

团 体 标 准

T/DZJN XX—202X

算力中心电能利用效率评价技术规范

Technical specification for power utilization efficiency evaluation of computing power center

草案版次选择

(本草案完成时间: 2025.)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 评价原则、方法和依据	3
4.1 评价原则	3
4.2 评价方法	3
4.3 评价依据	3
5 基本要求	3
6 评价标准	4
6.1 核心指标	4
6.2 辅助指标	5
附录 A (资料性) PUE 测量与数据采集建议	7
附录 B (资料性) 算力性能测试参考方法	9
附录 C (资料性) 技术评价模板	12

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。

本文件由中国节能技术协会科技创新与安全工作委员提出。

本文件由中国节能技术协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

算力中心电能利用效率评价技术规范

1 范围

本文件规定了算力中心电能利用效率的评价体系，明确了评价原则、核心与辅助指标、测量计算方法及基本要求。本文件适用于通用数据中心、智能计算中心、超级计算中心等各类算力基础设施，可为算力中心在规划、设计、建设与运行等全生命周期的能效评估、节能改造及绿色等级评定等工作提供技术依据。

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 32910.1-2017 数据中心 资源利用 第1部分：术语

GB/T 32910.3-2016 数据中心 资源利用 第3部分：电能能效要求和测量方法

GB 40879-2021 数据中心能效限定值及能效等级

GB 50174-2017 数据中心设计规范

T/CCSA330-2021 互联网边缘数据中心基础设施技术要求和测试方法

T/CCSA417-2022 数据中心电能利用效率 (PUE) 设计值评估方法

3 术语和定义

GB 32910.1-2017、GB 40879-2021、GB 50174-2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

算力中心 Computing Power Center

是以风火水电等基础设施和 IT 软硬件设备为主要构成，具备计算力、运载力和存储力的设施，包括通用数据中心、智能计算中心、超算中心等。

[来源：工业和信息化部等六部门《算力基础设施高质量发展行动计划》，2023年]

3.2

算力基础设施 computing infrastructure

集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体的新型信息基础设施，具备多元泛在、智能敏捷、安全可靠、绿色低碳等特征，支撑产业转型、科技创新与社会治理。

[来源：同上]

3.3

计算力 computing power

数据中心服务器对数据进行处理并输出结果的能力，是衡量数据中心计算能力的综合指标，包括通用计算能力、智能计算能力和超级计算能力。其常用计量单位为每秒浮点运算次

数 (FLOPS) ; 1 EFLOPS = 10^{18} FLOPS。数值越大, 表示综合计算能力越强。

注: 据测算, 1 EFLOPS 的算力输出约相当于 5 台天河 2A 超级计算机、50 万颗主流服务器 CPU 或 200 万台主流笔记本电脑的计算能力之和。

计算公式为:

$$CP = CP_{\text{通用}} + CP_{\text{智能}} + CP_{\text{超级}}$$

[来源: 同上]

3.4

存储力 storage power

是数据中心在数据存储容量、性能表现、安全可靠和绿色低碳四方面的综合能力, 是衡量数据中心数据存储能力的一个综合指标, 包含存储阵列等外置存储设备和服务器内置存储设备。存储容量常用计量单位是艾字节 (EB, $1EB=2^{60}\text{bytes}$) , 性能表现常用计量单位是单位容量的每秒读写次数 (IOPS/TB, Input/Output Operations Per Second/TB) , 灾备比例是安全可靠的一个重要表现。

[来源: 同上]

3.5

运载力 network power

是算力设施数据传输能力的表现, 包含网络架构、网络带宽、传输时延、智能化管理与调度等在内的综合能力, 涉及数据中心内部和数据中心之间的网络传输, 是衡量网络传输调度能力的综合指标。

[来源: 同上]

3.6

算力调度 Computing Power scheduling

以计算、存储、网络高度协同为主, 包括算力接入、算力交易、算力调度等在内的综合能力。

3.7

数据中心 data center

由计算机场地 (机房) , 其他基础设施、信息系统软硬件、信息资源 (数据) 和人员以及相应的规章制度组成的实体。

[来源: GB/T 32910.1-2017,2.1]

