

三峡电站水轮发电机组大轴绝缘监视的方案研究及工程应用

张 舸

(三峡水力发电厂, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 介绍了三峡电站水轮发电机组四部轴承的具体布置及轴电流的产生原因和危害, 结合实际测量数据, 说明了轴 CT 测量方式的缺陷, 通过对三峡机组大轴结构、轴电势分布状况的分析, 提出了大轴绝缘监视的新方案, 并对该方案具体实施及工程应用存在的问题给出了全面的解决方法。

关键词: 水轮发电机组; 轴电流; 绝缘监视; 工程应用

Research on the shaft insulation monitoring plan for Three Gorges Power Plant water-turbine generator set and its engineering application

ZHANG Ge

(Three Gorges Hydropower Plant, Yichang 443000, China)

Abstract: Concrete arrangement of the four bearings of the Three Gorges Power Plant water-turbine generator set and the reason producing shaft current and its harm are introduced. By combining the actual measurement data, the axis CT survey way flaw is showed. A comprehensive solution to concrete implementation of the proposed new plan and the existing problems in the engineering application are presented.

Key words: water-turbine generator set; shaft current; insulation surveillance; project application

中图分类号: TM612 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)14-0153-03

0 引言

三峡水力发电厂左右岸电站共安装26台额定容量700 MW的水轮发电机组, 首台机组于2003年7月投运, 最后一台机组2008年10月提前计划一年投产。水轮发电机组分别由ALSTOM、VGS、东电、哈电四个主机厂家供货, 均采用发电机具有两个导轴承的半伞式结构。

众所周知, 由于静电效应、恒定或交变的轴向磁通以及交变磁通与机组的轴—轴承—基础回路的交链的存在, 会使得水轮发电机的转轴上产生感应电势。水轮发电机大轴可以通过水轮机叶片或专门的大轴接地碳刷接地, 该感应电势对地电压不会太高, 发电机上端轴电压一般不超过 2~3 V, 三峡电站机组的轴电压也大致处于这一水平。但是由于发电机结构的差异, 某些机型轴电压偏高, 峰值甚至达数十伏。

由于一般轴承与大轴间只有不到1 mm的油膜

间隙, 若出现轴承局部绝缘损坏, 在轴电压的作用下, 将会使油膜击穿放电, 对轴瓦造成电击侵蚀, 同时使润滑油劣化进一步恶化轴瓦的运行环境, 最终可能造成轴承震动增大, 甚至烧瓦的恶劣后果, 所以对于发电机组大轴绝缘的情况应严密监视, 防止轴电流穿过轴承与大轴间的油膜。

1 轴CT测量方法的问题

为了保护发电机组轴瓦, 国内普遍采用轴CT的方法, 通过测量轴电流来间接测量轴绝缘, 并通过保护测量装置发出信号或解裂停机。

尽管轴电势数值不大, 但由于转子轴内阻很小, 如果它沿轴承和底板形成闭合回路, 轴电流可达较大数值。轴电流互感器在设计上一方面考虑安装拆卸方便性, 设计成两瓣或者四瓣结构, 另一方面考虑监测的灵敏性, 铁芯采用特殊硅钢片卷绕, 可以检测出1 A以下的轴电流。

三峡电站的水轮发电机组大轴的四部轴承布置

如图1, 由于发电机组结构和安装位置的限制, 轴CT安装于转子上方, 在正常情况下, 大轴绝缘情况良好, 轴电流应接近于0, 即便考虑大轴对地分布电容的影响, 由于分布电容小、轴电压低, 轴电流数值也应该非常的小。对三峡电厂部分机组的轴电流、轴电压测量值如表1, 从数值上看, 正常情况下, 受发电机内部杂散电磁场的影响, 轴CT送出的电流已非常大, 甚至已经远远超出了轴电流测量装置的量程, 即便更换量程更大的电流测量装置, 为了保证装置在机组正常运行情况下不误动, 也需调高测量装置动作值, 而测量装置定值得太高, 对轴瓦的保护作用将大大降低, 因为即便是小于1 A的电流长期存在于轴瓦之间, 最终也会损伤轴瓦。

