

电磁干扰对巨型水电站机组测温系统的影响及措施

杨春霞 王德宽 汪华强

北京中水科水电科技开发有限公司，北京，100038

[摘要] 国内某水电站测温系统投运初期出现较为严重的电磁干扰问题，影响了电站及监控系统的安全稳定运行。通过现场测试分析，我们将现场干扰归纳了持续工频高电压、持续较长时间脉冲、快速尖脉冲等几种典型的干扰现象，针对不同的干扰现象，采取了不同的处理措施，对电源接地、屏蔽接地等严格按标准和设计进行整改，并采取了齐纳二级管保护、软件滤波、三中取二等措施，取得了良好的效果。

[关键词] 巨型水电站，测温系统，电磁干扰

0. 引言

电磁干扰一直是困扰水电站计算机监控系统正常运行的一个重要问题。随着机组容量的不断增加，电流电压也随之增加，巨型水电站的电磁干扰问题更为突出。三峡、龙滩于 2007 年初先后投产后，景洪、构皮滩、拉西瓦等一批巨型水电站也相继发电投产。据了解，在大中型电站似乎已经解决的电磁干扰问题，对这些巨型电站的计算机监控系统稳定运行均不同程度地产生了一些不利影响。由于温度信号是小信号，其信号采集与处理更容易受到各种干扰的影响，巨型电站测温系统抗干扰应引起足够重视。

2009 年底，我国某巨型水电站首批两台机组先后并网投入运行，计算机监控系统总体运行情况良好稳定，但出现了机组测温屏和水机屏测温模块多次烧损现象，严重地影响了电站的安全运行。针对该现象，中水科技、罗克韦尔和电厂三方立即响应，对现场进行了联合测试分析，按规范和设计要求，对现场接地、屏蔽等进行了严格的整改，并对前两台机组测温回路增加必要的保护措施，现测温系统均运行稳定可靠，取得了明显的成效。

本文试图从该水电站出现的电磁干扰现象出发，简要论述电磁干扰的产生与传播，电子设备抗电磁干扰的主要措施，最后谈谈在该水电站采取的措施以及效果，供借鉴和参考。

1. 系统概况

该水电站机组 LCU 设置有控制、测温和水机保护等三套 PLC 系统，分别简称为主控屏、测温屏和水机屏，三套 PLC 相互独立，均采用罗克韦尔公司的 ControlLogix 控制器及远程 I/O 系统构成。机组 LCU 系统结构如图 1 所示。

测温系统采用冗余 PLC 配置，设有独立的 CPU 电源和 I/O 电源，采集机组温度量 344 点。它与机组控制 PLC 没有关联，在机组控制 PLC 退出时，温度数据的采集不受影响，仍可将温度信号送到上位机系统，提高了机组运行的安全性和可靠性。该测温系统可以将温度过高停机信号通过以太网传递给机组本地屏 PLC，启动停机顺控回路。

水机屏 PLC 独立于机组本地屏 PLC 和测温屏 PLC，为单 CPU 配置，也设置独立的

CPU 电源和 I/O 电源，主要完成引起机组事故停机和紧急事故停机的 SOE 信号和 96 点温度量的采集，以及相关设备的控制功能。与测温屏的温度信号取自不同的温度传感器。水机屏将信号通过以太网独立送到主控级用于事故记录，同时将温度过高停机信号通过以太网总线传递给机组本地屏 PLC，启动停机顺控回路。

