

中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z XXXXX—XXXX

智慧城市基础设施 分布式光伏站点智能感知配置要求

Smart community infrastructures—Requirements for intelligent sensing configuration of distributed photovoltaic power stations

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2026-08-03）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 缩略语 3

5 总则 3

6 感知系统分级配置要求 4

 6.1 分级原则 4

 6.2 分级适用场景 4

7 感知系统组成与分级配置 5

 7.1 数据采集系统 5

 7.2 视频感知系统 6

 7.3 自动消防系统 6

 7.4 升压站电气设备状态智能感知系统 7

 7.5 无人机感知系统 7

 7.6 组件清洗感知系统 8

 7.7 智能安防系统 8

8 新型智能感知系统 9

 8.1 一般规定 9

 8.2 机器人智能巡检感知系统 9

 8.3 边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统 10

9 软件架构 11

 9.1 一般要求 11

 9.2 边缘端软件 11

 9.3 云端平台软件 11

附录 A（资料性） 感知系统分级配置总表 13

附录 B（资料性） 感知设备通信协议与数据格式要求 15

附录 C（资料性） 各等级站点感知设备配置清单（参考） 16

参考文献 18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—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。

本文件由全国城市可持续发展标准化技术委员会(SAC/TC 567)提出并归口。

本文件起草单位：华电电力科学研究院有限公司、华能南京金陵发电有限公司、中国标准化研究院、中国石油集团工程材料研究院有限公司、华电河北新能源有限公司、华润电力技术研究院有限公司、中城智慧（北京）城市规划设计研究院有限公司、内蒙古华电辉腾锡勒风力发电有限公司、浙江正泰智维能源服务有限公司、石家庄科林电气股份有限公司、南方电网数字电网科技（广东）有限公司、国网电力空间技术有限公司、广西北投路衍新能源开发有限公司、国核电力规划设计研究院有限公司、云南电网有限责任公司数智运营中心、中国铁建大桥工程局集团有限公司、中国能源建设集团天津电力建设有限公司、湖北华中电力科技开发有限责任公司、中国石油大学（华东）、山高新能源集团有限公司、中建中环建设发展集团有限公司、山东电力建设第三工程有限公司、深圳创维光伏技术服务有限公司、中铁建国际工程咨询（福州）有限公司、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、楷德电子工程设计有限公司、中铁九局集团电务工程有限公司、中铁十六局集团有限公司、北京京能国际综合智慧能源有限公司、浙江省白马湖实验室有限公司、海南电力产业发展有限责任公司、中建六局第四建设有限公司、中核汇能（浙江）新能源有限公司、中铁四局集团电气化工程有限公司、湖南防灾科技有限公司、江苏华辰变压器股份有限公司、三峡智慧水务科技有限公司、中铁二十局集团电气化工程有限公司、阳光新能源开发股份有限公司、国能智深控制技术有限公司、国网湖北省电力有限公司武汉供电公司、武汉华源电力有限公司、中交一公局电气化工程有限公司、中国电建集团江西省电力设计院有限公司、北京中科宏一科技集团有限公司、中铁八局集团电务工程有限公司、中国水利水电第十一工程局有限公司、北京标科智联工程技术研究院有限公司、北京瑞拓电子技术发展有限公司、中能建建筑集团有限公司。

本文件主要起草人：周宇昊、杨锋、施毅、孔德同、姜栋、阎毛毛、王成立、彭彬、陈慧文、张道全、王强、肖鹏、李超、崔光、李立伟、蔡创彬、俞铁铭、倪兴旺、孙昊、郭永超、戴瑶、蒋龙、杨元博、袁兴德、李春海、吴旦、杨国柱、覃碧、刘平、吴云来、田茂杰、李振、白春光、胡维昊、宋泽、安海涛、陈林林、刘行波、代增丽、王鹏、刘义彬、郑华、魏新、赵强、徐增辉、杨秉武、张天祥、余立强、张驰、高宇宁、洪杰、尹生龙、朱鸿章、贺海晏、王涛、徐钦、高冬、沈曲、校建东、何宝恩、柏署、陆松柳、牛海明、汤胜、宋宝禄、周波、王琪、笪晓峰、李杜、吕太辉、王理强、岳嘉、叶超凡、龚卫勇、刘毅、谢迎春、温杜仲、沈雪飞、雷杰、陶三奇、陈延兵、唐珂、王华震、王远浩、张佳、黄谭发、李佳杰、戢建仁、王贲辉、周伟、杨扬、崔滨、解后军。

引 言

在智慧城市建设加速推进的时代背景下，城市能源系统的智能化、绿色化转型成为关键支撑与必然要求。分布式光伏站点作为城市能源体系的重要组成部分，其科学规划配置对于增强城市能源基础设施的可靠性与韧性、推动能源结构绿色转型意义重大。通过优化光伏发电设备配置并提升智能感知能力，可实现基础设施服务效能提升、生态环境改善和经济高质量发展的多维可持续目标。本文件旨在制定统一的分布式光伏站点智能感知设备配置标准，确保站点感知设备基本配置具备适用性、全面性与安全性。该文件为智能感知设备的配置、选型及安装位置提供明确指导，适用于从事分布式光伏场站建设、改建以及感知设备生产的相关机构，助力光伏发电企业明确设备功能与配置要求、感知设备制造商使产品契合功能性能标准、新能源场站设计企业确定新建站点配置原则。同时，优化感知设备配置能提高发电设备供电的可靠性、稳定性与灵活性，借助智能调控增加发电效率、提升能源基础设施服务质量。考虑到新机型、新场景和新技术发展可能带来配置差异，标准使用者需在可研、设计及安装实施时关注其对感知设备参数的影响。

