

# 立式水轮发电机组定子变形问题简便处理方法

刘加将<sup>1</sup> 范小波<sup>1</sup> 乐绍扬<sup>2</sup>

(1. 四川华能巴塘水电有限公司, 四川 甘孜藏族自治州 627650; 2. 四川华能康定水电有限责任公司, 四川 甘孜藏族自治州 626000)

**摘要:** 本文采用实例详细介绍了立式水轮发电机组定子圆度测量方法及数据分析方法, 浅析了水轮发电机组定子变形原因, 提出了一种不用重新叠片即可处理定子变形问题的简便处理方法, 以及该方法在水电站的成功应用案例, 对同类水轮发电机组类似问题处理具有一定的借鉴作用。

**关键词:** 水轮发电机组; 定子变形; 圆度; 垂直度

## 0 引言

立式水轮发电机组通常以水轮机中心为基准确定定子中心, 进而确定整个水轮发电机组中心。立式半伞式水轮发电机组定子因需承受整个机组重力及径向力, 容易导致定子变形, 出现圆度、垂直度超标及与水轮机同心度超标等问题, 给电站安全生产带来较大风险。

### 1 圆度测量方法

四川某水电站装机容量  $2 \times 50\text{MW}$ , 水轮机型号为 HLY261-LJ-400, 发电机型号为 SF-J50-44/9200, 为立式半伞式机组。该电站 1 号机组存在运行振动、摆度偏大的问题, 并在 2019 年 A 级检修中发现定子中心与水轮机中心偏差较大, 故对定子圆度进行了全面检查、测量。

测量采用拉钢丝法(钢丝直径一般为  $0.30 \sim 0.40\text{mm}$ ), 以水轮机座环第二锉口为基准, 将钢丝调整至水轮机座环第二锉口中心处(偏差控制在  $0.02\text{mm}$  以内)。座环中心选取 6 个点位测量。定子中心分上、中、下三个断面, 分别选取 18 个测量点位(可根据定子直径合理选择测点数)。

### 2 测量数据计算

以蜗壳来水方向为 +Y 方向, 建立直角坐标系, 并测量座环及定子中心数据。座环半径基础值为  $2540\text{mm}$ , 定子半径基础值为  $4310\text{mm}$ , 实际值为基础值加测量偏差值。在计算定子同心度、圆度及垂直度时, 基础值均能相互抵消, 不参与实际计算, 不影响分析结果, 故采用测量偏差值直接替代实际值以便于计算。座环及定子半径实测数据如下表所示:

测量座环第二锉口半径主要是为了确定钢丝是否处于座环中心。将表 1 座环直径方向上测量数据对应相减, 可以得出偏差  $\leq \pm 0.02\text{mm}$ , 满足标准要求。从表 2 可以看出, 定子铁芯上部断面半径最大点位于 16 ~ 17 点处, 最小点位于 5 ~ 6 点处; 中部断面半径最大点位于 15 ~ 16 点处, 最小点位于 6 ~ 7 点处; 下部断面半径最大点位于 17 ~ 18 点处, 最小点位于 5 ~ 6 点处。数据分析表明, 定子整体由 5 点向对称方向的 17 点倾斜, 在 3 ~ 8 点及 13 ~ 18 点处定子各断面半径有较大偏差。定子铁芯圆度计算结果如表 3 所示:

