

高水头水泵水轮机工况转换期瞬间异常声音分析

孔令华

(天荒坪抽水蓄能电厂, 浙江 安吉 313302)

摘要: 本文对天荒坪抽水蓄能电站水泵水轮机在工况转换过程中导叶小开度时, 水车室内发出的异常声音和振动进行了分析, 认为异常声音、振动的出现是由于小开度时导叶激励振荡引起的。并介绍了消除异常声音的方法。

关键词: 异常声音; 振动; 高水头水泵水轮机; 抽水停机; 抽水调相转抽水; 导叶开度

中图分类号: TK734

文献标识码: B

文章编号: 1672-5387(2004)06-0012-03

天荒坪抽水蓄能电站位于浙江安吉境内, 安装 6 台 300MW 可逆式水泵水轮机, 正常工作水头(扬程)518.5~610m。由于属于日调节抽水蓄能电站, 机组工况转换频繁。每次机组进行工况转换时, 机坑内噪音、振动很大, 这是高水头水泵水轮机的特性。但有的机组在泵工况停机、抽水调相转抽水的瞬间, 机坑内发出巨大“嘎~”的异常响声, 持续时间有时较长, 并伴随着导叶摩擦装置报警。本文将分析 1#、3# 机组在以上两种工况转换的瞬间出现的异常声音并介绍了消除异常声音的方法。

序检查正常。初步估计可能是由于发电机出口开关跳开较晚所致。

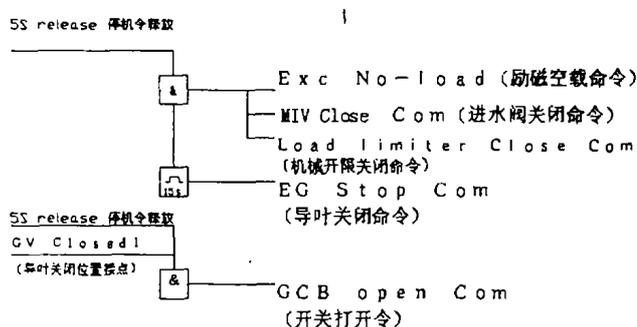


图 1

1 1号机组水泵停机瞬间异常声音分析

1.1 水泵停机瞬间异常声音现象

2002 年 4 月份 1 号机抽水停机时, 导叶关闭到约 4% 的开度时, 水车室发出巨大“嘎”的响声并伴随摩擦装置报警, 而且导叶好象停了一下, 然后机组转速下降, 声音消失。停机检查, 发现多只导叶连杆跳起 2cm 且销钉焊缝出现裂纹, 多个导叶摩擦装置位置开关松脱。紧急处理后, 第二天抽水停机时, 又出现上面描述的情况。

1.2 水泵停机瞬间异常声音分析及其解决方法

水泵工况正常停机逻辑顺序如图 1 所示。停机令发出后, 首先发出关闭进水阀和导叶机械开限的命令, 延时 15 秒后发出关闭导叶命令, 机组开始减小吸入功率, 待导叶关闭到关闭位置接点 1 动作后, 发出发电机出口开关跳开命令。

从停机逻辑可以看出, 监控在进水阀关闭命令 15 秒后, 发出导叶关闭命令, 发电机出口开关跳开是根据导叶关闭位置接点信号 1。但球阀关闭需要 58 秒, 而导叶水泵工况从全开到全关仅需 17 秒的时间, 所以进水阀不是导致发出巨响的原因, 停机顺

