

ICS 国际标准分类号

CCS 中国标准文献分类号



团 标 准

T/CES XXX-XXXX

绿色数据中心算电协同调控系统技术要求

Technical requirements for computing and power collaborative
scheduling system in green data center

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基础数据管理	2
4.1 绿色数据中心基本信息	2
4.2 运行数据	3
4.3 数据预处理要求	4
4.4 数据交换格式	4
5 算电协同调控系统	4
5.1 系统基本架构	4
5.2 系统软件要求	5
5.3 系统互联互通要求	5
6 算力负载协同调控要求	5
6.1 调控范围	5
6.2 调控策略及要求	6
6.3 算力负载调控过程及反馈	6
6.4 调控效果评估	7
7 运维与管理要求	7
7.1 系统运维管理	7
7.2 数据备份与恢复	7
7.3 运行监测与预警机制	7
附录 A (规范性附录) 调控效果评价指标	9
参考文献	12

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》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工作组归口。

本文件起草单位：华北电力大学、阿里云计算有限公司、上海交通大学、中国科学院电工研究所、国网冀北电力有限公司、内蒙古电力（集团）有限责任公司、国网青海省电力公司、国网甘肃省电力公司、贵州电网有限责任公司。

本文件主要起草人：丁肇豪、王鹏、王宣元、王朝阳、徐立、王旭、舒隽、程瑜、闫月君、闫静、王泽森、刘蓁、孙逸萌、杨威、管歆茹。

本文件为首次发布。

绿色数据中心算电协同调控系统技术要求

1 范围

本文件规定了绿色数据中心算电协同调控系统相关的基础数据管理、算电协同调控系统、算力负载调控、运维与管理方面的技术要求。

本文件适用于绿色数据中心进行算电协同的计算任务调度和算力资源管理工作。

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 7408. 1-2023 日期和时间 信息交换表示法 第 1 部分：基本原则
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 29765-2021 信息安全技术 数据备份与恢复产品技术要求与测试评价方法
- GB/T 38673-2020 信息技术 大数据 大数据系统基本要求
- GB/T 30270-2024 网络安全技术 信息技术安全评估方法
- YD/T 4625-2023 数据中心能耗管理系统技术要求
- YD/T 4626-2023 数据中心运营管理技术要求和智能化分级评估方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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 43331-2023]

3.2

绿色数据中心 green data center

通过节能技术、算力资源管理和任务调度等手段，减少能耗和碳排放的数据中心。其核心目标是降低环境影响，实现能源的高效利用。

3.3

IT 设备 IT equipment

用于承载数据中心中运行应用系统的物理设备，并为用户提供信息处理和存储、通信等服务，同时支撑数据中心的监控管理和运行维护。

注：包括数据中心的计算、存储、网络等不同类型的设备。

[来源：GB/T 43331-2023]

3.4

电能利用效率 power usage effectiveness PUE

数据中心全年消耗电量与数据中心 IT 设备全年消耗电量的比值。

[来源：GB/T 43331—2023]

3. 5

算力资源 computing resources

数据集中用于执行计算任务的硬件和软件资源的集合。

注：包括但不限于中央处理器、图形处理单元、内存、存储资源和网络带宽。

3. 6

算力侧信息 computing side information

数据集中与计算能力及计算任务相关的配置、管理、优化和执行信息。

3. 7

电力侧信息 electric power side information

数据集中与电力供应、分配、管理及电能使用、监控、优化相关的信息。

3. 8

算电协同调度 computing and power collaborative scheduling

数据中心在进行算力资源调控过程中同时考虑电力侧与算力侧信息，进行多目标的协调和优化，这种调度方式旨在实现计算任务的高效执行和电力调节需求的有效响应。

3. 9

算力负载 computing load

数据中心在其运行过程中所需处理的计算任务，包括数据处理、存储、计算和训练活动。

4 基础数据管理

4. 1 绿色数据中心基本信息

4. 1. 1 绿色数据中心设备信息包括：

- a) 数据中心内主要设备的概况，包括服务器、存储设备、网络设备、冷却系统及电力管理系统的数量和类型；
- b) 服务器的生产厂家、类型、型号及其单机性能参数（如处理器性能、内存、功耗）；
- c) 存储设备的类型、型号、存储容量、数据传输速率及能效指标；
- d) 网络设备的参数信息，包括交换机、路由器的型号、功耗及网络拓扑结构；
- e) 冷却系统的类型和参数，包括自然冷却、液冷技术的使用情况、冷却能力及能效指标。