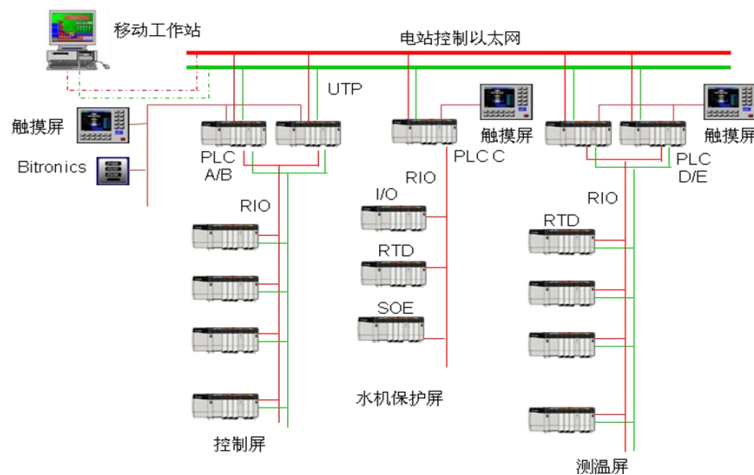


图 1 机组 LCU 系统结构图

测温屏和水机屏 PLC 的测温模块采用了罗克韦尔公司的 1794-IR8 模块，采用三线制 PT100 测温电阻。

2. 现场干扰检测

针对现场存在的干扰现象，有关三方共同进行现场检查和检测。经过对现场典型信号 RTD 三线对地电压测试，发现引起模块损坏的干扰信号主要是共模干扰信号。经现场测试，捕捉到比较严重的干扰信号，主要有以下几种。

2.1 持续工频高电压

典型测点：6F 测温屏定子线圈 34#测温模块通道经常损坏。经实测，该点 372V(峰值)，145rms(有效值)，波形如图 2 所示。正常的测点 6F 定子线圈 33#的电压约为 4V。

