

密云水电厂抽水蓄能机组调速器的改造

蔡卫江

电力部电力自动化研究院

摘要: 本文通过对密云水电厂抽水蓄能机组调速器的改造,介绍了一种基于 32 位微机的高性能新型水轮机调速器和新型自复中式液压控制装置,为抽水蓄能机组调速器的国产化提供了一定的经验。

关键词: 抽水蓄能 水泵水轮机调速器 伺服比例阀 自复中主配压阀

1 水电厂调速器改造概况

密云水力发电厂位于北京市东北部的朝白河上,距北京市约 100km,是一座以防洪、供水、发电和灌溉为目的的综合性水利枢纽工程。该电站装有 4 台 18.7MW 常规水力发电机组和 2 台 13MW 抽水蓄能机组,是一座混合式抽水蓄能电站。首台(2#机)抽水蓄能机组于 1973 年 11 月投入运行,由于材料的强度问题和设计运行经验不足,于 1979 年 5 月 30 日 2#机转轮叶片断裂被迫停运。1999 年,电厂决定对 2#机进行改造。

2000 年底,密云电厂 2#机(抽水蓄能机组)大修改造工作全面开始,其调速器电柜采用南瑞电控公司最新研制生产的 SAFR2000 型 32 位水轮机调速器,液压控制部分采用 ZFL/S 型全液控自复中式液控装置,经过了现场开机、停机、空载调节、并网、调整负荷、水泵开停机、抽水等各项试验,证明其调节性能完全满足国标中有关水轮机调速器技术条件的要求,且调节动作迅速,可靠性高,显示直观,操作简便,是对原有设备的一次成功改造,也是目前国内抽水蓄能电站中投入运行的唯一的国产水泵水轮机调速器。

由于目前国内抽水蓄能电站的控制设备大部分都依赖于进口,密云 2#机组的改造工程在调速器的研制和生产过程中采用了许多最新的技术和工艺,具体说来有以下几个方面。

1.1 电气控制柜

1.1.1 电气控制柜采用摩托罗拉 32 位 CPU 作为控制核心,高级 C 语言编程,其运算速度快,测量和控制精度高,内部集成 QSPI 同步串行总线模块和 TPU 定时处理模块以及 MCU 计算处理模块,通过 QSPI 同步串行总线可以和许多串行芯片,如 A/D, D/A, D/I, D/O 器件等接口,可处理有功功率、水头、水压信号采集,导叶及桨叶模拟量输出,油开关、开机令、停机令等开入信号采集,故障开出信号处理等。TPU 模块可处理导叶及桨叶行程采样,频率测量和控制输出等,MCU 模块可处理 PID 调节计算,该 CPU 集成度高,功能完善,大大提高了系统的调节性能。

1.1.2 采用双微机系统,切换控制则采用可编程逻辑器件来实现,内置安全可靠的切换逻辑,(从原产品 SJ-700 移植过来),经过上百台调速器现场运行的实践检验,可靠性高,充分发挥了双机系统互为热备用,互相冗余的优势。

1.1.3 采用带大屏幕液晶屏的一体化工控机作为显示,全中文、3D 图形显示,画面直观,显示信息丰富,具有良好的人机接口界面,不但具有故障诊断和报警功能,还可实现故障录波,观察、维护非常方便。

1.1.4 采用内置式智能化调试软件包,通过该软件可对装置内部进行诊断,也可对外部信号进行检

测，同时还可以对整个调速系统进行开、停机、并网等试验，可进行参数调整和试验录波等。

1.1.5 采用了多种抗电磁兼容的措施，在设计上采用了多种接地技术，滤波技术，屏蔽方法等，抵御±2500V 传导瞬变干扰，±8000V 静电放电干扰及 10V/M 的空间电磁辐射。产品通过了国家电力公司检测中心的电磁兼容型式试验。