4. 1. 2 绿色数据中心电力侧信息包括：

- a) 数据中心的总能耗，包括 IT 设备能耗、冷却系统能耗、存储设备能耗、网络设备能耗、照明设备能耗；
- b) 数据中心的电能利用效率指标 PUE，反映能效水平；
- c) 可再生能源的使用情况，包括可再生能源在总能耗中的比例、来源及接入方式；
- d) 电价信息，包括峰谷电价、合同电价、动态电价等不同时间段的电费标准。

4. 1. 3 绿色数据中心算力侧信息包括：

- a) 算力资源信息，包括 IT 设备的 CPU 占用率、内存带宽、网络带宽、I/O 性能、内存占用率、存储使用情况；
- b) 负载均衡信息：记录绿色数据中心内不同服务器、存储设备和网络设备的负载均衡情况，详细展示各设备在不同时间段内的负载分布；
- c) 计算任务处理信息：包括计算任务的优先级设置、计算任务执行时间和计算任务到达时间。

4.1.4 绿色数据中心碳排放信息包括：

- a) 数据中心的年度碳排放总量，按能源消耗类型（如电力、燃料）分类计算；
- b) 碳排放计算的标准和方法，包括直接碳排放（如备用发电机的排放）和间接碳排放（如电力消耗的排放）；
- c) 计算任务执行中的碳排放量：记录和计算每个计算任务执行过程中的碳排放情况，提供碳排放数据；
- d) 碳排放因子：包括不同能源类型的碳排放因子数值，用于量化数据中心的碳排放量。

4.1.5 绿色数据中心环境信息包括：

- a) 数据中心的地理位置，包括具体的地址、经纬度坐标与海拔高度信息；
- b) 数据中心的气候和环境条件，包括温度、湿度、风速和风向，有助于评估自然冷却的潜力；
- c) 数据中心与可再生能源设施的地理关系，包括与太阳能、风能可再生能源设施的距离及接入情况。

4.2 运行数据

4.2.1 历史运行数据

历史运行数据涵盖了绿色数据中心内 IT 设备和辅助系统的运行记录，以及整体能耗情况和碳排放信息的历史记录。具体内容包括：

- a) 服务器、存储设备及网络设备的历史使用数据，包括 CPU 使用率、内存占用、存储使用情况及网络流量历史记录；
- b) 绿色数据中心运行情况的历史记录，包括故障 / 非故障停机记录、历史的碳排放信息、各设备的维护记录、功率消耗记录和负载调度历史记录，所有状态记录数据应包含对应的起止时间；
- c) 绿色数据中心内关键设备（如服务器、冷却系统、电力管理系统）的历史运行数据，包括设备温度、功耗、运行状态（正常、故障、维护）信息；
- d) 计算任务历史数据，包括计算任务到达时间、计算任务处理完成时间，记录每个计算任务从接收到完成的全过程，提供对计算任务执行效率的历史分析依据。

4.2.2 实时运行数据

实时运行数据包括绿色数据中心设备的性能指标和绿色数据中心整体的实时能耗情况和碳排放信息。具体内容包括：

- a) 服务器、存储设备、网络设备的实时性能数据，包括 CPU 实时负载、内存占用、存储读写速率及网络流量的实时数值；
- b) 各主要设备的实时运行数据，包括设备温度、功率消耗、实时碳排放数据、设备运行状态（正常、故障、维护中）信息；
- c) 实时能耗数据的采集周期不应超过 1 秒，数据应从绿色数据中心能源管理系统中提取；
- d) 关键设备（如服务器、冷却系统、UPS）的实时状态数据的采集周期应不大于 1 秒，时间延迟应小于 300 毫秒。

