



世界无线局域网应用发展联盟
WLAN Application Alliance



全球固定网络创新联盟
Network Innovation and Development Alliance

WAA园区无线局域网 绿色节能技术白皮书

Green Campus WLAN White Paper

2024年9月 SEPTEMBER, 2024

版权所有 侵权必究 All rights reserved

版权声明

本白皮书版权属于世界无线局域网应用发展联盟（WAA WLAN Application Alliance），并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应完全引用其中段落描述，并注明“来自世界无线局域网应用发展联盟（WAA WLAN Application Alliance）”。违反上述声明者，世界无线局域网应用发展联盟将追究其相关法律责任。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的新技术、新业务、新产品等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本白皮书信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，WAA 及参与编写单位不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任，也可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

参与编写单位

主要编写单位有：华为技术有限公司、中国通用技术（集团）、河南师范大学、北京师范大学、比亚迪股份有限公司、中国第一汽车集团有限公司、北京京东世纪贸易有限公司、河南安冉云网络科技有限公司、清华大学、北京邮电大学、澳门大学、澳門科學館、海思半导体有限公司。

主要撰稿人

主要撰写人员名单：包德伟，陈亘，陈永兴，董良，范大卫，范黎林，耿旭东，海本斋，皇甫大鹏，韩涛，季晨荷，蒋胜，矫毅，李德龙，李海军，梁书斌，梁彦明，林森，马少丹，马云龙，苗甫，潘丽，邵汉彬，孙爱正，孙盼，田湘君，田小萍，王肖飞，韦乃文，魏良浩，文慧智，吴日海，谢于明，熊鑫，徐悦，杨加园，杨久君，杨亚东，杨镇安，张立仿，张亮，张涛，张印熙，赵海燕，赵永平，郑娟，周霞，朱科义，赵少奇，曾维微。

（排名不分先后）

前言

本书内容

气候变暖已成为全球面临的最严峻挑战之一。随着全球温度持续上升，极端天气事件增多，以及自然资源日益紧张，全球社会、经济以及环境的稳定面临前所未有的威胁，1992 年，联合国气候变化框架公约（UNFCCC）的签署标志着全球气候行动的正式启动。《巴黎协定》作为一项全球性的气候变化协议，其目标是限制全球气候升温至工业化前水平之上 2°C 以下，争取不超过 1.5°C 。为实现这一目标，各国承诺制定国家自定贡献目标（NDCs），并每五年更新一次，以加强减排力度。

工业园区和商业园区作为经济活动密集且能源消耗集中的地区，包含大量的建筑物和设施，如办公楼、工厂、仓库等。它们是能源消耗的主要场所，因此如何实现园区节能减排成为了刻不容缓的问题。当前，园区智能化和信息化已经成为提升园区管理水平和能源使用效率的关键行动。作为园区智能化的基础设施，园区无线局域网（WLAN）具备部署灵活、网络覆盖全面、通信速率高、成本效益高、设备生态丰富、多业务扩展能力强、数据流动安全不出园区等特点，已经被广泛部署，其节能方案也越来越多的被关注。除了信息化的功能，无线局域网还具备感知能力，它利用无线信号来监测和识别环境中人或物体。无线局域网的感知能力与楼宇管理系统协同可以大幅优化空调和照明的能耗。

综上所述，企业的社会承诺和成本节约都驱动无线局域网部署节能方案。无线局域网管理人员急需节能方案部署的指导，在保障网络服务质量和用户体验的同时，减少园区能源浪费，以支持绿色建筑的目标达成。

目录

第 1 章 园区节能与园区网络简介	1
1.1 园区介绍	1
1.2 园区网络介绍	2
1.3 园区网络支撑低碳园区的建设	4
第 2 章 WLAN 绿色节能方案介绍	7
2.1 WLAN 网络单设备节能	8
2.2 WLAN 网络整体节能	9
2.2.1 WLAN 系统能耗可视	10
2.2.2 人工配置定时关断节能方案	12
2.2.3 分区定时关断节能（AI 辅助）	14
2.2.4 分区按角色关断节能（AI 辅助）	16
2.3 WLAN 与智能楼宇管理系统协同节能	20
2.4 WLAN 绿色节能方案总结	23
2.5 WLAN 绿色节能参考实现架构	25
第 3 章 最佳实践	26



3.1 最佳实践 1：河南师范大学 WLAN 绿色节能部署	26
3.2 最佳实践 2：中国通用技术（集团）办公园区网络节能.....	31
3.3 最佳实践 3：华为技术有限公司办公园区环境节能.....	34
3.4 最佳实践 4：北京师范大学 WLAN 绿色节能部署.....	37
第 4 章 结论	40
A 术语	42



第1章

园区节能与园区网络简介

1.1 园区介绍

园区作为城市的基本单元，是最重要的人口和产业聚集区。据华为企业业务市场洞察，90%以上城市居民工作与生活在园区，80%以上的 GDP 和 90%以上的创新在园区内产生，可以说“城市，除了马路都是园区”。



图1-1 园区是城市的基本单元



根据国家发展和改革委员会发布的园区名录，国家级和省级开发区有 2543 家，80%的工业企业已集中在园区，园区工业总产值占到全国的 50%以上，碳排放占全国的 31%，工业园区肩负着实体经济和降碳减污的重大使命。低碳园区在节能减排方面发挥着重要作用，是实现国家碳达峰和碳中和目标的关键。

低碳园区是指以可持续发展理论为指导，统筹兼顾碳排放与可持续发展，通过采用清洁生产技术、提高能源使用效率、减少环境污染物的排放的产业园区。建设数字化赋能的智慧园区已经成为低碳园区运行的有力支撑。通过智慧园区的建设，园区碳排放能够实现可量化、可跟踪、可分析、可视化，构建企业、园区数字化能效管理体系。在数字化赋能加持下，企业可以实现“一企一策”的节能降耗方案，综合运用各类节能降耗的技术和手段。

1.2 园区网络介绍

园区网，顾名思义，是指一个园区内的网络(园区一般包含多栋建筑，但比城市小的有限的地理区域)。通常园区网络由园区承租人/所有人（企业、大学、医院、学校、政

府等)完全拥有,如图 1-2 所示。随着园区网络的部署,一栋楼或一层楼甚至几个办公室(以企业作为边界)也可以叫做小型园区网,或者称它为企业网。

园区网络的核心职能是连接应用与终端。随着云业务和人工智能技术在企业的部署,网络通信成倍增长,要求园区网络提供超大容量和超低时延的高品质连接。在终端方面,IoT 技术实现了大量终端的数字化,使得园区终端数量和数据量快速激增,而无线化又解放了终端的移动性,两者将共同带动园区数据生产、传输、处理和应用的革命,最终极大地提升企业的生产效率。

图1-2 园区网络是园区智能化的基础设施



园区网络由有线网络和无线网络组成。无线局域网(WLAN)作为园区无线网络的主流技术,具有部署灵活、网络覆盖全面、通信速率高、成本效益高、设备生态丰富、多业务扩展能力强、数据不出园区等特点,已经成为智慧园区的基础设施。终端侧WLAN具有丰富的设备生态,智能手机、智能穿戴设备、平板电脑、笔记本电脑、电视会议终端、打印机、物流小车、无人机、医疗设备等各种终端设备都支持WLAN。根据第三方咨询公司报告,全球超过70%的末端流量是通过WLAN技术实现最后一跳网络接入,这也使之成为重要的网络接入技术。

图1-3 楼宇网络示意图



图 1-3 描述了典型楼宇的网络部署图，每层楼宇被分成了多个区域，可能是办公室、会议室、实验室、休息区、设备区等。一般情况，每隔 15 米部署一台无线接入点 (AP)，每层楼部署多个无线接入点 (典型部署 20~80 个)，在每层楼部署一台支持供电功能 (PoE, Power over Ethernet) 的以太网交换机，无线接入点通过以太网线或光电混合缆 (符合 YD/T 1258.8-2024 标准) 与以太网交换机互联，楼宇多层以太网交换机汇聚到中心交换机，与无线接入控制器相连。其中 PoE 交换机可以实现通过以太网线远程向无线接入点供电，在网络不使用的时候通过关闭端口可以关闭无线接入点设备，这时无线接入点设备完全不消耗电力。

1.3 园区网络支撑低碳园区的建设

如图 1-4 所示，WLAN 系统包括终端 (STA)，无线接入点 (AP)，带供电能力的以太网交换机 (PoE 交换机)，无线接入控制器 (Access Controller, AC)，SDN 控制器 (SDN Controller)，智能分析器多个组件。支持节能设备的无线局域网系统，需要多个具备流量、终端类型、业务类型的感知与识别能力的组件，并通过人工智能 (AI) 加持，自动根据业务使用情况，生成 WLAN 节能配置方案 (比如定时通过 PoE 交换机关

