



迈向智能世界白皮书

自动驾驶网络

构建自动、自愈、
自优的自治网络



构建万物互联的智能世界

序言

当今世界，以 5G、云、AI 为代表的数字技术，正在不断突破边界，实现跨越式发展。人类社会正在以前所未有的速度迈向智能世界，在通往智能世界的道路上，网络作为万物互联、万物智联的 ICT 底座，正在发挥着越来越重要的作用。

随着后疫情时代的到来，居家+公司的混合办公、线上+线下的远程教育、虚拟+现实的社交娱乐成为新常态。网络之于家庭从承载生活娱乐延伸到了支撑办公学习甚至生产，家庭对网络的需求量、使用时长和品质要求都有着质的提升。

同时，随着全球企业数字化进程加速，网络不再仅仅是支撑系统，将会更多的参与到生产系统之中。随时按需就绪、确定性 SLA 保障、最优业务体验的需求变得越来越迫切，不仅如此，网络的获取、交付和管理方式也逐步向网络即服务（NaaS）转变。

让网络走向自动驾驶、让云服务无所不在、让人工智能无所不及、以数字技术助力低碳发展是华为持续创新的方向。自动驾驶网络是华为通信网络 2030 的核心战略，为网络的最终使用者提供“零等待、零接触、零故障”的新型数字化网络服务体验，为网络的运营运维者打造“自配置、自修复、自优化”的智能网络和高

效运维能力，是我们持之以恒所追求的目标。

二十多年前，IP 技术重构了通信网络转发架构；十多年前，云技术深刻影响了网络管理控制架构；未来十年，人工智能技术将嵌入网络各层架构，推动网络向高阶自治进化，开启通信产业的又一次升级。在人工智能的加持下，网络将从自动化走向智能化，从机器辅助人到到人辅助机器，从按需就绪到实时感知实时优化业务体验。

然而，网络要实现完全自治的宏伟目标，除了需要突破超融合感知、大规模实时仿真、关联认知决策等关键技术难题外，还需要产业同仁们在技术架构、接口标准、评估体系、商业模式等多维度上共同努力，一同攻克一个又一个难题，一步步迈向完全的网络自治。

同心聚力，行而致远。

我们坚信，一个波澜壮阔的智能世界将为人类社会带来全新景象。

鲁鸿驹
华为公共开发部总裁

目录

执行摘要及关键词 01

章节一 02
自智网络产业概览

章节二 06

自智网络趋势及建议

- 2.1 趋势一 2.6 趋势六
- 2.2 趋势二 2.7 趋势七
- 2.3 趋势三 2.8 趋势八
- 2.4 趋势四 2.9 趋势九
- 2.5 趋势五 2.10 趋势十

章节三 30

华为自动驾驶网络
解决方案

- 3.1 华为自动驾驶网络解决方案架构
及特征
- 3.2 华为自动驾驶网络解决方案全景

章节四 54

展望及倡议

执行摘要及关键词

1 执行摘要

过去十年，4G和云的协同发展丰富了人们的沟通与生活，以SDN为代表的网络技术实现了应用驱动的网络自动化，跨越时间、地域的即时通讯技术为生活、生产带来了翻天覆地的变化。未来十年是智能时代蓬勃发展的黄金十年，面向2025，网络即将全面迈向5.5G时代，从4G到5.5G，万物感知、万物互联、万物智能的智能时代需要一张自动、自愈、自优的自智网络。本文旨在与产业伙伴一起洞察网络自动化和智能化的趋势，探讨迈向自智网络的行动建议，持续产业创新，携手探索发展。

2 关键词

数字化转型Digital Transformation、自智网络Autonomous Networks、人工智能AI、自动驾驶网络Autonomous Driving Network、数字孪生Digital twins、意图驱动Intent Driven。



01

自智网络 产业概览





众所周知，当今世界各方面环境充满变化与不确定，正如每一次的工业革命前夜。5G技术的发展及规模应用带领人类迈入万物互联的智能世界，数字技术的快速发展为经济带来了新活力，同时，新冠疫情爆发和长期持续则进一步加速了产品和服务的数字化进程。目前，全球超过170个国家发布了国家数字战略，数字化发展已成为全球重要的共识。据麦肯锡统计，在此复杂多变的背景下，全球的数字化进程整体提前了7年，亚太更是提前了10年，运营商及企业业务数字化的速度比先预想的快20~25倍，数字化不再被认为困难重重。居家+公司的混合办公、线上+线下的远程教育、虚拟+现实的社交娱乐将成为新常态。

网络联接作为数字化基础设施的底座，在推动世界可持续发展和行业数字化转型中，正在发挥着越来越重要的作用。

2030年全球总联接数或将达到2000亿，网络从连接百亿人到连接千亿物，下一代人机交互

（AR、VR、XR）、住行合一、工业互联、卫星宽带互联、AI算力等新业务，对网络联接也提出新需求。一个智能原生、安全可信，具备确定性体验和通信感知融合能力的立体超宽、绿色网络是未来网络发展的方向。

随着5G的部署，网络规模持续增长、新老设备并存以及2/3/4/5G四代同堂，网络复杂度、业务复杂度和运维复杂度都将大大提升，OPEX面临巨大压力，全球运营商平均EBITDA Margin正在逼近30%生存线，以SDN/NFV为代表的网络技术自动化能力已不足以应对挑战。其次，未来十年网络应用的主体将从消费应用转到行业应用。基于“连接+”为行业客户提供敏捷随选、个性化的确定性服务和差异化体验，是未来产业竞争的焦点。然而，当前运营商网络的商业敏捷度不足、新业务创新缓慢（新业务平均上线时间大于12个月），仍难以形成与OTT或云服务商的竞争优势（1年可推300+个新业务）。最后，作为网络基础设施提供商，运营商还承担着低碳、安全等社会责任，需要

在现有架构基础上构建高效智能的能耗、安全管理机制。

未来十年，面对机会与挑战，为了提高运维运营效率以及促进商业增长，全球电信运营商正在积极探索网络自动化和智能化升级之道，构建自智网络（Autonomous Networks）。其目标是面向网络运维，打造“自配置、自修复、自优化”的智能网络和高效运维能力，面向终端者和政企客户，提供“零等待、零接触、零

故障”的新型数字化高品质信息通信服务。

自智网络作为一个全新的产业方向，自概念提出以来，得到了标准组织、运营商、供应商等全行业伙伴的积极响应、倾力投入和全域创新。仅仅2年多时间，便完成了从产业孵化到规划发展的演进，产业愿景、目标架构和分级标准等达成了广泛产业共识。

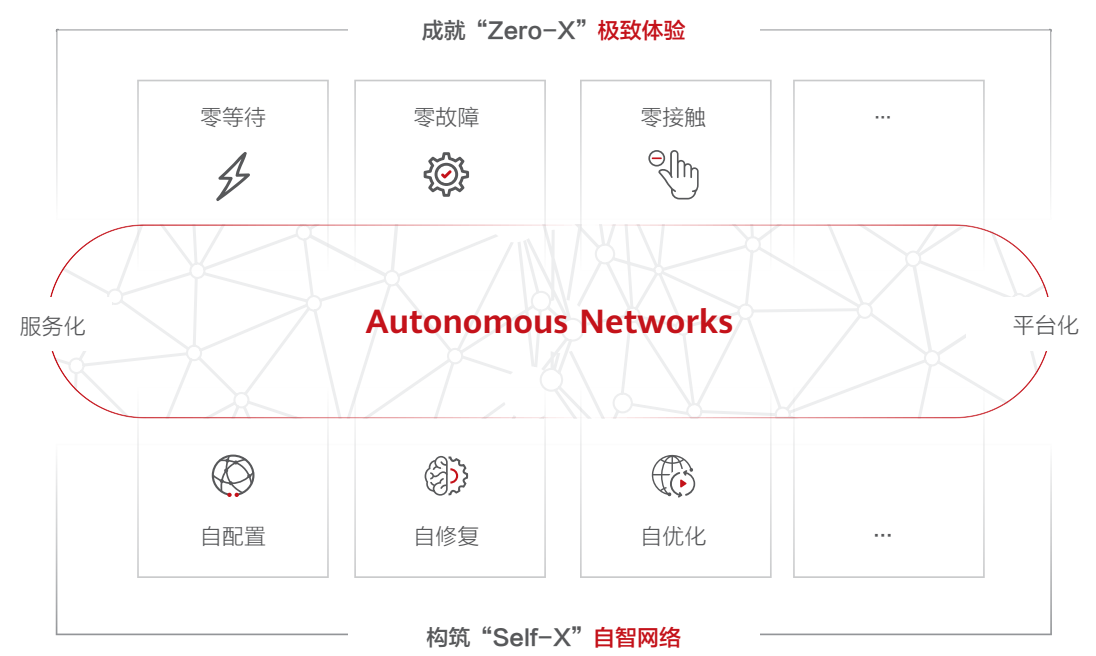


图1-1 自智网络目标愿景

在标准组织方面，TM Forum、CCSA、3GPP、ETSI等标准组织积极设立自智网络专项课题，启动相关技术研究、标准立项，并借助跨标准组织（Multi-SDO）自智网络技术合作会议（AN Coordination meeting）开展协作配合，初步形成了“通用标准+专业领域标准”协同的标准体系，涵盖“需求用例、参考架构、分级标准、关键技术及接口”等5大标准方向”，自智网络标准体系逐渐完善，为提升产

业协同效率、繁荣产业生态奠定了基础。“多组织协同制定行业标准，运营商加速部署实践”的发展态势，推动自智网络发展壮大。

在运营商方面，“自智网络”成为众多运营商网络数字化转型必由之路，纷纷提出自智网络等级达成目标，并围绕“目标架构、分级标准、成效指标、运营实践”四要素推进自智网络的探索实践，进行场景化的应用创新。中国移动率先确定了2025年达到L4级自智网络的目标

标并面向全国31个省公司，完成了自智网络能力等级的评估，并制定了针对性的提升策略和计划。中国电信将自智网络建设作为其“云改数转”战略的关键部分，提出要在十四五期末实现网络自智能能力全面达到L4。MTN为了更好地落实集团“Ambition 2025”战略，提出了

2025实现自智网络L4的目标，构建了包括“自智网络蓝图、敏捷DevOps运营环境、高性能网络、创新价值用例”等在内的自智网络框架。



02

自智网络趋势 及建议





2.1 趋势一：后疫情时代，远程居家办公、随处运营、线上+线下混合教育将成为常态，家庭网络将出现新的交互需求

为应对“居家隔离”、“社交距离”等防疫措施，大量的社会运作和经济活动由线下转移到线上，业务模式发生了实质性的变化，各种非接触连接商业与服务加速兴起，家庭网络从承载生活娱乐延伸到了支撑办公学习甚至生产，其需求量、使用时长、业务质量都需要有质的提升。

自疫情发生后，全球各国都出现了大规模的居家办公人群，据德勤Deloitte2020年5月-8月针对16国受访者的调查显示，居家办公人群占比在24%到47%之间，其中英国、比利时、墨西哥、爱尔兰均超过40%。远程办公已成为企业及个人应对疫情的关键措施之一。

在教育方面，校园集中式授课逐步转为远程授

课或线上+线下混合教育，保障基础教育“停课不停学”，在线教育需求激增，用户规模的快速增长。2020年中国在线教育行业用户规模达到3.42亿人，同比增长27.13%；2021年中国教育信息化的教育财政投入超4000亿元，在疫情受到有效的控制后，中国在线教育行业用户规模仍有2.98亿庞大的用户基数，较2020年虽有所下降，但网课已作为健身教育、语言教育、兴趣培育等更多成熟形式为家庭所选择。

这些大规模线上活动，离不开各行各业的IT支撑人员，他们的工作也因疫情演变为异地运营的模式，通过管理跨分布式基础设施的业务服务部署，实现“数字优先，远程优先”，为员工和客户提供有品质的线上活动体验。Gartner预测，到2023年40%的组织将融合虚拟和实体体验，从而提高生产率和客户覆盖率。



2020年中国
在线教育行业用户规模
达到3.42亿人



2023年40%的组织将融合虚拟和实体体验提高生产率和客户覆盖率

网络基础设施是所有远程社会活动的根基，是企业能够远程持续运转的关键，尤其在教育、医疗等保障方面意义重大，甚至逐渐成为与水、电同等重要的第三类基础设施。

多样化的家庭网络应用对网络质量要求越来越高，对家庭网络运营运维提出更多诉求。

首先，远程办公需要通过网络基础设施构筑生产系统，比如：邮件系统、内部通讯、视频会议、OA（Office Automation）等，对视频会议质量、网络安全、特定应用的体验保障/加速提出了更高要求。

其次，由于疫情的不确定性，随处运营活动不仅仅要求远程处理，甚至还可能需要7*24小时随时待命，运营主体需要从以人为主向以机器为主转变，减轻IT运营人员的工作压力。

再次，大规模的网络授课让网络持续处于高峰期，经常会遇到画面卡顿、音频不同步，甚至画面长时间缓冲等让人头疼的问题。网课直播对网络要求较高，要想获得良好的视频交互体验效果，每个课堂需要独享20 Mbit/s~50 Mbit/s优质、稳定的网络带宽才能保证体验。面向未来的教育新体验和新场景，还需要提供VR/AR（Virtual Reality/Augmented Reality，虚拟现实/增强现实）沉浸式学习体验，全息数字化课堂。另外，随着人们对品质生活的追求，智能家居模式越来越受欢迎，大量智能物联设备进入家庭，网络连接量迅速增加。例如：智能监控、扫地机器人、智能灯光、智能家电、智能门锁等。各种设备对网络要求各不

相同，有些需要大带宽，有些需要定时控制，有些需要实时控制。用户需要一个以家庭网络为中心的统一应用运维平台，实现全屋智联的用户体验。

针对以上趋势和诉求，家庭网络面临以下挑战：



挑战1：家庭网络缺乏“主动运维”，无法精准、快速定位客户应用级质差问题，网络安全缺乏保障。

随着混合办公的开展，尤其遇到项目需要多地、多部门协同的时候，视频会议成为了最有效的沟通方式。当前市场的宽带升级多注重下载速率的提升，而忽略了上行带宽的能力加速。上行速率低有可能会出现问题：音视频会议卡顿、直播声音和画面不同步、回音、跨境访问时延高等问题，这对家庭或办公室的工作环境及效率均造成了影响，所以必须提供大上行的网络，并提供相应的SLA保障。

家庭网络环境下的直播网课，老师与学生可能存在一对多的交互，视频质量差将影响课堂效果。保障网课质量，需要针对网课应用实时检测视频质量，快速感知视频质量的劣化，自动调整网络带宽和路由，并能够提供面向教育应用的加速技术。

政企单位职工、企业运营人员的大量终端需要通过互联网进行访问，这类访问对安全要求比较高，如果终端中病毒还可能通过VPN感染内网，由于涉及企业信息安全，需要与个人的上网、语音、游戏等流量，通过不同的管道隔离开，避免企业信息泄露或企业内网遭受攻击。同时对于办公应用，目前成熟的有腾讯会议/

