

# 算力网络白皮书

COMPUTING FORCE NETWORK WHITEPAPER



# 前言

**作**为信息通信领域的领先运营商，中国移动充分发挥中央企业“网络强国、数字中国、智慧社会”主力军的作用，持续推动我国数字经济的健康发展。在创世界一流信息服务科技创新公司的过程中，中国移动深刻认识到算力和网络融合共生、一体服务对全社会数智化转型的重大意义，积极展开研究实践，提出“算力网络”的全新理念。发展“算力网络”既是国家、社会、产业发展的战略要求，也是运营商转型发展的重要机遇。面向国家十四五规划的落实，同步考虑未来十五五规划，制定了中国移动算力网络的总体发展策略。

本白皮书是中国移动对算力网络 (Computing Force Network, CFN) 的产生背景、核心理念、应用场景、发展路径以及技术创新的系统阐释，希望联合产业各方从产业推进、技术攻关、服务创新与生态构建等多方面共同推动算力网络的发展，并最终实现“网络无所不达、算力无所不在、智能无所不及”的愿景。

本白皮书的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本白皮书之部分或全部内容。

# 目录

<b>1. 发展趋势</b>	01
1.1 政策形势	
1.2 产业趋势	
1.3 技术趋势	
<b>2. 核心理念</b>	05
2.1 发展愿景	
2.2 发展目标	
2.3 体系架构	
2.4 发展定位	
<b>3. 场景展望</b>	10
3.1 赋能生活, 提供用户极致生活新体验	
3.2 赋能行业, 打造行业数智能力新基石	
3.3 赋能社会, 开创社会算力交易新业态	
<b>4. 发展路径</b>	14
4.1 阶段一: 泛在协同	
4.2 阶段二: 融合统一	
4.3 阶段三: 一体内生	
<b>5. 技术创新</b>	18
5.1 技术图谱	

# 目录

5.2 算力基础设施关键技术	
5.2.1 构建灵活敏捷的算力底座	
5.2.2 打造更加泛在的算力分布	
5.3 网络基础设施关键技术	
5.3.1 构建光电联动的全光网络底座	
5.3.2 打造云边端全连接的智能IP网络	
5.4 算网一体关键技术	
5.5 编排管理关键技术	
5.6 运营服务关键技术	
5.7 绿色与安全关键技术	
5.3.1 低碳节能构筑绿色算网	
5.3.2 安全可信护航算网服务	
<b>6. 产业发展倡议</b>	----- 28
6.1 问题与挑战	
6.2 发展倡议	
<b>缩略语列表</b>	----- 30
<b>参考文献</b>	----- 31



# 1.发展趋势

## 1.1 政策形势

**近**年来，数字经济的新引擎作用愈加凸显。习近平总书记近期在我国数字经济健康发展的集体学习中强调，数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，正在成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。要加快新型基础设施建设，加强战略布局，加快建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施，打通经济社会发展的信息“大动脉”。我国数字经济呈现爆发式增长趋势，据中国信通院数据显

示，2020年，我国数字经济规模为5.4万亿美元，位居世界第二，同比增长9.6%。

为推动数字经济发展，我国陆续出台了多项政策，正加快构建以算力和网络为核心的新型基础设施体系。2021年5月，国家发改委等四部委联合出台《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》，明确提出布局全国算力网络国家枢纽节点，打通网络传输通道，提升跨区域算力调度水平，加快实施“东数西算”工程，构建国家算力网络体系。7月，工信部印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》，明确用3年时间形成布局合理、技术



先进、绿色低碳、算力规模与数字经济增长相适应的新型数据中心发展格局。国务院也曾于 2017 年 7 月，发布《新一代人工智能发展规划》，将人工智能上升为国家战略，提出了面向 2030 年我国新一代人工智能发展的战略思想、战略目标、重点任务和保障措施。

各国也在加大对数字经济的战略布局和对新型数字化基础设施的规划建设。美国于 2020 年 11 月发布《引领未来先进计算生态系统战略计划》，计划构建覆盖政产学研的国家级算力体系，巩固本国算力优势。2021 年 4 月提出 2 万亿美元“新基

建计划”，其中投入 500 亿美元资金用于新型芯片研发，1000 亿美元用于铺设覆盖美国全境的高速宽带网络。欧盟于 2021 年 3 月发布“2030 数字指南针”计划，拟到 2030 年累计部署 1 万个边缘计算节点，为 75% 的欧盟企业提供云计算、大数据和人工智能服务，让所有欧盟家庭实现千兆连接。此外，日本和澳大利亚等国的人工智能应用和云计算发展迅猛，南非、巴西、俄罗斯作为新起步者也纷纷加大算力建设投入。算力和网络融合发展的新型基础设施已成为多国的重点关注方向。

### 1.2 产业趋势

数字经济时代，新技术、新业态、新场景和新模式不断涌现，新经济形态成为经济发展的新动能。随着新一轮科技革命和产业变革的深入发展，一个以算力为核心生产力的时代加速到来。算力已成为全社会数智化转型的基石，将直接影响数字经济的发展速度，直接决定社会智能的发展高度。网络作为连接用户、数据、算力的主动脉，与算力的融合共生不断深入。

由新兴技术、应用、场景带来的数据量持续增长，各行各业对算力和网络提出了更为迫切的需求。在算力需求方面，2020年我国算力总规模已达到135EFLOPS，同比增长55%，超过全球增速约16个百分点。在网络需求方面，业务升级对网络提出了更高速率、更低时延、更广覆盖的需求。以无人驾驶场景为例，从2018年到2030年，无人驾驶对算力的需求将增加390倍，未来L4和L5级别对网络带宽的需求将大于100Mbps，时延要求达到5-10毫秒的水平；数字货币场景下，2030年较2018

年算力需求将增长约2000倍；VR游戏的算力需求将增长约300倍，端到端的时延至少需小于20毫秒。

随着摩尔定律趋近于极限，面对不断倍增的算力和网络需求，通过网络集群优势突破单点算力的性能极限，提升算力的整体规模，成为了产业界共同关注的热点。当前产学研正在积极探索，共同推动算力网络布局。行业层面，依托联盟形成“区域协同，政企合作，产研融合”的算力产业创新体系。企业层面，以运营商为代表，在标准制定和试验验证方面取得一定进展。三大运营商均积极投入算力网络标准化工作。中国移动在ITU-T牵头算力感知网络的国际标准，推动算力感知网络成为ITU下一研究期重要方向，向业界发布首个算力感知网络白皮书，在IMT-2030推动算力网络作为6G网络发展基础之一；同时，中国移动推动成立了多样性算力产业及标准推进委员会，共促算力产业生态繁荣，多次在国内外展示算力网络创新技术和原型系统。



## 1.3 技术趋势

互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等技术创新，加速了数字经济的发展。数字经济的发展将推动海量数据产生，数据处理需要云边端协同的强大算力和广泛覆盖的网络连接。多样性算力、算网融合等成为重要趋势，具体体现在以下几个方面：

### (1) 算力多样泛在

算力呈现出内核多样化、分布泛在化的趋势。除了通用计算外，高性能计算、智能计算的出现，算力内核不断向GPU、FPGA和NPU等异构化方向发展。近年来，随着物联网、边缘计算的繁荣发展，海量终端接入网络，算力逐渐向边缘侧和端侧延伸，边缘算力逐渐丰富。算力整体上呈现云边端三级架构，具备云算力超集中、边端算力超分布的特征。

### (2) 算网深度融合

网络的发展让算力更易泛在扩展，让数据更易流动，用户更便捷使用。算力要发挥极致性能呼唤网络技术变革创新。通过网络连接泛在算力，可突破单点算力的性能极限，发挥算力的集群优势，提升算力的规模效能，通过对算网资源的全局智能调度和优化，可有效促进算力的“流动”，满足业务对算力按需使用的需求。同时，伴随着行业应用对网络在端到端质量方面的极致要求，网络需从尽力而为向端到端确定性保障演进，网络协议也需创新发展。

### (3) 要素融合互促

算力将成为多技术融合、多领域协同的重要载体。算力内核的极致化和专用化（如GPU/DPU）推动了人工智能、大数据、区块链等技术的性能不断提升。行业数字化转型也需要综合应用组合技术创新。如区块链解决了多方数据可信的问题，大数据为人工智能提供了海量的训练集，人工智能提升了区块链的效率等。人工智能、大数据、区块链等技术的融合和跨领域协同，进一步提升算力服务的智能化水平、可信交易能力，推动算力服务向纵深发展。

### (4) 算网一体服务

算力与网络的深度融合，推动算网服务向极简一体化方向转变。算网服务从过去云+网服务的简单组合，转变为算网深度融合、灵活组合的一体化服务。云原生、SDN、SD-WAN、Serverless（无服务器计算）、FaaS等技术不断成熟和在网计算、意图感知等技术的探索，让服务开始从资源型向任务型发展，跨层次、多形态的极简一体化能力将更加丰富。



## 2.核心理念

### 2.1 发展愿景

**中**国移动主动拥抱产业变革，深度把握行业趋势，大力推动技术发展和服务创新，在实施“5G+AIC-DE”计划促进社会数字化转型、布局多层次数据中心提供高品质移动云服务、推进多样化算力构筑产业健康生态、探索算网融合新技术推动算网一体发展等实践的基础上，提出了“算力网络”的新理念。

算力网络是以算为中心、网为根基，网、云、数、智、安、边、端、链（ABCD-NETS）等深度融合、提供一体化服务的新型信息基础设施。算力网络的目标是实现“算力泛在、算网共生、智能编排、一体服务”，逐步推动算力成为与水电一样，可“一点接入、即取即用”的社会级服务，达成“网络无所不达、算力无所不在、智能无所不及”的愿景。

