



数 据 中 心 智 算 化 升 级 改 造 白 皮 书 (2024 年)

中国通信工业协会数据中心委员会

中国计量科学研究院

北京电子数智科技有限责任公司

中国质量认证中心有限公司

2024 年 12 月



作者与鸣谢

主编单位（排名不分先后）

中国通信工业协会数据中心委员会

中国计量科学研究院

北京电子数智科技有限责任公司

中国质量认证中心有限公司

参编单位（排名不分先后）

海光信息技术股份有限公司

广东合一新材料研究院有限公司

北京玥数科技有限公司

中建三局第一建设工程有限责任公司

中讯邮电咨询设计院有限公司

兰洋(宁波)科技有限公司

科华数据股份有限公司

联想(北京)有限公司

浙江洁普智汇能源科技有限公司

三河同飞制冷股份有限公司

深圳市共济科技股份有限公司

润建股份有限公司

鸣谢

我们向为白皮书提供指导和建议的企业和研究机构的专家们表示诚挚的感谢。

前言

在人工智能高速发展的浪潮中，数据中心作为信息时代的基石，已成为推动经济社会发展、提升国家竞争力的关键一环。在政策层面，为了迎合智算产业的发展，在规划智算中心建设的同时，也积极推动传统数据中心向智算中心的演进。通过业务层级改造，使数据中心业务由提供通用算力向提供智能算力升级。同时，通过基础设施层级提质增效，使数据中心向智能化、高效化、绿色化方向转型升级。

目前，数据中心正从提供基础计算资源向提供智能化、一体化的 AI 算力服务方向快速演进。北京电子数智科技有限责任公司（简称“北电数智”）通过打造具备算力、算法、数据全栈 AI 能力的“AI 工厂”，实现高性能硬件基础设施、多元算力统一纳管和算力灵活调度、不同模型适配加速、国产算力场景验证等全栈式智算服务。以精细化运维的方式提供极具性价比的算力服务，以云化方式将传统算力服务升级为集成底座大模型、行业大模型、一栈式 AI 工具链等配套服务的“AI 工厂”，降低各类用户使用人工智能的门槛。同时，联合中国计量科学研究院等单位开展《数据中心智算化升级改造白皮书》的编制工作，立足于当前数据中心智算化升级的背景与意义，深入探讨了数据中心基础设施智算化升级面临的挑战，提出可行的技术解决方案。此外，提出在实施改造前进行预评估，可帮助智算化升级改造践行者进行工程可行性研究。为了明确智算化升级改造效果的评价体系，白皮书针对性能、经济性、环境等方面提出评估指标体系与测试评价方法，填补数据中心智算化改造方面评价准则缺失的空白。

然而，智算化改造之路并非坦途，它面临着技术、标准、生态等多方面的挑战。传统数据中心建设方案存在诸多局限，如设备兼容性、能源效率、标准化程度等问题，需通过技术创新和标准化建设逐步解决。同时，随着算力需求的多样化，智算中心的应用场景日益广泛，从高新技术、产业数字化转型到移动消费及智能终端，无一不显示出算力赋能的广阔前景。通过本白皮书的洞察与建议，我们期待能为数据中心行业的智算化转型提供有益的参考，共同推动数据中心向更加智能、高效、绿色、安全的未来演进。

目 录

第一章 背景与政策	1
1.1 数据中心智算化演进.....	1
1.2 智算中心发展趋势.....	4
第二章 现状与挑战	7
2.1 数据中心现状分析	7
2.2 AI 发展带来的挑战.....	10
第三章 预评估与分析	15
3.1 现有资源评估.....	15
3.2 需求与业务分析.....	16
3.3 技术可行性评估.....	16
3.4 成本与效益分析.....	17
3.5 风险评估与应对策略.....	18
第四章 技术策略与方案	19
4.1 空间优化.....	19
4.2 保障提升.....	20
4.3 AI 赋能.....	23
4.4 可持续发展.....	24
第五章 测试评价体系	26
5.1 测评指标体系.....	26
5.2 测评方法与工具.....	28
第六章 结语	36

第一章 背景与政策

1.1 数据中心智能化演进

1.1.1 背景与政策分析

当前，数据中心的算力算效现状正经历着深刻的变革，这是由技术进步、政策导向和市场需求共同驱动的结果。一方面，随着云计算、人工智能、大数据等信息技术的快速发展，数据中心的算力需求呈现出爆发式增长，对于计算效率和能源效率提出了更高要求。另一方面，政策层面的引导和规范，如“十四五”规划中对数据中心绿色化、智能化的强调，以及国家对算力基础设施建设的高度重视，促进了数据中心向更高效、更绿色的方向发展。

2017 年，国务院提出建设“高效能计算基础设施”，首次对数据中心提出“高效能”的要求。2020 年 4 月，国家发改委首次将智能计算中心作为算力基础设施的重要代表纳入信息基础设施范畴。2022 年 2 月，“东数西算”工程全面启动，算力基础设施成为重点建设方向之一。2023 年 10 月，工信部等 6 部门联合下发的《算力基础设施高质量发展行动计划》明确提出未来要结合人工智能产业发展和业务需求，推动算力+行业融合发展，逐步合理提升智能算力占比，力争 2025 年达到 35%。2023 年 12 月，国家发改委等 5 部门出台的《深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》更是凸显了智能算力的关键引擎定位。一方面要求引导各类算力建设和算力使用向枢纽节点集约，促

进多元异构算力融合发展，加快实现智能算力资源供需平衡；另一方面明确提出提升智能算力在人工智能等领域适配水平，增强计算密集型、数据密集型等业务的算力支撑能力。在上述一系列政策的支持下，智算战略地位得到不断提升。

近年来，地方针对人工智能发展陆续出台了数十项指导方案和激励政策，提出加强算法创新与应用、推动算力基础设施建设、创新智能算力应用场景等关键举措，基本完成政策部署，人工智能发展环境体系初成。

北京、上海、深圳等多个重点省市以算力体系建设为抓手推动人工智能服务体系建设，其中，北京侧重存量数据中心进行智算体系化提升，上海侧重统筹资源以 AI 赋能新型基础设施，深圳侧重算力集群式供给，打造算力枢纽和智算平台。以北京市为例，仅 2024 年就相继发布了《北京市存量数据中心优化工作方案（2024-2027 年）》和《北京市算力基础设施建设实施方案（2024-2027 年）》，旨在引导存量数据中心完成绿色低碳改造，转型为智能算力中心，促进绿色电力消纳，提高存量数据中心能效、碳效水平，并提出一系列奖励措施。

