

# SD-WAN 2.0 技术与产业发展

(2021 年)

算网融合产业及标准推进委员会

2021年12月

---

## 版权声明

---

本白皮书版权属于算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



## 牵头编写单位及主要撰稿人

**中国信息通信研究院：**柴瑶琳、穆域博、党梅梅、毕立波、党小东、韩维娜、张云畅、宋平、韩淑君、武岳、陈敬、何悦鑫

**中国电信集团有限公司：**史凡 徐洪磊

**中国电信股份有限公司云计算分公司：**白雪 郑毅

**中讯邮电咨询设计院有限公司：**童博 于思佳

**中移（上海）信息通信科技有限公司：**郭清华

**中国移动通信集团有限公司：**程伟强 杨锋 韩瑞波

**中国工商银行股份有限公司：**张勇 李骢

**大庆油田信息技术公司：**纪德伟 孙宇

**派拓网络(上海)有限责任公司：**胡波 智勇

**北京山石网科信息技术有限公司：**李宇 任亮

**阿里云计算有限公司：**任伟

**广州宽带主干网络有限公司：**陈德俊 张昉

## 参与编写单位及主要撰稿人

安徽继远软件有限公司：叶志远，曹灿

天融信科技集团股份有限公司：何明卓 王庆丰

北京天弛网络有限公司：孙培

贵州白山云科技股份有限公司：李青霖 李金锋

网宿科技股份有限公司：蔡永凯

东方森太科技集团有限公司：马振肖 高大鹏

北京高升数据系统有限公司：李晟 李威

北京华麒通信科技有限公司：付刚毅 李威

北京互联通网络科技有限公司：俞志刚

奇安信科技集团股份有限公司：樊俊诚 刘菁

观脉科技(北京)有限公司：刘香成 李达

北京太一星晨信息技术有限公司：谭闯 郭成

南京华智达网络技术有限公司：汪军 王开创

上海层峰网络科技有限公司：杨岚

方是云（上海）技术有限公司：蒋涛 何伟

## 前 言

伴随我国各垂直行业数字化转型的工作推进，信息通信网络的数字化、算力化、智能化将成为产业高质量发展的必然选择。近年，软件定义广域网（SD-WAN）以业务与服务为导向，将多种网络技术（SDN、NFV、网络编排、网络安全）与广域网场景融合发展，已成为打造承载“算力应用+端+网+云”的关键纽带，是产业网络数字化转型的基石。

2019年，中国信息通信研究院算网融合研究团队（以下简称中国信通院算网融合团队）发布了《SD-WAN技术白皮书》，推动产业各界对SD-WAN技术理念层面达成价值共识，为SD-WAN实践提供了重要参考依据。2020年，我国SD-WAN产业也逐步从概念普及进入到应用部署的新阶段，中国信通院算网融合团队发布了《SD-WAN全球技术与产业发展》，助力业界对SD-WAN的技术与产业发展方向形成高度共识。

随着5G、人工智能、物联网等新业务的加速部署，局限于Overlay网络互联的SD-WAN基本功能特性已经无法适配企业新业务需求，SD-WAN逐渐向融合内生安全、IPv6+Underlay确定性体验保证、多云访问的2.0阶段发展演进。为了更好的促进SD-WAN技术的更迭发展，我们将在继承《SD-WAN技术白皮书》和《SD-WAN全球技术与产业发展》基础上，立足于产业发展现状，从业务、技术、实施等维度重新定义和丰富SD-WAN 2.0体系架构和内涵。

本白皮书主要分为六个部分。第一部分介绍SD-WAN 2.0概述；

第二部分总结 SD-WAN 2.0 参考架构和技术体系，第三部分明确 SD-WAN 2.0 产业体系；第四部分深入分析 SD-WAN 2.0 规划与设计模型；第五部分着重分析 SD-WAN 2.0 在垂直行业的应用实践；第六部分展望 SD-WAN 产业未来四大发展趋势及相关建议。

中国通信标准化协会算网融合产业及标准推进委员会（CCSA TC621）特此感谢各位参编单位和专家等对本白皮书全面指导。白皮书编写过程中也得到了 SD-WAN 产业各方代表的大力支持，结合自身实践经验提供大量素材，对白皮书中观点的形成和完善提出了重要建议。在此一并感谢所有参与本白皮书编写以及为白皮书提供指导和建议的专家、企业和机构。

# 目 录

1 SD-WAN 2.0 概述 .....	1
1.1 SD-WAN 2.0 内涵与定义 .....	1
1.2 SD-WAN 2.0 发展态势 .....	1
1.3 SD-WAN 1.0 到 SD-WAN 2.0 的升级演进 .....	4
2 SD-WAN 2.0 参考架构与技术体系 .....	6
2.1 SD-WAN 2.0 参考架构 .....	6
2.2 SD-WAN 2.0 关键技术体系 .....	7
2.3 SD-WAN 2.0 重点技术能力 .....	8
3 SD-WAN 2.0 产业体系 .....	12
3.1 SD-WAN 2.0 产业视图 .....	12
3.2 SD-WAN 2.0 产业发展模式 .....	17
3.3 SD-WAN 2.0 产业生态建设 .....	19
4 SD-WAN 2.0 规划与设计模型 .....	21
4.1 SD-WAN 2.0 总体设计思路 .....	21
4.2 SD-WAN 2.0 业务规划与部署模型 .....	22
5 SD-WAN 2.0 在垂直行业的应用实践 .....	25
5.1 电信行业典型应用方案与关键价值 .....	25
5.2 金融行业典型应用方案与关键价值 .....	27
5.3 医疗行业典型应用方案与关键价值 .....	30
5.4 能源行业典型应用方案与关键价值 .....	32
5.5 零售行业典型应用方案与关键价值 .....	34
6 展望与建议 .....	36
6.1 强化核心技术研究，提升技术与产业融合发展水平 .....	36
6.2 打造标杆示范应用，推进 SD-WAN 与垂直行业的应用融合 .....	38
6.3 推动供需协同发展，助力企业流程再造和创新发展 .....	38
6.4 全面深化国际合作，提高企业行业竞争力和国际影响力 .....	39

## 图 目 录

图 1 SD-WAN 发展路线图 .....	6
图 2 SD-WAN 2.0 参考架构 .....	6
图 3 软件定义广域网 (SD-WAN) 2.0 关键技术体系 .....	8
图 4 SD-WAN 产业视图 .....	12
图 5 跨国企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型 .....	23
图 6 大型企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型 .....	24
图 7 中小企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型 .....	25
图 8 某运营商 SD-WAN 2.0 应用架构图示例 .....	26
图 9 某银行骨干网 SD-WAN 应用架构图示例 .....	29
图 10 某医疗架构 SD-WAN 应用架构图示例 .....	31
图 11 某能源公司 SD-WAN 应用架构图示例 .....	33
图 12 某零售企业 SD-WAN 应用架构图示例 .....	35

## 表 目 录

表 1 SD-WAN 2.0 市场商业模式 .....	22
表 2 SD-WAN 2.0 产业链关键角色 .....	25

## 1 SD-WAN 2.0 概述

### 1.1 SD-WAN 2.0 内涵与定义

SD-WAN(Software Defined Wide Area Network), 即软件定义广域网。SD-WAN 作为一种软件定义、智能互联、安全访问、多云一体的新型广域网络应用模式, 通过云网边端的算力全面互联, 实现多种云网/算网协同服务。

SD-WAN 目前划分为 SD-WAN 1.0 和 SD-WAN 2.0 两个技术阶段。SD-WAN 1.0 作为早期的 SD-WAN 技术, 主要解决软件定义多连接问题, 使用软件定义企业多分支互联, 创建虚拟专用网络, 能够实现网络的灵活接入。在 SD-WAN 1.0 的基础上, SD-WAN 2.0 以业务与应用需要为导向, 融合多种 ICT 创新技术(SDN/NFV、零信任、IPv6+ 等), 具有软件定义、一体服务、内生安全、算力随享等多种特征。

当前, SD-WAN 2.0 正在全球范围内不断重塑算网融合/云网融合应用方式和产业形态, 推动垂直行业加快数字化转型升级, 并对我国企业数字化发展具有重要意义。

### 1.2 SD-WAN 2.0 发展态势

2021 年以来, SD-WAN 技术发展逐渐趋于成熟, 目前已进入到 2.0 发展阶段。SD-WAN (软件定义广域网) 作为创新型的网络架构, 可支持企业实现多分支快速组网、业务上云、应用优化等, 为企业带来业务灵活开通、网络加速和节省成本等价值, 加速了企业的数字化转型进程。当前, SD-WAN 发展呈现出政策指向清晰、技术创新活跃、行业应用深入的良好态势。

一是 SD-WAN 产业发展已成为国家政策重点布局方向。2020 年，工信部和卫健委联合印发《关于进一步加强远程医疗网络能力建设的通知》，首次提出“支持并鼓励社会各有关企业基于公众互联网或专线网络，采用 SD-WAN 技术方案”。之后，工信部、发改委等部门相继出台《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》《关于促进云网融合 加快中小城市信息基础设施建设的通知》等政策文件，布局通过 SD-WAN 提升优化网络传输质量、提供更好的云网服务。二是 SD-WAN 产业发展呈现出强驱动力和协同创新态势。2018 年后我国 SD-WAN 产业技术能力、产业规模、应用质量均有提升，形成了各方共同驱动发展的产业体系，产业链各方在技术创新、市场开拓上的协作联动也不断增强。三是 SD-WAN 标准建设向纵深推进。2019 年以来，中国信通院联合 30 多家主流企业，共同依托算网融合产业及标准推进委员会（CCSA TC621），牵头发起并初步完成 SD-WAN 标准体系建设，涵盖 SD-WAN 总体技术要求、关键技术指标体系、关键网络设备技术要求。四是 SD-WAN 产业发展深度赋能垂直行业数字化转型升级。目前国内 SD-WAN 业务已覆盖金融、零售、制造、互联网、媒体、政府、医疗、能源、电力等多个领域，SD-WAN 在国内市场已得到广泛认可。在 SD-WAN 2.0 阶段，SD-WAN 2.0 与边缘安全（SASE）、5G 将进一步融合，成为企业应对云网互联挑战的有效手段。从市场规模来看，2020 年，中国 SD-WAN 市场规模为 1 亿美元，预计到 2025 年市场规模将达到 11 亿美元，复合增长率达到 61%。

## 专栏 1 国内外标准组织 SD-WAN 标准建设进程

## ■ MEF SD-WAN 标准化工作进展

2019 年 7 月,MEF 组织 9 家公司包括 Amdocs、Cisco、Colt、Huawei Technologies、Nokia Networks、Silver Peak、Verizon 等制定了《MEF 70 SD-WAN Service Attributes and Services》文稿,该标准对 SD-WAN 服务属性定义、服务元素、服务实例的框架进行全面的研究。

