

# 公伯峡水电站水轮发电机组在线监测系统应用

乔海山

(黄河上游水电开发有限责任公司公伯峡发电分公司, 青海省西宁市 810003)

**摘要:** 介绍了公伯峡水电站(5×300 MW)TN8000 水轮发电机组状态监测与故障诊断系统的结构及应用,重点对在线监测的摆度、振动和水压力脉动的实际运行数据进行了相应的分析,以提高水轮发电机组的运行水平。

**关键词:** 水轮发电机; 在线监测系统; 状态监测; 故障诊断

**中图分类号:** TM312; TV738

## 0 引言

黄河公伯峡水电站水轮发电机组在线监测系统采用北京华科同安监控技术有限公司生产的 TN8000 水轮发电机组状态监测与故障诊断系统,可对水轮发电机组的振动、摆度、压力脉动及发电机的空气间隙、磁场强度、局部放电等进行监测与分析。整个系统基于全开放分布式网络结构,对运行设备的监测、分析、诊断、维护和管理进行有机集成,实现远程诊断与维护管理。

## 1 系统介绍

黄河公伯峡水电站 5 台机组在线监测系统由传感器、数据采集单元、服务器及相关网络设备、软件等组成。整套系统采用分层分布式结构,包括全厂状态数据服务器、Web 服务器和工程师工作站及相关网络设备(调制解调器、光纤收发器、交换机、网络安全隔离设备等)。控制站设备安装在电站中控楼计算机室,通过通信服务器与电站管理信息系统(MIS)通信。每台机设一个机组现地数据采集站,每个数据采集站设备安装在—标准机柜内。

### 1.1 在线监测测点及监测内容

公伯峡水电站机组在线监测系统的测点涉及机组结构振动、大轴摆度、压力脉动、空气间隙、磁场强度、发电机局部放电等监测内容。测点、监测设备及安装位置见附录 A。

1) 机组稳定性运行状态监测: 监测水轮发电机组在运行状态下的各种波形、频域值、轴心轨迹、平均峰峰值、最大和最小峰峰值等参数,用于直接判断机组的稳定性。

2) 发电机空气间隙与磁场强度监测: 监测各磁极实时空气间隙、最小空气间隙及其磁极号、发电机

定子不圆度、发电机转子不圆度、转子中心与定子中心偏移量等;各磁极磁场强度实时波形及最大磁场强度;各磁极空气间隙及磁场强度变化曲线。

3) 水轮机能量特性监测: 计算出水轮机流量、效率、耗水率等参数。

4) 压力脉动监测: 监测机组的水力特性,预测和指导机组运行。

5) 其他工况参数: 在线监测系统利用计算机监控系统引入机组正常运行状态下的有功、无功、电压、电流、各测点温度等参数,用于满足现场对于机组全面状态监测的要求。

### 1.2 系统结构

公伯峡水电站在线监测系统由传感器、数据采集站、状态数据服务器、MIS 通信站、工程师工作站及相关网络部件和相关软件组成,见图 1。

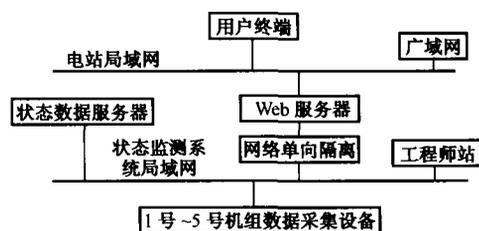


图 1 在线监测系统结构

1) 数据采集站: 负责各种信号的采集、存储和数据处理,并实施监测和分析;同时,对相关数据进行特征参数提取,得到机组状态数据,完成机组故障的预警和报警,并将数据通过网络传至状态数据服务器。

2) 状态数据服务器: 存储和管理数据采集箱传送的机组实时状态数据、历史状态数据及各特征数据。

3) MIS 通信站: 负责在线监测系统与 MIS 的通信。

4) 工程师工作站: 用于现场工程师监测和分析机组的有关信息。可以对整个系统进行系统组态、参数设置、在线画面和报表修改、数据库参数修改等。

## 2 机组运行状态分析及评价

### 2.1 分析目的和方法

2006年7月—2007年1月, 利用TN8000系统自动记录和积累5号机组在不同水头下各负荷段的稳定性, 通过TN8000系统提供的相关趋势图、瀑布图、连续波形和波形频谱图等专业分析工具, 了解机组在各水头下的运行特性, 以确定机组在不同水头下的涡带工况区和其他不稳定运行工况区, 有效指导机组避免在不稳定工况下运行。