3.8

电能利用效率 power usage effectiveness

计算中心特定周期内消耗电量与计算中心信息设备该周期内消耗电量的比值。

$$PUE = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{IT}}}$$

注: 特定周期一般指连续的 12 个自然月

3.9

设计 PUE design values for PUE

计算中心在信息设备设计运行负载下, 计算中心全年总耗电量与信息设备耗电量的比值。

3.10

运行 PUE operation values for PUE

计算中心在信息设备实际运行负载下, 计算中心全年总耗电量与信息设备耗电量的比值。

4 评价原则、方法和依据

4.1 评价原则

- a) **科学性**: 评价指标和方法应基于能源计量和信息技术原理, 数据真实、可测量、可验证。
- b) **客观性**: 评价过程应独立、公正, 避免主观判断, 依据统一标准进行量化分析。
- c) **可比性**: 评价体系应适用于不同类型、规模和用途的算力中心, 确保横向与纵向比较的有效性。
- d) **导向性**: 评价结果应能引导算力中心优化能效管理, 推动节能技术应用和绿色升级。
- e) **动态性**: 评价体系应适应技术发展, 定期更新, 反映算力中心能效演进趋势。
- f) **公平性**: 评价体系应考虑算力中心所在地的气候条件、地理环境、建设规模、业务类型等客观差异, 避免“一刀切”的评价方式, 确保评价结果的公平合理。

4.2 评价方法

- a) **实测法**: 通过安装符合精度要求的电能计量装置 (如智能电表), 对算力中心的总输入电能和 IT 设备用电进行连续监测与数据采集。
- b) **周期统计法**: 以年度或季度为周期, 统计总耗电量与 IT 设备耗电量, 计算能效指标。
- c) **分项计量法**: 对空调、供电系统、照明等辅助系统进行分项能耗监测, 分析非 IT 能耗构成。
- d) **对标分析法**: 将算力中心的能效指标与国家/行业基准值、先进值进行对比, 评估其能效水平。
- e) **第三方评估**: 鼓励由具备资质的第三方机构开展独立能效审计与评价, 确保结果公信力。

4.3 评价依据

1) 国家标准:

GB/T 32910.3-2016 《数据中心 资源利用 第3部分: 电能能效要求和测量方法》

GB 40879-2021 《数据中心能效限定值及能效等级》

2) 行业规范:

工业和信息化部、国家发展改革委等发布的绿色数据中心建设指南、能效提升行动计划等政策文件。

相关行业协会发布的能效测量与评价技术导则。

5 基本要求

1) 计量设备要求:

所有电能计量装置应符合国家计量法规, 精度等级不低于 1.0 级。关键环节 (总输入、IT

设备、制冷、供电系统) 应实现分项计量。

2) 数据采集与管理:

建立能耗监测系统 (如 EMS) , 实现能耗数据的自动采集、存储与分析。数据保存周期不少于 3 年, 确保可追溯性。

3) 运行时间要求:

评价周期内, 算力中心应处于正常运行状态, 非测试或调试阶段。年有效运行时间原则上不少于 300 天。

4) 环境条件:

评价应考虑气候条件对制冷能耗的影响, 建议在典型气候年或加权平均条件下进行评估。

5) 合规性要求:

算力中心应符合国家节能环保、安全生产、网络安全等相关法律法规要求。不得存在重大能源浪费或违规用能行为。

6 评价标准

算力中心电能利用效率评价采用“核心指标+辅助指标”相结合的体系, 全面反映其能效水平。

6.1 核心指标

6.1.1 电能利用效率 (PUE, Power Usage Effectiveness)

定义: 数据中心总耗电量与 IT 设备耗电量的比值。

公式:

$$PUE = \frac{E_{total}}{E_{IT}}$$

评价等级:

等级	PUE 值
卓越级	≤ 1.2
先进值	≤ 1.3
基准值	≤ 1.5
限定值	≤ 1.8 (依据 GB 40879-2021)

注 1: PUE 值越接近 1. 能效越高。

注 2: 具体的测量与数据采集方法建议参见附录 A。

6.1.2 算力能效比 (CER, Computing Efficiency Ratio) (可选)

定义: 单位 IT 设备能耗所提供的算力, 单位为 TFLOPS/W 或 AI 算力/W。

用途与应用: 用于反映 IT 设备硬件与算法的综合能效水平。作为核心评价指标的推荐性补充, 尤其适用于人工智能 (AI) 训练、高性能计算 (HPC) 等高算力密度场景。

测量要求: 进行 CER 评估时, 必须同步测量 IT 设备在典型工作负载下的实际功耗, 以

确保计算结果的准确性。

参考目标 (注: 此项目为资料性信息, 旨在提供行业参考) :

- a) AI 训练 (典型模型, 如 ResNet-50) : 先进水平 $\geq 1.5 \text{ TFLOPS/W (GPU)}$
- b) 通用计算 (典型 CPU 工作负载) : 先进水平 $\geq 80 \text{ SPECint_rate/W}$

(注: 以上数值基于当前技术发展水平, 实际值将随技术进步动态演进)

