



团 体 标 准

T/CESXXX-2026

电力作业现场智能化安全管控系统 第 5 部分：现场设备组网技术规范

Intelligent safety management and control system at electric power
operation site—

Part5: Technical specification for field equipment networking

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	3
5 基本要求	4
6 网络架构	4
7 业务通信需求	5
7.1 定位类业务	5
7.2 视频类业务	6
7.3 传感类业务	6
8 通信组网要求	6
8.1 远程直连通信模式	6
8.2 本地通信组网模式	7
8.3 中继通信组网模式	8
8.4 卫星通信模式	12
9 组网安全防护要求	13
9.1 远程通信安全防护要求	13
9.2 本地通信组网安全防护要求	13
9.3 中继通信组网安全防护要求	13
9.4 卫星通信安全防护要求	14
10 通信组网测试方法	14
10.1 远程直连通信组网测试方法	14
10.2 本地通信组网测试方法	15
10.3 中继通信组网测试方法	15
10.4 卫星通信测试方法	16
11 组网安全防护测试方法	16
11.1 远程通信安全防护测试方法	16

11.2 本地通信组网安全防护测试方法 16

11.3 中继通信组网安全防护测试方法 17

11.4 卫星通信安全防护测试方法 18

前言

本文件是中国电工技术学会《电力作业现场智能化安全管控系统》系列标准中的第 5 部分。已经发布
的标准有：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：现场管控终端技术规范；
- 第 3 部分：智能服务技术规范；
- 第 4 部分：数据管理与分析技术规范。

本文件按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由福建亿榕信息技术有限公司提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位：福建亿榕信息技术有限公司、国网信息通信产业集团有限公司、福建师范大学、
国网信息通信产业集团有限公司研发中心、国网河南省电力公司、国网福建省电力有限公司电力科学研
究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、国网宁夏电力有限公司、国网浙江省电力有限公司嘉兴供
电公司、国网四川省电力公司泸州供电公司。

本文件主要起草人：伍臣周、宋立华、高伟、吴怡、栗晓政、杨丙寅、纪宏德、张凌浩、吕君玉、
李炳森、郭翔、李向阳、叶文良、陈锴、林晨翔、丘志强、王彦明、张晓东、王从、张婉珍、黄文冬、
陈瑞洪、张维、王誉博、梁纲、陈亮、王凯敏、庞博、彭小梅、刘颖、熊伟、王好婷、买慧、黄椿、沈
伟、王洁莹、程晗、程雨婷。

本文件为首次发布。

电力作业现场智能化安全管控系统 第 5 部分：现场设备组网技术规范

1 范围

本文件规定了电力作业现场设备组网技术规范，包括基本要求、网络架构、业务通信需求、通信组网要求、组网安全防护要求。

本文件适用于电力输电、变电、配电及基建等专业施工作业现场，用于规范电力作业现场智能化安全管控系统中智能服务、现场管控终端、现场智能终端“云、边、端”组网通信技术。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）

GB/T 10125-2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB 15629.11 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第 11 部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范

GB 15629.1101 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第 11 部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范：5.8GHz 频段高速物理层扩展规范

GB 15629.1102 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第 11 部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范：2.4 GHz 频段较高速物理层扩展规范

GB 15629.1104 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第 11 部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范：2.4GHz 频段更高数据速率扩展规范

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

T/CES 131—2022 电力作业现场智能化安全管控系统 第 1 部分：总则

T/CES 132—2022 电力作业现场智能化安全管控系统 第 2 部分：现场管控终端技术规范

T/CES 133—2022 电力作业现场智能化安全管控系统 第 3 部分：智能服务技术规范

T/CES 319—2024 电力作业现场智能化安全管控系统 第 4 部分：数据管理与分析技术规范

3 术语和定义

T/CES 131—2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

现场智能终端 field intelligent terminal

电力作业现场智能化安全管控系统的管控设备，具备现场智能终端统一接入、数据解析和实时计算功能。

[来源：T/CES 131—2022，定义 3.3]

3.2

现场管控终端 field management and control terminal

电力作业现场智能化安全管控系统的现场采集终端，主要包括定位类、视频类、传感类等终端设备，具备电网对象或环境的状态感知、数据处理、通信、人机交互等全部或部分功能。

[来源：T/CES 131—2022，定义 3.4]

3.3

智能服务 intelligent service

作业现场数字化安全管控系统的云端管理服务，具备业务应用、装置管理、接口服务功能。

[来源：T/CES 131—2022，定义 3.4]

3.4

安全接入平台 safe access platform

具备提供安全、可控的网络接入解决方案功能的系统，确保所有连接到企业局域网的设备、用户和应用程序都经过验证、授权和加密。

[来源：T/CES 319—2024，定义 3.5]

3.5

远程直连通信模式 remote direct communication mode

现场管控终端、现场智能终端通过电力有线专网、电力无线专网、移动通信 APN 专网等网络直接与云端系统进行数据交互的通行组网方式。

3.6

本地通信组网模式 local communication networking mode

现场智能终端通过 Wi-Fi、WAPI、LoRa 等无线通信接口或光纤、以太网等有线通信接口与现场管控终端进行数据交互，由现场管控终端统一汇聚各类智能终端采集、分析等数据通过远程直连通信模式上传云端系统的组网方式。

3.7

中继通信组网模式 relay communication networking mode

对于本地通信组网模式无法覆盖现场作业区域的作业场景，通过部署中继基站、中继节点实现多跳传输，扩展通信覆盖范围的组网方式。

3.8

卫星通信模式 satellite communication mode

对于无地面网络或地面网络通信质量无法满足现场与云端通信的作业场景，通过利用北斗卫星、天通卫星等卫星通信网络，实现现场管控终端、现场智能终端与云端系统进行数据交互的组网方式。

3.9

感知执行层 perception and execution layer

电力作业现场设备网络架构中的底层，由现场智能终端、传感器、摄像机等设备组成，负责数据采集、边缘计算及指令执行，支持远程直连、本地组网、中继组网等多种现场组网模式。

3.10

网络传输层 network transmission layer

电力作业现场设备网络架构中的中间层，负责承载感知执行层与平台应用层之间的数据传输，具备大带宽、低时延、网络切片等能力。

3.11

平台应用层 platform application layer

电力作业现场设备网络架构中的顶层，承载安全管控业务应用、设备全生命周期管理与多源数据存储分析功能。

3.12**混合 Mesh 组网 hybrid mesh networking**

采用多种无线技术（如 Wi-Fi Mesh 承载视频类大带宽数据、LoRa Mesh 承载传感类小带宽数据）相结合的 Mesh 网络组网方式，适配不同业务数据的传输需求。

