

新型数据基础设施建设的理论构想与原型系统研究

郭江兴^{1,2}, 张宏科³, 王晓云⁴, 张文军⁵, 薛向阳¹, 邹宏^{1*}, 张帆^{1,2},
尚玉婷¹, 胡宇翔², 程国振², 夏于桐¹

(1. 复旦大学大数据研究院, 上海 200433; 2. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 郑州 450002; 3. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044; 4. 中国移动通信集团有限公司, 北京 100033; 5. 上海交通大学, 上海 200240)

摘要: 建设开放、共享、安全的全国一体化数据要素市场是深入推进数字中国建设、服务智能经济新形态的重要任务, 新型数据基础设施是支撑数据要素流通的核心载体且事关数据价值释放的成效, 相关建设面临深层次挑战的根源在于安全性、经济性、兼容性构成“不可能三角”制约, 也难以协同存量利用与增量发展。本文凝练了新型数据基础设施建设中的基本工程科学问题, 阐述了建设愿景、基本原则、理论支撑要素; 在此基础上应用多模态智慧网络环境理论, 原创性提出了云网一体超融合的数据基础设施建设架构, 采取网络资源元素化、资源聚合动态化的技术逻辑并注重发挥人工智能生成网络的赋能作用, 提供按需生成多样化且场景适配的专属网络模态能力。结合运营级网络的示范经验, 深入分析了新型数据基础设施架构的设计理念与关键技术, 提炼出“存量增效+增量调优”的协同建设模式, 为破解数据基础设施建设“不可能三角”“存量-增量”协同难题提供了工程化方案。进一步从工程推进、技术创新、平台支撑、学科建设、制度保障等维度提出了国家数据基础设施建设的相关建议, 可为构建全国一体化数据要素市场提供理论与实践参考。

关键词: 数据基础设施; 多模态智慧网络环境; 生成式网络; 云网一体; 数据要素流通

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Theoretical Framework and Prototype System of Next-Generation Data Infrastructure Construction

Wu Jiangxing^{1,2}, Zhang Hongke³, Wang Xiaoyun⁴, Zhang Wenjun⁵, Xue Xiangyang¹,
Zou Hong^{1*}, Zhang Fan^{1,2}, Shang Yuting¹, Hu Yuxiang², Cheng Guozhen², Xia Yutong¹

(1. Institute of Big Data, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, Zhengzhou 450002, China; 3. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 4. China Mobile Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 5. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Fostering an open, shared, and secure unified data market is a pivotal task for advancing the construction of Digital China and for serving the new forms of the smart economy. The new data infrastructure serves as the core carrier for supporting data element circulation and directly determines the effectiveness of data value release. Currently, the development of China's data infrastructure still faces deep-seated challenges. The root cause lies in the longstanding constraints of the “impossible trinity” of security, cost-effectiveness, and compatibility, alongside difficulties in synergizing existing resources with new development. This study summarizes

收稿日期: 2026-03-03; 修回日期: 2026-03-26

通讯作者: *邹宏, 复旦大学大数据研究院副院长, 研究方向为网络空间安全; E-mail: hongzou@fudan.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“全国一体化市场数据基础设施建设举措研究”(2025-JZ-21)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

the fundamental engineering challenges in constructing new data infrastructure, and elaborates on the vision, basic principles, and theoretical support elements for its development. Moreover, it innovatively proposes a “cloud-network integrated hyper-convergence” architecture for data infrastructure, based on the theory of polymorphic intelligent network environment. Additionally, it employs a technical logic of “elementalizing network resources” and “dynamic resource aggregation,” empowered by AI-enabled generative networks, to generate dedicated, scenario-adaptive network modalities on demand. Drawing on live network demonstrations, this study elaborates on the design philosophy and key technologies of the new data infrastructure architecture, and summarizes a synergistic construction model of “stock efficiency + incremental optimization.” Practice shows that this architecture can provide an engineering solution to the “impossible trinity” and the stock-increment synergy dilemma. Finally, the study proposes recommendations covering engineering advancement, technological innovation, platform support, disciplinary development, and institutional safeguards, aiming to provide theoretical and practical insights for building a nationally unified data market.

Keywords: data infrastructure; polymorphic intelligent network environment; generative network; cloud-network integration; data element circulation

一、前言

近年来,数字中国建设进展稳健,相关发展指数的增长率维持在10%左右,第五代移动通信基站总数为 4.838×10^6 个,千兆宽带用户数为 2.4×10^8 个,算力总规模稳居全球第二位^[1]。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》提出建设开放共享安全的全国一体化数据市场^[2],这为数据基础设施建设指出了新发展方向。数据作为新型生产要素,价值释放依赖专业化、体系化的数据基础设施,如同石油依赖管道、电力依赖电网。数据要素具有高流动性、非消耗性、可融合性、非竞争性、可复制性、信息不对称性、生态脆弱性^[2-6],应依托横向联通、纵向贯通、协调有力、安全可靠、通专融合的新型基础设施,为数据“供得出铺路”“流得动架桥”“用得好筑基”“保安全护航”,进而建设符合市场规律的现代化数据要素流通体系。

建设新型数据基础设施是纵深推进全国一体化数据市场建设、筑牢数字中国发展基础、培育智能经济新形态的重要支撑。然而,数据基础设施建设需厘清与传统通信基础设施(刚性架构、广域覆盖、开放共享)和信息基础设施(分布式部署、存算资源共享)的本质差异,反映云网一体超融合节点、共享接入/传输资源、交易环节可管可控、全栈数据安全等独特属性。数据领域也面临“找数用数”、跨域加工、规模流通等方面的共性难题,物理架构不闭合、技术手段治标不治本、功能定位不匹配、体系割裂加剧壁垒等深层次问题,制约着数据要素跨域流通与数据价值释放。

“十四五”时期,“多模态网络与通信”国家重点研发计划重点专项启动实施,系统性推进多模态

智慧网络环境(PINE)研究与验证,形成了从理论突破到工程落地的完整成果体系。这一体系突破了基于软件定义网络(SDN)、网络虚拟化等传统技术路径的局限,以“体制与物理支撑分离、一张网承载千种模态”为核心范式,解决了传统架构协议封闭、资源碎片化、场景适配刚性等瓶颈问题;完成从原理验证、工程化规模验证到运营商现网验证的全阶段技术验证,在粤港澳大湾区建成多模态网络实验环境,依托SEANet^[7]等新型模态开展多领域/行业示范,体现了技术可行性与先进性。通过“通、算、感、知、智”资源云网池化演进,结合人工智能(AI)大模型的模态生成引擎能力,推动网络模态从精准定义向AI生成式的跨越,实现网络对业务需求的主动创造与柔性适配,为构建高效、智能、安全的下一代数字基础设施提供了新方案,也为新型数据基础设施的架构创新与落地确立了技术基础。