4.3 数据预处理要求

4.3.1 数据预处理模块应采用模块化架构，各模块应相互独立运行，确保在单个模块出现故障时不会影响整体数据预处理流程的正常运作。

4.3.2 数据预处理模块应具备高安全性，对数据预处理过程进行严格的访问控制和权限管理，以确保数据的安全和完整性，预处理后的数据应满足 YD/T 4626-2023 相关规定。

4.3.3 数据预处理模块应具有良好的可扩展性，以适应绿色数据中心规模扩展或设备升级时的数据处理需求。

4.4 数据交换格式

数据交换格式包括 XML 文件格式、JSON 文件格式、资源文件交换（通过文件交换的方式实现信息共享，适用于非结构化资源或更新频率比较缓慢的结构化资源的共享交换）。数据交换格式应遵循 GB/T 7408.1-2023 标准。

5 算电协同调控系统

5.1 系统基本架构

绿色数据中心算电协同调控系统应至少具备资源监控、能耗管理、计算任务调度、碳排放监测、故障检测与恢复等基本模块，系统整体示意图与各模块基本内容如下：

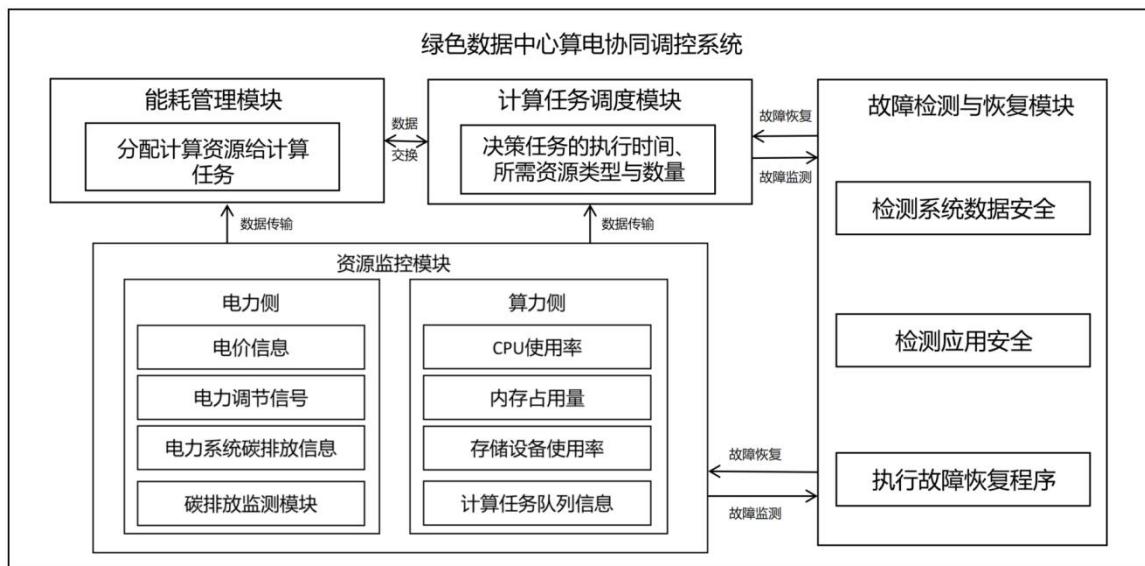


图 1 算电协同调控系统整体模块示意图

- 资源监控模块：实现电力侧信息和算力侧资源监控，电力侧实时监控电力系统碳排放信息、电价信息与电力调节信号，算力侧实时监控绿色数据中心内服务器计算资源的 CPU 使用率、内存占用量、存储设备使用率、计算任务的到达时间、任务截止时间、任务优先级、任务服务质量指标，以及预计需要的计算资源，包括 CPU、I/O 和内存资源信息，任务预计完成时间、任务有向无环图、计算任务队列的长度和计算任务等待时间信息；
- 能耗管理模块：评估能源使用效率，并通过能耗管理策略给计算任务分配计算资源，以达到能源效率的最大化；
- 计算任务调度模块：根据资源监控模块和能耗管理模块提供的数据，依据能耗最小及碳排放最低原则决策计算任务的执行顺序，并将计算任务与算力资源进行匹配，同时应保证计算任务执行满足服务水平协议要求；

