

某水电站机组主轴密封供水中断原因分析及处理

胡雄峰,郑应霞,丁国平,邓新星

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,浙江杭州 310014)

摘要:水电站机组经常因主轴密封供水中断的假信号引发保护误动而造成机组的非计划停运,从而影响机组的稳定运行以及电网对电站的考核。以越南某水电站机组主轴密封供水系统为例,对引起主轴密封供水中断的主要因素展开了分析,同时,对两种不同类型流量计的现场实测结果进行了对比。结果表明,电磁流量计误报是引起水电站事故停机的直接原因,而水电站内的电磁干扰及震动等则是引起电磁流量计误报的主要因素。由分析及对比结果可以看出,电磁流量计对使用环境的要求较高,因此,不推荐将其用于环境较为恶劣,特别是主轴密封供水系统对可靠性要求较高的水电站中。

关键词:主轴密封;供水中断;事故停机;电磁流量计;超声波流量计;越南

中图法分类号:TV734

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.13.023

1 概述

水电站机组主轴密封分为检修密封和工作密封,通常所说的主轴密封是指工作密封。主轴密封是转动部件与固定部件之间的密封供水装置,当机组运行时,能有效地阻挡水流从主轴与顶盖之间的间隙外溢,防止水轮机导轴承及顶盖被淹,保证机组的正常稳定运行^[1]。

作为水轮机的一道重要保护装置,主轴密封一旦出现问题,就有水淹厂房的危险。为保证水电站的安全稳定运行,目前大部分水电站均采用主轴密封供水中断信号作为机组事故停机判据之一。但是,近年来,不少水电站在水轮发电机组正常运行时,保护系统会因自身故障(主轴密封供水中断信号触发)而引起动作,从而造成保护误动导致机组事故停机,给水电站带来不必要的经济损失^[2]。

越南某水电站 1 号和 2 号机组在 30 d 的试运行期间,多次发生因主轴密封供水中断引发机组停机的事故。对此,本文利用便携式超声波流量计现场实测的主轴密封供水流量,通过与原主轴密封供水管路上安装的电磁流量计测量数据进行对比分析,找出了主轴密封供水中断事故发生的原因,并提出了解决办法

和优化建议。研究成果对水电站机组主轴密封供水系统及机组事故停机逻辑设计具有指导意义。

2 主轴密封供水系统及停机情况介绍

2.1 水电站主要参数

越南某水电站装机容量为 156 MW,水头变化范围为 95.5 ~ 125.0 m,额定水头为 106 m,共装设 2 台 78 MW 的混流式水轮发电机组。水轮机额定出力为 79.92 MW,额定流量为 81.07 m³/s,额定转速为 250 r/min,转轮公称直径(D_1)为 3.15 m。该水电站机组主轴密封采用自调节恒压式端面密封,润滑油注入 2 个密封件表面之间的环形空腔内,并形成一分离旋转滑环和密封环的水膜。密封环由弹簧紧压在滑环上,从而保证主轴密封具有较长的使用寿命,并阻止河道水流进入^[3]。

2.2 主轴密封供水系统简介

根据合同要求,水电站的技术供水系统采用水泵供水方式,水源取自尾水且经水泵加压、全自动滤水器过滤以后供给机组技术供水用户。主轴密封设有 2 路供水。

(1) 主用水源取自机组技术供水总管,经水力旋

流器过滤后供给;

(2) 备用水源取自上游调压井内减压后的消防水管,主轴密封供水竖直管路上(水流方向从下往上)安装有插入式电磁流量计及流量开关。

(3) 水电站的主轴密封供水系统详见图 1。

2.3 主轴密封供水中断停机条件

主机厂提供的主轴密封供水设计流量为 $10.2\text{ m}^3/\text{h}$,设计停机流量为 $3.6\text{ m}^3/\text{h}$ 。现场实测的主轴密封供水流量约为 $15\text{ m}^3/\text{h}$,主机厂技术人员现场实际整定的停机流量为 $6\text{ m}^3/\text{h}$,即当主轴密封供水管路的插入式电磁流量计流量低于 $6\text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下,机组会延时 15 s 后实施事故停机。

2.4 机组试运行期的事故停机

1 号机组在 30 d 试运行期间共发生 4 次事故停机,其中第 3 次和第 4 次是由于主轴密封供水“中断”引起的事故停机。

2 号机组在 30 d 试运行期的前 20 d 内,总共发生 4 次事故停机,均为主轴密封供水“中断”而导致的机组事故停机。由于 2 号机组停机次数过多,经过研究决定在试运行的后 10 d ,将主轴密封供水由主用技术供水总管取水改为备用从消防供水管取水,这样在之后的试运行期间,机组就再也没有发生过事故停机。

