

# Working principle and typical fault analysis of series dry gas seal with intermediate intake

Zhijun Liu

Pucheng Clean Energy Chemical Co., Ltd., Pucheng, Shaanxi, 715500, China

## Abstract

This article mainly introduces the working principle of the series dry gas seal with intermediate inlet used in centrifugal compressors, including the working principle of a single sealing ring, the comparison between the dynamic and static ring seals and labyrinth seals of the dry gas seal, the composition of the series dry gas seal with intermediate inlet, and the working principle of the series dry gas seal with intermediate inlet; The system also analyzed three typical faults of dry gas seals, including excessive leakage of gas in the first stage seal, insufficient leakage of gas in the first stage seal, and low pressure difference between the seal gas and the torch and balance tube. In terms of preventing gas leakage, the gas film of the dry gas seal acts as a barrier, which can isolate the gas inside the compressor from the outside world. Introduce and analyze the above principles and faults.

## Keywords

dry gas seal; sealing end face; isolation gas; leakage gas; O-ring

## 带中间进气的串联式干气密封工作原理及典型故障分析

刘智军

蒲城清洁能源化工有限责任公司, 中国·陕西蒲城 715500

## 摘要

本文主要介绍了离心式压缩机用的带中间进气的串联式干气密封的工作原理, 包含单密封环工作原理、干气密封动静环密封与迷宫密封对比、带中间进气的串联式干气密封组成、带中间进气串联式干气密封工作原理这四个方面; 也系统的分析了干气密封常见的三种典型故障, 包含一级密封泄漏气量过大、一级密封泄漏气量过小、密封气与火炬及平衡管压差低。在防止气体泄漏方面, 干气密封的气膜犹如一道屏障, 能将压缩机内部的气体与外界隔绝。通过以上原理介绍与故障分析。

## 关键词

干气密封; 密封端面; 隔离气; 泄漏气; O形环

## 1 干气密封在甲醇合成气压缩机中的重要性

在现代石油化工、化肥及能源工业中, 离心式压缩机被广泛用于输送各类危险气体, 如氢气、富气、天然气和氨等<sup>[1]</sup>。

在甲醇生产过程中, 合成循环气压缩机扮演着关键角色。循环气主要成分是 CO、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>, 随后循环气进入压缩机, 经过多级压缩, 压力逐步提升。而干气密封在甲醇合成压缩机中至关重要, 其非接触式密封的优势显著。而且, 干气密封泄漏量小, 有利于保障安全生产, 防止合成循环气泄漏引发事故, 对整个甲醇生产装置的平稳运行和环境保护意义重大。以我公司甲醇合成装置机为例, 其循环气压缩机采用杭州汽轮机股份有限公司生产的 5V-4W 型垂直剖分锻钢壳体筒型压缩机, 并由蒸汽透平驱动。

【作者简介】刘智军(1987-), 男, 中国陕西渭南人, 本科, 工程师, 从事低温甲醇洗; 离心式压缩机研究。

## 2 工作原理

### 2.1 单密封环工作原理

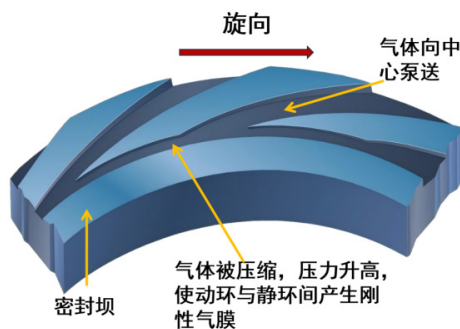


图 1 干气密封动环切面图

干气密封主要由旋转环、密封圈等部件构成。旋转环是干气密封的关键零件之一, 通常由硬质材料制成, 表面开设动压槽。O 形环则用于辅助密封, 多采用弹性材料, 能适应密封面的微小变化。其中, 静止环固定在弹簧座上, 与旋

转环相对，形成密封面。弹簧组件为密封面提供预紧力，使密封面在静止时保持闭合。这些部件相互配合，共同保障干气密封的正常运行，实现气体的有效密封。

通俗的说，动环就是一个半开式叶轮，如果按照螺旋槽的开口方向转起来，他就成了一个小型的“向心式压缩机”，和离心式压缩机不同的是，离心压缩机叶轮是把气体往外甩，而干气密封动环是把气体往靠轴方向挤压，而且形成极薄且稳定的气膜（理论和实践均证明，该气膜厚度大约为 $3\mu\text{m}$ ），它不仅厚度稳定，还具备良好的气膜刚度，既阻止了合成循环气介质向外泄漏，又避免了动、静环的直接磨损，极大地提高了密封的可靠性和使用寿命。如图1所示，看到密封槽、密封坝、旋转方向。密封槽的方向和旋转方向是有关系的，往哪个方向旋转哪个方向的开口大且比较深，所以密封槽的开口处都是比较深，开口也比较大，越往中心位置，密封槽越窄、也越浅，所以通过旋转将气体泵入密封槽，旋转的越快，密封槽对气体做功越大，气体被压缩，压力升高，使动环和静环之间因产生刚性气膜而分开。

