



# 团体标准

T/CESXXX-XXXX

# 面向变电站无线局域网络设计与优化技术规范 (征求意见稿)

Technical Specifications for the Design and Optimization  
of Substation Wireless Local Area Networks

XXXX-XX-XX 发布 XXXX-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 符号和缩略语.....	2
5 总则.....	2
6 设计要求.....	3
6.1 网络架构设计.....	3
6.2 频率规划.....	3
6.3 覆盖范围设计.....	4
6.4 容量规划.....	5
7 安全要求.....	6
7.1 接入认证.....	6
7.2 数据加密.....	7
7.3 网络安全防护.....	8
7.4 安全管理机制.....	9
8 优化实施.....	9
8.1 工程质量优化.....	10
8.2 设备优化.....	13
8.3 组网优化.....	13
8.4 覆盖优化.....	15
8.5 容量优化.....	15
8.6 多网融合优化 .....	16
9 测试.....	16
9.1 测试指标.....	16
9.2 测试准备阶段.....	17
9.3 测试实施阶段.....	17
10 验收与运行维护.....	19
10.1 验收.....	19
10.2 运行维护.....	20

## 前言

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》给出的规则起草。

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化标准工作组归口。

本文件起草单位：国网山西省电力有限公司电力科学研究院、北京中电飞华通信有限公司、南京博洛米通信技术有限公司、华北电力大学、国网信息通信产业集团有限公司研发中心。

本文件主要起草人：刘泽辉、琚贊、刘泽三、刘松阳、许剑、芦山、徐哲男、柴超、郭旻、孟雨、甘信灿、彭涛、丛诗奇、贾少堃、肖志鸿、王尧、周续然、刘浩宇、吴明锋、袁绪跃、闫俊、王成、武子杨、宋欣茹、陈靖语、刘志兵、何清榕、李飞扬、李春朋、孙芃岳。

本文件为首次发布。



# 面向变电站无线局域网络设计与优化技术规范

## 1 范围

本文件规定了电力无线局域网规划、设计、建设、优化、测试、验收及运行维护的技术要求，涵盖网络架构、频率规划、覆盖与容量设计、设备选型、安全防护等核心内容。

本文件适用于电力监控、计量采集、运维管理、办公通信等典型业务场景的无线局域网建设与优化，可作为电力行业相关单位开展设计、部署、运维及评估的技术依据。

## 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 15629.11-2003 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/T 32918.2-2016 信息安全技术密码模块安全要求第2部分：非对称密码模块

NB/T 11310-2023 无线通信技术在电力系统中的应用通用要求

IEEE 802.1X 局域网和城域网基于端口的网络访问控制（Port-Based Network Access Control）

IEEE 802.11i 无线局域网媒体访问控制和物理层规范修订6：媒体访问控制安全增强（Medium Access Control (MAC) Security Enhancements）

IEEE 802.11ax 无线局域网高效 WLAN (High-Efficiency WLAN)

IEEE 802.11be 无线局域网极高吞吐量增强 (Extremely High Throughput Enhancements)

## 3 术语和定义

### 3.1

#### FITAP 架构 FITAPArchitecture

电力 WLAN 核心架构，由 AC 集中管理 AP，支持零配置、即插即用，通过动态射频管理实现自动配置，降低运维成本。

### 3.2

#### 802.1X 身份认证标准 802.1XAuthenticationStandard

电力 WLAN 接入认证核心标准，基于 Client/Server 结构，通过端口控制实现用户级接入控制。

### 3.3

#### EAP 协议 EAPProtocol

配合 802.1X 的信息交互协议，客户端与接入设备间用 EAPoL 封装，接入设备与认证服务器间用 EAP 中继。

### 3.4

#### 预防性维护 PreventiveMaintenance

主动提升系统可靠性的维护工作，定期开展而非被动响应故障，为后续改进奠定基础。

### 3.5

#### 用户隔离 User Isolation

接入设备功能，阻止同一 SSID 下终端直接通信，仅允许终端与网关/指定服务器通信，保障网络安全。

## 4 符号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

PPPoE：以太网上的点对点协议（Point-to-PointProtocoloverEthernet）

BPSK：二进制相移键控（BinaryPhaseShiftKeying）

QPSK：正交相移键控（QuadraturePhaseShiftKeying）

MAC：媒体访问控制（MediumAccessControl）

DCF：分布式协调功能（DistributedCoordinationFunction）

AP：接入点（AccessPoint）

DHCP：动态主机配置协议（DynamicHostConfigurationProtocol）

WPA3：Wi-Fi 保护访问 3（Wi-FiProtectedAccess3）

MLO：多链路聚合（Multi-LinkOperation）

dBm：分贝毫瓦（decibel-milliwatts）

WBS：无线基站（WirelessBaseStation）

CPE：客户终端设备（CustomerPremiseEquipment）

SNR：信噪比（Signal-to-NoiseRatio）

FTP：文件传输协议（FileTransferProtocol）

ESSID：扩展服务集标识（ExtendedServiceSetIdentifier）

## 5 总则

为规范电力无线局域网（Power-WLAN）全生命周期环节，保障网络安全稳定运行，满足电力典型业务对无线通信的可靠性、实时性、安全性需求，提高网络资源利用效率，促进技术标准化与规范化，特制定本文件。

电力无线局域网的设计与优化应遵循以下基本原则：

- a) 安全可靠优先：以保障电力业务数据传输的机密性、完整性和可用性为核心，构建多层次安全防护体系，满足电力系统安全生产要求，防范网络攻击、数据泄露等风险。
- b) 技术适用先进：采用成熟稳定、符合行业发展趋势的技术（如 FIT AP 架构、802.11ax/be 标准、WPA3 加密等），兼顾网络性能与未来可升级性，适应电力业务不断扩展的需求。
- c) 覆盖与容量协同：结合场景特点合理规划覆盖范围与网络容量，确保覆盖区域内信号质量达标，同时通过负载均衡、干扰抑制等手段提升网络承载能力，避免拥塞。
- d) 兼容与互连性：确保无线局域网与电力系统现有光纤专网、电力调度数据网、监控系统等的兼容互通，实现数据无缝传输与业务协同。
- e) 经济与高效：在满足技术要求和业务需求的前提下，优化设备选型、部署方案及运维策略，降低建设与运营成本，提高资源利用效率。

- f) 可维护与可管理：采用集中化管理架构（如 AC 对 AP 的统一管控），简化配置、监控及故障处理流程，支持预防性维护与智能化运维，提升网络管理效率。

## 6 设计要求

### 6.1 网络架构设计

电力 WLAN 网络架构采用 FITAP 架构，其具体架构见图 6.1。整个网络由 AC 进行集中管理，所有 AP 实现零配置，即插即用，通过动态射频资源管理实现网络的自动配置，可降低运维成本。