1.2 液压控制装置

1.2.1 采用了进口伺服比例阀作为电液转换元件。

伺服比例阀的功能是把输入的电气控制信号转换成相应输出的流量控制，该伺服阀的阀芯装备了位置控制传感器反馈，可将反馈信号引入电路形成闭环控制，因此控制精度很高，阀的滞环和不重复性均很小。在电磁铁断电时，阀具有“故障保险”位置，保证失电时阀芯回复到中位。该阀的最大特点是电磁操作力大，为环喷式和双锥式电液伺服阀电磁操作力的 5 倍以上。它结合了伺服阀和比例阀的优点，既有伺服阀的高精度高响应性又有比例阀的出力大、耐污染能力及防卡能力强等高可靠性，因此是普通电液伺服阀所无法比拟的。

1.2.2 导叶和桨叶均采用了进口高速数字脉冲阀作为开关控制。

该阀平时运行时作为手动控制，当伺服比例阀故障时，则切换到容错控制，由电气柜输出高速脉宽信号进行调节，仍可维持装置自动运行。

1.2.3 采用了全液控自复式主配压阀作为控制核心。

主配压阀的控制信号为流量输入，由电液伺服比例阀直接控制，取消了常规的调节杠杆、明管、引导阀、辅助拉力器及机械反馈传动机构，大大简化了系统的结构，提高了系统的可靠性和维护方便性。另外主配压阀自身具有自动回复中位的特点，其自复中机构简单可靠，无需调整机械零位。

1.2.4 除紧急停机电磁阀外，所有的电磁阀均采用 24V 操作电源，使得检修维护更安全。

1.2.5 分段关闭装置采用插装阀形式，操作简单，调整方便且可靠性较高。

2 现场调试过程

微型水泵水轮机调速器产品目前在国内几乎还是空白，以前虽然做了一些研究，但大都是理论上的，本次有机会将理论应用到实践。针对密云 2#机改造，在电气和液压方面采用了许多新的设计和多种考虑，但由于抽水蓄能机组的特殊性，调速器在整个调试过程中也碰到一些问题，主要有下列几个方面。

2.1 甩负荷过程中分段关闭点和关闭速度的调整

密云电站 2#机已停机多年，缺乏运行经验，因此对于甩负荷时导叶和桨叶的关闭规律没有设计参数，只有根据以前 1#机的试验数据进行调整，为了满足过渡过程中转速上升率和水压上升率的综合要求，需要调整的量有导叶第一段关闭速度、第二段速度、分段关闭点、桨叶的关闭速度。这些值对过渡过程均有影响：导叶第一段关闭过快，转速上升不高，但水压上升较快；分段点太高，可能转速上升太多，分段点太低，第二段效果不明显，可能水压上升太多；导叶第二段速度对于转速也有影响；桨叶关闭速度对机组的抬机也有一定影响；同时在甩负荷过程中，又发现有反水击现象，造成机组较大的抬机量。综合以上因素，在甩负荷试验中采用了逐步试验的办法，依据 1#机的数据，先调整好分段点和其他参数，甩负荷后通过录波再调整分段点，经过几次试验，摸索到规律后再抓住主要因素。采用了适当提高分段关闭点和加快桨叶关闭速度的方法，稍微降低第一段关闭速度，经过实践证明是行之有效的，转速和水压上升率均在合理范围，甩 25%~75%负荷均无反水击现象，甩 100%负荷时只有轻微反水击现象，甩负荷详细记录见下表：

项目 负荷	甩前导 叶开度	甩前轮 叶开度	甩后最 高频率	导叶一段 关闭时间	导叶二段 关闭时间	轮叶关 闭时间	导叶振 荡次数	导叶调 节时间
25%	41%	19%	52HZ	1.8秒	7秒	2.2秒	1次	12秒
50%	51%	37.8%	54.2HZ	1.9秒	13.5秒	3.9秒	1次	16秒
75%	73%	74%	59.5HZ	3秒	13.5秒	8秒	1次	14秒
100%	92.5%	99%	62.6HZ	4.2秒	14秒	10秒	1次	14秒