当前数据中心的算力算效现状正经历着从传统模式向 AIDC 的转型，技术创新和政策导向正逐步解决早期建设中出现的问题，推动数据中心向更高效、更绿色的发展方向迈进。随着算力需求的多样化和政策环境的持续优化，数据中心的算力算效将得到进一步提升，为数字经济的繁荣发展提供坚实的基础支撑。

1.1.2 数据中心智能化机遇

在人工智能（AI）引领的科技革命中，数据中心作为算力基础设施的核心，正面临着前所未有的挑战与机遇。AI 技术的广泛应用，尤其是深度学习、自然语言处理、计算机视觉等领域的突破，极大地推动了智能决策与自动化流程的发展，从而对数据中心的算力提出了前所未有的要求。

从理论基础来看，AI 技术，尤其是深度学习模型，依赖于大规模数据集进行训练，以实现模型的优化与泛化能力。这种数据密集型的学习方法，要求数据中心拥有高并发、高带宽的网络环境，以及强大的计算资源，以支持大规模的并行计算任务。此外，随着 AI 模型的复杂度不断提高，数据中心需要提供更高效能的 GPU、TPU 等专用加速芯片，以加速计算过程，减少训练时间。

从应用场景来看，AI 技术在图像识别、语音识别、自动驾驶、医疗健康、金融风控等诸多领域展现出了广阔的应用前景。这些应用场景对数据中心的算力提出了多样化的需求。例如，在自动驾驶领域，实时的数据处理与分析能力至关重要，要求数据中心不仅提供强大的计算能力，还必须确保低延迟的网络连接。在医疗健康领域，AI 技术用于疾病诊断、药物研发等，对数据的精准分析与处理能力要求极高，进一步推高了对数据中心算力的需求。

政策层面，国家对 AI 技术的重视也影响了数据中心的算力布局。《新一代人工智能发展规划》等政策文件，明确提出要加强 AI 基础设

施建设，推动数据中心的算力提升与智能化升级。政策的引导下，数据中心正逐步转型为 AI DC，即专注于 AI 计算任务的数据中心，它们不仅拥有更强大的算力，还集成了 AI 优化的软件与算法，以实现更高效的计算资源调度与利用。

技术环境的革新也在推动数据中心算力的升级。例如，算网协同技术的发展，使得数据中心能够根据 AI 任务的需求动态调整算力资源，实现资源的优化配置。此外，边缘计算技术的普及，使得数据中心能够将一部分计算任务下放至边缘节点，减少数据传输延迟，进一步提升了 AI 应用的响应速度与用户体验。

人工智能对数据中心算力的需求正驱动着数据中心的智能化升级。从理论基础、应用场景到政策导向，数据中心正逐步从传统的计算与存储中心，转型为支持 AI 计算任务的智能数据中心，其算力算效的提升，不仅为 AI 技术的广泛应用提供了坚实的基础，也为数字经济的蓬勃发展注入了强劲动力。

1.2 智算中心发展趋势

智算中心作为推动数字时代创新与发展的关键基础设施，正经历着前所未有的转型与升级。在技术、政策、市场需求等多重因素的驱动下，智算中心的发展趋势呈现出鲜明的特征与方向。

（1）技术驱动下的演进

技术的革新是智算中心发展的核心动力。随着 AI、云计算、大数据等技术的融合与突破，智算中心正从传统数据中心向 AIDC（人工智能数据中心）转变，其技术演进路径展现出以下几个关键趋势：

算力升级与优化：智算中心不断提升 GPU、TPU 等专用加速器的集成度，改善计算架构，以满足 AI 模型训练与推理的高性能需求。同时，通过算网协同技术，实现资源的智能调度与优化配置，提升算力服务的灵活性与响应速度。

智能化运维与安全：智能化运维技术的引入，如 AI 运维、自动化运维平台，提升了数据中心的运维效率与响应速度，降低了运维成本。同时，构建多层次的安全防护体系，加强物理安全、网络安全与数据加密，有效应对不断演化的安全威胁。

（2）政策导向下的规范与激励

政策环境对智算中心的发展起着至关重要的规范与激励作用。国家层面的政策文件，如“十四五”规划、《新型数据中心发展三年行动计划》等，明确了智算中心绿色化、智能化的发展方向，鼓励技术创新与标准化建设，为智算中心的转型升级提供了政策支撑。

算网协同发展政策的出台，推动了算力资源的优化配置与智能调度，促进智算中心向更高效、更灵活的服务模式转变，为数字经济的发展提供了强大的算力支撑。

（3）市场需求下的多样化响应

智算中心的发展趋势还受到市场需求的深刻影响。从高新技术、产业数字化转型到移动消费与智能终端，智算中心的应用场景日益广泛，

对算力的需求呈现出多样化、个性化的特点。传统数据中心正逐步摆脱单一的计算与存储模式，向提供泛在普惠算力服务的基础设施演进，全面赋能企业生产、运营与管理的各个环节。

智算中心的发展趋势是技术革新、政策导向与市场需求共同作用的结果，其未来将更加高效、绿色、安全与智能化。通过技术创新与标准化建设，智算中心正逐步克服早期建设中的局限与挑战，成为推动数字经济发展的核心力量。随着政策环境的持续优化与市场需求的不断演进，智算中心将迎来更加广阔的发展前景，为构建数字中国的智算基础设施奠定坚实基础。

第二章 现状与挑战

2.1 数据中心现状分析

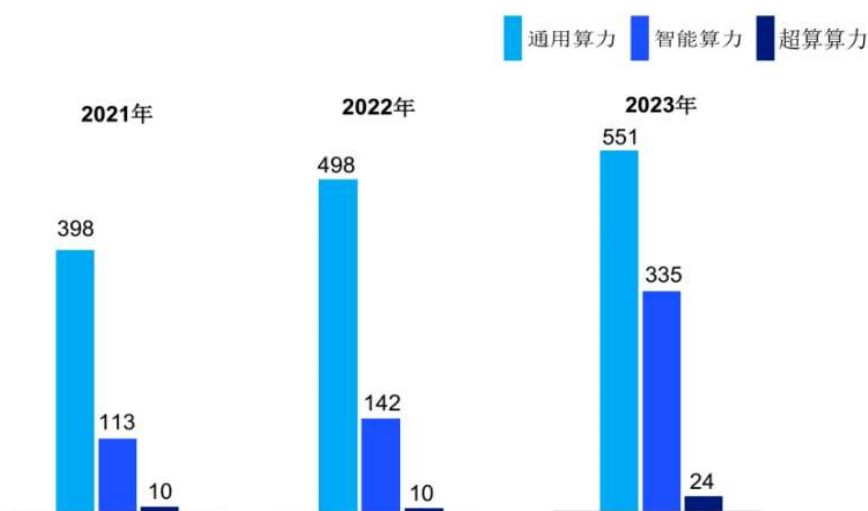
数据中心是数据存储和计算的中心，网络通信的枢纽。据《数据中心应用发展指引》统计，数据中心有 55.5% 接入骨干网。数据中心接入核心网络主要是出于客户对带宽和速率的需求考虑，而节点也分布在我国核心城市，大量的数据从城市、基站汇聚到数据中心进行处理、存储及传送。用户对流量使用习惯的逐步养成，对网速的高要求，推动网络流量快速增长，从而带动数据中心迅速发展。

