

大型电站水轮机、发电机、辅机联合调试实操流程

熊义刚

中国葛洲坝集团机电建设有限公司 四川 成都 610091

摘要: 水轮发电机组及配套辅机的调试工作, 直接决定大型电站机组投运后的运行稳定性与安全水平, 行业针对标准化实操流程的细化研究具备较高工程价值。文章结合大型电站机组设备构造与运行特性, 系统梳理机组调试前期筹备、单机分项调试、系统联合调试的完整实操工序, 划分不同调试阶段的作业内容与操作规范。结合现场作业场景梳理调试管控要点与隐患排查方式, 完善标准化作业体系并提出工序提质优化方式, 整套内容可以规范电站机组调试现场作业模式, 提升机组调试施工的整体质量与作业规范性。

关键词: 大型电站; 水轮发电机组; 辅机设备; 联合调试; 实操工艺

引言: 大型电站水轮发电机组属于结构复杂、联动性强的大型动力发电设备, 主机与各类辅机系统相互配合, 共同支撑电站发电工况稳定运行。调试作业作为设备安装结束、正式投运前的关键环节, 作业流程的规范性直接影响设备运行状态与机组使用寿命。不规范的调试操作容易引发设备振动超标、参数匹配失衡、运行异响等各类问题, 影响电站生产运行秩序。依托标准化、系统化的实操调试流程, 有序开展单机校验与系统联动调试, 能够有效规避设备运行隐患, 保障机组平稳投入商业运行。

1 机组联合调试基础条件与前期筹备

1.1 调试相关设备结构与工作组成

大型电站机组联合调试涉及主设备与配套辅机的完整设备体系, 各设备结构构成直接决定调试工序的布置方式。水轮机作为动力转换主体, 包含转轮、导水机构、主轴、轴承及密封构件, 负责水体势能向机械能的转化。发电机依托定子、转子、励磁装置及冷却结构完成机械能向电能的转换, 是电力生产的核心装置^[1]。各类设备依托管线、线路与控制回路形成联动体系, 不同结构承担独立运行职能。设备整体组成划分清晰, 结构衔接紧密, 任一设备工况异常都会影响整套机组的调试推进。

1.2 联合调试前置技术准备

联合调试作业启动前需完成全方位技术筹备工作, 保障调试工序有序落地。技术人员梳理机组调试对应的作业流程, 明确各阶段操作步骤与管控重点。梳理设备出厂技术资料、安装记录与设备参数台账, 掌握设备安装精度、结构参数与设计运行标准。针对不同调试环节梳理对应的技术要求, 梳理设备启停、工况调节、参数监测的操作规范。完成调试方案的细化梳理, 划分单体调试与联合调试的作业边界, 明确各类设备的调试顺序。

1.3 现场设备状态清查与核查

现场设备清查是消除调试隐患、保障作业安全的关键环节。工作人员逐一对水轮机、发电机本体结构开展外观检查, 确认构件安装到位、紧固部位无松动、结构外观无损伤。排查辅机设备的管路连接、线路接线、阀门启闭状态, 确认管线通畅、接线规整、阀门状态匹配调试工况。核对各类监测仪器、传感装置的安装位置与工作状态, 确认仪表可正常采集运行数据。

1.4 调试人员分工与作业排布

联合调试工序繁杂、涉及岗位较多, 合理的人员排布可以提升现场作业的有序性。依据调试作业环节划分岗位职责, 设置设备操作、参数监测、现场监护、隐患处置等不同岗位。明确各岗位人员的工作内容、操作权限与管控范围, 杜绝岗位重叠或管控空缺。结合调试作业时序排布人员在岗时段, 匹配设备单体调试、系统联动调试的不同作业需求。组织在岗人员开展岗前技术交底, 明确现场操作要点、作业禁忌与异常处置方式。

2 单机设备分项调试实施流程

2.1 水轮机单体设备调试操作流程

水轮机单体调试依托静态检查与机构动态测试两大环节, 依照设备结构特性分步开展现场作业。作业前期清空机组腔体内部杂物, 细致检查转轮叶片、导叶结构表面工况, 排查结构磕碰、磨损及施工遗留缺陷。逐一核查主轴轴承、密封组件与传动部件的装配状态, 确认各构件安装位置、装配精度符合作业标准。对导水机构进行多级开闭试验, 逐级切换开度档位, 观察机构运行流畅度, 核实实际行程区间。对机械制动装置进行多次投切操作, 检验制动组件的反应灵敏度与动作可靠性^[2]。全面巡检过流部件密封结构, 排查渗漏点位与密封贴合缺陷。分步落实各项检查工序, 提前排查设备潜藏故障

