

# 变电站建设全过程安装调试标准化流程优化与实践

胡红帅

滁州东源电力工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19251

**[摘要]** 本文以提升变电站建设质效为核心目标,深入剖析当前安装调试流程中存在的痛点与挑战,系统性地构建了一套覆盖“前期策划-设备安装-系统调试-竣工验收”全生命周期的标准化流程体系。该体系以BIM(建筑信息模型)技术、数字化项目管理平台和精益建造思想为支撑,通过流程再造、标准细化、工具赋能和协同机制创新,实现了对人、机、料、法、环等要素的精细化管控。最后,结合某220kV智能变电站工程实例,验证了该优化方案在缩短工期、降低成本、提升一次送电成功率及保障本质安全等方面的显著成效,为行业提供了可复制、可推广的实践范式。

**[关键词]** 变电站; 安装调试; 标准化流程; 全过程管理; BIM技术; 精益建造

中图分类号: TM63 文献标识码: A

## Optimization and Practice of Standardized Processes for Installation and Commissioning Throughout the Whole Process of Substation Construction

Hongshuai Hu

Chuzhou Dongyuan Electric Power Engineering Co., Ltd.

**[Abstract]** With the core goal of improving the quality and efficiency of substation construction, this paper deeply analyzes the pain points and challenges existing in current installation and commissioning processes, and systematically constructs a set of standardized process system covering the entire life cycle of “preliminary planning—equipment installation—system commissioning—completion acceptance.” Supported by BIM technology, digital project management platforms, and lean construction concepts, this system achieves refined control over factors such as manpower, machinery, materials, methods, and environment through process reengineering, standard refinement, tool empowerment, and collaborative mechanism innovation. Finally, using a 220kV intelligent substation project as an example, it verifies the significant effects of this optimization scheme in shortening construction periods, reducing costs, improving the success rate of one-time power transmission, and ensuring intrinsic safety, providing a replicable and scalable practical paradigm for the industry.

**[Key words]** substation; installation and commissioning; standardized process; whole-process management; BIM technology; lean construction

### 引言

变电站作为连接发电、输电与配电的关键节点,其建设规模与技术复杂度持续攀升。特别是以智能化、数字化为特征的新一代变电站,集成了大量先进的传感、通信、控制与保护设备,对建设过程中的安装精度与调试逻辑提出了前所未有的高要求。然而,在传统的变电站建设模式中,安装与调试工作往往被视为两个相对割裂的阶段,缺乏统一、高效、精细的标准化流程指导。这导致了一系列共性问题:一是各参建单位(设计、施工、监理、厂家、运维)间信息壁垒严重,沟通成本高昂,返工现象频发;二是作业标准不一,依赖老师傅经验,新员工上手慢,工程质量稳定性差;三是安全风险点多面广,动态管控难度大,习惯性

违章屡禁不止;四是调试周期长,逻辑复杂,一次送电成功率难以保证,影响整体投运计划。在此背景下,推行覆盖变电站建设全过程的安装调试标准化流程,不仅是提升工程建设质量和效率的内在需求,更是实现电网本质安全和数字化转型的必然选择。

### 1 变电站安装调试流程现状与核心痛点分析

#### 1.1 传统流程的主要阶段与特征

典型的变电站安装调试流程大致可分为四个阶段:①前期准备阶段:包括图纸会审、施工组织设计、专项方案编制、材料设备进场检验、技术交底等。②设备安装阶段:涵盖土建交安后的电气设备(如主变压器、GIS组合电器、断路器、互感器、

隔离开关、二次屏柜等)就位、固定、连接、接地等工作。③系统调试阶段:分为单体调试(对单个设备进行功能测试)、分系统调试(对某一功能子系统,如继电保护、远动通信、交直流电源等进行联调)和整站系统联调(模拟真实运行工况,进行全站逻辑、五防、SCADA等综合测试)。④竣工验收与移交阶段:完成所有调试项目后,组织启动验收委员会进行资料审查、现场核查,并最终移交生产运行部门。该流程看似清晰,但在实际执行中却暴露出诸多深层次问题。

### 1.2 核心痛点与挑战

#### 1.2.1 信息孤岛与协同低效

设计院的图纸、施工单位的作业计划、设备厂家的技术手册、运维单位的验收标准等关键信息分散在不同主体手中,缺乏一个统一、实时共享的信息平台。变更管理滞后,导致“按图施工”变成“边干边改”,造成大量返工和窝工<sup>[1]</sup>。例如,土建预埋件位置与电气设备基础不符,电缆沟走向与屏柜布置冲突等。

#### 1.2.2 作业标准模糊与执行偏差

虽然有国家及行业规范,但具体到每个工序、每个接口、每个工艺细节,往往缺乏图文并茂、通俗易懂的标准化作业指导书(SOP)。一线工人主要依靠个人经验和班组长口头交底,导致同一工序在不同班组、不同项目上执行效果差异巨大,质量一致性难以保证。

