

GREEN COMPUTING WHITE PAPER

绿色算力 白皮书

2023.5

浪潮信息 CAICT 中国信通院

浪潮电子信息产业股份有限公司
中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

寄语



随着数据中心产业的快速发展，其能耗也在不断增加，碳减排问题不容忽视。尤其过去五年中，数据中心机架规模一直保持着平均每年30%左右的增长速度。国家发改委、网信办、工信部、国家能源局等多个部门发布了一系列政策，特别强调需要加强数据中心节能技术适用和能源配套机制，推动数据中心绿色发展，实现数据中心行业碳减排目标。

IT设备是数据中心能耗的最主要部分，占比高达50%以上，其算效水平直接决定能耗水平，目前我国数据中心的平均计算效率与国际先进水平相比还有差距。要实现数据中心绿色升级，不仅表现在降低能耗，也意味着提升服务器的计算效率。一方面需要创新整机系统设计，减少部件、整机散热产生的电力消耗，提升用能效率；另一方面也要推动加快液冷等高效制冷系统的技术产品应用，加速液冷算力中心的普及，推进绿色低碳算力中心建设。

在双碳背景下，绿色算力是实现数据中心高质量发展，支持我国双碳目标落地的最佳路径。本书从绿色算力的政策环境、绿色算力的内涵与关键技术、绿色算力的必要性、绿色算力的标准与评测和绿色算力发展趋势与建议五个部分，阐述了绿色算力发展的必然性，以及如何对绿色算力进行评估与评测，以保证绿色算力可量化、可比较，希望能为业界人士的学习与工作提供帮助。

郑纬民

郑纬民
中国工程院院士

寄语



“十四五”时期是我国开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年，推动“十四五”时期经济社会发展全面绿色转型，对于建设生态文明和美丽中国、实现碳达峰碳中和目标具有十分重要的意义和作用。

从绿色数字经济的战略目标出发，当下ICT产业主要围绕三个方面推进绿色数字经济的发展：一是推动产业结构的绿色转型；二是推动能源结构的绿色转型；三是推动绿色算力资源建设和节能减排。而绿色算力资源的建设，则离不开高效能算力节点——即绿色节能型服务器的运用。

为推广绿色节能型服务器，最大程度上降低数字经济发展对环境的影响，从算力的源头减少碳排放，推进产业结构的绿色转型。浪潮电子信息产业股份有限公司联合中国信息通信研究院云计算与大数据研究所发布《绿色算力白皮书》，创造性的将“服务器算力”同“碳排放”相结合，提出了绿色算力的概念。

本白皮书将从绿色节能型服务器的政策支撑、节能优势、技术应用和发展趋势等方面展开分析，解读绿色算力概念的发展脉络及对ICT产业“双碳”目标达成的促进作用。同时也通过对服务器相关工作状态及应用负载的研究，探讨了一种绿色算力标准的衡量方式。

A handwritten signature in black ink, appearing to read "王恩东" (Wang En Dong).

王恩东
中国工程院院士

寄语



提高IT科技能源效率，迈向可持续发展的未来，是我们这个时代最重要的全球性挑战之一。我是克劳斯·兰齐，SPEC国际标准组主席。非常高兴有这个机会来谈谈绿色标准如何推动可持续的未来。

标准性能评估组织，简称SPEC，是一个独立的非营利性组织，在全球拥有一百三十多个成员。自1988年以来，SPEC成员一直在同各类标准机构合作，制定行业标准，同时也学术界和政府机构的专家的广泛合作，制定了许多性能和能效的评测工具，具有相关性、可复现性、公平性、可验证性和可用性的特点，从而可以对不同配置的服务器进行能效评估。

在ISO/IEC 21836:2020标准工具的开发过程中，我们遵循了跨架构、操作系统、平台的可移植性，因此允许不同的测试配置根据自己的优点进行竞争。还确保了当基准测试在相同的测试配置下运行时的结果一致性。我们还利用了以前标准开发工作中的经验、代码和良好的工作流程。此外，我们还提供了中文版的ISO/IEC 21836:2020标准工具用户指南。

我们正在建立一个全新的标准工具，具有不同的CPU、内存和存储工作负载，并不断更新标准套件，这意味着下一代标准工具的开发已经在进行中——你也可以成为其中的一部分。SPEC组织专注于标准及测评工具的开发，并对来自全球各地的合作表示欢迎。

克劳斯·兰奇
SPEC国际标准组主席

目录

第一章 绿色算力的政策环境	01
(一) 美国、欧盟、日本等国加速淘汰老旧设备，鼓励运用新型节能技术	01
(二) 国内通过政策推动限制PUE、WUE，推动绿色低碳等级评估	01
第二章 绿色算力的内涵与关键技术	03
(一) 绿色设计方案帮助降低计算能耗	03
(二) 智能部件管理技术助力节能减碳	03
(三) 创新性整机系统设计，全面降低碳排放	03
(四) 液冷技术理念成熟，改变散热模式实现绿色低碳	04
(五) 整机柜设计得到广泛认可，助力高密算力中心节能减排	04
第三章 绿色算力的必要性	05
(一) 算力增长迅速，算力中心碳排问题亟待解决	05
(二) 算力中心碳排放重要来源	06
(三) 发展绿色算力的意义与价值	06
第四章 绿色算力的标准与评测	08
(一) 绿色算力需要科学的评测方法	08
(二) 绿色算力评测工具的现状与需求	08
(三) 绿色算力评测要点	09
(四) 绿色算力评测意义	10
(五) 绿色算力评测体系	10
第五章 绿色算力发展趋势及建议	15
(一) 发展趋势	15
(二) 发展建议	15

