

农村电网建设中建筑结构节能改造与环保材料应用研究

吉彪彬¹ 王海林² 谢翔²

1. 克拉玛依诚运达建筑安装有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000

2. 克拉玛依双信环保科技有限公司, 新疆 克拉玛依 834000

[摘要]文章针对新疆农牧区电网建筑高能耗痛点,创新性提出“气候韧性建造+本土材料再生”双核驱动策略:通过抗风蚀围护结构优化、相变储能墙体与光伏遮阳一体化设计构建被动式调温体系;依托煤矸石轻骨料混凝土、棉秆纤维复合板材等循环技术,重塑干旱区绿色建材产业链;建立风光储协同供能系统,破解离网设施能源供给瓶颈。研究成果为绿洲边缘带新型电力基础设施的生态化迭代提供关键技术范式,实现建筑全周期碳减排与区域生态韧性协同提升。

[关键词]农村电网; 建筑结构; 节能改造; 环保材料

DOI: 10.33142/aem.v7i4.16359

中图分类号: TM727

文献标识码: A

Research on Energy-saving Renovation of Building Structures and Application of Environmental Protection Materials in Rural Power Grid Construction

Ji Biaobin¹, Wang Hailin², Xie Xiang²

1. Karamay Chengyunda Construction and Installation Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

2. Karamay Shuangxin Environmental Protection Technology Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: This article proposes an innovative dual core driving strategy of "climate resilience construction+local material regeneration" to address the pain points of high energy consumption in power grid buildings in Xinjiang's agricultural and pastoral areas. The passive temperature control system is constructed through the optimization of wind erosion resistant enclosure structures, integrated design of phase change energy storage walls and photovoltaic shading; Relying on circular technologies such as coal gangue lightweight aggregate concrete and cotton straw fiber composite board, reshape the green building materials industry chain in arid areas; Establish a collaborative energy supply system for wind, solar and energy storage, and solve the energy supply bottleneck of off grid facilities. The research results provide a key technological paradigm for the ecological iteration of new power infrastructure in the oasis edge zone, achieving synergistic improvement of building lifecycle carbon reduction and regional ecological resilience.

Keywords: rural power grid; building structures; energy-saving renovation; environmental protection materials

引言

新疆农村电网建设作为国家乡村振兴战略与“双碳”目标协同推进的核心载体,其配套建筑的绿色转型已成为破解边疆生态安全与能源供给矛盾的战略性课题。地处亚欧大陆腹地的新疆,兼具“丝绸之路经济带”核心区区位优势与“三山夹两盆”的生态脆弱性特征,其电网建筑长期受制于传统粗放建设模式——砖混结构墙体热工性能薄弱,烧结黏土砖消耗耕地资源且窑炉生产释放大量硫化物;彩钢板临时建筑抗风沙能力不足,拆除后不可降解夹芯材料加剧绿洲边缘带土壤污染;机械通风与高能耗空调系统简单堆砌,既无法抵御-30℃极端低温导致的设备冻损,又难以消解夏季50℃高温引发的设备过热宕机风险。这种“高污染、高能耗、低效率”的困境,在干旱区强紫外线辐射、盐碱化地质与频发沙尘暴的多重胁迫下,进一步演化为威胁电网安全运行与区域生态安全的系统性风险。面对新型电力系统构建与边疆生态屏障建设的双重使命,亟需以“气候响应-资源循环-技术适配”为内核重构电网建筑技术体系:一方面通过被动式设计优化建筑本体

性能,例如利用光伏遮阳一体化外墙平衡设备散热与建筑保温需求,采用抗风蚀混凝土与棉秆复合板材替代传统围护结构;另一方面依托本地资源禀赋创新材料技术路径,将煤矸石、棉秆等工农业固废转化为轻骨料混凝土、纤维增强板材,构建“取材于地、用材于地”的低碳闭环。本文以“全生命周期减碳”与“地域适应性增效”为双驱动,通过解析南疆风沙区、北疆高寒带、东疆干旱区差异化环境约束下的电网建筑功能需求,提出“形态优化-材料革新-能源协同”三位一体的绿色解决方案,旨在为干旱区新型能源基础设施的生态化、智慧化升级提供理论范式与实践路径,助力边疆地区走出一条生态保护与民生改善共生共赢的可持续发展之路。

