

多级离心式水泵振动超标及对策分析

尹忠广 梁华坚 周吉东

广西防城港核电有限公司 广西防城港 538000

摘要: 由于多级离心式水泵具有较高的扬程特性,在石油化学工程、火力发电、水处理、核电及供水等行业得到广泛应用,成为工业生产过程中必不可少的重要动力设备之一。本论文围绕多级离心式水泵振动超标问题展开深入研究,通过对设计制造缺陷、安装不规范、运行操作不当等振动超标原因进行深度剖析,有针对性地提出优化设计制造、规范安装、科学运行维护以及建立监测与预警系统等应对策略,旨在保障多级离心系的安全可靠运行,确保我国工业生产的正常进行,从而提高产品的质量及其经济效益。

关键词: 多级离心式水泵; 振动超标; 原因分析; 应对策略

引言

在实际的使用中,多级离心式水泵发生超振现象是常见的事故之一。由于振动大导致机组各部件损坏加快;降低了设备寿命,并且会因振动而引起机组部分零件松动脱落或破坏;严重时会造成整个泵组停止运转,严重影响生产;严重的还会发生爆炸等恶性事故,给国家财产及人身安全带来重大损失。所以研究多级离心式水泵产生超振的原因以及采取措施,对于保证企业的正常生产有重要意义。本文将从设计制造、安装、运行操作等多个角度对多级离心式水泵振动超标原因进行深度剖析,并提出相应的解决对策。

一、振动超标原因深度剖析

1. 设计制造缺陷

多级离心式水泵的设计制造中存在着多种可能引起振动超限的因素:第一类为叶轮部分存在的主要问题是叶轮本身的设计不合理造成的,如叶轮流道截面形状及尺寸、叶片数以及叶片安装角等方面的问题都会影响到水流工况下的叶轮水力特性和振动特性;而这些水力特性又会直接或间接地造成叶轮的平稳性,即叶轮在转动过程中其重心位置随时间变化所引起的惯性力(包括周期性的径向力、轴向力和倾侧力矩)及其与其相应的反力将交替出现并不断积累,最终会使叶轮失去平衡而导致系统发生振动^[1]。比如叶轮叶片数目太少会造成叶片上产生的水动力冲击载荷太大并且分布很不均匀,或者叶片的安装角太小使得叶片上的液体质点进入前缘处的速度梯度过大等等都是常见的原因。

其次,转子部件本身的质量不平衡是造成超振的主

要原因。在转子的设计制造中,由于加工工艺上的偏差以及材料密度不均等因素的影响,会使转子本身的质点分布偏离设计值而形成偏心;而在转子以一定速度进行转动的时候,这个偏心就会引起离心力矩(即惯性力),并且其数值随转速 n 的二次方增加而急剧地增长起来,因而也就产生了非常严重的振动。

转子不平衡引起的离心力计算公式为:

$$F = m \cdot e \cdot \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2$$

其中: F 为离心力(N);

m 为转子质量(kg);

e 为偏心距(m);

ω 为角速度(rad/s)

n 为转速(单位: rpm)

另外一种情况是由于泵体内壳体部分的强度不够引起的超振。内壳体为固定叶轮并容纳其他零件的主要承载构件,其主要功能是对叶轮起支撑及保护作用,因此要求具有一定的刚性以保证不至于因载荷而引起过大变形。若泵体材料选用不当或设计厚度偏小,或者结构型式选择欠妥等原因造成泵体整体刚度不能满足使用要求,在受到流体压力、转子的离心力以及其他外力作用时,就容易发生变形,从而产生振动。

2. 安装不规范

一是基础施工不符合规定造成的^[2]。基础施工是安装的一个重要环节,对于多级离心式水泵来说,其基础必须具有足够的强度及稳定性来承载整个机组在运转时所受到的各种负荷(如自重、水压力等等)。若基础的混凝土强度达不到设计的要求;或基础表面过于粗糙;或

是基础的尺寸不能满足水泵基座的安装需求,则会使水泵在运行过程中发生较大的振动。比如基础表面过于粗糙,会使水泵基座受力不均而造成偏斜;基础强度不够就起不到应有的缓冲吸振的作用,还会把震动传至周围的环境之中,并且加速了自身部件的磨损。

二是泵组的对中问题。多级离心式水泵一般采用与电动机等动力装置通过联轴节相接的方式进行传动,因此要求泵轴线和电机轴线要严格保持同心状态(即对中),若其对中的误差较大,则会导致机组工作过程中出现较大的附加载荷或不对称载荷而引起机组的强烈振动。队中除了指两根轴中心线重合外还包含有径向位移及偏角的问题;无论哪种形式的偏离都将会给水泵带来危害性的影响。

