

“IPv6+” 技术白皮书 (2024)



版权归推进IPv6规模部署和应用专家委员会所有。保留一切权利。

本报告中所涉及的图片、表格及文字内容的版权归IPv6规模部署和应用专家委员会所有。

其中部分数据在标注有来源的情况下，版权归属原数据公司所有。

本报告取得的部分数据来源于公开资料，如有涉及版权纠纷问题，请及时联络我们。

任何机构、个人在引用本白皮书的数据或转载白皮书相关内容时，需注明来源。

推进IPv6规模部署和应用专家委员会

DIRECTORY

目录

1 发展背景	01
2 “IPv6+” 技术体系	02
2.1 概念	
2.2 内涵	
2.3 外延	
2.4 “IPv6+” 技术演进	
3 “IPv6+” 产业活动	04
3.1 国内产业活动	
3.2 国外产业活动	
4 “IPv6+” 标准进展	05
5 “IPv6+” 部署进展	08
5.1 运营商	
5.2 政府	
5.3 金融	
5.4 能源	
5.5 交通	
5.6 制造	
6 “IPv6+” 发展展望	13

发展背景

互联网是关系国民经济和社会发展的重大信息基础设施，深刻影响全球经济格局、利益格局和安全格局。IPv6（Internet Protocol Version 6，互联网协议第六版）是全球公认的互联网升级和演进方案。加快推进IPv6规模部署，发展基于IPv6的下一代互联网，是我国新一代信息基础设施升级的必然要求，有助于互联网与实体经济深度融合，支撑数字经济高质量发展，对于提升国家网络空间综合竞争力和加快建设网络强国具有重要意义。

党中央、国务院高度重视IPv6下一代互联网的发展。2017年11月中央办公厅、国务院办公厅向社会公开印发实施《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》，为加快推进IPv6规模部署工作提供了方向指引和根本遵循。中央网信办、国家发展改革委和工业和信息化部等部委还指导成立了“推进 IPv6规模部署和应用专家委员会”，务实开展了一系列重点推进IPv6规模部署的工作。经过多年的不懈努力，我国IPv6产业发展环境已日趋成熟，为互联网的持续升级和演进创造了条件。

IPv6 海量的地址空间、端到端透明性、灵活可扩展性、移动性支持、内嵌安全等优势，为简化网络结构、优化用户体验和提升网络智能化奠定了良好的基础，并与5G（5th Generation，第五代移动通信系统）、云网融合、工业互联网、物联网等新场景新应用对承载网络的新需求完美契合，为进一步开展网络和业务创新提供了广阔的空间。因此，加快IPv6下一代互联网的升级，发展增强型的“IPv6+”网络，通过IPv6规模商用部署和“IPv6+”创新实现网络能力提升，可以驱动网络和业务融合发展，赋能全行业数字化转型，推进全面建设数字经济、数字社会和数字政府的“新基座”。

2 - “IPv6+” 技术体系

2.1 概念

“IPv6+” 是IPv6下一代互联网的升级，是面向5G和云时代的IP网络创新体系，通过IPv6技术与应用创新，推动网络能力不断提升和产业生态持续升级，满足更加灵活高效的组网与业务部署需求，提供更加智能可靠的运维与安全保障，带来更加优异的网络性能与用户体验。

2.2 内涵

“IPv6+” 的核心内涵包括几方面：

一是以SRv6（Segment Routing over IPv6，IPv6分段路由）分段路由、网络编程、网络切片、确定性转发、随流检测、新型组播、应用感知、算力感知、MTN/fgMTN等为代表的网络协议技术体系的创新；

二是以实时健康感知、网络故障主动发现、链路故障智能感知、故障快速识别、网络智能自愈、系统自动调优等为代表的网络智能运维体系的创新；

三是以5G toB、云间互联、用户上云、网安联动等为代表的网络商业模式的创新。

2.3 外延

IPv6不是下一代互联网的全部，而是下一代互联网创新的起点和平台。“IPv6+” 创新体系将推动产业的持续升级，主要体现在两方面：

一、由万物互联向万物智联的升级

IPv6海量地址构建了万物互联的网络基础，“IPv6+” 全面升级了IPv6技术体系，推动IPv6走向万物智联，满足多元化应用承载需求，释放产业效能。

二、由消费互联网向产业互联网的升级

IPv6规模部署构筑了消费互联网基座，面向5G和云时代千行百业的数字化转型，“IPv6+” 全面升级各行业的网络基础设施，赋能行业数字化、网络化和智能化转型。

面向未来，网络需要满足可持续发展目标，助力解决社会、经济和环境三大发展问题。“IPv6+” 是数字化时代的“基石”和“底座”，是向未来网络演进的必经阶段，通过不断提升网络服务能力，全面支撑人类社会的可持续发展。