2020 年 7 月,MEF 组织 3 家公司包括 CenturyLink、Cisco、Verizon 等开展了《MEF 82 MEF Services Model – Information Model for SD-WAN Services》研究工作,主要包括 SD-WAN 服务信息模型结构、数据类型规范、SD-WAN 服务关键元素模型定义等。

2020 年 7 月,MEF 组织 2 家公司 PCCW Global、Spirent 制定了《MEF 90 SD-WAN Certification Test Requirements》标准文稿,该标准主要围绕 SD-WAN 服务能力测试基准要求包括服务可用性、基础路由功能、应用流量策略、应用接口服务属性、IPv4 连接、IPv6 连接等。

2021 年 11 月,MEF 组织 13 家参与公司包括 Bell Canada、Cisco、CMC Networks、Fortinet、Oracle、Orange、PCCW Global、Versa Networks 等制定了《MEF 88 Application Security for SD-WAN Services》文稿,该标准对 SD-WAN 服务安全策略、Middle-Box、关键安全功能进行研究。

## ■ IETF SD-WAN 标准化工作进展

2020 年 9 月,中国移动通信集团有限公司联合华为技术有限公司牵头在 IETF 组织提交《Usage scenarios of Application-aware Networking (APN) for SD-WAN》标准草案稿,该标准概述了应用感知网络 (APN)在 SD-WAN 场景中的应用,通过动态识别应用程序组来引导其流量沿网络路径流动并提供低延迟和高可靠性等 SLA 保证的网络服务。

2022 年 3 月,中国联合网络通信集团有限公司联合华为技术有限公司牵头在 IETF 组织提交《Use Cases for Computing-aware Software-Defined Wide Area Network(SD-WAN)》标准草案稿,该草案稿重点研究了计算感知 SD-WAN 网络的应用场景。

## ■ CCSA SD-WAN 标准化工作进展

2019 年 11 月,中国信息通信研究院联合中国移动通信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、华为技术有限公司牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网 (SD-WAN) 总体技术要求》,该标准定义了 SD-WAN 的概念,研究内容涵盖 SD-WAN 总体架构、功能模块、应用场景等。

2020 年 5 月,中国信息通信研究院联合中国信息通信科技集团有限公司,华为技术有限公司牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网 (SD-WAN) 关键技术指标体系》,该标准结合软件定义广域网 (SD-WAN) 的关键技术特征,从服务、整体解决方案、设备三个维度切分出 SD-WAN 关键技术一级指标和二级能力指标。

2020 年 5 月,中国信息通信研究院联合中国电信集团有限公司、奇安信科技集团股份有限公司牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网 (SD-WAN) 测试方法》,该标准参照《软件定义广域网 (SD-WAN) 关键技术指标体系》的关键能力指标规定了 SD-WAN 服务的关键技术测试方法、SD-WAN 整体解决方案

的关键技术测试方法、SD-WAN 边缘设备的关键技术测试方法、SD-WAN 网关设备的关键技术测试方法、SD-WAN 控制器的关键技术测试方法。

2020 年 5 月，中国信息通信研究院联合中国信息通信科技集团有限公司、电讯盈科科技(北京)有限公司牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网(SD-WAN)增值业务技术要求 广域网加速》，该标准面向 SD-WAN 服务提供商，主要内容包括网络架构要求、业务流量控制、链路传输加速、数据传输加速、应用加速、服务质量控制等。

2020 年 5 月，由中国信息通信研究院联合奇安信科技集团股份有限公司、深圳信息通信研究院牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网(SD-WAN)增值业务技术要求 安全服务》，该标准面向 SD-WAN 服务提供商，主要研究内容包括物理安全、数据安全、认证鉴权、防攻击、安全审计等。

2020 年 5 月，由中国信息通信研究院联合中国电信集团有限公司、华为技术有限公司牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网(SD-WAN)增值业务技术要求 敏捷运维》，该标准面向 SD-WAN 服务提供商和行业用户，重点围绕敏捷运维三大技术要求包括个性化运维、开放化服务和安全管理开展研究。

2020 年 5 月，由中国联合网络通信集团有限公司联合中国信息通信研究院牵头在 CCSA 组织立项《工业互联网 基于 SD-WAN 的网络技术要求》，该标准面向工业互联网 SD-WAN 应用场景及具体案例，重点研究了适用于工业互联网业务和网络的需求分析及架构、SD-WAN 组网技术要求和性能指标。

2020 年 8 月，由中国移动通信集团有限公司联合中国信息通信研究院牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网络(SD-WAN)控制器北向接口技术要求》，该标准主要研究 SD-WAN 控制器北向接口资源模包括租户、VPN、站点、设备、端口、IP 地址等、主要接口的定义、接口调用功能包括 QoS 策略、路由策略、安全策略等内容。

2020 年 8 月，中国移动通信集团有限公司联合中国信息通信研究院牵头在 CCSA 组织立项《软件定义广域网络(SD-WAN)控制器南向接口数据模型规范》，该标准主要研究 SD-WAN 南向接口 YANG 数据模型技术要求包括：地址管理、接口管理、隧道管理、地址翻译(NAT)、路由、VPN 服务、安全、QoS、链路检测、可靠性内容。

### 1.3 SD-WAN 1.0 到 SD-WAN 2.0 的升级演进

当前，基于灵活接入、按需服务的 SD-WAN 1.0 架构不断融合融合内生安全、IPv6+、整体服务，与零信任、SRv6、网络确定性等 ICT 创新技术协同发展，推动 SD-WAN 1.0 向 SD-WAN 2.0 升级演进。根据产业数字化转型发展的不同阶段，我国 SD-WAN 技术发展可划分为 SDN-WAN 阶段、SD-WAN 1.0 阶段和 SD-WAN 2.0 阶段。

在 SDN-WAN 时期（2010-2015 年），国内产业数字化处于初始

阶段。SDN 技术开始于广域网需求进行融合，在行业试点应用当中，SDN-WAN 有效的解决了人工运维广域网效率低等问题。

在 SD-WAN 1.0 时期（2015-2021 年），国内产业数字化开始加速阶段。垂直行业面临着网络基础设施复杂化、网络架构封闭化、端侧应用体验差系列挑战。SD-WAN 利用成熟的 SDN、NFV、网络编排与探测与企业广域网资源精准融合来解决企业网络分支互联、数据中心互联、多云互联问题。在这一时期，以 MSP、OTT、设备商为代表的 SD-WAN 产业生态角色开始“跑马圈地”，抢占市场份额。

在 SD-WAN 2.0 时期（2021-至今），产业数字化发展进入关键转型阶段。国家对“十四五”时期 SD-WAN 产业发展做出明确部署，政策环境持续向好，以 SRv6、SASE、CNF、智能运维为代表的创新技术不断融合全面推动 SD-WAN 迈入 2.0 发展阶段。当前，SD-WAN 需要重点承载云网融合/算网融合应用，国内产业电信运营商、托管服务提供商（MSP）、云服务提供商、安全设备厂商和方案提供商、传统网络数通厂商生态发展蓬勃。

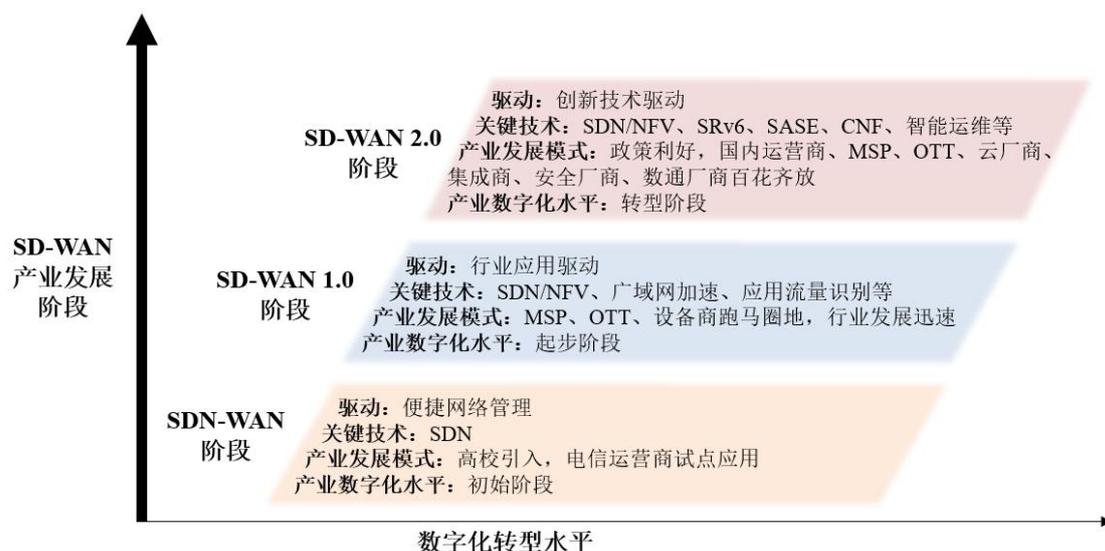


图 1 SD-WAN 发展路线图

## 2 SD-WAN 2.0 参考架构与技术体系

### 2.1 SD-WAN 2.0 参考架构

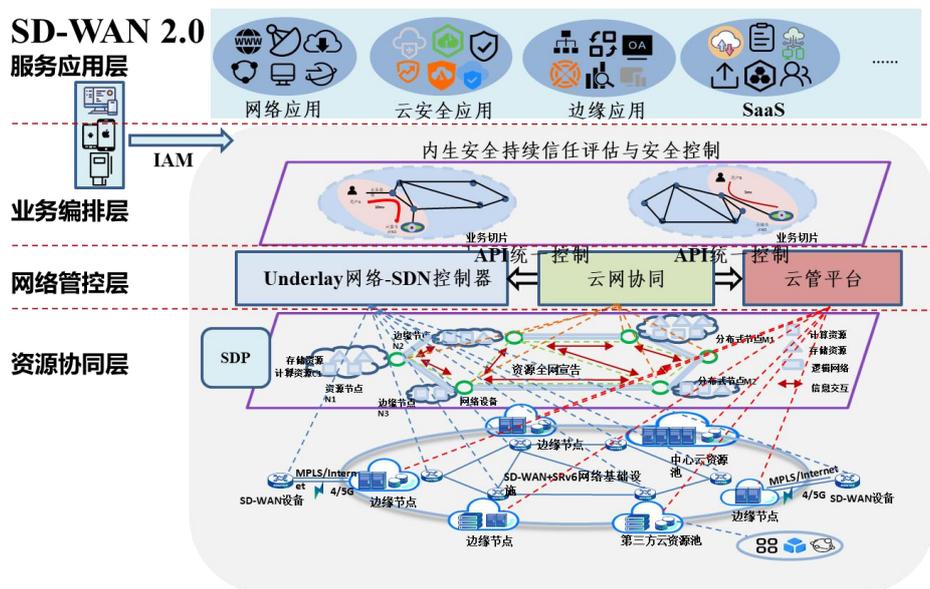


图 2 SD-WAN 2.0 参考架构

SD-WAN 2.0 参考架构自上至下划分为服务应用层、业务编排层、网络管控层、资源协同层。

1) 服务应用层：负责向与 SD-WAN 对接的所有外部应用提供标准化 API，包括网络应用、云安全应用、边缘应用、SaaS 等。

2) 业务编排层：实时根据上层应用需求计算所需的云网资源同步编排业务和相关配置策略，提供云网切片的服务化能力。

3) 网络管控层：负责统筹全网的云网资源并进行分析计算，包括对 Underlay 资源与 Overlay 资源的采集、分析与建模。该层包括了 Underlay 网络-SDN 控制器、云网协同和云管平台三个主要功能模块，云网协同模块可通过 API 对 Underlay 网络-SDN 控制器、云管平台进行统一控制。

