董胜帅　韩凯航　万丽丽

河南泉舜流体控制科技有限公司 河南 郑州 450001

**【摘　要】**：高温工况是阀门服役环境中最具挑战性的条件之一，闸阀作为应用最广泛的截断类阀门，在高温条件下其密封性能、结构稳定性及操作可靠性均面临严峻考验。本文系统分析了高温工况下闸阀选型的关键技术要素，包括阀体材料选择、密封副配对、阀杆高温强化、中法兰垫片选型及高温填料设计等。在此基础上，深入探讨了高温闸阀安装调试的核心技术要点，涵盖安装前的热态间隙复核、阀杆对中调整、螺栓热紧工艺、高温密封性能测试及热态调试操作规范等内容。通过对选型与调试两阶段关键技术的系统阐述，旨在为高温工况下闸阀的工程应用提供全面的技术指导，确保阀门在高温环境下的长期稳定运行。

**【关键词】**：高温工况；闸阀；阀门选型；安装调试；密封性能

**DOI:10.12417/2811-0528.26.21.072**

## 1 引言

闸阀是工业管道系统中应用最广的截断类阀门，用闸板的升降来实现流道的开闭。高温环境下闸阀会出现材料性能降低、热胀冷缩、密封失效、操作受阻等问题[1]。高温使金属材料的强度、硬度、抗蠕变性明显降低，而且加大了密封副间的磨损以及热粘着的可能性。阀体、阀盖和闸板之间由于热膨胀的不同而产生运动间隙消失，造成阀门卡死或者密封比压失衡[2]。高温环境下非金属密封材料（填料、垫片等）的耐热性、抗老化性要求也变得越来越高。选型不合理或者安装调试不到位，高温闸阀很容易出现内漏、外漏、启闭不灵等故障，严重危及系统运行安全以及维修效率[3]。

## 2 高温闸阀选型关键技术

### 2.1 阀体与阀盖材料的选择

高温闸阀的阀体、阀盖材料要根据介质温度、压力、腐蚀性来选择。常用的高温材料和适用温度见表 1。材料选择还要考虑介质的腐蚀性，含硫介质要选用抗硫化物应力腐蚀的材料。

表 1 高温闸阀常用材料及适用温度范围

| 材料牌号 | 材料类型 | 适用温度范围(℃) | 主要特点 | 典型应用场景 |
|---|---|---|---|---|
| WCB | 碳钢 | -29~425 | 综合性能好，成本低 | 通用工况，温度≤425℃ |
| WC6 | 铬钼钢 (1.25Cr-0.5Mo) | -29~540 | 高温强度好，抗蠕变 | 高温蒸汽、导热油 |
| WC9 | 铬钼钢 (2.25Cr-1Mo) | -29~570 | 高温性能优于 WC6 | 高温高压蒸汽 |
| C12A | 铬钼钒钢 (9Cr-1Mo-V) | -29~620 | 优异的高温强度和抗氧化性 | 超高温蒸汽、再热器 |
| CF8C | 稳定化奥氏体不锈钢 | -196~650 | 耐高温氧化，抗晶间腐蚀 | 高温腐蚀性介质 |
| CF10M | 钼含量奥氏体不锈钢 | -196~650 | 含钼，抗还原性酸腐蚀 | 高温酸性介质 |

阀体材料选择的主要原则就是，在服役温度下材料的许用应力要满足压力等级的要求，并且要有良好的高温抗氧化或者抗腐蚀性能。当温度大于 540℃时，最好选用铬钼钒钢或者奥氏体不锈钢。另外奥氏体不锈钢热膨胀系数大，设计时要留出足够的配合间隙，防止高温时发生卡涩[4]。

### 2.2 密封副结构设计与材料配对

高温闸阀密封副的设计是保证内密封可靠的保证。按密封面形式，闸阀分为楔式闸阀和平行式闸阀两种。楔式闸阀的闸板和阀座密封面之间存在一定的夹角，依靠楔形的作用来产生密封比压，适用于高温高压的工况，但是温度变化所引起的热膨胀会使楔角发生变化，从而影响到密封的效果。平行式闸阀的闸板和阀座密封面是平行的，依靠介质的压力推动闸板贴紧出口侧的阀座来达到密封的目的，对热膨胀不敏感，但是密封比压受介质压力的影响较大[5]。

密封副材料配对属于高温闸阀选型的又一重要方面。常用

的高温密封副配对有司太立合金和司太立合金、司太立合金和奥氏体不锈钢、碳化铬和碳化铬等。司太立合金（Stellite No.6、Stellite No.21）具有很好的高温硬度、抗擦伤性和耐腐蚀性，是高温闸阀密封面的首选材料，一般采用堆焊工艺将合金敷在闸板和阀座密封面上。密封面硬度设计要遵照“一软一硬”或者“等硬”的准则，防止使用相同的硬度的同种材料造成粘着磨损。