1 新疆地区农村电网建设的基本情况与建筑需求分析

1.1 新疆地区农村电网建设现状

新疆农村电网建设承载着保障农牧区生产生活用电与促进边疆民生改善的双重使命,其配电设施广泛分布于塔克拉玛干沙漠边缘、天山北麓绿洲带及阿勒泰偏远牧区

等地理环境复杂区域。现有电网建筑以单层砖混结构为主导,受制于传统建设标准滞后与成本控制导向,普遍存在围护结构热工性能不足的问题——墙体厚度未考虑极端温度梯度下的热桥效应,门窗气密性设计难以阻隔沙尘侵入,导致冬季采暖能耗激增与夏季设备过热宕机风险并存。部分建设年代较早的配电房因未采用隔热夹层或反射涂料,室内温度受外部环境剧烈波动影响,加速变压器、开关柜等核心设备绝缘老化,迫使运维单位频繁开展预防性检修,形成“高能耗-高维护”的恶性循环。在电网扩容与改造工程中,临时性彩钢板房因安装便捷、成本低廉被广泛采用,但其聚氨酯夹芯材料不可降解特性与低回收率导致拆除阶段产生大量混合建筑垃圾,露天堆放或简易填埋对绿洲边缘带土壤结构与地下水水质构成持续性威胁,与新疆“生态优先、绿色发展”的战略导向形成显著冲突^[1]。此外,电网建筑布局缺乏对区域微气候的适应性考量,例如南疆风沙活跃区的配电设施未设置导风墙或下沉式庭院,加剧了沙尘对建筑外墙与电气设备的侵蚀损耗,进一步凸显传统建设模式与干旱区生态保护需求间的结构性矛盾。

1.2 新疆地区自然环境与气候特点对建筑结构的影响

新疆独特的温带大陆性干旱气候塑造了严苛的建筑环境适应性需求,对电网建筑的结构设计与材料性能形成多维挑战。冬季极端低温环境下,建筑围护结构的热桥效应显著,若未采用断桥构造或高效保温层(如气凝胶复合板),室内热量将通过墙体、屋面快速散失,迫使采暖设备超负荷运行;而夏季地表辐射强烈,传统混凝土屋面与金属外墙在持续高温炙烤下易产生膨胀裂缝,紫外线则加速有机涂层粉化与彩钢板基材锈蚀,缩短建筑维护周期。春秋季交替期的强风沙活动进一步加剧环境胁迫——沙粒以高速撞击建筑外墙,普通抹灰层与涂料在风蚀作用下剥落,暴露出内部结构,不仅削弱墙体完整性,更导致沙尘通过门窗缝隙侵入室内,威胁电气设备绝缘性能与运维人员健康。此外,农牧区普遍存在的土壤盐碱化问题对建筑基础耐久性构成潜在风险:地下水中高浓度硫酸盐与氯离子通过毛细作用上升,侵蚀混凝土基础中的钢筋与骨料,引发结构强度衰减;而地表盐渍化土壤的反复干湿循环则导致地基不均匀沉降,尤其对荷载敏感的变电站建筑构成安全隐患。

1.3 农村电网相关建筑类型与功能需求分析

新疆农村电网建筑体系需适配农牧区地理分散性、负荷波动性与环境严苛性等特征,其功能需求呈现显著差异化特征。固定式变电站作为区域电力枢纽,需在有限空间内集成高压设备散热与建筑保温的矛盾需求——变压器运行时产生的高温要求通风散热设计,但冬季极寒环境又需通过围护结构气密性维持室内基础温度,现有建筑多采用简单机械通风与基础保温层叠加模式,导致能源效率低

下与设备寿命折损。牧区移动式变电站则需应对季节性负荷迁移挑战,其模块化设计需满足快速拆装、轻型化运输与极端气候耐受性三重目标,例如采用折叠式钢结构框架与预制化设备舱,降低穿越荒漠戈壁时的运输损耗,同时通过相变储能墙体平衡昼夜温差对设备稳定性的影响。储能站作为新能源消纳的关键节点,建筑需兼容电池组热管理、防火防爆与低能耗运行需求,当前设计多忽视电池散热气流组织优化,导致空调系统能耗占比过高,且缺乏针对盐碱环境的耐腐蚀电池架材料应用。巡检值班室作为偏远线路运维的驻点,需在极小空间内整合人员居住、设备存储与离网供电功能,现有建筑普遍缺乏光伏-储能一体化设计,依赖柴油发电机供电不仅成本高昂,更与区域减碳目标相悖。

1.4 当前建筑节能与环保方面存在的问题

新疆农村电网建筑在节能环保领域面临多重结构性矛盾,其根源在于传统建设模式与生态优先理念的深层冲突。材料选择层面,决策过度聚焦短期经济性指标,例如大量使用烧结黏土砖虽降低初期造价,却导致耕地资源不可逆损耗——每万平方米建筑消耗的黏土相当于破坏数亩表层土壤结构,而砖窑生产过程中的煤炭燃烧进一步释放硫化物与颗粒物,形成“资源掠夺-环境污染”的闭环效应。节能技术应用呈现“头痛医头”的碎片化特征:保温层增设未与建筑形态优化联动,外窗遮阳构件与自然通风设计割裂,导致冬季热损失与夏季过热现象并存;机械通风系统简单粗暴替代被动式气候调节,既推高设备能耗又破坏室内热舒适性。环保材料推广困境折射出区域产业链短板,例如相变储能材料需从东部省份长途运输至南疆牧区,高昂的物流成本与脆弱的供应链使实际应用成本倍增,而本地固废资源(如煤矸石、棉秆)因缺乏规模化分选线与改性技术,难以转化为符合电网建筑性能要求的再生骨料或复合板材^[2]。更深层次矛盾在于标准体系滞后——现行建筑规范未针对农牧区电网设施特性制定差异化环保指标,例如未明确移动式变电站的模块化材料回收率要求,也未将储能站建筑的全生命周期碳足迹纳入验收标准,导致绿色技术应用缺乏刚性约束。