### 2.2 稳定运行工况分析

2006年7月—2007年1月, 根据机组运行于有功215 MW~235 MW时各导轴承摆度、机架振动及压力脉动变化趋势(见附录B), 机组的振动、摆度及压力脉动值基本没有变化, 说明机组运行稳定。

### 2.3 不稳定运行工况分析

#### 1) 涡带工况区分析

根据水导摆度、尾水管压力脉动随负荷变化的数据情况可以得出, 在80 MW~230 MW负荷区摆度、振动和压力脉动均存在明显的低频成分。

根据水导摆度、顶盖下压力脉动和尾水管下游侧压力脉动在涡带工况区(负荷94.9 MW)的数据分析, 在该工况下各参数主要频率均为转频的1/4, 即0.52 Hz。因此, 5号机组的涡带频率为转频的1/4, 水位的微小变化对其频率值影响不大。当水位变幅较大时, 涡带工况区范围及频率也有所变化, 例如当水位上升时, 其范围会变宽。

#### 2) 低负荷小开度工况区水压力脉动分析

根据蜗壳进口压力脉动、顶盖下压力脉动随负荷变化的数据分析, 在50 MW~90 MW负荷区, 蜗壳进口、顶盖下压力脉动存在着较大的中频(2.87 Hz)成分。

根据顶盖垂直振动、下机架垂直振动和上机架垂直振动随负荷变化的数据分析, 机组各部件垂直振动在50 MW~90 MW小负荷区同样存在较大的中频(2.87 Hz)成分, 其频率与压力脉动的中频成分频率一致, 可以判断各部件的中频成分振动是由压力脉动造成的。

从数据分析结果可以得出, 5号机组低负荷小开度中频压力脉动有以下特征:

1) 中频压力脉动发生在负荷90 MW以下, 其

中50 MW~80 MW区域最为严重, 其相应导叶开度范围为27%~31%, 随水位的变化不明显。

2) 最大蜗壳水压脉动绝对值达155 kPa, 相对值为15.5%, 均超过允许范围。水压脉动导致机组各部件垂直振动过大, 下机架的最大垂直振动达150  $\mu\text{m}$ , 顶盖的垂直振动达336  $\mu\text{m}$ , 严重影响机组稳定运行。

造成5号机组存在小开度低负荷高频压力脉动的主要原因是水轮机的水压脉动与压力钢管水体自振, 这是由水轮机、引水系统、尾水管本身结构和特定的运行条件综合决定的。所以, 在运行过程中应尽量避免在该工况区运行。

### 2.4 机组稳定性参数评价

利用TN8000系统记录的机组振动摆度和压力脉动参数, 结合机组各稳定性参数的报警限值, 可以对机组稳定性状态进行评价。报警限值可按照国家标准查出, 并结合主机厂的保证值进行确定。

当前机组稳定性参数评价见表1。

表1 机组稳定性参数评价

参数	稳定工况		不稳定工况	
	最大值	状态评价	最大值	状态评价
上导 X 向摆度/ $\mu\text{m}$	90	正常	108.0	正常
上导 Y 向摆度/ $\mu\text{m}$	80	正常	110.0	正常
推力 X 向摆度/ $\mu\text{m}$	150	正常	362.0	正常
推力 Y 向摆度/ $\mu\text{m}$	140	正常	313.0	正常
水导 X 向摆度/ $\mu\text{m}$	170	正常	354.0	正常
水导 Y 向摆度/ $\mu\text{m}$	175	正常	396.0	正常
上机架水平 X 向振动/ $\mu\text{m}$	55	正常	78.0	正常
上机架水平 Y 向振动/ $\mu\text{m}$	47	正常	70.0	正常
上机架垂直 Z 向振动/ $\mu\text{m}$	20	正常	57.0	正常
下机架水平 X 向振动/ $\mu\text{m}$	10	正常	17.0	正常
下机架水平 Y 向振动/ $\mu\text{m}$	10	正常	15.0	正常
下机架垂直 Z 向振动/ $\mu\text{m}$	25	正常	124.0	一级报警
顶盖水平 Y 向振动/ $\mu\text{m}$	16	正常	28.7	正常
顶盖垂直 Z 向振动/ $\mu\text{m}$	50	正常	360.0	二级报警
顶盖下压力脉动/(%)	1.8	正常	15.0	二级报警
蜗壳进口压力脉动/(%)	5.3	正常	17.2	二级报警
尾水管下游侧压力脉动/(%)	1.0	正常	3.8	正常
尾水管上游侧压力脉动/(%)	1.2	正常	2.0	正常
顶盖止漏环后压力脉动/(%)	0.7	正常	1.9	正常

