

分馏塔顶回流泵振动原因分析及处理

杨盛胜

中石化天津分公司 天津 300000

摘要: 简单介绍离心泵的特点和原理, 以及离心泵振动产生的危害, 通过列举造成离心泵振动的几个因素, 对天津石化3#柴油加氢装置分馏塔顶回流泵P-204运行过程中振动超标的问题进行分析, 确认该泵振动超标的根本原因, 制定处理方案并实施, 最终机泵振动恢复正常值。

关键词: 离心泵; 振动原因; 解决方法

离心泵是石油化工行业应用占比很高的动设备之一, 可以输送含有固体、杂质和腐蚀性介质的液体, 也可以输送低温、高温和易燃易爆的介质, 因其应用范围广、流量连续、转速高等特点在石油化工企业中被广泛应用。

离心泵通过电机带动叶轮高速旋转, 液体在离心力的作用下产生高速度, 高速液体经过逐渐扩大的泵壳通道, 动压头转换为静压头, 这时, 叶轮进口处因液体的排出而形成真空或低压, 介质在压力(大气压)的作用下被压入叶轮的进口, 于是旋转着的叶轮就连续不断地吸入和排出液体。简单概括, 离心泵的作用就是将机械能转换为压力能。

振动是衡量离心泵运行可靠性的一项重要指标, 同时也是离心泵安全运行的极大威胁。离心泵在运转中, 如果振动超标, 轻则导致密封泄漏、轴承损坏、各部位连接件松动, 重则造成轴承抱死, 从而引发摩擦着火事故, 或者造成管线断裂, 尤其是高温机泵, 一旦泄漏着火, 严重危及装置的安全生产和人员的安全。引起离心泵振动超标的原因有很多, 除机泵本身结构的原因, 也包含安装因素和工艺等方面所带来的影响。要全面分析一台离心泵为什么振动超标, 需要从多个方面进行综合考虑, 透过现象看本质, 从而找到造成振动超标的根本原因。

1 故障现象

天津石化3#柴油加氢装置两台分馏塔顶回流泵P-204/A、B为单级卧式中心支撑结构, 输送介质为石脑油, 2014年9月投入运行。该泵在刚投入运行的第一个周期比较平稳, 但从2016年装置大修之后, 运行状况开始恶化, 尤其是P-204B, 运行期间噪音大、振动超标, 驱动端轴承部位水平振动速度最高达到16mm/s, 垂直振动速度最高达到28mm/s, 泵端轴承部位水平振动速度最高达到15mm/s, 垂直振动速度最高达到20mm/s, 泵出口阀门

的振动速度甚至能够达到30mm/s以上, 用手触摸会有酥麻的感觉。

2 离心泵振动的原因及解决方法

2.1 流量影响

离心泵在正常设计流量下运行时, 振动不会超标, 但当机泵偏离正常运行状态, 即流量过高或过低时, 泵内部结构受到的轴向力就会发生变化, 平衡结构不能将转子的轴向力全部平衡掉, 使转子承受指向叶轮入口轴向的一个作用力, 造成转子窜动, 内部部件磨损, 引起振动。通常低流量引发的振动有两个方面, 一是灌泵不彻底, 泵内有空气, 由于空气的密度比液体的密度小许多, 产生的离心力也小, 导致入口处形成的真空密度较低, 不足以将液体吸入泵内。这时尽管叶轮在不断地转动, 却不能输送液体, 就是气缚现象。另一方面就是入口过滤器堵塞, 介质吸入不足, 叶轮入口段形成负压区, 泵内介质升温汽化, 产生汽蚀。

对于流量造成的振动超标, 可以随时关注流量变化, 尽量避免偏离机泵设计流量的情况发生; 若是因为入口过滤器堵塞, 机泵抽空引起的振动超标, 则应及时切换至备用泵, 将原运行泵入口过滤器进行彻底清理之后再投入使用。

2.2 介质组分影响

在装置开工期间, 塔底重沸泵一类的机泵, 因介质是饱和态的液体, 机泵运行前期会伴随有噼里啪啦的声响, 机泵振动会增大, 犹如汽蚀一般, 但随着操作参数的逐步到位, 这种现象就会渐渐消失; 还有一种情况就是分馏塔侧线泵, 开工初期, 侧线产品比较轻, 再加上泵内空气未完全赶净, 机泵半抽空状态引起轻油汽化, 在机泵内部形成汽蚀, 引起机泵振动超标。

为防止重沸泵振动超标, 可以在开工初期控制在低负荷流量下运行, 重沸炉的升温速度应该缓慢, 等到塔底温度到达正常值后再逐渐加大重沸泵的负荷; 对于侧

线泵,则需在开泵前将管线及机泵内的空气在高点放空排净之后再启动。

2.3 联轴器问题

在泵的安装过程中,有几种联轴器问题可能造成泵在运行过程中振动超标。一是泵和电机的高低、左右位置存在偏差,造成联轴器不同心;二是联轴器螺栓紧固不到位;三是联轴器膜片损坏断裂。轴器不同心的原因产生的振动在泵开始运行时就会直观体现出来,很容易发现,而联轴器螺栓紧力和膜片造成的联轴器失效,通常都发生在泵运行一段时间后,振动逐渐增大,当达到临界点时联轴器螺栓和膜片断裂,造成电机过载跳闸,或电机运行而泵失去动力停止。