4) 资源协同层：包含所有的物理和虚拟的 SD-WAN 设备、计算节点、边缘节点、公有云、私有云、数据中心、第三方云资源池。

相较于 SD-WAN 1.0 的技术架构，SD-WAN 2.0 将边缘设备与 WAN 传输网两个功能层合二为一，将 SDN、SRv6 Underlay 网络能力、SASE、智能运维、云原生、内生安全、自主可控等能力进行了全面整合，可以快速提供融合云、网、算力服务。

## 2.2 SD-WAN 2.0 关键技术体系

SD-WAN 2.0 以业务与应用为导向，通过系统构建网络、平台、安全三大技术体系。**网络技术是 SD-WAN 2.0 的关键底座**，包括 SDN、NFV、智能运维、SRv6 等关键技术，统筹全网资源，并通过网络虚拟化和 SRv6 可编程能力进行统一的管理和调度，实现企业业务的快速开通部署和端到端的网络策略下发，为用户提供更加灵活开放的广域网络。**安全技术是软件定义广域网的整体保障**，通过零信任、数据加密、身份安全、云安全、访问控制、入侵检测等关键技术能力构建涵盖广域网全业务的内生安全防护机制，增强网络、平台、应用和接口的安全保障能力，基于实体的身份持续评估企业业务风险，保障企业网络的数字化转型。**平台是软件定义广域网的核心中枢**，主要包括控制平台、计算平台、协同平台，是支撑企业业务可信连接、弹性计算、设备高效配置的关键载体。

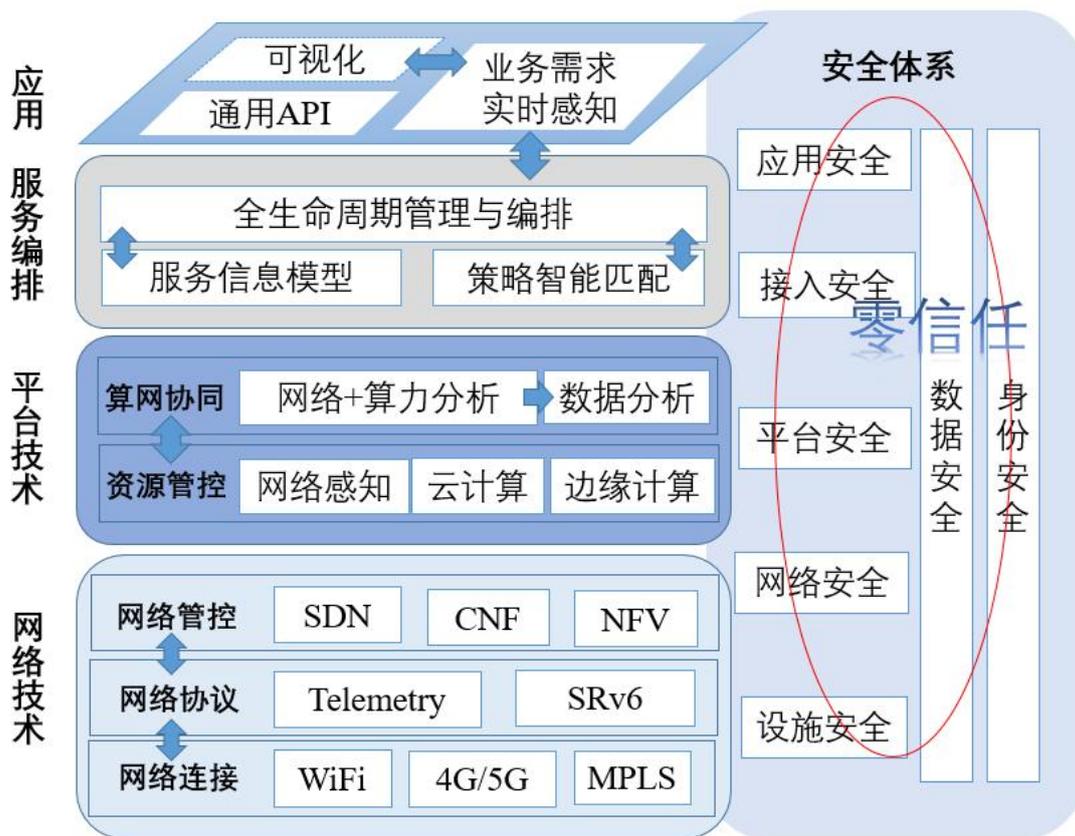


图 3 软件定义广域网（SD-WAN）2.0 关键技术体系

## 2.3 SD-WAN 2.0 重点技术能力

随着新技术的普遍应用和产业的数字化转型升级，ICT 技术与产业融合趋势加深，现有广域网架构和业务机制亟需 SD-WAN 2.0 整体技术体系赋能产业数字变革和高效发展。SDN、SASE、SRv6、网络云化、网络开放化、智能运维、自主可控逐步成为深度赋能产业数字化转型的 SD-WAN 2.0 重点技术。

### 2.3.1 SDN 简化 SD-WAN 2.0 广域网架构

SDN 通过灵活部署、集中控制、转控分离、开放接口构建了一个分层、开放、灵活的新型 SD-WAN 2.0 广域网架构。SD-WAN 2.0 利用 SDN 技术实现了三个主要功能。一是简化设备功能和部署过程，

实现网络资源整合。二是实现网络全局控制和全局调度，进一步优化流量分布，在保障业务质量基础上，进一步提高网络利用率。三是增强网络可扩展性，针对具体应用开发网络调度接口 API，实现面向不同业务场景需求的定制化网络。同时 SD-WAN 2.0 通过软件定义多网络连接（包括 MPLS、4G/5G、WiFi 等连接技术）来提供更可靠更灵活的网络传输能力。

### 2.3.2 网络云化无缝协同应用需求

网络云化主要利用网络虚拟化（NFV）、云原生网络功能（CNF）等技术，将 SD-WAN 2.0 的网络能力下沉到云中，实现网络资源软硬件解耦、网络资源弹性部署、云网服务无缝协同等应用需求。网络云化从三个方向探索优化 SD-WAN 2.0 云网协同应用：一是推动广域网架构走向弹性开放，实现 SD-WAN 2.0 网络设备软硬件解耦和网络功能弹性部署。二是重构网络应用模式，从单体到微服务化转变，实现网络能力插件化、弹性化、自动化。三是以应用业务信息模型为核心，无缝驱动 SaaS 应用与网络策略协同。

### 2.3.3 SRv6 保障 Underlay 确定性体验

SD-WAN 2.0 充分利用 SRv6 源路由机制，支持 Underlay 网络可编程、端到端 QoS 保障、边缘感知网络、Overlay 统一承载四大核心能力。SD-WAN 2.0 网络管控层核心通过配置 Underlay 网络设备切片标识 SRv6 Locator，同时结合不同可自定义可编程的 SRv6 Policy 算路算法和 SRv6 端部节点报文携带的应用信息（包括 DNS 域名、DPI 等），完成识别流量应用类别和匹配端到端的拓扑资源的执行转发处

理 QoS 策略，切实保障了业务 SLA。

### 2.3.4 SASE 统一云网边端安全服务

作为 SD-WAN 2.0 融合安全服务的重要途径，SASE（安全访问服务边缘，Secure Access Service Edge）是将广域网和网络安全方案统一集成到云交付的服务框架。SASE 服务内涵囊括了 SD-WAN、云原生、防火墙即服务、云访问安全代理、安全 web 网关以及零信任网络访问六大关键能力。SASE 赋予了 SD-WAN 三个重要特性：一是支持以插件方式快速实例化网络和安全功能，具有高度的可扩展性；二是支持使用 k8s 的开放架构以轻量级虚拟化容器技术构建网络功能，支持横跨本地和公有云环境，将防火墙、IPS、WAF、CPE 等网络功能和安全功能部署在不同 POD 中，作为微服务开发和交付具备跨云多租户的原生性。三是支持建立基于身份一致的零信任访问策略（综合用户设备、位置、访问行为等信息），外部区域的终端访问企业应用则通过 ZTNA 来实现终端的持续可信授权和身份验证。

### 2.3.5 实时智能运维统筹配置全局资源

SD-WAN 2.0 体系结合 Telemetry 遥测、人工智能算法、深度包检测（DPI）技术引入大数据分析系统，实现计算资源动态分配、网络状态快速感知、秒级运维、安全自检。SD-WAN 2.0 通过三个途径实现实时智能运维：一是通过资源数据全生命周期自动化管理流程包括多维度数据（包括网络设备、流量、质量、关联事件及告警信息等）采集、数据存储、数据检索、数据分析、数据可视化管理来实现全业务数字化运维；二是支持多终端实时展示多层次的网络拓扑图、监控

全局设备资源、细颗粒度应用流量、整体流量趋势变化、业务自测健康状态；三是支持自动识别网络威胁、自动化网络故障预测、业务风险自模拟、故障在线/离线诊断自动化实时处理、保障业务健康自运转。

### 2.3.6 研运一体化构筑网络开放能力

SD-WAN 2.0 融合云原生技术体系重点解决了广域网架构封闭、网络设备软硬一体、网络应用烟囱式、新业务新功能交付低效四大挑战。SD-WAN 2.0 将通过应用主流的 k8s 云原生开放技术架构和云原生网络功能重构企业业务统一管控平台，支持研运一体化，囊括微服务化开发、自动化交付、弹性部署网络功能，可持续根据实时业务情况来动态创建、响应和变更 SD-WAN 2.0 应用业务，提供面向协议无关的动态重构的容器化网元设备，以满足平台轻量化、架构开放化、业务弹性化、应用快速上线的需求。

### 2.3.7 产品体系打造保障核心技术自主可控

自主可控是保障 SD-WAN 2.0 产业生态安全健康发展的关键基础。国产化信息技术的蓬勃发展和创新应用为 SD-WAN 技术融合信创奠定了坚实的基础，SD-WAN 2.0 应支持采用兼容国产化芯片及国产化操作系统的网关设备、安全设备、边缘设备来保障我国 SD-WAN 2.0 核心产品技术体系全栈自主可控。SD-WAN 2.0 自主可控关键部件及技术主要包括 SD-WAN 控制器软件系统、容器、数据库软件、CPU、芯片、服务器、CPE 设备、网关设备、防火墙设备等。目前我国已基本掌握 SD-WAN 2.0 相关产品体系的基础技术，但仍然缺少国产化

