

ICS XXXXX

CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

水厂无线网络通讯技术规范

(征求意见稿)

(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。)

20XX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

СЛЕДСТВИЕ

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。

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：中冶生态环保集团有限公司。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

本文件为首次发布。

СЛЕДСТВИЕ

水厂无线网络通讯技术规范

1 范围

本规范规定了水厂无线网络通讯系统的术语和定义、缩略语、总体要求、网络架构、技术要求、安全要求、设备要求、施工与验收、运维管理等内容。

本规范适用于市政自来水厂、污水处理厂的新建、扩建和改造工程中的无线网络通讯系统建设。工业水处理系统可参照执行。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 22239 信息安全技术网络安全等级保护基本要求
- GB/T 25058 信息安全技术网络安全等级保护实施指南
- GB 50198 民用闭路监视电视系统工程技术规范
- GB 50348 安全防范工程技术标准
- YD/T 5160 无线通信系统室内覆盖工程设计规范
- IEEE 802.11 无线局域网标准系列
- IEC 61508 电气/电子/可编程电子安全系统的功能安全规范（所有部分）
- IEC 62657 工业通信网络-无线通信网络（所有部分）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水厂无线网络通讯系统 **water plant wireless communication network system**

在水厂区域内，采用无线技术实现数据采集、设备控制、视频监控、语音通信、人员定位等业务的综合通讯系统。

3.2

工业级无线设备 **industrial-grade wireless equipment**

适用于工业环境，具有宽温工作范围、抗振动、防尘防水、电磁兼容性等特性的无线通讯设备。例如，工作温度范围可达 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ，防护等级可达IP67，电磁兼容性满足IEC61000-4-2/4/5 Level 3及以上要求。

3.3

接入点 access point, AP

无线网络中用于连接无线终端至有线网络的设备。典型带载量应不低于128个客户端，并支持MU-MIMO、OFDMA等技术。

3.4

无线终端 wireless terminal

具备无线通信能力的终端设备，包括但不限于无线传感器、智能仪表、手持终端、AR眼镜、巡检机器人等。

3.5

漫游 roaming

无线终端在移动过程中，在不同接入点之间切换且保持网络连接不中断的过程。

3.6

网络切片 network slicing

在共享的物理网络基础设施上，为不同业务类型提供逻辑隔离、按需定制的专用虚拟网络的技术。

3.7

智能无线控制器 intelligent wireless controller

部署于现场控制层，具备数据采集、协议转换、边缘计算、本地联动控制和无线通信功能的工业控制设备。通常集成多种I/O接口和无线通信模块，用于连接和管理现场仪表及设备。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

AP：接入点（Access Point）

AC：接入控制器（Access Controller）

IoT：物联网（Internet of Things）

LPWAN：低功耗广域网（Low-Power Wide-Area Network）

LoRa：远距离无线电（Long Range Radio）

PLC：可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）

RTU：远程终端单元（Remote Terminal Unit）

SCADA：监控与数据采集系统（Supervisory Control and Data Acquisition）

SNMP：简单网络管理协议（Simple Network Management Protocol）

QoS：服务质量（Quality of Service）

VPN：虚拟专用网络（Virtual Private Network）

WPA3：Wi-Fi保护访问3（Wi-Fi Protected Access 3）

UWB：超宽带（Ultra-Wide Band）

PoE：以太网供电（Power over Ethernet）

NPU：神经网络处理单元（Neural-network Processing Unit）

I/O: 输入/输出 (Input/Output)

SNR: 信噪比 (Signal-to-Noise Ratio)

PTP: 精确时间协议 (Precision Time Protocol)

5 总体要求

5.1 设计原则

水厂无线网络通讯系统设计应遵循以下原则:

- 可靠性优先: 确保关键业务 (如设备控制、安全报警) 的通讯连续性和稳定性;
- 安全性并重: 建立纵深防御体系, 保障数据机密性、完整性和可用性;
- 经济适用: 在满足功能需求的前提下, 合理控制建设和运维成本;
- 易于扩展: 支持分期建设和未来扩容, 保护已有投资;
- 多网融合: 支持多种无线技术 (WiFi、5G、LoRa、NearLink等) 的融合组网;
- 适度超前: 技术选型应考虑未来3-5年的业务发展需求。