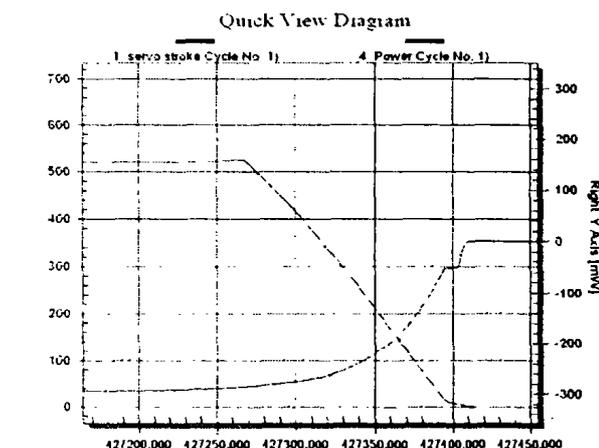


图 2

根据初步分析, 对导叶/功率曲线与正常停机时进行比较, 发现 22 日停机功率在 -50MW 时有一个持续时间约 1 秒的平台, 然后突变为 0; 而正常停机发电机出口开关跳开的功率在 -70MW 左右, 没

收稿日期: 2004-09-27

作者简介: 孔令华(1970-), 男, 工程师, 从事水电厂设备维护工作。

有平台。如图 2、3 所示。而监控记录 22 日停机时，1 号机组从 EG STOP 命令发出到 PT GV CLOSED1 花费时间比 2 号机长出约 5 秒时间。因此，可以确定是发电机出口开关跳开晚了所致。

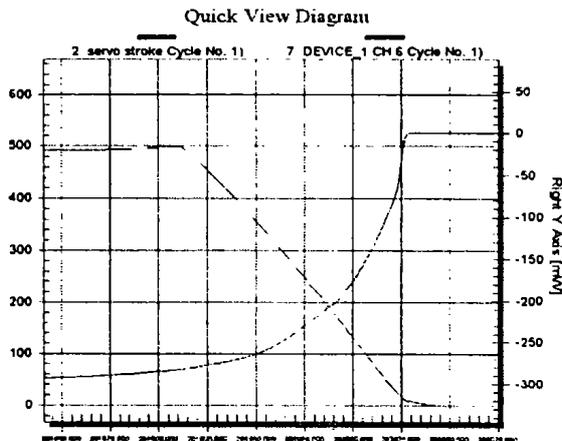


图 3

停机检查，导叶关闭位置接点信号 1 在接力器行程 27mm(导叶开度 3%)时动作。把位置接点调整在接力器行程为 73mm(导叶开度 8%)时动作，试验时机坑内仍然发出巨响，但时间明显变短。第二次调整为接力器行程 103mm 时位置接点动作，泵工况停机时异常振动声音全无，此时导叶开度在大约 12%，开关跳开时吸入功率 -76MW。

经过上面的分析和调整可以看出，泵工况停机发出巨响是由于发电机出口开关跳开较晚、导叶开度很小(3%)，转轮室短时处于水泵零流量扬程状态，转轮出口压力脉动剧增，导致导叶激振且形成高压缝隙射流、发出巨响并使导叶操作机构振动也剧增。如果不及时解决，可能有导叶连杆脱落、导叶失控的危险。

其它机组水泵工况停机也出现过类似的异音，经过调整导叶关闭接点 1 动作的位置(即调整发电机出口开关跳开的时间)，有效的消除了该类异音和振动，并对其他机组的导叶关闭接点 1 动作位置进行了检查调整，使水泵停机时发电机出口开关跳开负载 -65MW 左右。这样即可以避免零流量吸入功率 -50MW 的出现，使转轮出口压力脉动减小，也使开关负载降到最小。但导叶关闭接点 1 动作位置不易调整过大。若过大，发电机出口开关负载会很大，对开关寿命影响很大。国内有的抽水蓄能电站泵工况停机采用整定功率跳发电机出口开关的逻辑，这种方法可以避免由于位置接点压紧行程变化导致的开关跳开时间的变化，是比较可靠的办法。我厂机组发电工况停机原来也是采用导叶空载位置

接点(即固定导叶开度)跳开关的逻辑，但由于水头变化很大，所以开关负荷变化较大，后来采取整定功率 25MW 跳发电机出口开关的逻辑，使发电机出口开关寿命明显延长。

2 3 号机组抽水调相转抽水异常声音分析

2004 年 5 月 3 号机组小修后晚上抽水调相转抽水的瞬间，水车室发出巨大的异常响声，持续约 1 秒的时间。停机检查，也发现多个导叶连杆销钉焊缝开裂且有两个跳起，多个导叶摩擦装置动作导杆松动。异常声音及振动与上面描述的水泵停机相似。这种异常一直持续到 7 月初。期间对水机部分进行了静态、动态全面的检查，均没有发现磨损、损坏的痕迹。

