

# 巨型水轮机调速系统操作控制逻辑研究

木崇宇 张岚彬

中国长江电力股份有限公司

DOI:10.12238/hwr.v7i4.4764

**[摘要]** 随着水电站的智能化、信息化进程的推进,在软、硬件层面上为调速系统操作和控制过程中的保护功能的设置提供了更多解决方案。但面对相比于传统水轮发电机组数倍甚至数十倍的设备采集信号,也使得智能化水轮机控制系统局部或整体故障多重耦合,对水轮发电机组造成的影响更加复杂。本文将对巨型水轮发电机组调速系统运行过程中各环节操作控制逻辑进行分析,厘清主次,并按必要和充分的原则提出相应的控制策略。

**[关键词]** 水轮机调速器; 控制逻辑; 防误; 水电站自动化

**中图分类号:** TK243.6 **文献标识码:** A

## Research on Operational Control Logic of the Governor System of Giant Hydro Turbine

Chongyu Mu Lanbin Zhang

China Yangtze Power Co., Ltd

**[Abstract]** With the advancement of intelligence and informatization in hydropower stations, more solutions have been provided for the setting of protection functions in the operation and control process of governor system at the software and hardware levels. However, compared with traditional water turbine generator sets, the collection of signals by devices that are several times or even tens of times larger also makes the local or overall faults of the intelligent water turbine control system more coupled, resulting in more complex impacts on water turbine generator sets. This article will analyze the operational control logic of each link in the operation process of the governor system of the giant hydroelectric generator unit, clarify the primary and secondary aspects, and propose corresponding control strategies based on necessary and sufficient principles.

**[Key words]** hydro-turbine governor; control logic; anti-misoperation; automation of hydropower stations

### 前言

随着水电站信息化水平的提升,现阶段水电站控制和监视系统对设备运行状态监测的深度和广度不断增加。对于某一个具体的设备,大量监测点的存在保证了其监视、控制过程更为精细,使得水电站设备运行的智能化水平不断提升。但另一方面,过多的采集信号的存在,及不加区分的使用这些信息,使得设备的控制逻辑趋于复杂,控制系统故障的风险也随之增加,其局部或整体故障对水轮发电机组造成的影响相应的也更加多样。有鉴于此,本文将对巨型水轮发电机组调速系统运行过程中各环节操作控制逻辑进行分析,厘清主次,并按必要和充分的原则提出相应的控制策略。

### 1 应遵循的原则

按照Saridis提出的分层递阶控制模型,巨型水轮机调速系统的硬件结构,自上而下可分为组织级、协调级、执行级三级<sup>[1]</sup>。除了其本身结构外,调速系统控制过程的实现还与控制对象(水轮机)的特性密切相关,且需考虑包括压缩空气、电源、通

信网络等外部条件变化的影响,各种内外部因素加上监督和调配整个控制过程一起构成了一个复杂的控制系统。

本文将探讨巨型水轮机调速器中协调级和控制执行级完成的控制过程应具备的逻辑。执行级中的电液转换单元(步进电机、伺服比例阀)、液压放大元件(主配压阀、事故配压阀)是调速系统控制过程中的执行元件,作为机械液压系统的一部分,其操作和流程控制必须遵循液压系统的运行规律。我们将基于与这些规律逐一讨论调速系统常见的流程控制和手动操作过程。在此,我们首先提出调速系统电气操作和控制回路设计过程中应遵循的原则:

(1) 逻辑严密,可有效防止人为误操作并避免设备误动作。作为多环节交互复杂控制系统,调速系统的操作和流程控制必须遵循液压系统的运行规律,按严格的流程控制,防止水压、油压、气压、电压等能量的意外释放,保障人身和设备安全<sup>[2]</sup>。(2) 回路可靠,具备抗故障干扰的能力。电气控制回路中的单一元器件、盘柜故障时不应影响调速系统运行,可通过其他替代环节实

现对调速系统的有效控制。(3)层次清晰,软硬件操作保护功能互相配合。区分各种手动、PLC控制、LCU控制等各种形式的操作,相应逻辑层层递进,高层级的流程控制依赖于低层级的设备实现,但不应影响低层级的功能展开。(4)流程简单,参与控制的信号越少,某一环节故障影响调速系统的概率越低。因此要对所采集的信号做出区分,减少不必要的环节,保证调速系统的安全可靠控制。

## 2 巨型水轮机调速系统操作控制逻辑分析

典型的巨型水轮机调速系统的机械组成,传统上一般将其分为油压装置和调速器两部分。油压装置控制部分配置有油压装置(液压系统)控制柜和油泵启动柜,被控对象包括压油罐、回油箱、油泵及其出口加卸载阀、隔离阀等。调速器部分控制元件通常是调速器电气柜,被控对象包括电液转换单元(步进电机、伺服比例阀)及其切换阀、开停机电磁阀、主配压阀、事故配压阀等。

