

抽水蓄能机组调相运行浅析

李海波, 仇 岚

(华东宜兴抽水蓄能有限公司, 江苏 宜兴 214205)

摘 要: 简要介绍抽水蓄能机组调相运行的必要性和理论基础, 结合华东宜兴抽水蓄能电站实际情况, 详细分析了抽水蓄能机组调相运行对相应设备的要求。

关键词: 抽水蓄能; 抽水调相; 励磁; 静止变频器

0 序言

华东宜兴抽水蓄能电站位于江苏省宜兴市西南郊的铜官山, 距宜兴市中心7km, 距上海、无锡分别为200km 和75km, 处于江苏省用电负荷中心附近, 是一座日调节的纯抽水蓄能电站。电站装机容量1000MW, 装设4 台单机容量为250MW 的立轴单级混流可逆式机组, 电站500 kV侧电气接线为二进二出内桥接线, 建成后以二回500kV 出线接入华东电网和江苏主架网, 在系统中承担调峰、填谷、调频、调相以及事故备用任务。

目前, 江苏省电网和华东电网的500kV网架调压手段主要是系统投/切的并联电容器组; 投/切系统高抗和装设于主变低压侧并联电抗器组; 调节电压控制点的主变OLTC分接头位置以及调节并网机组的力率, 使机组进相或滞相运行。但是调节电压控制点的主变OLTC只能改变系统无功潮流的分配而不能改变无功的增减, 利用发电机低力率运行势必减低发电机的效率, 进相运行则涉及到许多方面的问题, 如: 机组静态稳定和定子绕组端部的温升

等等, 故一般的发电机组进相运行吸收无功的容量不会太大, 特别是作为基荷电厂的大型火电机组一般在额定力率下运行。蓄能电站一般处于电网的负荷中心范围, 且无功调节的容量较大, 对改善电网无功潮流分布, 提高500kV电网电压稳定性有显著作用。

1 抽水蓄能机组调相运行的基础分析

机组抽水调相运行由于尾水管已充分压水, 机组从电网吸收的有功功率很少, 可基本不计, 则此时, 电机的运行可以看作一种旋转着的没有机械负荷的空载同步电动机, 电机仅从系统中吸收感性(容性)无功电流进行电机纵轴(d 轴)的增磁(去磁)电枢反应。

图1表明, 机组调相运行时, 定转子磁通轴线之间空间角度(即功角 δ)绝对值很小, 可近视为零, 这是同步调相机运行的一个重要特征。

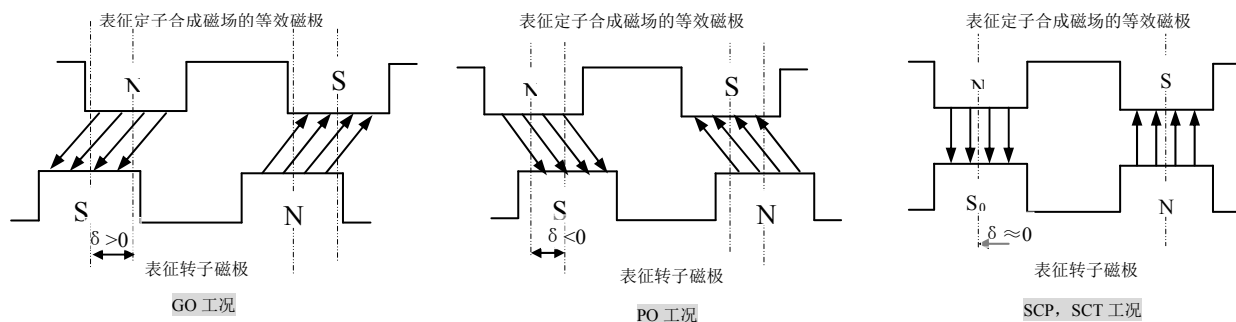


图1 机组调相运行工况

GO 工况: 发电工况
PO 工况: 抽水工况

SCP, SCT 工况: 抽水调相, 发电调相工况
STANDSTILL 工况: 停机暂态

2 同步调相机的 V 形曲线

同步调相机在励磁系统的协调之下，无论在欠励还是过励状态下，都能提供无级无功功率调节，其 V 形曲线 $I_a = f(I_f)$ 相当于同步电动机的电磁功率 $P_e = 0$ 时的 V 形曲线，如图 2 所示。

