

# 浅析水轮机导叶传感器“三选二”逻辑控制方法

陈明松

乌江公司洪家渡发电厂 贵州 黔西 551500

**【摘要】**水电站的运行稳定性和安全性是其最重要的性能指标之一。为了实现这一目标，需要对水轮机的运行状态进行精确的控制。其中，调速器是水轮机控制系统的关键部分，它通过对导叶开度的调节，改变水轮机的出力，从而实现了对电网频率的稳定控制。导叶传感器是调速器的重要部件，它的性能直接影响到调速器的控制精度和稳定性。本文主要浅析了洪家渡水电站调速器控制系统改造，利用“三取二”冗余技术，以提高调速器的控制精度和稳定性。

**【关键词】**“三取二”冗余技术；调速器；PLC 控制器；洪家渡水电站

## 1 引言

洪家渡水电站是乌江梯级电站的龙头电站，位于贵州省黔西县与织金县交界的乌江北源六冲河下游。总装机 600MW（3×200MW），水库具有多年调节性能，电站担负系统调峰、调频及事故备用功能；调速器采用武汉三联水电控制设备有限公司生产的 PSWT-80-6.3 水力机组调速系统，该调速器微机部分以西门子 S7-300 系列 PLC 核心，双 CPU 配置；机械液压部分以比例阀（主用）、伺服电机（备用）作为电液转换单元；电源、控制模块等均采用了双冗余配置，尤其是调速器的转速、导叶开度、有功功率等测量按照国家电网公司《十八项电网重大反事故措施》要求，采用了“三取二”冗余反馈技术，该技术的应用使得调速器反馈采集可靠性大大提高，机组安全稳定运行得到了可靠保证。本文介绍了洪家渡水电站导叶传感器采用“三取二”冗余测量技术设计的调速器重要控制信号。

## 2 “三取二”的控制理念

水轮发电机转速、有功功率调节的稳定性对电网供电质量非常重要，而转速、有功功率的控制主

要由调速器来完成，其调节性能的好坏对整个电厂的供电品质来说非常关键，而大部分水电站调速器出现的事故主要与各类反馈信号异常有关，转速、功率、导叶开度反馈信号故障均可能造成调速器的异常动作或不动作，造成机组事故扩大。水轮机调速器控制系统均采用双 PLC 加双测量元件配置方式，出现了单个元件故障后极易造成负荷波动。究其原因是调速器控制系统对测量元件出现诸如传动机构失灵、信号失真等“软”性缺陷缺少故障判断。因此，有必要对此类故障进行专题研究和预防。

在实际控制系统中，两个元件同时出现故障的概率相对较小，但单个元件的故障是无法避免的因此，必须

尽可能确保在控制系统出现“单个元件故障”时机组能正常运行。除了 PLC 外，水轮机调速器中重要的控制元件主要包括导叶开度传感器、功率变送器和测频装置。在目前的常规配置中，这些元件均采用双套配置，每套 PLC 均单独有一套开度传感器、功率变送器和测频装置，实际上相当于两套控制系统且其相互之间均有故障接点反馈。这种配置存在控制漏洞，特别是出现“软”性缺陷时，控制系统将无法做出正确的判断。针对需求稳定运行的水力发电机组，“三取二”功能提出一种提高水轮发电机组运行可靠性的调速系统冗余设计方法，目的是使水力发电机组在稳定运行时应用该方法得到调速控制系统中导叶接力器以及机组功率最真实的数据，实现调速系统中数据故障判断处理的功能。为了达到“三取二”的目的，针对调速采集系统，采用在水力发电机组的水轮机接力器装设 3 个以上传感器，这些传感器用于测量水轮机运行中实际接力器行程，采用 4~20 mA 输出信号以计算得到采样计算值。

可靠的调速系统冗余设计方法的特征在于：选取信号作为特征参数来描述其统计特性和计算特性。根据其特征在水轮机调速系统的反馈信号，采用“三取二”和“三取中”逻辑判断取值方式。