2 台机组在 30 d 试运行期间因主轴密封引起的事事故停机记录情况详见表 1;2 号机组第 1~4 次停机时插入式电磁流量计所测得的主轴密封供水流量曲线详见图 2~5。

表 1 试运行期间 2 台机组主轴密封中断事故停机记录				
机组编号	事故停机序号	流量变化特点/ ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	中断时间/s	是否停机
1 号	第 3 次	$12\rightarrow 0\rightarrow 6+$	20	是
1 号	第 4 次	$12\rightarrow 1.4\rightarrow 0$	没恢复	是
2 号	第 1 次	$15\rightarrow 0\rightarrow 6+$	18	是
2 号	第 2 次	$15\rightarrow 0\rightarrow 6+$	22	是
2 号	第 3 次	$15\rightarrow 0\rightarrow 6+$	34	是
2 号	第 4 次	$15\rightarrow 0\rightarrow 6+$	171	是

从图 2~5 可以看出,在机组停机前,主轴密封供水管路上电磁流量计的测量曲线中,均有很明显的 U 形或 V 形轨迹。根据经验判断,如果是机械故障(如

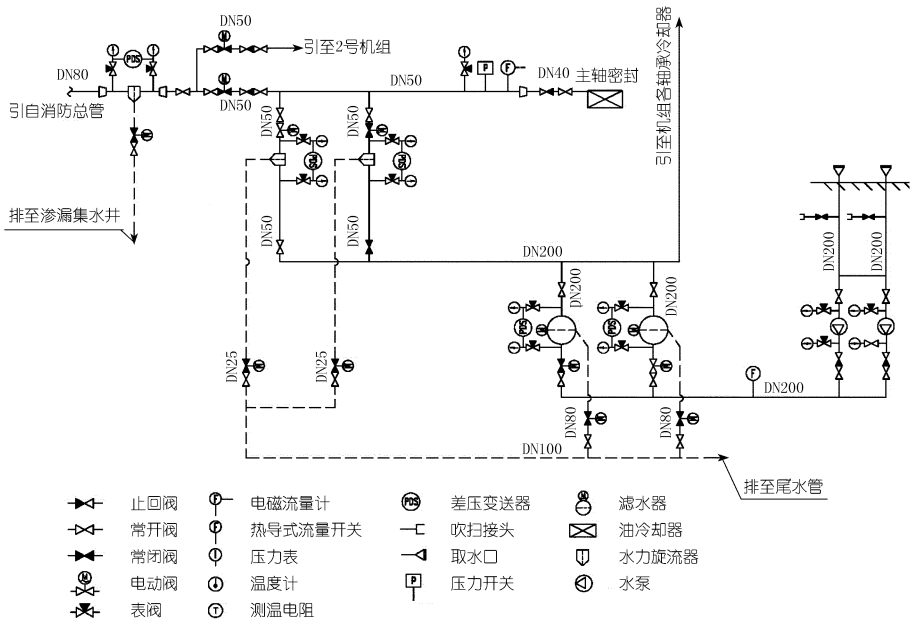


图 1 主轴密封供水系统示意

水泵坏掉或者管路堵塞、滤水器堵塞等),不太可能多次出现流量“突降突升”的现象,而电气信号故障则是有可能出现这种波形的。

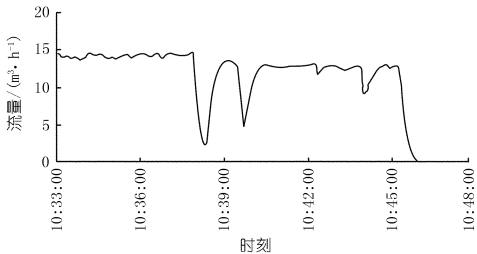


图 2 2014 年 11 月 8 日 2 号机组第 1 次事故停机时
主轴密封供水流量曲线

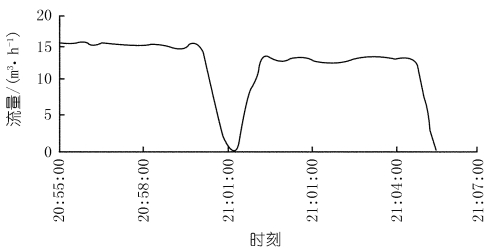


图 3 2014 年 11 月 8 日 2 号机组第 2 次事故停机时
主轴密封供水流量曲线

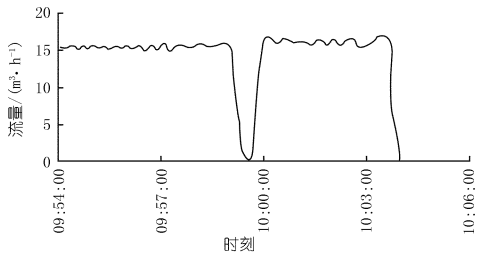


图 4 2014 年 11 月 9 日 2 号机组第 3 次事故停机时
主轴密封供水流量曲线

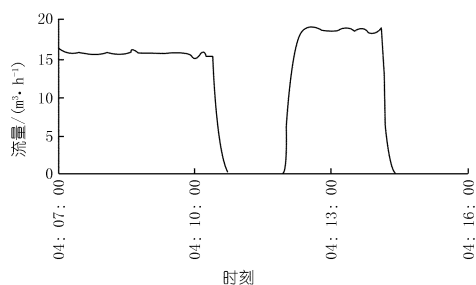


图5 2014年11月9日2号机组第4次事故停机时
主轴密封供水流量曲线

3 主轴密封供水流量现场实测情况