智慧城市基础设施 分布式光伏站点智能感知配置要求

1 范围

本文件规定了智慧城市基础设施范畴下分布式光伏站点智能感知系统的分级配置原则、各感知子系统构成、设备布设要求、新型智能感知系统选配规则、云边协同软件架构和系统通用安全要求。

本文件适用于纳入智慧城市规划建设体系，以 0.4 kV、10 kV（或 20 kV）电压等级接入配电网的户用、普通工商业、大型工商业分布式光伏站点新建、改建和扩容工程，覆盖有人值守、无人值守两类运维场站。

本文件不适用于下述场景：

- a) 规模化集中式光伏发电场站；
- b) 35 kV 以上电压等级独立光伏并网设施；
- c) 国防、军工、核电等特种行业专用光伏供电配套系统。

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 37300 公共安全重点区域视频图像信息采集规范

GB 50016 建筑设计防火规范

GB/T 1.1—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

GB/T 13729 远动终端设备

GB/T 17215（所有部分） 交流电测量设备

GB/T 19870 工业检测型红外热像仪

GB/T 20513.1 光伏系统性能 第 1 部分：监测

GB/T 30147 安防监控视频实时智能分析设备技术要求

GB/T 30153 光伏电站太阳能资源实时监测技术要求

GB/T 33593 分布式电源并网技术要求

GB/T 37939 信息安全技术 工业控制系统安全分级规范

GB/T 38946 分布式光伏发电接入配电网技术规定

GB/T 39753 分布式光伏电站监控系统技术要求

GB/T 41780.1 物联网 边缘计算 第 1 部分：通用要求

GB/T 43441.1 信息技术 数字孪生 第 1 部分：通用要求

GB/T 44228 智能光伏电站

GB/T 50797 光伏电站设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

分布式光伏发电 distributed photovoltaic generation

就近布局于用户侧区域，以自发自用、余电上网为主要运行模式，接入配电网实现就地功率平衡调节的光伏发电设施。

3.2

智能感知系统 intelligent perception system

依托各类现场传感采集装置，结合数字化识别、传输处理技术，采集场站物理运行信息并转化为可识别、可分析数字信息的一体化系统。

3.3

光伏组件 photovoltaic module

具有封装及内部联结，能单独提供直流电输出的最小不可分割的光伏电池组合装置。

3.4

高级量测体系 Advanced Infrastructure Metering

采用先进通信、传感和计量技术，实现对能源基础设施运行状态的全面感知、双向互动和精细化管理的系统体系。

3.5

远程终端设备 Remote Terminal Unit

应用于远动系统，完成现场数据采集、信息上传及下发控制指令执行的现场终端装置。

3.6

分布式发电 Distributed Generation

接入用户侧电网或在用户场地附近建设的发电设施。

3.7

健康状态 State of Health

反映电池或设备当前性能相对于额定状态的退化程度的量化指标，通常以剩余可用容量与额定容量的百分比表示。

3.8

油中溶解气体分析 Dissolved Gas Analysis

通过分析变压器油中溶解的特征气体（如乙炔、氢气等）的种类和含量，判断设备内部是否存在过热、放电等故障的检测技术。

3.9

最大功率点跟踪 Maximum Power Point Tracking

通过实时调节使光伏组件工作在最大功率点的控制技术。

3.10

轨道式巡检机器人 orbital inspection robot

沿预先架设的固定轨道自主或受控行走，搭载图像、红外、环境传感等感知设备，自动完成设备外观观测、状态采集、异常识别的移动式巡检特种机器人，具备定点停靠、循迹运行、数据回传功能。

4 缩略语

下列符号适用于本文件。

表 1 缩略语对照表

缩写	英文全称	中文名称
AIM	Advanced Infrastructure Metering	高级量测体系
API	Application Programming Interface	应用程序接口
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	美国信息交换标准代码
BMS	Battery Management System	电池管理系统
DG	Distributed Generation	分布式发电
DGA	Dissolved Gas Analysis	油中溶解气体分析
4G/5G	Global System for Mobile Communications	第四 / 五代移动通信技术
HTTPS	Hyper Text Transfer Protocol Secure	超文本传输安全协议
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气和电子工程师协会
IEC	International Electrotechnical Commission	国际电工委员会
IoT	Internet of Things	物联网
IP	Internet Protocol	网际协议
JSON	JavaScript Object Notation	JavaScript 对象表示法
LoRa	Long Range	远距离无线电通信技术
MPPT	Maximum Power Point Tracking	最大功率点跟踪
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	消息队列遥测传输协议
Modbus	Modbus	Modbus 通信协议（厂商注册商标）
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	窄带物联网
ONVIF	Open Network Video Interface Forum	开放网络视频接口论坛
PoE	Power over Ethernet	以太网供电
PV	Photovoltaic	光伏
RF	Radio Frequency	射频
RTC	Real Time Clock	实时时钟
RTSP	Real Time Streaming Protocol	实时流传输协议
RTU	Remote Terminal Unit	远程终端设备
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
SQL	Structured Query Language	结构化查询语言
SOH	State of Health	健康状态
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议