5.2 功能要求

水厂无线网络通讯系统应具备以下基本功能:

- 生产数据采集: 支持水厂各工艺环节传感器、仪表的数据无线传输;
- 设备状态监控: 支持关键设备 (水泵、风机、加药泵等) 运行参数的实时上传;
- 视频图像回传: 支持固定摄像机、移动巡检设备的高清视频传输;
- 移动巡检作业: 支持巡检机器人/巡检人员手持终端的实时数据交互;
- 语音通讯: 支持厂区内的VoIP语音通信;
- 人员定位: 支持厂区内作业人员的实时定位 (可选);
- 远程维护: 支持设备远程诊断和维护 (需经严格安全管控)。

5.3 性能指标

水厂无线网络通讯系统的基本性能指标应符合表1的要求。

表1 水厂无线网络通讯系统性能指标要求

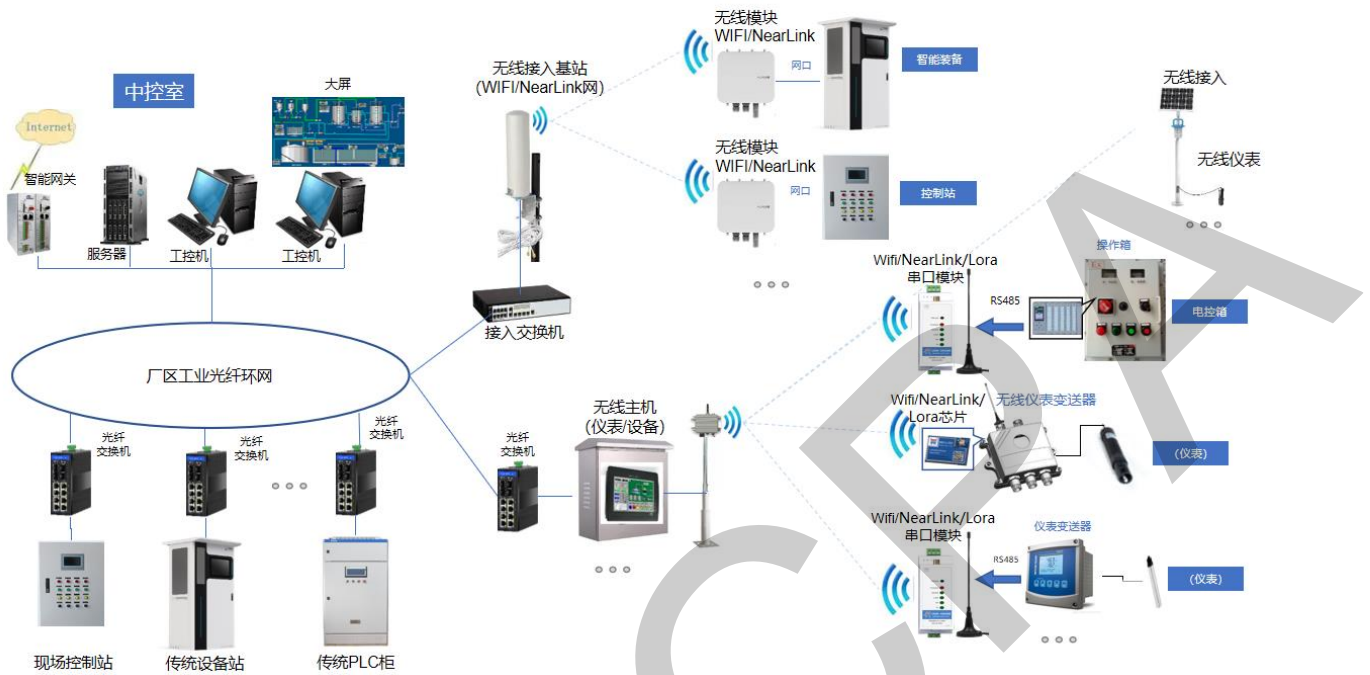
指标项	技术要求	适用场景
网络可用性	≥99.5%	全厂
控制类业务时延	≤100ms	设备远程控制
数据采集类时延	≤1s	仪表数据上传
视频传输时延	≤300ms	实时监控
漫游切换时间	≤50ms	移动巡检
单 AP 并发用户数	≥64 个	生产区域
丢包率	≤0.5%	全厂
室外 AP 防护等级	≥IP67	露天、潮湿环境