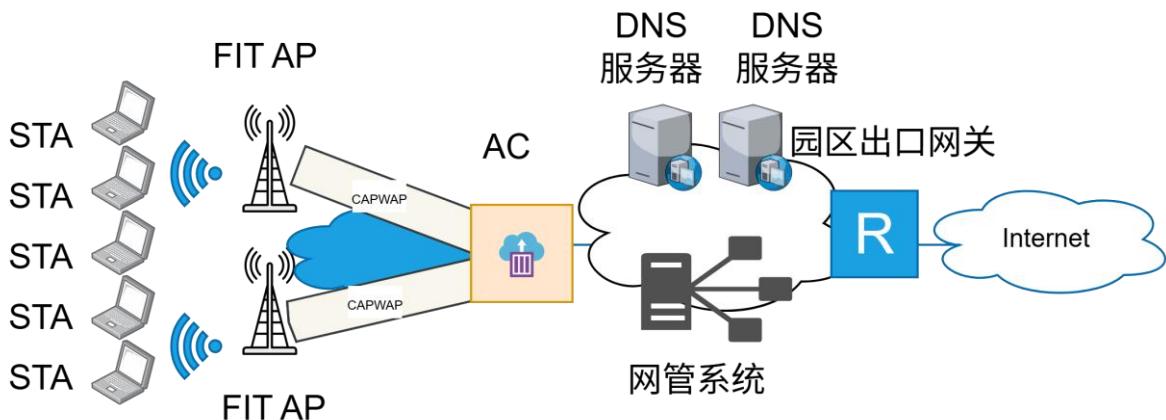


图 1 FITAP 架构示意图

FITAP 架构的实际部署，根据不同场景的应用要，有以下 3 种不同的部署方案。

(1) 集中部署方案：

- 1) AC 应旁挂于 BAS，AP 与 AC 之间应采用三层互通方式；
- 2) AP 的管理 IP 地址应采用私网 IP 地址，且归属同一 VLAN；
- 3) AP 的管理 IP 地址应由 BAS 分配，所有 AP 的 IP 地址应处于同一网段；
- 4) BAS 应配置 ACL，仅允许管理 VLAN 的报文访问 AC。

(2) 密集部署方案：

- 1) AC 宜下移至汇聚交换机侧；
- 2) 应在汇聚交换机上完成业务分流，无线流量应通过 AC 转发，有线流量应直接转发至 BAS。

(3) 分散热点部署方案：

- 1) AC 应部署于出口路由器旁；
- 2) 所有无线用户应集中分配至指定 BAS 进行认证处理；
- 3) AP 与 AC 的管理地址均应使用私有 IP 地址；
- 4) AP 的管理 VLAN 应映射到 MPLS VPN。
- 4) AP 的管理 VLAN 应映射到 MPLS VPN。

### 6.2 频率规划

电力 WLAN 频段规划需结合场景建筑结构（如变电站控制室、设备区墙体结构）、信号穿透损耗（如金属柜体、混凝土墙体的衰减）及布线系统（如室内分布线缆部署）等因素，具体规范如下：

a) 频段选择原则

- 1) 采用室分合路方案时（如变电站室内设备区通过分布式天馈系统覆盖），仅可使用 2.4GHz 频段。
  - 2) 采用室内放装方案（如运维值班室、调度大厅）或室外布放方案（如输电线路沿线、配电台区）时，应优先选用 2.4GHz 频段；若 2.4GHz 频段存在不可规避的同频干扰（如周边工业设备信号干扰），或需提升系统容量（如集中运维时段终端接入密集），可引入 5.8GHz 频段。
- b) 频率规划要求
- 1) 变电站同一层设备区部署多个 2.4GHz 频段 AP 时，需避免信道重叠干扰。
  - 2) 变电站多层建筑、相邻配电房共用 2.4GHz 频段 AP 时，各楼层需分别使用 2.4GHz 频段中 3 个不重叠信道中的一个（要求 AP 支持 3 信道工作模式），确保跨楼层信号互不干扰。

### 6.3 覆盖范围设计

#### 6.3.1 确定影响 AP 覆盖范围的因素

影响 AP 覆盖范围的因素包含以下几个方面：

- a) 发射机输出功率；
- b) 接收机的灵敏度；
- c) 天线特性；
- d) 工作环境；
- e) 工作频率。

#### 6.3.2 建立 AP 无线信道的传输损耗模型

WLAN 的传输损耗模型分为以下两类：WLAN 室外信道传输损耗模型；WLAN 室内信道传输损耗模型。

室外信道传输损耗模型主要适用于 2.4GHz 频段，采用 COST231-HATA 修正公式计算，其中对于区域修正因子，取值如下：密集城区为-3、一般城区为-6、郊区为-12、农村为-20。

室内信道传输损耗模型基于自由空间传播模型结合障碍物穿透损耗建立。

#### 6.3.3 计算 AP 的覆盖距离

AP 覆盖距离的确定需执行以下步骤：

- a) 确定 AP 通信链路预算计算公式；
- b) 确定 WLAN 设备的接收灵敏度。

在 802.11g、802.11a 模式下接收机灵敏度应符合表 1 的要求。

表 1 802.11g/802.11 模式下的接收机最小灵敏度

数据速率 (Mbit/s)	接收机灵敏度 (dBm)
6	-82
9	-81
12	-79
18	-77
24	-74
36	-70

在 802.11n 模式下，接收机灵敏度要求应符合表 2 的要求。

表 2 802.11n 的接收机最小灵敏度

调制模式	速率 (R)	20MHz接收灵敏度 (dBm)	40MHz接收灵敏度 (dBm)
BPSK	1/2	-82	-79
QPSK	1/2	-79	-76
QPSK	3/4	-77	-74
16-QAM	1/2	-74	-71
16-QAM	3/4	-70	-67
64-QAM	2/3	-66	-63

c) 计算 AP 的下行通信距离。

#### 6.3.4 确定在覆盖区域范围内 AP 的数目和位置

以 AP 使用全向天线为前提，不考虑电力设备建筑对信号传播的影响，AP 覆盖区域将近似为半径为 R 的圆（R 为 AP 与接收终端之间，满足特定信号质量的最大通信距离）。由于 AP 发射功率受限，导致一个 AP 的覆盖范围也有限。因此对于较大区域，需要部署大量 AP 联合进行覆盖。

### 6.4 容量规划

#### 6.4.1 MAC 成帧效率分析

将 WLAN 的网络节点 MAC 成帧效率定义为在一个物理帧中有效载荷的传输时间和一个物理帧总的传输时间之比。分析 WLAN 的 MAC 成帧效率需要从 WLAN 物理层的帧格式入手。

MCA 成帧效率分析宜基于物理层帧结构，统计有效载荷与总帧的传输时间，并计算其比值。

#### 6.4.2 DCF 效率影响分析

应进行 DCF 效率影响分析，包括以下内容：

- a) 以 DCF 吞吐率作为关键因子，即广义时隙中成功传输用户数据的时间与平均时隙长度的比值；
- b) 应分析信道状态，建立模型求解节点发送概率及相关参数，确定 DCF 吞吐率。

#### 6.4.3 AP 所带用户数目和 AP 的个数的确定

a) 应结合 MAC 成帧效率与 DCF 吞吐率，计算单 AP 有效吞吐量，根据用户平均带宽确定单 AP 最大承载用户数；

b) 应根据覆盖区域内总用户数及单 AP 承载能力，初步计算所需 AP 数量；

c) 应结合覆盖设计结果对 AP 数量进行调整，确保满足覆盖与容量要求。

为清晰呈现 WLAN 容量规划的核心逻辑及关键环节，直观反映 MAC 成帧效率分析、DCF 效率影响分析与 AP 数量及用户数确定之间的关联关系，特绘制图 6 以辅助理解，具体内容如下。