第一章

绿色算力的政策环境

经中国信息通信研究院测算，2021年全球计算设备算力总规模已经达到615EFLOPS，保持44%的高速增长。与此同时电力资源作为算力发挥作用的必备条件，消耗程度也大幅增长；2021年国内算力中心总耗电量达到2166亿千瓦时，占社会用电量2.6%，预计到2030年中国算力中心总耗电量将达到5915亿千瓦时，占全社会用电量的5%。优化算力的平均能源消耗，打造绿色算力，全球已经达成共识，是未来5-10年算力发展的重点目标。

（一）美国、欧盟、日本等国加速淘汰老旧设备，鼓励运用新型节能技术

目前，全球主要国家均承诺在本世纪中叶前完成国家层面碳中和计划。为此，各国纷纷出台相关政策，加快推进可再生能源使用，实现低碳化、绿色化发展，推进绿色算力落地。

美国政府通过DCOI数据中心优化倡议、FDCCI美国联邦数据中心整合计划、FITARA联邦政府信息技术采购改革法案等一系列举措，以整合和关闭数据中心，明确资源虚拟化、可用性、设定数据中心PUE及服务器使用率具体标准、退役老旧设备的方式，实现数据中心数量减少了7000个，PUE从平均2.0以上下降近一半，大型算力中心为1.5左右。

欧盟率先提出ICT行业的降碳目标，计划在2030年提前达到气候中性（climate neutral）。通过2020年欧盟数据中心能源效率行为准则的最佳实践指南和欧洲数据中心能源效率现状白皮书进一步细化和规范了算力中心PUE、SUE、DCiE等绿色指标。推动欧洲ICT基础设施和算力中心确保在2030年之前达到气候中性，在2050年成为世界第一个实现气候中性的大陆。

日本能源效率委员会提出在未来的5年内将绿色计算技术作为提高能源效率的主要手段之一，通过绿色计算技术提高能源效率、降低碳排放，为实现日本政府提出的2050年碳中和目标奠定基础。日本经济产业省发布了《半导体和数字产业发展战略》，提出数字化和绿色化协调发展的概念，同时必须提高数字设备和电子元件中所使用半导体的性能，降低能耗。综合发挥能为碳中和做出贡献的分布式计算、下一代绿色计算等技术的作用，实现数字化和绿色化协调发展。

（二）国内通过政策推动限制PUE、WUE，推动绿色低碳等级评估

2022年党二十大报告提出，“推动形成绿色低碳的生产方式和生活方式”及“促进数字经济和实体经济深度融合”相关要求。算力产业的绿色化发展，需要政、产、用各方力量协同并进，发挥每一个环节的优劣势。在政策层面，国家及地方均推出政策纲领文件，指导算力中心产业绿色发展。

（1）国家层面

2021年，工信部印发了《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》，明确大力推动绿色算力中心创建、运维和改造。国家发改委等四部门发布的《关于加快构建全国一体化大数据中心协同创新体系的指导意见》《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》《贯彻落实碳达峰碳中和目标要求推动数据中心和5G等新型基础设施绿色高质量发展实施方案》等政策文件，明确提出“到2025年，新建大型及以上算力中心PUE降低到1.3以下，达到绿色算力中心要求，绿色低碳等级达到4A级以上”等目标。

工信部发布《新型数据中心发展三年行动计划（2021—2023年）》，并从绿色低碳、算力赋能、智能运营、安全可靠方面出发，组织开展国家新型数据中心评选。其中，绿色低碳方面包含PUE、WUE、CUE、算力算效、可再生能源应用、绿色低碳管理等相关指标。

（2）地方层面

北京市更新《北京市新增产业的禁止和限制目录》，城六区禁止所有新建和扩建数据中心项目，其他区域禁止建设，PUE在1.4以下的云计算数据中心除外。

上海市发布的《上海市经济信息化委、市发展改革委关于做好2021年本市数据中心统筹建设有关事项的通知》《上海市数据中心建设导则（2021）》等提出“新建项目综合PUE控制在1.3以下，WUE在1.4以下，改建项目综合PUE控制在1.4以下”等目标。

第二章

绿色算力的内涵与关键技术

绿色算力指以整机为管理对象，评价其单位碳排下的负载与业务输出，即服务器单位碳排放下能够输出的算力。其核心是衡量计算系统从部件到整机到上层应用全堆栈的计算能效，考验计算系统厂商的系统架构设计、性能优化、散热制冷创新能力。

（一）绿色设计方案帮助降低计算能耗

“双碳”目标引领下，降低计算能耗，推动“绿色算力”十分关键。通过对服务器系统的升级、改造，使用创新的绿色算力设计方案，不但能够实现系统低功耗，而且还能实现整机碳排放大幅降低。另外，通过使用液冷技术和整机柜设计方案，不仅大幅降低了算力中心的能源消耗成本，而且能够大大减少机房占地面积。同时，产品本身的创新设计有效降低了碳排放，例如，可调节散热器设计、根据工作负载智能计算并匹配最佳制冷系统、采用高效服务器及系统设备、定制化的CPU及GPU板卡、整机结构优化等措施。

（二）智能部件管理技术助力节能减碳

电源逐渐向能效化、模块化、数字化、智能化等方向发展，体现在高效率、高功率密度、高可靠性、高智能化、远程控制、实时监控、冗余并机等方面；并采用直流电源，提升电源转换效率。同时为降低服务器在负载较低时，采用动态节能技术，可以自动监控服务器资源使用情况，根据资源利用率动态调整服务器运行状态，按照业务需求提供供电，将服务器用电损耗降到最低。

