

三峡左岸电站水轮发电机组技术改造综述

关杰林, 程建

(三峡水力发电厂, 湖北省宜昌市 443133)

摘要: 三峡左岸电站首批机组投产发电后, 由于设计理念的差异、传感器元件故障及回路端子松动等因素, 发生了诸多不安全现象。经过三峡电厂技术人员卓有成效的技术改造, 机组的运行可靠性显著提高。本文从几个方面对三峡左岸电站机组设备技术改造工作进行了简要的介绍和总结。

关键词: 三峡左岸电站; 设备; 技术改造

1 概述

三峡左岸电站首台机组于 2003 年 7 月 12 日投入商业运行, 截至 2004 年 7 月 12 日, 已有 8 台机组投产发电, 累计发电 258 亿 KWH, 为缓解我国用电紧张局面做出了重大贡献。回顾一年来三峡左岸电站机组运行管理情况, 由于新设备存在的诸多问题, 投产初期运行不很稳定, 经过技术人员卓有成效的技术改造, 机组的运行可靠性显著提高, 可以说三峡左岸电站机组初期投产发电的过程也是三峡左岸电站加强设备改造, 优化设备性能, 提高三峡左岸电站机组运行可靠性的过程, 下面从几个方面对水轮发电机组技术改进工作作一简要总结。

2 调速系统的改造

2.1 调速器开机令继电器保持回路改进

三峡左岸电站 5F 在调试和初期运行中, 连续发生因开机令复归而导致停机的情况。停机过程中仅导叶回关, 未启动停机流程, 导致机组进相。经分析, 现有的接线方式易发生接触不良的情况, 造成调速器系统误停机。为此, 进行了以下改进: ①简化开机令回路, 取消回路中的锁锭状态和紧急停机按钮状态接点; ②开机令继电器和停机令继电器进行双重自保持节点处理; ③将继电器电源供电回路正、负极进行环接, 确保电源回路正常; ④在 CSCS 控制流程中增加调速器开机令异常复归启动快速停机流程。实施改造后, 再没发生类似现象。

2.2 调速器 PLC 程序修改

调速器系统 PLC 程序主要存在两个问题: ①压油泵动力电源全部消失时, 液压系统报“液压系统大故障”信号, 但当电源恢复后, 信号不能自动复归, 并

且压油泵也不能重新启动, 严重影响机组运行。②当调速器与 LCU 出现通讯故障或 LCU AI 板出现故障时, 调速器的水头值容易丢失, 导致机组出现溜负荷现象。

针对这些问题, 修改了 PLC 相应程序, 当一台或多台压油泵电源恢复后, 压油泵延时 6 秒自启动运行; 在 PLC 程序中加入一个 REG 寄存器, 当出现故障时, 送往调速器的水头值保持为故障前的值, 当故障恢复后, 送往调速器的水头值则恢复为 LCU 送来的最新值。

2.3 检修模式切换回路改造

三峡左岸电站调速器由 ALSTOM 供货, 调速器电气部分有三套调节器: 两套 NEYRPIC1500、一套 NEYRPIC1000E。“检修模式”(即手动控制模式)通过调速器电气柜门面板上的带锁切换开关来切换, 切至“检修模式”后, 实际上只有两套 NEYRPIC1500 调节器进入了“检修模式”, NEYRPIC1000E 仍处于正常“自动的工作模式”。这样当开机令存在时, PLC 控制程序判两套 NEYRPIC1500 调节器均发生大故障时, 则自动切换至 NEYRPIC1000E, 机组可不受手动控制限制, 会自动将机组开起来, 此现象在 10F 启动试验中出现过, 幸未发生严重后果。针对这种情况, 我们在 NEYRPIC1500 和 NEYRPIC1000E 的切换继电器 R80E、R80.1E 之前串入检修模式继电器的一对常闭接点, 这样在切“检修模式”后, 常闭接点变为开接点, 闭锁切换至 NEYRPIC1000E 的功能, 当调速器切回正常模式时, 能重新进行 NEYRPIC1500N→NEYRPIC1500S→NEYRPIC1000E 的自动故障切换。

2.4 调速器自动化元件改造

调速器系统中低油压报警、停机信号是经隔离变送器 CA11 内部的继电器接点送往 CSCS, 由于隔离变送器 CA11 容易受到管路油压的波动干扰, 致使低油压停机流程可能误启动, 影响机组的安全运行。我们在主管道和压油罐上分别安装了压力开关, 将压力开关的辅助节点与变送器 CA11 内部继电器接点通过并联或串联组合后, 送入 LCU DI 板, 降低了误启动低油压停机流程的风险。