SD-WAN 2.0 产品的龙头企业、缺少具备核心竞争力的产品、产业链话语权薄弱。

### 3 SD-WAN 2.0 产业体系

#### 3.1 SD-WAN 2.0 产业视图

SD-WAN 2.0 产业链包括了 SD-WAN 服务提供商、SD-WAN 解决方案提供商、SD-WAN 组件提供商、主芯片提供商以及第三方评测认证机构，其中前两类又由于参与方的不同，可以进一步划分为多个子类别（如图 4 所示）。



图 4 SD-WAN 产业视图

##### 3.1.1 SD-WAN 运营服务提供商

SD-WAN 服务提供商按照其原有的背景不同，又可以分为基础电信运营商、云服务提供商和 SD-WAN 专业服务商，这三个不同的类别因为其优势资源、能力积累的不同，在切入 SD-WAN 产业的商业模式、市场策略也存在明显差别。

###### 1. 基础电信运营商

基础电信运营商在 SD-WAN 产业中充当了两类角色：1) 为其他 SD-WAN 服务提供商提供基础线路；2) 作为 SD-WAN 的服务运营商。

在推进 SD-WAN 商业部署过程中，基础电信运营商采用与已有专线进行互补的策略，在专线上叠加 SD-WAN 线路，实现线路质量可视化和不同线路间的智能切换，从而进一步提升业务的体验。目前，三大运营商已经开始推行 SD-WAN 业务的试点。中国电信于 2016 年的《CTNET 2025 技术白皮书》中就将随选网络作为政企网络业务演进的方向之一，进行编排器的自研，并在 2017 年在江苏、广西等地进行了随选业务的试点。中国移动于 2015 年提出了基于 SDN&NFV 的 Novonet 网络架构，将 EBoD 业务作为核心支撑业务之一，2017 年开始在广东等地开展了以 ONAP 为编排器的 NFV 业务试点。2019 年开始启动了 SD-WAN 规范的制定工作，并在云、政企业务领域开展了试点和商用。中国联通于 2015 年发布的 Cube-Net 2.0 技术白皮书中提出了智能网络边缘的架构，目前正计划推动 SD-WAN 相关企标规范的制订。

## 2. 云服务提供商

云服务提供商将 SD-WAN 作为云客户的便捷接入方式，并提供混合云组网服务。云服务提供商采用将 SD-WAN 作为增加云产品和服务竞争力的市场策略，同时也将 SD-WAN 作为边缘云战略的组成部分。在 SD-WAN 2.0 时代，由于企业客户已不满足于单一云服务提供商的产品和服务，因此需要云服务提供商之间通过协同、合作进行优势互补，满足客户对企业地域和业务体验差异性的需求。阿里云于 2018 年启动了 SD-WAN 项目，在 2019 年扩大 SD-WAN 的组网、混合云、跨境加速等场景，以“云+应用+SD-WAN”的综合服务方案进行推广。腾讯云于 2019 年启动 SD-WAN 自研，于 2020 年正式推出服务。

## 3. SD-WAN 专业服务提供商

SD-WAN 专业服务提供商提供专业的 SD-WAN 产品和服务，同时具备灵活的商业模式，能够满足企业客户特别是全国甚至跨国企业客户的多网接入、多云互联的组网需求，覆盖了快速增长的市场空间。SD-WAN 服务提供商的业务模式包括组网服务、国际加速服务和多云互联服务等，在此基础上还支持一些网络安全服务如 SASE 服务（包括安全接入服务、防火墙服务、云安全网关代理服务）、精细化保障 SLA 服务、高质量增值服务（智能运维、托管云网/算网融合服务）等。SD-WAN 服务提供商代表企业包括方是云、南凌科技、深圳光联、鹏博士、北京轻网科技等。

### 3.1.2 SD-WAN 解决方案提供商

SD-WAN 解决方案提供商根据其原有的产品领域和客户群体的差异，可分为传统网络设备提供商、安全厂商、专业 SD-WAN 厂商。

#### 1. 传统网络设备提供商

传统网络设备商的优势是网络硬件规格齐全、网络协议特性支持完备，SD-WAN 采用的技术栈基本沿用 IP 较为成熟、标准化的技术栈，比如将 NetConf 作为管理面协议，EVPN 作为控制面协议，倾向于采用 SR/SRv6 作为转发面封装格式等，在此基础上整合网络优化和安全的功能。传统网络设备商一般采用大平台发展战略，对软硬件进行一体化销售。在 SD-WAN 2.0 时代，需要传统网络设备厂商更加注重软件的跨专业整合功能特性，满足快速变化的市场需求。传统网络设备商的代表企业包括华为、新华三、中兴和烽火等。

#### 2. 安全厂商

安全厂商的主要特点是在 SD-WAN 方案中增加更多的安全元素。安全厂商的技术路线是从安全解决方案走向 SD-WAN 解决方案，安全厂商对网络安全特性的支持更为齐全，适用于安全性要求高的应用

场景。安全厂商目前的主要商业模式是在出售的硬件设备之上叠加安全管理平台构成 SD-WAN 解决方案。在 SD-WAN 2.0 阶段，SASE、零信任安全等技术的发展需要安全厂商逐渐将安全组件云化部署，通过云化的安全资源池，结合 SD-WAN 的网络接入能力为客户提供安全服务，探索形成新的商业模式。安全厂商的代表企业包括派拓网络（Palo Alto Networks）、飞塔，山石、奇安信等。

### 3. 专营 SD-WAN 厂商

专营 SD-WAN 厂商是指专门从事 SD-WAN 解决方案及产品研发的企业，其产品架构设计能够更加适应最新的市场需求，比如专营 SD-WAN 厂商能够更好地支持多租户、软件化云化部署、低成本 CPE 等基本诉求。专业 SD-WAN 厂商的演进路线是以提供某一类 SD-WAN 能力为起点，逐渐扩展到其他领域。专营 SD-WAN 厂商具备运营商级 SD-WAN 的优势，能够支持多租户、复杂多云环境、大规模运营的能力，具有易部署、易接入、易维护的特点，是运营商上游的供应商和服务商。专营 SD-WAN 厂商代表企业有赛特斯、华智达、东方森太等。

#### 3.1.3 SD-WAN 基础设施提供商

在 SD-WAN 1.0 阶段，基础设施提供商主要是 SD-WAN CPE 硬件白盒提供商。白盒 CPE 的硬件提供商主要以工控机、迷你电脑、桌面电脑类厂商为主，提供业界主流的 CPU、内存、硬盘、网口、WiFi、4G/5G 模块以及外壳的硬件集成。SD-WAN CPE 硬件白盒提供商的代表企业包括研华、兴汉等。在 SD-WAN 2.0 阶段，基础设施提供商主要提供软件化、虚拟化、可集成、可微服务化 SD-WAN 2.0 网关设备、可联动的 SRv6 网关设备、云安全设备、NGFW 设备、CASB 设备、DPI 设备等。SD-WAN 2.0 基础设施提供商代表企业有 Fortinet、

天融信等。

### 3.1.4 SD-WAN 芯片提供商

由于 SD-WAN 产业仍处于发展过程中，目前还没有定制化研发的芯片，SD-WAN 芯片提供商实际上是被定位为网络处理器的各芯片厂商，这些芯片也被应用于 SD-WAN 产业。随着 SD-WAN 市场规模的持续扩大，整合 SD-WAN 特色功能、面向 SD-WAN 市场的专门芯片将会持续问世，并带来设备性能的倍数级提升，SD-WAN 芯片提供商也将成为行业中具有高市场价值的组成部分。SD-WAN 芯片提供商代表企业包括 Intel、NXP、Marvell 等。

### 3.1.5 SD-WAN 评测机构

SD-WAN 评测机构在国内主要是算网融合标准与产业推进委员会（CCSA TC621，以下简称 CCNIS）。CCNIS 是由中国信息通信研究院（以下简称“中国信通院”）主导，中国电信、中国移动、中国联通、中国科学院、北京航空航天大学、济南超算中心等 16 家产学研用单位联合发起的第三方产业组织。CCNIS 作为国内 SD-WAN 的权威认证评测机构，建立了 SD-WAN Ready 评测服务体系，涵盖设备、解决方案、服务三个维度，共 20+ 基准能力模块，形成了 SD-WAN 1.0&2.0 基准测试方法体系。目前共有 60 余家公司近百个产品参与 SD-WAN Ready 1.0 评测，包括电信运营商（中国电信、移动、联通）、SD-WAN 服务提供商（华科云、凌锐蓝信、HKT 等）、基础设施提供商（华为、深信服等）、SD-WAN 解决方案提供商（思科、新华三）等。首批参与 SD-WAN Ready 2.0 项目评测的企业截至到 2022 年 4 月也有 10 多家近 20 多个产品。

## 3.2 SD-WAN 2.0 产业发展模式

### 3.2.1 SD-WAN 2.0 基本技术方案

随着云计算的蓬勃发展，在云服务、AI、大数据、物联网等新兴业务对底层网络的服务及响应能力需求推动下，SDN 理念逐渐在 ICT 领域发酵，并被引入到企业 WAN 市场，促使 SD-WAN 解决方案应运而生。SD-WAN 是云网融合的创新应用模式，是网络云化、软件化的必经之路。SD-WAN 2.0 的显著特征即是“云”化底层网络资源，实现按需分配云网资源，提供一体化“无感”网络服务。

在 SD-WAN 1.0 产业发展阶段，利用 SD-WAN 技术，一方面通过集中式的网络智能配置和管理，极大简化传统网络设备配置的复杂度及工作量，实现对网络的灵活配置、高效管理、安全加固、资源优化等；另一方面，由于 SDN 基础设施层可采用工业标准化的通用转发设备，减少了新业务部署对厂商设备的依赖程度，有利于加速网络和应用创新及实现网络功能虚拟化，SD-WAN 1.0 架构解决了基础网络的互联互通问题。但同时，SD-WAN 1.0 架构没有集成安全特性，服务商大多将安全类软件叠加在 SD-WAN 网络设备之上，以单独的功能模块进行销售，或者在 SD-WAN 网络节点叠加安全类硬件产品实现端到端的数据传输安全，这种方案虽然解决了安全问题，但同时带来额外的消耗，导致网络连接的弹性不足。

在 SD-WAN 2.0 架构下，控制器将进一步包含 Underlay 网络的 SDN 控制器能力，云资源管理能力，以及上层云网协同编排的业务能力。并且可根据不同的目标客户，进行功能的灵活裁剪。同时，作

为 SD-WAN 融合安全服务的重要途径，SD-WAN 2.0 通过 SASE 将广域网和安全解决方案集成到一个可以完全通过云交付的服务中。SASE 的服务内涵囊括了防火墙即服务 (FWaaS, FireWall as a Service)、云访问安全代理 (CASB, Cloud Access Security Broker)、安全 web 网关 (SWG, Security Web Gateway)、以及零信任网络访问 (ZTNA, Zero-Trust Network Access) 等技术，通过利用弹性、自适应性、自恢复能力和自维护功能,提供一个可以分摊客户开销以提供最大效率的平台，能够充分适应开展新兴业务的需求，而且随处可用。

