

江苏沙河抽水蓄能电站工程机组调试的实践

刘 徽

江苏沙河抽水蓄能发电有限公司

摘要：本文叙述了江苏沙河抽水蓄能电站工程调试组织结构和调试接口分工，机组调试基本情况，以及调试过程中主要问题和经验。

1 沙河电站机电工程概况

江苏沙河抽水蓄能电站是我省第一座抽水蓄能电站，是江苏省“九五”、“十五”期间的重点工程项目。

电站装机为 $2 \times 50\text{MW}$ ，承担江苏省网的调峰、填谷等任务，需要时可承担调频和利用备用库容担任紧急事故备用。电站以一回 220kV 输电线路接入江苏省电网， 220kV 侧接线采用单母线，发电电动机和主变压器采用单元接线，发电机额定电压 10.5kV 。电站由省电网调度中心直接调度，按“无人值班，少人值守”原则设计，省电网调度中心可直接对电站进行远方控制和信息交换。

上海勘测设计研究院承担电站主体设计任务，中南勘测设计研究院承担监理工作，中国水利水电第一工程局承担机电安装工作，江苏省电力科学研究院承担机组调试工作。法国ALSTOM公司作为主机设备供应商，提供水泵水轮机/发电电动机机组及辅助设备，南京南瑞公司提供电站的计算机监控系统，全厂公用系统由国内配套。

2 调试组织结构和调试接口分工

为了保证机组的整套调试工作顺利进行，根据国家有关规定，江苏省建设厅组织成立了电站机组启动验收委员会，负责主持、决策和协调启动验收工作。委员会下设试运行指挥部，负责启动验收的日常工作。试运行指挥部由干试验部、湿试验部、验收检查部、生产准备部和综合部组成，各部按职责下设专业组。在试运行指挥部的组织下，经过多次讨论，对各单位的责任和工作进行了明确分工。

业主单位既是建设单位也是生产单位，为验收检查部、生产准备部和综合部的组长单位，全面协助试运行指挥部做好调试过程的组织管理工作；协调解决合同执行过程中的问题；负责外部联系；参加各调试阶段的检查、交接验收和竣工验收工作；做好运行设备和试运行设备的安全隔离措施；在试运行过程中，负责设备的运行操作、运行调整、事故处理和文明生产，对调试和试运行中发现的各种问题提出处理意见和建议。

安装单位为干试验的组长单位，完成调试需要的安装工程及试运行中临时设施的施工；做好试运行与施工设备的安全隔离工作；负责设备和系统安装后的辅机和设备的单体调试；试验结束后办理交接手续；配合湿试验和试运行工作，参加消缺整改。

调试单位为湿试验的组长单位，是整个调试过程的技术总牵头单位，负责编制调试大纲、干试验阶段及湿试验阶段的方案和措施；全面检查启动机组所有系统的完整性和合理性；在外方调试工程师技术指导和配合下，按合同组织协调并完成启动试运行全过程的调试工作；

负责指挥和指导运行人员操作，负责提出解决重大技术问题的方案和建议；提交调试报告。

设计单位及时完成设计修改，参与提出解决技术问题的方案和建议。

监理单位对调试进行全过程监理。

制造厂的代表按合同进行技术服务和指导，保证设备性能，及时消缺。

3 调试阶段划分及主要内容

根据《水轮发电机组起动试验规程》DL507-93、《可逆式抽水蓄能机组起动试验规程》（2000送审稿）、ALSTOM公司提供的调试大纲和有关技术文件，经过各参建单位人员的认真讨论，将机组的调试工作分为干试验、机组充水试验、机组湿试验和可靠性试运行四个阶段。

干试验主要内容有调速系统调试，主阀调试，油压控制阀调试，技术供水系统调试，检修密封调试，主轴密封系统调试，机械制动系统调试，高压油顶起装置调试，变电站调试及倒送电，发电机保护调试，励磁系统调试，SFC静态调试，计算机监控系统调试，电液调节系统调试等。