闭端口实现节能)。WLAN 具备节能能力的同时，还可以实现人员位置的感知，与楼宇自动控制系统 (Build Automation System)，包括不限于楼宇照明、空调等能耗子系统协同，实现整个楼宇的节能。

图1-4 WLAN 由多个组件构成



通过网络和人员感知的节能操作都需要关闭部分网络、空调、照明等设备。并且，在部署节能方案时，必须考虑对业务的影响。对非重要业务产生部分影响是可以选择接受的，但对重要业务则需要以业务可用性、可靠性为第一优先级。目前园区 WLAN 中常见的业务承载包括以下几类：办公终端、移动设备、工业控制设备、物联网 (IoT) 设备和安防监控设备，以下是详细介绍：

1. **办公终端**：办公终端主要包括台式电脑、笔记本电脑和办公外设（如打印机、扫描仪等）。这些设备通常用于日常办公、文档处理、电子邮件、视频会议等。
2. **移动设备**：移动设备包括智能手机、平板电脑和笔记本电脑等便携式设备。这些设备主要用于移动办公、即时通讯、信息查询和多媒体娱乐等。
3. **工业控制设备**：工业控制设备包括工业控制器、传感器、执行器和自动化系统等。这些设备主要用于生产线控制、环境监测和设备状态监控等。



4. **物联网 (IoT) 设备：**物联网设备包括各种智能传感器、智能电表、智能灯具和环境监测设备等。这些设备用于数据采集、远程控制和状态监测。物联网设备数量庞大，要求 WLAN 网络能够支持大量终端同时连接，且保持良好的网络性能。
5. **安防监控设备：**安防监控设备包括摄像头、门禁系统、报警设备和环境监控传感器等。这些设备主要用于园区的安全监控和防护。

办公终端和移动终端用户通常需要访问互联网、收发电子邮件、上传和下载文件、组织或参与语音或视频会议，在休闲区可能会观看娱乐视频，拨打音视频电话等。关于用户体验可以查看 WAA 联盟在 2023 年发布的《园区无线局域网性能体验白皮书》，详细定义了办公园区的多种业务和体验要求。工业终端、传感器、安防监控等终端属于物联终端，通常它们长期在线，但对网络通信的带宽需求不大，部分终端对网络有高质量连接服务的需求。

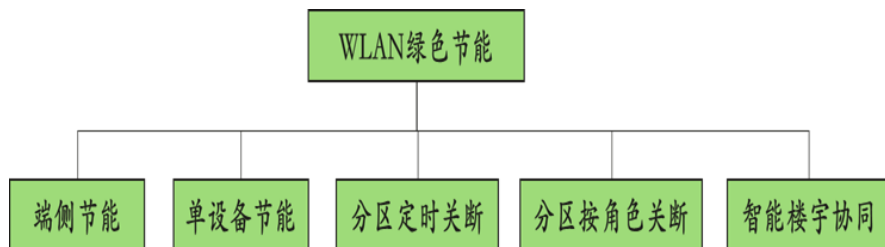
无线网络管理员在部署节能方案的时候必须兼顾网络用户的体验、生产环境的可靠性，和物联网的持续性。管理员需要保持对整体网络节能和服务质量的可管可视，考虑多种部署方案实现节能的同时，对网络服务质量做出必要的承诺。实际上，网络管理员的难点就在于平衡业务体验和节能效益。



第2章

WLAN 绿色节能方案介绍

图2-1 WLAN 绿色节能方案细化



本章介绍多个 WLAN 绿色节能方案，包括端侧节能、单设备节能、分区定时关断、分区按角色关断、智能楼宇协同多个方案，如图 2-1 所示。

端侧节能支持站点的定期休眠与唤醒，着重于降低终端能源消耗，但对楼宇 WLAN 网络部分节能贡献不大，本章不再详细介绍。单设备节能通过定义设备的工作状态进行节能操作，如单个设备处于空闲状态时进行能耗降低。分组定时关断、分区按角色关

断是整网按时段、按设备角色关闭部分设备来实现网络系统级节能，是本章重点介绍的内容。除了 WLAN 系统节能，本章还会介绍 WLAN 网络与楼宇管理系统协同，实现空调、照明等楼宇设备节能的方案。

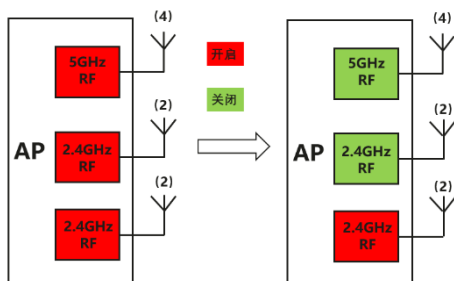
2.1 WLAN 网络单设备节能

当前网络主要连接智能终端，智能终端通信的特点是间歇性和集中发送数据，在网络上则表现为流量的波动，并不是所有网络设备都工作在满负荷下。如果不同的流量消耗不同的电力，对比网络设备全速运作，就能节约电力。基于这个原则，通过定义单设备不同负载下的节能模式成为网络节能的一种方法。例如空载时可以定义休眠模式/待机模式，低负载时可以定义低功耗模式等。

在 WLAN 系统中，AP 节点数量最多，因此 AP 的工作状态是节能方案的重点。因为 AP 部署通常通过 PoE 交换机供电，所以 AP 增加一种状态，**PoE 下电模式**。下面详细说明各种模式：

- **PoE 下电模式**：此时 PoE 交换机关闭端口，停止对 AP 的供电，AP 完全不消耗电力，启动 AP 时端口重新供电。这个模式下 AP 恢复工作一般需要几分钟。
- **休眠模式**：仅用极低的功耗维持对 CPU 等关键硬件进行用电保护，其他器件进行关停。休眠模式下单 AP 可实现约 80%~90% 的节能，恢复工作在一分钟以内。
- **低功耗模式**：相较于休眠模式，低功耗模式保持一定的通信能力。例如：AP 只保留 2.4Ghz 频段通信，将其他射频关闭。[图 2-2](#) 是具备 2+2+4 流通信能的 AP，在节能状态下，只开启一收一发电路节约能耗。低功耗模式单 AP 可实现约 30% 的节能，恢复工作在几秒到几十秒之间。

图2-2 单个 AP 设备射频关断示意图

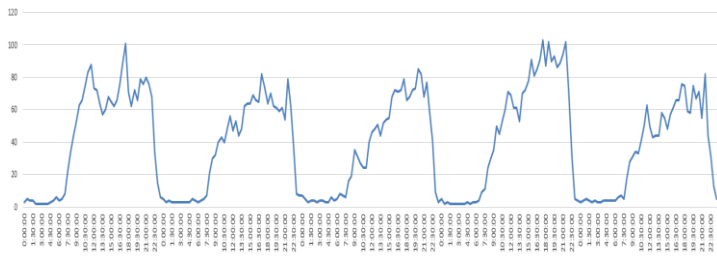


单设备节能提出了一条可行的节能思路，但网络设备流量变化速度非常快，工作时每秒的流量差异很大，超过秒级的恢复时间并不适应工作状态下网络体验的要求。单独设备能耗状态管理难以平衡节能收益与网络承诺服务的要求，无法为网络管理员提供可管可控的部署方案，因此需要结合整网服务能力才能构筑完整的节能解决方案。

2.2 WLAN 网络整体节能

在园区环境中，网络使用存在明显的潮汐性（潮汐流量），如图 2-3 展示了某学校教学楼 5 天的网络流量统计。可以看到的是，早晨 7 点网络使用量明显增长，在上午、下午达到使用高峰，凌晨 0 点后基本不使用。

图2-3 某大学教学楼 5 天网络流量统计图

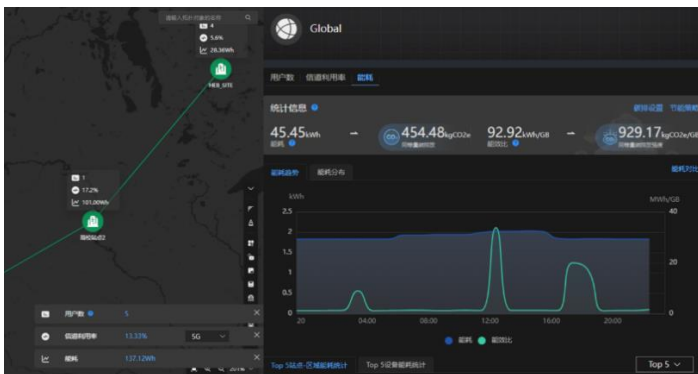


如本文 1-2 所述，园区网络由多台设备组成，AP 连接楼层交换机进而连接到汇聚交换机，与 SDN 控制器共同构成网络。从网络整体上看，在流量使用低谷关闭部分 AP 能够最大化的节约电力使用，本章基于潮汐流量的特点，介绍 WLAN 网络整体节能方案。

