



中国通信学会

CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATIONS

自智网络前沿技术白皮书

中国通信学会、中国移动研究院

2022 年 6 月

版权声明

本前沿报告/白皮书版权属于中国通信学会、中国移动通信有限公司研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国通信学会、中国移动通信有限公司研究院”。违反上述声明者，本学会将追究其相关法律责任。

专家组和撰写组名单

专家组：

组长：

杨志强 中国移动通信有限公司研究院 原副院长
科技委常务副主任

副组长：

冯俊兰 中国移动通信有限公司研究院 首席科学家
人工智能与智慧运营中心总经理

顾宁伦 中国移动通信集团有限公司 网络事业部副总经理

胡臻平 中国移动通信集团有限公司 集团级首席专家
技术部网络技术与资源处经理

成员：

姓名	单位	职务
邓超	中国移动通信有限公司 研究院	人工智能与智慧运营中心 常务副总经理
金镝	中国移动通信有限公司 研究院	人工智能与智慧运营中心 副总经理
袁向阳	中国移动通信有限公司 研究院	人工智能与智慧运营中心 副总经理
余立	中国移动通信有限公司 研究院	人工智能与智慧运营中心 副总经理

刘立卫	中国移动通信集团有 限公司	网络事业部 网管支撑处副经理
陈前斌	重庆邮电大学	副校长
曹蓟光	中国信息通信研究院	技术与标准研究所 副所长
徐俊杰	TM Forum	亚太区区域总监
李文璟	北京邮电大学	教授
柏钢	中兴通讯股份有限公司	副总裁
王少森	华为技术有限公司	自动驾驶网络解决方案 总经理
张志军	爱立信（中国）通信有 限公司	爱立信数字服务事业群中国 区总经理
王琳	上海诺基亚贝尔股份有 限公司	云网服务事业部售前总经理

撰写组(按单位排名)

单位	姓名
中国移动通信有限公司研究院	邓灵莉、马梦媛、刘凯曦、杨艳、 王斌、朱琳
中国移动通信集团有限公司	姚远、韩延涛
重庆邮电大学	王汝言、雒江涛、徐勇军、戴翠琴
中兴通讯股份有限公司	张嗣宏、齐晓虹、赵丁
华为技术有限公司	王一宁、张勇、施震宇、郑光迎

中国信息通信研究院	马军锋、刘芷若、张宇华
爱立信（中国）有限公司	赵铭、方周、李刚、苟春晖、王全波
上海诺基亚贝尔股份有限公司	王钊、樊涛、肖文芳、林侃、廖维

前 言

5G 和人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术，是我国新型基础设施建设的重要内容，是实现网络强国战略的重要支撑。二者的互融互促正在加速全球经济社会数字化、智能化转型。

自智网络以自动化与智能化为核心特征，以实现通信网络提质增效、赋能行业数智化升级为目标，是 5G 及未来通信网络与人工智能深度融合的显著发展趋势。当前，全球范围内，各个标准化组织、开源社区、产业联盟等行业组织，通信运营商、通信设备制造商、网管系统集成商、其他 IT 软件厂家、第三方研发机构等产业各方积极布局自智网络技术体系的各个领域，加大创新探索与实践、培养人才、孵化生态、抢占先机。

我国的自智网络发展正处于技术突破、融合创新和规模应用的重要窗口期，亟需深化体系性推进，汇聚产业力量，为进一步构筑和持续保持我国通信网络的世界领先优势打造核心发展动能。

本报告全面分析自智网络全球发展态势和我国发展现状，研判自智网络关键技术的演进趋势，探讨研发过程中的工程难题，并针对推动产业协作、加速技术实现落地、持续巩固我国优势提出政策建议。

人工智能技术与应用委员会



2022 年 6 月

目 录

一、 研究概述.....	1
二、 全球发展态势.....	3
(一) 全球态势综述：行业共识，转型起步.....	3
(二) 各国发展战略：政策利好，监管趋严.....	4
(三) 标准组织布局：覆盖全面，协同不足.....	6
1. 愿景目标架构领域.....	6
2. 专业技术领域.....	8
3. 分级评测领域.....	10
4. 小结.....	10
(四) 产业建设现状：生态完善，突破不足.....	10
1. 产业全景视图.....	10
2. 厂商布局分析.....	11
(五) 小结.....	22
三、 我国发展现状.....	23
(一) 我国现状综述：深耕 5G 产业，促进互融共生.....	23
(二) 国内标准布局：标准牵引升级，对齐世界前列.....	24
(三) 国内产业现状：聚集规模优势，增强自主可控.....	27
(四) 小结.....	28
四、 产业进展与技术预见.....	30
(一) 产业进展.....	30
1. 中国移动商用实践.....	30
2. 中国电信商用实践.....	32
3. 中国联通商用实践.....	33
4. 华为公司商用实践.....	35
5. 中兴公司商用实践.....	36
6. 亚信公司商用实践.....	38
7. 爱立信公司商用实践.....	39
8. 诺基亚公司商用实践.....	40
(二) 技术预见.....	41
1. 网络智能化能力需要核心算法的攻关突破.....	42
2. 智能化应用呈现分层分域的构建态势.....	43
3. 通用型平台加速各层各域的规模应用.....	45
4. 智能型基础使能云网边算的业务创新.....	46
5. 标准融通开源共享支撑体系化演进.....	48
五、 工程难题.....	50
(一) 自智网络智能化能力建设缺乏基础支撑.....	50
1. 感知：实时动态感知.....	50
2. 诊断：跨层关联分析.....	50
3. 预测：综合智能预测.....	50
4. 控制：全局最优决策.....	51
(二) 核心技术突破缺乏赋能原料.....	51

1. 环境：智慧能力研发亟需柔性网络环境.....	51
2. 知识：密集网络知识亟需体系化表达.....	52
3. 数据：海量异构数据亟需标准化开放.....	52
(三) 规模价值挖掘缺乏体系协同.....	53
1. 平台：规模化发展需统一共性需求.....	53
2. 体系：产业链牵引需协同标准体系.....	54
3. 度量：规模化应用需构建评测规范.....	55
六、 政策建议.....	56
(一) 技术政策建议.....	56
1. 引导产学研用协同助力核心算法攻关.....	56
2. 构建网络 AI 关键架构实现工程能力突破.....	56
3. 打造开放创新平台降低协同创新门槛.....	57
(二) 产业政策建议.....	57
1. 优先构建国内产业，同步引领国际布局.....	57
2. 加强跨行业合作，推动创新应用发展.....	58
3. 出台数据合规政策，鼓励规范数据开放.....	59
参考文献.....	60

图目录

图 1 运营商自智网络研发阶段分布..... 4

图 2 自智网络标准及开源布局示意图..... 6

图 3 TM Forum 自智网络框架..... 7

图 4 自智网络产业链全景视图..... 11

图 5 四横一纵研发布局示意图..... 42

图 6 “线”状流程集成能力示意图..... 44

图 7 “面”状智能化平台示意图..... 46

表目录

表 1 产业链上游芯片厂商布局分析..... 13

表 2 产业链上游数据开放平台分析..... 14

表 3 产业链上游开放数据集分析..... 15

表 4 产业链中游开发框架分析..... 16

表 5 产业链中游开放平台分析..... 17

表 6 产业链中游算法研发产出分析..... 20

表 7 CCSA 自智网络行业标准布局..... 25

缩略语

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
AAA	Authentication, Authorization, Accounting	认证、授权、计费
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AIIA	Artificial Intelligence Industry Alliance	人工智能产业发展联盟
ANIMA	Autonomic Networking Integrated Model and Approach	自治网络集成模型与方法
BSS	Business Support Systems	业务支撑系统
CBSS	Centralized Business Support Systems	集中业务支撑系统
CCPA	California Consumer Privacy Act	加利福尼亚州消费者隐私保护法案
CCSA	China Communication Standards Association	中国通信标准化协会
CFN	Computing Force Network	算力网络
CI/CD	Continuous Integration / Continuous Delivery	持续集成/持续交付
CS	Circuit Switched	电路交换
CT	Communication Technology	通信技术
DPI	Deep Packet Inspection	深度报文检测
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
FATE	Federated AI Technology Enabler	联邦 AI 技术框架
FG-ML5G	Focus Group on Machine Learning for Future Networks including 5G	机器学习-未来网络焦点组
GAN	Generative Adversarial Network	生成对抗网络
GPDR	General Data Protection Regulation	通用数据保护条例
GTI	Global TD-LTE Initiative	TD—LTE 全球发展倡议
IBN	Intent based networking	意图驱动网络
ICT	Information and Communications Technology	信息与通信技术
IDC	International Data corporation	国际数据公司
IDM	Intent Driven Management	意图驱动管理
IETF	Internet Engineering Task Force	互联网工程任务组
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP 多媒体子系统
IOT	Internet of Things	物联网
IT	Internet Technology	互联网技术
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
KPI	Key Performance Indicator	关键绩效指标

KQI	Key Quality Indicator	关键质量指标
MANO	Management and Orchestration	网络功能虚拟化管理和编排
MDA	Management Data Analytics	管理数据分析
MDT	Minimization of Drive Test	最小化路测
MDT	Mobile Data Terminal	移动数据终端
MSS	Management Support Systems	管理支撑系统
NETMOD	Network Modeling	网络建模
NFV	Network Function Virtualization	网络功能虚拟化
NLP	Natural Language Processing	自然语言处理
NMRG	Network Management Research Group	网络管理研究组
NWDA	Network Data Analytics	网络数据分析
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
ONAP	Open Network Automation Platform	开放网络自动化平台
ONF	Open Networking Foundation	开放网络基金会
ONNX	Open Neural Network Exchange	开放神经网络交换
OSS	Operation Support Systems	运营支撑系统
OTN	Optical Transport Network	光传送网
OWL	Web Ontology Language	网络本体语言
PNDA	Platform for Network Data Analytics	网络数据分析平台
PS	Packet Switched	分组交换
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RCA	Root Cause Analysis	根因分析
RIC	RAN Intelligent Controller	无线接入网智能控制器
RMS	Remote Management System	远程管理系统
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
SLA	Service Level agreement	服务等级协议
SLS	Service Level Specification	服务等级规范
SON	Self-Organizing Network	自组织网络
TMF	TM Forum	电信管理论坛
TPU	Tensor Processing Unit	张量处理器
VNF	Virtualized Network Function	虚拟化网络功能
YANG	Yet Another Next Generation	下一代数据建模语言
ZSM	Zero touch network & Service Management	零接触网络和服务管理

一、研究概述

自智网络通过构建网络全生命周期的自动化、智能化运维能力，为网络服务的客户提供“零等待、零故障、零接触”的极致业务体验，为网络生产一线打造“自配置、自修复、自优化”的高效运维手段。自智网络将 AI 技术与通信网络的硬件、软件、系统等深度融合，助力使能业务敏捷创新、网络运营智能、构建智慧内生网络。

自智网络围绕“单域自治，跨域协同”的核心思想，分层次构建体系化能力，实现全场景网络自动化和智能化，其目标架构从下到上包含网元管理（提供网元内置的自动化运维能力）、网络管理（提供面向网络的单专业自动化运维能力）、服务管理（提供面向网络和服务的跨专业自动化运维能力）和业务管理（提供面向客户的自动化服务管理能力，统一提供客户触点）等四个层次，以及资源闭环（单专业资源管理，实现单域自治）、业务闭环（面向业务的、跨专业的端到端管理，实现跨域协同）与用户闭环（用户与商务管理，包括用户信息、营业、计费、客服等）等三个闭环。

自智网络愿景已成为行业共识。全球范围内，通信业各标准组织、行业组织、开源社区等积极推进自智网络的产业布局，覆盖通信技术、人工智能技术、分级标准与评测等各个领域，自智网络的技术研发和商用落地不断加快，产业呈现蓬勃发展态势。

自智网络产业链的全景视图包括上游基础层、中游技术层和下游应用层：上游基础层，包括通信网络、智能算力、开放数据三个方面。在通信网络方面我国处于行业领先地位，在智能算力方面美国凭借先

发优势成为全球行业领导者；中游技术层，包括人工智能算法理论、开发框架和开放平台，是中美科技博弈的角力场；下游应用层，包括应用产品研发、标准制定等，我国产业界积极布局与持续创新，目前处于全球领先地位。

然而，通信网络是一个高体系性、高复杂度、高动态性的工程系统，人工智能在其中规模应用的理论基础和技术实践相对薄弱。从产业当前发展情况看，自智网络在技术研发和应用落地方面仍然面临着诸多难题。首先，网络能力配套缺乏实时动态感知、跨层关联分析、综合智能预测和全局最优决策等基础设施；其次，核心技术突破缺乏环境、知识、数据等赋能原料；最后，规模价值挖掘缺乏平台沉淀、产业标准和动态评测的体系化协同，难以为自智网络的蓬勃发展汇聚合力。

为此，建议在技术层面上引导产学研协同助力核心算法攻关；在产业合作层面上推进构建开放创新平台，倡导跨国别、跨行业、跨领域合作，促进数据、知识流通，推动创新应用发展；在政策层面建立数据共享标准体系，出台数据安全合规开放政策。通过产、学、研、用等各方将创新资源的聚焦投入，攻关和解决自智网络的核心科学问题和技术难题，实现通信网络提质增效、赋能行业数智化升级，引领未来产业发展。

