

户外箱式变电站混凝土基础施工质量控制研究

邱韶华

广西能联建设工程有限公司 541004

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21147

[摘要] 户外箱式变电站作为城乡配电网的核心枢纽,其混凝土基础施工质量直接决定设备运行的稳定性与使用寿命。本文从施工前期准备、混凝土基础施工工艺、预埋件安装精度控制、防水防腐与接地系统施工、质量验收体系五个维度,系统论述户外箱式变电站混凝土基础施工全过程的质量控制技术与方法。研究表明,通过建立“三检制”质量管控体系、严格控制混凝土配合比与浇筑工艺、精准控制预埋件安装偏差,可有效避免基础沉降开裂、预埋件移位等常见质量通病,为箱式变电站安全投运提供坚实保障。

[关键词] 箱式变电站;混凝土基础;施工质量;预埋件;质量控制

一、引言

箱式变电站(简称“箱变”)集高压开关设备、配电变压器、低压配电装置于一体,具有结构紧凑、占地小、建设周期短、供电可靠性高等显著特点,已成为城乡电网配电系统不可或缺的核心设备。据统计,我国户外箱式变电站保有量已超过80万台,且年均新增约12万台,其基础施工质量直接关系到电网供电安全与设备使用寿命。然而,户外箱变长期暴露于自然环境中,承受风荷载、雨水冲刷、温度交变等多重不利因素叠加作用,对混凝土基础的强度、精度、耐久性提出了更为严苛的要求。当前工程实践中,基础沉降开裂、预埋件移位、接地电阻超标等质量问题时有发生,不仅造成经济损失,更埋下安全隐患。因此,以科学严谨的施工工艺和全流程质量控制体系为支撑,系统研究户外箱式变电站混凝土基础施工质量控制技术,具有重要的工程实用价值和现实意义。

二、施工前期准备与质量控制

2.1 施工图纸会审与技术交底

施工前期准备是质量控制的第一道防线,其中施工图纸会审与技术交底是确保施工方向正确的核心环节。施工前需组织设计、监理、施工单位三方对箱变施工图纸进行深度会审,重点核对箱变型号规格(含变压器容量、高低压元器件参数)、基础尺寸及预埋件布置、进出线方式(电缆或架空)、接地系统设计是否与现场工况匹配。同时需确认设备安装空间(含维护通道宽度不小于0.8m)、散热通风设计是否满足厂家技术要求。技术交底应分三级进行:项目总工程师向施工员进行方案级交底,明确质量目标与关键控制点;施工员向班

组长进行工序级交底,细化操作要求与偏差限值;班组长向作业人员进行操作级交底,确保每位工人掌握具体操作规程。若发现图纸矛盾或现场条件不符,应及时通过设计变更优化方案,杜绝“边施工边改图”的被动局面。

2.2 材料设备进场检验

设备与材料进场检验必须严格执行,这是从源头杜绝质量隐患的关键措施。箱变本体需核出厂合格证、型式试验报告,外观检查无变形、锈蚀,密封部位无渗漏,油漆涂层完整;打开箱门检查内部元器件型号、规格与设计一致,接线端子无松动、氧化。混凝土原材料方面,水泥选用P.O 42.5级普通硅酸盐水泥,进场需复检3天和28天抗压强度,砂的含泥量不超过3%、细度模数2.3~3.0,碎石最大粒径不超过25mm、压碎指标不超过10%。钢筋进场需复检抗拉强度、屈服强度、伸长率、冷弯性能四项指标,HRB400级钢筋屈服强度实测值不低于400MPa。辅助材料中,电缆需进行耐压试验,接地扁钢的镀锌层厚度需不低于65 μm ,所有材料必须具备出厂合格证及第三方检测报告方可使用。

