探讨离心泵常见故障检测与维修

王焕坤（中国石油天然气股份有限公司广东石化分公司，广东　揭阳　522000）

摘　要：离心泵是一种农业和工业上广泛使用的流体机械。离心泵在快速启动过程中其表现出区别于稳态过程的特殊性质，在瞬态操作过程中，转速、流量、压力等各个性能参数在短时间内发生剧烈的变化，即泵的工况点在较大范围内以及短时间内发生剧烈的变化。研究离心泵的快速启动过程中离心泵的特性，对整个启动过程可能产生的不稳定影响分析，比较离心泵整个启动过程不同时刻的振动、流动不稳定，以及对系统产生的冲击作用，这是对整个离心泵的启动过程研究十分重要的。本文对探讨离心泵常见故障检测与维修进行分析，以供参考.

关键词：离心泵；故障检测；维修分析

0 引言

目前对于离心泵整个启动过程的内部流动以及非定常研究相对较少，没有成熟的理论体系为整个离心泵启动过程进行水力优化进行指导。以一台比转速为 146 的中比转速离心泵为研究对象，利用 CFD 软件通过全流道三维定常和非定常数值模拟，研究离心泵启动过程每时段内部流道压力分布以及隔舌与叶轮流道压力脉动情况，为今后离心泵水力优化以及离心泵启动怕配套电机选择，机组的安全可靠运行等方面具有一定的指导意义。

1 离心泵的选择和配置

1.1 变频器

有些人在看过大量泵相关出版书籍的知识后，认为可以暂时性假设，仅仅是电机与变频器（FC）的结合，将确保所提供的能量以最好的方式使用。但这当然不是真的：变频器不能单独在稀薄的空气中运行，它本身也会“消耗”能量。因此，重要的是要首先澄清实际上是否真的需要一个变频器。在动态变化的负载条件下，这个问题的答案一般是“是”，但根据具体的行业，还有其他方面需要考虑比如软启动、热转移到介质中。反过来看，在恒定负载下运行，或转速在接近其工作点的泵是所有情况下最节能的解决方案。在这种情况下，选择更高效、更小的驱动器，可能更具成本效益。然而，尽管变频器有很多优点，但它们也会出现问题，特别是如果被用来实际地补偿或中和与磨损相关的性能会下降。但是操作员通常甚至不会注意到这一点，直到磨损导致泵出现故障。

1.2 液压系统的故障

干运转或空腔等液压故障，会反复对泵系统造成严重破坏，在离心泵上，必须确保泵中充满被泵送的介质，因为干运转是机械密封绝对的“禁止”。如果一个泵开始像沙子滴落到铁皮屋顶上一样嘎吱作响，这时泵需要达到最大的浓度。因为这是空腔的声音，空腔一直是泵出现故障的一种迹象。由于材料的去除，主要的受害者是叶轮，损坏的程度取决于材料的性质。不锈钢比青铜更耐空化，青铜比铸铁更能抵抗空腔。此外，空腔还会引起巨大的噪声和振动，进而会对轴承、轴封和焊接接头造成损坏。正确的焊接接头：原则上这是常规离心泵的一个临界点，因为在系统的本质上，通常不会看到泵出的液体在轴密封有少量泄漏。密封泵如罐装电机泵和磁力耦合泵提供可靠性，因为它们不使用轴密封。但是哪种设计更具有可靠性呢，如果需要最安全、最可靠的解决方案，那么罐装电机泵是一种最合适的技术选择，尽管价格更昂贵。而且来自德国一家古老的炼油厂统计数据显示，罐装电机泵的平均故障间隔时间值约为 180 个月，而带双作用机械密封的离心泵则为 50 个月。因此，罐式电机泵的平均无故障工作时间比带双作用机械密封的离心泵大约高出四倍。

2 设备维修管理方式

2.1 纠正性维修

纠正性维修也叫事后维修，是设备发生故障或性能下降的非计划性维修，设备意外故障导致非计划性停产，往往造成较大的经济损失，甚至会对设备造成致命伤害。目前主要应用于两个方面：一是对生产影响较小的非重点设备或者有备用配置的设备；二是突发故障，设备被迫停用、维修。

2.2 计划维修

目前国内大部分企业普遍采用计划维修，根据设备的设计寿命和使用寿命，规定了设备的大、中、小修的修理周期，按规范对设备进行定期维修和更换，计划维修往往忽视了设备状况是否良好，导致过度维修，浪费维修费用。

3 离心泵叶轮优化增效节能

3.1 影响叶轮效率的几个主要因素及机理

影响泵效率的关键零部件如叶轮、泵体、泵盖、导流器等，尤其是叶轮的直径、翼形、出水角、叶片的分度、流道的形状、光洁度等对泵效率的影响十分明显。叶轮直径及流道宽度对泵的扬程及流量起着决定性作用，对于后弯式叶轮，出口安装角在一定范围内增加，会增加扬程，同时提高泵内通流部件表面光洁度，可提高水泵效率 3% 左右；离心泵在小流量下工作，流速低，

叶片入口的冲角增大，导致叶片附近形成涡流区，叶片侵蚀加剧，离心泵效率降低。水泵偏离设计工况越远，叶片区的压力脉动越大，尤其是低流量下，压力脉动表现在振动参数上更加显著。叶轮的优化设计现成为提高泵效率的一种新兴技术，已得到广泛应用。