二、全球发展态势

（一）全球态势综述：行业共识，转型起步

随着科技革命和产业变革的持续深入推进，全球加速迈入数智经济时代，已有 170 多个国家发布了数字化战略，40 多个国家发布了国家层面的人工智能科技发展战略或规划。IDC 预计^[1]，2020 年到 2023 年，全球数字化转型投资将达到 6.8 万亿美元。

通信网络作为支撑数智经济发展的关键基础设施，自身正处在云化、软件化的转型发展浪潮之中。通信网络的新技术与现代人工智能技术的两相契合带来了网络智能化技术的新发展，加速了以自动化、智能化为特征的自智网络的建设步伐。信息通信领域的标准组织、开源社区、公司纷纷布局自智网络领域。据 Tractica/Ovum 研究，到 2025 年，作为目前最大的人工智能细分市场，全球通信业对人工智能的软件、硬件和服务的投资将达 367 亿美元。

打造自智网络是一项复杂的系统工程，需要完整的顶层设计、统一的标准定义和目标架构、清晰的演进路径以及相匹配的组织文化与人员。当前全球电信网络的自智水平尚处于起步阶段。如果按照全球普遍认可的 L1-L5 五级分类方法来定义，根据 2021 年 TMF 面向全球电信服务提供商会员的自智网络第二轮问卷^[2]结果分析，约半数运营商实现了 L2 级水平，并正在向 L3 级别努力。2021 年 NGMN 调研结果显示，运营商主体在尚未启动、概念验证、分散试点、规模商用与长远计划五个研发阶段中，超过半数处于分散试点阶段，约五分之一左右进入规模商用成熟期。

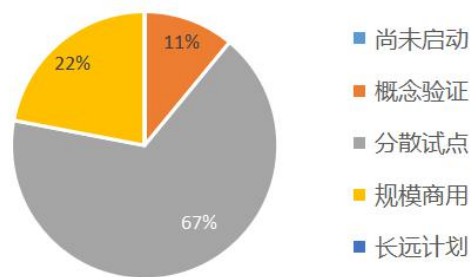


图 1 运营商自智网络研发阶段分布

（二）各国发展战略：政策利好，监管趋严

各国政府在推进 5G、人工智能发展方面均制定了积极的政策鼓励和支持技术研发创新。

美国在 2018 年发布《美国机器智能国家战略报告》，旨在加大机器智能的研发资金支持，促进技术快速安全发展，巩固美国领先地位。2019 年启动“美国人工智能计划”，发布《国家人工智能研究与发展战略计划》，再次强调联邦政府对于人工智能研发投资的支持。同年发布“网络与信息技术研发计划”，表示 2020 财年预算将重点推进人工智能、第五代移动通信等关键技术与产业发展。

2020 年，欧盟委员会发布《塑造欧洲数字未来》战略，涵盖了从网络安全到关键基础设施的数字化变革理念，希望建立以数字技术为动力的欧洲社会。作为战略实施的一部分，发布《欧盟人工智能白皮书》，在人工智能和网络等领域建立和部署尖端的联合数字能力。2021 年 3 月，欧盟委员会发布了《2030 数字罗盘：欧盟数字十年战略》（2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade）报告，为欧盟数字化发展提供战略建议。报告指出，欧盟的数字化发展落后于美国和中国，欧盟应该通过加强人员的数字化技能培训、加

强数字化基础设施投资、鼓励企业进行数字化转型。欧盟提出到 2030 年，5G、物联网、边缘计算、人工智能、机器人和增强现实等数字技术将成为基于数字共享经济的新产品、新制造流程和新商业模式的核心。只有具备互联互通、微电子和海量数据处理能力等可持续的数字基础设施后，才能建立起数字化领先地位。

德国于 2018 年推出《高技术战略 2025》和《德国人工智能发展战略》，以及 2025 年 30 亿欧元的投资计划确保其落地实施，通过整体政策框架的制定，强调利用人工智能应用提高德国整体国际竞争力。

日本于 2018 年发布《第 2 期战略性创新推进计划》（SIP），着重推进大数据和人工智能技术在生物、医疗、物流等生产场景的应用融合。2019 年发布《科学技术创新综合战略 2019》，提出建设超智能社会的目标^[3]。

随着通信网络、云计算等基础设施的不断发展，用户和行业的数据不断汇聚，如何在使用数据的同时保护好数据隐私和安全已经成为了世界性的普遍趋势，各国都在加强对数据使用的监管。

美国在 2018 年颁发《2018 加州消费者隐私法案》，又名“CCPA”，于 2020 年开始在全美推行，CCPA 要求违规企业向每个被泄露数据的用户赔偿 100 到 750 美元不等。

2018 年 5 月，欧盟通用数据保护条例（GDPR）正式生效，加强对欧盟境内居民的数据隐私保护，对于违反条例的行为，判罚最高可达 2 千万欧元或企业全球年收入的 4%。2020 欧盟发布《欧洲数据战略》，提出通过建立跨部门治理框架、加强数据基础设施投资、打造

公共欧洲数据空间等措施，构建“数据敏捷经济体”。

日益严格的法律法规对推进网络人工智能技术发展提出新的挑战，在这种背景下，用户和网络数据共享的范围、形式、合规性等基本要求亟需政策细则的引导与规范，产业也需要加大在隐私保护计算、多方安全计算等方面的技术研发力度。

（三）标准组织布局：覆盖全面，协同不足

3GPP、ITU-T、IETF、ETSI 等相关标准组织，以及 Linux 基金会、TIP、Openstack 基金会等开源社区纷纷开展自智网络相关的技术标准与参考实现的研发工作，积极推进自智网络的标准化布局，争夺网络智能化的产业话语权。



图 2 自智网络标准及开源布局示意图

目前产业的自智网络标准主要分为三个领域：

1. 愿景目标架构领域

TM Forum 是最早布局自智网络的标准组织之一^[4-6]。2019 年 5 月举办的数字转型系列峰会期间，由中国移动等公司主导发布的《TM Forum 自治网络白皮书》^[7]率先提出自治网络的概念，并于 2021 年

10月正式命名为自智网络。自智网络为未来网络管理提供参考架构和管理框架，一方面为垂直行业的客户定义全自动零等待、零接触、零故障（Zero-X）的创新网络和ICT服务，另一方面为服务运营商的规划、服务/营销、运营和管理，提供具备自配置、自修复、自优化和自演变（Self-X）能力的通信网络基础设施。

如图3所示，在TM Forum 自智网络的愿景目标架构^[7]中，底层网络资源被划分成包含网络设备及其管控系统的自治域，对外提供封装后的网络服务，对内运维管理高度自动化；以自治域为基础，形成分别对应资源运营、业务运营和商务运营的三个管理层次，层内提供自动闭环，层间通过意图接口简化交互，使上层服务调用独立于下层实现。

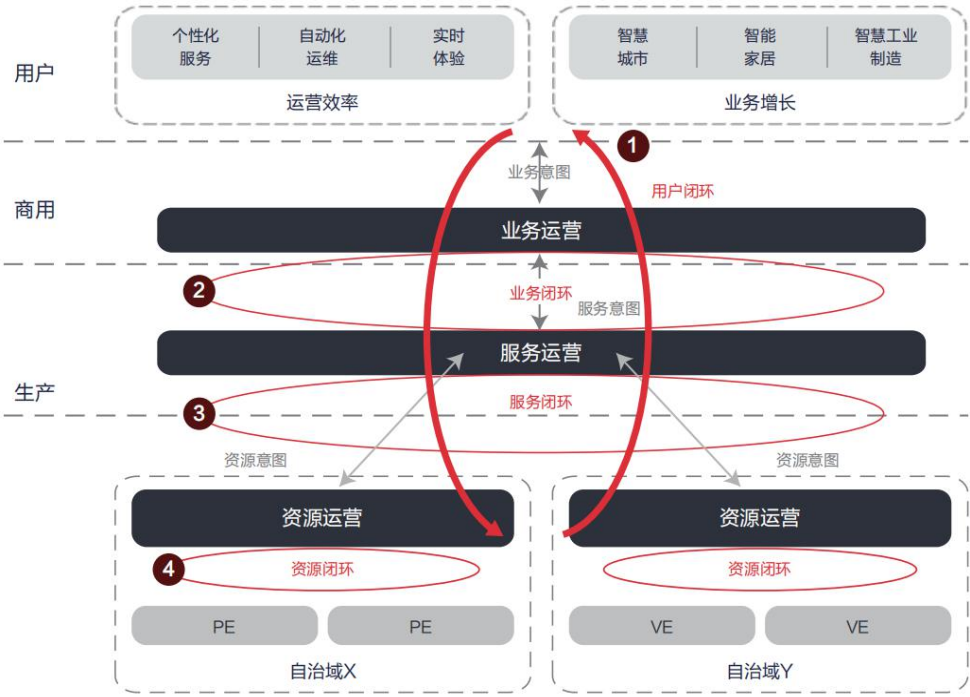


图 3 TM Forum 自智网络框架

2. 专业技术领域

2017 年，ITU-T SG13 建立了包括 5G（FG-ML5G）在内的面向未来网络的机器学习焦点小组，并先后发布了面向未来网络的机器学习^[8]和数据处理框架推荐标准^[9]。

成立于 2017 年的 ISG ZSM 是 ETSI 旗下由欧洲运营商主导、聚焦通信网络跨域端到端网络运维管理自动化的专项工作组，当前工作集中如何在 ZSM 框架中引入闭环自动化，并针对数据驱动的机器学习和 AI 算法进行优化^[10]。

针对移动通信网络，自 4G 以来，3GPP 已开始通过引入无线专业的自组织网络（SON）控制闭环和路测最小化（MDT）数据采集增强机制，实现移动网络的部分自动化。面向 5G，除了在无线工作组 RAN 和网管工作组 SA5 继续完善增强 SON/MDT^[11-13]之外，3GPP 的核心网架构工作组 SA2 和网管工作组 SA5 还分别引入了针对核心自治域与服务运维层次的本地智能分析逻辑功能 NWDA^[14-16]和 MDA^[17]，以及闭环 SLS 保证机制^[18-20]和意图驱动管理接口 IDM^[21-22]。

针对无线接入网络，2019 年，O-RAN 联盟参照 3GPP 的 5G RAN 网络架构发布了无线智能管控架构^[23]，以及在其中应用 AI/ML 技术的指南^[24]。其中包含对应于服务运维域的非实时无线智能控制器 Non-RT RIC 和对应于无线自治域的近实时无线智能控制器 Near-RT RIC^[25]，以及对应于基础设施域的虚拟化白盒网元管理系统^[26-27]。目前正在制定和完善无线自治域北向意图接口标准 A1AP^[28]和基础设施域北向规则接口标准 E2AP^[29]。

针对 IP 承载网络，IETF 早在 2014 年便正式成立了自主网络（Autonomic Network）工作组 ANIMA，并于 2015 年发布了对应于传输自治域 IP 网络的自主网络概念定义^[30]和需求分析^[31]。基于 IETF 开发的 YANG 数据建模语言^[32]和网络配置协议^[33-34]，网络管理模型工作组 NETMOD 和网络管理研究组 NMRG 正在分别进行自主网络北向规则接口标准^[35]和意图接口管理需求^[36]的研发工作。

负责 OpenFlow 系列协议标准制定的 ONF，于 2015 年 4 月在控制器北向接口项目组成立意图驱动网络（IBN）研究课题，并于 2016 年 10 月发布基于其 SDN 功能架构^[37]与北向接口实现 IBN 的参考指南^[38]。

针对基础设施领域，ETSI ISG NFV 将 MANO 自动化作为近期主要工作目标之一，为此开展了针对虚拟基础设施层自动闭环的规则策略^[39]和意图框架^[40]，以及面向 VNF 持续迭代 CI/CD 测试标准^[41-42]的研发工作。ETSI ISG ENI，致力于定义认知网络管理架构。主要关注网络 AI 应用类别^[43]，以及用于增强网络智能的通用功能架构^[44]，但其与已有网络管理体系的映射工作迟迟未有实质性进展^[45]。

2017 年和 2018 年相继成立的 Linux 网络基金会和 Linux 人工智能与数据基金会，分别提供了开放网络自动化平台 ONAP^[46]、开源 SDN 控制器 OpenDayLight^[47]、网络大数据与 AI 工具集 PNDA^[48]，以及模型集市 Acumos^[49]、深度学习推理加速工具 Adlik^[50]等一系列面向网络智能化的通用自动化平台与智能化工具。

3. 分级评测领域

自智网络的部署面临迭代演进，需要统一的代际特征定义，因此分级评测也是自智网络标准布局的重要领域。

2019 年基于自动驾驶汽车分级框架和认知闭环（执行、感知、分析、决策、意图体验）的网络智能化分级框架被 TM Forum 的《自治网络白皮书 1.0》采纳发布后引起业界广泛关注。

3GPP^[51-52]、TM Forum^[53]、ITU-T^[54]随后分别启动了针对网络与服务运营层次的智能化分级研究课题、推荐标准与行业标准项目。2020 年，GTI 的 eMBB 课题组^[55]启动网络智能化专项并应用分级框架对网络智能化应用进行初步评估。

4. 小结

总体来看，国际标准组织的自智网络标准布局已经相对完善，但不同标准组织之间的标准规划相对独立，按专业领域分工的特点明显，相互协作模式松散，难以为需要跨层跨域进行统一规划建设的自智网络建立体系化规范^[56]。为此，需要引导产业各方建立面向全程全网自动化和智能化能力体系建设的跨组织协作平台。