5 总则

系统遵循安全可靠、统一开放、经济适用、兼容扩展的原则，满足光伏站点运行监测、故障预警、优化调控及智慧城市能源协同管理需求。

系统采用分层分布式架构，由感知层、网络传输层、数据处理层、应用服务层构成，实现纵向贯通、横向协同。

智能感知系统应包括数据采集系统、视频感知系统、自动消防系统、升压站电气设备状态感知系统、无人机感知系统、组件清洗感知系统、智能安防系统。

系统安全防护宜符合国家相关规定。

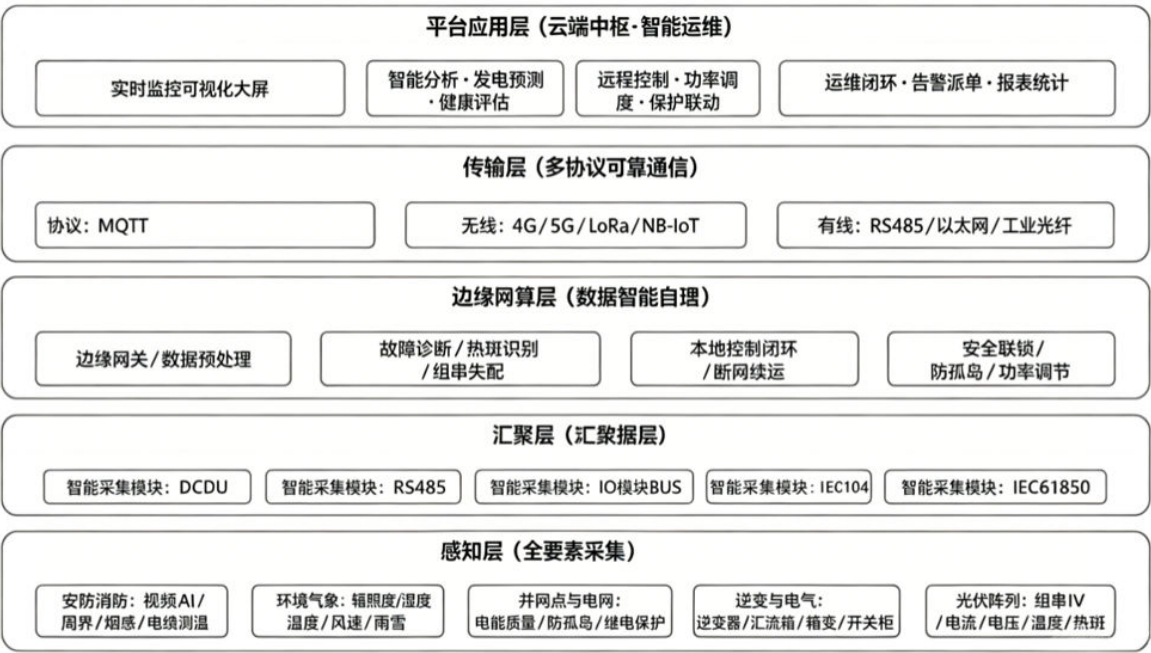


图 1 分布式光伏站点感知系统架构图

6 感知系统分级配置要求

6.1 分级原则

分布式光伏站点智能感知配置执行差异化原则，应依据地区经济社会发展水平、场站用户性质、现场环境条件、资源禀赋等要素，对场站感知配置等级进行划分，分级明确配置目标、技术准则与建设标准，适配不同类型分布式光伏站点监控运维需求，适配市场主体差异化建设投入。

按保障等级、场站规模、运维模式将感知系统划分为基础保障级、标准智能级、高级智慧级。

基础保障级宜为最低配置，所有站点宜满足；标准智能级为推荐配置；高级智慧级为增强配置，按需选用。同一站点可按区域/设备差异化配置，整体不低于对应等级要求。

6.2 分级适用场景

6.2.1 基础保障级

户用、小型工商业，通过 0.4 kV 接入电网，装机容量≤380 kW 的站点。

6.2.2 标准智能级

一般工商业，通过 10 kV（或 20 kV）接入电网，装机容量大于 380 kW，小于等于 6 MW 区间的站点。

6.2.3 高级智慧级

大型工商业或园区，接入 35kV 等级电网，容量大于 6MW 的站点，或重要负荷供电、可联合管理的集群站点、智慧城市重点能源节点。

7 感知系统组成与分级配置

7.1 数据采集系统

7.1.1 系统功能

1) 宜包括气象采集单元、组件监测单元、逆变器监测单元，应具备多种采样频率、多通道同步采集的功能。气象采集单元应具备温度、湿度、太阳辐照度、风速、风向、空气污染物、颗粒物浓度等各类在线监测数据；组件监测单元应包括组串电流、电压、功率、发电量、组件表面温度等各类在线监测数据；逆变器监测单元应包括直流侧电压、直流侧电流、有功功率、无功功率、功率因数、逆变器效率、MPPT 跟踪效率和逆变器功率等各类在线监测数据。

