

水力机械轴向与径向水推力引发的故障诊断与分析

邵艳波

(南水北调中线干线建设管理局河南分局 河南 郑州 450000)

摘要: 目前, 水力机械运行过程中水推力的测量和调节比较困难, 业界对其关注不够, 相关测量技术研究也存在一定的滞后性。本文以典型案例来分析高水头混流式水轮机、双吸离心泵和立式轴流泵由于水推力引起的抬机、偏磨及扫膛等问题的诊断、检测和处理, 指出传统的转轮设置平衡孔的方法不能调节轴向力, 导致水压脉动传递到顶盖, 不利于机组的稳定运行, 并指出双蜗壳的设计有利于减少无导叶离心泵的径向推力。

关键词: 水力机械; 轴向水推力; 径向水推力

1 高水头混流式水轮机抬机故障诊断

案例一: 某水电站, 设计水头 262m, 安装了两台立式混流水轮发电机组, 单机容量 22MW。2 号机检修完成后机组在升负荷过程中到达某个负荷时机组异常剧烈振动, 厂房震感明显, 被迫停机。后续经过大量检修、测试、调整和专家论证, 问题一直未得到解决。经对机组开展诊断性测试、分析后确认: 2 号机大修后, 将磨损叶片、上下止漏环修复, 修复后的止漏环间隙产生变化, 导致机组升至某一负荷时抬机, 具体表现为: 同一水头, 故障负荷具有复现性, 不同水头故障负荷点不同, 停机后机组能够正常重新开机且在故障负荷以下能够正常运行; 机组负荷升至故障点后, 振动剧烈, 除机组外, 厂房、玻璃振动响应剧烈, 被迫停机; 诊断测试时机组负荷升至 7.5MW 时故障现象出现, 机组上机架、顶盖振动和顶盖压力变化如图 1 所示。

水轮机上设有常规的平衡孔, 且技术供水也从顶盖引出。通常认为水轮机轴向水推力都是向下, 只有在甩负荷时一般才会发生抬机现象。一般情况下, 机组顶盖压力会随机组负荷的增加而升高, 机组振动也不应对顶盖压力产生大的影响。抬机力大于转动部分质量, 转轮上移导致转轮与顶盖发生摩

擦, 产生剧烈振动, 顶盖压力通道受阻, 压力从 34m 降至 17m, 根据顶盖受压面积 0.78m^2 计算, 抬机力增加 13t, 停机后转动部分复位。故障问题明确后, 初步将蜗壳高压水引入水轮机顶盖, 解决了当时汛期机组能够满负荷发电问题, 汛后封堵了转轮上的部分平衡孔, 使问题得以解决。

案例二: 某水电站, 在机组顶盖上开设 6 个平压孔, 引至水轮机尾水管, 在机组启动时就出现抬机问题, 现场对称封堵 3 个平压孔后机组能够正常运行。对于高水头立式水泵、水轮机和水泵—水轮机, 建议慎重采用在转轮上开设平衡孔方式, 这种方法能够有效降低轴向力, 但会将转轮出口压力脉动传导至顶盖, 不利于机组稳定运行, 也不能在机组运行过程中对轴向力进行调节。建议采用在顶盖上设置配有可调阀门的平压孔, 便于在机组试运行期间将轴向力调至合适值。

2 双吸离心泵口环与转轮抱卡问题分析和处理

某供水工程泵站安装了 5 台水平中开离心式水泵, 水泵主要参数 (流量: $3.7\text{m}^3/\text{s}$, 扬程: 53.2m, 转速: 590r/min), 水泵投入运行后就发现存在振动、噪声大问题, 运行一段时间停机后出现转子盘不动现象, 经拆卸水泵进行检查、检修发现叶轮吸入口与密封环发生严重摩擦磨损, 局部已无间隙导致转子无法盘动。图 2 为口环磨损部位和形貌, 其中传动端磨损最大为 5.6mm, 非传动端最大磨损为 4.0mm。

该水泵采用闭阀直接启动方式, 开机过程测试结果表明: 机组转速在 1s 内从 0 升至 599r/min, 泵出口压力升至最大值 74m; 出口蝶阀在机组启动 1.8s 后线性开启, 23s 全开; 轴位移矢量值在 1.5s 达到最大值 (传动端 0.9mm, 非传动端 0.5mm), 方向为出水向下 45° , 与口环磨损部位一致。