2.4 “IPv6+” 技术演进

千行百业数字化转型的进程正在加速，根据行业数字化的推进节奏和业务需求，“IPv6+” 技术演进可以分为三个阶段。

“IPv6+” 1.0：

通过协议技术创新，构建“IPv6+” 网络开放可编程能力，重点通过发展SRv6实现对传统MPLS（Multiprotocol Label Switching，多协议标记交换）网络基础特性（VPN（Virtual Private Network，虚拟专用网）、TE（Traffic Engineering，流量工程）和FRR（Fast Reroute，快速重路由）等）的替代，提供业务快速发放与路径灵活控制，利用SRv6技术的优势来简化IPv6网络的业务部署。

“IPv6+” 2.0：

在协议持续创新的同时加入智能运维创新，全面提供用户体验保障。通过网络切片、随流检测、新型组播、MTN/fgMTN等技术，带来网络性能提升、业务体验可视和体验最优。重点是面向5G和云的新应用需求，比如面向5G 2B的行业使能、Cloud VR（Virtual Reality，虚拟现实）/AR（Augmented Reality，增强现实）、工业互联网、以及基于数据/计算密集型业务，如大数据、高性能计算、人工智能计算等。

“IPv6+” 3.0：

在协议创新的基础上结合商业模式创新，拓展网络边界，加强网络与应用和算力资源的协同，进行应用感知网络（APN）和算力感知网络的探索。一方面，随着新应用不断涌现和对网络的多元化需求，需要在应用和网络之间进行更多的信息交互，实现网络对应用的感知和精细化服务保障。另一方面，随着云和网的进一步融合，网络需要支持开放的多云服务化架构，实现云网协同和全局优化调度。IPv6无疑是最具优势的媒介，网络与云、应用的深度融合将给未来的千行百业数字化转型带来重要变化。

3 - “IPv6+” 产业活动

3.1 国内产业活动

2021年，为进一步促进IPv6规模部署工作，激发IPv6应用生态，推进IPv6规模部署和应用专家委员会成立了“IPv6+创新推进组”，旨在整合我国IPv6相关产业链（产、学、研、用等）力量，开展“IPv6+”网络新技术新应用的试验验证与应用示范，不断完善IPv6技术标准体系，促进产业协同发展。截至2024年中，陆续启动了“IPv6+” 1.0 Ready、“IPv6+” 2.0 Advanced技术验证和评估工作，中国联通、中国移动、华为、中兴、新华三、锐捷等主要网络运营者和设备制造商积极参与，已完成105项技术验证和评估工作，覆盖网络设备、安全设备、电信网络、行业网络、解决方案等多个领域。

为促进IPv6与各行各业融合发展，树立标杆应用、激发产业创新、促进人才培养，繁荣产业生态，在工业和信息化部、中央网信办、教育部的业务指导下，中国信息通信研究院联合地方政府于2022年7月至2023年4月期间举办了首届IPv6技术应用创新大赛，本次大赛累计收到覆盖信息基础设施、政务、行业、安全、民生、科教以及应用和终端等七大领域近1500个IPv6/“IPv6+”创新项目，31省、自治区和直辖市均有创新项目参与，充分反映了我国“IPv6+”技术创新和行业应用正在加速发展。

2023年7月3日至4日，由中央网信办、教育部、浙江省人民政府指导，推进IPv6规模部署和应用专家委员会联合浙江省委网信办、金华市人民政府主办，以“深耕广拓、汇智赋能”为主题的第二届中国IPv6创新发展大会在浙江省金华市举行。来自政府部门、中央企业、基础电信企业、互联网企业、科研机构、金融机构等800余名嘉宾参加了大会。

3.2 国外产业活动

为了进一步凝聚产业共识、推动SRv6创新应用，产业界连续多年举办SRv6相关产业活动。

- 2024年4月9日，第25届MPLS SD & AI Net世界大会在法国巴黎成功举办，SRv6成为了本次大会的主题。来自产业界的设备供应商、运营商、第三方独立测试机构、标准组织、分析师等多位在SRv6行业深耕的专家，围绕SRv6技术标准、产业合作、商用进展等方面进行了专题演讲，分享了对于SRv6的技术发展现状、商用部署以及对未来发展趋势的展望。
- 截至2024年中，EANTC已经成功地进行了多次SRv6多厂商互通测试。测试范围包括基本SRv6 VPN业务场景、SRv6可靠性、SRv6 Ping/Traceroute、SRv6 Policy异厂商互通能力等，测试结果符合预期且充分证明了SRv6的商用部署能力和创新潜力。

4 - “IPv6+” 标准进展

“IPv6+”技术体系包括基于IPv6扩展和增强的多个创新技术方案，在标准上对应一个协议族，在各标准组织形成了有机结合的协议标准体系。

“IPv6+”相关的主要标准组织包括IETF（Internet Engineering Task Force，因特网工程任务组）、IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers，电气电子工程师学会）、ITU-T（ITU Telecommunication Standardization Sector，国际电信联盟电信标准化部门）、ETSI（European Telecommunications Standards Institute，欧洲电信标准协会）和CCSA（China Communications Standards Association，中国通信标准化协会）。“IPv6+”创新的标准技术规范目前正在IETF、IEEE和CCSA同步展开。由于我国在5G和云等新兴领域的先行先试，促进了国内“IPv6+”相关标准的快速发展，也为IETF和IEEE国际标准研制贡献了重要力量。

