

凌津滩水电厂水轮发电机组 自动化控制系统综述

孙立峰

(凌津滩水电厂 湖南桃源 415723)

【摘要】 湖南省凌津滩水电厂(以下简称凌厂)安装有9台单机容量为30 MW的灯泡贯流式机组,总装机容量270 MW,年发电量12.18亿 kW·h。此文介绍凌厂自动化控制系统的结构、功能和作用,并对设备的特点和存在的问题提出一些看法供大家研究探讨。

【关键词】 凌津滩水电厂 自动化 结构 功能 作用 特点

【数据库分类号】 SZ01

1 概述

凌厂采用全计算机集中监视和控制,配合一些独立的自动化控制装置,形成了自己完整的、独立的自动化控制系统,这些设备集各家所长,从而把凌厂自动化控制提高到一个新的高度。

自动化控制系统是一个庞大的系统工程,凌厂自控系统包括监控系统,调速器及压油槽油压控制系统,励磁系统,机组水力机械保护系统,非电量测量,高、低压气机控制系统,火灾报警监视及通风系统,技术供水系统和各种泵的控制系统等。

计算机监控系统由法国 CEGELEC 公司提供。凌厂 270 MW 的发、变、输电设备包括 9 套机组 LCU、1 套 220 kV 全封闭组合电气单元 GISLCU、1 套公用 LCU 和 1 套泄洪闸门 LCU,具有全自动化监视、控制与调度操作的功能。

调速系统采用美国 WOODWARD 公司的微机型调速器,使用了三机冗余 CPU 及单工 I/O。与该公司提供的水位控制系统相配合,完成各种自动化运行方式。

励磁系统采用瑞士 ABB 公司的双 CPU 和双整流桥的双重冗余整流系统,使用自并激励磁接线方式。

水力机械保护装置由中南勘测设计院负责设计和调试,继电器全部从长沙电器厂采购。

发电机辅助控制设备由日立公司全套提供,包括循环油泵、循环水泵、轴流风机、高压油泵和测温系统等。

2 计算机监控系统

2.1 主控级

采用开放式、分层分布式的系统结构,主控级采用双以太网方式,用 SUN 公司先进的 64 位 SUN Ultra Sparc 1 作主机,用 32 位 SUN Ultra Sparc 5 作工作站硬件平台,操作系统采用 SUN 公司的 Solaris 软件;能完成机组正常开/停操作并监视设备的动作过程和各種运行工况。能完成开关、隔离刀闸、接地刀闸的拉开、合上操作以及自动发电控制/自动电压控制(AGC/AVC)。

收稿日期:2001-05-14。

2.2 机组现地控制单元

2.2.1 简介

机组现地控制单元(机组 LCU)采用法国 CEGELEC 公司从美国 GE 公司引进技术生产的可编程逻辑控制器 PLC(Programmer Logic Controller),所有 LCU 之间,LCU 与主控级之间均采用双 F900 网络通讯方式。机组 LCU 的控制对象为相应的水轮发电机组及其辅助设备、发电机出口开关等,主要完成各种参数的数据采集、控制的输出。将单点变位状态和采集的模拟量送主控级显示;LCU 接受主控级的操作命令或设备故障信号,发出各种相关输出命令,并向主控级报告每步动作的结果。同时,完成与相关 LCU 的通讯和自诊断功能。

2.2.2 机组开、停机

(1) 为了防止机组误启动或带故障启动,程序设计有“启动初始化条件”和“机组永久条件”,只有当机组满足了近百个“启动初始化条件”和 6 个“机组永久条件”后,方可进行开机请求。

(2) 开机流程分为八大步。有自动/分步两种操作模式,自动模式又分为主控级远方自动和移动式工作站现地自动;分步模式为移动式工作站现地分步。机组开机程序由主控级或移动式工作站发来的命令启动执行,LCU 监视每一步的动作情况并跟踪和控制机组的开机过程。

