

# 高海拔复杂地形下 10kV 箱式变压器装配式基础施工技术深化研究

李先兵 唐超 许观华

四川路桥城市建设有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i9.4896

**[摘要]** 高海拔及山地区域是我国配电网建设的重要场景,10kV箱式变压器作为关键设备,其基础施工质量直接影响供电稳定性。然而,这类区域特殊的低温、低氧、复杂地质地形条件,使传统装配式基础施工面临效率低、质量难控等问题,制约工程推进。因此,深入分析施工难点,创新优化施工技术与质量控制措施,对保障高海拔地区配电网建设质量与效率具有重要现实意义。

**[关键词]** 高海拔复杂地形; 10kV箱式变压器; 装配式; 基础施工技术

中图分类号: TM41 文献标识码: A

## In-depth Research on Prefabricated Foundation Construction Technology for 10kV Box-type Transformers in High-altitude Complex Terrain

Xianbing Li Chao Tang Guanhua Xu

Sichuan Road and Bridge Urban Construction Co., Ltd.

**[Abstract]** High-altitude pastoral and mountainous areas are crucial sites for the construction of distribution networks in China. As key equipment, the quality of foundation construction for 10kV box-type transformers directly impacts power supply stability. However, the unique low-temperature, low-oxygen, and complex geological and topographical conditions in these regions pose challenges to traditional prefabricated foundation construction, leading to issues such as low efficiency and poor quality control, which hinder project progress. Therefore, conducting an in-depth analysis of construction difficulties and innovating optimization measures for construction techniques and quality control are of significant practical importance for ensuring the quality and efficiency of distribution network construction in high-altitude areas.

**[Key words]** High-altitude complex terrain; 10kV box-type transformer; Prefabricated; Foundation construction technology

### 引言

随着我国配电网建设向高海拔、复杂地形区域不断延伸,10kV箱式变压器作为关键节点设备,其基础施工质量直接关系到电网的安全稳定运行。相较于传统现浇基础,装配式基础凭借其标准化、工厂化生产及现场快速安装的优势,在缩短工期、减少现场湿作业、降低环境影响等方面展现出巨大潜力。然而,高海拔复杂地形区域特有的低温、低氧、强风、冻土及复杂地质条件,对装配式基础的构件性能、运输吊装、连接密封及地基处理等环节提出了严峻挑战,导致传统装配式施工技术在此类环境下难以直接应用,存在效率低下、质量难控、安全隐患突出等问题。因此,亟需开展针对性的技术深化研究,通过优化结构设计、改进施工工艺、强化质量控制,形成一套适用于高海拔复

杂地形条件的10kV箱式变压器装配式基础施工技术体系,以保障工程建设的顺利推进与长期安全运行。

### 1 高海拔复杂地形下10kV箱式变压器装配式基础施工难点分析

#### 1.1 环境因素带来的施工挑战

高海拔复杂地形区域的特殊环境是施工的首要制约因素。一方面,高海拔致使大气压力降低、氧气含量不足,这不仅会使施工人员出现高原反应,导致体力与作业效率下降,还会降低内燃机功率、影响液压系统的稳定性,进而增加设备故障的风险;另一方面,该区域昼夜温差可达15-20℃,冬季最低温度低于-20℃,预制构件在运输、存放及安装过程中,易因温度变化而发生收缩变形或遭受冻损,从而破坏连接质量与结构稳定性。此外,该区

域降水集中且多为雨雪天气,复杂地形易引发山洪、滑坡等灾害,严重威胁施工安全与工期进度。

### 1.2 地形与地质条件的制约

该区域多为山地、高原或峡谷地貌,地形起伏大、坡度陡,施工场地选址和平整难度高;部分区域偏远、交通不便,预制构件运输路线长、路况复杂,大型车辆通行难,易导致构件磕碰损坏,同时增加运输成本与工期压力。地质层面,区域地质结构复杂,存在冻土、风化岩、软弱夹层等特殊地层;季节性冻土在冻融循环中体积变化,易引发基础沉降或倾斜;风化岩地层承载力不均,需特殊地基加固措施才能满足承载要求,显著提升施工难度与成本。

### 1.3 装配式基础结构与施工工艺的适配性问题

国内现有10kV箱式变压器装配式基础多基于平原或低海拔环境设计,结构与工艺难以适配高海拔复杂地形需求。结构设计上,螺栓连接、灌浆连接等方式在低温高海拔环境下的耐久性未经验证,低温可能导致螺栓脆化、灌浆料凝结性能下降,且基础抗冻、抗风荷载设计不足,易出现结构裂缝、构件脱落;施工工艺上,现有安装依赖大型吊装设备,但该区域场地狭窄使设备难以展开,需要小型化灵活方案,且构件密封工艺在低温下效果差,易出现渗水漏水,缩短基础寿命。

