

# 贯流式水轮发电机组自动化系统的改进

邓剑雄

(广东省源天工程公司, 广东省广州市 511340)

**摘要:** 以四川华能青居水电厂贯流式机组自动化系统为例, 对贯流式机组自动化系统设计中某些特殊问题进行了详细分析和必要的改进, 对保证贯流式机组的安全、稳定运行具有重要的意义。

**关键词:** 贯流式水轮机; 自动化系统; 安全和稳定运行

**中图分类号:** TV736; TM312

## 0 引言

四川华能青居水电厂位于四川省南充市高坪区青居镇, 装有 4 台 34 MW 灯泡贯流式水轮发电机组, 主机由富春江富士水电设备有限公司提供, 监控系统采用 ABB 公司的 AC800F 系统。自机组投入运行以来, 其自动化系统在程序设计、控制系统设计、自动化元件等方面都暴露出不同程度的问题, 如密封水、润滑油流的意外中断, 开/停机过程中因高压油泵启动后压力不满足要求而导致开/停机不成功等。

本文结合灯泡贯流式水轮发电机组的结构特点, 深入分析了故障产生的原因, 对贯流式机组特有的且故障频发的系统如润滑油系统、高压油顶起系统进行了详细的分析, 并对其某些环节进行了必要的改进, 对机组空气围带、密封水等与立式机组雷同的系统仅进行简要的介绍。

## 1 机组自动控制系统的组成

贯流式机组自动控制系统由水轮机、发电机、轴承润滑油装置、高压油装置及配套的调速器、励磁和自动化元件等组成, 并与电站其他设备配合实现机组的工况转换。当机组发生故障时能自动发出相应的报警信号(或投入备用设备), 能自动事故停机, 以确保机组安全、稳定运行。调速器及励磁系统作为定型的技术成熟的产品, 只需对其系统参数进行一定的优化, 就能在机组的自动控制系统中稳定、可靠地工作, 无须监控系统对其太多地干预。与监控系统控制流程紧密相关的系统主要有轴承润滑油、高压油顶起、机组循环水、密封水、空气围带等系统, 这些系统工作的可靠性直接关系到机组的安全、稳定运行。

## 2 系统存在问题的分析与改进

### 2.1 轴承润滑油系统

#### 2.1.1 高位油箱油位及轴承油泵的控制

在高位油箱设置 4 对油位报警接点, 分别是油位上限、油位正常、油位下限、油位过低。在油位上限位置停主备用轴承油泵; 在油位正常位置以上停备用轴承油泵, 在油位正常位置以下且机组运行时投入主用轴承油泵; 在油位下限位置投入备用轴承油泵; 在油位过低位置机组事故停机。在高位油箱设置溢流管道, 溢流面高于油位下限位置, 略低于油位正常位置。另外, 在油泵出口设置油压报警接点, 用于判断主用轴承油泵是否正常工作, 若主用轴承油泵投入而油压过低, 说明主用轴承油泵有故障, 须及时投入备用轴承油泵, 保证机组润滑油供应正常。

在满足上述要求后, 就能设计出比较合理的高位油箱油位及轴承油泵的控制方式。在机组正常运行时, 不间断运行主用轴承油泵供油, 使高位油箱油位控制在溢流面与正常油位之间; 若油泵均正常, 而是由于其他特殊故障的原因使高位油箱油位低于油位下限, 则启动备用轴承油泵, 并保持 2 台轴承油泵同时工作, 直至油位达到正常油位才停备用轴承油泵, 而主用轴承油泵继续运行。在机组停机时, 高位油箱油位低于油位下限, 启动备用轴承油泵, 直到油位达到正常油位才停备用轴承油泵, 使高位油箱油位控制在油位下限与正常油位之间。

为了减轻监控系统负担、优化系统设计, 润滑油泵的控制单独配置了可编程逻辑控制器(PLC)屏, PLC 屏接受监控系统开机令/停机令后, 执行其相应的控制方式。在 PLC 中编制油泵运行轮换程序, 当油泵每一轮运行完毕后, 均自动切换主备用状态, 使 2 台油泵能均衡工作。机组运行时, 备用轴承油泵启动后, 立即切换主备用状态, 可保证在特殊故障情况下备用轴承油泵由 2 台油泵轮流充当, 延长其启停间隔; 机组停机复归时, 切换 2 台轴承油泵的主