#### 算为中心，网为根基：

在行业数字化转型过程中，个人及行业对信息网络的主要需求已从以网络为核心的信息交换逐渐转变为以算力为核心的信息数据处理，算力将成为信息技术发展的核心之一。在发展过程中，网络作为连接用户、数据与算力的桥梁，需要与算力的深度融合，形成算网一体化新型基础设施。中国移动发展算力网络，将以算为中心，网为根基，充分发挥自身的网络优势，以网强算，基于广泛的网络分布和组网能力，为用户

提供低时延、高可靠的算力连接，让用户享受更优质的算网服务。

#### ABCDNETS多要素深度融合：

面向社会更广泛的业务需求，算力网络在提供算力和网络的基础上，需要融合丰富的技术要素为用户提供多要素融合的一体化服务。结合当前技术发展趋势，算力网络融合了“ABCDNETS”八大核心要素，其中云、边、端（Cloud/Edge/Terminal）作为信息社会的核心生产力，共同构成了多层立体的泛在算力架构；网络（Network）作为连接用户、数据和算力的桥梁，通过与算力的深度融合，共同构成算力网络的新型基础设施；大数据（Data）和人工智能（AI）是影响社会数智化发展的关键，算力网络需要通过融数注智，构建算网大脑，打造统一、敏捷、高效的算网资源供给体系；区块链（Blockchain）作为可信交易的核心技术，是探索基于信息和价值交换的信息数字服务的关键，是实现算力可信交易的核心基石；安全（Security）是保障算力网络可靠运行的基石，需要将“网络+安全”的一体化防护理念融入到算力网络体系中，形成内生安全防护机制。

#### 一体化服务：

通过算、网、数、智等多原子的灵活组合，实现算力服务从传统简单的云网组合服务，向多要素深度融合的一体化服务转变。算力网络的服务模式逐渐从“资源式”向“任务式”转变，为用户提供智能、极简、无感的算网服务。

水力发展离不开水网，电力发展离不开电网，算力发展离不开“算力网络”。为



了让用户享受随时随地的算力服务，发展算力网络需要重构网络，使其形成继水网、电网之后国家新型基础设施，打造“一点接入、即取即用”的社会级服务。最终实现“网络无所不达、算力无所不在、智能无所不及”。

## 2.2 发展目标

为了实现算力网络的发展愿景，中国移动将以“算力泛在、算网共生、智能编排、一体服务”为最终发展目标持续推动算力网络的发展：

### 算力泛在：

以算为中心，构筑云边端立体泛在的算力体系。算力泛在包括三方面的融通。第一，**物理空间的融通**，面向跨区域建设的算力枢纽，以及区域内多层次的算力资源，打造高品质网络基础设施拉通不同区域、不

同层级算力资源；第二，**逻辑空间的融通**，构建中国移动集中加边缘的数据中心布局，为进一步满足业务低时延、数据不出场等需求，算力将呈现云边端的立体泛在分布；第三，**异构空间的融通**，由于应用对算力专业化的需求越来越高，计算硬件出现了多样化异构形态，算力网络通过构建统一的算网基础设施层，纳管X86、ARM、RISC-V等多样性芯片架构，对外提供CPU、GPU、FPGA等多样性算力的统一供给。

### 算网共生：

算力与网络在形态和协议方面深度融合，形成一体化基础设施。推动算力和网络由网随算动、算网融合走向算网一体，最终打破网络和算力基础设施的边界，实现算网一体内生目标，网络从支持连接算力，演进为感知算力、承载算力，实现**网在算中、算在网中**。网络根据业务需求，按需进行算力网络编程，灵活调度泛在的算力

资源，协同全网的算力和网络资源，实现算力路由。通过灵活部署的在网计算，对数据进行就近加速处理，降低应用响应时延，提升系统处理效率，实现算网发展互促互进，共生共赢。

### 智能编排：

**融数注智，构建“算网大脑”，实现算网的统一编排和全局优化。**“算网大脑”向下实现算网全领域资源拉通，向上实现算网融合类全业务支撑，融合人工智能、大数据技术，实现算网统一编排、调度、管理、运维，打造算力网络资源一体设计、全局编排、灵活调度、高效优化的能力。未来，“算网大脑”还将融合意图引擎、数字孪生等技术，实现自学习、自进化，升级为真正智慧内生的“超级算网大脑”。

### 一体服务：

提供算网数智等多要素融合的一体化服务和端到端的一致性质量保障。一体服

务包含三方面的融合供给：第一，**多要素融合供给**，算力网络实现了算网数智链安等多要素的深度融合，可提供多层次叠加的一体化服务；第二，**社会算力融合供给**，算力网络通过与区块链技术的紧密结合，构建可信算网服务统一交易和运营平台，支持引入多方算力提供者，打造新型算网服务及业务能力体系，并衍生出平台型共享经济模式，实现对社会闲散算力和泛终端设备的统一纳管；第三，**数智服务融合供给**，算力网络通过提供基于“任务式”量纲的新服务模式，可以让应用在无需感知算力和网络前提下，实现对算力和网络等服务的按需使用和一键式获取，达到智能无感的极致体验。

## 2.3 体系架构

中国移动算力网络体系架构从逻辑功能上分为算网基础设施层、编排管理层和

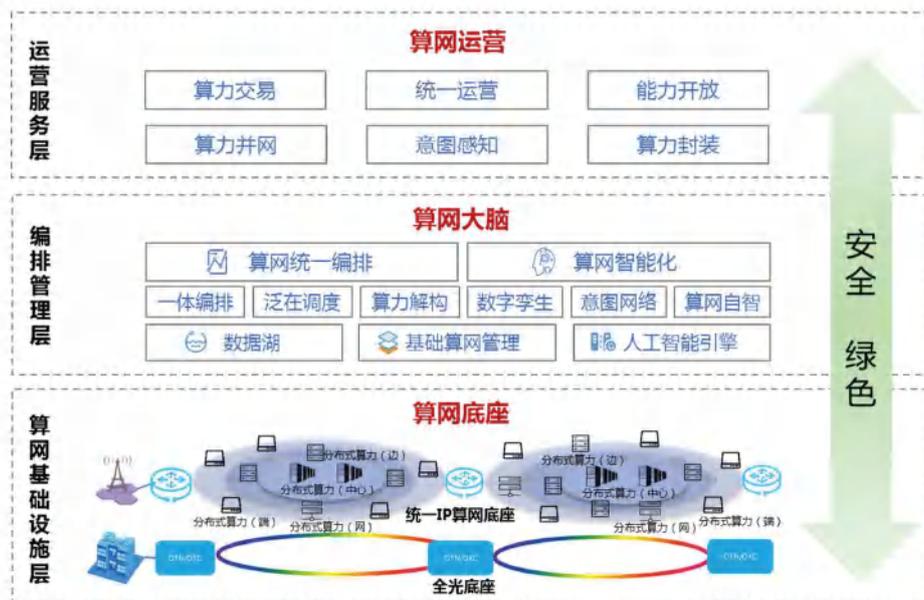


图 1 算力网络体系架构



运营服务层。

### (1) 算网基础设施层

算网基础设施层是算力网络的坚实基础，以高效能、集约化、绿色安全的新型一体化基础设施为基础，形成云边端多层次、立体泛在的分布式算力体系，满足中心级、边缘级和现场级的算力需求。网络基于全光底座和统一IP承载技术，实现云边端算力高速互联，满足数据高效、无损传输需求。用户可随时、随地、按需地通过无所不在的网络接入无处不在的算力，享受算力网络的极致服务。

### (2) 编排管理层

编排管理层是算力网络的调度中枢，智慧内生的算网大脑是编排管理层的核心。通过将算网原子能力灵活组合，结合人工智能与大数据等技术，向下实现对算网资源的统一管理、统一编排、智能调度和

全局优化，提升算力网络效能，向上提供算网调度能力接口，支撑算力网络多元化服务。

### (3) 运营服务层

运营服务层是算力网络的服务和能力提供平台，通过将算网原子化能力封装并融合多种要素，实现算网产品的一体化服务供给，使客户享受便捷的一站式服务和智能无感的体验。同时通过吸纳社会多方算力，结合区块链等技术构建可信算网服务统一交易和售卖平台，提供“算力电商”等新模式，打造新型算网服务及业务能力体系。

## 2.4 发展定位

中国移动高度重视算力网络的发展。算力网络是响应国家战略、加速技术创新、顺应产业发展、推动公司转型的必然要

求，将为社会数智化转型带来全新机遇。

算力网络是支撑国家网络强国、数字中国、智慧社会战略的根本要求，是对接国家规划，落实“东数西算”工程部署的重要支撑，是推动国家新型基础设施走向纵深的全新路径，将有力地推动算力经济的持续健康发展。

算力网络是信息科技创新的新赛道，是加快ABCDNETS等多要素融合的重要载体。发展算力网络必然会引发大量跨领域融合技术和原创技术的突破。算力网络推动网络与计算两大技术体系融合发展，以网络创新优势带动算力网络创新发展，占据新的技术制高点。

算力网络是行业发展的新引擎，是行业价值重构的重大机遇。通过发展算力网络，可以有效融通多元业态、提供多元供给、形成多元服务，催生全新的商业模式，极大的拓宽行业边界、提升行业价值，促进产业高速发展。

算力网络是中国移动转型发展的重要助推器，是中国移动筑牢“力量大厦”发展战略的新“台基”。中国移动将以算为中心，发挥网络优势，以网强算，加快构建多要素融合、一体化服务的新型基础设施。

算力网络是一个继往开来的重大系统性工程，既是近中期的规划，也是中远期的创新方向。

算力网络是对云网融合的深化和新升级，主要体现在：一是对象升级，云是算的一种载体，算力将更加立体泛在，包含边端等更丰富的形态；二是融合升级，算力网络不仅是编排管理的融合，更强调算力和网络在形态和协议上的一体融合，同时也强化了以算为中心，ABCDNETS等多种技术