本研究课题紧扣“十五五”时期深入推进数字中国建设、提升数智化发展水平的国家战略部署,以构筑适配新质生产力发展的新型数据基础设施为目标,筑牢理论体系、厘清底层逻辑、明晰技术路径。立足数字化、网络化、智能化融合发展趋势,聚焦数据要素市场可信流通关键瓶颈,推动新型数据基础设施成为数据资源价值释放、生产方式深层次变革、生产力革命性跃迁的支撑底座。其中,核心研究目标是厘清数据基础设施与传统通信/信息基础设施的协同机理,突破技术“不可能三角”约束与“存量-增量”协同难题,推动数据开发开放和流通使用^[8],构建适配全国一体化数据市场需求的新型基础设施理论体系与实践路径。

为此,系统梳理国内外研究进展,在专家研讨、实地调研、分析验证的基础上,提出以PINE^[9]

为核心的理论构想，设计“两头在外、中间闭合”的云网一体超融合架构，支持破解新型数据基础设施建设和运营中的结构性矛盾；结合实网示范案例，提炼“存量增效+增量调优”协同建设模式。进一步提出多维度发展建议，为推进数据基础设施高质量建设、服务国家“人工智能+”行动计划、支撑全国一体化数据要素市场提供理论、应用、决策层面参考。

二、新型数据基础设施建设中的基本工程科学问题

全国一体化市场建设对数据基础设施提出“统筹协同、安全高效、全域适配”的刚性需求。当前，数据基础设施处于“适配改良”发展阶段，面临的工程科学问题^[10-12]本质上是数据要素的独特属性与传统基础设施建设范式之间存在矛盾，突出表现在“不可能三角”约束、“存量-增量”协同困境、基础设施刚性瓶颈。若不能系统性破解相关问题，将制约全国一体化数据市场建设进程。

（一）存在“不可能三角”困局

数据基础设施建设存在安全性（功能安全、网络安全、数据安全一体化），经济性（复用性），兼容性（多样性）（SMV）的“不可能三角”困局，三方面相互制约而难以同时达成最优，且与数据基础设施“要素流通闭环、存算网智一体”的核心内涵深度关联。这一矛盾可进一步延伸至基于时间的SMV（SMVT）四维时空框架，即不同时段的网络模态、转发模式、资源占用均动态变化，无法在时空维度同步满足复用资源的经济性、适配场景的多样性、保障流通的全栈安全性，与数据基础设施支撑全生命周期数据可信流通的核心诉求相悖。在单一技术体制下，物理资源向业务的映射多采用面向确定应用的固定静态模式，仅能针对部分指标实现局部最优，无法摆脱SMV“不可能三角”约束：网络与业务一体化范式以专用化部署方式来保障经济性与兼容性，但业务种类受限，难以适配多样性需求，无法覆盖全域安全；综合数字业务网以牺牲可扩展性为代价保障经济性与安全性，但限制业务总量和网络长期价值；网络与业务相对分离范式可支撑兼容性与安全性，但无法提供服务质量承诺，

难以满足未来多样化网络应用需求；SDN、可编程协议无关的包处理器（P4）等可编程技术仅能实现硬件体制重构，而单一节点仍为静态绑定的特定技术样例，无法支持多体制网络动态互通与优势融合，依然未能突破SMV“不可能三角”。任何单一技术体制都无法同时满足3项核心指标、最多仅能实现2项指标优化，难以支撑数据基础设施提出的“人机物网”泛在互联、跨域全栈安全流通等核心诉求。“不可能三角”困境成为制约数据基础设施建设质量、适配全国一体化数据市场需求的技术瓶颈。

（二）“存量-增量”协同的结构性难题

数据基础设施建设需在复用通信/信息基础设施存量资源、构建专属增量设施之间寻求平衡，但各类设施的功能定位与架构逻辑^[13]存在本质差异：通信基础设施以刚性架构实现端到端连接、广域覆盖、开放共享，信息基础设施以离散部署模式提供存算资源共享、云化信息服务，数据基础设施需要在共享接入、传输资源的同时确保要素流通闭环、交易环节可管可控。在数据基础设施建设中，复用通信/信息基础设施的存量资源面临结构性问题。一方面，传统基础设施“烟囱式”布局的体制惯性传导至数据设施建设，离散部署的存算资源和数据设施与“逻辑统一、要素贯通”的全国一体化需求相悖，导致区域、行业之间设施分散割裂。另一方面，传统基础设施的刚性架构和开放共享属性与数据设施“要素流通闭环”的安全诉求冲突，难以适配增量数据设施的模块化、智能化要求，形成“存量难改造、增量难落地、二者难协同”的结构性矛盾。如果片面复用存量设施以追求经济性，将会模糊数据设施的安全边界，无法满足要素流通的安全刚性需求；如果“全盘重建”，则违背共享资源的建设逻辑，显著增加成本；如果兼顾兼容性、安全性，又会推高适配成本，最终导致数据基础设施建设难以形成合力、整体效能退化，无法支撑全国一体化数据市场要素流通需求。

（三）传统基础设施刚性架构与数据应用服务多样性需求的矛盾

传统基础设施建设基于连接和共享的数字生态

系统发展理念，相应基础架构遵循统一标准、固定模式的底层逻辑，数据应用服务呈现行业差异化、场景动态化 / 智能化的特征；二者属性错配，衍生出多重冲突。① 多元化应用需求与统一基础设施之间的矛盾。不同行业的数据差异显著，基于统一架构的设施难以同时满足差异化需求。② 统一基础设施与多样化业务性能之间的矛盾。设施的固定性能指标无法灵活匹配业务动态变化的性能要求，也难以应对生成式应用场景的需求。③ 存量资产与技术创新的矛盾。存量设施的固化形态对新技术落地应用形成约束，而技术创新又难以兼容存量资产的既有形态。④ 应用的开放性与统一基础设施安全性之间的矛盾。应用的开放共享需要设施降低接入门槛，而安全管控又需设置刚性边界，实施动态平衡难度很大。⑤ 多元生态共生共存与演进变革兼容并蓄的矛盾。传统架构的固定逻辑无法支撑不同类型的网络的共生运行，也难以适配数据应用服务的持续演进。整体来看，传统基础设施架构的刚性本质与数据应用服务的动态多样性形成鸿沟，使基础设施难以适配多行业差异化需求、无法有效兼容技术与业务的持续演进，与全国一体化市场要素贯通、灵活适配的核心要求不相适配。

三、新型数据基础设施的建设愿景与原则

为破解前述工程科学难题，推动数据基础设施从“适配改良”走向体系化构建，需在厘清新型数据基础设施与传统基础设施的本质区别基础上明确顶层愿景和核心原则。新型数据基础设施并非是对传统基础设施的简单替代或叠加，核心功能聚焦支撑数据要素本身的安全可信流通与价值释放，需要在架构设计、安全要求、建设模式方面寻求科学之道。

