

# 立式筒袋泵异常振动分析及减振措施研究

张永明（宁波金发新材料有限公司，浙江 宁波 315803）

**摘要：**本文以立式筒袋泵为研究视角，结合现有的数据检测工艺，分析立式筒袋泵运行时产生振动的机理，给出有效的振动监测方案，及时排查异常振动问题，制定有效减振措施。经监测发现：异常振动的原因，包括安装不规范、介质汽化、部件质量受损、转子位置偏差等。应对异常振动，采取的有效措施：优化工艺、介质状态监控、部件性能检查等，以全面增强设备的抗振能力，达到减振目标。

**关键词：**立式筒袋泵；监测方案；工艺

## 1 振动监测工艺的使用实况

### 1.1 振动监测工艺

监测振动情况，推测设备的运行平稳性，最早发源于1939年，由美国杂志给出了相关构想<sup>[1]</sup>。同年，相关单位给出了大规模设备运行的振动判断依据，以量化视角，开启测定设备的安全性。发展至上世纪60年代，逐步研究出振动分析设备、振动测试手持设备，便于技术人员准确掌握设备的振动状况。在上世纪70年代，给出了具体的振动监测方案，综合使用了速度传感器、手动调谐等设备。此种监测设备是借助单振动信号，分析振动中具有较大振幅趋势的频率。相同时期，新型分析设备研发而出，获得了广泛使用。在上世纪80年代，在振动监测体系中，融合了传感器、记录测定等设备。

振动故障监测工艺，包括在线监测、离线诊断两种方式。在线监测是在设备运行时，测定机组振动故障情况，给出线条判断，便于操作人员给出调整处理，减少事故蔓延。在线监测工艺，对诊断用时要求较高，主要使用计算机完成监测，或称为专家诊断。在线监测运行时，以专家经验为关键技术。后续研究中，将会分解专家监测方法，形成系统式、条理性的故障检测流程，以程序语言，自动进行故障诊断。离线诊断，是指在设备发现故障时，采取停运处理，以故障消除为目标，开展的有效诊断方法。此种诊断流程，不具有时间紧迫性的要求，可结合振动信号，加以深入分析，开展振动交流、故障模拟等活动，确保诊断结果的可用性。实际上，离线诊断使用次数较多，相比在线监测更具技术难度。

### 1.2 频谱分析方法

在频域内进行时域信号的测定与分析，称为频谱分析。此种分析方法，能够有效转化复杂时间，以波形展示各区间的谐波分量，准确获取信号频率特点、各类谐波的位置数据。信号类型包括模拟类、数字类。在分析模拟信号时，进行信号抽样处理，使信号处于离散状态，借助DFT、FFT，进行信号变换处理，获取信号相位、信号变动的图像，开展数据分析。在分析数字信号时，可直接使用DFT与FFT进行信号变换处理。

## 2 立式筒袋泵的振动机理

### 2.1 管线连接不当

立式筒袋泵在设备运行时，如果管线连接不当，或

者基础稳固性欠佳，将会形成振动问题<sup>[2]</sup>。当管线有位置偏差时，管线中经过介质时，会形成激振力，致使管线发生异常振动问题，与机泵自身运行的振动，形成振幅叠加状态。如果立式筒袋泵基础稳固性不足，在振幅叠加时，底座发生倾斜，引起泵表层筒袋、各类部件，变动运行位置。在轴长度增大时，设备倾斜角度相应增加，达到设备运行极限时，会形成摩擦事件，在摩擦中形成异常振动声响。

### 2.2 装配误差

在整体立式筒袋泵的组成与布局方面，在推力轴承位置，有效利用了转子质量。将轴承组建装置，添加在泵轴系的关键位置。在负载介质、转子转动的共同作用下，形成的离心力，垂直于螺栓紧固力，引起立式筒袋泵运行时，承受多个方向的荷载，包括轴向、径向等。在泵体各个部件表面，添加导向轴套，装配操作有偏差，安装人员在精准锁定轴承位置时，较为困难。因此，立式筒袋泵在装配有误差时，会承受多个方向的荷载作用，增加了异常振动的发生可能性。

### 2.3 安装游隙较大

立式筒袋泵在加工时，对安装间隙控制的精准性要求较高。如果推力轴承之间的游隙不标准，会引起泵体形成异常振动。如果在轴承安装时，游隙较大，泵体运行时，会缺少轴向推力的作用，在外部刚度削弱时，表现出振动异常问题。如果安装游隙较小，会发生轴承转动失灵现象，引起滚子、滚道发生严重磨损，致使泵体振动失常。与此同时，叶轮、耐磨环的间隔大小，需要有效控制。叶轮转动时，相应带动介质运动，作为机泵转动的关键形式。如果叶轮、耐磨环之间的游隙较大，会增加轴摆动的可能性，引起整泵发生异常振动，在泵运转特定周期后，形成轴弯曲现象。

