

抽水蓄能电站机电设计中应注意的问题

林志广

四川能投绵竹抽水蓄能开发有限公司 四川绵竹 618217

摘要: 在抽水蓄能电站建设中, 机电设备工程涉及面广, 专业性强, 在建设中需要注意的问题较多。本文先比较了抽水蓄能电站与常规水电站的差异, 分析了抽水蓄能电站机电设备的特点, 明确了其机电工程设计中需注意的问题, 并探讨了具体的解决方案。

关键词: 抽水蓄能电站; 继电保护; 计算机监控; 调速器; 励磁

引言

近几年, 国内的抽水蓄能电站项目如火如荼, 不少以前从事常规水电建设的专业技术人员乘势转入抽水蓄能电站项目。抽水蓄能电站与常规水电存在一定的差异, 尤其是机电方面差异较大, 增加了抽水工况, 需要考虑水泵功能, 需要考虑电动机功能, 需要考虑电能的双向流动等。

由于抽水蓄能电站机电设备涉及面广, 技术难度高, 专业性较强, 需要考虑的问题比较多。笔者以目前常见的抽水蓄能电站机电设备为研究对象, 进行了全面的剖析。

一、抽水蓄能电站机电工程的特点

目前国内在建的抽水蓄能机组型式基本都是可逆式: 上部是发电-电动机, 下部是水泵-水轮机, 在发电工况时作为水轮机发电机运行, 抽水时作为水泵电动机运行, 两种工况转向相反。本文的阐述就针对可逆式机组展开。

水泵水轮机制动区不同导叶开度线变得密集, 斜率大, 基本上与单位转速坐标轴垂直, 比转速小的机组甚至出现明显的反弯现象, 这就是S特性——此时同一个转速下对应着多个不同流量的运行工况, 从而在多个工况间来回摆动。

水泵水轮机在发电工况下, 当功率较小时, 可能进入反水泵工况。

抽水蓄能机组经常在电力系统中调节无功/电压, 只

发出或吸收无功, 此时需要运行在调相工况。

目前国内在建的抽水蓄能机组功率一般都比较, 不能直接并入电网起动——对电网和机组自身的冲击电流太大。需要外部动力先将电机拖入同步, 实现被拖动电机的“软起动”, 再并网。

二、抽水蓄能电站机电设计中的新问题及解决方案

1. 机械设计中的新问题

(1) 发电机的通风冷却

可逆式抽水蓄能机组发电工况和抽水工况时的旋转方向相反, 这对发电机的通风设计造成了很大的困难, 早期投产的机组有部分出现了通风效果差、运行温升偏高的问题, 随着技术的进步, 此问题正在逐步解决, 在设计选型和采购中还是要密切关注。

(2) 导轴承的冷却

可逆式抽水蓄能机组发电工况和抽水工况时的旋转方向相反, 加大了导轴承内冷却油的流动设计难度, 早期投产的有些机组不得不增加了外循环系统, 以求降低轴承温度。在设计选型和采购中需是要密切关注该问题。

(3) 充气压水

抽水蓄能机组运行在调相工况时, 为了避免转轮与水的摩擦导致的有功损失, 通常需要关闭导叶, 并在转轮室充入高压空气, 将水压入尾水管。所以抽水蓄能机组需要比常规机组多配置一套充气压水系统。

2. 电气一次设计中的新问题

(1) 增加静止变频起动装置

抽水蓄能机组一般都设有背靠背起动方式, 利用一台机组作为拖动机, 拖动水泵工况的机组起动。但是, 该方式有一个缺点——会遗留一台机组无法实现水泵起动。为了解决这个问题, 抽水蓄能电站一般都会增设静

作者简介: 林志广(1978-), 男, 四川成都人, 工程师, 硕士, 现供职于四川能投绵竹抽水蓄能开发有限公司, 主要从事抽水蓄能电站技术管理工作。

止变频起动装置（以下简称SFC），作为机组水泵启动的主要手段。

（2）增设起动母线及起动隔离开关

抽水蓄能机组背靠背起动时，需要将起动电流由拖动机送至水泵起动的机组，需要增加起动母线及起动隔离开关。

（3）出口断路器的选型

抽水蓄能机组在低负荷发电运行时，容易进入反水泵工况，所以机组停机一般不会像常规机组一样将负荷减的接近零时再分闸解列，一般是在负荷降到额定负荷的30%左右就分闸。频繁的带负荷分闸对发电机出口开关的灭弧能力提出了更高的要求，设计选型时需要特别关注。

