

# 某水电站轴流转桨式水轮发电机组调速器升级改造

王雪峰, 张琛, 王艳平

(嫩江尼尔基水利水电有限责任公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161000)

**摘要** 以某水电站旧调速器升级改造新调速器为例, 对旧调速器的分解、拆卸及新调速器的机械、电气部分安装调试、施工、焊接等过程规范其质量标准, 并详细制定了调速器改造后特性试验方案。本文为电动复中式可编程微机调速器(型号: DFWST-150-6.3)到比例数字式微机调速器(型号: PSWST-150/100-6.3)的升级改造, 通过升级改造, 调速器的性能得到提升, 保障了水电站安全高效运行, 同时为其他水电站调速器升级改造提供参考。

**关键词** 水轮机调速器; 升级改造; 管路焊接

中图分类号: TV7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.025

## 0 引言

调速器是水轮机调节系统的主要设备, 是机组稳定运行及保证电能质量的核心控制设备, 主要承担着并网前自动跟踪网频, 并网后实现电网一次、二次调频要求, 完成调度下达的功率指令, 调节功率, 完成机组开机、停机、增减负荷、紧急停机等控制, 执行计算机监控系统的调节及控制指令等。随着技术发展与电力系统需求变化, 原调速器在性能、可靠性和智能化程度等方面渐难满足要求。PSWST 系列微机调速器是以进口可编程控制器(PLC)为核心, 以比例阀和数字阀作为电液转换环节, 以机械液压系统作为执行机构组成的新型微机调速器。其机械液压主要部件全部采用标准化液压元件, 具有稳态无飘移、静态低油耗、不需要调节机械零位、油路通径大等特点<sup>[1]</sup>。

## 1 调速器升级改造背景与必要性

DFWST-150-6.3 调速器在长期运行中暴露出诸多问题。控制精度不足, 难以精准维持水轮机转速与功率稳定, 尤其在负荷变化频繁工况下, 转速波动大, 影响电能质量。响应速度慢, 面对电网频率变化或负荷突变, 不能及时调节导叶开度, 导致调节滞后, 降低系统稳定性。比例数字式微机调速器(PSWST-150/100-6.3)的应用, 可以实现精准控制, 显著提升系统稳定性。随着数字化技术的发展, 电网安全与运行标准的升级, 调速器升级改造是发电厂适应新型电力系统发展的必然选择。

## 2 调速器拆除、安装施工过程及质量标准

### 2.1 原调速器各部分解、拆除

将机组主压油装置及事故压油装置泄压排油、管路及回油箱排油, 在调速器底部进行脚手架搭接, 将调速器与管路的连接法兰分解。将调速器各结构件进行分解, 并逐一吊出, 放置在预先铺设好的工作面上。将调速器与过渡板连接螺栓、焊接点进行分解, 并与基础板分离, 吊出机柜。将调速器的管路法兰分解, 用倒链把管路安全放置在工作面。

### 2.2 新调速器机械结构部分安装

1. 将新调速器过渡板与地面基础板进行预装、调整水平, 完成后将过渡板及盘柜整体焊接在基础板上。

2. 调速器现场制作安装的管路需用Φ400、Φ150、Φ125 角磨机进行切割, 切割完成后开设坡口(与法兰组对的管路不需开设坡口), 坡口开设完成后进行打磨清理, 直至管口无毛刺、重皮、裂纹等缺陷<sup>[2]</sup>。

3. 现场制作的管路与预制完成的管路组对、点焊、把合, 组对时遵循先大管、后小管的顺序, 依次安装。现场组对管口需焊接挡块时使用∠50\*50\*5 不锈钢角钢, 不允许使用碳钢材质的材料与管路点焊, 组对完成后点焊, 在管路坡口内引弧、防止损伤母材。

4. 管路整体组对完成后进行定位焊, 防止焊接变形, 定位焊全部结束后对管路进行拆卸, 拆卸后把无法进行定位焊的焊缝进行手工焊接, 管路采用氩弧焊接工艺。

5. 管路组对完成后分段、分批拆卸并编号，焊接完成后使用冷热水高压管路清洗机对管路进行清扫，管路清洗完后用气吹干管路，每一根管路清扫合格后使用白布将两端管口包裹严密，防止管路二次污染。

6. 管路整体清扫结束后进行回装，回装时法兰、阀门对称紧固，密封垫位置正确。

7. 系统调试时对管路充1/2工作压力(3.15 MPa)，对设备及管路进行检查，检查无渗漏后，将管路压力升至工作压力(6.3 MPa)，检查各设备以及管路的渗漏情况<sup>[3]</sup>。