Zoom/企业微信/钉钉/桌面云等，为保障这些办公应用的体验，需要提供基于应用的加速和SLA保障能力。



挑战2：家庭客户群体庞大，运营商缺乏体验良好的自助服务平台，无法逐一提供高质量的客户服务和保障。

家庭客户，除远程办公、随处运营、线上教育、智能家居外，个体户经营场景也属于其中，如小型水果店，同样需要一个高质量的家庭网络完成货物管理、收银、监控、网络广告等多连接应用，需要一个灵活、实惠、可靠的业务套餐，如果运营商为每个个人客户做方案定制，工作量巨大，产出比太低。客户能通过电商化的自助方式进行网络业务套餐的“订购-变更-维护-优化”才是最优选。运营商需要打造这样的灵活高效平台，以支撑庞大的客户群体的应用。针对不同应用类别，需要调研出典型的推荐业务套餐，方便客户选择使用。整个自助过程中，提供智能化的向导和指引，提升客户使用体验。而相关的IT运营人员，也能从繁复沟通的客户对接工作中释放出来，更聚焦于线上、线下融合体验的提升工作。



挑战3：客户家庭网络WIFI覆盖问题导致频繁投诉，无法保障最终用户的网络体验。

据某运营商数据，家宽用户投诉单中60%最终问题都出现在家庭端。传统家庭网络仅负责网络入户，对家庭内网络几乎不介入，但是大部

份家庭用户几乎无网络知识经验，大量终端类的网络问题都可能导致用户的抱怨和投诉，而其中WIFI覆盖问题首当其冲。只有深入家庭内部网络，帮助解决WIFI覆盖问题，才能减少投诉和用户离网。而诸如如何减少穿墙损耗、如何降低同频干扰、如何优化大户型覆盖等问题，由于家庭户型差异和需求各异，不可能靠运维工程师逐个协助解决，所以亟需一些自动化、智能化手段协助家庭用户提供解决方案。比如：家庭网络开建前，通过3D勘测，给出室内布放网络设备的方案建议，用户可以购买成熟的FTTR的全光千兆网络，也可以只给设备需求和布放建议；对于已建家庭网络，可以通过手机APP检测户内各位置的WiFi信号强度、干扰、网络访问速率，根据家庭户型特征和装修代价考虑，智能化推荐优化建议；用户使用网络过程中，能针对WIFI信号覆盖进行针对性的监控，主动提醒用户存在的WIFI信号覆盖问题，并智能引导客户自行解决。





行动建议

- 1. 运营商CMO需关注并把握后疫情时代家庭业务多样化带来的新机会，重视家庭网络体验保障，主动开展质差客户分析，识别新产品潜在客户，提供满足客户体验要求的高质量产品；同时随处运营，对网络安全认证和接入需求将带来新机会，需要构建内生安全能力。
- 2. 运营商CTIO需要考虑针对新型产品，提供电商化的在线自助服务能力，实现零等待、零接触、零故障的用户体验。
- 3. 运营商CTO需要重视家庭网络WiFi覆盖和体验保障，通过APP化的自助排障能力，将网络运维能力延伸到家庭网络内部，更好的保障最终用户体验。



2.2 趋势二：政企创新业务成为运营商业务主要增长点，盈利模式将从流量变现转变为服务变现

随着5G、云计算等技术的成熟，政企创新业务为运营商打开了新业务增长空间,未来几年，云网融合和IoT在工业领域应用将成为运营商政企业务主要增长点。政企业务正从场景化应用满足向为垂直行业客户提供整体化解决方案方向转变，运营商的盈利模式将从流量变现转变为服务变现。

Gartner调研显示：到2023年，超过60%的企业



2023年，超过60%的企业将网络和云视为支持其数字战略的关键基础设施

将网络和云视为支持其数字战略的关键基础设施。5G和云服务相互融合带动，2021年运营商创新业务收入的增幅超过了20%，占到总收入的27%，正在成为运营商业务增长的第二曲线。

截止2021年底全球超过20个行业部署5G示范应用，5G突破网络容量和时延在工业领域应用的瓶颈，在钢铁转钢/天车、港口吊远控、3C

制造PLC云化等场景中已被验证是最合适的技术，且价值巨大（比如钢铁行业转钢自动化，改造一条产线一年就可以增产1亿RMB）。全球运营商签署了超过10000个5G行业应用合同。GSMA预测，2022~2025进入行业深度融合阶段，而2025年进入 5G融合应用发展普及阶段，预计到2030年，运营商5G赋能的全球垂直行业市场规模总量达到近7000亿美元。



预计到2030年，运营商5G赋能的全球垂直行业市场规模总量达到近7000亿美元

另外DICT云服务在运营商政企业务收入占比持续提高，运营商云服务收入近3年翻倍（如中国移动DICT的收入占比已经超过50%）。未来5年，云网融合和IoT在工业领域应用将成为运营商业务主要增长点，复合增长率(CAGR)为19.1%，2025年全球达到6000亿美元。云转型已经成为电信行业的共识，未来5年全球运营商将以27%的复合增长率(CAGR)在云转型上增加投资，至2026年支出将达206亿美元。与之相呼应的是，运营商包括云、数据中心、视频、移动支付在内的创新业务增长迅速，已逐渐成为第二增长曲线，



2025年全球达到6000亿美元



至2026年支出将达206亿美元

在政企业务蒸蒸日上的同时，我们也看到电信行业的边界也日趋模糊化，竞争的主体也更加多元和复杂，政企业务不仅要能提供场景化网络联接服务，还需要整合行业集成商资源为不同的垂直行业客户提供整体化解决方案，运营

商的盈利模式将从流量变现转变为服务变现。但电信运营商真正实现为垂直行业客户提供一体化解决方案道路将是一个渐进的发展过程。



挑战一：对现有网络运维模式和能力的挑战

实行云转型的过程中，存在着接入数量庞大、网络可靠性和SLA要求高等难点制约。比如在专网E2E切片场景中，需要网络的可靠性高达99.999%以上，网络的时延要控制在5ms以内。要求网络对隐患能预测和自优、对质差和故障能自诊断和自修复，要求网络快速向高阶自动化和智能化演进。



挑战二：从ICT到OT对运营能力和成本的挑战

数字化转型的过程中，运营商在UC做深、价值量化、生态构建、E2E成本控制、商业模式协同、交付和运营运维能力、内部组织流程等方面，均存在较大的提升空间。在从ICT到OT的这一颠覆性的转变过程中，运营商是企业、集成商、ISV/IHV、云服务商、设备商上下游产业链中最关键的一环。运营商在面临政企业务应用碎片化、流程长、断点多的问题的同时，还要担负政企客户的交付和运维，优化资源配置和责任矩阵，降低综合交付和运营运维成本的重任。

针对以上趋势和挑战，面向高速增长的政企市场，建议应从网络和运营体系两方面进行提升。

1. 加快推进网络极简、自动化、智能化：

原有网络采用分业务部署模式，随着网络云化，业务由云化网络统一承载。传统独立承载的模式给业务端到端网络控制带来了非常大的复杂性，增加了联调对接成本，资源也得不到充分利用，故需要推进网络简化；

其次网络资源在架构充分解耦的基础上，实现SDN化、NFV化，实现端到端网络的智能化控制，云网资源同时具备了资源共享、弹性伸缩、按需分配的能力；

最后通过AI等智能技术引入将现有故障运维模式向以隐患预测、故障自愈、网络自优为特征

的智能化方式转型，打造零故障网络质量和零等待的客户体验，满足2B客户高可靠性和差异化SLA的核心需要。

2. 构建云网一体化运营体系：

通过对云网资源、能力的一点看全、统一管理，提供更灵活的资源 and 能力的调度与协同，赋能前端业务。运营商需构建跨网管/核心网/SIM卡管理/云边协同/运营运维等的云网融合的2B业务发放和运维系统；需研发+销售+运营一体化运作；同时通过云供应商的AI、云编排、机器学习等IT能力的开放加速行业应用的创新和落地。





2.3 趋势三：从全面云化到智能原生，AI正在重构网络架构并已初见成效

过去二十年，网络架构的变化经历了从全面IP化（All IP）到全面云化（All Cloud）两个阶段，当前正在开启基于智能原生（AI Native）的自智网络阶段。全面IP解决了网络高OPEX所带来的增量不增收的结构性问题，便于运营商推出各种新的、高竞争力的服务，进而可以开辟新的收入来源；全面云化针对的是网络设备种类繁多所带来的管理和高维护成本高的缺陷，解决了传统电信网络中运营商只能通过设备堆砌的方式进行网络扩容的结构性问题。未来十年，基于智能原生将是网络架构的核心，通过基于网络数字孪生的控制闭环和知识闭环，驱动通信网络实现完全自治，从而根本上解决当前网络规模和复杂性所带来的结构性问题。

当前的网络通信已经渗透到人类生活的各个方面，通信对人们日常生活的重要性和影响是巨大的，人们每天清晨醒来后的几乎每一分钟都会受到手机和智能设备的影响，与此同时伴随着汽车、可穿戴设备等更多种类智能终端接入

网络，这种影响也会随之急剧增长。人类社会的这种实质性变革依赖于越来越智能、可靠、灵活的通信网络，这使得通信网络面临着规模以及业务复杂、运维复杂、联结复杂等多种复杂性并存的挑战。通过建立全面智能的自智网络，降低网络的运维运营复杂度，提升网络自身效能，使得网络具备包括自配置、自修复、自优化等特性最终实现网络的自治，是应对这种挑战的最佳选择。

GSMA的《AI in Network》报告指出：“人工智能技术与通信网络的融合发展，将给通信网络注入新的技术活力，开启前所未有的可能性，从而促进 “Intelligent Connectivity（智联万物）” 愿景的真正实现，连接所有人、所有物到一个更美好的未来。”

AI in Network不仅仅是一句口号，经过几年的探索，在网络规划与建设、网络优化与配置、网络节能与增效、网络维护与保障等方面均取得显著成效。《TM Forum Autonomous Networks White Paper 4.0》列举了多个运营商最新的AI网络应用成功案例。



中国移动品质家宽智能运营：家宽质差业务主动识别准确率达到95%，用户体验显著提升83%，平均故障定位时长从2.1小时缩短到10分钟。

中国移动无线网络覆盖智能优化：5G网络新建场景下，小区的平均覆盖强度提升了15.8%，路面覆盖提升了91%，室外下载速率提高30%。



中国联通5G承载网智能运营：单线路激活效率从45分钟缩短至2分钟，激活准确率达到99.999%，且无需人工干预。

MTN移动承载网络拥塞抑制：使用流量抑制模型来分析实时网络的拥堵情况，为精确的容量扩展提供指导。南非子网平均每天的流量抑制数据减少了28%。



网络的自动化智能化升级是一个系统工程，历史上也有过多次探索和尝试，目前已经初步取得成效，但仍然面临以下挑战：



挑战一：基于全面智能的自智网络是网络发展的必然趋势，如何平滑顺利地演进到这种创新的网络架构，特别是L5级的自动驾驶网络架构，演进路线的选择是关键，这其中包括颠覆式创新和继承式迭代两种演进路线。此外在演进过程中，全面自研还是开放合作也是必须综合考虑的问题。



挑战二：网络架构的演进不仅带来了网络架构选型的变化，同时也带来了网络运维模式的改变，并进一步引起组织和流程的变革。自智网络架构的演进，使得网络走向人在环外的自我管理，最终实现永不故障的网络自治。面对这样的网络架构，网络运维也将从传统的以人为为主的运维模式，走向人机协同的AIOps模式，最终达到人机共生的智能运维模式。自智网络架构及运维模式的演进，会改变现有运维人员的知识结构和行为习惯，推动运维人员进行转型，并促进组织和运维流程的变革。



挑战三：包括标准组织在内的行业组织和联盟之间的协同、合作，对自智网络的发展同样至关重要，这是自智网络能否规模应用的关键。

历史上网络自动化领域的标准始终存在着碎片化、协同不充分的问题，而自智网络会跨越更多的技术领域，更需要不同领域的行业 and 标准组织之间加强横向协调，TM Forum、ETSI、3GPP、IETF/IRTF、CCSA等国际、国内标准组织都已开展了自动驾驶网络在各自领域的研究，如何打通彼此之间的壁垒就变得尤其关键。



挑战四：基于网络数字孪生的控制闭环和知识闭环是自智网络的基础，这其中涉及到众多的关键理论和技术，包括：网络数字孪生建模和仿真、目标驱动的自动化闭环及协同、网络自我感知能力的构建、网络环境感知和建模、网络自动、自愈、自优、自治技术、网络自适应学习和自演进等等，这些都需要学术界和工业界在软件工程能力、计算平台和基础设施、基于AI的网络认知系统、系统和控制理论和应用、人机交互能力、信息安全、网络可信设计等诸多领域通力合作，以取得理论和技术的突破。

网络架构的重构是一项长期的系统工程，针对以上趋势和挑战，我们建议：





- 1. 循序渐进，平稳可持续架构演进：**对于自动驾驶网络架构的转型路线选择，颠覆式创新演进路线意味着全新自研的以OSS为核心的网络架构变革，而继承迭代式演进路线则以自研加合作的方式，逐步迭代来实现以网络应用和网络基础设施为双核心的架构变革。路线的选择需要结合产品从研发到生产商用的成熟周期，并综合运维模式的转换以及运维能力继承等因素来考虑。回顾过去网络架构演进的历史，网络架构转型更适合于采用继承性发展路线，通过厂商实现单领域自治、自闭环，运营商聚焦新连接业务、客户体验、流程E2E打通等协作方式，最终实现以应用为中心、以数据为驱动、以智能化为目标自动驾驶网络。
- 2. 匹配架构演进，逐步推进智能化专业运维体系建设：**运维模式的改变需要组织的变革进行支撑，应当逐步建立新的运维体系，从运维组织架构、运维岗位设置、运维范围、运维管理制度及流程四个方面着手，配合网络架构的迭代式演进过程分阶段实施，渐进达到人在环外、人机协同共生的智能运维模式。
- 3. 跨行业协同，促进自智网络健康发展：**自智网络是一项系统工程，涉及到芯片、设备、工具、集成与服务、运营和组织等全产业链；同时也是一个持续演进的过程，从部分自治走向全面自治，需要支持持续演进能力。整个行业组织及联盟需要联合起来，一起定义演进节奏、代际特征、实施路径，推进合作。
- 4. 跨学科合作，突破基础理论和关键技术：**自智网络同样也是一个全新的跨学科领域，跨越通信科学、计算机科学、控制理论、复杂系统等多个学科，需要学术界和工业界深度合作，建立符合自动驾驶网络目标要求的学术组织（如IEEE/ACM/CCF等）和学科门类（如以计算机软件为基础建立交叉学科），从基础理论到关键技术实现全面突破。

在面向自智网络的架构设计方面，我们建议遵从以下几个原则：

六大原则



原则一，分层自治闭环：按照自智网络分层架构，资源运营层面向基础设施，负责实时、近实时资源供给和保障；业务运营层面向最终用户，负责用户业务使能和用户体验保障；商业运营层面向商业使能，负责商品、订购、计费等。



原则二，允许持续学习和进化：应对环境、网络状态、设备状态、用户行为的动态性，支持通过自学习持续优化自身知识和模型，快速适应环境。同时通过探索式智能感知能力，支持系统自身参数的快速调优，保证系统持续自演进。



原则三，使用数据+模型驱动的混合架构：ICT基础设施的大部分任务是关键业务，黑盒化的系统自主决策错误会导致严重后果。通过使用数据+模型驱动的混合架构，在提升感知和识别问题效率的同时，也能确保决策逻辑合理和结果可预测。



原则四，允许人-机间使用人机共生模式的任务协作：应对不确定和不可预测任务，如网络拥塞、频繁故障点等，从以往的研发、网设阶段定义任务，向基础设施动态定义和发起任务，人机协作完成。理想状态下，后端负责指定目标和策略，并意图化；机器负责分解目标，指挥现场人员和机器协作执行任务。