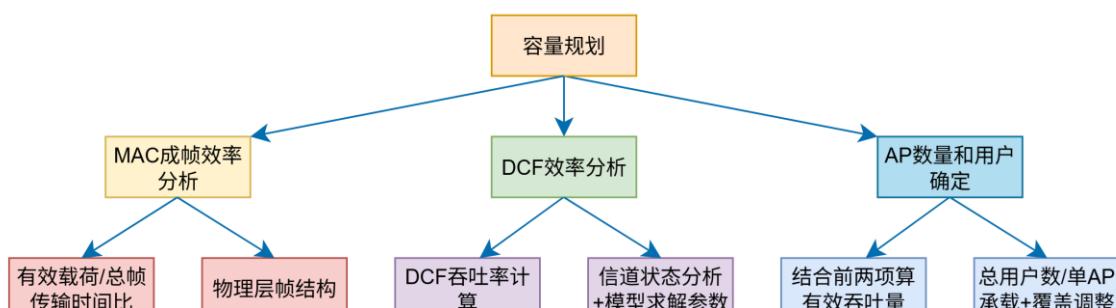


图 2 容量规划核心逻辑图

## 7 安全要求

### 7.1 接入认证

#### 7.1.1 接入认证系统要求

电力无线局域网应采用 802.1X 身份认证标准进行接入认证，认证服务器应与电力调度数据网的安全认证体系联动，支持电力专用账号（如运维人员工号、设备编号）的统一认证，拒绝非电力授权账号接入，以确保用户只能与经过授权的设备进行通信。在本方案中，通过控制接入端口实现用户级接入控制，认证系统应采用 Client/Server 结构，包含三个组件：客户端、接入设备和认证服务器，其具体结构示意图见图 3。

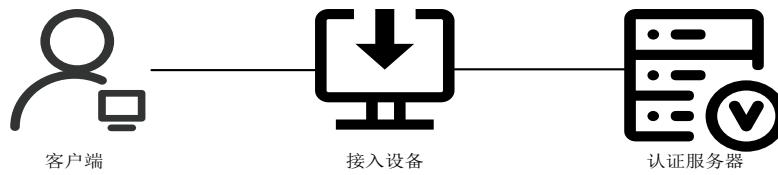


图 3 802.1x 系统组件

客服端、接入设备和认证服务器组件应满足如下要求：

- a) 客户端组件是指电力用户终端设备。客户端设备应支持 EAPoL 协议，并安装 802.1X 客户端软件；
- b) 接入设备组件是指支持 802.1X 协议的网络设备，例如交换机。接入设备应支持为客户端提供接入电力 WLAN 的端口；
- c) 认证服务器应支持对用户进行认证、授权。

#### 7.1.2 设备接入认证流程

本方案采用 EAP 协议配合 802.1X 协议完成客户端、接入设备和服务器之间的信息交互。

- a) 在客户端与接入设备之间，EAP 协议报文应采用 EAPoL 封装格式；
- b) 在接入设备与认证服务器之间，应采用 EAP 中继方式交互认证信息。

本方案所采用的认证流程，见图 4 所示。

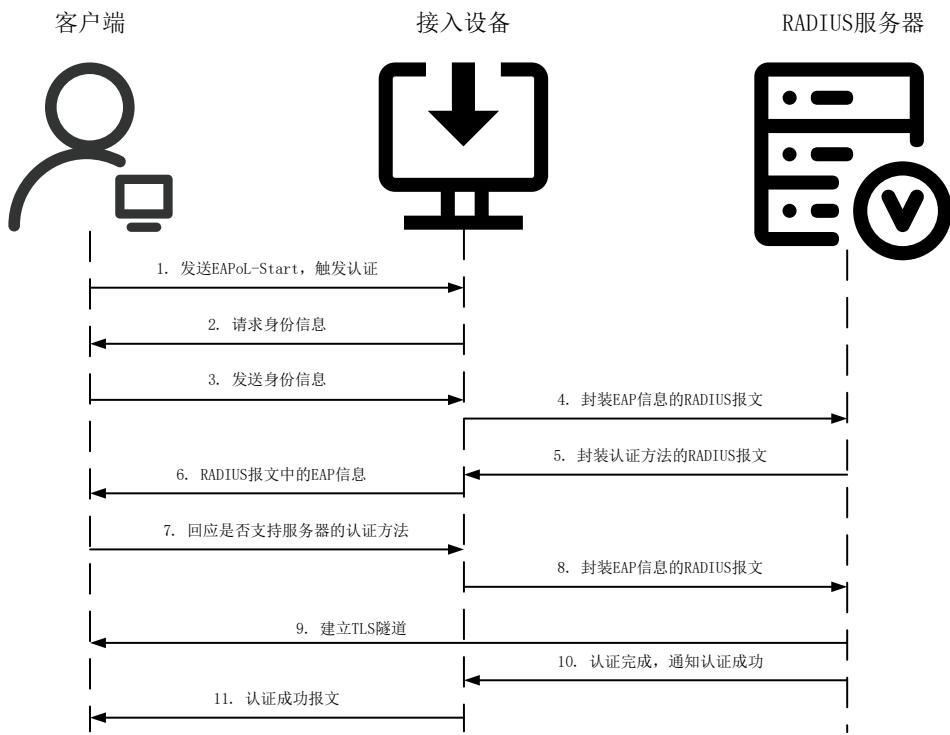


图 4 接入认证流程

- a) 认证触发：客户端发送 EAPoL-Start 报文，触发 802.1X 认证流程；
- b) 身份请求：接入设备向客户端发送 EAP 请求报文，以获取客户端的身份信息；
- c) 身份响应：客户端程序对接入设备的请求作出响应，通过 EAP 响应报文将身份信息传送至接入设备；
- d) 报文封装与转发：接入设备将 EAP 报文封装在 RADIUS 报文中，发送给认证服务器进行处理；
- e) 认证方法协商启动：RADIUS 服务器收到接入设备转发的身份信息后，启动和客户端 EAP 认证方法的协商。RADIUS 服务器选择一个 EAP 认证方法，将认证方法封装在 RADIUS 报文中，发送给接入设备；
- f) EAP 信息转发：接入设备收到 RADIUS 报文，将其中的 EAP 信息转发给客户端；
- g) 认证方法响应：客户端收到 EAP 信息，解析其中的 EAP 认证方法。如果支持该认证方法，客户端发送 EAP 响应报文给接入设备；否则，客户端在 EAP 响应报文中封装一个支持的 EAP 认证方法，并发送给接入设备；
- h) 二次封装与转发：接入设备将报文中的 EAP 信息封装到 RADIUS 报文中，并发送 RADIUS 报文到 RADIUS 服务器；
- i) 认证方法协商成功与认证执行：RADIUS 服务器收到后，如果客户端与服务器选择的认证方法一致，EAP 认证方法协商成功，开始认证。以 EAP-PEAP 认证方法为例，服务器将自己的证书封装到 RADIUS 报文中，通过接入设备发送给客户端。客户端与 RADIUS 服务器协商 TLS 参数，建立 TLS 隧道。TLS 隧道建立完成后，用户信息将通过 TLS 加密在客户端、接入设备和 RADIUS 服务器之间传输；
- j) 认证结果通知：RADIUS 服务器完成对客户端身份验证之后，通知接入设备认证成功；
- k) 认证成功处理：接入设备向客户端发送认证成功报文，并将端口改为授权状态，允许用户通过该端口访问网络。

