

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XXXX—XXXX

无线网设备在网运行能耗测量标准

Methods for Detecting Power Consumption of Wireless Network Devices during
Operation in the Network

(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。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 能耗 Energy Consumption	1
3.2 机房 Network Equipment Room	1
3.3 直流共地系统	1
3.4 缩略语	1
4 测试条件	1
4.1 环境条件	1
4.2 机房条件	1
4.3 网络配置条件	2
5 仪表要求	2
6 测量项目和测量方法	3
6.1 测量项目	3
6.2 测试接线示意图	3
6.3 测量准备工作	4
6.4 测量步骤	4
6.5 测量数据修正	4
6.6 测试数据记录	5
附录 A 测试网络基本配置	8
附录 B 网络 KPI 指标	9
附录 C 直流供电网络设备测量注意事项说明	11
附录 D 测量用途案例	13
参 考 文 献	18
索 引	19

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到……[条]……与……[内容] ……相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：……

地址：……

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

无线网设备在网运行能耗测量标准

1 范围

本标准适用于无线基站设备（BBU、AAU、RRU 等无线网络设备）在网运行且不允许中断网络传输的场景下，对其电压、电流及能耗进行连续测量。测量结果可用于网络设备标称能耗比对、能耗影响因素分析等方面。

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 26262-2010 用能产品能效测试方法通则

GB/T 28519 通信产品能耗测试方法通则

GB/T 29239 移动通信设备节能参数和测试方法基站

YD/T 3929 5G 数字蜂窝移动通信网 6 GHz 以下频段基站设备技术要求（第一阶段）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 能耗 Energy Consumption

设备在单位时间内消耗的能量。本标准中，能耗指用单位时间内消耗的电能，即设备功率。

3.2 机房 Network Equipment Room

机房是指集中存放、管理和运行网络设备的物理空间。

3.3 直流共地系统

指直流回流导体与地线直接连接，形成非平衡系统。

3.4 缩略语

AAU：有源天线单元（Active Antenna Unit）

BBU：基带单元（Base band Unit）

RRU：无线远端单元（Radio Remote Unit）

4 测试条件

4.1 环境条件

1) 机房温度：(23±5) °C；

2) 相对湿度：30 %~75 %；

3) 大气压：86 kPa~106 kPa。

4.2 机房条件

- 1) 机房内供配电系统运行稳定，通风散热良好，满足网络设备的连续运行要求；
- 2) 机房内无漏水现象；
- 3) 无人值守的机房应具备防止入侵措施。
- 4) 机房内 BBU/AAU (RRU) 电源线的标签标识应清晰，路由关系明确。

4.3 网络配置条件

在不影响无线基站正常运行的前提下，可按照测量用途进行配置。配置参数可参考附录 A。

5 仪表要求

1) 电气参数测试仪表应具备连续记录 24h 以上数据功能，采样周期不大于 10s，且能在不中断电源供应的情况下测量电压、电流、功率、频率等参数，可采用钳形电流探头、开口式柔性电流探头等方式测量，并应达到以下精度要求：

- a) 真有效值交流电压测量精度不大于 1%，直流电压测量精度不大于 0.5%；
- b) 真有效值交流电流测量精度不大于 1%，直流电流测量精度不大于 1%；
- c) 频率测量精度不大于 $\pm 0.01\text{Hz}$ ；

2) 当需要分析温度-能耗特性时，宜采样温湿度测量仪表测量，应具备连续记录 24 小时以上数据功能，采样周期不大于 10s，且具备抗风、防雨功能，精度等级不低于 2 级；