3.13**网络切片 network slicing**

在统一物理网络基础设施上，通过虚拟化技术构建多个逻辑隔离的端到端网络，分别满足定位、视频、传感等不同业务的差异化通信需求。

3.14**多跳传输 multi-hop transmission**

数据从源节点经过多个中继节点转发，逐跳传递至目的节点的通信方式，用于扩展通信覆盖范围。

3.15**链路自适应 link adaptation**

通信设备根据信道条件（信号强度、干扰水平等）动态调整传输参数（速率、功率、调制方式等）以优化传输性能的技术。

3.16**普清视频 standard definition video**

视频画面分辨率为 $720 \times 576 \sim 1280 \times 720$ ，传输码率不低于 2Mbit/s，适用于电力作业现场基础视频采集、实时预览与录像存储。

3.17**高清视频 high definition video**

视频画面分辨率不低于 1920×1080 ，传输码率不低于 4 Mbit/s，适用于电力作业现场细节观测、人员行为识别、设备状态研判等精细化应用场景。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

4G: 第四代移动通信技术 (4th generation mobile networks)

5G: 第五代移动通信技术 (5th generation mobile networks)

AP: 无线接入点 (access point)

APN: 接入点名称 (access point name)

LoRa: 低功耗广域网无线通信技术 (long range, low power wide area network, lpwan)

TF: 微型安全数字存储卡 (transflash)

UWB: 无载波通信技术 (ultra-wideband, ultra-wideband communication)

Wi-Fi: 无线保真 (wireless fidelity)

WAPI: 无线局域网鉴别和保密基础结构 (wireless lan authentication and privacy infrastructure)

5 基本要求

电力作业现场智能化安全管控系统通信网络组网的总体要求应满足以下要求：

- a) 应贯彻安全、可靠、经济、实用的原则；
- b) 现场管控终端南向宜具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙、串口等多种通信网络与现场智能终端进行数据交互；
- c) 现场管控终端北向应至少支持移动通信、卫星通信、有线网络等一种或多种通信网络与智能服务进行数据交互；
- d) 对于未部署现场管控终端的作业现场，现场智能终端宜采用远程直连通信模式与智能服务进行数据交互；
- e) 对于输电、变电、配电等小型作业现场，现场管控终端与现场智能终端宜采用本地通信组网模式进行数据交互；
- f) 对于作业现场作业范围大于 1km 的作业现场，现场管控终端与现场智能终端宜采用中继通信组网模式进行数据交互；
- g) 对于涉及 2 个及以上作业点的作业现场，现场管控终端与现场智能终端宜采用中继通信组网模式进行数据交互；
- h) 对于地面网络信号覆盖不佳或无地面网络信号的作业现场，现场管控终端与智能服务应采用卫星通信模式进行数据交互。现场管控终端与现场智能终端宜采用本地通信或中继通信组网模式进行数据交互；
- j) 智能服务、现场管控终端、现场智能终端之间数据交互应符合 T/CES 319—2024 中的数据安全与隐私保护相关要求。

6 网络架构

电力作业现场智能化安全管控系统的网络架构采用平台应用层-网络传输层-感知执行层三级分层架构，构建“云-边-端”协同的一体化网络传输体系，同时配套贯穿全层级的统一安全防护体系，保障全链路通信安全。其中，平台应用层部署业务系统与智能服务，通过安全接入网关实现与下层网络的安全对接；网络传输层依托电力有线专网、电力无线专网、移动通信 APN 专网及北斗卫星通信等多类异构通信链路，构建“地面专网为主、卫星通信兜底”的冗余传输体系；感知执行层包括远程直连、本地通信、中继通信、卫星通信四类设备通信组网模式，全面覆盖电力作业现场各类终端的网络接入与通信传输需求。网络架构如图 1 所示。