配合服务器智能管理平台，实现智能功耗封顶功能，可实现快速、精准的功耗封顶操作，确保在机房供电安全前提下，有效提高机房供电效率，提高机柜设备密度，降低机房维护费用。同时，能够消除异常情况下，如空调故障、业务量突然增加等，所出现的散热不足和供电不足等风险，提高业务可靠性。并可实现服务器的制冷分析，服务器使用率分析，服务器功耗分析，负载分配分析，支持智能功耗预测功能，为算力中心节能降碳提供指导依据。

（三）创新性整机系统设计，全面降低碳排放

抛开计算能力，单纯追求极低的电能使用效率是不合理的。为降低服务器碳排放，需从设计层面着手，通过负载优化使服务器工作在高能效状态，对服务器待机进行优化；同时服务器为了追求更高密度，不断压缩空间，对散热带来了很大的挑战，在现有的风冷致冷条件下，需通过创新性散热设计，对风扇入风处风流做整流处理，提高风扇进风口的流速并且减少了扰流的产生，加大波导网厚度可进一步提高空气压力，产生平行稳定且强劲的气流。通过整机层面创新的系统设计，实现制冷和空调散热在时间和空间上进行匹配，打造节能低碳的绿色服务器。

（四）液冷技术理念成熟，改变散热模式实现绿色低碳

液冷技术在高功率密度的算力中心领域优势显著。随着服务器液冷技术的成熟，引入液冷技术实现高效制冷效果有效提升了服务器的使用效率和稳定性。液体传导热能效果更好，是空气的25倍，温度传效果更快、更优，能够实现IT设备高效制冷。同时，由于液体的比热容大，在吸收大量的热量后自身温度不会产生明显的变化，故而能够稳定CPU温度。即使服务器遇到突发操作，运行功率激增也不会引起CPU内部温度产生大幅度升高，保障CPU在一定范围内进行超频工作不会出现过热故障。可靠性方面，从目前液冷领域的技术进展和应用普及情况来看，液冷服务器的电子器件的材料与冷却液兼容性会更优良，功能性会大大增强，使用寿命也会延长。液冷技术的成熟推动液冷服务器的快速发展，加速液冷算力中心的普及，推进绿色低碳算力中心建设。

（五）整机柜设计得到广泛认可，助力高密算力中心节能减排

通过机柜级的节能技术可以实现整体能耗优化，首先在散热方面，单机配置独立风扇进行散热。例如：单台机器一般配置6个系统风扇来保障散热，48台服务器所需要的风扇数量将达到288个，而通过集中散热，将每个服务器节点的散热风扇移除，整合成一个散热风扇墙，布局在整个机柜的后部，48个节点仅需18个风扇，数量减少93%以上，根据OCP2020公布的数据来看，整机柜相较于单机节点风扇能耗降低35%。

其次在电源方面，以单机作为服务器的最小组成单元，考虑系统的供电冗余，需要配置双电源模块以支撑。按照48台传统机架服务器来计算，需要96个电源模块来实现双路供电，供电配置过高造成电源负载率过低，使得电源转换效率仅能达到85%左右，集中供电，单个机柜仅需8个2400W电源模块，即可满足48节点的供电，转换效率高达94%，减少90%的电源数量，供电系统效率提升9%。

最后在空间利用方面，一个42U的标准机架，考虑交换机，散热等必要外设，一般配置16台1U服务器一个42U的整机柜服务器，最低可保证32个节点部署密度，最多可布置80个节点，空间利用率提升1-2倍。

通过减少风扇数量，提升散热效率，降低空间资源浪费等方法，可以有效降低算力中心整体碳排放。

第三章

绿色算力的必要性

（一）算力增长迅速，算力中心碳排问题亟待解决

在数字经济需求飞速增长的现状下，算力作为推动数字产业发展的主引擎，已经成为目前国际竞争中最重要的战略资源之一。从2016-2025年的整体趋势及预测来看，在算力增长的推动下，各主要经济体的数字经济占GDP的比重持续提升，预计2025年占比将达到41.5%。Synergy Research Group的调查数据显示，全球超大规模算力中心的数量在持续快速增加，目前已知的有314个新建的超大规模算力中心，未来三年内将超过1000个。

在我国，算力需求同样高速增长，适当超前部署算力基础设施成为重要的应对策略。2021-2022年，中国计算力水平增幅最大达到13.5%，且大部分指标延续了高速增长。

目前存在的难题：

国内外算力中心电能消耗过大，数字经济发展激发算力需求，与其相应的，是算力中心为代表的算力基础设施对能源需求的增长同样迅猛，算力中心规模与功耗密度不断提高。相关研究表明，至2035年，超大型算力中心能量消耗将达到500兆瓦，约等于半个核电站的装机容量，算力中心能耗问题日益突出。

（二）算力中心碳排放重要来源

算力中心能耗主要来源于IT设备、照明系统、空调系统、供配电系统等。关于算力中心能耗构成的比例，国内外很多企业和学者都做了大量的调查与研究，虽然研究结果中各部分占比不尽相同，但能耗构成因素及排序基本相同。

IT设备：由服务器、存储和网络通信设备等所构成的IT设备系统所产生的功耗约占算力中心总功耗的45%。其中服务器系统约占50%，存储系统约占35%，网络通信设备约占15%，如图1所示。

空调系统：产生的功耗约占算力中心总功耗的40%。空调系统已成为最大的能耗来源之一，常常被认为是当前提高能源效率的重点环节。

电源系统：由输入变压器和ATS开关所组成的UPS输入供电系统，以及由UPS及其相应的输入和输出配电柜所组成的UPS供电系统，其功耗约占总功耗的10%。其中约7%来源于UPS供电系统，3%左右来源于UPS输入供电系统。

