

# Installation accuracy control technology of prefabricated components in modular substation civil engineering

Zhenguo Zhang

China Energy Engineering Group Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

In the wave of the transformation of power engineering towards high efficiency, greenness and intelligence, the modular construction mode has become the mainstream development direction of substation civil engineering due to its significant advantages such as short construction period, strong quality controllability and less on-site pollution. Among them, the installation accuracy of prefabricated components directly determines the structural safety of the substation structure, the adaptability of equipment installation and the reliability of later operation and maintenance. It is the core control link in the construction of modular substation projects, and its control level is directly related to the long-term safe and stable operation of the power system. This paper, in light of the characteristics of modular substation civil engineering, deeply analyzes the influencing factors of the installation accuracy of prefabricated components, focuses on discussing the application paths of key control technologies, and verifies the effectiveness of the technologies through engineering practice. It also puts forward targeted optimization suggestions to provide references for similar projects.

## Keywords

Modular substation civil engineering Installation of prefabricated components Precision control technology

# 模块化变电土建工程中预制构件安装精度控制技术

章振国

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

在电力工程向高效化、绿色化、智能化转型的浪潮中, 模块化建设模式凭借施工周期短、质量可控性强、现场污染小等显著优势, 已成为变电土建工程的主流发展方向。其中, 预制构件安装精度直接决定变电构筑物的结构安全性、设备安装适配性及后期运维可靠性, 是模块化变电工程建设的核心控制环节, 其控制水平直接关系到电力系统的长期安全稳定运行。本文结合模块化变电土建工程特点, 深入分析预制构件安装精度的影响因素, 重点探讨关键控制技术的应用路径, 并结合工程实践验证技术有效性, 提出针对性优化建议, 为同类工程提供参考。

## 关键词

模块化变电土建工程; 预制构件安装; 精度控制技术

## 1 引言

随着中国特高压电网建设提速及偏远地区电力基础设施布局加快, 模块化变电工程的应用场景日益广泛, 对预制构件安装精度的要求也不断提升。因此, 系统研究模块化变电土建工程中预制构件安装精度控制技术, 梳理影响精度的关键因素, 优化从设计、生产到施工的全流程控制方案, 对于推动模块化变电工程标准化建设、保障电力系统安全稳定运行具有重要的理论价值与实践意义。

【作者简介】章振国(1983-), 男, 中国四川人, 本科, 高级工程师, 从事变电土建专业研究。

## 2 模块化变电土建工程预制构件特点与安装精度要求

模块化变电土建工程预制构件基于标准化设计生产, 具有显著的自身特性与严格的精度控制要求, 二者共同决定了安装精度控制的核心方向。

### 2.1 预制构件特点

预制构件核心特点鲜明: 一是类型多样且功能特殊, 涵盖承重构件(如主变基础、构支架柱)、围护构件(如防火墙、电缆沟盖板)、预埋构件(如螺栓组、接地端子)等, 不同构件承担的功能不同, 精度控制重点存在差异; 二是尺寸与重量差异大, 大型预制构件如主变基础块体长度可达5m以上, 重量超过20t, 小型构件如电缆沟侧板重量仅数百公斤, 给吊装与定位带来不同挑战; 三是装配关联性强, 构件之间需通过螺栓连接、后浇节点等方式拼接, 单个构件

的安装偏差可能引发连锁反应，影响整体装配精度；四是质量要求高，工厂生产的预制构件需同时满足强度、耐久性指标与外形尺寸偏差控制要求，为现场安装精度奠定基础<sup>[1]</sup>。

## 2.2 安装精度要求

根据《装配式混凝土结构工程施工质量验收标准》（GB50204-2015）及电力行业相关规范，模块化变电站工程预制构件安装需满足严格的精度要求：主变压器基础、构支架基础等承重构件，轴线位置偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ，平面度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ ，预埋螺栓中心位置偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，螺栓垂直度偏差 $\leq 1\%$ ；构支架柱安装轴线偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，垂直度偏差 $\leq 3\%$ 且全高不超过 $10\text{mm}$ ，横梁安装标高偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ，水平度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ ；防火墙、电缆沟侧板等围护构件，轴线位置偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ，板缝宽度偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；GIS设备基础等特殊构件，轴线位置偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，表面平整度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$ ，确保精密电气设备安装适配性。这些精度要求直接关系到构件受力合理性、设备安装准确性及结构耐久性，是模块化变电站工程质量控制的核心指标。

## 3 预制构件安装精度影响因素全流程分析

### 3.1 设计环节精度控制源头偏差

设计环节是精度控制的基础，偏差隐患主要体现在四方面：一是构件拆分不合理，尺寸过大或形状复杂导致运输吊装易变形；二是连接节点设计不完善，螺栓孔位置偏差、后浇节点配筋冲突增加安装调整难度；三是精度预留量不足，未充分考虑温度变形、基础沉降等因素，未设置合理调整余量；四是设计图纸交底不充分，未明确精度控制要点及检测标准，引发施工理解偏差。