### 3.2.2 SD-WAN 2.0 主要商业模式

在商业模式上，目前，SD-WAN 2.0 商业模式上可分为产品模式和服务模式两种，产品模式提供 SD-WAN 2.0 产品和解决方案为核心，服务模式提供 SD-WAN 组网服务和业务运营。SD-WAN 2.0 产业商业模式可归纳如下：

表 1 SD-WAN 2.0 市场商业模式

商务模式	服务模式		产品模式
		SaaS 订阅/SaaS 服务，定期/按需付费	
交易模式	2B2B toB (运营商) toB	2B2B toB (服务商) toB	2B2B toB(代理商/集成商)toB
	厂商->运营商->最终客户	运营商/厂商->服务商/MSP->最终客户	厂商->代理商/集成商->最终客户
合作机遇	运营商/服务商所覆盖的 B 端客户		代理商/集成商所覆盖的 B 端客户
销售场景	客户期望较低成本开通 SD-WAN 业务		客户处于安全等考虑，

	客户希望运营商/MSP 提供服务保障 运营商/MSP 期望进行新业务推广	期望本地部署 客户期望对于软硬件具有完全的控制
部署方式	公有云	私有云/混合云
相对优势	链路资源优势明显，优质客户多	服务响应相对较快
相对劣势	流程复杂且冗长、入围周期长	无链路或技术优势，仅靠服务获取客户能力有限
		个性化强，覆盖面广，理论上可覆盖全部潜在市场
		强方案式（云平台+网关终端），对客户以及代理商/集成商自身能力要求较高

### 3.3 SD-WAN 2.0 产业生态建设

SD-WAN 产业发展经历了从无到有的过程，商业模式也从模糊不清到逐渐清晰，以“点→线→面”的方式逐步演进。SD-WAN 产业链各方根据行业需求和趋势，结合自身发展领域，从运营服务、技术设备、解决方案、标准体系等方面共同驱动 SD-WAN 2.0 发展，逐步形成协同发展的良好生态。

运营商或服务商(MSP/ISP)通过整合云、网、安全能力触达用户。运营商或服务商(MSP/ISP)处于产业下游，主要为企业提供一站式的网络服务，相较于 SD-WAN 1.0，SD-WAN 2.0 将 SDN 技术可编程的 SRv6 Underlay 网络以及云虚拟化能力、内生安全等能力进行了全面整合，从而可以快速提供融合云、网的企业产品。因此管理服务商能够整合设备提供商、管道提供商、IDC 和云服务提供商的产品和资源，形成一个整体解决方案提供给客户，并为客户提供 POC (Proof of

Concept) 测试, 确认可以满足客户的网络使用需求。管理服务商主要包括基础电信运营商、云服务商和普通服务提供商。

**技术方案商关注整体解决方案, 以此促进行业应用。**技术方案商处于产业上游和中游, 以技术厂商为主导, 通过行业集成商或代理商提供软件定义广域网技术及解决方案, 其主要致力于为行业提供 SD-WAN 应用软件和整体解决方案, 其中包括 SD-WAN 技术方案提供商、SD-WAN 方案销售商、白盒提供商等。当前, SD-WAN 技术方案商主要围绕企业互联、数据中心互联及云互联三大场景提供技术及解决方案。其中企业互联技术关注的是用户侧的 WAN 连接, 为企业总部、分支机构跨广域网的连接提供高效的基于 SDN 的解决方案。数据中心互联是为企业的多个数据中心, 或者企业办公机构与数据中心之间建立的基于 SDN 的解决方案。云互联则更多的关注应用侧的 WAN 连接, 为公有云、私有云以及越来越丰富的混合云应用提供高效的基于 SDN 的解决方案。

**第三方组织致力于融合产业内各方角色, 构建产业生态。**当前的 SD-WAN 市场正处于初期发展阶段, 产品技术及服务方式差异很大, 存在着隧道建立模式紧密耦合终端设备, 服务质量标准不统一等一系列问题。对此, SD-WAN 2.0 的发展需要第三方组织机构通过统一协调各方诉求, 构筑技术发展平台, 统一行业标准, 引导整个行业生态健康快速发展。同时, 通过开源促进供应商之间的相互竞争, 增强产业发展的竞争力。

表 2 SD-WAN 2.0 产业链关键角色

上游产业	产品/方案	触达/服务用户	行业用户
CPE 硬件代工厂/元器件厂商 软件许可商/开源许可商	厂商/代理商 集成商/服务商	运营商/服务商(MSP/ISP)	用户
CPE 硬件代工厂/元器件厂商 软件许可商/开源许可商	厂商	代理商/集成服务商	
<b>第三方组织/生态联盟</b>			
SD-WAN 标准体系、技术开发、开源社区、行业交流、产业发展和生态建设			

2020 年开始，新冠肺炎疫情在全球的蔓延让企业认识到具备弹性网络连接能力的重要性，对于 SD-WAN 1.0 技术体系进行革新的需求更加迫切。同时，越来越多的国内企业将目光投向了后疫情时代的海外市场。在宏观因素的作用下，SD-WAN 2.0 加速发展，开始走向大规模、深层次应用阶段。Gartner 的研究报告提出，到 2025 年，65% 的企业将采用 SD-WAN 网络架构，在 2021 年这一比例约为 45%；，到 2025 年，30% 的企业会采用 SDCI 服务连接公共 CSP，在 2020 年这一比例大约为 10%。SD-WAN 2.0 产业体系也基本形成，包括电信运营商、云服务提供商、网络设备商、安全厂商等在内的不同主体按照各自的发展路径，推动产业发展不断深化。

## 4 SD-WAN 2.0 规划与设计模型

### 4.1 SD-WAN 2.0 总体设计思路

SD-WAN 2.0 总体业务规划应综合考虑企业广域网现状和应用需求，一是针对当前企业广域网网络基础设施、网络覆盖情况、应用、平台等开展多维度分析；二是总结当前企业广域网存在的问题及原因；

三是参照典型同类行业企业应用部署案例，企业设计形成整体的 SD-WAN 2.0 优化方案。

SD-WAN 2.0 方案总体设计思路可以参照以下 5 方面：

- 需求分析。SD-WAN 2.0 整体技术方案设计应坚持以需求为导向的原则，紧紧围绕企业的各项业务流量和资源调度情况开展设计；
- 分步实施。SD-WAN 2.0 技术方案应在整体布局的规划下，采用分期分步设计、基础先行、分步建设，统一纳入 SD-WAN 2.0 管控平台；
- 安全可靠。SD-WAN 2.0 技术方案部署应在企业现有系统的正常运行情况下，稳步迭代并保障方案的安全可靠运行；
- 统一标准。应参照现有的 SD-WAN 标准体系，充分考虑 SD-WAN 2.0 技术方案的应用平台和业务系统的开放性、可扩展性和易维护性，为系统功能扩展需求奠定基础；
- 经济实用。SD-WAN 2.0 技术方案应综合考虑成本预算，切实研究企业应用需求和实际情况，提出经济合理、注重实用的技术方案，尽可能节约成本。

## 4.2 SD-WAN 2.0 业务规划与部署模型

### 4.2.1 跨国企业业务规划与部署模型

对于跨国跨运营商的网络连接需求，SD-WAN 2.0 服务提供商可以提供软件(NFV)或设备的接入方式，通过租用 SP 线路和数据中心，在 Underlay 网络上建立多个全球 POP 点组成的一个 Overlay 逻辑拓

扑。用户边缘的 SD-WAN 2.0 设备就近接入全球 POP 点，通过应用识别和链路检测，从 Overlay 的逻辑网络选取一条满足业务需求的路径进行路由，或者综合 Overlay 和 Underlay 进行选择。但整体组网涉及国际出口应遵照《网络安全法》、《数据安全法》以及 GDPR 国际通用数据保护条例等要求，数据传输均应通过国家防火墙。

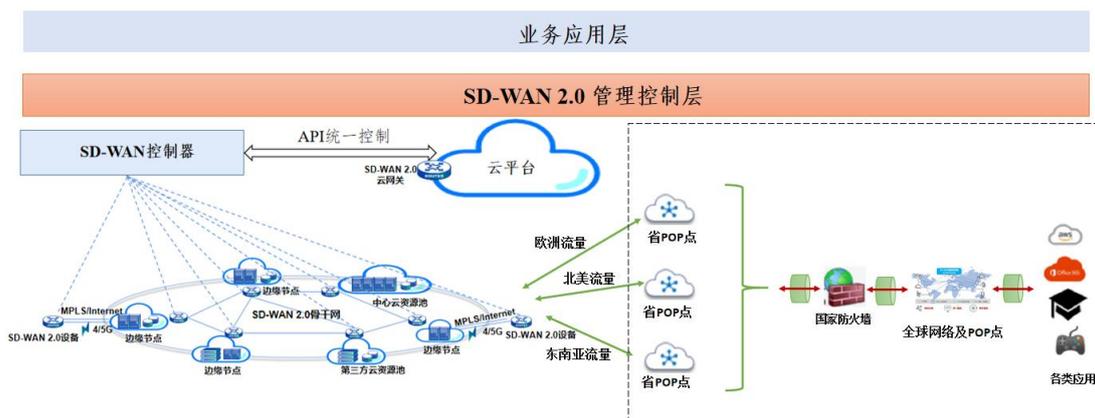


图 5 跨国企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型

#### 4.2.2 大型企业业务规划与部署模型

大型企业通常会采用混合线路接入，专线承载业务 SLA 要求较高的关键业务，Internet 线路承载带宽占用较高的非关键业务。大型企业利用 SD-WAN 2.0 实现网络自动化互联、统一运维管理、应用流量智能调度、分级分权安全访问等功能。各分支机构可以快速完成设备部署和业务开通，实现灵活组网。

大型企业 SD-WAN 2.0 方案通常在总部或核心数据中心部署 SD-WAN 2.0 业务编排器和 SD-WAN 2.0 控制器，省节点部署可管控的 PE 节点，数据中心或公有云节点部署支持承载 VNF 的 SD-WAN 2.0 pop 点，重要分支节点部署 SD-WAN 2.0 网关设备，一般分支或小

分支部署 SD-WAN 2.0 边缘设备，SD-WAN 2.0 骨干核心网自建自管，能够真正实现端到端的流量 SLA 保障。大型企业 SD-WAN 2.0 方案集成 SRv6、防火墙、云安全网关、DPI、动态权限管理、广域网加速、现有的网络业务系统 BSS/OSS 的 API 等，同步也支持传统的 OSPF，BGP，VRRP 和静态路由协议。