甩负荷实验时，由北京水科院自动化所进行了现场测试，详细录波如下图所示：

其中：F 表示频率，Y 表示导叶开度， \emptyset 表示桨叶开度，H 表示水压，Id 为定子电流。图 4 为甩 25%负荷时不动时间测试，测试结果：0.18 秒。

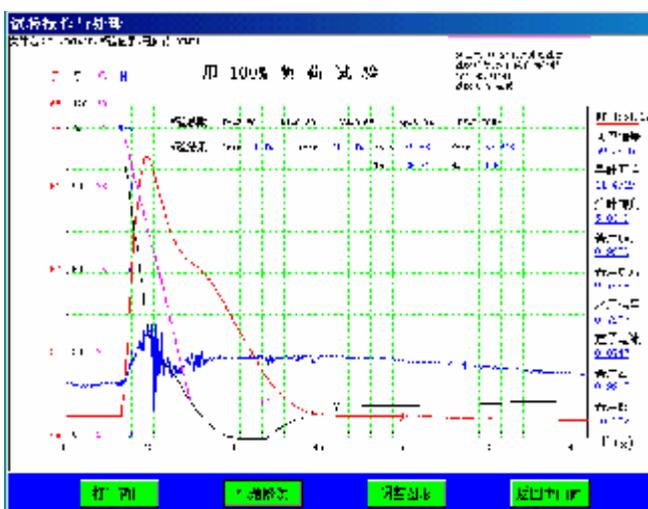


图 1

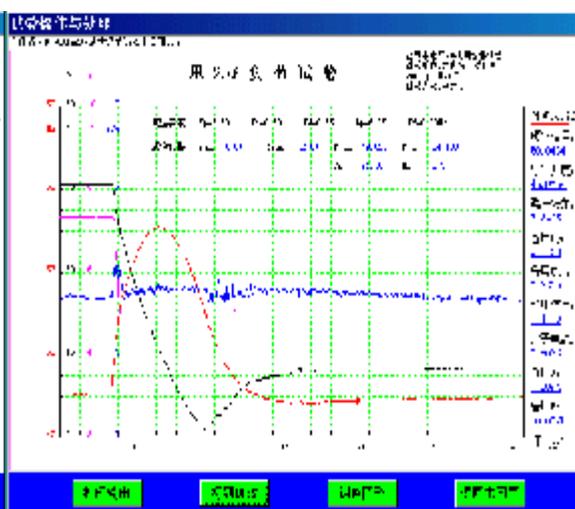


图 2

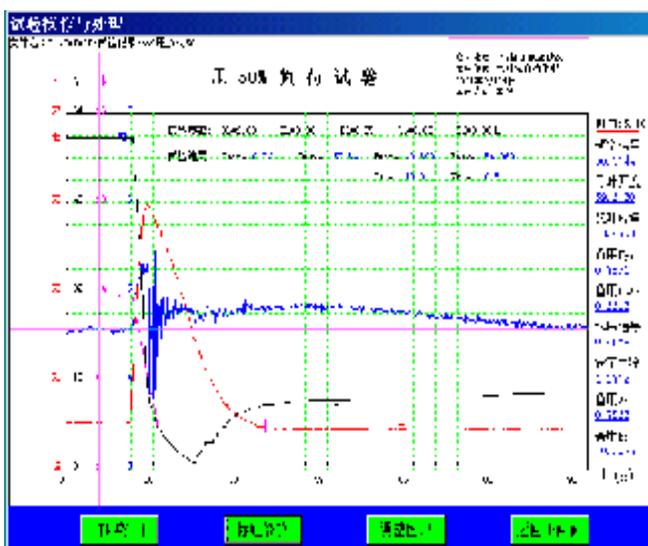


图 3

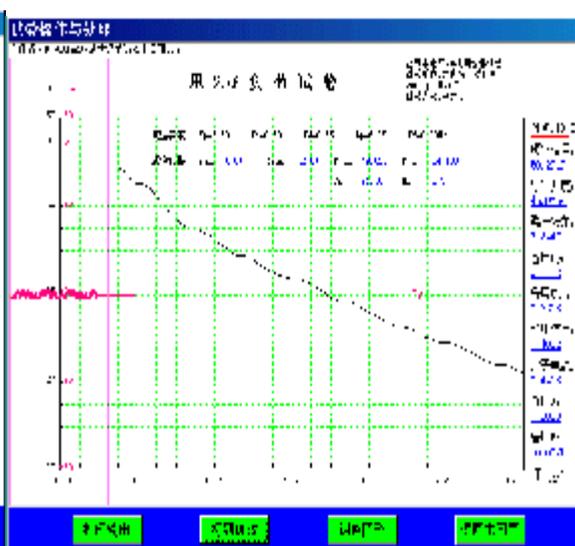


图 4

2.2 水泵在启动过程和抽水过程中的要求

机组在作水泵运行时，开机前调速器检测到水泵选态令后，首先将桨叶关至全关，以减少启动过程中的水阻力矩，待电机转速上升到额定且并网后，调速器则首先开启桨叶到预定位置进行造压，若造压不够还可通过监控系统适当调整桨叶位置，待造压成功后调速器则按软件设定好的水泵启动特性曲线来开启导叶和桨叶，并根据当前水头和水泵工况下的协联关系设定好导叶和桨叶最终的位置，同时根据运行需要适当调整导叶和桨叶的位置，从而减少启动过程中机组的振动和保证机组在抽水过程中的效率为最优。

2.3 水泵开机、停机、抽水等各工况的转换

密云水电厂 2#机作水泵运行时，采用降压起动方式，且根据水头高低，通过改变发电机极对数，采用两种转速变速运行，且开、停机、抽水、发电等各工况转换较频繁，因此要有周密细致的逻辑判断规则，SAFR2000 