2.2.1 WLAN 系统能耗可视

WLAN 系统能耗可视系统通常是网管系统或者 SDN 控制器的一部分。网管系统收集从 AP 等设备上报的能耗信息，可以实时监园区总网-楼宇-楼层-具体 AP 设备的能耗情况，并在智能分析系统上分析和展示。如图 2-4 所示，系统可以展示区域级整网状态，包括但不限于区域级总体能耗按天/小时的信息统计、区域网络利用率（信道利用率）、区域级总体网络质量按天/小时的信息等。这种可视化管理可以帮助网络管理人员从整体上更直观地把握区域的能源使用状态，综合网络能耗和使用情况，进行合理地分时分区域节能。

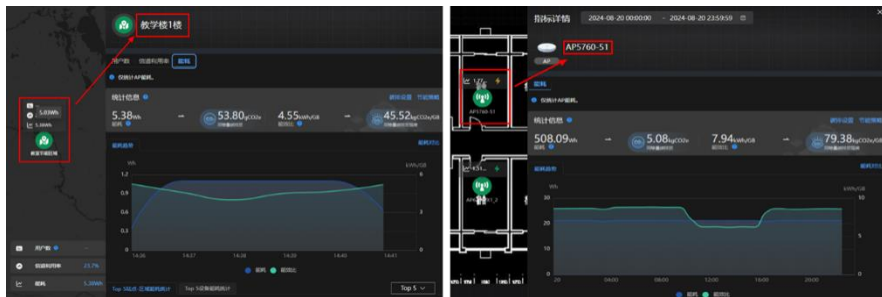
图2-4 WLAN 网络可视化系统园区能耗监控



WLAN 网络能耗可视化系统可以选择具体时间段从宏观的园区级别逐步深入至楼宇，楼层，以及具体到设备，进行细致的能耗分析，对不同分区采用针对性的节能策略。

图 2-5 中左、右两张图分别展示了楼宇级和 AP 级的能耗和网络使用信息。

图2-5 WLAN 网络可视化系统楼宇-楼层级、AP 节点级能耗监控



为了更好的说明不同节能策略带来的节能增益效果，系统还提供指定区间的能耗对比。如图 2-6 所示，通过统计不同时段不同策略的能耗变化曲线，比对不同节能策略，帮助网络管理人员更好的做出策略的优化与选择。

图2-6 节能性能对比



WLAN 网络能耗可视化系统通过图表、仪表盘等多种形式展示实时能耗数据，是 WLAN 网络整体节能策略分析和制定的基础。用户可以通过界面选择不同的园区，楼宇，楼层以及具体的 AP，分时间段进行查看，从而快速定位高能耗点。此外，系统还具备能耗告警功能以帮助网络管理团队能够在能耗问题扩大之前及时采取措施，避免不必要的能源浪费，以达到智能化精确化辅助运维团队管理园区 WLAN 网络能耗。

2.2.2 人工配置定时关断节能方案

基于园区网络潮汐流量特点，这里提出了“节能窗口”（又称能效窗口）的概念。节能窗口是指当网络处于不使用或者低使用的状态时，通过关闭 AP 来实现节能。能效窗口在工作日和节假日需要独立设定，或者在指定周期（比如周）按每天精确计算。

图2-7 流量使用与节能窗口说明



针对节能窗口，通过 PoE 交换机关闭接口实现 AP 在指定时间段内完全关闭，达到单 AP 100%的节能效果。如图 2-8 所示，通过 SDN 控制器等进行人工/手动配置定时关断目标楼宇/楼层的所有 AP。假设每天关闭网络 7 小时（00:00-07:00），可以实现约 29.2%（7/24）的整网 AP 能耗节约。

基于节能窗口，可以在 SDN 控制器上人工配置定时关断 AP，实现节能。节能方案可基于首先考虑园区作息规则和实际业务需求，再结合 WLAN 能耗可视系统中 AP、PoE 交换机等设备历史使用情况、业务类型和能耗数据综合分析，由园区网络管理员配置端口的定时开关。

图2-8 在 SDN 控制器上配置 AP 定时关断

PoE: ☒ PoE

上电时间: ☒ 08:00至18:00

工作模式:

基本设置 ☒ AP

国家/地区:

定时开启: ☒

星期一:	08	:	00	:	18	:	00	:	启用
星期二:	08	:	00	:	18	:	00	:	启用
星期三:	08	:	00	:	18	:	00	:	启用



经过调研节能窗口一般在 7~10 小时，可实现 30%~40% 的 WLAN 网络的能耗降低，但如果手动配置或人工操作来设定关断窗口会存在以下部署困难：

1. **配置复杂**：大中型园区 AP 数量众多，手动配置工作量大，配置容易出错。如果园区业务有调整，策略修改工作量非常大，部署实施难度大。
2. **无法实现“一区一策”**：园区内各区域的使用模式和需求差异较大，每个区域的节能窗口并不一样，如果园区统一的节能窗口，无法实现节能效果的最大化。如果按区域网络使用和能耗进行分析，给管理员带来了巨大的工作量。
3. **业务适应性差**：园区业务不是一成不变的，可能半夜有员工需要加班，手工配置恢复网络给管理员带来了难以接受的额外工作和成本。

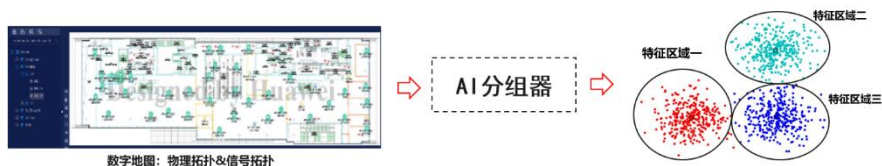
综上所述，此方案在适用的场景上具有较大的限制。为了解决与平衡“**节能窗口选择-场景多且复杂-用户体验保障**”三个需求，需要在 SDN 控制器基础上引入智能分析器（AI 技术），帮助网络管理员分析和部署节能策略。

2.2.3 分区定时关断节能（AI 辅助）

为了解决配置复杂和能效窗口场景多样性的部署要求，进而引入了**网络分组和节能窗口预测**两个功能。首先对网络进行分组，然后对不同网络子组进行潮汐流量预测，实现每个分组独立推荐节能配置策略，完成多场景多能效窗口的部署和调整。

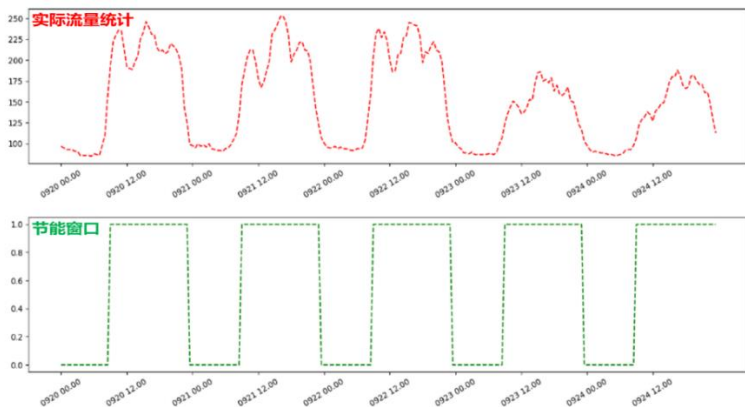
网络分组：由于不同楼层，楼层中不同区域的潮汐流量存在差异，比如展厅、食堂和办公区使用时间点不一样，同样的办公区域不同部门不同楼层使用时间不一样。基于 WLAN 可视化系统中已经构建的物理拓扑和信号拓扑（无线信号强度分布示意图），利用 AI 算法将网络细化成多个分组（比如楼宇一层一组），从而为每个组制定节能策略，实现一组一策。网络分组的过程如图 2-9 所示：

图2-9 基于 AI 算法的网络分组



节能窗口预测：节能窗口预测对每个网络分组分期历史流量数据，提取出流量多维度（例如，时间，空间等）特征，并结合异常检测机制，预测未来的流量模式，推荐最佳的节能窗口，支持精准的节能策略制定。图 2-10 展示了实际流量和节能窗口的对应关系。

图2-10 基于潮汐流量特征的节能窗口预测



结合网络分组以及节能窗口预测，提出了“分区定时关断节能”的解决方案。它可以对不同楼层，楼层中不同区域合理分组，针对每个分组完成潮汐流量预测，选择合适的

能效窗口，通过 SDN 控制器实现批量部署和优化调整，从而降低人工配置能效窗口中维护的复杂性，实现从节能理论到部署的突破。表 2-1 展示了某办公大楼利用 AI 辅助网络分区节能自动生成的节能策略（部分），可以看出，由于不同办公楼层的职能不同，对应的能效窗口在 AI 辅助的加持下，进行了针对性的调整和部署。