- 3) 当需要分析气压-能耗特性时，宜采样大气压测量仪表测量，精度等级不低于 1.0 级。

6 测量项目和测量方法

6.1 测量项目

表 1 测量项目表

序号	测量项目
1	电压
2	电流
3	功率

6.2 测试接线示意图

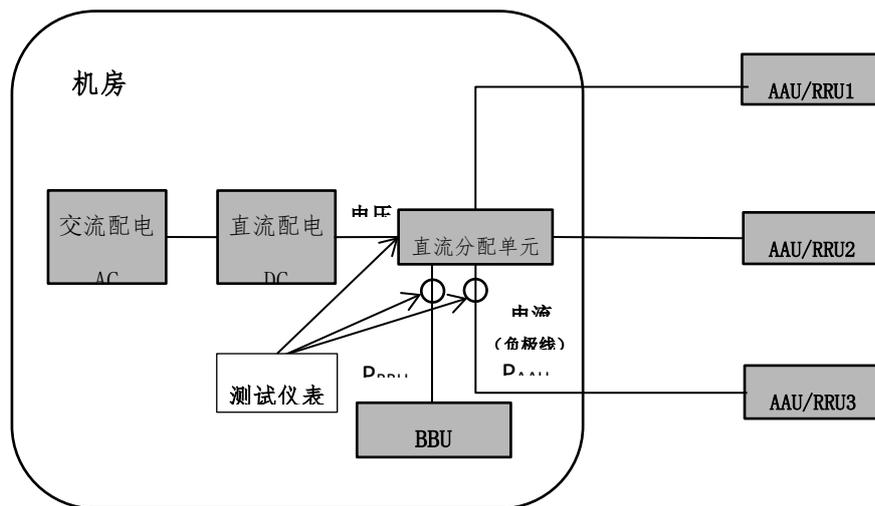


图 1 直流系统接线示意图

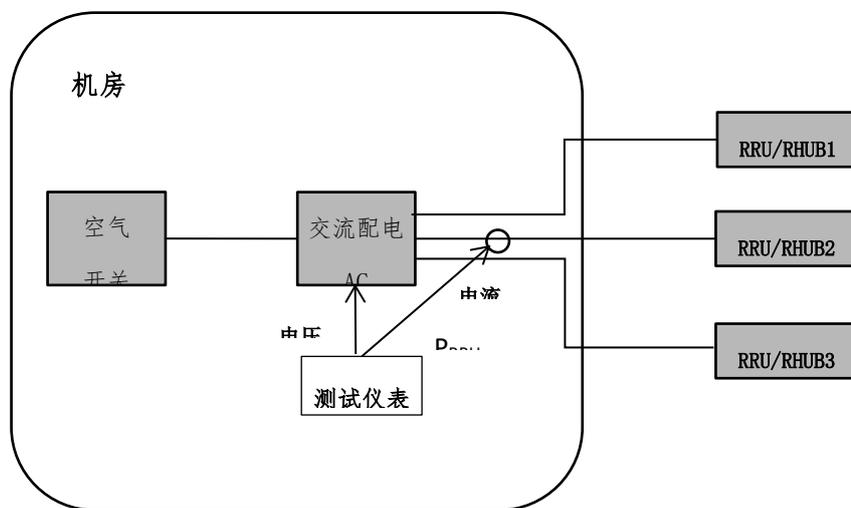


图 2 交流系统接线示意图

6.3 测量准备工作

- 1) 准备测试所需工具及本站详细设计图纸，确保测试仪表能够正常开机运行。
- 2) 应配置外部供电电源为测试仪表供电，保障后续测量不间断进行。
- 3) 检查并同步测量仪表的时间日期，便于测试完成后进行数据分析。

6.4 测量步骤

1) 测量由直流供配电系统供电的网络设备，按照图 1 所示进行接线，测量由交流供配电系统供电的网络设备，按照图 2 所示进行接线。仪表接线时，需要持电工操作证的人员进行规范操作。电压测量点应尽量选择靠近被测网络设备侧的位置。安装电流探头时，应辨别并记录电源线的小区标签和线缆规格，夹取电源线时避免暴力操作。测量直流供电的网络设备时，应将电流探头置于负极线路上，将负极电流作为测量结果。