三峡左岸电站的机组调速器集油槽原有液位计安装位置不合理,处于集油槽内部,且必须在停机状态才能对液位定值进行整定,不便于现地读数和日常维护等工作。为此,我们在集油槽侧面加装了一个翻版式液位计取代原液位计。

3 机组保护回路改造

3.1 ALSTOM 发电机转子一点接地保护改造

Alstom 发电机转子一点接地保护采用 ABB 产品,运行中多次发生误报警,并误出口跳 5F。用红外测温仪测量保护附件上的电阻及电容,温度高达 3000℃。我们在 4F 安装了一套国内某厂家的产品,ALSTOM 对其它机组行了改进,加大了桥电路上中电阻、电容的容量,改进效果尚有待实践检验。

3.2 ALSTOM 发电机保护跳闸矩阵逻辑改进

2003 年 11 月 12 日,4F 停机过程中励磁故障,跳 4F 灭磁开关和主变高压侧开关 8104DL。由于 B 盘跳闸矩阵的“短引线保护启动失灵”二极管反向击穿,引起 500kV 开关 5122DL、5123DL、5103DL 误跳闸,造成 3F 停运。经检查其直接原因是二极管反向击穿,同时矩阵的跳闸逻辑也不合理。鉴于 500kV GIS 短引线保护动作后会直接跳 GIS 本串的中、边开关以及相连的两台机组高压侧开关,送至机组保护的接点只需跳本机组的高压侧开关即可,通过跳闸矩阵跳相邻机组和 GIS 断路器的意义不大,相反会带来一定的事故隐患。鉴于此,取消了 ALSTOM 发电机保护跳闸矩阵中短引线启动失灵输入跳 GIS 和相邻发电机高压侧断路器的逻辑。

3.3 加装机组逆功率保护

为了确保发电机组的安全运行,根据 ABB 及 SIEMENS 厂家要求,在发电机保护中添加逆功率保护,SIEMENS 保护在机组保护 A 盘的 7UM622 中加装逆功率保护 I 段,B 盘的 7UM622 中加装逆功率保护 II 段;ABB 保护分别在机组保护 A、B 两块盘中加逆功率保护 I 和 II 段,构成双重化。具体整定为:逆功率 I 段: $-3\%P_n$ 延时 3S 保护动作信号;逆功率 II 段: $-5\%P_n$ 延时 3S 保护动作解列。

3.4 水机后备保护回路改造

机组水机后备保护由设置在机组 LCU 的常规继电器逻辑回路构成,水机保护信号原设计启动电气保护的功能。当机组轴承瓦温过高启动水机后备保护时,会出现机组因跳闸负负荷而产生机组过速现象,而机组过速会导致瓦温进一步快速上升,造成烧瓦事故。

为此将瓦温过高停机逻辑改为先动作紧急停机电磁阀,当机组导叶到达空载开度时跳变压器高压侧断路器、灭磁。另外,在后备保护回路上增装了投退联片,方便运行中做安全措施。

3.5 主变冷却器全停回路改造

原设计主变冷却器全停信号延时两分钟由保护出口解列、灭磁、停机。我们认为此条件过于苛刻,在 0.4kV 电源短时消失或冷却水倒换过程中即可能停机,降低了机组的运行可靠性。现修改为:当冷却器油泵全停时,延时 2 分钟发冷却器全停信号,当冷却水系统故障时,延时 15 分钟后发冷却器全停信号。主变冷却器全停信号由监控系统 LCU 来启动停机流程,取消启动电气保护功能。

4 励磁系统的改造

4.1 励磁系统直流母排与开关灭弧距离不满足要求

首批机组安装调试中发现,励磁装置直流灭磁开关上方直流母排与开关灭弧罩距离太近,不能满足直流灭磁开关对飞弧距离的要求,容易与上方的母排形成短路,造成严重事故;现将原来两块宽的母排更换成由厂家提供的三块较窄的母排,既保证母排过流面积又满足飞弧距离的要求。

4.2 灭磁开关柜内交流电缆固定支架涡流发热

运行人员用红外测温仪测量时发现灭磁开关柜内交流电缆固定支架(角钢)严重发热,温度高达 140℃左右,分析为涡流发热所致。松开支架固定螺栓,明显看到与支架接触的电缆橡皮外套已烤熔。解决方案是将导磁材料的固定支架更换为非导磁材料(环氧板)消除感应涡流。

5 机组辅助设备的改造

5.1 机组辅助设备电源改造

三峡左岸电站机组辅助设备由国外主机厂家配套提供,在控制电源设计理念上存在差异,许多辅助设备仅一路控制电源。运行初期多次出现因控制电源掉电造成辅助设备不工作、变送器误出口,进而迫使机组停运现象。

