

静密封过程中垫片的密封机理及失效研究

丁 锋

浙江国泰萧星密封材料股份有限公司 浙江 杭州 311255

摘 要: 垫片的密封主要应用于法兰以及螺栓的密封结构中, 通过垫片密封, 可以实现对管道常用形式的有效连接, 因此对垫片静密封性能的可靠性有着极为严格的要求。基于此, 针对垫片的密封机理以及造成垫片密封失效性进行研究, 发现影响垫片密封失效的相关因素, 有助于更好地建立出反应垫片密封失效的模型, 确保法兰等设备连接的密封性被提升。

关键词: 静密封; 密封机理; 失效性

引言: 静密封过程中垫片密封失效是一种非常常见的失效形式, 由于压力失效, 导致设备和容器发生因密封失效而导致的泄露事故发生, 给企业生产或者产品运输造成巨大的经济浪费, 甚至有可能造成重大安全事故的发生, 因此在失效分析研究中, 对设备以及垫片具体分布受力情况的各个元件性质和工况条件进行分析, 可以快速计算出垫片静密封过程中造成失效的具体原因而加以改进。

1 垫片密封概述及性能

1.1 概述

在垫片密封的相对运动状态中, 通常将垫片密封划分为静密封和动密封这两大类, 而常用的管道法兰、螺纹连接、压力容器等密封部位都是相对静止的。因此根据工程中设备的实际工作压力和静密封的相关情况, 将密封分为不同等级的密封方式时, 由于常用的材质比较软, 同时垫片之间的宽度也比较窄。根据垫片的实际工作原理以及静密封中法兰连接垫片的实际密封性和自紧密封方式时, 密封的主要目的是防止流体经过设备时泄露出去, 也能防止外界杂质进入到法兰设备内容, 所以良好的密封胶能够有效防治设备外部的空气、液体渗入到设备内部^[1]。针对垫片的密封性能要求中, 垫片必须符合在相关压力和温度的条件下具备足够的密封性能, 由于垫片密封的结构比较简单、装拆方便, 所以广泛的应用于各个行业。

1.2 性能

垫片的基本性能中, 首先是拥有压缩回弹性能, 垫片良好的压缩回弹性能可以有效反映出垫片之间的轴向载荷与形变关系, 并针对垫片压缩后的厚度变化量进行分析, 发现垫片的厚度与垫片的刚性有关, 而对工况下介质压缩或者导致垫片与实际密封面之间的分离而发生有效补偿的同时, 还能保证垫片密封性的提升。其次是

垫片具有应力松弛性能, 在对螺栓法兰垫片密封性的有效连接过程中, 可以确保螺栓预紧载荷的压紧应力应用于垫片上, 导致垫片变得非常薄, 从而使垫片上的应力会逐渐减小, 而垫片应力会随着时间的变化规律就应力松弛性能的改变中, 可以站在初始载荷下垫片应力改变量来表示。最后是垫片的密封性能, 会随着泄漏率的高低而有着不同的标准, 并在某一规定的标准泄露率下, 垫片密封所承受的极限操作中, 其单位时

2 静密封过程中垫片的密封机理及时效性分析

2.1 垫片的密封机理

造成垫片密封泄露的因素有两点, 分别是密封封面上的间隙和两侧压力与浓度差导致, 为了提高垫片密封的可靠性, 同时减少密封面上的间隙, 就需要提高密封面的加工精度, 才能减少密封面之间的间隙。但是在实际应用中, 由于垫片会受到设备、外界因素等限制, 导致垫片受到的压力在一定程度后, 才能实现压紧垫片的作用而实现密封性目的^[2]。而在这些垫片的密封过程中, 由于螺栓预紧阶段可以使垫片之间产生一定的预紧压, 随着垫片的预紧压和垫片的存储弹性之间呈现正相关的情况下, 垫片之间的值越大, 则会造成法兰面分离能力就越强, 计算公式如下: $\sigma_{gi} = nF/A_g$, 公式中的F计算方法为 $F = M/kd$, 其中 σ_{gi} 是指垫片的预应力, n是指螺栓数量, A_g 是指垫片压缩面积, M是指转矩, d是指螺栓的公称直径。在整个实际操作过程中, 垫片之间的预应力和垫片的材料有关, 只有合理的材料才能获得理想的取值和有效的密封性。

2.2 影响垫片密封失效的因素

影响垫片密封实效性的因素中, 首先是垫片自身质量问题, 而造成垫片质量问题主要由垫片的力学性能、硬度、压紧应力以及几何尺寸这四个方面构成。垫片的力学性能是指垫片受到一定的压力而发生的形变, 当垫