2) 按照电参数仪表使用说明书对被测网络设备的电压、电流、功进行 24 小时连续测量，采样周期不大于 10 秒。

3) 同步使用温湿度测量仪测量机房内外温湿度，测量点应靠近被测网络设备进风区域。

4) 根据测量目的及测量数据用途，记录基站设备配置参数，以及网络 KPI 指标，采样周期正常为 15 分钟。

6.5 测量数据修正

对于电压测量点无法布置在被测网络设备侧，例如 AAU/RRU 安装在塔上，难以直接测量设备电压等情况，需扣除测量点到设备之间的供电线路损耗，以获得网络设备实际能耗。修正步骤如下：

1) 根据导线线缆外皮标注信息, 获取导线横截面积 S (单位: mm^2)。如无法获取标注信息, 可根据式 (1) 计算导线横截面积 S :

$$S = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

—— d 为导体外径 (单位: mm)。

2) 根据式 (2) 计算导线电阻 R_L :

$$R_L = \rho \times \frac{2L}{S \times 10^{-6}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

—— ρ 为无线设备供电线路电阻率 (单位: $\Omega \cdot \text{m}$, 一般已 20°C 铜的电阻率 $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 代入计算);

—— L 为线路单程长度 (单位: m)。

3) 根据式 (3) 计算线路损耗 P_L

$$P_L = k_f I^2 R_L \quad \dots\dots\dots (3)$$

—— I 为网络设备供电线路电流 (单位: A);

—— k_f 为集肤效应系数 (无量次, 直流供电时取 1, 交流供电时按照表 2)。

表 2 集肤效应系数取值

线径 d (mm)	横截面积 S (mm^2)	集肤效应系数 k_f (50Hz)
≤ 2.5	≤ 4	1.02
2.5~6	4~10	1.05
6~10	10~70	1.10
10~16	70~120	1.15
≥ 16	≥ 150	1.20

4) 根据式 (4) 计算网络设备实际能耗测算修正能耗 $P_{\text{修正}}$:

$$P_{\text{修正}} = P_{\text{实测}} - P_L \quad \dots\dots\dots (4)$$

6.6 测试数据记录

环境条件	
环境参数	测量值

机房温度 (°C)			
机房相对湿度 (%)			
室外温度 (°C)			
室外相对湿度 (%)			
供电方式			
供电参数		参数值	
电压 (V)			
频率 (Hz)			
线径 (mm ²)			
供电线路长度 (m)			
网络设备配置			
厂家		地市	
基站名称		网络制式	
基站类型		网络设备型号/版本	
主控板型号		基带板型号	
基带板数量		额定功率	
能耗测量数据			
时刻	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)
0: 0: 10			
0: 0: 20			
.....			
23: 59: 50			
24: 0: 0			
24h 能耗数据曲线			
24h 电压数据曲线			

24h 电流数据曲线
24h 室内外温湿度数据曲线（如有需求）
注：根据不同用途可同步采集网络 KPI 指标参数加以分析，参数类型可参考附录 B。

附录 A 测试网络基本配置

在测量期间，除特殊要求的测试项外，网络典型配置见表 A（根据具体配置可调）：

表 A-1 测试网络基本配置表（5G）

项目	取值	备注
NR频率	2.6GHz或4.9GHz或700MHz	
NR带宽	2.6GHz或4.9GHz: 100M 700MHz: 30M	
NR帧结构	2.6GHz 5ms单周期（7D:2U:1S） 4.9GHz 2.5ms双周期（5D:3U:2S）	
特殊时隙配比	6:4:4	
PRACH格式	Format 0/B4/C2中任选一种	
PRACH周期	10ms	
PUCCH格式	Format 0/1选一种，Format2/3选一种	
SSB Power Boosting	关闭	0dB
SSB 波束数量	8（5ms单周期）	固定位置，水平方向
PBCH周期	20ms	
PDCCH波束数量	同SSB	
天线通道数	64/32/8/4/其他	
上行功率控制	启用	PUCCH, PUSCH, Sounding
AMC	启用	