2) 宜具备信号处理、数据转换、数据存储等功能；

3) 宜具备统一的数据传输通信协议；

4) 宜具备装置自检与自恢复的功能。

7.1.2 分级配置

基础保障级：宜配置基础气象（辐照、环境温湿度）监测、逆变器运行状态监测及电能计量采集功能。

标准智能级：宜配置全要素气象监测、光伏组串全电量监测及系统全链路数据采集功能。

高级智慧级：宜配置高精度数据采集、多通道同步监测及边缘计算预处理功能。

7.1.3 安装位置

气象采集单元需安装在站点内无遮挡区域，保证太阳辐射、温湿度等数据的全天候正常监测；每 20~30 块光伏组件配置一个组串监测单元终端，安装在直流汇流箱内或附近；组串式逆变器需内置逆变器监测单元，集中式逆变器可以外接逆变器监测单元。

7.1.4 技术参数

1) 全站数据采集终端、远动测控装置通用技术性能，应符合 GB/T 13729-2019《远动终端设备》第 5 章 技术要求全部规定全国标准信息公共服务平台；光伏监测系统整体采集、功能、精度同步遵循 GB/T 39753-2021《分布式光伏电站监控系统技术要求》、GB/T 20513.1-2025《光伏系统性能 第 1 部分：监测》。

2) 气象监测设备国家标准要求：

① 太阳辐照度传感器测量精度、温度特性、校准要求，执行 GB/T 30153-2013《光伏电站太阳能资源实时监测技术要求》第 5.7、5.8 条；

② 光伏站点一体化气象站（风速、风向、环境温湿度）整机性能、环境适应性符合 GB/T 20513.1-2025 对应气象测量条款；

3) 光伏组件温度、组串支路监测采集精度、同步采样性能，应符合 GB/T 39753-2021 中阵列监测专项技术要求；

4) 光纤式测温传感器配套测量指标可参考国标配套引用体系, 优先采用 GB/T 2423 系列环境试验国家标准;

5) 场站电能计量、电能量采集装置准确度、谐波计量、失压记录等计量性能, 执行 GB/T 17215 系列《交流电测量设备》国家标准;

6) 分布式光伏并网点计量配套要求遵循 GB/T 38946-2020《分布式光伏发电接入配电网技术规定》。

7.2 视频感知系统

7.2.1 系统功能

1) 用于智能安防的摄像头应具备可见光、红外双光谱摄像功能, 用于温度测量的摄像头应具备热成像功能, 摄像头应具备防拆、开路、短路报警功能;

2) 具备实时监视、视频录制、存储、传输等功能, 图像内容自动处理与自动识别等功能;

3) 具备人员目标识别、设备对象识别、仪器仪表识别等能力;

4) 具备故障报警、信号量报警参数设置、报警信息触发现场视频录像等功能;

5) 具备自动轮巡播放功能, 可对前端任意一路监控图像进行切换、云台控制, 可回放任一摄像头的历史图像及报警录像, 回放方式支持慢放、快放、单帧、倒帧等, 录像保存期限应不低于 90 天;

6) 宜提供业务功能二次开发接口, 支撑其他信息化系统应用。

7.2.2 分级配置

基础保障级: 宜配置关键点位可见光视频监控设备, 视频存储录像保存时长不宜少于 30 天。

标准智能级: 宜配置双光谱球型摄像机及红外热成像监测设备, 视频存储录像保存时长不宜少于 90 天, 并具备人工智能目标识别功能。

高级智慧级: 宜实现全域全覆盖视频感知、数字孪生可视化展示, 并具备智能分析与联动处置能力。

7.2.3 安装位置

1) 升压站内箱型变压器旁宜部署球形摄像头;

2) 组串阵列上方可选配部署热成像、球形摄像头。

7.2.4 技术参数

1) 光伏组件侧安装的摄像头无相关国家标准, 宜参照附录 A 中的内容;

2) 升压站内安装的摄像头无相关国家标准, 宜参照附录 A 和 B 中的内容;

3) 红外摄像头技术参数宜按照 GB/T 19870 第 5 部分“基本参数”的规定。

7.3 自动消防系统

7.3.1 系统功能

1) 自动消防系统应具备火灾自动报警及自动灭火功能, 灭火装置应具备自动、手动切换功能;

2) 自动消防系统应具备自身运行状态监测及故障报警功能;

3) 宜提供业务功能二次开发接口, 为其他信息化系统提供应用支撑。

7.3.2 分级配置

基础保障级：宜配置箱变火灾探测装置及手动灭火装置。

标准智能级：宜配置火灾自动报警、自动灭火及远程监控功能。

高级智慧级：宜配置消防联动控制、环境气体监测及全区域火情感知功能。

7.3.3 安装位置

宜在箱型变压器旁部署火灾自动探测报警装置，在光伏组串区域的火灾敏感点可选配火灾探测报警装置。

7.3.4 技术参数

光伏系统防火和灭火系统设计宜符合 GB 50016 第 8 部分“消防给水和灭火设施”。

7.4 升压站电气设备状态智能感知系统

7.4.1 系统功能

1) 宜具备箱型变压器本体及套管的过热、放电、受潮等异常状态的有效监测、预警、故障初步诊断功能；

2) 宜实现电缆的破损、过热、放电、受潮等异常状态的有效监测、隐患提前预警、故障初步诊断功能。

7.4.2 分级配置

基础保障级：宜配置箱式变压器温度监测、电缆接头温度在线监测功能。

标准智能级：宜配置变压器油中溶解气体在线监测、电缆护套环流监测及设备综合在线监测功能。

高级智慧级：宜配置设备全状态感知、运行趋势分析、设备寿命预测研判功能。

7.4.3 安装位置

1) 宜在箱型变压器进出油阀门、智能组件柜处配置油中溶解气体在线监测装置，可在箱型变压器铁芯/夹件接地线选配接地电流在线监测装置，可在铁芯接地线/进出油阀门/油箱壁选配局放传感器；