表2-1 AI 辅助的网络分区节能（部分）

分组结果	节能窗口	AP 总数	单设备节能/h	单楼层部署收益
ZGTY_E09-01F	['20:00:00', '06:30:00']	4	10.5	43.8%
ZGTY_E09-03F	['19:00:00', '06:30:00']	11	11.5	47.9%
ZGTY_E09-04F	['19:00:00', '10:30:00']	16	15.5	64.6%
ZGTY_E09-05F	['19:00:00', '05:00:00']	20	10	41.7%
ZGTY_E09-06F	['19:00:00', '08:00:00']	18	13	54.2%
ZGTY_E09-07F	['18:30:00', '07:00:00']	29	12.5	52.1%
ZGTY_E09-08F	['19:30:00', '06:30:00']	20	11	45.8%
ZGTY_E09-09F	['18:00:00', '07:30:00']	16	13.5	56.2%
ZGTY_E09-10F	['16:00:00', '08:00:00']	16	16	66.7%

2.2.4 分区按角色关断节能（AI 辅助）

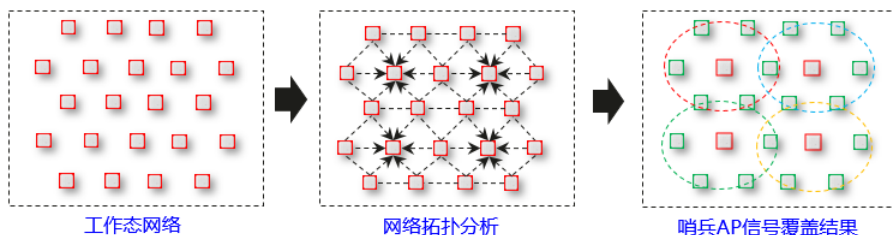
基于节能窗口和网络分区细化节能解决方案，能够大幅实现网络节能，但在节能窗口期间，网络无法提供服务，难以适应突发加班等紧急开展工作的场景以及 IoT 等持续联网的应用要求。WAA 在 2023 年发布了《企业典型场景高品质 WLAN 网络建设白皮书》，书中阐明了确保网络服务的重要性和必要性。为了满足节能目标的同时，确保网络的

连续服务，需要在“网络分区节能”方案的基础上考虑“用户体验保障”，即需要继续细化网络分组中节能策略的制定。

突发加班和 IoT 联网需求与正常办公对网络性能要求不同，网络流量处于较低水平，这时开启部分 AP 实现网络基本覆盖，依然可以实现大幅节能。根据多个客户调研，大约每 6 台 AP 开启 1 台即可保障网络的基本服务。开启哪些 AP 是本方案的难点，对 AP 角色的分类和配置成为实现本方案的关键。

AP 角色分类：从节能角度，AP 可分为**节能 AP**和**非节能 AP**。如图 2-11 所示，经过特性网络拓扑分析，保留红色 AP 作为非节能 AP（工作 AP），可采用低功耗模式或满负荷模式。绿色 AP 作为节能 AP，在节能窗口选择 PoE 下电模式。

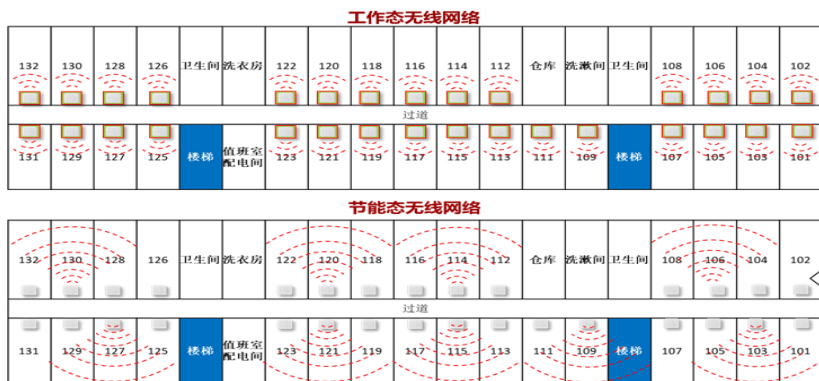
图2-11 AP 角色分类（分组后红色为非节能 AP，绿色为节能 AP）



AP 一般按照最佳网络体验的设计方式部署，间隔距离比较近，AP 也会根据间隔调整发射功率，降低彼此的干扰。在节能部署中，当周边节能 AP 关闭后，工作 AP 需要自动调整发射功率，实现整个区域的覆盖。网络管理员可以选择工作 AP 的工作模式，比如 2.4Ghz 部署（覆盖广、IoT 适配好、性能较低）。

工作 AP 的选择需要考虑多种因素，首先需要保证区域的覆盖。需要智能分析器根据信号拓扑，通过 AI 辅助的区分算法，计算出实现覆盖最佳物理位置的 AP，在计算过程中还需要参考历史网络流量，关键用户归属等要求。工作状态和节能状态网络 AP 对比如图 2-12 所示。

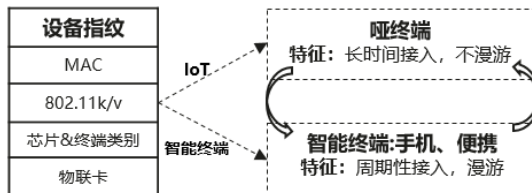
图2-12 宿舍场景下的节能 AP 角色分类示意图



AP 的角色分类和选取不仅需要考虑网络覆盖，还需要结合场景中实际的业务综合考虑，比如 IoT 设备、安防、打印机等设备连接的要求。例如，在某个区域内有大量的无线传感器，假如 AP 直接下电，那么这些传感器将无法及时上报信息，从而产生安全隐患。需要识别的 IoT 终端不仅包括通过 IEEE 802.11 协议连接的终端，也包括使用 AP 内置的蓝牙、FRID 等多种方式通信的终端。

由于网络中的哑终端数量众多，终端分类与保障需要 AI 辅助。图 2-13 描述了通过设备 MAC、通信行为动态分析识别哑终端和智能终端的方法。

图2-13 终端识别分类举例



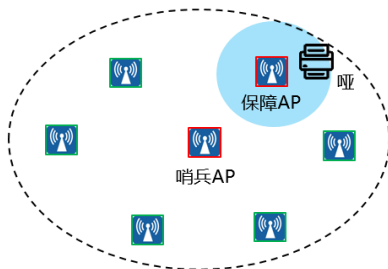
基于覆盖服务和哑终端长时间连接的诉求，可以把非节能 AP 继续细分为保障 AP 和哨兵 AP：

- **保障 AP**：保障哑终端业务的 AP，覆盖范围与功率额可适当缩小调整
- **哨兵 AP**：保障网络分组范围内基本业务，监控网络分组范围内的网络适用状态。
该类 AP 的覆盖范围与功率额可适当扩大调整，以应对突发情况。

在合适的组网下，保障 AP 和哨兵 AP 可以同时由一台 AP 承担。

如图 2-14 所示，在 **AP 角色分类节能策略**下，选择了 1 个保障 AP 和 1 个哨兵 AP。保障 AP 和哨兵 AP 可以采用不同的策略，比如保障 AP 选取开启 5GHz 2 发 2 收，哨兵 AP 选择 2.4GHz 1 发 1 收，满足突发性能要求的同时，保障哑终端设备的长时间连接。

图2-14 同时考虑覆盖和哑终端长连接的 AP 角色分类



分区按角色关断节能：这一方案在 **AI 辅助网络分区节能**的基础上，进一步优化了节能策略，通过智能化的 AP 角色分类与调度机制，综合考虑性能突发要求和保障 IoT 设备、安防监控、环境监测等需要持续运行的关键设备。该方案通过合理分配资源，确保各种终端的正常运行同时，最大化能效窗口的节能效果。