（一）建设愿景

国家数据基础设施是从数据要素价值释放的角度出发，面向社会提供数据采集、汇聚、传输、加工、流通、利用、运营、安全服务的一类新型基础设施^[9]，是涵盖硬件、软件、模型算法、标准规范、机制设计的有机整体。在国家统筹下，国家数据基础设施由区域、行业、企业等各类数据基础设施共同构成。网络设施为国家数据基础设施提供泛在连接能力，算力设施为国家数据基础设施提供高效处理支撑^[14]；网络设施、算力设施、国家数据基础设施密切关联，通过迭代升级共同保障数据要素全生命周期流转（见表1）。

数据要素通过数据基础设施释放价值。数据成为关键生产要素，催生新的技术经济范式，重塑产业发展方式。建设和运营国家数据基础设施，核心目标是促进数据“供得出、流得动、用得好、保安全”^[14]，对于支撑数据基础制度落地、构建全国一体化数据市场、培育发展新质生产力具有重要意义。建设国家数据基础设施，形成安全可信的流通环境，破解数据持有方“不敢放”、需求方“用不好”的矛盾，推动数据要素从资源转化为资产、资本，为数字经济高质量发展注入新动能。

面向全国统一大市场，以构建统筹协调、安全可信、高效适配、全域贯通的新型设施体系作为数据基础设施的建设愿景。追求物理分布、逻辑统一，打破区域与行业壁垒，形成全国一体化的设施布局。增强安全闭环、动态适配能力，既通过“物理+逻辑”双重隔离保障数据流通全程可控，又应用网络元素化、生成式网络等技术以灵活适配多行业、多场景的差异化需求。开展“存量盘活+增量提质”协同，以最大化既有接入网、传输网等资产的应用价值，在核心枢纽环节精准补齐功能短板。通过数据要素在全国范围内的自由流动、高效配

表1 通信基础设施、信息基础设施、数据基础设施的基本特点

类型	服务对象	功能要求	技术要求	设备构成
通信基础设施	设备 / 终端的互联互通	底层传输支撑	广域覆盖、 端到端可靠连接	骨干网、接入网、传输设备
信息基础设施	设备与系统的存算 资源支撑	存算资源 提供与支撑	低延迟、高可靠、 存算资源共享	云平台、数据中心、算力平台
数据基础设施	模型、算法、应用的 一体化供给	数据要素流通与 价值释放	数据要素流通闭环可控	网络、算力、应用、安全设施 一体化

置, 并与传统生产要素协调配合和优势互补^[15], 支撑全国一体化数据市场的高质量运行。

(二) 建设原则

围绕安全闭环为核心、资源复用为辅助、内生安全为基石的导向, 依据通专融合、统筹兼顾、平滑演进、安全高效的目标, 开展新型数据基础设施建设, 确保数据要素流通的防盗用、防篡改、可管可控、合法合规。

1. 核心设施独立闭环

数据要素流通与服务的核心设施(如算力集群、存储阵列、管控系统、安全设备)应在“物理+逻辑”层面独立新建, 既不复用经典信息基础设施的算力、存储、基础软件、虚拟化管控资源, 也不依赖通信基础设施的逻辑切片服务。核心设施需构建封闭运行环境, 应用刚性隔离技术确保与外部系统的边界隔离, 杜绝风险传导(可对标银行核心系统的独立部署逻辑)。从根本上规避复用传统设施伴生的安全惯性, 为数据要素流通提供可控的核心载体, 是保障数据安全可信交易的基本前提。

2. 资源复用严格限界

仅可复用通信基础设施的物理独占传输介质(如专属光纤纤芯、独立波分信道、基站物理射频单元)和外围边界防护服务, 信息基础设施的通用资质前置核验服务。复用的底线是只借助通道/辅助过滤, 不触碰数据/不管控权限: 复用资源不存储、不解析、不篡改数据要素, 不参与核心权限判定; 数据在复用资源过程中以密文形态传输, 在复用部分与核心闭环之间部署单向隔离网闸。以此为复用原则, 既最大化盘活存量基础设施的资产价值、降低建设成本, 又避免安全风险传导、保障经济性与安全性的初步平衡。

3. 内生安全全栈防护

基于动态异构冗余的内生安全全栈防护架构建设枢纽环节^[16], 通过异构化部署、动态化调度、一致性校验确保不依赖先验知识的安全防护, 控制闭环内服务对象之间的盗用风险。可信根、区块链等附加安全机制仅作为强化手段, 不改变内生安全的核心逻辑, 即使附加机制失效也不影响系统的基础安全能力和服务韧性。突破传统“外挂式”安全防护的局限性, 转而从架构设计层面筑牢安全防线, 落实“结构决定安全”理念, 为数据要素流通提供

全生命周期的安全保障。

4. 全生命周期可控可追溯

数据要素从生成、传输、计算到销毁的全生命周期内, 均需权限精准绑定、行为全程留痕。应用属性加密、数字水印、区块链存证等技术, 将权属信息与数据深度绑定; 依托零信任动态授权机制, 开展“身份+场景+行为”精细化权限管控; 所有操作日志实时上链存证, 确保可追溯、可审计, 支持风险自动识别与熔断, 保障数据要素流转的全程可控。明确数据要素流通各环节的责任主体与操作规范, 消除数据权属不清、责任不明的问题, 为数据要素市场化提供合规支撑。

四、新型数据基础设施建设的理论支撑

构建统筹协同、安全可信、高效适配、全域贯通的新型数据基础设施体系, 需以根本性的理论突破、系统性的技术方案为支撑。PINE^[17-18]的关键创新在于基础设施环境与技术体制分离, 为破解基础设施统一性与应用场景多样性的矛盾提供了全新路径; 针对新型数据基础设施架构设计, 可以支持多种或多样化网络模态共生共存、安全可信、演进与变革兼容的应用要求。PINE将刚性网络设施解构为可复用、可编辑的基线技术元素(类似云计算平台上池化的计算、存储、通信、软件资源), 支持按需调用、动态编辑、灵活部署应用场景所需的网络模态^[19-21], 形成类似智能终端搭载多元应用服务的云化柔性架构, 在使用门槛降低、效益最优性、环境适应性、服务可用性之间保持技术经济平衡。

(一) 推动数据基础设施建设范式变革

PINE以增维求解为核心逻辑, 通过时空维度拓展、资源重构创新, 推动网络基础设施从刚性适配到弹性生成的范式变革, 打破传统体制“一对一”绑定的严格约束。在思维视角层面, PINE打破网络支撑环境与应用网络模态的刚性绑定, 构建“一体多模”弹性架构, 在底层依托统一的物理资源整合形成网络基线元素池, 在上层根据行业场景需求动态生成专属网络模态; 既通过规模化建设保障经济性, 又以个性化模态满足多样性需求, 实现物理一致、功能多元的对立统一。这种思维视角跳出了一种业务对应一种网络的传统惯性, 赋予基础

