

# MGV 在抽水蓄能电站的应用

李海波

(华东宜兴抽水蓄能有限公司, 江苏 宜兴 214205)

**摘 要:** 简要介绍水泵水轮机“S”特性, 结合天荒坪抽水蓄能电站成功应用 MGV 的经验, 分析宜兴抽水蓄能电站选用 MGV 的实践, 详细介绍 MGV 工作原理、典型配置以及对抽水蓄能电站的影响。

**关键词:** 抽水蓄能; 水泵水轮机; “S”特性; 预开导叶

## 0 序言

一般来说, 高水头、大容量水泵水轮机比转速较小, 流道狭长, 转轮直径较大, 离心力作用大, 使水的进流速度很快下降, 机组达到飞逸后有可能继续进入制动区, 进入制动区后, 由于水流对转轮的阻挡作用, 在流量减少的同时也使转速略有下降, 在惯性力的作用下, 转轮离心力将使水反向流出, 进入反水泵区, 即在水泵水轮机的全特性曲线的“S”型区域中; 在“S”区域内机组在同一单位转速下对应应有 3 个不同的单位流量, 其中 1 个还是负值, 所以“S”区为不稳定区。有关资料显示, 水泵水轮机不稳定的解决办法一般有三种, 即慢速开启导叶法、快速开启导叶法、MGV (Misaligned Guide Vane 预开导叶) 法。本文主要介绍 MGV 对抽水蓄能机组的影响。

## 1 “S”特性

一个较典型的水泵水轮机的全特性曲线如图1所示, 可以看到全特性曲线可能存在两个“S”特性区, A区为水轮机旋转方向, B区为水泵旋转方向, 一般情况下A区的“S”特性比B区更加显著, 这意味着在“零”流量附近水轮机旋转方向的不稳定性要比水泵旋转方向严重, 而这种特性会给发电工况的并列、甩负荷、工况转换带来一系列困难与问题。水轮机旋转方向时, 转轮进出口之间的压差比水泵旋转方向时要小得多, 这种压差越小, 转轮中的流动越不稳定, 外界压力稍有波动, 就会发生流动方向的改变。所以, 当机组以水轮机工况启动时, 很容易进入逆转水泵工况, 而水泵启动过程中就不易产生流动方向的突变。

水轮机工况在“零”流量附近形成转轮进出口

间压差减小的原因是: 水泵水轮机叶片是前倾叶片(对水轮机旋转方向), 叶片进口与导叶出口之间的环流以较大速度流入叶片, 在进口附近转弯继而从下一个叶片头部流出, 由此在叶片进口处诱导出一个较强的涡, 这个涡的存在减小了叶片进口的压力而使叶片进出口间压差减小。在水泵旋转方向时, 叶片属后弯型的, 转轮与导叶间的环流向叶片间的流入作用较弱, 而由于转轮旋转在翼向诱导了一个涡偶, 涡的旋转速度低, 位置固定, 因此, 这种工况下转轮中的流动也较稳定。

一般说来低比转速( $ns$ )水泵水轮机的“S”特性越明显。由于“S”特性的存在, 在水轮机旋转方向“零”流量附近, 转轮中的流动是极不稳定, 同一个转速可能对应两个以上流量值, 特别是存在一个负的流量值。处于向心水轮机流动状态的机组, 会突然变为逆转水泵工况, 使处于并列状态的机组大量吸收系统功率形成对系统的冲击。

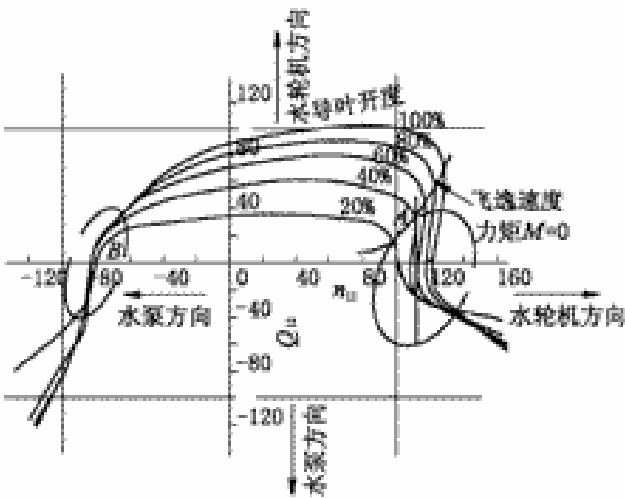


图1 水泵水轮机的全特性曲线

## 2 选用 MGV

目前我国在建和规划建造的抽水蓄能电站有很多座,是否选用MGV应根据各个电站的具体情况而定。

## 2.1 成功经验

已稳定运行多年的天荒坪抽水蓄能电站,在其正常水轮机工况范围内,即水头为518~610.2m、单位转速为42~46r/min,机组小开度下的单位自由转速附近或以上区域,存在“S”型特性。在5#、18#导叶上加装MGV后,不仅改变了机组的“S”型特性,使弯曲变得平顺,而且可使“S”型区域离开正常的运行范围,特别是在空载时,投入MGV后的主接力器行程也较不投入MGV时要小,进一步增强了空载运行的稳定性。