为了尽量避免上述问题的出现,机泵安装过程中,通常先将泵安装到位,且在机泵台座上的位置略高于电机,将公共底座安装到位后,地脚螺栓紧固,并画好定位标识线,然后通过电机底座下面加装调整垫片,利用两块千分表在电机地脚螺栓紧固状态下同时对联轴器端面的平行度和同心度进行找正,反复调试,争取将两个数据控制在10微米以内。对于高温机泵,要在泵充分预热后进行找正,确保联轴器端面的平行度和同轴度。

2.4 转子不平衡

泵转子不平衡包括原始不平衡和渐发性不平衡。原始不平衡是指转子装机前就存在的不平衡。比如设计不合理,没有平衡孔等平衡轴向力的措施;或在制造加工的过程中,由于材质密度不均匀或加工粗糙造成转子与轴垂直的圆周质量存在偏差,出厂时动平衡没有达到平衡精度要求等原因产生的不平衡,因为这些因素,设备投用之初便会产生较大的振动。渐发性不平衡,是指转子在运行过程中,由于腐蚀、磨损、介质结垢或流道堵塞以及转子局部开裂甚至脱落等原因造成的不平衡。这些不平衡的因素通常还会出现流量不足的现象。无论哪种情况,对于一台高速运行的设备,因转子不平衡而造成的振动往往都是极具破坏性的。

转子的原始不平衡在设备试运期间就会被发现,并进行返厂维修,在设备运行过程中出现的转子不平衡现象均为渐发性不平衡。由于转子不平衡引起机泵振动超标,应对设备进行解体检查,抽出转子组件,清理叶轮表面的结垢,疏通流道,检查叶轮是否存在缺陷,检查轴的挠性变形是否超标,必要时安排专业厂家对转子组件做动平衡试验,进行专业修复,从而消除转子不平衡引发的振动。

2.5 轴承问题

轴承是支撑转子高速运行的关键部件,具有一定

的平衡轴向力的作用,轴承质量是否过关、轴承安装是否到位、安装方式是否合理等都会造成设备在运行过程中振动超标。轴承质量不过关会造成支撑刚度不足,机泵的第一临界转速降低,从而引发机泵振动;轴承安装不到位会造成轴向各部件间隙变化,发生碰磨,产生振动;轴承安装方式不合理,容易造成轴承保持架和内外圈变形,滚动体损伤,短时间运行表现较正常,时间长了就会产生振动,甚至运转工况急剧恶化,发生抱轴事故。

为了避免轴承问题,一是要严格控制轴承的采购过程,选择有资质、有口碑、有良好的售后渠道的正规厂家生产的产品;二是严格控制轴承的安装质量,选择合理的安装方式,比如冷装或热装,采用合理的安装工具,比如套筒等专业工具,确保轴承在安装过程中零损伤。

2.6 润滑问题

润滑是轴承稳定运行的关键,润滑良好时,即使轴承存在轻微缺陷,短时间内设备运行工况也可以受到控制,一旦润滑环境变化,油质变脏、乳化,供油不畅或少油、没油,在高速旋转时,轴承滚动体与内外圈摩擦,受热变形,振动增大,同时温度会迅速升高,发生抱轴事故,严重时会发生着火事故。

保持轴承处于良好的润滑环境,加强润滑油的管理,按照“五定”、“三过滤”的要求,及时补充、定期更换。

2.7 泵基础刚度不足

基础的刚度是基础抵抗变形的能力,当基础刚度不足时,会出现基础变形、螺栓松动、联轴器对中偏离、管道应力增大等现象,空载运行时就产生振动,而且振幅不稳定,当机泵自身的振动频率与泵基础的振动频率一致时就会引发共振,影响设备平稳运行。

基础刚度不足引发振动时,需要及时停止设备运行,检查泵和电机公共底座的地脚螺栓是否存在松动,检查泵和电机的地脚螺栓是否存在松动,检查二次灌浆层是否开裂,检查混凝土基础是否存在开裂变形等,必要时加固公共底座,重新进行二次灌浆,甚至重做基础。

2.8 泵基础沉降

基础沉降是指地基土层在附加应力的作用下压密而引起的地基表面下沉,过大的沉降特别是不均匀的沉降会使基础上的设备发生倾斜,连接设备的附属管线所受到的应力也随之增大,当设备运行时就会产生振动。

由于地质勘察不准确、设计不合理、施工质量存在问题等原因都会造成基础沉降。要确认是否存在基础沉降,需要用相应的仪器进行检测,确定沉降的方位、角度和沉降量,以便进行处理。