2 新疆地区农村电网建筑节能与环保材料应用策略研究

2.1 综合考虑地域气候的建筑策略

新疆农村电网建筑的节能设计需深度耦合地域气候特征,构建“防风沙-保温度-控湿度”三位一体的被动式技术体系。建筑布局采用集中式平面与南北向主轴,通过减少东西向外墙面积降低夏季太阳辐射得热,同时利用前庭后院的过渡空间形成风沙缓冲带,例如在配电房入口设置下沉式庭院,引导气流绕过建筑主体减少沙尘侵入。墙体构造采用复合夹芯结构,外层选用掺入玄武岩纤维的抗风蚀混凝土砌块,内层填充棉秆压缩板或再生EPS颗粒保

温层,中间设置空气间层形成动态隔热屏障,既阻隔冬季冷桥效应又减缓夏季热量渗透。屋面设计依据区域降雪量差异调整倾角,北疆高寒地区采用陡坡屋面加速积雪滑落以减轻荷载,南疆干旱区则通过缓坡屋面集成光伏瓦片与雨水导流槽,实现太阳能发电与稀缺雨水资源的协同收集。门窗系统创新性融合双层中空 Low-E 玻璃、智能感应遮阳百叶与沙尘过滤通风口,在保证气密性的前提下,通过机械辅助通风与自然通风模式切换,动态调节室内空气质量与温湿度平衡。针对盐碱地基土特性,基础工程采用碎石毛细隔断层与耐腐蚀混凝土桩基组合技术,阻断地下水盐分上渗对结构的侵蚀。室内环境控制方面,引入相变储能地坪与辐射吊顶系统,利用夜间低谷电价时段蓄冷蓄热,日间释放以平抑温度波动,降低空调系统运行负荷。

2.2 建筑节能改造技术与环保材料应用的协同路径

新疆农村电网建筑的节能改造需以本土资源循环利用为基底,构建“材料革新-设备升级-系统集成”的协同技术网络。针对工业固废存量大的区域特征,推广煤矸石活化制备轻骨料混凝土技术,通过高温煅烧与矿物改性工艺,将煤矸石转化为兼具轻质、隔热与抗盐碱特性的墙体材料,替代传统烧结砖应用于变电站外墙砌筑,同步解决墙体传热系数过高与固废堆存污染的双重问题。在农业资源富集的南疆绿洲带,开发棉秆-芦苇纤维复合板材生产线,采用无醛胶黏剂与热压成型工艺,生产适用于配电房内隔断与吊顶的轻质建材,既消解秸秆焚烧造成的空气污染,又通过多孔结构实现吸声降噪与湿度调节功能。设备节能领域,试点“光伏直驱空调+地源热泵”的耦合供能系统——屋面光伏阵列直接驱动变频空调运行,富余电力储存于相变储能墙体;地源热泵则利用地下土壤恒温特性,通过垂直埋管系统实现冬夏两季的热量交换,二者经建筑能源管理系统(BEMS)智能协调,动态追踪设备发热量与室内环境需求,形成“产-储-用”一体化的能源流优化闭环^[3]。针对既有建筑改造,研发纳米气凝胶保温涂层喷涂技术,在不停电条件下对配电房外墙实施快速隔热升级,其微孔结构可阻断 80%以上的辐射传热;同时开发光伏一体化彩钢板替换方案,将传统彩钢屋面替换为夹芯式光伏板,既保留原有防水与承重性能,又新增发电功能,实现改造过程与电网运行的“零干扰”。

2.3 绿色建筑标准在农村电网建筑中的推广可行性

新疆农村电网建筑绿色标准的推广需以“因地制宜、政策协同、动态迭代”为核心原则,构建覆盖设计-建造-运维全链条的标准化体系。针对地域环境分异性,建议在《新疆农牧区电网建筑绿色技术导则》中细化三类技术指标集群:在阿勒泰等高寒地区,明确围护结构传热系数限值与气密性等级,例如强制采用外保温复合墙体与三层中空玻璃窗,并规定屋面雪荷载计算中需包含相变融雪系统的附加效益;在吐鲁番等高温干旱区,要求外墙太阳辐射