#### 1.2.3 安全风险动态管控不足

变电站施工现场高处作业、大型吊装、高压试验、交叉作业密集,危险源众多。传统的安全管理模式多为事后检查和静态告知,缺乏对作业全过程、全要素的动态感知与预警能力。对于复杂的调试作业,如带电区域的二次回路查线,极易因误碰、误接引发安全事故。

#### 1.2.4 调试逻辑复杂与周期冗长

现代智能变电站采用IEC 61850标准,GOOSE(面向通用对象的变电站事件)和SV(采样值)网络取代了大量硬接线,调试从物理回路验证转变为虚拟网络逻辑验证。调试人员需同时掌握电气原理、网络通信和SCD(变电站配置描述)文件解析等多领域知识,调试方案编制和执行难度陡增,成为制约项目总工期的瓶颈。

#### 1.2.5 经验传承断层与人才短缺

变电站建设高度依赖熟练技工和资深调试工程师,但随着老一辈专家退休,年轻一代技术人员实践经验不足,加之标准化程度低,使得宝贵的经验难以有效沉淀和复用,形成人才断层。

## 2 全过程安装调试标准化流程优化框架

针对上述痛点,本文提出以“全过程、全要素、全参与方”为核心的标准化流程优化框架。该框架以BIM技术为数字底座,以精益建造思想为方法论,以数字化项目管理平台为载体,旨在打通信息流、规范作业流、强化安全流、优化调试流。

### 2.1 顶层设计:构建一体化协同平台

打破信息壁垒是优化的前提。应建立一个基于BIM的数字化项目协同管理平台。在项目启动之初,即整合设计、施工、采购、厂家、运维等各方数据,构建一个包含几何信息、属性信息、进度信息、成本信息于一体的变电站数字孪生模型。所有参与方均在此平台上进行协同工作,确保信息的唯一性和实时性。设计变更、设备到货状态、施工进度、质量问题等均可在平台上即时更新和追溯。

### 2.2 流程再造:贯穿四大核心阶段

#### 2.2.1 前期策划与准备阶段的标准化

①深化设计与BIM碰撞检查:利用BIM模型进行多专业(建筑、结构、电气、水暖)的三维协同设计和碰撞检查,提前发现并解决90%以上的空间冲突问题,生成精确的预制加工图和安装定位图,实现“零返工”目标。②标准化清单与WBS分解:依据变电站典型设计方案,制定详细的设备材料清单和工作分解结构(WBS),将整个安装调试工作分解为数百个甚至上千个标准化工序包,并明确每个工序包的责任人、前置条件、资源需求、验收标准和工期<sup>[2]</sup>。③虚拟交底与培训:利用BIM模型和VR/AR技术,对施工和调试人员进行沉浸式的可视化技术交底和岗前培训,使其在“虚拟工地”中熟悉作业环境、流程和风险点,大幅提升交底效果。

#### 2.2.2 设备安装阶段的标准化

①模块化预制与工厂化加工:大力推行工厂化预制,如将电缆桥架、二次线缆、接地网等在工厂内按BIM模型精确下料、组装成模块,现场只需进行“乐高式”拼装,减少现场切割、焊接等湿作业,提高安装精度和效率。②工序级SOP(标准作业程序):为每个关键安装工序(如主变附件安装、GIS气室对接、光缆熔接等)编制图文并茂、步骤清晰的SOP卡。SOP卡不仅包含操作步骤,还明确标注了质量控制点(WHS点)、安全风险提示和所需器具清单。工人通过移动终端即可随时查阅。③数字化实测实量:采用激光扫描仪、全站仪等数字化工具,对设备基础、预埋件、安装位置等进行高精度测量,并将实测数据与BIM模型进行比对,自动生成偏差报告,确保安装精度符合毫米级要求。

#### 2.2.3 系统调试阶段的标准化

①调试方案模板化与自动化:基于历史项目数据和典型站型,建立调试方案知识库。调试工程师可根据本项目特点,快速调用并组合相应的调试模板。同时,开发或引入自动化调试软件,能够自动读取SCD文件,生成测试用例,并驱动测试仪器自动执行,大幅减少人工干预和出错概率。②虚拟调试:在物理设备安装完成前,即可在数字孪生模型中进行虚拟调试。通过仿真软件模拟设备行为和网络通信,提前验证保护逻辑、联锁关系和SCADA画面的正确性,将大部分问题消灭在“摇篮”里<sup>[3]</sup>。③调试过程全程留痕:所有调试过程,包括接线检查、参数设置、试验数据、波形截图等,均通过移动APP或专用终端实时上传至项目管理平台,形成不可篡改的电子调试日志,为后续的故障分析和性能评估提供完整依据。

