

升压站机电设备安装调试的精细化管理实践

王显鹤

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450000

摘要：国家电投集团广西电力有限公司2021年新能源EPC总承包项目，覆盖桂林、梧州等8县区，总投资190.8亿元，含10个光伏、17个风电及1座储能项目。国内首创“伙伴EPC”模式，由中国电建十一局与中国能建广西院联合实施。项目被列为广西壮族自治区2021、2022年重大项目建设名单，助力“双碳”目标及“2035一流战略”实施。项目建造面临地域跨度广、工程数量大、战线长、系统管理难、建造升压站数量多等问题。针对升压站机电设备的安装与调试，传统的粗放型管理方式存在流程不明确、标准不统一、职责划分不明确、过程管控滞后等诸多问题，已很难满足当前建设对质量、效率和安全等方面的多元需求。在这样的大环境下，“精细经营”的概念逐渐被引进到了实际工作中。通过构建完整的过程控制系统，细化技术规范，引进数字化监测方法，加强员工协作，达到精确控制安装精度、调试效率和可溯源性。通过精细的管理方式，可以减少设备的故障发生风险，提高升压站的安全运行能力。

关键词：升压站；机电设备；安装；调试；精细化管理

在新能源工业迅猛发展和智慧新能源建设背景下，升压站作为电能汇集、转换和传输的关键环节，变得越来越重要和复杂。机电设备作为升压变电站的主体，由变压器、GIS组合电器、高压开关柜、控制系统等组成，其安装与调试是多个专业协作、高精度操作和严格的安全规程，稍有差错就会导致设备损坏、工期延误，甚至造成电网事故，所以对其管理方式的高水平要求远远超过常规项目。精细化管理通过标准化、流程化和数据化的方式，把管理分解到每一个工序和每个节点，这不但可以帮助提高项目的质量和安全性，还可以为电力行业的管理创新和提高效率 and 智能化发展奠定坚实的基础。

一、升压站机电设备安装调试管理精细化转型必要性

（一）升压站机电设备管理的需要

升压站机电设备的特点和运行环境，对常规的施工管理方式提出了新的挑战。从技术层面来看，其核心装备表现出明显的复合特性：比如变电器作为能量变换关键部件需要在110~500 kV高压下达到 $\pm 0.5\%$ 的变比，设备本身的绝缘电阻要稳定在1000 M Ω 以上，粉尘吸附或装配倾斜角度变化（大于0.5‰）都有可能触发局部放电；GIS开关组件采用模块化的方式，将高压开关、母线和互感器一体化配置，对表面的平整程度要小于0.05mm，其测量的准确性与设备的使用寿命有着密切的关系。高压高精度多系统耦合的特点决定了设备的安装

与调试需要保持精准^[1]。

（二）传统管理方式的弊端凸显

传统的经营方式所显现出的制度弊端越来越明显。由于过程不明确而造成的工艺连接壁垒特别明显：在设备的进场验收和地基建设之间没有明确的分界，经常会发生GIS装置到达之后才知道预埋件的位置偏离值超过规定的情况。由于在变压器上加油后，由于二次电路没有完全补全，所以在施工过程中职责划分不清，造成了对绝缘强度的直接影响。由于标准分解引起的品质变动：各建筑小组对于“洁净达标”的判断有分歧，有些小组认为没有任何异物，忽视了ISO 14644-1中8个洁净车间的要求。在进行定值校核时，由于对容许偏差的理解不同，会造成同一项工程中发生 $\pm 5\%$ 和 $\pm 2\%$ 的双重准则^[2]。人为控制的缺陷表现在流程可追溯性方面：由于保存不当，纸张记录容易损失重要信息，手工签名很难对其进行精确的追踪，在GIS泄漏事故发生后，很难迅速确定是否存在密封的问题或安装力矩不够。

（三）电力行业对精细化转型的内在需求

对机电设备安装调试精细化管理转变的动力来自工业内部的发展需要和外在的约束。新能源和智慧电网的发展对升压站的可靠度提出了更高的要求：风电升压站需要承担超过30%的负载变动，而光伏发电系统又要面对由白天到夜晚的温度差异引起的设备应力突变，需要机电设备保证-30~50℃的年可用率达到99.99%，而常规

运行方式下的1.5%的调节精度已经不能适应电力系统的稳定运行需求。《建设工程质量管理条例》将设备的安装和调试工作列入“终身责任”范畴，提出了“可追溯、可验证、可追究”的新思路^[3]。