片的形变达到自身最高的承受压缩应力前提下,可以有效满足垫片的最初预紧需求,并随着垫片发生回弹以及补偿分离时,还能确保垫片的密封面有着一定的残余压紧应力^[3]。在垫片的密封硬度中,当垫片受到一定的预紧应力时,垫片密封面会产生足够的弹性变形,有助于更好地填满法兰密封面中可能出现的间隙,最终有利于更好地阻止设备中介质的流出或者外界物体的进入,否则在螺栓预紧时垫片会损伤到法兰的密封面。在垫片压紧应力中,由于垫片的实际压紧应力和垫片的最终形变量有着直接的成正比关系,所以垫片的形变量往往和垫片的密封性之间具有足够的关键性作用,如果垫片的压缩形变量超出内部组织纤维的微间隙时,增大垫片上的压紧应力,还能使其新形变量能够继续增大,导致失去了回弹能力。在垫片几何尺寸中,垫片的厚度对密封性的泄漏率有着较为直接的影响,垫片会随着宽度的增加使得垫片上的最大残余应力也能加大,当超过这个范围时,垫片的宽度也会随之增加,最终会产生相同的压缩紧应力。

其次是受到法兰等设备的影响下,也会使垫片的密封性发生失效,当法兰和垫片结合在一起后,如果法兰的刚度以及表面的粗糙度不均匀,在设备使用中,就会导致垫片发生形变,从而使法兰的密封面发生严重的形变量,最终导致轴向翘曲以及垫片内外压力不均匀。而在这个过程中,如果过分的提高法兰刚度,还会造成法兰变得更加笨重,使法兰的制造成本的增加,为了确保法兰密封的紧密型,就需要确保法兰有足够的刚度。同时针对法兰的粗糙度设计时,考虑减小密封面上存在的间隙,能够有效提高法兰密封面的精度,从而实现密封性,随着机器设备水平的提升,使得法兰的在原有的技术上表面的精度变得越来越高,可以有效降低垫片与法兰之间出现的泄漏率。而针对螺栓预紧力造成的影响中,由于垫片主要适用于强制性的长河,为了提高垫片的密封性,一般采用增强螺栓预紧力的方式,当螺栓的预紧力逐渐增大的情况下,提高垫片的之变化量,能够减少法兰与垫片在密封时存在的间隙。

最后是受到外界其他因素的干扰和影响中,当垫片的密封介质物理性能发生异常,需要根据实际工况情况以及管法兰的安装情况决定。在被密封介质的物理性能中,相同条件下的气体泄漏率大于液体的泄漏率,使得被密封的介质物理性质不同,由于这些介质对垫片的泄漏率影响比较大,所以当介质的粘度越来越大时,对应的泄露阻力也就会越大,反之亦然。而受到工况的影响下,法兰的密封失效工况往往受到压力和温度这两个因素的影响,随着压力的增大,对应的垫片两侧压力差也

会越来越大,在这种情况下,垫片的回弹性会变得越低,而受到温度和介质之间的粘度影响,液体的黏度会随着温度的升高不断降低,并在介质和压力的联合作用下,导致其泄漏率变得越来越大^[4]。针对法兰管的实际安装过程中,法兰管的生产工艺和安装工艺之间会形成一定的静密封效果,对应的同轴度和平行度是影响静密封效果的重要因素,可以有效确保其平行度的偏差不会受到法兰外径尺寸的影响。想要保证螺栓可以实现自由传入,在整个转动过程中做到对设备的链接以及法兰平行度的控制,需要根据机器的转速决定,当机器的转速在300~6000r/min时,法兰的平行度则要小于0.15mm,同轴度小于0.5mm,当机器的转速大于6000r/min时,法兰的平行度则要小于0.1mm,同轴度小于0.2mm。由此可见,影响到垫片密封的因素很多,想要确保垫片密封的可靠性,在对垫片的设计或者法兰的设计时,必须从结构、材料等方面入手,才能实现问题的解决。

3 针对垫片的三维有限元模型建立和分析

3.1 垫片三维有限元的建立

在对垫片密封性的数值模拟中,使用有限元法、边界元法以及有限差分法等方式,能够确保在众多数值模拟的方法实现对比。有限元中做到对单一连续性的弹性进行剖析,从而做到对有限元节点上单元体的连接,并根据变形协调条件将单元体重新组合。在有限元模型的建立中,通过几何模型的方式构建有限元,将所获得的参数转化成有限元模型。

3.2 法兰结构三维有限元分析

针对三维有限元的分析中,首先确定内压载荷,在整个操作过程中,对法兰内表面给予一定的内压力载荷,并检查相关的基础标准和要求,以便于研究不同的内压对垫片密封影响^[5]。在对量的有效应力分析时,当法兰内压力载荷受到影响,会得到一个向外的扩张力,而想要更好地平衡这种扩张力,就必须对有限元模型中的两个端面同时施加一个和被压方向的相反等效拉力。针对螺栓载荷的有效计算时,受到螺栓法兰垫片的影响,往往是由连接系统以及依靠螺栓的预紧力方式实现密封,因此在螺栓荷载的实际作用下,必须确保垫片有着足够的形变量,才能保证系统的密封性能。

