

低温立式筒袋泵泄漏故障分析与处理

刘延鹤

中国石化中原石油化工有限公司 河南 濮阳 457000

摘要:立式筒袋泵作为化工装置乙烯、丙烯、甲烷、乙烷、丙烷等低温、易燃、易爆、易汽化介质重要输送设备,被广泛应用。文中所提泵介质属上述同性介质,泵体泄漏不仅造成安全隐患还给装置稳定运行带来风险。本文从检修现场实际出发,针对设备本体制造加工缺陷、O形圈尺寸、选材、安装质量及设备启动操作等方面进行逐项分析,深究泄漏原因,不断整改,问题得到有效解决。

关键词:低温泵;筒袋泵;奥氏体不锈钢;泄漏;密封

1 概况

某石化企业乙烯装置冷分区脱甲烷塔塔底泵共有三台泵,其中GA302A/B为两台常备双支撑离心泵,GA302C为立式筒袋泵。因C泵性能稳定、流量大、机械效率高,在生产中连续使用。该泵由大连苏尔寿泵及压缩机有限公司设计制造,型号为TTMC 80A-6,输送介质为乙烯、丙烯、丁烯、甲烷等混合物,转速为2980r/min,扬程为406m,入口设计压力为3.0MPa,出口设计压力为5.3MPa,入口设计温度为-70℃。正常工作情况下,入口压力为0.56MPa,出口压力为3.1MPa,工作温度为-56℃。

2 故障现象及处理经过

GA302C停运检修电机时,巡检人员发现筒袋大盖法兰密封面附近发生泄漏,随后进行多次原因排查和措施处理,前后历时半年,最终问题得到解决。现将主要过程描述如下:

第一次处理:现场对筒袋大盖密封面法兰螺栓,按照四点对称方式加大力矩再拧紧,并且对泄漏点增加10%力矩。

效果情况:泄漏没有减小迹象。

第二次处理:对泵进行倒空置换、切出,对筒袋法兰密封面加工精度、安装水平度以及密封槽尺寸进行检查,未发现异常;检查法兰面密封O形圈,外观除挤压变形未见其它损伤,之后把密封圈更换为随机备件密封圈(材质为氟橡胶),将泵进行回装^[1]。

效果情况:氮气0.5MPa试压无泄漏,开始气相预冷后,筒袋法兰密封面出现微漏,30min后泵体结霜,对泵进行液相预冷,在此过程中发现法兰密封面附近泄漏量不断增大;随后工艺人员倒空介质并进行氮气置换,法兰密封面附近仍然泄漏;检修人员对法兰螺栓进行加大10%力矩再拧紧,氮气0.5MPa试压无泄漏,再次进入气相预冷,随即出现泄漏。

第三次处理:再次拆检机泵,O形圈未见异常。同时对筒体进行表面渗透探伤检测,经检查发现,筒袋法兰与筒体焊缝表面有40mm裂纹,经打磨后检查裂纹长度约300mm。按照厂家提供的出厂焊材型号,检修人员使用ER308焊丝对裂纹进行氩弧焊焊接,对焊接处进行渗透检测后未发现异常^[2]。对密封圈性能进行对比后,决定将原氟橡胶密封圈改为聚四氟乙烯密封圈,再次进行回装。

效果情况:氮气0.5MPa试压无泄漏,气相预冷未发现泄漏,2h后泵体结霜进入液相预冷,密封面附近再次发生泄漏。

第四次处理:将泵体和筒袋吊出,对筒袋外表面进行全面渗透检测,在环焊缝另外位置又发现两处新裂纹。经多方确认,该筒袋存在较大加工缺陷,不具备修复意义,决定重新制作新筒袋。6月19日,新筒袋制作完进行回装,并重新更换新的法兰面密封圈(材质为聚四氟乙烯)。

