

# 智能水电厂运行智能监视与故障处置系统研究

罗远相

贵州北盘江电力股份有限公司马马崖分公司 562414

**[摘要]**水电厂主要对水资源的动能与位能进行有效转换,获取电能,现代水电厂中运用了更多的智能化设备,电力转换系统变得更加复杂,设备之间存在紧密的联系,一些设备产生故障现象后,其他的设备也会随之受到影响。因此可知针对水电厂的情况,形成智能化的故障诊断系统是非常关键的,在设计这一关键系统时,可发挥计算机控制系统的作用,发挥出多个专家系统的作用,精准诊断故障问题。本文主要对智能水电厂运行智能监视与故障处置系统进行探索研究。

**[关键词]**智能水电厂;智能监视;故障处置系统研究

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.09.1567

## 引言

目前,水电厂运行管理普遍存在报警形式单一,无关联分析;报警滞后,无设备异常预判和处理指导;运行监盘的交互可靠性不高,无法确认相关责任人员有无收到报警信息;大量过程和刷屏报警,干扰运行,报警有效性不高;监盘依靠人为判断系统运行状态,运行人员精力有限等问题,已无法满足智能水电厂安全稳定运行的需要。

因此,有必要依托智能水电厂生产数据中心汇聚的电厂生产运行数据,包括监控、辅控、励磁、调速、巡检等各业务系统数据,构建智能水电厂运行智能监视与故障处置系统。

## 一、监测数据和测点布置

监测系统测点的选择和布置是获取机组运行状态信号的重要环节,根据水电机组的特点,结合水电机组状态监测和故障诊断的要求,电厂状态监测系统配置的测点如表1所示。

表1 电厂机组状态监测系统测点布置

序号	测点名	测点数	序号	测点名	测点数
1	上导 X、Y 向摆度	2	11	顶盖 X、Y 向水平振动	2
2	下导 X、Y 向摆度	2	12	顶盖 Z 向垂直振动	1
3	水导 X、Y 向摆度	2	13	顶盖下压力脉动	1
4	拾机量	1	14	蜗壳进口压力脉动	1
5	上机架 X、Y 向水平振动	2	15	蜗壳差压	1
6	上机架 Z 向垂直振动	1	16	尾水管压力脉动	2
7	定子机架 X、Y 向水平振动	2	17	导叶出口压力脉动	2
8	定子机架 Z 向垂直振动	1	18	空化噪声监测	8
9	下机架 X、Y 向水平振动	2	19	机组转速(包括键相)	2
10	下机架 Z 向垂直振动	1			

同时,为了准确分析机组状态,系统还从计算机监控系统引入了以下过程参数:

(1) 发电机运行参数:有功负荷、定、转子电压电流;

(2) 能量计算所需参数:上、下水水位;

轴承监测参数:润滑油油位和温度、各瓦瓦温。

## 二、监测内容技术分析

### 1、振动摆度监测

振动、摆度是表征机组稳定性的直接信号和稳定与否的判断。强烈的振动将影响水轮机组的正常运行,并降低机组和一些零部件的使用寿命。

据统计,水轮发电机组有80%的故障或事故都在振动(摆度)信号中反映,主要有:

机械振动——机组转动部分弯曲,零部件脱落,推力头松动,推力轴瓦不平,固、转动部件间的触碰等。

电磁振动——转子绕组短路,定、转子气隙不均匀等引起的转频振动;定子铁芯松动引起的100Hz极频振动等。

水力振动——卡门涡列,尾水管涡带,水封间隙不等,空腔气蚀,及协联不正确等引起的振动。

### (1) 振动(摆度)形成的因素

上机架振动:上机架松动或强烈动负荷作用。

下机架振动:一般是动负荷通过轴承作用与机架,或者机架刚度不足和支承松动。

定子机架振动:定子铁芯松动,电压三相不平衡或负序电流,定子圆度不足。上导轴承振动:严重质量不平衡,电磁拉力不平衡,导轴承安装间隙过大,轴承润滑不良,轴线弯曲或联轴节松动引起。下导轴承振动:安装间隙较大,轴承油膜刚度低,质量不平衡,不对中弯曲,电磁拉力不平衡,联轴节松动,水力激振,及压力脉动,密封激振,质量不平衡或零部件松脱等。顶盖振动:水力激振,顶盖刚度不足,顶盖强度不足等。