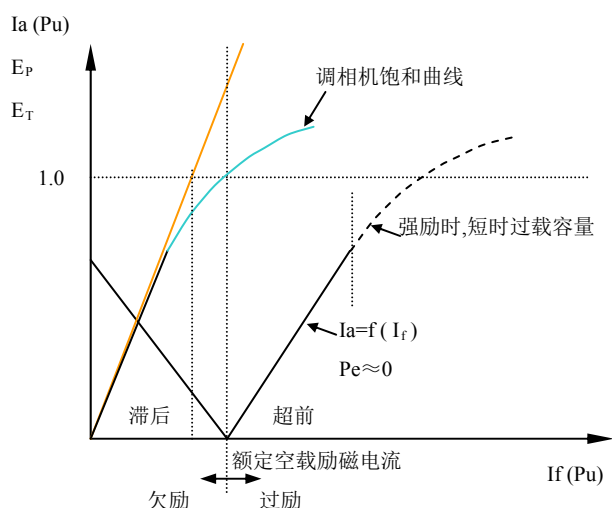


图 2 同步调相机 V 形曲线

V 形曲线右边部分代表机组过励磁运行，作用相当于一个并联电容器组，左边部分代表机组欠励运行，此时，调相机从系统吸收感性无功功率，作用相当于一组并联电抗器组。

3 抽水蓄能机组调相运行介绍

3.1 发电调相启动过程及其运行

发电调相启动过程：停机稳态到停机暂态，然后在由停机暂态转发电调相；与常规水电厂机组调相启动过程相似，首先启动机组辅助设备，然后打开球阀，导叶打开至空载开度，在 95% 额定转速下

投励磁，满足同期条件后机组并网，打开迷宫环冷却水阀，关闭球阀和导叶，打开压水阀，使水泵水轮机转轮在气体中转动。在压水过程中，要求水泵水轮机迷宫环冷却水阀、水环排水阀和蜗壳排气阀打开，以便转轮在一定厚度的水环密封下的气体中旋转。

3.2 抽水调相启动过程及其运行

抽水调相启动过程需要启动设备，一般采用静止变频器（SFC）或另外一台机组作拖动机背靠背启动，抽水调相也是机组抽水工况启动必须经历的过程。

抽水调相启动过程是启动设备（拖动机或 SFC）与被启动设备建立电气轴（包括机组投入励磁回路）在电磁力矩的作用下拖动被启动设备旋转，为了防止拖动设备功率和启动电流过大，在启动初期直接在水中拖动，在机组转速大于 10%（或者 15%）额定转速，用压缩空气将转轮室的水位压下以小功率拖动，被拖动机组被拖动并网后，拖动设备与之解列，机组并网后便在抽水调相工况运行。

4 抽水蓄能机组调相运行对相应设备的要求分析

4.1 机组调相对启动设备的要求

目前大型抽水蓄能机组大都采用转轮室充气压水和变频装置启动方式，见图 3。静止变频器启动机组抽水调相功率的要求抽水工况及抽水调相启动时，如转轮在水中启动，其水阻力矩较大，对于中低比转速的混流可逆式转轮在水中启动的功率（导水叶关闭，即零流功率）可能达到 40-50% 机组额定出力，如果转轮在空气中旋转启动的功率只有 3-5% 机组额定功率，最多不超过 6-8%。