2.3 WLAN 与智能楼宇管理系统协同节能

图2-15 楼宇能耗分布统计图

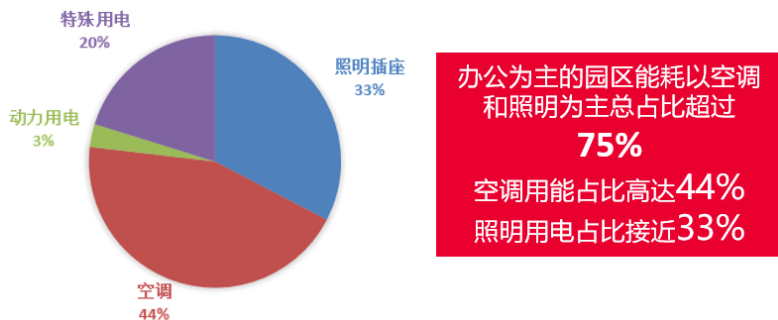
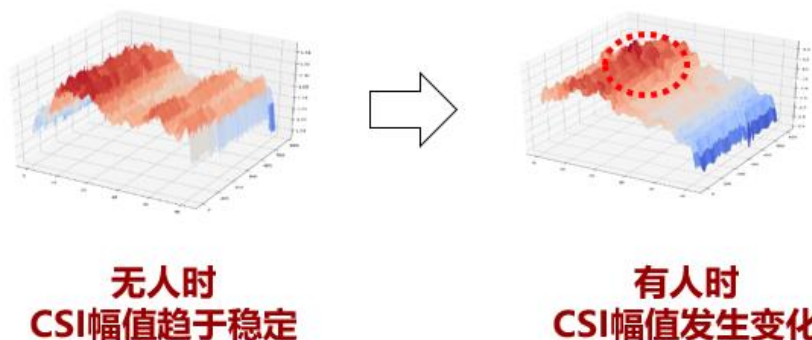


图 2-15 说明了楼宇能耗的分布，能看到楼宇能耗主要集中在空调和照明系统上，占总能耗的 75%以上。空调和照明主要为人服务，当前空调和照明已经采用了类似“潮汐流量”的方式节能，晚上关闭照明，减少空调能耗来节约能源。进一步节约楼宇能源消耗需要更加智能灵活的能源消耗调整方法。随着物联网技术的发展，通过感知人员活动的传感器可以采取灵活的能源调整方法，进一步节约能源。

随着技术进步，WLAN 不仅能实现通信功能，也具备了感知空间信息和人员的能力。WLAN 感知技术（WLAN Sensing）是一种利用现有 WLAN 基础设施，通过 WLAN 的信道状态信息（Channel State Information）来感知空间和人员。CSI 感知原理如图 2-16 所示：

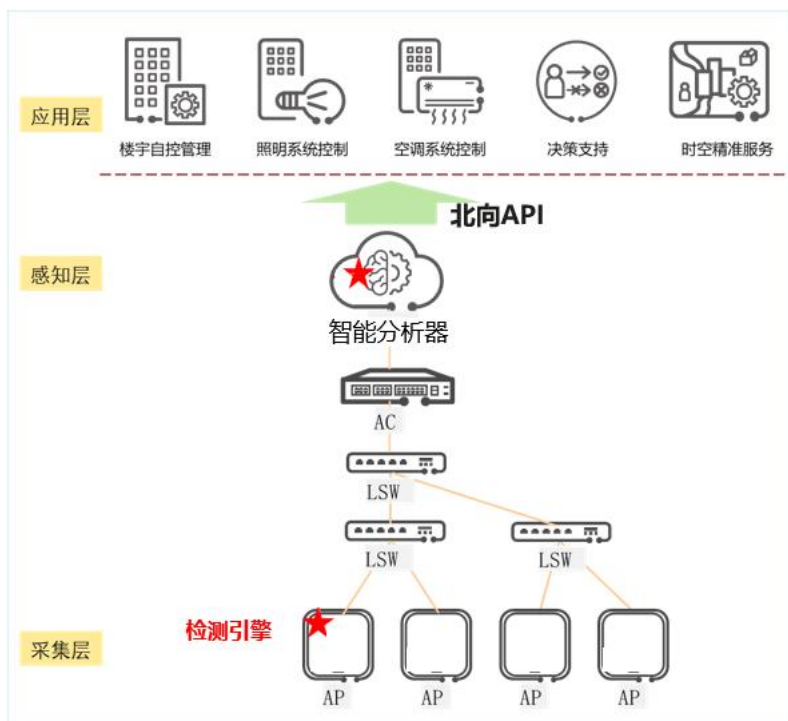
图2-16 CSI 检测人员的原理说明



在 IEEE802.11 标准工作组中，IEEE 802.11bf 对应 WLAN Sensing 技术，与 2020 年 9 月成立，计划在 2025 年 6 月正式发布标准，这标志这 WLAN Sensing 技术的成熟。该标准基于 CSI 技术，实现对周围环境的感知。为了不干扰正常的 WLAN 通信，WLAN 感知利用正交频分复用 (OFDM) 波形，通过数学模型计算出空间的干扰。与高频雷达和摄像头不同，WLAN 感知并不做精准位置的测量，在感知基本运动的同时不暴露个人隐私，例如检测房间内的人员流动，而不做肢体动作检测。

通过 WLAN Sensing，楼宇内的无线网络可以实时感知和分析环境中的动态变化，例如检测房间内是否有人、识别人员的活动轨迹等。结合 WLAN 感知技术和楼宇管理系统，能够支持灵活调整空调和照明能耗，整体降低楼宇的能耗，从节能角度收益比 WLAN 网络节能收益更大。

图2-17 WLAN 与楼宇智能管理系统协同节能



如图 2-17 所示，在 AP 侧部署 CSI 检测引擎，在智能分析器上部署人员感知引擎，对楼宇管理系统开放 AP 的位置和人员感知引擎的分析结果，楼宇管理系统实施节能措施的实施。通过这套方案，可以识别区分人员密集使用区域和非密集使用区域，动态调整区域的空调负荷和风量输出；在检测到无人活动的区域可以关闭照明和空调，尤其适合会议室、展厅等封闭功能的区域部署。这种基于精细数据和智能算法的协同节能，不仅大幅降低了能源消耗，还能确保楼宇环境的舒适度和使用体验。

实施 WLAN 与智能楼宇管理系统协同节能，空调和照明系统的运行时间显著减少，与未实施节能策略前相比，空调能耗降低 15%~30%，照明能耗降低 15%~30%，为楼宇运营方节省了可观的电力成本，经济效益和环境效益显著。

2.4 WLAN 绿色节能方案总结

综合前几节描述，这里对比了几种方案的优劣势和适合部署的场景

- **WLAN 网络单设备节能：**定义了 PoE 下电模式、休眠模式、低功耗模式、满负荷模式，考虑到网络体验的承诺，难以独立部署，需要结合整网服务能力才能构筑完整的节能解决方案。
- **分区定时关断节能：**首先按照网络物理拓扑和业务汇聚将网络分组，根据分组的流量历史数据，计算出每个分组的节能窗口，使用 PoE 交换机定时关闭 AP，实现节能。这个方案可实现 30~45% 的 AP 节能，但在节能窗口时间段不能提供网络服务。适用于网络有明确作息规律的场所，比如教学楼、食堂、展览馆等场景。
- **分区按角色关断节能：**方案在分区定时关断节能的基础上，根据网络覆盖要求和 IoT 长连接等业务要求，计算出值守 AP。这个方案能够实现网络基本覆盖，物联网终端不掉线。适用于在节能窗口有应急工作需求，物联网设备常连接场景，比如企业的办公区域。这种模式可实现约 20%~30% 的 AP 节能，同时保证了一定的网络体验。结合单设备节能模式，这种模式还有进一步优化的空间。
- **WLAN 与智能楼宇管理系统协同节能：**通过网络感知能力开放，实现照明、空调等高能耗设备智能服务，大幅降低楼宇的能耗。目前针对明确隔断的区域，网络感知能力与高能耗设备对应关系清晰，可以实际部署。网络感知与业务（楼宇节能系统）的结合创新，非隔断区域感知准确度是未来重要的创新方向。

表2-2 多种节能方式的收益和网络体验对比

节能服务 对比维度	人工配置	分区定时关断	分区按角色关断	智能楼宇协同
节能策略	手动操作	节能优先	体验能耗双优 保持基础网络容量	网络通感一体
网络节能效果	29%~45%	29%~45% ^①	24%~37% ^②	楼宇能耗 10%
网络体验	节能状态 无网络服务	节能状态 无网络服务	节能状态有 基本网络服务	不影响
管理复杂性	非常高 不可规模部署	可规模部署	可规模部署	可规模部署 需配置匹配关系
适用场景	有固定启停时 间表，如独立 食堂等	节能窗口 无需网络服务 不适合 IoT、监控 等长连接场景	适用场景广泛	会议室 酒店 明确隔断空间