效果情况:氮气0.5MPa试压无泄漏,气相预冷20min后发现泄漏,停止气相预冷,进行氮气置换,3小时后再次进行氮气0.5MPa试压无泄漏。

第五次处理:综合前四次处理情况,本次采取了更为严密的处理方案。主要从以下几个方面进行:

- (1)对新筒袋进行全面渗透检测,均合格;
- (2)检查中分面法兰面平面度存在0.10mm凹陷,外委进行机械加工修复,确保法兰面平整;
- (3)对密封圈沟槽进行检查,发现铣刀纹明显,且纹路连为一体、沿径向贯穿法兰,对法兰密封产生不利影响。外委进行车削精加工,进一步提高密封效果;
- (4)与密封圈制造厂家沟通,选用耐低温性能更好的低苯基硅橡胶材质密封圈,保证密封圈在低温条件下仍具有良好的柔曲弹性性能,提高O形圈密封效果;
- (5)进出口法兰自由状态下存在张口和中心偏差,

进行配管调整,消除应力;并按照定扭矩管理要求对法兰螺栓进行有序拔紧;

(6) 延长气相预冷时间、降低温降速度,尽可能保证各零部件收缩变化均匀,减少因温降快而带来的不利影响。

效果情况:氮气0.5Mpa试压无泄漏,气相预冷8h无泄漏,液相预冷2h无泄漏,投入生产使用。

3 原因分析

3.1 设备本体制造加工缺陷的影响

3.1.1 旧筒袋法兰焊缝低温脆化、应力开裂

现场对法兰、筒体及焊缝分别利用光谱仪进行化学成分检测。通过检查验证,法兰和筒体属于同一种材料,均为304奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢属于面心立方晶格结构,具有良好的耐蚀性、焊接性能和优良的低温塑韧性,不存在韧脆转变温度,且在低温下奥氏体不锈钢具有较低的热导率和比热容,即奥氏体不锈钢的热导率和比热容随着温度的降低而降低,因此其在低温设备中应用十分广泛,是制造低温(设计温度低于-200℃)单元操作设备最主要的结构材料之一^[3]。

但奥氏体不锈钢在焊接过程中也容易产生部分问题。在低温环境下,焊接金属的塑韧性是奥氏体不锈钢焊的关键性能。焊缝组织中的铁素体的存在总是恶化低温韧性,而且含量越多,脆化越严重。

另一方面,金属热膨胀系数造成筒袋在不同温度下具有不同的变形,增加了筒袋的疲劳载荷,奥氏体不锈钢的热膨胀系数随温度的降低而增大。在焊接奥氏体不锈钢时,除满足力学性能外,要选用材料热膨胀系数相当的焊材,确保焊接质量。

该泵正常使用温度在-60℃左右,如焊缝铁素体含量未控制在较低合理范围内或焊材选择不当、焊接质量不良,焊缝极易因低温脆化和内应力等原因而产生开裂,这是旧筒袋泄漏的主要原因所在。

3.1.2 新筒袋法兰密封沟槽加工粗糙度

密封沟槽的表面粗糙度,直接影响着密封圈的密封性。该立式低温筒袋泵法兰密封沟槽为矩形槽,新筒袋采用铣刀加工,铣刀刀痕明显,存在台阶状接口,表面粗糙度Ra3.2-6.4μm,按照《密封设计手册》相关要求,静密封用O形圈相配合的密封沟槽槽壁表面粗糙度Ra值应为1.6—3.2μm;另外,立铣刀刀痕形成的纹路相互连接,其纹路沿密封面直径方向贯穿,与泄漏方向一致,这种贯穿刀痕和较大的槽壁表面粗糙度是新筒袋回装后产生泄漏的关键因素之一。

3.1.3 新筒袋法兰平面度

经现场检测,筒体法兰内侧存在0.20mm“翻边”,产生原因很有可能是在法兰和筒体焊接时,焊缝处局部温度较高,受热迅速膨胀,当焊缝温度逐渐降低,开始慢慢收缩,由于焊缝处与未施焊处冷却速度不一致,法兰较厚刚性较大,应力不能释放,所以产生较大变形,发生“翻边”现象,这种“翻边”的法兰变形会造成法兰螺栓在同等力矩紧固的条件下整个O形圈压缩量不均等,进而带来泄漏发生的可能。