## 7.2 数据加密

### 7.2.1 加密机制要求

电力无线局域网的数据传输应采用符合 GB/T15629.11-2003《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》及 IEEE802.11i 标准的加密机制，确保数据在传输过程中的机密性、完整性和抗篡改性，电力监控指令、计量采集等关键业务数据应优先采用 AES-256 加密，加密密钥需与电力安全密钥管理系统同步更新，周期不超过 30 天。。加密机制应满足以下要求：

- a) 应支持对称加密算法，加密强度不低于 AES-128（高级加密标准，密钥长度为 128 位），优先采用 AES-256 算法以增强安全性；
- b) 应具备密钥动态生成能力，基于随机数生成器（符合 GB/T32918.2-2016《信息安全技术密码模块安全要求第 2 部分：非对称密码模块》中规定的随机数生成要求）生成会话密钥，避免固定密钥带来的安全风险；
- c) 应支持加密算法的协商机制，客户端与接入设备之间需通过 EAP 协商确定加密算法，协商过程应通过加密信道（如 TLS1.3）进行，防止算法信息被窃听。

### 7.2.2 数据帧加密范围

电力无线局域网内传输的所有数据帧均应进行加密处理，包括但不限于：

- a) 业务数据帧：用户终端与应用服务器之间的业务交互数据，如电力监控指令、计量数据、设备状态信息等；
- b) 管理数据帧：接入设备与终端之间的关联请求/响应、认证请求/响应等管理帧，应采用 802.11w 标准规定的加密方式（如 BIP-GMAC-128），防止恶意解除关联攻击；
- c) 控制数据帧：用于协调信道接入的控制帧（如 RTS/CTS 帧），应通过加密确保其完整性，避免被篡改导致的信道冲突或拒绝服务攻击。

## 7.3 网络安全防护

### 7.3.1 网络边界防护

电力无线局域网应构建清晰的网络边界，通过部署下一代防火墙（NGFW）实现边界流量的精细化控制，无线局域网应接入电力系统安全防护平台，支持异常流量（如非法访问监控服务器）的实时告警与阻断，符合电力二次系统安全防护要求，具体要求如下：

- a) 应基于业务类型（如电力监控业务、办公业务）划分安全域，不同安全域之间的通信需经过防火墙审计，默认拒绝所有未授权访问；
- b) 防火墙应支持状态检测机制，对出入站连接进行跟踪，仅允许符合会话状态的数据包通过，阻断异常连接（如伪造源 IP 的数据包）；
- c) 针对无线接入区域与核心网络的边界，应配置访问控制列表（ACL），明确允许通过的协议（如 TCP80、UDP53）和端口范围，禁止高危端口（如 TCP21、23）的流量传输。

### 7.3.2 接入控制与隔离

#### 7.3.2.1 用户隔离

接入设备应支持同一无线服务集标识（SSID）下的用户隔离功能，阻止终端之间的直接通信（包括二层广播/组播帧），仅允许终端与网关或指定服务器的通信。隔离策略应可配置，支持基于 VLAN 或 MAC 地址的例外放行（如允许特定终端的互访）。

#### 7.3.2.2 接入端口控制

接入设备的无线端口应默认处于未授权状态，仅在 802.1X 认证通过后切换为授权状态；对于未通过认证的终端，应限制其发送数据包的速率（不超过 10pps），防止恶意占用信道资源。

## 7.4 安全管理机制

### 7.4.1 密钥管理要求

电力无线局域网应具备加密有效性的验证能力，具体包括：

- a) 完整性校验：采用消息认证码（HMAC-SHA256）对加密后的数据帧进行校验，接收方需验证校验值与计算值的一致性，不一致时应丢弃该帧；
- b) 重放防护：通过序列号（SequenceNumber）标识数据帧，接收方应维护序列号窗口（窗口大小不小于 64），拒绝序列号超出窗口范围的帧，防止重放攻击；
- c) 加密算法合规性检测：接入设备应定期检查客户端支持的加密算法版本，对不支持 AES-128 及以上加密标准的客户端，应拒绝其接入请求。

### 7.4.2 管理职责划分

电力无线局域网安全管理应采用分级负责机制，明确各角色的安全职责，具体要求如下：

- a) 安全管理员：负责制定安全策略（如加密算法选型、认证规则）、配置安全参数（如密钥有效期、密码复杂度），定期开展安全评估（至少每季度 1 次），并提交评估报告；
- b) 运维管理员：负责执行安全策略，包括设备固件更新、日志备份、故障排查等操作，操作过程应全程记录；
- c) 审计管理员：独立于安全管理员和运维管理员，负责审计安全事件日志、操作记录，核查是否存在违规操作。

### 7.4.3 人员与权限管理

#### 7.4.4.1 账号管理

管理员账号应采用“角色+编号”的命名规则，每个账号对应唯一自然人，禁止多人共用账号。账号创建需经归口部门审批，注销账号时应同步清除其所有权限及缓存凭证。

#### 7.4.4.2 权限控制

采用最小权限原则分配权限：安全管理员仅拥有策略配置权，无日志删除权；运维管理员仅拥有设备操作权，无策略修改权；审计管理员仅拥有日志查询权，无设备操作权。

#### 7.4.4.3 密码管理

管理员密码应满足以下要求：长度至少 12 位，包含大小写字母、数字及特殊字符（如“#”“@”）；密码有效期不超过 90 天，到期前 7 天自动提醒更换；禁止使用近 5 次内使用过的密码；连续 3 次输入错误密码时，账号临时锁定 30 分钟。

## 8 优化实施

WLAN 网络优化应以用户网络质量使用情况为依据，应通过对运行中网络的现场测试、数据采集、数据分析及硬件检查等手段，识别网络故障、网络质量与用户需求的差距；应采用参数修改、网络部署优化、设备调整等技术手段解决网络问题，使现有网络资源发挥最佳效果，提升网络运行质量以满足用户要求。

因 WLAN 为用户接入终端提供网络服务，应将用户接入使用过程中对网络服务质量的感受与需求作为网络优化的基本依据；网络优化目标应综合考虑相关因素详细制订：

a) 确保网络结构合理、运行稳定，使网络资源能得到有效利用，并保有一定的容量以利于未来业务发展。

b) 无线接入设备应能覆盖所期望覆盖的区域，确保信号质量和网络速率符合优化指标要求。

c) 以良好的用户使用感知为基础，满足用户的使用要求。

表 3 WLAN 正常运行参考值

测试大项	测试项目	参考合格要求
网络环境 性能指标	无线覆盖信号强度	在设计覆盖区域90%的区域接收信号强度要求达到75dBm;有特殊要求的重要热点接收信号强度大于等于70dBm
	信噪比	在设计目标覆盖区域内95%以上区域，用户终端无线网卡接收到的信噪比(SNR) 大于20dB
	同邻频干扰	同频干扰小于75dBm;邻频干扰小于70dBm
	同AP下用户隔离	两个终端Ping不通
	AP间切换	切换成功率不小于90%;切换造成丢包率不大于5%
网络业务 性能指标	用户容量	响应时间(时延) 不大于50ms;Ping包的丢包率不大于2%;要求所有测试用户(在信号强度大于70dBm的区域) 接入时802.11g和802.11n模式终端平均下载速率之和接近单用户接入时的下载速率
	AP关联	成功率大于95%;时延不大于10s
	Ping包	时延不大于50ms;Ping包的丢包率不大于3%
	用户鉴别接入时延	鉴别成功率大于等于95%
	TP上下行速率	在设计目标覆盖区域内95%以上区域，，下载速率应不小于500kbit/s，上行速率不小于100kbit/s
	网站访问成功率	访问成功率不低于95%
	用户下线成功率	下线成功率大于等于95%
	网站访问平均时延	国内网站显示时延不大于3s:国际网站显示时延不大于5s
	AP限制最大接入用户数的能力	超过AP最大关联用户数的终端无法正常连接到AP
	用户在AP下的动态分配功能	能够实现负载均衡;对终端没有要求;不影响用户业务的正常运行

