

# 变电站土建与电气安装协同施工技术研究

理永杰 牛 杰

河南送变电建设有限公司 河南 郑州 450000

**摘 要:**变电站建设涉及土建工程与电气安装两大专业体系,二者在工序衔接、空间利用、资源调配及安全管控等方面存在深度耦合关系,然而现行施工管理中普遍存在的专业割裂现象,已成为制约工期、影响质量、推高成本的关键症结。本文从协同施工的理论内涵出发,系统分析了变电站土建与电气安装之间在工序逻辑、预埋预留精度、交叉作业空间以及信息传递四个维度的协同需求,进而提出以联合进度计划编制、BIM模型协同深化、接口标准清单化及动态协调机制为核心的技术体系。研究表明,协同施工的本质并非简单的工序压缩或并行作业,而是通过构建统一的信息载体与决策框架,将两个专业的施工行为转化为相互适配而非相互掣肘的整体节奏。旨在为变电站工程实现工期优化与质量提升的双重目标提供系统性的方法论支撑。

**关键词:**变电站;土建施工;电气安装;协同施工;接口管理

## 引言

变电站作为电力系统中变换电压、汇集电流、分配电能的核心节点,其建设质量直接关乎电网的安全稳定运行。在变电站工程实践中,土建施工与电气安装是两条并行的主线任务——前者负责建构筑物基础、构支架、电缆沟、设备基础等实体空间的营造,后者承担一次设备、二次设备、母线系统及接地装置的安装调试。二者虽然在专业分工上泾渭分明,但在施工时序、空间占用、资源需求及质量验收上却高度交织。然而,长期以来,变电站施工组织普遍采取“土建先行、电气后进”的串联模式,甚至在不少项目中,两个专业分别由不同分包单位实施,各自编制进度计划、各自安排作业面、各自进行质量检验,相互之间仅通过简单的交接节点实现“握手”。这种粗放的衔接方式导致了大量问题:预埋件位置偏差导致设备无法就位、电缆埋管堵塞造成穿线困难、土建滞后压缩安装工期而引发赶工降效、交叉作业期间安全风险骤增等。近年来,随着电网建设规模的持续扩大和建设窗口期的逐步收紧,建设单位对缩短工期、降低成本、提升质量的要求日益迫切,传统的串联割裂模式已难以为继。在此背景下,“协同施工”作为一种统筹多专业、多资源、多工序的系统化管理理念,逐渐受到业界关注。

## 1 协同施工的理论基础与变电站工程特征

### 1.1 协同施工的概念内涵

协同施工,作为一种现代工程管理理念,其理论根基可追溯至系统论与控制论的交叉地带。它不满足于简单的工序衔接或信息通报,而是追求在多专业并行作业的条件下,通过主动的信息共享、资源调配与决策联

动,使各施工行为在时间和空间维度上形成有序且高效的组合状态。具体而言,协同施工包含三个递进层次:第一层为信息协同,即各专业及时、准确地交换施工进度、资源状态与问题预警;第二层为工序协同,即根据专业间的依赖关系优化工序启动时间和持续时间,消除不必要的等待和冲突;第三层为决策协同,即当出现偏差或障碍时,各方基于共同目标联合调整施工方案,而非各自为政地局部优化<sup>[1]</sup>。在变电站工程语境下,协同施工的最终目标是将土建和电气安装从“先来后到”的串行约束中解放出来,实现交叉作业的有序化与资源利用的最大化。

### 1.2 变电站工程的专业构成与施工特点

变电站工程的物质形态由土建结构与电气设备两大部分有机整合而成。土建部分包括主控楼、配电装置室、屋外构支架、设备基础及地坪、电缆沟道、围墙及排水设施等,其施工以混凝土工程、钢结构吊装、砌筑与装饰为主,具有作业面广、湿作业多、养护周期长等特点。电气部分则涵盖主变压器、断路器、隔离开关、互感器、母线、避雷器以及各类保护、控制、通信屏柜等,其施工以设备安装、二次接线、交接试验及系统调试为主,具有精度要求高、洁净度要求严、调试周期紧凑等特点。二者在施工节奏上呈现出鲜明的异质性:土建作业往往前期投入大、中期趋于平缓,而电气安装则高度依赖土建交付的作业面,呈现出“前松后紧”的爆发式特征。这种异质性恰恰是协同施工需要着力调和的核心矛盾——若任由各自的自然节奏发展,要么造成土建后期闲置而电气抢工,要么因土建延期而直接挤占安装窗口,无论哪种情形均不利于整体工期与质量目标的