设施以应对未知场景的自适应能力。

在方法论层面，基于 SMVT 四维时空框架，通过网络元素化抽象、动态聚合、软件定义互连（SDI）构建适配体系。借鉴物质世界元素化合原理，将网络资源解构为计算、存储、安全等基础元素^[22-26]，再通过软硬件协同编排（SDA）实现元素动态组合，可随业务需求、时间变化重构资源聚合方式。这种方法打破静态资源映射的局限性，使多样化应用网络模式的生成与适配成为可能，为突破 SMV “不可能三角”困境提供了工程化路径。

在实践规范层面，PINE 支持多种网络模式共生共存、独立演进，赋予用户自定义演进路径的权限。不同区域、行业可定制专属模式，单个模式的升级、卸载不影响其他模式运行，由此适配多样化应用场景的不确定性。聚焦“网络之网络”的生成式技术开发，通过池化资源为上层应用网络模式提供软硬件支撑，将基础设施与具体应用网络解耦，使同一物理环境能够持续承载全生命周期内面临的多样化业务需求。

（二）支撑新型数据基础设施

保障国家数据战略目标落地。PINE 契合“全国一盘棋”的整体要求，适配《国家数据基础设施建设指引》（2024 年）提出的“网络+算力+流通+安全”四重架构。将“算存智网”资源有机整合，促成存量设施和增量设施的有效衔接，最大化盘活存量资产价值并精准补齐增量功能短板，避免“全盘重建”的高额投入、“单纯复用”的功能不足，保障数据交易流通形成闭环。PINE 采用“全栈内生安全+授权隔离使用”的技术设计，构建适应可管可控、合法合规、服务开放刚要求的内生安全受信任运行环境。核心设施“物理+逻辑”双重独立闭环，复用资源限界隔离，在技术层面破解数据安全与开放共享的二元对立。运用数据“可用不可见”“可控可计量”机制，保障数据持有方的合法权益，满足数据需求方的使用诉求，促进数据交易流通的全流程闭环。

增强数据的高效支撑能力。PINE 具有智能编排、模块化封装等核心功能，可将分散的数据资源转化为标准化、可复用的服务单元。运用模式生成、动态编排能力，精准匹配千行百业的差异化应

用需求，快速构建一场景一模式、一行业一方案，解决传统设施“一刀切”的适配困境，支撑数据要素规模化流通与高效配置。

保障安全与效率的动态平衡。PINE 具有内生安全能力，应用动态异构冗余、全栈防护设计，实质性防范安全风险，消除数据持有方“不敢放”的顾虑。应用模式化快速部署、智能调度优化，显著提升数据流通效率，破解数据需求方“流不动”的难题。在合规前提下，守住数据安全底线，释放数据要素价值，支撑数据要素市场化发展。

（三）以人工智能助力工程化落地

从 AI4E（AI for Engineering）视角看，生成式网络技术将快速推动 PINE 从理论探索到实践落地^[27]，为计算/存储感知和网络基线构件元素化、资源动态聚合/编排、应用网络模式生成、智能体网络/网络智能体按需搭建等网络愿景目标提供工程化实施路径。

通过生成式技术实现网络架构的自适应重构与全生命周期管理，是 AI 助力 PINE 实践部署的核心内容。应用网络模式语义建模，获得异构资源一体化表征、网络功能形式化描述，支持多模式统一管理。开展生成式模式设计与验证，依托生成式工具链进行网络模式封装与无损迁移，降低模式开发成本。通过动态资源博弈调度，构建多智能体协同学习框架，以计算、存储、带宽资源的实时博弈分配提升综合利用效率。

AI 生成网络（AIGN）支持“需求感知-模式匹配生成-资源聚合-部署验证”闭环，实现网络模式的智能化生成。解析应用场景的业务语义，提取数据流通、算力调度、安全等级、性能时延等关键需求特征，将个性化需求转化为可描述的网络能力。进一步，基于网络元素池中的基线元素、化合键资源，开展模式的匹配筛选或自主构建，驱动网络元素的组合、重构、互连，生成与特定场景适配的网络模式，将网络元素池的静态资源转化为动态适配的场景化服务。具有智能体网络的原生能力，在与网络元素池、动态聚合模块的协同过程中形成自治决策与自主协同能力，保障一场景一模式的精准适配，兼顾不同网络模式的共生共存与独立演进。

五、新型数据基础设施架构设计与原型方案

基于PINE构建新型数据基础设施，以“网络之网络”为核心逻辑，将“云、网、存、算、安全”等资源深度结合，呈现云网一体超融合的设施形态。云网一体超融合是承接PINE愿景并适配数据基础设施建设需求的工程化架构（见图1），内生安全理论技术为全栈安全功能实现、数据要素可信流通提供支撑。该架构既能复用通信/信息基础设施的存量接入与传输资源，又可通过增量构建的PINE云网融合节点形成数据要素流通闭环、适配AI规模化应用需求，提供“存算通智”一体的专属化支撑，在工程层面系统破解SVM“不可能三角”约束、“存量-增量”协同等难题。

（一）云网一体超融合数据基础设施的总体构想

面向服务全国一体化数据市场要素高效安全流通的核心目标，构建“应用层-功能层-设施层”逻辑架构（见图2），保障场景需求与资源供给的精准匹配。在应用层，聚焦工业制造、数字金融、智慧交通、智慧医疗等领域/行业的数据流通场景，承载低时延、高安全、高并发、差异化的数据流通诉求。在功能层，整合数据采集、汇聚、传输、加工、流通等全流程业务功能，网络编排、算力调度、安全管控等管理功能，以按

需生成方式将场景需求转化为资源配置方案。在设施层，以云网一体超融合设施为核心载体，复用现网存量接入网、骨干传输网等通信基础设施资源，最大化盘活既有资产，降低新增建设成本。增量构建内生安全的PINE云网融合节点，整合多体制交换设备、算力存储集群、安全防护模块，形成数据要素流通专属闭环。上述总体构想契合数据要素的非竞争性、可复制性特征，通过存量资源复用兼顾建设经济性，通过增量闭环设施保障数据流通的安全性、合规性，支持物理分布、逻辑统一的全国一体化设施布局，适应多行业、多场景下的数据要素高效配置，为全国统一大市场建设提供关键基础设施。

（二）云网一体超融合数据基础设施的基本特征

云网一体超融合数据基础设施以多体制共生、生成式网络、内生安全网络弹性、云原生设施形态为基本特征，在适配全国一体化数据市场需求方面显现优势。

在多体制共生方面，打破传统单一网络体制的刚性约束，以网络基线元素池的形式整合电路交换、存储资源、安全策略等基础资源元素，支持多种网络模态共生运行、各模态独立演进且互不干扰。同时适配不同行业中低时延、高安全性、高移动性的数据流通协议与性能要求，解决传统设施