## 2.2 干气密封动静环密封与迷宫密封对比

形象的讲，迷宫密封就是通过多堵断墙让气体一直翻墙，在这个过程中每两堵墙之间的小腔体都对流通气体进行减压，不断降低泄漏气体的压力，但是迷宫墙数有限，所以总会有少量气体泄漏，而干气密封端面形成的气膜是动环和静环之间的一整堵高压墙，这堵墙一直有很少量的气体补充墙体因泄漏引起的能量损失，所以在迷宫密封中流通的阻力远远小于动静密封端面形成的气膜流通时的阻力。

## 2.3 带中间进气的串联式干气密封组成

带中间进气的串联式干气密封也叫带中间迷宫的串联式干气密封，把它分解一下：首先它是串联式干气密封，也就是串联了两个单端面密封，其次它有中间进气，中间进的气是二级密封气，最后它有一个中间迷宫密封，这个迷宫密封一级密封泄漏腔与二级密封进气腔之间，当然最外端都是常规的后置隔离密封。带中间进气的串联式干气密封适用于既不允许工艺气泄漏的大气中，也就是说工艺气是易燃易爆有毒有害介质，又不允许密封气进入压缩机内的工况，就是说介质比较纯，不允许氮气这类密封介质进入压缩机内，用于酸性、腐蚀性、易燃易爆、危险性大的介质。所以一级密封气采用压缩机出口气，可以进入缸体，防止缸体气往外泄漏，二级密封气采用低压氮气，大部分排进火炬小部分排进大气，做到危险介质零泄漏至大气<sup>[2]</sup>。

## 2.4 带中间进气串联式干气密封工作原理

如图2所示，可以看出一级密封气进入一级密封气进气腔后有两个通路可供通过，一路是通过压缩机轴端密封进入缸体，不让缸体气往外流通。然后另一路是进入一级密封动静密封面，通过加压形成刚性气膜并持续微量泄漏出来。泄漏气进入一级密封泄漏腔放火炬，所以一级密封气一般选用压缩机出口气。同样二级密封气进入二级密封进气腔后也

是有两个通路可供通过，分别是中间迷宫密封和二级密封端面，其中绝大部分通过中间迷宫密封进入一级密封泄漏腔放火炬，很小一部分通过二级密封端面形成刚性气膜之后，持续微量泄漏进入二级密封泄漏腔后直排大气。而后置隔离气进入隔离密封之后也是分两路，这两路都是通过迷宫密封，阻力大致相当，其中一路通过内侧迷宫密封进入二级密封泄漏腔排大气，这一过程阻止了泄漏气体进入轴承润滑系统，另一路是通过外侧迷宫密封进入轴承箱，然后通过轴承箱高点放空口排至大气，这一过程阻止了润滑油进入干气密封。这样设计确保了隔离气的有效运行，防止了润滑油污染密封端面，也防止了密封面损坏后工艺介质进入润滑系统。

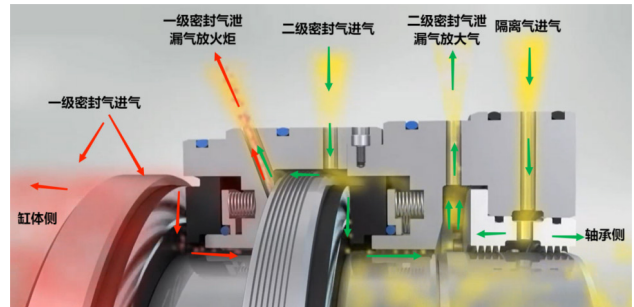


图2 带中间进气的串联式干气密封工作过程图

## 3 典型故障分析

### 3.1 一级密封泄漏气量过大或者说一级泄漏气放火炬孔板前后压差大。

一级密封端面损坏了，正常情况下干气密封损坏，直接就联锁停机了，当然损坏的特别小的话，可能只是报警。一级密封主要是密封缸体里面的气体。如果说是一级密封损坏了，一级密封气就直接通过一级密封端面排放到一级密封泄漏腔放到火炬，造成一级密封泄漏气量过大，造成联锁停机。一级密封端面损坏的原因有：密封气中易凝介质含量过高、密封气温度偏低、机组振动或位移过大、干气密封安装不当等。