在正常稳定工况下, 机组各部件振动、摆度和压力脉动均正常, 机组运行状态良好。在不稳定工况运行区, 即机组在小开度低负荷工况区, 由于蜗壳水压力脉动值和机组垂直振动超过二级报警值, 故要严禁机组在该工况区运行。

### 2.5 发电机气隙状态评价

发电机磁场强度随时间的变化趋势、最大和最小气隙以及定、转子不圆度随时间的变化趋势见附

录 C。由趋势分析可知,2006 年 6 月—2007 年 1 月期间,发电机的磁场强度和定、转子间气隙值以及定、转子不圆度随时间基本不变,说明发电机的定、转子形貌基本不变,各磁极基本没有伸长,发电机运行稳定。

## 2.6 分析结论

1)在当前 103 m 水头下,与 102 m 水头时基本相同,80 MW~230 MW 负荷区为机组涡带运行工况区,其中 80 MW~130 MW 为严重涡带工况区,涡带频率约为转频的 1/4,即 0.52 Hz。

2)在当前 103 m 水头下,50 MW~90 MW 小开度低负荷区存在过大的中频(2.87 Hz)水压力脉动,并导致机组垂直振动过大,为机组严重不稳定运行工况区。

3)发电机定、转子形貌参数符合规程要求,转子不圆度良好。

4)从甩负荷过程气隙特性可知,转子机械强度良好。

## 2.7 建议

1)在当前 102 m 水头下,严禁机组在 50 MW~

130 MW 负荷区间运行,在 130 MW~190 MW 区间不要长期运行,机组最优运行工况区为 190 MW 以上负荷区。

2)应注意上部定子不圆度过大对振动摆度的影响。

## 3 结语

通过 TN8000 水轮发电机组状态监测与故障诊断系统的应用及分析,对公伯峡水电站机组的实时运行起到了很好的指导作用。在机组运行中,可以通过监视机组各项运行参数、评价机组当前运行状态、及时调整,避免机组长时间运行在机组振动区。通过对历史数据的分析,确定机组各监测量的长期变化趋势,反映机组的运行及劣化状态。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/hadm/ch/index.aspx>)。

乔海山(1977—),男,工程师,从事水电站生产管理工作。E-mail: haishan1677@sina.com

## Application of Hydrogenerator Sets On-line Monitoring System to Gongboxia Hydropower Station

QIAO Haishan

(Hydropower Development Co Ltd of Upstream Yellow River, Gongboxia Power Branch, Xining 810003, China)

**Abstract:** The TN8000 hydrogenerator sets condition monitoring and fault diagnosis system and its application to the Gongboxia Hydropower Station (5×300 MW) are introduced in detail. The on-line monitoring data of swing, vibration and water pressure fluctuation are analyzed for the improvement of the operation level of the hydrogenerator sets.

**Key words:** hydrogenerator set; on-line monitoring system; condition monitoring; fault diagnosis

## 南瑞研制的大坝沉降监测器获得实用新型专利证书

中国国家知识产权局于 2007 年 9 月 5 日签发专利证书,授予南瑞大坝公司研制的大坝沉降监测器“实用新型专利”。专利评审委员会认为,大坝沉降监测器具备新颖性、创造性和实用性,符合《中华人民共和国专利法》对授予专利权的实用、新型的要求。

大坝沉降监测器是南瑞大坝公司近期研发的科技成果之一。它以不锈钢沉降环代替传统的磁性沉降环,克服了磁性沉降环的磁性随时间推移而逐渐衰退的缺点;采用金属感应器探头,并研制了相应的测量电路。该仪器用于大坝及相关工程领域的沉降监测,探测灵敏度和测量精度高,测量结果稳定可靠。

本刊原则上不受理电子邮件投稿或纸质稿件,请直接登录 [www.aeps-info.com](http://www.aeps-info.com),经作者注册后投稿,并可由此查询稿件处理状态。