

# “地-电离层波导”无线电波通讯在无人区电力建设场景中的应用

吕锦杰 周成功 刘金平 朱嘉诚

上海送变电工程有限公司 上海 200235

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17671

**[摘要]** “地-电离层波导”无线电波通讯可切实化解无人区电力建设期间的通讯困境，为该区域电力建设高效推进供给核心技术保障，无人区电力建设场景里，传统通讯模式常受地形复杂、信号覆盖薄弱等因素影响难以达成需求，此通讯技术依托自身独特波导传播属性，可实现长距离且稳定的信号传送，确保电力建设过程中设备监控、数据传递及人员调配等工作顺畅推进，对增进无人区电力建设效能与安全水平具备关键价值。

**[关键词]** 地-电离层波导；无线电波通讯；无人区电力建设；信号传输；建设效率

## 引言

无人区电力建设对保障偏远区域能源供给、促进区域经济发展拥有重要意义，不过该场景下的通讯保障始终是限制建设进度的核心问题，无人区通常位于偏远地带，地形地貌复杂，传统通讯方式易受自然环境干扰，造成信号中断或传输波动，严重干扰电力建设中的施工配合、设备维护及应急处置等工作，“地-电离层波导”无线电波通讯依托自身特殊传播机理，在复杂环境中呈现出优良通讯效能，有望成为解决无人区电力建设通讯难题的可行方式，为后续深入研究该技术在该场景内的具体应用筑牢基础。

## 一、无人区电力建设场景中通讯现存问题分析

### (一) 无人区地形对传统通讯信号传播的阻碍作用

无人区多分布在山区、荒漠、高原等区域，这些区域地形起伏明显，存在大量高山、峡谷、沙丘等地理障碍，传统无线电波通讯信号传播时遭遇此类障碍物易发生反射、折射或被吸收，造成信号强度大幅衰减，难以实现远距离覆盖。在山区无人区，高山会阻断信号传播路径，形成信号阴影区，导致处于阴影区内的电力建设站点无法接收稳定信号，干扰设备数据上传与控制指令传递，最终延误施工进度，此类地形因素对传统通讯信号的阻碍，直接影响无人区电力建设的正常推进。

### (二) 无人区恶劣气候对通讯设备运行的干扰影响

无人区气候条件恶劣，频繁出现强风、暴雨、暴雪、高温、低温等极端天气，强风可能致使通讯天线偏移或损坏，干扰信号接收与发射效果，暴雨和暴雪会侵蚀通讯设备的外部部件，降低设备绝缘性能。甚至引发短路故障，高温或低温环境会影响通讯设备内部元件的工作稳定性，造成设备运行效率下降，增加信号传输误差，而无人区电力建设对通讯设备连续稳定运行有明确要求，此类气候干扰导致设备难以满足该需求，进而对电力建设中的通讯保障形成制约，影响整体建设流程的顺利开展。

### (三) 无人区电力建设对通讯覆盖范围的特殊需求

无人区电力建设涵盖范围广泛，从输电线路铺设到变电站建设，站点分布分散且间距较远，传统通讯方式覆盖范围有限，若要实现所有建设站点的通讯覆盖，需大量建设通讯基站，不仅投入成本高昂。且在无人区复杂地形与恶劣环境下，基站建设难度大、后期维护成本高，此外电力建设过程中可能临时增设施工站点，传统通讯网络难以快速覆盖这些临时站点，无法满足建设过程中灵活的通讯需求，这种对覆盖范围的特殊要求，使得传统通讯方式在无人区电力建设场景中存在明显局限性。

## 二、“地-电离层波导”无线电波通讯技术特性与适配性研究

### (一) “地-电离层波导”无线电波的传播机制与优势

“地 - 电离层波导”无线电波通讯是依托地球表面与电离层之间形成的波导结构开展信号传播的技术，电离层作为地球大气层的组成部分，具备一定导电性能，可像镜面般反射无线电波，地球表面则承担反射与约束波的功能，二者共同构建起波导通道。在该通道内部，无线电波能够顺着波导完成长距离传播，传播过程中信号衰减程度较轻，且受地形和气候因素的干扰相对缓和，相较于传统通讯技术，它的优势体现在无需大规模搭建地面基站，就能达成数百甚至数千公里的信号覆盖，大幅削减通讯领域的建设成本，同时拥有较强抗干扰能力，可在复杂环境中维持信号稳定传输，为特殊场景下的通讯需求提供可靠技术支撑，满足对长距离、低损耗通讯的实际要求。