经过持续发展，“IPv6+”的IETF&ITU-T国际标准进展如下：

- “IPv6+” 1.0：**SRv6的标准已经成熟，架构和绝大部分协议扩展都已成为RFC。
- “IPv6+” 2.0：**用例、需求、框架已经成为工作组文稿，产业价值达成一致。网络切片、随流检测、MTN/fgMTN等数据面草案已经成熟，成为工作组文稿或RFC。SRv6压缩已经达成业界一致。
- “IPv6+” 3.0：**APN的需求、框架、技术方案已经有完整的标准草案布局，基于算网融合场景成立了CATS工作组，需求和框架草案已经被工作组接纳。

“IPv6+” 涵盖的技术标准规范进展如表1所示。

阶 段	标准领域	标准文稿
“IPv6+” 1.0	SRv6	RFC 8402（架构）
		RFC 8986（架构）
		RFC 8754（数据面）
		RFC 9252（控制面）
		RFC 9256（架构）
		RFC 9259（OAM）
		RFC 9352（控制面）
		RFC 9513（控制面）
		RFC 9514（控制面）
		draft-ietf-pce-segment-routing-ipv6（控制面）
		draft-ietf-idr-sr-policy-safi（控制面）
		draft-ietf-spring-srv6-yang（管理面）

阶 段	标准领域	标准文稿
“IPv6+” 2.0	网络切片	RFC 9543 （通用架构） draft-ietf-teas-enhanced-vpn （实现架构） draft-ietf-teas-nrp-scalability （扩展性） draft-ietf-spring-sr-for-enhanced-vpn （数据面） draft-ietf-6man-enhanced-vpn-vtn-id （数据面） draft-ietf-lsr-isis-sr-vtn-mt （控制面） draft-ietf-idr-bgpls-sr-vtn-mt （控制面） draft-ietf-idr-sr-policy-nrp （控制面） draft-ietf-idr-flowspec-network-slice-ts （控制面） draft-ietf-teas-ietf-network-slice-nbi-yang （管理面） draft-ietf-teas-nrp-yang （管理面） draft-ietf-teas-5g-network-slice-application （应用）
	随流检测	RFC 9342 （架构） RFC 9341 （数据面） RFC 9343 （数据面） draft-ietf-idr-sr-policy-ifit （控制面） draft-ietf-pce-pcep-ifit （控制面） draft-ietf-idr-bgp-ifit-capabilities （控制面） draft-ietf-netconf-distributed-notif （管理面） draft-ietf-netconf-udp-notif （管理面） draft-ietf-ippm-alt-mark-deployment （部署）
	新型组播	RFC 8279 （架构） draft-ietf-bier-ipv6-requirements （需求） draft-xie-bier-ipv6-encapsulation （数据面） draft-xie-bier-ipv6-isis-extension （控制面）
	确定性网络	RFC 8578 （用例） RFC 8655 （架构） draft-ietf-detnet-controller-plane-framework （控制面） draft-ietf-detnet-yang （管理面） draft-ietf-spring-sr-redundancy-protection （保护）
	SRv6压缩	draft-ietf-spring-compression-requirement （需求） draft-ietf-spring-compression-analysis （方案分析） draft-ietf-spring-srv6-srh-compression （数据面）
	SFC	FC 9491 （数据面） draft-ietf-spring-sr-service-programming （数据面） draft-ietf-idr-bgp-ls-sr-service-segments （控制面） draft-li-spring-sr-sfc-control-plane-framework （控制面）
	SDN自动化	RFC 8969 自动化业务和网络管理框架

阶 段	标准领域	标准文稿
“IPv6+” 2.0	MTN	ITU-T G.8300 （需求） ITU-T G.8310 （架构） ITU-T G.8312 （接口） ITU-T G.8321 （设备功能模型） ITU-T G.8331 （保护） ITU-T G.8350 （管理） ITU-T G.sup.60 （OAM） ITU-T G.mtn-sync （同步）
	fgMTN	ITU-T G.8312.20 （总体概览） ITU-T G.808.4 （保护）
“IPv6+” 3.0	APN	draft-li-rtgwg-apn-framework （架构） draft-li-6man-apn-ipv6-encap （数据面） draft-peng-idr-apn-bgp-flowspec （控制面） draft-peng-rtgwg-apn-yang （管理模型）
	CATS	draft-ietf-cats-usecases-requirements （场景需求） draft-ietf-cats-framework （架构） draft-ietf-idr-5g-edge-service-metadata （控制面） draft-lbdd-cats-dp-sr （数据面） draft-du-cats-computing-resource-modeling （管理面）
	SDN AI	RFC 9417 （基于意图的业务保障知识图谱框架） draft-irtf-nmrg-network-digital-twin-arch （网络数字孪生参考架构）