调速器对水轮发电机的控制需要由压力油驱动,而油压装置就是提供这种压力油的装置。我们将首先讨论液压系统各部分的操作闭锁逻辑<sup>[3]</sup>。再讨论基于液压系统的其它控制单元的控制逻辑。

### 2.1 油泵及其加卸载阀

水轮机调速系统中,油泵将回油箱中的透平油泵入压力油罐,以作调速器的操作介质。油泵运行过程中主要的风险包括:油泵空吸,油泵进气,油泵电机控制、动力回路故障。

为规避油泵运行过程中主要风险,压油泵启动的保护条件至少应包括油泵进口阀全开、回油箱油位高于油泵进口、油泵电源回路(包括电源、电机、软启动器或热继电器)无故障。对于额定功率较小的油泵,过滤器堵塞亦可能对泵的运行造成不利影响,有条件时可视情况增加出口过滤器堵塞信号作为泵启动的保护条件。油泵加载的保护条件为油泵启动时间达到设定延时,及压油罐油压低于最高运行油压。

考虑到回油箱油位、压油罐油压信号通常由液压系统控制柜而非单个的油泵控制柜采集,因此不建议将其接入油泵启动柜的手动启动回路中,以免因液压系统控制柜电源消失造成所有油泵无法启动。对于在每台油泵出口设置有单独压力传感器的油泵启动柜,则可考虑根据该压力值控制泵的卸载,这种分散式的配置有助于提高液压系统对抗单一故障的能力。

### 2.2 隔离阀

隔离阀是液压系统中用于隔断压力油源与用油设备间的集成阀块。隔离阀在水轮发电机组停运后可快速切断油路,以维持压力油源的油位和压力,减少压油泵的启动次数,同时,在液压系统运行过程中当油罐油位过低时隔离阀可快速关闭,以防止空气进入给调速系统和设备造成损害。隔离阀的开启是液压系统处于运行状态的核心判据,而液压系统在运行状态是调速器通过控制导叶实现水轮机调节的基础。

隔离阀操作过程中应考虑以下问题:(1)防止空气进入调速系统和设备;(2)需在压油泵启动后再开启隔离阀、隔离阀关闭

后再停压油泵。(3)为减少隔离阀开启过程中对调速系统的冲击,需保证两侧平压后再开启隔离阀。

上述操作控制条件中,根据对液压系统运行的影响,并按可靠性和分层设置闭锁逻辑的要求,压油罐油位过低未动作建议串入开启隔离阀电气控制回路中;油泵的启停和隔离阀的启闭顺序对液压系统运行的影响则与水轮发电机组的运行状态相关,有条件的仍建议串入电气回路;隔离阀两侧平压信号则需根据其实现方式及信号触点的可靠性,来选择仅作为PLC流程控制时的条件还是串入电气控制回路中。

### 2.3 液压系统启动

液压系统的启动,即程序化的启泵并加载,管路平压后开隔离阀,并将压油罐压力泵至压力维持值的过程,其指令通常来自监控系统或液压系统控制柜。

液压系统的启动控制的控制条件应考虑以下内容:

(1)有足够数量的压油泵满足启停和加卸载要求。对于巨型水轮机调速系统,由于其通常配置有不止一台的油泵,故液压系统启动判据中保证有足够数量的压油泵满足启停和加卸载要求即可。(2)油位油压满足液压系统运行要求。巨型水轮机调速器中油位和压力信号通常是由液压系统控制柜所采集的,为避免单一盘柜失电影响压油泵和液压系统的运行,油位油压信号仅串入PLC开出的启泵回路中为宜,不建议串入油泵手动控制回路。(3)管路中的重要阀门状态满足液压系统运行要求。长期以来,由于疏漏或误触碰造成的液压系统中的阀门状态不满足调速系统的运行要求,导致液压系统管路过压或无法建压的风险一直存在。将这些阀门的位置信号作为液压系统启动的保护,有效的提升了水电站运行管理的智能化程度,切实保障人和设备的安全。

由监控系统下达的液压系统启动指令时,监控系统作为液压系统控制柜的上一级控制层,可实现对启动液压系统启动过程相关联设备状态的监测,实现更大范围的安全控制。液压系统控制柜掉电或故障、紧急停机电磁阀和事故配压阀动作未复归时应避免启动液压系统。

### 2.4 液压系统停止

液压系统停止过程是液压系统收到监控或液压系统控制柜停止指令后,由运行状态停止回到备用状态的动态过程。具体包括将压力油罐压力打压至压力维持值、关闭隔离阀和停压油泵等环节。其控制指令通常来自监控系统或液压系统控制柜触摸屏。

液压系统停止的控制控制条件应包括:(1)机组运行过程液压系统不应停运;(2)开停机过程中需考虑液压系统运行、开/停机阀投入、锁锭投入的先后顺序。在停机流程中,为保证导叶始终可靠压紧,应在锁锭投入后再停运液压系统。在早期的水电厂中这种先后顺序通常是靠监控系统停机流程的顺序动作来保证的,为减少人为操作过程中的风险,建议有条件的电厂在液压系统控制柜上增加该保护功能。

