

# 贯流式水轮发电机气隙变化动态测量与分析

天津发电设备厂 (天津 300400) 秦建新

## 序言

由于种种原因,贯流水轮式发电机的气隙在运转过程中的可能发生变化,这些原因包括设计、安装、部件寿命、厂房基础、以及作用于发电机水轮机部件上离心力和电磁力等方面的问题,在国内有些电站发生过贯流机组由于不平衡力引起超出允许范围的分力导致定子转子扫膛而损坏事故。这样造成发电机部件(特别是定子)的扭曲和变形,导致发生电机寿命缩短有时产生。过量滑相电流引起轴的振动,这种振动损坏轴承和轴承座并波及到其它和机组。

发电机气隙是贯流机组运行中关键数据。不平衡力引起哪怕是5%的气隙减少也将在旋转部件上引起很大的力。这个力传到定子、机架、导轴承则及轴承座上,可能随之引起损坏。

过去通过间接监视有关参数(如发电机导轴承振动;来分析气隙的变化,然而这些方法不足以说明有些水电站的问题。

主要参数:(发电机)

额定容量:4167/3750kVA/kW

额定电压 6300V

额定电流 382A

额定转速 1364r/min

该机在一九九三年十月运行期间由于定子与转子扫膛而损坏。当时对机组进行了静态检测分析和修复机组,修复后的振动试验结果见表1,未见异常,但机组重新启动运行500多小时以后,在原部位又发生定转子相擦事故。究其原因则是对该机动态气隙变化

不能直接测量分析,处理欠妥造成。

正是该电站的问题促进了我们进行直接测量研究工作,采用激光技术成功测量了发电机的动态气隙。该测量系统可提供足够准确数据,便于在机组上安装,能在激磁的发电机上工作,并能在机组连续旋转时测量定子圆周上某一点气隙。

## 二、测量原理

在红外线激光发射器连续发射一束低强度的激光穿过气隙,用两个同样的光接受器监测光速能量变化。两接收器的连线对正激光中心,此时两路光电转换信号大小对应了气隙变化的大小。由于转子磁极是凸极结构,所以转子一侧的接收信号是不连续的。为了解决这一问题,采用转子磁极定位传感器来控制A/D转换采集信号的时间和次数。系统原理如图1所示。

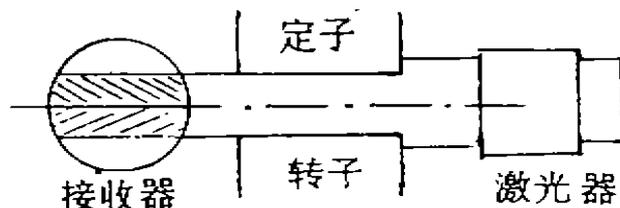


图1

## 三、仪器的硬件

HL6711 半导体激光器。

激光器通过一个铸铁支座用螺栓固定在发电机定子环板上。

2CR-82 光接收器系统,接收器通过一支

架用螺栓固定在管形壳上。

SICK-898 光电传感器,传感器固定在管形壳上,为了得到反射信号在转子每一个磁极阻尼环上都贴有反光片。

LA-2 两通道直流放大单元,放大单元

把接收到信号放大到 5V。

除此之外,还有 A/D 及 I/O 线路板,单片机,微型打印机等。系统连接如图 2 所示。

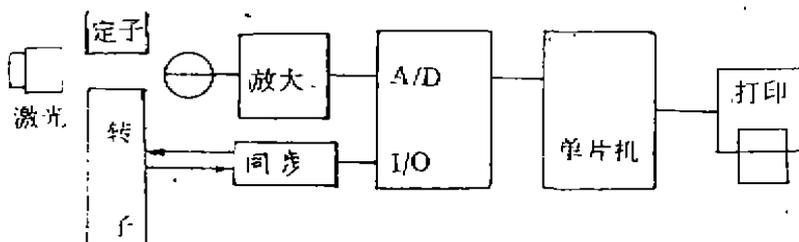


图 2

以上仪器均配有防震及电磁屏蔽措施。

#### 四、数据的处理

第一步:首先取得气隙的“特征”记录。用人工盘车缓转,记录下穿过每一个磁极光束在接收器上转换成的电压值。就得到了这种特征“记录”。

第二步:当发电机在各种试验中以额定转速旋转时,由打印机打印出每个磁极的电压记录值。对于每一个磁极,每次试验中记录的电压与特征电压之间差别可通过一定数据处理转换或位移值。

第三步:在各种发电机试验中,对于每次检测,处理后的位移信号划在坐标纸上,作出发电机气隙分布图,几张代表连续旋转气隙图重迭起来,用以观察气隙在旋转中相对于初始状态的变化,第一转可作为参考点。