3. 运行操作不当

一是流量调节不当,多级离心式水泵有合理的流量范围(一般为额定流量70%~120%),若水泵不在这个范围内进行工作就会造成水泵内液体流动状态的变化而引起水泵内的不稳定性,例如汽蚀、漩涡等都会引起水泵的强烈振动。气蚀会引起水泵内大量气泡的存在,气泡爆裂产生的冲击力很大,作用于叶轮、泵壳表面,使之发生强烈的震动。漩涡的作用使得叶轮受力很不均衡,也容易造成水泵的剧烈振动。

二是由于转速设置不恰当引起的振动超限现象。对于一台特定型号的泵来说,它有一个合理的最佳转速区间,当电机转速超过该区间的上限时,转子受到更大的离心力作用;同时质心偏移产生的惯性力矩也更大了,而造成机组振动上升的现象更为明显,当电机转速低于此区间下限时,不但降低了泵的出力,而且有可能引起叶轮内液体旋转失稳甚至发生气蚀破坏等一系列不良后果,致使设备及管道剧烈振动。同样地,在启停机的过程中,若改变速度太快,将给机器带来很大的附加动负荷,因而会引起强烈的振动。

三是由润滑或冷却系统的故障所造成的振动超限现象。根据理论分析可知,为减小机械传动装置的摩擦损失以及运动副的摩擦系数,必须提供足够的润滑油来满足各零部件的要求。因此,良好的润滑是消除机械设备噪声的重要措施之一。在运转中,通过油膜把互相接触而又作相对运动的各种零件隔开,这样就可以大大减轻它们之间相互碰撞的机会,从而使设备平稳运转并能有效抑制振动的发生^[3]。如果润滑系统出现故障,如润滑油量不足、润滑油品质下降等,会使轴承的摩擦增大,产生热量,导致轴承温度升高,进而引发振动;冷却系

统故障,如冷却水量不足、冷却水道堵塞等,会使轴承等部件的温度过高,影响其正常运行,导致振动加剧。

二、振动超标应对策略

1. 优化设计制造

一是叶轮的设计与制造:利用现代数值模拟技术和软件,对叶轮流道内液体运动规律及流场中各点的压力、速度、温度的变化进行仿真研究,并据此对叶轮几何结构参数(包括叶片数目、厚度、高度以及进口角、出口角、前弯后弯倾角等)进行优化设计;通过对CFL来考察不同结构参数时,叶轮受到的作用力大小变化趋势并加以比较,进而选择出最适宜的叶轮结构参数值,可以使叶轮在工作状态下受力尽可能地均衡,减小由于不对称引起的振动。

二是转子部件的质量平衡:在设计阶段就考虑到制造阶段的各种影响因素留有适当的质心偏移量作为质量补偿量;制造完成以后再对其作动静态的全面检查,以消除由于制造带来的质量问题。例如:先对转子进行静态试验检验其是否满足静平衡的要求,若不能则需加装配重块使之满足要求;然后对转子做动态试验检验其能否满足动平衡的要求,若不能则需改变转子上的某些部分使其满足动平衡条件。目前应用较多的是硬支撑式动平衡机。这种方法是在待测轴上安装一个圆盘状的传感器座,该座固定于被测旋转件的一个端面中心处并与之同轴转动,如硬支撑动平衡机等,对转子的不平衡量进行精确测量和校正。通过在转子的适当位置去除或添加质量,使转子的质量分布达到设计要求,减少因质量不平衡产生的离心力,从而降低振动。

在泵体结构的设计上,结合水泵工作时的性能要求及运行工况来决定合理的泵体厚度与结构形状;通过有限单元法对泵体的强度、刚性等力学特性进行全面研究,并且通过数值模拟的方式得到泵体受力后各处的压力分布图以及各个点所受到的最大压力值;针对具体应用中可能出现的各种不利因素(如叶轮旋转产生的离心力)引起的局部应力集中现象做出相应的处理措施并加以改进^[4]。

2. 规范安装

为了达到多级离心式水泵良好的安装质量,必须按照规定严格地进行安装工作。一是基础施工:基础是整个机组的基础部分,它承载着整个机组的质量及运行产生的反作用力,因此必须满足基础的设计要求(即有足够的刚性和稳定性),并按相应的标准来施工;基础的砼标号一定要符合设计的要求,在浇注前应对原材料进行检验合格后才能开始施工;浇注时应注意控制水泥砂石

