



超级计算创新联盟
Supercomputing Innovation Alliance



高性能计算云（HPC Cloud） 服务白皮书 （2022 年）

超级计算创新联盟
算网融合产业及标准推进委员会
2022年12月

版权声明

本白皮书版权属于超级计算创新联盟与算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：超级计算创新联盟与算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



算网融合推委会
CCNIS



参与编写单位

中国信息通信研究院、北京航空航天大学、国家超级计算济南中心、国际超级计算天津中心、中国科学院计算机网络信息中心、国家超级计算昆山中心、合肥先进计算中心、天翼云科技有限公司、中国电信集团有限公司、联想（北京）信息技术有限公司、北京华恒盛世科技有限公司、联智科技（北京）有限公司、北京并行科技股份有限公司、北京北龙超级云计算有限责任公司、广州市品高软件股份有限公司、深圳北鲲云计算有限公司、上海即算科技有限公司、易超算（北京）科技有限责任公司、中国联合网络通信集团有限公司、江苏奥工信息技术有限公司、戴尔股份有限公司、迈普通信技术股份有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、阿里云计算有限公司、河南师范大学、天津滨海人工智能创新中心

主要撰稿人

宋平、穆域博、宋尧、刘轶、冯景华、田杨、刘弢、毕立波、王哲、柴瑶琳、党小东、张云畅、韩维娜、牛铁、张宏海、王斌、王浩、高清爽、瞿隆、崔恩放、余蕊、崔吉顺、郝常杰、苏斌、徐达、管清波、付鸿雁、刘爽、乔楠、甄亚楠、郭宇、吴思洪、周婷婷、王真容、凌巍才、张岩、崔煜喆、欧阳柳卿、季宝石、吴跃、张华洪、陈丽莎、陈煜东、邹弘宇、杨广贺、朱松、柴旭清、田倬璟

前 言

为同时满足工业、能源、气象、多媒体等众多行业对极致算力与弹性服务的双重需求，以高性能计算为服务核心、以云计算为服务创新技术手段的高性能计算云受到了业界广泛关注。相比于传统高性能计算服务，高性能计算云服务具备弹性算力供给、便捷资源部署、统一融合平台、灵活业务编排等丰富的能力，满足行业应用差异化、定制化服务需求，赋能产业数字化、网络化、智能化转型。

本白皮书以充分发挥高性能计算云的行业赋能作用为目标，从高性能计算云服务发展现状、参考架构、关键能力和未来展望等方面进行全面的分析和探讨，重点推进高性能计算云服务能力升级演进，为高性能计算云服务创新发展提供参考和借鉴。

目 录

一、 高性能计算云发展现状	1
(一) 算力时代高性能计算云迎来发展黄金期	1
(二) 产业各方积极布局，云超算与超算云呈趋同方向发展 ..	3
(三) 高性能计算云服务满足行业算力需求	4
二、 高性能计算云服务参考架构	13
(一) 高性能计算云服务参考架构	13
(二) 资源供给服务层	15
(三) 平台服务层	18
(四) 应用服务层	24
(五) 可视化服务	26
(六) 安全服务	30
(七) 统一服务门户	32
三、 高性能计算云服务关键能力	33
(一) 异构计算资源供给	34
(二) 多类型存储系统支持	34
(三) 低时延网络传输	35
(四) 弹性资源调度	36
(五) 规模化集群管理	37
(六) 高效作业调度	37

(七) 灵活应用部署	38
(八) 多层次安全防护	39
(九) 可视化能力保障	40
(十) 极致性能体验	40
四、高性能计算云服务发展展望	42
(一) 算力多样性将成为高性能计算云服务发展的“双刃剑”	42
(二) 一体化服务将成为高性能计算云服务发展的重要趋势	43
(三) 服务标准化将成为高性能计算云服务发展的基本路径	43
缩略语.....	45
参考文献.....	46



图 目 录

图 1 高性能计算云产业视图	3
图 2 基于高性能计算云的工业仿真平台	6
图 3 基于高性能计算云的生命科学行业解决方案	7
图 4 基于高性能计算云的石油勘探解决方案	10
图 5 基于高性能计算云的 EDA 芯片设计	12
图 6 高性能计算云服务参考架构	13
图 7 高性能计算云服务十大关键能力	33



一、高性能计算云发展现状

(一) 算力时代高性能计算云迎来发展黄金期

在数字化应用需求驱动下，我国正统筹推进算力基础设施建设，助推产业转型升级与科技创新。2021年，国家发改委等四部门联合发布《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》，布局建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，构建国家一体化算力服务平台；同年，工信部发布《“十四五”信息通信行业发展规划》，提出建设形成包括超算算力在内的多层次算力设施体系；2023年，中共中央、国务院印发了《数字中国建设整体布局规划》，系统优化算力基础设施布局，促进东西部算力高效互补和协同联动。在国家政策的支持下，2022年我国算力总规模达到180EFlops，居全球第二。

在超算算力方面，中国与美国仍处于领跑地位。根据2023年5月最新发布的TOP500榜单显示^[1]，中国共有134台超级计算机上榜，其中前10名中2台，分别是太湖之光和天河二号；美国共有150台超级计算机上榜，其中前10名有5台，分别是Frontier、Summit、Sierra、Perlmutter和Selene。中美两国上榜的超级计算机数量占榜单总数的56.8%。超算算力对促进传统产业转型升级，提高人民生活水平，促进重大科学发现等方面发挥着不可替代的作用，是研究和解决各领域挑战性的重要手段。

超算服务能力将成为超算算力向生产力转化的关键。数字化时代，除了海洋、气象、工业、地质勘探等传统超算应用领域之外，越来越多的企业业务场景存在超算算力需求，例如媒体渲染等[2]。超算服务以超算算力资源为基础，向用户和应用提供算力供给、管理、调度、交易等能力，满足各类业务场景下的超算算力需求，发挥超算算力在各场景的赋能作用。传统的超算服务虽然在大规模算力支撑和性能等方面具有优势，但其存在整体架构复杂、稳定性不足、HPC 应用部署不够灵活、使用门槛高、日常维护管理难等痛点问题，不利于超算技术在中、小规模算力应用场景下的推广使用以及对行业应用的赋能作用。

为了解决传统超算服务存在的痛点问题，高性能计算云受到了包括传统超算服务提供商、云服务商等在内的产业各方的高度关注。**高性能计算云是一种结合云计算技术的高性能计算服务模式，其中高性能计算是服务核心，云计算是服务模式创新的技术手段，多云互联是服务能力的扩展支撑。**在此基础上，高性能计算云将与大数据、人工智能等技术深度融合，面向行业应用需求，提供一体化智算服务能力，实现高性能计算云能力拓展。

高性能计算云将助力企业更加快速地开展数字产品开发、创新技术验证、数据价值挖掘，具有巨大的市场潜力。2022 年，Gartner 将高性能计算云纳入到云计算成熟度曲线中，目前高性能计算云处于技术萌芽期。根据 Hyperion Research 2022 年高性能计算市场报告显示，

全球高性能计算市场增长最快的是高性能计算云市场，增长率超过 23%，2021 年市场规模达 62 亿美元。预计到 2027 年，高性能计算云的收入有望超过 110 亿美元。

（二）产业各方积极布局，云超算与超算云呈趋同方向发展

根据提供服务的主体与服务形态，高性能计算云可以分为超算云、云超算和多云互联三类。其中，超算云以超算资源为底座，通过云计算的服务模式为用户提供高性能计算服务；云超算以通用云资源作为底座，为不同租户提供高性能计算服务；多云互联在不同高性能计算云之间，实现资源、数据、应用、服务等不同维度的云间协同与统一的多云管理。