随着数字经济时代的到来，数据成为新的生产资料，而算力则成为新的生产力。在万物互联的背景下，数据量爆炸式增长，对算力的需求达到前所未有的高度。2021 年，我国开启“东数西算”工程，涉及京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等 8 个地区，并规划了 10 个国家数据中心集群，旨在形成高效的数据处理和传输网络，为满足智能算力的快速增长需求和数据中心向智算中心的发展奠定基础。截至 2023 年底，我国算力总规模达到 230EFLOPS，其中智能算力规模达到 70EFLOPS。“东数西算”干线光缆规划已超过 180 条，骨干网互联带宽扩容到 40T，全国算力枢纽节点时延 20ms 时延圈已经覆盖全国主要城市。



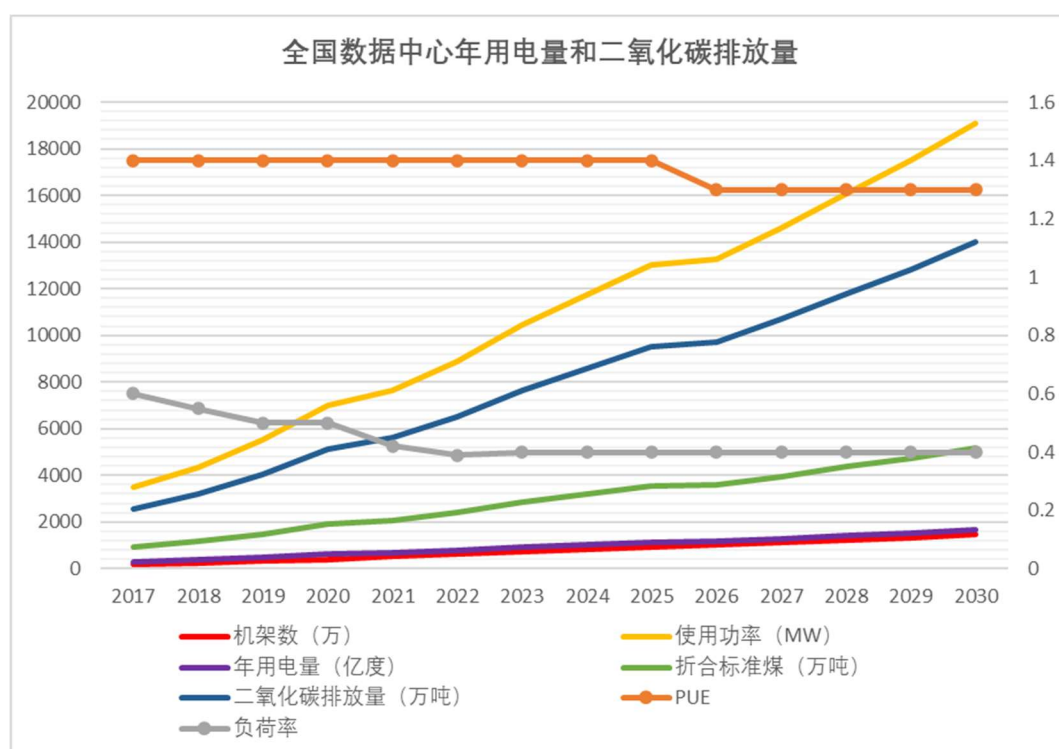
投资方面，数据中心成本包括投资成本和运营成本，初始一次性资本支出高。资本投入中，大部分资金占比用来购置 IT 设备，包括服务器数据存储设备、带宽资源等高价值软硬件设施，数据中心建设资金需求高。同时，地理位置是行业竞争的关键，也与其提供的服务质量和成本密切相关。受客户分布不均影响，同时为了满足主要客户对低时延、高可靠的要求，数据中心企业大规模布局一线城市。中国数据中心大平台数据显示，我国数据中心主要分为三个层级：一是北上广三地需求集中区，数据中心约占全国份额的 26%，该层级主要特征为算力需求集中，能源与资源条件较为紧张；二是环一线城市数据中心产业带，即环一线的二三线城市数据中心，该层级的主要特征是能源价格和 IDC 建设运营成本相对一线城市较低；三是西部算力支撑保障区，该层级的主要特征是土地、能源、气候等条件良好，异地算力支撑能力较强。

算力方面，近年来，我国智算产业随着算力产业的发展快速增长，政府鼓励企业进行智算中心技术研发与服务能力的提升，智算中心应用与产业化成果显著。2024 年政府工作报告中明确提出：适度超前建设数字基础设施，加快形成全国一体化算力体系，培育算力产业生态。如下图所示，截至 2023 年底，全球算力总规模约达 910EFLOPS，同比增长 40%；智能算力规模达 335EFLOPS，同比增长幅度达到了 136%，其增速远远超越了算力整体规模的增速。通过“东数西算”等工程的实施，可满足社会对智能算力的基本需求，而传统承载的通用算力的增长趋势逐渐放缓，存量通用算力向智能算力升级将成为传统数据中心未来面临的



能源利用与碳排放方面，目前数据中心的能耗问题阻碍了其自身的发展与节能社会的构建，尤其是在北上广深等一线城市，面临着数据需求旺盛和能耗“双控”要求严格的矛盾，新建数据中心指标越发难以获取。据不完全统计，全国数据中心总规模已超过 650 万架（折合标准机柜/2.5kW），近 5 年年均增速超过 30%。根据国家能源局、国家统计局、

工信部统计数据显示并测算，至 2030 年全国数据中心用电量、碳排放量与 PUE 测算值如下图所示，全国数据中心以 2025 年为界，2025 年之前平均 PUE 为 1.4，2025 年开始，平均 PUE 将降至 1.3 以下。此外，到 2030 年，中国数据中心用电量将达 1500 亿度，降低绝对能耗和碳排放将成为数据中心智算化演进的重要组成部分。