3.2 优化设计主要步骤

设计过程主要内容是已知原始叶轮的几何参数，形成三坐标数据，根据泵实际需求的流量与扬程，结合叶轮设计经验及计算公式，对叶轮直径、流道宽度及叶轮出、入口角进行微调，形成新的三坐标数据，建立叶轮模型，并根据叶轮模型确定流道模型，基于计算流体力学 CFD 结合 FLUNT 软件，对流道内的速度场、压力场进行模拟、分析，确定改进的叶轮流场叶片入口脱流、背面漩涡、流动分离均得以改进，叶轮内的静压值随流动方向按流动规律逐渐增加，使叶片水力效率得以提高。结合实际确定优化设计主要内容。此次叶轮优化原理基本可以归纳为，寻求与其运行状况相关的最佳流速场，减小脱流、涡流，减少摩擦损失，提高水力效率。

4 离心泵振动检查验证

4.1 部件松动表现的不平衡

①泵铸铁材料的风扇表面结垢严重，主要是多年运行未清理造成的灰尘积聚，风扇外壳内同样存在该类问题，而且明显与风扇叶片存在一定的直接刮擦；②风扇叶片与轴配合间隙过大，卡簧无法完全固定风扇，在泵运转过程中，风扇在轴端出现晃动，诱发该泵联轴器端垂直方向振动偏大，表现为部件松动的多倍频高现象；③风扇外部防护罩内积聚的灰垢造成风扇旋转过程中出现刮擦，可能是振动波动幅度相对较大所致。根据检查情况，清理泵风扇并重新对配合间隙进行处理，再次投运后各部振动均恢复至正常状态。

4.2 轴瓦问题导致的不平衡

①设备中心复查结果合格，各部中心数据都在标准要求的范围内；②原料泵 P–2101/A 两端支撑轴瓦与轴接触情况较差，尤其以驱动端轴瓦更为明显，接触面积不足 40%，这会导致转子转动过程中出现不稳定状态进而造成振动超标；③轴瓦预紧力偏小，非驱动端轴瓦几乎无预紧力，结合该部轴瓦振动表现出的 1 倍频为主的特征，判断该轴瓦振动超标与预紧力过小存在一定关系。通过对轴瓦进行刮研和预紧力调整，该泵试运行轴瓦振动速度值恢复至 2.40mm/s，设备投运正常）。

5 大型抽水泵预测性检修

5.1 技术背景

常用的离心泵状态监测方法有振动分析、电机电流分析，通过振动分析，可以很容易地诊断水泵的叶轮损坏、轴承损坏、叶轮偏心、密封磨损等故障。故障在线诊断技术主要有模型、信号处理和知识三种方法，模型故障诊断主要通过分析系统模型与实际系统之间的状态残差诊断故障，使用观测器是状态监测的模型诊断模式。观测器根据系统的实际输出值与输入来重构系统的状态模型设计观测器，将观测器与系统的输出误差构成残差生成器，通过数理统计方式分析残差信号，比较故障检测阀值来判断故障，达到在线监测系统状态的目的。由于设备运行存在扰动，往往会影响传统观测器诊断故障的效果，而滑模观测器针对不确定系统，加入了滑模控制算法，观测误差能保持滑动模态，对扰动有较强的鲁棒性，误差近似收敛于零，残差只对故障敏感，得以对传动系统故障精确诊断，目前基于滑模观测器的故障诊断原理已相当成熟。

5.2 项目测试

冷却液流量保持恒定，第 2 天和第 4、5 天关停期间，轴承温度冷却后冷却液流量下降到零，轴承摩擦因数保持在预期水平不变，表明无故障运行独立于水泵运行负荷，在关机期间轴承冷却后流量下降到零，整体试验结果基本符合预期设计。在试验运行后，对故障检测和通知逻辑进行了简单的修订和改进，在设备关停和跳闸时停止故障监测和通知。试验的不足之处是由于无法刻意破坏轴承去测试，所以对轴承监测结果的精确性尚无法准确评估。

6 结束语

①离心泵启动过程中，0.1s 时刻转速达到额定转速数的 63.2% 后离心泵效率和扬程上升情况变缓，当达到 0.4s 时离心泵扬程已经到达稳定时刻的 96.4%，整个离心泵内部基本以达到稳定状态；②在离心泵的整个启动过程中内部压力是一个从低到高的一个过程，在 0.1s 之前整个离心泵内部都属于低压时刻，0.1s 之后内部压力出现跳跃式的增加，离心泵达到一种不稳定状态。

参考文献：

[1] 刘瑞男 . 基于 LabVIEW 的输油泵机组噪声检测及典型故障判断系统设计 [D]. 大庆 : 东北石油大学 ,2019.

[2] 徐波有 . 化工离心泵常见故障诊断及处理 [J]. 中国设备工程 ,2019,4(16):77-78.

[3] 常季成 . 基于噪声分析法的石油泵站机组故障自动监测技术研究 [D]. 大庆 : 东北石油大学 ,2018.

[4] 赵革 . 探讨离心泵常见故障检测与维修 [J]. 化工管理 ,2018,4(11):37.

[5] 刘福玉 , 刘福磊 , 孙广军 , 张凤霞 . 探讨多级离心泵常见故障检测与维修 [J]. 才智 ,2018,4(20):36.

[6] 谢志聪 . 基于声发射检测的流体机械空化故障诊断技术研究 [D]. 长沙 : 长沙理工大学 ,2017.

[7] 雒孟康 . 离心泵常见故障诊断及分析方法 [J]. 甘肃科技 ,2017,26(16):96-97+53.

[8] 张慧敏 , 袁萍 , 孙贤奎 . 浅谈离心泵的故障诊断方法 [J]. 上海冶金高等专科学校学报 ,2017,4(02):23-27.