的融合共生。三是运营升级，算力网络对网络运营管理的要求更高，从一站式向一体化、智慧化演进；四是服务升级，算力网络是以算力为载体，多要素融合的新型一体化服务。

算力网络将与5G和中国移动智慧中台融合互促，打造“连接+算力+能力”的新型信息服务体系，共筑数字产业化新生态，赋能产业数字化蓬勃发展。通过数字产业化“小生态”的精耕细作，全方位、深层次地赋能数字经济，实现产业数字化的大目标。

算力网络也将成为6G网络发展的基础。在网络和计算深度融合发展的大趋势下，6G的核心愿景和应用场景呼唤基础设施的创新，要求网络 and 计算相互感知，高度协同，实现泛在计算互联，提升网络资源效率。

## 3. 场景展望

**算**力网络将丰富和扩展算力的供给、应用和服务方式，能够大大提升算网服务的灵活性和高效性。

算力网络聚焦数字化转型，面向生活、行业和社会新兴业务的已有场景升级和未来场景畅想，提供网随算动、云网边端、算网一体、可信共享等多种新服务方式，赋能千行百业。

本章以生活、行业、社会中的场景为例，简述了算力网络如何赋能百业，但算力网络业务和应用场景是不断涌现、不断创新的，未来将有无限可能，需要联合产业界各方力量共同发掘和想象。

### 3.1 赋能生活，提供用户极致生活新体验

在社交、娱乐、消费、健康管理等方面服务内容和体验逐渐升级的趋势下，算力性能、服务体验与整体服务成本之间的矛盾逐步凸显。而算力网络可以通过极致可靠的网络连接，协同调度云计算、边缘计算、智能终端等多级算力，以更高的算力性能和更低的终端成本，实现算力对应用的加持，为用户提供智能化、沉浸式服务内容和体验。

在个人生活场景中，算力网络通过应用与算力融合催生全新泛在服务形态。一方面推动低时延、高算力、大带宽的新产品演进，如用户可通过VR头显在虚拟场景中

观看点播或直播全景，通过算力网络提供端到端差异化的服务保障，不管是在家中、车里，甚至高速移动的列车中都可以在虚拟世界里享受到社交、娱乐等沉浸式服务体验；通过算力网络可降低云游戏的运营门槛，保障业务质量，提升用户体验，可让用户参与超大规模的联机游戏，实现万人同屏、多端互动。另一方面算力网络促进更多应用在云端和边端部署，降低了终端计算、存储等资源的压力，从而让应用体验突破终端性能的限制，实现高质量的服务升级。用户可以使用低配置的终端，通过购买算力网络服务，无需感知算力的位置和形态，即可完成基于云OS的云手机、云电脑、云化娱乐盒子等多种形式的云终端配置，实现应用的云端运行，畅享极致体验。

未来随着虚拟现实、增强现实、全息技术、感知技术、图像处理、视频渲染等强交互技术的进一步成熟，虚拟和现实的边界将被打破，人们将在虚实融合的世界中获得更为丰富的全沉浸式体验，那时终端连接量、数据产生量和计算量将激增，大量的计算任务将逐渐由终端侧卸载到边缘计算节点或者云上完成。我们将通过对云边协同服务升级，构建云边端多层次分布、一体化算力调度的算力网络，满足上述场景中计算任务的分布化处理的要求，将计算任务智能化匹配到相适应的算力节点，让用户无需关心资源的异构情况和任务实际执行环境，从而最大程度简化应用的部署过程，提供最佳的服务体验保障。

在家庭场景中，智能终端的算力也可以充分共享和复用。比如，家用电脑、智能

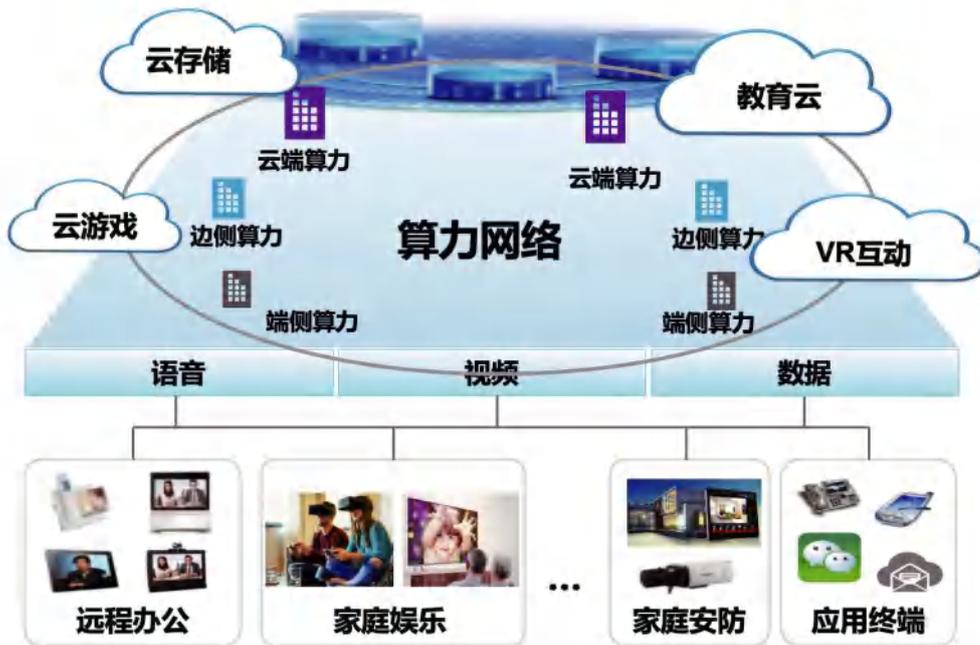


图2 赋能生活场景

机顶盒等家用智能终端，可与其它家庭智能终端联网，提供数据存储和智能分析的能力；智能手环、智能冰箱、智能微波炉、智能体脂秤等应用和数据的协同，可实现对用户身体状态、饮食偏好、烹饪情况的综合分析，提供完整的身体健康服务。算力网络会为用户提供灵活组合的场景化服务，让用户享受智简无感的服务体验。

### 3.2 赋能行业，打造行业数智能力新基石

未来的生产模式将从观察生产信息到感知生产信息、实时响应和处理生产信息，从操作性生产到智能化生产变革。这种变革需要更高效的数据传输和更强大的数据处理能力。算力网络通过深度融合人工智能、物联网、5G、边缘计算、数字孪生等技术要素，将全面助力行业数字化转型。

在智慧交通场景中，通过摄像头、雷达等传感设备，获取交通环境中的多维数据，并对海量数据进行分析学习，推理出相应调度策略，调节交通信号、指导车辆自动驾驶。为实现全场景的车路信息准确感知和处理，需要协同车内、车间、车路等多维度的信息，基于算网协同调度能力，将不同时延、算力需求的车内、车间、路侧协同等应用分发到云、边、端算力节点，并与车载终端协同，最终形成精准、实时的驾驶策略。

在智慧医疗场景中，传统核磁共振成像等二维医学影像资料，存在病灶边界模糊不清、病灶与健康组织重叠、周围器官组织结构复杂情况不明等问题。通过三维可视化技术将三维立体病理影像与VR技术相结合，配合触觉交互设备等新型交互技术，医护人员可置身于虚拟现实之中，可构建有空间感的全息医疗平台。通过算力网

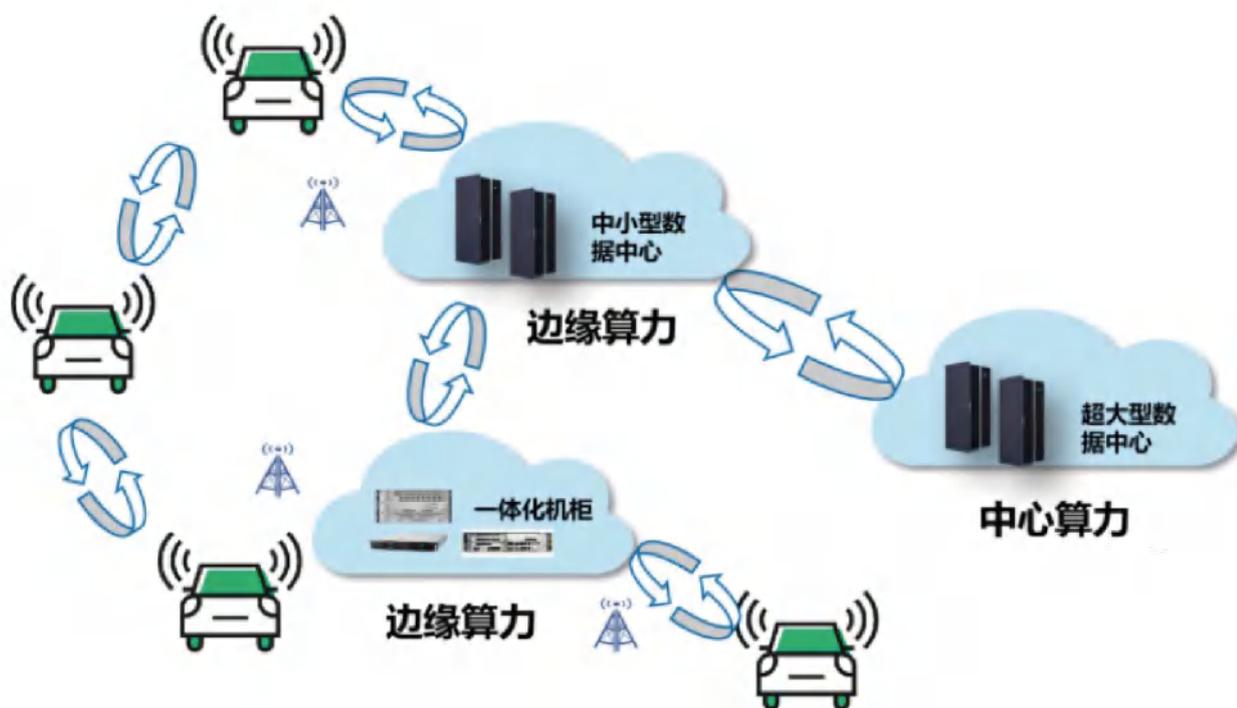


图3 赋能行业场景

网络,可实时构建渲染后的全息影像,并对网络的质量提供全程保障,从而有效满足医疗环境下术前、术中和术后以及医疗教学环节多场景的影像分析需求。

### 3.3 赋能社会,开创社会算力交易新业态

未来泛在算力的分布将受到能源供给、气候条件、网络连接等因素的影响。在国家“东数西算”和双碳目标驱动下,将催生以数据为关键生产要素、算力为核心生产力的绿色算力经济新形态。算力网络可提供基于数据、计算、智能、绿色、网络融合发展的新型共享服务模式,广泛服务于