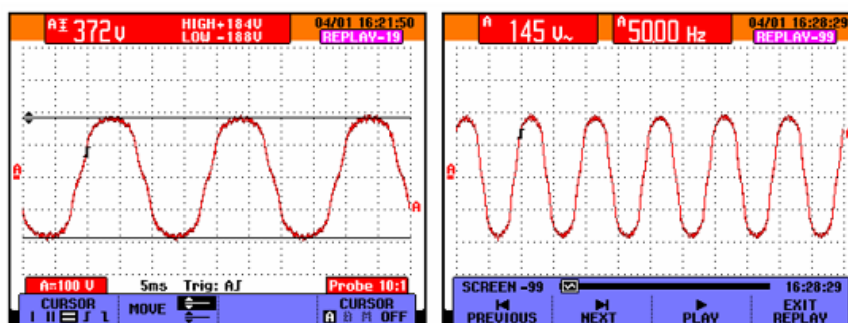


图 2 6F 定子线圈 34#RTD 实测持续工频高电压信号波形

2.2 持续较长时间脉冲

典型测点：6F 水机屏推力轴瓦 20#:电压 800V/5ms, 400V/25ms, 200V/40ms。实测波形如图 3 所示。

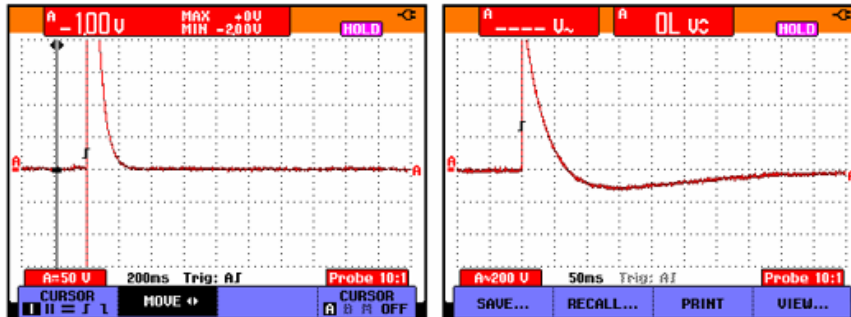


图 3 6F 水机屏推力轴瓦 20#RTD 信号波形

2.3 快速尖脉冲

典型测点：集中在 6F 水机屏和测温屏推力瓦，电压 100-300V 不等，典型时间宽度在 500 μ S 左右。实测波形如图 4 和图 5 所示。

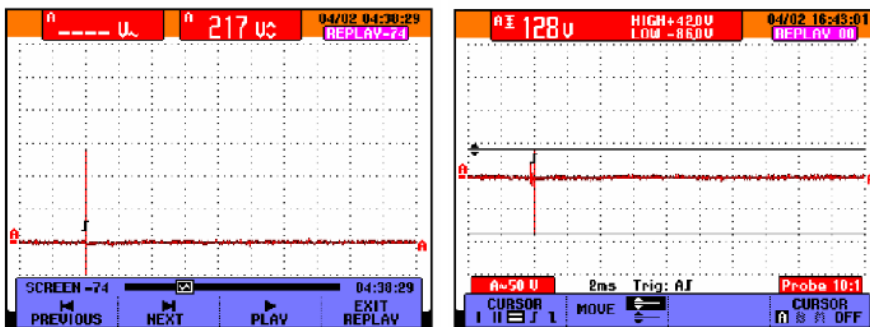


图 4 6F 水机屏推力瓦 8#RTD 信号波形 图 5 6F 测温屏推力瓦 8#RTD 信号波形

3. 干扰信号的类型

电磁干扰源一般就是产生电流和电压剧烈变化的部位。干扰信号通常按照干扰产生的原因、噪声干扰模式或噪声波形性质来划分。按噪声产生的原因可分为放电噪声、浪涌噪声、高频振荡噪声等。按噪声的波形、性质不同，可分为持续噪声、偶发噪声等。按噪声干扰模式不同，分为共模干扰和差模干扰等。

电磁干扰源包括外部干扰和内部干扰。设备内部产生的干扰通过硬件产品的设计、制造环节解决，这里不做讨论。外部干扰对电子设备的影响主要空间电磁辐射和外引线两种途径。空间电磁辐射主要对阴极射线管构成的显示器影响严重，现采用液晶技术后已基本克服，对其他设备的影响不十分明显。外引线干扰主要通过电源和信号线等引入，又称为传导干扰，主要表现为分别来自电源线、信号线和地线的三类干扰。

由于水电站现场设备多，各种电缆纵横交错，设计、施工环节稍有疏忽，便会形成相互

之间耦合或传导，引入干扰。良好的屏蔽、接地是提高电子设备抗干扰能力的重要措施。

4. 现场抗干扰措施

针对上述三类干扰，我们对该水电站测温系统分别采取了下列提高抗干扰能力的措施。

4.1 电源系统抗干扰处理

在 PLC 控制系统中，电源地位极重要。电源干扰串入 PLC 控制系统主要通过 PLC 系统的供电电源(如 CPU 电源、I/O 电源)、变送器供电电源和与 PLC 系统具有直接电气连接的仪表供电电源等耦合进入的。现在对于 PLC 系统供电的电源，一般都采用了隔离性能较好的电源，而对于变送器供电电源以及和 PLC 系统有直接电气连接的仪表供电电源，有时没有受到足够的重视。

机组本地屏设置专门的自动化元件供电电源，并且对运行环境潮湿容易引起短路的自动化元件设置独立的供电回路，以减少对其他自动化元件供电回路的影响。电源的进线侧安装电涌保护器，即最靠近电缆进入点的导轨上。这样外部的干扰电压在进入机柜处就被释放掉，防止耦合入机柜。在电涌保护器前加装空气开关，形成更基础的保护，同时要保证电涌保护器良好的接地，电涌保护器出线尽量短。

4.2 接地系统抗干扰处理

控制系统接地的目的有两个，一是安全，二是抑制干扰。完善的接地系统是 PLC 控制系统抗电磁干扰的重要措施之一。系统接地有浮地、直接接地和电容接地三种方式。对 PLC 控制系统接地线而言，应采用一点接地或串联一点接地方式。信号源接地时，屏蔽层应该在信号侧接地；不接地时，应在 PLC 侧接地，一定要避免多点接地。