表 A-2 测试网络基本配置表 (4G)

项目	取值	备注
LTE频率	900M 1800M F A D E	
LTE带宽	5M 10M 15M 20M	
LTE帧结构	SA2 (1:3) DSUDD	
特殊时隙配比	SSP6 (9:3:2) \SSP7 (10:2:2)	
PRACH格式	Format 0/1/2/3中任选一种	
PRACH周期	10ms	
PUCCH格式	Format 0/1选一种, Format2/3选一种	
PA, PB	-3,1 (宏站); 0,0(室分)	
PBCH周期	20ms	
天线通道数	64/32/8/4/2/1	
上行功率控制	启用	PUCCH、PUSCH、SRS
AMC	启用	

附录 B 网络 KPI 指标

在测量期间可同步采集网络 KPI 指标, 参考表 B 并根据实际需求调整:

表 B 网络 KPI 指标表

数据指标名称	数据定义
RRC 连接平均用户数	取 15 分钟粒度 RRC 连接平均用户数的均值
RRC 连接最大用户数	取 15 分钟粒度 RRC 连接最大用户数的最大值
单 Flow 流量	单位 MB (上行流量 GB+下行流量 GB) *1024/(Flow 建立成功数+Flow 切入成功数)
小区分类	大包/中包/小包 (单 Flow 流量<1.5MB 为小包, ≥3MB 为大包, 其他为中包)
PUSCH 信道平均干扰	单位 dbm
下行业务信道流量	单位 GB, 下行业务信道流量的累计值
上行业务信道流量	单位 GB, 上行业务信道流量的累计值
下行 PRB 平均利用率	PDSCH 使用 PRB 数/PDSCH 可用 PRB 数 (平均值)

上行 PRB 平均利用率	PUSCH 使用 PRB 数/PUSCH 可用 PRB 数（平均值）
CCE 利用率	CCE 利用率（全天平均值）
话务量	单位 erl（累计值）
上行用户平均速率	单位 Mbps，小区上 UE Throughput 数据量(Mbit)*100000/小区上行 UE Throughput 数据传输时间(ms)
下行用户平均速率 (Mbps)	单位 Mbps，小区下 UE Throughput 数据量(Mbit)*100000/小区下行 UE Throughput 数据传输时间(ms)
RRU/AAU 数量	该小区下挂 RRU/AAU 数量
RRU/AAU 平均发射功率	单位 W，RRU/AAU 设备射频单元的平均发射功率

附录 C 直流供电网络设备测量注意事项说明

在测量直流供电网络设备时，因为此类设备广泛采用了直流共地系统，供电正极线在设备内部直接和设备壳体连接并接地，将产生分流。若在正极线路处测量，会导致电流测量偏差，因此电流测量点位应选取在负极供电线路上。

以 RRU 为例，正极线路径相互连通，各自等效阻抗值的差异会导致电流出现分流，每个 RRU 的正极电流与实际流经 RRU 的电流(负极电流)间可能存在偏差。如图 C-1 所示，实际电流关系为 $A1=B1+B1'$ ， $A2=B2+B2'$ ， $B1'+B2'=B3$ ， $A1+A2=B1+B2+B3$ 。