通过表 3 计算结果可以看出, 定子铁芯上端部最大偏差  $5.32\%$ , 最小值偏差  $-4.52\%$ , 均不满足标准要求。

### 3 变形原因分析

将定子上、下断面半径各测点数据对应相减发现, 在 15

表 1 座环第二锉口半径测量数据 单位 mm

编号	1	2	3	4	5	6
数据	5.86	5.85	5.72	5.71	5.87	5.86

表 2 定子半径测量数据 单位 mm

编号	1	2	3	4	5	6
上	5.11	5.24	4.72	3.81	3.71	3.70
中	5.09	5.01	4.87	4.48	4.29	4.20
下	5.12	4.99	5.18	4.76	4.43	4.41
编号	7	8	9	10	11	12
上	3.98	4.33	4.51	4.59	4.13	4.15
中	4.23	4.43	4.6	4.33	4.57	4.34
下	4.53	4.51	4.57	4.53	4.57	4.55
编号	13	14	15	16	17	18
上	4.95	5.24	5.95	6.16	6.06	5.48
中	4.79	5.04	5.64	5.72	5.55	5.40
下	4.70	4.75	4.95	5.31	5.36	5.37

点处上部断面半径比下部断面半径大  $1\text{mm}$ , 既定子垂直度最大相差  $1\text{mm}$ , 垂直度偏差也不满足标准要求, 计算结果与定子圆度示意图一致。进一步分析数据并观察定子圆度示意图可以发现, 定子垂直度偏差是导致定子圆度偏差的最重要因素。

因该机组为立式半伞式结构, 推力轴承位于下机架处, 上机架处只有上导轴承, 并且上机架固定在定子上端。结合该机组结构及数据分析结果, 可以得出造成该机组定子变形的原因——因发电机定子 3 ~ 8 点及 13 ~ 18 点处的空气间隙不均, 使得上导轴承承受的径向电磁力不均, 上机架将该径向力传递至定子, 进而造成定子垂直度偏差, 从而使定子变形。

### 4 变形处理方法

该电站定子主要存在与水轮机中心偏差大, 定子圆度、

表 3 定子铁芯圆度计算结果表 单位 mm

	上	中	下
平均值	4.83	4.88	4.90
最大值	6.16	5.52	5.37
最小值	3.70	4.20	4.41
最大偏差百分比	5.32%	2.56%	1.88%
最小偏差百分比	-4.52%	-2.72%	-1.96%

注: 发电机设计空气间隙为  $25\text{mm}$ 。

垂直度超标的问题,而定子圆度超标是因定子垂直度超标造成,只要处理好垂直度圆度就会达到要求。所以问题处理的关键在于调整定子垂直度及与水轮机同心度。

#### 4.1 定子垂直度及圆度处理

因该电站定子整体由5点向对称方向的17点倾斜,故在定子机座上端环板上14~17点处分别架设一只20T千斤顶,均匀向对称方向施加压力,使定子上端自17点至5点方向移动约0.5mm(在确保定子圆度的情况下,可根据实际施工情况合理选择移动量),定子移动完成后在14~17点处加设6只刚性支撑(内装25T剪切力的剪断销,以防机组运行时定子受力过大),用以维持定子铁芯垂直度。

#### 4.2 定子中心调整

该电站发电机定子整体重量承载于均布于圆周方向的12只基础板及其径向键上(径向键用于调整定子水平)。可以松掉定子基础板地脚螺栓,用行车施加一定的提升力(减小定子与基础板的压力),再用千斤顶顶住基础板,调整定子中心。但在实际施工中发现,平移定子需凿除基础部分二期砼,导致基础强度减小,在极端情况下可能会出现定子失稳的情况,从而造成机组运行安全隐患。并且该机组定子机座壁钢

板较薄,刚度较小,定子平移时可能会发生塑性变形,导致不可逆的风险,故平移发电机定子作业风险较大,故不优先考虑平移发电机定子中心的方案。

#### 5 结语

发电机定子变形问题在机组长时间运行后有出现,特别是半伞式机组更加常见。采用定子重新叠片的方法虽然能有效处理变形问题,但同样存在施工时间长、费用高、难度大等一系列问题。本文介绍的不用叠片的定子变形处理方法避免了重新叠片方法的弊端,但也会导致定子因弹性变形而存在径向应力,进而容易造成变形问题复发。所以该方法主要用于发电机定子变形不大的情况,并且在实际施工时要根据定子变形实际情况因地制宜地采取相应的措施,设备处理完成后要加强巡视及机械振摆数据收集分析,评估处理效果,确保设备安全稳定运行。

#### 参考文献:

- [1] DL/T817-2014,立式水轮发电机检修技术规程[S].
- [2] GB/T8564-2003,水轮发电机组安装技术规范[S].
- [3] 张诚,陈国庆.水轮发电机组检修[M]北京:中国电力出版社,2013.