照明系统：照明系统约占算力中心机房总功耗的3%左右。

因此，为保证算力中心双碳达标，确保我国数字产业高质量发展，推动算力的可持续健康增长，推进绿色算力的定义、开展相关评测，是必然的选择。

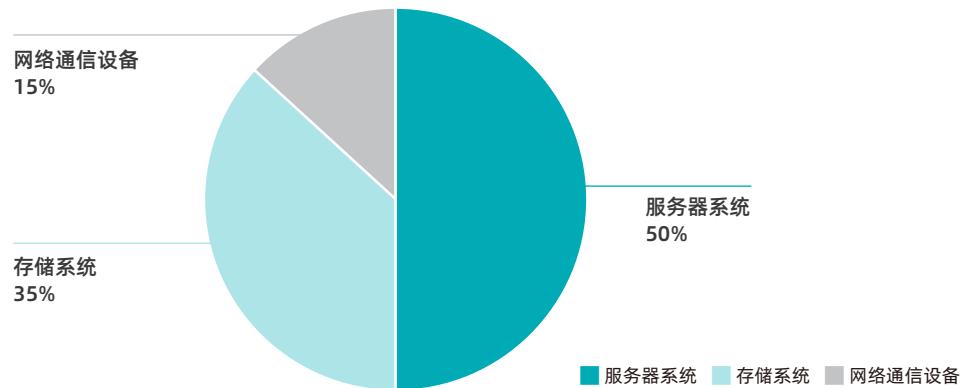


图1：算力中心IT设备碳排占比

（三）发展绿色算力的意义与价值

（1）推动社会科学发展和生活质量提高

绿色算力从提升算力和减少碳排出发，进一步实现资源利用最大化并减少对环境造成负面影响。经济社会可持续发展和信息技术快速发展之间将得到有机结合和协调，进而推动信息产业提升、经济社会进步的可持续性，助力人类社会的可持续发展。

1. 构建高效算力中心

绿色算力旨在通过提高能源使用效率和减少浪费来减少温室气体排放。例如，在不提升碳排放的前提下提升设备的工作效率，如服务器、交换机、存储和网络设备等，并有效地配置这些设备以提高能源利用率，减少能源消耗和碳排放。

2. 助力传统产业转型升级

“绿色算力”是“绿色发展”的重要组成部分，是推动信息化和工业化深度融合的重要手段。在产业发展和转型升级过程中，很多企业开始投入资金进行技术改造，淘汰落后产能，使用绿色节能环保的高性能计算设备。

在生产制造、医疗、教育等领域，都可以看到绿色算力的身影，很多企业通过采用绿色算力设备实现了节能降耗，降低了生产成本。与此同时，随着技术的不断进步，高性能计算设备也在不断地升级迭代。为应对性能更高、能耗更低的算力中心需求，高性能计算厂商也在不断发展和升级绿色算力解决方案。未来绿色算力的市场规模将持续扩大，绿色算力的概念将深入ICT行业的方方面面。

（2）降本增效，促进国民经济增长

无论是传统领域还是新兴产业，降本增效是其永恒的话题，降低综合成本的需求愈加迫切。将数据、算力负载合并到更密集、集中的计算平台上，是降本增效的有效方法。当数百台服务器集成为几台服务器，机房或算力中心楼面空间成本、电力需求也会随之大幅降低，软硬件维护、网络管理等运维工作大幅简化，企业在软硬件方面的运营成本也将大幅降低。另外，企业在处理碳排方面，采用集约的绿色算力、高能效的AI技术，同样的工作负载只需要更少的服务器和配套软件支撑，实现更低的碳排放，并且在保证了企业的环保合规前提下投入更低的碳排处理费用。

从国家层面来看，绿色算力是保证碳排不增长或者少量增长的前提下实现算力的大幅提升，促进国民经济平稳增长。

第四章

绿色算力的标准与评测

目前，业界对于国家及地区宏观能效调控以及规模化算力中心的能效标准均有定义，但对于整机及部件尤其是使用环节的碳排放评测缺乏统一标准。在此背景下，亟需普及绿色算力概念，推行绿色算力评测，引导服务器厂商采用绿色相关设计。真正做到在达到服务器性能要求的前提下，满足低碳、绿色、PUE等要求，实现最小颗粒度的量化可视指标。

“双碳”目标下，建设绿色节能的算力中心，是有效推动数字经济发展和节能减排协调统一的重要举措。随着算力中心数量的快速增长，算力中心从粗放向高质量发展转变的过程中，如何高效地提供算力、持续提升整体能效比，也是当下建设方关注的核心问题。服务器作为算力中心的三大基础设施之一，是构建算力中心的核心要素，整体功耗能占到总能耗的40%-50%。服务器技术水平将直接影响到算力中心的绿色低碳程度，加强服务器自身节能降耗至关重要。

（一）绿色算力需要科学的评测方法

在数字经济高质量发展的驱动下，服务器作为算力提供的基础设施，为满足用户评判服务器低碳节能水平的需求，需要有效评估服务器的算力碳排比。

通过引入绿色算力概念，引导从整机层面进行高质量设计与优化；通过绿色算力评测标准，科学计算出服务器对应的绿色算力水平。绿色算力从多维度代表了服务器算力/碳排水平，为服务器绿色发展指明方向。