2.2 AI 发展带来的挑战

随着人工智能对数据中心智算能力的要求不断提升，传统数据中心也在诸多方面迎来挑战。

(1) 机柜功耗高密度挑战

为满足大量智算业务需求，通常需要建立高度集中化的 GPU 集群，而 GPU 芯片的算力在不断提升，其功耗和散热量也在不断攀升，数据

中心单机柜的热密度大幅度的快速提升，因此，面对日益增长的智算化需求，数据中心将面临单机柜功耗高密化的挑战。

通常人工智能（AI）服务器由多卡 GPU 或 NPU 模组构成，每台服务器的功耗在 5kW~10kW。单机柜功耗从传统数据中心的 4~6kW 的逐渐增加至 20~40kW，未来逐步发展至 40~120kW 甚至还要更高，智算中心机柜呈现高密度化趋势。这将导致在 IT 负载和市电引入规模上产生巨大提升，也意味着将消耗更多的能源，同时也对资源产生众多新的挑战，在建于其他建筑内的附属类机房和城市中心区的数据中心则更为明显。

（2）负载动态冲击挑战

传统数据中心上线运行以后，负载相对比较平稳，很少有极端情况负载波峰或谷底出现，而智算业务的负载运行特点是不断进行训练任务来进行高速运算，当开始训练任务时，负载将会迅速上升到比较高的功耗值，甚至会达到负载的极限值，而等到这次训练任务结束以后，它的负载又会迅速下降，降到最低值。因此，智算业务的负载波动情况非常大，呈现出新的动态负载特性，其主要表现为周期性、大幅度、并发性、瞬时冲击等，这种特性对于智算中心的配电和制冷都是一个很大的挑战。

周期性：智算负载呈现周期性波动，波动频率从分钟级到小时级不等。

大幅度：智算负载功耗波动幅度可能超过额定功耗的 80%，即智算中心的负载功耗可能从 10%快速突变至 80%，甚至爆发性增长至 100%。

并发性：人工智能（AI）大模型具有并发运算的特点，故整体集群性总功耗呈现出动态快速变化。

瞬时冲击：某些算力模型可能出现 $400\mu\text{s}\sim 50\text{ms}$ 左右的负载冲击，幅度可能达到额定负载功耗的 150%，它取决于 POD 运算模型及软件算法。

（3）低碳高效挑战

由于算力需求导致单机柜功耗的大幅提升，必将带来能源与资源更多的消耗，传统数据中心向智算中心演化的进程中，如何实现算力与算效双提升、性能与绿色双目标将成为数据中心高质量发展的关键环节。

在数据中心向智算中心演化的过程中，为满足低碳高效发展，可能涉及周边环境与资源的评估、建筑的合理布局、结构设计、电气链路架构设计、制冷系统设计、新能源/储能系统应用评估以及智能化能源与资源管理等诸多环节，而每一环节都是对传统数据中心的挑战。对于城市周边的独立数据中心和异地算力支撑的园区级数据中心在实现智算化能力的同时，保证合理利用资源、实现低碳高效发展将成为其新的挑战。

（4）投资与运维成本挑战

数据中心算力化改造涉及的成本可划分为两大类：资本支出（Capital Expenditure, CapEx）和运营支出（Operational Expenditure, OpEx）。资本支出主要关乎数据中心物理基础设施的升级，如服务器、存储设备和网络硬件，这些通常需要一次性较大投入，但能为长期运营

提供实物资产和性能保障。硬件升级过程中，需细致评估性能与成本的平衡点，尤其在处理器、内存和存储介质等关键组件选型上，控制预算内最优配置。当前固态存储（SSD）价格下降和多核处理器性能增强，使得性价比得以改善。然而，随着硬件性能向上跳跃，系统复杂度增加，导致了维护和替换成本的提升。高密度硬件布局和专业维护为数据中心稳定性提供保障，但也带来了高昂的前期投资成本。

运营支出则更侧重于数据中心的日常运维成本和服务成本，涉及电力、冷却、安全、人力和系统软件维护等环节。电力消耗是运营支出中最大的开支之一，故采用高效的能源管理系统、实行能效优化措施，如使用节能的处理器、部署虚拟化技术降低物理服务器数量，成为降低电力成本的有效手段。另外，数据中心在追求高可用性的过程中，必须确保充足的备件供应链和快速响应的技术支持团队，以此保障服务质量和业务连续性，但这也会增加人力和管理成本。随着算力需求的增长，数据中心需要定期进行软件升级和系统优化，以提高系统的稳定性与安全性，这些维护工作虽然可以规避未来更大的损失和故障，却同样增加了短期内的运营压力。

在算力化改造中，固定成本投资对于长期性能提升至关重要，但同时硬件的快速迭代与技术升级要求数据中心持续关注市场动态，以避免投资过时的技术。此外，维护成本在运营中的占比不断上升，因为数据中心需要频繁地更新系统补丁、应对安全威胁以及处理设备故障。增长的数据量、复杂的云服务和多变的业务需求，也推高了数据中心对于专业技术人员的依赖，从而加剧了人才成本。为了控制成本，数据中心运

营商应用诸如容量规划、性能管理及自动化运维工具等技术手段。容量规划能够帮助数据中心评估未来的资源需求，从而合理配置硬件设施，避免资源闲置和过度投资。性能管理工具允许管理员监控系统的实时运行状态，优化资源分配，提升能效比。

第三章 预评估与分析

数据中心智算化改造预评估是确保改造项目顺利实施并达到预期效果的重要环节。预评估主要针对数据中心现有资源的评估、改造需求与业务评估、技术可行性评估、成本效益分析和相应风险应对策略等。

3.1 现有资源评估

现有资源评估是对数据中心整体概况的了解,也是智算化改造的基础。智算化升级改造需尽可能利用现有资源实现改造目的,主要包括以下方面:

外部资源:对周边环境、能源、交通等条件进行评估,同时需结合当地规划、地区定位、周边城市资源进行深入调研,特别是电力容量等支撑智算中心基础业务的相关资源条件。

硬件资源:评估现有服务器的数量、型号、性能以及存储、网络等基础设施的配置情况。

软件资源:分析当前操作系统、数据库、中间件等软件的版本、兼容性以及是否需要升级或替换。

数据资源:评估数据的规模、类型、存储方式以及数据备份和恢复策略。

3.2 需求与业务分析

需求与业务分析既是对现有业务能力的充分梳理,也是对未来业务需求的总体把控。通过需求与业务分析,明晰业务层级的改造目标,主要涉及以下内容:

行业应用需求:结合智算中心未来业务开展行业应用需求分析,明晰未来可能发展的业务场景,如智能制造、金融科技、医疗卫生等,通过开展行业应用需求分析,评估应用前景。

业务需求:明确现有数据中心业务类型和未来数据中心需要支持的业务类型、规模以及未来的增长趋势。

算力需求:根据业务需求,分析所需的算力类型和规模。评估智算化改造可能涉及的软硬件条件。

性能要求:确定数据中心在响应时间、吞吐量、稳定性等方面的性能要求。

3.3 技术可行性评估

技术可行性评估是根据现有资源条件和改造目标,提出可行的技术方案概况,并充分评估方案的优势与风险等,主要包括以下方面:

技术方案:研究并选择适合数据中心智算化改造的技术方案,包括硬件升级、软件优化、算法改进等。重点对建筑空间、结构安全性、供电架构、环境保障系统、硬件设备运行能力等开展评估。梳理数据中心冷负荷需求,利用负荷模拟软件高精度仿真,开展逐时冷负荷精准模

拟分析；对开源设备进行能耗仿真，梳理设备运行状况和性能，分析利旧可行性；建立项目能耗仿真模型计算，评估节能空间。

此外，结合行业内现有基础设施评价技术体系，如关注于数据中心质量与性能的“数据中心场地基础设施认证”、“信息系统机房动力及环境系统认证”，关注于数据中心基础设施运行维护的“数据中心场地基础设施运行与维护评价认证”等，进行综合评估。

技术兼容性：评估新技术与现有系统的兼容性，确保改造过程中不会出现技术冲突或兼容性问题。重点针对基础设施各子系统软件及其协同工作性能进行评估。

技术风险：识别并分析可能存在的技术风险，如技术成熟度不足、实施难度大等，并制定相应的应对措施。

3.4 成本与效益分析

成本与效益分析是对改造技术方案的经济性评估，旨在以最小的成本投入实现智算化升级的目标，取得最大的收益，通常包括以下几个部分：

投资成本：估算数据中心智算化改造所需的投资成本，包括硬件购置、软件授权、人力成本等。

运营成本：分析改造后数据中心的运营成本变化，如能耗、维护费用等。

预期效益：评估改造项目带来的预期效益，包括算力提升、资源利用率提高、成本降低等。

投资回报率：计算投资回报率（ROI），评估项目的经济可行性。

3.5 风险评估与应对策略

风险评估与应对策略是在改造工程启动之前，深入挖掘技术方案、工程实施可能遇到的风险，并制定应对策略，以充分的前期工作推动后期改造工程的顺利实施，包括如下内容：

市场风险：分析市场需求变化、竞争加剧等可能带来的市场风险。

技术风险：再次审视技术风险，确保已制定有效的应对策略。

管理风险：评估项目管理、人员培训等方面的风险，确保改造项目能够顺利实施。

法律与合规风险：确保改造项目符合相关法律法规和行业标准的要求。

综合以上评估结果，对数据中心智能化改造项目的可行性进行总体评价，并做出是否实施改造的决策。

第四章 技术策略与方案

通过对数据中心现状的调研,以及满足智算业务对基础设施的要求,为了能使存量数据中心顺利完成智算化提质升级,需要优化数据中心现有空间布局、提升支撑业务的基础设施保障能力,同时引入 AI 对效能、管理等方面赋能,形成兼顾经济性、承载力、兼容性、可持续性的综合改造方案。

4.1 空间优化

4.1.1 空间供需优化

考虑智算中心业务要求,单机柜功率密度将有较大提升,由此带来电气系统架构发生变化,动力辅助用房区与主机房区面积占比发生改变,动力辅助用房区的空间需求增大。

由于总冷负荷需求的提升,制冷系统进行升级改造,会对空间利用产生较大影响,在改造过程中应根据空间供需要求开展实施,同时考虑空间调整后对消防等其他系统的连带影响。

4.1.2 荷载能力升级

数据中心智算化改造以满足算力业务为前提,高功率密度机柜和液冷机柜的应用不仅给数据中心机房、电池间、动力配电间等空间布局带来变化,单位面积结构荷载也随之增加,其楼板可能涉及加固等措施,

且需适当预留部分楼层或白空间满足结构楼板均布活荷载，以满足未来发展需要。

4.2 保障提升

4.2.1 系统支撑

为满足智算业务，智算中心的单机柜功耗可达至百千瓦级，且功耗在（10~130）kW 之间都有分布。因此，需针对负载与功耗特征进行电气和制冷系统等动力和环境保障能力的优化。

4.2.1.1 动力保障

对于智算中心弹性较大的机柜功耗，采用单一的末端配电架构可能无法适配，需要采用融合的末端配电方式。如，采用“智能母线”的方式替代原有“传统列头柜+电缆敷设”的方式，以响应智算中心“需求多样性”的要求。此外，可考虑采用三相 PDU 提供更高的功率，以支持机柜高功率密度的特征。具体策略可参考如下：

（1）单机柜功耗<12kW：可采用列头柜+电缆+单相 PDU 电源的配电方式可满足需求；

（2）单机柜功耗（12~40）kW：可采用列头柜+电缆/智能母线+三相 PDU 电源的配电方式适配此功耗段的机柜；

（3）单机柜功耗（120~140）kW：可采用智能母线+铜排+定制化配电模块的方案。

4.2.1.2 环境保障

针对机柜功耗增大带来的冷负荷增长的问题，围绕“充分利用自然冷源，合理优化既有风冷系统，液冷系统替换风冷系统”的升级改造原则，需要根据机柜功耗和冷却形式进行适配，并考虑空间布局综合提升制冷系统能力，满足智算化改造后数据中心冷负荷需求，可参考以下形式。

（1）风冷形式

对于低功率密度（单机柜 $<10\text{kW}$ ）项目，多为传统低功耗段服务器，对于空调形式无特殊限制，但需结合具体空间形式进行适配。

对于中功率密度（ $10\text{kW}<\text{单机柜}<25\text{kW}$ ）项目，可按如下策略进行选择：“房间空调”通常可解决（ $10\sim 20$ ） kW 单机柜功率密度散热，但需结合风量与管道优化等方式实现更好的制冷效果；“风冷列间空调”通常可在（ $10\sim 15$ ） kW 单机柜功率密度时保持良好的制冷效果；“近端风墙”的常规方案也可解决（ $10\sim 25$ ） kW 单机柜功率密度散热。

高功率密度（单机柜 $>25\text{kW}$ ）的项目，一般考虑“液冷+风冷”的方案，或采用定制化“近端风墙”方案，以满足机柜的散热需求。

（2）液冷方案

对于原有采用风冷的项目，可在充分利用原有风冷空调设备的基础上，结合机柜功率密度和机房空间布局，进行部分或全部液冷改造。

液冷技术主要分为冷板式液冷和浸没式液冷两种方案。冷板式液冷是将冷却液直接引导至设备的热源上，通过冷却板或冷却管道将热量带

走；浸没式液冷则将整个设备完全浸泡在绝缘冷却液中，实现更大范围的热传导效果。液冷技术是一种先进的散热方式，通过液体直接冷却设备，实现了更高的散热效率和节能效果，适用于高功率设备的散热需求。