- d) 碳排放监测模块：对绿色数据中心的碳排放进行实时监控和数据分析，应按照 YD/T 4625—2023 中数据中心碳排放核算方法对绿色数据中心碳排放进行核算，确保绿色数据中心的运行符合绿色、低碳的环保标准；
- e) 故障检测与恢复模块：实时检测系统故障，并自动执行故障恢复流程，确保绿色数据中心的高可用性和业务连续性。

5.2 系统软件要求

5.2.1 软件应包含完善的、通用的、安全的数据库存储模块，专门设计用于存储和管理绿色数据中心的关键数据，包括但不限于能耗监控数据、设备运行状态和计算任务调度日志，日志数据的保存在空间上应保证有足够的存储空间以确保日志数据不会因为空间不足而丢失，且应支持动态扩展存储容量，以适应不断增长的数据量；日志数据的保存在时间上应保证日志数据的长期保存，至少应支持业务需求设定的保留期限，并且应实现日志数据的定期备份，以防止数据丢失或损坏。

5.2.2 应采用模块化架构设计，确保各模块之间功能独立且可协作运行，以此提高系统的稳定性和可维护性。在任何单个模块发生故障时，应保证不影响整个系统的持续运行。

5.2.3 软件应具备较高的安全性，实现对不同用户的分权限管理，确保数据的安全性和系统的可靠运行。此外，应包含安全协议和数据加密技术，防止未授权访问和数据泄露。

5.2.4 软件应提供直观、易用的人机交互操作界面，应至少具备以下功能：

- a) 实时能耗监控和设备运行状态数据的图形展示界面，支持动态数据更新和实时反馈；
- b) 计算任务调度和资源分配的实时展示界面，包括但不限于 CPU、内存、存储和网络资源的使用情况，并支持动态更新；
- c) 历史绿色数据中心总电能消耗数据和设备运行日志的查询界面，允许用户根据指定日期进行数据检索；
- d) 数据统计分析界面，集成多种数据可视化工具，如饼状图、柱状图、折线图和表格等，以支持深入的数据分析和报告生成。

5.3 系统互联互通要求

实现系统互联互通至少满足以下关键要求：

- a) 接口标准应至少满足以下要求：
 - 1) 确保所有系统模块和组件都遵循标准化的接口协议，保证与现有其他系统和未来可能集成的第三方系统的兼容性，支持跨平台和跨语言的交互；
 - 2) 接口应支持版本管理，以便在不中断现有服务的情况下进行更新和维护；
 - 3) 接口应有一套完整的测试流程和工具，包括单元测试、集成测试和性能测试，以确保接口的稳定性和可靠性。
- b) 隐私数据保护：确保绿色数据中心在算电协同调控过程中的数据安全和用户隐私，防止敏感信息泄露；
- c) 实现数据可交换：支持与外部系统的数据交换，电协同调控系统应可与现有的网络系统进行数据交换，实现数据共享和业务协同。