（二）绿色算力评测工具的现状与需求

服务器节能标准在引导行业节能技术发展过程中起到非常关键的作用，但随着节能技术的发展以及市场应用的变化，现有节能标准的指标约束作用逐渐降低。一方面，能效指标偏低，失去了对不同产品的评测价值；另一方面，能效标准评测的内容与实际应用有差距，不能覆盖市场主流应用的需求，失去对用户的参考价值。在此背景下，新的绿色算力评测指标亟待推出。

绿色算力评测应能直观展现服务器的碳排放及算力水平，考虑到服务器碳排曲线与算力并不线性耦合，以单一场景下算力/碳排的方式评估该服务器的绿色算力是不严谨的，服务器的运行状态应该覆盖待机、低负载、较高负载、极限负载，并将不同负载下的算力/碳排水平进行整合加权获取整体量化数值。

同时，影响服务器碳排的因素众多，包括散热方式、CPU、内存、存储、网卡、业务负载等，因此绿色算力评测时需要将服务器作为有机整体进行评估，过于单一的压力负载对整体的绿色算力水平评估是不够的，评测负载需要能够尽量模拟用户使用场景，并按照不同负载下的应用场景与压力值进行负载规划。

绿色算力的评测，应保证其公平性、可比较性，评测工具应能给出服务器的直观绿色算力量化值，该数值在不同平台或不同硬件配置下取得的结果应能进行直观的对比，且评测方法不应随服务器架构、平台变化，以保障用户可以简单地通过数值了解被测服务器的绿色算力水平。

目前一些主流的绿色算力评测软件及现有评测体系，均无法完全满足上述评估要求，如下表所示。

	介绍	不足
SPEC Power、SERT、BenchSEE	使用基于CPU性能评测为主的压力负载，同时兼顾对部分其他部件测评模块，测评中通过不同压力水平下的功耗表现对服务器能效水平进行评估	压力负载较为单一，对用户日常使用场景的模拟不完善，对网络、存储等方面的测评不足，平台兼容性支持不足
SPECLOUD、SPECvirt、SPEC CPU	在测评中通过抓取功率的方式，获取在整体测评中服务器的功耗水平	通常无法模拟服务器在不同负载水平下的能效表现

综上所述，绿色算力评测体系在设计时应满足以下要求：

1. 压力负载的选择上，考虑到用户的使用场景不同，压力负载应保证多样化，在评估服务器通用计算能力的基础上，兼顾到存储、网络、AI、HPC等不同使用偏好的用户在实际应用场景中的环境部署状态。
2. 确定压力值时，不能以固定压力值下的碳排水平去评判，待机、低负载、较高负载、极限负载等场景都应该纳入考量，绿色算力测评需要为用户提供不同压力值下服务器的碳排水平，有助于用户根据自身使用情况进行相应的评估。
3. 评估各评测场景得分比重时，应结合多数用户日常使用场景，保证评测场景尽可能地贴近用户实际情况，同时，应为用户提供评测场景的选择权，用户可以按自身需求选择实际使用的评测场景，从而获取更贴近自身需求的绿色算力评测结果。
4. 应支持不同硬件平台，减少用户的部署安装难度，评测工具应以完整封装方式提供用户使用，减少用户对相关依赖软件和环境的下载与更新工作，同时，应减少用户对工具和软件的定制化操作，限制用户对评测软件工具的过度调整干预，从而最大限度的保证评测结果的公平性。

（三）绿色算力评测要点

（1）严格评测算力碳排比

国内外现有标准未针对碳排水平进行评测，不符合当前碳达峰、碳中和的战略趋势，也忽略了算力产出最根本的基石——服务器。绿色算力将数字计算的低碳方案直接定位到服务器单元，从基石单元出发，关注产品在使用周期内的算力碳排比，定义服务器在各业务场景下的算力和碳排评估方案。

为完善现有标准体系，推广“绿色”服务器概念，评测标准应具备“精准、环保降碳、可靠、开放”等特点。

“精准”：细化、准确且有效地评估服务器在使用时的真实绿色计算能力。

“环保降碳”：在硬件设备、软件、信息服务等方面，都以“环保降碳”为主要目标。

“可靠”：包括物理可靠性和环境可靠性，是确保硬件设备和软件系统长期稳定运行的重要保障。

“开放”：与国际标准接轨，体现开放、兼容、透明的发展理念和趋势。

（2）跟进国际权威标准

国际能效标准ISO/IEC 21836:2020用于测量和评估服务器算力、碳排的工具集。绿色算力标准体现的是服务器的碳排算力比，简言之是服务器在完成一定的算力输出时所产生的碳排。标准应全面衡量服务器的CPU、内存、存储整机性能，同时监控收集服务器的碳排情况，最终输出服务器性能碳排报告。随着节能减排的重要性不断提升，绿色算力标准将会成为衡量服务器碳排和算力的重要标准。

参考国际权威组织统一标准，对标国际成熟标准完善绿色算力评估体系，有利于建立健全绿色算力标准和评测体系，支持多架构、多产品形态，突出兼容性、架构先进性、以及评价标准的科学性。

（四）绿色算力评测意义

有利于高质量设计及规划：为实现绿色低碳的服务器，从设计之初秉承节能降耗绿色低碳理念，将绿色可持续发展理念融入到产品的研发、生产、使用等全生命周期。

有利于各部件的全栈优化：为打造绿色低碳服务器，需从全栈的角度进行各部件协同设计与优化，对CPU芯片、硬盘、风扇、电源作整体优化，并通过算法、软件运行时、网络通信、芯片指令等多方面的优化措施，有效实现算力提升，提升算力碳排比。

