

# 浮子导向机构对排气阀工作平稳性及密封性的影响

李 军

浙江盾运实业有限公司 浙江 311835

**【摘要】**：在阀门技术领域，排气阀的性能直接关系到流体输送系统的效率与安全。其核心功能在于及时排除管道内积存的气体，并在排气后实现可靠密封因此，本文将针对上述导向机构对排气阀工作平稳性、密封性影响进行探讨，即从导向机构结构及其作用入手，综合考虑其在保证浮子运动的轨迹稳定性和对中性的基础上，对改善阀芯动态响应的平稳性、阀座贴合的均匀性的作用，并进一步研究导向机构的摩擦特性、间隙控制以及长期磨损等因素对其动态行为和密封性能的影响。最后，根据理论计算结果提出改进导向机构在结构上、材质上、安装方法上的设计制造以及使用维修的对策，以期对同类排气阀的设计应用具有一定的参考价值。

**【关键词】**：排气阀；浮子导向机构；工作平稳性；密封性；导向精度

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.047

在给水管、采暖通风及空调工程、石油化学工业等领域，流体管路中的气体聚集将造成效率降低、空穴、压力脉动等危害。自动排气阀的主要功能就是自动检测、排除游离空气，在放气完成后应能快速闭合、严密不漏。故而，理想的排气阀需具备良好的运动稳定性、响应速度及时效性的密封耐久性。传统的设计往往很难做到两全其美。过于注重密封严苛性可能会降低启闭灵敏性和平顺性；过于注重灵活性可能会因为导向不够准确而造成对中不好从而发生磨损或泄漏。这就突出了导向机构在整个排气阀设计上的枢纽作用。

## 1 浮子导向机构的结构特性及其功能定位

导向限位体及阀体内壁所形成的导向约束副是浮子导向组件的核心部件，导向限位体固定在浮子上，一般呈对称圆柱形或者圆筒型，导向限位体的外侧面与阀体内壁相应部位形成滑动副，限制浮子的主要移动方向，实现浮子的竖直方向上的运动；当有气相积聚时，液面降低，浮球受到浮力的作用向下移动，从而带动导向限位套也一起向下移动。导向限位套推动浮球沿着阀体垂直中心轴线平稳地向下运动，并在其顶端某处有一凸起部位与一能上下滑动的滑块下端相抵触或者连接在一起，该滑块顶端与其安装在阀体上的导流套底端的一个锥面阀芯组成密封副。当浮子下行至末期时，导向限位体推动或者允许活动体下行，使活动体上端脱离阀座，打开排气通道。气体排出之后，液体升高，浮子上浮，导向限位体随之上升而不再限制活动体移动。

## 2 浮子导向机构对排气阀工作平稳性的影响

### 2.1 导向精度与阀芯运动轨迹稳定性的关系

导向精度是指导向副的几何精度及其配合质量，包括圆度、圆柱度、同轴度以及配合间隙的均匀程度。高的导向精度

是保证运动轨迹稳定的先决条件，一旦有形状误差或者间隙不均匀，那么浮子就会受到变动的径向约束力，造成浮子运动轴线的微量偏移或者歪斜并经由接触面传到活动体上，造成活动件运行轨道偏离理想中心。活动件的偏心运行有两个不利后果，一是开行程中，活动件会斜着离开阀座，形成局部瞬时应力集中，出现小冲撞；二是关行程中，活动件不能垂直地整体贴附阀座，可能会一边先碰上而撞击阀座，引起撞击、弹跳，造成阀芯抖动，并破坏平稳性和产生噪声，同时导致密封面局部磨损加剧。

### 2.2 导向机构摩擦特性对动态响应的影响

导向副的摩擦直接关系到浮子运动的灵敏性和匀速程度。其摩擦主要是导向限位体外圆面与阀体内孔壁的滑动摩擦。其中静、动摩擦因数及摩擦力的稳定性为重要因素。当导向副材料配合不当或润滑不良引起静摩擦因数过大，则启动时浮子需克服较大静摩擦力，“起始迟滞”、“突跳”，破坏平稳性；运动过程中，若动摩擦力过大或不稳定，则浮子运动需消耗较多能量，表现为动作“迟钝”，对小幅波动响应能力降低，甚至出现“爬行”现象，发生低频振动。为提高平稳性，导向副设计应追求低且稳定的摩擦系数。可通过采用自润滑材料(如一些工程塑料、复合材料)或增加表面光洁度或设计合理的微油槽产生润滑膜等方式实现。

### 2.3 不同工况下导向结构对振动与冲击的抑制效果

排气阀工作过程中会遇到压力脉动、液面波动及外界震动等情况。合理的导向机构对这些震动和撞击具有缓冲减振的作用。首先导向装置自身的刚度及阻尼性很重要，合理的设计会使它们之间形成一定的配合来增大系统的径向刚度从而增强运动件抗横向干扰力的能力。