6 算力负载协同调控要求

6.1 调控范围

6.1.1 绿色数据中心算电协同调控系统应实现对绿色数据中心内部计算资源的统一管理和调度，包括但不限于服务器、存储设备和网络设备。

6.1.2 绿色数据中心算电协同调控系统调度服务器应符合 GB/T 38673—2020 相关规定。

T/CES XXX—XXXX

6.1.3 调控系统应能够根据绿色数据中心的规模和业务需求，灵活设定调控范围，适用于从小规模的单一数据中心到更大规模的多个数据中心集群。

6.2 调控策略及要求

6.2.1 调控策略建模

调控策略是算电协同调控系统的核心组成部分，旨在通过调控实现绿色数据中心算力资源的最优分配和能源效率的最大化，减小碳排放。调控策略应包括但不限于以下几个方面：

- a) 资源信息收集：收集资源监控模块中数据，电力侧包括碳排放信息、电价信息与调频信号等市场信号，算力侧包括绿色数据中心CPU使用率、内存占用量、存储设备使用率、计算任务队列的长度和计算任务等待时间；
- b) 计算任务调度：应依据资源监控模块数据，将电价信息、市场信号、计算任务优先级、资源需求和截止时间作为输入，输出计算任务的执行顺序与执行时间，以及对应计算任务所需算力资源的类型和数量，在满足计算任务服务质量要求的基础上，响应电力侧调节信号，优化绿色数据中心运行成本，降低碳排放；
- c) 冗余和容错设计：设计冗余资源和容错机制，确保在部分硬件或软件发生故障时，数据中心仍能稳定运行；
- d) 成本效益分析：评估不同调控策略的经济成本和能效收益，选择成本效益比最高的方案实施。

6.2.2 调控要求

算电协同调控应至少满足以下关键要求：

- a) 算法模型：以优化绿色数据中心运行成本，降低碳排放为目标，决策计算任务的执行顺序与执行时间，以及对应计算任务所需算力资源的类型和数量，在满足计算任务服务质量要求的基础上，应实现秒级、分钟级和小时级多时间尺度决策，保证调控时间尺度应与电力调节信号周期相匹配，以有效响应电力侧调节信号；
- b) 调控策略应满足以下要求：
 - 1) 应能够及时响应电力调节信号，确保在接收到变化的电力调节信号时，能够迅速做出反应，且调控时间尺度应与电力调节信号周期相匹配；
 - 2) 应满足计算任务服务质量要求约束，调控策略必须确保所有计算任务能够满足预设的截止时间要求；
 - 3) 应实现绿色数据中心运行成本优化并降低碳排放，基于电价与碳排放信息，跟踪调控策略实现降低绿色数据中心的用能成本与碳排放。
- c) 调控规模：对于标准机柜数 ≥ 3000 或主设备设计功率 $\geq 7500\text{kW}$ 的大型绿色数据中心，应至少能够支撑 89PFLOPS（每秒千万亿次浮点运算）规模计算任务的协同调控，调控决策响应电网需求时间应小于 4 秒，且服务质量约束违反率应小于 0.1%。

6.3 算力负载调控过程及反馈

6.3.1 算力负载调控过程：

算力负载调控过程应满足以下要求：

- a) 遵守约束条件：CPU 使用率不得超过预设的最大阈值；内存占用量应保持在安全使用范围内，避免因内存溢出而导致系统崩溃；计算任务的等待时间应不超过预定的最大等待时间，以满足服务质量要求，确保计算任务能够及时执行；
- b) 实时监测与记录：系统必须能够实时监测并记录绿色数据中心的计算任务执行情况与资源使用情况，包括 CPU、内存、存储、网络带宽和能源消耗等指标；

c) 多目标协调：在调控过程中考虑能效、成本、碳排、性能和可靠性等多个目标，实现综合优化。

6.3.2 算力负载调控反馈

算力负载调控反馈应满足以下要求：

- a) 执行反馈：收集调控指令执行的反馈信息，包括执行状态、资源调整结果和计算任务调度情况；
- b) 性能评估：评估调控措施对系统性能的影响，包括响应时间、处理能力和服务水平；
- c) 能效分析：分析调控措施对能源消耗和能效比的影响，确保能效目标的实现；
- d) 成本监控：监控调控过程中的成本变化，评估调控措施的经济性；
- e) 计算任务进度反馈：实时收集计算任务的完成情况，包括计算任务进度、完成质量和是否满足预定截止时间；
- f) 异常检测与报告：在调控过程中，检测到任何异常情况，应及时报告，以便采取相应措施。