二、升压站机电设备安装调试的精细化管理的具体措施

(一) 配备完善的精细化管理团队和技术支撑体系

1. 精细化团队管理

实现精细化管理，首要依靠的是系统的组织架构和设备资源系统。精细化管理团队通过职责划分和规范化的资源控制来完成管理工作。项目建设需要按照“专业互补，权责闭环”的理念，设置技术负责人、安全监督员、质检专员和统筹专员等骨干职位，构建全方位的控制网络。技术负责人需要有5年以上升压站机电设备现场调试工作经历。安全监督员根据DL5009.3规定，对施工过程中的SF₆（临界值不超过1000 μ L/L）和起重设备的力学应力进行实时监测^[4]。质检人员负责编制“三检制”台账，对各工艺过程的检测资料（例如GIS气密性测试曲线，变压器直流电阻）进行数字化归档；统筹专员要对设备的进入时间和施工的衔接进行规划，利用BIM协作平台，实现土建、电气、控制三个专业之间的进度配合，防止设备的闲置和工序中断。

2. 精细化管理技术支撑

精细化管理的技术支撑采用数字监测技术，建立透明管理网络，实现了设备的安装和调试。建筑信息模型技术通过对GIS设备进行3D建模，在项目前期进行多个学科的相互碰撞探测，预先识别出管线之间的空间矛盾，及时调整设备的线路布局。通过模拟计算，实现了对2装备吊装过程中不同位置的合理布置，保证了装备的吊装过程中应力的均衡分配。通过建模和施工过程的实时对比，实现施工过程的可视化，实现施工过程中的延迟时间的自动报警。利用物联网技术对装备进行“实时感知和报警”。在GIS装备上，配置温度和湿度（±0.5℃，±2%）和微型压差传感器，对室内的空气进行连续监测，在湿度高于80%时，启动除湿系统。在变压器加油过程中，采用压力传感器，对其进行了现场测量，以保证其满足技术指标的5Pa。其中，将振动传感器（10 kHz）埋入核心装备底座，以获取装配状态下的不正常振动信息，从而有效防止螺钉拧紧时由于冲击而造成的螺钉损坏。

(二) 机电设备安装流程的精细化管理

升压站机电设备安装的精细化管理核心在于对安装

流程的精细化管控。从设备的采购到安装的整个过程中，进行全周期的管理，需要用标准化的作业来达到对整个过程的精确控制，为后续设备调试环节和设备的使用打下良好基础。

1. 机电设备进场验收环节的精细化管理

为了保证后续的安装调试工作能够顺利进行，必须依靠数字技术和标准过程来保证合格设备进场。在安装之前，要做好所有的准备工作，以保证升压站的施工质量，提高设备的安装效率。首先要保证电器和零部件的质量，对电气、零配件进行全面的验收，对各种电气、零配件进行质量检验^[5]。三维建模预校验以BIM为基础，在设备进场之前，将升压站所需的GIS组合电器、变压器、升压器等设备的三维模型按照一定的精度传输至BIM平台，实现对结构布局的整体撞击检验，主要检查各种设备和预埋件的位置误差有无超标，设备和防火墙、防护栏等设备之间的安全间距有无达到标准，设备和电缆夹层、走廊等空间之间的间隙，能否满足设备的安装和维护需要。针对探测到的空间矛盾，将实时形成详尽的可视化报表，协同设计者做出有针对性的修正，避免出现源头上的设备错误配置问题。机电设备出厂前要按照规范的“三查四验”程序进行检查。通过特殊的照明设备，对设备的各个部分进行详细的检测，其中有变压器油箱焊缝的密封性，GIS设备瓷套管的表面光洁度，高压开关柜柜门的平整度，升压器壳体的整体质量。根据包装清单，对各种装备的配件进行了详细的检查，例如，GIS的SF₆气体密度继电器、变压器的吸湿器、升压器的制冷系统等，都要按照包装清单进行核对，确保其规格和规格都符合设计的要求。

2. 机电关键设备的安装指标进行精细化控制

针对关键装备的关键技术指标，建立“参数量化-运行规范化-流程溯源”的系统，实现装备装配过程的精细化控制。在施工过程中，采用“三步法”，即在基础找平时采用高精密度水准计，保证线路的横向误差符合规范，并保证各测点数目符合设计标准。在清洁的条件下，对变压器本体进行全面的检验，并通过专门的测试手段对变压器本体的绝缘状况进行检验，并对垫片的压紧力等重要参数进行了详细的记载。注油工艺采用真空过滤器进行闭环控制，对真空度、注油率等进行严密的控制，并对其中的水分含量进行监控，以保证满足规范要求。升压器的安装要注意与周围的配套设施配合，在安装之前要精确地对齐基础，保证水平面的水平偏差在可接受的限度内。在与其他装置的连接过程中，要严格