① 计算按 AP 能耗计算；节能效果按节能窗口 7 小时和 11 小时计算；

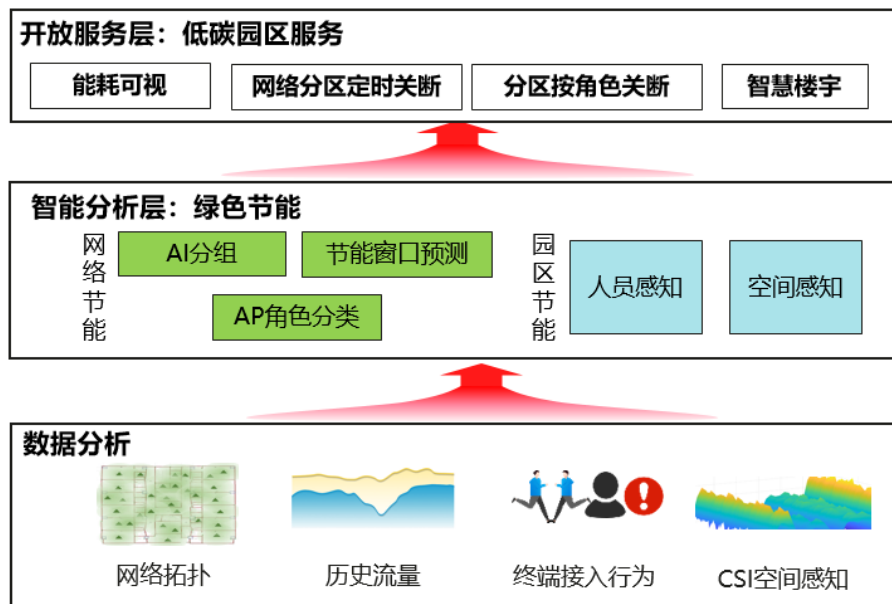
② 计算按 AP 能耗计算；节能效果按 6 台 AP 关闭 5 台计算。

通过部署 WLAN 绿色节能方案后，可以大幅度降低 AP 运行的能耗，AP 节能效益在 24%~40%之间，年节电量从数千度至数十万度不等。**推荐网络管理员部署分区定时关断和分区按角色关断两个方案。**在业务有明确服务窗口的场景使用分区定时关断，在要求 24 小时保证基本体验的场景分区按角色关断方案部署，尤其在教育、企业、政府等工作周期明显的行业。这种节能成果不仅降低了运营成本，也可以减少了碳排放，促进了社会的可持续发展。网络感知与智能楼宇能耗系统的协同，能够大幅降低楼宇的能耗，针对明确隔断的区域，已经可以实际部署。**网络感知与智能楼宇能耗系统的协同是未来重要的创新方向。**

2.5 WLAN 绿色节能参考实现架构

WLAN 绿色节能参考实现架构可以分为三个层次，数据采集层，智能分析层，开放服务层。在数据分析层，由 AP 和 PoE 交换机提供网络拓扑数据，历史流量数据，终端接入行为数据，CSI 信道数据。在多种数据基础上，由智能分析器综合上述数据，实现网络分组功能、流量潮汐预测能力、AP 角色识别能力、人员感知能力、空间感知能力。基于这些能力，对网络管理员提供能耗可视服务、网络分区定时关断节能服务、分区按角色关断节能服务和智能楼宇管理系统协同节能服务。WLAN 绿色节能参考实现分层框架如图 2-18 所示：

图2-18 WLAN 绿色节能参考实现分层框架图



第3章

最佳实践

本章节主要分享 WLAN 绿色节能产业的实践，为 WLAN 管理员提供进一步的参考。

3.1 最佳实践 1：河南师范大学 WLAN 绿色节能部署

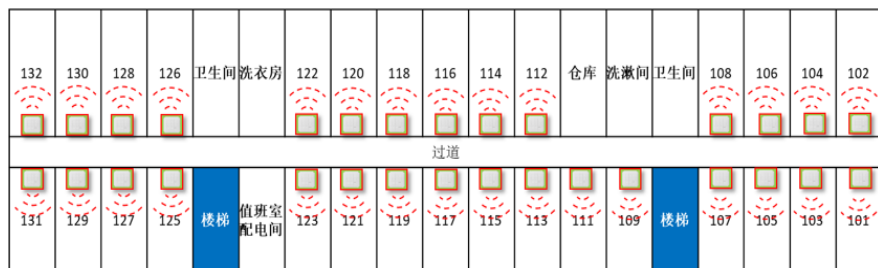
3.1.1 场景概况

河南师范大学是省部“双一流”高校，占地面积 139.53 万平方米，建筑面积 110.01 万平方米，在校生规模 5 万+人，高峰期并发在线用户 4 万+，日校园网活跃用户近 5 万人，宿舍房间规模 9 千间（6 人间为主）。校区网络部署了 1 万多台 AP，500 多台网络交换机。方案选取典型的宿舍楼来介绍 WLAN 网络节能方案的部署情况。



3.1.2 场景分析

图3-1 宿舍典型布局



河南师范大学宿舍楼为 90 年代建筑，典型宿舍楼高 6 层，走廊在中间，两边是宿舍，每层房间的典型布局如图 3-1 所示。宿舍以 6 人间为主，每间宿舍内部署 1 个 AP，AP 在门头右侧挂墙部署。

选择在假期开展 WLAN 绿色节能方案试运行。

图3-2 前 20 个高流量负载的宿舍流量

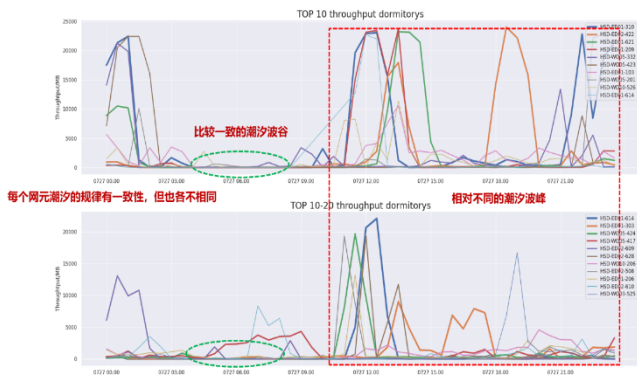
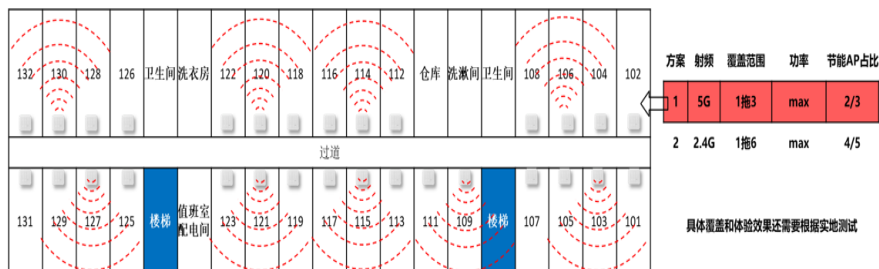


图 3-2 是部署智能分析器后展示前 20 个高流量负载的宿舍流量，分析结论如下：

1. 多个宿舍呈现整体相似流量波动周期，比如 04:00-07:00 流量很小。
2. 不同宿舍的用网差异很大，包括潮汐时间，网络流量。比如，有的宿舍凌晨 2 点还在用网，有的宿舍 11 点多基本就不再有流量。
3. 具体到单个宿舍，规律性比较明显。比如有的宿舍 12 点左右基本不用网，此规律在一段时间内保持不变。

3.1.3 节能方案及效果

图3-3 按 1 拖 3 模式的 AP 开关示意图



经过综合分析，不同宿舍节能时间区段有所不同，推荐按照楼层选择节能区间，按角色关断的节能方案。

在宿舍流量波谷，采取下电措施。考虑到有学生夜间电脑、手机等会持续连网，甚至有夜间软件升级等操作，需要持续为学生提供网络服务。因此整体方案设计为，白天工作态 AP 和宿舍为“1 拖 1”，凌晨节能态 AP 和宿舍为“1 拖 3”，即凌晨 1 个 AP 覆盖 3 个房间。同时，由于不同楼层的网络流量使用有差异，因此也根据不同楼层进行网络分组并采取不同的节能策略。从实际部署的效果看，宿舍区节能整体效果达到 25% 以上。

表 3-1 是不同分组计算的不同节能窗口。

表3-1 不同分组计算的不同节能窗口

分组区域	推荐节能时段	节能时长/小时	AP 节能增益
XED01-1	['01:00:00', '06:30:00']	5.5	22.9%



分组区域	推荐节能时段	节能时长/小时	AP 节能增益
XED01-2	['01:30:00', '06:30:00']	5	20.8%
XED01-3	['01:30:00', '06:30:00']	5	20.8%
XED01-4	['01:00:00', '06:30:00']	5.5	22.9%
XED01-5	['01:30:00', '06:30:00']	5	20.8%
XED01-6	['01:30:00', '07:30:00']	6	25.0%



3.2 最佳实践 2：中国通用技术（集团）办公园区网络节能

3.2.1 场景概述

中国通用技术集团是中央直接管理的国有重要骨干企业，聚焦先进制造与技术服务、医药医疗健康、贸易与工程服务三大主业。拥有 25 家境内二级经营机构和 70 家境外机构，拥有沈机股份、环球医疗、中国医药、中纺标 4 家上市公司。