2.9 管线的附加振动

管线的附加振动是指离心泵状态完好,由于泵进出口法兰与管线法兰连接时存在过大应力,导致泵在运行时管线的振动直接作用在泵体上,造成离心泵振动超标。

消除管线的附加振动,一是要确保泵的入出口管线处于固定状态,且入出口管线法兰处于自由状态时,入出口管线不存在振动;二是要确保泵入出口管线法兰处于自由状态时,泵本体入出口法兰和管线法兰的同轴度和平行度以及法兰面间隙符合标准要求;三是要确保基础牢固,沉降量在设计允许范围内。

3 确认分馏塔顶回流泵振动大的根本原因

针对该泵运行过程中振动超标的问题,车间从工艺和设备两个方面展开分析排查。

3.1 工艺方面

该泵输送的介质为石脑油,温度不到50℃,由于缓冲罐较小,沉降时间短,石脑油存在带水现象,会对泵造成一定影响,但两台泵输送相同介质所表现出的振动现象并不相同,所以介质组分的影响可以忽略不计。开泵前仔细切水、灌泵,确保泵内充满介质,泵运行过程中不存在汽蚀和气缚现象,流量稳定,且未超设计,在工艺控制指标范围内,也不是造成该泵振动超标的主要原因。

3.2 设备方面

加固入出口管线支撑;将泵解体,检查叶轮、轴、轴承等部件,无结焦、变形和损坏,简单测试未发现转子不平衡现象;回装后检查公共底座地脚紧固无松动,泵与电机地脚紧固无松动;基础和二次灌浆层无开裂变形;回装联轴器找正同轴度在10微米以内,联轴器端面平行度在5微米以内,联轴器螺栓紧固,膜片完好;轴承箱润滑油充足,油质良好,供油通畅;清洗入口过滤器,无堵塞。

将泵入出口管线法兰解口,使之处于自由状态,入出口管线无明显振动;检查泵入出口管线法兰和泵本体入出口法兰的同轴度和平行度,明显存在很大偏差,泵体入出口法兰向西北方向发生偏移;对基础进行沉降检测,从同一个位置,用水准仪测量其东南侧P-202A泵标高线比P-204A泵东侧标高线高约55mm,测量泵本身东侧标高线比西侧标高线低约20mm。根据液面相同的原理,将透明塑料管内充满清水,排净气体,制作成简易测水平装置,对泵两侧肩座进行粗测,发现泵肩四角的水平均不相同,其中东南角比东北角高约2.5cm,比西北角高约2cm,比西南角低约0.8cm,泵侧向东北方向下沉。结

合泵体法兰和管线法兰的偏移方位,可以确定是基础沉降导致法兰偏移,产生附加应力,从而使得机泵在运行过程中振动。

4 分馏塔顶回流泵振动大的处理

因装置处于连续生产状态,且周边环境存在很多危险因素,只能选择停工检修期间进行处理。

4.1 拆除及校核

将现场二次灌浆层拆除,出入口法兰解口,拆除附属管线,将底座机泵整体移位,根据土建图纸和厂家提供的基础图及设备的技术文件核对泵基础的外型尺寸、纵横轴线、标高、地脚螺栓孔中心线位置等,其允许偏差应符合规定要求,必要时用水钻洗出地脚螺栓孔,重做地脚。

4.2 二次找正、找平

复查设备安装标高及中心线,用在原一次找正的基准面上放置的永久性垫铁进行调整,根据现场实际情况调整泵体高度与泵体出入口法兰对接应无应力,横向水平度允许偏差为0.10mm/m,纵向水平度的允许偏差为0.05mm/m。机泵调平后,校正底座标高符合要求,对称把紧地脚螺栓,复测纵横向水平度有无变化,若有变化,重新调整至合格。

4.3 二次灌浆

选用高强度无收缩灌浆料,清除基础表面的污垢、油污等污物,并用水将基础表面用水湿润12h以上,并用压缩空气吹扫干净,保证灌浆混凝土与基础混凝土牢固结合。灌浆料与基础的结合应密实,不得有空鼓和疏松,灌浆强度达100%时,按要求把紧地脚螺栓,并复查水平度,此时应无变化。

4.4 工艺管道连接

连接管道时,不得使设备产生位移,对管道与机泵的接口进行复位检验,其法兰的平行度偏差应 $\leq 0.15\text{mm}$ 、同轴度偏差应 $\leq 0.50\text{mm}$ 。

装置开车后对该机泵进行了振动测量,垂直和水平振动值均在3mm/s以内,泵运行正常,至此,分馏塔顶回流泵振动超标问题已得到彻底解决。

参考文献

- [1]杨国安.旋转机械故障诊断实用技术[M].北京:中国石化出版社,2019:26.
- [2]田志刚.离心泵振动的原因及预防[J].石油与化工设备,2010,13(6):43-44.
- [3]刘红云,卢捍卫.离心泵振动原因分析和解决方案[J].炼油技术与工程,2009,39(6):20-24.