2) 宜在电缆终端/中间接头配置温度传感器，在电缆接地线配置护套环流传感器；

3) 宜在智能组件柜配置电缆综合在线监测装置、智能综合处理单元，可在智能组件柜选配局放在线监测装置。

7.4.4 技术参数

升压站电气设备状态智能感知系统宜参照附录 A 内容。

7.5 无人机感知系统

7.5.1 系统功能

1) 无人机智能巡检系统应具备光伏组件、逆变器、箱变、输电线路等设备的故障识别和红外测温功能；

2) 能够在电磁干扰、低温作业、高温作业及风雨沙尘等恶劣环境下作业；

- 3) 具备红外摄像头和高清摄像头。

7.5.2 分级配置

基础保障级：按需配置，配置手持或车载式无人机，采用共享模式。

标准智能级：按需配置，配置手车载式无人机，采用共享模式。

高级智慧级：须配置固定式无人机和机库，具备自主航线巡检、智能缺陷诊断等功能。

7.5.3 安装位置

无人值守光伏站点宜配置无人机机库，每 150MW 可配置一台无人机。规模较小的光伏站点可配置车载式无人机，同一区域内多个站点可共享。

7.5.4 技术参数

- 1) 光伏无人机智能感知系统宜符合 GB/T 46924 中要求；

- 2) 可见光图像智能识别正确率 $\geq 90\%$ ，漏报率 $\leq 2\%$ ，温度误差 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；

- 3) 50MW 及以上容量可配置 1 台无人机，每增加 150MW 可增配一台无人机。对于直径 30 公里范围内的多个小容量光伏站点，可配置一台无人机开展巡检工作。

7.6 组件清洗感知系统

7.6.1 系统功能

应具备光伏组件的自动清洗、实时监控、清洗状态及位置识别、故障快速报警与定位等功能。

7.6.2 分级配置

基础保障级：不配置光伏组件智能清洗相关设备及设施，可采用共享的方式补充。

标准智能级：可根据现场实际运行需求，选配光伏组件清洗机器人设备。

高级智慧级：宜配置组件自动清洗装置、表面脏污智能判定功能，并具备自动化定时作业管控能力。

7.6.3 安装位置

- 1) 对于平坦地形，相同安装角度的组串可安装一台清洗机器人，通过导轨移动执行清洗；
- 2) 对于复杂地形，灰尘严重区域可每串组件安装一台清洗机器人。

7.6.4 技术参数

清洗作业后，表面无肉眼可见污染物；透光率恢复至原值 98% 以上。

7.7 智能安防系统

7.7.1 系统功能

- 1) 可识别人员、动物、各类设备等目标，具备运动目标检测、目标分类、入侵检测报警等功能，具备人员入侵报警功能及反违章抓拍报警功能；

2) 设备可实时输出视频描述数据, 数据应包括监测目标、异常事件相关的文本信息, 同时包括监测目标、异常事件相关的图片信息。该数据可独立于视频流输出, 也可作为辅助数据附加在视频编码码流中输出;

3) 设备可支持远程配置或现场配置功能, 包括参数设置、设备控制和软件升级等;

4) 宜提供业务功能二次开发接口, 为其他信息化系统提供应用支撑。

7.7.2 分级配置

基础保障级: 宜配置场区入口视频监控及简易入侵报警设施。

标准智能级: 宜配置电子围栏、人工智能行为分析及出入口门禁管理系统。

高级智慧级: 可构建全域安防感知体系, 配置全方位周界防范及安全事件应急联动功能。

7.7.3 安装位置

站点主入口可按照电子门禁, 站点各构筑物入口可按照球形摄像头, 光伏生产区域可安装电子围栏。

7.7.4 技术参数

1) 智能安防系统宜符合 GB/T 30147 第 7 部分“性能要求”;