在该水电站现场测试时发现，现场接地混乱，存在以下现象：

- a) 在控制柜和现场接线箱存在信号线浮地 /单点 /多点接地情况；
- b) 工作地和保护地在控制柜和现场接线箱混在一起；
- c) 控制柜内的一些设备如电源和机架没有连接工作地和保护地；
- d) 所有测温盘柜 24VDC 是浮地。

发现上述问题后，将测温屏的独立供电电源改为 24VDC 负端接地，同时给本机屏测温模块供电。保证所有的测温模块供电电源单点接地，取得良好效果。

4.3 信号抗干扰处理

在测温信号接入 PLC 测温模块之前，加装齐纳二极管 IN4732，如图 6 所示，进行共模抑制。根据上述(段 1)的测试记录情况，做了如下的用齐纳二极管 IN4732 进行共模抑制的试验。对信号线用齐纳二极管进行直接对工作地保护对比(24VDC 系统浮地)。

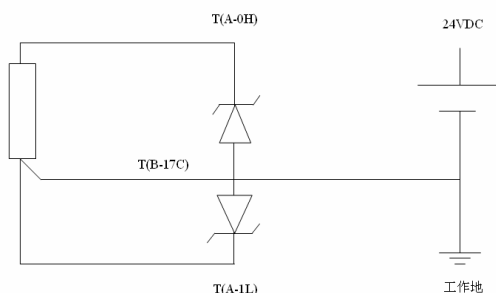


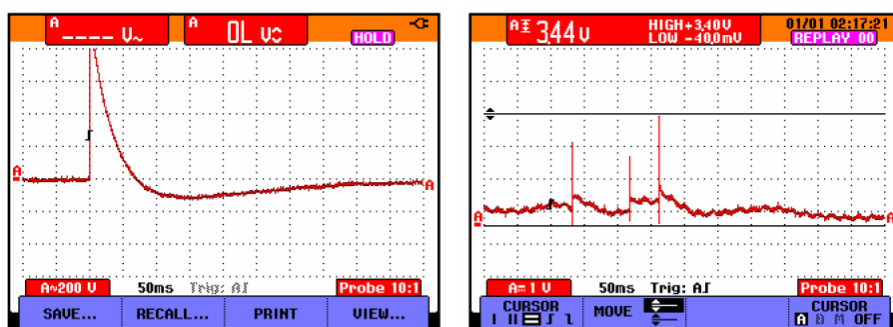
图 6 测温信号增加齐纳二极管示意图

a) 持续工频高电压干扰信号的处理

产生这类信号的原因主要是测温电阻埋件安装有问题，产生工频感应高电压。在 4F 开机调试过程中，数字表测出水机屏定子线圈 23# 电压约 145V(如图 2 类似)。现场更换备用测温电阻埋件后，测得电压约 2V。所以处理这类信号的办法是检查温度传感器的安装是否符合工艺要求，如有问题则只能更换该传感器。

b) 持续较长时间脉冲干扰信号的处理

典型测点：6F 水机屏推力轴瓦 20#温度加装二极管前后对比情况，有保护后电压基本在 5V 以下，如图 7 所示。



(a) 未加保护

(b) 加保护后

图 7 6F 水机屏推力瓦 20#RTD 波形

c) 快速尖脉冲干扰信号的处理

典型测点：6F 水机屏推力轴瓦 11#温度加装二极管前后对比情况，有保护后电压基本在 6-10V 之间(图 8)。

对涉及到温度测量的 IO 模块 24VDC 供电系统采取接地方式(24VDC 负端和工作地连接在一起)，H 和 L 端外部干扰能量经齐纳二极管对地泄放，如图 6 示意。24VDC 负端如果浮地，(如 4.2 所述，所有测温盘 24VDC 是浮地)，相当于在 24VDC 负端和工作地之间有一个等效电阻，虽然 H 和 C 端以及 L 与 C 端通过齐纳二极管进行了线间尖峰抑制，但在该等效电阻上仍然会有电压存在，会导致 H&L 对工作地有较高的共模电压。经监测，此时共模尖峰电压大约在 40-70V 之间。