吸收系数低于 0.3,推广垂直绿化遮阳与蒸发冷却通风复合技术,同时将光伏遮阳构件的发电效率纳入建筑综合能耗评估体系;在南疆风沙活跃带,建立建筑材料耐风蚀性能分级认证制度,规定外墙涂层需通过模拟 20 年风沙冲刷实验,并强制采用下沉式庭院或导风墙设计以削弱近地面风速。为提升标准执行力,需创新政策工具组合:绿色信贷方面,对采用本地环保材料超过 50%的电网建设项目提供贴息贷款,并将绿色评级(如三星级)与贷款额度挂钩;容积率奖励可针对县域配电中心,允许其附属设施占地面积上浮 10%以配置光伏停车场或储能设施;碳交易机制中,将电网建筑减排量纳入区域碳普惠体系,允许企业通过出售碳配额对冲改造成本。监管层面,建立“设计审查-施工验评-运营审计”三级管控机制,例如在施工图审查阶段增加围护结构热工模拟报告,竣工验收时采用红外热成像技术检测墙体保温连续性,运维阶段通过物联网平台实时监测建筑能耗数据并生成改进建议。

2.4 建议与对策:政策引导、技术支持与人才培养

新疆农村电网建筑的绿色转型需构建“政策赋能-技术破局-人才筑基”的协同推进机制。政策层面,应实施“靶向激励+刚性约束”双轨策略,设立“电网绿色建筑专项基金”,优先支持南疆风沙区光伏建材示范站、北疆高寒区相变储能配电房等标杆项目,并通过税收返还、用地指标奖励等政策工具,引导本地建材企业转型生产棉秆复合板、煤矸石骨料等环保产品;同步将绿色建材使用比例、建筑碳足迹等指标纳入电网企业绩效考核体系,对未达标项目施行阶梯式生态补偿费征收,倒逼传统建设模式升级。技术层面,依托“干旱区电网建筑技术创新联盟”,建立“企业需求池-高校技术池-政府资源池”的三向贯通机制——针对牧区移动变电站开发轻量化预制装配技术,采用 BIM+3D 打印工艺实现现场“零湿作业”;针对盐碱地基研发地质聚合物注浆加固技术,通过工业废渣(如电石渣)替代水泥基材料,提升基础耐久性;针对风光储一体化建筑能源系统,开发多能流耦合控制算法,实现光伏、小型风机与储能的动态匹配,解决离网电站的供电稳定性难题^[4]。人才培养需打通“学历教育-职业培训-社区实践”的全链条培养路径:在职业院校开设“绿色电网建筑运维”微专业,课程体系涵盖环保材料检测、建筑光伏系统运维等模块,并联合电网企业建设“教学-实训-顶岗”一体化基地;针对农牧民群体,设计“秸秆板材生产”“户用光伏安装”等模块化技能培训包,通过“双语教材+VR 模拟操作”降低学习门槛,并设立“绿色技能认证”制度,持证者优先参与电网基建项目;同时,组建“专家服务团”深入和田、喀什等地,开展“屋顶光伏改造”“生态护坡技术”等社区示范工程,以实操教学带动技术传播。

3 结语

新疆农村电网建筑的节能改造与环保材料应用,标志

着干旱区能源基础设施与生态治理的深度融合。通过气候响应型设计、本土资源循环利用与绿色标准创新,其不仅重构了建筑活动与自然系统的共生关系,更开辟了边疆生态脆弱区绿色基建的新范式。未来需深化政策协同机制与技术本土化适配,推动电网建筑从单一供能设施向“能源-生态-社区”三位一体的综合载体转型,为边疆可持续发展筑牢生态基底、激活绿色动能。

[参考文献]

- [1]耿立宏,冯义华,孙吉昌.建设新型农村电网推动能源绿色转型[J].农电管理,2024(11):7-9.
- [2]陈有双,施清水,陈福亮.优化农村电网工程建设环境[J].中国电力企业管理,2024(11):51.
- [3]林楚.国家能源局:持续推进农村电网薄弱地区建设[Z].机电商报,2022-04-18(A07).
- [4]南方电网广西电网公司全力服务宾阳农村能源革命试点县建设[Z].科技日报,2024-10-18(08).

作者简介:吉彪彬(1982.8—),毕业院校:东北农业大学,所学专业:建筑工程管理,当前就职单位名称:克拉玛依诚运达建筑安装有限责任公司,就职单位职务:项目经理岗位;王海林(1987.7—),毕业院校:中国地质大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:克拉玛依双信环保科技有限公司,就职单位职务:安全总监,职称级别:助理工程师;谢翔(1990.4—),毕业院校:中国石油大学(北京),所学专业:石油工程,当前就职单位名称:克拉玛依双信环保科技有限公司,就职单位职务:安全副总监。