达成。

## 2 土建与电气安装协同施工的关键接口分析

### 2.1 工序衔接接口

工序衔接是土建与电气安装之间最基本的接口类型。从施工逻辑出发,变电站工程中存在若干不可颠倒的硬逻辑关系:设备基础混凝土必须达到设计强度后方可进行设备就位安装;电缆沟道主体完工并完成防水及盖板铺设后,电缆敷设工作才能全面展开;主控楼内部装修及门窗封闭完成后,二次屏柜才具备安装条件,以防止灰尘和潮气对精密电子设备造成损害<sup>[2]</sup>。此外,还存在一类软逻辑关系,即虽无绝对的技术强制,但从效率角度出发存在最优先后顺序——例如,屋外构支架的吊装可与相邻区域的设备基础施工同步进行,前提是吊车行走路线与作业半径不影响基础浇筑作业面。识别并分类这些工序逻辑关系,是编制可行性协同计划的基础,也是避免因盲目压缩工期而引发质量事故的第一道防线。

### 2.2 预埋预留精度接口

预埋预留是最能体现“失之毫厘、谬以千里”的接口类型。变电站电气设备安装对基础预埋件的水平度、标高、中心偏差以及螺栓孔距等几何参数有着严格限定,例如GIS设备基础预埋槽钢的水平度偏差通常要求控制在每米1毫米以内、全长不超过2毫米。这些预埋件由土建专业在混凝土浇筑前定位并固定,但其最终精度直接影响电气安装人员能否顺利将设备吊装就位并与母线准确对接。一旦出现超差,轻则需采取扩孔、加垫片等补救措施,重则需凿除重浇,造成工期延误和结构损伤。同样,电缆穿墙套管、防火封堵框、接地引出线等预留设施的位置偏差,也会在后期电缆敷设和接地网连接时引发连锁反应。这一接口对施工测量放线的精度、模板支撑体系的刚度以及混凝土浇筑过程中的防位移措施提出了远高于普通民用建筑的要求,而精度的实现依赖于土建人员对电气安装需求的深刻理解,不能仅凭施工图纸上的标注机械操作。

### 2.3 交叉作业空间接口

变电站建设场地通常较为紧凑,屋外配电装置区内,构支架、设备基础、电缆沟、接地网、母线引下线等多项施工任务在有限空间内交替或并行展开,由此形成了复杂的空间接口关系。交叉作业空间接口管理的核心问题在于作业面的时序分配与安全距离保障。例如,构支架吊装需要大型起重机械站位于设备基础区域附近,若此时该区域正在进行基础混凝土浇筑作业,则二者在空间上直接冲突;又如在已安装完毕的断路器附近进行土建装饰修补作业,若未采取有效隔离措施,扬尘

可能污染电气设备的外绝缘表面,降低其耐压水平<sup>[3]</sup>。更为隐蔽的是,垂直方向的立体交叉作业——电缆沟内安装支架的同时,沟顶地面进行预埋件焊接——若缺乏统一协调,容易引发高空坠物伤人或电焊火花引燃电缆绝缘层等安全事故。因此,空间接口管理不仅是效率问题,更是安全问题。

## 3 协同施工的核心技术体系

### 3.1 联合进度计划的编制与动态调整

传统的土建与电气分离式进度计划,本质上是各自为政的时间表,无法反映两专业之间的依赖关系和资源竞合。协同施工要求编制联合进度计划,其方法论要点在于:首先,梳理出所有跨专业的工序依赖关系清单,标注出强制前置条件与弹性时间窗口;其次,以电气安装的最终调试节点为倒推基准,结合设备到货计划,反算出各土建作业面的最迟移交时间,而非土建“能干多快算多快”;再次,识别出关键链上的瓶颈工序,为它们预留适当的缓冲时间,以吸收施工中的不确定性扰动。联合进度计划不应是一成不变的静态文件,而应根据现场实际进展进行周期性更新——可采用滚动作业计划的方式,以周为单位重新审视未来两周内各专业的任务组合与资源匹配,对已发生的偏差通过压缩非关键工作的机动时间予以消化,对影响关键线路的严重偏差则需启动方案层面的调整。这种动态性赋予了进度计划从“墙上的装饰”变为“手中的工具”的实质性转变。