抽水蓄能机组在作为背靠背拖动机运行时，会输出低频电流。这就要求发电机出口开关具有一定的低频电流分断能力，同时需要具有防止低频分闸损坏的控制闭锁。

（4）励磁变压器接线

抽水蓄能机组都采用自并励的励磁接线，并在发电机机端设置断路器，机组在发电起动时，与常规机组一样是机组转速快达到额定时起励，可以实现残压起励主用，他励为备用；在水泵起动、背靠背拖动机起动或停机电制动时，需要低转速时起励，无法实现残压起励。此时，如果像常规机组一样将励磁变接入发电机出口开关内侧就无法提供励磁电源，为此需要将励磁变接在主变低压侧且发电机出口开关外侧，才能保证起励电源。

（5）增设换相开关

抽水蓄能机组可以作发电机、电动机运行，两种工况下电机的旋转方向相反，必须配置换相开关改变电压相序。换相开关一般采用隔离开关，一般设置在主变低压侧。

（6）增设电制动系统

抽水蓄能机组承担电力系统调节任务，需要频繁的启停，为了减轻低速运行对机械设备的损害，需要增设电制动系统来加速停机。一般会在发电机出口增设一个电制动隔离开关，同时需修改励磁控制，在停机时一边短路发电机机端，一边投入发电机励磁，提供阻尼加速机组转速下降，缩短停机时间。

3. 继电保护设计中的新问题

（1）水泵水轮机特性引起的问题及应对

水泵水轮机在发电工况下，当功率较小时，可能会进入深度反水泵运行，因此必须设置逆功率保护。

（2）换相引起的问题及应对

抽水蓄能机组在发电工况和抽水工况时，换相开关位置不同，国内目前比较流行的是B相固定，切换AC两相，这对机组保护产生了多方面的影响：当换相开关处于差动保护保护范围内时，会造成换相前后差动保护两侧电流互感器对应的相不同；一些工作原理与相位和相序有关的保护，如：失磁保护、负序过电流保护、失步保护和低阻抗保护等，会受到换相开关位置的影响。

为了解决这些问题，就需要根据换向开关的位置切换继电保护装置的电压和电流信号。对电流互感器二次回路的切换易造成电流互感器开路，危险性大，一般不允许。由于目前继电保护大部分已经采用微机保护，可以在微机保护内部根据换相开关的位置信号，用软件实现电流数据的切换。这就需要给微机保护装置输入一个换相开关的位置信号，并配置相关的切换逻辑。

为了防止换相开关故障或误操作导致的相序错误，必须设置相序保护。

（3）水泵工况起动过程引起的问题及应对

常规水电机组在起动过程中一般在转速接近额定转速时才开始起励，起动过程低转速阶段处于无电流、低电压的状态，所以不必考虑机组低转速时的电气保护。抽水蓄能机组水泵工况的被拖动起动过程中，机组和连接母线都会流过低于工频的电流，承受的电压也是低于工频的，电压和电流幅值则随着转速的升高逐步接近其额定值，机组在这个过程的电气保护应予重视。低频率下电压互感器、电流互感器和微机保护能否正常工作是个值得关注的问题，招标采购时需特别注意电压互感器、电流互感器和微机保护应当具有良好的频率特性。目前比较流行的做法是，在频率低至互感器无法正常工作时，闭锁相关保护，防止保护误动；同时会增设一个次同步过流保护，专门应对低频时的电气故障。

（4）水泵工况运行引起的问题及应对

抽水蓄能机组运行在水泵工况时，防止电机输入功率过低或失去电源，需要设置低功率保护，同时设置低频率保护作为后备保护。

（5）调相运行引起的问题及应对

抽水蓄能机组调相运行时，为了防止调相过深而失去电源，需要增设低频率保护。

（6）电气制动过程引起的问题及应对

在电气制动投入后，发电机机端三相短路，定子和机端有低频电流，此时需要闭锁定子接地保护；同时为

为了防止低频率时电压互感器、电流互感器误差大导致的保护误动,需要闭锁受影响的保护。

4. 计算机监控系统设计中的新问题

(1) 工况转换的复杂性和特殊性

抽水蓄能机组主要有发电、发电调相、抽水、抽水调相、静止这几种可能的工况。各种工况之间可能发生的转换有十余种,其中从静止到抽水的转换又可分为变频起动装置起动方式和“背靠背”起动方式,控制流程非常复杂。