### (2) 振动(摆度)的特征频率

上机架振动:转频为主,附有宽带频率。

下机架振动:一般为转频为主,当严重振动有碰磨或轴瓦支承不正常时,可能会有宽带频率成分。定子机架振动:100Hz或50Hz。

上导轴承振动:转频为主,对应质量不平衡,电磁拉力不平衡,转轴弯曲和不对中;转频为主,倍频和其他频率较小,对应质量不平衡,电磁拉力不平衡。

下导轴承振动:转频为主,2X和3X倍频成分显著时,为联轴节松动。顶盖(水导)振动:转频,7倍频,及广谱频率成分。

### 2、压力脉动监测

水轮机的稳定性问题很大程度上是由水力方面的原因造成的。水力压力脉动会引起水轮机和厂房结构振动,叶片裂纹和断裂,机组运行不稳定和轴承损坏,所以对水轮机各过流段(包括蜗壳、导叶、转轮、尾水管)的压力脉动进行监测分析,可以全面掌握机组的水力特性,指导机组运行。

#### (1) 水力压力脉动形成的因素

水轮机水力压力脉动由于通道中流动的射流、脱流、分离和涡旋等原因造成,主要因素为:

①水轮机蜗壳中水流流速不均匀而产生的交变水动力。

②水轮机转轮旋转时,叶片相对于导叶的位置不断变化,引起绕叶片的环量不断的、且周期性的变化,形成了交变水动力。

③导叶和转轮之间的水压力脉动,引起作用于叶片上的交变水动力。

④尾水管中的压力脉动所引起的交变水动力。

⑤固定导叶,活动导叶和转轮叶片尾缘后面形成的卡门涡,也引起作用于叶片上的交变水动力。

⑥水轮机密封所产生的水压脉动。

(2) 水轮机水力压力脉动的特征频率及监测水力压力脉动的特征频率为:

①水轮机导叶通过频率 $f_w$

$$f_w = kZ_w F_n$$

式中： $k$ 为正整数， $Z_w$ 为导叶数， $f_n$ 为转轮转频。

②水轮机固定导叶卡门涡频率 $f_{ks}$ 在280Hz以上。

③水轮机活动导叶卡门涡频率 $f_{kb}$ 在236~278Hz。

④尾水管低频压力脉动的特征频率 $f_1$ ：在小流量工况和高转速工况出现：

$$f_1 = f_n / 10^2 \text{ 式中，} f_n \text{ 为转轮旋转的转频。}$$

⑤尾水管中涡带产生压力脉动的特征频率 $f_2$ ：

$$F_2 = (0.25 - 0.4) f_n$$

⑥尾水管中频压力脉动的特征频率 $f_3$ ：

$$f_3 = (1.8 - 3.6) f_n Z$$

⑦尾水管高频压力脉动的特征频率 $f_4$ ：

$$f_4 = (3.6 - 6.0) f_n$$

### 3、水轮机能量监测

根据状态监测数据水轮机涡壳差压，和监控系统输入的数据水轮机有效出力（有功功率）、上、下游水位信号，状态监测系统即可计算出有关的水轮机能量监测数据：水轮机有效水头、水轮机过机流量、水轮机功率、水轮机效率、水轮机扭矩、水轮机单位转速以及水轮机单位流量等参数。

### 4、汽蚀监测

汽蚀是混流式等水轮机型的主要问题之一，产生汽蚀现象的根本原因是低压区的存在。通过采集和计算得到的参数，结合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，来判断空化状态的发生，如：

（1）电站的装置空化系数和临界空化系数的比较判断空化状态的发生。

（2）根据在一定的开度下，效率的下降判断空化状态的发生。

（3）由空化状态诱发的压力脉动和噪声强度，判断空化状态的发生。

电厂的状态监测系统汽蚀外特性监测从汽蚀系数、能量特性、振动噪声、失重四个方面进行。

## 三、系统功能

智能水电厂运行智能监视与故障处置系统采用相关分析、聚类分析及神经网络等智能算法，对设备运行的历史数据进行抽取和分析，识别运行人员关注的设备异常、故障与事故信息，并可通过图形化展现方式帮助运行人员快速定位异常设备。系统具体功能如下：