比例以及振捣力度,以免出现空洞或不均匀的现象而降低整体的强度;待浇好的基础上面用水泥砂浆找平并且使其水平后再放置垫铁;二是泵组对中:根据《机械设备安装工程施工及验收通用规范》的规定,应该采取合理的对中办法和技术手段来进行对中的作业,并在泵与电机组装完成之后再对其进行对中,如果条件许可的话最好利用专用仪器来进行检测并对之进行修正。首先是要将两根轴的外圆柱面擦净然后在其上面涂上一层薄机油,最后将其合拢在一起就可以通过百分表读数来确定它们之间的相对位置了。其次是对轴系进行初步的校正以便消除其中可能存在的任何不对称的因素,并且还要注意记录下此时的数值作为以后比较的标准;再次是在装配完所有零部件之后再重新对中,主要是针对各个方向上的偏移量而言的,包括轴向位移、径向跳动和角向倾斜这三个方面的内容。只有当三者都处在允许范围之内才可认为达到了所期望的目标。

3. 科学运行维护

针对多级离心式水泵,应该采取合理的运行维护措施,在不发生超振的前提下,正确地开停机以及正确的流量调节是预防出现高振动的有效手段之一。在调节流量的过程中,一方面需注意调节过程不能太快,以防止由于流体惯性引起泵与管路系统内液体的压力脉冲;另一方面应注意观察流量计及有关仪表显示值的变化情况,并密切注视设备运转情况如有异状立即查明原因并予以排除。在调节方法上可选用改变电动机或原动机转数的方法,即通过调节电源频率或者直接改变变速机构实现调节目的。也可利用调节出口阀开启度大小的方式进行调节。而为了保护轴封装置不受损伤,一般情况下不宜使用进口导叶调节方式来降低扬程。在调节转速时也要按照规定的程序缓慢地提高或降低速度,切勿将速度一下子提得过高或降得太低以免造成机械冲击甚至损坏机器。在运行中除了要经常监视各主要部位温度外还必须认真仔细倾听有无杂音以及测量振动的情况。如果上述三项指标有任何一项超出允许范围,则表明该机组已处于危险,此时应迅速查找原因然后加以消除使其恢复到安全运行的状态^[5]。此外,还要定期对轴承等转动部件进行检查和维护,及时发现和处理轴承的磨损、松动等问题,减少因轴承故障导致的振动。

4. 监测与预警系统建立

为能够做到对多级离心式水泵振动超标的故障早期检测和有效排除,应设置一套完整的监测及报警装置。根据以往的经验,在多级离心式水泵的重要节点处(例

如:轴承座)加装振动传感器来测量振动量值并予以记录。在监测中心采用现代信号处理及分析方法(如振动信号的时域分析、频域分析以及时频分析)来完成检测结果的处理工作,进而能够精确地判定泵机组的状态,获取振动频率、振幅和相位等特征量,以明确产生异常振动原因。例如:利用频谱图可以判定引起振动的是转子质量不平衡还是轴承损坏;对于由于轴系不对称而产生的振动则可以通过小波包变换得到其主要分量方向信息并计算出两轴之间的相对偏移角等,另外还应结合实际生产情况建立起一套完善的报警体系,按照不同的工况条件设置适当的阈值,一旦监测的结果超出预设范围就立即向有关人员发出警报提示,并启动相应的响应程序。并且监测系统还需将获得的数据加以保存,作为以后研究的重要资料来源之一,这些数据可用来记录各个阶段的振动状况变化过程及其发展趋势,以便于后期对相关设备的维修保养提供可靠的理论支持,采取有效的措施进行预防和处理,保障水泵的安全稳定运行。

结束语

多级离心式水泵振动超标问题是一个复杂的综合性问题,涉及设计制造、安装、运行操作等多个环节。通过对振动超标原因的深度剖析,提出了优化设计制造、规范安装、科学运行维护以及建立监测与预警系统等一系列有效的应对策略。在实际应用中,综合利用各种方法来排除故障,只有这样才能彻底消除由于机械原因引起的多级离心式水泵的振动现象。另外,还要继续进行新理论、新技术与新工艺的研究,不断的探索和完善多级离心泵自动控制系统的技术体系,以确保工业生产的可靠性。

参考文献

- [1] 谭理东. 多级离心式水泵振动超标分析及对策[J]. 现代制造技术与装备, 2017, (11): 107-108.
- [2] 乔凤兰. 离心式清水泵振动异常的研究与对策[J]. 中国金属通报, 2024, (07): 179-182.
- [3] 卢欣欣. 关于离心式水泵振动监测与故障诊断研究[J]. 中国设备工程, 2022, (24): 160-162.
- [4] 王冬冬, 孙茜. 基于小波分析的离心式注水泵机械振动实时监测方法[J]. 机械与电子, 2022, 40 (04): 56-60.
- [5] 肖吉旸. 离心式水泵设备的故障与维修分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39 (02): 138-139.