智能科学模拟、数字化政府治理等场景,提供安全可信的服务保障。

在高性能计算场景下,如引力波验证、粒子加速器、蛋白质内部结构研究等尖端科研项目,需要大量的CPU、GPU、内存和网络资源,但对实时性要求不高。当前大部分科研机构 and 高校进行科学数据处理时,多选择使用公有云算力或自建高性能计算集群,甚至是超算集群,计算成本高昂。算力网络的共享经济模式,可将高算力消耗的科学计算任务拆解并分布调度到广泛存在的社会存量算力上运行,极大降低科研单位算力成本。美国“在家搜寻外星生命”项目在短短5年间,在互联网连接的个人计算机闲置的处理器资源上,积累了近200万

年的CPU运行时间，处理了超过13亿个数据单元，是算力“网络化”的成功实践。

在大数据处理场景下，如政府大数据治理、信息化处理等应用，需要综合考虑海量数据存储成本 and 数据分析时延需求。算力网络可通过西部枢纽低成本资源满足非实时存储需求，通过东部枢纽的热点资源满足实时数据存储需求。同时，算力网络保证每个算力节点的安全可信，通过引入隐私计算技术，分割数据“知情权”和数据“操作权”，保证算力节点在计算中无法直接读

取用户隐私数据，实现算力网络对数据的“可用不可见”。

算力网络以平台型共享经济服务模式，盘活新建和存量算力资源，实现“人人”为“人人”的开放化解决方案。通过算力网络搭建“算力电商”的可信共享交易平台。面向高算力消耗场景，可极大降低算力租赁成本，个人和企业也可以随时将闲置算力贡献出来，获得算力服务收益。

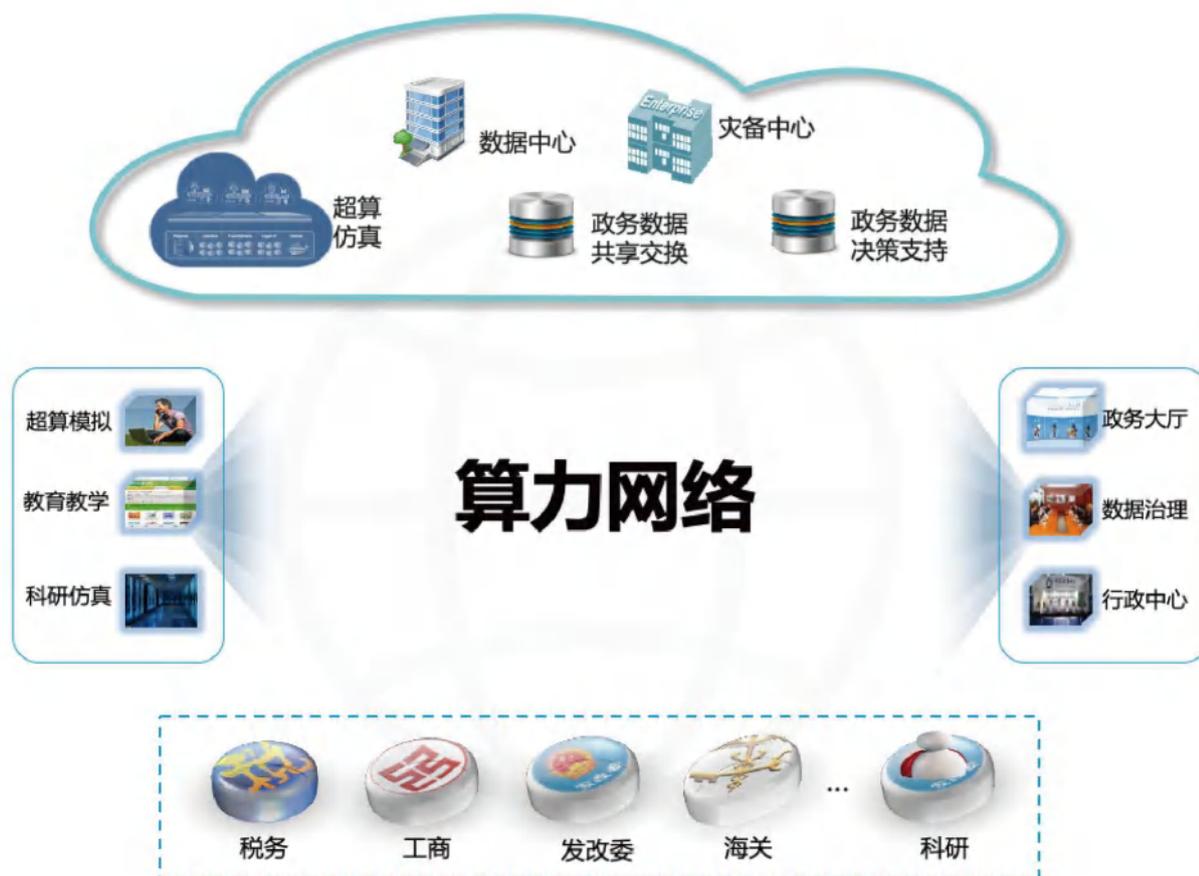


图4 赋能社会场景

## 4. 发展路径

**中** 国移动计划把算力网络的发展分为三个阶段，即泛在协同、融合统一到一体内生。通过算网基础设施层、编排管理层和运营服务层的不断突破，最终实现算力网络的目标架构。

### 4.1 阶段一：泛在协同

本阶段是算力网络的起步阶段，其核心理念是“协同”。尽管算和网依然是两个独立的个体，各自编排调度，但算网开始向

布局协同、运营协同发展，通过协同算网服务入口，实现资源互调，满足用户一站开通需求。

该阶段的主要特征包括：网随算动、协同编排、协同运营和一站服务。

#### 网随算动

算力基础设施布局从集中式走向分布式，兼顾能源、气候、站址等多方面因素，形成东西地域协同、云边多级协同的算力布局。同时，网络基础设施以算力高效互联为目标完成架构升级，中心算力节点间骨干网全Mesh互联，边缘算力节点间分支网络按需高效组网，实现算网布局协同。

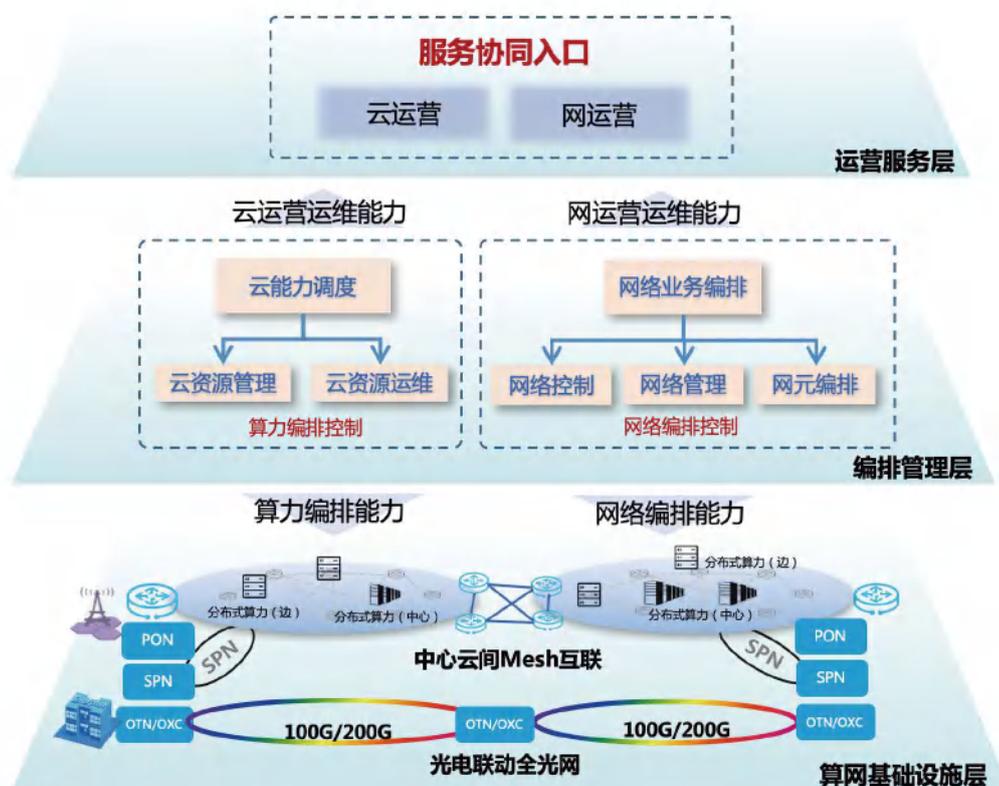


图 5 泛在协同阶段

### 协同编排

算力网络通过多云管理器对云、边等分布式算力进行统一纳管，实现算力跨层调度；通过网络编排器对接跨域、跨专业的连接网络，实现网络端到端拉通。二者被上层运营系统协同调用，实现算网服务的一键式开通。