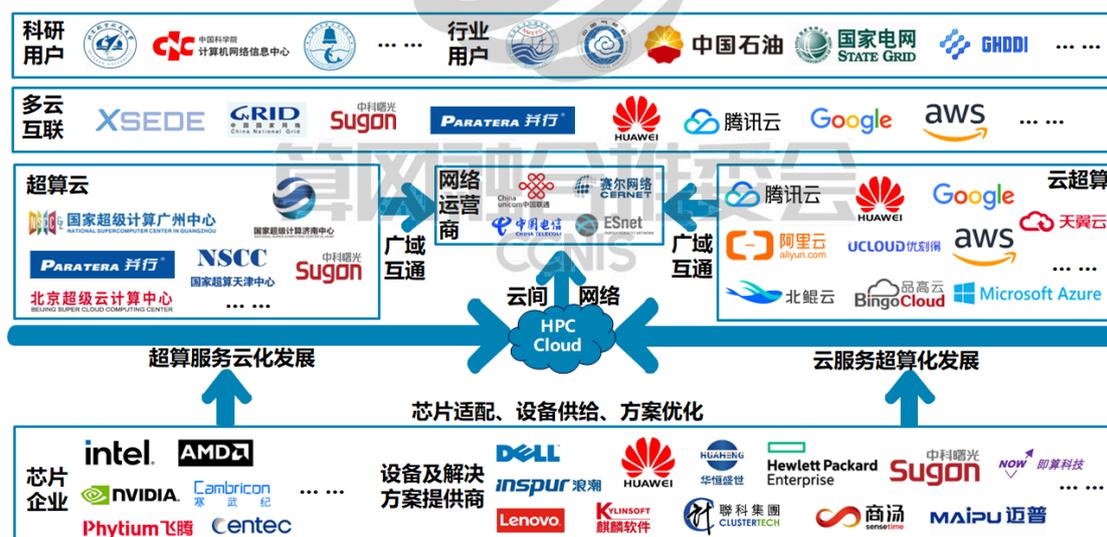


图 1 高性能计算云产业视图

如图 1 所示，超算云是超算服务云化发展过程中的一种产品形态。超算云服务的提供主体包括国家级超算中心、超算服务提供商等。与超算云不同，云服务提供商是云超算服务的主体，国内外主流的云

服务商均在公有云上为用户提供超算服务。产业上游的芯片企业、设备与方案商面向云化能力开展持续优化适配，支撑高性能计算云建设部署与技术创新。

伴随高性能计算云产业发展，超算云与云超算在硬件设施、基础平台、服务能力等多个方面逐渐趋同，这也为多云之间的全面互联提供良好能力基础。网络运营商为多云互联构建高速互联网络基础设施，保障云间数据传输质量。2023年4月，国家科技部启动“国家超算互联网”部署工作，构建一体化超算算力网络和服务平台。在国家政策的支持下，多云互联将成为高性能计算云产业发展的重要方向。

（三）高性能计算云服务满足行业算力需求

《“十四五”数字经济发展规划》等相关政策推动企业高质量上云用云，进一步提升企业生产运营数据价值，创造显著的经济效益。企业上云用云加速，为高性能计算云带来了丰富的行业算力需求。工业、气象、能源等传统高性能计算应用领域也开始通过云上方式部署应用，以进一步缩短传统方式的排队时间，更加灵活地选择运行应用所需的各类硬件，提高成本效益。

1. 工业仿真

工业仿真技术作为工业生产制造中必不可少的首要环节，已经被世界上众多企业广泛应用到工业各个领域。随着智能制造、工业 4.0 和工业互联网等新一轮工业革命的兴起，以 CAE、CFD 为代表的数

值仿真软件已经成为先进制造业不可或缺的数字化研发工具。工业仿真技术涉及结构、流体、电磁等学科领域，同时也对硬件性能、架构能力、数据安全具有非常严苛的要求。当前，工业仿真存在痛点：

- 高性能计算集群建设属于重资产，建设成本高、周期长，往往无法满足企业灵活的业务形态，造成资源的浪费或不足；
- 维护工作繁重、压力大，集群维护需要企业投入很多物力、人力，导致企业无法全力聚焦企业自身的业务；
- 传统自建集群方式下，企业需要自建机房，包括水费、电费、系统维护费等会占用较高的运营成本；
- 硬件设备更新迭代速度快，计算量快速膨胀，规划赶不上变化，新技术层出不穷，设备老化严重，硬件更新速度快，无法快速适应新的业务需求。

随着工业云时代的兴起，PC、工作站、集群机全面云化，高性能计算云化发展是大势所趋。仿真云端化可以通过海量资源共享，使企业降低成本，提高资源利用率，其操作的便捷性更是降低了使用门槛；企业内部能够更加便捷地连接协作，实现数据共享、数据同步和工作协同；云端仿真软件会在服务端积累大量的数据，企业能够实现数据沉淀、数据挖掘和数据分析。



图 2 基于高性能计算云的工业仿真平台

图 2 展示了基于高性能计算云的工业仿真平台，该平台集成了工业制造企业所需的设计与仿真工具，并支持前后处理可视化、仿真并行化、应用交互化等功能。该平台提供工程机械、汽车工业、海洋船舶、能源化工、建筑土木等领域的 CAE/CFD 解决方案，提供从算力支持、软件部署安装、可视化设置等全流程服务，为用户打造一体化的 CAE/CFD 环境。系统可动态调度 CAE/CFD 软件的许可证，最大化利用软件许可。

2. 生命科学

生命科学行业发展至今，早已离不开高性能计算的辅助。从计算机辅助药物设计、疫苗研发，到通过基因检测提供精准医疗服务、产前筛查等，高性能计算在生命科学研究中扮演着十分重要的角色。随着云计算技术服务及实践的日趋成熟，越来越多的行业通过上云实现了整个产业的转型升级，正处于黄金时期的生命科学行业也不例外。然而，目前针对生命科学行业的解决方案大部分都为线下 IDC 超算

集群方案，随着基因组学、生物制药技术的不断演进及计算机科学的不断发展，传统计算机集群资源已无法满足生命科学行业及技术演进的需求。使用云上 HPC 服务的需求，并基于业务的高峰和低谷动态进行计算资源的弹性扩缩容，有效节省业务成本，尤其适用于快速发展的生命科学企业。

生命科学应用具备大内存、高 I/O 的高性能计算云服务需求。如基因测序中每个细胞的表达量数据高达数十万条读取，这种海量级的数据分析需要大内存容量。基因组学研究产生的数据增长快速且需永久保存，要求存储系统具有海量容量及高扩展性。另外，基因研究应用软件种类众多，部分计算任务对 I/O 吞吐要求很高。



图 3 基于高性能计算云的生命科学行业解决方案

如图 3 所示，基于基因测序、靶标发现、虚拟筛选、分子动力学模拟等应用场景，为生命科学行业用户提供一站式的生物信息学及计算化学领域整体解决方案。基于该平台，某上市药企并行调动 200-400 Nvidia v100 卡，将计算时间从数周计算降至 2 小时左右，计算效

率提高数百倍。某生物医药科技公司直接通过浏览器使用云上高性能计算服务，API 接入可在几分钟内启动 1000 台共 16000 核心的计算资源，10 分钟内即可完成计算任务，并在该计算平台直接呈现结果。

3. 气象预报

气象预报与居民日常生活息息相关。交通出行、农业生产、地质灾害防范等等，无不有赖于对气象的监测与提前预判。精准的预报，可以指导人们更好地生产和生活。现代气象预报工作的原理：建立用来描述天气演变过程的方程组，输入代表不同大气状态的数据，在计算机上求解，用来预测天气。

气象工作领域中的数据格外复杂，再加上气象预报业务量激增、高时效性要求等，一般的计算机难以有效胜任气象领域的计算工作。现阶段我国在气象数值预报中，更需要向着多模式耦合、辨别率更高、集合预报的方向不断进展，这也使气象领域对高性能计算技术的需求变得急切。高性能计算技术可利用超级计算机和并行处理的方式快速完成耗时较长的任务或同时完成多个任务，其在气象领域中的应用极大地推动了气象领域的信息化进程。气象预测为数据密集型，需要更大计算能力，研究人员必须更加关注性能瓶颈，如内存、I/O、互连延迟和带宽。天气模拟需要成千上万微处理器并行运算，突破硬件和软件的可扩展性限制。

某科技企业提供了基于高性能计算云的天气和气象建模平台，具有 HPC 工作负载协调、资源管理、用户访问、分析等功能，以确保

天气和气象建模及仿真工作负载能够尽可能地快速、高效运行，让 HPC 资源得到充分利用。还提供了一种循环系统开源工作流引擎，能够处理许多复杂的工作流。它能根据具体调度和依赖关系自动执行任务，尤其适用于天气和气候建模、数值气象预报、物理仿真和数据处理等领域，目前已被多个国家气象部门广泛使用。

4. 能源勘探

随着勘探技术不断进步及其业务规模的持续增长，能源勘探数据处理正面临着更为严苛和严谨的要求。能源勘探行业具有计算密集型的特点，HPC 与大数据的应用是实现高精度勘探开发技术的关键因素。HPC 云平台解决方案能够为能源勘探行业中采集、预处理和分析地震数据，油藏建模等提供紧密的计算能力，使勘探更便捷，更准确。因此，借助 HPC 云帮助能源勘探实现海量数据的高效存储、访问和计算，可以降低勘探开发的经济风险，为油气产业保驾护航。