备用状态,保证机组正常运行完毕后在下一轮能换一台轴承油泵工作;机组停机状态,备用轴承油泵启停1次,才切换2台轴承油泵的主备用状态,停机状态最多只有1台油泵工作。

### 2.1.2 润滑油流量的监控

贯流式机组由于结构特殊,必须有一循环系统为水导轴承、发导轴承、正反推力轴承提供足够的润滑油,并保证热交换正常进行。

传统的润滑油流量计安装在各轴承的进口处,运行实践证明,这样的安装方式常会因为润滑油系统漏油或轴承油箱未充满油而导致无润滑油开机烧瓦事故。正确的安装方式是将油流量计安装在各轴承的出口处,这样可有效地防止无润滑油开机事故的发生,安装位置选择在轴承润滑油出口管路水平段靠近低位油箱的位置。润滑油流量信号参与机组开机回路、事故停机回路及事故报警回路,当机组有开机令,油阀打开,各轴承流量达到开机流量,在其他开机条件满足时立即开启调速器,不延时判断。调速器开启前,该流量信号只指示不报警,事故停机回路不动作;调速器开启直至机组停机复归前,当该流量信号低于报警流量、高于事故流量时,只报警但事故停机回路不动作;当该流量信号低于事故流量时,立即报警且事故停机回路动作关机,在润滑油完全中断前及时事故停机。在停机状态,油阀关闭,该流量信号只指示不报警,事故停机回路不动作。

### 2.1.3 润滑油开机流量的控制

机组开机准备时,润滑油流量正常,当机组开始转动时,润滑油出口流量瞬间的波动较大,使流量信号输出瞬间小于停机流量,而机组在50%额定转速以上运行时,润滑油流量稳定。因此,在现地控制单元(LCU)控制程序中对润滑油流量信号作出特殊处理,在机组开始转动至80%额定转速的过程中,润滑油流量连续10s小于停机流量时才发事故停机令;而机组在其他运行状态时,润滑油流量瞬间小于停机流量即发停机令。这样,既能保证机组正常开机,又确保机组安全运行,这在监控系统程序设计中非常重要。

## 2.2 高压油顶起控制系统

贯流式机组高压油顶起系统主要是确保在机组启动和停机过程的低转速区机组轴瓦能建立保护膜。

贯流式机组的额定转速低,转动惯量小,机组启动和停机过程短,转速变化快。高压油顶起油泵离机组轴承较远,高压油顶起建压有一定的延时。为充分发挥高压油顶起系统的作用,提高机组运行的可靠性,在机组开机准备时投入高压油顶起,压力开关动作并经延时判为高压油顶起正常,以此作为调

速器开启的必要条件,至90%额定转速停高压油顶起。正常停机时,在断路器跳开后立即投入高压油顶起,压力开关动作延时(具体延时时间由现场实测整定)判为高压油顶起正常,调速器动作关闭,直至机组完全停止转动并延时3min后退出高压油顶起,否则退出正常停机过程,退出高压油顶起,确保无高压油顶起不正常停机,提高机组安全系数;事故停机时,不论任何情况(非90%额定转速)立即投入高压油顶起,保持至机组完全停止转动并延时3min后退出高压油顶起。机组停机时高压油顶起的即时投入,可以克服因贯流式机组从90%额定转速至低转速区时间很短而引起的不安全因素,特别对因润滑油中断引起的事故停机大有好处,尽可能降低对发导轴承、水导轴承的损伤。

### 2.2.1 高压油顶起系统压力监控

传统设计中对机组高压油顶起压力开关的整定,是以机组静止时高压油顶起的压力作为依据。运行实践表明,贯流式机组在开停机过程中发导、水导高压油顶起分管有不同的高压油顶起压力,机组运行过程中高压油顶起启动后,顶起压力往往达不到开机时的压力定值,因此按照该顶起压力进行整定是不能满足要求的,常导致开/停机不成功,有必要对开停机过程中高压油顶起的总管和分管的压力分别进行监视,在LCU的开/停机流程中分别引用,确保开/停机过程中高压油能正常顶起。选择具有2组整定值及开关接点输出的压力开关就能满足上述要求,市场上已有此类产品。应用实践表明,改进后的控制方式提高了高压油顶起动作的可靠性及机组开/停机的成功率。

### 2.2.2 高压油泵的控制

高压油顶起系统通常安装有2台高压油泵,一台主用,一台备用。高压油泵的自动开/停由LCU程序控制,当主泵启动30s后还未达到压力开关动作值时,立即启动备用泵。由于高压油泵启动次数及运行时间相对较少,主备用泵的切换通常采用手动切换方式。

## 2.3 冷却水泵控制系统

贯流式机组因其结构的特殊性,其冷却是通过冷却水管路中的循环水在发电机的空气冷却器及油冷却器中进行热交换,再通过机组冷却套进行热量交换,从而达到发电机及机组润滑油系统冷却的目的,因此,冷却水泵的正常工作对保证冷却水的正常循环、保证机组的冷却效果非常重要。循环水中损失的部分由冷却水系统的均衡水箱补充。通常配置2台循环水泵,一主一备,循环水流采用流量计(模拟量)和示流信号器(开关量)2种检测方式,控制程序以模拟量信号为主,当流量计故障时可人为切换