#### 数据的评价

测试系统成功分析了复杂的气隙变动(机械、热、磁、绝缘特性等方面)原因。

1. 机械变动:涉及到部件的静态和动态特性,以及部件变形的本质。转子本身是一个刚性件,由于离心力作用,其刚性将取决于径向尺寸。运转中由于各种力的作用,定子具有

更大的可变形性。机械磨损,导向轴承间隙、结构、刚性以及机械谐振,都要给以考虑。

表 1

| 试验工况    | 测点      | 水导轴颈处轴振动 |         | 发导轴颈处轴振动 |         |
|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
|         |         | 幅值 (mm)  | 频率 (Hz) | 幅值 (mm)  | 频率 (Hz) |
| 空载变速试验  | 70%nr   | 0.085    | 1.60    | 0.15     | 1.60    |
|         | 80%nr   | 0.10     | 1.80    | 0.17     | 1.80    |
|         | 90%nr   | 0.105    | 2.0     | 0.175    | 2.0     |
|         | 100%nr  | 0.105    | 2.27    | 0.175    | 2.27    |
|         | 110%nr  | 0.105    | 2.5     | 0.175    | 2.5     |
| 空载变励磁试验 | 120%nr  | 0.11     | 2.7     | 0.180    | 2.7     |
|         | 60%If0  | 0.11     | 2.27    | 0.180    | 2.27    |
|         | 75%If0  | 0.11     | 2.27    | 0.180    | 2.27    |
| 变负荷试验   | 100%If0 | 0.11     | 2.27    | 0.180    | 2.27    |
|         | 200kW   | 0.11     | 2.27    | 0.185    | 2.27    |
|         | 900kW   | 0.12     | 2.27    | 0.180    | 2.27    |
|         | 1800kW  | 0.11     | 2.27    | 0.185    | 2.27    |
|         | 2750kW  | 0.11     | 2.27    | 0.180    | 2.27    |
|         | 3750kW  | 0.125    | 2.27    | 0.20     | 2.27    |

热现象:正常运行水轮发电机的行为,取决于定子、转子以及轴承的间隙。这些又都会影响转子的越位。(转子换转轴线运转中轨迹

变形)。

磁现象:转子与定子之间有很大的吸引力。当转子在轴承间隙及变形允许范围内掠过定子某一部分时,定子该部分受很大的力,气隙迅速变小,在转子轴承所允许变形范围内,与“吸入”的定子部分相邻近的转子部分以低频率掠过定子的“吸入”部分时,这之间存在相擦(扫膛)的倾向。

滑相电流(SPC)由于气隙的初始不对称,定子同相并联绕组中不平衡的感应将在这些绕组中产生不平衡电流,称之为滑相电流,总的来说,在一般机组上(理想机组)滑相电流的稳态值取决于转子与定子磁中心的不同心性和绕组的不重合性。已经观测到它是50赫电流值调制于一个低频率,这个低频率即是转子失圆和轴上越位特性,调制包络的峰值有时变得更大一些,当定子变形的“谷”和转子越位的“峰”动态重合时,滑相电流增加,由于与上述热的,磁的,机械的作用互相交换,滑相电流变得很复杂,可在一个很大的时间范围的变化。

## 五、发电机气隙特性

### 机械速度引起气隙变化

试验程序:电机启动时记录气隙变化曲线,四分钟后转速上升到100%额定转速时记录气隙变化曲线。

一般初始静态,理想机组定子部件都承受相同的应力。同时设想在动态测量中转子的静态中心保持不变。

机组以额定转速运行后,测得气隙转子侧小了0.18~0.19mm,定子侧气隙变化不大。转子侧气隙减小占总气隙4.2%。这个气隙减小是由于转子中心受垂直于轴不平衡水推力和轴承间隙引起的。

### 激磁开路时的气隙变化

试验程序:电机以额定转速旋转,运行1小时后,使电机轴承间隙因受热而减小,减小转子轴偏移,逐步加入励磁记录气隙变化曲

线。

一般机组开路励磁特性要求,转子励磁集中,机械稳定,转子与定子失圆度不规则度最小,转子偏心在允许范围内,定子各部反应均匀而且转子不因水力作用而发生磁中心偏移。

由气隙变化曲线看到,当励磁电压加到400V后,转子侧气隙骤然小了1.3mm,占总气隙30%定子侧气隙变化不大。

在加入励磁前,由于作用于转子上水推力作用和轴承间隙影响,使该点总间隙减少了4%左右。加入励磁以后,由于磁拉力作用,轴承间隙以及结构变形水推力作用,使转子在该点发生越位现象。

### 渐增负荷下的气隙变化

发电机逐步带上负荷,并在升负荷每一步末尾记录气隙变化曲线。比较这些曲线得出,转子侧气隙变化不大,定子侧气隙逐步减小,负荷加到1800kW时,气隙已减小了1.89mm,约占总气隙45%。

由于转子越位,使该点气隙(总气隙)减小了35%左右。造成单边磁拉力很大。同时定子温度升高膨胀后(试验时未开小机),铁芯各部张力本应一致,均匀变化。但因制造工艺等方面原因和磁拉力作用,使各部张力及气隙不能保持均匀。又因该点定子太靠近转子以致引起鼓出。

### 渐减负荷情况下的气隙变化

发电机逐步去掉负荷,在负荷的每一步末尾记录气隙曲线比较这些曲线得出,定子侧气隙变化不大,转子侧气隙随着负荷减小而增大,负荷降至空载进,气隙增大0.48mm,占总气隙10%左右。

由于负荷降低,磁拉力减弱,定子各部张力作用,使定子侧气隙相对保持稳定,转子侧则因磁拉力水推力影响使气隙发生变化。

### 灭磁、减速时气隙变化

发电机灭磁以后,由记录气隙变化曲线

(下转第58页)