图 4 展示了基于高性能计算云的石油勘探解决方案，该方案具有安全合规、专属隔离、独占独享等优势，帮助油气企业有效提升运作效率，降低运作成本，减轻业务维护压力，实现业务安全合规上云。该方案建立了统一的勘探开发数据服务平台，实现数据的浏览、查询、下载、管理、分析、存储和集中展示，以及与应用系统的集成应用，满足油田用户对勘探开发数据的应用需求；该方案建立了应用系统集中部署环境，支持协同工作，实现项目研究、生产管理过程中数据的生命周期管理，为地震、测井、油藏工程等专业提供处理解释、模拟

计算和地质综合研究的专业软件共享平台；该方案建立了生产管理云计算环境，需要实现油藏工程业务系统等应用系统的集中部署、整合和共享应用，建立标准化、免维护的云应用环境，提升应用部署效率和运维效率。



图 4 基于高性能计算云的石油勘探解决方案

5. 芯片设计

半导体行业涵盖设计、制造、封装等一系列环节，其中芯片设计是一个高风险的业务。从手工完成集成电路设计、布线等工作，到使用计算机辅助设计软件来完成超大规模集成电路芯片的功能设计、综合、验证、物理设计等工作，电子设计自动化的发展已近 60 余载，EDA 的出现极大缩短了芯片设计周期及提高成功率。随着芯片工艺的跃升，处理的数据已高达 PB 级别，EDA 需要的计算能力越来越大。传统的算力交付模式已无法跟上快速发展的芯片设计行业。紧张的上市时间压力与 IT 建设的长周期与高投入之间存在巨大矛盾：一

方面产品流片时间节奏紧张，另一方面 IT 采购预算准确度低，采购周期长，无法匹配研发节奏。目前，芯片设计行业在 IT 方面普遍存在以下四个方面的挑战：

- **时间：**EDA 验证需要大量时间，资源不足会导致验证工作无法收敛，且硬件设备采购周期长，部署建设需要耗费大量时间，拖累产品上市速度；
- **成本：**任务具有明显的波峰特性，长期持有大量硬件成本较高，测算项目成本及 IT 资源占用成本分析难度较大；
- **安全：**架构设计主要用本地文档保存，容易发生外泄，数据交付复杂且体量巨大，授权审核环节众多，管控存在漏洞；
- **协同：**多地域办公工作协同，一方面 IT 部门难以快速提供统一的研发桌面环境，另一方面数据安全也面临新的挑战。

EDA 高性能计算云解决方案可以帮助芯片设计企业提升 EDA 运行效率，加速产品上市；减轻 IT 投资压力，降低 IT 运维难度。芯片设计对高性能计算云存在数据安全、高性能计算资源、自动运维和弹性调度等需求。在数据安全方面，需要支持数据落盘加密的方案，支持安全操作审计、用户自带密钥上云等；在计算资源方面，需支持高主频、大内存服务器；在自动运维方面，需要弹性自动化部署和集群管理能力节省客户的运维投入。

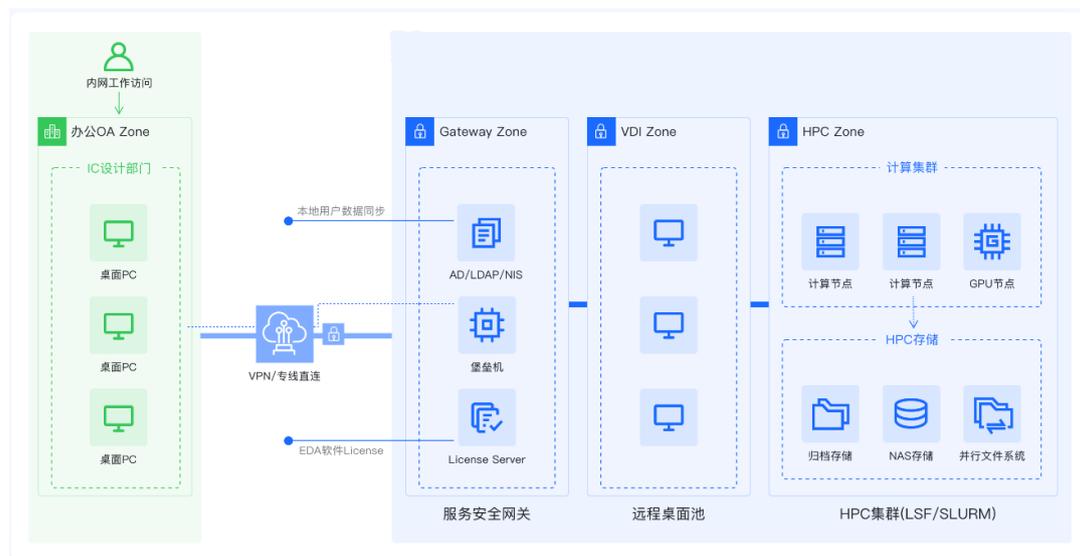


图 5 基于高性能计算云的 EDA 芯片设计

图 5 展示了为 EDA 芯片设计企业提供的 EDA workflow 上云服务。针对 EDA 项目短期突发效应明显，提供混合云解决方案，使用云上资源解决短期突发算力需求；同时提供本地与云上一致性的访问使用方案，无需改变用户使用习惯；方案使用与本地一致的 3 层安全架构，保护企业的 IP 与工艺库等资源的安全性。某芯片设计服务公司使用该方案，前端设计及后端设计的全流程 EDA 云上运行、弹性按需的资源分配、按项目独立的 EDA 设计环境、安全，数据流向可授权与追踪。

二、高性能计算云服务参考架构

(一) 高性能计算云服务参考架构

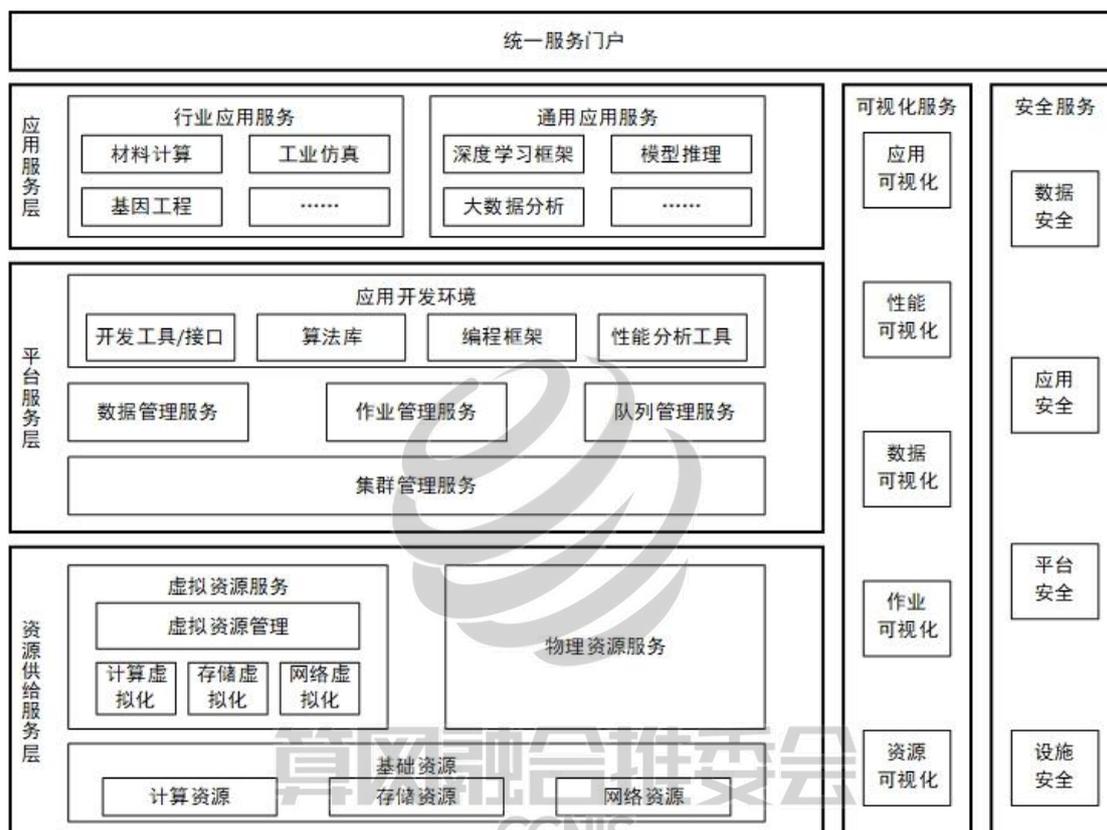


图 6 高性能计算云服务参考架构

如图 6 所示，本白皮书结合业界优秀高性能计算云服务实践，提出了高性能计算云服务参考架构。相比于传统高性能计算服务，高性能计算云具备弹性算力供给、便捷资源部署、统一融合平台、灵活业务编排等丰富的服务能力，满足行业应用差异化、定制化服务需求。