从国家政策和规划层面，“十四五”规划纲要提出要全面推进“十四五”时期生产生活方式绿色转型：健全绿色低碳循环发展的生产体系，加快基础设施绿色升级。2024 年 2 月份工业和信息化部、国资委等七部门发布《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》要求加快传统产业绿色低碳技术改造。定期更新发布制造业绿色低碳技术导向目录，遴选推广成熟度高、经济性好、绿色成效显著的关键共性技术，推动企业、园区、重点行业全面实施新一轮绿色低碳技术改造升级。2024 年 7 月底中共中央、国务院联合发文《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》推动经济社会发展绿色化、低碳化，是新时代党治国理政新理念新实践的重要标志，是实现高质量发展的关键环节。

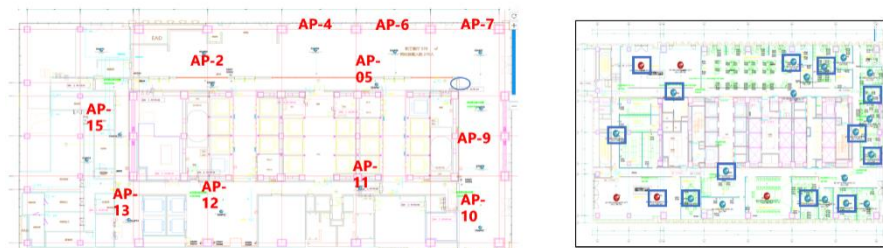
从集团层面，中国通用技术集团始终秉承创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，以建设“绿色通用”为战略目标。通用技术集团近年来不断加大绿色科技投入，获得绿色低碳相关技术的专利数量共 245 项；以 2022 年为例，节能环保投入 2 亿元，2 家工厂荣获“国家级绿色工厂”称号，获评首届中国工业碳达峰“领跑者”企业。同时，通用技术集团也在寻求园区办公场景的绿色节能技术突破。

3.2.2 场景分析

据业界 2024 年统计报告显示，大型办公类建筑，暖通空调系统能耗占比最高，占总电耗的 41%；其次是照明电耗，占总电耗 26.4%，然后是动力系统能耗，占总电耗的 18.3%，特殊电耗（网络设备类）占比 13.4%。办公场景节能技术方向，可以分为网络设备节能和环境节能两大场景。受限于时间进度，中国通用技术目前重点投入前者方向。

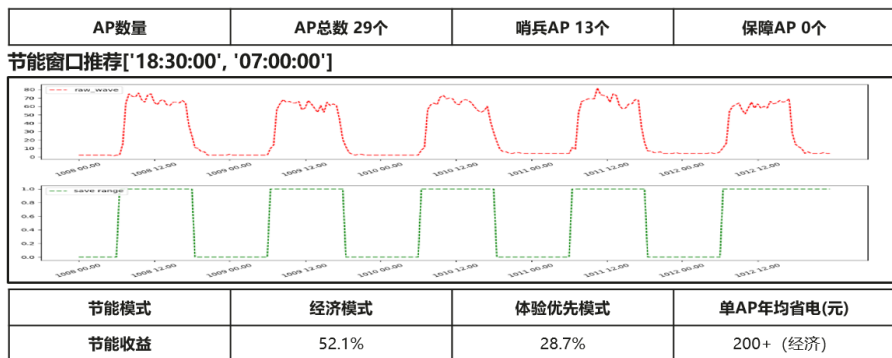
中国通用技术集团总部大楼，主要包括办公（如办公工位、会议室）、其它公共配套区域如食堂、停车场等设施。以总部 8 号办公楼为例，共有 40 个楼层，772 个 AP，该楼 WLAN 年电费为 30 万元，整个总部大楼网络设备总电费为数百万元。即大型办公建筑网络设备节能也可以为集团节省运营费用。

图3-4 WLAN 设备部署点位图



3.2.3 节能方案及效果

图3-5 流量潮汐及单 AP 节能收益



企业办公园区，流量特征有非常明确的潮汐现象。通过数据分析，建议节能窗口为 ['18:30:00', '07:00:00']; 以某一层办公区域为例，在波谷期间，推荐选择其中 13 个 AP 作为哨兵 AP 工作，其它 AP 执行 PoE 下电。按照经济模式，总体节约 52.1%，每个 AP 年节省电费 200 多元人民币。

以一栋办公楼 772 个 AP 来估算，年节省电费在 7.8 万到 13.8 万元人民币。

表3-2 不同节能方案下的节能收益

节能试点	场景	AP 数量	经济模式增益	体验优先模式增益	年省电估计
总部 8 号楼	办公	40 个楼层 772 个 AP	45.2%	25.7%	7.8w~13.8w
总部 9 号楼	办公	40 个楼层 601 个 AP	53.8%	29.1%	6.9w~12.7w

3.3 最佳实践 3：华为技术有限公司办公园区环境节能

3.3.1 场景概述

华为创立于 1987 年，是全球领先的 ICT（信息与通信）基础设施和智能终端提供商。其 20.7 万员工遍及 170 多个国家和地区，为全球 30 多亿人口提供服务。共包括 14 个研究所，16 个平台研究所，47 个城市研究所；全球 113 个代表处，1100 多个办公室，是一个典型的大型办公企业园区场景，其大量园区的运营费用非常巨大。

3.3.2 场景分析

基于前文分析可以看到，办公园区能耗主体为空调和照明，其总能耗占比 67%，是能耗的绝对主体。目前办公楼宇环境节能，一般是基于统一的时间规则开启和关闭，管理粗放，难以精细化分析、管控；如果要进行精细化管理，就需要通过人工巡检来关闭空调、照明，难以做到实时如在巡检后的办公人员离场。同时，如果通过增加传感器的方式来实时控制，这种方案又会带来传感器的投资成本和维护问题。

即上述方案都存在着人员投入、传感器采购等额外的费用支出，且带来管理成本和维护成本等问题；华为办公园区采用了其自研的交换机和 AP 等网络设备，可以基于自研设备联合流程 IT 团队进行联合创新的天然优势，通过 WLAN 设备的空间感知能力，与环境节能联动就成为更优的技术方向。技术方向目标是管好空调管好灯。

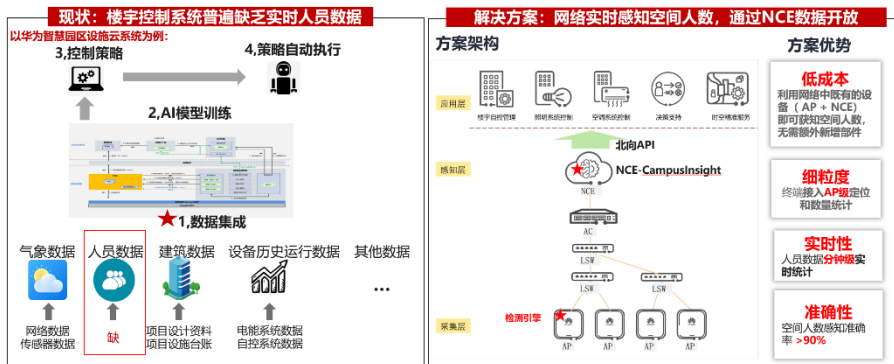
3.3.3 节能方案及效果

方案核心包括两部分：1. 空间感知能力：基于 WLAN 设备感知其覆盖区域是否仍有办公人员，特别是没有使用 WLAN 接入时的办公人员存在情况；2. 网络设备联动楼宇自动化：根据 WLAN 设备感知区域和空间感知结果反馈，决策出合适的分区的节能控制。

空间感知：通过 WLAN 连接用户数，以及子载波的空间感知能力来识别用户。并在此基础上，通过 AI 技术手段来进行趋势预测。

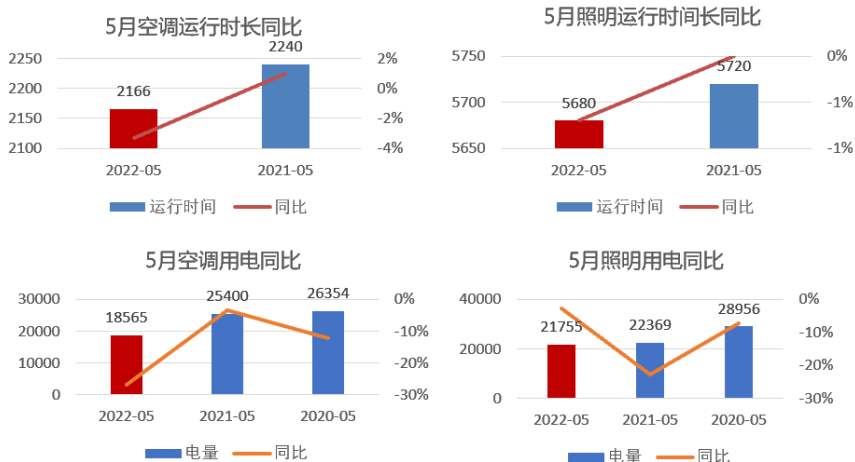
- **人数趋势预估：**趋势变化与员工上下班、用餐和加班时间趋势变化完全一致，可有效评估人员数量变化趋势
- **人数实时预估：**09 月 28 号至 09 月 30 号，H1 楼，白天人工清点，系统合计统计人数的平均准确率约 **94.42%**；11 月 25 号至 11 月 28 号，12 月 06 号至 12 月 08 号，H1 楼，夜间业务决策核心时间段系统合计统计人数的平均准确率约 **94.12%**