有利于智能基础软件的发展：结合服务器智能管理平台，实现智能功耗封顶功能；可大幅提升硬件上的节能表现，利用基础软件充分释放芯片和硬件系统算力。

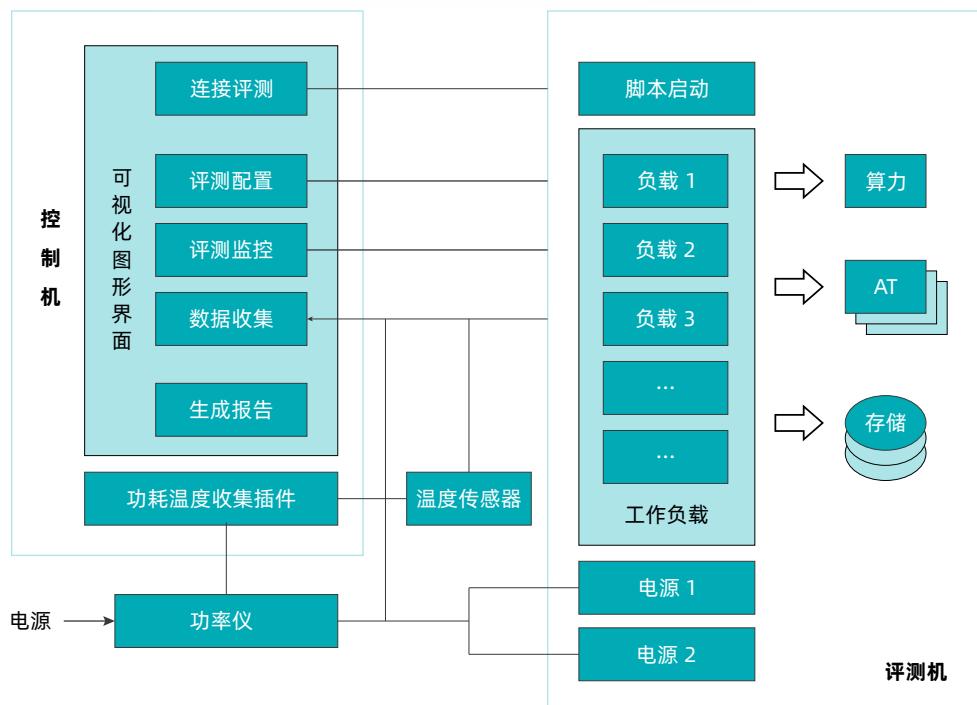
有利于细化算力场景，减少算力资源浪费：绿色算力标准针对性强，可以提供不同使用场景下的评测方法，如通用计算、云、存储、AI/HPC等，在用户利益最大化的方案下实现算力、碳排的评估，引导用户根据业务场景选择最优的整机或集群配置，减少因算力溢出导致的碳排放量增加。

（五）绿色算力评测体系

为精准计算服务器算力和碳排水平，协助算力中心节能减碳，参考国际能效标准ISO/IEC 21836:2020，构建了绿色算力评测体系。

（1）绿色算力评测拓扑结构

绿色算力评测拓扑结构如下：



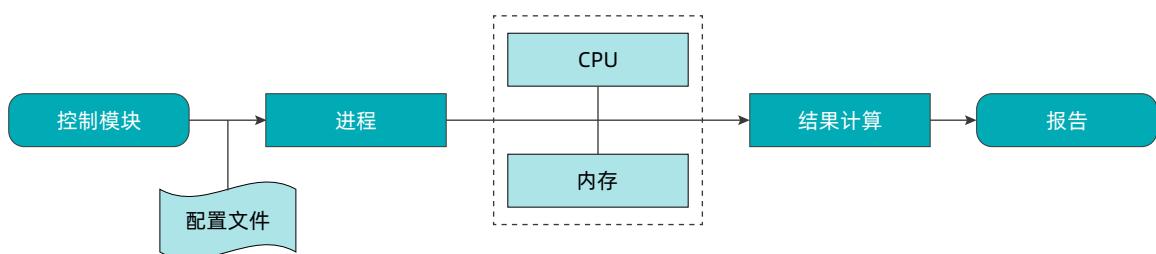
1. 控制机：部署评测工具，发起评测，监控评测过程，收集评测结果，输出报告；
2. 评测机：部署评测工具，连接控制机，运行评测负载；
3. 功率仪：连接评测机，统计评测功耗；连接控制机，提供功耗数据输入；
4. 温度传感器：连接控制机，提供环境温度数据输入。

(2) 绿色算力评测框架

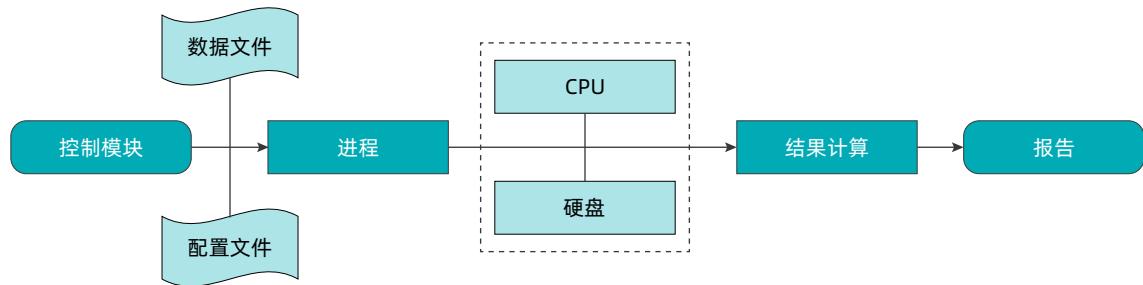
在控制机和评测机部署绿色算力评估工具后，可选择不同评测场景开始评测，控制机控制评测机进行压力评测同时监控评测状态，并收集评测结果最终输出评测报告。