资源供给服务层向用户提供应用运行所需的计算、存储、网络等虚拟和物理算力资源，并通过将云计算的虚拟化技术融合应用到高性

能计算的用户应用层面，基于虚拟机、容器等技术向用户提供应用运行所需的算力资源使用方式，同时对用户的数据进行应用级别的隔离和权限控制，使用户能够根据需求弹性的获取和使用各类算力资源，可支持用户灵活、高效、低成本的使用高性能计算云服务。

平台服务层是高性能计算云服务的核心，为用户和开发者提供丰富的功能和服务，可简化应用程序的构建、部署和管理过程。一方面，平台服务层向用户提供集群、数据、作业、队列等层级的管理能力，助力用户便捷管理高性能计算云资源与服务；另一方面，平台服务层向开发者提供应用所需的开发环境支持，对于促进创新和提高效率具有重要意义。

应用服务层包括行业应用服务和通用应用服务，提供了工业仿真、生命科学、气象预报、能源勘探、芯片设计等多种行业场景下的高性能计算应用服务，同时也提供了人工智能、大数据领域的通用应用服务。

可视化服务为应用管理、性能评估和监控、数据分析、作业管理、资源配置提供可视化的服务模式，可帮助用户更加便捷、高效地使用高性能计算云服务，改善用户体验并助力优化决策。

安全服务是高性能计算云提供安全、可靠、稳定服务的重要基础。高性能计算云提供涵盖数据、应用、平台、设施等多层级的全面安全防护能力。

统一服务门户是用户使用高性能计算云服务的统一入口，通过统

一的平台或界面集成多个高性能计算云服务，并提供服务的访问和管理能力，使用户能够方便地获取所需的高性能计算云服务。

（二）资源供给服务层

1. 基础资源

高性能计算云平台可提供满足不同计算需求的基础资源供给服务，包括服务器硬件、存储资源、网络设备等。这些标准化的高性能计算云基础设施支持按需访问资源，并帮助组织轻松的内部部署和使用 IT 基础设施。

在异构计算资源方面，CPU 有很强的通用性，适合各种工作负载，现代 CPU 提供单指令多数据流（SIMD），且拥有高速缓存，拥有大量的分支跳转和中断的处理能力，这些都使得 CPU 的内部结构异常复杂。而 GPU 则由大规模并行、更小、更专业的内核构成的处理器，拥有数量众多的计算单元和非常简单的控制逻辑，使其可以比 CPU 更高快速、更高效地运行大规模并行任务。FPGA 是可重新配置的，其计算引擎由用户定义，可以帮助用户实现定制指令，定制丰富的 I/O 模式，满足高效的计算需求。NPU 专门负责 AI 运算和 AI 应用的实现，帮助用户获得高效的模型训练和运行效率。DPU 可以专门用于处理数据业务，在数据处理卸载到 DPU 后可以实现用户业务和基础设施操作的分离，减少数据处理对于 CPU 资源的消耗，提高吞吐和降低长尾延迟，降低能耗达到节能环保的目的。另外，基于 DPU

衍生而来的 IPU、CIPU 等新型架构使得 DPU 成为数据中心计算节点新的通用基础设施，在高性能计算这种高密度计算业务场景下，可让所有的计算资源都基于此通用基础设施构建，以便灵活调度和扩展。

在存储资源方面，块存储服务可以通过 RAID 和 LVM 等技术提升存储可靠性，并行写入可以帮助提供较高的读写效率，SAN 架构组网可以帮助提升传输效率和读写效率。稳定可靠的文件存储可以帮助用户高效实现文件共享，而且轻松实现多级备份。对象存储服务在轻松帮助用户实现文件共享的同时，提供高带宽的传输速度和读写速度。

在网络资源方面，传统以太网可满足大部分的带宽需求，保证良好的网络协议兼容性，但对较高的带宽需求支持不足。Infiniband 是一种专为 RDMA 设计的网络，从硬件级别保证可靠传输，技术先进，但是成本高昂，可以满足用户超高带宽需求的应用场景，如 HPC 应用、高速存储等。RoCE 网络是基于以太网的 RDMA 技术，这使高速、超低延时、极低 CPU 使用率的 RDMA 技术以较低成本部署在目前使用最广泛的以太网上。

2. 虚拟资源服务

虚拟资源服务包括对计算、存储、网络等算力资源的虚拟化服务，以及虚拟资源的统一管理服务。虚拟机是算力资源虚拟化供给的一种主要方式，可根据业务诉求，按需灵活规格各异的算力资源，尤其适用于基因测序、动漫渲染等采用数据并行方式运行的业务类型。

在计算资源虚拟化服务方面，传统虚拟机技术使用虚拟机监视器

(Hypervisor) 来创建和管理虚拟机实例。虚拟机监视器负责分配和调度物理服务器上的计算资源，以便多个虚拟机能够共享物理资源并在隔离的环境中运行。

在存储资源虚拟化服务方面，传统虚拟机技术使用虚拟磁盘或虚拟文件系统来模拟和管理虚拟机的存储需求。虚拟机可以访问虚拟磁盘，而虚拟磁盘实际上是由物理磁盘或存储阵列提供支持的。

随着云计算和虚拟化技术的发展，以 CPU 为核心的数据中心基础设施架构正演变为以 DPU 为核心的存网融合、算网融合的基础设施架构。虚拟机服务器部署极大的依赖虚拟交换机(如 OVS)的性能，智能网卡的一个重要功能就是将原本运行在主机 Hypervisor 上的 OVS 数据面和控制面卸载到网卡上，一方面能提供高性能的网络数据转发，另一方面，使得主机 Hypervisor 与网络完全解耦。

智能网卡技术上正从单一网络功能卸载转变为网络、存储、AI 等多功能加速。不同的智能网卡方案体现了以下发展趋势：

- 数据面和控制面完整卸载；
- 不断完善的虚拟化支持：SR-IOV、virtio、vdpa 等技术；
- 以 RDMA 技术为基础的分布式算力支持；
- 可编程性；
- 其它场景化的 DSA 引擎。

3.物理资源服务

物理资源服务主要包括各类算力资源的管理、对接、供给等方面

的支持，服务主体为物理主机或大型计算集群。采用物理资源能够更加充分高效的利用服务器，不存在虚拟化的开销，根据场景选择合适的服务器进行部署、扩容或更换。

高性能计算云中的物理算力资源可划分为计算资源、大内存资源、GPU 等加速资源、存储资源、网络资源等，通过资源管理实现算力资源的最大化利用。算力资源的管理服务能够实现各类资源的创建、扩容；具备低延迟、高带宽的计算网络；支持按需挂载和访问并行文件系统存储服务。

物理算力资源供给服务可以通过 Slurm、PBS、LSF 等主流作业调度系统，实现物理资源的集中管理与调度。该服务根据用户应用诉求，实现算力资源的调度与分配，支持 CPU 核心、GPU 卡级调度能力，具备算力资源的队列划分、调度策略等管理能力。

在未来，高性能计算云服务还应支持算力资源对接，能够将已经建设完成的超算资源、智算资源接入到高性能计算云中，实现算力资源的互联网访问与算力调度。

（三）平台服务层

1. 集群管理服务

集群管理服务承担着将整个高性能计算云服务系统中的资源进行统一纳管的工作，涉及到集群节点操作系统安装部署，计算、存储、网络资源的管理以及硬件平台的运行状态监控，并向上提供服务支持。

集群管理服务应具备多种算力资源的用户认证与对接能力，实现跨地域、跨互联网的算力资源的聚合与纳管，对接各种异构算力资源、存储资源、网络环境。该服务实现用户认证与统一接入，使用用户通过高性能计算云服务系统可以无障碍访问各地集群，实现按需调度算力。支持用户及用户组的增删改查等功能，可设置用户及用户组的根目录，设置用户访问权限及用户密码密钥的管理等。