WLAN 的优化内容组成如下：

- a) 工程质量优化;
- b) 设备优化;
- c) 组网优化;
- d) 覆盖优化;
- e) 容量优化;
- f) 多网融合优化

## 8.1 工程质量优化

工程质量优化主要包括以下方面：

- a) AP 型号的选用和安装;
- b) AP 合路和天线选用的合理性;
- c) 馈线施工质量;

- d) 网线规范性;
- e) 电源的稳定性;
- f) 管线的隐蔽性;
- g) POE 的可靠性;
- h) 机柜的美化性;
- i) 设备的安全性;
- j) 监理的监管性。

表 4 工程质量优化要求

优化项目	工程质量要求
AP设备安装检查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 设备安装必须符合工程设计要求。如果设备的安装位置需要变更，必须征得设计和建设单位的同意，并办理设计变更手续。</li> <li>2) 如果AP安装在弱电井内，则需做好防尘等安全措施，为防止AP被盗，建议在固定架加锁或是将AP安装在定做机箱之中，并保持通风良好、通气孔畅通，保持工作环境清洁无尘。</li> <li>3) AP必须安装在定做机箱之中，并保持通风良好、通气孔畅通，保持工作环境清洁无灰尘。</li> <li>4) 在安装AP的时候，要考虑以太网交换机与AP之间100m的距离限制。</li> <li>5) 安装地方便与工程施工和运行维护。</li> <li>6) AP四周如有特殊物品，如微波炉，建议至少远离此类干扰源2~3m。</li> </ol>
天线安装检查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 天线安装位置、型号必须符合工程设计要求，并检查天线工作频段与AP工作模式要求的频段相符。</li> <li>2) 天线安装时应保证天线的清洁干净。</li> <li>3) 挂墙式天线安装必须牢固可靠，并保证天线垂直美观，不破坏室内整体环境。</li> <li>4) 吸顶式天线安装必须牢固、可靠。安装在天花板下时，应不破坏室内整体环境：安装在天花板吊顶内时，应预留维护口。</li> <li>5) 天线与吊顶内的射频馈线连接良好，并牢牢固定。</li> <li>6) 吸顶天线不允许与金属天花板吊顶直接接触，需要与金属天花板吊顶接触安装时，接触面间必须加绝缘垫片。</li> <li>7) 需要支架的天线，支架需牢固固定，并做到布局合理美观。</li> </ol>
五类线(超五类线)布放检查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 五类线的绑扎：在管道内和吊顶内隐蔽走线位置绑扎的间距不应大于40cm，在管道开放处和明线布放时，绑扎的间距不应大于30cm，五类线必须牢固绑扎固定。</li> <li>2) 五类线应避免与强电、高压管道、消防管道等一起布放，确保其不受强电、强磁等源体的干扰。</li> <li>3) 对于不能在管道、走线井内布放的五类线，应套用PVC管，PVC管应尽可能靠墙布放并牢牢固定，PVC管不能有交叉现象。</li> <li>4) 五类线的布放长度不应超过100m，如实际长度大于100m应修改设计，改用其它传输方式解决。</li> <li>5) 五类线设备端应留有一定空余长度并绑扎整齐固定，便于后期检修和做线缆接头。</li> <li>6) 尽量避免五类线与电源线平行铺设，如果需平行铺设，应满足隔离要求。对绞电缆与电力电缆平行敷设，最小净距：130mm。有一方在接地的金属槽道或钢管中，最小净距：70mm。双方在接地的金属槽道或钢管中，最小净距：见注。</li> </ol>

	<p>注:双方都在接地的金属槽道或钢管中,且平行长度小于10m时,最小间距可为10mm。表中对绞电缆如采用屏蔽电缆时,最小净距可适当减小,并符合设计要求。</p> <p>7) RJ45接头压制做工需满足设计、施工要求。</p>
光纤布放检查	<p>1) 光纤的布放必须符合设计文件(方案)的要求,且应整齐、美观,不得有扭曲、空中飞线等情况。</p> <p>2) 当光纤需要弯曲布放时,要求弯曲角保持圆滑,并符合相应曲率要求。</p> <p>3) 光纤上应无重物或其他重型线缆叠压。</p> <p>4) 尾纤需用符合标准的软管套上做好保护。</p>
馈线电缆布放检查	<p>1) 馈线电缆必须按照设计文件的要求布放,要求走线牢固、美观,不得有交叉、扭曲、裂损等情况。</p> <p>2) 当跳线或馈线需要弯曲部分时,要求弯曲角保持圆滑,弯曲曲率半径符合相关标准要求。</p> <p>3) 馈线严禁与强电高压管道和消防管道一起布放走线,确保无强电、强磁的干扰。</p> <p>4) 馈线尽量在线井和天花吊顶中布放,并用扎带进行牢牢固定。</p> <p>5) 馈线的连接头都必须牢固安装,接触良好,并做防水密封处理。</p> <p>6) 与设备相连的跳线或馈线应用馈线夹等进行牢牢固定。</p> <p>7) 走线应根据实地情况,合路布线,无任意弯曲,固定间隔合理,一般每隔15m用扎带或卡子固定,确保安装牢固。</p>
接地线布放检查	<p>1) 一般设备的接地线,应使用截面积不小于16mm<sup>2</sup>的多股铜线。</p> <p>2) 地线应与其他信号线有一定距离,单独布放。</p> <p>3) 严禁在接地线中加装开关或熔断器。</p> <p>4) 接地线布放时应尽量短直,多余的线缆应截断,严禁盘绕。</p> <p>5) 接地线接地后测试指标应符合接地要求。</p> <p>6) 固定的金属网络箱均要采取接地措施。</p> <p>7) 安装在微蜂窝与宏蜂窝机房内的设备可采用与基站设备共地的形式,接到机房地网上。</p>
无源设备安装检查	<p>1) 无源设备安装位置、设备型号必须符合工程设计要求。</p> <p>2) 安装时应用相应的安装件进行固定,并且垂直、牢固,不允许悬空放置,不应放置室外(如特殊情况需室外放置,必须做好防水处理)。</p> <p>3) 设备接头牢固可靠,电气性能良好。</p> <p>4) 设备严禁接触液体,并防止端口进入灰尘。</p> <p>5) 射频设备空置端口必须接匹配负载。</p>
相关配套设备检查	<p>1) 设备安装必须符合工程设计要求。如果设备的安装位置需要变更,必须征得设计和建设单位的同意,并办理设计变更手续。</p> <p>2) POE供电模块安装在机房,需用牢固固定,不允许悬空放置或直接将POE供电模块直接堆叠在交换机上,保持通风良好,可散热。</p>
标签检查	<p>1) WLAN系统中的设备及线缆应贴有明显标签,方便以后的管理和维护。</p> <p>2) 标签应符合本地网工程相应标签规范要求。</p> <p>3) 标签粘贴在设备、器材正面可视的地方,设备及电缆的两端都要贴上标签,根据设计文件的标识注明设备名称、编号和电缆的走向。</p> <p>4) 标签粘贴应牢固,标签质地结实,不易损坏。</p>