#### （二）该通讯技术与无人区电力建设需求的匹配度

无人区电力建设需实现远距离、广覆盖且稳定的通讯效果，以此保障各建设站点间的数据传输与指令传递效率，“地 - 电离层波导”无线电波通讯的长距离传播特性，能有效覆盖无人区分散分布的电力建设站点，减少地面基站的建设数量，降低建设阶段与后期维护的投入成本，其较强的抗干扰能力，可抵御无人区恶劣气候对信号传输的不良影响，确保设备监控数据、施工调度信息等关键数据的准确传输，避免因数据误差导致建设延误，该技术还具备一定灵活性，可根据电力建设站点的调整快速改变信号覆盖范围，满足临时建设站点的通讯需求，从多维度与无人区电力建设的通讯需求形成高度契合，为建设工作的通讯保障提供有力支撑。

#### （三）该通讯技术在无人区电力建设中的潜在应用场景

在无人区电力建设的输电线路巡检工作中，可运用该通讯技术实现巡检无人机与地面控制中心的长距离、稳定数据传输，实时回传线路巡检图像和各类监测数据，帮助工作人员及时发现线路存在的故障隐患，提前采取维修措施，避免故障扩大影响建设进度。在变电站建设与运维过程中，通过该技术能实现变电站内部设备与远程监控中心的高效通讯，实时监控设备运行状态，及时获取设备各项运行参数，一旦发现参数异常可迅速响应，保障变电站稳定运行。在电力建

设应急救援场景中，当遭遇自然灾害或突发事故致使传统通讯中断时，该技术可作为应急通讯手段，保障救援人员之间、救援人员与指挥中心之间的通讯畅通，为应急救援工作提供必要通讯支持，提升救援工作的效率与安全性。

### 三、“地 - 电离层波导”无线电波通讯在无人区电力建设中的应用实施方案

#### （一）基于无人区电力建设需求的通讯设备选型与部署

结合无人区电力建设对通讯距离、信号传输速率、覆盖范围等方面的需求，挑选适配的“地 - 电离层波导”无线电波通讯设备，设备选型过程中需考量设备耐受恶劣环境的能力，像耐受高温、低温，抵御强风，防止渗水等性能，保障设备能在无人区复杂环境里正常运转。在设备部署环节，结合无人区电力建设站点的分布状况，科学挑选通讯基站的建设位置，优先选取地势较高、无明显遮挡的区域，以此扩大信号覆盖范围，依据建设站点的数量与分布密度，确定基站的发射功率和天线高度，确保所有建设站点都能接收到稳定信号，为无人区电力建设通讯需求提供硬件支撑。

#### （二）通讯系统的调试与优化以适应无人区环境

通讯设备安装完毕后，对通讯系统开展全面调试工作，通过实地测试，检测各建设站点的信号强度、传输速率、误码率等指标，依据测试结果调整设备参数，例如基站发射频率、天线角度等，优化信号传输质量。针对无人区可能出现的极端气候，开展模拟环境测试，检验通讯系统在高温、低温、强风等环境下的运行稳定性，对发现的问题及时进行整改，还可搭建通讯系统监测机制，实时监测系统运行状态，根据环境变化和通讯需求变动，及时对系统进行优化调整，确保通讯系统始终处于最佳运行状态，满足无人区电力建设持续通讯需求。

#### （三）与现有电力建设通讯体系的融合与衔接

剖析现有电力建设通讯体系的结构和功能，明确“地 - 电离层波导”无线电波通讯系统与现有体系的融合点，在数据传输方面，实现该通讯系统与现有电力监控系统、调度系统的数据交互，确保无人区电力建设数据能顺利接入现有电