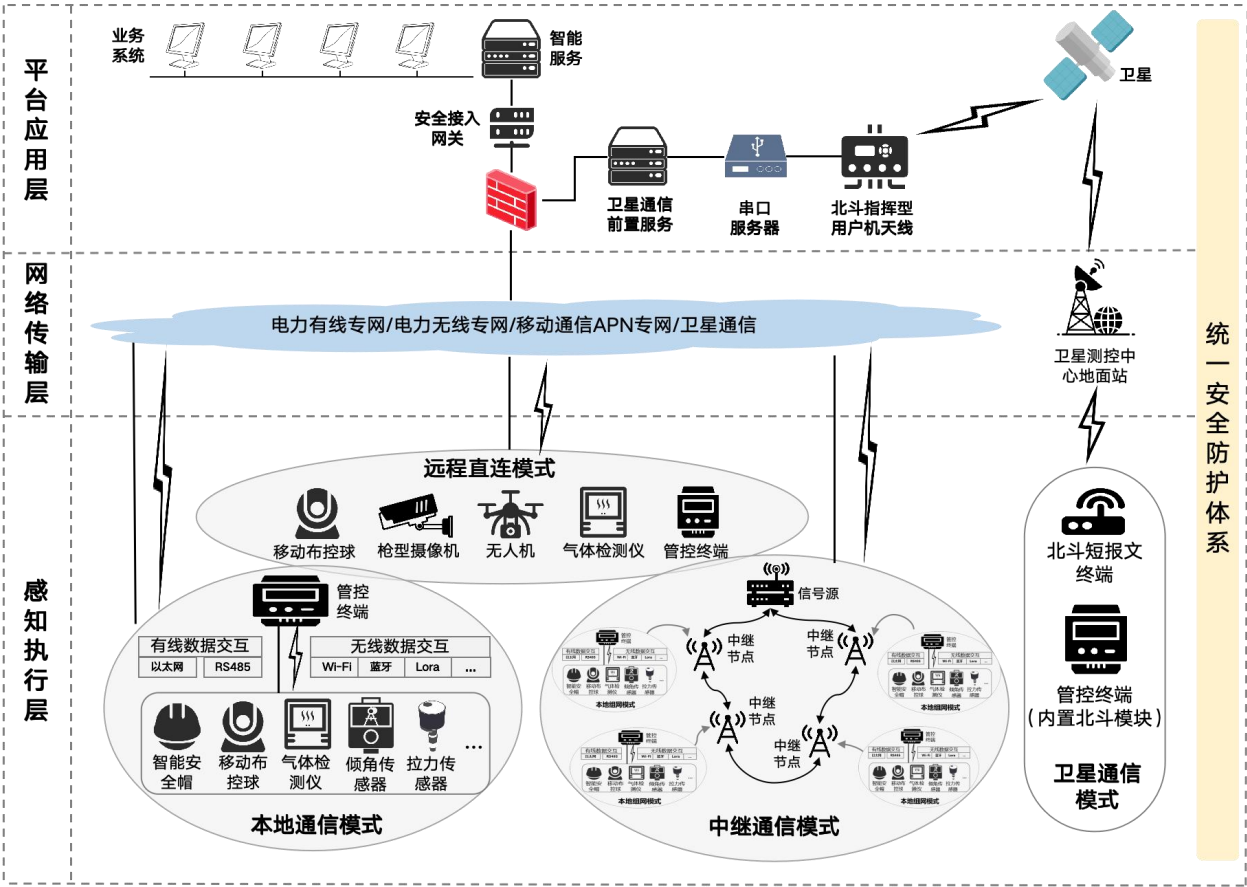


图1 电力作业现场设备网络总体架构图

电力作业现场智能化安全管控系统网络总体架构各层级功能与技术应满足以下要求：

- a) 感知执行层应支持远程直连、本地组网、中继组网、卫星通信四种现场通信组网模式，宜具备以太网、串口、Wi-Fi、WAPI、蓝牙、LoRa、北斗短报文等多协议数据交互能力，适配各类现场智能终端的接入需求；
- b) 网络传输层应具备大带宽、低时延、网络切片能力，保障定位、视频、传感等不同业务数据的差异化传输需求，支撑多链路冗余与高可靠通信；
- c) 平台应用层应承载安全管控业务应用、设备全生命周期管理与多源数据存储分析功能，实现对现场作业的统一管控与智能决策；
- d) 统一安全防护体系应覆盖感知执行层、网络传输层、平台应用层全链路，提供身份认证、访问控制、数据加密、安全审计等全维度安全防护能力。

7 业务通信需求

7.1 定位类业务

定位类设备业务通信需求应包括但不限于以下：

- a) 定位类设备应包括北斗定位类设备、UWB 无线脉冲定位类等定位类感知设备；
- b) 北斗定位类感知设备应具备 4G/5G、Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等一种或多种通信接口，具备可接入现场管控终端的能力；
- c) UWB 无线脉冲定位类感知设备应具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等一种或多种通信接口，具备可接入现场管控终端的能力；

- d) 定位类设备所传输的信息为文本信息，文字信息为 kbit/s 级别。

7.2 视频类业务

视频类设备业务通信需求应包括但不限于以下：

- a) 视频类设备包括移动布控球、无人机机载摄像机、单兵装备、督查记录仪、视频安全帽等感知设备；
- b) 视频类设备应具备 4G/5G 等移动通信通信能力，同时宜具备 Wi-Fi、WAPI、串口等标准通信接口，具备可接入现场管控终端的能力；
- c) 视频类设备应具备上报自身定位信息、电量、信号强度等能力，宜具备单独接入统一视频平台传输实时视频数据的能力；
- d) 视频类设备应至少支持 TF 卡加密、软加密、一型加密等 1 种加密方式，具备接入安全接入平台的能力；
- e) 视频类设备所传输的信息包括文本、图片和视频，普清视频传输带宽应不低于 2Mbps，高清视频传输带宽应不低于 4Mbps；文字和图片文字信息为 kbps 级别，图片信息为 256kbps 级别及以上。

7.3 传感类业务

传感器类设备业务通信需求应包括但不限于以下：

- a) 传感器类设备包括智能接地线、智能安全绳、气体检测仪、拉力传感器、倾角传感器、雷达测距传感器、近电感知设备等感知设备；
- b) 智能接地线、气体检测仪、近电感知设备等感知设备应具备 4G/5G 等移动通信能力，同时宜具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等标准通信接口，具备可接入现场管控终端的能力；
- c) 智能安全绳、拉力传感器、倾角传感器、雷达测距传感器等感知设备应具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等标准通信接口，具备可接入现场管控终端的能力；
- d) 传感器类设备应具备定时上报自身电量、运行状态信息、告警预警信息的能力；
- e) 传感器类设备所传输信息为文本信息，文字信息为 kbit/s 级别。

8 通信组网要求

8.1 远程直连通信模式

8.1.1 应用场景

适用于地面网络信号较佳，终端采集的数据无需在现场本地汇聚计算的电力作业现场，实现现场与云端直接进行数据交互，下列情形宜采用远程直连通信组网模式：

- a) 未部署现场管控终端的电力作业现场，例如业扩报装作业、用电检查等营销专业作业场景；
- b) 仅部署现场管控终端或仅使用定位类、视频类等智能终端的小型电力作业现场，例如带电作业、等小型作业场景；
- c) 智能终端采集的数据无需在现场本地汇聚计算的电力作业现场。

8.1.2 有线通信组网

适用于现场与云端通信时效性、稳定性要求高或现场终端设备不具备无线通信功能的作业场景，应满足以下要求：

- a) 作业现场应具备可用的电力有线专网环境，且网络覆盖距离应满足现场终端接入需求；
- b) 现场管控终端、现场智能终端等设备应至少具备以太网、串口等 1 种有线通信接口；
- c) 现场终端设备部署位置应相对固定；

e) 现场终端通过有线方式与云端平台通信，端到端数据传输时延应满足业务要求，定位类、传感类业务数据传输时延不宜超过 0.5s，视频类业务数据传输时延不宜超过 1s；

d) 以太网通信速率应支持 10M/100Mbps 自适应，应满足视频、传感等业务并发传输需求。。

8.1.3 无线通信组网

适用于不具备电力有线网络环境或使用不具备有线通信接口终端设备的作业现场，应满足以下要求：

a) 现场应具有良好的无线专网或无线公网信号，应满足作业现场信号全覆盖，且无线网络带宽应满足定位类、视频类、传感类业务数据传输带宽要求；

b) 现场终端应至少具备 4G/5G 等移动通信或 Wi-Fi、WAPI 等无线通信接口中的 1 种通信接口；

c) 现场终端使用无线公网通信时，应建立 VPN 或 APN 专用通道；

e) 现场终端通过无线方式与云端平台通信，端到端数据传输时延应满足业务要求，定位类、传感类业务数据传输时延不宜超过 1s，视频类业务数据传输时延不宜超过 3s；

f) 单个无线接入点（AP）或基站支持的接入终端数量应满足现场业务并发需求，宜支持不少于 32 个终端同时接入。

8.2 本地通信组网模式

8.2.1 应用场景

适用于作业范围较小，地面网络信号较佳，终端采集的数据需在现场本地汇聚计算后再上传云端的电力作业现场。现场管控终端与云端之间的通信可按需采用远程直连通信模式进行数据交互。下列情形宜采用本地通信组网模式：

a) 作业现场范围小于 1km，例如变电站运维检修作业场景；

b) 部署定位类、传感类等设备数量较多，且设备状态、告警等信息需上传云端的作业现场；

c) 部署的定位类、视频类、传感类等设备需协同联动的作业现场；

d) 需汇聚定位类、视频类、传感类等设备采集的感知数据进行实时分析、处理，用于支持作业安全管控的作业现场。

8.2.2 有线通信组网

适用于现场管控终端与现场智能终端之间通信时效性、稳定性要求高或现场终端设备不具备无线通信功能的作业场景，应满足以下要求：

a) 作业现场应具备有线网络部署条件，网络覆盖范围应满足现场终端按需接入需求；

b) 现场管控终端、现场智能终端等设备应至少具备以太网、串口等 1 种有线通信接口；

c) 现场设备的以太网通信模组，速率应支持 10M/100Mbit/s 自适应；

d) 现场设备的串口通信模组，串口速率可选用 1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19200bit/s、115200bit/s；