原则五，允许机-机间使用分布式智能分担负载：网元设备-网元设备智能协作：实时性/近实时性，智能化协议、语义化接口、或意图协作接口，互相传递状态、语义或知识，多系统、多领域协作完成任务；自治域-自治域智能协作：面向多领域、多厂商的业务开通、网络级质量感知和保障等。



原则六，允许任何情况下人工接管系统：应应对灾难、故障、异常场景，人可以接管和控制机器，对关键任务进行干预和指挥。



2.4 趋势四：各运营商正在加速构建自智网络，驱动运维模式正在从被动走向主动，从事件响应走向主动预测预防

当前，各运营商为了使能商业敏捷和效率提升，纷纷制定网络自动化和智能化战略，重构运营运维支撑系统，将传统“烟囱式”OSS系统进行平台化+应用化改造：

中国移动提出网络自动化与智能化“234”体系架构，制定OSS层“2+5+N”运维架构，将AI应用到网络运维生产实践，以实现主动式、预防式、敏捷式运维；

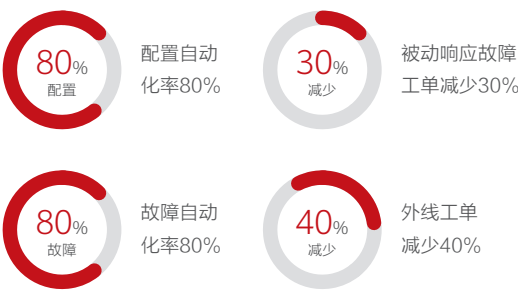
中国联通围绕“应用层-平台层-网络层”构建自动化、智能化能力，打造“平台+应用、IT集约、能力开放”的平台型网络运营生态体系，并在平台层构建网络AI能力中心，推动AI能力覆盖网络运营全场景；

中国电信打造云网能力底座，构建AI赋能平台；Vodafone对OSS层进行集约化改造，将子网OSS收编整合，打造使能高效运营和业务敏捷的NaaS化能力；Telefonica制定了4个平台战略，升级第四平台AI能力，以打造产品差异化体验。

可以看出，运营商希望通过架构式创新和新技术引入，推动网络运维模式从被动走向主动，从事件响应走向主动预测预防，Vodafone和中国移动制定的可量化评价指标体系就是非常典型的例证：

Vodafone提出的ZTO（Zero-touch Operation）战略，将端到端自动化Ticket Journey作为重

点，从认知自动化、配置自动化、外线数字化与自服务、AI主动预测4个方面设置牵引目标，计划2025年实现故障自动化率80%，配置自动化率80%，被动响应故障工单减少30%，外线工单减少40%；



中国移动围绕“三零三自”愿景制定成效指标，包括业务开通时长、业务可用率、客户自助服务率、配置自动化率、故障自动化率、质差自分析率等。

然而，构建自智网络，是一个系统性的创新，面临着各层能力分化、各单域尚未实现自我闭环、对外服务能力缺乏度量标准等一系列挑战。

各层自动化与智能化能力分化，难以形成协同效应，不利于业务创新和商业变现。垂直行业数字化和消费者生活数字化等潜在增长点对网络带宽、延迟、可靠性等提出更为严格多样的要求，业务从静态开通到可实时动态调整。而商业层、业务层、资源层的自动化和智能化能力普遍缺乏统一规划，导致各层交互界面复杂，自动化与智能化能力出现分化，难以形成协同效应，严重影响业务创新能效率和商业闭环能力。

各单域尚未实现自我闭环，阻碍网络整体运维

管理水平的提高。各专业域的自动化与智能化技术水平仍较低，不利于故障前的预防预测，故障后的故障敏捷感知、根因定位、快速修复。对1800多项典型运维活动的数据分析显示，95%的流程和作业节点仍需要人为干预。

超自动化网络的对外服务能力缺乏度量标准。各标准组织正在制定网络自动化与智能化的相关标准，为超自动化网络提供可量化的网络运

维能力评估方案。然而，运营商实践自智网络能为其最终用户带来的实际商业价值仍缺乏统一衡量标准和评估方法论，对外服务能力难以度量，不利于推进超自动化网络。

针对与以上趋势和挑战，电信运营商在构建自智网络的时候，建议注意以下几点：



行动建议

- 1. 立足中长期，参考最佳实践：**运营商CTIO要瞄准未来3-5年，参考TMF等业界最佳实践，定义可演进的运维目标架构、演进目标和实施路径。自上而下通过商业驱动定义实施的业务场景，自下而上分阶段提升网络运营运维能力，并结合自身业务和网络特点推进网络自动化和智能化的升级改造。
- 2. 基于产业标准，分层治之：**CTIO在构建自治系统时，可以参考TM Forum，CCSA，GSMA，ETSI，3GPP等标准组织制定的网络自动化与智能化相关标准，确保商业层、服务层、网络层协同创新与演进。同时考虑“分而治之”，自下而上的分层构建自治系统，各层之间通过意图化的接口简化交互界面，实现业务敏捷。
- 3. 强化技术协同，构建单域闭环能力：**运营商与厂商强化新技术协同，在各单域内同步加强AI、数字孪生、仿真等新技术的创新实践与成果转化，提高各单域内故障的快速闭环能力。
- 4. 循环评估改进，多维量化价值：**参考标准组织和领先运营商的实践经验，循环量化评估网络运营运维的自动化与智能化能力，以及网络对外服务能力的便捷性和灵活性，牵引网络能力短板迭代改进，以确保网络转型有序推进，业务成效可量化。



2.5 趋势五：运维能力正在逐步前移，处置网络故障的运维机制正从基于长流程工单流转机制，逐步转变为Zero Touch的人机协同处理机制

通过消除过多的工序、等待带来的浪费，实现更快的响应客户。根据实践分析，运营商的故障处理流程每增加一个环节，成本平均增加100美金，客户投诉响应流程每增加一个环节，客户等待时长平均增加2小时。在数智化能力发展的基础上，已经有部分运营商选择将后端的故障处理能力，前移到距离故障及客户最近的环节快速闭环，以提升客户感知与端到端的效率。

一些先进运营商开始积极探索如何从机制上改变当前运维模式，实现对影响业务的事件自修复或一跳闭环处理。如中国移动提出打造“监维一体”的未来故障处理模式，监控室从“压缩告警产生工单”向“判别、处置、闭环影响业务的事件”转变，即从“面向告警监控”向“面向事件闭环”的转变，提高监控管理效率、提升网络服务水平改善用户感知。



Vodafone通过Ticket Journey构建端到端的故障处理自动化机制，基于认知智能、配置自动化等能力，计划2025年实现故障自动化闭环率80%，配置自动化率80%。

在运维能力前移、运维机制转变的过程中，还存在以下挑战：



挑战1 传统运维方法难以适应ICT网络融合的复杂性：随着网络云化虚拟化加速、业务融合快速发展，设备复杂度增加，业务流程愈加复杂，告警数量指数级增长，亚健康问题增多。单靠传统的加站加人、以及专家经验为主的方法与技术，已经很难满足高业务复杂度的运维要求，导致近年来运营商的OPEX持续增加。据行业报告分析，近年运营商每增加一倍的CPAX投资，就会导致3倍的OPEX增长。



挑战2 传统运维流程难以充分发挥数字化运维能力：例如欧洲某运营商利用新的自动化引擎实现了端到端故障处理自动化能力，但是由于缺少与之匹配的运维组织与流程变革，导致在实际子网的生产落地环节不还存在较大的差距。

要实现高阶自动驾驶网络，需要先进技术驱动能力提升，也需要用先进理论支撑新的运维机制匹配，我们建议：



行动建议

- 1. 寻找保障与提升复杂网络级可用性的可靠性理论突破，打破网络复杂度与运维成本的线性增长关系。
- 2. 推动运维机制的变革，让网络故障、客户投诉等问题在最接近最终用户的团队解决，达到15150的目标（1分钟发现，5分钟诊断，15分钟恢复，0业务影响）。



2.6 趋势六：运维价值逐步前移，用户体验变为运维的首要目标，支撑商业成功逐渐成为运维的关键指标

利用网络和运维数据可以通过提升用户体验，有效支撑商业收益。根据华为项目实践结果分析，有效利用网络数据，用户发展速度提升1.5~2倍，用户满意度领先度提升20%~30%，用户价值提升5%~8%，离网用户下降0.5%~1%。

为了发挥数据价值、提升用户体验，运营商正在建立专职的数据分析团队。过去5年，运营商已经普遍接受了数据的价值、实现了数据湖，但依靠传统团队对数据的挖掘与分析难以充分

发挥数据的价值。目前越来越多的运营商已认识到这一点并正在组建数据分析团队。例如 LGU+ 和 XL新成立数据部门、以及设立CDO职位负责相关数据业务的整合和开发，其核心目标是数据推动创新，增强消费者体验和提高生产力。

在运维价值前移、提升用户体验的过程中，主要存在以下挑战：



挑战1：用指标、规则愈发难以刻画用户体验：
根据某拉美运营商的实践发现，已经很难找到

有效的规则用网络质量指标来指示用户体验，网络质量较好的区域、客户体验反而不好。在当前复杂业务场景下，用户体验的刻画已经无法通过终端测试一个速率就能够代表。

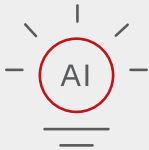
区机制进行的投诉优化不够精准，难以匹配投诉客户时间和空间上的流动特点。运营商需要一套面向时空的动态体验分析方法与机制，并升级原有的测量技术和保障体制。



围绕用户体验，发挥运维数据的价值是高阶自智网络的关键场景之一，我们建议：

挑战2： 缺少时空精度的用户体验分析方法：

中国某运营商客户通过实践发现，使用传统小



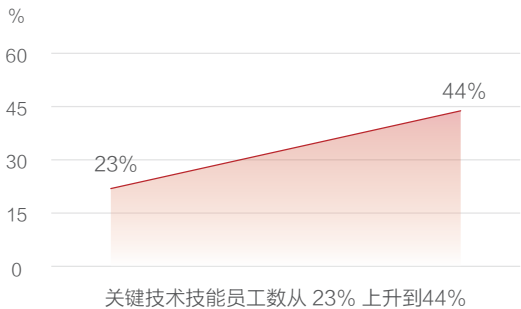
行动建议

- 1. **使用AI技术智能化表征用户体验，支撑运维价值前移：**智能化表征用户体验，可以解决网络指标、规则无法准确动态描绘用户体验的问题。根据拉美某运营商的实践分析，通过建立网络KQI与用户体验的AI模型，精准识别和优化质差区域，实现用户体验速率+90%，压抑流量释放+71%。通过AI技术发挥未被充分使用的网络数据价值，将网络数据应用于用户发展、用户满意度、用户价值提升及用户维挽等方面，可以持续提升面向用户与商业的决策智能。
- 2. **推进时空技术应用，打造体验驱动网络优化：**加速对AI描述用户体验、TAZ等关键能力的应用，以网优特别关注的高商业价值场景驱动（如投诉、贬损、客满、性能比拼等），构建跨域数据（体验/CHR/话统/拨测等）支撑下的一套灵活可配的质差特征框架（业务体验强敏感指标及强敏感事件/时间/空间等全要素数据），实现网优可闭环的最佳决策依据。



2.7 趋势七：人员转型正从以IT人员为主走向技术赋能业务人员，运维知识将通过数智化手段以低代码的方式注入、训练、监督机器

采用敏捷和DevOps工作方法，出现数智化新型岗位。自2019年以来，Telekom已转向规模化的敏捷框架(SAFe)。现在有1万名 IT 人员直接参与其中，使用敏捷方法来进行产品管理和开发，这意味着超过40%的员工在一定程度上参与了敏捷项目。DT通过提高员工技能来适应未来的技术要求。在 Telekom IT 部门，到 2024 年拥有关键技术技能的员工(软件/系统工程师、DevOps 工程师、数据科学家、架构师、敏捷专家)比例将从 23%上升至 44%。(Transformation Case Study: Deutsche Telekom- 2021)



选用低代码平台降低门槛。到2024年，低代码应用开发将占应用开发活动的65%以上。90.2%的业务人员希望能够以低代码的方式快速响应业务变化；88.9%的业务人员希望能够提升技术开发与运维管理的生产力；73.4%的业务人员希望能够用低成本的方式开启敏捷创新探索。(LowCode低码时代：2022年中国低代码&零代码行业研究报告)

不同运营商选择了不同的探索路径。以欧洲某运营商选择与IT厂家合作为代表，过去几年运营商主要选择从行业外引入IT厂商和IT人员为主，对网络运维进行业务的自动化改造。近年开始，越来越多的运营商逐步开始加深与具备通信行业经验的厂家合作，以中国某运营商选择华为合作为代表，以低码技术为基础，结合运营商对运维的长期经验与华为对网络技术的理解，实现了网络运维数智化转型的明显成效。

在运维人员转型的过程中，主要面临以下挑战：



挑战1：以IT人员为主对业务进行数智化改造很难深入：欧洲某运营商引入IT厂商打造面向端端的自动化运维平台，但至今未能有效应用到各子网的实际运维中，并没有达成“在3年内通过自动化将分配给一线支撑人员的工作量减少 80%”的目标 (3-year goal of reducing 80% of the effort allocated to first-line support activities through automation) ”的目标。主要原因是其认知自动化团队中的自动化专家、流程分析及工程师、认知专家主要由IT人员构成。其技能模型决定了尽管在一些显而易见的场景下可以更快的实现自动化能力，却很难真正有效的把握场景复杂和问题离散的维护业务，无法有效覆盖和解决各子网生产环境中的实际问题。



挑战2：通用低代码平台在网络运维场景应用效果不足：通用低代码技术，主要实现了在通用场景上“灵活性强与封装度高”、“业务逻辑

与编程逻辑”上的平衡与敏捷。但没有降低网络运维人员面临的在一套系统上协同不同场景的业务、不同要求的网络安全性、不同格式的数据、不同粒度的控制指令、不同厂家的设备等一系列复杂组合的门槛。因此从实际应用案例来看，基于通用低代码技术下的应用主要局

限于在线管理、流程编排、三方集成等非核心业务，且很难复制。

高技能人才是实现数字化转型必不可少的关键要素，我们建议在在迈向高阶自智网络的演进中加大对人员转型的投资与推动：



行动建议

- 1. 鼓励并开展员工培训与技能重塑，推动业务人员参与到数字化过程中。
- 2. 引入合适的低代码开发平台，构建开发流程方法、数据治理与分析流程方法。
比如浙江移动与华为对云化核心网的全年故障案例进行分析和抽象，通过系统性设计将故障常规经过划分为数十个故障处理原子能力，实现了对网络、运维能力的高度封装，简化了上层业务场景的应用开发过程，实现业务规划上线从3个月缩短到1个月。
- 3. 通过组织、流程变革与激励机制相结合，激发未被使用的员工创造力，鼓励员工与用户共同创造价值。



2.8 趋势八：AI大模型从语音图像逐步延伸到各垂直领域，电信领域具备海量数据，可构建大模型用于节能、预测、未知故障处理等场景，相比现有

方案有望取得突破性效果

当前，全球各大科技公司及AI研究机构都在进行大规模预训练模型的研究。自2018年谷歌发

布BERT大模型以来，全球各大科技巨头都开始大力布局大模型技术，在美国，OpenAI、谷歌、微软、脸书等机构形成GPT-3、Switch Transformer、MT-NLG等千亿或万亿参数量的大模型；在中国，阿里M6，百度文心，腾讯混元，华为盘古等大模型相继问世。大模型类型从NLP发展到CV、跨模态、生物计算以及行业大模型等领域，这些大模型已经开始赋能各行各业，在法律、医疗、教育，及电信等领域应用，给行业发展带来积极影响。2021年8月，知名AI专家Percy Liang、李飞飞等100多名行业学者联名发布论文《On the Opportunities and Risk of Foundation Models》系统阐述大规模预训练模型的发展机遇与挑战，同年斯坦福大学成立CRFM（基础模型研究中心）。