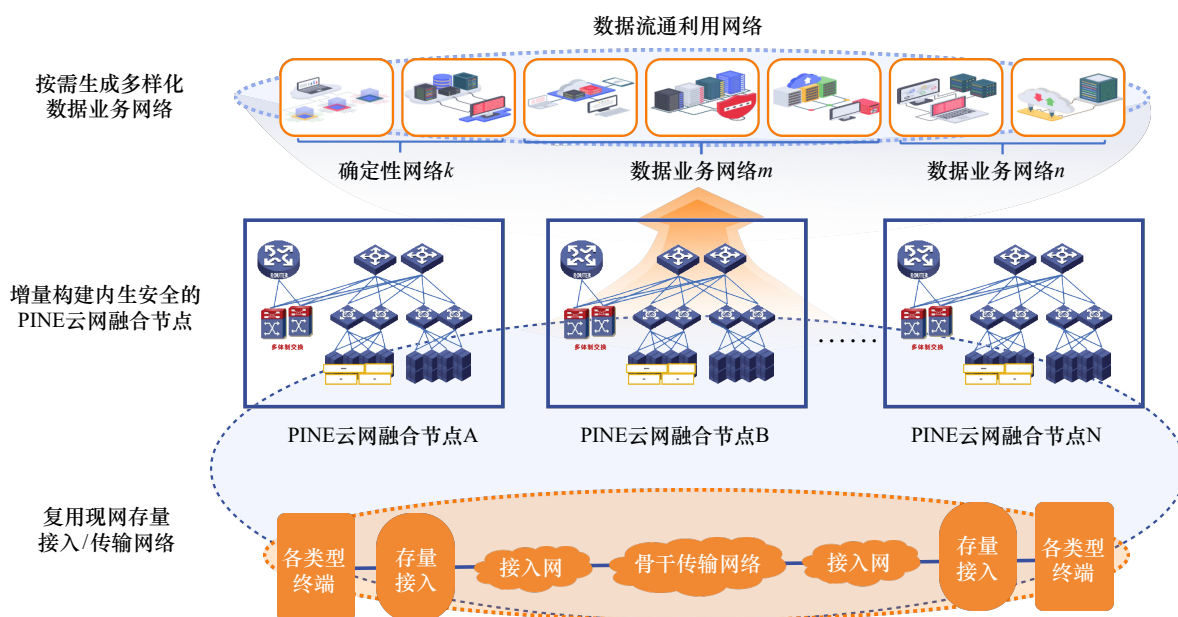


图1 云网一体超融合数据基础设施“两头在外、中间闭合”模式

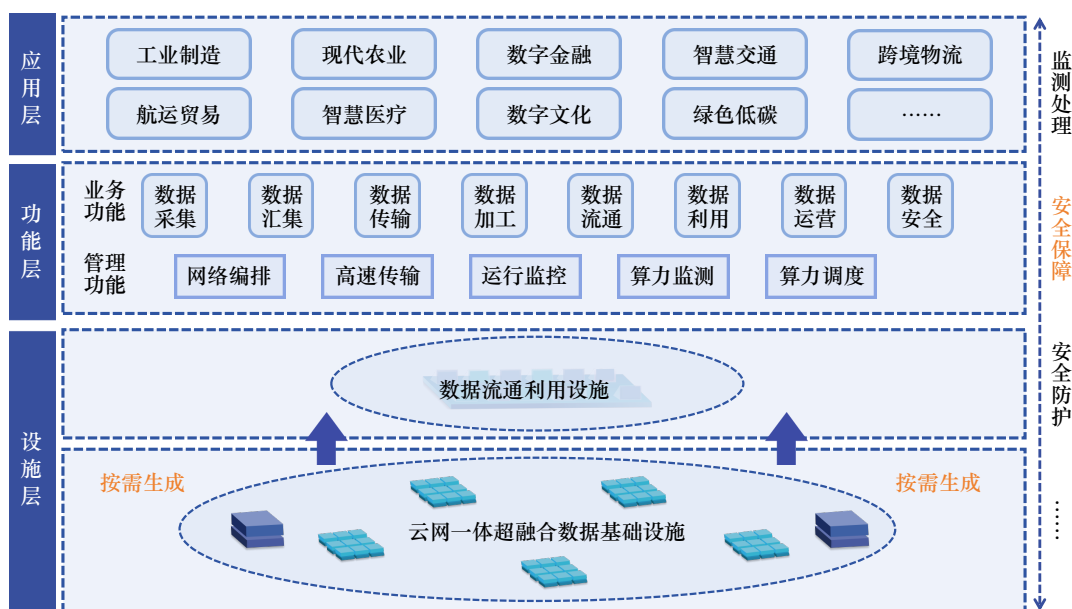


图2 云网一体超融合数据基础设施建设的总体构想

“一刀切”的适配困境，为多行业数据融合流通提供基础条件。

在生成式网络方面，借鉴智能终端搭载多元应用的逻辑，应用网络元素化抽象与动态聚合技术，融合智能体网络自主协同、自治智能体自主感知决策能力，根据不同场景的具体需求生成专属网络模态，确保一场景一模态的精准适配。支持网络模态的按需加 / 卸载与升级，灵活响应业务量波动、场景拓展等动态变化，提升设施对多样化需求的支持效率。

在内生安全网络弹性方面，将安全属性嵌入设施全生命周期，构建结构决定安全的防护体系（见图3）。对于存量设施，补齐内生安全短板。对于增量设施，在架构设计阶段即植入安全策略，确保安全功能与设施建设的同步规划、同步部署。由此摆脱传统“外挂式”安全的治标困境，为数据要素流通提供全链路安全保障。

在云原生设施形态方面，依托云原生技术进行资源的池化管理与智能化编排 / 训练，以类似在云上部署应用的方式按需配置业务资源，显著降低设施的建设与运营成本。支持云网服务的自动化生成与全栈赋能，快速适配新产业、新业态的发展需求，形成全生命周期内的扩展能力，为中长期的设施迭代升级提供灵活的技术框架。

（三）云网一体超融合数据基础设施的动力支撑

网络资源元素化、资源聚合动态化的技术逻辑以及AIGN的赋能作用，共同构成云网一体超融合数据基础设施的核心驱动力，促成设施高效运行。

面向设施“一体多模”运行的核心需求，借鉴物质世界中元素化合生成多样物质的原理，将网络资源解构为电路交换、传输资源、安全策略、协议解析等基础元素，形成统一的网络基线元素池；再通过不同元素的组合重构，生成多样化的应用网络模态，由此保障设施的物理资源统一性、增强上层网络功能的多样性，为多行业、多场景的数据流通需求提供基础支撑。

应用SDI、SDA技术，提供资源的动态重构与弹性调度能力。在业务量波动时，自动调整不同网络模态的资源配比，保障核心业务的性能稳定。在技术演进或场景拓展时，按需生成新的网络模态并回收冗余资源，确保资源利用率与业务服务质量始终处于最优水平。由此提升设施的资源使用效率，避免传统设施的资源错配问题。

依托AI大模型的泛化能力，构建“应用场景需求→网络模态生成→资源编排部署”的自动化流程。针对行业场景中的数据流通需求，AIGN自动匹配既有网络模态或生成新模态，再调用网络基线元素池中的资源进行动态聚合与部署，显著降低模态技术门槛与时间成本。由此推动设施从人工配置