在自动方式下,命令发到相应的机组 LCU,由 LCU 执行开机程序自动启动机组,若出现故障或此时应该反馈来的信号未反馈上来,则开机程序停在此处,等待故障消失或应该反馈来的信号到来;开机程序设有一个超时报警,若开机程序在接到开机命令 240 s 后,机组未并入系统进入发电状态,则发“开机时间过长故障”并作用停机。

在分步方式下,发电命令发到相应的机组 LCU,然后等待“启动程序第一步”的确认,程序第一步执行完成,等待“启动程序第二步”的确认,以此直到机组 LCU 执行到“启动程序第八步”的完成、机组并入系统进入发电稳定状态为止。每步都设有一个超时报警,并及时将故障信号“启动程序第 * 步故障”送主控级显示。

(3) 停机流程无分步操作模式,只有主控级远方自动和移动式工作站现地自动。停机命令发到相应的机组 LCU,由 LCU 执行停机程序自动完成停机过程。正常情况下,停机流程分为正常停机流程和公用停机流程,分别设有超时报警,并及时将故障信号“正常停机时间过长故障(超时报警时间为 200 s)”和“公用停机时间过长故障(超时报警时间为 1400 s)”送主控级显示。

(4) 机械事故停机程序:当有机机械事故时,导叶关闭电磁阀 65GSD/B 动作(B 线圈励磁),同时减负荷到空载,然后跳发电机出口开关,跳灭磁开关,当检测到导叶全关,机械事故停机程序结束,则转公用停机流程。

(5) 电气事故紧急停机程序:当有电气事故时,跳发电机出口开关,跳灭磁开关,导叶关闭电磁阀 65GSD/B 动作(B 线圈励磁),当检测到导叶全关,电气事故停机程序结束,则转公用停机流程。

2.2.3 机组 LCU 的特点

(1) 控制分散,提高系统可靠性,各 LCU 既能接受主控级的控制,又能完全独立工作,以保证在网络及主控级系统故障时不影响机组的正常运行。

(2) 事故停机信号考虑比较全面,直接作用机组 LCU 事故停机的信号就有 69 个,其中电气有 40 个,机械有 29 个;间接通过压板作用机组 LCU 停机的机械事故信号有 90 个之多。

(3) 专门设计了一回与“失灵保护”功能相同的联跳回路,对主设备实行双层保护功能。

2.3 问题探讨

2.3.1 因为设计故障停机信号多,为了防止接点的瞬时抖动或误发信号,造成机组正常停机,对一些故障信号采用延时处理的办法,如“轴承油冷却水中断”“机组 LCU SOEPLC 输入模块故障”等,

可以根据故障的性质设计好延时停机的时间。

2.3.2 对“机组轴承油混水故障”这类性质的信号,建议停机功能取消,以便维护人员在一定时间内作出判断,再申请是否停机。

2.3.3 每当机组需要进行分步开机,我们就必须将“移动式工作站”移到相应的机盘小室,然后将其与LCU连接好,才能开展工作。“移动式工作站”的图形界面是依据#1/#5号机组的实际接线生成,当“移动式工作站”与除#5号机组外的其他8台机组LCU连接并启动调出画面后,发电机的出口开关、变压器的高压侧开关和变压器的低压侧隔离刀闸编号分别都是312、610和3103;而且在“移动式工作站”上操作312和610开关的分/合没有可靠性校核检查功能。建议在主控级操作员工作站增加分步开机功能(可在原有自动开机功能的基础上增加“自动/分步”和“分步确认”功能选择按钮),由于主控级有可靠性校核检查功能,从而提高了设备操作的可靠性,避免“移动式工作站”的移来移去,提高工作效率。