至开关量控制方式,保证冷却水泵可靠运转。冷却水泵的切换有3种情况:①当开机无冷却水时经延时启动备用泵;②根据泵的累计运行时间自动切换;③人为手动切换。

#### 2.4 重锤关闭系统

为保护机组,防止机组出现飞逸现象,在导叶操作管路上设置了重锤卸压阀组,与导叶重锤共同组成重锤关闭系统。当机组过速115%额定转速,又遇到调速器失控(主配拒动)、机组过速165%以上额定转速、停机过程弯曲连杆弯曲、油压装置油压低于事故低油压时,卸压阀组动作,使接力器开腔与集油箱接通,导叶在重锤与水力矩的共同作用下关闭。

值得注意的是,在重锤自关闭系统的设计中往往会忽略对卸压阀组动作信号的检测,实际运行中,当重锤出现不明原因的動作时,运行人员往往不知道重锤是否动作,通常是靠机组的逆功率保护动作启动机组的停机流程,这无疑对机组安全非常不利,因此,在选择设备时最好能选择带动作信号检测的卸压阀组,由重锤的动作信号直接启动机组的紧急停机流程。

#### 2.5 机组制动系统

贯流式机组制动系统的设计与立式机组基本相同。当机组接到开机令时,机组复归腔电磁阀的投入线圈、制动腔电磁阀的退出线圈同时得电,制动器复归腔接压力气源,保证机组开机运行过程中制动器在复归位置。当机组停机,导叶全关,转速降至30%额定转速时,机械制动投入,机组制动腔电磁阀的投入线圈、复归腔电磁阀的退出线圈同时得电,制动器制动腔接压力气源,制动器在制动位置,机组制动。制动腔、复归腔电接点压力表常开接点与制动器投入复归行程开关组合判断,即可准确反映每个制动器工作是否正常。

值得注意的是,传统的设计是在机组停机制动完毕且机组无事故的情况下,制动系统会使制动器复归腔电磁阀的退出线圈、制动腔电磁阀的退出线圈同时得电,使制动器的制动腔、复归腔均接大气。运行实践表明,这样的设计是不可行的,由于贯流式

机组额定转速低,转动惯量小,导叶稍有漏水即可使机组蠕动,若机组制动不长期投入,极可能导致烧瓦事故,因此在机组蠕动保护不可靠或不完善的情况下,机组的制动系统还是停机后长期投入为好。

#### 2.6 机组加热器、除湿器的自动控制

为防止机组轴承润滑油温度过低,在轴承回油箱、高位油箱设有加热器。机组运行时退出加热器,机组停机时投入加热器,温度过低时加热,温度过高则停止加热。加热器的控制也可手动进行。

为保证机组发电机能在干燥的环境中运行,灯泡头设有除湿器。机组处于停机状态时,除湿器投入,机组处于开机状态时,除湿器退出。其控制也可手动进行。

#### 2.7 机组冷却风机的自动控制

机组运行时投入冷却风机,机组停机完成时延时退出冷却风机,6路冷却风机对称分2路控制。正常时全部投入,并可以根据实际情况灵活控制。

#### 2.8 其他辅助系统

其他辅助系统如主轴密封水、空气围带、锁锭等控制系统设计与立式机组基本一致。需要注意的是,主轴密封水供水管路上宜设置工作可靠性较高的电磁流量计,代替通常使用的示流信号器,便于监视密封水流量,监控系统能将流量分为机组开机启动流量、报警流量(投入备用密封水)及停机流量。这对提高密封水监视的可靠性有重要意义。

### 3 结语

通过深入分析贯流式机组自动化系统中出现的问题以及经过大量的现场试验,对原有机组自动化系统的设计进行了必要的改进。经长期运行表明,系统改进后提高了机组开/停机成功率,有效地遏制了因机组自动化元件误动而导致的非正常停机,保证了机组的安全稳定运行。

邓剑雄(1975—),男,工程师,从事水电及电力系统自动化方面的工作。E-mail: gdytdjx@sohu.com

### Improvement of the Automation System of Tubular Turbine Unit

DENG Jian-xiong

(Guangdong Yuantian Engineering Company, Guangzhou 511340, China)

**Abstract:** Taking the automation system of the tubular turbine unit of Qingju Hydropower Plant as an example, some special problems in the design of the automation system of the tubular turbine unit are analyzed in detail and the system is improved. The improvement is important to the safety and stability of the unit.

**Key words:** tubular turbine; automation system; safety and stability