

# 水电机组转轮汽蚀监测技术的应用

## Application of Cavitation Monitoring for Hydrogenerator

李文清

(紧水滩水电站, 浙江 丽水 323000)

**摘要:** 简述了水轮机转汽蚀的成因, 分析了基于加速度和超声波传感器监测的汽蚀监测原理, 以及转轮发生汽蚀时的噪音特点。

**关键词:** 水轮机转轮; 汽蚀监测; 噪音特性

**中图分类号:** TK730.3<sup>+</sup>16

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1607-1881(2005)04-0076-03

水电机组的汽蚀对转轮叶片和过流部件会造成严重损坏, 鉴于空蚀的严重程度已经成为一般水电厂大修周期的决定性因素等方面的考虑, 我们对紧水滩站两台混流式机组进行在线汽蚀监测, 以便及时调整机组运行方式, 采取有效措施来减少汽蚀的发生, 同时, 通过掌握水轮机汽蚀发展趋势, 指导机组检修。

汽蚀监测装置采用的是北京华科同安公司和清华大学热能工程系联合开发的 TN8000 型状态监测与故障诊断系统。

### 1 汽蚀成因简述

汽蚀是水轮机有待解决的主要问题之一, 产生汽蚀现象的根本原因是低压区的存在。当流经过流部件的水流的绝对压力下降到其汽化压力时, 水开始蒸发产生气泡, 气泡随着水流进入高压区时, 气泡内的蒸汽重新凝结成水, 气泡原来所占的空间便形成真空, 周围的高压水流质点高速地冲击这一空间, 形成强大的水击压力, 冲击过流表面。气泡的形成和破裂, 压缩和膨胀的重复循环, 产生高频率的脉冲水击压力, 使转轮过流表面受到锤击, 局部材料剥蚀。

汽蚀使水轮机性能恶化, 转轮的效率和过水能力降低, 严重时, 导致水轮机振动增大以及部件表面侵蚀破坏。对混流式水轮机来说, 长时间在偏离允许工况下运行, 有可能产生严重的汽蚀

破坏。

### 2 汽蚀监测原理

很多试验资料都探明了汽蚀现象与声波压强之间的内在联系: 随着汽蚀的发展、溃灭、气泡的数目及其冲击强度增大, 声波的振幅也随着增加。大量的试验、研究表明在汽蚀水流中存在两个基本声源:

(1) 由于汽蚀旋涡周期性分离而发出各种频率的噪声, 其频率取决于水流条件。

(2) 由汽蚀空泡溃灭所产生的宽频声振动, 汽蚀声波的频谱取决于空泡的直径、数量和溃灭的速度。较小直径的汽泡溃灭时产生高频率的声振动, 而直径大的汽泡溃灭时, 则产生低频率的声振动。

#### 2.1 汽蚀监测基本方法

国内外关于汽蚀噪声的最新研究表明, 汽蚀发生后, 其噪声频段覆盖 20 Hz ~ 20 kHz 和 20 kHz ~ 70 kHz 两个频段。

采用加速度传感器监测 20 Hz ~ 20 kHz 频段的信号, 原理是基于汽蚀空泡溃灭的瞬间产生很大的高频冲击力, 而这种冲击力是由于加速度增大引起的。

采用超声传感器来监测 20kHz ~ 70kHz 频段内的信号, 原理是基于水电机组在运行中总会有因叶片转动、尾管涡带和撞击以及机械摩擦和电磁

振动而产生的声振动,用噪声来判断汽蚀的发展状态比较困难的,而测量汽蚀的超声波分量,就可以免除上述噪声的干扰。

## 2.2 汽蚀外特性监测

对汽蚀外特性监测分以下4个方面进行:汽蚀系数、能量特性、振动噪声、失重。

汽蚀监测采集和预处理的参数主要有:机组有功、机组无功、水轮机出力、能量损失、发电流量、工作水头、转速、接力器行程、耗水率、水轮机效率、效率误差、设计效率、机组效率、吸出高度设计值、吸出高度实际值、临界空化系数、装置空化系数、空化强度系数、累计金属失重量、噪声波形峰峰值、尾水管压力脉动峰峰值、导叶后压力脉动峰峰值。

通过电站的吸出高度  $H_s$  和电站水头  $H$  的实时数据,可以计算出机组的实时汽蚀系数  $\rho$ 。而通过水轮机的能量参数的实时监测,计算出瞬时工况的单位流量  $Q_1$  和单位转速  $n_1$ 。输入水轮机的综合特性曲线,由  $Q_1$  和  $n_1$  就可查出瞬时工况的水轮机的临界汽蚀系数  $\rho_c$  值。

通过上述采集和计算得到的参数、由压力脉动监测系统得到的压力脉动及由汽蚀监测模块得到的噪声数据,综合判断汽蚀状态的发生。如:

(1) 电站的装置汽蚀系数  $\rho$  和临界汽蚀系数  $\rho_c$  的比较判断汽蚀状态的发生;

(2) 根据在一定的开度下,效率的下降判断汽蚀状态的发生;

(3) 由汽蚀状态诱发的压力脉动和噪声强度 (dB),判断汽蚀状态的发生。

对汽蚀状态的评价分为良好、合格、较差及需维修处理4个等级。

## 3 转轮汽蚀时的噪音特点

### 3.1 汽蚀噪音的基本特性

汽蚀中空泡进入高压区后,出现了压缩、溃灭和反弹的过程。伴随着强烈的噪音,最大的噪音发生在空泡溃灭时,从宏观上,是当电站汽蚀系数  $\rho$  下降至临界系数  $\rho_c$  时。