4.2.2 效能优化

相较于传统数据中心，智算中心在能源消耗方面呈现出显著的量级差异。在实现智算化业务的同时，如何合理利用资源，根据智算改造目标适配合理的设备，优化系统技术方案，从而降低能耗绝对值、提高能源利用率，是实现高质量智算化改造的重要途径。

（1）设备升级与更新

在数据中心的智算化改造过程中，结合政策要求、成本收益，同时考虑技术成熟度和兼容性，将原有供配电系统、制冷系统涉及的低能效、高能耗的设备或部件淘汰，采用升级或替换为更高效的设备或部件，对于智算中心整体效能提升起到积极作用。

（2）能源在线计量

针对传统数据中心各子系统配电柜电能表未计量的情况，增加子系统级电能表在线计量装置，或针对电能表开展在线比对分析，从而可通过能源监测系统明晰各子系统的能耗准确数值，后续可针对性开展节能降耗措施。

（3）细节质量提升

在智算化基础设施改造的过程中,对于原系统的粗放式设计应进行针对性质量提升,如机房气流组织不合理、冷热通道未封闭等导致能效偏低的情况,可结合改造方案和 CFD 仿真模拟研究,提升细节质量。

数据中心机房的送风方式多种多样,包括风帽上送风、风管上送风、地板下送风和行间级空调送风、弥散式送风等。实施过程中进行 CFD 仿真模拟研究,对比不同送回风形式的机房的热环境,实现改造方案。

为了减少冷热气流的混合,结合现场空间条件,可对冷/热通道进行封闭改造,并结合 CFD 模拟的技术方法,对冷热通道隔离前后的热环境指标开展研究,满足机房冷却的同时,最大限度实现节能的目的。

4.3 AI 赋能

4.3.1 快速响应

基于人工智能(AI)负载预测算法,可以根据智算的任务计划来预测数据中心未来的负载趋势变化。通过对比负载预测结果和负载实时数据,指导电气系统、制冷系统提前进行预调,确保在负载高峰或低谷到来之前已经调整到最佳运行状态,从而实现快速响应,解决负载短时波动下人工调适响应速度慢的问题。

4.3.2 寻优调适

AI 是智算中心的重要组成部分,在数据中心智算化改造的过程中,引入 AI 对能源精细化管理和负载动态优化等工作可起到比人工更具时效性的作用。

（1）能源精细化管理

利用 AI 统筹收集和分析智算中心大量的能源数据，包括历史能耗数据、实时能耗数据、设备运行状态等。通过深度学习、时间序列分析等算法，对这些数据进行处理和分析，建立精确的能源模型，用于预测能源需求和供应情况。从而制定调度和分配方案，确保各设备能源供需平衡，避免能源的浪费和损失。

（2）负载动态优化

利用 AI 技术预测智算中心的负载情况，包括计算负载、存储负载和网络负载等。基于预测结果，进行负载的均衡分配，避免某些设备过载而其他设备空闲的情况，提高整体资源利用率。此外，根据实时负载情况和资源需求，智能调度和分配计算资源、存储资源和网络资源，达到资源优化利用。

4.4 可持续发展

4.4.1 新能源利用

在政策支持的情况下，智算中心可以与区域内的其它能源用户或供应商进行能源交易和共享。例如将本地的光伏电量通过需求侧响应、电力辅助服务、电力现货交易、补贴等形式，参与能源平台交易，实现能源的互利共赢和最大化利用。

此外，需要充分挖掘区域内各类可控能源的潜力，建立负载预测模型，依据用能行为和用能状态进行能源错峰管理，构建一个综合能源供应的资源池，实现能源利用的最大化。这样不仅有助于实现能源的高效

利用，降低智算中心的运营成本，还能提升环境效益，同时推动可持续发展，为企业的竞争力提升提供有力保障。

4.4.2 储能系统利用

由于受到空间限制的影响，在既有数据中心改造工程中部署储能系统的规模很难做大。但是，由于储能系统有能力根据时间变化提供额外能源，满足负载电能高峰值的需量要求，在面对智算负载的波动性时，通过对储能系统进行精准控制，可以最大化地利用储能系统的调峰能力，从而避免电网或油机的过载冲击，并减少对柴油发电机等备用电源的依赖和需求。

因此，鉴于储能系统具有提供弹性、环境可持续性以及降低能源成本等优势，可综合考虑部署储能的投资回报率（ROI）结合智算中心具体用例、负载曲线、当地市场条件和其他因素，根据特定的输入场景和运行模型，从而准确预测财务回报或投资回报率。此外，通过与智算中心的基础架构融合，提高智算中心的 IT 和外电转化率，替代一部分不间断电源 UPS 备电设备，发挥额外的经济收益。

第五章 测试评价体系

5.1 测评指标体系

构建全面而精准的测评指标体系是评估智算化升级改造效果的关键，也是衡量数据中心在智算化转型过程中的效能提升、成本优化、环境影响与安全防护等方面的综合效益的有效方法。测评指标体系不仅涵盖了技术性能指标，如算力提升、PUE 值降低、故障率减少，还考虑了经济与环境因素，包括成本节约、能源效率优化、碳排放减少，以及安全防护能力的增强，确保评估结果能够全面反映智算化升级改造的成效。

5.1.1 性能指标

算力效率（ CE ）：指数据中心算力与功率的比值，即“数据中心每瓦功率所产生的算力”。可以评估数据中心的能效，即每瓦功率所产生的算力，数值越大，代表单位功率的算力越强，效能越高。其计算方式按公式（1）所示：

$$CE = CP/PC, (\text{FLOPS/W}) \quad (1)$$

式中： CP —数据中心总算力，FLOPS；

PC —数据中心 IT 设备总功率，W。

能源效率（ PUE ）：指数据中心总能耗与 IT 设备能耗的比值，其中数据中心总能耗包括 IT 设备能耗和制冷、配电等系统的能耗，其值大于 1，越接近 1 表明非 IT 设备耗能越少，即能效水平越高。其计算方式按公式（2）所示：

$$PUE = \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT设备能耗}} \quad (2)$$

5.1.2 经济指标

算力成本变化率（*CRC*）：指通过改造带来算力成本与改造前算力成本的比值，表征数据中心智算升级所产生的经济效益。其计算方式按公式（3）所示：

$$CRC = \frac{C_{before} - C_{after}}{C_{before}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： C_{before} —改造前数据中心算力成本，元/FLOPS；