力通讯网络，实现数据共享与统一管理。在设备控制方面，将该通讯系统与电力建设中的设备控制系统相衔接，通过该系统实现对无人区电力建设设备的远程控制，确保设备运行指令能准确传达，制定完善的融合衔接方案，明确各系统之间的通讯协议和数据接口标准，避免出现数据不兼容、通讯中断等问题，保障整个通讯体系的顺畅运行，提升无人区电力建设通讯整体效能。

#### 四、“地 - 电离层波导”无线电波通讯应用效果评估与问题应对

##### (一) 基于实际应用数据的通讯性能与建设支撑效果评估

“地 - 电离层波导”无线电波通讯系统应用于无人区电力建设后，收集实际运行过程中的通讯性能数据，涵盖信号覆盖范围、信号稳定性、传输速率、误码率等维度，将这些数据与应用前传统通讯方式的性能数据进行对比分析。评估该通讯技术在通讯性能层面的提升成效，深入剖析该通讯技术对无人区电力建设进度、施工效率、设备运维质量等方面产生的具体影响，比如建设周期是否得到缩短、施工协调是否变得更加顺畅、设备故障处理是否更为及时等，综合衡量并判定其对无人区电力建设的实际支撑效果，为后续该技术的进一步推广应用提供坚实的数据依据，助力技术在更多类似场景中发挥价值。

##### (二) 应用过程中可能出现的技术问题及应对策略

在该通讯技术应用过程中，可能会面临电离层变化引发波导结构不稳定，进而干扰信号传输稳定性的问题，针对这一潜在问题，可构建专门的电离层监测机制，实时追踪并掌握电离层变化情况，提前预判波导结构的变化趋势。依据监测获取的结果及时调整通讯设备参数，例如改变发射频率、调整天线增益等，以此保障信号传输始终保持稳定状态，此外还可能出现通讯设备在长期运行过程中突发故障的情况。为此需要建立完善的设备定期维护制度，定期对通讯设备开展检修与维护工作，及时更换存在老化问题的部件，同时储备一定数量的备用设备，确保在设备出现故障时能够快速进行更换，最大限度减少通讯中断的时间。

##### (三) 基于应用效果的技术改进方向与推广建议

依据前期对该通讯技术应用效果的评估结果，细致分析“地 - 电离层波导”无线电波通讯技术在无人区电力建设应用过程中存在的不足与短板，明确技术后续的改进方向，例如若发现该技术在信号传输速率方面仍有提升的空间，便可加大对信号调制解调技术的研发力度，通过技术创新提高数据传输速率。在推广建议层面，针对输电线路建设、变电站建设等不同类型的无人区电力建设项目，制定具有差异化的推广方案。结合各项目的实际需求与所处环境特点，合理推进该技术的应用，同时加强对该技术的宣传推广与相关人员培训，提升电力建设领域相关人员对该技术的认知程度与实际应用能力，推动该技术在更多无人区电力建设项目中落地应用，进一步发挥其在无人区电力建设中的支撑作用。

#### 结语

本文围绕“地 - 电离层波导”无线电波通讯在无人区电力建设场景中的应用展开研究，明确该技术对化解无人区电力建设通讯难题的重要意义，通过剖析现存通讯问题、探究技术适配性、制定应用方案及评估应用效果，为该技术在无人区电力建设中的实践应用提供全面参考。未来伴随技术持续改进与完善，“地 - 电离层波导”无线电波通讯有望在无人区电力建设领域发挥更大作用，为我国偏远地区电力基础设施建设提供更坚实的通讯保障，助力偏远区域电力建设稳步推进。

#### [参考文献]

- [1] 陈晨, 刘阳. “地 - 电离层波导”无线电波通讯技术在偏远地区工程建设中的应用研究 [J]. 通讯技术, 2023, 56(4): 89-96.
- [2] 赵鑫, 吴雪. 无人区电力建设中通讯技术的选择与应用探讨 [J]. 电力工程技术, 2024, 43(2): 123-130.
- [3] 孙佳, 周明. 基于“地 - 电离层波导”的长距离通讯系统优化设计 [J]. 电子技术应用, 2023, 49(7): 56-62.
- [4] 郑凯, 张丽. 恶劣环境下无线电波通讯技术在电力建设中的实践 [J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(5): 98-105.