### 2.3 阀杆高温强化与防咬死设计

高温工况下，阀杆承受着扭矩和轴向拉力的双重作用，并且还要与填料、阀杆螺母做滑动摩擦，因此它在高温闸阀中是容易出现故障的一个部位。阀杆材料要有高温强度、抗蠕变、抗氧化、低摩擦等性能。常用的高温阀杆材料有 17-4PH 沉淀硬化不锈钢、Inconel 718 镍基合金和 GH2132 高温合金等。阀杆表面要进行强化处理，例如渗氮、镀硬铬或者堆焊司太立合金等，从而提高表面硬度和抗擦伤能力。

防咬死设计属于高温阀杆选型的内容之一。高温时金属材料表面的氧化膜容易被破坏，阀杆和阀杆螺母或者填料接触面容易发生冷焊咬死。解决措施有使用不同材料的阀杆和阀杆螺母配对（阀杆用沉淀硬化不锈钢，螺母用铝青铜或者镍基合金），在阀杆表面涂覆高温防咬死涂层（二硫化钼、石墨基涂层等），设计阀杆与填料的合理过盈量，防止过度压缩。

### 2.4 中法兰垫片与高温填料选型

中法兰垫片是防止阀体和阀盖连接处外漏的重要部件。高温工况下，垫片材料要具有较好的抗蠕变松弛性、抗氧化性和密封追随性。常用的高温垫片有柔性石墨复合垫、缠绕垫（内外环材质与法兰匹配）、齿形组合垫（齿形金属芯+柔性石墨覆层）等。柔性石墨具有很好的高温密封性、回弹性，在高温下不容易老化，是高温闸阀中法兰垫片的首选材料。垫片的选择应根据压力等级、温度来决定垫片的种类和规格，再计算出螺栓预紧力，保证高温时垫片仍有足够的残余密封应力。

高温填料为阀杆密封件。传统的聚四氟乙烯（PTFE）填料在 250℃以上就会软化失效，不能用于高温工况。高温填料主要是柔性石墨环，耐温可达到 650℃（非氧化性气氛）或者 500℃（氧化性气氛）。柔性石墨填料自润滑性好、热稳定性高、压缩回弹性能好。填料组合一般采用上、中、下三段式结构，中间设隔离环分担压力，底部设防挤出环防止高压介质把填料吹出。

## 3 高温闸阀安装调试关键技术

### 3.1 安装前的间隙复核与尺寸检查

高温闸阀在常温下组装时留出的配合间隙，和高温工作状态下实际间隙有差别。安装前要对重要部位的间隙进行复核测量。闸板和阀体导向槽之间的侧向间隙，是决定闸板运动是否平稳的重要因素。常温下测得的间隙要联系材料线膨胀系数和预期工作温度，算出高温时的实际间隙是否在设计允许范围之内。高温间隙过小时，可采用增大配合间隙的阀门或者对导向面进行修磨。密封面接触状态检查属于安装前的一项工作。用红丹粉或者着色剂涂在闸板上，把闸板装入阀体中，轻轻压紧，看密封面上接触印痕的分布情况来判断密封面是否贴合好。接触印痕要连续、均匀，不能有断线、偏斜的现象。接触不良时要对密封面进行研磨修配。

### 3.2 阀杆对中与执行机构调试

闸阀安装时，阀杆垂直度、对中度都会影响操作力矩、密封性。阀杆和阀体通道中心线垂直度偏差不能超过规定的范围，否则会造成闸板偏斜，造成密封面偏磨或者关闭不到位。安装前用框式水平仪或者激光对中仪检测阀杆垂直度，偏差超过允许值时应通过改变阀体支撑或修改管道支架来校正。对于配置电动或者气动执行机构的高温闸阀，在安装时需要将执行机构输出轴和阀杆对准。联轴器同轴度偏差应控制在一定的范围内，偏差过大容易引起阀杆附加弯曲应力，加快填料磨损和阀杆疲劳断裂。调试时，手动操作执行机构使阀门在全开和全关位置之间来回移动几次，检查有无卡涩、异响，行程限位开关的位置是否和阀门的实际开度一致。

### 3.3 螺栓热紧工艺与操作规范

高温闸阀首次升温到工作温度之后，由于螺栓、法兰和垫片的热膨胀不同以及垫片的蠕变松弛，螺栓预紧力会明显降低。如果不及时进行热紧，中法兰会漏。热紧操作应在阀门升温到工作温度并且稳定运行 4～8 小时之后再进行。热紧时应使用专用防爆工具，对角线依次分步紧固螺栓，每步紧固量要均匀，不能单侧过紧造成法兰偏移。热紧力矩应按常温预紧力矩和温度修正系数来定，一般不大于常温预紧力矩的 1.2 倍。热紧时要监视法兰间隙变化，保证法兰面平行。严禁在带压状态下做热紧工作，以免造成密封面损坏或者介质喷出伤人。对操作温度变化频繁的工况，采用带有碟形弹簧的活载螺栓，依靠碟簧的弹性补偿来保持螺栓预紧力，从而降低热紧次数。