## 2.2 宜兴抽水蓄能电站MGV的选用

宜兴抽水蓄能电站目前第一台机组正在调试,计划2007年年底投入商业运行,2008年年底第四台机组并网运行。电站正常水轮机工况范围:净水头344~410.7m、单位转速为48~53r/min。从水泵水轮机模型试验看,在2#、3#导叶开度大于其他导叶开度 $10^\circ$ ,并与其他导叶同步开启。在水轮机制动和反水泵工况进行了导叶开度 $2.4^\circ$ 、 $3.6^\circ$ 、 $4.8^\circ$ 、 $6^\circ$ 和 $12^\circ$ 时的测试,可使小开度区域“S”形状曲线改变为斜线。

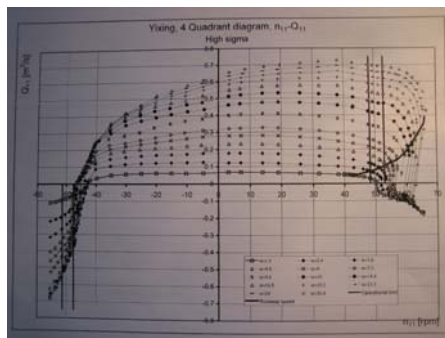


图2  $n_{11}-Q_{11}$  四象限特性(高 $\varepsilon$ )

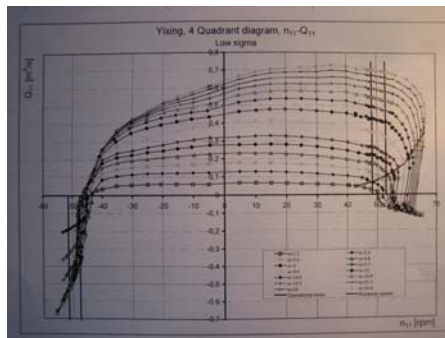


图3  $n_{11}-Q_{11}$  四象限特性(低 $\varepsilon$ )

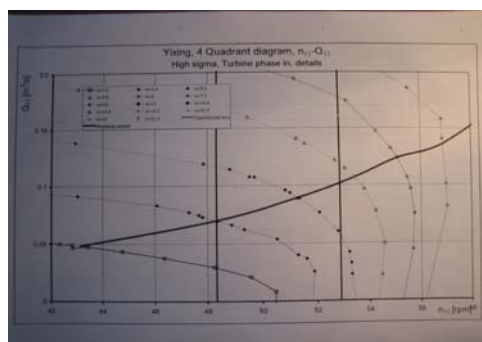


图4  $n_{11}-Q_{11}$  水轮机界限详图(高 $\varepsilon$ )

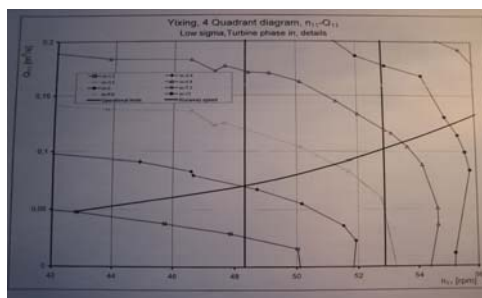


图5  $n_{11}-Q_{11}$  水轮机界限详图(低 $\varepsilon$ )

由图2、3、4、5可见,在水轮机界限机组能够稳定运行,模型试验显示不需要MGV。宜兴抽水蓄能电站在设计时,考虑到了MGV:调速器电调部分有MGV投入/退出功能,液压部分预留MGV油管路接口,机械结构也有加装MGV的可能,监控也做了MGV画面和留有其接口。GE公司准备了一套MGV设备放在安装现场,在调试和运行初期如果需要,可及时安装投入MGV,减少不利影响。