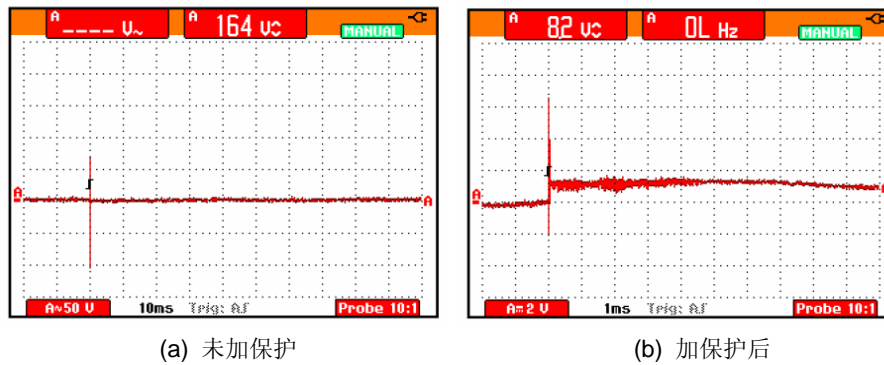


图 8 6F 水机屏推力瓦 11#RTD 波形图

4.4 软件防干扰处理

由于电磁干扰的复杂性，要根本消除干扰影响是不可能的，因此在 PLC 控制系统的软件设计和组态时，还应在软件方面进行抗干扰处理，进一步提高系统的可靠性。

该电站机组温度保护的功能在软件设计上考虑了以下抗干扰措施。

a) 温度信号三选二原则

该水电站用于水机屏和测温屏的温度信号都来自现场不同的温度传感器。参与水机屏事故停机和温度屏的温度量，按照三选二的原则，仅当相邻的 3 个瓦温中至少 2 个瓦温都过高，才作用于停机，并且该 3 点分别布置在不同的温度输入模块上，避免由于某一点测温信号受到干扰而误停机。

b) 温度信号有效性判断

机组测温信号的有效性判断包括：通道越上限判断、通道越下限判断、通道初始化判断、梯度计算等。只有经过有效性判断的信号才参与温度信号三选二的判断流程。

c) 温度保护投退功能

针对机组不同部件的温度保护，在水机屏和温度屏上分别设有温度保护投退软压板。根据现场的实际需要，运行人员可以投退相应的温度保护功能，即也可以保证温度信号的有效性筛选。

5. 结束语

该巨型水电站运行前期所暴露的问题充分证明了测温系统抗干扰措施的重要性。这些问题的出现及处理表明，巨型电站机组测温系统的抗干扰是个系统工程，不是不可解决的，需要生产制造商充分考虑水电站的现场环境，设计制造具有较强抗干扰能力的产品，集成、设计、安装施工等方面通力配合，在各个环节、不同阶段予以全面考虑，注重屏蔽、接地等抗干扰措施的细节落实，确保施工质量，才能保证系统的电磁兼容性和运行可靠性。经过现场运行的检验表明，该电站机组测温系统的抗干扰处理措施是有效可靠的，为巨型机组计算机监控系统设计提供了有益的借鉴。

参考文献:

- [1] 图尔克(天津)传感器有限公司“如何解决 PLC 控制系统中的干扰问题”，《今日自动化》，2010.5。
- [2] 杨春霞 “瀑布沟水电站计算机监控系统的结构和特点”，《第二届水力发电技术国际会议论文集》(水电篇)，2009。



作者简介：杨春霞，女，工学硕士，高级工程师，主要从事水电厂计算机系统及自动化系统研制、开发等工作。通讯地址：北京市复兴路甲一号，邮编：100038。Tel: 010-68781758，18601226942，E-MAIL: jkyangcxfb@iwhr.com。

王德宽(1960-)，男，教授级高级工程师，现任中国水利水电科学研究院自动化所所长，北京中水科水电科技开发有限公司总经理，长期从事水电厂自动化、计算机监控与仿真技术研究与应用。