二是导向间隙的设计。过大则会影响系统的刚度，在受到冲击时会产生较大的径向晃动以及撞击声；过小则容易因温度的变化或者杂质的存在而出现卡死的情况。合适的间隙大小可在不影响运动的情况下起到较好的径向约束作用，抑制冲击振动。另外一些导向限位体还兼有缓冲或者阻尼的功能，比如导向限位体上部与活动体接触的部分为柔性结构或者是带有阻尼层，在到达极限位置的时候起到缓冲的作用；当遇到较大的液面波动时，导向长度较长的机构能够得到较好的力矩平衡效果，防止浮子歪斜、倾斜或者翻滚导致阀芯的异常跳动。因此，导向结构是排气阀在复杂工况下保持工作平稳性的内在稳定器。

### 3 浮子导向机构对排气阀密封性的影响

#### 3.1 导向对中性与阀座贴合均匀性的关联

密封副要实现零泄漏，必须保证活动体密封面与锥形阀座在关闭时实现全周向、均匀的线接触或面接触，这对两者的同轴度要求极高。导向机构正是这一同轴度的最终保证。活动体的运动轨迹完全由导向限位体间接控制。如果导向机构具有优异的对中性，能保证运动轴线与固定阀座的轴线高度重合，那么活动体在弹簧力推动下关闭时，就能以垂直姿态均匀压向阀座。反过来，如果存在对中偏差，则活动体将是歪着身子向阀座靠近，使得密封副一侧先接触到而另一侧有间隙，在弹簧力的作用下可能出现两个严重的后果：其一是在密封面出现接触压力极不均匀的情况，先接触的一面接触压力很大，易发生塑性变形或者压溃；其二可能是某些部位一直未能有效地接触，形成直接漏失通道。即便强行以较大的弹簧预紧力压紧，这种不均匀接触也会造成密封材料应力松弛快慢不同，长期使用之后密封效果骤降。因此，导向机构的对中性是确保密封副均匀贴合、实现理想密封压力分布的根本基础。

#### 3.2 导向间隙与介质泄漏的机理分析

导向间隙是指导向限位体外径尺寸与阀体内壁内径尺寸的配合间隙。其对运动的影响除了运动平稳之外还关系到是否存在潜在的介质泄漏通道的问题。因为当活动体关闭，主密封副起作用的时候，理想情况下系统压力已经被隔离了。但是如果导向间隙过大，并且从结构上讲，导向间隙有可能和高压腔以及低压腔相通的话，存在一定的间隙泄露或者毛细渗漏的可能性，尤其当被密封介质粘度较低或者含固体微粒的时候；导向间隙通过影响对中性来间接影响主密封的功能。一个需要权衡的问题是：为了防止卡滞和适应热膨胀，必须存在一定的间隙；但为了确保对中精度和阻断潜在泄漏，间隙又必须尽可能小。高性能排气阀通常采用精密的间隙配合等级，并在结构设计上设置合理的密封隔离，例如在导向限位体的适当位置设置O形圈或防尘圈，既允许轴向滑动，又能阻断径向的介质沿间隙迁移，确保导向功能与密封功能的相对独立与协同。

#### 3.3 长期运行中导向磨损对密封性能的退化影响

排气阀导向在整个使用寿命期间都存在摩擦磨损，随着时间的推移，配合面会产生磨损现象，并造成配合间隙增加以及表面几何精度降低等问题，而这些磨损退化将逐步影响密封效果，且无法恢复。当出现轻微的均匀磨损时，其影响较小，但若是由于导向不匀或者介质中掺杂了磨料或是材质本身的耐磨性较差引起偏磨或急剧磨损，则情况则会恶化。严重磨损一方面会导致对中精度遭到破坏，活动体运动轨迹的偏离量随时间增大，导致密封副贴合均匀性变差，出现泄漏；另一方面磨损产生的磨屑可能侵入到密封副内，嵌入或划伤软质密封面，造成永久性损伤。磨损也会改变导向机构的动力特性，比如由于间隙不规则造成运动中存在微小抖动，在关闭瞬间抖动会传导给密封副，影响密封副的稳定闭合；所以导向机构的耐磨性设计也是排气阀长久密封可靠的关键，包括选取高硬低摩的耐磨材料配对，提升表面处理工艺，还有确保介质干净。对导向机构磨损状态的监测与评估，也应成为阀门预防性维护的重要内容。