C_{after} —改造后数据中心算力成本，元/FLOPS。

改造总投资收益率（*ROI*）：指改造后年平均税前利润与改造总投资的比值，表征数据中心智算化升级改造所带来的利润。其计算方式按公式（4）所示：

$$ROI = \frac{OP}{TI} \times 100\% \quad (4)$$

式中： OP —改造后数据中心在运营期内的年平均税前利润，万元；

TI —数据中心智算化升级改造总投资，万元。

5.1.3 环境指标

碳排放（*CM*）：即满足数据中心业务需求所产生的碳排放，可按公式（5）计算：

$$\sum CM = \sum (C_i \times E_i), \text{ (kgCO}_2\text{)} \quad (5)$$

式中： C_i —消耗各类能源的碳排放系数；

E_i —各类能源消耗总量。

清洁电能比（ CPR ）：指数据中心年度清洁能源产生电力（包括绿电购买和自发绿电）的使用总量与总用电量之比。表征数据中心用能清洁程度，可按公式（6）计算：

$$CPR = \frac{E_c}{E_t} \times 100\% \quad (6)$$

式中： E_c —清洁能源产生电力的使用总量，kWh；

E_t —数据中心总用电量，kWh。

5.2 测评方法与工具

对于性能指标、经济指标、环境指标的测量与评价，可通过指标的属性或计算的方法选择仿真模拟、现场监测/测试、实验室基准测试等方式实现。

5.2.1 仿真模拟

仿真模拟技术在评估数据中心智能化升级改造效果中扮演着至关重要的角色。通过构建高精度的虚拟模型，仿真模拟能够预测改造方案在实际部署中的性能表现，提供一个安全的测试环境以评估新技术和策略的影响，而无需在真实环境中进行高风险的试验。

（1）高精度模型构建

高精度模型的构建是仿真模拟的基础。通过对数据中心的各项性能指标、能源消耗、成本结构、以及安全防护体系等进行详尽的数据收集，利用经典理论如系统动力学、排队理论等，模型能够精确反映数据中心

的运行状态。这种模型不仅能够模拟当前数据中心的运行情况，还能预测智算化改造后的表现，从而为决策者提供有力的数据支持。

（2）动态性能预测

仿真模拟技术能够动态预测数据中心在智算化改造后的性能变化。例如，通过模拟 GPU、TPU 等加速器的引入，可以预测算力提升的具体效果；通过模拟液冷技术的实施，可以评估能源效率的优化程度；通过模拟自动化运维系统的部署，可以预测运维效率的提高。这些预测结果不仅包括具体的技术性能指标，还涵盖了经济与环境影响，为数据中心的升级改造提供全面的效益评估。

（3）风险评估与优化

仿真模拟还提供了风险评估与优化的可能性。在虚拟环境中，可以安全地测试各种改造方案，评估可能的风险，如技术兼容性、能源消耗波动、运维复杂度增加等。通过模拟不同场景，决策者能够识别潜在的问题，提前规划应对措施，优化改造方案，确保数据中心智算化升级的顺利进行。

（4）综合效益分析

利用仿真模拟技术，可以进行综合效益分析，评估智算化改造对数据中心整体运行的影响。这包括经济性分析，如成本节约与投资回报周期；环境影响分析，如碳排放减少与绿色化发展；以及安全防护能力的增强。通过综合考虑这些因素，决策者可以全面评估智算化升级方案的可行性，确保改造既高效又绿色安全。

仿真模拟技术为数据中心智算化升级改造效果评估提供了有力的工具。通过构建高精度模型，动态预测性能变化，进行风险评估与优化，以及综合效益分析，仿真模拟能够帮助决策者做出更加明智的决策，确保数据中心的智算化改造能够顺利进行，实现高效、绿色、安全的数据处理能力。在智算化改造的浪潮中，仿真模拟技术将成为推动数据中心行业转型升级的重要驱动力。

5.2.2 现场监测/测试

现场监测与测试是评估数据中心智算化升级改造效果的直接验证手段，它能够提供第一手的实测数据，验证仿真模拟与理论预测的准确性，确保数据中心在实际运行中达到预期的性能和效益。

（1）实测数据的重要性

实测数据是验证智算化改造效果的直接证据，它能够反映数据中心在实际运行中的性能变化和资源利用情况。通过现场监测与测试，可以获得数据中心的算力提升、能源效率优化、运维效率改善、成本节约等真实数据，这些数据对于评估智算化改造方案的有效性和经济性至关重要。

（2）监测与测试策略

现场监测与测试策略应涵盖数据中心的关键性能指标，包括算力、PUE 值、故障率、运维成本等，以及经济、环境和安全指标。采用先进的监测设备，如高性能传感器、智能监测系统，实时收集数据中心的运行数据，确保数据的准确性和实时性。此外，通过定期进行测试，如压

力测试、性能测试、安全测试，可以评估数据中心在不同负载条件下的表现，确保智算化改造方案的稳定性与可靠性。

（3）数据分析与反馈

现场监测与测试所收集的数据需要通过数据分析，转化为可操作的洞察，为决策者提供依据。运用数据挖掘、统计分析等方法，对实测数据进行深入解析，识别数据中心运行中的潜在问题和优化点。数据反馈机制应确保监测结果能够及时反馈给运维团队和决策层，通过调整运维策略、优化资源配置，持续改进数据中心的运行状态，确保智算化改造效果的持续优化。

（4）结合历史数据

现场监测与测试应与历史数据相结合，通过对比分析，评估智算化升级改造的长期效果。将改造后的实测数据与改造前的历史数据进行对比，可以量化智算化改造带来的性能提升和成本节约，为决策者提供直观的效益评估，同时也有助于识别数据中心运行中的长期趋势和潜在问题，为未来的升级决策提供依据。

通过现场监测与测试，数据中心行业能够全面验证智算化升级改造方案的实际效果，确保数据中心的智算化转型既高效又绿色安全。实测数据的收集与分析，为数据中心行业提供了科学的决策依据，推动数据中心行业向着构建高效、绿色、安全的数据处理中心的目标迈进，为数字经济的可持续发展奠定坚实基础。

5.2.3 实验室基准测试

在智算化升级改造的评估体系中，实验室基准测试扮演着不可或缺的角色，它为智算化改造的效果提供了可量化的标准参照，确保评估结果的客观性和科学性。实验室基准测试在智算化升级改造效果评估中的有效应用，以及如何通过这些测试来验证数据中心在算力、能源效率、运维效率等方面的性能提升。