## 2 高海拔复杂地形下10kV箱式变压器装配式基础施工技术创新与优化

### 2.1 装配式基础结构设计优化

(1) 抗冻抗风型预制构件设计。针对高海拔复杂地形的低温、强风环境,对装配式基础预制构件进行优化设计。在材料选择上,采用抗冻性强的高性能混凝土(抗冻等级不低于F200),并在混凝土中掺入引气剂、防冻剂等外加剂,改善混凝土的密实度和抗冻性能;同时,选用低温韧性好的钢筋材料,避免低温环境下钢筋脆断。在结构形式上,将基础主体设计为“L”型或“U”型装配式框架结构,增加基础与地基的接触面积,提高整体抗倾覆能力;在基础顶部设置防风挡板和排水坡度,减少强风对变压器的冲击,同时防止雨雪水在基础顶部积聚,避免冻融破坏。此外,在预制构件表面涂刷专用的抗冻防腐涂层,进一步提升构件的抗冻性和耐久性。

(2) 适配复杂地质的地基连接结构设计。根据高海拔复杂地形的地质条件,优化装配式基础与地基的连接结构。对于季节性冻土区域,采用“桩基础+承台”的连接形式,将预制桩深入稳定冻土层以下,避免冻融循环对地基的影响;承台与预制桩之间采用灌浆连接,灌浆料选用低温早强型材料,确保在低温环境下快速达到设计强度。对于风化岩或软弱夹层区域,采用“换填垫层+锚杆加固”的地基处理方案,先对地基表层的软弱土层进行换填(换填材料选用级配砂石或碎石),再植入锚杆将装配式基础与下部稳定岩层连接,提高基础的抗拔和抗滑移能力。同时,在基础底部设置排水盲沟,及时排出地基土中的水分,防止水分冻结膨胀对基础造成破坏。

### 2.2 施工工艺与设备适配性优化

(1) 预制构件运输与存放工艺优化。针对高海拔复杂地形交通不便、运输难度大的问题,制定专项的预制构件运输方案。首先,根据施工场地路况,选择小型化、灵活性高的运输车辆,并对运输路线进行提前勘察和修整,清除道路障碍、平整颠簸路段;对于坡度较大的路段,设置临时防滑设施,确保运输车辆安全通行。其次,在预制构件运输过程中,采用专用的固定支架和缓冲材料对构件进行固定和防护,避免构件在运输过程中因颠簸、碰撞造成损坏;同时,在运输车辆上配备温度监测设备,实时监测构件运输过程中的环境温度,当温度低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时,对构件采取保温措施,防止构件冻损。在构件存放方面,选择地势较高、排水良好、远离地质灾害隐患点的场地作为存放区,存放区地面采用混凝土硬化处理,并设置排水坡度;构件存放时采用分层堆放方式,层与层之间垫设木方,避免构件直接接触地面受潮,同时在存放区搭建保温棚,对构件进行保温防护,确保构件存放温度不低于 $0^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 小型化、轻量化施工设备选型与适配。考虑到高海拔复杂地形施工场地狭窄、大型设备难以展开的问题,优先选用小型化、轻量化的施工设备。在吊装设备方面,选用小型履带式起重机或液压升降平台,该类设备体积小、爬坡能力强,能够在狭窄的施工场地灵活作业;同时,对吊装设备的液压系统和电气系统进行高原适应性改造,如更换高原型液压油、增加进气增压装置等,确保设备在高海拔环境下正常运行。在地基处理设备方面,选用小型液压破碎机、振动压路机等设备,用于风化岩地层的破碎和换填垫层的压实作业;对于冻土区域的地基处理,采用小型热风机或电加热装置对地基土进行预热,提高地基土的温度,降低冻土处理难度。此外,为提高施工效率,配备小型无人机用于施工场地勘察、构件运输路线规划及施工进度监控,通过无人机航拍获取的地形数据,为施工方案优化提供依据。

### 2.3 低温环境下构件连接与密封工艺优化

(1) 低温型灌浆料与螺栓连接工艺。针对高海拔低温环境下装配式基础构件连接质量问题,优化构件连接工艺。在螺栓连接方面,选用低温韧性好的高强度螺栓,并对螺栓进行镀锌或渗锌防腐处理,提高螺栓的抗腐蚀能力;在螺栓安装前,对螺栓孔进行清理,去除孔内的冰雪、灰尘等杂质,然后在螺栓表面涂抹低温润滑脂,减少安装阻力;螺栓紧固时,采用扭矩扳手按照设计扭矩值分阶段紧固,确保螺栓连接紧密,同时避免因低温导致螺栓脆断。在灌浆连接方面,选用低温早强型灌浆料,其初凝时间不大于4h,终凝时间不大于12h,在 $-10^{\circ}\text{C}$ 环境下仍能正常凝结硬化,且28d抗压强度不低于60MPa;灌浆施工前,对预制构件的灌浆孔和结合面进行预热处理,去除结合面的冰雪和水分;灌浆过程中,采用分层灌浆方式,每层灌浆高度不超过300mm,确保灌浆料填充密实,无气泡、空洞等缺陷;灌浆完成后,及时在灌浆部位覆盖保温棉被或缠绕电热毯进行养护,养护时间不少于7d,确保灌浆料达到设计强度。