### 2.4 流量较小

立式筒袋泵运行时，流量设计是形成振动的关键因素。如果流量参数较小，无法在有效时间内排除大量介质，在泵腔内形成介质汽化现象，引起叶轮汽化腐蚀问题，在汽化腐蚀作用下，叶轮受到气泡的持续性冲击，形成异常振动。如果流量参数较大，泵体运行失常，增加转子的摆动浮动，相应增大了轴应力，致使轴发生形变，形成泵体异常振动现象。

### 3 异常振动监测分析

#### 3.1 频谱监测振动异常的机理

在进行频谱分析时，侧重关注振动时间、相位、振动幅度三个参数。

##### 3.1.1 振动时间

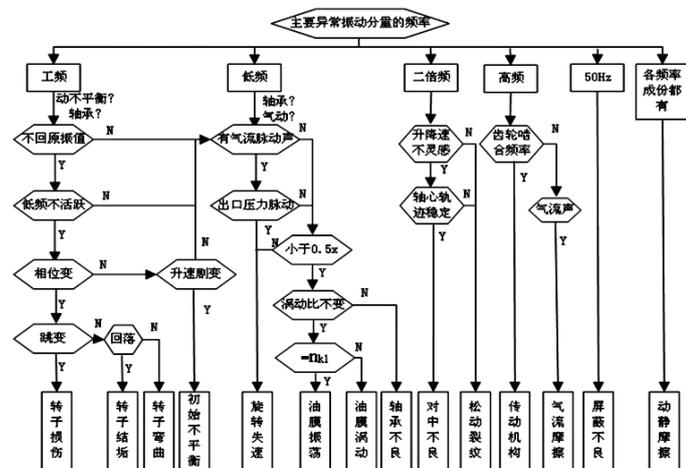
指泵体进行完整振动的的时间，设为  $T_0$ ，时间单位为“秒”。假设一个单摆，摆动以左侧为计时起点，摆动至右侧后，摆动回左侧原点时，完成计时，整体摆动计时的结果，称为振动时间。

##### 3.1.2 频率

在单位时间内泵体振动次数，单位为赫兹，单位时间通常取值为 1 秒，频率参数设为  $f_0$ ，则有关系式  $f_0=1/T_0$ 。由于立式筒袋泵为旋转运动的设备，在研究其振动频率时，可细分频率参数：其一，转动轴的运行频率，其二，各类振动频率，其三，设备自身运行的固定频率。

##### 3.1.3 振动幅度

此参数用于衡量设备振动强度，作为判断设备振动严重性的关键指标，可使用振动位置偏移量、振动速度、振动加速度三种参数，综合表示振动幅度。在监测振动幅度时，能够准确获取机械设备的振动情况，获取设备运行的平稳性。在使用频谱分析方法，测定立式筒袋泵运行情况时，会依据各类振动表现，进行振动异常的判断，比如工频、低频、高频等。其一，工频振动分析时，侧重查看待测泵体中转子的运行频率，获取与转子频率等同大小的振动幅值。工频振动分析方式，或称为基频振动<sup>[3]</sup>。一般情况下，基频大小等同于机械转动速度除以 60 的结果。假设机械设备的工况为：每分钟转动 3000 次，工频振动测定的频率结果为 50Hz。其二，低频振动，此频率相比工频较小。其三，高频振动，频率参数相比工频较大。其四，倍频振动，是以工频参数为基础，增加若干倍数的频率，通常为整数倍。结合异常振动的实际频率表现，进行振动类型划分。在振动类型划分完成时，判断设备可能发生的故障问题。依据频率特点，判断泵体故障的过程，见图 1。



h, 扬程参数设计为 300m。在运行时, 合理使用润滑油。案例设备生产于 2015 年, 2019 年进行了转子更换处理。机泵初期生产运行时, 整体工况较为平稳。设备运行一段周期后, 频繁发生异常振动。在时间推移情况下, 振动幅度相应增大, 严重影响机泵运行的有效性, 形成诸多负面作用, 比如温度较高, 增加工艺参数调试与优化的频繁性。异常振动问题, 严重削弱设备运行平稳性<sup>[4]</sup>。

### 3.4.2 异常振动分析

#### 3.4.2.1 安装不善

选取 2019 年 8 月与 9 月的数据运行资料, 进行异常振动分析。资料中, 8 月 10 日的设备, 监测点一振速为 3.48mm/s, 监测点二振速为 4.26mm/s, 监测点三振速为 2.51mm/s, 监测点四振速为 2.36mm/s。频谱资料表现出整月振动的代表性, 对此数据进行频谱分析。进行频谱分析发现: 各点频谱倍数为 0.5、1, 频率参数有四组, 分别为 37Hz、63Hz、98Hz、112Hz, 监测点二与监测点四的振动较为明显, 推测可能存在轴承安装不达标情况。拆检泵体发现: 泵轴衬、轴套、叶轮等多个位置, 有严重磨损问题; 上下轴发生形变, 轴承与壳体间距较小, 增加了摩擦可能性。