2) 涉及公共安全的视频图像信息的采集要求宜符合 GB 37300 第 5 部分“技术要求”、第 6 部分“采集设备要求”。

8 新型智能感知系统

8.1 一般规定

1) 本章所列系统为面向未来 1~3 年内可工程化应用的新型智能感知技术, 鼓励新建、改建及扩建的分布式光伏站点根据实际需求与技术成熟度选配部署。

2) 新型智能感知系统应与第 5 章、第 6 章所列系统协同工作, 数据应接入统一的智能感知平台, 满足第 4 章规定的开放式体系结构与数据集约化采集要求。

8.2 机器人智能巡检感知系统

8.2.1 系统功能

机器人智能巡检感知系统宜具备地面移动机器人或轨道式机器人的自主导航、路径规划、避障与自动充电功能。

机器人宜集成可见光摄像、热成像、局放检测、声音感知中不少于三种传感模式。

机器人宜具备对光伏组件、组串、汇流箱、逆变器、电缆沟道等设备的自主巡检与状态识别能力。

机器人宜具备与视频感知系统、无人机感知系统的协同作业与数据融合能力。

机器人宜具备远程控制、状态回传、故障报警与巡检报告自动生成功能。

8.2.2 安装位置

大型工商业光伏站点宜沿组件阵列、电缆沟道部署轨道式机器人。

复杂地形站点可选配履带式或轮式地面机器人。
小型站点可选配便携式机器人，由人工辅助部署。

8.2.3 技术参数

机器人智能巡检感知系统技术参数宜符合表 2 的规定。

表 2 机器人智能巡检感知系统技术参数

序号	参数名称	推荐性技术要求
1	热成像测温精度	$\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 2\%$ （取大值）
2	图像识别正确率	应具备目标识别、缺陷检测能力，满足应用场景精度要求
3	故障漏报率	故障应及时告警、不误报 / 漏报，满足运维可靠性要求
4	单次续航时间	续航应满足现场作业时长要求，支持长时间离线工作
5	自动充电功能	支持
6	防护等级	$\geq \text{IP54}$
7	工作环境温度	$-25^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
8	通信方式	宜采用 4G/5G 或站点局域网的网络通信支持

注：机器人搭载的红外摄像头宜符合 GB/T 19870 第 5 部分的规定。

8.3 边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统

8.3.1 系统功能

边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统应具备在边缘侧（智能网关、逆变器、数据采集终端）对感知数据进行实时处理与故障诊断功能。

系统宜支持对逆变器、箱变、组件串等关键设备的运行状态建模与轻量化数字孪生。

系统宜支持与云平台协同，实现模型迭代与远程更新。

系统宜具备对历史数据的回放分析与趋势预测功能。

系统宜符合第 4 章规定的开放式体系结构和数据传输安全要求。

8.3.2 安装位置

系统宜部署于站点边缘计算节点、智能网关或具备算力的数据采集终端。

8.3.3 技术参数

边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统技术参数宜符合表 3 的规定。

表 3 边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统技术参数

序号	参数名称	推荐性技术要求
1	边缘诊断响应时间	应具备高实时性、高效处理能力，时间延迟性宜控制在毫秒级
2	数字孪生模型更新周期	数字孪生系统应保证数字实体与目标实体在结构、状态、行为等方面的一致性
3	支持同时处理感知设备数量	应支持多终端、多设备接入，具备良好的兼容性与可扩展性，具备大规模数据的接入、汇聚与处理能力

表 3 边缘智能诊断与轻量化数字孪生系统技术参数 （续）

序号	参数名称	推荐性技术要求
4	通信协议	支持 MQTT、Modbus TCP、IEC 104 等

系统网络安全宜满足《电力监控系统安全防护规定》的要求。

9 软件架构

9.1 一般要求

软件架构宜采用云边协同、分层分布式架构，实现对全部硬件感知系统的统一接入、集中控制、智能分析、协同调度与闭环管理。

软件系统宜覆盖边缘端软件、云端平台软件、接口服务、安全防护四大模块，满足无人值守分布式光伏站点全生命周期智能运维需求。

软件宜遵循安全可靠、开放兼容、经济适用、易扩展原则，支持与智慧城市能源平台、电网调度平台互联互通。

9.2 边缘端软件

9.2.1 功能要求

统一接入：支持 Modbus、IEC61850、MQTT、104 等多协议解析，兼容数据采集、视频感知、自动消防、升压站电气感知、无人机、组件清洗、智能安防等全部硬件感知系统，支持设备即插即用、自动识别、断点续传。

实时控制：接收云端指令，实现就地闭环控制，包括逆变器调节、消防联动、清洗机器人启停、安防告警联动、视频云台控制等。

本地自治：具备断网自治运行能力，异常就地联锁保护，响应超温、火灾、入侵、孤岛等事件。

数据预处理：完成数据清洗、降噪、压缩、时标对齐，本地缓存不少于 7 天。

边缘智能：支持 AI 边缘推理，实现热斑识别、组串失配、设备异常、火情初步判别。

状态自检：对感知设备、通信链路、边缘网关进行在线诊断与自恢复。

9.2.2 性能要求

数据采集响应：毫秒级采集，端到端时延宜 $\leq 500\text{ms}$ 。

本地联锁响应：异常识别至保护动作宜 $\leq 1\text{s}$ 。

9.3 云端平台软件

9.3.1 功能要求

集中监控：全景数字孪生可视化，气象、发电量、设备状态、告警、视频、消防、安防等一体化展示。

智能分析：发电效率分析、设备健康评估、故障溯源、寿命预测、发电量预测。

AI 智能诊断：识别组件热斑、逆变器故障、电缆过热、箱变异常等。

统一调度：功率调节、远程启停、清洗计划、消防远程复位、安防布防/撤防。

运维管理：告警分级推送、派单闭环、工单管理、台账管理、报表自动生成。

权限与日志：分级权限管理，操作日志、告警日志、控制日志留存不少于1年。

9.3.2 性能要求

告警响应：异常识别至推送宜 $\leq 3s$ 。

AI 识别准确率：故障识别宜 $\geq 90\%$ ，入侵识别宜 $\geq 95\%$ ，火情识别宜 $\geq 98\%$ 。

并发能力：单平台支持接入宜不少于100个站点、10万点位。

视频存储：云端录像保存宜不少于90天，支持倍速回放、截图、检索。

9.3.3 安全要求

宜符合 GB/T 22239 中关于通信网络安全相关规定，具备身份认证、加密传输、访问控制、入侵检测、安全审计能力。

数据传输安全宜，宜符合 GB/T 37025 中信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求，具备防止非法访问、篡改、窃密等功能。