（四）产业建设现状：生态完善，突破不足

1. 产业全景视图

如图 4 所示，自智网络的产业链可以划分为上游基础层、中游技术层和下游应用层。其中，



图 4 自智网络产业链全景视图

● **基础层**，包括通信网络、人工智能算力基础设施、智能化所需大数据等，为自智网络提供所需设备、算力与数据支撑，以通信设备厂商、人工智能芯片厂商为代表形成上游生态。

● **技术层**，包括自智网络相关的网络智能化算法理论、算法开发框架、核心算法、开放平台。

● **应用层**，包括面向自智网络各个层次研发的智能化应用（如基站节能、故障诊断、资源核查等）。从部署方式角度，网络智能化应用可以划分为内嵌式和外挂式两类：前者指嵌入网络设施线上管理流程的智能化应用，如基站智能节能、无线覆盖智能优化等；后者指其他离线管理应用，如费用稽核、设备识别等。

2. 厂商布局分析

自智网络全产业链厂家数量与类型众多。上中下游都有多家活跃的 IT 和 CT 厂家，尤其是巨头厂家凭借前期技术积累，在产业中整

体具备较大优势。

同时，产业生态丰富，市场竞争充分，既包括华为、中兴、百度、中国移动、谷歌和诺基亚等跨域布局，产品覆盖产业链两个或多个环节的厂家，也有寒武纪、英伟达等只聚焦于某一环节发力的厂商，既有产品覆盖范围广泛、研发实力雄厚的超大规模从业者（Hyperscaler），也有优质的新型独角兽企业。

产业链上游：在通信网络方面，我国 5G 移动通信产业已初步形成全球引领态势，持续领跑全球 5G 发展。

我国无线基站、核心网、传输承载网、智能终端等制造全球领先，具有相对完整的产业链和最大规模的制造基地。截至 2021 年底，我国基站设备占全球份额 60% 以上，光通信设备和智能手机全球市场份额排名第一；移动信息网络基础设施领先，网络覆盖广、规模大、质量好。截至 2022 年 5 月底，我国共开通 5G 基站 170 万个，形成全球规模最大的 5G 网络。

在人工智能算力方面，以 AI 芯片为核心，云侧芯片美国公司优势明显，而边侧和端侧芯片应用规模较小，国际上没有形成垄断的规模优势，群雄并起。

自智网络中 AI 芯片使用场景包含云侧、边侧和端侧，每一侧又可以分为训练和推理两种任务。如表 1 所示，英伟达作为 GPU 架构的发明者从 2016 年发布为深度学习优化的第一款 GPU 芯片起，在云侧 AI 芯片市场一家独大。其他头部公司，如谷歌、华为、阿里、百度、寒武纪、燧原科技等大力追赶。Intel 在 2022 年推出 Gaudi2 加入

云端芯片市场竞争，而其他中小厂商多针对特定的 AI 场景推出端侧或边侧芯片产品。

在目前的自智网络智能化应用场景中，绝大部分应用属于边或端部署的分布式推理场景，而相对云场景而言边侧和端侧芯片市场更为活跃，初创企业更多，美国头部厂商的垄断优势不明显。

表 1 产业链上游芯片厂商布局分析

厂家	地区	训练	推理	场景	工艺	类型	应用
英伟达	美	A100		云	7nm	GPU	数据分析；深度学习；高性能计算
Intel	美	Gaudi2		云	7nm	GPU	智能推荐；自然语言处理；图像分类等主流 AI 场景
谷歌	美	TPU V4.0		云	7nm	ASIC	图像和语音识别；机器翻译；数据中心
华为	中	昇腾 310		云边端	12nm	ASIC	智慧交通；智慧电力；智能安防
		昇腾 910		云	7nm	ASIC	云端 AI 训练
寒武纪	中	思元 290		云	7nm	ASIC	数据中心
		思元 370		云	7nm	ASIC	视频分析；语音合成；推荐引擎
地平线	中		征程 5	端	16nm	ASIC	汽车自动驾驶
			旭日 3	边端	16nm	ASIC	AIoT
阿里平头哥	中		含光 800	云	12nm	ASIC	边缘服务器；数据中心等
百度	中	昆仑芯 2		云	7nm	ASIC	智慧城市；智慧工业等
燧原科技	中		邃思 2.5	云	12nm	ASIC	数据中心；计算机视觉；语音合成识别等
Imagination	欧		IMG 4NX-MC1	端		GPU	数据中心；汽车自动驾驶

数据基础方面，国内外头部企业积极建设开放 AI 数据平台，但经典开放数据集集中于传统 AI 域，缺少面向自智网络领域的高质量数据集。

如表 2 所示，美国头部企业和高校建设了大量 AI 公用数据集开

放平台，积累较多。国内数据开放平台近两年由头部企业和新兴科技公司新建。格物钛还同时布局开源社区生态，影响力逐步扩大，但相比国外数据开放平台，在承载的数据规模上还有明显差异。

表 2 产业链上游数据开放平台分析

平台名称	提供方	地理位置	限定领域	开放时间	数据集规模
Kaggle datasets	谷歌	美	否	2010	超 2 万个数据集
Registry of Open Data on AWS (RODA)	Amazon	美	否	2018	341 个数据集
BigQuery 公共数据集	谷歌	美	否	2010	239 个数据集
Microsoft Research Open Data	Microsoft	美	否	2018	101 个数据集
UC Irvine Machine Learning Repository	加州大学欧文分校	美	否	1987	622 个数据集
Visual data	哥伦比亚大学	美	计算机视觉	2017	840 个数据集
天池	阿里	中	否	2015	官方数据集 170
和鲸社区(原名科赛网)	和鲸科技	中	否	2015	5000G 海量数据集
Graviti Open Datasets	格物钛	中	否	2020	1000+优质数据集
MagicHub.io	爱数智慧	中	NLP	2021	190+数据集
千言中文开源数据集	百度	中	NLP	2020	36 个数据集

如表 3 所示，在开放数据集方面，高校、研究机构贡献较高；传统 AI 研究领域如 NLP、目标检测等，拥有众多影响力较高的数据集，且大部分被数据开放平台所托管，而在网络智能化领域，开放数据集数量少、分散独立维护、影响力较小。

产业链中游：开发框架生态丰富，开放平台能力沉淀深厚，但网络 AI 特有本质数学问题抽象不够、核心算法匮乏。

首先，开发框架方面，美国头部企业和高校以及个人开发者贡献了多种 AI 开发框架，覆盖了所有功能和部署场景。中国华为和百度开发框架较为成熟。

表 3 产业链上游开放数据集分析

研究领域	应用场景	数据集名称	发布方	地理位置	数据集规模	开放时间	平台托管
通用 AI	自动驾驶	KITTI	德国卡尔斯鲁厄理工学院 丰田美国技术研究院	美欧	312MB~ 440GB	2011	是
		CityScapes	由奔驰自动驾驶实验室、马克思·普朗克研究所、达姆施塔特工业大学	欧	74.15GB	2016	是
		BDD100K	伯克利大学 AI 实验室 (BAIR)	美	6.42GB	2018	是
		nuScenes	美国 Motional 公司	美	547.98GB	2019	是
	目标检测	COCO Common Objects in Context	微软	美	83.39GB	2015	是
		PASCAL VOC	出自 PASCAL VOC 挑战赛	欧	1.86GB	2005	是
		ImageNet	斯坦福大学、Kaggle 公司	美欧	148G	2009	否
		OpenImage	谷歌	美	671.41GB	2018	是
	人脸识别	YouTube Face DB	以色列特拉维夫大学	以	671.41GB	2012	是
		CelebA	香港中文大学	中	9.55GB	2016	是
		IMDB-WIKI	苏黎世联邦理工学院	欧	276.23GB	2015	是
		LFW	美国马萨诸塞州立大学	美	1.29GB	2007	是
	文本检测	MNIST	美国国家标准与技术研究所	美	12MB	1998	是
		SVHN	斯坦福大学	美	3.92GB	2011	是
		CCPD	中科大	中	23.48GB	2019	是
	NLP	common voice	Mozilla	美	50.06GB	2018	是
		LibriSpeechASR	约翰霍普金斯大学	美	140.02GB	2015	是
		20NewsGroups	加州大学	美	44.31MB	2008	是
		Mandarin Chinese Scripted Speech Corpus	爱数智慧	中	1.4GB	2021	是
		GLUE	纽约大学、华盛顿大学、谷歌、DeepMind 等	美	569.38MB	2018	是
网络 AI	通信网络	RF Datasets For Machine Learning	DeepSig	美	20G	2016	否
		CELLULAR COMMUNICATION SIGNAL DATASET	伊斯坦布尔技术大学	欧	55.19GB	2022	否
		WIDE backbone network	WIDE Project	日、美	2GB/天 2001-2018	2000	否
		Telecom Dataset	上海电信	中	218.8MB	2018	否
	智能运维	GAIA (Generic AI0ps Atlas)	云智慧	中	1.26G	2021	否
		Loghub	香港中文大学	中	77GB	2018	否

如表 4 所示，从开发者数量和社区活跃程度来判断，最受欢迎的 AI 开发框架前三名依次是谷歌贡献的 Tensorflow、Facebook 贡献的 Pytorch、以及百度的 PaddlePaddle。

表 4 产业链中游开发框架分析

社区	地区	基金会	许可协议	贡献方		框架功能	场景	应用
				种子代码	开发者数			
TensorFlow	美	Apache	Apache2.0	谷歌	2977	训练 推理 联邦学习	云端	Google 搜索、Google 语音搜索、广告、Google 相册、Google 地图、Google 街景、Google 翻译和 YouTube
PyTorch	美	/	非标协议	Facebook	1858	训练 推理 联邦学习	云端	汽车工业、飞行员的自动驾驶系统、媒体内容分类和推荐、工业应用机器人
PaddlePaddle	中	Apache	Apache 2.0	百度	886	训练 推理 联邦学习	云端	百度 feed、好看视频、百度地图、百度 OCR、百度糯米、百度搜索、百度翻译
MindSpore	中	Apache	Apache2.0	华为	510	训练 推理 联邦学习	云端	MindSpore 的端侧推理能力已应用在华为手机搭载的 HMS 4.0, 主要支撑 ML-kit 使能的手机 App
MXNet	美	Apache	Apache2.0	亚马逊 微软	860	训练 推理	云端	自动驾驶
CNTK	美	/	MIT	微软	202	训练 推理	云端	微软 Cortana 个人数字助理（语音识别、搜索排名、广告点击预测）
OneFlow	中	Apache	Apache2.0	一流科技	48	训练 推理	云端	超大规模模型训练

其次，开放平台方面，如表 5 所示，世界范围内，主流 IT 和 CT 厂家广泛布局，前者在算力资源管理与通用 AI 能力积累沉淀方面具有明显的规模优势。

表 5 产业链中游开放平台分析

平台名称	地理位置	功能		场景			标准	应用
		训练	推理	云	边	端	ONNX	
讯飞开放平台	中	是	是	是	是	不确定	不确定	智能办公；智能客服； 智慧媒体；车载
百度智能云 AI 平台 BML	中	是	是	是	是	是	支持	医疗；交通；安防
阿里机器学习平台 PAI	中	是	是	是	是	是	不确定	智能交通；智能物流； 智能安防
腾讯智能钛机器学习 TI-ML	中	是	是	是	是	否	支持	智能推荐；智能检测；智能运维； 智能医学筛查
商汤 AI 人工智能计算平台	中	是	是	是	是	是	不确定	智能安防；智能交通； 运营商场景
华为 modelarts	中	是	是	是	是	是	支持	智能推荐；领域研究； 产品质检
中兴 uSmartInsight	中	是	是	是	是	是	支持	网元智能化；网络运维编排
微软 Azure 机器学习、 Azure Databricks	美	是	是	是	是	不确定	支持	智能搜索推荐；金融服务； 制造；零售
Amazon SageMaker	美	是	是	是	是	是	支持	预测性维护；质量流程控制； 自动驾驶
Google AI 平台	美	是	是	是	是	是	支持	所有流行的深度学习框架的大 规模模型训练和推理预测
Cisco DNA	美	不确定	是	是	是	不确定	不确定	网络故障；网络异常检测；网 络趋势分析
爱立信 AI 增强 EOE 平台	欧	否	是	不确定	不确定	不确定	不确定	智能运维（故障、KPI、节能、 RF 优化等）
Nokia AVA	欧	是	是	是	是	是	支持	智能运维（异常检测，根因分 析，智能决策，预测性维护等）
中移九天	中	是	是	是	是	否	否	智能运维、基站节能等

最后，从算法理论角度分析，近年来，人工智能领域算法理论进展迅速。

第一，机器学习理论创新依然是被欧美企业和高校主导，如深度神经网络、GAN、Transformer 等基础 AI 理论，均由欧美高校、企业首先提出，之后传播到国内进行再创新。

第二，超大模型正在不同的领域表现出惊人的智能水平，谷歌、

亚马逊、微软、英伟达、智源人工智能研究院、阿里、百度、华为、浪潮等国内外科技巨头纷纷展开大模型研究和探索。谷歌在 2018 年提出大规模预训练语言模型 BERT，能高效抽取文本信息并应用于各种 NLP 任务，刷新了 11 项 NLP 任务的当前最优性能记录。在 2021 年，谷歌开源了 V-MoE（Vision MoE）模型，在应用于图像识别推理时只需要一半的计算量，就能达到先进网络性能。Meta AI 在 2022 年开源的 OPT 语言模型与 OpenAI 开创性的神经网络 GPT-3 规模基本相同，但能源效率大幅提升，其碳足迹仅为 GPT-3 的 1/7。如今，我国在 AI 大模型领域发展迅速，国内企业也在不断发展并创新 AI 大模型框架，例如北京智源人工智能研究院提出的“悟道 2.0”大模型框架，阿里达摩院研发的 M6 等。