微机水轮机调速器充分考虑了多种情况，通过外部油开关，倒换极对数信号及机组频率，监控发出的各种指令和状态令，准确判断出机组所处的状态，正确完成各工况的转换和执行各工况的任务，另外还考虑了各种异常情况，具备故障保护功能，如水泵断电时，调速器自动将导叶和桨叶按一定规律关到全关，待转速下降至 80%时，又将桨叶打开至全开，以加快停机过程。停机完成后，又将桨叶关到全关，进入备用开机状态。经过现场实践检验，调速器各工况的转换正常，动作流程准确。

2.4 密云抽水蓄能机组在发电和水泵工况下的协联

密云抽水蓄能机组在发电和水泵工况下的协联有很大的不同，发电时其协联和常规机组一样，主要根据当前水头设定好导叶开度，桨叶则根据导叶开度进行调整，以保持机组较高效率；水泵工况下导叶和桨叶之间主要是在起动过程中有一定的协联关系，且桨叶首先打开造压，造压成功后，桨叶继续开启，导叶则根据当前桨叶位置来开启，这样可减少起动过程中机组的振动。起动完成后，根据当前水头分别设定桨叶和导叶开度，两者都与水头进行协联，且机组在两种转速下协联也有一定区别。SAFR2000 微机水轮机调速器内部存储了发电和水泵工况下的协联关系曲线以及水泵启动特性曲线，同时也考虑了两种转速下协联的不同，可根据当前状态和水头随时调用，确保机组运行在较优效率区。经过现场验证，调速器调节正确，导叶和桨叶的协联与设计曲线相差不大，满足要求。

3 结束语

水泵水轮机调速器是抽水蓄能电站的关键控制设备，其运行质量的好坏将直接影响到机组的安全和可靠运行，也影响到电力系统的电能质量。国产的水泵水轮机调速器在国内目前投入运行的极少，大多数依靠进口。通过对密云 2#机调速器的改造，我们积累了抽水蓄能机组控制的经验，从而对于国内大量进口的水泵水轮机调速系统的更新改造有了一定的把握，对于新建的抽水蓄能电站采用国产化调速器设备也具有了一定的信心。