6.4 调控效果评估

调控效果评估是绿色数据中心算电协同调控系统技术中的关键环节，反映调控系统的调节性能，保证调控策略的有效性并作为改进与维护依据。调控效果应至少包括能效指标、计算服务质量指标和调节信号跟随指标，具体评估方法参见附录 A。

7 运维与管理要求

7.1 系统运维管理

7.1.1 巡检管理

巡检管理应实现数字化，使用系统自动调度和执行巡检计算任务。系统应具备模板配置和计划管理功能，支持计算任务提醒，并能够记录和分析巡检数据，提供异常检测和优化建议。

7.1.2 维保管理

维保管理应通过系统化的计划与执行，确保设备定期维护和保养。系统应支持维保计算任务的自动调度、执行跟踪和结果记录，提供维护频次的优化建议。

7.1.3 维修管理

维修管理应围绕电子化流程，保障故障处理的全程跟踪和闭环管理。系统应具备维修商管理、故障处理流程自动化，以及备品备件的智能关联功能。

7.2 数据备份与恢复

数据备份与恢复应符合 GB/T 29765—2021 要求，包括：

- a) 应支持完全备份、增量备份或差量备份等备份方式；
- b) 应支持网络备份模式，能通过网络备份和恢复数据；
- c) 应能选择全部或部分备份数据进行恢复，恢复后的数据应与原数据一致。

7.3 运行监测与预警机制

7.3.1 监测系统设置

- a) 绿色数据中心应部署全面的运行监测系统，实时监控所有关键组件的性能和状态，包括服务器、网络设备、存储设备及冷却系统；
- b) 监测系统应支持多层次的数据采集，涵盖系统资源利用率、网络流量、能源消耗重要指标；
- c) 确保监测系统的高可用性，采用冗余设计以防单点故障影响整体监控能力。

7.3.2 预警机制

- a) 设定预警阈值，根据设备性能指标和历史数据设定正常运行范围和报警阈值，一旦超出范围即触发预警；
- b) 实施多级预警系统，根据问题的严重性和紧急程度进行分级预警，确保不同级别的问题得到及时响应；
- c) 预警信息应通过多种渠道发送，包括电子邮件、短信、即时消息，以确保相关人员能够迅速获悉。

7.3.3 实时监控与报告

- a) 实时监控界面应提供直观的数据可视化展示，包括实时图表、仪表盘和报表，帮助运维人员快速识别系统异常；
- b) 系统应支持生成和分发定期报告，汇总系统运行情况、性能指标和预警事件，便于分析和决策；
- c) 实时监控系统应能够自动记录历史数据，并提供查询和回溯功能，以支持故障分析和趋势预测。

7.3.4 预警反馈与改进

- a) 建立预警反馈机制，收集并分析预警事件的处理结果和效果，评估预警机制的准确性和响应速度；
- b) 定期审查和优化预警规则和阈值，根据实际运行情况和反馈信息调整预警策略，以提高预警系统的有效性；
- c) 进行预警系统的定期评估和升级，确保其能够适应不断变化的系统环境和业务需求。