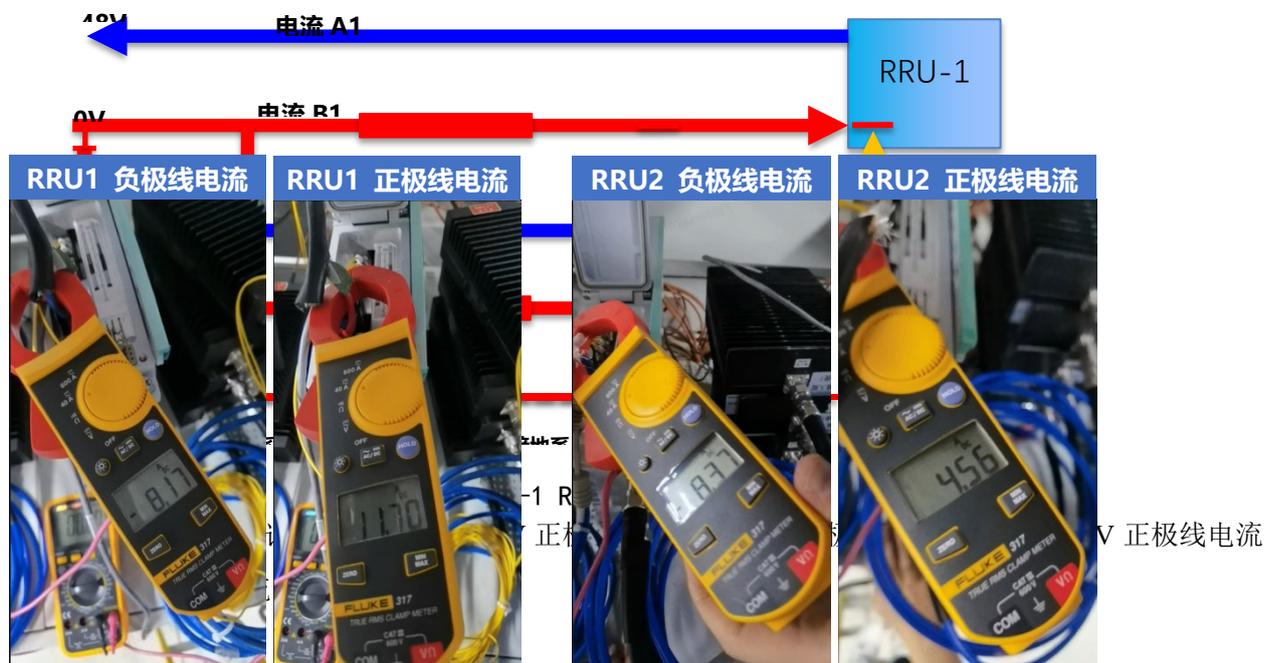


图 C-2 RRU 电流测试实例

因此现场进行电流测量时，需按图 C-3 示意，将电流探头安装于无线设备负极电源线（蓝色）。



图 C-3 现场测量接线示意图

附录 D 测量用途案例

1) 设备能耗与企标标称能耗比对

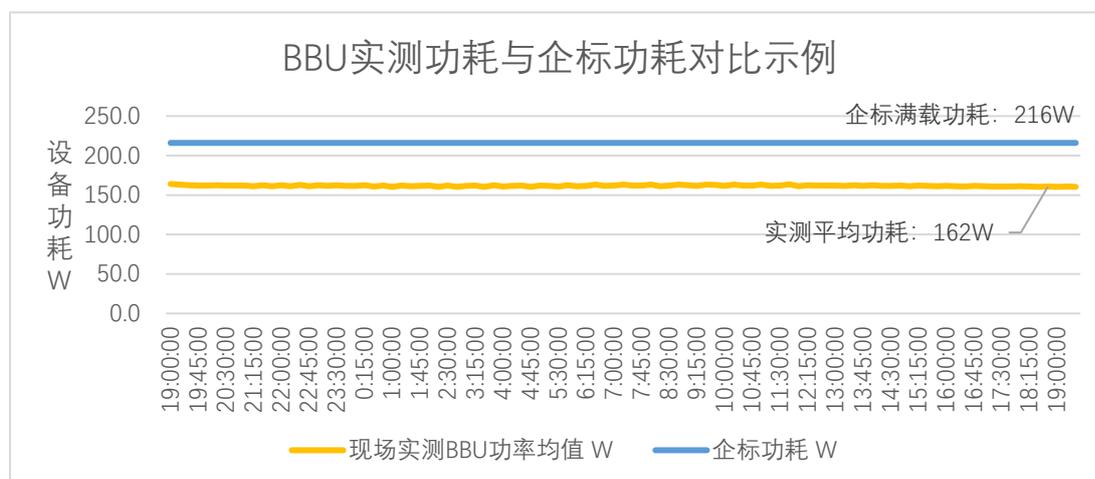
无线网设备在网运行能耗可用于和企标进行对比，可用于评估无线网设备是否满足企标要求。