隐患,为后续机组联动调试筑牢设备基础。

2.2 发电机单体设备调试操作流程

发电机单体调试分为机械结构校验与电气回路检测两大模块,分层开展精细化调试作业。首先查验定子与转子的外观状态,精准测量定转子间隙均匀程度,清理铁芯、绕组表面附着的污渍与杂质,排查绝缘层破损、构件变形等问题。开展绕组绝缘电阻检测与回路通断测试,排查线路绝缘破损、接线错位等电气隐患。对励磁机构进行动作测试,检验调节部件的响应状态与操控性能。完成转子盘车作业,全程监测机组转动平稳性,捕捉运行过程中出现的异响、卡顿等异常工况。针对性修正机械装配偏差,优化机组定位参数,稳固发电机机械运转与电气运行的基础工况。

2.3 电站辅助设备分项调试流程

电站辅机系统种类繁多,是主机稳定运行的重要配套保障,调试工作按照系统分类逐项开展。润滑系统作业重点测试油泵启停性能,监测管路油压波动情况,检查油路通畅状态,及时排查管路渗漏、压力不稳等常见问题。冷却系统作业核查介质循环通畅性、设备换热效率以及管路阀门启闭可靠性,维持系统运行参数处于稳定区间。液压控制系统测试各类阀组动作状态,校验压力调控区间与管路承压性能,保证控制机构动作精准、响应灵敏。现场各类监测仪表与传感设备单独开展精度校准,修正采集基准偏差,保障机组运行数据采集精准、有效。

2.4 单机调试工序衔接与作业规范

单机调试存在清晰的工序逻辑,严格遵循合理作业顺序可以规避工序错乱引发的设备故障。现场作业坚持先完成静态隐患排查、再开展动态性能测试,先落实机械结构调试、再推进电气回路校验的作业原则,循序渐进完成各项调试内容。落实统一的现场作业标准,规范设备启停操作、参数调节方式和仪器检测流程。调试全程做好工况记录,完整留存设备运行状态与实测数据。严格遵守现场作业管控条例,规范人员操作行为,减少人为失误带来的设备损伤,保障每一项单机调试工序都可以规范、稳妥完成。

3 水轮发电机组及辅机联合调试实操工序

3.1 联合调试系统管路与回路导通检查

联合调试正式启动前,需完成全系统管路与控制回路的导通核验工作,扫清设备联动阻碍。逐一检查润滑油路、冷却水路、液压管路的安装状态,确认管路对接严密、固定牢靠。清理管路内部残留杂质,疏通阀体通道,保证介质输送通道畅通无阻。对各类管路阀门进

行档位切换测试,检验启闭动作灵活性与开关状态准确性。排查电气控制回路、信号采集回路接线情况,紧固松动接线端子,核对回路接线逻辑^[3]。完成管路耐压试验与回路通断测试,排查渗漏、断路、接触不良等隐患。确认所有管路与回路满足通导条件,为后续系统联动运行提供基础保障。

3.2 机组空载联合调试操作流程

机组空载联合调试不带外部负荷,仅完成主机与辅机系统的联动运转测试。启动辅机配套系统,维持油压、水压、油温等参数处于正常运行区间,搭建稳定的设备运行环境。缓慢开启进水机构,逐步提升机组转速,观察水轮机与发电机运转状态。监测机组转动过程中的振动、摆度、温度等关键运行参数,记录设备运行过程中的异常声响与工况波动。调试励磁系统空载投入效果,核对电气参数输出稳定性。调整导叶开度参数,适配机组额定转速标准,校验调速系统调控灵敏性。依据设备运行表现微调配套辅机运行参数,让各系统工况相互匹配。

3.3 机组带负荷联合调试操作流程

机组带负荷联合调试在空载调试合格后开展,逐步叠加运行负荷检验机组适配性能。按照分级升荷原则稳步增加机组输出负荷,每一级负荷稳定后留存对应运行数据。持续监测主机设备振动、温度、摆度等机械指标,观察辅机系统介质压力、流量、温度的变化规律。核查调速系统、励磁系统在负荷变动过程中的调节性能,捕捉参数波动偏差。排查管路、设备在带压带负荷工况下的渗漏、松动等问题。针对性调整设备运行参数,优化系统匹配状态,让机组可以稳定承接不同层级运行负荷,适配实际生产运行需求。