充水试验包括尾水管充水、压力钢管充水及充水平压后闸门、主阀等静水试验。

湿试验主要分空负荷试验和带负荷试验阶段。空负荷调试阶段主要有发电工况首次冲转，机组动平衡试验，机组短路试验，发电机零起升压试验，发电机-主变零起升压试验，发电机空载试验，机组自动开机试验，调速器空载试验，励磁调节器试验，发电工况假同期试验，电超速试验，转子位置检测试验，机组用SFC启动试验，水泵工况空载试验，水泵工况假同期试验，发电工况首次并网试验，水泵工况首次并网试验等。带负荷阶段主要有发电工况25%、50%、75%、100%带负荷试验，正常停机试验，快速停机试验，紧急停机试验，甩负荷试验，水泵工况带负荷试验，水泵工况正常停机、快速停机和断电试验（紧急停机试验），励磁低励限制试验，机组失磁保护试验，电气带负荷试验，工况转换试验、冗余安全停机试验等。

在完成湿试验和消缺后，进行30天可靠性试运行考核。

4 质量监督检查和整套启动验收

根据国务院令279号《建设工程质量管理条例》，由江苏省建设厅牵头，会同江苏省建设工程质量监督总站成立了江苏沙河抽水蓄能电站质量监督项目组，下设水工、机电工程和工业建筑专业组，代表政府部门进行质量监督。江苏省建设工程质量监督总站委托江苏省电力基本建设监督中心站（中心站）承担机电工程专业组的工作，中心站在广泛调研基础上，编写并组织各参建单位认真讨论通过了《江苏沙河抽水蓄能电站工程厂用电受电前质量监督检查实施大纲》、《江苏沙河抽水蓄能电站机组整套启动试运前（机电部分）质量监督检查实施大纲》和《江苏沙河抽水蓄能电站机组整套启动试运后（机电部分）质量监督检查实施大纲》。中心站在现场成立了机电工程质量监督组，现场质监组接受中心站的业务指导，根据质监实施细则和报告制度，建立质监双联网，开展日常的质监活动。

机组的检查验收和验评工作按照国家经贸委《水电站基本建设工程验收规程》DL/T5123-2000和水利部《水利水电建设工程验收规程》SL223-1999执行。根据《水利水电基本建设工程单元工程质量评定标准》SDJ249.2~6-88和《水利水电工程施工质量评定规程》（试行）SL176-1996，结合电站具体情况，经建设、设计、监理和施工单位充分讨论研究，制定了《江苏沙河抽水蓄能电站机电部分机电安装工程项目划分表》并进行质量评定。

在完成干试验和充水试验及相应的质量验评后，通过业主、设计、施工、调试、监理等单位自查和现场质监组组织预检查，并在对检查出问题进行整改的基础上，中心站应业主单位申请，组织成立了有质量监督工程师和技术专家参加的质量监督检查组，对机组进行了整套启动前质量监督检查。检查依据《江苏沙河抽水蓄能电站机组整套启动试运前（机电部分）质量监督检查实施大纲》。检查认为具备整套启动条件后，机组启动验收委员会第一次会议批准可以整套启动，即进入湿调试和可靠性试运行阶段。

在完成湿调试和可靠性试运行及质量验评后，中心站依据《江苏沙河抽水蓄能电站机组整套启动试运后（机电部分）质量监督检查实施大纲》组织进行了整套启动后质量监督检查，检查认为具备投入商业运行条件，可以移交生产。2002年8月3日和9月3日分别召开#1机组和#2机组的启动验收委员会第二次会议，批准投入商业运行日期，并举行了交接签字仪式。

5 机组整套启动试运情况

通过质量监督检查，电站#1、#2机组分别于2002年5月15日~2002年6月13日和2002年6月30日~2002年7月29日完成了30天可靠性试运行。试运行期间，机组情况如下：