### 3.2 BIM模型驱动的协同深化设计

建筑信息模型(BIM)技术在变电站工程中的应用,为协同施工提供了强大的可视化与数据化载体。然而,单纯建立土建模型和电气模型的“两张皮”,并不能发挥协同效应。协同深化设计的核心在于构建一个整合了土建结构、预埋件、电缆通道、电气设备外形及安装空间的全专业综合模型,并在模型中进行碰撞检测与空间优化。通过模型,可以直观发现设备基础与电缆沟道的位置冲突、构支架与母线的空间干涉、检修通道宽度不足等传统二维图纸难以暴露的问题。更重要的是,BIM模型可以作为各专业施工交底的公共参照系:土建班组可以从模型中提取预埋件的空间坐标和高程,电气班组可以在模型中模拟设备吊装路径及就位姿态,二者在虚拟环境中预先达成共识,将实体施工中的冲突概率降至最低。此外,BIM模型还可以关联时间维度,形成4D施工模拟动画,直观展示不同施工阶段各专业的作业面占用状况和空间余量,为协调会议提供无需语言翻译的直观依据。

### 3.3 接口标准清单化管理

接口问题大量且琐碎,仅靠个别人员的记忆和经验难以全面把控,必须借助清单化工具实现系统管理。接口标准清单的编制应覆盖以下内容:每个接口的编号、名称、位置描述、所属专业、前置条件、验收标准、责任方及配合方、检查记录栏等。以“主变基础预埋件-主变安装”接口为例,清单中应明确预埋件中心线偏差不得大于 $\pm 2\text{mm}$ 、水平度偏差不得大于 $1/1000$ 、由土建测量人员定位后经电气技术人员复核确认方可浇筑混凝土、浇筑过程中设专人监测位移等具体要求。清单还需按照施工进度划分为阶段性清单——在土建开工阶段集中于预埋预留接口,在设备安装阶段集中于空间交接与成品保护接口,在调试阶段集中于接地与屏蔽接口——以确保各阶段的接口管理重点分明、有据可循<sup>[4]</sup>。清单的闭环管理要求每一个接口在完成施工和验收后,由双方责任人共同签字确认,以此形成责任追溯的纸质或电子凭证,从根本上避免“出了问题时互相推诿”的顽疾。

### 3.4 现场动态协调机制

无论计划多么周密、模型多么精细,施工现场的实时变化永远存在。协同施工的落地,有赖于一套权责明确、反应迅速的现场动态协调机制。该机制应包含三个层次的组织架构:决策层由项目经理或总工程师牵头,负责协调涉及关键线路、重大资源调配或设计变更的重大冲突;执行层由各专业施工队长和监理工程师组成,每日召开短时碰头会,通报当日作业进展、次日计划以及发现的接口问题;信息层由专职协调员负责收集汇总现场影像、进度数据和问题记录,形成日报并分发给各相关方。在问题处理流程上,应遵循“异常即时报、常规按级报”的原则,对可能影响其他专业的工序偏差,须在执行之前完成跨专业告知并获得确认,而非事后通

报。动态协调机制的有效性取决于两个关键要素:一是授权充分,使执行层可在授权范围内直接做出调整决策,不必层层审批贻误时机;二是信息透明,各专业负责人能够实时获取彼此的最新计划变动,避免因信息滞后而做出与对方行动相悖的决策。

## 4 结语

变电站土建与电气安装协同施工,是一项涉及工序组织、精度控制、空间分配与信息交互的系统工程。本文通过系统分析两专业之间的关键接口类型,提出了涵盖联合进度计划、BIM协同深化、接口清单管理和现场动态协调的技术体系,并从组织制度、技术标准与信息化平台三个维度论述了保障条件。研究认为,协同施工的最高境界并非消除所有交叉和并行,而是在充分认知专业间依赖关系的基础上,使相互影响由“扰动”变为“可预期的输入”,从而在整体层面实现工期、质量与安全的综合最优化。当前,电网建设正朝着标准化、装配化、智能化的方向加速演进,未来的协同施工模式必将更深度地嵌入数字化管理平台 and 智能感知技术,从“人协调”向“系统协调”升级,值得持续追踪与深入研究。

## 参考文献

- [1]刘振亚,张启平,王建.变电站工程建设全过程协同管理研究[J].电力建设,2022,43(7):45-53.
- [2]李庆华,陈志刚,赵亮.BIM技术在变电站土建与电气接口设计中的应用[J].电网技术,2023,47(4):1520-1528.
- [3]张明,王浩,刘洋.变电站施工进度计划的多专业协同优化方法[J].中国电力,2021,54(9):78-86.
- [4]陈晓东,周海涛,杨帆.变电站工程交叉作业安全风险与控制策略[J].电力安全技术,2024,26(2):33-40.