集群管理服务还提供集群内计算节点的资源配置能力。在计算资源方面，从算力资源形式上可以分为物理核心算力和虚拟核心算力。鉴于计算资源的多样性，集群管理服务需要能够将这些不同品牌、不同类型、不同架构、不同形式的算力整合管理起来。对于虚拟计算资源，集群管理服务应支持云主机的创建、配置调整、迁移、计算环境搭建、销毁等。在存储资源方面，物理资源支持主流的并行文件系统，如 Lustre、GPFS、BeeGFS 等；虚拟资源，支持云硬盘、云存储等。集群管理服务面向各类存储资源具备新建、读取、删除、修改文件等接口，具备文件粒度的 ACL 控制、配额管理能力，实现存储资源的集中管理与分配。此外，在网络资源方面，集群管理服务具备计算节点间虚拟网络的创建、调整等能力。

2. 数据管理服务

高性能计算云服务架构以用户数据为中心，通过构建一致性数据存储服务，对用户数据提供多维访问、存储、共享和迁移能力，通过软件定义存储方式将聚合资源供给层的存储资源透明化，提高数据的

可靠性、易用性和灵活性，同时给各种算力应用提供高效安全的数据访问接口。

在数据存储方面，基于底层的存储资源，通过存储系统实现存储空间的聚合，构建高性能的统一数据资源存储库，应对高性能计算过程中海量数据的频繁读取和写入需求。通过对数据集中化的存储管理，极大提升运维人员的工作效率；通过文件系统级、目录级别等不同粒度的数据隔离策略，保障多用户环境下数据的隔离性、安全性；依靠数据多副本或冗余校验码、节点间冗余备份等方式保障数据存储服务的高可靠性。

在数据迁移方面，数据本身的价值在于有足够好的流动性，数据只有流动之后才会产生价值。云间互联高速网络和物理专线链路等基础设施为数据迁移提供了快速的条件，全量迁移和增量迁移方式提高了数据迁移的灵活性，断点续传和迁移监控让数据迁移更高效、更安全。

在数据共享方面，多样的数据共享策略让不同组织、不同部门之间的协作更加方便，基于角色的数据共享管理和基于用户的权限设置可以在不损失安全性的前提下共享数据，让数据得到有效利用。

3. 作业管理服务

高性能计算云实现高效计算的核心功能离不开特有的基础软件——作业管理服务。作业管理服务通过作业模板、作业提交、作业调度、作业监控等能力，实现资源的合理利用，支撑应用高效运行。

在作业模板方面，高性能计算云集成了大量行业应用软件并提供标准的公共作业模板，客户开箱即用，简化软件的安装部署和使用过程，避免应用程序对环境依赖和不同用户应用环境冲突等问题。

在作业提交方面，高性能计算云服务针对用户的不同使用场景和使用习惯，拥有多种作业提交方式，可实现计算任务的灵活提交和管理。模板提交：适用于有一定基础的行业应用软件用户，对作业提交参数、提交流程进行图形化界面引导；命令行提交：通过 web 和客户端 ssh 方式登录远程系统，使用调度系统命令进行作业提交；图形界面提交：提供远程 GUI 界面支持，以 RFB、SSH、RDP 等协议链接远程计算资源上运行的可视化应用软件，通过可视化软件进行并行任务的提交；IDE 工具提交：提供 webIDE 工具方式进行作业脚本的在线编写，用户可以在 webIDE 终端运行作业调度系统命令来提交作业和管理作业。

在作业调度方面，基于开源软件 Slurm, OpenPBS 等调度系统进行作业管理，以避免用户作业间相互干扰，提高运行效率。系统调度作业任务生成调度决策后，将任务分发到运行计算节点上运行，收集任务运行资源使用情况，在任务结束后获取作业结果。

在作业监控方面，提供多个维度的监控（作业信息监控和节点状态监控），包含了作业状态、日志流、文件、节点、列表、性能监控。以应用的计算性能为核心，分析计算应用程序运行过程中对各项资源的依赖程度，进而发下应用运行特征，为性能优化，瓶颈分析提供数

据支撑。并在作业计算完成时，通过邮件，短信等方式进行通知。

4. 队列管理服务

高性能计算云服务中的队列管理服务包括队列监控、队列查询、队列资源配置等。通过队列的方式组织和控制任务的执行顺序，提供任务排队、资源分配和限制、错误处理等功能，可以提高高性能计算云中任务处理的效率和可靠性。

在队列监控方面，队列管理服务将任务或请求按照先后顺序排列到队列中。每个任务都有一个标识符，可以根据优先级、时间戳或其他指标进行优先级排序。队列监控可以控制并发执行的任务数量，从而限制同时执行的任务数量，以避免资源过载或性能下降。队列管理服务将任务分配给可执行任务的工作者或处理器，进而将任务分发给适当的处理单元。此外，队列监控可实现队列的全局监控，从而处理任务执行中的错误和异常情况。它可以捕获错误，并根据事先定义的策略进行处理，如重试任务、放弃任务或记录错误日志。

基于队列查询能力，用户可以在作业提交前了解各队列的资源配置情况和作业排队情况，从而合理选择队列进行作业提交。此外，队列查询能力还可以跟踪队列中任务的执行情况、处理时间、队列长度等指标。这些指标可以用于性能优化、资源规划和问题排查。

队列资源配置服务的重要性在于能够合理分配和管理系统资源，以满足不同队列和任务的需求。通过对队列资源进行有效配置，可以确保任务的顺序执行、避免资源争用和浪费，提高系统的稳定性和性

能。具体而言，队列资源配置可配置处理器核心、内存等计算资源，并可以通过设置队列的最大并发任务数、任务执行时间限制、任务优先级策略等方式限制计算资源使用；队列资源配置能力还包括为队列分配存储资源，如磁盘空间、缓存空间等；队列资源配置能力还涉及到为队列分配的网络资源，如带宽、连接数等。

5.应用开发环境

高性能计算云服务中的应用开发环境主要包括开发工具及接口、算法库、编程框架、性能分析工具等。

在开发工具方面，高性能计算云服务提供常用的 IDE，如 Vim、Eclipse、Visual Studio 等。总的来说，高性能计算云服务中的应用开发环境提供了丰富的工具和资源，可以满足不同用户的需求。

高性能计算中根据数据的耦合度，又分为分布式计算和并行计算。分布式计算一般是指将大型计算任务分成许多子任务，并把这些子任务分配给多个计算机进行并行处理，最终把计算结果综合起来得到最终结果的过程。常见的分布式系统计算框架 Hadoop 中各任务互相独立，节点之间的结果几乎不互相影响。而并行计算则是指使用多种计算资源协同解决同一个问题的过程。虽然也是将一个大型计算任务拆分成多个小型计算任务，并在单个计算节点上的多个 CPU 核心和 GPU 加速卡上同时进行处理，但在整个计算过程中，节点间的结果互相影响，需要通过高速网络进行通信，对应用运行的整体效率要求较高。常见的并行计算编程方式包括 MPI，OpenMP，OpenACC，SYCL

等。

编程框架服务主要包括编程语言、编译器、数据库支持等。在编程语言方面，高性能计算云服务提供多种语言的支持，例如 C、C++、Python、Fortran、Julia 等。在编译器方面，可以提供 GNU 编译器、Intel 编译器等。在数据库方面，可提供常用的数据库管理系统，如 MySQL、MongoDB 等。

由于高性能计算云服务涉及到大量的计算资源和应用程序，因此高性能计算云服务中通常会使用一些性能分析工具来帮助用户监控和优化应用程序的性能。具体来说，高性能计算云服务中的性能分析工具可以用来监控应用程序的内存使用情况、网络流量和带宽占用情况、各类计算资源使用率（如 CPU、GPU、FPGA 等）和 I/O 等各种性能指标，并通过可视化的方式呈现给用户。这些性能分析工具可以帮助用户了解应用程序的性能状况，并且可以提供实时的性能报告，帮助用户快速找到性能瓶颈并进行优化。具体的工具可能会因高性能计算云服务的不同供应商而有所差异。但是常见的性能监测工具包括 Nagios、Zabbix、Ganglia 等，性能调优工具包括 VTune、Perf、gperftools 等。