针对2台机组在30 d试运行期间多次出现主轴密封供水中断所引起的事故跳机情况,成立了专门的项目组来开展试验分析,以便尽快查找并确认机组事故停机的原因。项目组的专业设计人员单独采购了一套便携外贴式超声波流量计,以对主轴密封供水流量进行现地实测,并将实测结果与插入式电磁流量计的测量结果进行对比分析。

试验所采用的设备为临时安装的外贴式超声波流量计及无纸数据记录仪。超声波流量计型号为JH外贴式,测试管径为10~6 000 mm。

(1) 首先对处于停机状态的1号机组进行试验,将超声波流量计探头安装到1号机组主轴密封供水电磁流量计附近。设备安装完毕后,只启动1号机组的技术供水系统(主轴密封供水也由水泵供水供给)。

在试验过程中,通过调整主轴密封进水阀门的开度,使其实际流量接近设计流量。待2套流量计的测量结果稳定大约2 h以后,电磁流量计的显示窗口流量突变为0 m³/h,而超声波流量计的流量则一直维持在9 m³/h,此时,用手去触摸主轴密封供水管管壁,能感觉到有明显的水流。30 s之后,将供水阀门开度调整到了最大,超声波流量计测试的流量则立刻上升至15 m³/h,而电磁流量计则依然显示为0。

(2) 为了更真实地测量机组在实际运行过程中的主轴密封处的流量,将超声波流量计探头安装到处于运行状态的2号机组主轴密封供水管上,并将主轴密封供水水源由消防供水更改到水泵供水方式。在机组运行了3 d后,对电磁流量计与超声波流量计的流量历史曲线(详见图6及图7)进行了对比,结果发现,在某一个时间点,电磁流量计测试的流量突然下降至5 m³/h,在持续了大约2 s以后,又上升至设计流量点,但超声波流量计测试的流量曲线则一直比较平稳。由于电磁流量计所发出的低流量信号(低于6 m³/h)仅持续了2 s左右,并没有达到机组事故停机条件中所

规定的15 s延时时间,因此,机组也并未发生事故停机。

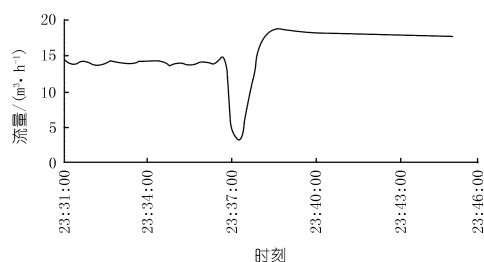


图6 2014年11月25日2号机组运行期间电磁流量计
记录的主轴密封流量曲线示意

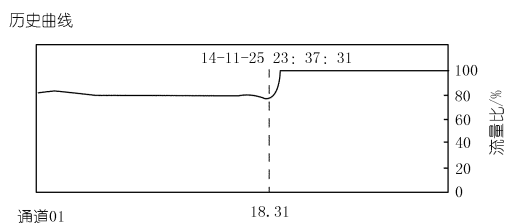


图7 2号机组运行期间超声波流量计记录的
主轴密封流量曲线示意

通过对上述测试结果进行对比分析,可以做出初步判断:插入式电磁流量计发出了主轴密封供水“中断”的假信号。

4 停机原因分析及处理措施

4.1 停机原因分析

对机组在30 d试运行期间的停机原因展开了分析研究。

(1) 通过查看计算机监控系统的记录,发现在1号及2号机组的6次主轴密封供水中断事故停机的时间点处,其他技术供水用户(如上导轴承、空气冷却器以及下导轴承等)的流量开关均处于正常状态,亦即在主轴密封流量“中断”的瞬间,其他支管上均是存在流量的。