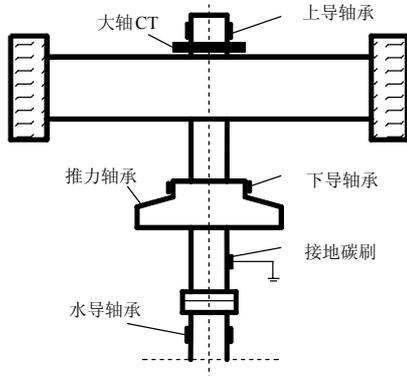


图1 三峡电站的水轮发电机组大轴的四部轴承布置
Fig.1 Three Gorges Power Plant water-turbine generator set macro-axis's four bearing arrangement

表1 部分机组的轴电流、轴电压测量值

Tab.1 Some units of the axis current, shaft voltage measurement value

机组编号	轴电压/V	轴CT电流(最大值)/A	备注
17F	/	3	
18F	1.43	4.95	
22F	36	未安装轴CT	
25F	2.38	>5	超量程
26F	1.08	>5	超量程

由于发电机内部电磁场分布复杂, 轴电流互感器既要准确测量到1 A以下的轴电流, 又要不受发电机内部杂散磁场的干扰是非常困难的, 测量出来的电流往往偏差非常大, 没有参考价值, 因而基本不具备保护发电机轴瓦的功能。

2 轴绝缘监视方案

显然, 采用轴CT检测轴电流作为三峡的大型水轮发电机组轴瓦保护的方法并不适用。仔细研究图1

中水轮发电机组大轴的四部轴承的相对位置, 大轴接地碳刷非常接近推力和下导轴承, 对于沿大轴轴向分布的大轴感应电势而言, 推力和下导轴承与大轴接地点基本等电位, 在推力和下导轴瓦间不会形成有害的电流, 主机厂家设计的轴CT安装位置也只能反应上导轴承的绝缘状况, 事实上我们要防范的仅仅是上导绝缘损害后, 轴电压击穿轴瓦油膜间隙形成的轴电流烧伤上导轴瓦, 因此只要保证大轴与上导的绝缘良好, 即可保证没有轴电流穿越上导轴承对其形成伤害。

由于目前国内外并没有专门用于大轴绝缘监视的设备, 我们选用了德国GMC公司生产的型号为SINEAX V 604的可编程通用变送器, 利用它的电阻测量功能, 对上导绝缘情况进行监视, 该装置能够根据测量范围, 自动设置60 μ A至380 μ A的参考电流用于电阻测量, 实测开路电压不大于3.7 V, 测量装置本身不会对大轴绝缘造成损伤, 电阻测量范围为0~5 000 Ω 并可整定, 三峡电站机组报警值整定为2 500 Ω , 具体回路接线如图2。

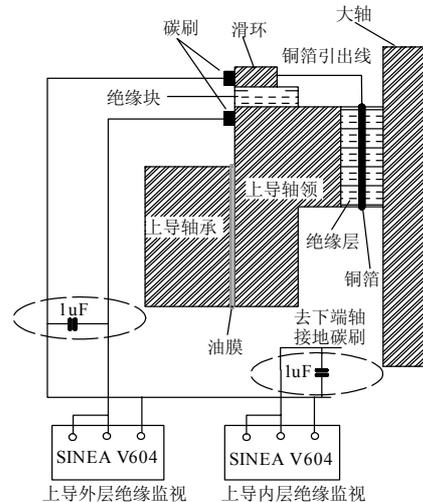


图2 上导结构及绝缘监视回路示意图

Fig.2 Upper guide shaft bearing structure and insulation monitoring circuit diagram

大轴与上导轴颈间垫有绝缘层, 并在绝缘层间隔有一层导电铜箔, 我们利用此结构和三只碳刷分别测量大轴与铜箔、铜箔与轴颈之间的绝缘电阻, 及时发现大轴与轴颈间的绝缘缺陷, 利用两套绝缘监视装置送出报警接点去发信或停机, 保证上导轴承的安全运行。