### 1、数据收集及存储

系统基于一体化管控平台进行部署，可通过一体化管控平台直接访问生产数据中心的实时数据。针对水电厂生产数据产生频率快、测点多信息量大且严重依赖采集时间的特点，历史数据库数据存储周期不大于1秒；可进行数据有效性检查（包括：范围检查、变化率检查、数据是否发生变化、关联工况检查、关联变量检查等），剔除无效数据。同时，定期从历史数据库中抽取特征数据存入数据库供数据处理模块使用，以提高系统运行效率。实时数据库实现实时海量数据存储，关系型数据库实现设备数据模型、告警策略，数据分析、挖掘，同时要完成数据清洗、特征值抽取功能。

### 2、智能巡屏

系统应实现自动模式和手动模式下的智能巡屏。自动模式下按照设置的巡屏周期对全系统范围内的数据，包括各系统采集的数据、视频和波形文件等，进行智能阅读与分析。根据需要自动生成相应时间间隔的巡屏统计报表或巡屏报告。同时对巡屏中发现的异常进行推送和告警，并生成对应异常的分析报

告。手动模式下，可手动配置巡屏内容，人工启动后系统可自主开展巡屏功能，并生成统计报表和巡屏报告。

### 3、设备状态告警和趋势预警

系统自主学习不同工况下的设备运行的特征，系统实时采集、计算各设备的参数包括油量、流量和温度、辅设运行时间、辅设启动间隔时间等数据，利用大数据技术，通过历史数据自主学习生成设备健康运行特征曲线。系统实时采集设备的各项参数，计算各数据变化速率。利用人工智能技术，预测设备后期运行变化趋势，结合设备健康运行特征曲线，给出设备运行趋势预警。

### 4、操作过程及操作结果的评价与告警

实现控制流程智能报警。研究分析设备间互相影响因素，智能分析当某一设备故障时对相关设备或控制流程的影响，给出预警。对操作过程中的关键环节进行有效自动监视，自动展示操作过程各环节用时统计对比、趋势变化情况、设备测点状态是否正常等信息，针对暂态、稳态等工况开发重要测点全过程监控和分析，提前预警操作过程或操作结果中设备存在问题，同时根据设备运行时间、操作次数等情况分析并给出指导和相关工作建议，提高运行人员监盘的效率和设备操作成功率。

### 5、设备告警三维展示

采用三维可视化技术，建立厂房及机电设备三维数字模型系统与智能报警的接口，使报警信息可以通过三维方式展现，更形象直观地分析设备本身故障状态与原因，也可展现故障设备与相关设备的关联，以及在电厂的三维位置，支持告警设备的三维场景浏览与引导漫游，实现360度任意三维观察，呈现出真实的场景，便于运行人员直观了解告警设备的具体情况。后期更可通过VR、AR等技术使故障信息与实体设备结合，辅助运行人员对设备进行检测与分析。

### 6、故障处置辅助决策

系统根据故障报警信息，结合设备运行工况及历史报警原因，提出若干条故障报警原因，辅助运行人员快速、准确定位设备故障部位及原因。根据运行人员判断出的故障原因，结合历史故障处理方法，推荐若干条处理措施，或联动应急预案，并附加安全措施范围及风险评估值，辅助运行人员根据实际情况进行决策分析。系统支持应急预案的可视化展示，将故障处置的实际过程与应急预案进行实时对比，显示两者之间的差别，并为应急预案的优化提供支撑。

## 结语

总之，针对当前在运电站运行过程中，信息采集不全、运行分析工作量大、故障处置缺乏系统支撑等问题，本文研究了智能水电厂运行智能监视与故障处置系统的软硬件结构，详细阐述了系统应具备的功能。系统的建设和应用，可以辅助运行人员快速、准确定位设备故障部位及原因，给出处置建议或联动应急预案，并附加安全措施范围及风险评估值，供运行人员根据实际情况进行选择，减轻运行人员劳动强度，提升水电厂运行的安全稳定水平。

## 参考文献

[1] 徐麟, 蔡杰. 巨型水电机组监控的智能预警系统设计与实现[J]. 水电与抽水蓄能, 2020, 5: 57-60.  
 [2] 刘明慧, 胡绍谦, 朱晓彤, 等. 智能变电站网络监视业务链分析展示方法[J]. 电力系统自动化, 2020(4): 160-165.  
 [3] 施申春. 发电机组常见故障处置与预防[J]. 科技传播, 2019, 4: 144-145.