2.3 施工场地准备与测量放线

施工场地准备需根据箱变容量及安装方式平整场地并做好排水坡度(不低于3%),预留运输通道宽度不小于3m、地面承重不低于5t/m²。测量放线是基础施工的首要工序,需采用全站仪进行精确放样,基础轴线定位偏差不得超过5mm,标高控制偏差不得超过 $\pm 10\text{mm}$ 。对于地下箱变,需提前完成基坑支护与降水措施,确保基础施工时地下水位低于基底0.5m,基坑开挖深度偏差控制在+50mm~-30mm范围内。吊车选用需满足吊装能力不低于箱变重量的1.2倍,如800kVA

箱变自重约 3t, 则需配备 16t 及以上吊车。场地准备完成后需经监理单位验收确认, 签署《开工报告》后方可进入主体施工阶段。

三、混凝土基础施工工艺与质量控制

3.1 模板工程质量控制

模板工程是混凝土基础成型质量的直接保障, 其精度直接影响基础外观与尺寸。宜采用钢模板或 15mm 厚竹胶板, 模板拼缝处粘贴 3mm 厚海绵条防止漏浆, 支撑体系采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管扣件式脚手架, 立杆间距不超过 800mm, 确保浇筑时无变形、无跑模。模板安装完成后需进行全面检查: 轴线位移不超过 5mm, 截面尺寸偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内, 表面平整度不超过 3mm/m (采用 2m 靠尺检测), 模板顶面标高偏差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ 。对于面积超过 4m^2 的基础, 模板应按跨度的 $1/1000 \sim 3/1000$ 起拱, 防止浇筑后挠度过大。模板拆除时间需根据气温确定, 侧模在混凝土强度达到 1.2MPa 后方可拆除 (一般浇筑后 24~48 小时), 底模需在混凝土强度达到设计值的 75% 以上方可拆除, 拆模时严禁硬撬硬砸, 避免损伤混凝土棱角。

3.2 钢筋工程质量控制

钢筋工程是混凝土基础结构强度的核心保证。基础钢筋通常采用 HRB400 级 $\Phi 12@200$ 双层双向布置, 绑扎丝扣数不少于 2 道, 交叉点采用梅花形绑扎。保护层厚度底面不低于 40mm、侧面不低于 30mm, 采用 C30 混凝土垫块或塑料垫块控制, 垫块间距不超过 $1\text{m} \times 1\text{m}$, 呈梅花形布置, 严禁钢筋直接接触模板或地面。钢筋接头宜采用机械连接或焊接, 同一截面接头面积百分率不超过 50%, 焊接接头需进行拉伸试验, 抗拉强度不低于母材标准值的 110%。钢筋绑扎完成后需经监理验收合格并签署《隐蔽工程验收记录》后方可进入下道工序, 这是质量控制不可跳过的关键节点。

3.3 混凝土配合比设计与浇筑工艺

混凝土配合比的控制是基础施工质量的核心。户外箱变基础通常采用 C30 及以上强度等级混凝土, 水灰比控制在 0.45~0.55 之间, 坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$ 以兼顾流动性与强度。影响混凝土抗压强度的主要因素是水泥强度和水灰比, 当水灰比条件一致时, 水泥标号越高、质量越好, 配制出的混凝土强度越高。因此必须严格控制水泥标号和水灰比两个关键环节, 砂控制细度模数 2.3~3.0、含泥量不超过 3%, 石子控制最大粒径不超过 25mm、含泥量不超过 1%。浇筑前需及

时测定砂、石含水率, 将实验室配合比转化为施工配合比, 严格按重量比施工, 摒弃体积比的粗放做法。浇筑时采用分层浇筑法, 每层厚度不超过 500mm, 振捣棒插入间距不超过 400mm, 快插慢拔, 每点振捣时间 20~30 秒, 避免过振导致离析或漏振导致蜂窝。