软件应具备权限分级、操作留痕、日志不可篡改能力。

附 录 A
(资料性)
感知系统分级配置总表

说明：本表汇总了第 5 章及第 6 章中关于不同等级站点的感知系统配置要求，用于快速查询各级别的最低配置标准。

表 A.1 感知系统分级配置总表

感知系统	子系统/功能模块	基础保障级（分级参考 5.2 章）	标准智能级（分级参考 5.2 章）	高级智慧级（分级参考 5.2 章）
数据采集系统	气象采集	必配：基础气象（辐照度、温湿度）	必配：全气象要素（增加风速、风向、气压）	必配：高精度全气象要素 + 多通道同步采集
	组件监测	不配	必配：组串全电量监测（电流、电压、功率、温度）	必配：组串全电量监测 + 边缘预处理
	逆变器监测	必配：逆变器监测（直流侧/交流侧电气参数）	必配：逆变器全参数监测 + 电能质量监测	必配：高精度逆变器监测 + 协同调控
	电能计量	必配：关口电能计量	必配：关口及主要支路电能计量	必配：全链路高精度电能计量
视频感知系统	摄像头配置	必配：关键点位可见光摄像头	必配：双光谱球机（可见光+热成像）	必配：全覆盖视频 + 数字孪生可视化
	录像存储	≥30 天	≥90 天	≥90 天
	智能分析	不配	必配：AI 识别（人员、设备、仪表）	必配：AI 识别 + 智能分析联动
自动消防系统	火灾探测	必配：箱变区域火灾探测	必配：箱变及组串关键区域探测	必配：全区域火情感知
	灭火能力	手动灭火装置	自动报警 + 自动灭火装置	消防联动 + 气体监测 + 自动灭火
升压站电气设备状态感知系统	远程监控	不配	必配：远程监控	必配：远程监控 + 应急指挥联动
	变压器监测	必配：温度监测	必配：油中溶解气体 + 铁芯接地电流	必配：全状态感知 + 趋势分析 + 寿命预测
	电缆监测	必配：电缆接头测温	必配：护套环流监测 + 局部放电	必配：综合在线监测 + 故障诊断
无人机感知系统	配置要求	不配	按需配置（共享/车载）	必配：固定机库 + 自主巡检
	诊断能力	—	基础故障识别 + 红外测温	智能诊断 + 三维重建 + 自动报告
组件清洗感知系统	配置要求	不配	按需配置（清洗机器人）	必配：自动清洗 + 脏污判定 + 定时作业
	技术指标	—	人工/半自动判定	灰尘留存率 ≤1%

表 A.1 感知系统分级配置总表 （续）

感知系统	子系统/功能模块	基础保障级 （分级参考 5.2 章）	标准智能级 （分级参考 5.2 章）	高级智慧级 （分级参考 5.2 章）
智能安防系统	周界防范	简易入侵报警（入口监控）	电子围栏 + 门禁管理	全域周界防范 + 应急联动
	行为分析	不配	AI 行为分析（人员入侵、违章抓拍）	全域 AI 分析 + 预案联动
新兴感知系统（选配）	机器人巡检	不配	选配	推荐配置（轨道/轮式机器人）
	边缘诊断	不配	选配	推荐配置（边缘网关 + 轻量化数字孪生）

附 录 B
(资料性)

感知设备通信协议与数据格式要求

说明：本附录针对第 6.1.1 条“统一的数据传输通信协议”和第 8.4 条“接口要求”，规定了各类感知设备应遵循的具体协议、数据帧格式及传输规则，确保系统互联互通。

表 B.1 设备-通信协议映射表

设备类型	默认通信协议	可选备用协议	物理层接口	备注
气象传感器、组串监测单元	Modbus RTU	Modbus TCP	RS-485，以太网	数据采集频率：≤1 分钟
逆变器、电能计量表	Modbus TCP	IEC 61850	以太网	实时数据上传周期：≤1 秒
视频摄像头	RTSP，ONVIF	GB/T 28181	以太网	支持 H.264/H.265 编码
热成像仪	Modbus TCP	RTSP	以太网	温度数据与视频流同步
消防报警主机	Modbus RTU	BACnet	RS-485	报警信号优先级最高
无人机机库	MQTT	HTTP API	4G/5G，以太网	心跳周期：≤30 秒
清洗机器人	MQTT	Modbus TCP	LoRa，4G/5G	状态上报周期：≤1 分钟
电子围栏、门禁	Modbus RTU	—	RS-485	入侵告警实时上传

表 B.2 数据上传频率要求

设备类型	配置要求	参考数量	安装位置建议	关键参数要求
电气量实时数据（电压、电流、功率）	≤5 秒	≤1 秒	用于实时监控与控制	电气量实时数据（电压、电流、功率）
气象数据（辐照度、温度）	≤5 分钟	≤1 分钟	用于效率分析	气象数据（辐照度、温度）
状态量数据（开关状态、设备状态）	变位上送	变位上送	变化时立即上传	状态量数据（开关状态、设备状态）
告警数据	实时上送（≤2 秒）	实时上送（≤1 秒）	最高优先级	告警数据
视频流	—	实时（关键点位）	按需调阅	视频流
历史数据/统计数据	日/周上送	小时/日上送	用于运维分析	史数据/统计数据