2022年，针对“IPv6+”技术发展的需要，全国通信标准化技术委员会（TC485）立项了“IPv6演进技术要求”系列国家标准，目前已立项标准如下：

- IPv6演进技术要求 第1部分：参考架构
- IPv6演进技术要求 第2部分：基于IPv6段路由(SRv6)的IP承载网络
- IPv6演进技术要求 第3部分：IPv6段路由报文头(SRH)
- IPv6演进技术要求 第4部分：基于IPv6段路由(SRv6)的网络编程
- IPv6演进技术要求 第5部分：基于IPv6段路由(SRv6)的虚拟专用网(VPN)
- IPv6演进技术要求 第6部分：IPv6段路由(SRv6)策略(Policy)
- IPv6演进技术要求 第7部分：基于SRv6的业务链
- IPv6演进技术要求 第8部分：基于IPv6段路由(SRv6)的报文头压缩
- IPv6演进技术要求 第9部分：基于IPv6段路由(SRv6)的网络故障保护
- IPv6演进技术要求 第10部分：支持IP网络切片的增强型虚拟专用网(VPN+)
- IPv6演进技术要求 第11部分：IPv6随流检测技术

5 - “IPv6+” 部署进展

随着“IPv6+”技术和产业的成熟，以SRv6、网络切片、BIERv6新型、IFIT随流检测、MTN/fgMTN等为代表的“IPv6+”技术方案已经过市场的验证，进入加速规模商用阶段。

截至2024年初，全球部署SRv6的网络超过200个，包括运营商网络和企业网络。中国区的“IPv6+”部署进展遥遥领先，从电信运营商看，中国电信、中国移动、中国联通、中国广电均已大规模部署SRv6。从行业看，多个行业和企业网络也规模部署了SRv6，包括政府、金融、能源、交通、教育、医疗、制造等近80张网络。

此外，包括FlexE/信道化子接口、MTN/fgMTN、Slice-ID、SR Policy、亲和属性、Flex-Algo等关键技术在内的IPv6网络切片方案也在全球规模部署，不同运营商和企业网络根据网络自身的结构和业务诉求，选择适合的网络切片技术，为业务提供确定性体验保障，进一步提升了网络服务能力。整体IPv6网络切片部署已超过50个网络。

中国区运营商的各省网络各自开始试点和规模部署IPv6 IFIT，海外运营商如欧洲、亚太、南部非洲等多个运营商网络也积极部署IFIT来提升网络和服务的智能化服务水平。与此同时，在多个行业和企业网络中也采用了IFIT技术。

BIERv6作为IPv6网络中基于BIER转发的组播承载技术，因其适用于IPv6网络，且架构简单、转发效率和可靠性高，也吸引了不少国内外运营商和企业网络商用，目前已在广东联通、卢森堡POST、公路、机场等10个网络上部署。

“IPv6+” 3.0范围的APN6在深圳政数局、中国农业银行、中国建设银行等实现商用部署应用，CATS（算力路由，Computing-Aware Traffic Steering）在中国移动开始试点应用。

5.1 运营商

“IPv6+”系列技术为运营商系统性提供了灵活连接、智能调优、确定性体验保障、实时质量可视和智能运维能力，真正实现了网业分离、网络服务化。通过网和云有机协同、有机调度，达到网络和服务的价值最大化。在“IPv6+”技术能力的支撑下，运营商网络可为用户提供更细粒度、更多层次、更多维度的承载服务，满足多业务融合网络、IPv6专网的要求。

5G融合承载：5G打破了传统移动网络的服务边界，使能更多的垂直行业场景，5G业务要求在一个网络上按需提供共享或专用的资源，实现一网多用，追求更优的网络建设投资回报。部署“IPv6+”技术的承载网络，可以同时融合承载5G、家宽、专线等多种业务，且提供满足不同业务诉求的切片网络和承载服务。多种业务共享相同的物理网络，灵活按需接入，网络可按需提供带宽、时延、丢包、Cost、链路质量、特定链路等指标的任意连接和确定性预期。在同一张物理网络上，为5G移动业务提供低时延、负载均衡、尽量少微波链路的隧道服务；为高端专线提供硬隔离、大带宽、低时延、安全、可靠、低丢包的高质量承载能力；为家宽互联网业务和视频直播提供任意接入、极简架构、可靠、安全的网络服务。5G融合承载部署已经广泛部署在全球运营商网络中，如中国电信STN融合承载网、中国移动5G融合承载网、中国联通5G融合承载网、南非MTN等。

中国电信以IP RAN为基础引入大容量新型设备和SRv6/FlexE等新技术构建了5G STN，用于实现3G/4G/5G等移动回传业务、政企以太专线、云专线/云专网等“5G + 云网”的统一承载。STN覆盖全国各省本地网，成为全球最大规模的使能“IPv6+”网络之一，极大简化了网络协议，实现了网络的智能、敏捷、高效。