大模型的兴起，使得大数据支撑下的泛化成为可能。在没有大模型之前，AI的开发都不是“通用”的，任何一个细化场景的AI应用都需要配备专门的技术专家，开发专门的AI模型，一旦有新的应用都需要重新开发，如同手工作坊一样费时费力，这也成为AI落地行业的一大制约。大模型的出现，针对这个困扰行业已久的难题，给出新的解题思路。大模型海量的数据和参数支持，让它拥有一大类场景下

的基础能力，一次开发后只需要微调就能适用于广泛的下游任务，满足不同的应用需要。这种能力让大模型具备三方面的价值：

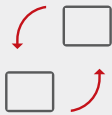
1. 提升模型开发效率，提前训练好的大模型只需要稍微再学习一下，就能马上胜任不同场景的工作，快速部署应用，手工作坊变成工厂流水线。
2. 降低成本，大模型的自监督学习方法，可以减少对数据标注的依赖，一定程度上解决人工标注成本高、周期长的问题。避免下游开发人员，使用小样本就可以训练自己所需模型，大幅降低开发使用成本。
3. 效果突破，现有AI模型一般都是通过神经网络结构优化，来提升模型精度，但日益面临瓶颈。而大模型则通过数据和参数规模的扩大，另外开辟一条提升模型精度的道路，可以取得不错的效果。

在未来的电信网络中，AI将会广泛运用于各种业务场景，电信业务场景天然存在海量的数据样本，采用大模型技术可以解决AI的泛化及模型碎片化等工程化问题，引入“预训练大模型+下游任务微调”模式，可以加快推动AI的落地，提升AI应用效果。当前经过行业的探索实践，大模型在一些电信场景显现价值。在核心网领域构建的机器语言大模型，结合海量数据，通过大参数学习数据间特征，能够实现核心网故障定界场景的模型精度提升和业务覆盖能力。在模型开发上，基于预训练模型进行二次开发，降低AI模型开发时间，开发效率提升80%；在应用效果上，网元间水平定界和网元内垂直定界，定界到最小可恢复单元仅仅需要分钟级，并且在实现已知故障识别准确率提升的同时，可以支持未知故障的自动定界，应用效果发生量变到质变的提升。



大模型对计算资源和数据量的要求很高，同时受限于技术本身的限制，在电信行业的技术研

究和运用还需要持续探索，对于大模型在电信领域的发展我们提出如下建议：



行动建议

1. 当前大模型技术架构的适用场景还是比较有限的，而电信行业的业务场景种类很多，当前想要用一个大而全的统一大模型解决所有的任务并不现实，电信行业的大模型可以优先从部分领域开始，如从核心网开始，目前大都已经完成云化，故障运维比较容易收集大量的数据样本，率先做出应用效果，为大模型在电信领域的广泛应用奠定基础。
2. 大模型需要海量的数据，单个运营商网络很难获取到足够的数据样本，为支持大模型的创新研究，建议成立行业的联盟组织，组织产业各方积极贡献，构建统一的数据样本库，使得行业各方有足够的样本创新研究，以支撑电信大模型的规模化应用。
3. 大模型由于训练成本等原因，投入大、风险高，在电信行业可以考虑采用"厂家大公司做模型预训练→运营商做模型应用"的模式，产业各方各自聚焦、联合发力，在节省资源的同时保证有更多更好的AI应用落地。



2.9 趋势九：认知智能能够融合电信专家知识和基于数据深度学习的优势，有望成为打造下一代智能化网络运营和运维系统的关键技术

计算智能、认知智能是探索人工智能道路发展的不同阶段。计算智能是对数据的基础逻辑计算和统计分析，受限于指定的数据逻辑规则，计算智能无法运用专家知识，进行深

度、动态和启发式的推理；而认知智能技术被认为是智能发展的下一步阶段，它是在对数据逻辑关系理解基础上，运用专家知识进行分析、判断与决策过程。认知智能能够有效的协同数据和知识，形成的知识和数据联合驱动，进一步促进AI和系统的创新，在实现对复杂场景及复杂问题有效解决的同时，还可以提升智能的可解释性。

认知智能的发展，代表的是一个新的智能时代，将加速AI 应用行业落地，业界对其未来的发展都持积极态度。2022年6月，中国人工智能产业发展联盟、信通院等联合发布《知识计算白皮书》，指出在AI 2.0时代，数据和知识是两个最重要的基本关键元素，多种知识协同使用，以及知识和数据的联合驱动将能促进人工智能算法与系统的创新。根据Deloitte调查，40%的电信商、媒体和技术高管表示，从认知技术获得“实质性”的好处，25% 的人已投资1000 万美元甚至更多。超过四分之三的人预计认知计算将在未来三年内“实质性地改变”其公司。另外，根据Gartner2021年发布的新兴技术和趋势影响，将高级虚拟助手（认知智能为核心技术）列为23项最具影响力的技术之一。同时，一些积极创新的电信运营商基于认知智能技术，尝试将知识纳入数智网络整体方案，打造知识即服务的框架体系（KaaS），率先将知识纳入到故障诊断场景。

在电信领域，业务依赖海量的专业知识，同时对AI的应用要求安全可信，根据当前的探索研究显示，认知智能预期将会在为网络智能化的发展注入新的动力。

1. 电信领域属于国家基础设施，任何操作都需要考虑安全性，因此针对重大操作的推理可解释性非常重要，认知智能采用知识演绎的方式推理，以故障诊断为例，基于知识推

理+机器学习的方式得出故障定界结果的同时，还能对异常事件的传播和因果过程进行呈现，实现对智能应用过程的感知可视，支持可解释性。

- 2. 认知智能的加持，让智能应用在复杂场景的效果更好。一般在跨域电信网络故障定界定位时，涉及多种类型网元，多层部署资源（网元/P/I等），多种类型的数据源，传统AI方式无法运用复杂场景的专业知识，在精准定界方面存在挑战。认知智能技术将网络组网和业务模块间机理关系融入故障诊断过程，从知识上对数据分析的诊断结果进行分析和识别，从而支持复杂场景的高精度故障诊断能力。
- 3. 认知智能可以实现电信领域的知识可演进，比如在核心网领域采用认知智能，从机器数据挖掘故障传播知识，并基于反绎等技术手段完成知识的自动确认，实现知识的自学习，自演进。

在迈向L5级自动驾驶网络的过程中，人在网络生命周期的参与将会越来越少，认知智能技术采用类人的决策方式，让网络越来越智能，支撑这一目标的达成。在故障运维场景，可实现故障定界准确率>95%，且具备高可解释性，并可基于知识自动生成恢复命令，实现网络的自恢复。面向运营商网络运维业务场景，可使用认知智能技术实现故障运维的自动化，实现故障知识自学习。认知智能作为新一代AI技术，兼备泛化性和可解释性，是实现网络自动驾驶的关键技术支撑手段，同时认知智能技术仍然处于创新探索阶段，为加快其在电信行业的应用，我们提出如下建议：



行动建议

1. 认知智能在电信领域的应用可以优先从运维域开始，因为运维场景最为复杂，依赖大量的专家知识。基于知识+数据融合的技术思路，可使用认知智能技术实现故障运维的自动化，并且实现故障运维的准确率和可解释性提升。
2. 在应用上可以从虚拟助手入手，在自智网络达成L5之前，需要人机共生，在这个中间态的过程中，通过认知智能构建的虚拟助手，可以与人协同，逐渐深度参与网络的决策和执行，并实现可自学习、自演进，最终支撑实现ADN L5在运维场景下的自治自愈目标。
3. 电信领域应该建立知识体的行业标准，便于产业各方在知识共享、交互及认知能力开发等方面的推进更加高效。



2.10 趋势十：网络数字孪生技术，成为实现网络全生命周期智能化、自动化的重要技术手段

自2002年Dr.Michael Grieves 第一次提出数字孪生概念以来，数字孪生技术已经在城市建设、航空航天、智能制造等多个行业成功应用，并在2017 年到2019 年，连续三年入选Gartner 十大战略技术，并预计未来五年

将跨越新技术成熟度曲线，达到成熟应用的平台期。

在智能制造领域，通过采用数字化模型的设计技术，将物理设备的各种属性映射到虚拟空间中，形成可拆解、可复制、可转移、可修改、可删除、可重复操作的数字镜像，在虚拟的三维数字空间快速便捷地修改部件和产品的每一处尺寸和装配关系，大幅度减少了迭代过程中

物理样机的制造次数、时间，以及成本。同时数字孪生体可以通过采集有限的物理传感器指标的直接数据，借助数据的历史规律，通过机器学习推测出一些原本无法直接测量的指标。由此实现对当前状态的评估、对过去发生问题的诊断，以及对未来趋势的预测，并给出分析的结果，模拟各种可能性，提供更全面的决策支持。经过十余年的发展，数字孪生技术现已在诸如城市建设、卫星网络、生产车间等方向成功应用。

在智慧城市领域，借助数字孪生技术可以提升城市规划质量和水平，推动城市设计和建设，辅助城市管理和运行，让城市生活与环境变得更好。雄安新区的规划纲要中明确指出要规划建设数字城市，将雄安打造为全球领先的数字城市。数字孪生城市的构建，包含物理城市、虚拟城市、城市大数据、虚实交互和智能服务五方面。通过在城建设备上布设传感器感知、监测城市运行状态，其次，建立物理城市相应的孪生模型实现对城市全方位的模拟，同时收集与记录城市运行数据驱动数字孪生城市的发展优化，最终借助数字孪生的虚实交互实现城市规划设计、优化市政规划等智能服务。具体的，如新加坡已与达索合作构建监控城市中从公交车站到建筑物等一切事物的数字孪生城市，Cityzenith 搭建了一个“5D 智能城市平台”，实现了基础设施开发过程的数字化及城市的数字化全生命周期管理。

随着经济全球化的深入发展，网络基础设施地位愈发明显，此外，疫情期间宅在家里成为最有力的防疫措施，人们所有活动都移到了网上，使网络负载持续增加、网络规模持续扩大、连接规模呈指数级上升，到2030年达到2000亿。同时随着云化、虚拟化技术在网络中影响，网络的技术栈变得更加复杂。

1. 由于缺少有效的仿真和验证手段，网络变更的影响评估成为新的挑战；
2. 对网络稳定持续稳定运行的风险评估和隐患排查缺乏有效手段；
3. 基于网络的新技术、新业务创新周期越来越长。

通过引入数字孪生技术，创建物理网络设施的虚拟镜像，即可搭建与实体网络网元一致、拓扑一致、业务一致和数据一致的数字孪生网络平台，提供网络配置正确性验证、新技术效果验证的试验床，大大降低现网风险,消除错误配置导致现网故障的可能性。数字孪生网络在网络流量全息透视、网元全生命周期管理等场景也能发挥重要作用。通过物理网络和孪生网络实时交互，相互影响，数字孪生网络平台能够助力网络实现低成本试错、智能化决策和高效率创新，进而助力网络实现极简化和智慧化运维。

以数字化方式创建物理网络实体的虚拟孪生体，构建可与物理网络实体之间实时交互映射的网络系统，数字孪生网络心要素为：数据感知、模型定义、孪生镜像、虚实交互。

1. 在数据感知方面，研究研究高性能网络近似测量，实现近似零误差测量。通过实时或者非实时的数据采集方式，将物理网络层的数据，包括物理实体数据、空间数据、资源数据、以及协议、接口、路由、信令、流程、性能、告警、日志、状态等采集存储到数据仓库，为构建网络孪生体以及为网络孪生体赋能提供数据支撑。
2. 在模型方向，通过网络分层抽象，研究和定义面向网络孪生提的分层抽象模型，基于数据和模型，服务于各种网络应用。

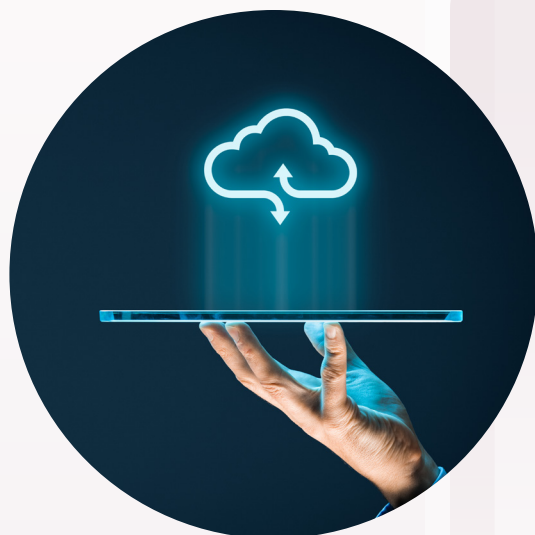
3. 同时通过网络孪生体以高保真可视化的页面去映射物理网络实体，最终孪生网络和物理网络的孪生镜像。
4. 同时借助大数据分析、AI算法、认知智能等技术实现对物理网络进行全生命周期的分

析、诊断、仿真和控制，最终达成孪生网络和物理网络的闭环控制。



03

华为自动驾驶网络 解决方案





华为的愿景和使命是把数字世界带入每个人，每个家庭，每个组织，构建万物互联的智能世界。实现万物互联智能世界的过程，也是帮助各行各业实现数字化转型目标的过程。华为致力于在云服务、人工智能、网络、低碳发展四大领域持续创新以加快数字化发展，推动人类文明的再一次飞跃，激发行业创新、产业升级和社会发展。



让云服务无所不在
Ubiquitous cloud



让人工智能无所不及
Pervasive AI



让网络走向自动驾驶
Autonomous driving networks



以数字技术助力低碳发展
Low carbon with digital technology

在自智网络产业趋势之下，华为自动驾驶网络应运而生。自动驾驶网络作为华为深耕数字化持续创新的四大举措之一，旨在基于联接+智能，打造一张自动、自愈、自优、自治的网络，通过单域自治、跨域协同，与运营商和企业共同构建网络“自配置、自修复和自优化”能力，从而为消费者和政企客户提供“零等待、零接触、零故障”的极致体验。

华为《智能世界2030》报告指出，在未来的智能世界里，空天海地一体化网络无缝覆盖、云边端融合化服务触手可及、全场景智能融入生产生活，通信网络全方位实现自动驾驶。通信网络将继续扮演推动未来世界发展的主导力量之一，全面迎接智能世界的到来。自动驾驶网络正是华为通信网络2030的核心战略。



3.1 华为自动驾驶网络解决方案架构及特征

电信网络要想实现高阶自智网络目标，需要一个清晰的，可供产业参考、形成为共识的业务架构来指导生产实践落地。基于此架构，运营商可以自上而下系统性地评估和梳理现有OSS系统、综合网管、厂家网管/控制器和网络设备在内的现有架构，由此制定满足自身实际需要的，切实可行的演进路标。华为参考TMF IG1218的业务架构建议，结合丰富全球客户联合创新实践，提出图3-1的自动驾驶网络业务架构。