3.2 密封圈尺寸、选材及加工精度的影响

3.2.1 密封圈尺寸选择

O形圈安装在密封沟槽中,密封效果的好坏很大程度上取决于密封沟槽尺寸与O形圈尺寸的正确匹配。若O形圈压缩量过大,则会导致橡胶应力松弛而引起泄漏;若O形圈压缩量过小,则会起不到密封作用引起泄漏,若O形圈工作中拉伸过度,不仅会导致安装困难,加速老化,同时也会因线径变化导致压缩量降低引起泄漏^[4]。

按照《化工机械维修手册》要求,密封圈外径尺寸由承压方向决定,若受内压,应使沟槽外壁直径等于密封圈外径,避免密封圈承受拉应力,若受外压(真空容器),应使沟槽内壁直径等于密封圈内径,避免密封圈在外压作用下不规则变形。为保证密封圈的密封性能,密封圈在沟槽里应预留初始压缩量,在不同的场合,相对于截面直径的预压缩量也不同。在静密封中,通常预压缩量为15%-30%,槽宽为密封圈断面直径的1.3倍。经过测量,该密封圈断面直径为7mm,密封沟槽槽宽为9mm,槽深为5.3mm,预压缩量为 $(7-5.3)/7 \times 100\% = 24\%$,在设计标准范围内,所以该密封圈尺寸与沟槽尺寸是匹配的。

3.2.2 密封圈材料选择

密封圈选材要充分考虑与介质的相容性,以及密封处的温度、压力、运行周期等。在泄漏原因排查过程中,分别选取氟橡胶、聚四氟乙烯、低苯基硅橡胶三种材质密封圈,对其性能进行对比。

氟橡胶性能:具有高度的化学稳定性,耐高温性优异,耐老化性好,耐低温性能较差,一般使用温度范围为-20~250℃,随着温度的降低拉伸强度变大,在低温下显得强韧。

聚四氟乙烯:具有良好的化学稳定性、密封性、耐腐蚀性、高润滑不粘性、电绝缘性和抗老化性,可在-180~260℃长期使用,但是生产成本低、工艺复杂、缺乏高弹性。

低苯基硅橡胶:具有压缩永久变形小、抗氧化、防震、防潮和良好的电气绝缘性能,还具有独特的耐寒性

能,在-70~-100℃仍能保持橡胶的弹性,是所有橡胶中低温性能最好的一种,且成本不是很高。

同时,为了验证密封圈耐低温性,分别将三种材料同时放入-20℃冷箱中,在相同时间内检验其弹性。实验发现:氟橡胶基本失去弹性,聚四氟乙烯弹性略有降低,低苯基硅橡胶弹性基本没有改变。

通过对三种材料进行性能比较发现,聚四氟乙烯和低苯基硅橡胶均能满足使用条件,其中低苯基硅橡胶耐低温性能最好;而原装氟橡胶耐低温性能欠佳,存在泄漏隐患^[5]。

3.2.3 密封圈加工精度

工业生产中,O形圈的生产主要采用磨具加工进行制作,其工艺过程主要为:原材料准备→密炼→混炼→切料→成型硫化→毛边处理→检修→包装出货。按照《密封设计手册》中沟槽和配合偶件表面的表面粗糙度要求,对于静密封使用的O形圈表面粗糙度Ra值应为0.8—1.6μm。但在对密封圈备件检查中发现,部分密封圈表面粗糙度明显较差,表面存在沟槽纹和毛边,不符合相关标准要求。