抽水蓄能机组停机时,为了机组的安全,不能将负荷减到接近零,而是在减至30%左右的额定功率时就要跳开出口断路器,这在制定停机流程时需要特别予以关注。

(2) 现地控制单元(LCU)更复杂

抽水蓄能电站比常规水电站多了下水库,水位及闸门信号非常重要,需要接入监控系统,一般设置一个现地控制单元(LCU)或设置远程I/O送到公用设备现地控制单元(LCU)。

抽水蓄能电站的变频起动装置和背靠背起动控制可以单独设置一个现地控制单元(LCU),也可与开关站或公用设备合用一个现地控制单元(LCU)。

5. 励磁系统设计中的新问题

抽水蓄能电站的发电电动机有以下运行方式:①欠励发电机运行,即进相发电;②过励发电机运行;③欠励电动机运行,即进相电动机运行;④过励电动机运行;⑤欠励同步补偿器运行,即进相运行;⑥过励同步补偿器运行,即调相运行。不像常规发电机组的运行极限曲线只分布在第一象限和第二象限,抽水蓄能机组的发电电动机的运行极限曲线则占据了4个象限,励磁系统的各个控制算法和各种限制器(过励限制器、欠励限制器等等)必须适应如此繁多的运行方式。

常规水电机组一般不设电制动开关,但是抽水蓄能机组必须设置电制动开关,在停机过程中,需要先解列灭磁,再投电制动,励磁系统要经历先灭磁、再加励磁的过程。

抽水蓄能机组以同步方式(包括变频起动装置方式和“背靠背”方式)起动为水泵-电动机运行的过程中,机组从零转速时开始起磁,励磁调节器需接受来自变频起动装置或监控系统的操作指令动作起励。

2台抽水蓄能机组以“背靠背”方式起动时,拖动机需要向被拖动机定子输入频率从零逐步上升到50Hz的电流,同时电压从零逐步上升到额定电压。拖动机从零转速开始就需要投入励磁,起励时间和励磁电流的大小受监控系统现地控制单元控制。

6. 水轮机调速器设计中的新问题

抽水蓄能机组发电起动及发电运行时,调速器的工作与常规水电机组类似,只是对于S特性比较明显的机组,需要设置非同步导叶控制,预开几个非同步导叶。

2台抽水蓄能机组以“背靠背”方式起动时,拖动机的调速控制是成功的关键,既要导叶开度足够,保证拖动转矩足够使机组快速通过低转速区,以减轻机组推力轴承的磨损,又不能导叶开度过大,导致拖动转矩过大引起的拖动机与被拖动机脱离。

抽水蓄能机组抽水工况运行时,电机一般工作在额定工况,调速器要根据扬程-导叶开度最佳协联曲线调整机组导叶开度,优化运行工况。

这些问题需要调速器设计和调试时特别关注。

结语

本文立足目前国内常用可逆式抽水蓄能机组,对比其与常规水电机组的异同,探讨了其机电工程建设中遇到的新问题,寻求切实可行的解决方法,希望对感兴趣的同行有所启发。限于篇幅,未能详尽,同时对国内不常用型式机组也未做介绍。

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] 姜树德.抽水蓄能电站电气二次设备和接线的特点[J].电力设备,2004(12):27-30.
- [3] 罗成宗,张飞.大型抽水蓄能机组水力稳定性分析及其预控措施[J].水电站机电技术,2018,41(03):1-5.
- [4] 翟黎明.蓄能机组轴系振动及推力轴承三维热弹流耦合特性研究[D].北京:清华大学,2016.
- [5] 张健,卢伟华,范波芹,等.输水系统布置对抽水蓄能电站相继甩负荷水力过渡过程影响[J].水力发电学报,2008,27(5):158-162.