#### (上接第115页)

轮松动或者电位器轴不转、电源不符合要求等,可以通过检查电源配适情况、检查并修理电位器等手段进行解决。

(10) 震荡阀杆。产生的原因很有可能是由于阀杆的螺母、锁子松动或者是紧固不正确,可以用手卸下阀杆的罩或者是拧住锁子等其他手段来解决。

(11) 在已关转矩开关的情况下电机仍不停。产生原因可能是电机旋转反向或者出现接地故障,可以通过手动电机至中间位置,重新换向,检修接地电阻等手段进行解决。

(12) 计数器打牙。产生的原因很可能是由于中心距的尺寸存在问题、计数器的齿轮材质或者是装配方式的不当、箱体的形位和公差精度的误差不足等原因造成的,可以通过对中心距的调整、检修计数器的齿轮材料、重新进行计数器的装配、提高箱体的形位和公差精度等手段来解决。

(13) 电机相序反。产生的原因很有可能就是未按照产品的使用说明书来操作,或者ABC电机线没有标识相序等。可以通过严格使用说明书进行操作和按电机线颜色标识相序等手段进行解决。

(14) 力矩控制开关的不动作。产生的原因很有可能是力矩孔与端面的垂直度不正确或者出现了故障、力矩开关触点的接触情况出现了故障、力矩开关的触点接受性差、电气接线虚、电动设备的选型不正确等,可以通过对力矩孔的重新加工、调整或修复力矩孔与端面的垂直度或者是传动啮合的位置、检修力矩开关的触点接受情况、检修时的电气连续性情况、重新选择电动设备型号、改进设计刚度等手段进行解决。

#### 2 阀门电动装置故障预防措施

针对漏油和腐蚀等问题,在阀门电动装置的设计、材料选用及安装等方面应充分考虑装置的密封性能;针对可能由

于操作失误导致的问题,需要在显眼位置加上“请严格按照说明书进行操作”字样的警示牌;针对电机反转、停转或者启动失灵等问题,应首先考虑电机合适选型,这首先需要阀门电动装置提供部门明确清晰地介绍阀门电动装置相关部件的型号和适用情况,以供订货部门进行精准的配置,增强阀门电动装置的配适性。此外,也应注意到当阀门电动装置处于长时间不工作的状态时,其相关接口部分可能会因季节或周围环境的问题而产生锈蚀的情况,这将严重影响阀门电动装置的使用。因此,在长时间不使用的情况下,当需要再次使用时,应首先对阀门电动装置的各个部件进行检修,并考虑涂抹润滑油进行润滑,再慢慢启动使用。

#### 3 结语

不可否认阀门电动装置为公众生活和工业生产都带来了极大的便利,但其容易出现的常见故障也较多,这不得不引起人们的注意并需要通过采取相应的措施进行解决。在本文中,笔者就阀门电动装置的分类、常见故障及预防措施进行了详细介绍,在具体应用中还应该结合使用实际情况再进一步做具体分析和决策。

#### 参考文献:

- [1] 许常武,谭爱红.阀门电动装置的发展趋势[J].阀门,2002,(3):33-34.
- [2] 曹庆红,苗振海,石弘.阀门电动装置手动操作过扭矩问题的分析[J].流体机械,2000,28(12):35-37.
- [3] 吴凤江,葛文刚,白绪涛,等.一种智能型阀门电动装置的研究[J].流体机械,2006,34(11):31-33,37.
- [4] 金亚颀.浅议阀门电动装置选型时须注意的要点[J].西南给排水,2008,30(3):40-42.