(2) 从上述的现场试验结果来看,当电磁流量计的测试流量显示为0的时候,主轴密封供水管中实际上也是有水流存在的。因此,可以推断1号机组及2号机组在商业试运行期间出现的6次主轴密封供水“中断”停机,应该均是由电磁流量计误报所导致机组停机的。

(3) 国内也有不少水电站出现过因主轴密封流量计的误报而导致机组误跳的类似案例。

4.2 电磁流量计误报原因初步分析

电磁流量计是根据法拉第电磁感应定律制造的,

是用来测量管内导电介质体流量的感应式仪表,应用比较广泛,但若选型、安装和使用不当,将会导致误差增大、示值不稳定等问题。针对有可能引起电磁流量计误报的原因展开了分析。

(1) 流量计现场安装位置。电磁流量计安装时,为了改善涡流与流场畸变的影响,对流量计安装的前、后直管段长度有一定的要求,否则就会影响到测量的精度。虽然该水电站现场主轴密封电磁流量计前后管路的距离均较短,不能满足相关的要求,但是这也只会影响测量的精度^[4],而不会出现“水管内部有水流,但流量突变为 0 的情况”。

(2) 气泡问题。该水电站主轴密封供水管为竖直安装方式,而且水流方向为自下而上,能保证管道介质满管,减小测量误差,无气泡^[5]。此外,主轴密封供排水管路位于 90.50 m 高程,而技术供水的取水管及供水总管则位于 94.50 m 高程,因此,即使水泵取水时从下游吸入了空气,管内的气泡也应该聚集在管路的最高处,而不会大量进入位于底层的主轴密封的供水管路处。

(3) 探头被污物堵塞。该水电站技术供水系统的水源取自尾水天然河道,虽然水源经过全自动滤水器和水力旋流器 2 级过滤,但水管路中仍然可能存在细小的泥沙杂质,而这些杂质有可能会附着在插入式电磁流量计的探头周围,从而造成探头堵塞。假如探头被泥沙堵塞,则流量计的显示结果应该一直为 0,而不应该出现流量“突降突升”的现象。

(4) 电磁干扰。电磁流量计的安装地点应远离一切磁源^[6]。然而,水电站内的水轮发电机、变压器等机电设备都具有强电磁辐射性,这些电磁辐射都有可能对电磁流量计的测量结果产生干扰。

(5) 管路震动。安装电磁流量计的管道或地面不应有强烈的震动。然而,水电站一般均存在震动现象,这些震动也有可能对测量结果产生干扰。

(6) 其他原因。其他比如电磁流量计产品质量问题等,也有可能引起测量结果误差。

综上所述,可能引起电磁流量计误报的原因主要包括电磁干扰、管路震动、产品质量问题等。其中的电磁干扰、震动等都属于水电站的固有属性,且是无法避免的。

4.3 处理措施

在明确了主轴密封供水“中断”事故停机的原因以后,通过研究,对主轴密封供水系统制定并实施了以下改造方案。

(1) 更改流量计类型。目前比较常用的流量计类型包括电磁式、超声波式、热导式及挡板式流量计等。

电磁流量计的测量精度会受到电磁干扰及震动的影响;外贴式超声波式流量计的探头需要使用耦合剂紧密贴合在管壁上,而耦合剂在使用一段时间后容易挥发;热导式流量计的探头也容易因污垢而影响到其测量结果;挡板式流量开关属于纯机械式流量开关,测量结果不会受到电磁干扰及震动的影响。因此,经过综合分析比较,最终确定在主轴密封供水管上增设管道式挡板流量开关作为主轴密封供水中断的判定条件,而原插入式电磁流量计的测量结果,仅被用于其流量的显示。

(2) 更改机组保护程序中主轴密封供水中断事故停机的判断条件,即当挡板式流量开关发出流量过低的信号以及压力开关发出压力过低的信号时,机组保护系统才能认定主轴密封供水中断,经延时 15 s 后可启动事故停机流程。