### 协同运营

通过算力运营入口和网络运营入口的协同互调，均可提供一站式算网业务开通的服务，因此算力网络在逻辑上呈现出统一的服务入口。

### 一站服务

通过算网服务协同入口，多种渠道均可为用户提供可一点受理、一键开通的算网“固定”组合产品，实现一站式服务。

本阶段关注以边缘计算、云原生、无服务器计算、异构计算、SDN、SRv6/G-SRv6、SD-WAN、光电联动全光网络、隐私计算、算力度量为代表的技术，支撑算网在各自领域深入发展。

## 4.2 阶段二：融合统一

本阶段是算力网络的发展阶段，其核心理念是“融合”。算与网逐步融合发展，但还是两个“身体”，负责管理编排的“大脑”开始融合统一，实现在算网资源层面的统一管理、编排和调度。

该阶段的主要特征包括：算网融合、智能编排、统一运营和融合服务。

### 算网融合

网络持续向平台原生化、性能极致化、功能定制化方向发展，与算力的融合程度也随之加深。面向云原生演进持续打造敏捷灵活的算网底座；DPU的逐步成熟使能网络和计算任务同时卸载至智能网卡，实现极致性能；边缘计算的广泛应用驱动网络开始感知算力的类型和位置，实现就近分流，算网融合一体的平台服务将向纵深发展。

### 智能编排

通过“算网大脑”对算网原子服务能力进行组合和封装，结合AI、大数据等技术，实现算网资源的数据统一纳管，服务灵活编排，实现算网资源互视和确定性质量保证。

### 统一运营

依托算网统一运营平台，在物理上提供统一的服务入口，实现算网业务统一开通、统一计费。

### 融合服务

融合人工智能、大数据等要素能力，提供统一的、多维度的“资源式”算网产品，服务质量端到端保障，用户无需关注资源的位置与形态，即可享受按需满足的算网服务。

本阶段关注网络智能化、算网大脑、多样化量纲、超边缘计算、确定性网络、应用感知为代表的技术，实现算网智能编排和端到端的质量保障。

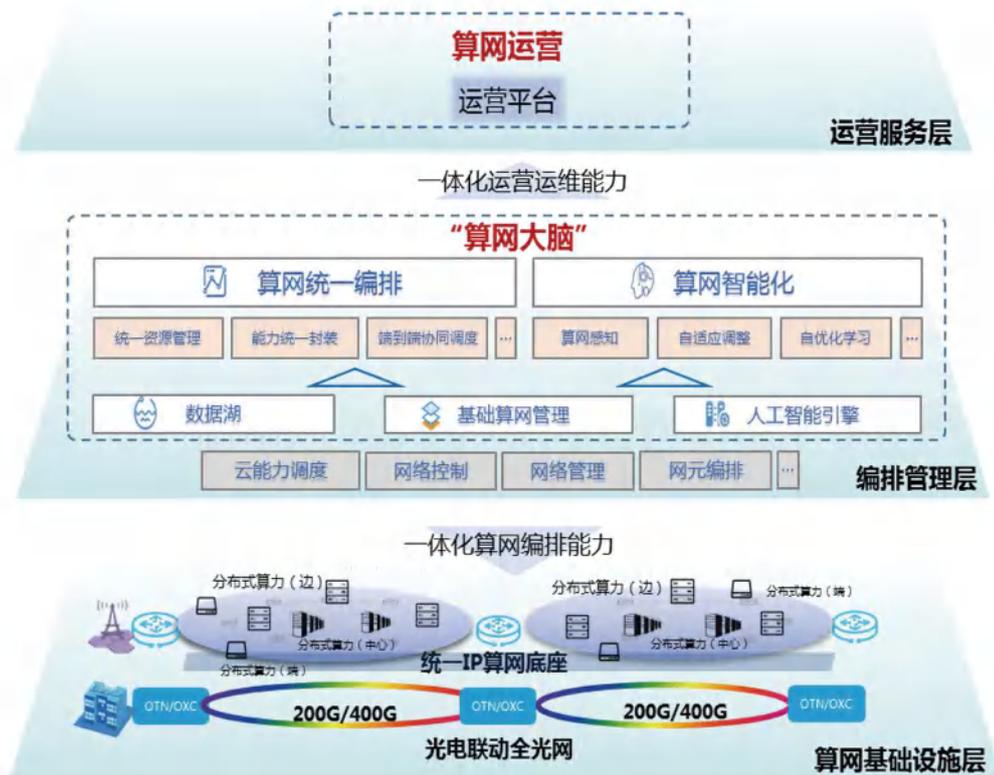


图6 融合统一阶段

### 4.3 阶段三：一体内生

本阶段是算力网络的跨越阶段，核心理念是“一体”。算网边界被彻底打破，形成算网一体化基础设施，为用户提供融合多技术要素的一体化服务。

该阶段的主要特征包括：算网一体、智慧内生、创新运营和一体服务，支撑实现算力网络的最终目标。

#### 算网一体

算网在协议层面将实现一体共生，算力资源状态将被引入网络路由域，通过网络控制面分发算力服务节点的算力、存储、算法等资源信息，并结合网络信息和用户

需求，提供最佳算网资源的分发、关联、调配。算力和网络在形态上也将逐步趋同，随着网络设备处理能力的持续增强，部分计算任务分解下沉到各网元中，借助无损、可编程网络，数据在搬运的同时进行计算，显著降低应用处理时延，实现转发即计算。

#### 智慧内生

“算网大脑”智慧能力持续提升，将AI和大数据融入基因之中，实现数据自采集、自分析、自学习、自升级的智能化闭环。“算网大脑”通过意图引擎智能感知、分析业务需求，提供“智能极简”的算网服务。通过物理与孪生世界的实时交互映射，提供可

预测、可视化的数字建模和验证，推动“自智算网”的实现。

### 模式创新

算力网络可吸纳全社会算力资源，通过算力交易和运营平台，实现泛在多方算力交易，同时开放算网能力，形成社会多方算力、多层次能力共享的新商业模式。

### 一体服务

算网数智链安等多要素能力深度融合，提供种类丰富、类型可延展、“任务式”的算网产品。算力网络可自动感知用户意图，提供最适合的一体化服务，使用户享受智能无感的极致体验。

本阶段关注以算力路由、在网计算、数字孪生、意图网络、算力并网、可信交易等为代表的技术，实现算网设施一体化，提升算力网络智能化，开创算网服务新模式。

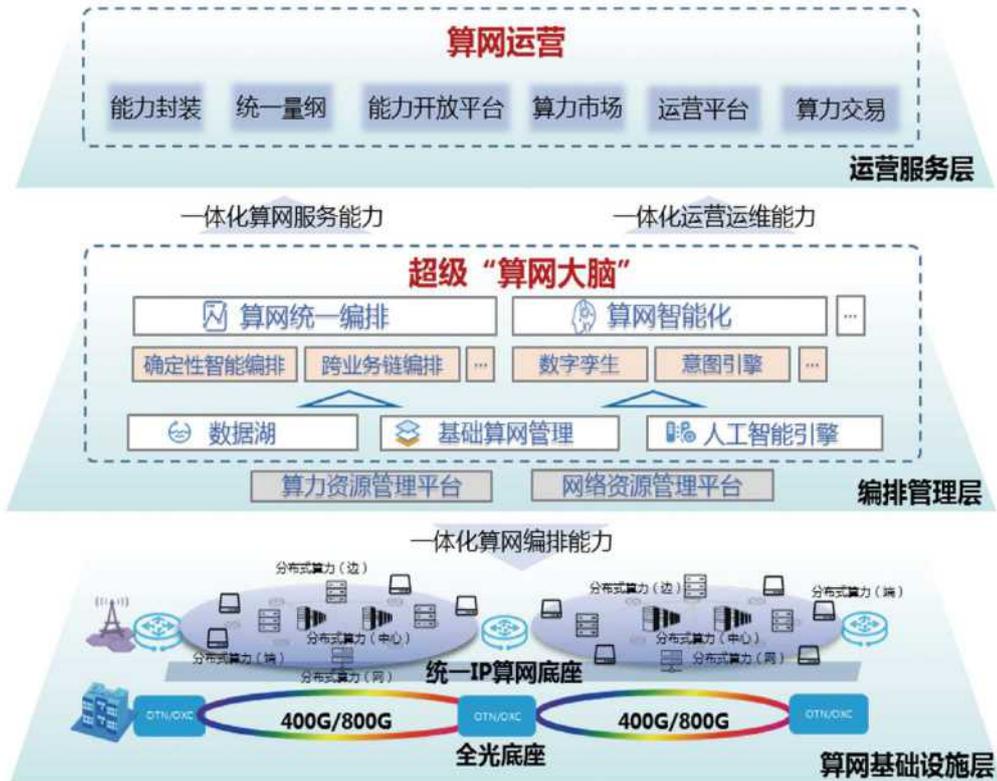


图7 一体内生阶段

## 5.技术创新

### 5.1 技术图谱

**算**力网络的发展需要技术的坚实支撑，这其中既有现有技术的加速创新，也有交叉技术的跨界创新，更有原创技术的引领创新。算力网络为技术创新提出了巨大需求和应用空间，是技术创新的发展机遇，也是重大挑战。

为稳步推进算力网络的发展，中国移

动聚合创新链和产业链，围绕算力网络基础设施层、编排管理层和运营服务层构建了算力网络技术图谱（参见图8）。其中，中国移动也提出了一些原创技术，希望与产业界共同探讨，通过关键技术攻关、试验试点验证和商用落地实践加速算力网络技术成熟。