四、预埋件安装精度控制

4.1 预埋件定位与固定方法

预埋件安装精度是箱变基础施工中最易出问题且后果最严重的环节。箱变底座预埋件通常为 10mm 厚 Q235B 镀锌钢板或 8 号槽钢, 需与基础钢筋焊接固定。安装时采用 DS3 水准仪控制平整度, 偏差不得超过 2mm/m; 采用全站仪控制平面位置, 偏差不得超过 5mm。固定方法主要有两种: 一是焊接定位法, 将预埋件与基础主筋点焊固定, 焊点间距不超过 300mm, 焊缝长度不小于 20mm; 二是螺栓固定法, 在模板上钻孔后用 M12 螺栓将预埋件锁紧在模板上, 浇筑前复核位置。预埋件安装时可采用“先粗定位、后精调校”的两步法: 第一步在钢筋绑扎完成后进行粗定位, 偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内; 第二步在混凝土浇筑前进行精调校, 偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。浇筑过程中必须安排专人全程监护, 防止振捣和混凝土冲击导致移位。

4.2 预埋件安装偏差控制标准

预埋件安装精度直接决定箱变就位质量, 必须建立严格的偏差控制标准。螺栓基础的螺栓中心偏差需控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内, 外露长度偏差 $\pm 5\text{mm}$, 垂直度偏差不得超过螺栓长度的 $1/100$ 。预埋钢板的平整度偏差不得超过 1mm/m, 对角线偏差不得超过 3mm。对于 800kVA 及以上容量箱变, 预埋件间距偏差需控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内, 因为箱体底座螺栓孔间距通常仅有 $\pm 5\text{mm}$ 的调整余量。若预埋件偏差在 5mm 以内, 可采用 2~5mm 金属垫片调整; 若偏差超过 5mm 但不超过 10mm, 需采用环氧砂浆填补后重新钻孔; 若偏差超过 10mm, 则需凿除周边混凝土, 重新安装预埋件后二次浇筑, 严禁强行凑合, 否则将导致箱变受力不均、底座密封失效等严重后果。

4.3 预埋件防腐处理措施

户外箱变基础预埋件长期处于潮湿、酸碱腐蚀环境中, 防腐处理是保障其长期可靠性的必要措施。预埋件安装前需彻底清理油污、浮锈, 表面处理等级达到 Sa2.5 级。与箱变底座接触部位需预涂环氧富锌底漆 (干膜厚度不低于 $60 \mu\text{m}$), 安装完成后外露部分涂刷防锈漆 (干膜厚度不低于 $80 \mu\text{m}$)。

m)或采用热镀锌处理(锌层厚度不低于 $85\mu\text{m}$)。焊接部位需在焊缝冷却后清除焊渣,涂刷两道沥青漆防腐。对于埋入混凝土内部的预埋件,因处于碱性环境中(混凝土pH值约12.5~13.5),钢筋表面会形成钝化膜,腐蚀风险较低,但外露部分必须严格执行防腐涂装工艺,涂装前需确认基层干燥(含水率不超过8%),每道涂层间隔不少于4小时,总涂层厚度不低于 $120\mu\text{m}$ 。

五、防水防腐与接地系统施工

5.1 基础防水层施工工艺

户外箱变基础长期处于地下水位变化与雨水侵蚀环境中,防水处理是延长基础使用寿命的关键措施。基础顶面及侧面宜采用聚氨酯防水涂料(厚度不低于 1.5mm)或SBS改性沥青防水卷材(厚度不低于 3mm)。防水涂料施工前需清理基层至平整度不超过 $5\text{mm}/2\text{m}$,涂刷基层处理剂,分遍涂刷且每遍间隔不少于4小时,总厚度不低于 1.5mm 。卷材防水施工时,搭接宽度不小于 100mm ,长边搭接不小于 70mm ,短边搭接不小于 100mm ,搭接处需热风焊接密封。基础周边需设置排水沟(宽度不小于 300mm 、深度不小于 200mm),沟底坡度不低于0.5%,接入市政排水管网或集水井,有效防止雨水倒灌。防水层施工完成后需进行48小时闭水试验,水位下降不超过 5mm 方为合格。