附录 A
(规范性附录)
调控效果评价指标

A. 1 电力侧相关指标

A. 1. 1 绿色数据中心电能比

表征数据中心电能利用效率，东部枢纽节点数据中心 PUE 应小于 1.25，西部枢纽节点数据中心 PUE 应小于 1.2。

$$PUE = \frac{E_t}{E_{IT}} \quad (A.1)$$

式中：

E_t ——数据中心总电能消耗量，单位为兆瓦时（MWh）；

E_{IT} ——数据中心 IT 设备电能消耗量，单位为兆瓦时（MWh）。

A. 1. 2 水分利用率

表征数据中心水资源利用效率。

$$WUE = \frac{WC_t}{E_{IT}} \quad (A.2)$$

式中：

WC_t ——绿色数据中心总耗水量，单位为升（L）；

E_{IT} ——绿色数据中心 IT 设备电能消耗量，单位为兆瓦时（MWh）。

A. 1. 3 碳利用效率

反映数据中心碳利用效率。

$$CUE = \frac{E_C}{E_{IT}} \quad (A.3)$$

式中：

E_C ——绿色数据中心二氧化碳排放总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

E_{IT} ——绿色数据中心 IT 设备电能消耗量，单位为兆瓦时（MWh）。

A. 1. 4 绿色数据中心成本优化比率

表征数据中心能耗成本降低的比率。

$$R = \frac{Cost_1 - Cost_0}{Cost_0} \quad (A.4)$$

式中：

$Cost_1$ ——数据中心参与算电协同调控的运营成本，单位为元（¥）；

$Cost_0$ ——数据中心不参与算电协同调控的运营成本，单位为元（¥）。

A. 1. 5 绿色数据中心耗电量占比

反映统计区域数据中心用电量占当地总用电量的比例。

$$K = \frac{E_{DC}}{E_0} \times 100\% \quad (A.5)$$

式中：

E_{DC} ---- 数据中心用电总量，单位为兆瓦时（MWh）；

E_0 ---- 当地总用电量，单位为兆瓦时（MWh）。

A. 2 算力侧相关指标

A. 2. 1 计算任务执行时延

反映计算任务等待时间长短。

$$L = \frac{w+d}{d} \quad (A.6)$$

式中：

d ---- 计算任务执行持续时间，单位为秒（s）；

w ---- 计算任务等待时间，单位为秒（s）。

A. 2. 2 计算任务完成指标

计算任务完成指标反映是否在计算任务截止时间前完成计算任务。

$$Q = \begin{cases} 1, & T_{task} \leq T_{ddl} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (A.7)$$

式中：

T_{task} ---- 计算任务完成时间；

T_{ddl} ---- 计算任务截止时间。

A. 2. 3 调节偏差率

调节偏差率可用来评价数据中心跟踪电力调节信号的精准度。

$$\sigma = \frac{E_a - E_r}{E_r} \times 100\% \quad (A.8)$$

式中：

E_a ---- 绿色数据中心的实际能耗，单位为兆瓦时（MWh）；

E_r ---- 电力调节信号要求的绿色数据中心能耗，单位为兆瓦时（MWh）。

A. 2. 4 算力能效比

指绿色数据中心单位电耗生产的算力规模，反映能源转换效率。

$$EER = \frac{CP}{P} \quad (A.9)$$

式中：

CP ——数据中心总算力规模，单位为每秒浮点运算次数（Flops）；

P ——数据中心总电功率，单位为瓦（W）。

A.3 碳排放指标

A.3.1 碳排放量

绿色数据中心使用电能产生碳排放量的计算式。

$$E_C = E_{DC} \times EF_e \quad (\text{A.10})$$

式中：

E_C ——碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

EF_e ——电网平均供电碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每兆瓦时（tCO₂e/MWh）；

E_{DC} ——耗电量，单位为兆瓦时（MWh）。

A.3.2 碳排强度

反映绿色数据中心运营中的碳排放效率。

$$CI = \frac{E_C}{E_{DC}} \quad (\text{A.11})$$

式中：

E_C ——绿色数据中心碳排放总量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

E_{DC} ——绿色数据中心用电总量，单位为兆瓦时（MWh）。

参 考 文 献

- [1] GB/T 40879 数据中心能效限定值及能效等级
- [2] GB/T 43331—2023 互联网数据中心（IDC）技术和分级要求
- [3] GB/T 50174 数据中心设计规范
- [4] GB/T 36073 数据管理能力成熟度评估模型
- [5] GB/T 32151 温室气体排放核算与报告要求
- [6] DB4403/T 367—2023 绿色数据中心评价规范
- [7] YD/T 3954—2021 云服务用户数据保护能力参考框架