（四）应用服务层

1. 行业应用服务

高性能计算云提供行业应用服务，面向工业仿真、材料计算、生

命科学等特定领域和场景，提供定制化的应用软件和 Related 服务能力，以帮助企业提高效率、降低成本、优化业务流程并实现业务目标，最终实现行业赋能，加速行业发展。

行业应用服务通常包括：行业专业化软件开发，即根据特定行业的需求，开发专门的应用软件；行业数据管理和分析，即为企业收集、管理和分析行业相关的数据，提供数据挖掘、数据分析和报告等服务能力；业务流程优化管理，即通过定制化的应用软件和 Service，优化企业的业务流程，提高生产效率、降低成本。

行业应用服务典型实践见本白皮书第一章第三节。

2. 通用应用服务

通用应用服务可以帮助用户快速构建和部署各种计算和数据处理任务，以实现高效的数据分析和应用开发。

深度学习框架服务提供了多种深度学习框架，如 TensorFlow、PyTorch、Caffe 等，可以帮助用户快速构建和训练深度学习模型。这些框架通常支持分布式训练，可以利用高性能计算云的计算资源快速训练大规模的深度学习模型。

模型推理服务可以将训练好的深度学习模型部署到高性能计算云上进行推理，以实现各种应用场景，如图像识别、自然语言处理等。模型推理服务通常支持多种硬件加速技术，如 GPU、FPGA 等，以提高推理的速度和效率。

大数据分析服务提供了多种数据处理和分析工具，如 Hadoop、

Spark、Presto 等，可以帮助用户高效地处理和分析大规模数据。这些工具通常可以与高性能计算云的计算和存储资源相集成，以实现高效的数据处理和分析。

数据库服务可以提供多种数据库管理系统，如 MySQL、PostgreSQL 等，以帮助用户高效地管理和存储数据。这些数据库通常支持高可用性和高可靠性的特性，以确保数据的安全和可靠性。

（五）可视化服务

1.应用可视化

高性能计算云服务中的应用可视化服务是将使用 GUI 界面的应用，以远程可视化窗口的方式提供给用户，为用户提供可视化的结果展示，前后处理能力以及交互式可视化计算能力。这种方式应用和数据均在云端，用户可以在计算完成后立刻对结果进行分析，并能够再次提交新的计算任务，避免了结果文件在本地和云端的传输，提高了工作效率。

应用可视化按操作系统平台可分为 Windows 和 Linux 两类，Windows 应用可视化一般采用商用虚拟显示 VDI 方案，常见的有 Citrix VDI 和 NICE DCV 等，Linux 应用可视化可使用商用的 Citrix 方案，也可使用开源的 VNC 等方案。VDI 的方案主要优势在于资源调度灵活，可实现虚拟机级别的高可用，缺点在于 VDI 的方案基于虚拟化技术，有一定性能损失，不适用于交互可视化高性能计算场景。

高性能计算云服务所提供的应用可视化的另一种典型场景称为交互可视化高性能计算，这类场景是高性能计算云服务的特色场景。在这种场景中，多个高性能计算节点使用高速网络互联，组成一个多机并行的高性能工作站，其中一个节点上运行 GUI 可视化应用，其余节点运行并行计算任务。这种场景为用户提供了运行大规模交互式高性能计算任务的能力，这类应用主要以工业仿真领域的商用 CAD/CAE 软件为主，如 Fluent，HFSS 等。

近年来，人工智能与大数据领域还出现了一种新的应用可视化方式，这类应用具备网页界面，可以通过 Web 界面进行访问，如 Jupyter Notebook 等。这类应用通常需要以服务的方式运行，需要高性能计算云具备相应的服务部署能力。

2.性能可视化

性能可视化通过对集群、计算任务实现关键性能指标的采集，并进行实时的图形化展示，用户可基于多层次性能数据指标，直观掌握作业性能状态，快速发觉、诊断性能异常，避免浪费计算资源。

在应用性能优化方面，性能可视化实现复杂异构算力环境下系统及应用的多维度应用运行特征采集，在此基础上构建应用运行特征分析库，评测应用实际运行效能，并基于应用特点进行算力选型、应用性能优化。性能可视化服务提供系统级、微架构级、函数级、作业级、进程级等服务器节点性能指标，汇总并通过仪表盘秒级动态刷新显示，进而满足并行程序开发者性能优化的需求。

在集群管理和运维方面，高性能计算云服务提供服务器节点性能指标、节点性能状态、CPU 整体利用率、CPU 系统利用率等一系列性能指标的可视化工具和图表。性能数据可视化服务支持性能异常自动分析和自动告警，在短时间内掌握和了解集群节点运行状态。相比于传统的集群管理与运维方式，集群性能数据的可视化服务特点在于大幅降低集群管理和运维难度。

3.数据可视化

高性能计算云服务中，针对业务场景及面向对象的需要，将平台中的获取的各类算力、应用、用户、运维数据信息进行汇总聚合、分类分析，借助于适当的图形化展示手段，提供适合多场景多维度的数字可视化展现。实现运营调度可视化大屏展示，聚合算力、应用、用户、运维等整体运营信息，为高性能计算云统一运营调度提供数据支撑和决策依据。

通过丰富的图表和图形设计展示各类数据信息：从算力维度展示平台整体算力资源规模，各类资源利用率、状态分布，各分区资源规模等；从任务调度维度展现整体云服务平台中的作业任务总数、作业任务运行状态统计分析、各分区的任务运行情况统计等；从用户维度呈现平台整体的用户规模，用户行业分类分布，以及用户及分类维度计算任务数量、机时规模等统计分析图表；从应用维度展现各类应用部署使用情况、执行任务数量及机时规模统计数据。

面向不同的用户业务场景，可以进行数据可视化展示内容的管理，

提供不同视角的数据可视化展示界面，以满足不同业务场景的需求。使得平台用户可以通过用户展示界面直观了解算力资源的使用情况，合理安排计算任务；管理员可以通过管理员展示界面清晰掌握各项运维数据信息，提升集群的管理效率；可以通过可视化大屏展示形式为云服务平台提供对外展示、宣传的呈现方式。

4. 作业可视化

高性能计算云服务支持通过管理门户可视化的方式对作业进行管理。管理员可通过可视化界面查看集群中用户提交运行的作业运行状态，用户也可通过门户查看自己提交的作业运行情况，并可进行作业输入输出文件的可视化管理。

高性能计算云服务支持用户通过门户可视化的方式提交和控制作业。系统可定制作业提交模板供用户快速提交作业，用户根据作业应用类型选择模板，并填写作业资源需求、运行特征和作业命令等参数，并提交作业到系统运行。系统需要针对常用的 HPC 应用定制作业提交模板并进行适配，并提供灵活的扩展，根据需求增加对新应用的作业提交模板定制。用户可通过门户对自己提交的作业进行控制操作，如终止、暂停、恢复、重新运行作业等。

高性能计算云服务应支持对于可视化作业的实时运行查看。系统可通过 VNC 等机制获取作业运行可视化界面，供用户通过可视化方式远程查看作业的运行情况，并可在作业实时运行的可视化窗口中进行交互操作。

5. 资源可视化

高性能计算云服务中，资源可视化主要是将接入到高性能计算平台的跨中心跨集群的各类资源信息进行智能采集检测汇总后，以直观的可视化界面形式提供给管理员，便于管理员对资源进行统一监管。

资源可视化不仅实现基础环境中的计算资源、存储资源、网络资源等可视化展示，还包括云应用资源、数据资源、远程可视化资源等的可视化展示。

高性能计算云服务服务通过多种直观的图表形式展示各类资源的整体信息、运行状态、利用率等，提供平台整体资源的汇总展示；提供可视化交互界面，对平台中的队列资源、存储资源、远程可视化资源、数据资源、应用资源等进行管理和分配。此外，结合平台的整体运行监控，资源可视化服务为平台的管理和运营提供全面的资源信息，支持系统可用性与性能监控、故障管理、业务影响分析。

（六）安全服务

1. 数据安全

数据安全应确保高性能计算云服务数据处于有效保护和合法利用的状态，并且具备保障持续安全状态的能力，从而建立一套基于高性能计算云服务的可用、可管、可监、可控的数据安全管理体系。

数据安全服务必须秉持以下原则：明确职责合规、质量保障、数据最小化、责任不转移、最小授权、数据保护、可审计等。基于数据

分类分级标准指导数据治理和安全建设，明确数据分类分级的基本原则、维度、方法、示例等，为数据安全分类、分级保护提供依据，为数据安全规范、数据安全评估等方面的标准制定提供支撑。