变扬程试验结果表明: 双吸离心泵径向力随扬程增大而增大, 方向固定 (如图 3 所示)。泵站问题为: 泵两侧轴承支撑刚度不足, 在水泵闭阀启动时转轮与口环产生摩擦, 随着出口阀门打开, 径向力降低, 转轮恢复原位, 但口环由于摩擦出现不均匀热变形, 向内收缩,

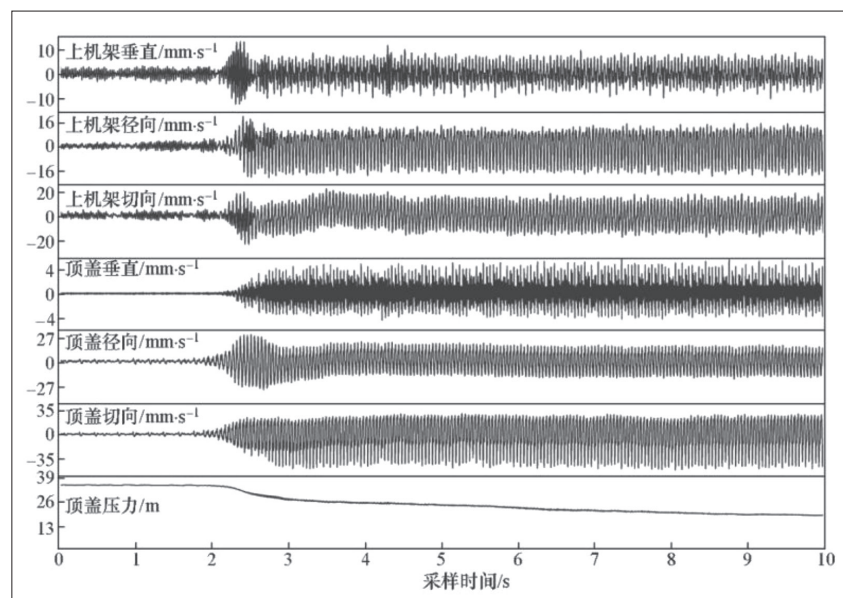


图 1 机组增负荷过程中上机架、顶盖振动和顶盖压力变化

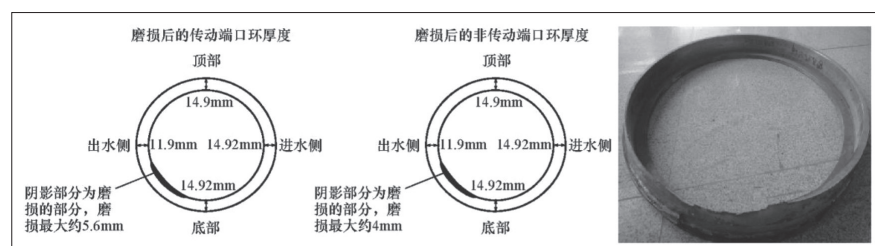


图2 双吸离心泵口环磨损

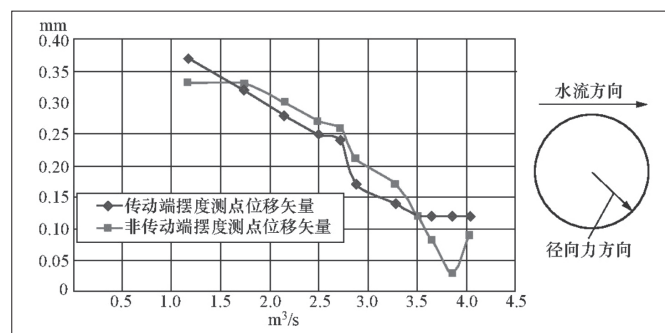


图3 某双吸离心泵启动和不同运行工况轴位移和方向造成停机时(出口阀门关闭后停机)口环向内收缩将转轮抱住且口环局部磨损等问题。

采用直接启动的离心泵要注意轴承选择和支撑的刚强度设计,除要满足正常运行还要承受闭阀启动时的径向力。应注意机组启动与出口阀门开启时间配合问题,在电机功率、启动冲击电流允许条件下,将阀门开启时间提前。一种双蜗壳双吸离心泵设计,可有效地降低径向力。