测试数据记录

环境条件			
环境参数	测量值		
机房温度 (°C)	23		
机房相对湿度 (%)	40		
室外温度 (°C)	-		
室外相对湿度 (%)	-		
供电方式			
供电参数	参数值		
电压 (V)	-48		
频率 (Hz)	0		
线径 (mm ²)	10		
供电线路长度 (m)	2		
网络设备配置			
厂家	ZX	地市	云南曲靖
基站名称	沾益县轩家-5ZHN	网络制式	TDD
基站类型	2.6GHz 8TR	网络设备型号/版本	BBU V9200
主控板型号	VSWd1	基带板型号	VBPd4
基带板数量	1	额定发射功率	-
能耗测量数据			
时刻	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)
18:56:15	53.78	3.038	164
18:56:25	53.78	3.038	164
.....			
19:40:55	53.76	2.995	161
19:41:05	53.77	2.993	161
24h 能耗数据曲线			



本次测试中的，5G 基站 BBU 设备的企标满载功耗为 $72\text{W} \times 3$ (小区) = 216W ，实测功耗运行平稳，24 小时平均功耗 162W ，未超过企标满载功耗，满足企标要求。



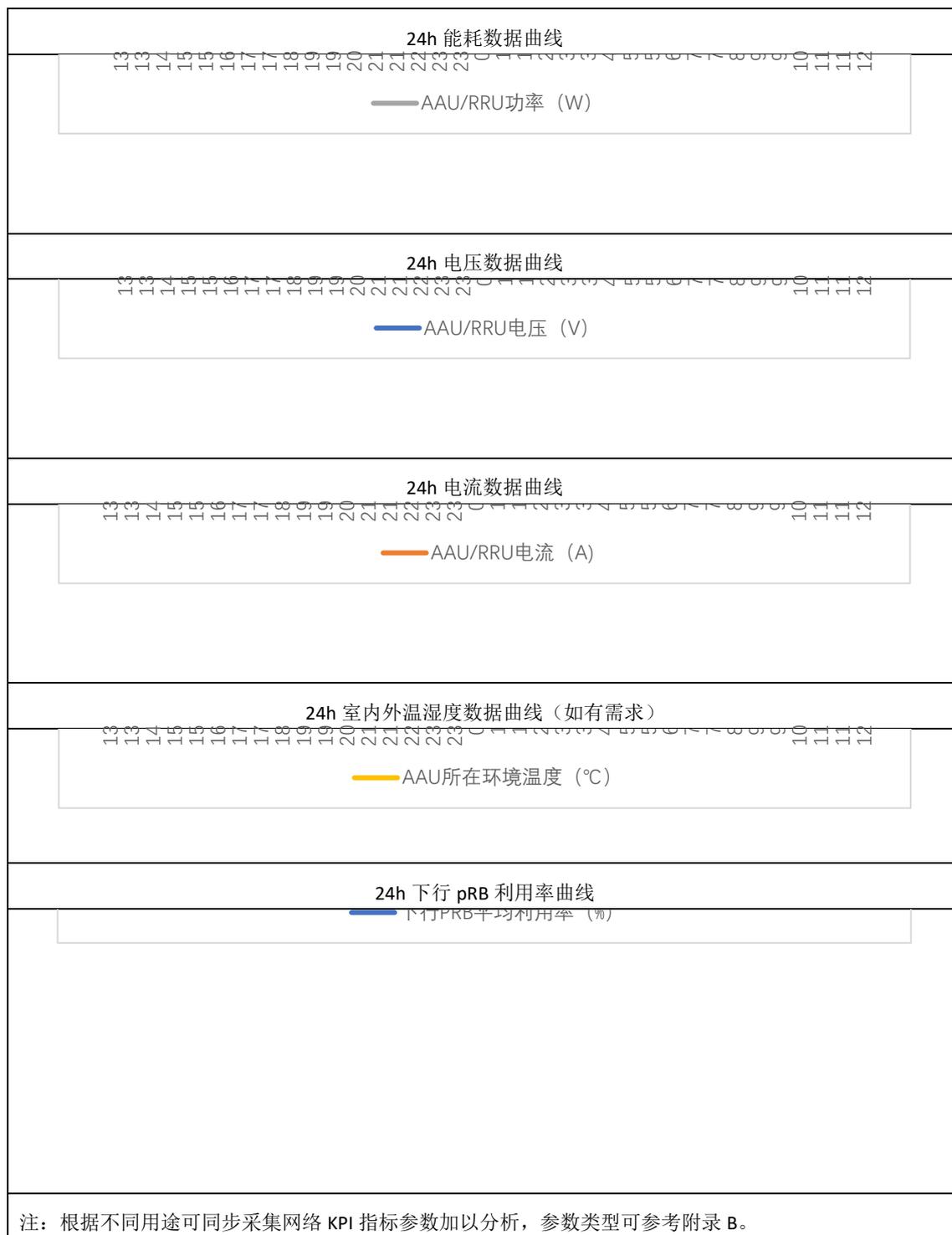
2) 无线网设备能耗影响因素分析

a) 功耗与 PRB 利用率的关系

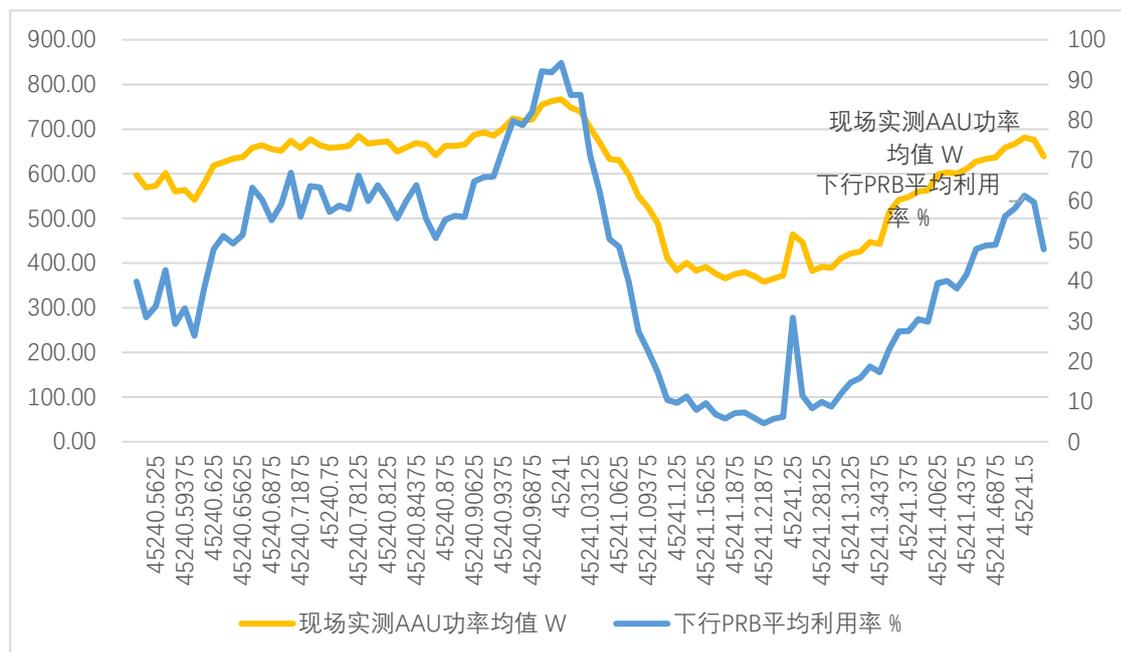
测试发现 5G AAU/RRU 功耗与利用率存在较高程度的正相关性，可以根据功耗随利用率上升趋势判断设备节能效果。