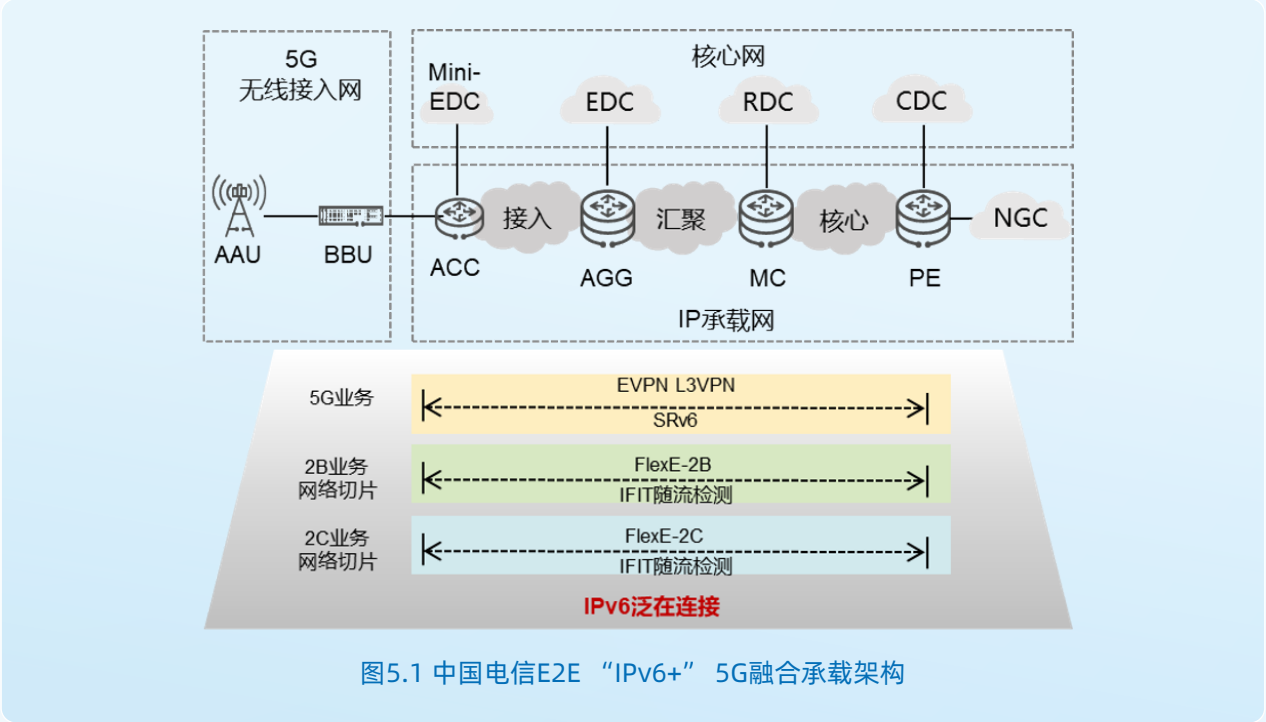


图5.1 中国电信E2E “IPv6+” 5G融合承载架构

中国移动5G承载网基于“IPv6+”网络编程、网络切片、MTN/fgMTN、随流检测、应用感知、智能感知等技术，提供灵活接入、高可靠硬切片和确定性SLA的高品质网络服务，满足ToC、ToB、ToH、ToN等各行业对高质量业务的融合承载需求。