3 立式轴流泵的橡胶瓦偏磨问题分析

典型立式轴流泵一般为肘型进水流道、虹吸出水流道且泵体内主轴裸露。出水流道内水流作用于裸露的主轴上,形成出流方向径向力;进水肘型流道,由于弯肘作用,转轮上肘外侧压力高于内侧压力,形成入流方向径向力;共同作用轴运行时形成定向轴位移,造成橡胶水导轴承偏磨。

在裸露轴段加装保护外套可消除出、入流方向径向力。应对消除肘型流道造成转轮进水不均匀产生的径向力措施进行研究,如在转轮进口两侧边壁设置可调节导流板等调节措施。径向力大小和方向,可通过轴摆度测量信号的直流量间接获得(定义为轴位移),轴位移基准为:机组在正常停机时,自由降速过程后轴转动中心。

4 高扬程立式离心泵扫膛故障诊断

某调水工程泵站,采用多台单级立式离心泵,设计扬程140m,单机额定流量 $6.45\text{m}^3/\text{s}$,转速 $600\text{r}/\text{min}$ 。其中一台机组发生水泵扫膛故障,摩擦部位为:转轮一侧,止漏环一周。现象为:机组正常运行时突然产生剧烈振动,触发保护被迫停机,停机后,机组仍能正常再启动;在不定期运行后再次出现剧烈振动导致停机,而泵站其他同型号机组运行正常。经检查电机、水泵、制造和安装都符合规范,未发现问题。

水泵采用明蜗壳可中拆结构,电机、水泵之间过渡轴较长,为降低轴向力,泵轮上设有平衡孔,将顶盖与转轮

叶片进口联通,为常用的降低轴向力措施。机组正常运行时推力瓦温 39°C 偏低,巴氏合金瓦推力轴承一般运行瓦温范围为 $66\sim 80^\circ\text{C}$,说明水泵轴向力较小或本身就存在抬机隐患。经对运行记录检查发现,出现振动过程后推力瓦温降为 37°C 。分析认为,机组故障为水泵抬机使主轴产生弯曲变形导致水泵扫膛。

5 轴向力、径向力测量

水力机械运行时轴向力可采用测量推力轴承支架变形方法间接测量,在推力轴承座处设置电涡流位移传感器测量轴承座位移,采用转动部分质量对测试系统进行标定,利用高压油顶起装置,若将转动部分顶起,轴向力为零;若将转动部分放下,轴向力为转动部分质量。也可采用遥测应变仪测量水轮机轴拉应变方法测量。

径向力测量,可在轴瓦支撑调节螺栓上装设测力元件,至少对称装设4个,也可通过轴位移信号(水导轴摆度直流信号)间接分析径向力大小和方向。

6 结语

水力机械运行过程中水力上抬会引发如下3种现象:

(1) 对于大型机组,转动部分质量大、轴径大,一般不会产生较明显的故障问题(将转动部分抬起,将轴抬弯),主要表现为运行稳定性变差,推力瓦温偏低;

(2) 对于中型长轴机组,出现抬机问题,如果轴线比较好,且抬机力小于转动部分质量,机组能正常运行(机组发飘,运行稳定指标差),如果轴线偏折较大,在抬机力作用下将加剧轴线偏折,严重时出现扫膛故障;

(3) 如果抬机力大于转动部分质量,机组将不能运行。因此,机组正常运行时抬机问题,对于高水头中小机组、抽水蓄能机组特别应给予重视。

需要加强对水力机械轴向力、径向力的研究,测试和调节控制技术也需要创新。轴向力设计的目标是将轴向力控制在一定范围,既有利于机组稳定运行,又不超过推力轴承承受能力。推荐采用在顶盖上设置平压管并装设调节阀门的设计,便于对混流式水轮机、离心泵轴向力进行调整,在运行调节时应严控抬机现象发生;双蜗壳设计的离心泵可有效降低径向力,机组启动、运行时径向力越小对导轴承越有利;对径向力的调节和控制是设计需考虑的一个问题,初步设想在下环处对称设置4个调压腔,进一步开展对转轮径向力进行控制调节的研究。

参考文献:

- [1] 万邦烈.单螺杆式水力机械的研究和开发[J].石油矿场机械,1995(03):14-19.
- [2] 葛占玉,万邦烈.单头单螺杆式水力机械螺杆——衬套副的啮合理论及其作用力[J].石油大学学报(自然科学版),1990(05):33-40.
- [3] 万邦烈,葛占玉.单螺杆式水力机械的啮合理论及其作用力研究[J].石油学报,1989(03):97-108.