### 3.2 生产环节构件初始质量偏差

工厂生产精度直接决定预制构件初始质量，核心影响因素包括：一是模具精度不足，加工偏差超标或使用中变形磨损，导致构件外形尺寸偏差；二是生产工艺控制不严，钢筋绑扎错位、混凝土浇筑振捣不当、养护环境不适引发尺寸偏差或表面缺陷；三是预埋件安装偏差，预埋螺栓、套筒定位不准或固定不牢，浇筑时移位影响现场连接精度；四是出厂检测缺失，不合格构件流入现场，埋下精度控制隐患<sup>[2]</sup>。

### 3.3 运输与存放环节构件损伤与变形偏差

运输与存放过程易引发构件损伤及精度偏差：长途运输中固定措施不当、路况颠簸，导致构件边角破损、表面开裂或整体变形，大型薄壁构件问题尤为突出；现场存放方式不合理，堆放层数过多、支撑点设置不当，长期存放易产生塑性变形；二次搬运时吊装方式错误，如单点起吊导致构件弯曲变形，直接影响安装精度。

### 3.4 施工环节安装过程核心偏差

施工过程是精度偏差产生的主要场景，关键影响因素有：一是基础施工偏差，安装基础的轴线、标高超标，导致安装基准不准确；二是吊装定位偏差，吊装设备精度不足、

吊具选型不当、操作人员技能不足，引发构件对位偏差；三是测量放线误差，仪器精度不够、方法不当或环境干扰，导致放线数据偏差；四是节点连接施工不当，后浇混凝土不密实、灌浆料填充不足、螺栓紧固力矩不够，引发连接部位变形位移；五是环境因素影响，高温、低温、大风等天气干扰安装定位及节点固化效果。

## 3.5 后期运维环节偏差累积与二次损伤

后期运维过程中精度偏差易进一步累积：地质复杂区域地基处理不当，导致基础不均匀沉降，引发构件倾斜位移；长期温度变化使构件热胀冷缩，约束不当易产生变形；设备检修、改造过程中的碰撞、振动操作，导致构件移位或连接松动，破坏原有安装精度。

## 4 预制构件安装精度全流程核心技术

### 4.1 设计阶段精度预控技术

设计阶段需通过科学规划提前规避精度风险，基于“标准化、轻量化、易装配”原则拆分构件，控制单个构件重量不超过吊装设备额定负荷的 $80\%$ ，尺寸适配运输车辆限值，大型构件采用分段设计并预留合理拼接接口。完善连接节点设计，采用灌浆套筒连接、螺栓球铰连接等模块化节点，提升连接灵活性与容错性，在螺栓孔、拼接面等关键部位设置 $\pm 5\text{mm}$ 调整余量。结合当地气候与地质特点，计算温度变形、基础沉降等偏差量，预留相应补偿量，对超长构件设置伸缩缝减少温度应力变形。强化设计交底与复核，组织施工、生产、监理单位联合交底，明确精度指标与检测方法，采用BIM技术构建三维模型进行碰撞检测与安装模拟，提前优化设计方案。

某 $110\text{kV}$ 模块化变电站工程设计阶段即采用BIM技术优化主变基础分段设计，预留 $5\text{mm}$ 调整余量，通过碰撞检测修正3处螺栓孔位置冲突问题，为后续安装精度控制奠定基础<sup>[3]</sup>。

### 4.2 工厂生产精度控制技术

工厂生产需推行精细化管理，采用数控加工技术制作模具，确保模具尺寸偏差 $\leq 0.5\text{mm/m}$ ，表面平整度 $\leq 0.3\text{mm/m}$ ，建立模具定期校验制度，每次使用前进行尺寸检测。采用自动化钢筋加工设备，确保钢筋绑扎位置偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，混凝土浇筑采用泵送方式分层振捣，养护阶段采用恒温恒湿养护室，控制养护温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 90\%$ ，减少收缩变形。预埋件采用专用定位工装固定，定位偏差 $\leq 0.5\text{mm}$ ，浇筑过程中安排专人监测，构件成型后进行二次检测。建立“三检制”出厂检验流程，采用激光测距仪、全站仪等精密设备检测构件尺寸、外观及预埋件位置，出具合格证与检测报告，明确偏差数据供现场调整参考。上述 $110\text{kV}$ 变电站工程中，预制构件工厂生产时通过专用定位工装控制预埋螺栓偏差 $\leq 0.5\text{mm}$ ，出厂前采用激光扫描仪全面检测，杜绝不合格构件流入现场。

### 4.3 运输与存放精度保障技术

运输环节需制定定制化方案，根据构件尺寸重量选用

专用运输设备,采用柔性吊带、防滑垫等固定措施,大型构件设置专用支架与限位装置,确保运输位移 $\leq 5\text{mm}$ 。运输路线提前勘察避开颠簸路段,控制行驶速度 $\leq 60\text{km/h}$ 。现场设置专用存放场地,地面经硬化处理且找平,平整度偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ ,构件堆放采用“下垫上盖”方式,支撑点间距 $\leq 2\text{m}$ ,大型构件单层堆放,小型构件堆放层数不超过3层,并采取防雨防晒措施。二次搬运时根据构件特性选择合适吊具,大型块体构件采用四点起吊,薄壁构件采用专用吊梁,控制搬运倾斜角度 $\leq 5^\circ$ ,避免变形损伤。