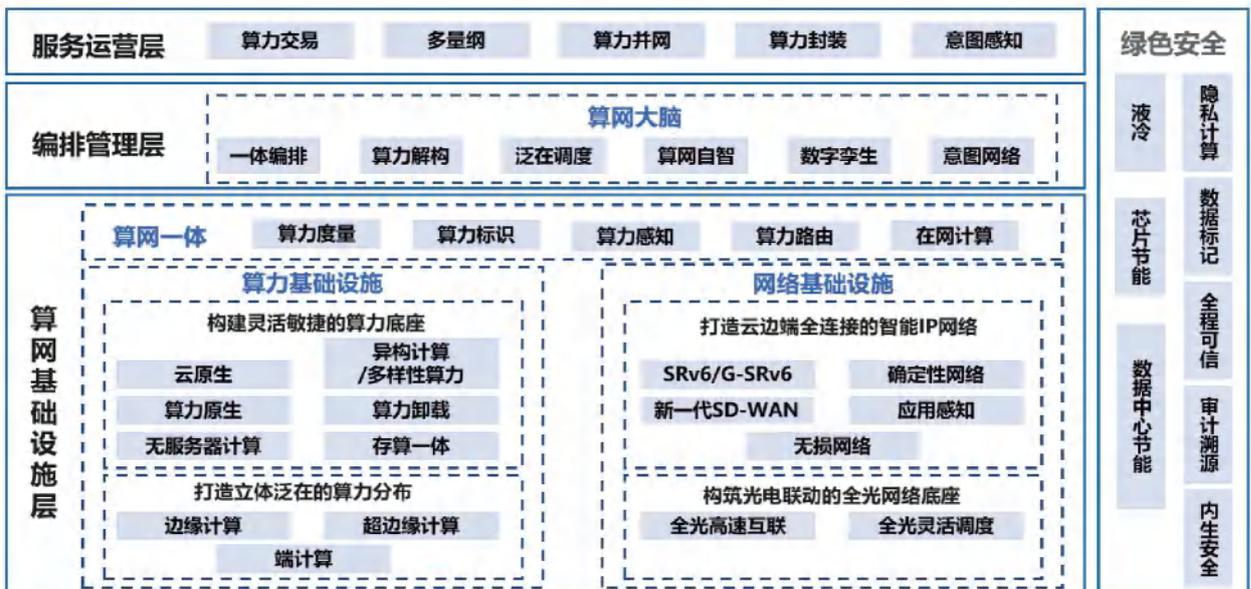


图8 算力网络技术图谱

# 5.2 算力基础设施关键技术

## 5.2.1 构建灵活敏捷的算力底座

算力基础设施是算力网络的核心，中国移动以构建高效、灵活、敏捷的算力基础设施为目标，积极引入云原生、无服务器计算、异构计算、算力卸载等技术，探索算力原生、存算一体等新方向，持续增强算力能力，释放算力价值。

### 云原生

云原生是在云上构建、运行、管理应用程序的一套技术体系和管理方法，依托微服务架构、敏捷基础设施与平台服务和高效研发运维模式，简化云上业务开发管理难度，构建敏捷健壮的业务系统。云原生技术及理念可促进云的敏捷构建，实现弹性、健壮、灵活的算力基础设施。

### 无服务器计算

无服务器计算是指用户在编写和运行应用程序时无需关注底层资源的一种计算范式，是一种用户无需在基础设施上托管应用程序的新型算力使用方式。无服务器计算融合了微服务、FaaS、BaaS、事件驱动编程等最新技术进展，是云原生技术的补充及延伸。

### 异构计算/多样性算力

异构计算是采用CPU、GPU、FPGA、DPU等各种不同类型指令集、不同体系架构的计算单元而组成的混合系统，用以满足通用计算和专有计算的不同需求。“CPU+GPU”、“CPU+FPGA”、

“CPU+DPU”等都是当前广泛使用的异构计算方式。异构计算在并行计算效率和低延迟计算性能上具有更大优势，集合业务需求部署异构计算方案，可满足计算、I/O、网络密集型应用的性能需求。

### 算力原生

算力原生是一系列基于异构硬件的开发和部署方法，通过建立异构计算资源抽象模型，统一算力度量规则，结合算力资源映射能力，提供统一异构硬件开发工具，为用户提供便捷化业务开发和部署方式。算力原生可以屏蔽异构硬件差异，减少用户跨架构编程的重编译和迁移代价，使得应用只需关注计算表达，无需关注计算在硬件上的具体实现。

### 算力卸载

算力卸载是将软件中需要高速处理的功能单元（如虚拟网络交换机、存储协议栈等）从通用CPU上抽离，由智能网卡硬件（如DPU）实现的技术。算力卸载通过统筹虚拟化平台、数据安全、运维管理等技术要求，定制虚拟化软硬件架构，能够综合硬件高效性和软件灵活性，构建高性能、高可靠的云化能力。

### 存算一体

存算一体是将计算和存储集成到一个芯片上的新架构，用以消除数据存取延迟和功耗。存算一体技术致力于挣脱“存储墙”瓶颈束缚，提升数据存算效率。从数据就近处理，到直接利用存储器进行数据处理实现真正意义存算一体，有望构建新的计算机体系架构，为算力网络一体化基础设施提供新鲜血液。

## 5.2.2 打造更加泛在的算力分布

算力基础设施从云向算、从中心向边缘和端侧泛在演进，通过发展边缘计算、超边缘计算和端计算，形成更加泛在的多维立体算力布局。

### 边缘计算

边缘计算本身是跨技术领域的系统工程，其包括：可规模复制的标准化轻量边缘计算基础设施、下沉的网络分流节点、边缘能力开放平台及支撑边缘业务运营运维的管理系统。目前边缘计算已经成为产业融合和竞争的热点，正在从概念普及到实施部署演进，需要进一步构建融通融智、开源开放的生态圈，融入算力网络，实现边缘计算+行业的价值最大化。

### 超边缘计算

超边缘计算是面向工业互联网业务的现场级边缘计算体系架构。不同于传统的边缘计算，超边缘计算更强调在各垂直行业的末端接入节点部署轻量级边缘计算服务，并结合优质的网络连接能力，为垂直行业提供可定制化的服务质量保证，实现可靠网络连接向垂直行业的进一步延伸。

### 端计算

端计算是将终端自身的算力进行整合和管理，融入算力网络进行统一的管理和调度。在算力网络基础设施中，终端设备的算力是算力网络的重要组成部分。端计算的融入不仅能够实现真正的算力泛在，同时能够为用户提供更高质量的计算服务。





### 5.3 网络基础设施关键技术

网络基础设施层需要加快构建光电联动的全光网络和云边端全连接的智能IP网络，打造高品质网络基础设施，优化网络结构，扩展网络带宽，减少数据绕转时延，以运力促算力，打造新一代算力基础网络和算网协同新体系。

#### 5.3.1 构建光电联动的全光网络底座

网络基础设施需要构筑基于OXC的光电联动全光网络底座，通过大容量高速互联和全光灵活调度，实现对算力网络中业务流量、流向需求和变化的动态感知，保障算网协同、实时响应和端到端的服务。

##### 全光高速互联

全光高速互联是为满足算力节点100GE、400GE、800GE的超宽端口连接需

求，而提供的200G、400G和800G光传输系统。为保持光传输距离不变，实现容量翻番，需要不断突破高速光调制技术和器件、超宽放大、新型光纤技术，频谱需从传统80波C波段向120/240波C++/C+L波段扩展，未来进一步扩展至C+L+S波段，助力骨干基础设施全面升级，实现算力网络全光高速互联。

##### 全光灵活调度

全光灵活调度基于OXC光电联动全光组网技术，可实现大容量波长级业务的光层调度和小颗粒子波长级业务的电层调度，支持全颗粒业务的组网调度。通过引入SDN管控机制、光层OAM协同光层、电层调度、全光网数字孪生、AI智能分析等关键技术，可以满足业务全颗粒、低时延、高效率全光调度需求，建立全光网络与算力协同联动机制，打造一跳入云、确定性时延、绝对物理安全、绿色节能的新型光电联动全光网络底座。

### 5.3.2 打造云边端全连接的智能IP网络

面向算力资源的灵活承载和调度需求，算力网络需构建以算力为中心的IP网络基础设施。通过引入SRv6/G-SRv6、确定性网络、新一代SD-WAN、应用感知、无损网络等技术，中国移动持续打造可编程、确定性、可感知、业务随选和智能化的IP网络，实现算网灵活、敏捷、高效供给。

#### SRv6/G-SRv6

SRv6/G-SRv6是利用IPv6及源路由技术实现网络可编程的新型协议体系，全面定义了包含数据面、控制面、OAM、故障保护等在内的多类协议，具有良好的扩展性和可编程性。G-SRv6在原生SRv6基础上提升了封装效率，并具备统一协议承载、拓扑无关的ms级保护、业务级可视、三级可编程、平滑演进等多方位技术优势。G-SRv6能够为算力资源提供覆盖省网、骨干和数据中心的端到端按需调度能力，并通过灵活的业务链使能丰富的增值业务，是实现算网融合的核心技术。

#### 确定性网络

确定性网络通过资源预留、流量整形、网络切片、路径规划等技术的结合，实现可预期、可规划的流量调度，将时延、抖动和丢包率控制在确定的范围内，满足高带宽、低时延、高可靠的新型业务需求。一方面，可以通过网络切片、资源隔离等技术，提升网络整体性能，保障云游戏等非严格的确定性业务需求；另一方面，可以通过精细的时间同步、队列调度等机制，实现微

妙级的时延和抖动，满足工业控制等严格的确定性业务指标。同时，还需要兼顾无线资源预留，跨网络域的控制面协同和转发面互通，保障端到端的网络确定性。

#### 新一代SD-WAN/智享WAN

智享WAN是融合Overlay和Underlay网络的新一代SD-WAN。该技术可利用SRv6/G-SRv6实现端到端网络可编程，利用应用感知能力实现差异化的网络服务，利用随流检测进行SLA闭环控制实现网络质量可靠保障。智享WAN结合网络和应用需求提供统一编排、统一管理的能力，为算力资源的分发提供质量可保障的连接服务。

#### 应用感知

应用感知利用IPv6的可编程空间，在用户侧将应用信息和需求内嵌在业务报文中，在网络侧进行标记识别和应用质量保障，使算力网络有效且低成本地感知应用差异化需求，提供应用级网络服务。同时，应用感知还可以结合业务链技术实现灵活丰富的算力增值服务能力。