3 调速系统及相关外围设备

3.1 调速系统

3.1.1 调速器系统采用美国WOODWARD公司的并联微型机电液调速器,由电气数字调节器和机械液压控制系统组成。电气数字调节器使用了三机冗余CPU及单工I/O。其主要控制功能有:转速调节、功率调节、开度(水位)调节、蠕动/零转速检测、导叶自动关闭控制、空载差频控制、电液转换器故障诊断、导叶安全连杆控制、自动转换为协联关系及由于甩负荷而导致的最小化上游浪涌倾角控制、压力油槽自动压力控制、压力油槽自动补气控制和数字化协联功能等。

3.1.2 频率测量采用4路独立的测速装置,其中两路齿盘测速装置主要为了保证转速 $\leq 95\%$ 时测速的准确性,提高抗干扰能力;另两路是PT测速装置,当转速 $\geq 95\%$ 时自动从齿盘测速方式切换到PT测速方式。

3.1.3 调速器为双调型,具有导叶调节和浆叶调节两部分,导叶/浆叶反馈都是采用角度传感器,分别经导叶/浆叶接力器位置变送器,将导叶/浆叶的旋转角度转换成4~20 mA的电流信号。

3.1.4 调速器接受监控系统的开、停机控制指令,自动实现机组的开、停机操作和增/减负荷;调速器还具有手动和测试功能。

3.1.5 调速器的特点

(1) 采用微型计算机实现了水轮机调速器的数字调节与控制,具有很高的静态精度与极小的转速死区。

(2) PID调节频率由软件实现,具有人工智能的调节模式,使调速系统总是在最优参数下运行,具有很高的动态稳定性、速动性及快速跟踪能力。

(3) 采用安全连杆控制方式,此方式用来判断导叶是否被异物卡涩。安全连杆触点正常时呈“常开”状态,一旦个别导叶发生卡涩,其常开触点闭合,安全连杆控制方式有效,同时,调速器作用导叶从当前位置再打开10 mm,并保持180 s,然后回到原位置,判断触点是否已断开,如此往返三次,如果触点还未断开则发“剪断销剪断”告警信号。

(4) 调速器在硬件上配备三机冗余CPU,具有抗干扰能力强,可靠性高的特点。

(5) 具有数字协联技术,大大提高了水轮发电机组的发电效率。

(6) 调速器与监控系统之间的联系是采用硬逻辑接线方式,调速器配置了开关量输入/输出模块,用于与监控系统通讯,并配置有模拟量输出模块,将调速器采集的重要数据传送给监控系统,保证了设备信号传输的稳定性和快速性。

(7) 完善的信息显示及故障报警,有利于维护人员对调速器状态的查询并进行维护处理,提高了故障的处理速度。

(8) 调速器分两步开机:第一步开机使导叶关闭电磁阀 65 GSD/A 运行,给主配压阀提供压力油源,保证第二步开机时开启导叶,启动协联时有足够的油压。

3.1.6 问题探讨

(1) 9 台机组的调速器系统,水位信号都是通过▽41.7m 继电保护室内的水位控制装置测量提供,一旦水位控制装置故障,9 台调速器将同时出现故障信号,如果故障又不能通过其装置的“Reset”键进行复归时,就必须将水位控制装置进行停电复归或元器件更换,而正在运行的机组协联关系势必紊乱;现在我们的处理办法是逐个对 9 台调速器进行协联方式的改变,将“自动协联”切换为“手动协联”,当水位控制装置的故障清除后,又逐个对 9 台调速器将“手动协联”切换为“自动协联”。如果再增设一套“水位控制装置”,当一套故障时,另一套自动接管其工作,然后对故障装置进行检查消缺,从而减少维护人员的劳动强度,提高设备自动化水平。

(2) 当我们做实验或处理故障需要手动开启导叶时,我们在电调柜上打开对话窗口,输入口令,调出“标定”模式,然后将此模式强制为“有效”,同时,将导叶/浆叶等有关的标定模式都强制为“有效”等一些操作;手动关闭导叶后,要将所做的措施恢复。如果在电调柜上增加“自动/手动开启导叶”切换开关,在程序里增加“手动开启导叶程序”,当我们做实验或处理故障需要手动开启导叶时,只要将“自动/手动开启导叶”切换开关置“手动”,然后将辅机控制柜和机调柜内的一些机械操作做完后就可实现。避免众多操作的麻烦,减少软件操作带来的失误。