3.4 全系统联动运行状态调校工序

全系统联动调校针对机组多工况运行状态开展精细化调整,优化整套设备的运行协调性。结合空载、带负荷不同运行工况,梳理主机与辅机系统的参数匹配规律。微调调速系统响应参数、励磁调节参数,缩小工况变动带来的参数偏差。修正辅机系统运行设定值,适配主机不同运行阶段的工况需求。检查全系统保护装置动作逻辑,核验工况异常时的设备响应能力。持续优化设备运行工况,消除联动过程中的参数偏差与运行不稳问题,让整套机组保持平稳、规范的联动运行状态。

4 联合调试质量管控与作业规范优化

4.1 调试全过程工序管控要点

机组调试工序繁杂、设备联动性强,全程质量管控需要落实到每一项实操环节。作业开展期间严格遵循既

定调试顺序,恪守先检查、后启动,先静态、后动态的作业原则。细化各工序管控重点,前置阶段重点核查设备安装状态、管路回路通断情况,杜绝带隐患开展调试作业。动态调试阶段重点盯控机组转速、设备温度、振动摆度、介质压力等关键参数,保证参数波动维持在合理区间。规范现场操作行为,严控设备调节幅度、启停节奏,杜绝粗放式操作引发的设备异常^[4]。做好各工序衔接管控,上一环节作业达标后,方可推进下一阶段调试内容,搭建连贯有序的全过程管控模式。

4.2 调试过程常见隐患排查方式

机组调试工况动态变化频繁,设备运行易出现各类隐性、显性隐患,针对性排查方式可有效规避作业风险。针对机械类隐患,重点排查机组运转异响、结构振动异常、管路渗漏、部件松动等问题,依托现场目视检查与仪器监测完成隐患识别。针对电气类隐患,聚焦回路接触不良、参数偏移、信号异常等情况,通过电气检测设备核验回路与控制系统运行状态。针对系统匹配类隐患,观察主机与辅机参数适配情况,捕捉负荷变动、工况切换过程中出现的调控滞后、参数失衡等问题。对排查发现的各类隐患分类登记,落实针对性处置手段,彻底清除调试作业中的安全与质量隐患。

4.3 调试作业标准化规范完善

标准化规范是保障机组调试质量稳定统一的核心支撑,现场作业实情持续变动,对应的作业标准需要持续细化完善。梳理现有调试作业流程,补齐工序操作中的规范漏洞,明确各岗位操作细则、参数调控标准与作业禁忌。统一数据记录规范,明确调试数据的记录维度、精度标准与填报要求,保障调试资料完整、真实、规范。细化异常工况处置规范,明确各类设备故障、参数超标问题的处置流程与操作标准。完善现场安全作业规范,细化设备启停、高空作业、设备检测等场景的作业要求,约束全员操作行为,让全部调试作业均可依据标准落地执行。

4.4 调试工序优化与作业提质路径

电站机组调试具备独特的现场作业特征,针对性优化调试工序能够稳步提升作业质量与作业效率。精简冗余重复的调试环节,整合相近检测项目,合理压缩无效作业时长。细化不同工况下的调试侧重点,针对空载、带负荷、工况切换等不同运行状态,设置差异化调试内容与检测频次。更新老旧调试手段,依托精准检测设备提升参数采集精度与隐患识别能力^[5]。归纳现场调试实操经验,梳理高频问题产生原因与处置方式,形成适配机组运行特性的调试方案。持续细化岗位作业标准与考核要求,推动现场作业规范化落地,全面提升机组调试整体作业质量。

结束语

系统梳理大型电站水轮发电机组及配套辅机的全套调试工序,厘清前期筹备、单机分项调试、系统联合调校的完整作业逻辑,明确各施工环节的实操要点与工序衔接标准。结合现场调试高频隐患类型,归纳适配性较强的排查手段与全过程管控方法,搭建贴合现场实际工况的标准化作业体系。弥补传统调试模式存在的流程短板,优化现场施工工序与实操方式,有效提升调试工作的规范性与精准程度,为大型电站机组平稳投运、长效稳定运行提供扎实的实操技术支撑。

参考文献

- [1]李宜.某水轮发电机出口断路器操动机构故障原因分析[J].电气技术,2025,26(4):61-64,72.
- [2]刘绍勇,罗金文,阎对丰,等.水电站发电机断路器频繁操作对其性能影响分析[J].电器工业,2026(4):11-18.
- [3]豆松涛,罗远旺,赵相洪,等.百万千瓦水轮发电机组启动试验操作经验探讨[J].长江技术经济,2024,8(2):92-96.
- [4]齐素杰.岩滩水电站发变组断路器操作机构与保护操作箱接线问题探究[J].中国水能及电气化,2026(1):50-54.
- [5]金海霞.优化水轮发电机组开停机操作流程增加发电量的措施[J].云南水力发电,2022,38(11):234-237.