### 2.3 电气部分安装

1. 机械部分改造施工完成后，进行新调速器盘柜安装。

2. 根据厂家设计图纸，将原调速器柜拆下的电气二次接线接入新调速器盘柜。

3. 由于新调速器开关量输出为10个，与原调速器不同。将10个信号分别接入监控系统，使用电缆号为2G-411(7\*1.5)与2G-411a(4\*1.5)的电缆备用芯接入主机PLC开入量模块。

4. 配线工作，确保连接正确。

5. 修改主机PLC程序。

6. 修改上位机画面并重新生成数据库。

7. 上述各项工作完成并核对无误，全面上电检查。

8. 调速器上电无误后，进行调速器特性试验。

## 3 调速器改造后特性试验方案

### 3.1 试验目的

通过调速器特性试验，校对调速器导叶、桨叶的零点及全开程序采样；录制静态下的调速器特性曲线。并在机组开机状态下进行空载摆动及空载扰动试验，设置调速器合理的运行参数，保证机组运行的稳定可靠性<sup>[4]</sup>。

### 3.2 调试前工作准备

1. 电气及机械改造施工已完成，机组具备调速器试验条件。

2. 工作场地整洁，试验所需设备符合现场实际要求。

### 3.3 试验条件

1. 油压装置自动运行状态。

2. 主、辅机PLC自动运行状态。

3. 调速器无报警及异常现象。

4. 动态试验时，须静特性试验完毕，尾水管、进水口进行充水完成。

5. 水轮机保护，发电机保护投入正常运行。

### 3.4 传感器信号检查

1. 传感器有效行程在安装完毕后满足接力器最大行程要求。

2. 零点标定：在机手动状态下，将接力器全关，将触摸屏的接力器开度反馈调整画面中的反馈“显示零点”设置为0.00%，“测量零点”设定为此时的反馈测量值。

3. 增益标定：在机手动状态下，将接力器全开，将触摸屏的接力器开度反馈调整画面中的反馈“显示增益”设置为99.99%，“测量增益”设定为此时的反馈测量值。

4. 接力器越限报警设定：在机手动状态下，将接力器全关，设定接力器反馈越下限值比此时的接力器反馈测量值小。例如：接力器反馈测量值为100，则设定接力器反馈越下限值为50~80之间；再将接力器全开，设定接力器反馈越上限值比此时的接力器反馈测量值大。接力器反馈测量值为9500，则设定接力器反馈越上限值为9520~9600之间。

5. 主配反馈中位设定：机手动将接力器开至中间位置，将触摸屏对应的调整画面中的“主配零位设定值”设定为当前“主配反馈测量值”。

6. 主配反馈越限报警设定：手动操作调速器机械液压执行机构，控制接力器往关的方向动作，使主配往下动作到极限，将主配反馈越下限值设定为比此时的主配反馈测量值小500；控制接力器往开的方向动作，使主配往上动作到极限，将主配反馈越上限值设定为比此时的主配反馈测量值大500。

## 4 静特性试验

1. 在做静特性试验时，历史趋势图中的红色的曲线表示导叶开度随时间的变化；绿色曲线表示频率给定随时间的变化。做静特性试验时，将主显画面中的“跟踪/不跟踪”按钮置于“不跟踪”状态，同时置调速器处于空载状态，或负载状态频率调节模式，置永转差系数bp=6%，PID参数取最小值bt=3%、td=2 s、tn=0 s，频率给定值=50 Hz，一般将时间间隔设置为30 s。

2. 把电气开限放到最大，导叶开度给定0%使接力器全关。

3. 打开触摸屏静特性试验画面，按开始按钮使其自动试验。频给将从50 Hz开始每0.3 Hz变化一次，先增加到53 Hz，然后再下降到50 Hz，使接力器单调上升或下降，接力器每次变化稳定后，自动记录本次信号频率给定值及相应的接力器开度，自动生成频给升高和降低时的静态特性曲线。试验结束后自动计算

转速死区及实测  $bp$  值。静特性试验完成的特征是“试验”按钮停止闪烁按钮自动变为“开始”。国家标准《水轮机控制系统技术条件》(GB/T 9652.1-2007) 4.3.2 规定: 对于大型调速器转速死区  $I_x \leq 0.02\%$ , 中小型调速器转速死区  $I_x \leq 0.06\%$ <sup>[5]</sup>。

## 5 空载频率摆动试验

1. 空载摆动试验主要是记录在空载运行工况时, 机组在 3 分钟内机组频率变化的最大值、最小值及最大值与最小值的最大偏差。试验完毕后系统将计算出 3 分钟试验过程的机组频率偏差和最大、最小频率值。

2. 调速器应保证机组在各种工况和运行方式下的稳定性, 在空载工况自动运行时, 施加一阶跃转速指令信号, 观察过渡过程, 以便选择调速器的运行参数。待稳定后记录转速摆动相对值。