e) 现场管控终端与现场智能终端通过有线通信，连接线应不会影响现场施工作业及不会存在潜在安全风险隐患；

f) 现场管控终端、现场智能终端通过有线通信，端到端数据传输时延应满足业务要求，定位类、传感类业务数据传输时延不宜超过 0.5s，视频类业务数据传输时延不宜超过 1s；

g) 以太网通信速率应支持 10M/100Mbps 自适应，应满足视频、传感等业务并发传输需求；

h) 现场管控终端通过有线方式接入的智能终端数量宜不少于 2 个。

8.2.3 无线通信组网

适用于现场部署终端设备具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等通信接口的作业场景，应满足以下要求：

a) 现场管控终端应具备 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等多种无线通信接口，满足各类常用现场智能终端通过无线通信组网方式接入现场管控终端的要求；

b) 现场管控终端提供的 Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙等无线通信信号应覆盖现场作业区域，满足作业现场全域智能终端接入需求；

c) 现场管控终端提供的 Wi-Fi、WAPI 通信频道应具备 2.4GHz、5.8GHz 双频道，LoRa 通信频道宜具备 2.4GHz、470MHz 双频道，蓝牙版本应至少支持蓝牙 4.2 及以上版本；

d) Wi-Fi、WAPI、LoRa、蓝牙组网的终端设备数据速率、吞吐量、发射功率、频段、协议栈等技术参数应符合 GB 15629.11、GB 15629.1102、GB 15629.1101、GB 15629.1104 的技术要求；

e) 无线通信组网的单跳覆盖距离应符合以下要求：

1) Wi-Fi/WAPI：开阔环境应不小于 50m，室内或遮挡环境应不小于 30m；

2) LoRa：开阔环境应不小于 200m，室内或遮挡环境不小于 100m；

3) 蓝牙：开阔环境不小于 10m，室内或遮挡环境应不小于 5m。

f) 现场管控终端、现场智能终端通过无线通信，端到端数据传输时延应满足业务要求，定位类、传感类业务数据传输时延不宜超过 1s，视频类业务数据传输时延不宜超过 3s；

g) 现场管控终端提供的无线网络带宽应满足定位类、视频类、传感类业务数据传输带宽要求；

h) 单台现场管控终端通过无线方式接入的智能终端数量宜不少于 32 个。

8.2.4 混合组网

适用于环境复杂的电力现场作业场景中，现场部署的终端设备同时具备无线通信接口和有线通信接口的场景，为保证现场各类智能终端能够接入现场管控终端，应满足以下要求：

a) 具备有线通信功能和接口的场景组网要求参考 8.2.2 章节；

b) 具备无线通信功能和接口的场景组网要求参考 8.2.3 章节。

8.3 中继通信组网模式

8.3.1 应用场景

适用于作业范围较大、地形复杂或因遮挡导致现场管控终端与部分现场智能终端无法直接通信的场景。中继基站、现场管控终端与云端之间的通信可按需采用远程直连通信模式进行数据交互，现场管控终端、现场智能终端之间的通信可按需采用本地通信组网模式进行数据交互。下列情形宜采用中继通信组网模式：

a) 单个作业区域作业范围大于 1km，现场管控终端提供的有线、无线通信组网距离无法满足全作业区域现场智能终端接入需求，例如输电线路运维检修作业场景；

b) 作业现场涉及 2 个及以上分散作业区域，各作业区域之间无直接通信条件；

c) 作业现场存在建筑物、设备堆垛、地形起伏等遮挡因素，导致无线信号衰减严重，终端设备之间通信的数据速率、吞吐量等无法满足业务需求；

d) 本地通信组网模式下通信质量、通信范围无法满足业务需求，需通过中继节点延伸覆盖或增强信号。

8.3.2 有线中继通信组网

适用于现场对通信可靠性、安全性和抗干扰能力要求较高的作业场景，且现场具备光纤通信、电力线载波通信、以太网等有线网络部署条件，应满足以下要求：

a) 传输距离要求

1) 有线中继通信网络的传输距离应根据通信介质类型、设备性能和业务需求综合确定；

2) 光纤通信，单段光纤的传输距离应结合光模块类型、光纤损耗、色散等因素综合计算，宜不超过 10 km。当传输距离超过设备最大无中继传输能力时，应设置光中继器或光放大器；

3) 电力线载波通信, 相邻中继节点间的传输距离应根据电力线路衰减特性、噪声水平和设备性能综合确定, 宜不超过 500 m。中继节点应设置在信号衰减较小的位置, 确保链路增益满足通信质量要求;

4) 以太网通信, 双绞线单段传输距离宜不超过 100 m, 光纤传输距离根据光模块规格确定。多级交换机级联时, 总级联深度应根据时延累积和性能衰减综合控制。

b) 传输速率

1) 有线中继网络的传输速率应满足所承载业务的需求。各中继链路间的带宽应保持匹配, 避免因带宽不一致造成网络瓶颈;

2) 光纤通信网络应具备足够的带宽余量, 骨干网络宜采用千兆及以上速率, 以满足定位、视频、传感器数据、控制指令等多业务并发需求;

3) 电力线载波通信网络的传输速率应根据实际应用需求确定, LVBPLC 通信速率不应低于 1 Mbps, LVNPLC 通信速率不应低于 300 bps, MVPLC 通信速率不应低于 100 kbps, PFPLC 通信速率可为 12.5 bps、25 bps、50 bps 等。

c) 时延要求

1) 有线中继网络的端到端传输时延应满足承载业务的服务质量要求。对于定位类、传感类业务, 端到端时延不宜超过 0.5s。对于视频类业务, 端到端时延不宜超过 1s;

2) 多级中继的累积时延应根据业务需求进行核算, 并满足控制系统对响应时间的要求。

d) 可靠性要求

1) 有线中继网络应具备高可靠性。关键节点和关键链路应采用冗余配置, 确保单一设备或链路故障不导致网络中断;

2) 在输电、变电、基建等作业范围大、长的作业场景中, 宜采用光纤环网、星型双网等冗余拓扑结构。在配电等作业范围相对较小的作业场景, 宜采用链型、自愈环网等拓扑结构。环形拓扑可选用单环、相交环、相切环、环间耦合等多种冗余组网方案, 提高网络的可靠性和稳定性;

3) 采用自愈环网设计时, 网络故障恢复时间不宜超过 50ms。

e) 容量要求

1) 有线中继网络的容量应满足接入终端数量和业务带宽的需求。单个交换机或中继设备支持的接入端口数应根据网络规模确定, 支持的接入终端数量宜不少于 32 个, 宜预留不少于 20%的端口余量;