3 工程应用中存在的问题及解决方案

上述绝缘监视的方案在具体实施中, 我们也发

现了许多问题,首先发现在 19 F、20 F、21 F、22 F 四台 ALSTOM 机组在启动试验过程中,两套绝缘监视装置测量数据跳变,误发报警信号,经反复测量和研究确定是由于这四台机组轴电压较高,轴电压波形如图 3 所示,其交流峰值达到 69 V 左右,轴电压串入测量回路,干扰了绝缘测量装置的正确测量,最后采取的方案是在这四台机的测量端口并接一个 $1\ \mu\text{F}$ 的大电容(如图 2 虚线框所示),滤掉交流分量,利用该电容与铜箔和大轴(或轴领)构成的小电容形成交流串联分压,有效降低绝缘测量装置测量端口的交流干扰电压,这四台 ALSTOM 机组采取电容滤波方案后,测量装置工作恢复正常。三峡电站其他机型因轴电压很低,基本不存在干扰问题,所以无须并接抗干扰电容,绝缘测量装置亦能正常工作。

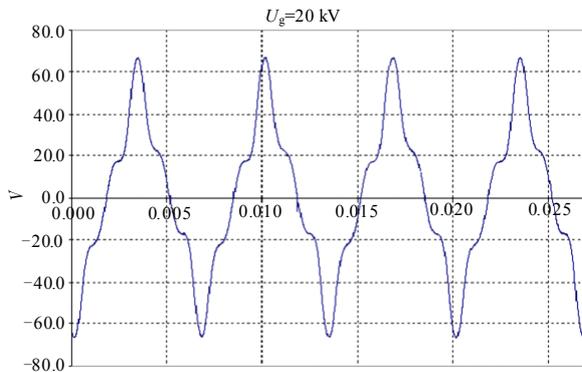


图 3 19F、20F、21F、22F 轴电压波形曲线

Fig.3 19F, 20F, 21F, 22F shaft voltage waveform curve

其次,由于两套大轴绝缘测量装置分别测量大轴与轴领之间的内、外层绝缘,当某一部分绝缘损坏时,大轴和轴领间的绝缘并未完全损坏,轴电流回路也无法形成,若某一套装置动作报警即停机,会大大降低机组运行的可靠性,为此,我们将两套大轴绝缘测量装置报警接点分别接入机组保护装置,并在保护装置内设计了如图 4 的控制流程,保证大轴与轴领之间的内、外层绝缘,任意一部分绝缘损坏时发信报警,两部分绝缘均损坏时,解裂停机,同时报警和跳闸功能可通过软、硬压板及保护控制字进行选择投退。

最后,由于 SINEAX V 604 的可编程通用变送器是一个通用设备,没有严格的防误动措施,在现场测试中,我们发现该装置在上电自检过程中,报

警接点会闭合 3~5 s 左右,同时考虑到即便大轴绝缘损坏,烧坏轴瓦也需要一个过程,最终将保护出口延时 t_1 、 t_2 整定为 6 s。

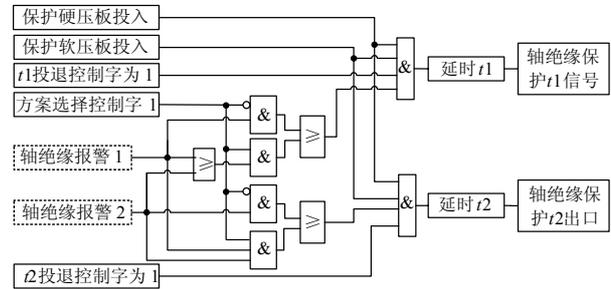


图 4 大轴绝缘监视控制逻辑框图

Fig.4 Macro-axis insulation supervisory control logic block diagram

4 结论

由于轴 CT 测量方式在三峡存在较大问题,根本无法反应轴电流的真实情况,我们对别的水电站进行调研也发现很多电站都存在同样的问题,根据三峡电站发电机组的具体结构,采用上述的上导绝缘监视方案,能够防止轴电流可能对上导轴承造成伤害。三峡电站通过逐年改造,目前已有 16 台发电机组采用了这一套大轴绝缘监视方案,运行情况良好,在多次大轴绝缘进水、受潮等情况下,正确报警或停机,有效地保障了三峡机组的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 王维俭. 电力主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
WANG Wei-jian. Electric power equipment protection principle and applications[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [2] 陈锡芳. 水轮发电机结构运行监视与维修[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
CHEN Xi-fang. Water turbogenerator construction and operation monitoring and maintenance[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2008.

收稿日期: 2009-08-27; 修回日期: 2009-11-04

作者简介:

张 舸 (1969-), 男, 高级工程师, 从事水电厂电气设备技术管理工作; E-mail: zhang_ge@ctgpc.com.cn