#### 4.4 现场安装精度控制技术

现场安装是精度控制核心环节,安装前需对基础找平层、灌浆套筒基础精准施工,采用激光找平仪控制标高偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ,全站仪定位轴线偏差 $\leq 2\text{mm}$ ,基础表面采用磨光机处理,平整度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$ 。选用精度等级不低于II级的测量设备并定期校准,采用“双检复核”制度,测量放线完成后由施工、监理单位共同复核,确保控制线偏差 $\leq 1\text{mm}$ ,恶劣天气暂停测量作业。

吊装作业采用高精度设备与科学方法,某110kV变电站工程选用25t履带式起重机配合专用吊梁吊装构支架柱,设置溜绳控制构件摆动幅度 $\leq 30\text{mm}$ ,在构件上标注定位控制线与基础控制线精准对齐,采用经纬仪实时监测垂直度,调整偏差至2‰以内。节点连接施工中,灌浆套筒连接控制灌浆压力0.2-0.3MPa,采用超声波检测密实度;螺栓连接采用扭矩扳手控制紧固力矩,偏差 $\leq \pm 5\%$ 。高温天气选择早晚时段作业,避免构件表面温度超过 $35^\circ\text{C}$ ;低温天气对构件与灌浆料采取保温措施,确保施工环境温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ ;风力 $\geq 6$ 级时暂停吊装作业<sup>[4]</sup>。

#### 4.5 后期运维精度监测技术

后期运维需建立动态监测机制,在主变基础、构支架柱等关键部位设置沉降观测点,采用电子水准仪定期监测,初始阶段每周1次,稳定后每月1次,沉降速率超过 $0.5\text{mm/月}$ 时及时预警。采用光纤传感技术对构支架等构件进行长期变形监测,通过物联网系统实现远程监控与异常预警。每半年对安装精度进行全面复核,重点检查螺栓紧固状态、节点间隙等指标,发现偏差超标及时采用垫片调整、重新紧固等措施修复。上述110kV变电站工程投运1年后,沉降观测数据显示累计沉降量最大为 $3\text{mm}$ ,沉降速率稳定在 $0.2\text{mm/月}$ 以内,构件无明显变形位移,安装精度保持良好。

### 5 现存问题与优化建议

#### 5.1 现存主要问题

当前模块化变电土建工程预制构件安装精度控制仍存

在诸多短板,多专业协同不足问题突出,设计、生产、施工单位之间信息传递不畅,存在设计图纸与生产工艺不匹配、施工方案与构件特性不符等问题,导致精度偏差。智能化检测技术应用不足,精度检测多依赖人工操作,效率低且易受人为因素影响,缺乏自动化、智能化检测手段,难以实现全流程实时监控。操作人员技能参差不齐,部分施工人员缺乏系统培训,对高精度控制工艺掌握不熟练,影响安装精度。标准体系不完善,现有规范对特殊构件如GIS设备基础的精度控制标准不明确,导致施工无据可依。

#### 5.2 优化建议

针对现存问题,需构建基于BIM技术的设计、生产、施工一体化协同平台,实现信息实时共享与碰撞检测,建立定期沟通机制及时解决精度控制问题。推广激光扫描仪、无人测绘、自动化监测系统智能设备,实现构件尺寸、安装位置的自动化检测与数据实时传输,利用大数据分析识别偏差产生的关键环节,针对性优化控制措施。建立模块化变电工程专项培训体系,涵盖构件安装工艺、测量技术、设备操作等内容,采用理论教学与实操训练相结合的方式提升施工人员专业技能,开展技能考核认证,持证上岗。结合工程实践修订完善预制构件安装精度控制标准,明确特殊构件、复杂节点的精度指标与检测方法,编制专项控制手册,规范施工流程与操作要点。

### 6 结论

模块化变电土建工程中预制构件安装精度控制是一项贯穿设计、生产、运输、施工及运维全流程的系统工程,任何环节的偏差都可能影响整体工程质量与电力系统运行安全。提升预制构件安装精度,需坚持“全流程预控、精细化管理、智能化赋能”的原则,设计阶段强化BIM模拟与协同交底,生产阶段严控模具精度与预埋件定位,施工阶段优化吊装定位与节点连接工艺,运维阶段建立动态监测与定期复核机制。同时通过构建协同管理平台、推广智能检测技术、加强人员培训、完善标准体系等措施,进一步提升精度控制水平。

#### 参考文献

- [1] 田晓.泵站施工中大型预制构件安装技术的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(29):115-117.
- [2] 张远金.龙门吊在高桩码头预制构件安装中的应用[J].珠江水运,2025,(18):27-30.
- [3] 孙敏慧.装配式建筑预制构件生产运输安装一体化技术研究[J].城市开发,2025,(18):151-153.
- [4] 时晓静.P企业装配式预制叠合板生产线优化与仿真研究[D].山东财经大学,2025.