5 结论与讨论

5.1 结论

针对越南某水电站在试运行期间发生的多起发电机组主轴密封供水“中断”事故停机问题,对两种不同类型流量计的测量结果进行了对比分析,在此基础上,结合国内其他一些水电站的实际运行经验,确定了机组事故停机的原因,即这是由电磁流量计所发出的主轴密封供水“中断”的假信号。为此,对流量计及机组保护程序中的主轴密封供水中断逻辑的判断条件进行了更改和补充。运行实践证明,改造的效果较好,提高了水轮发电机组整体运行的稳定性。

5.2 讨论

(1) 电磁流量计在水电站的适用性。电磁流量计是一种对使用环境要求很高的自动化仪表,而水电站则具有电磁干扰较强、设备及管路均有震动、底层环境较为潮湿等特点,总之,其环境较为恶劣。因此,在选择用于水电站的流量计类型时,特别是在选择用于关键部位,比如主轴密封供水管路上的流量计时,一定要考虑到水电站环境对流量计测量结果的影响因素。

(2) 主轴密封供水中断逻辑判断。目前,大部分水电站均只采用主轴密封供水流量中断作为保护判据。鉴于主轴密封供水的主备用水源切换需要一定的时间,所以主轴密封供水中断保护主要是防止保护误动。综合上述分析,建议对其保护逻辑采用主轴密封供水流量过低以及压力过低这 2 个信号作为判定依据,延时时间则仍然依据厂家的设计规定。

参考文献:

[1] 应伟刚,何霞,杨琼,等.贯流式机组主轴密封供水流量中断原因

分析及处理[J]. 中国水能及电气化,2011,(5):54-58.

[2] 唐亚波,倪宏伟. 防止水机保护误动与拒动的措施[J]. 湖南电力, 2013,33(6):44-45.

[3] 段开林,张方婷. 自补偿型主轴密封在三峡机组上的应用[J]. 水电站机电技术,2004,(5):52-53.

[4] 上海光华仪表厂. 电磁流量计受前后接管的影响[J]. 炼油化工自

动化,1977,(4):97-99.

[5] 王永胜. 电磁流量计的安装及故障处理[J]. 科技风,2002,(1): 46.

[6] 姚琳. 电磁流量计的使用与维护[J]. 中国仪器仪表,2002,(1): 60-63.

(编辑:赵秋云)

Cause analysis of water supply break – off of main shaft seal of a hydropower plant unit in Vietnam and its treatment

HU Xiongfeng, ZHENG Yingxia, DING Guoping, DENG Xinxing

(PowerChina HuaDong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Emergency shutdown accidents, due to the fake signals of break – off of water supply of main shaft seal, often occur to the generator units in the hydropower plant, which affect the stable operation of the units as well as the assessment of the hydropower plant by the grid. Taking the main shaft seal water supply system in a hydropower plant in Vietnam for example, the main factors that cause the break – off of the water supply for main shaft seal are analyzed. Through comparing the test results at site measured by two flow meters of different types, it is found that the fake signal sent by the electromagnetic flow meter is the direct cause of the units’emergency shutdown accident and that the electromagnetic interference and vibration inside the plant are the main factors causing the fake signal. The analysis and comparison reveal that the use of electromagnetic flow meter requires a fine environment of the hydropower plant, so it is not suggested to be used in the main shaft seal water supply system of hydropower plants that are in a harsh environment.

Key words: main shaft seal; break – off of water supply; emergency shutdown; electromagnetic flow meter; ultrasonic flow meter; Vietnam

(上接第 46 页)

Analysis and evaluation of dam foundation treatment effectiveness of Longjiang Hydropower Station in Yunnan Province

HONG Shixing¹, QIU Benjun²

(1. Yunnan Province Water Conservancy Hydropower Construction Management & Quality Safety Center, Kunming 650224, China; 2. Dali Prefecture Water Conservancy Hydropower Construction Quality and Safety Supervision Station, Dali 671000, China)

Abstract: The dam of Longjiang Hydropower Project is a double curvature concrete arch one with the top height of 110 m. The dam base mainly consists of Cambrian gneiss of higher strength. Because the weathered thickness of both banks is large, and together with many soft rock zones on the left bank, it is to solve the geological defect parts in the dam base by engineering measures such as deep concrete replacement, whole dam consolidation grouting and curtain grouting. After the treatment, the dam base rock is slightly weathered, integrated and hard with higher single – hole average acoustic wave velocity. We compare and analyze the test data before and after treatment and make a comprehensive evaluation for the dam base treatment. The test of 5 flood seasons and 5.8 magnitude earthquake proves that the treatment scheme is reasonable.

Key words: dam base treatment; consolidation grouting; curtain grouting; acoustic detection; double curvature concrete arch dam