5.2 基础防腐处理技术

基础防腐处理是抵御土壤化学腐蚀和冻融循环破坏的重要手段。基础外露部分采用环氧煤沥青涂料防腐,涂层厚度不低于 $200\mu\text{m}$,分2~3道涂刷,每道间隔不少于24小时。若为地下基础,需在外侧面做“3油2布”沥青麻布防腐层,即先涂刷热沥青一道,粘贴玻璃纤维布一层,再涂刷热沥青一道,粘贴玻璃纤维布一层,最后涂刷热沥青一道封面,总厚度不低于 5mm 。在酸碱性土壤(pH值低于5或高于9)环境中,需额外增加一道环氧玻璃钢防腐层(厚度不低于 3mm),以增强耐化学腐蚀能力。防腐涂层施工前需确认混凝土表面含水率不超过8%,且无浮灰、油污,涂装环境温度不低于 5°C 、相对湿度不超过85%。

5.3 接地系统施工与检测

接地系统是箱变安全运行的电气保障,其施工质量直接关系到人身安全和设备保护。接地极采用 $\Phi 50\times 3.5$ 热镀锌

钢管(长度 2.5m),间距 5m ,与接地扁钢(-40×4)焊接连接,焊缝长度不小于 100mm 且采用双面焊,焊缝饱满度不低于80%。接地扁钢的镀锌层厚度需不低于 $65\mu\text{m}$,弯曲半径不小于扁钢宽度的2倍。接地电阻需不大于 4Ω ,若土壤电阻率超过 $500\Omega\cdot\text{m}$,需增设接地极或采用降阻剂,确保接地电阻不大于设计值。接地电阻测试需采用专用接地电阻测试仪(如ZC-8型)进行检测,采用三极法测量,电流极与电压极间距分别不小于 40m 和 20m ,测试数据需经监理确认并签字存档。基础内还需预埋镀锌扁钢或 $\Phi 12$ 圆钢作为接地干线,与箱变接地端子可靠连接,连接处需采用螺栓紧固并加弹簧垫圈防松。

六、结语

户外箱式变电站混凝土基础施工是一项系统性工程,涉及测量定位、地基处理、钢筋绑扎、混凝土浇筑、预埋件安装、防水防腐、接地施工等多个专业环节,任何一个环节的疏忽都可能酿成质量事故。通过建立全流程质量管控体系,严格执行“三检制”,将混凝土配合比水灰比控制在 $0.45\sim 0.55$ 、坍落度控制在 $180\pm 20\text{mm}$,将预埋件安装偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,接地电阻控制在 4Ω 以下,可从根本上保障箱变基础的施工质量。未来,随着BIM技术和数字化管理平台在变电站工程中的深入应用,施工模拟、进度追踪、质量数据实时采集将进一步提升基础施工的精细化管理水平,为绿色电网建设提供更加坚实的技术支撑。

【参考文献】

- [1]李汶峰. 变电站GIS基础大体积混凝土施工裂缝控制措施分析[J]. 应用能源技术, 2026, (2): 45-47.
- [2]毕波. 变电站GIS基础大体积混凝土施工裂缝控制[J]. 内蒙古科技与经济, 2025, (21): 141-144.
- [3]丁飞龙, 董子航, 艾振华. 大体积混凝土测温智能化技术在变电站基础施工中的实践研究[J]. 流体测量与控制, 2025, 6 (5): 78-81.
- [4]于彬, 张元良, 汪昕, 等. 装配式混凝土变电站建筑结构优化设计研究综述[J]. 山西建筑, 2025, 51 (13): 1-6+16.
- [5]刘林田, 林家兴, 居乐, 等. 变电站钢筋混凝土防火墙裂缝机理及控制措施分析[J]. 安徽建筑, 2025, 32 (3): 129-130.