6 网络架构

6.1 总体架构

水厂无线网络通讯系统应采用分层架构, 由现场设备层、现场控制层、网络传输层和监控应用层组成, 如图1所示。

水厂无线通讯网络架构图



6.1.1 现场设备层

位于架构最底层，包括各类仪表、设备和终端：

- a) 电控箱/操作箱：现场控制设备。传统方式，通过硬件接线将信号接入PLC控制柜，然后上传控制网络。无线方式，可通过智能无线控制器将信号直接接入控制网络；
- b) 智能控制装备：现场自成控制系统的设备装备。可通过有线/WiFi/NearLink等通讯方式接入控制网络。（如智能加药装置、智能SVI装置、智能摄像头、手持终端、巡检机器人等）；
- c) 传统仪表：现场仪表设备。传统方式，通过硬件接线或通讯线将信号接入PLC控制柜，然后上传控制网络。无线方式，可通过智能无线通讯模块（RS485/232转无线）将具备RS485串口输出的传统仪表信号直接接入控制网络；
- d) 无线仪表：内置WiFi/NearLink/LoRa芯片的智能仪表变送器，直接通过无线方式传输数据。

6.1.2 现场控制层

包括现场控制站和智能网关设备：

- a) 现场控制站：包括PLC柜、RTU等，通过以下方式接入网络：

直接接入厂区工业光纤环网（传统PLC柜）。

通过智能无线控制器将串口/网口数据转换为无线信号。

- b) 智能无线控制器：具备以下功能：

支持WiFi/NearLink/LoRa/有线等多种无线协议的接入转换。

提供丰富的I/O接口（DI/DO/AI/AO）和串口（RS232/485），以连接现场设备和仪表。

内置边缘计算功能，支持协议转换（如Modbus，OPC UA，IEC104，Bacnet）和数据预处理。

支持数据本地缓存和断点续传。

6.1.3 网络传输层

包括有线骨干网和无线接入网络：

a) 厂区工业光纤环网：

核心传输骨干，采用光纤环网拓扑。

连接各区域交换机，实现高可靠性数据传输。

交换机之间通过光纤互联，形成冗余环网。

b) 无线接入基站：

部署在厂区各区域的工业级无线接入点（AP）。

支持WiFi/NearLink等多协议接入，支持高带宽、高并发。

通过网口连接至工业光纤环网。

室外AP应满足IP67防护等级，并内置避雷器安装接口。

c) Internet出口：提供远程访问和云平台连接能力。

6.1.4 监控应用层

位于架构顶层，包括：

a) 中控室系统：

核心服务器：数据服务器、应用服务器等

工控机：SCADA系统操作站

大屏显示系统：实时监控全厂运行状态

b) 应用系统：SCADA系统、MES系统、视频管理平台、定位系统等。

6.2 网络拓扑结构

6.2.1 有线骨干网拓扑

厂区工业光纤环网应采用以下结构：

a) 环网拓扑：

各区域交换机通过光纤串联成环

支持工业以太网环网协议（如ERPS、MRP），故障自愈时间 $\leq 50\text{ms}$

环网节点包括：中控室核心交换机、各区域接入交换机、现场控制站交换机

b) 光纤连接要求：

主干光缆应采用单模光纤

距离较短区域可采用多模光纤

光纤接口应使用冗余设计（双光口）

6.2.2 无线接入拓扑

无线接入网络应根据现场情况采用以下拓扑：

a) 星型拓扑：

无线接入基站作为中心节点

无线仪表、智能装备直接连接至基站

适用于生产车间、加药间等区域

b) 树型拓扑：

多级无线中继，扩展覆盖范围

适用于大型沉淀池、露天区域

c) Mesh拓扑:

AP之间无线互联, 自组网、自愈合

适用于布线困难的露天区域、老旧厂区改造

6.3 网络连接方式

根据设备类型和现场条件, 应采用不同的连接方式:

6.3.1 无线仪表连接

a) 内置无线芯片仪表:

仪表内置WiFi/NearLink/LoRa芯片

直接连接至无线接入基站

适用于新建项目或仪表更新

b) 外置无线模块仪表:

传统RS485输出仪表

通过串口模块(RS485转无线)接入

模块支持WiFi/NearLink/LoRa

适用于仪表利旧改造

6.3.2 现场控制站连接

a) 无线主机/智能网关连接:

现场控制站通过网口连接至智能网关

智能网关将数据转换为无线信号

适用于分散控制站或布线困难区域

b) 直接光纤连接:

传统PLC柜直接接入工业光纤环网

适用于新建大型控制站或关键控制节点

6.3.3 智能装备连接

a) 无线直连:

智能摄像头、手持终端、巡检机器人等

直接通过WiFi/NearLink连接至无线接入基站

支持移动中漫游切换

6.3.4 远程访问连接

a) Internet出口:

中控室核心交换机连接至Internet

部署防火墙、VPN网关

支持远程运维、移动办公、云平台对接

6.4 区域网络划分

根据水厂工艺特点和业务需求, 应将厂区划分为以下无线覆盖区域, 并与工业光纤环网连接:

6.4.1 生产控制区域

包括预处理、生化处理、深度处理、加药间、鼓风机房等：

- a) 部署无线接入基站，覆盖全部生产区域；
- b) 现场控制站通过智能网关或直接接入光纤环网；
- c) 关键仪表采用双路径传输（主：无线，备：有线/RS485总线）；
- d) 关键工艺环节（如加药控制、鼓风机组启停）应保留有线通讯冗余，当无线网络故障时自动切换至有线链路，切换时间不影响工艺安全；
- e) 要求高可靠、低时延（控制指令时延 $\leq 100\text{ms}$ ）。

6.4.2 巡检维护区域

包括厂区道路、设备走廊、管廊等：

- a) 室外AP沿巡检路线部署，确保连续覆盖；
- b) 支持手持终端、AR眼镜等移动设备漫游；
- c) 可部署定位基站（UWB/蓝牙），实现人员实时定位。

6.4.3 仪表监测区域

包括沉淀池、曝气池、清水池、污泥池等露天区域：

- a) 采用室外型AP，满足IP67防护等级；
- b) 远距离仪表可采用LoRa网关汇聚；
- c) 无线仪表电池供电，要求低功耗设计。

6.4.4 危险源区域

包括加氯间、臭氧发生间、沼气柜等：

- a) 采用本安型或隔爆型无线设备；
- b) 无线仪表满足防爆等级要求；
- c) 独立VLAN，严格访问控制。

6.4.5 办公管理区域

包括中控室、办公楼、化验室等：

- a) 高带宽WiFi覆盖，支持视频会议、移动办公；
- b) 独立SSID和VLAN，与生产网络逻辑隔离；
- c) 中控室大屏、服务器、工控机直连核心交换机。

6.5 IP地址与VLAN规划

6.5.1 IP地址规划

无线网络系统应统一规划IP地址：

- a) 采用私有IP地址段（如10.x.x.x或172.16.x.x）；
- b) 按区域和业务类型分配不同网段；
- c) 保留扩展空间，便于未来扩容；
- d) 核心设备采用静态IP，终端设备可采用DHCP。