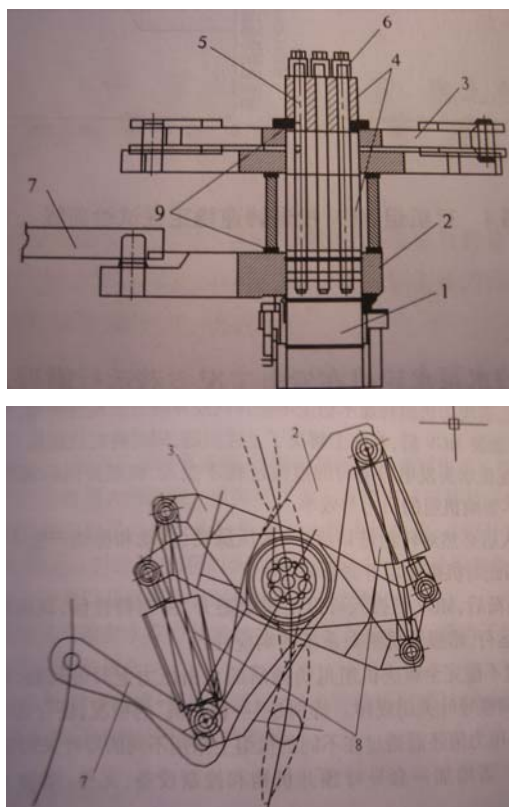
## 3 MGV工作原理及典型配置

### 3.1 MGV的工作原理

机组发电启动时,所有导叶在小开度时,先将对称的偶数个(一般2个)导叶打开至设定开度,这时其他导叶开度不变。由于在导叶较小开度时避开了“S”不稳定区,所以机组空载运行时的稳定性得到了明显改观,便于并网。机组并网后,为了保证发电负载工况下的稳定性,其他导叶继续开启,而预开启导叶开度仍保持不变,当达到某一功率或导叶开启至一个特定角度后,预开启导叶才与其他导叶同步随功率增大继续开启至最大。

### 3.2 MGV的配置

MGV的结构见图6。



1-导叶；2-拐臂；3-小接力器连杆；4-摩擦装置压紧块；5-压紧双头螺栓；6-压紧螺母；7-连杆；8-小接力器；9-摩擦片

图6 MGV 结构图

1) 预开启导叶可受控制环和小接力器控制。控制环控制时与其他导叶同步；小接力器控制时，只有“投入”和“退出”两种状态。

2) 通过一组压油管路、一组电磁阀及一个控制阀，将控制环的位置传递辅助信号至各接收部位以达到预开启相关特定导叶的目的。

3) 预开启导叶上装有限位块，能够对控制阀的阀杆起限位作用，当机组自部分负荷至满负荷区间运行时，能够防止预开启导叶超过其最大开度。

4) 一般来说，压力油源自调速器压力油罐，回油至调速器的集油箱。

### 3.3 MGV 投入条件

- 1) 发电工况，机组工作水头低于某一特定水头（调试和运行初期确定）；
- 2) 正常情况，机组发电工况并网前；
- 3) 甩负荷后转入空载运行和热备用时；
- 4) 根据线路充电的需要；
- 5) 背靠背拖动机组运行时。

### 3.4 MGV 运行过程中的注意要点

- 1) 在发电工况起动前，应检查调速器是否在

AUTO 模式，密切监视 MGV 是否投入；

- 2) 在并网后，监视 MGV 是否已退出；

3) 在并网过程中，还应监视主接力器所控制导叶开度是否变化较为稳定，转速是否较为稳定，否则也可进行手动调节，促使机组尽快并网。

## 4 结束语

MGV 主要在低水头发电启动时的过渡过程才投入，机组带负荷后该导叶与其他导叶同步运行，对机组的出力和效率影响不大。MGV 投入后必然对转轮进口流态、水压脉动、振动和摆度产生不利影响，但只在过渡过程，对机组使用寿命影响不大。机组甩负荷后，MGV 的投入可以使机组避开“S”型特性区，调速器可以把机组调节至空载或热备用运行，增强了机组对系统的响应性。MGV 装置不能完全解决机组甩负荷后的水击上升的问题，水击压力上升值的控制还需要通过调整导叶关闭规律。特别是“一管多机”的情况，还存在水击压力波叠加的问题，最大水击压力值还需要通过在不同的机组上采用不同的导叶关闭规律来解决。加装 MGV 需增加导叶预开机构和控制设备、元件，增加了控制系统的复杂性。

### 参考文献：

- [1] 陆佑楣,潘家铮.抽水蓄能电站[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [2] 游光华,刘德友,王丰,等.天荒坪抽水蓄能电站甩负荷过渡过程实测成果仿真分析[J].水电能源科学,2005(1):24-27.
- [3] 马明刚.机组低水头并网不成功分析及解决[J].水电站机电技术,2002(2): 37-39.
- [4] 宜兴抽水蓄能电站水泵-水轮机模型验收试验工作报告[R].2005.5.27
- [5] 游光华,孔令华.水泵水轮机“S”型特性及其影响[M].北京:黄河水利出版社,2006.

### 作者简介：

李海波（1980—），男，湖北武汉人，工程师，学士学位，华东宜兴抽水蓄能有限公司运行管理工作，E-mail: colorbo7395@sina.com。