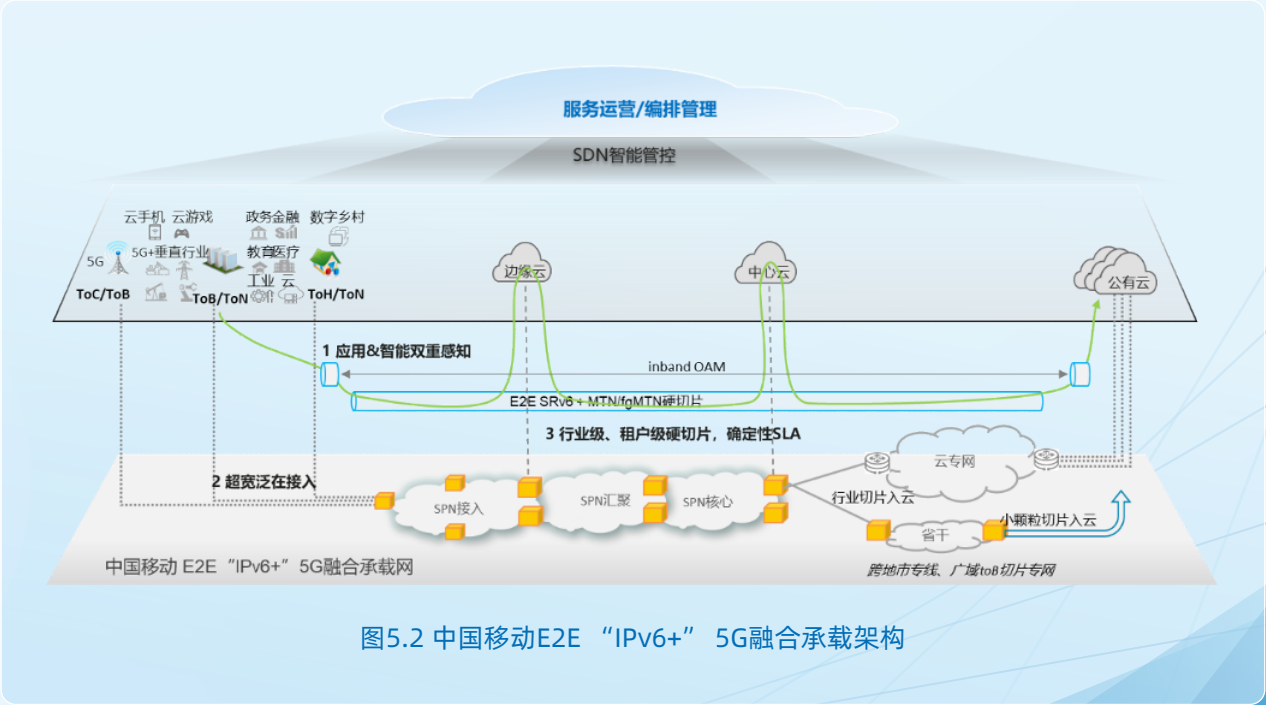
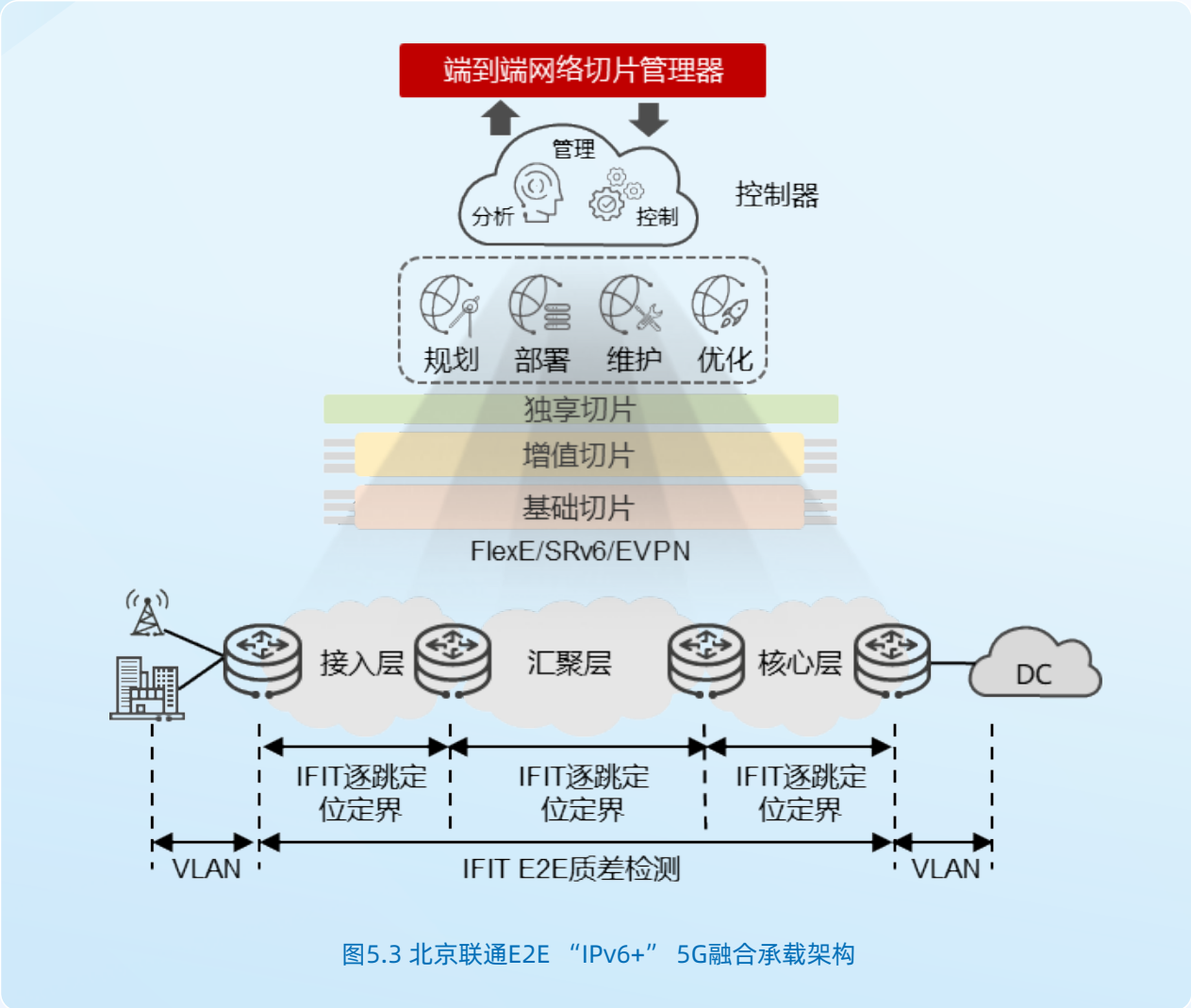