6.5.2 VLAN规划

应根据业务类型划分VLAN：

- a) 生产控制VLAN：PLC、RTU、关键仪表；

- b) 视频监控VLAN: 固定摄像机、移动视频回传;
- c) 移动巡检VLAN: 手持终端、AR眼镜;
- d) 人员定位VLAN: 定位基站、标签;
- e) 办公管理VLAN: 办公电脑、打印机;
- f) 访客VLAN: 临时访客接入 (仅限Internet)。

7 技术要求

7.1 无线技术选型

应根据不同业务场景选择合适的无线技术，主要技术选型应符合表2的要求。

表2 无线技术选型指南

技术类型	适用场景	典型应用	备注
WiFi/NearLink	高带宽、高密度接入场景	视频监控、手持终端、AR巡检、移动机器人	厂区全覆盖首选
5G 专网	超低时延、高可靠控制场景	远程控制、无人驾驶、高清视频回传	适用于大型水厂或园区
LoRa	低功耗、远距离传感器	液位计、压力计、流量计、井盖监测	适用于广布传感器
ZigBee	短距离、低功耗传感器	温湿度传感器、振动传感器	适用于局部区域
蓝牙/BLE	近距离交互	人员定位、设备配置、近场通信	常与WiFi互补
UWB	高精度定位	人员精准定位 (厘米级)	适用于高风险区域

7.2 无线覆盖要求

7.2.1 室内覆盖

室内无线覆盖应符合以下要求:

- a) 中控室、配电室、机房等重要场所信号强度不低于-65dBm;
- b) 办公室、化验室、值班室等区域信号强度不低于-70dBm;
- c) 相邻AP同频重叠覆盖区域不小于15%;
- d) 信噪比 (SNR) 要求: 重要场所SNR \geq 25dB, 一般区域SNR \geq 20dB;
- e) 不同楼层之间的AP应尽量采用不同信道 (如2.4GHz频段使用1、6、11信道错开), 以减少同频干扰; 同一楼层内相邻AP也应使用非重叠信道;
- f) 室内AP安装位置应避免被金属柜体、混凝土立柱遮挡。

7.2.2 室外覆盖

室外无线覆盖应符合以下要求:

- a) 主要巡检道路、工艺池体周边信号强度不低于-70dBm;
- b) 偏远区域 (如取水泵房) 信号强度不低于-75dBm;
- c) AP间距应根据天线类型和环境确定, 一般控制在80m-150m;
- d) 室外AP应安装避雷器, 并做好接地保护。

7.3 网络性能要求

7.3.1 带宽要求

根据业务类型确定带宽需求, 各类业务的带宽参考值应符合表3的要求。

表3 业务带宽参考值

业务类型	单点带宽需求	并发比例	备注
PLC/RTU 数据	50-100kbps	30%-50%	周期性上传
智能仪表数据	10-50kbps	20%-40%	包含视频仪表
标清视频	1-2Mbps	30%-50%	720P
高清视频	4-8Mbps	20%-30%	1080P
超高清视频	15-25Mbps	10%-20%	4K
手持终端交互	2-5Mbps	10%-20%	含语音、图片
VoIP 语音	50-100kbps	5%-10%	G.729 编码

7.3.2 服务质量保障

应部署QoS机制，对不同业务进行优先级保障：

- 控制类业务（如设备启停指令）应设置为最高优先级；
- 报警类业务（如气体泄漏报警）应设置为次高优先级；
- 视频监控业务应设置为中优先级；
- 文件传输、软件升级等非实时业务应设置为低优先级；
- 当网络拥塞时，优先保证高优先级业务的带宽和时延要求。

7.3.3 时间同步要求

为满足视频监控、自控数据及分布式系统的协同工作需求，无线网络通讯系统应支持毫秒级时间同步：

- 核心交换机应配置NTP（Network Time Protocol）服务器，同步精度优于1ms；
- 所有AP、无线网关及关键终端设备（如PLC、智能仪表、摄像机）应支持NTP或PTP（Precision Time Protocol, IEEE 1588）协议；
- 对于视频与自控数据联动场景（如报警触发录像），时间同步误差应 $\leq 10\text{ms}$ ；
- 时间同步服务器应接收GPS或北斗信号，保证系统时间与标准时间一致。