2) 多级中继场景下, 各跳节点的接入容量应综合考虑, 避免因容量不足造成数据拥塞或丢包。

f) 电磁兼容性

1) 有线中继设备应具备抗电磁干扰能力, 在变电站、输电线路等强电磁环境下能够正常工作;

2) 有线中继设备应符合 GB/T 17626.2、GB/T 17626.3、GB/T 17626.8 标准对电磁兼容试验和测量技术的要求, 通过相应的电磁兼容性试验验证;

3) 有线中继设备的电磁发射应满足相关标准要求, 避免对电力系统其他设备产生干扰。

g) 气候环境适应性

1) 户外安装的有线中继设备应具备宽温工作能力, 工作温度范围宜为-30℃~+70℃, 满足极端气候条件下的运行要求;

2) 有线中继设备应符合 GB/T 2423.1、GB/T 2423.2、GB/T 2423.3、GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验的要求, 通过高温、低温、湿热等环境适应性试验。

h) 防护等级

户外安装的有线中继设备外壳防护等级不应低于 IP65，室内安装的设备不应低于 IP30，确保设备在粉尘、潮湿、雨水等环境下的安全运行。

i) 有线中继设备功能要求

1) 中继设备应具备无线信号接收、放大、转发、自主网功能，以及接入终端的识别和认证功能；

2) 中继设备应支持点对点或点对多点组网方式，宜支持多级中继级联（多跳传输），满足更大范围的通信覆盖需求；

3) 中继设备宜具备链路自适应能力，能够根据信号强度、干扰水平等因素动态调整传输速率和发射功率；

4) 中继设备应具备网络管理接口，支持远程监控、配置管理和故障告警；

5) 中继设备应具备轻量化、易部署的特点，支持抱杆、支架、磁吸等多种安装方式，防护等级应满足作业现场环境要求。

j) 电源要求

1) 有线中继设备应配备稳定可靠的电源。在变电站、配电房等具备条件的场所，宜采用站内交流电源供电并配备后备电源；

2) 关键中继节点的电源系统应采用双回路供电或双电源冗余配置，确保单路电源故障时设备仍能正常运行。

8.3.3 无线中继通信组网

适用于现场环境复杂、有线基础设施缺乏、作业区域多、终端分散且需要灵活部署的作业场景，应满足以下要求：

a) 覆盖范围

1) 覆盖范围应满足作业现场的通信需求。输电线路作业场景下，相邻中继节点间的传输距离应根据地形、塔距、设备性能等因素综合确定，一般不低于 5 km，可根据实际需要采用定向天线或高增益天线延长传输距离

2) 变电站和配电房作业场景下，无线中继网络应实现作业区域的无缝覆盖，单跳传输距离根据站内建筑结构和设备布局确定，应避免覆盖盲区；

3) 多跳中继级联的跳数应根据链路质量、时延累积和带宽衰减等因素综合设计，宜控制在合理范围内，避免因跳数过多导致网络性能显著下降。

b) 传输速率

1) 传输速率应满足所承载业务的需求。对于视频类业务，单路视频传输速率应满足视频调阅、智能分析等业务要求；对于定位类、传感器类业务，传输速率应满足数据上报频率和数据包大小的要求；

2) 各跳中继链路间的带宽应保持匹配，避免因带宽不一致造成网络瓶颈。

c) 时延要求

1) 端到端传输时延应满足承载业务的服务质量要求。对于传感器数据采集类业务，单跳中继转发时延不宜超过 0.5 s；

2) 多跳中继的累积时延应根据业务需求进行核算，并满足控制系统对响应时间的要求。

d) 可靠性要求

无线中继网络应具备自愈能力。当中继节点或链路发生故障时，网络应能自动重新路由，确保关键业务不中断。

e) 容量要求

1) 无线中继网络的容量应满足接入终端数量的需求。单个中继设备支持的接入终端数量应根据设备性能和业务模型确定，一般不宜低于 32 个；

2) 多跳中继场景下, 各跳节点的接入容量应综合考虑, 避免因容量不足造成数据拥塞或丢包。

f) 电磁兼容性

1) 无线中继设备应具备抗电磁干扰能力, 在输电线路、变电站等强电场、强磁场环境下应能够正常工作;

2) 无线中继设备应符合 GB/T 17626 系列标准对电磁兼容试验和测量技术的要求, 通过相应的电磁兼容性试验验证;

3) 无线中继设备的发射和接收应避免对电力系统其他设备产生干扰, 其工作频段和发射功率应符合国家无线电管理相关规定。

g) 气候环境适应性

1) 户外安装的无线中继设备应具备宽温工作能力, 工作温度范围宜为 $-30^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$, 应满足极端气候条件下的运行要求;

2) 无线中继设备应符合 GB/T 2423 电工电子产品环境试验的要求, 通过高温、低温、湿热等环境适应性试验;

3) 无线中继设备宜具备防盐雾腐蚀能力, 适用于沿海及高湿度地区的部署, 应符合 GB/T 10125 的相关要求。

h) 防护等级

户外安装的无线中继设备外壳防护等级不应低于 IP65, 室内安装的设备不应低于 IP30, 确保设备在粉尘、潮湿、雨水等环境下的安全运行。

i) 无线中继设备功能要求

1) 中继设备应具备无线信号接收、放大、转发、自主网功能, 以及接入终端的识别和认证功能;

2) 中继设备应支持点对点或点对多点组网方式, 宜支持多级中继级联(多跳传输), 满足更大范围的通信覆盖需求;

3) 中继设备宜具备链路自适应能力, 能够根据信号强度、干扰水平等因素动态调整传输速率和发射功率;

4) 中继设备应具备网络管理接口, 支持远程监控、配置管理和故障告警;

5) 中继设备应具备轻量化、易部署的特点, 支持抱杆、支架、磁吸等多种安装方式, 防护等级应满足作业现场环境要求;

6) 中继设备应至少支持 LoRa、Wi-Fi、WAPI、蓝牙等无线通信接口中的一种, 用于与现场智能终端及管控终端进行数据交互;

j) 电源要求

1) 无线中继设备应配备稳定可靠的电源。在具备条件的场所, 宜采用站内交流电源供电并配备后备电源;

2) 无线中继设备的功耗应满足节能要求, 宜采用低功耗设计。

k) 其他

在同时存在视频类大带宽业务和传感类小带宽业务的场景中, 宜采用混合 Mesh 组网方式, 其中 Wi-Fi Mesh 承载视频类数据, LoRa Mesh 承载传感类数据。

8.3.4 混合中继组网

适用于现场具有有线通信基础设施, 但通信信号无法覆盖作业全区域, 需要通过无线通信延伸覆盖或增强信号的作业场景, 应满足以下要求:

a) 具备有线中继通信组网条件的场景组网要求参考 8.3.2 章节;

b) 具备无线中继通信组网条件的场景组网要求参考 8.3.3 章节。

8.4 卫星通信模式

8.4.1 应用场景

适用于无地面网络或地面网络通信质量无法满足现场与云端通信的作业场景，现场管控终端、现场智能终端之间的通信可按需采用本地通信组网、中继通信组网模式进行数据交互。下列情形宜采用卫星通信模式：