3.2 压油槽油压控制系统

3.2.1 压油槽油压控制主要是维持压油槽有一定的压力和油位,能够保证随时可靠地进行导叶和浆叶开启、调节和关闭。

3.2.2 特点

(1) 每台机组调速器系统设置了两台螺杆式压力油泵(单泵电机功率为 186 kW),可互为热备用,既可自动控制,又可手动控制。

(2) 如果主用压力油泵不能维持油槽油压 5.6 MPa~6.0 MPa 时,则在油压降至 5.4 MPa 时,备用压力油泵自动启动,油压上升至 6.0 MPa 时停止。

(3) 压油槽自动补气是根据其液位信号和压力信号进行控制的。当压油槽油位超过 1740 mm,且油压低于 6.3 MPa 时,即自动打开补气电磁阀进行补气;一旦压油槽油位等于 1740 mm 或者油压大于或等于 6.3 MPa 时即停止补气。

(4) 压油槽内压力油的补充与操作,系统控制油压的输出共用一根压力油管及控制阀门,减少了压油槽的开孔数目,既简化结构,减少维护监测点;又提高了压油槽的强度。

(5) 压油槽内主油主管口设置一浮球阀,可随着油位的降低而自动关闭,以防止因油位低而使压缩空气进入主调速器油路管道,引起振动而导致破坏性事故。

3.2.3 问题提出

(1) 调速器压油泵联轴器断齿的问题比较严重,全厂 18 台压油泵联轴器 16 个有不同程度的断裂。

(2) 机调柜由于压油泵的启动,振动非常大,导致安装在机调柜的各种表计、指示灯、压力开关等设备故障率居高不下。

3.3 高压空气系统

3.3.1 高压气机的主要供气对象是调速器压力油槽,压力油槽内充满了油和压缩空气,压缩空气

约占总容积的2/3左右,空气有良好的蓄存能量的性能,可减少压油槽内的压力波动,进而减少调速器液压控制系统的液压冲击或压力波动。

3.3.2 高压气机控制方式有自动/手动两种

(1) 手动控制方式:当自动控制回路的压力开关、主/备用选择开关故障或者实验时,可手动操作直接启动空压机。

(2) 自动控制方式:三台高压气机形成接力赛式的主用/第一备用/第二备用的组合,即#1/#2/#3/#2/#3/#1和#3/#1/#2方式循环,它们的启动定值依次为主用7.3 MPa,第一备用7.2 MPa和第二备用7.0 MPa,停止定值8.0 MPa。

3.3.3 当压力 ≤ 6.9 MPa时,闭锁水轮机发电机组的启动。

4 励磁系统

4.1 简述

4.1.1 9台机组的励磁系统全部采用瑞士ABB公司生产的自并激静止可控硅励磁系统。该系统主要有励磁变压器、励磁调节器、励磁开关、可控硅整流桥和灭磁电阻等组成。该系统采用双CPU和双可控硅整流桥的双重冗余配置,互为热备用。

4.1.2 励磁调节系统采用双微机控制,可在远方或现地投退励磁装置,增减励磁电流。它由两套励磁调节单元组成,设计有励磁电压和励磁电流即自动/手动两种调节方式控制。两种调节方式之间都可在运行时无扰动地相互切换。自动调节按选择对象的给定发电机电压值来进行励磁调节控制,采用PID调节方式;手动调节按给定励磁电流值来进行励磁调节控制,采用PI调节方式,由于它们都有内部积分反馈,从而任何负载下都可以实现快速稳定调节。

4.1.3 起励电源由厂用380 VAC提供,经整流后接入励磁母线,当机组转速达到额定转速的95%以上时,由相应机组LCU自动投入励磁系统,当发电机出口电压达到额定电压的30%时,即发电机出口电压为3000 V左右时,起励电源自动退出,调节器自动将发电机出口电压升至100%空载电压值10.5 kV。