第三，知识图谱（Knowledge Graph）以结构化的形式描述客观世界中概念、实体及其关系，提供了一种更好地组织、管理和理解海量信息的能力，是推动机器具有认知智能的关键技术。谷歌在 2012 年首次提出知识图谱，用于支撑语义搜索；阿里巴巴提出了电商知识图谱 AliCoCo，在电商搜索、推荐等多个业务场景落地；百度构建了世界上最大规模的知识图谱，除了通用图谱之外，还针对不同的应用场景和知识形态，构建了事件图谱、多媒体图谱、行业知识图谱等多种图谱。

在网络智能化领域，既有能直接应用通用 AI 算法的场景，也有仍需结合网络特征进行算法改造和突破的场景。对 NLP、图像处理这类通用场景，常引入经典 AI 模型进行适配，可以达到较高的准确性，

但仍面临领域专业性强、小目标/小样本难识别等问题。对网络特有场景，国内运营商和相关设备厂商普遍开始构建网络域特有的新能力，以提升能力泛化性和共享度为目标，基于核心算法突破来提升各类能力效果。网络智能化应用所使用的核心能力，可以划分为感知智能、诊断智能、预测智能、控制智能四类。其中：

- **感知智能**是通过语音图像识别算法和关联分析等技术对数据进行分析与评价，感知网络状态。典型应用场景包括：工程验收，装维图像识别，话音、视频质量评分等。

- **诊断智能**是对故障、投诉、质差进行定界定位，诊断网络问题。典型用例包括网络投诉定界、网络故障诊断定位等。

- **预测智能**是判断业务和容量趋势，预测网络变化。典型商业案例包括网络隐患预警、业务增长预测等。

- **控制智能**是挖掘网络优化策略，控制调整网络参数。具体包括参数优化配置方案、路由计算配置方案等。

由于通信网络的技术门槛高、高质量开放数据集缺失、贴近生产的试验环境匮乏等诸多因素影响，造成其特有本质数学问题抽象不够。同时，网络多节点“不独立同分布”和“不独立不同分布”建模给 AI 算法研究带来进一步挑战，因此，业界公认的网络域特有核心算法匮乏，未来仍需要针对网络智能化算法进行科学问题抽象和核心能力攻关，提升算法效果，进而提升模型的安全可信、可解释能力。

表 6 产业链中游算法研发产出分析

企业/组织	地理位置	预测智能		控制智能			感知智能	诊断智能
		投诉/故障预测	容量/业务量预测	路由控制	参数优化控制	资源分配控制	异常检测	根因定位
移动	中	是						
清华	中		是	是			是	是
北大	中			是				
北邮	中		是		是	是	是	是
中科院	中				是			
东南大学	中					是		
香港科大	中					是		
布朗大学	美					是		
杜克大学	美					是		
克拉科夫 AGH 科大	波兰			是			是	
加泰罗尼亚理工	西班牙			是			是	
慕尼黑理工大学	德国			是			是	
布伦瑞克工业大学	德国					是		
密苏里大学	美					是		
雪城大学	美					是		
南加州大学	美					是		
CMU	美						是	
普渡大学	美					是		
哥伦比亚大学	美					是		
印度理工学院	印度	是						
西江大学	韩				是			
华为 2012 Labs	中			是				是
中兴	中		是	是				
诺基亚	芬兰				是	是		
NEC Labs	日本					是		
微软	美					是	是	是
百度	中							是
字节跳动	中							是
Numenta	美						是	
AT&T Labs	美					是	是	是

如表 6 所示,根据近年来自智网络相关领域国际顶级学术会议和期刊论文统计信息汇总,对相关组织在算法领域研究和高水平产出布

局进行分析，发现：

第一、算法研究方面以高校等科研机构为主，头部贡献者包括清华、北大、布朗大学等海内外 20 所高校。其中，清华和北邮在智能算法研究领域的布局最为完整，在预测智能、控制智能、感知智能、诊断智能等领域均有高水平产出。

第二、通信企业也有高质量产出，包括华为、诺基亚、微软等 8 家海内外企业均有研究成熟的算法。

第三、高校与企业在算法应用场景上布局有一定差异，控制智能、感知智能领域是高校的研发投入热点，而在控制智能、感知智能、诊断智能领域厂家产出相对较多。

产业链下游：自智网络应用方面，国内运营商率先启动、带动行业数智化转型。

在产业链下游，国内三大运营商在自智网络应用领域处于全球领先地位。尤其中国移动在行业标准制定、产业链引领以及创新技术实践方面已取得丰硕成果。在 Omdia 2022 全球运营商数字化转型 Benchmark 评比（参评的运营商包括 AT&T、德电、Vodafone、SKT、Orange、NTT、MTN 等 12 家）中，中国移动综合排名第一，尤其在数字化转型战略、技术研发、网络能力、服务产品组合、生态建设等方面得分均取得最高评分。

与此同时，欧美、日韩及国内运营商也纷纷开展自智网络实践，将云计算、大数据、人工智能等 IT 技术与通信技术相结合，构建新的平台和应用，以创新方式解决运营商业务场景需求。例如 AT&T Lab

牵头构建数字孪生平台（Simulation World），与 ONAP 平台结合，利用人工智能的分析和仿真能力，将自动化和智能化能力贯穿网络运营的感知、分析、决策、执行和评估环节。在欧洲，Vodafone 基于 TMF ODA 框架，提出 Tech 2025 计划，构建面向集团所有子网、基于标准化 API 的全域能力开放架构，以数字化方式赋能网络自智（Zero-touch）能力提升，提高运营效率和客户满意度。据披露自 2019 年启动转型以来累计节约 Opex 达 13 亿欧元，16 个子网的 NPS 在当地市场处于领先地位。

（五）小结

本章针对自智网络产业的全球发展态势，从国家政策、行业标准、产业布局与应用案例多个角度进行综合分析。

尽管全球不同地区、运营商网络的智能化水平和发展进展不同，但是打造自智网络实现提质、增效、降本，以网络智能化作为路径助力运营商完成数智化转型，实现新的商业模式是通信行业的发展共识。

就自智网络产业生态而言，产业链整体建设完善，玩家众多、竞争激烈，世界各地积极进行商用部署，全球运营商正从创新试点阶段步入规模商用的成熟时期。

三、我国发展现状

（一）我国现状综述：深耕 5G 产业，促进互融共生

党的十八大以来，党中央国务院多次就加快 5G、人工智能等新型基础设施建设做出战略部署。2017 年，国务院组织编制发布了新一代人工智能的发展规划。2018 年 4 月，在全国网络安全和信息化工作会议上，习近平总书记深入阐述网络强国战略思想，提出实施网络强国战略。2020 年 6 月，明确以 5G 为“首”的新基建，以新发展理念为前提、以技术创新为驱动、以信息网络为基础，面向高质量发展的需要，打造产业升级、融合、创新的基础设施体系。2020 年 10 月，《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中明确提出坚定不移建设制造强国、质量强国、网络强国、数字中国，推进产业基础高级化、产业链现代化，提高经济质量效益和核心竞争力。在 2021 年 9 月 22 日国务院召开的常务委员会上，通过了“十四五”新型基础设施建设规划，并再次强调“十四五”期间科学布局和推进建设以信息网络为基础、技术创新为驱动的新型基础设施。目前我国 5G 基站覆盖所有地级市、县城城区和 92% 的乡镇镇区，5G 移动电话用户数达到 4.28 亿。5G 应用覆盖国民经济 40 个大类，在智慧矿山、智慧工厂、智慧电网等项目中得到广泛应用。5G 的规模化发展，更好赋能了千行百业。

将 AI 注入每一个 5G 连接，构建敏捷高效的自智网络，既是我国运营商数字化转型实现提效降本的重要环节，也是其实现新的数字服务真正赋能千行百业的必经之路。在国家产业政策利好的背景下，

国内标准组织、产业联盟和一线运营商、厂商也在积极布局推动网络智能化产业的技术研发和商用落地，促进产业蓬勃发展、互融共生。

（二）国内标准布局：标准牵引升级，对齐世界前列

为加快推动人工智能技术在通信行业的应用与融合发展，国内的标准组织与产业联盟积极探索二者深度融合的技术与应用场景，推动自智网络的标准体系布局与完善。

2021 年 3 月，AIIA 组织国内多家单位编写并发布了《电信行业人工智能应用白皮书（2021）》，系统分析了目前通信网络智能化的总体发展态势与应用现状，集中展示 AI 技术在移动通信网、固定通信网和网络业务服务三大类应用场景的 19 个典型落地案例。同年 7 月正式启动可信人工智能系列标准研究和制定工作，目前有《可信人工智能研发管理指南》和《基于 AI 计算平台的模型保护安全框架》两项在研可信人工智能标准。

2021 年 7 月，CCSA TC7 召开 WG1/WG2/WG3 第 1 次联席会议，汇聚国内三大运营商以及多家厂商，确定了《信息通信网智能化运营管理》标准体系，通过了第一批行业标准和研究课题的立项建议，并启动了其中核心的功能架构、技术架构、智能化水平分级三项行业标准项目。此后，通过联席会议机制持续推进自智网络相关标准的立项和制定工作，自智网络标准化工作正在进一步夯实过程中。

如表 7 所示，CCSA 内各工作组都进行了自智网络相关标准的布局规划，但总体进展不一。各专业域均涉及智能管控、维护、分级等方面，跨工作组的标准协同有待增强。

表 7 CCSA 自智网络行业标准布局

TCWG	项目中文名	专业	状态
TC1WG1 TC3WG1	通信网络智能化分级及评估方法	通用智能	征求意见稿
TC7WG3	通信网智能维护技术要求系列标准		送审稿
TC7WG1, WG2 , WG3	信息通信网智能化运营管理需求与用例系列标准		已立项
TC3WG3	网络智能化引擎在未来网络中的应用研究		已立项
TC1WG1	人工智能在电信网络演进中的应用研究		已报批
TC1WG1	基于人工智能的电信网络规划应用研究		已报批
TC7WG1	移动通信接入网意图管理服务技术要求（第一阶段）		已立项
TC7WG1 TC7WG2 TC7WG3	自智网络 体系架构		征求意见稿
	自智网络 知识管理技术要求		征求意见稿
	自智网络 意图管理技术研究		征求意见稿
	自智网络 意图转译技术研究		征求意见稿
	自智网络 异常事件管理技术研究		征求意见稿
	自智网络 可信评估技术研究		征求意见稿
TC3WG1	基于 SDN/NFV 的智能型通信网络 随愿网络意愿层技术要求	固网专业	送审稿
TC3WG1	基于 SDN/NFV 的智能型通信网络 随愿网络意愿管理模块架构及功能要求		送审稿
TC3WG1	面向 SDN 的智能型通信网络架构的意图网络技术架构研究		送审稿
TC3WG1	基于 SDN/NFV 智能通信网络的随愿网络 总体技术架构及技术要求		报批稿
SP1	网络功能虚拟化编排器（NFVO）技术要求 虚拟网络功能智能化部署	基础设施	已报批
SP1	网络功能虚拟化编排器（NFVO）技术要求 智能编排		送审稿
TC7WG1	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 移动通信网	移动网络	报批稿
TC7WG1	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求 移动通信网		已立项
TC7WG1	无线网络管控智能化增强研究		报批稿
TC5WG12 TC3WG1	5G 核心网智能切片的应用研究		送审稿
TC5WG12	5G 核心网网络智能化分析和控制架构与关键技术研究		已报批
TC5WG6	移动通信网络智能化能力分级研究		已报批
TC5WG12	5G 移动通信网 智能网络数据分析（NWDA）总体技术要求		已报批
TC5WG9	5G 无线网络智能化研究		已报批
TC5WG6	新一代无线网络边缘智能技术研究		已报批

TCWG	项目中文名	专业	状态
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 IP 网络	固定网络	征求意见稿
TC7WG2	IP 网络管理与运营智能化水平分级研究		报批稿
TC7WG2	光网络管控与运营智能化水平分级能力研究		送审稿
TC7WG2	PTN/SPN 网络管理与运营智能化水平分级研究		征求意见稿
TC7WG2	传送网管控系统智能化技术要求		报批稿
TC6WG2	接入网运维智能化技术要求 数据采集和通用数据模型		已立项
TC6WG2	接入网运维智能化技术要求 总体		已立项
TC6WG2	接入网运行管理维护智能化 第 1 部分：场景与需求		报批稿
TC7WG2	传送网管理系统的智能化演进研究		报批稿
TC6WG2	人工智能在接入网运维中的应用和关键技术研究		已报批
TC6WG1 TC7WG2	传输网智能化运维研究		已报批
TC3WG1	IP 承载网络智能化使能技术研究		已报批
TC6WG1	人工智能在传送网领域的应用研究		已报批
TC3WG1	基于 AI 赋能的通信网络架构和 AI 通用能力技术要求		征求意见稿
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 IP 网络		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求光传送网		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求无源光网络		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 切片分组网络		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求 IP 网络		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求 传送网		已立项
TC7WG2	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求无源光网络		已立项
TC7WG2	信息通信网智能化运营管理的接口技术研究 光网络	业务运营	已立项
TC7WG2	信息通信网智能化运营管理的接口技术研究 切片分组网络		已立项
TC3WG1	基于人工智能的网络业务量预测及应用场景研究		送审稿
TC10WG1	面向物联网的区块链与人工智能融合技术研究		报批稿
TC11WG2	基于人工智能的网络异常流量检测技术研究		送审稿
TC7WG1 TC7WG2 TC7WG3	信息通信网智能化运营管理架构 技术架构		征求意见稿
	信息通信网智能化运营管理架构 功能架构		征求意见稿
	信息通信网智能化运营管理架构 数据架构		征求意见稿
	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 通用部分		送审稿
	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求 通用部分		征求意见稿
	信息通信网运营管理智能化水平分级技术要求 业务运营		已立项
	信息通信网运营管理智能化水平分级评估技术要求 业务运营		已立项