### 3.2 汽蚀噪音的频率范围

研究表明,汽蚀发生后其噪音的频段覆盖 20 Hz ~ 50 kHz 和 20 kHz ~ 70 kHz 两个频段。

采用加速度传感器监测 20 Hz ~ 20 kHz 频段的

信号;超声传感器监测 20 kHz ~ 70 kHz 频段内的信号。

### 3.3 汽蚀噪音的声压特征

当电站汽蚀系数  $\rho$  下降至初生汽蚀系数  $\rho_b$  和下降至临界汽蚀系数  $\rho_c$  范围时,汽蚀噪音的声压会急剧上升。

例如某电站的测量结果如下:

电站汽蚀系数  $\rho$  达到初生汽蚀系数  $\rho_b$  和临界汽蚀系数  $\rho_c$  范围时:

250 kHz 频率的噪音声压从 10 dB 上升至 20 dB,进一步上升至 45 dB;

31 kHz 频率的噪音声压从 46 dB 上升至 56 dB;

16 kHz 频率的噪音声压从 42 dB 上升至 50 dB;

8 kHz 频率的噪音声压从 46 dB 上升至 58 dB;

1 kHz 频率的噪音声压从 38 dB 上升至 45 dB。

### 3.4 汽蚀状态的监测

(1) 电站的装置汽蚀系数  $\rho$  和临界汽蚀系数  $\rho_c$  的比较,判断汽蚀状态的发生。

电站的装置汽蚀系数  $\rho$ ,可以通过电站的吸出高度  $H_s$  和电站的水头  $H$  的实时监测值计算得出。

临界汽蚀系数  $\rho_c$ ;通过水轮机的能量参数的实时监测,计算出瞬时工况的单位流量  $Q_1$  和单位转速  $n_1$ 。输入水轮机的综合特性曲线,由  $Q_1$  和  $n_1$  就可查出瞬时工况的水轮机的临界汽蚀系数  $\rho_c$  值。通过水轮机汽蚀工况的参数判断准则的比较,就可以判断该工况是否发生汽蚀。

(2) 根据在一定的开度下,效率的下降判断汽蚀状态的发生。

(3) 由汽蚀状态诱发的压力脉动和噪声强度 (dB),判断汽蚀状态的发生。

## 4 汽蚀监测装置在现场的应用

应用于紧水滩水电站机组的汽蚀监测装置,加速度选用 Wilcoxon 公司传感器,型号为 Model 1736,其频响范围为 5 Hz ~ 15 kHz。超声波选用 AEC 公司的 VS45H 传感器,其频响范围为 20 kHz ~ 450 kHz。两种传感器均安装在导叶拐臂上,沿周向均匀分布。

装置的主要用户界面有:

(1) 机组空化系数  $\rho$   $H/H$  关系曲线。机组空化系数  $\rho$  水轮机效率关系曲线;

- (2) 机组空化系数  $\sigma_p$  趋势监测与临界系数  $\sigma_c$ ;
- (3) 机组空化系数  $\sigma_p$  与空蚀噪音的声压的趋势关系图;
- (4) 机组空化系数  $\sigma_p$  与空蚀强度人工标定和预测;
- (5) 空化状态评价报告与趋势预测;
- (6) 噪声和压力脉动的时域和频域分析图;
- (7) 水轮机效率和能量图;
- (8) 水轮机综合特性曲线图;
- (9) 水轮机能量与汽蚀状态报告;
- (10) 系统配置与标定用户界面;
- (11) 能量与空化参数的趋势跟踪监测(参数随时间的变化状况跟踪图)。

因汽蚀监测装置监测的是相对汽蚀强度, 只有通过较长期的运行实践以后, 经过相当的数据积累, 才能评判装置的监测准确性和可信度。

## 5 结束语

对汽蚀进行在线监测的目的在于了解机组汽

蚀是否发生, 对机组出力、效率和稳定性是否产生影响, 通过长期积累汽蚀特征数据, 以精确探测水轮机转轮汽蚀损伤的程度, 最终达到延长大修周期的目标。

## 参考文献:

- [1] 魏世民, 褚福磊, 张正松, 李承军. 广州蓄能电站过流部件压力脉动的分析[J]. 水电站机电技术, 1999(增刊): 37-41.
- [2] 褚福磊, 卢文秀, 张伟, 等. 水泵水轮机组状态监测与故障诊断系统[J]. 水力发电, 1999(2): 31-33.
- [3] 刘晓亭, 李维藩. 水力机组现场测试手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

收稿日期: 2005-04-19

作者简介: 李文清(1969-), 男, 浙江丽水人, 工程师, 大学本科, 从事水电厂自动化技术工作。

(上接第62页)

### 3.2.3 非水冷壁厚衬里

非水冷壁厚衬里主要是把耐磨砖固定在保温砖或保温浇注料的外侧。

## 4 结束语

造成循环流化床锅炉磨损的因素是多方面的, 以上仅是CFB锅炉设计中应注意的要点的一些看法, 要完全克服锅炉的磨损, 还应在锅炉的安装、耐火材料的砌筑、锅炉的运行等方面进行综合控制, 要从多个方面解决锅炉的磨损问题。

## 参考文献:

- [1] 何方, 何祥义, 王华等. 循环流化床锅炉膜式壁炉衬的磨损试验研究[J]. 发电设备, 2001(3): 15-19.
- [2] 岑可法, 等. 循环流化床锅炉理论设计与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [3] 韩虹. 循环流化床的磨损与防治[J]. 锅炉制造, 2004(2): 32-33.

收稿日期: 2005-05-24

作者简介: 袁刚(1963-), 男, 山东济南人, 大学本科, 从事发电设备的技术经济管理工作。

# 做好迎峰度夏和防汛防风工作