在数据全生命周期服务中，为了防止数据非法采集、数据源接入仿冒、数据权属分歧、数据非法窃听、数据跨区传输、仿冒数据传输、非授权访问、敏感明文存储、数据汇聚关联攻击、数据滥用、数据非法外发等问题的发生，需要建立各种专业的数据安全服务能力，例如数据脱敏、数据加解密、数据库防泄漏、文件防泄漏、API 安全监控等。数据全生命周期监控管理服务的核心功能包括：数据控看板、数据链路分析、数据热度分析、数据任务监控、数据安全审计、规则管理、告警管理等。

2.应用安全

高性能计算云服务的应用安全服务是通过对 APP 进行加固以及确保 APP 发布渠道可信等，应用安全可防止 APP 被篡改、被调试、被反编译，防止代码外泄。此外，应用系统接入必须经过评估和安全测试，确认相关系统安全性后，方可进行部署及接入工作。

3.平台安全

高性能计算云服务平台与其它设施通信前，应通过安全接口实现双方的身份认证及访问控制，并且记录访问审计日志。高性能计算云服务平台应对口令信息、隐私数据和重要业务数据等敏感信息的本地

存储进行加密保护，通过访问权限控制、网络安全隔离装置、数据脱敏等措施开展平台安全防护。平台安全服务可通过各公司定制化的标准安全策略对高性能计算云服务平台运行环境进行安全加固及策略配置，并定期检查运行环境的安全漏洞。

4. 设施安全

高性能计算云服务设施安全是确保云服务设施（如数据中心、服务器机房等）不受任何物理或逻辑方面的威胁和损害的一项重要工作。在物理安全服务方面，需要采取安装监控系统、门禁系统、防盗系统等措施来保护云服务设施和其中的设备，以便监控和控制人员进出设备区域。此外，还需要加强设备的防火、防水、防震等能力，确保设备能够在不利的物理环境下正常运行。设施安全服务需对设备进行定期检查和维护，以确保其正常运行。在网络设施安全服务方面，需要采取部署防火墙、入侵检测系统等措施来保护云服务设施的网络安全，以便防范和检测网络攻击。此外，还需要对设备进行加密、身份认证等措施，以确保设备和数据的安全。

（七）统一服务门户

高性能计算云服务的门户作为面向服务的统一入口，提供统一的用户管理、设备管理、应用管理、作业管理、统计管理、计费管理和云端接入等功能。使用户可以通过客户端、web、SSH 命令行工具等方式访问门户，可以更好地管理和使用云平台。

门户具备 CPU、GPU 同构和异构超算集群扩展能力，在用户本地资源不足时，可以统一动态扩展算力资源。此外，门户还支持运营数据的收集和统计服务，在采集和分析多种维度的运营数据、集群统计数据时，为计算资源调配和管理提供数据支撑。在管理方面，服务门户提供用户管理、应用管理、权限管理、作业管理、系统管理、审计日志等多种管理功能。在计量计费技术方面，统一服务门户构建了面向异构多域资源的计量计费模型，充分考虑算力的多样性、差异性 & 分布特点，并提出了基于应用实际运行性能的算力交易机制，建立底层核算逻辑，实现对资源式、任务式及需求场景式交易策略的支持。

三、高性能计算云服务关键能力



图 7 高性能计算云服务十大关键能力

本章节基于第二章提出的高性能计算云服务参考架构，进一步提

炼高性能计算云服务的十大关键能力，如图 7 所示。

（一）异构计算资源供给

随着业界对算力需求的不断提升，越来越多的计算平台开始引入多种不同计算单元来加速计算。为满足不同场景中的应用需求、实现计算效力最大化，向用户提供异构计算资源，并基于多种异构算力协同处理计算任务，已成为高性能计算云服务中的关键能力。通过异构计算资源供给，高性能计算云服务可以提供更高的计算性能、更高的能效和更好的适应性，从而加速计算任务的执行，提高系统性能，并在节能和资源利用方面提供优势，对于科学计算、大数据分析、人工智能等领域具有重要意义。

异构计算资源供给应具备的能力包括但不限于：

- 应提供不同的硬件架构的计算资源，包括 CPU、GPU、FPGA、ASIC 等；
- 应支持鲲鹏、寒武纪等国产芯片算力资源的供给和调度；
- 应具备异构算力的统一标识能力，支持可信算力、算力溯源、算力度量^[3]；
- 应支持异构算力的统一调度。

（二）多类型存储系统支持

高性能计算云服务需要具有多种类型存储系统的兼容能力，以满

足各类用户数据的存储与访问需求。通过支持多类型存储系统，高性能计算云服务可以提供数据管理的灵活性、性能优化、成本优化、可扩展性和容量管理的优势，这对于满足不同应用和业务需求，提高存储系统的效率和可靠性至关重要。

多类型存储系统支持应具备的能力包括但不限于：

- 应支持不同存储类型，包括文件存储、对象存储、块存储等；
- 应兼容不同文件系统，包括 GPFS、Lustre、HPFS 等高性能并行文件系统，以及 HDFS、Ceph、GlusterFS 等分布式文件系统；
- 宜支持闪存存储系统，提供高速、低延迟和高可用性的存储能力，以支持对大规模数据的快速读写和访问；
- 应具备多类型存储系统的统一管理能力。

(三) 低时延网络传输

高性能计算云服务中，通信宽带和时延对业务性能表现至关重要。通过提供高速、低延迟和稳定的网络传输能力，高性能计算云服务可为用户的数据处理任务提供强有力的支持，满足图形处理、时效性计算、人工智能推理等计算需求。

低时延网络传输应具备的能力包括但不限于：

- 应具备网络拓扑优化能力，提高网络传输性能；

- 应具备带宽管理功能，支持数据传输的时延和稳定性保障；
- 应支持 RDMA 技术，提供高速和低延迟的网络传输能力；
- 宜支持智能无损网络、确定性网络、算力网络等关键技术，包括流量控制、拥塞控制、流量调度、网算一体、iNOF、有界抖动、有界时延
- 应支持 TCP/IP 协议优化，提高网络传输效率；
- 宜提供稳定、可靠、高速的算力中心间专用网络。

（四）弹性资源调度

随着用户量的增长，计算需求不平衡造成部分集群作业排队严重的问题，已成为常见的性能影响因素。通过弹性资源调度，高性能计算云服务可将过剩的计算作业自动分配到跨地域的集群中，实现计算资源的灵活扩展。这种按需提供计算资源的方式能够加快整体计算效率，减少作业排队时间，提高计算速度。

弹性资源调度应具备的能力包括但不限于：

- 应支持通过虚拟化技术实现计算、存储、网络的资源聚合；
- 应具备资源自动扩容和缩容能力；
- 应支持弹性负载均衡，提高系统可用性和性能；
- 应支持弹性存储、弹性计算容器、弹性网络带宽能力；
- 应支持按需动态调整资源配置。

（五）规模化集群管理

集群是由多个计算节点(服务器、计算机或虚拟机)组成的集合，通过集群管理能力，可以有效利用集群的计算资源，提高集群的性能和效率，并确保集群的稳定运行。高性能计算云服务中规模化集群管理能力可以帮助用户高效地管理大规模的计算资源，以实现快速、高效的计算和数据处理。

规模化集群管理应具备的能力包括但不限于：

- 应提供统一的集群管理界面，支持对集群进行统一配置和管理，包括节点的资源管理、任务调度、网络配置等；
- 应具备高效集群管理技术，如自动化部署、自动化配置、自动化维护等；
- 应支持实时节点监控，包括节点的资源利用率、负载状况、故障检测等；
- 应支持按需动态扩展计算节点；
- 宜支持单集群规模化管理 500 个以上的计算节点。

（六）高效作业调度

作业调度的核心在于，根据一定的策略和算法，将计算任务合理地分配到计算资源上执行的过程。作业调度的目标是优化资源利用、提高计算性能，以满足用户需求并达到预定的服务质量指标。通过高

效作业调度，高性能计算云服务可以优化计算和资源管理，提高系统的性能和效率，为用户提供更好的服务和体验。

高效作业调度应具备的能力包括但不限于：

- 应支持高效作业管理，应具备作业提交、作业调度、作业监控等功能；
- 应具备高效的作业调度算法，支持根据不同的调度策略和优先级，合理调度作业；
- 应具备按照作业计算性能需求，跨集群分配作业的能力；
- 应支持灵活配置多种调度策略，包括先到先服务、负载均衡调度、公平共享调度、抢占调度、预留调度、数据感知调度等；
- 应具备计算作业的计算资源限制和隔离能力；
- 应具备容错能力，支持故障作业重调度；
- 应支持支持传统 HPC 作业和容器化作业的混合调度。