CCSA TC610 SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会在 2021 年上半年启动自智网络领域的相关研究工作，主要是围绕云网基础设施自动化和智能化的需求，研究和梳理典型垂直行业对于云网基础设施确

定性 SLA 的需求；参考 TMForum 分级标准框架理念，从面向用户服务的视角，研究运营商云网基础设施能力评价体系和对外服务能力的评价体系。2021 年 6 月，CCSA TC610 成立自智网络工作组，构建产业协作平台，希望从产业高度拉通产业各方、凝心聚力、联合创新，构建规范化、体系化的运营商对外服务能力、底层网元及网络能力的评价体系，定期开展测试评估并发布报告，制定代际标准和演进路径，牵引运营商和设备厂商的能力升级演进。2022 年，CCSA TC610 重点围绕云网专线、云光专线和品质家宽等业务开展分级评估方法和测试规范的编制。在此基础上，中国信通院联合 CCSA TC610 发起“自智网络领航者计划”，共建国内自智网络产业生态，推动产业快速发展。

（三）国内产业现状：聚集规模优势，增强自主可控

我国的自智网络产业生态完备，布局覆盖产业链的上中下游：上游云侧芯片差距大，边端侧芯片有突破，仍缺乏高质量开放数据集；中游算法理论突破不足，开发框架与开放平台布局完善；下游应用规模大、启动早，整体布局行业领先。

产业链上游，在通信网络建设方面，我国已建成全球规模最大的 5G 网络，具有全球领先的移动信息网络基础设施。在 AI 芯片方面，我国 AI 芯片厂家研发布局较为完整，但在高端芯片的设计与制造工艺上与国际一流水平仍存在较大差距，尚未摆脱受制于人的局面，面临被“卡脖子”的风险。从部署场景分析，华为和寒武纪的芯片目前全面覆盖云、边、端三类部署场景；端侧和边侧芯片与网络智能化产业应用场景适配性更高，国内其他 AI 芯片厂商多以此为突破。

产业中游是整个产业链中最为开放的环节，也是我国产业优势最为明显的环节。开发框架层面，华为、百度和一流科技等都贡献了开源算法框架，虽然从社区活跃度上与美国头部公司谷歌、Facebook等仍有较为明显的差距，但技术角度分析国内框架已经较为成熟，具备规模应用的能力，未来可考虑进一步提高与自智网络应用场景的融合，扩大应用规模。开放平台层面，国内主要的IT和CT厂家都有强大的AI云平台、充足的算力及数据资源，通用AI能力沉淀具备一定的规模优势。

产业链下游，三大运营商的网络智能化水平整体处于L2的规模商用和L3的早期试点阶段，处于国际领先水平。作为自智网络产品的消费者和下游生态的核心，国内运营商纷纷发挥自身数据优势推动应用技术研发，丰富产业布局，巩固下游优势。相关设备厂商也积极联合运营商及产业多方深入协同，加快现网应用转化，推动自动化、智能化创新项目落地。

（四）小结

国内自智网络产业发展整体走在世界前列，自智网络的实践水平领先全球。

从政策角度，我国对网络基础设施的建设投入力度近年来不断加大，为自智网络产业的发展奠定了良好的基础环境，有利于保障产业又好又快发展。

从标准布局角度，国内组织的相关工作布局进度与国际对齐，国内厂商积极贡献技术方案，但也同样存在不同领域间标准协同有待增

强的问题。

从产业生态角度，在国家推进经济数字化转型、加快新型基础设施建设过程中，中国企业充分发挥自身优势，为全球通信行业贡献中国技术和方案，产业上下游巨头与优质独角兽企业并存，整体生态良好。

四、产业进展与技术预见

（一）产业进展

国内运营商和设备厂商积极投身自智网络的建设，布局现状呈现出三个共性特征：一是不断提升网元的感知、内生智能能力；二是普遍采取统一平台战略，通过流程贯通、开放共享实现跨域协同；三是针对网络运维的规划、建设、维护、优化和运营全流程，推动感知智能、诊断智能、预测智能和控制智能各类网络 AI 应用创新试点。经过几年的沉淀和积累，目前均有成熟的高价值商用案例进入落地推广阶段。本章将介绍国内运营商通过试点成功验证可行性与商业价值的一些成熟案例。

1. 中国移动商用实践

中国移动在 2021 年率先确立 2025 年实现 L4 自智网络水平的整体目标，以外部商业增长和内部效率提升为目标，提出“四层三闭环”的内部应用实现架构，在业务管理、服务管理、网络管理和网元管理 4 个层次上分层次构建体系化能力，形成 3 个闭环，并每年进行 1-2 次的能力等级评测，以评促建，推动网络升级迭代闭环，实现全场景网络自智。

首先，结合实践自主开发能力评估模型，并用于所有 31 个省公司的初步能力量化评定，针对性制定提升举措和实施计划。

其次，在网络管理和业务管理层，提出“2+5+N”的网管系统总体规划，体系化指导网管系统能力建设。构建 2 个核心平台和 5 个能力中心，拉通运维流程，补齐自动化业务配置激活，夯实数据底座，

强化端到端业务保障，实现能力复用共享，针对性完善能力短板。

同时，在 2021 年发布中国移动“智慧网络”人工智能开放创新平台，平台架构包括三个层面，底层是仿真模拟试验环境和现网环境；核心是智慧网络中枢控制系统、智慧网络大数据系统和九天人工智能平台；上层是智慧网络计算系统，对外提供智慧网络开放服务。

截至目前，已经落地的自智网络典型案例全面覆盖通信网络规划、建设、维护、优化和运营的全生命周期。

● **5G 基站“免上站”智能验收：**传统的基站验收工作上站人次多，验收周期长，高度依赖人工经验，难以及时、准确发现问题。在 5G 建设高峰期，基站验收的效率和质量问题不可忽视。中国移动创新应用了 AI 智能“免上站”验收新模式，通过对无线设备安装工艺、设备连接情况、机房环境设施的各类图片进行智能识别，自动完成 18 项目标检测，AI 检测精度达到 95%。在浙江移动现网应用后，单站验收时长从 7 天缩减至 1 个小时。

● **5G 故障“零接触”自动处理：**随着 5G 网络规模快速增长，各省级公司日均网络告警超过 1000 万条，涉及网络专业多、协同链条长、依赖关系复杂。中国移动打造全面实时感知、告警关联压缩、异常自动诊断、跨域精准定位、智慧决策的故障管理框架，实现全程可视的网络质量监控能力、每秒 2000 条告警的大容量告警风暴处理能力、1000：1 的告警压缩派单能力、300 类故障场景的自动诊断能力、800 个可灵活组合的原子化网络配置能力。在浙江移动现网应用后，实现重要故障 30 分钟内清零，平均处理效率提升 40%，有力保

障 5G 网络质量，为客户提供极致业务体验。

● **5G 语音质量智能诊断：**5G 发展初期阶段，5G 语音业务普遍回落 4G 方式，信令流程在 4/5G 之间多次交互，涉及网络设备类型 10 余类、数据接口 50 余个，5G 语音质差问题难以准确诊断、快速处理。中国移动研发智能质差定位能力，横向拉通网络性能 KPI、用户感知 KQI 等多维指标数据，深度抽取 5G 语音业务质量特征，基于时序预测模型主动预警 5G 语音质量劣化隐患，基于 FP-growth 关联分析模型，精确定位质差根因。在北京移动现网应用后，5G 语音故障定位时间压降至分钟级，处理效率提升 60%^[57]。

2. 中国电信商用实践

中国电信基于新一代云网运营体系架构和 TM Forum 自智网络架构，整合 B、M、O 域数据，将人工智能注入网络治理，实施云改数转战略，构建自智网络，实现智能运维，网络的数字化管理和业务的快速部署，实现隐患分钟级发现定位、服务分钟级恢复、故障小时级处理。

目前，中国电信已完成 L2 自智网络建设，计划在两年内达到 L3 自智网络，在 2024-2025 年间实现 L4 高度自智网络，到 2030 年实现 L5 完全自智网络。2020 年 11 月，中国电信发布了云网融合数字化能力平台，侧重云网能力运营，平台包括数据中台、业务中台、能力运营和后台资源支撑，后台资源支撑即技术中台，规划建设集团 AI 能力平台，并同时开展人工智能、视频、行业应用等数字化能力合作引入和签约，携手产业合作伙伴为数字经济发展注智赋能。基于能力平

台，中国电信目前已经落地商用的案例包括：

● **云网融合智慧运营：**中国电信开发的云网融合智慧运营解决方案，采用“网随云动、云网融合”的架构和理念，引入 SRv6、流量检测、AI 和云网智能等 ICT 技术和云网运营系统，全面赋能多项自动化和智能化能力，包括实时自感知云网资源拓扑和状态，统一自组织资源，自生成 SLA 策略，服务自配置与自激活，服务质量自保障和云网故障自修复、自优化等多重自动化和智能化能力。典型应用场景有一站式政企专线开通，5G 网络质量管理以及故障管理，通过网络自智能能力实现零等待、小时级别的服务开通。

● **5G 定制网络灵活编排：**2020 年，中国电信开展了以 SRv6 为代表的极简 IP 和 5G 定制网的网络建设，上线了网络采集和控制平台，以赋能数据驱动的网络调度和分析，从而实现通信服务能够按照客户灵活的编排与快捷零接触的业务开通^[58]。

3. 中国联通商用实践

中国联通于 2020 年 3 月正式提出迈向“自智网络”的愿景，5 月正式发布中国联通智能网络中台，沉淀聚合了分散的电信产品开发交付能力、网络运营管理能力，通过网络能力线上商店向前端营销销售全渠道提供统一、标准、在线的智能化网络管理服务：一是提供五类核心业务场景服务能力、九类网络原子服务。二是全面复用 IT 技术底座，引入天官、慧企等中国联通自主研发的成熟产品，统一制定并采用 Open API 接口规范；三是通过线上网络服务能力商店，提供对外服务，提供集约化开放网络运营能力，支持前端产品、业务敏捷

实现和一线应用的快速构建。以智能网络中台为核心，以网络 SDN 化、NFV 化、云化和智能化“四化”为基础，构建未来网络运营架构，并初步实现 TM Forum 提出的“跨层协同，分层闭环”理念。2021 年，中国联通进一步明确“三合一”的系统化自智网络实施方式，加快网络演进，部署数字化管理平台，以系统化的方式将 AI 能力注入网络规划、建设、维护、优化的全生命周期，目前已应用于超过 100 万个网元。

中国联通通过向各子公司推广解决方案，取得了全网运维的突出成果，例如：

- **深化 SDN 自动化能力，实现端到端自动开通：**中国联通实现了对互联网、骨干数据网、城域数据网、骨干 OTN 网、城域 OTN 网的 SDN 化控制部署并构建了 IP+光、云网边一体等跨网、跨域协同编排能力，同时基于资源中心与网络资源的关联，实现业务的一站式配置自动开通能力。

- **宽带数字化赋能数字化营销：**针对宽带业务运营面临业务体验数据缺乏难以支持生产，以及网络作业管理缺乏统一数字化平台的问题，中国联通将集团宽带大数据能力赋能到一线网格，实现地理化的数据可视、数字化的作业支撑和端到端的流程闭环。目前已经拉通 29 省的 RMS 改造，31 省的光衰上报和 OLT 告警数据，用户 CBSS、AAA 数据等 O 域、B 域数据，向 31 个省公司统一输出光衰质差用户清单，向一线直接派发整治工单，有力保障宽带业务质量。

4. 华为公司商用实践

2019 年华为提出“自动驾驶网络”战略，以自学习自演进、网络环境感知、网络态势分析、多目标决策和行动规划五大关键能力为基础，推动单域自治、跨域协同能力突破；一方面，面向运营商的核心运营流程，致力于通过分场景价值阐述和架构分级定义逐步夯实产业理论基础；一方面，围绕价值目标联合运营商及产业多方深入协同，坚持商业联合创新，加快现网应用转化。华为与中国 3 大运营商累计开展 200 多个自动化、智能化创新项目，孵化了 35 个场景化的案例。部分应用案例包括：

- **云核心网智能运维：**相比传统核心网，云化核心网的跨层故障定界、定位更加困难。华为云核心网智能运维解决方案，通过 AI 建模和动态检测识别劣化指标，实现故障自识别能力；利用人工智能和大数据技术，挖掘潜在风险，分析告警、配置、KPI、日志等信息，自动划定跨层问题，缩短故障诊断和处理的时间，实现故障自定位、影响自分析能力；构建智能的灾难恢复辅助能力，快速识别紧急场景，并基于 AI 和流控模型进行信令冲击模拟，快速完成切换评估，实现故障自愈能力；采用自动化的多维验证，对设备进行全面实时、准确高效的检查。在河南移动、江苏移动、江苏联通等落地部署后实现 5 分钟内故障识别，15 分钟内故障定界，10 分钟内故障恢复切换。