#### 无损网络

无损网络通过AI增强的RoCE技术，解决了以太网在丢包、保护和即插即用方面的问题，有效支撑了存储和高性能计算的低时延和无损需求。无损网络技术可实现通用计算、存储及高性能计算的融合，统一数据中心网络架构，极大的提升网络容量、性能和运维效率，最大化释放数据中心算力。

### 5.4 算网一体关键技术

算网一体通过算力度量、算力标识、算力感知、算力路由和在网计算等技术实现算力和网络在协议和形态上的深度融合、一体共生。以算网一体为核心特征的算力网络也是6G网络的关键技术，6G网络对内实现计算内生，对外提供计算服务。6G中的算力网络通过实时准确的算力发现、灵活动态的服务调度、体验一致的用户服务，实现计算和网络资源的智能调度和优化利用。

#### 算力度量

算力度量是对算力需求和算力资源进行统一的抽象描述，并结合网络性能指标形成算网能力模板，为算力路由、算力管理和算力计费提供标准统一的度量规则。算力度量体系可包括对异构硬件芯片算力的度量、对算力节点能力的度量和算网业务需求的度量。

#### 算力标识

算力标识是全局统一、可验证的，用于标识算力资源、函数、功能和应用等不同维度的算力。用户通过算力标识指示所需服务，网络通过解析算力标识获取目标算力服务、算力需求等信息，为算力调度等提供基础。

#### 算力感知

算力感知是网络对算力资源和算力服务的部署位置、实时状态、负载信息、业务需求的全面感知。一方面，各算力节点将算网信息度量建模后统一发布，网络通过对

多节点上报的算网信息进行聚合，构建全局统一的算网状态视图。另一方面，网络完成对业务算网需求的统一解析，实现对业务的全面感知，为基于业务需求进行算力调度提供保障。

#### 算力路由

算力路由基于对网络、计算、存储等多维资源、服务的状态感知，将感知的算力信息全网通告，通过“算力+网络”的多因子联合计算，按需动态生成业务调度策略，将应用请求沿最优路径调度至算力节点，提高算力和网络资源效率，保障用户体验。

#### 在网计算

在网计算是通过在网络中部署对报文进行解析的算力，将部分计算任务从主机侧迁移至网络侧，由交换机、路由器、智能网卡、DPU等设备或部件完成计算加速的技术。通过网络设备自身算力的共享，在不改变业务原有运行模式的前提下，对数据进行随路计算，降低通信延迟，提升计算效率，减小总体能耗。



## 5.5 编排管理关键技术

面对高复杂度的算网环境，以及按需定制、灵活高效的需求特性，在编排管理层需构建一体编排、融数注智的“算网大脑”。通过引入一体编排、算力解构、泛在调度等技术，协同调度算网各域资源。同时与AI、大数据等技术深度融合，探索算网自智、数字孪生、意图网络等新方向，不断增强算力网络自动化、智能化能力，满足客户灵活、动态、多样的业务需求，并提供智能闭环的保障能力。

### 一体编排

算网一体编排是针对多样化、定制化的算网融合服务需求，基于算力和网络的原子能力进行灵活组合、一体编排，设计产品服务模型，并以模板的形式固化所需的资源、服务、策略及配置，实现流程、模型等因子的通用化、标准化，实现算网业务统一编排、部署和保障。

### 算力解构

算力解构是将多样化、大粒度、复杂的算力需求，根据业务逻辑、资源需求、性能需求、服务持续性、业务流粘性、资源节点统一性等因素，分解成小粒度、简化的算力需求，使业务可以分布式地部署在云边端多级算力节点上，来克服单设备资源能力有限的瓶颈，实现业务的灵活部署，资源的高效利用。

### 泛在调度

泛在调度在算力网络充分吸纳全社会

云边端多级泛在的算力资源的基础上，综合考虑网络的实时状态、用户的移动位置、数据流动等要素，实现了对算力资源的统一管理、跨层调配和应用的敏捷部署、动态调整。用户可在不关心算力形态和位置的情况下，实现对算力资源的随取随用。

### 算网自智

算网自智是指一种使网络具备自服务、自修复、自优化等特性的技术能力，使算力网络面向消费者和垂直行业客户，能够提供全自动、零等待、零接触的创新网络服务。算网自智通过对高复杂度的算网环境进行通用化数学建模，利用智能核心算法，实现一系列智能控制和决策。

### 数字孪生

算网数字孪生是以数字化方式创建物理算网实体的虚拟孪生体，并支持与物理算网实体之间进行实时交互映射。通过构建算网数字孪生平台，可在数字空间进行建模、仿真、控制等操作，同时基于算网孪生平台的结果反馈，优化物理空间中各资源要素的配置，进而有效降低维优成本，提升算网运行可靠性。

### 意图网络

意图网络是一种可以在任何时间内完成算力选择、算网资源整合、持续交付服务意图的网络，从当前以人驱动为主实现网络管理自动化的模式，逐渐过渡到更灵活的，可自愈、零接触的意图驱动的管理模式。

### 5.6 运营服务关键技术

算力网络通过构建包含算力交易、多量纲、算力并网、算力封装、意图感知等关键技术的运营服务技术体系，实现产业生态的培育，算网服务的创新，社会算力的整合，打造全新的算网一体运营服务体系和商业模式，重塑信息服务产业价值链分配体系。

#### 算力交易

算力交易是指多算力提供者参与的可信算力交易模式。算力网络通过搭建以平台型共享经济服务模式为核心，数字化网络为依托的算力服务运营交易平台，构建供给方和消费方的桥梁，盘活新建和存量算力资源，实现“人人”为“人人”的开放化解决方案。

#### 多量纲

多量纲是基于业务、服务、应用等多维指标构建的量纲体系，以实现差异化算

网资源及能力的屏蔽。基于多量纲模式，用户在部署应用时只需要关注业务需求、覆盖区域、质量要求等应用层的服务指标，无需关注算力形态和位置。

#### 算力并网

算力并网指通过引入区块链等去中心化技术，对闲散算力资源、多方算力资源和算力服务进行统一的注册和管理，实现分布式算力统一运营。

#### 算力封装

算力封装指通过对算力网络包含的硬件资源、平台资源、软件资源、功能资源等原子化基础能力的统一封装，构建多要素的一致化API调用能力。

#### 意图感知

意图感知指通过意图输入、意图翻译、策略验证、意图校验、异常自修复等核心算法，实现用户意图的精准识别，以及和算网资源的精确匹配。



## 5.7 绿色与安全关键技术

### 5.7.1 低碳节能构筑绿色算网

算力网络的发展要以绿色低碳为目标贯穿始终，通过引入芯片封装优化、处理器动态功耗调节、服务器液冷、数据中心节能等技术方案，从芯片、设备到数据中心进行端到端的系统级能效优化，有效降低数据中心PUE，实现双碳目标，推动经济社会可持续发展。

#### 芯片节能

在芯片层面，随着工艺、材料等的技术遇到瓶颈，节能技术逐步向封测和降频方向发展。在封装技术节能中，原有二维平台封装逐渐转变为3D立体封装，通过基于封装内的裸芯片堆叠和封装堆叠，降低寄生性电容和电感的能耗。在处理器降频节能技术中，工作负载降低后，多核处理器会对

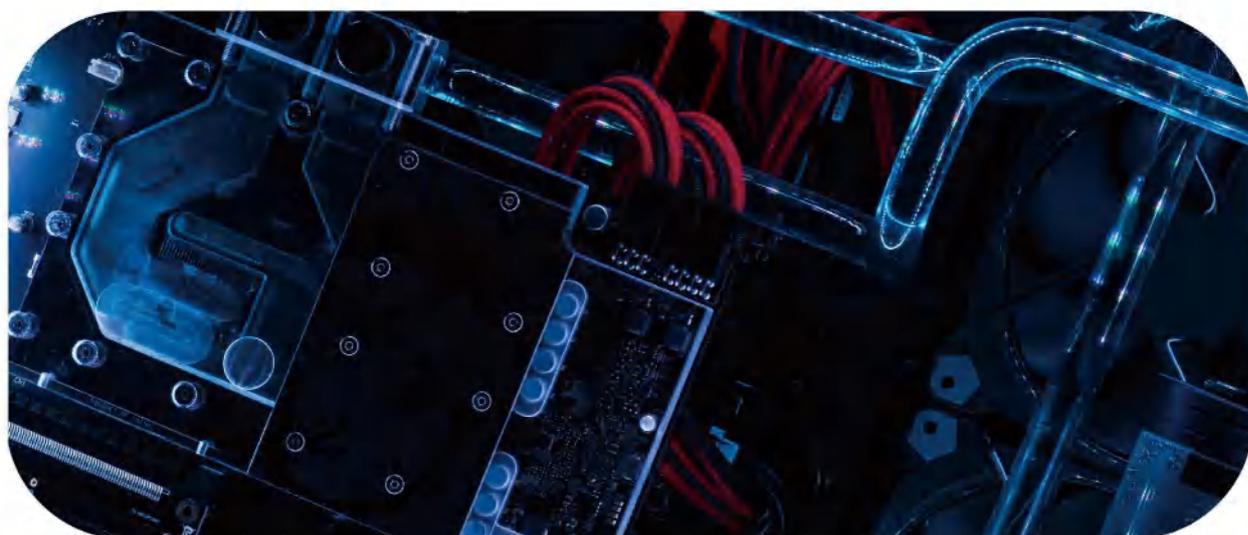
全部或部分处理核心的工作状态进行控制，通过降频、降电压、关时钟等方式，降低芯片的实际功耗。

#### 液冷技术

目前数据中心大都采用传统的风冷散热模式，尽管使用了冷热隔离、精密空调等节能方式，但仍面临能耗和PUE偏高的问题。同时，随着功率密度的逐步攀升，风冷的冷却能力正趋向于极限，液冷技术为我们提供了新的解决方案，可有效提升设备的能效水平。