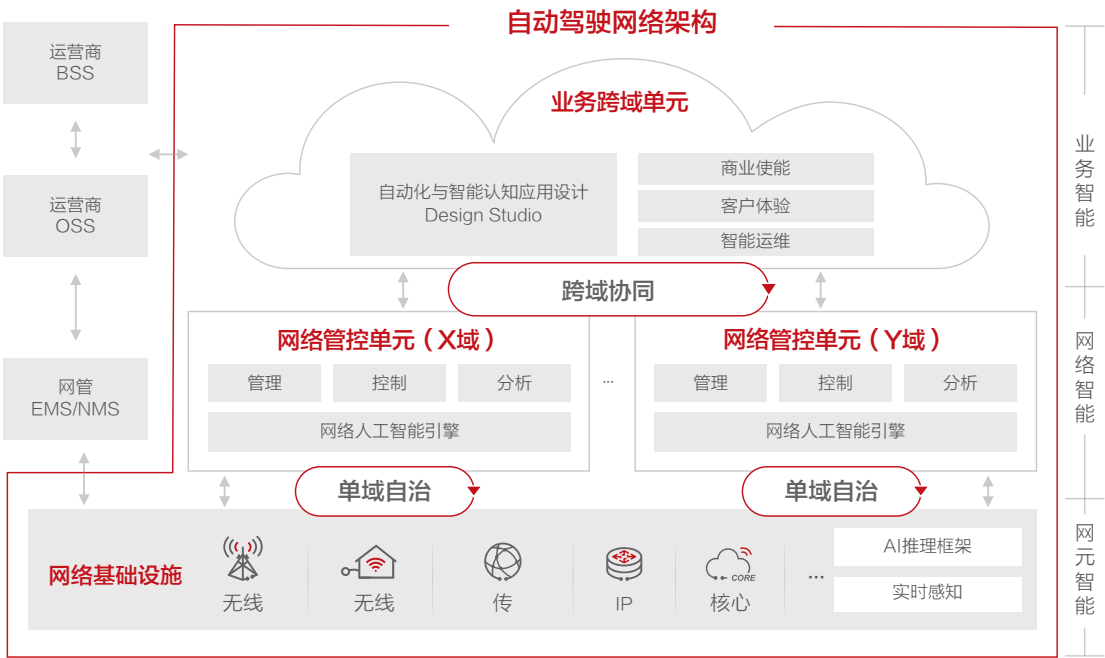


图3-1 自动驾驶网络业务架构

网络基础设施的智能化是实现高阶自智网络的根本，网络设备要引入更多的实时感知器件和AI推理能力，不但要增强对资源、业务及周边环境的数字化感知能力，还要具备包括分析、决策和执行的边缘智能能力。

网络管控单元融合网络管理、网络控制和网络

分析三大模块，将上层业务和应用意图自动翻译为网络行为，实现单域自治闭环和持续性SLA保障。同时基于内置的网络人工智能引擎持续进行AI训练和知识提取，不断强化AI模型和丰富网络经验，让网络越用越智能。

业务跨域单元提供商业智能创新、客户体验提

升、业务与网络运维保障三大能力以及应用设计开发的平台与云服务，面向聚焦运维及商业流程的打通和灵活的业务编排，允许根据自身网络特点，快速迭代开发新的业务模式、运维流程、业务应用及商业产品和服务，这是运营商实现业务/商业敏捷的关键，同时赋能新型运维人员、商业设计人员的技能提升。

自动驾驶网络解决方案特征

智能原生

网络基础设施作为整个ADN的根本，起着至关重要的作用。随着AN等级的提升，网络基础设施的能力也需要进一步提升，无论是实时感知能力，还是本地推理和边缘计算能力，都需要在网络基础设施层面大大增强。随着AI技术的成熟，AI 也赋予了基础设施层很多新的能力。网元AI提供分布式算力，将网元产生的海量KPI数据实现本地推理，不仅可以实现风险的快速感知，而且可以减少上送网络层AI的数据，从而降低管理系统算力的压力；网元AI也可以实现风险的快速感知分析，AI边缘推理，实现网元级故障的快速自愈决策。

比如，华为IP创新的iFit等随业务流检测协议，使的EMS可以在业务质差或故障发生时，在复杂的IP网络拓扑中，快速自动定位出故障发生的地点；IPv6+ 可以极大的简化业务下发流程，提升业务下发的自动化等级。接入网OLT的AEC单板可以识别APP的KPI/KQI，识别质差用户。DQ-ODN 的光虹膜技术可以点亮最后一公里的光纤哑资源。华为光传输产品可以识别同缆的光纤，从而避免SRLG问题。

单域自治

网络基础设施层和网络管控层有着相互耦合的

关系，不同网络域各自也有着不同的特点。随着网络规模的日趋复杂和网络基础设施能力的日益加强，对网络的管控也变得日趋复杂，特别是跨层的多域的管理已经变得遥不可及，势必要优先在单个的网络域上实现自治管理，再通过跨域协同进行跨域的管理。在不同的网络管理自治域提供基于标准的北向接口给上层OSS或业务编排系统，上层OSS或业务编排系统再通过调用、编排各个单域的能力，提供跨多个域，需要多个域协同完成的业务。同时由于网络基础设施的网络设备新的功能层出不穷，对应新功能的标准化接口存在一定周期的滞后，很难再短时间适配。因此基础设施层的设备和其设备厂家的网络管控系统的耦合会保证更快更好的单域自治效果。

比如移动基站的智能节能功能，需要动态调整设备的很多参数。需要基站自带的网络管控系统才能对基站设备做精准调节。华为的网络管控系统还可以通过网络实时数据预测小区话务，及时调整节能策略，在实现节能的同时保持KPI的稳定。

开放协同

大多数电信业务是单域自治，开放协同的。上层OSS及其业务层聚焦业务策略和创新，下层网络管控及基础设施层聚焦业务实现和技术创新。各个自治域的网络管控系统通过开发标准化的意图API接口，以实现网络管控层和业务及OSS层之间的完全解耦。业务及OSS系统可以通过调用这些北向接口来实现跨域的业务管理，比如业务发放，故障关联分析等。

以一个业务开通为例，OSS 通过开放的API接口，向各个单域的网络管控系统下发业务意图，比如源宿节点，业务SLA等。而各个单域网

络管控系统则自行规划准备各自领域开通此业务所需要的业务以及参数，设备地址，隧道地址，隧道类型，隧道参数等等，配置给本域的设备。最终各域协同，快速完成业务的配置。



3.2 华为自动驾驶网络解决方案全景

自华为在2018 UBBF上首次提出自动驾驶网络的理念以来，经过近4年的创新实践，华为已经成了系列化自动驾驶网络解决方案，涵盖无线、核心、接入、传输、IP、数据中心和企业园区多个领域。秉承Intelligence for ICT的理念，致力于把人工智能技术系统性应用于ICT基础设施自身，解决关键挑战，更好的支持智能世界愿景的实现。

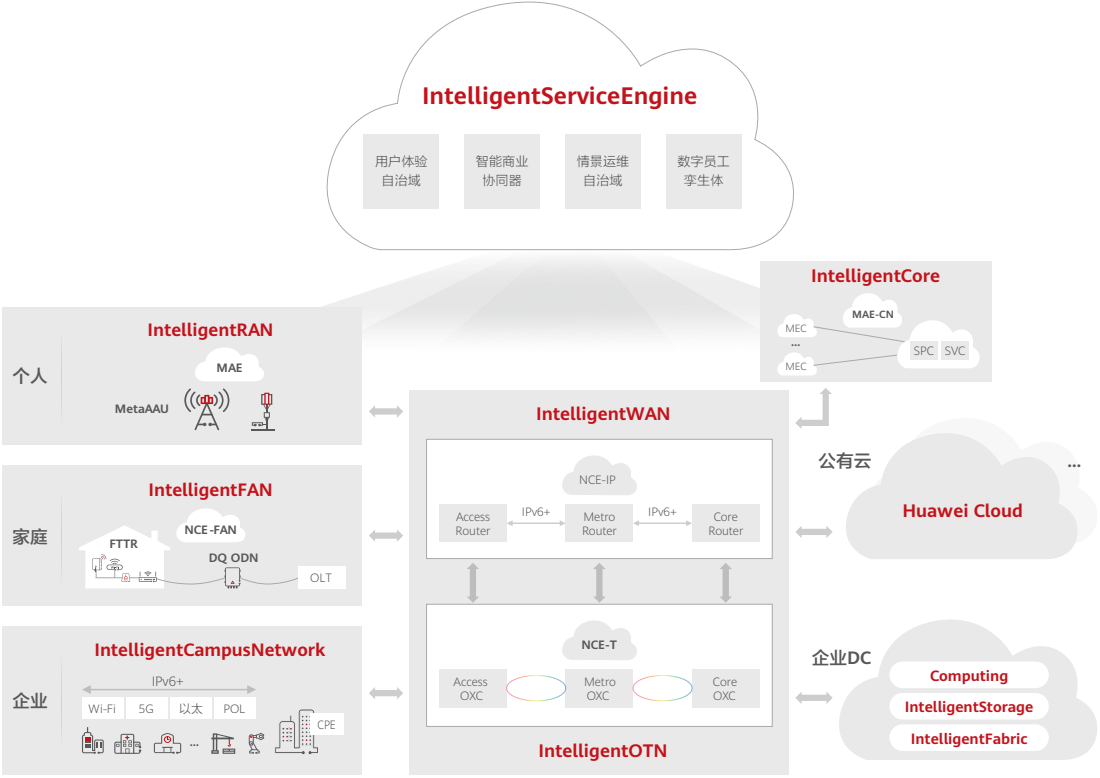


图3-2 自动驾驶网络方案产品及方案全景



3.2.1 IntelligentRAN无线自动驾驶网络解决方案

作为华为自动驾驶网络解决方案在无线网络的承载，IntelligentRAN将开启无线网络从运维自动化向网络智能化的演进之路。IntelligentRAN聚焦和承载无线接入网络侧智能化功能，通过iMaster MAE（Mobile Automation Engine）实现单域单厂家无线域基础运维，同时引入MIE（Mobile Intelligent Engine移动智能引擎），协同网元智能提供智能化UC。智能化原子能力通过意图接口向云端智能开放；

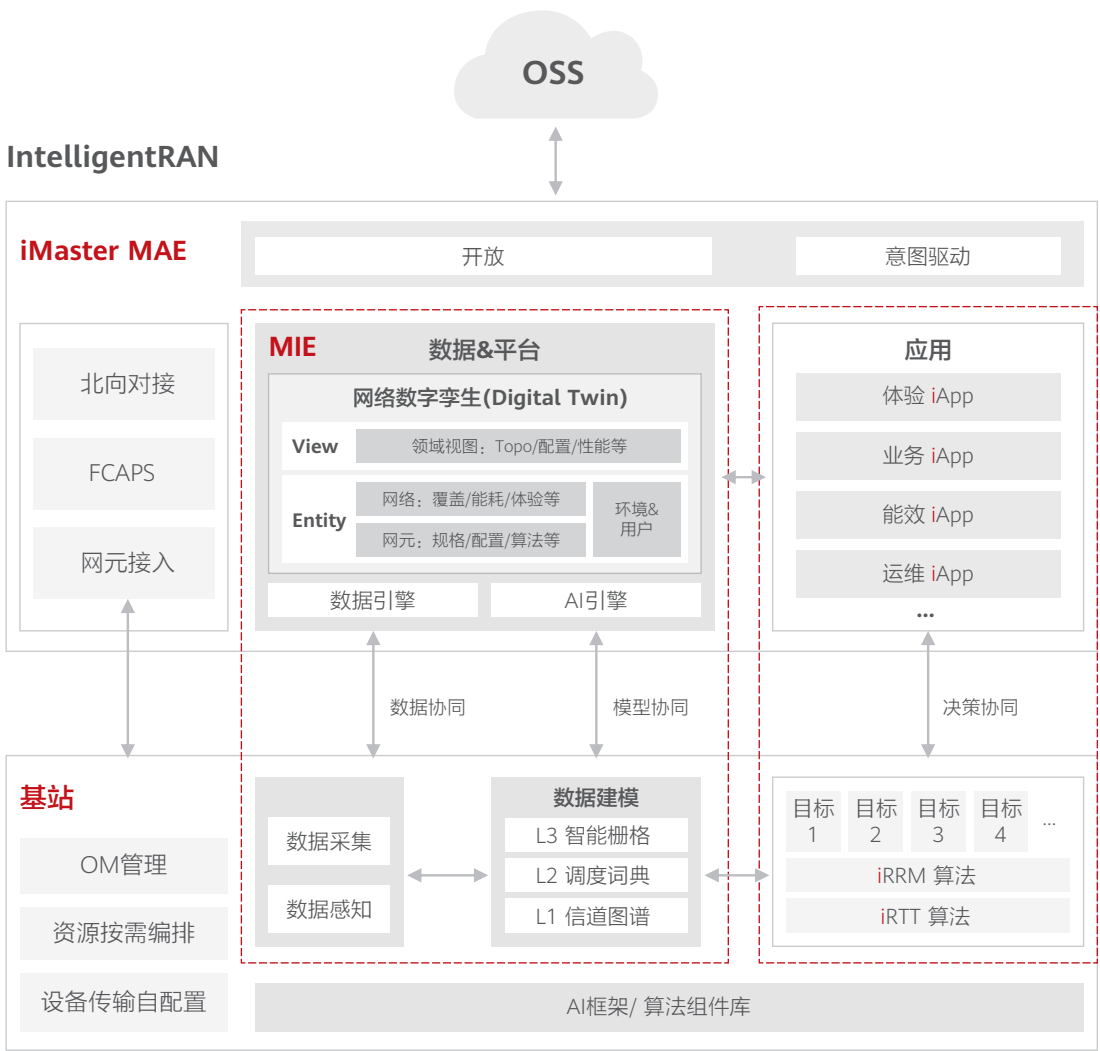


图3-3 IntelligentRAN

方案价值

随着移动网络持续发展，从2G、3G、4G走向5G、5.5G、6G，移动网络能力将进一步升级，承载的业务越来越丰富，网络复杂度也在持续提升，移动网络的3个结构性挑战将更加突出：

第一个挑战是如何在网络复杂度持续提升下实现极简运维；

第二个挑战是如何以微增的能耗应对百倍流量增长；

第三个挑战是如何在业务多样性的同时保证业务体验最优。

为了迎接这样的挑战，通过把智能能力融入无线网络业务、体验、运维和绿色等方面，IntelligentRAN将助力运营商建设一张运维智简、网络智优、业务智营的无线自动驾驶网络。

- **运维智简：**基于专家知识库、预测算法、神经网络等关键技术，使能无线域智能告警管理，实现告警精准识别、快速问题定

位、故障预测预防等能力。助力运营商从响应式运维走向预测预防式运维，实现网络“零”故障。

- **网络智优：**引入网元智能化，实现资源智能调度，使能多频段多站异构组网的体验与容量达到最优，最大化频谱效率。并基于网络级智能引擎实现基于多意图多目标的智能协同，助力运营商从性能最优走向性能能耗双优，在保证网络性能稳定的基础上，最大化网络节能效果。
- **业务智营：**面向差异化业务SLA需求，通过用户级动态仿真，实现基于覆盖、速率、时延等多目标的精准网络规划，使能业务快速开通和发放；并基于预测能力，实现实时动态资源调度，保障业务体验，实现网随业动。