图3-6 环境节能现状&改进点分析



节能效果：L6 栋空调运行时间从 2240 小时/月，减少至 2166 小时/月，减少 74 小时/月（约 1480KWH/月）；照明运行时间从 5720 小时/月（按办公区累计），减少至 5680 小时/月，减少 40 小时/月（约 614KWH/月）。预估收益全年电能节约 144 万 KWH 电能，电费收益约 100 多万元。投诉、不满意工单为 0。

图3-7 节能效果同比分析



3.4 最佳实践 4：北京师范大学 WLAN 绿色节能部署

3.4.1 场景概况

北京师范大学是教育部直属重点大学、双一流高校，以教师教育、教育科学和文理基础学科为主要特色。由北京校区、珠海校区两个校区五个校园组成。在校规模近 4 万，其中北京校区 2.7 万人，高峰期并发在线终端规模 5 万+。教室数量近 300 间，办公室 2500 间。校园网有 1.7 万多颗无线网 AP 在线，交换机 3000 多台。我们选择典型某教学楼来介绍 WLAN 网络节能方案的部署情况。

3.4.2 场景分析

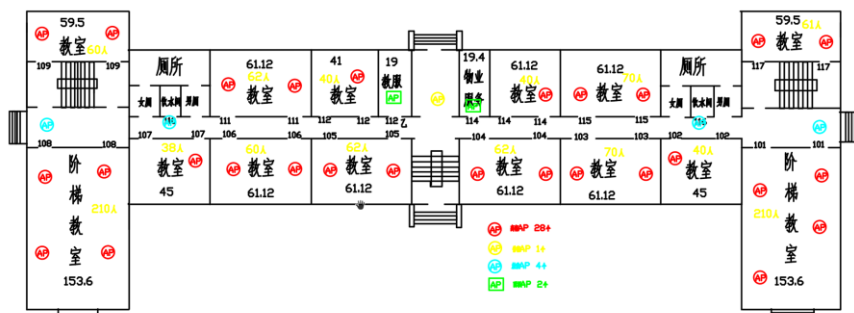


图 3-8 教学楼层典型布局

该教学楼为 80 年代建筑，高 4 层，走廊在中间，两边是教室，每楼层典型布局如图 3-8 所示。共有 5 台 POE 交换机，61 颗 AP，大多数为高密 AP。教室以 60 人间为主，

面积在 60 平米左右，每间教室部署 2 颗高密 AP；教室面积小于 45 平米，部署 1 颗高密 AP；阶梯教室面积 120~180 平米，部署 4 颗高密 AP；AP 以两侧挂墙部署为主。



图 3-9 教学楼潮汐规律

图 3-9 是该教学楼用户终端在线趋势，分析特征如下：

1. 教室开放时间 6:30 至 23:00，整体呈现用户量相似波动周期。
2. 不同的教室用网差异较大，上下课时间潮汐现象明显。
3. 寒假期间学生较少，会关闭部分教学楼，用户和流量降为零。

3.4.3 节能方案及效果

选择在寒假期间开展 WLAN 绿色节能方案的试运行。通过大数据智能潮汐算法，AI 自动推荐节能策略，推荐 23:00~06:00 开启节能。该楼三层 AP 分布点位图，在该层选择了 3 个值班 AP 均匀分布正常工作，其余 AP 采用节能模式，如图 3-10 所示。

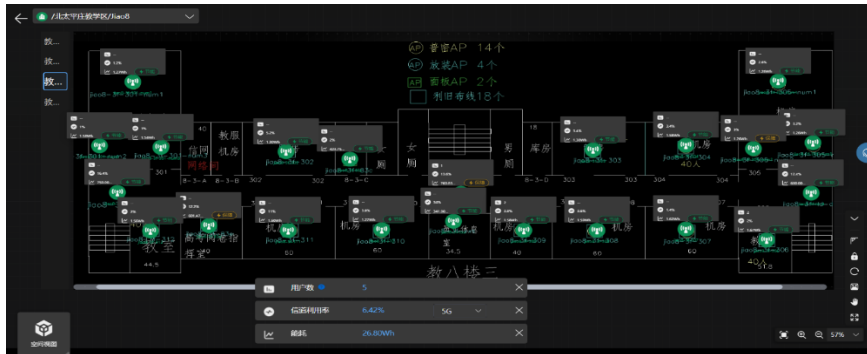


图 3-10 该教学楼 3 层 AP 分布点位图

节能效果：节能策略在该楼层下发后，每晚省电约 2.19KWh，节能 AP 数/总 AP 数=19/22，整层能耗节省约 25%。

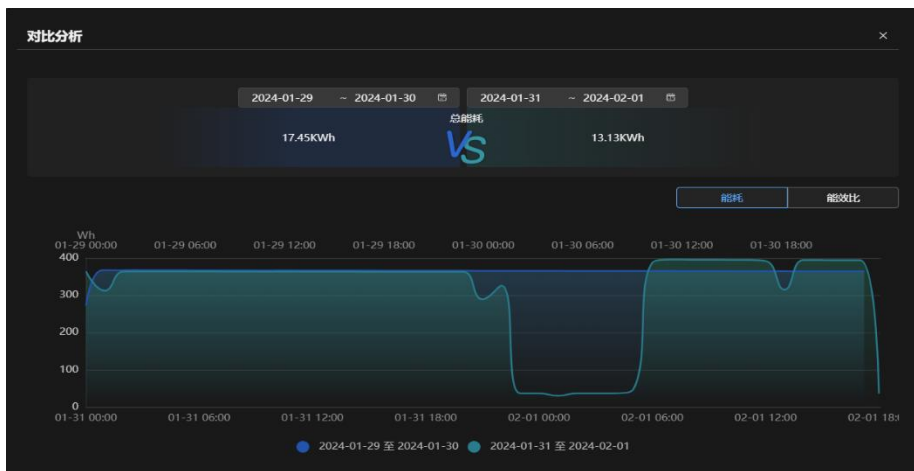


图 3-11 该教学楼 3 层能耗对比图

在该楼二层和四层也下发了同样的节能策略，具体节能情况如下表，节能收益效果明显，AP 耗电整体节电 20%左右。

节能区域	节能 AP 数	总 AP 数	每晚节电	能耗降低
二层	21	26	2.36KWh	19%
三层	19	22	2.19KWh	25%
四层	11	13	1.54KWh	25%

表 3-3 该教学楼能耗统计表

第4章

结论

气候变暖已成为全球面临的最严峻挑战之一，无论从社会责任还是节能收益，园区网络都需要提供绿色节能决方案。当前，园区网络管理者缺乏 WLAN 绿色节能方案的部署指导书，无法开展 WLAN 绿色节能方案的试点和规模部署。本白皮书描述了多个 WLAN 绿色节能方案，对比分析了多个方案的节能收益和适用场景，推荐 WLAN 网络管理员针对自身园区不同区域的业务特点，部署**分区定时关断**（节约 29%~45%的 AP



能耗，但节能时间段无法提供网络服务）和**分区按角色关断**（节约 24%~37%的 AP 能耗，节能时间段提供基本的网络服务）两种方案，获得节能收益也兑现社会承诺。

除了 WLAN 网络本身的节能，WLAN 网络支持网络感知能力。通过 WLAN 感知能力与智能楼宇能耗系统的协同，能够大幅降低楼宇的能耗，可望实现楼宇 10%的综合节能效益。针对明确隔断的区域，WLAN 感知已经可以作为 95%的准确率，支持实际部署。**结合楼宇业务自身的特点和网络感知能力是未来重要的创新方向。**

A 术语

表A-1 术语表

英文缩写	英文全称	中文全称
AC	Access Controller	无线接入控制器
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AP	Access Point	无线接入点
AI/ML	Artificial Intelligence/Machine Learning	人工智能
CSI	Channel State Information	信道状态信息
IoT	Internet of Things	物联网
MAC	Media Access Control	以太网中的物理地址
PoE	Power over Ethernet	以太网供电
SDN	Software Define Network	软件定义网络
STA	Station	终端
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网