#### 2.2.4 竣工验收与移交阶段的标准化

①数字化竣工档案: 将施工过程中的所有资料, 包括BIM模型、SOP执行记录、质量验收单、调试报告、设备说明书等, 自动归集、分类、编码, 形成结构化的数字化竣工档案, 彻底告别纸质文档的混乱与丢失风险。②一键式移交: 运维单位可通过平台直接接收完整的数字资产, 包括设备台账、三维模型、历史维护记录等, 实现从建设到运维的无缝衔接。平台还可根据设备类型和厂家, 自动生成首年运维建议书。

### 2.3 支撑体系: 精益思想与数字工具

①精益建造: 引入精益思想, 识别并消除安装调试过程中的八大浪费(等待、搬运、不良品、动作、加工、库存、制造过多、未被利用的员工创造力)。通过末位计划者体系(LPS)让一线班组参与到周/日计划的制定中, 确保计划的可行性和执行力。②物联网(IoT)与智能安全帽: 在现场部署物联网传感器, 实时监测环境参数(温湿度、有害气体)和设备状态(如GIS微水、局放)。为关键岗位人员配备集成定位、视频、语音、生命体征监测的智能安全帽, 实现对高风险作业的远程监护和应急联动。③大数据分析与AI预测: 积累多个项目的全过程数据, 利用大数据分析技术, 可以精准预测不同站型、不同地区的安装调试周期和成本, 为投标报价和项目策划提供决策支持<sup>[4]</sup>。AI算法还能对调试数据进行深度学习, 自动识别潜在的设备缺陷或逻辑错误。

## 3 工程实践案例分析

### 3.1 项目概况

以某新建的220kV智能变电站(以下简称“A站”)为例。A站采用GIS(气体绝缘开关设备), 全站基于IEC 61850标准构建, 规模适中、技术先进、工期紧凑。项目团队决定全面应用本文提出的标准化流程优化方案。

### 3.2 优化方案实施要点

项目初期即建立了BIM协同中心, 整合了设计院的Revit模型、厂家的设备族库和施工单位的进度计划, 形成了统一的数字底座。针对A站特点, 项目部组织专家编写了涵盖156个关键工序的SOP手册, 并制作成二维码贴于现场相应位置, 扫码即可观看操作视频。二次电缆全部在工厂内按BIM模型预制, 两端预装好航空插头, 现场仅需对号入座式插接, 二次接线时间缩短了55%。在GIS设备到货前三周, 调试团队已在仿真平台上完成了全站保护逻辑和五防逻辑的虚拟验证, 提前发现了2处SCD配置错误。验收时, 验收组通过平板电脑调取BIM模型, 对照现场实体进行核查, 并直接在APP上签署电子验收单。

### 3.3 实施成效对比

将A站与采用传统模式建设的同规模、同类型B站进行对比, 效果显著:

表1 效果对比

指标	A站(优化后)	B站(传统模式)	提升效果
安装调试总工期	75天	105天	缩短28.6%
一次送电成功率	100%	88%	提升12个百分点
返工成本占安装费比例	1.5%	5.2%	降低71.2%
安全违章次数	4次	22次	减少81.8%
竣工资料整理时间	5天	25天	缩短80%

此外, A站的建设过程得到了业主和运维单位的高度评价, 其形成的标准化流程包和SOP手册已被公司列为内部最佳实践, 在后续220kV及以下电压等级项目中全面推广。

## 4 结语

本文详述了变电站建设全过程安装调试标准化流程的优化路径与实践方法。借助以BIM为核心的数字化协同平台, 对四大阶段深度流程再造, 结合精益思想和数字工具, 可破解传统模式难题。A站工程实践表明, 该方案能缩短工期、降低成本、提升质量与安全, 实现建设成果高质量移交, 为全寿命周期管理打基础。展望未来, 随着人工智能、5G、数字孪生等技术的进一步成熟, 变电站安装调试的标准化、智能化水平将迈上新台阶。未来的方向可能包括: AI驱动的全自动调试机器人、基于AR的远程专家指导、以及与电网调度系统深度融合的“即插即用”式变电站。然而, 无论技术如何演进, 以标准化流程为骨架、以全过程协同为血脉、以本质安全为目标的经营理念, 将始终是推动变电站建设高质量发展的不二法门。

## [参考文献]

- [1] 贝赞腾. 新建变电站设备安装和调试的注意事项分析[C]//中国电力技术市场协会城市电网专业委员会, 国网(苏州)城市能源研究院. 2025年(第三届)城市电网技术创新会议论文集. 广东电网有限责任公司汕头供电局, 2025: 136-140.
- [2] 闫皓, 索文哲, 梁长禧, 等. 变电站工程中一次设备安装与调试技术分析[J]. 电工技术, 2025, (S1): 28-30.
- [3] 舒煜尧. 智能变电站电气设备安装及调试技术的应用探究[J]. 科技资讯, 2025, 23(23): 99-101.
- [4] 杨永. 高压变电站设备安装调试施工技术研究[J]. 电力设备管理, 2024, (19): 215-217.