关键UC

1. 运维智简：

- **基于预测的故障管理，故障处理从被动响应走向主动排障：**移动网络所承载的toC和toB业务需要保持永远在线。传统采用事后工单的响应式运维已经远远不能满足新业务的要求。iMaster MAE一方面通过加深加强故障感知能力做到告警的精准识别和问题定位，另一方面通过引入智能，利用RAN网管和网元协同的长短周期感知数据，对网络中软硬件故障和性能劣化（比如单板高温、光模块故障、备电时长等）进行预测和判断，提前修复消除风险，实现网络的“零”故障和性能的高可靠。

2. 网络智优：



- **基于智能栅格实现多频载波智选，实现整网性能最优：**无线网络由多个频段共同构成，不同的频段有不同的特点，多个频段的协同配合和统筹使用对于整网的频谱效率提升至关重要。在复杂的多频网络中，通过智能解决方案提升多频协同的效率，将不同频段的优势互补，从而实现整网性能最佳。
- **基于多意图的多维协同节能，实现性能和节能双优：**绿色低碳已经成为通信产业乃至全社会共同关切的问题，能效成为衡量移动通信网络的重要指标之一。基于智能算法和模型，寻找到基于话务和环境的最佳动态多维协同节能策略，做到“网络场景自适应、一站一策、多网协同”。在保证网络性能稳定的基础上，最大化网络节能效果，实现能耗与KPI的最佳平衡，实现从性能最优到性能能耗双优转变。
- **力业务精准快速开通：**5GtoB业务种类多、SLA要求高、应用环境复杂，基于专家经验人工完成网络规划的传统模式难以满足千行百业的确定性网络规划要求。公网专用场景，通过准确评估指定区域的网络覆盖和速率，大大降低运营商上门实测评估的成本；行业专网场景，通过行业画像、环境建模、用户级仿真评估和实现基于业务SLA的精准规划，满足现网不同业务SLA需求，提升网络规划效率；
- **基于预测的切片SLA保障，使能网随业动：**传统的切片SLA保障主要采用资源预留的方式，为了保障有足够的网络资源保障业务稳定运行，往往会预留实际需求数倍的资源，从而造成资源的闲置。引入预测能力，实现自适应切片SLA保障，在保障切片SLA的同时提升资源利用率。

3. 业务智营：

- **面向业务SLA的网络精准评估规划，助**



3.2.2 IntelligentCore核心网自动驾驶网络

华为核心网自动驾驶网络解决方案秉承“网络高稳，运维智简，体验质优”的云化运维转型理念，对核心网诸多产品和服务工具进行融合创新，实现全网数据资产的可视、可管、

可溯源，并引入数据原生、智能分析、模型训练、AI推理、意图洞察等人工智能技术，在不同网络层级（电信云底座，网元层5GC&SVC，管控层iMaser MAE-CN）引入相应的自动化和智能化能力，助力运营商建设全流程自动化，自动-自愈-自优的核心网。

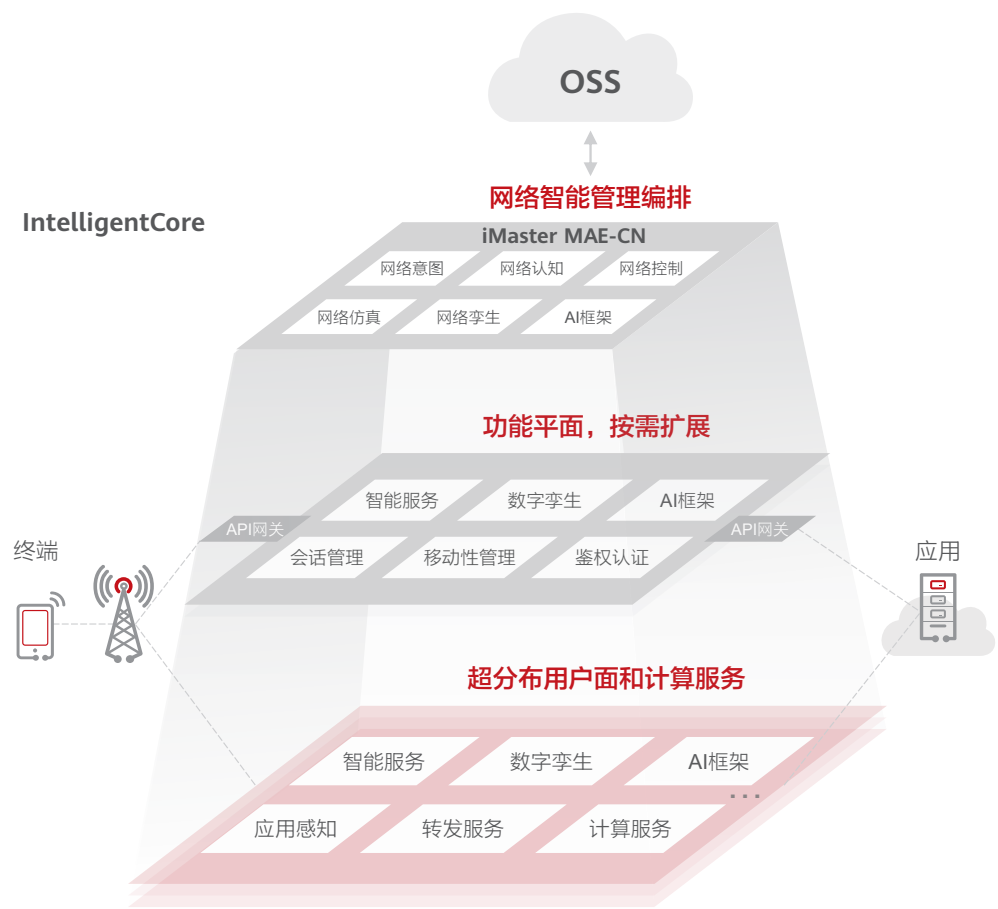


图3-4 IntelligentCore

方案价值

面向云化运维转型和5G新业务的需求，华为核心网ADN解决方案将在网络维护，操作交付和体验闭环三个方面重点构筑能力，助力运营商实现数智化转型。

1. 业务永在线的高稳能力：基于专家经验、知识图谱、AI自学习、数字仿真，实现电信云、核心网网元的单域故障维护工作环节的闭环；构建网元/模块级故障管理能力，实现亚健康预测、故障精准定界、快速自愈，向消费者和企业用户提供永远在线的通信服务，使能运营商云化基础设施从被动响应到主动练检防疗转型的运维转型。

2. 端到端网络操作自动化能力：面向升级、扩容、割接、测试等运营商日常操作场景，基于数字孪生理念，构建基于数字孪生技术和云化CICD工具链的智简交付能力，指数级降低云化网络的日常操作的复杂性，通过用户意图驱动，打穿交付作业断点，基于Pipeline完成全流程自动化交付，实现变更操作无损安全。

3. 精细化、个性化体验优化能力：系统AI内生，实现从网络质量管理到个性化用户体验管理（业务体验标准、体验感知、体验闭环）转型，提供面向不同行业客户的企业级业务SLA保障，支撑运营商实现体验变现。

关键UC

1. 故障场景——高稳网络：

核心网网络位置高，承载用户容量大，故障影响范围广，高稳一直是重中之重。华为核心网ADN解决方案引入智能化手段，提供强身，体检，预测和诊疗功能，全方位保障核心网高稳可靠。

- 健康检查：网络可靠性评估，关键资源永远可用，故障应急不慌张；
- 日常演练：全程可视体验好，容灾演练效率高；
- 专家诊断：故障检测快，定界/定位准，精准定界直达故障点。故障定界到风险最小可操作单元，快速恢复业务运行
- 健康预防：从被动处理到主动预防，亚健康预防免干预

2. 动网场景——智简操作：

传统的网络变更（升级，扩容等）以人工为主，操作步骤多，流程长，大量工作需要人工介入，

而人工的大量介入导致效率低下同时使得升级风险增加。华为核心网ADN解决方案基于业界DevOps先进理念，实现变更操作的高效和安全。

- 自动化：端到端工具链打通手工操作的断点，减少人工干预环节，提升“升级、扩容、割接”等全场景交付效率。
- 变更无损：通过操作仿真能力，实现动态弹性扩容等操作的低成本试错，实现业务操作变更无损。

3. 优化场景——体验质优：

用户体验管理随着5G商用不同阶段面临新挑战，用户感知好是保证满意度的基础，华为核心网ADN解决方案将以网络为中心的目标转变为以用户体验为中心、以价值为中心，明确“让客户满意，让市场放心”。

- 体验优化：对VoNR/ViNR关键业务体验，通过内生AI和优化工具链，实现业务打得通、通话接得快、话音听得清、用户留得住、交流不掉话。



3.2.3 IntelligentWAN IP自动驾驶网络

华为IP自动驾驶网络解决方案，核心部件包括智能IP网络路由器设备（NetEngine/NE/ATN/CX…）和iMaster NCE智能管控系统。iMaster

NCE面向IP网络提供算路网元、智能运维、网络开放可编程能力，实现对网络流量的全生命周期自动化调度，帮助运营商客户构建领先的下一代端到端智能IP网络。

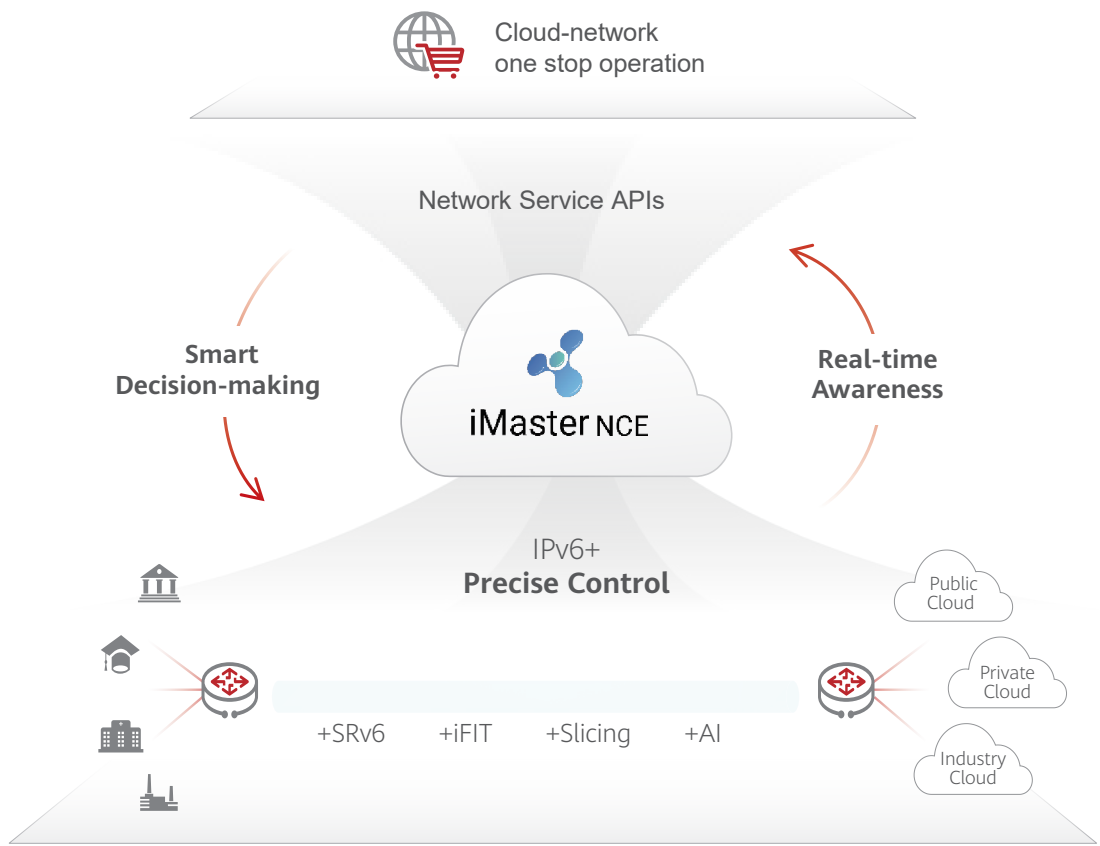


图3-5 IntelligentWAN

方案价值

1. 算路网元，一连可视减少50%集成复杂度：

网络数字地图实时呈现时延、带宽利用率等多维指标，同时通过“15+”因子的组合算路以及调优能力，实现对网络流量的全生命周期自动化调度。

2. Congestion Free，使能故障“0-1-3-5”：

面向故障的“预防-识别-定界&定位-恢复”的“0-1-3-5”体系化闭环方案，打造自优化、自修复的最佳体验IP承载网。

3. 网络开放可编程，3个“1”加速业务上线：

以YANG模型驱动为基础，提供端到端的开

放可编程能力：设备驱动可编程、网络业务可编程、开放设备和业务北向接口，实现“1”星期原型，“1”个月测试，“1”季度商用，助力运营商运维人员向IT转型。

关键UC

1. 网络数字地图：基于BGP-LS/Telemetry等技术实现网络时延，带宽，利用率等指标拓扑实时可视，“导航地图式”路径计算和一站式发放，配置简化高效，基于SLA保障的网络路径自动优化，持续保障用户体验。

2. 网络隐患分析：基于大数据 + 三层AI架构（设备/网络/云端），通过设备AI内置芯片

实时感知，网络AI模型心里本地知识库以及云端AI训练平台联邦学习，打造“以隐患为中心”的预测性运维，提供配置核查，设备KPI检测，设备资源预测，强弱光分析，同路由影响分析，风险链路识别特性。

3. VPN业务保障：基于IFIT随流检测技术实现租户级业务SLA可视，提供差异化专线服务。同时通过VPN业务拓扑还原+KPI关联分析，分钟级故障定界，快速识别故障点，实现故障精准派单。

4. 移动承载拥塞分析：看基站：全网/区域基站质量趋势可视，E2E拓扑还原+SLA关联分析，识别拥塞位置，并提供典型根因分析及优化建议。看承载网：主动识别拥塞瓶颈，指导规划。四大类典型拥塞分析+承载网KPI关联基站影响分析，主动识别承载网瓶颈点，为网络规划提供依据。

5. 网络切片：通过10k级切片精细化规划，一键式切片自动化部署，全网切片可视化管理，切片按需一键式无损扩缩容，实现网

络切片全生命周期自动化管理，给5G和云时代提供差异化SLA保障。

6. 智能故障管理：通过华为海量的运维数据在线训练叠加智能算法，实现从面向海量的警的运维到面向故障的“一故障一工单”运维，实现告警压缩率99%以上，极大提升了派单准确率，提升运维效率以及用户体验。

7. AOC (Agile Open Container)：用户自行定义业务YANG模型，通过积木式的极简编程，完成新业务快速开发上线，实现“一周原型、一月测试、一季度商用”的敏捷开发目标。同时，基于YANG模型驱动自动生成北向标准化API和南向设备配置脚本，实现业务分钟级端到端的全自动化发放。