附 录 C

(资料性)

各等级站点感知设备配置清单（参考）

说明：本附录提供了实现各等级配置的具体设备清单参考，供设计单位、建设单位和设备选型人员使用。表中数量以典型站点规模为参考，实际工程可根据具体情况调整。

表 C.1 基础保障级配置站点

设备类型	配置要求	参考数量	安装位置建议	关键参数要求
辐照度计	必配	1 台	无遮挡区域	GB/T 30153
温湿度传感器	必配	1 台	逆变器/配电箱附近	JB/T 6862
电能表（关口）	必配	1 台	并网点	DL/T 1665
可见光摄像头	必配	2-4 台	出入口、升压站、主要通道	200 万像素，红外夜视
火灾探测器	必配	1-2 台	箱变区域	烟感/温感
手动灭火器	必配	按消防要求	箱变、配电室	GB 50016
手持无人机	选配	1 台（可共享）	按需共用	具备红外和可见光巡视功能
温度传感器（电缆）	必配	3-5 个	电缆接头	DS18B20 或 PT100
简易入侵报警器	选配	1 套	入口围栏	红外对射/微波

表 C.2 标准智能级配置站点

设备类型	配置要求	参考数量	安装位置建议	关键参数要求
全气象站	必配	1 套	空旷区域，距地面 2m	含风速、风向、气压
组串监测单元	必配	每 20-30 块组件 1 台	直流汇流箱内	DL/T 1894（光纤测温）
双光谱球机	必配	5-10 台	升压站、阵列高点	GB/T 19870（热成像）
电子围栏	必配	1 套	站点周界	脉冲/张力，入侵联动
自动消防系统	必配	1 套	箱变及关键设备区	自动报警+七氟丙烷等
油色谱监测	选配	1 套	箱变本体	DGA（乙炔、氢气等）
车载无人机	按需	1 台（可共享）	站点/区域共用	满足 T/CEC 588 标准，具备红外和可见光巡视功能
AI 智能网关	选配	1 台	中控室/数据机房	边缘推理，支持 Modbus 等
清洗机器人	按需	按组件数量	组件表面	灰尘留存率≤1%

表 C.3 高级智慧级配置站点

设备类型	配置要求	参考数量	安装位置建议	关键参数要求
高精度气象站	必配	按需	不同区域	标准智能级精度，数据比对
全组串监测	必配	每串 1 台	每串组件	毫秒级同步采样
固定式无人机机库	推荐	集群站按无人机续航里程联合配置	站点高点/平地区域	满足 T/CEC 588、DL/T 2966 要求，具备自动起降、充电、巡检等功能
全覆盖视频+热成像	必配	全覆盖	阵列、升压站、通道	数字孪生可视化
数字孪生平台	必配	1 套	中控室/云平台	三维模型，实时数据驱动
全状态电气感知	必配	1 套	箱变、开关柜、电缆	局放、环流、介损、油色谱
轨道式巡检机器人	推荐	按需	阵列间、电缆沟	多传感融合（视觉、热像、局放）
边缘诊断+孪生	推荐	按需	数据机房	响应≤1 秒，支持 200+设备
全域消防联动	必配	1 套	全区域	气体探测+自动灭火+应急广播

参 考 文 献

- [1] 发改委 2014 年第 14 号令 《电力监控系统安全防护规定》
 - [2] 国能安全〔2015〕36 号 《电力监控系统安全防护总体方案》
 - [3] 国家能源局、电网公司 分布式光伏“四可”（可观、可测、可调、可控）技术导则
 - [4] 国能发新能规〔2025〕7 号 《分布式光伏发电开发建设管理办法》
 - [5] GB/T 2423 系列 电工电子产品环境试验
 - [6] GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
 - [7] GB/T 29321 光伏电站接入电力系统技术规定
 - [8] GB/T 31366 光伏电站监控系统技术要求
 - [9] GB/T 34932 分布式光伏发电系统远程监控技术规范
 - [10] GB/T 37025 信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求
 - [11] GB/T 38634.1 物联网 感知控制设备接入 第 1 部分：总体要求
 - [12] GB/T 38863 信息技术 传感器网络 传感器节点通信接口
 - [13] GB/T 39586 电力机器人术语
 - [14] GB/T 46924 无人机巡检相关标准
 - [15] DL/T 1484 直流电能表技术规范
 - [16] DL/T 1498 变电设备在线监测装置技术规范
 - [17] DL/T 1665 电能计量封印技术规范
 - [18] DL/T 1894 电力光纤传感器通用规范
 - [19] DL/T 2140 无人值班变电站消防远程集中监控系统技术规范
 - [20] NB/T 10204 分布式光伏发电低压并网接口装置技术要求
 - [21] NB/T 10215 风力发电机组 测风传感器
 - [22] NB/T 10637 光伏电站监控及自动化技术监督规程
 - [23] NB/T 11340 新能源场站智能化建设基本技术规范
 - [24] JB/T 6862 温湿度计
 - [25] T/CEC 588 光伏电站无人机智能巡检系统技术要求
 - [26] T/ZS 0711-2025 建筑光伏智慧系统建设规范
 - [27] 建筑智能感知系统工程建设标准（重庆市地方标准）
-