2.1 抽水调相转抽水流程(SCP—P0)

抽水调相(SCP)转抽水(P0)的程序如图 4。转换命令发出，首先关闭蜗壳减压阀、上下迷宫环冷却水阀门；打开转轮排气阀(MAV3)并延时 30 秒后关闭水环排水阀(WBPV)、打开球阀旁通阀，转轮室排气造压；当机组溅水功率大于 10%(-30MW)时，球阀下游密封退出、球阀开始打开，同时打开导叶机械开限；当球阀全关位置接点复归后，发出导叶打开命令，导叶开始打开。球阀、导叶开始打开的时间取决于溅水功率大小。

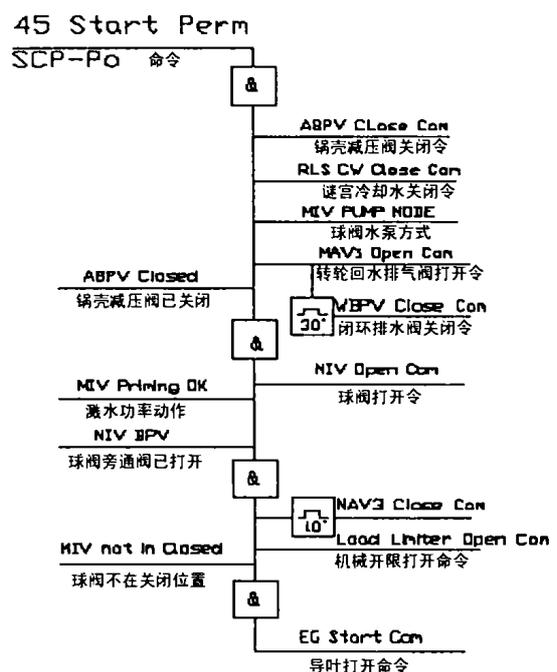


图 4

2.2 瞬间异常声音原因分析

对比分析了有、无异音时，球阀与导叶打开时间关系，球阀开始打开 6 秒后导叶开始打开，此时球阀

开度约20%，两种情况一样，所以不可能是球阀打开慢导致的。工况转换时，导叶、球阀开度和吸入功率关系如图5所示。对导叶接力器压紧行程、不动时间和其与执行器线性关系进行了检查，与以前无异音的情况没有差别。检查导叶上下端面没有发现金属磨损的痕迹。结合水泵停机的异常声音、振动特点分析，认为异音不是金属相互摩擦发出的声音，而与工况转换时水力因素有关。