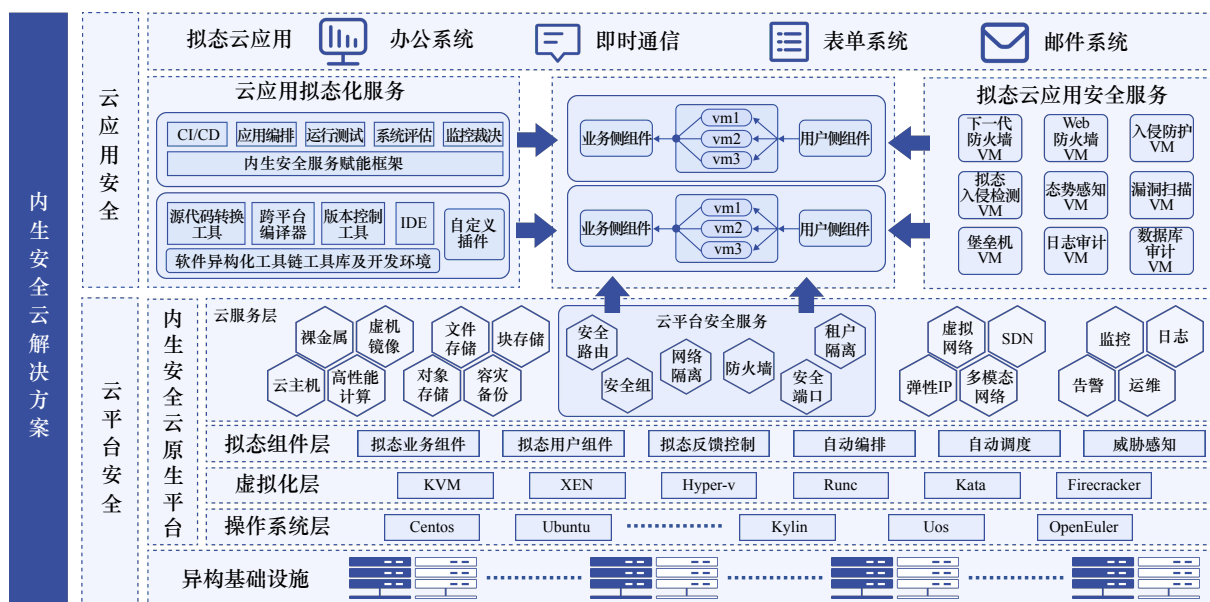


图3 面向云网一体场景构建的内生安全受信任执行环境

注：CI/CD表示持续集成与持续部署/交付；IDE表示集成开发环境；VM表示虚拟机；IP表示网际互连协议；KVM表示基于内核的虚拟机；XEN表示开源虚拟机监视器；Hyper-v表示微软公司推出的硬件虚拟化平台；CentOS表示由CentOS社区基于RHEL源代码开发的开源操作系统；Ubuntu表示以桌面应用为主的Linux发行版操作系统；Kylin表示麒麟操作系统，是中国自主研发的服务器操作系统；UOS表示统信UOS操作系统，是由统信软件技术有限公司开发的基于Linux内核的国产操作系统；openEuler表示华为欧拉国产操作系统。

转向智能响应并提升快速响应能力，为全国一体化数据市场的高效运行提供智能支撑。

（四）云网一体超融合数据基础设施的示范效果

为验证架构的可行性与实用性，联合运营商在重点区域开展了运营级示范网络建设，采用与现有运营网络平行部署的方式，共享运营商接入网、用户资源，负载并分担城域网流量，形成多模态网络创新环境。示范项目涉及数字政务、智能安防、工业互联网、在线视频会议等场景，应用成效良好。

通过存量资源复用与智能调度，将示范项目中存量接入网的资源利用率提升35%，基本解决“数据等算力”“算力找数据”的资源错配问题，实现资源配置的优化升级。支持地理位置标识、工控标识等6种网络模态^[28-30]共生共存，兼容现网技术体制，许可用户自定义的网络模态加载，显著增强兼容性与适配能力并破解“技术孤岛”难题，有力支撑多源数据融合流通。实现移动云、联通云、嵩山云等云平台之间的对接，跨省级行政区的数据安全可靠流通，为全国一体化数据流通打好技术基础。形成“存量-增量”协同建设模式，有效验证接入与传输层复用、要素流通层专属的建设理念，在保

障核心功能专属适配的基础上避免“全盘重建”的高额投入。应用全生命周期可控可追溯技术满足了合规要求，有效阻断未知威胁并验证了内生安全架构的可行性，为保障数据、网络、功能安全一体化提供了支撑。

（五）云网一体超融合数据基础设施建设的推进策略

按照统筹协同、安全高效、全域适配的原则，深入推进云网一体超融合数据基础设施建设，同步支撑全国一体化数据市场建设，把握数据要素的非竞争性、可复制性特点，坚持“接入与传输层复用+要素流通层专属”的建设理念。通过“复用+专属”的组合模式，平衡建设经济性与流通安全性，为设施的规模化推广打好基础。一方面，充分复用既有通信基础设施的接入网、传输网资源，最大程度地盘活存量资产、降低建设成本。另一方面，聚焦数据要素流通的核心环节，增量构建“存算通智”一体的PINE云网融合节点，整合算力集群、存储阵列、安全设备，形成数据要素流通的专属闭环。

优化“两头在外、中间闭合”的架构设计。完善“应用层-功能层-设施层”的分层逻辑，强化

“两头在外”的资源复用深度，扩大现网接入网、骨干传输网的复用范围，实现与电信运营商、互联网企业等存量资源的深度协同。同步升级“中间闭合”的PINE云网融合节点能力，增加节点的算力容量、安全防护等级、多模态支持类型，提升闭环设施的服务能力。

实施“存量增效+增量调优”的演进策略。通过“存量-增量”协同，解决资源有限条件下改造与新建的平衡难题，提升设施的全域覆盖能力。按照渐进式升级、精准化布局的原则，针对存量的通信/信息基础设施开展软件定义改造，规范存量设施与增量PINE云网融合节点的对接接口，确保资源的平滑调度。按照“全国一盘棋”的统筹要求，形成区域覆盖、行业渗透的设施网络。

强化“安全属性内在而非外挂”的保障原则。将安全要求贯穿设施建设、运行、升级的全生命周期。建立设施安全评估、认证、迭代机制，定期开展安全检测与升级，确保设施始终具有抵御新型威胁的能力，为数据要素的高效安全流通提供坚实支撑，为全国统一大市场建设、数字经济高质量发展提供基础设施保障。