测试数据记录表

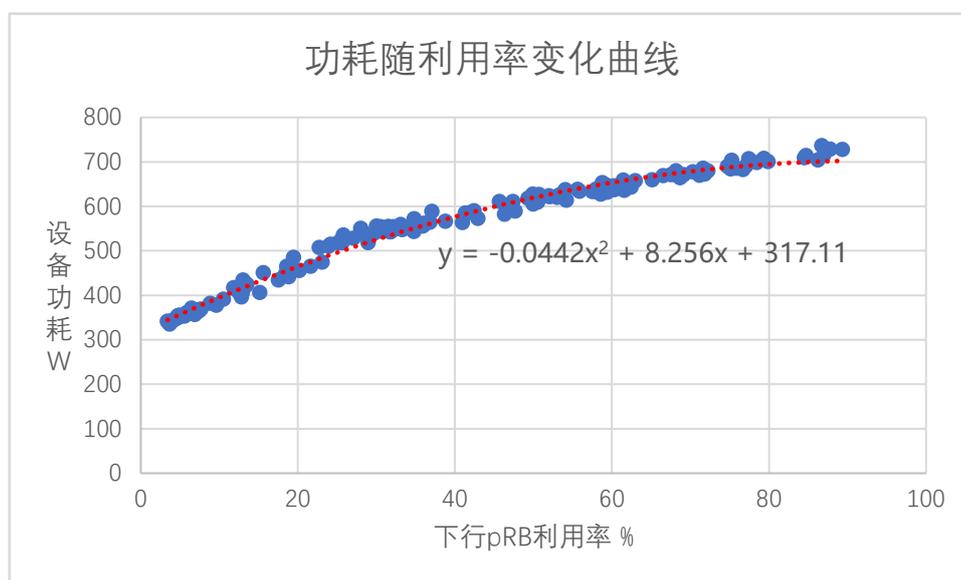
环境条件			
环境参数		测量值	
机房温度 (°C)		-	
机房相对湿度 (%)		-	
室外温度 (°C)		12.8	
室外相对湿度 (%)		22	
供电方式			
供电参数		参数值	
电压 (V)		-48	
频率 (Hz)		0	
线径 (mm ²)		10	
供电线路长度 (m)		35	
网络设备配置			
厂家	HW	地市	浙江杭州
基站名称	萧山旅游学院 CRAN	网络制式	TDD
基站类型	2.6GHz 64TR	网络设备型号/版本	BBU V9200
主控板型号	UMPTe3	基带板型号	UBBPg6b、UBBPg6d、 UBBPg2d
基带板数量	3	额定发射功率	320W
能耗测量数据			
时刻	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)
13:00:45	54.81	14.433	751.4
13:00:55	54.79	14.299	743.9
.....			
13:00:25	54.83	12.78	667.9
13:00:35	54.84	12.236	640.6



本次测试中的，在其他影响因素基本稳定的情况下，AAU/RRU 设备功耗与下行 PRB 利用率变化趋势相同



网络负荷较低时，功耗随利用率上升较快，网络负荷较高时，功耗随利用率上升趋近平缓，直至达到功耗上限



以本次测试中的2.6G 64通道AAU为例，AAU功耗上升趋势拟合曲线公式为 $y = -0.0442x^2 + 8.256x + 317.11$ 。根据公式可知，该款AAU的空载功耗约为317W，功耗在下行利用率达到90%时到达最高功耗700W

参 考 文 献

- [1] 通信行业绿色低碳标准体系建设指南.工业和信息化部. [R]. 2023
- [2] 通信基站节能诊断服务指南.工业和信息化部. [R]. 2024

索 引