#### 数据中心节能

新型“数智低碳”数据中心向建筑装配化、制冷低碳化、供电简洁化等多方面演进。推进仓储式数据中心，通过模块化、标准化、装配化，实现灵活部署、柔性匹配，简化配电架构，推行机房机电分级建设。同时，可通过引入结合业务调度和业务负载特点的全栈自动化协同优化技术，实现一体化数据中心的高能效。



### 5.7.2 安全可信护航算网服务

安全可信方面，算力网络涉及多源、泛在算力节点，无法保证每个节点的安全可靠，数据分散到多方算力节点进行计算的模式，会使算网服务面临网络攻击和数据隐私泄露等严重安全风险，需要引入创新安全理念，借助隐私计算、数据标记、全程可信、审计溯源、内生安全等技术，达到节点隐身“不可知”、攻击威胁“不可达”、算网系统“不被控”的一体化安全防护效果，推动算网安全从单点可控迈向全程可信。

#### 隐私计算

隐私计算是借助安全多方计算、同态加密等技术，在不泄露敏感数据前提下，对数据进行分析计算的技术。引入隐私计算，可依托多方算力，分治计算任务，融合中间数据得到最终计算结果，实现算力服务对数据的“可用不可见”，为用户提供安全的计算服务。

#### 数据标记

数据标记技术是通过在网络层对数据流转节点、数据操作、数据流向等信息进行编码标记，构建跨系统跨节点的数据流转标记和预授权能力，实现数据出网可管控、数据流转可感知。引入数据标记技术，能够及时发现数据安全威胁，做好对数据的管控。

#### 全程可信

全程可信是指通过建立可信认证，构建从物理设备、操作系统、关键应用、关键数据间的逐级信任传递，确保业务可信接

入，保障数据安全传输、网络有效隔离，提升算力网络抵御未知威胁的能力，实现算网安全全程可信。

#### 审计溯源

审计溯源是指基于数据治理和访问控制规则，对算力网络中重要数据（包括系统数据、配置参数、业务数据和用户数据等）的访问行为进行记录和审计，并追溯指定数据的各处理环节。借助区块链的智能合约、多方共识等技术在算力网络中实现对行为的审计溯源，能够提升算力网络数据处理环节的公信力。

#### 内生安全

内生安全是指以算网自身安全能力为基础，以智能分析、灵活编排为手段，形成主动免疫、协同弹性的内生安全能力，满足网络行为可预期、强管理、端到端极度差异化的安全需求。近期主要借助安全算力编排技术，高安全隔离技术、算力安全对抗技术等，构建算力网络内生安全体系，实现算力网络的自免疫能力。

技术的发展不断迭代更新，上述技术图谱是目前提出和关注的重要技术。后续随着算力网络的发展、技术的演进、原创技术的深化及国际国内标准的进展进行滚动更新。

## 6. 产业发展倡议

### 6.1 问题与挑战

# 实

现算力网络的愿景和目标，面临三方面的挑战：

#### 技术挑战：跨领域架构融通和算网一体化技术尚需突破

算力网络涉及多技术领域，当前算力和网络各自的技术体系、架构实现和发展路径不同，编排调度、运营优化相对独立，算力网络统一架构、技术标准和开源生态等还不完备。近中期需要首先突破技术架构的融合边界问题，实现算网的统一度量、智能化调度和组合服务；面向远期，为实现算网一体化服务，算力网络衍生出一系列前沿技术，如算力原生、算力路由、在网计算等。大部分交叉领域的理论研究和技术攻关等工作仍处于起步阶段，攻克这些核心技术是原创技术引领和突破的一次机遇与挑战。

#### 产业挑战：产业对算力网络理解尚需加强碰撞，需要凝聚产业共识

当前产业对算力网络的概念还存在不同理解，部分观点认为算力网络仅是云网融合或6G中的一种技术形态，部分观点认为算力网络主要是对IDC、云计算、大数据的布局规划，强调对算力进行连接的网络。中国移动提出的算力网络是一种深度融合的新型信息基础设施，包含丰富技术和创新服务。算力网络是对传统行业的一次全

方位“技术改造”，并面临着多样性芯片供应链健壮性和安全性风险，软硬件产业链和DOICT跨界融通挑战。因此，算力网络的推进需要开放思想，互通文化，加强国家政策引导，凝聚产学研用力量，加速对算力网络概念共识的达成，促进产业成熟。

#### 生态挑战：算网创新服务涉及跨产业链的生态繁荣，行业应用尚待激发培育

算力网络对产业现有服务和商业模式是一个全新的挑战，会对产业价值链进行重构升级。当前行业数字化发展阶段，企业应用上云模式已相对成熟，但对算网一体化的极致化体验需求正在逐步释放，新的服务业态创新还需要应用的激发。为盘活社会算力，共享经济的算力生态需要进一步激发多角色参与的市场活力，实现跨服务主体统一运营，促进以算力为中心的应用规模落地。

### 6.2 发展倡议

面对上述挑战，中国移动希望与合作伙伴通力合作，围绕技术、产业、生态三个方面开展工作，共同推动算力网络技术发展、产业成熟和生态繁荣。

**共同构建算力网络技术体系。**构建算力网络技术联合创新体系，强化顶层设计，集合多方力量，共同攻关基础设施、编排管理、运营服务等领域的关键技术，完善技术体系，实现算力网络“三个统一”，即统一的技术路线、统一的目标架构、统一的标准体系，支撑国家新型算力枢纽设施建设和东数西算工程，助力网络强国、数字中国、



智慧社会发展战略落地。

**共同加快算力网络产业成熟。**协同攻关算力产业链共性问题，推动产业链上下游、产供销有效衔接，提升产业链韧性，加强新技术对产业渗透的深度和广度，探索跨行业、跨产业算力网络联合试验示范，强化产业链“三个协同”，即协同增强产业链健壮发展、协同加强产业链融合创新、协同推进产业链跨域融通，共促算力网络绿色、安全、健康发展。

**共同推动算力网络生态繁荣。**推动实现跨运营主体的算力资源统一编排调用。供给侧通过整合内外部资源、盘活社会闲置算力，来优化全产业的算力供给能力。消费侧需要推动算力网络服务面向国家治理、社会民生、传统产业等多领域的升级改造，拓展国内外新消费市场等更多应用领域，丰富算力网络“三个多元”，即多元供给、多元服务、多元业态，带动行业进入供给和消费良性互促的产业生态，提升算力网络带来的产业和社会价值。

## 缩略语列表

缩略语	英文全称	中文解释
<b>5G</b>	5th Generation Mobile Networks	第五代移动通信
<b>6G</b>	6th Generation Mobile Networks	第六代移动通信
<b>AI</b>	Artificial Intelligence	人工智能
<b>API</b>	Application Programming Interface	应用程序接口
<b>ARM</b>	Advanced RISC Machine	RISC微处理器
<b>ASIC</b>	Application Specific Integrated Circuit	专用集成电路
<b>BaaS</b>	Backend as a Service	后端服务
<b>CAN</b>	Computing -Aware Network	算力感知网络
<b>CPU</b>	Central Processing Unit	中央处理器
<b>DPU</b>	Data Processing Unit	数据处理器
<b>FaaS</b>	Function as a Service	功能即服务
<b>FPGA</b>	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
<b>GPU</b>	Graphics Processing Unit	图形处理器
<b>HPC</b>	High Performance Computing	高性能计算
<b>IDC</b>	Internet Data Center	互联网数据中心
<b>I/O</b>	Input/Output	输入输出
<b>IoT</b>	Internet of Things	物联网
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union	国际电信联盟
<b>NPU</b>	Neural-Network Processing Unit	嵌入式神经网络处理器
<b>OAM</b>	Operation Administration and Maintenance	操作维护管理
<b>OTN</b>	Optical Transport Network	光传送网
<b>OXC</b>	Optical Cross-Connect	光交叉连接
<b>PON</b>	Passive Optical Network	无源光网络
<b>PTN</b>	Packet Transport Network	分组传送网
<b>PUE</b>	Power Usage Effectiveness	电源使用效率
<b>QoS</b>	Quality of Service	服务质量
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer	精简指令集计算机
<b>RISC-V</b>	Reduced Instruction Set Computing-V	基于RISC的开放指令集架构
<b>RoCE</b>	RDMA over Converged Ethernet	基于以太网实现远程直接数据存取
<b>SaaS</b>	Software as a Service	软件即服务

## 缩略语列表

缩略语	英文全称	中文解释
<b>SDN</b>	Software Defined Network	软件定义网络
<b>SD-WAN</b>	Software Defined Wide Area Network	软件定义广域网
<b>SLA</b>	Service Level Agreement	服务等级协议
<b>SoC</b>	System on Chip	片上系统
<b>SRv6</b>	Segment Routing over IPv6	基于IPv6的分段路由
<b>uRLLC</b>	Ultra Reliable Low Latency Communication	高可靠低时延通信
<b>VR</b>	Virtual Reality	虚拟现实
<b>X86</b>	The X86 architecture	一种微处理器执行的计算机指令集
<b>XR</b>	Extended Reality	扩展现实

## 参考文献

1. 全球数字经济白皮书 [R], 中国信息通信研究院, 2021
2. 中国算力发展指数白皮书 [R], 中国信息通信研究院, 2021
3. 算力感知网络技术白皮书 [R], 中国移动研究院, 2021
4. 泛在计算服务白皮书 [R], 中国移动研究院, 2020
5. 算网融合的泛在计算服务发展和演进趋势分析 [J], 中国移动研究院, 信息通信技术与政策, 2020
6. ITU-T. Draft Recommendation ITU-T Y.CAN-reqts: Functional Requirements of Computing-aware Networking[S], 2019
7. 6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书 [R], IMT-2030(6G) 推进组, 2021



网络无所不达  
算力无所不在  
智能无所不及