- **品质家宽智慧运营：**全面准确地感知每个家宽用户的业务体验，提供确定性的业务保障，通过增值业务的精准营销获得更大的商业价值，是运营商在家宽业务运营中需要解决的关键问题。华为品质家

宽智慧运营解决方案，充分吸收自智网络“单域自治、跨域协同”的理念，引入遥测秒级采集、大数据分析、网络拓扑还原等技术，聚焦于提升各层的 Self-X 运营能力，如目标客户的自营销、服务质量的自监控/报告、网络资源的自编排、故障的自修复、性能的自优化等，结合跨层协同和闭环机制，实现精准价值提升和主动业务体验保障。该解决方案已在河南、浙江、北京、四川等多个省级运营商的网络进行了试点部署和商用，主动识别了 45 万例质差问题、8000 条质差线路和 150 条质差内容源，诊断率达到 90%。网络问题在客户投诉之前得到了处理，有效提高了家宽服务的满意度，自智网络等级从 L2 提升到 L3。

面向未来，华为将围绕“网元层、网络层、业务层”，构建更加体系化能力。在网元层，增强网元内生智能，创新探索哑管道智能感知、有源数据实时感知、软失效自修复、多目标本地优化等；在网络层，重点聚焦配置变更 100%可仿真，多目标协同优化和面向 AIOps 的开放可编程的能力增强；在业务层，基于华为的数智平台 GDE，打通“规建维优营”的数据孤岛，并聚焦用户-网络关联模型分析，构建数字映像回溯过去、仿真未来，让运维知识可持续动态学习和注入。

5. 中兴公司商用实践

中兴于 2019 年提出“自主进化网络”解决方案，以泛在 AI 推进 5G 整网的智能化，采用分层闭环的原则建设网元级、单域级、跨域级的智能网络体系，目标是使网络系统逐步实现自主操作，通过数据

驱动进行自学习、自演进，实现网络系统的智能自治，使得网络投资效率、运营运维效率达到最优。中兴规划了覆盖“规/建/维/优/营”全业务流程，超过 60 个智能化应用场景，涵盖无线、承载、核心网等各专业域的单域智能化场景与端到端跨专业拉通的数字化运营场景，部分智能应用包括：

● **智能 Massive MIMO**：大规模阵列天线具有更多参数调整维度，每个维度都可以设置合理步长进行精细化调整，一个小区簇理论上可能的天线参数权值多达上万种，靠人工难以满足场景/业务变化。通过引入 AI 的多维分析、预测判断等手段，基于实际网络可接受的优化目标和搜索时长间的平衡考虑，对解空间（天线权值组）进行优化，通过仿真学习，舍弃效果不明显的权值组，并设置最大迭代次数，降低对算力的要求，同时也大幅减少最优解的搜索时间。系统根据优化目标实现流程全自动分析处理和执行，形成闭环，当前阶段已实现自智网络 L3 等级。

● **智能 5G 基站排障**：5G 无线网络的故障处理存在大量衍生告警淹没根因告警、跨域故障定位难等问题。中兴通过在网管中嵌入轻量化 AI 引擎，从垂直和水平两个维度进行关联分析，抽取网元 ID、告警代码、告警位置、生成时间、恢复时间等特征数据，利用 AI 进行告警规则训练及知识图谱的构建，通过关联分析，加速域内告警定位和跨域断链定界，并自动逐一执行每个排查步骤、可视化呈现诊断结果，经现网验证后告警压减率达 20%，有效提升无线网故障处理效

率。当前系统可以自动完成数据感知、分析和执行，在一定范围内进行策略的动态调整，达到自智网络 L3 等级。

面向智慧网络的长期演进，中兴通讯通过 1 个智慧大脑和 3 类智慧引擎，将 AI 能力微服务化、模块化，按需植入网元层、管控层和运营层，使能三大进化：网络进化、运维进化和运营进化，通过网络进化做到网络资源按需调度，通过运维进化实现管理维护化繁为简，通过运营进化实现业务变化快速响应，这三个层面的进化将推动网络智商不断提高，最终实现网络随愿、运维至简、业务随心。

6. 亚信公司商用实践

2020-2021 年，亚信科技与国内三大运营商在网络智能化领域不断开展联合创新，致力于推动 AI 技术与通信网络深度融合，提升网络与业务的智能化水平，取得丰硕成果：与中国移动研究院签署移动研究院-亚信科技“5G 网络智能化”联合创新 MOU；与中国联通软研院联合成立“5G 客户体验提升实验室”；2021 年 8 月，亚信科技和清华大学共同完成的“5G 网络智能化系统研发与产业规模化应用”成功通过中国人工智能学会科技成果鉴定，整体达到国内领先、国际先进水平。累计实现三大运营商 100 多个 4/5G 网络智能化商用局点落地。部分典型案例包括：

- **业务编排中心自动化：**通过一、二级业务编排中心，实现 5G 网络切片从订购、编排、开通到运维的端到端自动化开通管理。目前已经在国内 18 个省级运营商实现了商用布局，承载了南方电网、海

口机场、三一重工、央视直播等重要垂直行业客户的 5G 切片，有效提高运维效率。

● **5G 核心网异常检测及故障定位：**传统的静态阈值告警和人工排障的方式难以适应愈发复杂的系统和网络架构，根因定位难度大，排查效率难以保障。亚信科技研发采用网络 AIOps 分析监控指标数据趋势特征，自动匹配不同算法和检测策略，利用动态阈值有效发现异常，并进一步对多个异常进行关联分析和事件聚合，结合告警 RCA 规则，更精准、快速定位故障根因，加速故障修复。

7. 爱立信公司商用实践

爱立信于 2019 年推出“零”接触自智网络解决方案，整体贯穿网络生命周期的各个环节，以可视化、自动化、智能化为核心能力赋能自智网络。针对设计订购，编排部署，监控维护，网络优化，能力支撑，业务保障，运营管理等做核心场景定义，通过统一的平台分别对网络、运营商和企业提供差异化的支撑能力。落地案例包含网络运营、企业网络接入支撑以及安全运营等多类场景。部分典型案例包括：

● **全自动集成部署：**在规划、建设阶段为网络集成部署注入更多的自动化能力。“零”接触自智系统通过对运营商网络设计需求进行解析，结合必要参数输入，自动生成网络详细设计，同时实现网元全自动化部署、自动配置和自动化测试。网络部署时间从天缩短到小时级别，显著降低业务配置错误率，实现网元及业务的快速部署、升级以及业务上线，节省用时 50%以上。

● **基于机器学习的自适应寻呼：**“寻呼（Paging）”是核心网中的一个重要流程，用以在网络中找到被请求终端从而建立连接开展业务。传统寻呼机制主要依据经验，尝试不同基站/TA 等组合，寻呼效果存在不确定性。“基于机器学习辅助的自适应寻呼”通过预测终端移动行为，提升核心网寻呼效率。试点结果显示，在核心网网元内生引入机器学习模块并进行优化配置后，针对 **MBB** 业务启用该智能寻呼可节省 57.8% 的寻呼信令量（忙时节省可达 60%）并同时降低平均寻呼时延、提升核心网网元 CPU、内存资源效率。

8. 诺基亚公司商用实践

诺基亚于 2019 年发表“未来运营”白皮书，提出了以商业意图为驱动，构建端到端的业务和网络运营。诺基亚自智网络方案目前已服务于全球超过 200 家运营商，面向云原生网络，基于开放解耦架构分层实现基于用户、业务、服务、资源的多层意图驱动，关注业务流程自动化闭环和 AI 智能化。在专业系统层面分层解耦，通过核心网工作台等方式平齐专业系统能力，并以 AI 结合专家经验提升自动化运维。安全方面，结合端到端网络安全保障方案，打造了安全可信的自智网络运营体系。

上海诺基亚贝尔在国内成功部署的部分商业实践包括：

● **智能无线网优系列解决方案：**基于“烟囱”系统支撑的传统无线网优已不能满足 5G 时代的优化需求。诺基亚通过与运营商展开深度合作，从底层数据拉通共享、优化能力沉淀复用到基于自智网络流程、规则等引擎的应用敏捷开放，提供了基于开放解耦架构的全新网

优支撑平台。通过打通网优流程端到端的线上化、自动化和智能化，在落地省份实现 90%以上优化生产流程线上流转，数据采集、问题分析定界与派单等流程全部自动化执行，典型优化任务闭环执行周期从 5 天缩短至 1.1 天。利用 AI 智能分析能力，问题分析准确率从 45% 提升至 75%，2021 年集中分析派单数较 2020 年工单量减少近 40%。

● **5GtoB 业务质量保障解决方案：** ToB 业务与 ToC 业务在场景需求、业务特征、差异化保障、用户行为等方面差异显著，针对 5G 2B 行业多样，场景丰富的特点，综合利用 DPI 等多数据源，基于半监督和迁移学习，生产号码级原子特征库，形成面向场景的具化标签，实现对所有行业终端应用场景的智能识别。以此能力集为基础，打造面向 5G 专网业务的指标智定义、SLA 智评价、质量智监控、问题智诊断、拓扑智构建、异常智发现等高阶能力集，赋能政企 5G 专网运维支撑、5G2B 业务质量分析等上层应用，实现对 5G 专网业务的精细化运营。通过各项能力下沉，基于规则引擎及 AI，构建分钟级感知模型和动态拓扑，问题定界判断准确率超过 85%。目前已有多项能力达到 L3 及以上，实现故障处理、投诉处理等多个场景流程的自动化闭环。

（二）技术预见

为实现自智网络愿景，向通信网络引入人工智能技术最终实现体系化智能的目标难以一蹴而就。经过近 10 年的研发和应用实践，中国移动探索出“点、线、面、体”的发展路线：从单点算法创新入手，接着串入生产运维流程，随后面向通用能力实现平台化沉淀与共享，

最后形成完整智能化体系并实现标准互通。如图所示，形成四横一纵的研发布局，其中四横分别对应通信网络与人工智能技术实现深度融合的点、线、面、体四个阶段，一纵对应通信网络产业生态构建的标准制定、开源实现与产业协作开放平台。



图 5 四横一纵研发布局示意图

在此基础上进一步实现自智网络目标愿景的过程中，需要面向业务、服务、网络、网元等层面，引入智能感知、诊断、预测、决策控制等技术，提供自动化运维和服务管理能力，涉及多个层次和各个专业领域。

首先，业务智能、服务智能、网络智能、网元智能四个层次实现智能化的难度不一，数智化能力将以分层分域构建的态势趋于完善。

其次，数据治理、知识管理、迭代管理等公共赋能模块将形成通用功能架构，提供跨层跨域的统一赋能平台。

最后，智能型基础设施将使能云网融合、边缘计算、算力网络等业务创新。

1. 网络智能化能力需要核心算法的攻关突破

AI 技术研发特性决定网络智能化工作从“点”状入手，通过实

现智能化能力研发和单点算法创新，赋能现有业务流程中的某个环节，辅助运维人员提升处理和工作效率。

能力指训练后完成封装的模型。在能力研发阶段，通过算子等方式完成模型构建；在能力共享阶段，通过 API 调用或封装嵌入等方式完成原子能力、复合能力应用。其中，原子能力具有独立性，为业务活动某个环节提供最基础的能力，例如：文本关键信息提取、多指标根因定位等。复合能力由多个原子能力叠加一定业务逻辑后，封装成可嵌入业务流程的能力，例如：智能投诉处理。

现阶段，网络智能化能力涵盖感知、诊断、预测、控制 4 类典型网络 AI 能力，以及适配网络域的通用 AI 能力（视觉、语音、NLP 等）。在能力研发中，绝大部分用于训练的算法是成熟的通用 AI 算法，针对网络特有问题的经典算法不多。因此，两大类能力的后续研发仍需要结合网络特征进行算法优化或改造，通过抽象归纳网络智能化核心科学问题，明确攻关方向和攻关路径。持续增强模型可信，拉通共性能力需求，提升能力精准度、可用度、易用度和共享度。

2. 智能化应用呈现分层分域的构建态势

其次是“线”，在 AI 能力就绪的基础上，通过算法创新与能力积淀，综合多种 AI 能力形成智能化应用，并串入业务流程，提升流程自动化水平。网络智能化应用涉及业务智能、服务智能、网络智能、网元智能四个层次，实现智能化的难度不一，层层递进，整体呈现以网络和服务智能为抓手，着力赋能一线生产；以网元智能为突破，牵引终端智能标准制定和终端技术体系变革；最终打造业务智能，实现

产业升级引领的发展态势。

由于人工智能技术与通信中的流程、协议等，均强调端到端。网络智能化技术演进也必将经历从点到线实现端到端赋能的发展过程。以图 6 的投诉和故障处理为例，流程中的每个步骤均可以引入 AI 能力，通过串接自上到下的过程，实现智能化应用的线状运维流程。