水泵水轮机出力达到设计要求；调速系统运行正常，调节品质符合要求，水导轴承瓦温、水导摆度、顶盖振动、尾水管振动、推力瓦温正常，符合制造厂设计要求；水导冷却水系统、止漏环冷却水系统、主轴检修密封系统运行正常；推力循环油装置运行正常；主轴密封经改造后运行可靠；各阀门动作正常。

发电电动机定子电流、定子电压、转子励磁电流、转子励磁电压均在额定范围内；定子绕组温度、定子铁心温度、上导瓦温度、下导瓦温度、上机架振动、下机架振动、上导摆度、下导摆度正常，符合制造厂设计要求；空冷器冷却水系统正常；主变压器、励磁变、厂变运行正常，发变组系统、励磁系统符合制造厂要求；自动同期装置动作正确；各主要电气仪表指示正确，发电机变压器保护装置均能全部投入，动作正确；静止变频装置（SFC）运行正常；厂用电切换动作正确。

监控系统目前整体性能水平良好。静止至发电、静止至抽水、抽水至静止、发电至静止、快速停机、紧急停机、抽水正常转发电、安全冗余停机流程动作可靠，功能符合要求；数据采集系统符合设计要求。

可靠性试运期间，运行部门的主要数据统计记录如下：

项 目	#1机组	#2机组
发电抽水总运行小时（h）	440	287
其中：发电运行小时(h)	215	147
抽水运行(h)	225	140
发电工况启动次数	61	75
发电工况启动成功率	93.4%	93.3%
水泵工况启动次数	47	66
水泵工况开机成功率	91.5%	90.9%

试运行期间机组严格按照省调调度曲线的要求运行，满足《可逆式抽水蓄能机组起动试验规程》（2000送审稿）的要求。

6 调试中存在的主要问题

6.1 监控系统流程问题

沙河抽水蓄能电站工程是首次采用国内的监控系统控制国外进口的主机设备，其调试可以说贯穿了两台机组调试的全过程难点。设计单位与法国ALSTOM在设计联络会和监控系统三方（南瑞、设计和ALSTOM）协调会上就流程进行了初步的讨论，设计院按照ALSTOM公司提供的工程文档，并结合自身经验，参照南瑞公司有关已建成电站的流程，按国内常规的理念设计出了计算机监控系统流程图，南瑞公司组织进行了程序编写。但是到现场调试阶段，由于现场督导对流程提出了许多不同看法，在相互交换意见过程中，对用中方的监控系统控制其设备有很强的抵触情绪，外方个别调试工程师很难友好沟通，设计理念无法达到统一，调试工作进展非常缓慢。最后，业主单位下决心对流程重新进行联合设计、编程，并成立攻关小组专门负责组织协调此项工作，因中方有关单位力量的投入、外方文档完整性和及时性的欠缺，导致磨合较长，但经过几方现场技术人员的共同努力，使目前投运的监控系统整体水平良好。

6.2 #2机组上导轴承局部烧损问题

在#2机组首次手动启动期间，出现了上导瓦温异常，发电机上、下导瓦的摆度过大问题。当时，第一次启动因瓦温高停机后，中方就要求进行开瓦检查，但外方现场督导认为是上导推力油槽油位不够所致，加油后要求重新启动。因主机问题由法方负责，中方勉强同意开机。虽然后几次开机时瓦温无异常情况，中方还是强烈要求开瓦检查，并为此专门发传真至ALSTOM法国本部，法方现场督导才勉强同意开盖检查，发现10块上导瓦已全部烧损，每块烧损面积25%左右，油盆中油被磨损的巴氏合金污染。中外双方进行了认真分析，中方认为烧瓦原因为：1、推力油槽设计油位偏低；2、上导瓦油循环未良好建立；3、上导瓦摆度过大；4、大轴中心调整时，虽然保证了转轮上迷宫环间隙比较理想，但部分上导瓦与大轴轴领已无间隙，憋劲运行；5、调试时针对瓦温直线上升的情况，法方现场调试工程师不听中方现场指挥的停机劝阻，继续升速从而导致烧瓦。事发后，现场只得拔推力头、清理油系统、更换上导瓦，并根据外方提出的修改方案，现场对上导进行了改造，在#2机组试验成功后，#1机组的上导瓦也进行了改造。机组通过带负荷试验和30天可靠性试运行的实践证明，改造取得了成功，机组上导瓦温运行正常。