### 3.4 高温密封性能测试方法

高温闸阀安装完毕后密封性能测试应在系统达到工作温度之后进行，因为常温下密封测试的结果不能完全反映高温工况实际的密封状态。高温密封测试方法包括：壳体强度试验和密封试验。壳体强度试验为 1.5 倍设计压力，保压时间不小于规定值，检查阀体、阀盖、中法兰有无可见渗漏。密封试验按照设计压力进行，保压时间不小于 5 分钟，用阀门出口泄漏量

来判定密封是否合格。高温气体介质采用氦质谱检漏或者超声波检漏，灵敏度高，可以检测到很小的泄漏。密封试验时要记下介质温度、压力和泄漏率，再同设计允许的泄漏率加以对比。密封试验不合格时，首先要检查密封面有无异物卡滞，然后判断是否需要研磨修复或者更换密封件。

### 3.5 热态调试与操作注意事项

高温闸阀完成安装和密封试验后，需进行热态调试。首次升温要缓慢进行，升温速率不能大于规定值，防止温差太大造成热冲击。升温时每隔一定温度手动操作阀门一次，检查运动部件有无卡涩现象。当温度接近工作温度时，需要测量阀杆表面的温度分布，看热传导是否符合预期。若阀杆温度过高，应检查冷却措施是否有效或者增加散热片的数量。高温闸阀的操作要遵守“慢开慢关”的准则，防止快速启闭引发密封面的冲击性损伤。关闭力矩应适当，以手轮或者执行机构输出力矩达到设计关闭力矩为标准，不得用过大力矩强行关闭。长期处在高温待用状态的闸阀，应该按照月度计划对它进行一些行程操作，以避免由于长时间的静态接触而使闸板和阀座发生热粘着。

## 4 高温闸阀常见故障与预防措施

### 4.1 阀杆咬死与操作卡涩

阀杆咬死属于高温闸阀最常见的一种故障，出现的情况是阀杆转动不灵或者完全卡死。主要原因是阀杆和阀杆螺母材料不匹配，在高温下出现冷焊现象，填料被压缩得过紧造成摩擦力过大，阀杆表面氧化或者结焦导致表面粗糙度降低，阀杆弯曲变形，与填料、导向套不同心。预防措施有选用硬度不同的阀杆和螺母材料配对，例如阀杆用沉淀硬化不锈钢，螺母用铝青铜或者镍基合金；严格控制填料压盖螺栓预紧力矩；在阀杆表面涂覆高温防咬死涂层；定期对阀杆进行润滑维护，在高温条件下使用二硫化钼干膜润滑剂。

### 4.2 内漏与密封面损伤

内漏指的是闸板关闭之后，介质还会从密封面上泄漏。原因有密封面磨损、划伤或者腐蚀，密封面上有异物卡滞，闸板关闭不到位，密封比压不够，高温下密封副材料蠕变，密封比压下降。预防措施为选用耐高温、抗擦伤的密封副材料（司太立合金等），定期检查密封面情况，发现轻微损伤及时研磨修复，在阀门全关位置设置可靠的限位装置，保证关闭到位，选用带自紧功能的密封结构，利用介质压力辅助密封。对于内漏严重的阀门要及时拆检，清除密封面的异物，必要时重新堆焊密封面并研磨。

### 4.3 中法兰及填料外漏

中法兰外漏主要是由于螺栓预紧力不够、垫片老化或者法兰面有损伤造成的。填料外漏主要是由于填料老化、压缩不够或者阀杆表面有损造成的。预防措施为严格执行热紧工艺，初次升温时及时热紧螺栓，定期检查垫片状态，发现泄漏立即更换，采用活载螺栓或者碟簧补偿装置，保持螺栓预紧力稳定，选用耐高温的柔性石墨填料，合理设计填料组合，保证填料压盖均匀压紧，定期检查阀杆表面状态，发现划伤或者腐蚀及时修复或者更换。

## 5 结语

高温工况下闸阀的选型和安装调试是保证阀门长期可靠工作的主要部分。选型时主要考虑阀体材料高温强度、密封副耐热抗擦伤性能、阀杆高温强化处理、中法兰垫片和高温填料合理选配。安装调试阶段要严把间隙复核、阀杆对中、螺栓热紧、高温密封试验、热态调试等主要工序。只有把选型技术和安装调试工艺结合起来，才能有效地防止高温常见的故障，保证高温闸阀在恶劣的工作环境中安全、稳定的运行。

## 参考文献：

[1] 何锴君,余位权.浅析黔中水利枢纽工程闸门控制系统设计及应用[J].中国水能及电气化,2024(1):18-23.

[2] 汪晓钦,章毓良,章笔词,沈柏廷,王晓哲.高压闸阀的制造工艺及质量控制策略[J].模型世界,2025(35):125-127.

[3] 张林,汤文斌,刘杰,等.可靠性强化试验技术在电动闸阀故障识别中的应用[J].流体机械,2025,53(3):110-118.

[4] 王浩.基于 Workbench 的电动闸阀楔式弹性单闸板的分析优化[J].阀门,2025(9):1054-1059.

[5] 杨雄刚文/图.闸阀软填料密封泄漏原因与应对措施浅析[J].能源新观察,2024(2):54-57.