图5.2 中国移动E2E “IPv6+” 5G融合承载架构

北京联通智能城域网以5G承载为初心，以网络简化、网络控制和管理智能化为目标，部署“IPv6+”融合承载网络，实现意图驱动、智能化、可视化。



云专网：在数字化时代，网络连接是行业和社会数字化转型的基础设施，云网融合是实践数字战略的基石和保障。运营商利用传统网络优势，将云服务与网服务融合起来，迈向智能云网，转型为DICT供应商，可以在数字经济中体现更大的价值，为数字经济和人类社会的进步作出更大贡献。“IPv6+”是智能云网的核心技术，协同基于IPv6的互联网络和内容服务，实现企业上云、多云互联、云网安一体化调度能力，为企业和大众提供更高效更丰富的服务和体验。如天津移动的云网一体化解决方案创新地融入“IPv6+”新技术，借行业、政企机构的上云大势，持续构筑差异化的智能云网解决方案，面向不同的行业场景，发挥“IPv6+”特有的技术优势，持续为客户提供高品质云网服务，让客户“上多云、好上云、快上云、上好云”，赋能千行百业数智化转型，也推广了IPv6规模应用部署。

IPv6专网：相较于传统的SDH或者IPv4的行业专网，“IPv6+”技术加持的IPv6专网更先进、高效、安全可靠，可以提供大带宽、广覆盖、灵活连接的隧道能力，同时可以提供业务隔离、E2E SLA保障的独立网络资源。此外，云资源灵活访问、安全可靠、快速开通、智能运维均更容易为企业用户获得。IPv6专网典型部署案例如上海电信的教育IPv6专网、各省政务外网、医疗专网等，为企业和公共事业管理提供了高质量网络承载和云服务。

5.2 政府

“IPv6+”助力数字政府实现上下联动、部门协同、服务导向的“互联网+政务服务”以及弹性超宽、灵活调度、智能可靠、一体安全的算力网服务。基于“IPv6+”的网络切片技术，打造前瞻性、安全智慧的“一网多平面”，为高质量业务提供资源安全隔离和确定性保障，为VIP算力使用者提供“顺丰式”数据快递服务。基于“IPv6+”的SRv6技术，实现云网融合，委办局用户通过SRv6一跳入云，算力使用者通过SRv6一跳入算，入网即入多云或多算，提升用户访问体验。基于“IPv6+”的APN6技术，构建网络感知和识别重要应用能力，为重保业务提供快速引流保障，实现重保服务高品质体验；基于“IPv6+”的SRv6业务链技术，构建集约弹性的安全资源池，实现网络和安全一体编排，保障政务网络和算力网络“大动脉”安全通畅；基于“IPv6+AI+SDN”技术路线，助力政务业务和算力服务实现网随云动和网随算动，加速网络智能化，实现配置变更事前精准评估、故障实时快速定界和恢复；基于“IPv6+IFIT”，实现逐跳定界，助力业务加速排障；通过构造具备学习、固化与演进专家经验的网络大模型，生成故障图谱，快速定位到故障根因，达到提升投诉解决率，保障政务服务和算力服务7 x 24小时不打烊，最终建成云网安一体的融合、智能、安全的新一代IP网络。

放眼全国电子政务外网，目前有24个省和60多个地市明确采用“IPv6+”技术路线建设，其中已有8个省发布“IPv6+”建网地方标准、考核办法，如广东、广西等，已有14个省实现了“IPv6+”网络建设，其中包括广东、广西、北京、湖北、安徽等。从包含市级的维度来看，据统计，省市已建成80余个“IPv6+”政务网络，包括南京、深圳、中山等。

5.3 金融

“IPv6+”助力金融行业实现广域一张网和数据中心网络统一架构，采用端到端IPv6/SRv6统一协议，打破金融核心骨干网和金融泛在接入网的界限，提供金融业务一跳入云能力。基于APN形成全行业应用一张表，采用MTN/fgMTN硬隔离管道，打造应用级SLA可视，端到端高品质确定性应用体验，为网络精细化运营奠定基础。统一金融数据中心通用计算网络、AI智算网络、存储网络架构，基于IPv6统一组网协议，打造高速无损的网络数字底座，实现算力高效释放。基于“IPv6+NSLB”加速器，实现推理和训练任务的联动部署；基于“IPv6+AI+网络数字地图”将加速实现金融行业数字孪生，基于海量数据构建网络大模型，实现应用全感知运营型数据中心，打造可预测、可预防的自治网络。

“IPv6+”已在金融网络中广泛部署，6家国有银行（工农中建交邮）、15家股份制银行，5家保险证券，以及100多家商业银行的骨干网都采用了“IPv6+”技术。其中中国工商银行、中国农业银行、交通银行等已完成“IPv6+”2.0骨干网部署，中国农业银行、中国建设银行已经完成“IPv6+”3.0的试点。