三峡电厂对机组推导油外循环泵、高压油泵、水导油外循环泵、水轮机仪表柜控制盘等设备进行了双电源改造,同时对部分电源监视继电器进行了换型。
①交流+交流方式,当一路电源消失时,不应影响另一路电源上辅助设备的正常工作,适用于强电或简单逻辑控制装置;
②交流+直流方式,当一路电源受

到扰动、或消失时不应中断逻辑控制部件的供电，适用于弱电 ($\leq 48V$) 控制装置和 PLC 控制器。

5.2 定子水内冷系统改造

该系统比较庞大，控制逻辑复杂，信号较多，且很多信号作用于停机，投运初期，曾出现过误停机现象。定子水内冷系统主要改造项目有：①修改纯水大泄漏信号定值，避免因水泵起、停过程的压力波动误发大泄漏信号；②增加膨胀水箱水位监测功能，设定上限 80%报警、下限 30%报警、下下限 20%跳闸。③增加电源监视功能，在 PLC 程序中，将监控系统来的开机令和停机令改为自保持状态；④修改 PLC 程序，避免电机“三角形”直接启动；⑤取消膨胀水箱管路节流孔板，改善加压泵起动性能。⑥改进电源控制柜机械闭锁结构，解决“开门即跳闸”问题。

5.3 机组自动化元件改造

发电机仪表盘测温仪表更换改造：原仪表无断电和断线闭锁功能，可能因控制电源消失或测温电阻回路断线而导致机组误停机。

推导油位计换型改造：VGS 机组推导油槽油位计因模拟量、开关量显示不可靠，导致误报警、误停机，现更换成科普乐公司的翻版式液位计，运行比较可靠。

水导油槽油位计换型改造：ALSTOM 机组水导油槽分上油槽和下油槽，机组运行时靠水导油泵将下油槽的油抽到上油槽来冷却和润滑水导瓦，所以上油槽的油位和水导油泵的控制显得特别重要，为此我们在水导上油槽上加装两个科普乐公司的翻版式油位计来用于水导油泵的启停控制、报警及停机回路，确保机组稳定运行。

冷却水流量计改造：ALSTOM 机组主机厂家提供的热扩散式流量计普遍存在测量不准，经常出现误报警的现象，改用超声波式流量计，效果较好。

在部分传感器前加装阀门改造：三峡机组大多数传感器的安装方式是直接与被测管道相连，当传感器故障时只能在停机或该设备停运的情况下进行更换，为便于检修应在传感器前加装阀门。

6 中性点接地改造

6.1 主变中性点接地改造

主变中性点原设计只有一根与主接地网连接的接地引下线，根据《并网发电厂安全性评价》要求，变压器中性点应该有两根与主接地网不同地点连接的接地引下线，且每根接地引下线均应该符合热稳定要求。为此我们增加了一根接地引下线。

6.2 发电机 20KV 电压互感器中性点接地改造

发电机电压互感器安装在电气制动开关箱体内，无法测量发电机定子绝缘。现将电压互感器的中性点移到外部进行接地，测量定子绝缘时，断开接地点非常方便。

7 机组 LCU 程序修改

机组 LCU 程序在运行过程中，需要不断进行完善，三峡电厂建立了机组 LCU 程序修改跟踪表，发现问题和隐患后，及时修改。经过近一年的实践检验，LCU 程序已基本趋于成熟。

7.1 机组开停机流程修改

开停机条件修改：①开停机条件按机组子系统进行分类，并在操作员工作站画面上反映开机条件。②开停机条件按开停机四个步骤水系统运行、空转、空载、并网进行分类，便于机组启动试验和调试。③取消机组开机条件中的“机组消防系统 OK”逻辑判据；④增加“调速器系统 OK”逻辑中对“ADT1000 主故障”和“功率反馈断线”的判断；⑤取消“断路器、刀闸 OK”条件中对“主变高压侧断路器”、三个“线路 GIS 断路器”判断；⑥取消“冷却水系统 OK”条件中，对“减压阀室”、“滤水器室”、“射流泵室” 220V 电源交流电源的判断，在“纯水系统 OK”逻辑中增加对“纯水系统运行”或逻辑；⑦增加“下导/推力油外系统 OK”逻辑中对“下导油位高”、“下导油位异常”和“水导油位高”、“水导油位异常”的判断；⑧增加“开机至并网条件”中“同期装置 OK”的判断逻辑；⑨修改正常停机条件，取消对“调速器就地控制方式”及“机组进水口闸门 OK”的判断；⑩针对闸门下滑，不能指示其全开的状态，“机组进水口闸门 OK”的判据中加入闸门开度大于 90%的或逻辑，等等。