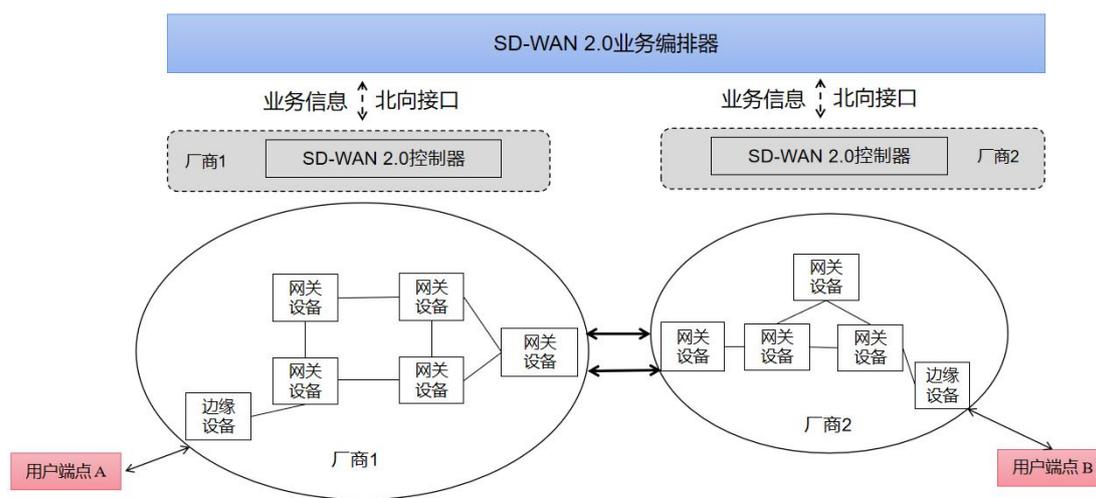


图 6 大型企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型

### 4.2.3 中小企业业务规划与部署模型

中小企业一般主要通过 Internet 线路接入，通过 SD-WAN 2.0 托管服务提供商来提供一站式的交付服务。SD-WAN 2.0 托管服务提供商整合设备提供商、网络线路提供商、云服务商的产品和资源，形成一个完整的轻量级 SD-WAN 2.0 方案给中小企业。

中小企业 SD-WAN 2.0 方案通常将 SD-WAN 2.0 控制器部署在云端或总部，同时在各个分支机构部署 SD-WAN 2.0 边缘设备 CPE，CPE 组网之间支持 IPSec VPN/GRE+IPSEC/VLXAN 等加密方式实现安全连接。SD-WAN 2.0 Underlay 网络由 SD-WAN 2.0 服务提供商提供

Internet、4G/5G、Wifi、MPLS 等，SD-WAN 2.0 Overlay 拓扑一般采用 Hub-Spoke 或小规模 Full-Mesh 模式。中小企业 SD-WAN 2.0 部署方案主要解决跨南北运营商互联、自动化部署、灵活敏捷运维等问题。

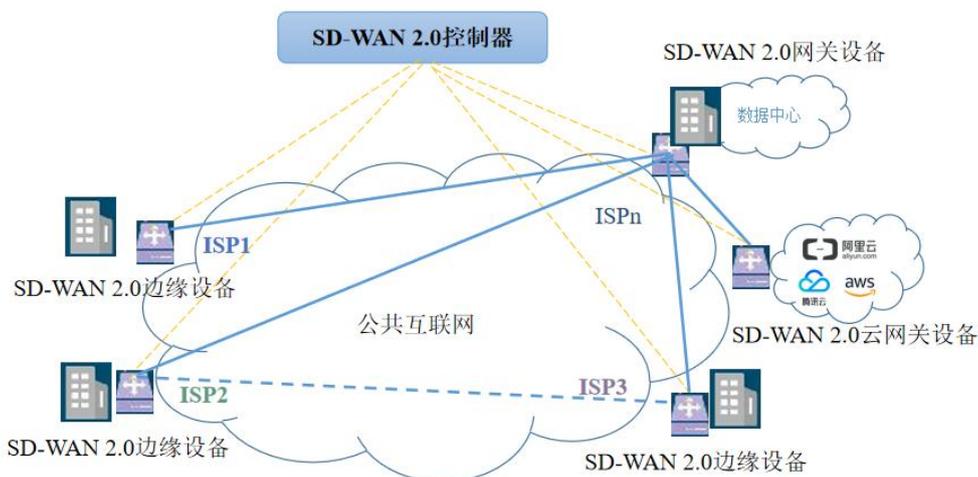


图 7 中小企业 SD-WAN 2.0 技术方案部署模型

## 5 SD-WAN 2.0 在垂直行业的应用实践

### 5.1 电信行业典型应用方案与关键价值

伴随建设新一代信息基础设施的需求发展，电信行业构建云网融合/算网融合一体化的信息基础设施已成为电信行业发展核心战略目标。作为承载网络计算化的关键能力引擎，融合 SRv6、零信任的 SD-WAN 2.0 技术将最大化发挥国内运营商云网/算网资源一体化服务能力。

#### (1) 应用方案

SD-WAN 2.0 电信行业应用方案是集下一代广域网(SD-WAN)、网络安全服务(如 CASB、FWaaS、Zero Trust 等)以及边缘计算于一体的云交付网络方案。SD-WAN 2.0 电信行业应用方案以用户为中心，通过在云端和分支部署 SD-WAN 2.0 控制器、网关设备、边缘设备等

支持实现 overlay 网络的不同分支互联、分支上云等应用场景的安全灵活连接,同时在边缘网络部署云化的网络和安全服务来保障边缘云托管企业应用,并建立基于身份一致的零信任访问策略(综合用户设备、位置、访问行为等信息),外部区域的终端访问企业应用则通过 SDP 来实现终端的持续可信授权和身份验证,企业可以将其网络边界扩展到任何远程用户、分支机构、设备或应用程序。图 9 为某运营商 SD-WAN 2.0 应用架构图,该运营商融合 SD-WAN、零信任网络访问(ZTNA)、云安全访问代理(CASB)、防火墙及服务(FWaaS)、SWG(安全 web 网关)、SD-WAN、全球组网等能力,以统一 SD-WAN 2.0 框架提供插件式网络安全功能和各类增值服务。

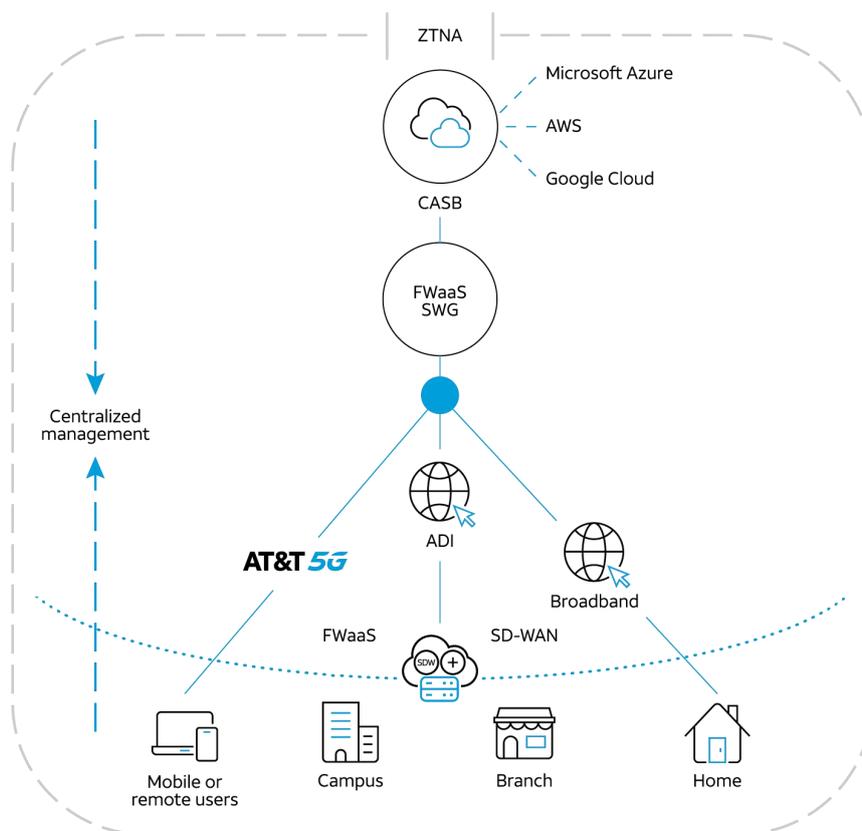


图 8 某运营商 SD-WAN 2.0 应用架构图示例

## (2) 关键价值

- **敏捷高效可复用的基础设施：**SD-WAN 2.0 利用网络虚拟化、开放化、网元白盒化、编排一体化技术，实现基础设施通用化、标准化、智能化，最低成本最大程度发挥出基础设施资源价值；
- **实时应用感知云网资源：**SD-WAN 2.0 通过应用流量大数据算法分析配套 Overaly+Underlay 统一调度，SD-WAN 2.0 服务提供商可为不同应用保障确定性 SLA；
- **快速上线增值网络应用：**SD-WAN 2.0 基于研运一体化云原生平台，微服务化网络功能、安全功能及各类应用，支持运营商快速开发并上线新业务、新应用、新功能并将增值服务一站式推送给用户；
- **一体化内生安全保障机制：**SD-WAN 2.0 基于身份机制和动态访问控制模型支持统一接入、统一策略来自动化管理平台、系统、数据、应用、终端等安全，防御各类安全攻击，提升本质安全。

## 5.2 金融行业典型应用方案与关键价值

金融行业正处于数字化转型阶段，要求业务应用能够快速、安全、敏捷地适应用户的多样化需求。目前金融行业广域网存在三个痛点，一是 Underlay 网络涉及跨地域跨运营商承载混合生产业务办公以及外部数据流量导致网络整体灵活性差；二是企业平台不能实时分析并图形化显示各种应用流量及相关资源使用情况，依赖人工读取运维日

志分析业务情况，网络运维精细化程度低、运维效率低；三是按照网络安全分级分区管理，企业计算资源池利用率低，负载不均衡，访问安全性低，数据安全风险高。基于 5G、SD-WAN 等前沿技术的网络架构创新发展能够为金融行业应对挑战、完成数字化转型提供基础保障。

### (1) 应用方案

金融行业 SD-WAN 2.0 解决方案主要在总部/数据中心集中部署 SD-WAN 2.0 控制器，在大型网点部署 SD-WAN 网络网关设备及安全设备，在省市各个分支网点部署 SD-WAN 网关设备或边缘设备。同步根据不同金融类业务包括实时交易类业务、远程语音、人工客服、泛金融类业务等，动态识别应用流量，针对不同业务的时延、带宽、使用特征等参数匹配最佳传输链路，保障差异化服务质量同时能够快速定位网络故障提供一体化的端到端网络安全防护能力。金融企业通过部署 SD-WAN 2.0 架构，将其广域网络向图形化、自动化、简单化、智能化方向转变，目前，国有大行、股份制行、城商行、保险公司、证券公司等多家金融机构对试行了 SD-WAN 架构平台，在用户体验与价值体现方面的整体评价为积极。图 10 为兴业银行的二级骨干网 SD-WAN 架构图，一二级 SD-WAN 层是通过在一级分行主机房与同城 IDC 机房部署 SD-WAN 控制器、SD-WAN 汇聚路由器，在二级分行部署 SD-WAN 安全网关设备来实现。SD-WAN 控制器通过北向协议（REST）提供第三方编程接口，实现业务应用可视化，设备、拓扑及告警的实现，通过南向协议(NETCONF)向 SD-WAN 路由器注入