采用“三取二”逻辑判断取值，即对 3 个控制信号进行“三取二”的表决方式，来综合决定最终使用的反馈信号。调速系统正常运行的主套控制系统和正常备用的从套均采用 3 个反馈信号，从中选取信号大小相近或经计算、换算得到反馈实际信号接近的 2 个传感器反馈信号，进行平均值运算或其他运算，得到控制用的表征机组开度实际位置的信号，作为最终的开度反馈控制信号。

## 3 洪家渡水电厂应用“三取二”控制理念

### 3.1 洪家渡发电厂概况

洪家渡水电站是乌江梯级电站的龙头电站，位于贵州省黔西县与织金县交界的乌江北源六冲河下游。总装

机 600MW (3×200MW)，水库具有多年调节性能，电站担负系统调峰、调频及事故备用功能。

洪家渡水电站主要建筑物由混凝土重力坝、坝后厂房及泄洪消能等建筑物组成。最大坝高 179.5 m，正常蓄水位 1140 m，死水位 1078 m，水库总容量 49.47 亿 m<sup>3</sup>，调节库容 33.61 亿 m<sup>3</sup>，水库具有多年调节能力，2004 年实现一年三投，总装机容量为 60 万 kW，年平均发电量为 15.96 亿 kW·h。

### 3.2 “三取二”控制理念在调速器控制系统中的优化原因及应用

洪家渡发电厂改造前有三个调速器导叶传感器。其中两个导叶传感器采集值送调速器 PLCA、B 套，另外一个导叶传感器采集值后送监控监测导叶，由于系统设计存在两套传感器信号，当出现传感器松动、卡死或故障报警时，由于系统无法正确判断出哪一路信号出现了问题，控制系统只能选择保持现状或直接启动事故停机。若要解决这一问题，必须再增加一路传感器信号，采用“少数服从多数”的“三取二”机制进行综合判断，即控制器接入三路传感器信号，当任何一路信号与其他两路的信号差值过大时，则判断此路信号故障或异步，控制系统将自动屏蔽故障信号继续正常运行并报警。由此可以看出：“三取二”的控制理念能较圆满地解决目前常规控制方式存在的缺陷。

有了种子，就得把种子种下去，才能收货果实。2023 年 5 月至 9 月洪家渡发电厂在三台机组检修时就把“三取二”的种子种了下去，那时如何种的呢？如图 1 电气原理图所示，很简单，洪家渡发电厂本身就有三套导叶传感器，电气柜整体更换，将三个导叶传感器接入调速器电器柜；监控监测导叶开度值，由调速器电气柜与监控建立通讯，摸出一个 4-20mA 数值的量给监控采集监控导叶开度；三套导叶传感器如图 2 所示，A 套传感器送 A 套 PLC，B 套传感器送 B 套 PLC，C 套通过信号分配模块，将两个导叶位移信号分别送至 A 套 PLC 以及 B 套 PLC，A 套 PLC 以及 B 套 PLC 互相通讯 A、B 套导叶传感器数值，这样每套 PLC 都采集到三套导叶传感器。