6.3 主阀的旁通阀及旁通管法兰漏水问题

#2机组调试期间两次发生主阀的旁通阀及旁通管法兰漏水，直接造成两台机组投入试运行的时间推迟40多天。事发后，中外双方进行了认真分析，认定ALSTOM采购的阀门制造质量有问题，责成其更换。由于考虑到设备订货周期较长，同时，为了保证两台机组尽早投入试运行，迎峰度夏，第一次漏水后，现场对密封进行了更换处理；第二次漏水后，试运指挥部决定隔离#2机组的旁通管，将主阀旁通阀送国内有资格的加工厂进行修复，待外方新阀门到现场后再进行更换。在完成#1机组30天可靠性试运行后，修复后的阀门安装结束，#2机组恢复调试并成功地通过了试运行。现场加强了对主阀旁通管的监视工作，并做好事故预想。

7 主要有益的经验

7.1 调试的组织机构和分工

试运行指挥部是调试期间的指挥机构，调试期间的活动均在其领导下进行，整个调试过程规范性运作，调试大纲经各有关单位会审，由试运行指挥部总指挥批准，主要措施也由试运行指挥部总指挥批准。调试过程中技术措施、组织措施和安全措施明确，并以书面形式规范。各参建单位的分工明确，试运指挥部下属专业组负责按分工明细表进行工作，分工明细表落实了责任单位和协作单位，措施上落实责任人。实践证明组织机构是可行的，保证了整个调试工作的有序进行。

7.2 专业调试单位

调试是机组投运承上起下的关键环节，同时也有相对的独立性。调试单位在调试和检验方面有一定权威性和专门性，设备和仪器有保证，调试工程师专业水平较高，与外商沟通能力也较强，故在沙河电站建设中，采用了调试单位承担和负责整体调试工作，这在全国水电建设工程尚属首次。实践证明，采用这种新模式对规范调试阶段运作，加大中方调试过程中的技术介入深度，掌握机组核心技术，对提高我国抽水蓄能技术有着积极的作用，同时也为机组投入商业运行后的维护提供了有力保障。

7.3 政府质检

回顾调试和建设过程，作为代表政府行使质检权力的中心站及现场机电质监组起到了积极作用。沙河电站是江苏省第一座抽水蓄能电站，参建队伍来自全国各地，工作方式和经验不同，对质量控制的认识也有一定的差异，中心站及质监组代表政府执行质量监督，是对业主负责制、监理制以及合同管理方面进行质量控制强有力的补充、支持和保证。中心站组织编写的三个大纲，在实际执行过程中，可操作性强，效果良好。

质监不仅对参建各单位进行质量监管，同时还对工程管理和技术方面提供了帮助。如在前期工作中，业主单位就抓资料规范化建设，并得到了质监方面的支持，通过多次探讨，建立了一套既符合水电建设和考虑电站实际情况的质量验收表格。在两台机组启动前、后的四次质量监督会上，中心站的技术专家均提出了一些意见和建议，并形成书面文件，对存在问题的整改起到了促进作用。

8 结语

江苏沙河抽水蓄能电站的整个调试过程中按经过批准的技术措施、组织措施和安全措施规范化进行，虽然在调试过程中遇到了一些问题和困难，投运的时间有所延误，但总体的运作是规范和有序的，整个调试工作一直处在受控状态中。本文对电站实践方面某些问题进行了阐述，供同行参考，不足之处敬请批评指正。