路由策略与配置命令，并对网络设备工作状态、链路质量、应用流量相关信息进行收集与分析。

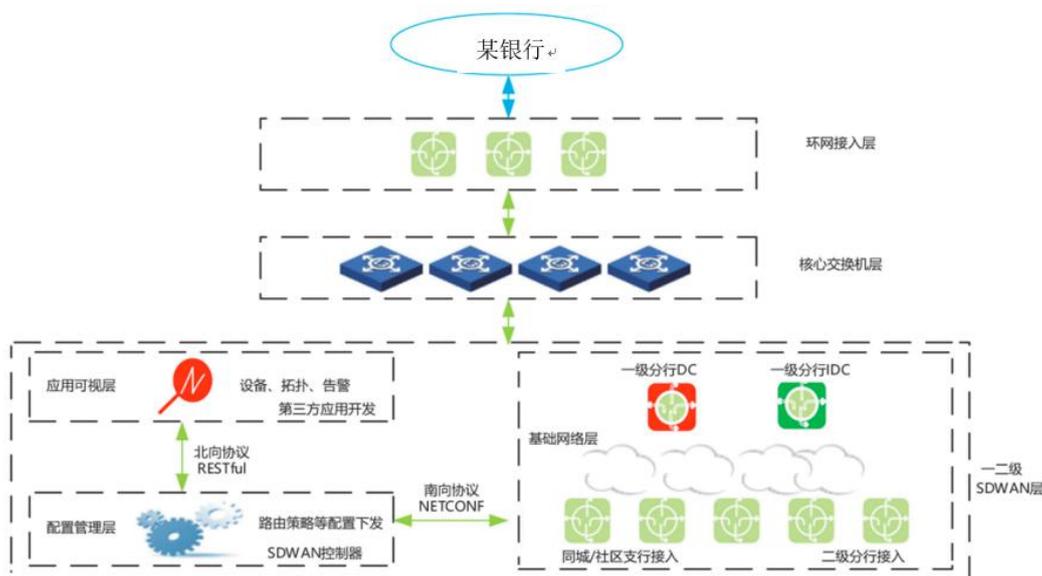


图 9 某银行骨干网 SD-WAN 应用架构图示例

## (2) 关键价值

- **灵活调度：**SD-WAN 2.0 控制器与 SD-WAN 网关设备实现全新网络架构，同时根据业务分类动态匹配线路调度策略。根据业务日常流量、线路带宽、线路日常质量表现等综合考虑，对每种业务及应用在多线路上进行优先级调度与最佳策略设置；
- **敏捷运维：**SD-WAN 2.0 管控层通过南北向协议收集网络节点、广域网链路、业务流量调度等相关信息并自动化分析业务流量数据，并对全局网络信息可视化显示，实时上报网络故障告警也实时以短信、邮件等方式时通知运维人员；
- **安全合规：**SD-WAN 2.0 从对用户接入身份认证、设备认证、

应用权限动态访问控制、数据加密以及平台自身安全自动化审计、整体安全防御攻击等维度实现端到端的统一网络安全管理，切实保障金融企业安全。

### 5.3 医疗行业典型应用方案与关键价值

随着技术的发展，现有的医疗检测设备越来越便携化，比如 B 超检测设备，便携化的医疗设备可以让患者在病房甚至是在家中就进行相关的检测，而医生通过远程的方式查看检测结果，指导患者进行相应的治疗。SD-WAN 2.0 在医疗行业的应用方案能够满足当前远程医疗发展对于低延时、高稳定的视频传输的需求。

#### (1) 应用方案

通过在现有便携设备中增加 SD-WAN 模块，实现便携医疗设备通过互联网或移动互联网接入到就近的 SD-WAN 网络，针对设备的移动性需求并基于设备当前的位置、运营商情况动态的选择接入节点，实现快速的用户接入；而 SD-WAN 2.0 网络通过多路径优化技术实现远程医疗数据的稳定高速访问，确保医生可以实时查看到用户的检查情况指导病患进行治疗。利用 SD-WAN 技术取代原有数据专线，使辖区医院可直接访问本地和云端服务器，并且可以关闭公网访问权限。如图 11 所示，在中心血站数据中心与医院机构公有云各部署一套 SD-WAN 编排控制器，在每个云端均部署一台或多台 SD-WAN vCPE 作为云服务的网络代理，本地中心血站也部署一台 SD-WAN CPE 设备作为医疗网络云应用代理，各辖区医院则分别部署一台 SD-WAN CPE 设备连接云端和中心血站，献血车部署一台 SD-WAN CPE 设备

利用 4G/Wifi 作为分支设备连接云端和中心血站。中心血站数据中心与公有云建立双主的 hub-spoke 组网，每一台 SD-WAN 设备只建立点对点加密隧道。此案例中某医疗架构采用 SD-WAN 方案简化了网络架构，实现了性能、成本、安全三点平衡。

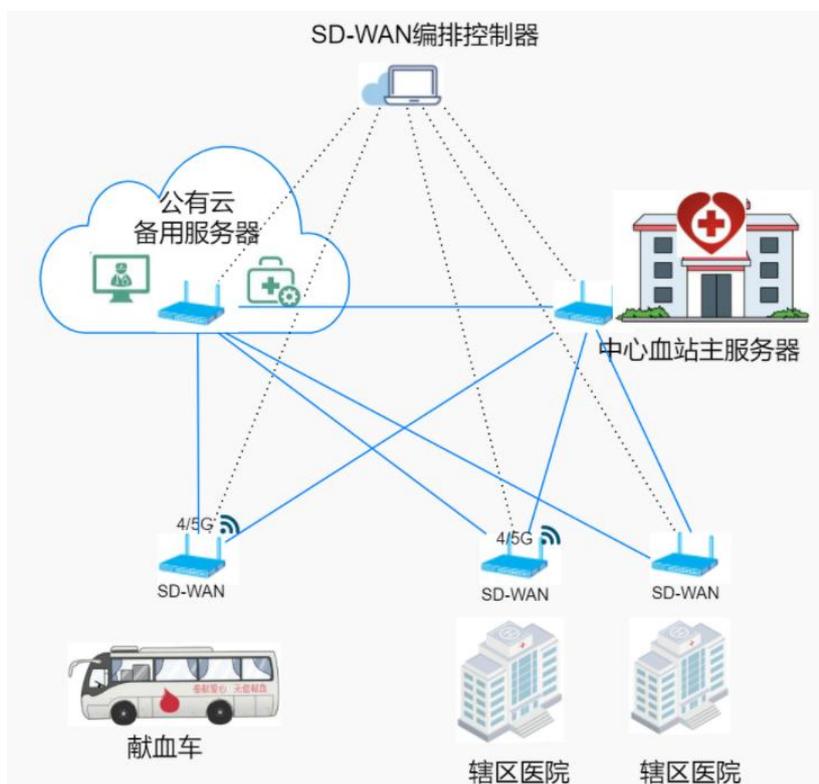


图 10 某医疗架构 SD-WAN 应用架构图示例

## (2) 关键价值

- SD-WAN 接入模块提供基于宽带或是 4G 的接入方式，并针对用户接入位置、运营商和网络质量等情况动态接入到最优 POP 节点；
- SD-WAN 设备支持通过多运营商接入的方式，可以实现不同运营之间的线路接入，实现业务的高可用；
- SD-WAN 网络支持多路径优化技术，确保用户业务的稳定访

问。

## 5.4 能源行业典型应用方案与关键价值

能源数字化转型是能源产业创新发展的关键。伴随能源企业整体网络复杂度的增加及网络规模的发展，企业内网与外网（广域网）建设面对的问题和痛点越来越多，主要集中在两个方面：一是带宽利用率低，无法对流量路径进行可视化的全局调整，且调整结果难以直观验证；二是端到端业务部署和业务变更太慢，配置工作量大，而且需要企业内部多个部门及设备生产厂商的配合。

### (1) 应用方案

能源企业通过部署 SD-WAN 来实施整体网络的统一部署与控制，实现业务敏捷力，确保对网络的高效管控并降低网络运维的成本，一方面满足企业网络建设的实际需求，另一方面为后续网络的扩容和演进奠定基础。以中国石油 SD-WAN 应用方案为例，中国石油地区公司的原有模式是租用专线链路，费用较高，且目前已不满足各个分公司的使用需求。中国石油地区公司可采用 SD-WAN 组网方式，实现位于偏远地区的下属分公司的灵活组网，为新兴技术与传统油气业务的结合提供必要的基础设施，并在大幅提高分公司上联的链路带宽的同时不产生新的费用。此外，具备安全模块的 SD-WAN 设备可以保证数据在运营商链路中的传输安全。同时，面对当前系统上云的问题，如部分分支机构的应用系统由于链路条件不足以及分支机构所处位置的局限性等原因无法将系统部署在集团公司的云服务器中，SD-WAN 组网方式能够极大地提升应用系统接入云计算中心的灵活性，积极推进集团公司各类应用系统上云迁移服务，加速系统上云的进程。