六、国家数据基础设施建设的相关建议

国家数据基础设施的建设和运营是一项系统工程，需要凝聚各方共识、形成发展合力，加快构建管理部门主导、行业协同、企业参与的开放创新生态^[7]。加快推动全国一体化数据市场和数据基础设施建设，按照“一年布局、两年铺开、三年见效”的发展节奏，结合技术成熟度梯次推进。“一年布局”指完成云网一体超融合数据底座核心枢纽节点的原型验证，率先在京津冀地区、长江三角洲地区、粤港澳大湾区等数据资源密集区域开展试点。“两年铺开”指重点突破智能体驱动的生成式网络编排、跨域算力智能调度技术，支持多场景规模化数据的可信流通与资源协同，形成可复制的工程实施模式。“三年见效”指建成云网一体超融合数据底座体系，形成完善的技术标准、政策保障、运营环境，有效支撑全国一体化数据市场建设。

（一）启动数据基础设施2.0版建设工程

面向“十五五”时期数字中国建设目标，制定

专项规划并明确数据基础设施2.0版的建设目标、技术路径、实施步骤。数据基础设施2.0版以云网一体超融合为核心架构，适配新质生产力发展要求，聚焦数据要素全生命周期的可信流通与价值释放，相较数据基础设施1.0版将更有效实现“网络+算力+流通+安全”一体化；在网络层推进存量接入/传输资源的复用与生成式柔性构建，在算力层推进跨域智能调度与资源弹性配置，在流通层推进专属闭环的要素流通体系构建，在安全层植入全栈内生安全防护以应对AI规模化应用的现实需求。将数据基础设施纳入新型基础设施建设专项、国家“人工智能+”行动计划，合理加大财政资金支持力度，设立专项基金以引导社会资本参与，形成政府引导、市场主导、多元参与的长效投入机制。坚持“全国一盘棋”，建立协调推进机制，统筹全国数据基础设施布局规划，避免低水平重复建设；优先在数据资源密集区域布局核心枢纽节点，以核心节点辐射带动区域协同发展，形成“点上突破、面上联动”的整体推进格局。

（二）加速数据工程科学研究与数据工程技术创新

应用数据要素的第一性原理，挖掘要素本体的核心科学命题，将关键科学问题系统纳入国家科技计划项目体系，以原创性技术突破攻克数据流通和价值释放中的“真问题”。重点攻关生成式多模态网络、内生安全防护、“存量-增量”适配、跨域协同调度、新型智能体网络等核心技术，深入研究数据开发利用中计算效率、资源消耗、运行成本方面的瓶颈问题，加快构建数据工程技术创新的全链条体系，筑牢全国一体化数据市场的“根技术”。注重基础研究、应用研究协同布局，支持高校、科研院所、企业联合开展原创性研究，全面突破SMV“不可能三角”约束。加强国际合作与交流，积极参与数据基础设施领域国际标准制定，探索数据跨境流动基础设施建设，激活“一带一路”沿线国家的数字化应用需求，助力我国经济数字化、智能化转型和高水平对外开放。

（三）扩大“存量-增量”协同示范范围

采取“存量用活、增量用好、协同增效”思路，推动存量资源与增量建设协同示范，破解数据基础设施低水平重复建设、资源利用率不高、代际

融合不足等问题。在数据资源富集、应用需求迫切的区域,围绕“存量-增量”统筹优化目标,建设国家级数据基础设施示范先行区;结合Token(词元)经济对要素配置、价值可信流转的新需求,验证“存量-增量”协同模式下“Token利用效率×内生安全数据底座=可持续竞争力”的新逻辑;考核资源统筹度、场景兼容性、全栈安全能力、技术经济性等核心指标,形成可复制、可推广的标准规范以及服务智能经济的实践案例。与此同时,加快推进国家级数据基础设施试验床/中试基地建设,在不同行业和领域探索“存量-增量”协同的差异化建设路径、跨行业场景融合模式及适配方案,“以点带面”推动全国数据基础设施迭代升级、良性循环与高质量建设。

(四) 加强数据科学与工程学科专业建设

以国家数据基础设施建设需求为牵引,建立支撑数据领域工程科学技术发展的学科专业设置调整机制与人才培养模式。推动数据科学与工程交叉学科建设,打破传统学科框架,强化数据科学、网络通信、AI、内生安全的交叉融合,构建以原创技术为支撑的自主知识体系,促进科技创新与人才培养的良性互动。支持有条件的高校增设数据治理、可信流通等贴近产业需求的专业,开设数据基础设施架构、数据安全治理、智能体网络等“微专业”。深化校企协同育人,共建数据基础设施实习实训基地,联合培养工程实践型人才;构建多层次、多样化的人才培养体系,为全国一体化数据基础设施建设提供充足的智力支撑。

(五) 构建数据基础设施的制度保障体系

面向数据基础设施重大工程实施、标准制定、试点示范全流程,构建数据基础设施的制度保障体系,明确数据跨域流通规范、安全质量分级测评标准、存量资源复用边界/增量设施建设标准,形成与技术架构适配的制度体系。建立数据基础设施安全评估与认证机制,对核心设备、关键技术开展全流程检测认证,及时将试点示范成果转化为行业标准与规范。完善数据权属界定、价值评估、收益分配机制,明确参与各方的权利与责任,推动技术设施与制度体系的协同落地。完善数据要素、数据资产的安全质量评估体系,拓展网络与数据安全保险

新业态,发布针对性的金融支持政策,培育“标准+技术+资本+保险”产业生态,为全国一体化数据基础设施建设提供良好的发展环境。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: March 3, 2026; **Revised date:** March 26, 2026

Corresponding author: Zou Hong is the deputy dean from the Institute of Big Data, Fudan University. His major research field is cyberspace security. E-mail: hongzou@fudan.edu.cn.

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on Measures for Developing Data Infrastructure in the National Integrated Market” (2025-JZ-21).

参考文献

- [1] 刘烈宏. 以高水平数据基础设施助力数字中国建设[EB/OL]. (2026-03-01)[2026-03-15]. <https://www.qsttheory.cn/20260228/b97f48ebe2f74b80b1c0249632f27b73/c.html>.
Liu L H. Using high-level data infrastructure to facilitate the construction of digital China[EB/OL]. (2026-03-01)[2026-03-15]. <https://www.qsttheory.cn/20260228/b97f48ebe2f74b80b1c0249632f27b73/c.html>.
- [2] 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议[EB/OL]. (2025-10-28)[2026-03-15]. https://www.gov.cn/zhengce/202510/content_7046050.htm.
Proposals of the Central Committee of the Communist Party of China for formulating the 15th Five-Year Plan for national economic and social development[EB/OL]. (2025-10-28)[2026-03-15]. https://www.gov.cn/zhengce/202510/content_7046050.htm.
- [3] 黄少安, 张华庆, 刘阳荷. 数据要素的价值实现与市场化配置[J]. 东岳论丛, 2022, 43(2): 115-121.
Huang S A, Zhang H Q, Liu Y H. Value realization and market allocation of data elements[J]. Dongyue Tribune, 2022, 43(2): 115-121.
- [4] 李晶晶. 我国数据要素交易制度的构建与完善[J]. 湖北社会科学, 2023(8): 139-147.
Li J J. The construction and improvement of china's data element trading system[J]. Hubei Social Sciences, 2023(8): 139-147.
- [5] 李文军, 李玮. 我国大数据产业和数据要素市场发展的的问题与对策[J]. 企业经济, 2023, 42(3): 26-36.
Li W J, Li W. Problems and countermeasures in development of China's big data industry and data element market[J]. Enterprise Economy, 2023, 42(3): 26-36.
- [6] 陈蕾, 李梦泽, 薛钦源. 数据要素市场建设的现实约束与路径选择[J]. 改革, 2023(1): 83-94.
Chen L, Li M Z, Xue Q Y. Realistic constraints and path selection of data element market construction[J]. Reform, 2023(1): 83-94.
- [7] 王劲林, 程钢, 尤佳莉, 等. SEANet: 一种现场、弹性、自治网络架构及技术[J]. 网络新媒体技术, 2020, 9(6): 1-8.
Wang J L, Cheng G, You J L, et al. SEANet: Architecture and technologies of an on-site, elastic, autonomous network[J]. Journal of Network New Media, 2020, 9(6): 1-8.