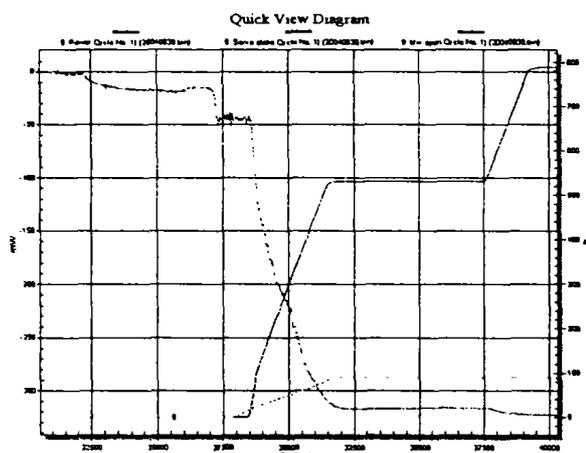


图5

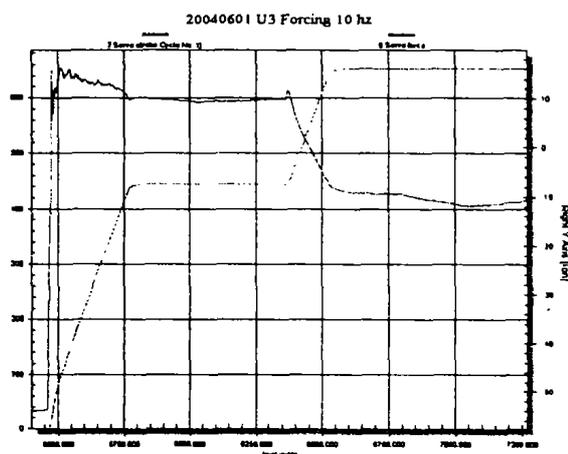


图6

水泵工况模型试验的导叶力矩如图7所示。从图7可以看出，水泵正常运行扬程 $H=526\sim 610\text{m}$ ，导叶水力矩变化特点是：导叶开度 $\alpha=0\sim 10.5^\circ$ ($H=610\text{m}$) 和 $\alpha=0\sim 20^\circ$ ($H=526\text{m}$) 为关闭力矩，即导叶小开度有自关闭趋势，且高扬程导叶小开度力矩出现峰值。3号机组抽水时的扬程在550m左右，从图7可以看出，导叶最大关闭力矩在开度 2° ，相对开度6%。实际测量的接力器力矩如图6所示。从图6可以看出，接力器力矩在接力器行程6%前有一个从峰值下降后又增大的过程，接力器行程6%时有一个非常小的平台，即接力器停顿一下，然后又继续

打开。现场观察也能感觉非常短暂的停顿且异音随即发出。所以认为导叶小开度时，导叶自关闭力矩最大，导叶发生短暂的自激振动，导致异常声音和振动的出现。5月份停机检修仅是消缺，更换了9只漏水导叶上端盖“O”型密封圈。7月6日对这9个导叶中的4个进行了密封圈更换，更换后抽水调相转抽水时再没有出现异常声音和振动。

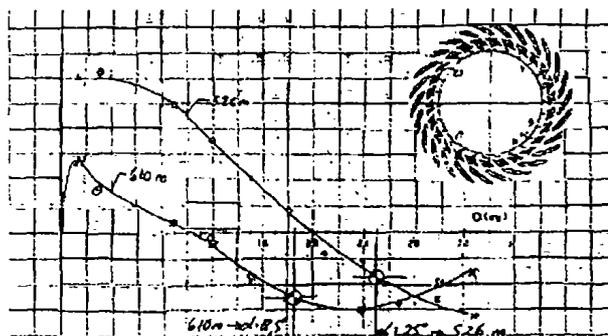


图7

显然，由于更换9只导叶端盖密封圈增大了导叶耳轴的摩擦力矩，使导叶小开度时最大自关闭力矩更大，瞬间基本平衡了接力器打开力矩。这瞬间在转轮出口压力脉动的激励下，导叶产生短时水力振荡，发出异常声音。但随着接力器打开力矩的增大、导叶开度增加，导叶自激振动消失，异常声音和振动也消失。

3 总结

从以上两种工况转换过程异常声音分析可以看出，水泵工况导叶开度小于8%时，在水泵停机和抽水方向调相转抽水时，导叶容易在瞬间发生由于水力脉动导致的激励振荡，使导叶操作机构振动加大、转轮室发出“嘎~”的异常声音。水泵停机出现的异常声音和振动，可以通过调整发电机出口开关跳开的负载，避开零流量扬程的短时工况，减小转轮出口压力脉动，从而避免异常声音的出现。抽水调相转抽水瞬间出现的异常声音和振动只有通过减小导叶摩擦力矩，相对增加接力器打开力矩的方法，使导叶快速通过6%的小开度，避免导叶水力振荡的出现。

参考文献：

- [1] 梅祖彦. 抽水蓄能发电技术[M]. 机械工业出版社, 2000.7
- [2] 张利民. 水泵水轮机工况转换期的振动现象[J]. 东方电机, 2000.3