3.3 针对垫片密封结构的紧密性分析

垫片结构的紧密型受到压力和质量的泄漏率影响,使得垫片密封性的参数评价指标和密封介质的压力呈正比时,密封泄漏率的大小呈反比。当垫片的紧密型参数与密封系统所规定的泄露作为其衡量标准时,垫片能够有效实现内压连接的紧密性,那么对应的泄漏率也会变

小,而综合考虑多方面的因素,有助于使垫片的密封性的紧密型效果达到最好。

4 静密封过程中垫片密封失效的预防

4.1 把握好垫片选择原则

垫片实际应用的环境及条件是较为复杂的,想要确保垫片具有良好密封性,在垫片选择中要把握好相应原则。首先,要关注其性能参数。结合实际应用需求对垫片密封性、介质的特性、法兰的密封面形式、操作的温度及压力等做好综合分析,且介质特性以及操作的温度与压力是导致其密封失效主要的原因,要将其当作主要的选用依据。其次,做好垫片类型控制。主要结合密封介质操作的温度、压力进行确定,如高温高压的介质要优选金属垫片、对常压和低压介质选择非金属类的垫片、对温度和压力常变化的区域选择高回弹性及缠绕式的垫片。再次,要关注垫片材料。垫片工作期间常和操作的介质发生接触,且受介质以及温度压力的影响,选择垫片时要结合需求选择具有相应材料性能的类型。

4.2 做好密封垫片合理选用

想要确保密封垫片具有良好密封性能,做好密封垫片合理选用十分重要。若是对易燃易爆或者强腐蚀的介质进行输送的设备和容器,要避免选择石棉橡胶类的垫片,要结合实际情况和需求确保垫片具有良好耐温与耐压性,因此要优先选择更耐高温和压力等级较高的垫片类型;若介质存在应力松弛或者压力温度波动等情况,即便处在中低压的条件下,也要优先选用回弹性、耐高温等性能较好的缠绕结构垫片类型。若选择金属垫片使用,要确保处在完全退火状态,且尽量选择较软金属材料材质,一般金属垫片硬度宜要比法兰的硬度低有HB30-40的标准。

4.3 做好密封垫片正确安装

在对垫片以及法兰安装时,要确保其表面具有良好洁净度。做好垫片检查,确保其表面不存在径向划痕,且法兰表面粗糙度也要合适,而法兰面凸台做好对准,要求密封平面做好平行度控制,使其符合所用垫片的要求,同时垫片形式、尺寸和材料等也要满足规定的标准要求。在安装过程中,一定要控制好垫片位置,确保其

能够实现要求位置的准确放置,螺栓也要对称并拧紧,必要的时候可以借助力矩扳手等工具,确保螺栓的预紧力达到要求。

4.4 做好密封垫片储存管理

密封垫片储存管理直接关系到其使用的性能,因此要做好密封垫片储存管理工作。对非金属类的垫片,要求一定要在干燥凉爽区域或者空间存储,不能在阳光条件或者存在臭氧的空间区域直接暴露,且要保持平放,不能在钩上放置,当储存时间超过2a,就需要对其质量与性能进行检查,必要的时候还要做好试验检测,确保其满足使用的性能要求。对垫片存放的箱盒等工具,要做好对垫片材料性质、类型、尺寸、压力和温度级等参数数据的明确标准,同时还要对一些易混淆垫片做好分类管理,避免错误使用而导致其密封性受到影响。

结束语:在静密封过程中垫片的密封机理影响因素主要与垫片自身的性能、法兰质量以及螺栓有关,为了确保垫片的密封性,在使用垫片时,必须选择适合法兰连接的垫片,并正确紧固件与适当的预紧力,才能确保垫片的密封性需求,确保设备的正常运转。

参考文献:

- [1]祖挥程,王舒,何磊.液压系统静密封结构漏油故障分析[J].失效分析与预防,2021,16(06):412-416.
- [2]廖尚君.炼化企业静密封失效分析与处理措施[J].西部特种设备,2020,3(02):47-49+73.
- [3]王勋伟.板式换热器用密封垫片失效分析及改进[D].青岛科技大学,2019.DOI:10.27264/d.cnki.gqdhc.2019.000046.
- [4]邓尧曦,王正隆.齿形滑环密封圈密封性能分析及结构改进[J].液压气动与密封,2022,42(05):100-106.
- [5]王御龙.高温承压环境下金属缠绕垫片密封性能测试技术研究[D].长春理工大学,2021.DOI:10.26977/d.cnki.gccgc.2021.000150.
- [6]张轲,刘嘉琪,胡灿,倪晓阳.垫片含缺陷钢制螺栓法兰结构密封性仿真分析[J].福州大学学报(自然科学版),2022,50(03):385-391.