遵循设计图及技术规范，确保接头处的密封及牢固程度，以免由于接线错误而降低了能量转化效率。重点加强升压器的散热系统安装，保证其安装位置和连接方式符合相关标准，保证散热能够符合设备的使用要求。实现GIS装置的高精度对接控制：利用激光平整度探测器对接口进行表面处理，保证法兰表面的平整度达到严格的要求。清洗箱清洗应采用指定级别的无尘抹布，并按照清洗工具的要求进行清洗。螺栓拧紧时，使用高精密度力矩钳，按“对角分步”原理进行转矩作用，使螺丝最后转矩处于预定范围内，同时对各螺钉拧紧角度进行实时测量。在设备安装完毕之后，马上进行气密性测试，使用高灵敏的测试设备，保证在保压时间内的气压下降不超过容许值，通过之后，通过粘贴条码的状况标志，将其与实时测试的资料相结合，实现对整个装置安装环节的可追踪^[6]。

（三）机电设备调试环节的精细化控制

升压站的机电设备功能是否满足要求，需要对其进行科学分级控制和精确的参数调试，以达到从单个装置操作到多个系统协作的全尺度校验。

1. 分系统调试

分系统调试需要按照“单独的单元校验—逐一的功能校验—精确的参量校验”的流程进行，以保证各个分系统都达到预定的要求。二次回路调试时，应选择2500 V（准确度 $\pm 5\%$ ）兆欧表进行绝缘试验，在室温 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 75\%$ 的情况下，连续一分钟后，需要将其读数平稳地保持在10 M Ω 或更高，并且极化指标（60s/15s的电阻之比）大于1.5。保护定值的调试按照电力系统的调度规则进行，由继电保护测试器来进行，用来对过流、速断、差动等保护的操作值和返回值进行检验的，误差不能大于设定值的 $\pm 2\%$ ，并且将每一个保护的操作延迟（在20ms以内）都要进行记录。

2. 联动调试

进行联动调试需要构建与实际情况相接近的机电设备运行环境，通过数字模拟平台，建立机电设备在各种工况（包括负载突变、设备故障、电网干扰等）下的状态，对设备运行参数进行调整。高压断路器的分合闸的响应时间控制在1秒以内，对遥控系统调试偏差不得超过0.5%，对遥信状态的正确率要达到100%。联锁逻辑校验采取“双向校验”方式，对常规运行（例如GIS和地线的机械联动）进行正向检验，逆向仿真误动作（比如加载拉开断路器），实现500ms以内的“硬闭锁”，尽量减少危险工况。

3. 调试质量追溯

为了实现设备调试的可溯源性，需要构建完整的、有组织的电子日志系统。本记录簿中应当包括设备唯一编码、调试周期、环境参数（温湿度、气压）和关键试验资料（例如：变压器的直流电阻不平衡率、GIS回路电阻、升压器的变比偏差），对故障过程记录进行客观描述（如故障时的当前电压值）、系统分析原因（包括理论分析和波形图）、整改措施（如回路配线修正工艺）、记录检验结果（复查参数与标准差），并附上检验设备校验证明号码。不合格品的处置按照闭环管理程序进行：一旦出现异常，马上用红色标示板进行定位，并同时记录故障级别（A是危急故障、B是严重故障、C是普通故障）；由各专业团队于24个小时之内，对事故原因进行详细的剖析，并出具相应的理论推导和测试数据。

结束语

升压站机电设备安装调试的精细化管理需要以标准化管控、技术赋能和闭环溯源为手段，建立涵盖“安装—调试—运行”的高品质保证体系，保障升压站机电设备的装配和调试过程的质量。从设备进场的精确校验到装配过程的毫米尺度管控，从分系统的调试参数校准到逻辑闭环的联动校验，各阶段的定量准则和职责定位，大大提高了设备的可靠度和系统的协同性，降低设备后续运行的故障风险，在国家电投集团广西电力有限公司2021年新能源EPC总承包项目中实施运用，为新能源接入和智慧电网的提升提供了强有力的支持。

参考文献

- [1] 王鹏. 风电场升压站工程电气设备安装质量控制思路构建研究[J]. 中国设备工程, 2024, (S2): 274-276.
- [2] 张小龙. 探究风力发电项目升压站电气设备的安装、调试及管理[J]. 电气技术与经济, 2023, (04): 156-158.
- [3] 沈建全, 路旭阳, 徐志飞, 叶兆艺, 王欣怡. 陆上升压站电器设备安装施工关键技术研究[J]. 水电与新能源, 2023, 37(03): 22-25.
- [4] 郑树国. 风力发电项目升压站电气设备的安装调试及管理[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(S2): 83-85.
- [5] 史波. 风力发电项目的升压站电气设备维护分析[J]. 集成电路应用, 2021, 38(10): 178-179.
- [6] 刘锐. 风力发电项目升压站电气设备的安装调试研究[J]. 中国科技投资, 2021, (24): 149+157.