交换机 /ONU检查	1) 交换机安装环境和要求与上述AP一致。 2) 交换机的端口应该朝下，并做好防尘处理。
---------------	---

## 8.2 设备优化

良好的设备运行状态对网络服务影响至关重要。WLAN 网络除了上述提到的 AC 外，还有如下设备需要做好日常维护优化：WLAN 网管、OLT、ONU、交换机、传输（光纤、微波）、AP 及连接的天馈设备。

在维护工作中，WLAN 网管和 OLT 虽不同厂家维护略有不同，但都需做好配置参数的一致性和完整性核查，确保设备的稳定运行。

ONU 和交换机直接与 AP 相连，并通过传输网络（光纤、双绞线）与后台服务设备相接，其运行稳定性直接影响 AP 上线率。因此，必须提供配套的良好的日常维护服务，以保障设备的可靠运行。

## 8.3 组网优化

组网优化包括以下内容：

- a) 网络路径的优化；
- b) VLAN 优化；
- c) 设备版本型号优化；
- d) AC 配置及性能优化；

具体如下。

### 8.3.1 网络路径的优化

根据 AP 实现的功能，AP 组网可分为“瘦”AP 和“胖”AP 两种类型。在大型网络建设中，为便于统一管理，通常优先选择“瘦”AP 进行组网。于“瘦”AP 架构的 WLAN 网络而言，依据用户数据是否经由 AC（接入控制器），可进一步区分为本地转发与集中转发两种模式。不同的网络运营商基于自身业务特点与运营需求，对这两种转发模式有着各自不同的偏好。

本地转发和集中转发这两种数据转发模式各具特点。在不同的转发模式下，WLAN 网络的性能数据提取方法及分析思路存在一定差异。因此，在网络部署和优化过程中，需充分考虑组网模式的差异和特点，合理选用适合的转发模式。

#### (1) 本地转发

用户数据不经过 AC，直接由上层 BRAS 及认证服务器进行处理，获得相关 IP 地址后出公网。AP 管理数据经由传输网络到达 AC，由 AC 进行处理。

#### (2) 集中转发

AP 管理数据和用户业务数据都经由传输网络到达 AC，由 AC 进行处理并转发。

### 8.3.2 VLAN 优化

单层网络的 VLAN 资源存在数量限制（共 4096 个）。当 VLAN 内用户数量超出承载阈值时，易引发服务质量劣化，难以满足大规模网络的应用需求。

采用 QinQ 技术（亦称 StackedVLAN 或 DoubleVLAN），可使 VLAN 数量扩展至  $4096 \times 4096$  个，能够有效适配网络规模增长需求。

在 WLAN 网络的 VLAN 管理中，按用途可划分为管理 VLAN 与业务 VLAN。通过 QinQ 技术实施合理的 VLAN 规划，能够对网络中的广播流量进行有效管控，可防范广播风暴的产生，保障网络运行的安全性、高效性与有序性。

VLAN 划分应遵循资源利用与规模承载的平衡原则，兼顾管理便捷性与维护效率，确保网络架构的可扩展性与可操作性。具体划分参考方案如下：

a) 基于设备端口的划分方案

可按网络设备端口属性配置 VLAN 标签。例如：在接入层，每个 OLT（光线路终端）的 PON 端口分配唯一 SVLAN（外层 VLAN），每个 ONU（光网络单元）的 ETH 端口分配独立 CVLAN（内层 VLAN），通过 QinQ 技术实现双层标签嵌套通信，确保端口级流量的精准隔离与溯源。

b) 基于区域的划分方案

可按地理区域或功能分区规划 VLAN。例如：南区配置管理 VLAN996、业务 VLAN1004；北区复用管理 VLAN996（统一管理域），业务 VLAN 独立配置为 1005。通过区域化 VLAN 规划，实现跨区域管理统一性与业务独立性的协同。

c) 基于服务类型的划分方案

应按服务类型（如实时监控、非实时数据传输、语音调度等）划分独立 VLAN。通过不同 VLAN 隔离各类服务流量，可显著提升网络管理的精准性，优化业务质量管控效率，降低跨服务干扰风险。

### 8.3.3 设备版本型号优化

随着 WLAN 设备技术的快速迭代，市场对设备功能的需求持续提升，老旧设备或软件版本易出现与通信发展形势不匹配的问题。因此，在 WLAN 网络优化过程中，应重点关注以下要求：

a) 兼容性保障：

需验证 AC（接入控制器）、AP（无线接入点）、交换机、ONU（光网络单元）及合路器等无源器件之间的协议兼容性（如 IEEE802.11ax/be、QinQ 协议），确保设备间数据交互的稳定性。

b) 功能完整性：

设备应具备满足当前及未来 12 年业务需求的完整功能，包括但不限于动态 VLAN 分配、广播风暴抑制、负载均衡、安全认证（如 WPA3）等，避免因功能缺失导致网络管理受限。

c) 技术先进性：

优先选用支持新一代无线技术（如 6GHz 频段、MLO 多链路聚合）及智能化管理功能（如 AI 流量调度）的设备，提升网络扩展能力与运行效率。

针对不符合上述要求的设备，应通过设备更换或软件版本升级等方式，确保 WLAN 设备性能与通信发展需求相适配，保障网络的持续稳定运行。

### 8.3.4 AC 配置及性能优化

a) AC 基础配置与性能要求

AC 应采用光口传输方式，且需保证具备足够带宽，以满足网络管理及业务通信需求。AC 运行的稳定性对 WLAN 网络至关重要，在优化工作初始阶段，需核查 AC 配置的规范性及主要功能的可用性。上述检查与优化工作应作为日常运维内容持续执行。

b) AC 硬件运行要求

AC 服务器及相关网络连接应保持稳定可用。例如：AC 需开启多 CPU 内核以保障性能，确保工作环境及进程运行状态良好、器件性能健康、网络连接及路由信息规范合理、AP 性能数据提取完整等。