3.2.4 IntelligentCampusNetwork 企业园区自动驾驶网络

华为园区自动驾驶网络方案，核心部件包括CloudEngine园区交换机、AirEngine无线AP接入点设备与iMaster NCE-Campus智能管控系

统，实现园区网络的管理、控制和分析的全融合管理，并在业界率先实现L3自动驾驶网络能力，实现园区网络的全生命周期的自动化管理以及智能运维。

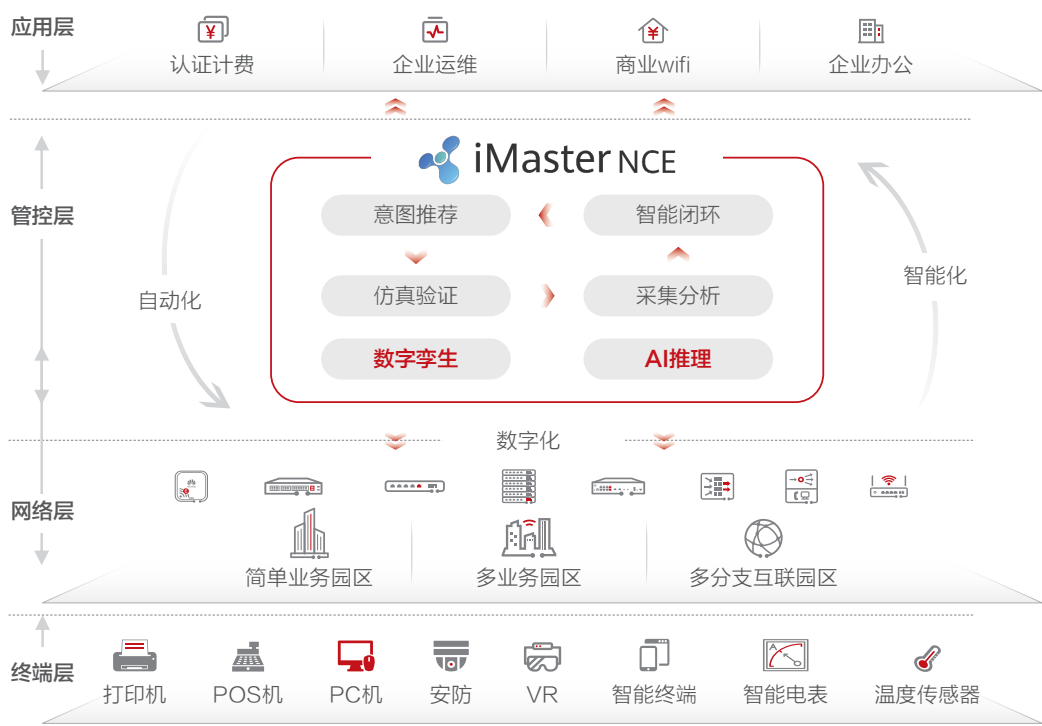


图3-6 IntelligentCampusNetwork

方案价值

- 1. **零等待：**网络管理，从经验依赖到自动管理的转变，实现零等待网络开通，降低85% Opex。
- 2. **零风险：**终端接入策略控制，从人工管理到自动控制的转变，实现零风险的秒级无感接入。
- 3. **零中断：**网络运维，从被动响应到自动优化的转变，实现零中断分钟级自动优化网络。

关键UC

- 1. **意图开局：**基于场景知识库和协同推荐算法，实现业务场景与网络模型精准映射和个性化推荐结合，为业务意图推荐最佳网络方案，降低网络开通对人员依赖，实现分钟级网络开通。

- 2. **智能校验：**通过仿真校验，实现连通性验证接入仿真，提高验证 速度，缩短验证时间，解决传统方案中变更10分钟，验证4小时，验证不充分被重复投诉的问题，实现网络的零差错变更。
- 3. **业务随行：**通过自然语言所见即所得编排，矩阵式极简管理、结合IP-Group技术跨厂商部署，一次配置策略随身，让用户在全无线园区内随时随地接入网络体验一致。
- 4. **终端智能管理：**基于传统的终端指纹库和创新性应用聚类识别能力，已知类型识别在98%，新型未知识别在95%，精准识别接入网络的终端设备，进而对接入的终端设备分配对应网络，以及仿冒识别，降低人工干预，实现终端零风险无感接入。
- 5. **网络健康360：**提供多维网络健康评估，主动识别200+典型问题，减少85%潜在网络问题。

6. 用户体验360：实现每时刻每用户全旅途体验可视，减少90%用户投诉。

7. 应用保障360：识别1000+主流应用，智能感知应用质量并快速定界定位，定位时间从小时缩短至分钟。
8. 智能调优360：基于历史7天数据，智能分析预测未来AP负载，从而进行自动化的智能调优，提升整网性能，业界独家AI漫游，通过强化学习算法持续训练终端画像，基于不同终端类型差异化引导漫游，漫游成功率提升70%，漫游中速率提升30%。



3.2.5 IntelligentFabric 数据中心自动驾驶网络

华为数据中心自动驾驶网络解决方案，核心部件包括CloudEngine数据中心交换机与iMaster NCE自动驾驶网络管理与控制系统，实现计算、存储、业务网络三网全IP架构，支持IPv6，并在业界率先实现L3.5自动驾驶网络能力，支持数据中心网络全生命周期自动化与全网智能运维，OPEX可降低30%，使能企业智能化升级。

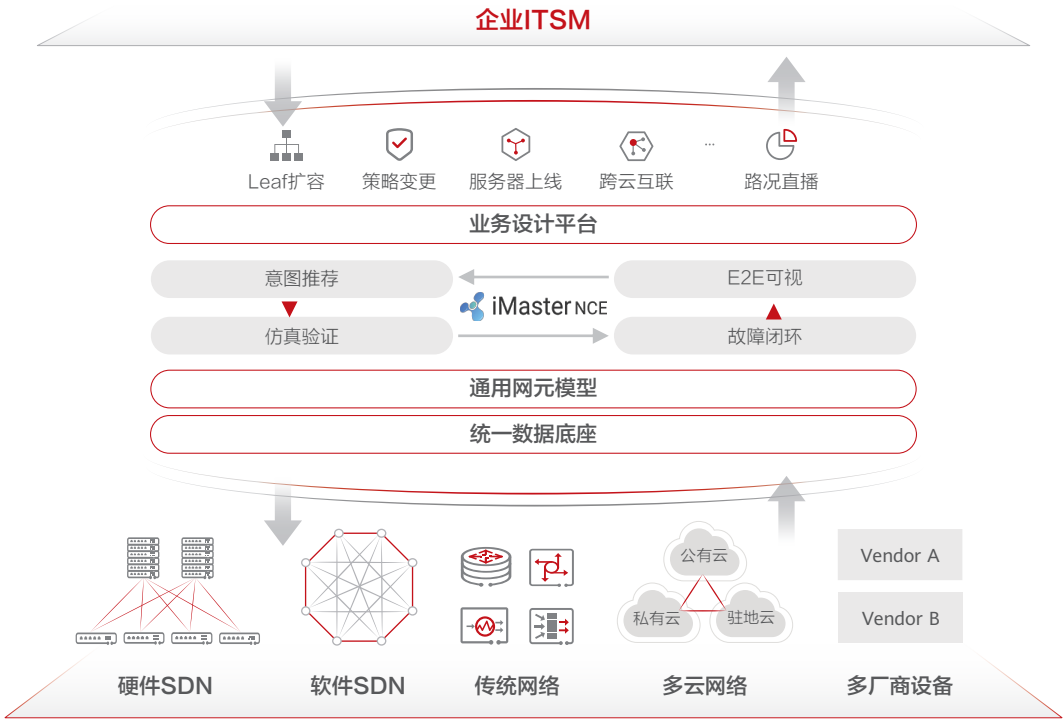


图3-7 IntelligentFabric

方案价值

- 1. **零等待**：助力业务部署和上线时间缩短到分钟级，大幅缩减运作人员工作量，提升运维人员工作效率
- 2. **零失误**：评估网络变更风险，建立预防由于人因引发故障的保障机制，杜绝人为操作差错，提升安全生产率
- 3. **零中断**：预测网络趋势，预防网络质量劣化和故障，最大减少问题发生。一旦发生故障，极速定界定位和精确排障。

关键UC

- 1. **意图驱动规划部署**：iMaster NCE与客户业务结合，通过对客户业务和网络意图的理解和翻译，自动选择最佳网络部署方案，使能业务端到端自动化发，实现意图的全生命周期自动化闭环。
- 2. **网络变更仿真评估**：以现网设备配置、拓扑和资源信息作为输入，通过网络建模和

形式化验证算法，评估变更风险，彻底解决设计逻辑漏洞、配置误操作等人为问题，保障配置错误不入网。

- 3. **智能运维1-3-5**：通过Telemetry技术实现对网络性能数据收集，基于业务体验全面评估网络健康度，1分钟主动识别60+隐患和风险、90+典型故障；基于知识图谱和华为独有AI算法进行故障聚合溯源，3分钟定位根因；再基于智能决策系统，分析故障影响并推荐优选故障处理方案，实现典型故障5分钟快速恢复。
- 4. **使能产业生态**：能够无缝嵌入企业运维系统，成为运维流程的一个关键环节，助力数据中心全网实现自动化闭环。iMaster NCE北向通过Runbook业务设计器灵活编排业务流，与客户运维系统无缝对接；南向通过AOC开放可编程平台实现多厂商设备快速适配，从而实现多厂商多云异构网络分钟级全自动化开通；同时，开放全量网络数据服务，快速与业务性能监控系统集成，实现业务与网络一体化运维。



3.2.6 IntelligentFAN 全光接入自动驾驶网络

华为全光接入自动驾驶网络解决方案核心部件包括全光接入网络（FTTR/智能ONT/DQ ODN、智能OLT）和iMaster NCE智能管控系统。通过对全光接入网络进行数字化建模以及

引入云化、大数据、AI技术，“点亮”ODN及家庭网络，并提供全生命周期的智能化运维，满足全光接入的差异化应用场景和高品质的宽带体验需求，最终实现对全光接入网络的单域自治。解决方案架构图如下：



图3-8 IntelligentFAN

方案价值

- 1. **开通“零等待”**：DQ ODN、FTTR一站式规划，资源准、业务一次性快速成功开通。
- 2. **业务“零故障”**：智能化运维，PON+Wi-Fi故障及体验质差自识别、自诊断、自优化，宽带体验可承诺。
- 3. **服务“零接触”**：终端/组网/应用/体验瓶颈四维洞察，用户自助管理家庭网络，使能精准营销、辅助运营。

关键UC

- 1. **ODN资源可视化管理**：基于图像识别与DQ

ODN的光虹膜解决方案，自动分析、还原ODN拓扑，实现ODN网络可视可管、资源准。

- 2. **ODN远程验收及精准定位**：结合OLT智能单板及光虹膜解决方案，在iMaster NCE上，就可以自动、远程进行ODN网络验收及实现光路米级定位。

- 3. **家庭Wi-Fi质差自动识别**：家庭Wi-Fi是家宽问题的主要来源之一，全光接入自动驾驶网络解决方案，依托OLT的智能单板、能够高精度地抓取无失真的流量特征，同时通过独创的Wi-Fi体验智能分析算法，全面识别全网用户的Wi-Fi弱覆盖和干扰问题，真正让Wi-Fi体验问题看得清。

4. 质差根因定位：首创分段测速能力，对质差问题进行“终端~Wi-Fi路由器~光猫~ODN~OLT~承载网”五段精准定界。并通过自研的时空关联智能诊断算法，快速找出Wi-Fi网络拥塞、百兆网线、光路弱光在内的30多种家宽体验质差根因，从而大幅节省运维工程师上门诊断、排查的工作量。

5. 家宽潜客精准识别：通过对“应用、体验、网络、瓶颈”的四维洞察，识别用户的潜在诉求，生成潜客标签，助力识别宽带升套、Wi-Fi组网、场景化潜客诉求，大幅提升营销成功率，帮助家宽高质量发展。

6. FTTR一站式验收：通过方案自带的FTTR装维APP，可以一站式、对包括组网、速率、时延、漫游在内的10多类宽带关键性能指标进行验收，同时自动生成验收报告，保障组网标准化，避免二次上门。
7. FTTR 主动保障：针对FTTR“光+Wi-Fi”的全新组网，我们做出了两大创新，一是能够远程管理全网拓扑和设备状态，同时提供7*24小时回放功能，这类似于给网络配备了“CT体检”，捕捉网络劣化的瞬间，从而能解决疑难问题。二是通过测速保障方案，运维人员可以远程一键测试从终端、到从FTTR、主FTTR、互联网各段的网速，识别带宽不达标的隐患，以便在用户感知到网络问题之前进行处理，做到时刻保障用户体验。



3.2.7 IntelligentOTN 全光传送自动驾驶网络解决方案

华为全光传送自动驾驶网络解决方案核心部件包括全光传送网络（OXC/OTN/...）和iMaster NCE智能管控系统。通过对全光网络进行数字化建模以及引入云化、大数据、AI技术，点亮纤缆“哑资源”，构建一个智能、绿色、高可

靠的全光底座，并为千行百业提供高品质的专线业务体验。



图3-9 IntelligentOTN

方案价值

- 1. “点亮”哑资源：光纤健康状态可视、可预测、可定位，光纤同缆风险智能识别，光缆网GIS化呈现，解决光缆网哑资源管理难题。
- 2. 智能极简运维：覆盖规、建、维、优、营全生命周期，变被动为主动运维，打造5个9的网络可靠性，为千行百业提供超宽、低时延、高可靠的运力传输
- 3. 智能品质体验：售前业务SLA可视可管，售中专线业务自动发放，售后业务SLA保障，使能业务SLA可承诺。

关键UC

- 1. 光网资源保障：通过对光网资源数据、规

划设计数据的统一管理和分析，实现对网络资源的统一可视、分析预测、在线资源核查以及扩容规划，协助客户及时、直观了解资源使用情况，提前识别网络资源瓶颈、精准扩容，实现资源“零等待”及缩短业务TTM时长。

- 2. 光网健康保障：针对波分网络的OTS光纤和OCh通道性能劣化类故障，结合设备侧的秒级感知及边缘推理能力，进行光网亚健康健康智能预测分析，实现对光纤及OCh波道健康状态的可视、可预测、可定位，化被动运维为主动运维，减少光路中断隐患。
- 3. 可用率保障：自动评估分析光纤、业务可用率，识别现网可用率隐患及瓶颈，并给出优化建议，支撑可用率提升。

- 4. 光纤同缆智能识别：基于光网元内置的智

能传感器，实时感知及分析光纤瑞利散射效应、布里渊散射效应、拉曼散射效应等产生的各种性能数据变化，自动识别工作、保护光纤同缆风险，以便提前进行业务整改，消除事故隐患。

5. 智能Incident管理：通过告警压缩、告警聚合、根因分析三级智能告警压缩，大幅提升故障处理效率，缩短故障发现、诊断、恢复时长，使能“一故障一工单”。

6. 时延地图：提供微秒级、实时动态的网络级时延地图，将过去无法感知及准确度量的专线时延变成可感知、可精准度量，就像地图导航一样，运营商市场人员能通过时延地图来评估站点间时延、带宽是否满足租户需求，以便实现网络资源的快速匹配及专线业务差异化SLA的灵活销售。

7. 敏捷业务发放：支持多场景（Client/EOO/EOS/SDH/MPLS-TP），选择源、宿，自动完成业务配置，并通过ACTN 标准APIs全面开放网络能力，简化与OSS/BSS系统的集成，快速融入运营商专线业务生产流程，实现专线业务自动化开通及自助服务水平的提升。

8. 专线业务SLA：实时监控专线业务SLA（时延，带宽、可用率...），越限主动预警，以便提前处理、消除潜在违约风险。



3.2.8 IntelligentServiceEngine 数智化运营运维方案

华为数智化运营运维（IntelligentServiceEngine）面向运营商实现从业务目标到各网络域目标的闭环。其由领域知识引擎、商业智能引擎、超自动化引擎、领域应用开发引擎、网络与环境数字孪生等关键模块组成，助力运营商打造体系化、场景化的数字化转型之旅。针对打造高效运维、成就极致体验、使能商业敏捷三大典型场景，华为基于与全球100多个运营商的数