### 2.5 自动锁锭

自动锁锭作为水轮发电机组停机、导叶全关时的安全保护,其控制指令来源于控制盘柜把手或监控系统。在制定具体的控制策略前我们需要综合考虑锁锭投退操作与液压系统运行、开停机阀投退的先后顺序,以保证在在开机电磁阀动作前导叶始终压紧。

具体来说,开机过程中应先启液压系统,再拔锁锭,最后发开机令并复归停机电磁阀,之后操作导叶开机;停机过程中则按相反的顺序先投入停机电磁阀,再投锁锭,最后停液压系统。锁锭未投入前在运行状态的液压系统与停机电磁阀配合,可保证压力油通过主配压阀压紧导叶。故锁锭投入和退出的控制逻辑均至少应包括液压系统在运行状态、停机电磁阀投入和导叶全关三个判据。

## 2.6开、停机电磁阀

在电气液压型调速器中,开、停机电磁阀是机组开停机控制的总开关。一般而言,自动开、停机流程中的调速器开、停机令是通过控制器中转处理后再输出至开停机电磁阀的,手动操作按钮或事故情况下则直接至开、停机电磁阀本体,两种控制方式的存在保证了开停机阀控制回路的可靠性。

对于液压系统、锁锭、开停机阀的动作先后顺序,上面已有论及。在巨型水轮机的控制过程中,这种先后顺序一般通过顺控的开停机流程来保证。此外,开机阀动作后,一般需开启导叶,该过程除了需要以液压系统在运行状态作为条件外,还需保证自动锁锭已退出,避免锁锭和接力器损坏。即液压系统在运行状态和锁锭已退出均应作为开机阀动作的控制条件。

停机电磁阀的动作时的控制逻辑则需要区分正常停机、事故停机和操作紧急停机按钮停机三种方式。事故停机和操作紧急停机按钮停机作为事故或紧急情况下机组的保护功能,应具有最高的优先级,不应受其他条件闭锁。正常停机过程中开停机电磁阀一般受到调速器电气控制柜方式和导叶控制方式的限制,非监控控制方式和导叶手动控制时,可能意味着调速器有相关工作或其控制回路存在故障,一般不宜直接启动监控停机流程。此时,可通过手动操作导叶关闭后通过盘柜按钮投停机电磁阀的方式停机。

## 2.7事故配压阀

事故配压阀作为机组的过速保护,通常在机组发生机械或电气过速时投入,同时兼作主配拒动的后备保护。作为独立的后备保护,事故配压阀配置有直接取自压油罐本身的主供

及控制油源,其电源回路和控制信号也仅来自监控系统,以保证其任何时候均能可靠动作。作为水轮发电机组最后一个环节的保护,事故配压阀的控制要求为必须可靠动作,这体现在电气二级过速和机械过速过程中事故配压阀均直接动作。

事配作为主配拒动的后备保护,主要是防止机组解列后主配拒动导致导叶未及时回关造成的机组转速持续上升。但为防止机组开机状态下因节点开量或模拟量节点误动造成的事故配压阀误动作,需加入机组不在并网态(发电机出口开关或开关站机组进串开关断开,或以机组频率和电流做辅助判据)、转速达到一定的上升值作为其闭锁条件<sup>[4]</sup>。

对于事故配压阀的运行管理,需要注意的另一个点是导叶在手动方式下时,安控装置切机或保护动作后可能因主配拒动造成的机组过速,非必要情况下导叶控制方式不宜长期置于手动。

## 3 结语

巨型水轮机调速系统作为水轮机控制过程的核心,不仅需要满足水轮机控制和调节的要求,还需要保证机组运行、操作过程中人和设备的安全。水电站的智能化、信息化进程,在软、硬件层面上为调速系统操作和控制过程中的保护功能的设置提供了更多可能。在本文中,我们提出了这些控制、保护功能应遵循的原则,并秉承该原则,在必要且充分的层面对巨型水轮机调速系统各环节应具备的控制逻辑进行了讨论。这些控制逻辑,基于过往巨型水轮机调速系统的运行经验,但也需要利用好新技术和思维方式提供的新可能,在实践的过程中不断完善,与时俱进,实现更完备的自我保护和更智能化的控制。

## [参考文献]

- [1]蔡卫江,余纪伟,陈晓勇,等.分层递阶控制在水轮机调速系统中的应用[J].水电站机电技术,2012,35(06):44-47+95.
- [2]陈东民,荣红,朱军.智能水电厂中新型水轮机调速器的设计思路[J].水电厂自动化,2011,32(02):4-7.
- [3]杨秀伟.可编程控制器在水轮机组油压装置控制系统中的应用[J].大电机技术,2012,(06):58-61.
- [4]田华,孙作芳.600MW水轮机组过速保护功能完善探讨[J].贵州水力发电,2010,(4):54-56.

## 作者简介:

木崇宇(1991--),男,纳西族,云南丽江人,大学本科,工程师,从事水电站运行工作。