- a) 山区、荒漠、戈壁等无地面网络的作业现场；
- b) 偏远山区、农村等地面网络覆盖薄弱的作业现场；
- c) 自然灾害导致地面通信中断的抢修作业现场；
- d) 现场需与远端应急指挥中心建立可靠通信链路的作业场景。

8.4.2 卫星通信要求

作业现场采用卫星通信的终端设备应至少具备北斗卫星、天通卫星 1 种卫星通信接口与云端进行数据交互，并满足以下要求：

a) 覆盖范围

对于偏远地区和通信盲区的业务需求，应优先选用覆盖能力强的卫星通信系统。

b) 传输速率

- 1) 卫星通信网络应支持文本数据传输，宜支持图片、视频、语音等数据传输；
- 2) 对于多业务并发的卫星通信链路，应合理分配带宽资源，确保关键业务的优先传输。

c) 时延要求

卫星通信系统的端到端传输时延应满足承载业务的服务质量要求，延时最大应不高于 1s。

d) 可靠性要求

1) 对于应急抢险等关键业务，卫星通信链路应作为地面通信的备用链路，或与其他通信方式互为备份；

2) 卫星通信终端应配备备用电源或内置电池，确保在外部电源中断时通信不中断。备用电源的供电时间应不低于 8 小时。

e) 电磁兼容性

1) 卫星通信设备应具备抗电磁干扰能力，在变电站、输电线路等强电磁环境下能够正常工作，符合 GB/T 17626 系列标准的要求；

2) 卫星通信设备的发射功率和带外发射应满足国家无线电管理规定的要求，避免对电力系统其他无线设备产生干扰。

f) 气候环境适应性

1) 户外安装或使用的卫星通信设备应具备宽温工作能力，工作温度范围宜为-30° C~+70°

C，满足极端气候条件下的运行要求；

2) 卫星通信设备应符合 GB/T 2423 电工电子产品环境试验的要求，通过高温、低温、湿热等环境适应性试验；

g) 防护等级

- 1) 户外使用的卫星通信设备外壳防护等级不应低于 IP65；
- 2) 手持式卫星通信终端防护等级不应低于 IP67，满足户外作业场所的防尘防水要求；
- 3) 室内安装的卫星通信设备防护等级不应低于 IP30。

h) 电源要求

1) 固定安装的卫星通信设备应配备稳定可靠的电源，宜配备 UPS 备用电源；

2) 便携式卫星通信设备的电池连续工作时间应不少于 8 小时，应支持外接电源供电或更换电池。

8.4.3 北斗通信设备要求

北斗通信设备组网的技术要求如下：

- a) 北斗通信组网由北斗通道设备、北斗前置接入网络与北斗终端三部分组成；
- b) 北斗通道设备主要为北斗指挥机，北斗指挥机使用千户型终端，可装载北斗卡应不少于 3 张，接入终端数量每增加 100 户，需要增加 1 张北斗卡。北斗指挥机宜安装在露天环境中，避免大型建筑物、山体或金属障碍物等遮挡，应避免有强电磁、Wi-Fi 信号等干扰；
- c) 北斗前置接入网络：北斗通信前置服务器与北斗通道之间网络需具备双向互通条件。北斗通信前置服务器与业务应用系统之间的网络需具备双向互通条件。
- d) 北斗终端应支持北斗通信终端接口协议，防护等级应不低于 IP67；
- e) 北斗终端应在室外进行通信，应避免在室内、树荫下或南面有建筑物遮蔽的环境下安装；
- f) 北斗前置接入网络宜选用星形组网方式与各业务系统进行连接，接入网设备根据现场业务需求选择相应的接口速率，宜通过以太网接口和数据通信网设备连接；
- g) 使用前应开通接入网络环境访问权限，保证业务数据传输链路通畅。

8.4.4 天通卫星设备要求

天通卫星设备组网的技术要求如下：

- a) 天通通信组网由天通卫星、天通卫星通信终端组成；
- b) 天通卫星覆盖范围为国土、领海及其外延 200km、西太平洋、东南亚地区；
- c) 天通卫星通信终端应可拨打全球任意地面固定和移动电话。业务速率应支持 1.2kbit/s、2.4kbit/s 和 4kbit/s 三种速率，应具备可与地面移动终端互联互通的短信功能，宜提供自主定位和北斗两种定位方式；
- d) 天通卫星通信终端在使用过程中，宜在室外露天环境中，避免大型建筑物、山体或金属障碍物等遮挡，应避免有强电磁、Wi-Fi 信号等干扰；
- e) 天通卫星通信终端在使用前应开通接入卫星网络环境访问权限，保证语音和数据业务传输链路畅通。

9 组网安全防护要求

9.1 远程通信安全防护要求

现场管控终端、现场智能终端通过移动通信、卫星通信等远程通信网络与智能服务进行数据交互，安全防护应符合 T/CES 132—2022、T/CES 319—2024 的规定，并符合以下要求：

- a) 与智能服务进行数据交互的现场管控终端、现场智能终端应至少具备硬件加密或软件加密 1 种数据加密方式，按照电力企业物联终端接入要求对传输数据进行加密；
- b) 现场管控终端、现场智能终端与智能服务之间数据交互应设置安全防护装置，例如防火墙或安全接入平台。

9.2 本地通信组网安全防护要求

现场管控终端与现场智能终端通过无线或有线进行数据交互，安全防护应符合 T/CES 132—2022、T/CES 319—2024 的规定，并符合以下要求：

- a) 现场管控终端应具备对现场智能终端身份校验能力，只与绑定的智能终端进行数据交互；
- b) 现场管控终端应具备对现场智能终端身份信息保存能力，实现智能终端绑定一次后开机配置、自动组网；
- c) 现场管控终端、现场智能终端应对关键数据进行完整性、可用性校验。

9.3 中继通信组网安全防护要求

现场管控终端、现场智能终端、中继设备之间通信组网安全防护应满足以下要求：

- 1) 中继网络应具备对现场管控终端、智能终端等终端设备接入认证功能，宜采用白名单管理机制对允许接入的设备进行识别和认证；
- 2) 中继网络应采用国家密码管理部门批准的密码算法，对传输数据进行加密保护，防止数据被窃听或篡改；
- 3) 中继网络应具备抗干扰能力，能够抵抗电力作业现场的电磁干扰、同频干扰等不利因素；
- 4) 中继网络应具备防非法接入能力，能够防范中间人攻击、钓鱼 AP/伪基站等安全威胁。