智化转型实践，推出了AUTIN、SmartCare、ADO三大数智化运营运维方案。（图3-10 IntelligentServiceEngine）

AUTIN智能运维

随着5G网络的商用，大规模复杂网络以及多样化新业务，运营商面临着成本、效率、质量、以及人才转型的多重运维挑战。受COVID-19疫情的影响，运营商运维数智化转型进程纷纷加速，已然成为行业的趋势。

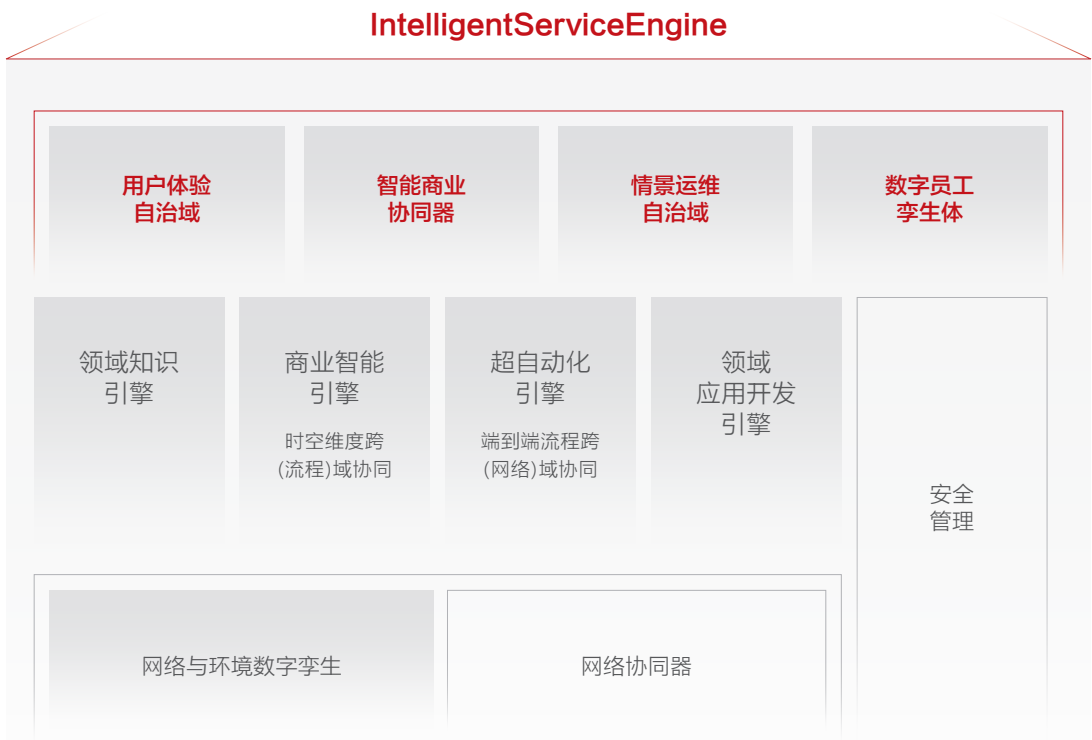


图3-10 IntelligentServiceEngine

华为智能运维解决方案AUTIN，面向运维场景的提质、增效、加速人才转型三个关键诉求，助力运营商加速迈向三“零“的运维数智化转型。

首先，面向提质：在5GC场景下，重大故障影响范围大、定界定位时间长。华为AUTIN，实现面向业务影响事件的智能预测，风险可提前预测，以及分钟级的机器自动诊断，重大故障MTTR缩短，成效显著；

其次，面向增效：NOC网管中心日常70%以上为重复作业，效率低且依赖专家个人经验；华为AUTIN，帮助NOC实现监维一体自动化、诊断智能辅助，以及现场作业通过手机数字化辅助自助闭环，可实现故障自动诊断，故障自动闭环，降低每网元工单量，运维效率大幅提升；

第三，面向运维人才转型：运维作业都自动化

以后，传统的运维人才怎么办？华为开放平台和丰富的运维知识资产，提供可编排的低代码运维应用开发平台，降低运维人才转型门槛，提供体系化的人才转型伴飞和赋能服务，实现运维应用开发周期从月降到周，加速运维人才转型。

通过持续的专家经验封装，以及华为持续迭代的领域自动化和数智化引擎，让智能化运维平台越用越自动化，越用越智能。

SmartCare极致体验

为客户提供高质量的用户体验是大部分运营商发展战略的核心，以打造领先的场景化极致体验为目标，运营商可以通过构建性能领先的网络，实现商业成功和领先。

场景一：最佳VoLTE体验。当前运营商都面临

2/3G退网和建设一张精品VoLTE语音打底网的诉求。华为SmartCare解决方案通过多域多接口的数据关联分析和切片能力，实现了VoLTE体验问题精准定位，在用户投诉前就进行主动保障，避免大规模投诉上升。通过部署VoLTE体验保障方案，运营商可实现语音投诉大幅下降，同时通过融合数据平台，关联无线、核心网、终端和开户等信息，支撑客户VoLTE用户迁移。

场景二：最佳5G体验。快速跨越5G用户和流量的裂谷，是运营商实现5G商业正循环的关键。我们将以往基于覆盖的算法改进为最优体验的算法，让更多的用户驻留在5G上，并始终保持最好的速率体验。SmartCare帮助运营商大幅提升驻留比；通过融合数据平台，结合“机、网、套”的洞察，帮助运营商精准发展5G用户，提升5G分流比。

场景三：最佳体验排名。网络体验排名是运营商树立品牌的关键。我们改进了传统低效的路测优化，关联第三方众测数据进行分析，通过端管云协同调优，将网络资源发挥到极致。SmartCare帮助运营商实现5G网络排名领先，实现市场份额提升。

华为SmartCare的融合数据平台高效地融合分析多域数据，并辅以内置的智能算子、开箱即用

的智能预测模型、以及丰富的领域专家知识模型，帮助运营商通过构建体验数字孪生，实现以数据驱动的高效网络运营，从而达到网络性能领先，最终实现商业领先。

ADO商业使能

ADO品质家宽解决方案，深入感知用户级业务体验指标，对质差用户、质差原因、潜客等进行业务建模，提供上网质量分析、单用户质量查询、潜客识别及VIP体验保障等功能特性，支撑质差整治闭环和精准营销。

家宽极致体验，从用户投诉、用户体验、用户行为、上网质量等方面构建家宽用户体验模型，建立服管标签，质差预测准确率达80%，实现主动运维，降低投诉率、提升家庭用户体验。

网格化精准运营，针对个人、家庭和政企业务需求，基于网格化的业务洞察目标对网络的承载能力进行分析和预测，匹配现网的资源能力，做出扩容计划，提前做好网络规划；基于网格进行质差识别和整治，实现网格化精准业务发展。



3.2.9 自动驾驶网络演进路径及办法

自智网络演进将是一个长期的演进过程，在2019年的TMF AN白皮书第一版中，就明确给

出的从人工运维L0到完全自治L5的分阶段演进指导思路。

自智网络等级	L0：人工运维	L1：辅助运维	L2：部分自智网络	L3：条件自智网络	L4：高度自智网络	L5：完全自智网络
执行	p	P/S	S	S	S	S
感知	p	P/S	P/S	S	S	S
分析	p	P	P/S	P/S	S	S
决策	p	P	P	P/S	S	S
意图/体验	p	P	P	P	P/S	S
适用性	N/A	选择场景				所有场景
[P] 人（手工） [S] 系统（自主）						

表1-1 自智网络分级

L0 – 人工运维：系统提供辅助监控能力，所有动态任务都需要人工执行。

L1 – 辅助运维：系统可根据预先配置，执行特定的重复性子任务，以提高执行效率。

L2 – 部分自智网络：在特定外部环境中，系统可以根据预定义的规则/策略，面向特定单元使能自动化闭环运维。

L3 – 条件自智网络：在L2的基础上，系统可以实时感知环境变化，并在 特定网络专业中进行自优化和自调整，以适应外部环境。

L4 – 高度自智网络：在L3的基础上，系统可在更复杂的跨多网络领域环境中，实现业务和客户体验驱动网络的预测式或主动式的闭环管理，从 而进行分析并做出决策。

L5 – 完全自智网络：这个等级是电信网络演进的终极目标，系统具备面向多业务、多领域、全生命周期的全场景闭环自治能力。

为了明确商用价值和衡量客户体验，在TMF的自智网络等级定义的基础上，华为自动驾驶解决方案进一步给出了各自智等级的愿景目标和达成路标。

零故障	业务无中断	质量有保障	体验超预期
零接触	精准上门	自助服务	智能推荐
零等待	时长可接受	时长可预期	时长可承诺

ANL	L2 2021	L3 2023	L4 2025
自配置	设备自纳管	网络自开通	升级不断服
自修复	故障自识别	故障自诊断	故障自修复
自优化	离线寻优	场景寻优	协同寻优

面向消费者和行业客户，提供零等待、零接触、零故障的创新网络服务。

业务开通和变更时长： 2023年达到L3级的时长可接受，2025年L4目标时长可承诺；

自助服务水平：2023年达到L3级提供基本自助服务，2025年L4目标提供智能推荐服务；

客户体验保障：2023年达到L3级达到质量有保障，2025年L4目标体验超过客户自身预期；

面向网络运维和基础网络设施，打造自配置、自修复、自优化的高质量通信网络。

网络部署和业务开通：2023年达到L3，实现基础网络业务可以自开通，2025年L4目标是网络

设备升级业务不中断；

故障诊断和修复：2023年达到L3，实现大部分故障可以自我发现自我诊断，2025年L4目标是常见故障可以自我修复；

网络性能和质量优化：2023年达到L3，实现基于特定场景的优化，2025年L4目标是实现多手段、多目标的协同优化。

四要素推进产业稳步前进

在明确整体演进路径和目标后，华为结合近两年与领先运营商在自智网络的探索，总结出一下四步推进办法：

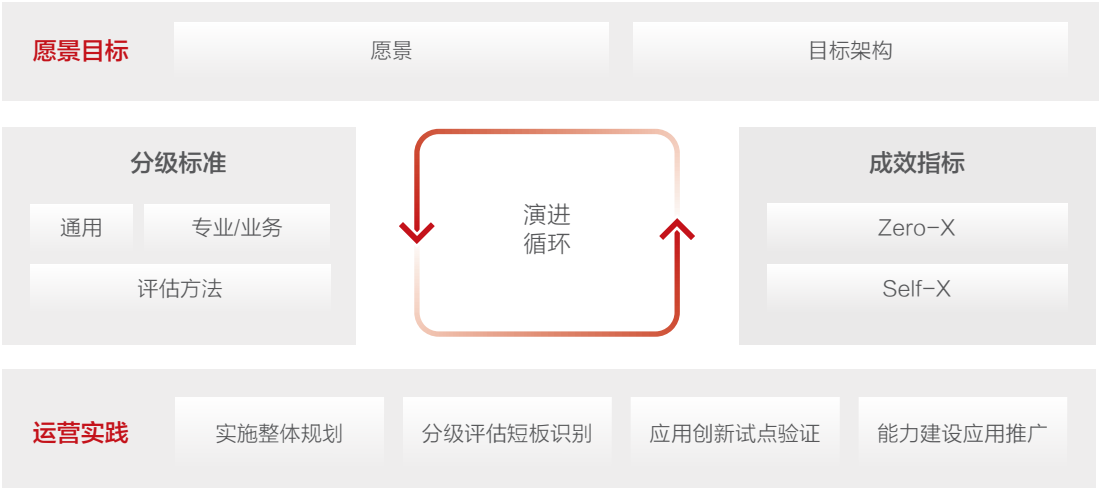


图3-11 自智网络演进办法

1. **目标架构：**基于TMF AN目标架构，结合运营商自身业务战略和目标，制定匹配自己的中长期的目标架构，从上而下牵引自智网络建设方向。

2. **分级标准：**在目标架构下，制定通用分
- 级、专业/业务分级标准和评估方法，全面客观衡量当前自智网络等级，并以此为基础线识别短板，制定改进策略，开展技术研究和应用创新，逐步提升自智网络等级。

3. **成效指标：**明确各自智网络等级的商业价

值和业务成效，显性化量化呈现自智网络演进的成效和价值，确保自智能能力建设与企业战略和业务发展的保持一致。成效指标与分级标准二者相辅相成，共同牵引自智网络愿景达成。

板识别、试点验证，能力建设、应用推广等步骤，不断运营实践、总结反哺，循环迭代，逐步向L5演进。

4. 运营实践：通过整体规划、分级评估、短



04

展望及倡议





20多年前，IP技术重构了通信网络转发架构。10多年前，云技术深刻影响了网络管理控制架构。未来10年，AI技术将嵌入网络各层架构，推动网络向高等智能体进化。通过网元状态数据与AI结合，实现算法创新，逼近理论极限，将“不确定”变为“确定性”，提升网络性能；通过网络运维数据与AI结合、大数据分析和闭环优化，全面提升网络自动化水平和全场景服务能力；通过边缘智能，感知千行百业多样性的业务需求，提升业务体验。

未来10年，通信网络既充满想象空间，也存在很多不确定性，在迈向高阶自智网络的道路上，需要标准和产业组织、运营商、供应商、科研院所、行业管理部门等全产业链共同努力，共同探索。在此我们倡议：

- 1. 聚焦“创新增收、提质增效”两大目标，持续开展应用创新：**建议全产业链伙伴，各展其能，聚焦“创新增收、提质增效”两大商业目标，面向各专业网络规建维优营

生产场景，面向5G to B、企业上云、家庭宽带等高价值场景，持续开展应用创新，为产业贡献丰富的、成熟的自智网络商用解决方案。

- 2. 鼓励运营商加速L3的规模部署，以商业正循环促进产业繁荣：**TM Forum最新调研报告显示，37.1%的被访者认为将在未来3年内达到L3级自智网络并将带来显著的商业价值，建议运营商加快引入、实验自智网络的新技术、新产品、新方案，成熟之后加快复制和推广，并加快推动自智能力提升想商业价值和运营成效的转化，把握行业数字化转型新机遇，并以商业正循环促进产业繁荣。

- 3. 建议构建产业协作平台，推动标准共建互认、产学研用高效协同：**建议多标准组织进一步深化合作，通过顶层设计和高效沟通，加快各个专业领域标准之间的协同，建立标准共建互认机制；同时加快产业标

准向商业和技术实现方案的转化，实现产学研用高效协同，推动上下游产业伙伴联合创新。

4. 共同定义L4目标画像，提前布局基础理论研究和攻关：自智网络从L3到L4将是一个巨大的飞跃，价值极高，同时挑战极大，建议产业各方聚焦“商业和业务需求、目标架构、关键技术和核心能力、演进路径、产品和方案创新”等方面，共同定义L4目标画像，持续提升复杂场景的精确实时感知、基于数字孪生的实时仿真、

数据驱动用户体验分析决策 等能力，支撑L4自智网络目标达成。

自智网络的规模部署，离不开全行业的紧密合作，华为愿与产业伙伴携手共进，持续加大基础理论和技术研究的投入，发挥自身在ICT领域的技术优势积极贡献标准、技术和商业创新，与产业伙伴共推网络高质量发展，共同迈向智能世界。



华为技术有限公司
深圳市龙岗区坂田华为基地
电话: (0755) 28780808
邮编: 518129
www.huawei.com



商标声明
HUAWEI 是华为技术有限公司的商标或者注册商标，在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明
本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 2022。保留一切权利。
非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。