算力性能的参考测试方法参见附录 B。

6.2 辅助指标

6.2.1 环境影响类指标

该类指标衡量算力中心运营对环境的影响, 特别是资源消耗与碳排放。

- a) 可再生能源利用率 (RER, Renewable Energy Ratio)

定义: 算力中心年度使用的可再生能源电量 (如风电、光伏、水电等) 占其总用电量的比例。

目标与披露: 建议算力中心积极提升 RER, 中长期目标可参考 $\text{RER} \geq 30\%$ 。应定期监测并鼓励公开披露年度 RER 值。

- b) 水资源利用效率 (WUE, Water Usage Effectiveness)

定义: 年度总耗水量 (m^3) 与 IT 设备耗电量 (kWh) 的比值, 单位为 L/kWh 。

目标与披露: 建议采用节水型冷却技术以降低 WUE。应定期监测并鼓励公开披露年度 WUE 值。

- c) 碳排放强度 (CEI, Carbon Emission Intensity)

定义: 单位 IT 设备能耗所产生的二氧化碳当量排放量, 单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ 。计算应基于权威的电网排放因子或实际绿电消纳情况。

目标与披露: 建议算力中心核算并降低 CEI。应定期监测并鼓励公开披露年度 CEI 值。

6.2.2 运行效率

该类指标反映算力中心内部资源利用效率和基础设施运行状态。

- a) IT 设备负载率

定义: 在指定测量周期内, IT 设备群组的平均实际运行功率与其额定设计最大功率的比值, 以百分比 (%) 表示。

用途与披露: 用于评估计算资源利用效率, 低负载率可能导致整体能效下降。建议维持合理负载水平 (如长期运行在 30%-80% 区间)。应定期监测负载率变化。

- b) 制冷系统能效比 (COP, Coefficient of Performance)

定义: 制冷系统在特定工况下, 其制冷量 (kW) 与输入电功率 (kW) 的比值。

用途与披露: 衡量制冷设备本身的能源转换效率。建议对主要制冷设备 (如冷水机组、列间空调) 进行 COP 监测。可作为 PUE 偏高时的诊断依据。

c) 供电系统损耗率

定义：供电系统（包括变压器、UPS、配电线路等）在运行过程中的电能损耗占IT设备耗电量的比例，以百分比（%）表示。

用途与披露：反映供电链路的效率。建议通过采用高效UPS、优化配电设计等方式降低损耗率。可作为评估供电系统能效的专项指标。

附录A (资料性) PUE测量与数据采集建议

A.1 概述

本附录为资料性附录, 提供电能利用效率 (PUE) 测量与数据采集的技术建议, 旨在指导数据中心运营方、检测机构及相关单位科学、准确地开展 PUE 评估工作。本附录内容不构成强制性要求, 但推荐作为 PUE 测量实践的参考依据。

A.2 测量范围与边界

A.2.1 应明确界定数据中心的测量边界, 包括物理边界和电气边界。

A.2.2 总耗电量应涵盖数据中心内所有用电设备, 包括但不限于:

- a) IT 设备;
- b) 制冷系统 (空调机组、冷却塔、冷冻水泵、冷却水泵等) ;
- c) 供配电系统 (变压器、UPS 系统、配电柜、PDU 等) ;
- d) 照明系统;
- e) 监控与安防系统;
- f) 其他辅助设施。

A.2.3 IT 设备耗电量应仅包括用于数据处理、存储和传输的设备, 如服务器、存储设备、网络设备等, 不包括其供电链路中的损耗 (如 UPS、PDU 等) 。

A.3 测量点布置

A.3.1 总输入电能测量点宜设置在:

- a) 市电输入总计量表处; 或
- b) 数据中心专用变压器低压侧出线端。

A.3.2 IT 设备电能测量点宜设置在:

- a) UPS 系统输出端总配电柜进线侧; 或
- b) 列头柜 (CRAC/CRAH) 向 IT 机柜供电的输入侧;
- c) 条件允许时, 宜采用智能 PDU 对 IT 设备进行直接测量。