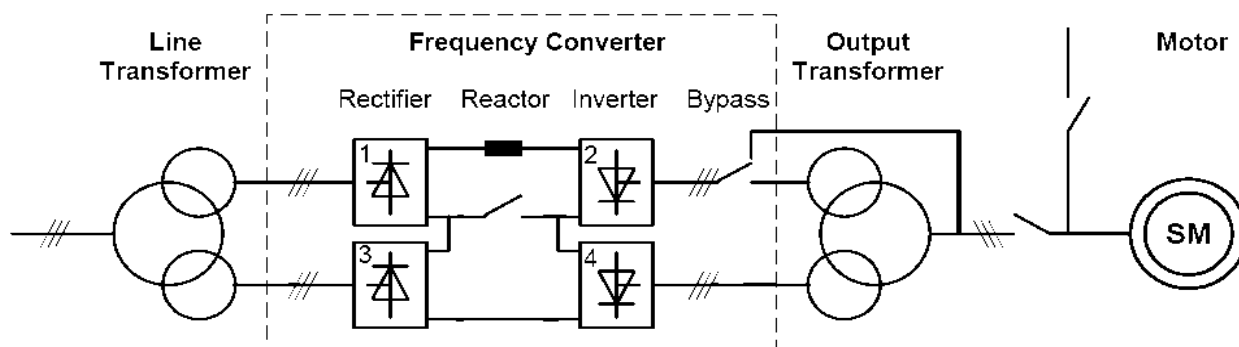


图 3 调相启动方式

主要部件及作用：

- (1) 输入变压器 (LINE TRANSFORMER)：该变压器连接在电网和网桥 (NB)之间，主要起隔离作用；
- (2) 电网侧可控硅桥 (RECTIFIER)：将交流电流整流为直流；
- (3) 电机侧可控硅桥 (INVERTER)：将直流电流逆变为交流；
- (4) 直流电抗器 (REACTOR)：用于整流输出后的平波和去耦；
- (5) 输出变压器 (OUT TRANSFORMER)：为了 SFC 运行产生的谐波电压和电流应不影响发电机保护、励磁、调速器、自动准同期装置、计算机监控系统设备和发电电动机电压设备、中性点设备、厂用电设备及其它设备的正常运行，起隔离作用。
- (6) 旁路开关 (BY PASS)：低频时，输出变压器由于饱和作用不能在低频高电流下工作，此时采用此旁路工作。

SFC 全控桥自动换向必须有一个合适的交流电压，当交流电压太低时全控桥不能进行自动换向，刚开始机组处于静止状态，其端电压为零，因此 SFC 拖动方向不得不分两个阶段，低速运行阶段（脉冲耦合工作方式）和高速运行阶段（同步运行方式）。

低速运行阶段：采用脉冲耦合方式，在此阶段有二个比较关键的因素：转子的位置、力矩的方向，力矩的方向可由闭环控制装置控制，转子位置的测量在我公司采用转子极位及测频来测量

高速运行阶段：不需要转子位置的信号，控制系统根据力矩设定值和频率基准值，并通过测量机桥、网桥侧电压、电流来控制机桥、网桥的触发脉冲，以调节 SFC 输出的起动电流，从而将机组拖动到 50Hz。

4.2 机组调相对压水气系统的要求

机组调相运行及抽水启动要求转轮在空气中旋转启动，以便减少机组转动/启动动力力矩，如在水中启动，则启动功率是机组功率的 40-50%。宜兴蓄能机组转轮室的尾水压力在调相压水时为 7bar左右，经过设计，每台机组设立一个压水气罐，并且每台机组压水气罐容量为 18m³，压水气压设计为 7MPa，4 台压水气罐通过气管相连，全厂设立 5 台高压气机。见表 1。

4.3 机组调相启动及运行对励磁系统的要求

机组调相工况运行主要作用是调节电压，机组调压手段是调节励磁电流的大小来改变机组吸收或发出感性无功的多少实现的。机组调相启动需要投入励磁提供电流形成转子磁场与拖动设备输出定子

表 1 压水气系统参数

| 设备 | 制造厂家 | 英国GD Ltd | 型号 | 三级往复式 H280M-WL |
|---------|-------------|----------|-------------|----------------|
| 1~5号空压机 | 排气量 | 288m³/h | 出口压力 | 75bar |
| | 转速 | 1450rpm | 冷却方式 | 水冷却 |
| | 马达型式 | 感应式 | 马达功率 | 75kW |
| | 额定电压 | 380V | 曲柄冲程 | 70mm |
| | 级数 | 3 | 气缸数目 | 3个 |
| | 净重 | 2.5t | 轴吸收功率 | 68kW |
| | 工作电流 (FLC) | 148 Amps | | |
| | 一级气缸安全阀动作压力 | 6.1bar | 二级气缸安全阀动作压力 | 31bar |
| | 三级气缸安全阀动作压力 | 80bar | 启动电流 | 259Amps |
| | 调相压水气罐数量 | 1个/机组 | 容量积 | 18m³ |
| 平衡气罐 | 额定气压 | 7.0MPa | | |
| | 数量 | 1个 | 容 积 | 5 m³ |
| 操作气罐 | 额定压力 | 7.0MPa | | |
| | 数量 | 2个 | 容 积 | 2.5 m³ |
| | 额定压力 | 7MPa | | |

交流磁场相互作用实现的，所以励磁系统具有机组发电运行励磁调节功能外还要满足机组调相运行及启动的励磁调节功能。

机组调相启动过程，励磁系统首先要接受励磁处于 SFC 或背靠背启动命令后使励磁调节器运行自动电流调节方式，当机组调相启动条件满足时，励磁系统已为机组启动作好准备，在启动阶段，励磁调节与启动设备相互配合满足机组启动的力矩的要求。