(2) 低温密封工艺优化。为解决高海拔低温环境下装配式基础构件之间密封不严的问题,优化密封工艺。选用耐低温、抗老

化的密封材料,如硅酮密封胶或丁基橡胶密封带,确保密封材料在低温环境下仍具有良好的弹性和密封性。在密封施工前,对构件连接面进行清理,去除表面的油污、冰雪和灰尘,然后在连接面均匀涂刷底涂剂,提高密封材料与构件的粘结强度;对于构件拼接缝,采用“密封胶+泡沫条”的双重密封结构,先在缝内嵌入泡沫条作为背衬,再在泡沫条两侧打注密封胶,密封胶宽度不小于15mm、厚度不小于8mm;对于螺栓连接部位,在螺栓紧固后,在螺栓头部和螺母部位打注密封胶,形成密封保护层,防止雨水、冰雪渗入螺栓孔,影响螺栓连接性能。密封施工完成后,对密封部位进行外观检查,确保密封胶表面平整、无气泡、无裂缝,对于不合格部位及时进行修补。

### 3 高海拔复杂地形下10kV箱式变压器装配式基础施工质量控制措施

#### 3.1 预制构件生产质量控制

构件生产前审核设计图纸,制定涵盖原材料采购、混凝土搅拌、钢筋加工、浇筑、养护的工艺方案与质量标准。原材料严格检验,抗冻剂等特殊外加剂需做低温性能试验;混凝土搅拌控制配合比,低温下预热骨料与拌合水确保出机温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ;浇筑用自动化设备保证均匀振捣,养护采用蒸汽或覆膜控制温湿度;构件完成后检测外观、尺寸偏差与强度,不合格严禁出厂。

#### 3.2 施工现场质量控制

施工前培训人员,考核合格上岗,同时检查维护设备。施工中建立“班组自检-工序交接检-专职巡检”三级制度:地基处理检查开挖深度、地质情况,检测换填垫层压实度( $\geq 95\%$ )与锚杆抗拔力;构件安装复核型号与外观,用全站仪、水准仪监测位置、标高(偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$ )、垂直度(偏差 $\leq 1/1000$ ),抽样检测螺栓扭矩、灌浆料强度与密封质量;施工后检查基础外观,做静载试验验证承载能力,确保满足变压器运行要求。

### 4 工程应用验证

#### 4.1 工程概况

选取青海省某高海拔牧区10kV配电网改造工程验证技术可行性,该区域海拔3500-4000m,为高原山地地形,昼夜温差 $18-22^{\circ}\text{C}$ ,冬季最低温 $-25^{\circ}\text{C}$ ,地质以季节性冻土和风化岩为主,含部分软弱夹层。工程需安装20台10kV箱式变压器,均采用装配式基础,构件在西宁预制厂生产,运输距离200-300km,施工工期为当年5-10月(避冬季严寒)。

#### 4.2 施工技术应用与效果

工程严格执行本文技术方案:构件用F250抗冻混凝土,“U”型框架结构配防风挡板与排水坡度;地基按地质分别采用“桩基础+承台”(冻土区)与“换填垫层+锚杆加固”(风化岩区);运输用小型平板车+保温棉被防护,吊装用小型履带式起重机,螺栓用8.8级高强度螺栓+低温润滑脂,灌浆用低温早强料+电热养护,密封用硅酮密封胶+泡沫条双重结构。

施工完成后检测显示:基础顶面标高偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ ,垂直度偏差 $< 1/1500$ ,螺栓扭矩达标率100%,灌浆料28d抗压强度 $> 65\text{MPa}$ ,密封部位无渗水;经1个冬季运行,基础无沉降、倾斜或裂缝,变压器运行稳定。与传统现浇基础相比,工期缩短40%(单台从15d减至9d),现场人员减少30%,建筑垃圾减少80%,显著降低成本与环境影响,验证了技术方案的可行性与优越性。

### 5 结束语

本研究聚焦于高海拔复杂地形条件下10kV箱式变压器装配式基础的施工问题。通过对施工难点的系统剖析,从结构设计、施工工艺以及质量控制等维度提出创新性的优化方案,并经实际工程验证该方案切实有效。此研究成果能够有效化解高海拔地区此类基础施工所面临的关键难题,可为同类工程提供具有借鉴价值的技术参考。展望未来,可进一步深入探索新型材料在该领域的应用,并结合智能化技术提升施工的精准度与效率,以推动高海拔地区配电网建设实现高质量发展。

#### [参考文献]

- [1]彭乐.10kV变压器台架标准化施工工艺探究[J].机电信息,2023,(18):86-88.
- [2]郭夏杰.10kV变压器安装施工技术的探讨[J].居舍,2019,(22):45+20.
- [3]陈添金.浅析10kV变压器安装的施工工艺及其质量控制[J].四川建材,2018,44(08):192+194.
- [4]樊辉.10kV电力变压器安装施工技术初探[J].科学家,2017,5(06):65-66.
- [5]刘德山.10KV配电变压器施工要点[J].江西建材,2016(13):216-217.

#### 作者简介:

李先兵(1985--),男,汉族,四川绵阳人,本科,高级工程师,研究方向:道路工程。