4.1.4 机组灭磁采用逆变灭磁和非线性电阻两种灭磁方式。正常停机时,在接收到励磁退出命令后逆变灭磁1.5 s,然后跳励磁开关,同时触发非线性电阻灭磁。在机组事故情况时,首先跳励磁开关,同时触发非线性电阻灭磁。

4.2 问题探讨

每当水轮发电机组做零起升压实验时,我们就要从厂用400 V室接一路临时他励电源,费时费力。为了提高工作效率,针对每台机组的励磁装置设计一路实验用他励电源。为了安全起见,除厂用400 V室开关控制外,在励磁功率柜内或灭磁柜内再增设一个隔离开关。

4.3 运行情况

1998年12月25日第一台机组投产发电试运行以来,除1999年1月3日出现过一次#1机组励磁装置内部故障外,9台机组励磁装置再没有出现类似的事情。

5 技术供水系统

5.1 简述

5.1.1 9台机组技术供水取自5个进水流道,采用自流供水方式。技术供水系统包括机组轴油冷却水,主轴密封润滑水和渗漏/检修深井泵轴承润滑水等。

5.1.2 各机组主轴密封润滑水采用4台管道泵升压提供。管道泵从技术供水总管抽水经过自动滤

水器,然后汇入主轴密封供水总管,分别供给各台机组主轴密封润滑用水。

5.1.3 各机组轴承油冷却水和主轴密封润滑水电动阀既可由各自对应的机组 LCU 自动控制,又可在现地端子柜上手动操作按钮控制,并分别配置了示流信号器,信号引至各自对应的机组 LCU,从而可以监视供水情况,而且还作为机组开机程序往下执行的一个条件。

5.2 问题探讨

5.2.1 由于9台机组采用4台管道泵,那么管道泵长时间运行的几率就非常大,长时间运行对泵的寿命是有很大的影响的。如#1管道泵由于泵体本身的故障就更更换了两台新的(#3、#4管道泵相继替换了#1泵)。在#2机组投产运行不久的1999年7月28日,发现#1号管道有异常声音,于7月30日用新管道泵更换;运行了一个月,在8月28日又出现同样问题,用同样的方法进行处理。在处理此问题前,不得不申请机组“非计划性停机”。与其这样更换,还不如再增加5台管道泵,每台机组设计一台,管道泵随相应机组运行而开启,保证泵的寿命,减少维护量,稳定机组的正常运行。

5.2.2 以前4台管道泵的动力电源都是取自#1机组机旁小室动力屏,此动力屏电源取自厂用400V两段母线,#1机组检修或在倒换厂用电源时,对运行机组的安全不能保证。2001年4月26日对其电源进行了改造,#1、#3管道泵电源取自#1机组动力屏,#2、#4管道泵电源取自#5机组动力屏,并且#1机组增设了备用电源自投装置,#5机组在检修期间也将加装一套,这样将有利于机组的安全稳定运行。

6 水力机械保护和发电机辅助设备

6.1 水力机械保护主要是指水轮发电机组的油、水、风及机械装置的故障保护,专门设计了一个水机保护屏。水机保护回路采用了信号继电器和中间继电器联动的结构形式,信号继电器对应不同类型的故障输入信号,通过压板的投退是否作用机械故障出口中间继电器 K2。除水力机械保护屏信号外,还有部分水力机械保护故障信号直接引至机组 LCU,作用机组事故停机。

6.2 发电机辅助控制设备由日立公司全套提供,包括两台循环油泵、两台循环水泵、四台轴流风机、两台高压油泵和测温系统等。其中的循环油泵、循环水泵、高压油泵设计有自动、手动两种控制方式,自动控制由机组 LCU 执行。