（七）灵活应用部署

通过在集群环境中部署公共应用程序等简化应用部署的方式，协助用户快速加载环境开始进行计算，从而实现应用的规模化和灵活部署。通过灵活应用部署能力，高性能计算云服务可以提高应用程序的可靠性、可扩展性和可维护性，帮助用户更好地适应不同的计算需求

和环境。

灵活应用部署应具备的能力包括但不限于：

- 应支持容器化部署能力；
- 应支持云端编排技术，如 **Kubernetes** 等，以实现对应用的容器化管理、调度和协调；
- 应提供自动化部署工具，如 **Ansible**、**Chef**、**Puppet** 等；
- 应支持根据应用需求部署到不同类型的计算节点，如 **CPU**、**GPU**、**FPGA** 等。

(八) 多层次安全防护

多层次安全防护是确保系统安全的关键能力。高性能计算云服务应提供全面的安全防护能力，覆盖数据、应用、平台、设施等多个层级，保护用户数据和信息安全、防止网络攻击并维护业务连续性。

多层次安全防护应具备的能力包括但不限于：

- 应具备数据安全防护能力，包括数据加密、数据备份、数据恢复、数据访问控制等；
- 应具备应用安全防护能力，包括应用程序白名单、黑名单、运行限制、应用层面的防火墙等；
- 应具备平台安全防护能力，包括操作系统安全配置、网络安全配置、应用程序隔离、系统日志记录等；

- 应具备设施安全防护能力，包括数据中心的物理安全、网络安全、电源稳定性、环境监测等。

（九）可视化能力保障

高性能计算云服务中的可视化能力保障可以帮助用户直观地了解系统状态，有助于快速识别和解决问题，并可支持用户便捷地进行资源管理、作业监控、性能分析等。

可视化能力保障应具备的能力包括但不限于：

- 应提供可视化的应用界面，支持快速创建和管理应用；
- 应提供性能可视化工具，应支持查看带宽利用率、各类计算资源使用率、I/O 读写性能等；
- 应提供数据可视化处理工具，应支持生成图表、报表等方式展现数据处理的状态和结果；
- 应支持作业可视化查看，包括作业的提交时间、运行时间、资源使用情况、输出结果等；
- 应支持资源可视化管理，包括计算节点状态查询及变更、资源分配情况管理、负载状况查看等。

（十）极致性能体验

高性能计算云服务应充分利用丰富的算力资源，致力于不断创新演进服务关键能力，提升服务质量，为用户提供更加极致的性能体验。

极致性能体验包括但不限于：

- 应支持算力中心间、算力中心内计算节点间高速网络互联，其中算力中心间宜具备 10Gbit/s 以上网络传输能力，算力中心内计算节点间宜具备 100Gbit/s 以上网络传输能力；
- 应具备快速响应能力，包括集群快速创建、资源即租即用等，宜支持分钟级交付能力；
- 应支持实时数据更新能力；
- 应支持数据可靠存储与高效访问能力；
- 应提供应用性能分析与优化服务，支持融合应用自身特性进行资源选择，支持应用按需灵活使用资源；
- 宜支持自研应用代码级优化。

算网融合推委会
CCNIS

四、高性能计算云服务发展展望

智能化将成为行业数字转型的重要特征。在国家相关政策的助推下，越来越多企业采用云上方式部署智能化行业应用。未来，海量的智能化应用处理需求为高性能计算云带来重要发展机遇。高性能计算云的服务能力是满足行业应用高算力需求的关键。

（一）算力多样性将成为高性能计算云服务发展的“双刃剑”

云计算中心、超算中心等算力中心的算力资源呈现多元异构的特点，对高性能计算云服务的发展既是机遇也是挑战。高性能计算云的基础资源包括 CPU 资源、GPU 资源、NPU 和 FPGA 等加速硬件资源，CPU 也包括 X86、ARM 等不同架构。各类计算资源组合在一起，构成了极度异构的硬件环境。不同硬件企业对异构算力的统一适配和调度的开发意愿不强烈，对高性能计算云服务的资源管理与调度带来极大挑战。

不同行业不同场景对于算力的需求不同，具备异构供给与调度能力的高性能计算云将可以进一步提升算力资源利用率，不断拓展行业赋能的边界。例如，基因工程等应用的计算任务之间耦合性较低，可以将计算任务分配到闲置资源上运行，提升计算资源利用率；AI 模型训练过程对 GPU 和 NPU 等资源需求较为强烈，而推理过程可以运行在 CPU 资源上。

（二）一体化服务将成为高性能计算云服务发展的重要趋势

一体化服务能力涵盖了一个高性能计算云中心不同层次的服务一体化以及多个高性能计算云之间服务一体化。对于一个高性能计算云中心，服务能力既包括底层各类异构资源的供给能力，也包括以高性能计算服务为核心的平台服务能力，还包括融合大数据与人工智能的应用服务能力。通过不同层次的服务能力供给，用户可以高效利用算力资源，构建高性能计算应用。

基于高速互连网络基础设施，多个高性能计算云之间实现资源协同共享，并构建一体化服务能力。用户可以通过统一的服务平台，根据地理位置、资源类型、配套软件等不同因素进行选择，快速构建应用。与此同时，用户还可以通过统一的服务门户进行运维管理与安全防护。

（三）服务标准化将成为高性能计算云服务发展的基本路径

高性能计算云的发展已进入快车道，包括云服务商、超算服务商等在内的众多企业纷纷推出高性能计算云产品，持续赋能企业数字变革。不同的高性能计算云产品在基本功能、计算性能、安全保障等方面水平各不相同，多云之间缺乏统一的接口标准，亟需体系化开展高性能计算云标准化工作，提升一体化服务水平，规范产业发展，促进供需对接。

中国通信学会、中国通信标准化协会、TC28 等标准化组织正积

极开展高性能计算云的标准化工作。2022年12月，国内首个高性能计算云标准《高性能计算云总体架构与技术要求》正式发布，该标准提出了可参考的高性能计算云架构以及高性能计算云涉及的相关技术要求。下一步，标准化组织将结合高性能计算云产业发展需求，重点面向高性能计算云的服务能力、安全性、多云互联等方面推进标准化工作。



缩略语

ACL	Access Control List	访问控制列表
AI	Artificial Intelligence	人工智能
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
APP	Application	应用
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	专用集成电路
CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计
CAE	Computer Aided Engineering	计算机辅助工程
CFD	Computational Fluid Dynamics	计算机流体力学
CIPU	Cloud infrastructure Processing Units	云基础设施处理器
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
DPU	Data Processing Unit	数据处理器
DRAM	Dynamic Random Access Memory	动态随机存取存储器
DSA	Domain Specific Architecture	特定领域架构
EDA	Electronic design automation	电子设计自动化
EU	Execution Unit	执行单元
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程逻辑门阵列
GPU	Graphics Processing Unit	图形处理器
GUI	Graphical User Interface	图形用户接口
HPC	High Performance Computing	高性能计算
IDC	Internet Data Center	互联网数据中心
IDE	Integrated Development Environment	集成开发环境
IPU	Image Processing Unit	图像处理单元
IT	Internet Technology	互联网技术
I/O	Input/Output	输入/输出
LVM	Logical Volume Manager	逻辑卷管理
NPU	Neural-network Process Units	嵌入式神经网络处理器
MPI	Message Passing Interface	信息传递接口
PC	Personal Computer	个人计算机
RAID	Redundant Arrays of Independent Disks	独立冗余磁盘阵列
RDMA	Remote Direct Memory Access	远程直接数据存取
RDP	Remote Desktop Protocol	远程桌面协议
SAN	Storage Area Network	存储区域网络
SIMD	Single Instruction Multiple Data	单指令多数据流
SSH	Secure Shell	安全外壳
VDI	Virtual Desktop Infrastructure	虚拟桌面基础架构
VNC	Virtual Network Console	虚拟网络控制台

参考文献

- [1] <https://www.top500.org/>
- [2] 沙利文.中国超算云服务独立市场研究.2021
- [3] 唐雄燕,曹畅等.中国联通异构算力统一标识与服务白皮书.2021



算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300556

传真：010-62304980

网址：www.ccnis.org.cn