## 6 空载频率扰动试验

1. 在进行空载频率扰动试验时, 历史趋势图中的红色的曲线表示导叶开度随时间的变化; 蓝色曲线表示机频随时间的变化。

2. 调速器在自动运行方式, 空载工况下, 在主操作画面中将触摸“跟踪频给 / 跟踪网频”按钮, 使调速器处于“跟踪频给”模式, 触摸空载频率扰动试验画面中的“开始试验”按钮开始做空载频率扰动试验, 同时此按钮显示为“试验进行中”并闪烁, 此时改变频率给定, 使机组频率在 48 ~ 52 Hz 之间扰动。频率给定改变过程为: 50 Hz → 52 Hz → 48 Hz → 52 Hz → 50 Hz。相应的曲线将显示在历史趋势图中, 当空载频率扰动试验做完时, 计录最高频率、最低频率调节时间及超调量。空载频率扰动试验完成的特征是“试验进行中”按钮停止闪烁, 按钮自动变为“开始试验”。

3. 试验结果: 超调量  $< 1.2\text{ Hz}$ , 调节时间  $< 15\text{ Tw}$ , 该机组  $T_w=1.57$ <sup>[6]</sup>。

## 7 甩负荷试验

1. 调速器在负载运行工况下, 分别甩 25%、50%、75%、100% 负荷, 观察不动时间及机组频率上升值。

2. 转速或指令信号按规定形式变化, 对电调不大于 0.2 s。

3. 在做甩负荷试验时, 历史趋势图中的红色的曲线表示导叶开度随时间的变化; 黑色曲线表示频率随时间的变化。

4. 当机组做甩负荷试验时, 将机组分别负荷带到 25%、50%、75%、100%, 然后再触摸甩负荷试验画面中的“开始试验”按钮, 电厂运行人员应在 30 s 内断开发电机的出口开关, 机组进入甩负荷过程。

## 8 导叶开关机时间检测

1. 该画面为调速器导叶开关机时间校对的试验画面。全开起始开度  $Y_{max}$  与全关起始开度  $Y_{min}$  之差再乘以开度系数  $K$  必须等于 100% 的开度, 开度系数  $K$  必须是整数。

2. 一般情况下, 将  $Y_{max}$  设为 75%,  $Y_{min}$  设为 25%, 系数  $K$  设为 2, 开关机时间正好等于  $2 \times (Y_{max}-Y_{min})$  为 100% 行程的时间。导叶全开全关时间校对试验在机组压力钢管有水或无水情况下都可以进行。导叶全开时间校对: 由操作面板上电手动或在调速器机械液压机构上用机手动操作将导叶关至小于 25% 的开度以下, 按触摸屏上“开机时间测试按钮”后, 人为电手动或机手动将导叶开启到大于 75% 的开度以上, 导叶的全开时间将会自动显示在“导叶全开”记录框中, 精度为 0.1 s。导叶全关时间校对: 由操作面板上电手动或在调速器机械液压机构上用机手动操作将导叶开至大于 75% 的开度以下, 按触摸屏上“关机时间测试按钮”后, 将操作把手置电手动或机手动将导叶关到小于 25% 的开度以上, 导叶的全关时间将会自动显示在“导叶全关”记录框中, 精度为 0.1 s。

## 9 结束语

此次水轮机调速器升级改造的顺利实施, 使调速器的控制精度、响应速度和可靠性得到了提升。同时通过科学规划和优化工艺, 在改造过程中, 严格把控管路焊接、电气系统改造等关键环节质量, 确保改造工程保质保量。新调速器投入运行前, 通过全面试验验证其性能, 为水电站安全稳定运行提供有力保障。此次调速器升级改造工程, 对提高水电站运行效率、降低运维成本、适应电力系统发展需求具有重要意义, 也为该类型类调速器升级改造提供了经验及参考。

## 参考文献:

- [1] 于江波, 刘燕. 丹江口水力发电厂 3 号机组电调系统改造与技术创新 [J]. 水电与新能源, 2025, 39(10): 47-49, 86.
- [2] 梁丽红. 老旧小水电站技术改造与升级 [J]. 电力设备管理, 2025(12): 204-206.
- [3] 谢桑. 水轮机调速器硬件改造及控制模式的优化研究 [J]. 电工技术, 2024(24): 228-231.
- [4] 程俊才, 朱涛, 郝慧贤, 等. 大藤峡水力发电厂 8 号机组调速器特性试验 [J]. 水电站机电技术, 2021, 44(07): 9-11.
- [5] 同 [4].
- [6] 刘桂波. 水电站调速器改造对策分析 [J]. 水利科学与灾害工程, 2022, 05(08): 161-163.