7 非电量测量

非电量测量是机组运行状态监测的重要方面,主要包括:温度、振动、摆度、压力、流量测量等,下面只对测温系统作说明。

7.1 机组温度测量

包括定子线圈、定子铁芯、转子温度、推力轴承、导轴承、各油槽油温、瓦温,共计80个测点。各机旁小室设立两块测温屏(由日立公司提供),布置各测温数显仪。

测温系统由测温传感器、数显仪和专用屏蔽电缆的三个环节组成。测温传感器全部采用 PT100 铂电阻元件。测温数显仪将测温传感器探测的温度变化显示在数显仪的小窗口上,同时将电压信号转化为4~20mA的电流信号,并输出到机组 LCU 进行实时检测和送主控级 CRT 画面温度显示,主控级有“温度高”报警信号。

测温数显仪另有两路开关量输出,一路为“温度高”报警(未使用),另一路为“温度过高”报警,直接送水机保护屏触发机械故障出口中间继电器 K2,测温数显仪可以根据需要整定温度报警值。

(下转第69页)

1(或蓄电池组2)进行浮充电。

当两套 GZDW 充电装置同时检修或故障而退出运行, KCVA-150 充电装置需带两段母线同时运行, 此时, S1、S3、S4、S6 均连接到直流母线, 保证向负载正常供电和向蓄电池组浮充电。

4 改造后的直流系统

新的 GZDW 型充电装置全部为模块化设计, 一套充电装置(由两个柜并机组成)由七快充电模块、一块监控模块以及相应的工作集成电路板组成, 其中#1(1)和#2(1)柜配置四个电源模块, 这两个柜的直流输出母排通过电缆与直流系统母线连接; #1(2)和#2(2)柜中配置三个电源模块, 这两个柜虽也有直流输出母排, 但是没有外部直流联系, 这两个柜的直流输出母排分别与各自的#1(1)柜以及#2(1)柜的直流母排并联以后输出至直流系统的母线。这种模块化的设计使得检修和维护都十分方便。因为当一个电源模块故障后, 可以很方便地将它退出, 只要将该模块的直流输出插把拔出, 然后将该电源模块的输入交流电源开关断开, 该模块就退出运行了。每个充电模块的额定容量为 20 A, 七个电源模块所能提供的额定电流为 140 A 即充电装置的额定容量。

改造后的直流系统, GZDW 型充电装置本身支持“四遥”即遥测、遥控、遥信、遥调功能, 从而实现直流电源系统无人值守。从投入运行的半年多时间来看, 运行相当平稳、可靠, 未发生任何故障。

改造后的直流系统在维护方面确实更简单了, 运行也相当可靠。由于各方面原因, 致使直流系统改造还不够尽善尽美; 如果工期和成本都更宽松的话, 我相信改造会比现在还要好一些。

例如, 如果保留 S2、S5 这两个开关, 蓄电池组的出线电缆直接接到这两个开关上, KCVA-150 充电装置对蓄电池组实现浮充电就会更方便。

而且, 保留了 S2、S5 开关后, 充电新屏还可以实现完全停电检修。因为 S1 或 S6 开关可以断开与直流母线的连接, 从而实现充电新屏完全与直流母线断开, 实现完全停电检修。但是由于施工环境等条件的限制, 只得取消了 S2、S5 两个开关。

5 结束语

五强溪电厂的直流系统经过改造后, 运行可靠性得到了极大提升。从维护角度看, 投入运行半年多时间, 未发生任何故障, 真正实现了直流系统的免维护, 说明改造工作是成功的。

刘远孝 男, 工程师, 现从事自动化方面工作。

(上接第 75 页)

7.2 转子温度测量

$R = V/I$ 其中 R —电阻, V —励磁电压, I —励磁电流

$$R = R_0 \left(1 + \frac{\Delta t}{235} \right)$$

其中 R_0 等于 75℃ 时的电阻值, 是一个常量

$$\text{转子温度 } T = \Delta t + 75$$

孙立峰 男, 工程师, 二次专责, 从事水电厂自动化工作。