优化开停机控制流程：①取消对“主变高压侧地刀和隔刀”自动流程操作；②为锁锭可靠拔出，修改“拔锁锭”的闭锁条件：“隔离阀开”且“液压系统工作压力 $>6.0\text{Mpa}$ ”，延时 2 秒，则开出“拔锁锭”命令；③增加调速器开限的自动控制逻辑；④在调速器开机命令前，增加对重要辅助设备如：“水导外循环泵”一泵运行、“推力外循环泵”三泵运行、“纯水系统运行”等条件的再次判断；⑤投励磁调节器前，增加投励磁系统电压控制模式控制和判断逻辑，确保启动成功；⑥针对调速器手自动切换阀易发卡的现 象，在发调速器开机令的同时给调速器手自动切换阀发一个切自动的脉冲，确保调速器开机成功率；⑦针对冷却水系统流量计中断信号的单向性，修改开机流

程中对冷却水正常的判断由开关量改成模拟量来判断。等等。

7.2 事故停机流程的修改和完善

启动事故停机条件修改和完善：①温度保护停机条件中，将推力瓦温和定子槽温由一点越高高限停机改为两点同时越高高限停机；②调速器机械大故障改为停机，但油压小于 5MPa 且报油压过低时停机，油位小于 960mm (VGS) 1020mm (ALSTOM) 且报油位过低时停机；③增加调速器开机令复归启动快速停机流程，防止有功进相运行；④取消安稳装置动作停机，取消 VGS 机组轴承油温停机，增加对 ALSTOM 机组水导上油箱油位启动事故停机的条件；⑤取消电气保护信号直接停机，只采用电气保护总停机信号启动停机；⑥停机相关信号要加模件、通道正常和 IO 模件电源消失闭锁。如：A、B 套保护退出，紧急停机按钮动作，水导两泵全停、励磁通道正常等信号，为防投电、断电及信号计故障时的信号突变事故停机出口总信号加 1 秒延时闭锁；⑦VGS 机组主轴密封水流量过低、压力过低启动停机流程功能，加入其变送器电源异常信号闭锁；⑧所有保护停机信号尽可能改成常开节点。即其值为 1 时，动作停机；

事故停机流程修改：①为确保机组安全，快速停机流程中不判厂变开关位置，停调速器、跳开关、停励磁几步执行条件不满足时仅报警，流程不退出继续进行下去；②跳主变高压侧开关的条件修改为无条件限制；③事故停机程序加远方投退功能，便于检修做措施。等等。

7.3 设备运行监视流程修改和完善

设备运行监视程序主要做了以下修改和完善：①停水导外循环泵的 LCU 控制继电器的节点由常闭接点改为常开接点，确保水导外循环泵不因外部控制回路故障而停运；②主要辅助设备增加操作员站增加画面监视及故障复归后自动启动功能，如：纯水系统、推水导外循环泵、水导外循环泵、主变冷却器、大轴密封水泵、高压油泵、压油装置；③针对液压系统隔离阀存在内漏问题，增加停机态液压系统压油罐油位异常时，自启动液压系统程序，确保开机成功率；④实施水系统正反向手动倒换技改；⑤修改机组水头信号传输程序，保证通讯中断时，保持上次正常时的水头值，确保机组不因水头而溜负荷。等等。

7.4 报警和事件的修改和完善

对机组 LCU 报警和事件进行全面的清理和完善，利用机组 C 修时机对设备定值进行了全面的清理，使

其处于受控状态，确保操作员工作站报出的报警和事件的正确性和完备性。

8 结语

一年来，三峡电厂技术人员，坚持科学的态度，从实际出发，提出 50 余项技术改造方案，实施改造近 400 多台次，优化了三峡电站水轮发电机组性能，提高了运行可靠性。其技术改造成果也赢得了制造厂家、设计、安装单位的认可，并在后续安装的机组中落实了上述措施。当然我们还应清醒地看到：三峡机组仅投产发电一年，还没有到稳定期，很多设备问题尚未显现出来，设备技术改造任重而道远，诸如机组纯水泵烧泵、ALSTOM 机组转子一点接地保护等问题有待我们去进一步分析、解决。

作者简介

关杰林，男，1964 年 3 月生，三峡电厂副总工程师，高级工程师，长期从事电气设备的维修和故障诊断工作。

程建，男，1970 年 5 月生，三峡电厂电气部副主任，高级工程师，长期从事水电厂自动化和计算机监控系统维护工作。