- [8] 政府工作报告[EB/OL].(2024-03-12)[2026-03-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content_6939153.htm.
Government work report [EB/OL]. (2024-03-12)[2026-03-15]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content_6939153.htm.
- [9] Wu J X, Li J F, Sun P H, et al. Theoretical framework for a polymorphic network environment[J]. Engineering, 2024, 39: 222-234.
- [10] 龚强,班铭媛,刘冲. 数据交易之悖论与突破:不完全契约视角[J]. 经济研究,2022,57(7):172-188.
Gong Q, Ban M Y, Liu C. The data trading dilemma: The perspective of incomplete contract[J]. Economic Research Journal, 2022, 57(7):172-188.
- [11] 陈耿宣,王景. “东数西算”助力产业链供应链优化升级[J]. 数字经济,2023(5):38-41.
Chen G X, Wang J. “East counting and west computing” helps to optimize and upgrade the supply chain of industrial chain[J]. Digital Economy, 2023(5):38-41.
- [12] 陈明山. 数据要素流通机制创新 打破“数据孤岛”、释放数据价值[J]. 通信世界,2024(6):21-24.
Chen M S. Innovation of data element circulation mechanism breaks “data island” and releases data value[J]. Communications World, 2024(6):2124.
- [13] 薛向阳,邹宏,赵进,等. 数据基础设施抗测绘理论与技术发展研究[J]. 中国工程科学,2025,27(1):72-87.
Xue X Y, Zou H, Zhao J, et al. Advances in anti-surveying-and-mapping theory and technologies for data infrastructure[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(1):72-87.
- [14] 国家数据基础设施建设指引[EB/OL].(2025-01-01)[2026-03-15]. <https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202501/P020250106320772720055.pdf>.
Guidelines for the construction of national data infrastructure[EB/OL].(2025-01-01)[2026-03-15]. <https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202501/P020250106320772720055.pdf>.
- [15] 林志杰,孟政炫. 数据生产要素的结合机制——互补性资产视角[J]. 北京交通大学学报(社会科学版),2021,20(2):28-38.
Lin Z J, Meng Z X. The integration mechanism of data and core production factors from the perspective of complementary assets[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2021, 20(2):28-38.
- [16] 李玉峰,郑向雨,邱菡,等. 内生安全赋能智能网联汽车韧性技术研究[J]. 中国科学:信息科学,2025,55(8):1822-1848.
Li Y F, Zheng X Y, Qiu H, et al. Research on resilience technology for intelligent connected vehicle empowered by endogenous security and safety[J]. Scientia Sinica Informationis, 2025, 55(8): 1822-1848.
- [17] 郭江兴,胡宇翔. 网络技术体系与支撑环境分离的发展范式[J]. 信息通信技术与政策,2021,47(8):1-11.
Wu J X, Hu Y X. The development paradigm of separation between network technical system and supporting environment[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2021, 47(8):1-11.
- [18] 郭江兴. 论网络技术体制发展范式的变革——网络之网络[J]. 电信科学,2022,38(6):1-12.
Wu J X. Revolution of the development paradigm of network technology system—Network of networks [J]. Telecommunications Science, 2022, 38(6):1-12.
- [19] 胡宇翔,崔鹏帅,田乐,等. 多模态网络环境研究进展[J]. 中国基础科学,2024,26(3):1-8.
Hu Y X, Cui P S, Tian L, et al. Research progress on polymorphic network environment[J]. China Basic Science, 2024, 26(3):1-8.
- [20] 胡宇翔,伊鹏,孙鹏浩,等. 全维可定义的多模态智慧网络体系研究[J]. 通信学报,2019,40(8):1-12.
Hu Y X, Yi P, Sun P H, et al. Research on the full-dimensional defined polymorphic smart network[J]. Journal on Communications, 2019, 40(8):1-12.
- [21] 尤佳莉,郭江兴. 多模态网络环境构建技术研究与发展[J]. 中国科学:信息科学,2025,55(12):3060-3079.
You J L, Wu J X. Research and development of construction technologies about polymorphic network environment[J]. Scientia Sinica Informationis, 2025, 55(12):3060-3079.
- [22] Yu M, Jose L, Miao R. Software defined traffic measurement with OpenSketch [R]. Lombard: The 10th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, 2013.
- [23] Estan C, Varghese G. New directions in traffic measurement and accounting: Focusing on the elephants, ignoring the mice[J]. ACM Transactions on Computer Systems, 2003, 21(3):270-313.
- [24] Estan C, Varghese G, Fisk M. Bitmap algorithms for counting active flows on high-speed links[J]. IEEE, 2006, 14(5):925-937.
- [25] Bilge L, Kirda E, Kruegel C, et al. EXPOSURE: Finding malicious domains using passive DNS analysis [C]//Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium (NDSS 2011), 2011:1-5.
- [26] Alizadeh M, Edsall T, Dharmapurikar S, et al. CONGA: Distributed congestion-aware load balancing for datacenters[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2015, 44 (4) : 503-514.
- [27] 郭江兴,邹宏,张帆,等. AI for Engineering:驱动数字生态系统网络发展范式转型[J]. 科技导报,2025,43(12):19-28.
Wu J X, Zou H, Zhang F, et al. AI for Engineering: Driving a new paradigm for digital ecosystem network development[J]. Science & Technology Review, 2025, 43(12):19-28.
- [28] Ahlgren B, Dannewitz C, Imbrenda C, et al. A survey of information-centric networking[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7):26-36.
- [29] Zhang H K, Quan W, Chao H C, et al. Smart identifier network: A collaborative architecture for the future Internet[J]. IEEE Network, 2016, 30(3):46-51.
- [30] 林睿,邢文娟,雷波. 一种面向计算的网路模态——算力网络模态探讨[J]. 电信科学,2023,39(10):128-135.
Lin R, Xing W J, Lei B. Discussion on a computation-oriented network modality—Computing power network modality[J]. Telecommunications Science, 2023, 39(10):128-135.