7.4 特殊环境适应性要求

水厂无线设备应适应以下特殊环境：

- 潮湿环境：加药间、脱水机房、冲洗泵房等区域设备应具备防潮、防凝露能力；
- 腐蚀环境：加氯间、次氯酸钠存储区等区域设备应具备防腐能力，或采取隔离措施；
- 露天环境：室外AP、天线应满足IP67防护等级；
- 防爆环境：沼气区、甲醇储罐区等防爆区域应使用防爆型无线设备，符合Ex d/Ex ia等级；
- 电磁干扰：变频器室、高压配电室附近应选用抗干扰能力强的设备。

8 安全要求

8.1 网络安全等级保护

无线网络通讯系统应按照国家网络安全等级保护制度要求进行定级、备案和建设，一般不低于二级保护要求。

8.2 接入安全

无线接入安全应符合以下要求：

- 应采用WPA3企业级加密认证，禁止使用WEP、WPA等弱加密协议；
- 应启用802.1X认证，结合RADIUS服务器进行用户和设备认证；

- c) 应启用MAC地址白名单机制，仅允许授权设备接入；
- d) 应部署无线入侵检测系统（WIDS），实时监测非法AP和恶意攻击；
- e) 访客网络应与生产网络严格隔离，采用独立SSID和VLAN。

8.3 数据安全

数据传输安全应符合以下要求：

- a) 控制指令、报警信息等关键数据应加密传输；
- b) 视频流应采用加密协议传输；
- c) 远程运维应采用VPN加密通道，并启用双因素认证；
- d) 存储的日志数据应进行完整性保护，防止篡改。

8.4 安全审计

无线网络系统应具备安全审计功能：

- a) 记录所有用户和管理员的登录、操作日志；
- b) 记录终端接入、断开、漫游等事件；
- c) 记录安全告警事件；
- d) 日志保存时间不少于6个月。

9 设备要求

9.1 接入点设备

无线AP应符合以下要求：

- a) 工业级AP应支持-40°C~+70°C宽温工作；
- b) 应支持PoE供电（802.3af/at/bt）；
- c) 应支持吸顶、壁挂、抱杆等多种安装方式；
- d) 应支持2.4GHz和5GHz/6GHz双频/三频并发；
- e) 应支持MU-MIMO、OFDMA等技术；
- f) 应支持本地转发和数据隧道转发两种模式；
- g) 室外型AP防护等级应不低于IP67，并标配避雷器安装接口。

9.2 无线网关

工业无线网关应符合以下要求：

- a) 应支持Modbus、OPC UA、MQTT、IEC 104等工业协议转换；
- b) 应支持数据本地缓存和断点续传功能；
- c) 应支持4G/5G蜂窝网络备份；
- d) 应具备不少于2个以太网接口；
- e) 应支持VPN客户端功能。

9.3 无线传感器

无线传感器应符合以下要求：

- a) 应根据传输距离和频次选择电池供电或外接供电；

- b) 电池供电设备续航时间不少于1年；
- c) 应支持远程配置和固件升级；
- d) 防护等级不低于IP67（户外）或IP54（室内）；
- e) 应具备信号强度指示，便于安装调试。

9.4 手持终端

工业手持终端应符合以下要求：

- a) 防护等级不低于IP67；
- b) 应支持1.5米以上跌落防护；
- c) 应支持WiFi 6/7、蓝牙5.0以上；
- d) 可选配条码扫描、RFID读写、红外热成像等功能；
- e) 电池应支持热插拔或快速充电。

10 施工与验收

10.1 施工要求

无线网络施工应符合以下要求：

- a) 施工前应进行现场勘查，确定AP安装位置和天线方向；
- b) AP安装应牢固可靠，不得悬空或简易固定；
- c) 馈线弯曲半径应符合厂家规定，一般不小于馈线直径的10倍；
- d) 室外防水处理应规范，包括接头防水、馈线防水弯等；
- e) 接地系统应符合GB 50343要求，避雷器接地电阻小于4Ω；
- f) 隐蔽工程施工应有过程记录和影像资料。