结合当前服务器实际应用场景及通用负载模型，绿色算力评测分为三类，通用算力类、数据存力类和AI算力类。

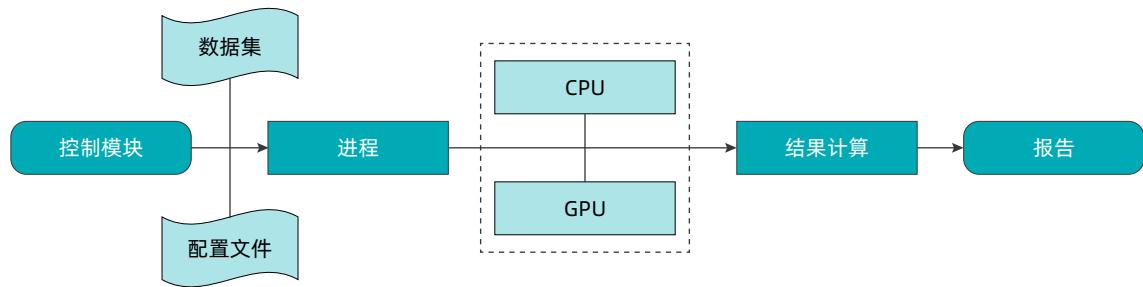
通用算力类评测框架如下：



数据存力类评测框架如下：



AI算力类评测框架如下：



(3) 绿色算力评测集

绿色算力各评测场景对应的评测负载及评测方法如下表：

评测场景	评测负载	评测方法
通用算力类	压缩解压缩	压缩工作负载使用改进的Lempel-Ziv-Welch方法(LZW)压缩和解压缩数据
	加密解密	加密AES工作负载使用AES(或DES)块密码算法加密和解密数据
	哈希转化	使用SHA-256工作负载利用标准Java函数对字节数组执行SHA-256转换
	矩阵运算	使用部分主元消元法计算密集矩阵的因式分解。执行线性代数核(BLAS)和密集矩阵运算
	线性方程	使用有限差分应用程序中的典型访问模式,例如,用Dirichlet边界条件求解二维拉普拉斯方程
	排序算法	在每个事务期间对随机的64位整数数组进行排序
	并发操作	模拟在线事务处理(OLTP)工作负载,基于服务器端Java应用,评测CPU、缓存和内存。
	内存带宽评测	通过数组操作来测量内存带宽
	内存容量评测	执行Java类型的XML验证包事务
数据存力类	随机读写	使用Random随机读写
	顺序读写	使用Sequential顺序读写
	大容量评测	依照被测机存储空间总量进行加权计算
	带宽、延迟评测	评测存储系统极限带宽及块规模下最低延迟
AI算力类	图形识别	使用Resnet50进行图形识别运算
	自然语言处理	使用bert-large进行自然语言处理性能评测

(4) 绿色算力计量

绿色算力 (GrCC (Green Computing Carbon)) 单位定义：算力除以碳排放，数据相对值越高，表示评测机在单位碳排放下能够输出的算力越高，服务器更“绿色”。

以GrCC的结果作为绿色算力的计量标准，计算逻辑为：由总到分，GrCC由通用算力类 (Eff Compute)、数据存力类 (Eff Storage)、AI算力类 (Eff AI) 三大评测场景通过加权几何平均值计算得出，而每类评测场景的绿色算力 (Effworkload) 由各自工作负载的绿色算力 (Effworklet) 进行几何平均值计算得到，每个工作负载的绿色算力 (Effworklet)，由各压力值下的单位碳排算力 (Effload) 进行几何平均值计算得到，每个单位碳排算力 (Effload) 由性能值、功耗值、电力碳排放因子、评测时长来计算得到。

由分到总，各计算公式如下：

单位碳排下提供的算力Effload，按照公式（1）计算：

$$\text{Effload} = \text{Per}/(\text{Pw} * \text{CEF} * \text{T}) \quad (1)$$

Per为每个负载每个压力值下的性能数据；

Pw为该压力值下对应的整机功耗数据；

CEF为电力碳排放因子，指单位电量的碳排放水平，排放因子法是目前适用范围最广、应用最为普遍的方法。2022年度工信部核算值为0.5810 tCO2/MWh；

T为单负载单压力值评测时长，评测记录该压力值开始运行时间tb和结束时间ts， $T=ts-tb$ ；

每个工作负载的绿色算力Effworklet，按照公式（2）计算：

$$\text{Effworklet} = \exp(1/n \times \sum_{i=1}^n \ln(\text{Effload } i)) \times 1000 \quad (2)$$

i表示工作负载对应的第几个压力值；

n表示每个工作负载下一共有几个压力值；

乘以1000是为使得分方便阅读及计算；

每个工作负载下对应的不同压力值预设如下表：

评测场景	工作负载	压力值	n取值
通用算力类	压缩解压缩，加密解密，哈希转化，矩阵运算，线性方程，排序算法	100%, 75%, 50%, 25%	n=4
	并发操作	100%, 87.5%, 75%, 62.5%, 50%, 37.5%, 25%, 12.5%	n=8
	内存带宽评测，内存容量评测	100%, 50%	n=2
数据存力类	随机读写，顺序读写	100%, 50%	n=2
	大容量评测	1T/2T/4T/8T	n=1
	带宽、延迟评测	1T/2T/4T/8T	n=2
AI算力类	图形识别	100%	n=1
	自然语言处理	100%	n=1