5.4 能源

“IPv6+”助力数字能源实现生产泛在物联感知、上下游高效协同、业务坚强智能的能源互联网。“IPv6+”路由通即业务通，新业务敏捷开通，使能全域物联一跳上云；以“IPv6+”实现云网融合，助力能源全流程信息高效共享、算力资源全域调配，助力生产智能化；基于“IPv6+”网络切片、MTN/fgMTN技术构建硬隔离、确定性低时延的专用时隙交叉通道，以内生安全保障网络可信，为工控生产业务提供高质量、高安全的承载服务；通过“IPv6+”随流检测，实现业务状态实时感知、故障精准识别，保障能源互联网服务永在线。

“IPv6+” 助力能源企业打造泛在联接、灵活高效、可靠智能的新一代能源互联网基础网络，目前已广泛应用部署，如国家电网综合数据网及外网云互联、国家电网山东省电力数据网、南方电网云南省电力数据网、南方电网调度数据网、三峡集团广域网、中海油集团广域网以及寺河煤矿等超过100+煤矿生产网均采用了“IPv6+” 技术建网。

5.5 交通

“IPv6+” 推进交通基础设施数字化、网联化，提升交通智慧发展水平。基于海量IPv6地址，智能路网感知实现交通基础设施数字化，构建路侧感知的数字底座；以“IPv6+” 智能云网，助力打造城轨云、机场云、国铁云和大数据平台，推动新型智慧化应用快速部署，高效共享，提升出行体验；以“IPv6+” SPN MTN/fgMTN技术，构建铁路下一代5G-R通信网；以“IPv6+” 随流检测，帮助交通部门解决数据融合过程带来的运维问题，实现精准定位，打造“自动驾驶” 的智能交通数据网络。

“IPv6+” 关键技术为交通企业提供高效便捷智慧的基础网络服务，已成功部署于铁路、民航、港口、公路等多个场景，助力交通强国建设。国铁集团下18铁路局陆续开展“IPv6+” 试点，哈尔滨铁路局、上海铁路局已规模部署，深圳地铁、上海港、山东港、蜀道集团、宁波高速、咸阳机场等企业结合行业特色，应用IPv6单栈技术建网，开展“IPv6+” 行业应用融合试点。

5.6 制造

“IPv6+” 助力制造行业在工业网络场景融合创新。工业互联网旨在通过人、机、物的全面互联，实现全要素、全产业链、全价值链的全面联接。加快内外网 IP化改造升级，通过创新技术打造先进工业互联网网络基础设施，可以满足制造行业海量终端联接数量和可靠的联接质量，实现数据在工厂、企业、产业间的快速流转，促进网络信息技术与制造业深度融合。

“IPv6+” 技术是我国制造业客户“由大变强” 和“智改数转” 的关键基础设施底座。基于“IPv6+” 技术的先进工业互联网解决方案已经在半导体行业的ZXGJ、车辆装备行业的东风汽车、军工行业的HK工业、轻工行业的湖南烟草等10+制造企业落地实践，有效打通了企业的数据孤岛，成为企业数据流通的“高速公路”。

6 - “IPv6+” 发展展望

随着IPv6在行业内网的推进，“IPv6+” 开始逐步向园区和数据中心延伸。在园区，使用网络切片隔离不同业务之间的影响，对重要业务和重要用户进行质量保证，使用随流检测对重要流量进行质量检测和快速的定界定位。在数据中心，使用IPv6智能无损网络来实现计算和存储网络的多网合一，统一使用以太网和IP技术栈。未来几年，随着IPv6 单栈的试点和推进，园区和数据中心的IPv6改造会持续加速。

随着人工智能的发展，会对网络架构、应用场景、技术创新和治理模式产生前所未有的影响，“IPv6+” 和人工智能的结合，会在互联网发展史上产生颠覆式的变革。千行百业和人工智能的结合给网络连接带来了更多的挑战，在联人联家联企联算联数联产等场景上对网络带宽，网络隔离，网络协议，网络体验，网络感知，网络安全，网络节能，网络智能提出了新的要求。比如虚拟数字人要求终端接入带宽>10G，业务时延<5ms；办公元宇宙要求100G到园区，通感成像达到厘米级精度；分布式算力协同要求3000km+长距训练效率下降<5%；银行业务要求带宽20~100M小颗粒硬管道，同城双向时延<3ms。

为了更好地满足业务要求，网络势必要发展新能力，为经济社会打造更好的通路。这些新的能力包括：从泛在千兆到泛在万兆及泛在百G的带宽升级；从基础联接服务到恰如其分的智能随愿服务的体验升级；从传统架构到赋智融安、算网协同的架构升级。

未来较长的一段时期，人工智能技术和产业的爆发式发展是新质生产力发展的重要基础和动力。“IPv6+” 与人工智能场景的结合将推进当前的网络向“新质互联网” 演进。“新质互联网” 将成为智能时代新质生产力的网络底座。“新质互联网” 的主要特征是扁平，智能，绿色，安全。通过网络架构的扁平化以及在网络中注入智能，绿色和安全来打造体验随需的IPv6网络。在关键技术方面，“新质互联网” 仍需要产业界各位同仁联合在设备，协议，管控，安全等多个方面持续协同创新，以发掘更多的场景，满足更多的业务诉求，并通过创新让IPv6网络持续蓬勃发展，焕发活力！