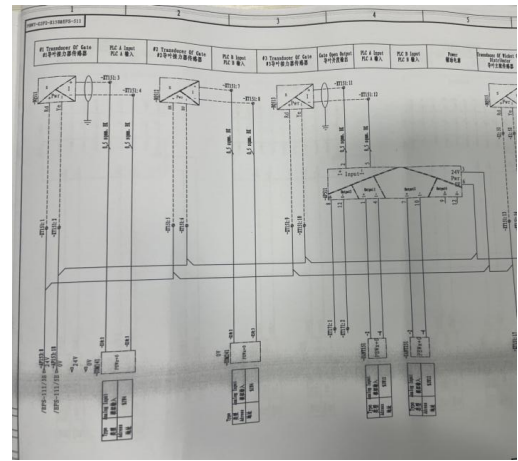


图 1 优化后调速器控制系统采集电气原理图

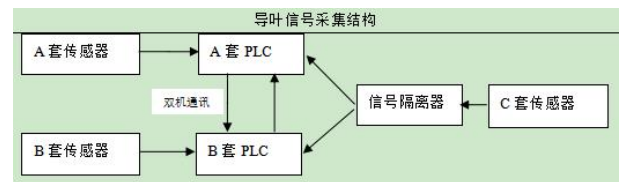


图 2 优化后调速器控制系统导叶测量信号配置示意

优化设计后控制逻辑判断,导叶位移信号,其中 1 号为主用, 2 号和 3 号为备用, 逻辑为: 导叶传感器正常时: 3 个传感器均无反馈故障下, 两两进行差值比较, 若两两之间偏差均小于设定值, 此时判断三个传感器正常, 输出 1 号值。导叶传感器卡死异步时: 3 个传感器均无反馈故障下, 两两进行差值比较, 若两两之间偏差均大于设定值, 则判断偏差故障, 若判断为 1 号偏差故障, 则开出导叶异步, 保持当前运行运行模式, 选用 2 号传感器主用; 若判断为 2 号或 3 号偏差故障, 则开出导叶异步, 保持当前运行运行模式, 选用 1 号传感器主用; 若三个传感器有两个或三个偏差故障, 两个故障时选用剩余正常的传感器主用, 三个偏差故障时无导叶输出测值, 报导叶异步故障, 调速器切至机手动, 退出控制。导叶传感器故障时: 以导叶传感器 1 为例子 (导叶传感器 2、导叶传感器 3 逻辑相同), 如果导叶传感器 1 无测值, 导叶传感器 2、3 都有测值, 且导叶传感器 2 与导叶传感器 3 的差值差值小于程序里设置的参数定值, 则此时调速器输出导叶传感器 2 的值, 报一般故障, 保持当前工况运行; 如果导叶传感器 1 无测值, 且导叶传感器 2、3 其中一个或两个都没有测值, 调速器报严重故障, 切备用机, 再判断一遍程序如果两个或三个导叶传感器还是无测值, 调速器切机手动, 保持当前工况运行; 如果导叶传感器 1 无测值, 导叶传感器 2、3 都有测值, 但导叶传感器 2 与导叶传感器 3 的差值大于程序里设置的参数定值, 调速器报严重故障, 切备用机, 再

走一遍程序如果导叶传感器 1 无测值,且导叶传感器 2、3 都有测值,但导叶传感器 2 与导叶传感器 3 的差值大于程序里设置的参数定值,调速器报严重故障,切机手动,保持当前工况运行。

#### 4 “三取二”功能的效果

完成调速器控制系统的完善和优化后,将三路导叶开度信号接至调速器电气柜,在程序中两两进行差值比较,与传统配置方式相比较,测量反馈系统更加可靠。贵州电力科学研究院对新机并网调速器进行了特性试验和模拟故障试验,并对导叶开度“三取二”功能进行逻辑测试,包括在空载、各种负荷状态下模拟任意一路导叶位移信号消失,机组导叶开度前后变化小于 1%。试验结果表明:改造后的调速器控制系统导叶控制指标满足电网运行要求。

#### 5 结语

本文对水轮机发电机组调速器导叶控制信号采用“三取二”冗余测量技术进行了研究与实践说明。使用“三取二”冗余测量技术后,得以下结论:①提高控制精度:通过选择信号最稳定的传感器作为主传感器,可以提高调速器的控制精度;②提高系统稳定性:当主传

感器出现故障时,可以自动切换到备用传感器,保证调速器的正常运行,从而提高系统的稳定性;③提高系统的可靠性:通过设置备用传感器,可以在主传感器出现故障时,及时进行切换,避免因主传感器故障导致的调速器失效。

目前,绝大多数已建和在建大、中型水电站在调速器的硬件配置上均较冗余,但在控制策略上均存在或多或少的不足,水轮机调速器系统是其中重要的辅助控制设备之一,其运行的可靠性对电站尤为重要,而测量反馈系统的可靠性对设备的安全稳定更加关键,相应的控制系统需要进一步完善。

#### 【参考文献】

[1]南海鹏.水轮发电机 PCC 控制 [M].西安:西北工业大学出版社,2002.

[2]林建辉,张宇明,高燕.基于 2/3 (G) 表决冗余加速度传感器容错技术的研究 [J].电子测量与仪器学报,2003 (3): 15-21.

陈明松(1999-),学士学位,从事水电厂自动化工作。