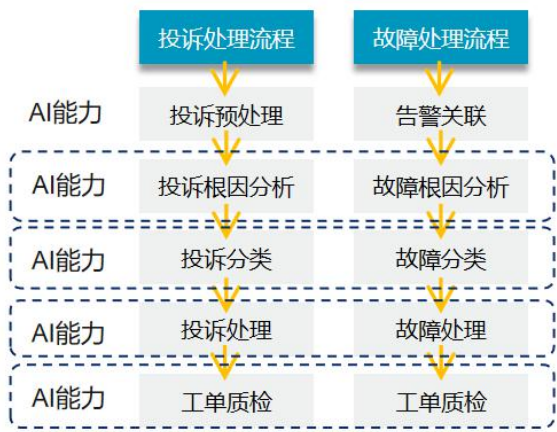


图 6 “线”状流程集成能力示意图

首先，对于自智网络的四个层次而言，网络和服务层次的运营是当前的行业布局重点。

包括中国移动在内的多家运营商首先针对这两个层次的智能运维应用开展自主研发与探索，聚焦核心能力自主掌控。面向网络规划、建设、维护、优化、运营全周期，在“精准服务”、“精细管理”、“精益维护”三大高价值领域，将研发成果嵌入实际生产运维流程，辅助人工运维工作，提升工作效率、降低运维成本、提高网络质量。通过构建开放研发体系，突破能力不共享、应用黑盒化、研发重复化的阶段瓶颈。

其次，网元智能化从外挂式向内生式扩展。

随着 5G 的商用普及，新网络的复杂度剧增，产业界对网元智能的投入力度逐渐增加。网元智能是网络基础设施具备的分布式智能，实现域内的控制闭环和决策结果执行。按照移动网专业域划分，网元智能需要覆盖无线网、传输网、IP 网、核心网等领域。

在核心网领域，5G 阶段通过引入 AI 外挂单元（合设或独立方式）向网络注智，6G 阶段逐渐向 AI 内生演进。目前，网络智能化架构已在标准层面达成统一共识，引入网络数据分析功能（NWDAF）。NWDAF 可在核心网网元侧实现网络数据分析，提供实时定制化数据采集和分析能力，同时还可提供本地分析结果给网络管理系统（例如网络智能化平台），进一步完成端到端网络数据分析。

在无线网、传输网和 IP 网领域引入 AI 组件以提供 AI 训练和推理能力，已得到标准和行业组织的基本共识，通过 AI 赋能实现数据采集、模型训练、发布、迭代、推送、优化的完整闭环。

最后，开放网络能力，构建行业客户生态。

在实现运维智能与网元智能的基础上，进一步打造业务智能，面向行业 and 客户提供智能化服务，通过端到端业务感知、保障、优化闭环，为客户提供开放能力，赋能客户业务智能化。聚焦未来发展需求，后期业务智能的重点将放在生态构建，以撬动垂直行业共同创新业务模式。

3. 通用型平台加速各层各域的规模应用

在网络智能化向体系化演进的过程中，将以“面”作为承载，打造能力、应用的沉淀与共享。数据治理、知识管理、模型训练、隐私

保护计算等公共赋能模块将形成通用功能架构，降低 AI 规模应用落地的门槛。

以运维智能应用为例，横向来看，不同的流程在某些步骤应用了相似的能力（例如根因分析、分类等），如图 7 所示。通过沉淀各类业务流程中的共性 AI 能力、统一数据、统管应用，统一与网元网络的控制接口，攻关复杂网络智能化平台研发，完成训练、推理、部署一体化架构设计，支持复杂网络海量多元异构数据，协同网络多域知识，打通网络数据原子能力，实现端到端网络智能化赋能。在保证数据隐私安全及合法合规的基础上，以平台为连接，联合区域共同建模，实现互联互通，提升 AI 模型的有效性。推动网络智能化更早具备场景泛化、模态泛化、任务泛化的新能力。

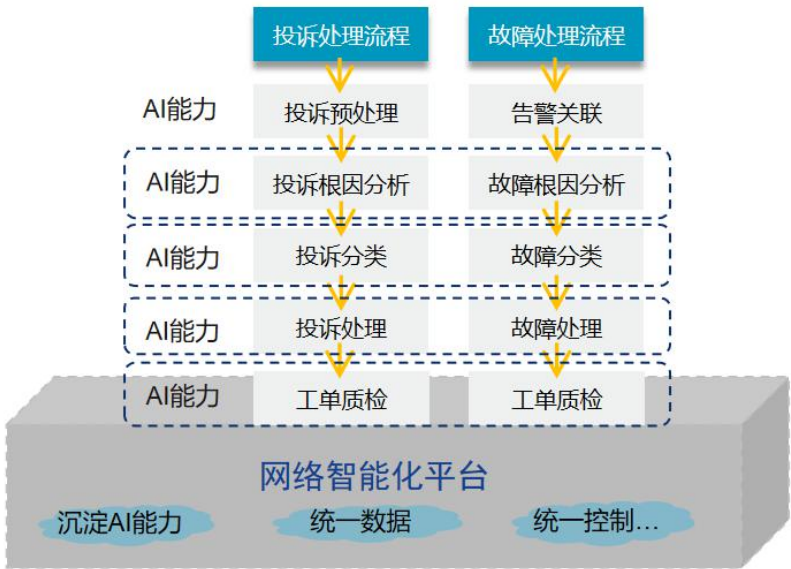


图 7 “面” 状智能化平台示意图

4. 智能型基础使能云网边算的业务创新

在“体”的阶段，智能型基础设施将对专线业务、云网业务、边缘计算、算力网络等各类业务创新提供统一支撑，持续赋能，为迈入

信息服务新赛道创造历史机遇。

第一，为专线业务提供更为主动、周全、灵活、专业的客户服务。

对于运营商来说，过去专线业务的主要营收点是带宽。随着政府和企业的数字化进程不断深入，对网络质量的要求也在不断增加，专线业务面临形式多样、弹性灵活的定制化需求。自智网络凭借其强大的控制系统，基于模型驱动自动识别业务的网络对象；提供统一调度各专业网络的编排及控制能力；依据业务需求，自动生成网络控制配置脚本，自动下发控制指令并对结果智能核查。推出 5G 专线、专网等 5G 新业务，满足面向移动网络的 SLA 专线诉求。

第二，强力支撑云网业务，加速云网融合产业格局的转变。

在云网融合的趋势背景下，业务需求和技术创新并行驱动，云和网高度协同、互为支撑、相互借鉴、不再各自独立。网络基础设施需要更好的适应云计算应用的需求，并能更好的优化网络结构，以确保网络的灵活性、智能性和可运维性。自智网络，将使得云网业务的 SLA 保障能力地图开放、可编程，一方面，差异化的灵活连接业务，成为 2B 新的业务增长点；另一方面，方便云端应用，根据实际需要，灵活、按需开通自己需要的连接业务。

第三，扩展边缘计算应用场景，提升智慧服务的敏捷度和安全性。

作为“人工智能的最后一公里”，边缘计算将算力下沉到了离用户更近的位置。通过在数据源头附近进行数据处理和 AI 推理能力的部署，就近提供智慧服务,再通过云-边-端的协同，支撑网络智能化应用。这样一来减少了数据在网络传输的过程，加快了服务的响应速度，节省

带宽；二来保护了数据安全与隐私。满足敏捷连接、实时处理、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等业务需求。未来自智网络，不仅仅提供的是连接服务，由于网络设备提供了丰富的感知能力，成为运营商的数据传感器，如位置、SLA、信号强弱等，这些信息也可以被用来进一步分析、挖掘，为运营商不断定义、尝试新业务，奠定基础。

第四，为算力网络提供泛在连接和 AI 能力，实现按需实时的算网一体化服务。算力网络是网云数智深度融合的新型基础设施，结合未来计算形态云-边-端泛在分布的趋势，计算与网络的融合将会更加紧密。算力网络（CFN: Computing Force Network）^[59]倡导算网一体，即结合 5G、泛在计算与 AI，在云网拉通和协同基础上的升华，网的能力更加智能、云的形态更加多样、数的流动更加高效、智的应用更加广泛。目前算力网络的愿景已得到业界的广泛认可，在标准制定、生态建设、应用示范、试验验证等领域积极开展探索。基于泛在的网络，将数据中心、云计算、大数据、边缘计算、人工智能等多类的算力资源联合整合，提供网络无所不达、算力无处不在、智能无所不及的能力，推动产业格局从以云为主向云网融合的加速转变，为通信运营商迈入信息服务新赛道创造重要机遇。

5. 标准融通开源共享支撑体系化演进

结合通信网络自身的体系化特点，AI 与网络的融合也必将走向体系化。在演进过程中，通过融合标准、设备、网络、模型、能力、应用等领域，开放数据、知识、能力共享，形成完整的智能化体系。通过制定标准统一网络智能化架构、数据规范，引导智能化各层级分

阶段支持智能化功能、接口要求，加强与上层管理系统联动。借助开源社区、联合研发等形式推动厂家协同创新，支撑网络整体的智能化，进一步赋能敏捷的创新业务迭代，向上、向下引领产业共进。

五、工程难题

（一）自智网络智能化能力建设缺乏基础支撑

目前，自智网络所需的智能化能力的建设仍缺乏基础支撑。

1. 感知：实时动态感知

智慧内生网络的前提之一是保障安全可靠，强大的实时感知能力是第一要素。面对复杂高动态的网络环境，自智网络需要具备周密可靠的实时感知能力，以获取它自身硬件和软件的状态；同时还要感知周围的环境，以及时反馈调整。如何实现精准、实时、高精度的感知自智网络所需要的数据，还需要知识迭代、有源及无源数据收集处理的算法攻关。

2. 诊断：跨层关联分析

海量数据需关联分析，促进主动实施优化，提升业务体验。在浩瀚如海的网络/网元数据中，建立评估用户体验、业务质量和网络资源的相关性 AI 模型，促进通信网络围绕业务开展主动的运维和实施优化，进而实现网络资源的提前就绪、可预测性维护等高级能力，当前仍需要投入探索。

3. 预测：综合智能预测

开放的自智网络需满足极速数据采集的需求，通过构建高精地图预见未来网络趋势。随着网络复杂性的增长，网络配置面临的风险加大。在网络业务从工单驱动转向为订单驱动的阶段，自智网络需要收集实时数据以构建高精度网络地图，具备精准预判配置变更后网络状态的能力。这在目前阶段是高水平工程师长时间分析才能完成的任务，

需要知识+数据双驱动以攻克技术瓶颈。

4. 控制：全局最优决策

体系化智能需要通过综合多种数据，实现不同应用间的关联分析，利用指标间的因果关系构建大模型，以实现全局最优的决策控制。目前算力的发展已经可以支持万亿级参数量预训练模型，集约化模型训练将成为广泛趋势。利用网络中的数据规模大的先发优势，挖掘潜在价值，拉通从感知到决策控制的系列过程，实现自智网络全局最优的参数配置或调整，规避因针对单一智能能力模型训练可能产生的过拟合和局部最优问题。

同时在通信行业的智能决策中，AI模型的可解释性非常重要。目前，很多高性能的复杂算法、模型普遍缺乏决策逻辑的透明度和结果的可解释性，导致在涉及关键决策判断的领域，或要求决策合规的应用中，AI技术难以大范围应用。作为关系国计民生的基础设施，通信网络中的AI应用尤其需要突破XAI（eXplainable Artificial Intelligence）技术，研究如何使得AI模型对人类更透明、更易懂、更可信，从而实现可解释的全局最优决策。

（二）核心技术突破缺乏赋能原料

实现网络智能化的核心算法攻关，面临环境、知识、数据等原料缺失的难题。

1. 环境：智慧能力研发亟需柔性网络环境

通信网络环境复杂、具有高动态但不柔性的特性。以中国移动为例，无线网络2/4/5G三代共生，核心网CS/PS/IMS/IOT等十域并存，

建设了 500 多万个无线基站。网络中共有 10 大类、230 种、4.49 亿台网络设备，涉及 2000 多套设备网管、1000 多套专业及综合网管。网络的复杂环境特性和不确定性为网络智能化提供了极为丰富的场景、同时系统和数据的复杂性也减缓了在网络智能化方面的创新。

由于通信网络的电信级要求，智能化技术研发要求试验反馈，然而在生产网络上尝试新的算法和模型，风险巨大。因此需要构建一张端到端、包含各专业子网、包括商用网络设备以及开源网络解决方案的实验网环境，为产业提供完善的、有及时闭环反馈的、接近真实网络的试验环境，解决网络智能化解决方案研发环境的瓶颈问题，降低网络智能化应用的创新门槛，促进应用的规模落地。

2. 知识：密集网络知识亟需体系化表达

知识描述缺乏标准化表达。无线网、传输网、IP 网和核心网等领域的大量核心知识存在于专家的经验、书本、文档、标准当中，并没有被体系化的表达，需要深入研究知识+AI 的融合，利用数字化手段将专家经验、领域知识与现有技术相融合，构建具备行业共识的知识标准化表达。

知识共享缺乏政策指引。多数企业都在对知识库进行建设，这其中包含着生产实践经验、技术实现策略等内容。而当前，由于缺少政策的鼓励和指引，企业极少对知识库进行开放和共享，制约了 AI 规模化应用和产业发展。

3. 数据：海量异构数据亟需标准化开放

异构数据缺乏标准化描述。数据是人工智能的燃料，而通信网络

存在海量数据。以中国移动为例，日均处理告警数据 1 亿条、无线 MDT 数据 10PB、业务 DPI 数据 150PB。随着网络感知能力增强，可以预见网元感知数据量将持续增加。尽管具备大量现网数据，但数据量、数据的价值密度、数据的读写频率有所差异，数据的类型、格式、来源众多，需要建立统一的数据标准体系，为网络智能化平台提供统一的数据支撑能力。

网络智能化需要有效数据治理方案。数据治理是网络智能化数据体系中数据管理的核心，能够实现数据体系内部一致性和平衡性。需要从标准、质量、接口、安全等角度出发，通过制定完善的数据治理体系，指导数据管理的各个环节正确地运行。面对网络感知能力增强带来的数据激增问题，数据存储方案也需要业界探讨。通过对数据的获取、处理、使用进行监管，利用数据治理来增强数据开放的合规性，从而进一步促进业界数据集的开放共享。