### 4 提升导向机构性能的设计与维护对策

#### 4.1 导向结构优化与材料选型建议

从结构方面来说，首先要确保导向副有足够的长径比，导向长度越长，运动直线度越高，抵抗倾覆的能力就越强；还可以考虑采取组合式或者分体式的导向形式，比如在导向限位体内嵌入低摩擦耐磨衬套或者是使用双导向点等方式来增加导向精度及稳定性。导向限位体与活动体顶面配合处可考虑做成球形面或者有微量运动间隙的形式，以适应微量安装偏差，减少导向偏差直接作用到密封副上而造成过大的偏压。导向副所用材质应当满足匹配使用条件，在一般情况下优先采用阀体硬质表面+密封圈软质表面，而导向限位体则选用自润滑、低摩擦系数、耐磨损的工程塑料或者复合材料，如聚甲醛、增强尼龙、聚醚醚酮或者金属基复合材料，能够实现稳定地低摩擦运动，在缺液的情况下可以起到一定的保护作用，避免卡死的可能性；对于弹簧而言，其材料也要考虑疲劳强度及抗松弛性能，保证稳定的可靠闭阀力。

#### 4.2 装配工艺与精度控制要点

精密加工及装配是实现设计的重要保证，首先要严把阀体内壁导向孔、导向限位体外圆柱面、固定阀座的加工精度和形位公差关，尤其是阀体内壁导向孔的圆柱度、与阀座安装面的同轴度；其次是装配过程是关键工序。装配前将各零件洗净。导向限位体放入阀体内后应顺畅不卡滞并进行选配或测量以保证导向间隙的理想值；活动体、弹簧、导向限位体、浮子组件组装时应保证各个零件之间轴向方向对中性良好。必要时，可在专用夹具上组装，或采用智能拧紧设备控制关键紧固件的扭矩，避免装配应力导致变形影响对中精度。

### 4.3 使用过程中的状态监测与维护策略

使用过程中,需制定对导向装置的定期检修计划,在使用中做好日常维护工作,主要有监测法、周期保养及预防更换三种方法。监测法主要是用耳听、目视、测量等方式来判断其是否存在问题,耳朵听:听启闭过程中的异响,如撞击声、摩擦声等;眼睛看:看排气是否通畅,关阀后是否有少量泄漏;测量:定期测量阀门动作时间、启闭压差数值是否发生变化,间接表示导杆机构的磨损或卡滞状况。定期保养指系统停车后拆检,查看导杆限位头和阀体内部的磨损状况,测量配合间隙大小,查看密封面情况,并清除污物、磨粒。对非永久润滑设计可以按照一定的时间间隔补充不相溶的润滑脂。预防性更新指依据累积工龄、恶劣的工作条件和定期检测的结果当导向元件出现一定程度的损耗而影响使用效果前,及时更换导向限位体或者相应的耗损零件,能够更好地保证其连续稳定的正常运转。

### 参考文献:

- [1] 陶华.铝合金浮子组件焊接工艺与气密性研究[J].机电信息,2026,(01):84-88.
- [2] 李晓勇,张航,冀卫东,黎焱,李荣富,温斌荣.流载荷作用下浮式风机系泊系统浮子动力学响应特性试验研究[J].海洋工程装备与技术,2025,12(04):49-54.
- [3] 黄鑫,曹晨磊,李东生,郑申奎,杨转.基于饱和潜水作业的动态海缆浮子水下在线更换方案设计[J].机械工程师,2025,(11):147-151.
- [4] 张帆,梁海志,乔东生,许学建.波浪能浮子与半潜式风机基础的耦合作用[J].哈尔滨工程大学学报,2026,47(01):35-43.
- [5] 闻福三,李政清,任齐,伍时和,吴乐贤,李社蕾,王连胜,丁学用,辛光红,任丙男.一种波浪能振荡浮子转换方式的研究[J].海岸工程,2018,37(01):1-16.
- [6] 栾晓东,陈博宇,沈峰,宋丹,王晓红.采用磁平衡结构的金属管浮子流量计[J].科技创新与应用,2017,(01):17.
- [7] 朴立华.浮子流量传感器结构优化与粘度影响研究[D].天津大学,2011.
- [8] 余更生.浮子式疏水阀[J].机械研究与应用,2001,(S1):29.

### 5 结论

作为所述排气阀的重要部件之一,浮子导向装置直接影响着排气阀的工作稳定性及密封效果;从功能上来看,主要是实现对浮球运动路径的约束以及对浮球运动状态进行调节的作用。实践证明,理想的导向装置可以使阀芯沿着中心旋转轴稳定而灵活地运行,有效降低启闭过程中的冲击、振动及卡阻现象,提高阀门动作平顺性、快速性和可靠性,并且导向机构的同轴度是确保密封副均匀接触从而达到良好密封的前提条件,间隙配合尺寸精度和耐磨损性能决定了在实际使用条件下密封效果的稳定性,所以排气阀设计、加工、维护均需要注意:因此,应该高度重视并合理利用浮子导向装置,在导向装置结构形式、先进导向对摩材料应用、导向装置制造安装精度及使用状态管理等方面综合考虑,充分发挥其优点,减少不利影响,确保排气阀能持续稳定运行,取得理想的排渣效果和严密性指标。本文的研究可为同类产品的技术升级和开发提供有益的技术参考及指导。