A.3.3 所有测量点应避免重复或遗漏计量, 确保电能数据的完整性和独立性。

A.4 测量设备要求

A.4.1 电能测量仪表应符合国家现行标准, 精度等级不低于 0.5 级。

A.4.2 仪表应具备时间同步功能, 推荐采用支持 IEEE 1588 或 NTP 协议的智能电表, 确保

各测量点时间一致性误差不超过 1 秒。

A.4.3 推荐使用具备数据自动记录、存储和远程传输功能的监测系统，采样频率不低于每 15 分钟一次。

A.4.4 测量设备应定期进行检定或校准，周期不超过 12 个月。

A.5 数据采集频率与周期

A.5.1 数据采集时间间隔不应大于 15 分钟。

A.5.2 连续有效数据采集周期应满足以下要求：

- a) 日常能效监测：不少于 7 天；
- b) 年度能效评估或第三方检测：不少于 30 天。

A.5.3 宜在不同季节、不同负载条件下进行多周期测量，以反映数据中心全年典型运行状态。

A.6 数据处理与 PUE 计算

A.6.1 PUE 计算公式如下：

$$PUE = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{IT}}}$$

式中：

E_{total} —— 测量周期内数据中心总耗电量，单位为千瓦时 (kW·h)；

E_{IT} —— 测量周期内 IT 设备总耗电量，单位为千瓦时 (kW·h)。

A.6.2 可根据采集数据计算日 PUE、月 PUE 或年 PUE。

A.6.3 建议同步记录以下辅助参数，用于能效分析：

- a) 室外温湿度；
- b) 数据中心 IT 负载率；
- c) 冷通道/热通道温度；
- d) UPS 负载率；
- e) 冷水机组运行台数及负载率。

A.7 测量注意事项

A.7.1 测量期间应避免设备大规模启停、故障维修或重大运行调整。

A.7.2 应确保测量系统稳定运行，剔除异常或无效数据。

A.7.3 所有测量过程应有详细记录，包括测量设备型号、安装位置、校准证书编号、采集时间、运行工况等，形成可追溯的技术档案。

A.7.4 对于多栋建筑或多区域数据中心，应分别测量并说明汇总方法。

附录B (资料性) 算力性能测试参考方法

B.1 概述

本附录提供数据中心 IT 设备算力性能测试的参考方法, 用于支持主标准中关于算力能效评估的相关内容。本方法适用于通用服务器、人工智能 (AI) 加速服务器、异构计算节点等设备的性能基准测试。

本附录为资料性附录, 所列方法不构成强制性要求, 仅供技术参考。

B.2 测试原则

B.2.1 应根据设备的主要用途选择代表性应用场景, 并采用行业公认的基准测试工具进行测试。

B.2.2 测试环境应保持稳定, 避免网络拥塞、资源竞争、后台任务干扰等因素影响测试结果。

B.2.3 每项测试应重复不少于 3 次, 取算术平均值作为最终结果, 并记录标准差。

B.2.4 宜同步采集 IT 设备在测试过程中的功耗数据, 用于计算能效比 (如 GFLOPS/W、IOPS/W)。

B.2.5 测试前应进行预热运行, 确保系统进入稳定工作状态。

B.3 测试方法

B.3.1 通用计算性能测试

B.3.1.1 适用于以 CPU 为核心的通用服务器, 典型场景包括 Web 服务、数据库、虚拟化等。

B.3.1.2 推荐使用以下基准测试工具:

- a) SPEC CPU 2017, 用于测量整型 (SPECint_rate) 和浮点 (SPECfp_rate) 性能;
- b) Geekbench 6, 用于快速评估单核与多核综合性能。

B.3.1.3 测试时应记录编译器版本、优化选项、运行模式等关键参数。

B.3.2 人工智能算力性能测试

B.3.2.1 适用于配备 GPU、NPU、ASIC 等加速器的 AI 服务器, 涵盖训练与推理场景。

B.3.2.2 推荐使用 MLPerf Training 或 MLPerf Inference 基准测试套件, 测试模型可包括:

- a) 图像分类: ResNet-50;
- b) 自然语言处理: BERT;
- c) 推荐系统: DLRM。

B.3.2.3 测试应明确标注以下参数:

- a) 模型类型;

- b) 批处理大小 (batch size) ;
- c) 计算精度 (如 FP32、FP16、INT8) ;
- d) 收敛阈值或目标吞吐量/延迟。

B.3.3 存储与 I/O 性能测试

B.3.3.1 适用于评估本地存储或直连存储的读写性能。

B.3.3.2 推荐使用 FIO (Flexible I/O Tester) 工具, 配置典型工作负载:

- a) 随机读写: 块大小 4KB, 队列深度 32;
- b) 顺序读写: 块大小 1MB。

B.3.3.3 输出指标包括: IOPS、吞吐量 (MB/s) 、平均延迟 (ms) 。

B.3.4 网络性能测试

B.3.4.1 适用于高带宽、低延迟网络环境下的性能评估。

B.3.4.2 推荐使用 iperf3 工具, 测试 TCP/UDP 吞吐量。

B.3.4.3 测试应在专用测试网络中进行, 避免业务流量干扰。

B.4 测试流程

B.4.1 准备阶段

- a) 确定测试目标与场景;
- b) 安装并配置基准测试工具;
- c) 记录系统软硬件配置 (操作系统、驱动、固件版本等) ;
- d) 关闭节能模式、动态频率调节等影响性能稳定的功能。