9.4 卫星通信安全防护要求

采用卫星通信的终端设备安全防护应满足以下要求：

- a) 卫星通信网络接入电力云端系统，应在网络边界处部署经国家认证的电力专用安全防护设备，并按照电力企业相关要求做好防护措施；
- b) 卫星通信信道传输的业务数据应根据业务安全等级采取分级保护措施；
- c) 北斗短报文安全应满足以下要求：
 - 1) 北斗短报文通信应采用符合北斗系统安全要求的加密机制，确保短报文数据的机密性和完整性
 - 2) 北斗短报文终端与主站之间的数据传输应建立安全传输机制，保障电力敏感数据在借助卫星通道传输时不被恶意窃听或篡改。
- d) 天通卫星通信安全应满足以下要求：
 - 1) 天通一号卫星移动通信终端应采用核心加密模块，通过国家安全认证，杜绝信息外流风险；
 - 2) 天通卫星通信语音和数据链路应采用国家密码管理部门批准的加密算法进行加密保护；
 - 3) 天通卫星通信终端与卫星通信系统之间应实现双向身份认证，防止非法终端接入。

10 通信组网测试方法

10.1 远程直连通信组网测试方法

按以下方法进行测试：

- a) 测试环境：应选取具备电力有线专网或 4G/5G 移动通信的作业现场，现场管控终端或智能终端应具备通过电力有线专网或 G/5G 移动通信直连云端智能服务；
- b) 测试步骤：
 - 1) 有线组网测试：通过以太网/串口连接终端与云端，使用网络测试仪发送数据流；
 - 2) 无线组网测试：终端通过 4G/5G 移动通信，分别在作业现场边缘、中心、遮挡区域共不少于 3 个点位进行测试；
 - 3) 指标测量：使用 Ping 包测试时延；使用吞吐量测试仪测试带宽；记录业务并发情况。
- c) 关键指标要求：
 - 1) 时延：有线链路及无线链路端到端传输时延均测试结果应符合本标准 8.1.2、8.1.3 条的规定；
 - 2) 带宽：链路带宽需满足前端业务并发要求，测试结果应符合本标准 8.1.2、8.1.3 条的规定；
 - 3) 覆盖距离：有线通信组网距离应根据现场电力有线专网覆盖范围实测确定，无线通信组网距离应根据现场 4G/5G 移动通信网络信号覆盖范围实测确定。

10.2 本地通信组网测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：应选取作业范围小于 1km 现场，部署一台现场管控终端，多类型智能终端（视频、传感、定位）通过有线/无线方式接入管控终端，管控终端再通过电力有线专网或 G/5G 移动通信直连云端智能服务；

b) 测试步骤：

1) 覆盖距离测试：在有线通信组网情况下，智能终端通信组网距离应在现场有线通信覆盖范围内；在无线通信组网情况系，且在无遮挡环境下，携带智能终端逐步远离现场管控终端，记录通信中断临界点距离；

2) 时延测试：针对在有线通信组网、无线通信组网环境下，分别定位类、视频类、传感类智能终端数据采集传输的端到端时延；

3) 容量测试：针对有线通信组网、无线通信组网环境下，逐步增加接入现场管控终端的设备数量，监测网络拥塞及丢包情况。

c) 关键指标要求：

1) 覆盖距离：有线通信组网、无线通信组网覆盖距离测试结果应符合本标准 8.2.2、8.2.3 条的规定；

2) 时延：针对在有线通信组网、无线通信组网环境下，定位类、视频类、传感类智能终端数据采集传输测试结果应符合本标准 8.2.2、8.2.3 条的规定；

3) 带宽：以太网速率支持及串口速率支持测试结果应符合本标准 8.2.2、8.2.3 条的规定；

4) 组网容量：单台管控终端有线接入端口及无线接入容量测试结果应符合本标准 8.2.2、8.2.3 条的规定。

10.3 中继通信组网测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：应选作业范围大于 1km 或存在遮挡的现场，部署现场管控终端及多级中继节点（有线中继/无线中继/混合中继），现场智能终端经多跳转发至现场管控终端；

b) 测试步骤：

1) 多跳传输测试：在输电线路（距离长）或变电站（遮挡多）场景下，逐级部署中继节点，测试端到端通信质量；

2) 自愈能力测试（有线/无线）：人为断开某一跳中继节点的主链路或主电源，观察网络重新路由时间及业务恢复情况；

3) 性能劣化测试：对比单跳与多跳（如 3 跳、5 跳）情况下的时延和带宽衰减。

c) 关键指标要求：

1) 覆盖距离：针对有线中继通信组网、无线中继通信组网覆盖距离测试结果应符合本标准 8.3.2、8.3.3 条的规定；

2) 时延：针对有线中继通信组网、无线中继通信组网数据传输时延测试结果应符合本标准 8.3.2、8.3.3 条的规定；

3) 带宽：针对有线中继通信组网、无线中继通信组网数据传输带宽测试结果应符合本标准 8.3.2、8.3.3 条的规定；

4) 组网容量：针对有线中继通信组网、无线中继通信组网现场智能终端接入数量测试结果应符合本标准 8.3.2、8.3.3 条的规定；

5) 可靠性：针对有线中继通信组网、无线中继通信组网数据传输可靠性测试结果应符合本标准 8.3.2、8.3.3 条的规定。

10.4 卫星通信测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：应选在无地面网络或弱网环境的现场，部署北斗/天通卫星终端，现场管控终端通过卫星链路与云端交互；现场管控终端、现场智能终端间可通过本地通信组网、中继通信组网模式进行数据交互。

b) 测试步骤：

1) 遮挡与环境影响测试：分别在露天无遮挡、树荫、南面有建筑物遮蔽环境下测试信号质量；

2) 关键业务并发测试：同时发送定位数据、短报文/语音和图片，测试带宽分配及关键业务优先级保障；

3) 续航与备用电源测试：切断外部交流电源，测试卫星通信终端备用电池的持续工作时长。

c) 关键指标要求：

1) 时延：卫星通信端到端传输时延测试结果应符合本标准 8.4.2、8.4.3、8.4.4 条的规定；

2) 带宽/速率：卫星通信设备通信带宽/速率测试结果应符合本标准 8.4.2、8.4.3、8.4.4 条的规定；

3) 覆盖范围：卫星通信设备信号覆盖范围测试结果应符合本标准 8.4.3、8.4.4 条的规定；

4) 组网容量：卫星通信设备组网容量测试结果应符合本标准 8.4.3、8.4.4 条的规定；

5) 可靠性：卫星通信设备电源供电时间测试结果应符合本标准 8.4.2 条的规定。

11 组网安全防护测试方法

11.1 远程通信安全防护测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：应选取具备电力有线专网或 4G/5G 移动通信的作业现场，部署现场管控终端、现场智能终端，终端通过远程通信模式与云端测试环境下的智能服务建立数据交互链路，测试环境具备加密检测工具、网络抓包工具。

b) 测试步骤：

1) 加密功能测试：检查现场管控终端、现场智能终端是否集成符合电力企业要求的硬件加密模块或软件加密程序；启动终端与智能服务进行数据交互；使用网络抓包工具抓取终端与智能服务之间传输报文，对捕获数据包进行解析；分别开启、关闭加密机制，对比报文内容；