（三）规模价值挖掘缺乏体系协同

实现自智网络的规模效益是一个长期过程，在政策利好的时代背景下，需要汇聚产业合力满足平台化发展的统一共性需求，协同标准体系建设完成产业链牵引并通过构建评测规范来度量规模化应用的价值，以实现体系化协同，加快行业转型。

1. 平台：规模化发展需统一共性需求

规模化发展要满足统一资源、统一能力、统一部署、统一监测、统一运营的平台发展需求。对运营商来说，现阶段省与省之间，接入网和承载网之间，包括 OSS（运营支撑系统）、BSS（业务支撑系统）、

MSS（管理支撑系统）等在内的运维管理系统处于基本割裂的状态，无法做到统一调度和管理。此外，“点”和“线”分散培育、发展、运营带来高昂成本，存在技术更新迭代慢，重复投入比重大等问题，无法发挥规模化效益。在强化“面”的过程中，需要积极打造智慧中台，也就能力即服务的体系。在网络智能化能力研发、能力上架、能力运营、能力订阅/使用、能力测评及能力下架的能力生命周期中，资源需要平台统管分配、灵活调度；共性、优质、成熟的 AI 能力（自研/外研）和通用能力需要统一集成与下沉，然后进行能力分区（包含孵化区、引导区和强制区）管理；平台应用需要统一规划部署、优化治理和集中的推广运营。明确积淀能力支撑发展、赋智赋能的战略目标，充分发挥数据技术要素作用，以能力原子化的方式推进平台化能力沉淀和共享，促进数字化转型升级与价值经营的实现。

2. 体系：产业链牵引需协同标准体系

自智网络愿景下的产业链协作模式需要体系化协同。通信领域传统的产业协作模式以标准/开源为牵引，设备、网络、服务呈链式协同。通常以网元和网络为核心，以专业领域作为分工依据。各标准组织之间呈现松散耦合的协作模式，难以为需要跨层跨域进行统一规划建设网络感知域与通用智能域建立体系化规范。随着体系化平台的建立和发展，将形成新的产业链分工与协作布局。标准、设备、网络、模型、能力、应用等产业领域将开放、共享及互融，以体系化组织形式，提供数据、知识、能力共享。面向垂直行业客户，提供开放灵活的网络能力、AI 能力、编排能力、数据能力、运维能力等，在平台

环境中共同探索服务智能化的创新应用和敏捷迭代。降低 AI 企业加入自智网络创新的门槛，激活生态，向上、向下引领产业共进。

3. 度量：规模化应用需构建评测规范

智能化系统需要 AI 动态环境评测及通信系统分层分域互操作性评测以保障可信可靠。智能化技术是基于数据的，传统的 AI 模型研发通过对静态数据的预测分析生成模型，并封装成能力供现网应用。本质上这种研发流程具备一定的风险性。网络数据是随环境动态变化的，模型研发阶段基于静态数据的模型验证和评测无法准确衡量智能化服务的有效性和价值。

因此需要基于环境的动态评测，一是验证模型的准确性和性能，二是验证模型在不同数据集或环境下的泛化能力和可移植性。此外，为实现通信网络体系化智能，需要引入评测机制打破现有以标准驱动牵引设备和系统实现的方式，提供快速验证智能化系统的互操作性和可行性的能力，加快系统智能化能力的引入和推广。

六、政策建议

（一）技术政策建议

1. 引导产学研用协同助力核心算法攻关

算法是智能化产业链中技术层的重要方面。在目前的算法理论领域，人工智能算法发展迅速，但自智网络领域的 AI 算法总体存在不足，需要增强产业协作突破算法攻关。综合利用网络产生的规模数据，利用指标间的因果关系构建符合网络本质特征的大模型，实现全局最优的动态灵活调度，突破复杂大规模网络系统的感知、诊断、预测、决策控制等问题。

为此，建议出台产业引导政策、增加专项资金投入，引导产业各方加大对核心算法的产业投入与研发合作，早日实现自智网络核心算法领域的自主可控，保持我国在未来网络发展中的引领地位。

2. 构建网络 AI 关键架构实现工程能力突破

从实现层面来看，网络 AI 架构设计要满足分布式、多层次的需求。由于通信网络地理分布广、制式多，这些特征要求 AI 具备分布式协作的能力，因此需要制定统一的分布式框架来规范协作的机制。同时，借助层次化的架构设计，以便扩展和延伸。

从应用层面来看，网络 AI 架构设计要满足时效性和可靠性的要求。基于不同的时效要求，构建成本最优的实时、准实时；在线、离线的 AI 推理、训练能力；通过可信任的 AI 决策能力，确保网络的可靠性与安全性。

为此，建议以产业政策为指导，汇聚标准组织和开源社区力量，

引导产业各方加大对构建面向通信网络的分布式 AI 关键架构等核心软件基础设施的研发与试验，以实现自智网络大规模部署应用所依赖的工程能力突破。

3. 打造开放创新平台降低协同创新门槛

针对网络智能化研发原料缺失问题，构建适配自智网络研发运营模式的开放创新平台，以智能仿真试验及计算环境为依托，紧密耦合产业链协同方式，鼓励产业协作。

首先，建设面向自智网络的开放创新平台，开放数据等研发基础设施，健全数据共享平台的互联互通标准，避免重复投资，降低部署复杂度。

其次，构建自智网络试验环境，提供完善的、有反馈的、端到端移动信息网络环境，为自智网络解决研发环境瓶颈问题，降低创新门槛。

同时，面向行业应用，特别是 AI 类应用，提供 5G 网络试验环境，有助于促进 5G+AI 的应用创新，创造新的 5G 行业应用价值；

最后，基于环境提供配套的动态评测服务，验证模型在不同数据集或环境下的泛化能力和可移植性，通过引入评测机制，识别短板、以评促建，快速验证智能化系统的互操作性和可行性，加快系统智能化能力的引入和推广。

（二）产业政策建议

1. 优先构建国内产业，同步引领国际布局

在自智网络的探索和创新方面，中国的运营商和厂商已经走在了

产业前列，具有一定的优势。在将国内相关研究成果积极向国际标准化组织输出的同时，建议加强国内产业生态构建，践行网络强国战略。

首先，建议引导与鼓励 CCSA、AIIA 等国内行业相关标准与产业组织，充分发挥地区性组织的独特优势，构建以我为主的技术标准体系与产业协作生态。

其次，加强运营商与供应商内部技术实践与外部产业工作的联动性，实现从运营商内部应用需求驱动，布局国内行业标准制定，组织产品测评认证，从而加速运营商网络内部应用推广，引导供应商的先进产品/服务供应。

最后，针对涉及国际互联互通的明确需求，通过中国运营商的网络数智化转型最佳实践与行业标准体系，积极主导国际标准体系，确保中国在未来网络技术发展中的领先能力，践行网络强国战略，推动自智网络成为中国继 5G 之后在 ICT 领域又一张新的名片。

2. 加强跨行业合作，推动创新应用发展

目前 5G 发展已进入融合创新的关键阶段，通信行业作为数字经济的筑路者，基础通信提供商、通信设备制造商、AI 技术提供商、垂直行业等多主体协同推进态势正在形成。除了技术研发投入持续增加外，还需要引导企业拓宽视野，加强 ICT 行业与金融、医疗、教育等不同行业间的合作探索。

首先，鼓励跨行业组建产业协作平台，注重交叉学科人才培养；

其次，通过举办竞赛等加深产学研交流互动，促进跨域知识流通。

只有增加跨域协同，才能从而挖掘更多新型业务模式和应用场景，

创造数字消费需求，激发产业生态活力。

3. 出台数据合规政策，鼓励规范数据开放

建议出台数据合规相关政策，进一步明确有关数据使用的监管条例以及落地实施细则。从国家层面拉通各个行业的数据共享标准体系，包括目前隐私保护计算应用发展较快的金融领域、征信领域、医疗领域和通信领域等，明确技术发展方向，规范行业应用。倡导在数据/知识不出域、保障个人和企业合法权益的基础上，规范跨行业的分布式学习和行业内的模型使用行为，鼓励知识共享与开放，回馈产学研界，赋能多个行业。免除企业在数据方面研发投入的后顾之忧，最大程度激发产业合作热情，推动数据跨行业、跨实体间的流通共享与价值再造，汇聚信息通信全产业链的技术创新合力，实现协作共赢。

参考文献

- [1] IDC Future Scope: Worldwide Digital Transformation 2021 Predictions.
- [2] TM Forum: Autonomous networks: Business and operational drivers, 2021.4
- [3] 中国信通院:全球数字经济新图景.2020.10.
- [4] TM Forum IG1193: Cross Industry Autonomous Networks: Vision and Roadmap.
- [5] TM Forum IG1218 Autonomous Networks Business Requirements and Architecture.
- [6] TM Forum IG1230 Autonomous Network Technical Architecture.
- [7] TM Forum: Autonomous Networks: Empowering Digital Transformation For The Telecoms Industry, 2019.5.
- [8] ITU-T Y.3172: Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020.
- [9] ITU-T Y.3174: Framework for data handling to enable machine learning in future networks including IMT-2020.
- [10] ETSI GS ZSM 009: Closed-loop automation.
- [11] 3GPP TR 37.816: Study on RAN-centric data collection and utilization for LTE and NR.
- [12] 3GPP TS 38.314: NR; Layer 2 measurements.
- [13] 3GPP TS 37.320: Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2.
- [14] 3GPP TR 23.791: Study of enablers for Network Automation for 5G.
- [15] 3GPP TS 23.288: Architecture enhancements for 5G System to support network data analytics services.
- [16] 3GPP TR 23.700-91: Study on Enablers for Network Automation for 5G - phase 2.
- [17] 3GPP TR 28.809: Study on enhancement of Management Data Analytics (MDA).
- [18] 3GPP TR 28.805: Telecommunication management; Study on management aspects of communication services.
- [19] 3GPP TS 28.535: Management and orchestration; Management services for communication service assurance; Requirements.
- [20] 3GPP TS 28.536: Management and orchestration; Management services for communication service assurance; Stage 2 and stage 3.
- [21] 3GPP TR 28.812: Telecommunication management; Study on scenarios for Intent driven management services for mobile networks.
- [22] 3GPP TS 28.312: Management and orchestration; Intent driven management services for mobile networks.
- [23] O-RAN AI/ML Workflow Description and Requirements 01.01.
- [24] O-RAN A1 interface: General Aspects and Principles 2.0.
- [25] O-RAN Near-RT RAN Intelligent Controller Near-RT RIC Architecture 1.0.
- [26] O-RAN Orchestration Use Cases and Requirements for O-RAN Virtualized RAN 1.0.
- [27] O-RAN Cloud Platform Reference Design for Deployment Scenario B 1.01.
- [28] O-RAN A1 interface: Application Protocol 2.0.
- [29] O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller, E2 Application Protocol 1.01.
- [30] IETF RFC7575: Autonomic Networking: Definitions and Design Goals.
- [31] IETF RFC7576: General Gap Analysis for Autonomic Networking.
- [32] IETF RFC7950: The YANG 1.1 Data Modeling Language.
- [33] IETF RFC6241: Network Configuration Protocol (NETCONF).

- [34] IETF RFC8040: RESTCONF Protocol.
- [35] IETF draft: A YANG Data model for ECA Policy Management.
- [36] IRTF draft Intent-Based Networking - Concepts and Definitions
- [37] ONF TR-521: “SDN architecture” Issue 1.1
- [38] ONF TR 523: Intent NBI Definition and Principles.
- [39] ETSI GR NFV-IFA042: Policy management models.
- [40] ETSI GR NFV-IFA041: Report on enabling autonomous management in NFV-MANO.
- [41] ETSI GR NFV-TST006: CICD & Devops report.
- [42] ETSI GS NFV-TST013: Test Case Description Template Specification.
- [43] ETSI GR ENI 007: ENI Definition of Categories for AI Application to Networks.
- [44] ETSI GS ENI 005: System Architecture.
- [45] ETSI GS ENI 011: Mapping between ENI architecture and operational systems.
- [46] Open Network Automation Platform (ONAP) <https://www.onap.org/>
- [47] OpenDayLight (ODL) <https://www.opendaylight.org/>
- [48] Platform for Network Data Analytics (PNDA) <http://pnda.io/>
- [49] Acumos AI <https://www.acumos.org/>
- [50] Adlik <https://lfaidata.foundation/projects/adlik/>
- [51] 3GPP TR 28.810: Study on concept, requirements and solutions for levels of autonomous network.
- [52] 3GPP TS 28.100: Management and orchestration; Levels of autonomous network.
- [53] TM Forum IG1252: Autonomous Network Levels Evaluation Methodology 1.0.0.
<https://projects.tmforum.org/wiki/display/ANP/IG1252+Autonomous+Network+Levels+Evaluation+Methodology+1.0.0>
- [54] ITU-T Y.3173: Framework for evaluating intelligence levels of future networks including IMT-2020.
- [55] GTI: 5G eMBB Program Report, June 2019.
- [56] 邓灵莉等.网络智能化标准、开源与产业研究.2021.
- [57] 中国移动自动驾驶网络白皮书（2021）
- [58] 中国电信云网融合 2030 技术白皮书
- [59] 中国移动算力网络白皮书（2021）

中国通信学会

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院 8 号楼

邮政编码：100840

联系电话：010-68203021

传真：010-68203004

网址：<https://www.china-cic.cn/>