B.4.2 执行阶段

- a) 运行预热测试 (如 5 分钟满载运行) ;
- b) 正式运行基准测试, 同步采集功耗数据;
- c) 记录环境温度、CPU/GPU 利用率等辅助参数。

B.4.3 数据处理

- a) 计算性能指标平均值;
- b) 计算能效比: 性能值 / 平均功耗 (W) ;
- c) 生成测试记录, 包括配置、参数、结果与异常说明。

B.5 测试报告建议内容

- a) 建议测试报告包括以下信息:
- b) 被测设备型号与配置 (CPU、内存、加速卡、存储等) ;

- c) 操作系统及软件版本;
- d) 基准测试工具名称、版本及关键参数;
- e) 测试时间、环境条件;
- f) 性能测试结果（得分、吞吐量、延迟等）；
- g) 功耗数据（空载、负载、平均）；
- h) 能效比计算结果；
- i) 测试人员与单位。

B.6 注意事项

B.6.1 不同基准测试工具之间结果不可直接比较，应使用相同工具进行横向对比。

B.6.2 对于AI算力测试，应确保测试条件一致，避免因软件栈优化差异导致结果偏差。

B.6.3 建议定期更新测试工具版本，保持与行业主流实践同步。

附录C (资料性) 技术评价模板

算力中心电能利用效率评价报告

报告编号: _____

评价方名称 _____

算力中心地址 _____

评价机构名称 _____

评价执行日期 _____

报告签发日期 _____

C.1 核心指标评价

C.1.1 电能利用效率 (PUE)

指标	数值/等级	备注
评价周期		依据《规范》A.5.2 条
总耗电量 (E_{total})	kWh	测量周期内数据中心总输入电能
IT 设备耗电量 (E_{IT})	kWh	测量周期内 IT 设备总耗电量
计算 PUE 值		$PUE = \frac{E_{total}}{E_{IT}}$
PUE 评价等级		参照《规范》6.1.1 条等级标准

C.1.2 算力能效比 (CER) (可选)

指标	数值	备注
测试场景/模型		依据《规范》附录 B
算力性能实测值	TFLOPS	
测试时 IT 设备平均功耗	W	
计算 CER 值		
与参考目标对比		参照《规范》6.1.2 条

C.2 辅助指标评价

C.2.1 环境影响类指标

指标	数值	备注
可再生能源利用率(RER)	%	年度可再生能源电量/年度总用电量
水资源利用效率(WUE)	L/kWh	年度总耗水量/年度 IT 设备耗电量
碳排放强度(CEI)	kgCO ₂ e/kWh	基于电网排放因子计算

C.2.2 运行效率类指标

指标	数值	备注
IT 设备平均负载率	%	实际运行功率/额定设计最大功率
制冷系统平均能效比(COP)		制冷量(kW)/输入电功率(kW)
供电系统损耗率	%	供电系统损耗/IT 设备耗电量

C.3 实际运行功率 / 额定设计最大功率

项目	说明	
计量设备要求	精度等级	[例如: 0.5 级], 符合《规范》A.4.1 条
数据采集频率		[例如: 每 15 分钟一次], 符合《规范》A.5.1 条
评价周期内运行状态	算力中心处于正常运行状态, 年有效运行时间	[数值] 天
测量边界说明		[简要描述测量的物理和电气边界, 参考《规范》A.2 条]

C.4 评价结论与建议

C.4.1 总体评价结论

[此处概括算力中心能效水平的总体结论, 例如: 经评价, XXX 算力中心 PUE 值为 1.28, 达到“先进值”水平。各项辅助指标表现良好, 但在 IT 设备负载率方面有提升空间。]

C.4.2 优势分析

[此处分点列出评价中发现的能效优势和亮点, 例如: 制冷系统 COP 值较高, 显示出高效的制冷技术应用; 可再生能源利用率达到 XX%, 绿色能源使用占比较高。]

C.4.3 改进建议

[此处针对评价中发现的不足或可优化项, 提出具体、可行的改进建议, 例如: 建议通过优化资源调度, 将 IT 设备平均负载率由目前的 40% 提升至 60% 以上, 以改善能源效率; 建议定期对供配电链路进行巡检, 排查损耗点, 进一步降低供电系统损耗率。]