c) AC 对 AP 的授权管理

大型 WLAN 网络采用瘦 AP+AC 的管理模式，AC 应能够对各型号 AP 的入网权限进行控制，并对各型号 AP 的上线数量进行管控。

d) 主备 AC 配置要求

在瘦 AP 组网模式下，若 AC 发生故障，将直接导致其管辖的 AP 离线，无法提供网络服务。因此，WLAN 网络必须配置 AC 主备自动切换功能。

实现 AC 主备功能，需确保主备切换正常、对用户透明，且主备 AC 的配置数据保持一致，避免配置数据信息遗失。

#### e) 容量优化措施

当峰值在线 AP/用户数超过 AC 承载能力的 80%时，需进行网络调整，将部分 AP 及用户割接至其他 AC，或通过扩容新增 AC，更换为大容量 AC。

### 8.4 覆盖优化

#### 8.4.1 优化目标

覆盖优化目标为：设计区域内场强大于  $-75\text{dBm}$  的采样点覆盖率应不低于 95%。针对不同场景，可采用以下覆盖方式及优化措施：

#### 8.4.2 放装 AP 覆盖

适用于环境开阔、用户分布零散的场景。

部署要求：结合容量需求、覆盖面积及 AP 型号性能，合理规划 AP 数量及安装位置。

性能参数：采用 100mW 放装 AP 时，单 AP 建议最大在线用户数不超过 20，覆盖直径宜控制在 20m 以内。

干扰控制：当室内放装 AP 数量较多时，需进行频点规划，避免同频及邻频干扰，保障信号稳定性。

#### 8.4.3 室内合路覆盖

针对已部署室内分布系统的热点区域（如酒店、商场、办公楼等），可采用大功率 AP（500mW）作为信号源，在合适节点（需结合末端天线口功率及覆盖范围）进行合路，实现 WLAN 信号覆盖。

施工要求：需确保馈线、天线及各类无源器件匹配；因 WLAN 频段较高，其信号损耗相较于 2G/3G 网络更大，需保障天线口功率及天线间距合理，确保覆盖区域场强达标。

参数规范：天线口功率建议控制在  $10\sim15\text{dBm}$ ，覆盖直径宜不超过 10m。

特殊区域优化：对于纵深较长、需严格控制信号外泄的区域，应采用定向天线替代全向天线，增强深度覆盖效果，减少信号外泄及干扰。

#### 8.4.4 室外 WBS 覆盖

适用于无法采用合路覆盖且普通放装 AP 覆盖能力不足的开阔区域（如广场、酒店大堂、公园等）。

设备选型：WBS 宜采用智能天线系统、多收发机等技术，优先选用抗干扰能力强、覆盖范围广的设备。

覆盖增强措施：

当 WBS 覆盖距离较远导致上行功率受限时，可采用“WBS+CPE（Customer Premise Equipment，客户终端设备）”组合方式，扩展覆盖范围并提升用户感知。

对于传输链路无法到位的特殊热点，可采用 WBS 中继方式，利用 5.8GHz 频段实现中继回传，2.4GHz 频段为用户提供服务，扩展覆盖范围。

### 8.5 容量优化

容量优化可通过以下技术手段实现，具体要求如下：

#### a) 单 AP 吞吐量提升

**干扰抑制：**WLAN 工作于公共频段，14 个信道中仅 3 个为无干扰信道，同频、邻频干扰易导致带内阻塞，降低吞吐量。应在 AP 端安装滤波设备，减少同频、邻频干扰；建议适当降低 AP 发射功率（根据覆盖范围动态调整），控制覆盖边界，减少跨楼层、跨楼宇间的干扰；需对 AP 频点进行统一规划，避免同邻频重叠覆盖，提升单 AP 有效吞吐量。

b) 单位面积容量提升

采用分频分段方式独立规划天馈后端，通过合路技术将原有 2G/3G 室内分布系统的支路分段，每段合路 AP 信号，实现 2G/3G/WLAN 信号共用天馈系统。通过缩小单 AP 覆盖范围，增加单位面积内 AP 数量，提升区域整体容量，此为 WLAN 容量提升的常用技术手段。

c) 负载均衡应用

适用于变电站控制室、集中运维现场等用户密集且流动性大的场景；适用于配电台区抢修点等用户高度集中区域。当多 AP 覆盖同一区域时，应开启负载均衡功能，通过用户关联控制（如基于信号强度、当前负载量的动态分配），避免用户过度集中于单个 AP，降低单 AP 负荷，保障整体服务质量。

d) 单用户速率限制

适用于配电台区抢修点等用户高度集中区域。应对该区域 WLAN 用户实施单用户下载速率限制，防止个别用户占用过量带宽导致其他用户速率劣化，通过带宽资源均衡分配提升区域用户容量。

## 8.6 多网融合优化

针对多 WLAN 网络重叠覆盖场景，应采用多网融合技术，以实现成本优化及频率干扰抑制。融合方式包括合路融合与多 SSID 融合，具体要求如下：

a) 合路融合

**技术原理：**利用宽频合路器，将不同网络信号（如不同运营商或业务类型的 WLAN 信号）通过同一套天馈系统进行发射与接收，实现多信号共用传输链路。

**典型应用：**移动运营商通过合路器将 WLAN、2G、3G 信号合路后接入同一套天馈系统，减少天馈资源重复建设，降低多信号间的频率干扰。

b) 多 SSID 融合

**技术原理：**将多个不同业务的 WLAN 网络通过配置独立 VLAN 实现隔离，利用同一 AP 同时提供多个 SSID（服务集标识），通过 VLAN 透传机制区分不同业务数据流向。

**典型应用：**企业内网与外网通过同一 AP 实现融合服务——AP 配置双 SSID，两个 SSID 分别关联不同 VLAN，VLAN 将用户数据分别透传至内网交换机与外网交换机，实现单 AP 承载双网业务，避免多 AP 独立部署导致的频率冲突。

## 9 测试

### 9.1 测试指标

#### 9.1.1 网络环境性能指标

应包括以下方面：

- a) 无线覆盖信号强度；
- b) 信噪比；
- c) 同频、邻频干扰；
- d) 同 AP 下用户隔离；
- e) AP 间切换；
- f) 用户容量。

### 9.1.2 网络业务性能指标

应包括以下方面:

- a) AP 关联;
- b) Ping 包;
- c) 用户下线成功率;
- d) 用户鉴别;
- e) 接入时延;
- f) FTP 上下行速率;
- g) 网站访问成功率;
- h) 网站访问平均时延;
- i) AP 限制最大接入用户数的能力;
- j) 用户在 AP 下的动态分配功能。

## 9.2 测试准备阶段

测试准备阶段应完成下列工作:

- a) 开始检测前, 根据网络物理结构图, 组织勘测计划, 应将现场勘测的路径进行记录;
- b) 应对重要的点进行识别, 这些地点可根据物理位置上的现场观察、查看建筑的图纸或者网络结构图来确定;
- c) 选取用户相对集中的测试地点 (每个热点区域抽样测试接入点的比例应不低于 10%, 被抽测接入点的数量应不小于 10 个, 如果总的接入点数小于 10 个, 应全部测试);
- d) 抽测要求所抽样的接入点应尽可能均匀分布在整个网络中, 应选取有代表性的接入点, 如果无线局域网分为多个部分, 应在所有的部分内进行测试;
- e) 由于射频信号更容易受到建筑等金属障碍物的影响, 检测地点选取时, 应避免障碍物的影响。

## 9.3 测试实施阶段

### 9.3.1 网络环境测试

#### 9.3.1.1 无线覆盖信号强度测试

测试地点不应少于一个, 测试点的选取应均匀分布, 并且能够反映该区域的覆盖情况; 对于宿舍类的覆盖区域, 应至少对称选取两个离信源最远处的房间, 进入房间内进行测试。

测试方法:

- a) 应使用 WLAN 专用测试仪表在设计目标覆盖区域内进行覆盖信号强度测试;
- b) 可针对变电站开阔设备区每  $20\text{m}^2$ 。

#### 9.3.1.2 信噪比测试

测试地点不应少于一个, 测试点的选取应均匀分布, 并且能够反映该区域的覆盖情况; 对于宿舍类的覆盖区域, 应至少对称选取一个离信源最远处的房间, 进入房间内进行测试。

测试方法:

- a) 应使用 WLAN 专用测试仪表在设计目标覆盖区域内进行 SNR 测试;
- b) 可针对变电站开阔设备区每  $20\text{m}^2$ 。

#### 9.3.1.3 同频、邻频干扰测试

测试方法:

- a) 应明确某个 AP 覆盖的区域;
- b) 应在 AP 覆盖区边缘选取测试点;

- c) 对于有多个 AP 同时使用的信道，宜进行单信道测试，查看是否有同频干扰；
- d) 宜观察是否有 AP 工作在相邻信道上，查看是否有邻频干扰。

#### 9.3.1.4 同 AP 下用户隔离测试

测试方法：

- a) 应使用两个终端分别通过鉴别接入网络；
- b) 可查看终端被分配的 IP 地址；
- c) 两个终端可分别 Ping 对方的 IP 地址。

#### 9.3.1.5 AP 间切换测试

测试方法：

- a) 测试终端应通过鉴别接入网络，并通过无线网卡 Ping 本地网关；
- b) 测试终端由目前接入 AP 的覆盖范围移动至相邻 AP 的覆盖范围内后，应一直进行 Ping 本地网关仍然成功；
- c) 在此过程中使用另一台测试终端登录到源 AP 和目标 AP 管理页面，应确认前一测试终端由源 AP 切换到了目标 AP；
- d) 重复以上步骤，宜连续测试 10 次以上，测试包含热点的所有相邻 AP，记录切换是否成功。

#### 9.3.1.6 用户容量测试

测试方法：

- a) 在选定进行压力测试的目标区域应进行无线覆盖信号强度测试、信噪比测试、Ping 包测试和系统吞吐量测试：
  - 1) 单 AP 覆盖区宜使用 20 台终端测试；
  - 2) 双 AP 覆盖区宜使用 40 台终端测试。
- b) 每项指标的测试方法分别同无线覆盖信号强度测试、信噪比测试、Ping 包测试和系统吞吐量测试的方法。

### 9.3.2 网络业务测试

#### 9.3.2.1 AP 关联测试

测试方法：

- a) 应选择指定的 AP，开始连接，直到连接完成；
- b) 宜重复 10 次，记录关联成功次数与时延。

#### 9.3.2.2 Ping 包测试

测试方法：

- a) 测试终端应通过鉴别接入网络；
- b) 测试终端分别 Ping AC 或 AC 上连端口的 IP 地址，Ping 包大小为 1500B，Ping 包次数宜为 100 次；
- c) 可记录响应时间和丢包率等参数。

#### 9.3.2.3 用户下线测试

基于 Web 下线测试，测试方法为在热点不同覆盖区域应使用“用户名+密码”方式进行 20 次 Web 鉴别，接入超过 1 分钟后，进行下线，记录是否下线成功。

#### 9.3.2.4 用户鉴别测试

基于 Web 的鉴别测试，测试方法为在热点覆盖区域内不同地点应使用“用户名+密码”方式进行 20 次 DHCP+Web 鉴别，记录是否鉴别成功。

#### 9.3.2.5 接入时延测试

测试方法:

- a) 用户笔记本电脑终端通过与 AP 进行关联，使用浏览器访问 Internet；
- b) 弹出 portal 页面后，进行登录鉴别；
- c) 应记录从登录到登录成功的延时；
- d) 应选取设计覆盖范围内不同地点重复进行 20 次接入测试，分别记录响应延时。

#### 9.3.2.6 FTP 上下行速率测试

测试方法:

- a) 预置条件:
  - 1) 系统正常运行，场强值应达到  $-55 \sim -65$  dBm；
  - 2) AP 可支持 802.11a/b/g/n 协议；
  - 3) 测试设备加载可记录用户传输速率的软件；
  - 4) 测试设备加载可模拟多用户的测试软件。
- b) 测试流程:
  - 1) 单用户接入网络；
  - 2) 应开启速率记录软件；
  - 3) 单用户应分别使用 802.11a/b/g/n 协议进行 100MB 文件的 FTP 上传下载操作，记录速率；
  - 4) 终端模拟多用户接入网络；
  - 5) 应开启速率记录软件；
  - 6) 多用户应分别使用 802.11a/b/g/n 协议进行 100MB 文件的 FTP 上传下载操作，记录速率。

#### 9.3.2.7 AP 限制最大接入用户数的能力测试

测试方法:

- a) 配置 AP 最大关联用户数宜为两个；
- b) 终端 1、终端 2 关联到 WLAN 网络；
- c) 终端 1、终端 2 打开 IE，进行用户身份鉴别；
- d) 终端 3 关联到 WLAN 网络并进行鉴别，观察结果；
- e) 应修改 AP 最大关联用户数为 3 个，重复检查步骤 b)、c)；
- f) 观察终端 3 的关联和鉴别结果。

#### 9.3.2.8 用户在 AP 下的动态分配功能测试

测试方法:

- a) 同一地点应将 AP1 和 AP2 的以太网口接到同一台以太网交换机；
- b) AP1、AP2 应设置为相同的 ESSID；
- c) AP1 与 AP2 宜分别接入 n 个用户；
- d) AP1 中  $n/2$  个用户下线；
- e) 观察 AP2 上用户是否转移到 AP1 上一部分。

### 10 验收与运行维护

#### 10.1 验收

验收是网络工程建设的最后环节，是全面考核工程需求分析、规划设计及建设质量的重要手段，直接关系到整个网络工程能否达到预期设计指标。网络系统试运行期满后，应由用户对网络工程进行

最终验收。验收流程应包括提出验收申请、制定验收计划、成立验收专家委员会、展开验收测试与配置审计、进行验收评审、形成验收评审、形成验收报告及移交相应资料。验收程序如下：

- a) 应检查和分析网络系统试运行期间的所有运行报告及相关测试数据，确保所发现及潜在的问题均已解决；
- b) 应按照验收标准和相关规范，对网络系统的软件、硬件及应用功能进行全面测试，并将测试结果纳入最终验收报告。验收报告中应明确给出验收结论；
- c) 验收报告应由建设单位、承建单位和监理单位共同签署确认；
- d) 乙方应向甲方完成项目交接，包括系统的正式交付及相关技术资料移交。

## 10.2 运行维护

网络系统的运行维护贯穿于网络工程的整个生命周期。网络系统维护应包括以下四类：

- a) 改正性维护：指在项目交付使用后，针对系统测试过程中未能发现的隐藏错误，在运行阶段暴露后应进行的诊断和修正工作；
- b) 适应性维护：指为使系统适应外部环境的变化应开展的维护工作；
- c) 完善性维护：指在网络系统使用过程中，随着用户数量增加、带宽需求提升等新需求的出现，为满足甲方对原有需求规范未涵盖的功能与性能特征而提出的扩展要求而进行的维护工作；
- d) 预防性维护：指为系统的可维护性、可靠性和以后的改进所开展的主动性维护工作，网络系统维护工作不应仅在发生故障或接到用户需求时被动进行，应定期开展预防性维护。