每个评测场景的绿色算力Effworkload, 按照公式 (3) 计算:

$$\text{Effworkload} = \exp(1/m \times \sum m_i = 1 \ln(\text{Effworklet } i)) \quad (3)$$

i表示每个评测场景下的第几个工作负载;

m表示每个评测场景下一共有几个负载;

每个评测场景下对应的工作负载数量预设如下表:

评测场景	工作负载	m取值
通用算力类绿色算力 Eff Compute	压缩解压缩, 加密解密, 哈希转化, 矩阵运算, 线性方程, 排序算法, 并发操作, 内存带宽评测, 内存容量评测	m=9
数据存力类绿色算力 Eff Storage	随机读写, 顺序读写, 大容量评测, 带宽、延迟评测	m=4
AI算力类绿色算力 Eff AI	图形识别, 自然语言处理	m=2

绿色算力GrCC (Green Computing Carbon) 按照公式 (4) 计算:

$$\text{GrCC} = \exp((0.5 * \ln(\text{Eff Compute}) + 0.3 * \ln(\text{Eff Storage}) + 0.2 * \ln(\text{Eff AI}))) \quad (4)$$

其中, Eff Compute、Eff Storage、Eff AI权重为: Eff Compute: 50%, Eff Storage: 30%, Eff AI: 20%;

第五章

绿色算力发展趋势及建议

（一）发展趋势

绿色算力的实现，主要有两个方向。一是降低算力平均能源消耗，二是通过提升计算效率，缩短计算时间减少能源消耗。基于此目标，绿色算力的发展呈现三个趋势。

一是算力技术或成绿色算力落地新机遇：从CPU到通用网络，再到边缘侧的AI加速，计算架构不断演进。目前CPU及通用网络的性能已接近极限，GPU、FPGA等算力芯片的能效提升也很有限。因此，以NPU、TPU、DPU、IPU等异构芯片为代表的异构计算有望成为绿色算力落地的关键技术。

二是算力服务逐步普及将极大提升算力利用效率：算力服务化的目标，是将域内、域间算力及其支撑基础设施转化为灵活、易用的能力，从全国视角，面向算力需求提供调度能力，盘活闲散资源。同时配合“东数西算”工程进一步提升算力需求并发处理能力，通过缩短计算时长降低能源消耗，推动绿色算力的实现。

三是人工智能技术在绿色算力、算法效果逐步显现：利用AI技术，实现基础设施智能管理，助力绿色算力、算法深度融合产业，构建性能更优、功耗更低的大模型训练，开放行业应用。AI算法与绿色算力、算法的融合，可实现超低功耗、低成本，让绿色算力、算法真正落地。

（二）发展建议

基于绿色算力发展现状，为引领算力领域走向高效、低碳、集约、循环的绿色发展道路，建立碳达峰和碳中和有效路径，推动全行业低碳转型绿色化发展，提出以下建议：

（1）做强支撑，提升异构算力应用水平

随着异构计算技术的进一步发展，硬件设备之间的协同设计和优化也将成为未来异构计算技术的重要发展趋势。在未来异构计算的发展过程中，软硬件协同设计和优化将成为主要趋势。硬件设备之间的协同设计和优化，可以进一步提高计算性能，同时也可以降低功耗；软件与硬件之间的协同设计和优化可以进一步提高系统性能，降低功耗；软硬件协同设计和优化可以进一步提高系统能效。

同时从异构计算发展来看，高性能和高效能是其两大核心指标，而在未来的绿色算力发展中，高性能、高能效和低成本三大发展方向将是其主要的发展趋势。随着技术的进一步发展，未来异构计算在绿色算力中将扮演越来越重要的角色。

（2）协同发展，保障域内域间算力按需调度

“十四五”期间，绿色算力的发展将以“统筹优化、协同发展”为主线，强调统筹国内算力资源和国际算力资源，以及各行业算力需求，通过算力供给侧结构性改革，形成更大规模、更高效率的算力供给体系。当前，我国算力市场规模快速增长，算力中心规模持续扩大，但电力能源消耗过大、能源利用效率偏低的问题也日益突出。对于绿色算力而言，必须进一步推动算力集约化、智能化、绿色化发展。

（3）科创赋能，推动绿色算力技术成熟

绿色算力技术的发展在推动绿色算力实现的同时，也促进了科技创新，技术迭代与产品应用，推动绿色算力产业规模的扩大。从科技创新看，绿色算力技术将不断提升资源利用效率，提高能源使用效率。据中国信通院预测，到2025年，我国算力总体市场规模将超过7500亿元；到2030年，我国算力总体市场规模将超过1万亿元。绿色算力技术将推动电力电子、大数据、人工智能等技术进一步融合创新，促进“1+N”算力基础设施协同发展。

从技术迭代来看，绿色算力技术将不断实现迭代升级。算力的发展受到能源、电力、制冷等多方面因素影响，这就需要不断推进绿色算力技术创新发展，加快在新型绿色节能技术、新型制冷系统等领域取得突破，推动我国绿色算力技术的成熟。

（4）凝神聚力，打造标准化绿色算力路线

以绿色算力、人工智能深度融合产业。通过引入绿色计算概念，实现算力与产业深度融合，构建更加节能、更有竞争力的算力基础设施，促使各行业的产业升级，加速新经济发展。

以绿色算力标准赋能产业融合。加快推广绿色算力技术成果应用，探索节能减排和低碳化的具体实现路径；面向不同行业需求和特点，将绿色算力纳入行业标准体系和技术规范中；通过标准化工作推动“新基建”高质量发展，加快算力基础设施智能化、绿色化进程。