（1）实验室基准测试的设计与实施

实验室基准测试的设计应基于标准化的测试框架，涵盖数据中心的算力、能源效率、运维效率、成本效益、环境影响以及安全防护等关键领域。测试应使用行业认可的工具与方法，确保测试结果的可比性和可靠性。通过与行业标准或典型数据中心性能数据进行对比，实验室基准测试能够客观评估智算化改造方案的实际效果。

（2）算力基准测试

算力基准测试是实验室基准测试的核心部分，它通过一系列标准化的算力测试程序，如高性能计算、AI 模型训练与推理等场景，评估数据中心在智算化升级后的算力提升。测试结果不仅包括算力指数的提升，还涵盖了算力利用效率、吞吐量、响应时间等关键指标，为数据中心算力性能的优化提供了科学依据。

（3）能源效率基准测试

能源效率基准测试通过模拟数据中心的典型工作负载，评估智算化改造后数据中心的能源使用效率。测试应包括 PUE（能源使用效率）值

的测量，以及能源消耗与 IT 设备能耗的对比分析。通过与改造前的能源效率数据进行对比，实验室基准测试能够准确量化智算化升级方案对数据中心能源效率的优化程度。

（4）运维效率与成本效益基准测试

实验室基准测试还应包括运维效率与成本效益的评估。通过模拟数据中心的运维流程，测试自动化运维系统的响应速度与故障处理效率，评估运维效率的提升。同时，成本效益测试通过分析数据中心建设和运维成本的变化，以及智算化升级带来的经济效益，为决策者提供数据支持，确保智算化改造方案的经济可行性。

（5）环境影响与安全防护基准测试

实验室基准测试还涵盖了环境影响与安全防护的评估。环境影响测试通过模拟数据中心的运行状态，测量碳排放、水资源消耗等环境指标，评估智算化升级方案的绿色化效果。安全防护测试则通过模拟网络攻击、数据泄露等情景，评估数据中心的安全防护能力，确保数据安全与业务连续性。

实验室基准测试在智算化升级改造效果评估中提供了客观、科学的评估手段，通过量化的测试结果，验证了数据中心在算力、能源效率、运维效率、成本效益、环境影响以及安全防护等方面的性能提升。通过本报告的洞察与建议，数据中心行业能够克服智算化改造的障碍，确保数据中心的智算化转型既高效又绿色安全，为构建高效、绿色、安全的数据处理中心奠定坚实的基础。

5.2.4 评价优化

评价优化是智算化升级改造效果评估的深度环节，旨在通过持续的反馈与迭代，优化数据中心的智算化改造策略，确保数据中心的性能、经济性、环境影响与安全防护等关键领域持续提升。本节将探讨如何通过评价优化机制，实现数据中心智算化改造的长效优化，构建高效、绿色、安全的数据处理中心。

评价优化机制的核心在于建立一个闭环的反馈系统，该系统能够持续监测数据中心的运行状态，收集智算化改造效果的数据，分析评估结果，提出优化建议，并反馈给决策层，以调整改造策略。这一机制确保了数据中心能够根据实际运行情况和外部环境变化，动态调整智算化改造方案，实现效能的最大化。

评价优化机制的实施策略包括定期进行效果评估，通过构建定期评估周期，如季度、半年度或年度评估，确保数据中心智算化改造效果的持续跟踪。评估周期应涵盖技术性能、经济性、环境影响与安全防护等全面维度，确保评估结果的全面性与准确性。

数据分析与反馈是评价优化机制的关键。通过对智算化改造效果数据的深入分析，识别性能瓶颈、成本节约空间、环境影响优化点以及安全防护的薄弱环节。基于数据分析的结果，提出具体的优化建议，如技术升级、流程优化、成本控制策略等，以提升数据中心的智算化水平。

决策层的参与和行动是评价优化机制成功的关键。评估结果与优化建议应及时反馈给决策层，决策层应基于评估结果，调整改造策略，优

化资源分配，确保智算化改造方案与数据中心的实际需求和长期目标保持一致。决策层的积极参与和行动，能够推动数据中心智算化改造的持续优化，实现数据中心性能的长期提升。

评价优化机制的实施，不仅能够确保数据中心智算化改造效果的持续优化，还能够促进数据中心行业的技术创新与标准化建设。通过持续的反馈与迭代，数据中心行业能够克服智算化改造的障碍，实现数据中心性能、经济性、环境影响与安全防护等关键领域的持续提升，构建高效、绿色、安全的数据处理中心，为数字经济的可持续发展奠定坚实基础。评价优化机制的建立，标志着数据中心行业智算化改造进入了一个更加成熟和持续进步的阶段，为构建高效、绿色、安全的数据处理中心提供了重要的支持。

第六章 结语

由于 AI 的快速发展,智算化升级改造的浪潮正席卷数据中心行业,其深远影响不仅体现在技术层面的革新,更触及经济、环境与社会多个维度。通过深入探讨了智算化升级改造的宏伟蓝图与实践路径,揭示了智算化改造在政策与背景的深层动力,以及所面临的挑战。我们见证了智算化改造如何推动数据中心向智能化、高效化的未来演进,不仅提升了数据中心的性能与经济性,更促进了环境的可持续发展与安全防护的全面升级。

我们认识到智算化改造是一个系统工程,它不仅需要技术创新与实践应用的结合,还需要政策引导、行业标准的规范以及市场与应用需求的推动。智算化改造的经济性指标、环境指标、测评方法与工具、仿真模拟、现场监测/测试、实验室基准测试、评价优化以及案例研究,共同构成了智算化升级改造效果评估的全面框架,为数据中心行业提供了科学的决策依据与实践指导。

展望未来,智算化升级改造将推动数据中心行业向着构建高效、绿色、安全的数据处理中心的目标迈进。智算化改造的持续优化与迭代,将成为数据中心行业转型升级的重要驱动力。面对智算化改造的挑战与机遇,数据中心行业应积极拥抱新技术,优化改造方案,提升运维效率,确保数据中心的智算化转型既高效又绿色安全。

本白皮书旨在为业界提供一份全面的数据中心智算化改造指南,阐述进行智算化改造可参考的途径与策略,不仅涵盖了政策环境、技术趋

势、实施方案，还对改造效果进行了科学评估。我们期待与业界同仁共同努力，推动数据中心行业的智能化进程，构建高效、绿色、安全的智算中心，为数字经济的可持续发展奠定坚实基础。智算化升级改造的未来，充满无限可能，让我们携手前行，共创数据中心行业的美好明天。智算化改造不仅是技术的革新，更是行业生态的重塑，我们坚信，通过不懈努力与创新，数据中心行业将迈向更加高效、智能、绿色的未来。