2) 传输安全测试：开启加密机制，执行业务数据上传、指令下发，对传输数据进行篡改、重放、伪造，验证接收端能够识别与拒绝，并校验业务功能是否正常；

3) 业务一致性测试：开启加密机制，执行业务数据上传、指令下发，校验业务功能是否正常；

c) 关键指标要求：

1) 加密能力：现场管控终端、现场智能终端应至少具备硬件加密或软件加密 1 种数据加密方式，测试结果应符合本标准 9.1a) 的规定；

2) 数据安全：传输数据不应以明文形式暴露，篡改、重放、伪造数据应被检出并拒绝，相关要求应符合 T/CES132—2022、T/CES319—2024 和本标准 9.1 的规定；

3) 业务可用性：启用全部远程安全防护措施后，定位、视频、传感业务传输功能不受阻断，业务时延、带宽指标仍应满足第 8 章远程直连通信模式业务指标。

11.2 本地通信组网安全防护测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：选取一处空旷场地，部署 1 台现场管控终端，配置多台现场智能终端（定位、视频、传感类），现场终端通过有线/无线接入管控终端；具备模拟非法终端设备、报文完整性校验测试工具。

b) 测试步骤：

1) 终端身份校验与绑定测试：将合法智能终端与现场管控终端完成绑定；接入未绑定的非法模拟终端，观测管控终端是否允许非法终端接入组网；重启已绑定合法终端，观测是否实现自动组网；

2) 数据完整性与可用性校验测试：构造篡改后的业务数据包，向管控终端或现场智能终端发送篡改报文；发送正常业务报文作为对照组，观测设备对异常报文的处理行为；

3) 业务联动测试：绑定合法终端，完成定位、传感、视频数据上报，验证组网和业务交互正常；

c) 关键指标要求：

1) 身份接入控制：管控终端仅允许已完成绑定的现场智能终端接入，拒绝未绑定终端接入网络；绑定完成后的合法终端开机可自动完成组网接入，测试结果应符合本标准 9.2 条的规定；

2) 数据校验能力：终端可识别被篡改的异常报文，对非法报文进行丢弃或告警；正常业务报文可正常解析处理，保障关键数据完整性与可用性，测试结果应符合本标准 9.2 条的规定；

3) 业务可用性：启用本地组网全部安全防护策略，不影响本地组网时延、接入容量、覆盖距离等通信性能指标；

11.3 中继通信组网安全防护测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：选取一处空旷场地，部署现场管控终端、多级有线 / 无线中继节点、多台现场智能终端，搭建中继通信组网环境；具备模拟伪 AP、中间人攻击工具、密码算法检测工具。

b) 测试步骤：

1) 接入认证与白名单测试：在中继网络配置设备接入白名单；将白名单内合法终端接入中继网络；将不在白名单内的模拟非法终端尝试接入中继网络，观测接入结果；

2) 传输加密测试：启用中继网络加密机制，使用抓包工具抓取中继链路上传输报文，核查加密算法是否采用国家密码管理部门批准密码算法；抓取链路上数据报文，检查是否为密文；

3) 抗干扰及防攻击测试：在现场施加同频干扰、电磁干扰；模拟中间人攻击、钓鱼 AP/伪基站攻击行为，观测中继网络是否出现非法接入、数据泄露、业务中断；

4) 业务稳定性观测：施加干扰与攻击场景下，持续运行定位、传感、视频业务，观测业务状态。

c) 关键指标要求：

1) 接入认证：中继网络可识别白名单列表设备，仅允许白名单内设备接入；拒绝白名单以外非法设备接入，测试结果应符合本标准 9.3 条的规定；

2) 传输加密：中继链路业务数据采用国家密码管理部门批准密码算法加密，链路上抓取报文为密文，无法直接读取业务明文，测试结果应符合本标准 9.3 条的规定；

3) 抗攻击抗干扰：在现场电磁干扰、同频干扰、中间人攻击、钓鱼 AP/伪基站模拟攻击条件下，中继网络无非法设备接入，业务数据不泄露，关键业务不发生异常中断，测试结果应符合本标准 9.3 条的规定；

4) 业务可用性：开启中继全套安全防护，中继组网时延、多跳带宽衰减、自愈恢复时间等通信指标仍应满足第 8.3 章节要求。

11.4 卫星通信安全防护测试方法

按以下方法进行测试：

a) 测试环境：选取一处空旷场地，部署北斗、天通卫星通信终端、现场管控终端；现场管控终端与北斗、天通卫星通信终端已实现数据贯通，北斗、天通卫星通信终端与云端测试环境智能服务已实现数据贯通，且网络边界部署电力专用安全防护设备；具备报文捕获工具、加密算法核查工具。

b) 测试步骤：

1) 边界安全防护测试：移除 / 启用网络边界电力专用安全防护设备，模拟卫星终端绕过边界防护直接访问电力云端系统，检验访问阻断效果；

2) 北斗短报文安全测试：启用北斗短报文加密机制，抓取北斗短报文通信数据；发送敏感电力业务短报文，核查报文机密性、完整性；模拟篡改短报文内容，观测主站处理逻辑；

3) 天通卫星通信安全测试：核查天通终端加密模块国家安全认证资料；抓取天通链路语音、数据报文，核查加密算法；模拟非法卫星终端尝试接入现有天通组网链路，检验双向身份认证拦截效果；

4) 分级保护测试：发送不同安全等级业务数据，核查不同等级业务是否执行对应分级防护策略。

c) 关键指标要求：

1) 网络边界防护：卫星通信接入电力云端系统必须经过国家认证电力专用安全防护设备；绕过边界防护的访问行为应被阻断，测试结果应符合本标准 9.4 条的规定；

2) 北斗短报文安全：北斗短报文采用北斗系统要求加密机制，传输报文具备机密性、完整性；篡改后的短报文数据可识别，防止窃听篡改，测试结果应符合本标准 9.4 条的规定；

3) 天通卫星安全：天通终端使用通过国家安全认证的核心加密模块；链路采用国家密码管理部门批准加密算法；非法卫星终端无法完成双向身份认证，禁止接入组网，测试结果应符合本标准 9.4 条的规定；

4) 分级保护：不同安全等级业务数据执行分级保护策略；启用卫星全部安全防护措施后，卫星通信时延、备用电源续航等通信指标应符合本标准 8.4 章节要求。

团体标准

电力作业现场智能化安全管控系统 第 5 部分：现场设备组网技术规范

T/CESXXX—2026

2026 年 5 月第一版

*

北京西城区莲花池东路 102 号天莲大厦 10 层

邮政编码：100055

网址：<http://ces.org.cn/html/category/17060132-1.htm>

电话：010-6325699063256997

版权专有侵权必究