机组调相运行，励磁系统要求满足机组强大的调相运行容量，另外励磁系统调节要受诸多限制功能，如 V/F 限制，低励限制，过励限制以保证机组调相运行的稳定。

4.4 机组调相运行及启动相应阀门的设置要求

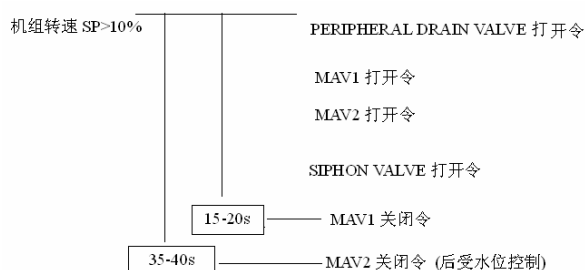
机组调相运行及抽水调相启动，涉及相应阀门有主压水阀MAV1、压水保持阀MAV2，回水排气阀 MAV3，蜗壳减压阀SIPHON VALVE、水环排水阀 PERIPHERAL DRAIN VALVE、迷宫环冷却水阀 LAB.SEAL CW VALVE。

下面是机组抽水调相启动（STANDSTILL 转 SCP）相关阀门的动作情况：

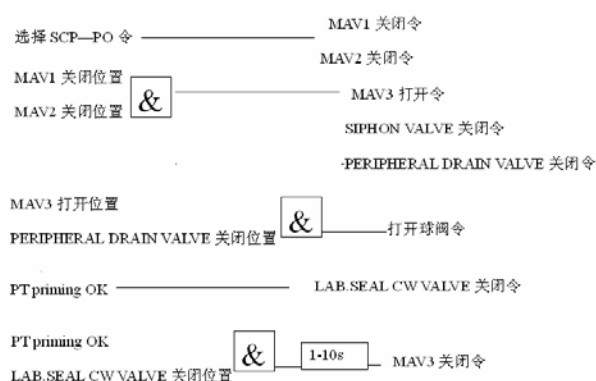
机械刹车退出后，LAB.SEAL CW VALVE 打开

令；

励磁和调速器置于 SCP 模式，机组开始启动；



抽水调相（SCP）转抽水（PO）相关阀门的动作情况：



机组调相启动初期转速较低，转轮受水阻力较低，在高转速受水阻力较大经过计算和合理选择在机组转速 10%额定转速开始压水可以满足机组启动的要求，首次压水要求进气量较大，主压水阀 MAV1 和压水保持阀 MAV₂ 同时打开进气。在尾水管设置相应的水位浮子开关，转轮室的补气是通过尾水管水位浮子开关控制压水保持阀的开/关来实现。

机组调相运行及启动要求转轮室在气体中旋转，此时迷宫环如没有外来水冷却会随机组转动发热严重影响不锈钢的性质和机组的正常运行，这就决定迷宫环需要冷却，我厂在机组转动前打开迷宫环冷却水阀 LAB.SEAL CW VALVE。另外转轮在

周围要形成水环，以密封气室防止气体的大量遗漏，同时如果水环较厚则转动阻水矩增加，为了达到一定要求厚度水环的形成，设置了水环排水阀，通过水环排水阀减小水环的厚度。提供水环的水源是主轴密封（MSS）部分主润滑油和上迷宫环冷却水的排水。

这些阀门的动作在调相启动过程要相互动作来满足调相运行正常的要求

5 结束语

抽水蓄能机组调相功能在电网中发挥了显著的作用，同时也是机组转抽水必经的工况；对启动设备（SFC 或者拖动机）、励磁、调速器、球阀、主轴密封，压水气系统及相应阀门、监控顺控逻辑等等都有特殊的要求，因此我们有必要更深入、更细致地研究抽水蓄能机组调相运行的各种状况，制定相应的对策，保证抽水蓄能机组安全、稳定的运行，满足电网的要求。

参考文献：

- [1] 宜兴抽水蓄能电站水泵-水轮机模型验收试验工作报告 [Z].2005.
- [2] 杨丽君.浅析天荒坪抽水蓄能机组调相运行对相关设备的要求[J].水电站机电技术,2002,25 (2):34-36.

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;

仇 岚（1982-），女，湖北武汉人，工程师，学士学位，华东宜兴抽水蓄能有限公司生产技术管理工作，E-mail: qq_820524@yahoo.com.cn.