一级密封进气腔与一级密封泄漏腔之间的O形环损坏，这里的O形环主要是防止一级密封气直接通过O形环损坏处泄漏到一级密封泄漏腔排至火炬，造成一级密封泄漏气量上涨。

二级密封进气腔与一级密封泄漏腔之间的O形环损坏，这里的O形环主要是防止二级密封气直接通过O形环损坏处泄漏到一级密封泄漏腔排至火炬，造成一级密封泄漏气量上涨。

火炬背压过低，火炬背压低造成一级密封泄漏气流通快。

一般情况下主要是跟一级密封损坏有关，而且还夹杂着一部分由轴端密封泄漏过来的工艺气，甚至由于放火炬管线的节流作用，这股汇合气会有一部分通过中间迷宫密封进入二级密封面，这些气体夹杂着没有经过过滤的缸体气，给

二级密封的安全运行带来威胁,同时有通过二级密封面的泄漏气进入二级密封泄漏腔。所以只要是一级密封损坏了,如果是损坏的比较小,一级泄漏气量只是报警的(一般报警值 $16\text{Nm}^3/\text{h}$ ),那可以坚持运行。如果说是到连锁值(一般连锁值 $32\text{Nm}^3/\text{h}$ )的话,必须停机更换干气密封。

### 3.2 一级密封泄漏气量过小

二级密封损坏,因为一级密封泄漏气的量,主要是由二级密封气提供的,二级密封气绝大部分通过中间迷宫密封进入一级密封泄漏腔,所以一级密封泄漏气的量过小的话就是通过中间迷宫密封过去的气过小,为什么过去的气过小?因为大部分二级密封气通过损坏的二级密封面泄漏到大气里面去了。

二级密封气中断,引起二级密封气中断的原因很多,比如:二级密封气过滤器堵塞、二级密封气自力式调节阀故障、氮气气源中断等,如果不能立即恢复,必须停机。

二级密封进气腔与二级密封泄漏腔之间的O形环损坏,这里的O形环主要是防止二级密封气直接通过O形环损坏处泄漏到二级密封泄漏腔排至大气,造成一级密封泄漏气量下降。

火炬背压过高,就是二级密封气压力通过中间迷宫密封后不足以排至火炬。

如果二级密封气中断后需立即排查并恢复,通过泄漏气量分析二级密封是否有损坏,是否有磨损,因为二级密封气如果中断了的话,有的压缩机有一级密封泄漏气流量低低连锁,有的压缩机是不带低低连锁的,这就是二级密封气中断了之后,它是不停机的,不停机很有可能造成动、静密封面出现干磨,所以说二级密封气中断了之后,如果重新恢复了,要通过一级密封泄漏气量,分析二级密封端面是否有磨损。

### 3.3 密封气与火炬及平衡管压差低

一级密封气压力过低,压力过低就要提高压缩机出口压力,比如一开始咱们启机的时候,工艺气里面含有不凝气

比较多,在转速正常后出口压力也是比较高。此时一级密封气与火炬的压差还是比较大的。

一级密封气过滤器堵塞,因为过滤器堵塞到一定程度之后,一级密封气调节阀可能处于全开的一个状态了,此时一级密封气流量还是比较低,越来越低,就会出现一级密封气与火炬压差比较低的,这就需要我们巡检特别注意过滤器压差,发现压差超过允许值及时切换过滤器。

一级密封气调节阀故障,比如说里边阀芯不动作这种现象,此类情况及时通过自调阀旁路控制并检修自调阀。再有一个原因就是火炬背压高,此时一级密封气压力够着,火炬背压太高,就会有一级密封泄漏气不容易排出去,或者排的量特别小。

一级密封进气腔与一级密封泄漏腔之间的O形环损坏造成一级密封气未通过密封端面直接泄漏进一级密封泄漏腔造成一级密封气与火炬压差变小。

压缩机两端迷宫密封损坏,迷宫密封损坏的话,压缩机缸体气泄漏到迷宫密封腔,在迷宫密封腔泄漏量就比较大,就会导致平衡管的压力比较高,这就出现了一级密封气与平衡管的压差偏低<sup>[1]</sup>。

## 4 总结

当干气密封的动环高速旋转时,动压槽内的气体被带入动环密封间隙并形成气膜起到密封、润滑及冷却作用。而迷宫密封的低阻力使得大部分一级密封气通过轴端密封进入缸体,大部分二级密封气通过中间迷宫密封进入一级密封泄漏腔,所以一级密封泄漏气量的大小直接反映着一二级密封运行情况。

### 参考文献

- [1] 衍生T形槽干气密封稳态性能研究. 丁雪兴;江安迪;王世鹏;丁俊华;蒋海涛.装备环境工程,2024(03)
- [2] B670压缩机干气密封系统的优化改进[J]. 李秀东;王中开.山东化工,2013(08)
- [3] 第三版API 682标准探析[J]. 陈志;李建明.流体机械,2010(11)