3.3 设备安装质量的影响

3.3.1 基础不平导致设备安装倾斜的影响

安装倾斜不仅造成设备动静部件偏磨,而且造成设备进出口法兰张口,产生应力,造成筒袋法兰密封面变形泄漏。现场安装筒袋的底座应通过调整螺栓进行调平,最终倾斜度<0.5mm/1000mm,在厂家允许安装要求范围。

3.3.2 进出口管道法兰安装的影响

经检测,出口法兰角度差量和入口法兰径向差量远超相关标准要求,这样势必会对泵体产生较大外力。此外力的存在又将作用在泵大盖法兰,进而可能导致法兰周向受力不均、密封O圈压缩量不同,导致介质泄漏。

筒袋法兰密封面螺栓,应按照法兰面螺栓拧紧顺序及随机资料中提供的螺栓拧紧力矩,分三次进行定扭矩拔紧,即每次递增的最大力矩为规定值的33%。但在实际检修过程中,存在大锤敲击、加力杆等未按相关要求紧固法兰螺栓情况,这样会导致螺栓紧力不均,继而造成O形圈压缩量不均,影响法兰的密封性能。经现场查看,在新筒袋法兰螺栓紧固过程中,同等条件下,使用力矩扳手进行拧紧与直接大锤敲击拧紧相比,泄漏量有所减小,直接说明螺栓预紧力不均确实对法兰面密封性产生了不良影响。

3.4 设备启动操作的影响

立式低温筒袋泵主要考虑设备各零部件因低温收缩不均匀,启动后易发生机械摩擦、泵体振动、密封泄漏

等故障,所以相比化工装置其它机泵启动步骤更复杂、操作时间更长,先后要经历干燥、气相和液相预冷、启动等几个步骤。

(1)干燥,用氮气吹扫置换干净,确保泵内清洁干燥。

(2)气相和液相预冷,首先进行气相预冷,泵内缓缓通入少量的介质,由于泵内温度相对于介质温度高,所以介质汽化快,泵内所有部件都浸在低温气态介质中。因为气态介质相对液态介质比热小,所以泵体各部件的温降也相对缓慢。当泵体结霜时,预冷物料排火炬,气相预冷改为液相预冷。液相预冷同样需要缓慢进行,泵内充满介质后,保持该状态约1到2小时左右,确保各部件达到稳定的温度。为了保证预冷充分,预冷过程中需要进行适当频次盘车。

(3)启动,启动前检查盘车自如无卡涩,各密封点无泄漏,所有压力、温度均正常,启动后检查轴承、机封运行情况,工艺运行参数和工况是否正常,直到系统稳定。

同时,经现场测试,在同等条件下,按照设备启动操作程序,预冷时间长且充分的泄漏量明显减小,而预冷时间短且温降比较快的泄漏量明显增大,所以设备启动操作步骤执行的好坏对大盖密封面泄漏也会产生一定影响^[6]。

结语

(1)旧筒袋法兰焊缝开裂是旧筒袋泄漏的主要原因;新筒袋密封沟槽的粗糙度不达标是新筒袋第一次回装发生泄漏的主要原因;

(2)对于低温工况泵,其设计要重点考虑筒体选材、焊接、密封槽加工、O圈选材等,确保各项性能指标均能满足现场生产需要,提升机泵运行周期;

(3)对于检修人员,要参照相关标准规范、有序操作,确保检修质量;不断扩充知识面,提升设备故障综合分析能力和问题快速解决能力;

(4)工艺操作方面,操作人员在启动冷泵前,要按相关操作流程和预冷时间要求对机泵进行充分预冷、缓慢温降,尽力确保机泵各零部件同步冷缩,避免因温降快而导致泵体应力大造成不必要的损坏。

参考文献

- [1]付平,常德功.密封设计手册[M].北京:化学工业出版社,2012.09
- [2]任晓善,王治方,胡锡章.化工机械维修手册[M].北京:化学工业出版社,2004.02.
- [3]李晓明,王冰,张泽,廖晓君,李国艳.奥氏体不锈钢低温性能及选用[J].石油化工设备,2013.08.