#### 3.4.2.2 介质汽化

在机泵底座新增两个监测点, 水平方向振速均值为 0.55mm/s, 竖直方向振速均值为 0.56mm/s。频谱分析发现: 机泵运行时, 有高频振动现象, 同时发现介质气流声, 推测设备中发生介质汽化问题。在拆检泵体时发现: 叶轮在高温状态下, 发生氧化, 形成干涉色; 泵轴形变程度较大, 叶轮与壳体均有不同程度的磨损, 增加了叶轮拆卸的困难性。由此推测: 泵体内部有介质汽化, 在汽化介质排出无效的情况下, 形成泵内积存现象, 致使各部件润滑供应不及时, 形成干磨现象。

#### 3.4.2.3 轴承形变

在电机有异常振动表现时, 在电机各个轴承位置, 进行选点检测。电机上轴横向振动速度监测结果为 0.65mm/s, 上轴竖直方向振动速度监测结果为 0.54mm/s。电机下轴横向振动速度监测结果为 0.56mm/s, 下轴竖直方向振动速度监测结果为 0.41mm/s。频谱分析推测: 电机轴承间隔较大, 形成气隙偏移问题, 致使低频振动现象发生。拆检泵体发现: 轴承架整体结构表现出松动性, 进行轴承更换处理后, 异常振动依然存在; 风扇结构以质量表现出失衡性, 形成风力不均, 造成异常振动。

## 4 减振方法

### 4.1 优化工艺

其一, 结合实例分析获得的异常振动原因, 进行工艺优化, 减少振动影响。在立式筒袋泵运行时, 有效排出泵内气体, 减少介质汽化现象。如果介质温度不高于 20℃, 可以预冷工况温度为调整方向, 保持此温度至少 60min, 再进行气体排出。其二, 加强泵体清理, 在筒袋、输入管线等位置, 合理使用保冷材料, 积极回避低温介质汽化问题, 达成减振目标。

### 4.2 介质状态监控

在立式筒袋泵处于工况状态时, 全面开启较小微量, 促使机泵整体运行平稳。检测管线中异常情况, 排查管线介质状态。如果放空线内部积存了一定量的液态介质, 需要适当调整控制阀, 在球罐中有效回收泵腔内积存的汽化介质。

### 4.3 部件性能检查

日常运维工作中, 全面检查泵体运行状态, 确保泵体内部无部件损坏、严重磨损等问题。依据实例分析获知的异常振动原因, 对各位置部件进行检查与分析, 给予有效性能分析。在拆除检查泵体后, 空载试运行电机, 查看电机运行状态的正常性, 主要判断的参数: 振动参数、运行温度等。检查人员, 逐一查看底座、地脚等位置的连接紧固性, 排查连接松动问题, 减少振动影响。在检查时, 发现电机轴承振动值控制在 3.8mm/s, 具有减振效果。在风扇表面增加重铁, 提升基本振动的控制效果。使用重铁后, 轴承振动值降至 3.3mm/s, 达到减振目标。

### 4.4 优化底架支撑结构

采取底架加固形式, 优化底架支撑结构。在筒外增设支撑结构, 确保支撑效果。对于实例分析的泵体, 使用直径为 89 的无缝钢管, 与泵体夹角设计为 45°, 进行支撑架组装。结合支撑情况, 将钢管与钢板进行焊接处理, 在钢板表面设计 4 个孔, 用于螺栓固定。加固处理后, 进行负载试运行监测, 监测结果为: 电机下轴横向振动速度为 2.75mm/s, 竖直方向振动速度为 2.31mm/s, 轴承横向振动速度为 1.79mm/s, 竖向方向振动速度为 1.53mm/s。测试发现: 底座加固措施, 具有减振效果。

综上所述, 对于立式筒袋泵运行时的异常振动表现, 使用频谱分析方法, 准确掌握设备运行的数据变化: 在频谱中含有多组频率振动情况, 说明机泵内部有部件相互碰撞的可能性; 在振动较快、振幅较大时, 伴有介质哨音现象, 推测泵内发生介质汽化问题。结合振动异常的检测结果, 给出优化工艺、改善部件性能等多个措施, 尝试增强立式筒袋泵的运行平稳性, 达到异常振动的控制效果。

### 参考文献:

- [1] 何明辉. 立式泵振动分析及结构改进 [J]. 水泵技术, 2021(04):11-15.
- [2] 尹扬, 李欢. 立式筒袋泵振动机理及减振措施探讨 [J]. 中国设备工程, 2020(24):84-85.
- [3] 方明. 煤化工装置立式筒袋泵的优化 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(11):7+9.
- [4] 曾力强, 关晓. 浅谈液化烃球罐区筒袋泵的应用 [J]. 山东化工, 2019, 46(11):124-125.

### 作者简介:

张永明 (1991-), 男, 汉族, 浙江嵊州人, 本科, 毕业院校: 浙江理工大学, 职称: 中级工程师, 研究方向: 化工机械 (运行维护)。