10.2 网络优化

网络安装完成后应进行优化，包括：

- a) 信道规划优化，避免同邻频干扰；
- b) 功率调整，优化覆盖范围和重叠区域；
- c) 漫游参数优化，确保移动终端平滑切换；
- d) 干扰排查，消除外部信号干扰。

10.3 测试与验收

10.3.1 覆盖测试

应使用专业测试软件对全厂进行覆盖测试，输出覆盖热力图和测试报告。

10.3.2 性能测试

性能测试应包括以下内容：

- a) 吞吐量测试：测试不同位置的上下行速率；
- b) 时延测试：测试PING时延和业务时延；
- c) 漫游测试：测试移动过程中丢包和切换时间；
- d) 并发测试：测试多终端同时接入时的性能；
- e) 稳定性测试：7×24小时持续运行测试；

f) 电磁干扰测试：在中控室、配电室、变频器室等强电磁干扰区域，使用频谱分析仪测试无线信号受干扰情况，模拟干扰源（如变频器满载运行）并记录通信中断时间，中断时间应 $\leq 100\text{ms}$ ，且不影响控制类业务。

10.3.3 验收文件

验收时应提交以下文件：

- a) 设计方案及图纸（含AP位置图、拓扑图）；
- b) 设备清单及合格证明；
- c) 施工过程记录；
- d) 测试报告（含覆盖、性能测试结果）；
- e) 竣工图纸；
- f) 操作维护手册。

11 运维管理

11.1 网络管理平台

无线网络应部署统一管理平台，具备以下功能：

- a) 设备管理：支持AP、交换机、网关的配置、监控、升级；
- b) 拓扑可视：实时呈现网络拓扑结构和链路状态；
- c) 性能监控：实时监控信号质量、流量、连接用户数等；
- d) 告警管理：支持阈值设置、告警推送、故障定位；
- e) 报表统计：生成运维报表、质量分析报告；
- f) 支持SNMP v3协议。

11.2 日常维护

日常维护应包括：

- a) 定期检查AP运行状态（每月）；
- b) 检查室外AP防水、天线紧固情况（每季度，雨季前加强）；
- c) 定期备份配置文件（每次变更后）；
- d) 定期升级设备固件（根据厂家安全公告）；
- e) 定期进行信号质量复测（每年）。

11.3 故障处理

故障处理应遵循以下原则：

- a) 建立故障分级响应机制；
- b) 关键业务故障应在2小时内响应，4小时内恢复；
- c) 建立备品备件库，关键设备应有冗余备份；
- d) 重大故障应有应急预案并定期演练。

12 技术要求在不同规模水厂的配置

12.1 小型水厂（日处理量<2万吨）

小型水厂无线网络配置应符合以下要求：

- a) 可采用单AC+多AP架构；
- b) 以WiFi/NearLink覆盖为主，关键仪表可选用NearLink/LoRa；
- c) 可简化管理平台，采用本地管理；
- d) 安全配置满足二级等保基本要求。

12.2 中型水厂（日处理量 2-10 万吨）

中型水厂无线网络配置应符合以下要求：

- a) 应采用双机热备的核心网络；
- b) 以WiFi/NearLink覆盖为主，并LPWAN融合组网；
- c) 应部署统一管理平台；
- d) 应部署无线安全防御系统；
- e) 可根据需要部署人员定位系统。

12.3 大型水厂（日处理量>10万吨）

大型水厂无线网络配置应符合以下要求：

- a) 应采用核心-汇聚-接入三层架构；
 - b) 以WiFi/NearLink覆盖为主，可根据需要部署5G专网或网络切片；
 - c) 应部署大数据分析平台，实现智能运维；
 - d) 应具备与上级集控平台的开放接口；
 - e) 应具备数字孪生的数据承载能力。
-