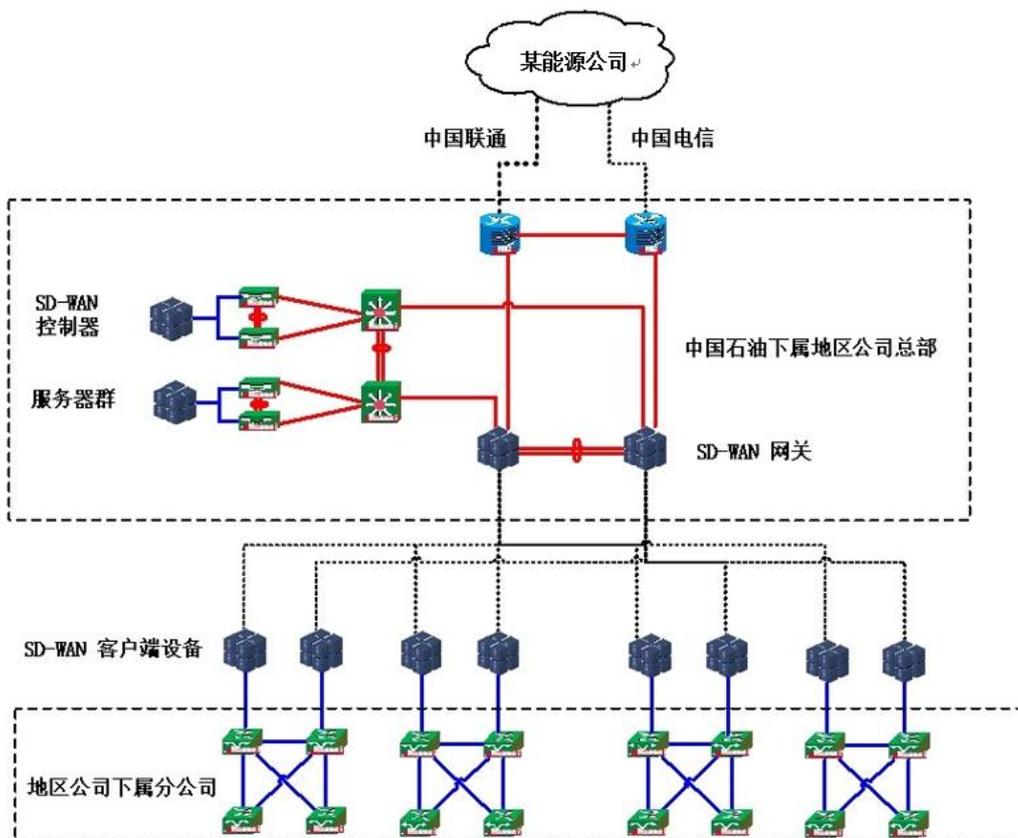


图 11 某能源公司 SD-WAN 应用架构图示例

## (2) 关键价值

- 业务数据采集与分析：支持根据新应用、新业务需求来实时采集数据并对采集数据根据特性分类分析保障有效的网络传输；
- 应用识别：支持新业务快速上线后同步业务应用识别机制，并根据实时业务状态变化来动态调整资源分配；
- 链路优化：支持对链路针对不同业务提供按需的应用分析、链路资源分配和服务质量保障能力；
- 业务隔离：支持根据不同生产、办公业务安全级别逐提供不同安全级别业务间的业务隔离和访问控制能力。

## 5.5 零售行业典型应用方案与关键价值

随着传统零售企业数字化转型加速，为了满足企业经营规模的快速扩张、优化内部管理、提升用户数字化体验的需求，零售企业亟需一种安全、稳定而高效的网络方案。零售产业在整合线上服务和线下应用系统、网络系统过程中，面临四个关键问题：一是实现门店的网络快自动化部署；二是灵活构建广域网，简化网络运维，降低广域网成本；三是托管的公有云业务与网络无缝融合，策略统一配置；四是业务服务高可用。

### (1) 应用方案

零售行业通过在公有云中心部署 SD-WAN 2.0 控制器，并在公有云边缘部署主备或集群模式的网关设备，同步在各个线下门店部署 SD-WAN 2.0 边缘设备支持 MPLS、4G 或 ADSL 等线路传输，来满足总体成本优化，业务集中管控，网络灵活调整，轻量级云网平台更新迭代。图 13 为国内某零售企业的 SD-WAN 应用架构，该企业在海内外拥有数十个门店，这些门店与总部之间需要建立安全可靠的网络通道，实现核心业务的高效而安全的数据传输。SD-WAN 通过在门店和总部分别部署 CPE 设备，将用户流量就近导入 SD-WAN 平台，结合平台 POP 节点的业务隔离、数据加密与转发等技术应用，为用户提供安全稳定的专用网络，门店接入点可依据业务要求或者网络环境等因素，选择合适的接入方式（支持 MSTP/SDH/MPLS/Internet/LTE-4G 等）。

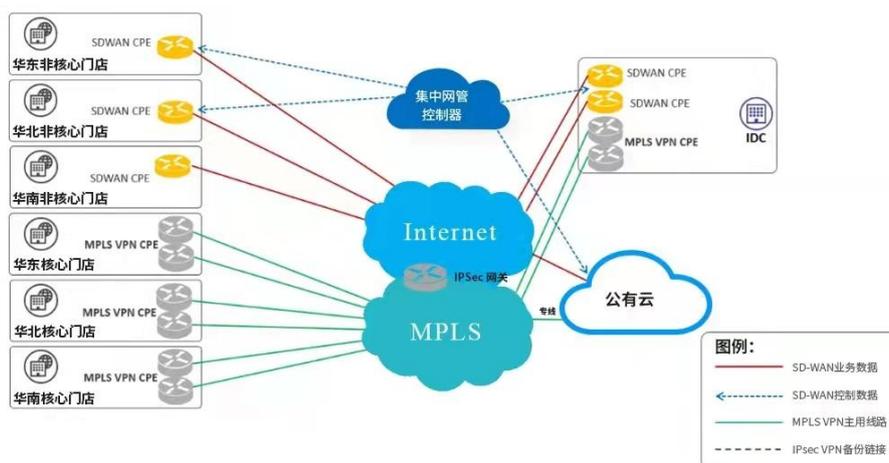


图 12 某零售企业 SD-WAN 应用架构图示例

## (2) 关键价值

- 零接触部署和快速上线：企业 IT 人员一般集中在总部办公，门店 IT 能力弱，IT 运维需要出差到现场。CPE 设备支持零接触部署，即插即用，可视化管控平台统一配置、下发，实现快速上线，节省了企业 IT 运维成本投入；
- 支持带宽弹性扩缩：门店进行促销活动时，会出现访问量并发变大，出现带宽突增的现象。SD-WAN 解决方案支持弹性带宽，当带宽突增时可支持快速扩缩容；
- 全方位安全防护：SD-WAN 支持基于身份访问、全网数据加密，支持防漏洞扫描及各类 Flood、DDos 攻击；
- 可视化管控平台：提供统一可视化平台可实时监控企业网络状况，并用图形化展示，能及时确认网络健康情况，快速定位网络故障，及时处理。

## 6 展望与建议

当前，SD-WAN 持续升级和演进，标准体系建设稳步推进，多行业应用融合共生，产业发展空间巨大，我们应当抓住发展机遇。同时，SD-WAN 2.0 发展也面临技术成熟度参差不齐、应用产品同质化严重、生态开放协同不足等多方位挑战，对此，应当围绕核心技术攻关、应用场景打造、产业供需协同、国际合作等不断深化 SD-WAN 发展。

### 6.1 强化核心技术研究，提升技术与产业融合发展水平

围绕 SD-WAN 2.0 的网络体系、平台体系和安全体系，强化核心技术研究。一是建立和完善 SD-WAN 2.0 标准体系。指导产业数字化转型工作与 SD-WAN 2.0 关键技术体系的融合应用，持续提升 SD-WAN 2.0 技术与企业业务融合发展水平。二是建设通用技术平台。运用 SDN/NFV、云原生、SASE 等新一代信息技术，探索构建适应行业特征和发展需求的新型融合架构模式，建设敏捷高效可复用的 SD-WAN 2.0 融合基础设施，提升服务能力。三是提升安全能力。综合应用 SDN、NFV 和新型的内生安全技术的核心思想和原理构建内生安全 SD-WAN 2.0 架构。将原来叠加于广域网上的各类安全防护机制和手段，采用内置于设备、虚拟化、软件化、可动态加载和配置等方式实现，增强系统的自身安全属性和灵活部署性，提升安全防护效果。

#### 专栏 2 SD-WAN 2.0 核心技术趋势

SD-WAN 2.0 的将持续增强用户体验，提高安全性，并提供多连接能力，在之后的发展中，SD-WAN 2.0 将在核心技术上不断融合创新，并呈现出 7 个主要的发展趋势。

##### ■ 集成远程访问

2020 年开始在全球范围内蔓延的新冠肺炎疫情使企业认识到保障远程办公的重

要性, 由于 SD-WAN 2.0 能够解决远程访问在可靠性等方面的难题, 并防止可能导致敏感数据丢失的网络攻击, 集成远程访问是 SD-WAN 2.0 在当前和今后一段时期的重要发展趋势。调研机构 Doyle Research 公司预计, 未来全球将有数千万工作人员至少每周有一半的时间进行远程办公, 以减少通勤时间, 更好地安排工作。目前, 许多 IT 组织都在优先考虑为员工提供精简、安全的访问, 因此正在寻找与持续安全性集成的远程连接选项, 如 SASE 架构。SD-WAN 2.0 服务提供商在提供便捷的远程访问架构的同时, 也整合了零信任网络访问(ZTNA), 以进一步提高其远程访问能力。

#### ■ 部署架构转向 SASE

SASE 将网络和安全功能一体化融合, 是面向未来网络云化发展的技术架构, 也是企业部署的发展方向。当前, 大多数 IT 和安全组织继续依赖其现有的分层安全产品战略为网络、应用程序和数据提供保护, 例如, 下一代防火墙、应用程序交付控制器、安全 Web 网关、云访问安全代理(CASB)、身份、安全信息、事件管理(SIEM)和 ZTNA 等。在 SD-WAN 2.0 发展阶段, SD-WAN 2.0 供应商将融合 SASE, 继续增强和扩展其网络安全产品, 包括远程访问、ZTNA、CASB 和 SIEM 功能。

#### ■ SD-Branch 快速增长

SD-Branch 通过在易于部署和管理的统一平台中将 WAN 连接(即 SD-WAN 和路由)与网络安全性和 LAN / Wi-Fi 整合在一起, 从而简化了网络操作。一些 SD-WAN 2.0 供应商一直积极开展 SD-Branch 投资活动, 例如 HPE Aruba、Fortinet。随着平台的不断创新, 在 SD-WAN 2.0 发展阶段中, SD-WAN 2.0 供应商将越来越多地在其产品中增加 SD-Branch 功能。SD-Branch 作为分支机构运营的多合一选择能够产生显著的经济效益, Doyle Research 公司预计, SD-Branch 市场规模将从 2021 年的数亿美元增长到 2025 年的数十亿美元。

#### ■ 5G 成为主要连接

5G 蜂窝网络目前可提供与宽带互联网服务同等的连接速度, 易于配置, 并能够快速扩展新的分支机构位置, 在今后的发展时期, 越来越多的企业将选择 5G 作为 SD-WAN 2.0 的主要连接。随着 5G 竞争力度的加大, 无限数据计划的成本将下降, 从而使 5G WAN 连接更具吸引力。

#### ■ 自动化和人工智能

在网络技术发展进程中, 实现网络自动化闭环是一个重要的方向, SD-WAN 也在不断往自动化的方向演进, 表现为为 SD-WAN 产品和服务的自动化, 其目标是提供一个统一的平台, 用于集中控制安全策略、服务质量、应用程序、用户和设备, 使 IT 运营商能够在端到端的基础上确保服务质量(QoS)。

#### ■ 多云连接得以改善

随着越来越多的应用程序转向 IaaS 和 SaaS 平台, 企业必须为各分支提供从各站点到公有云/私有云无缝访问能力。SD-WAN 提供商已与行业领先的 IaaS 提供商和一些 SaaS 平台(如 Microsoft 365)合作, 以简化访问并加速连接。在 SD-WAN 未来的发展中, SD-WAN 提供商将通过提供更精细的访问控制并提高服务质量(QoS)可靠性, 继续加强其与云计算合作伙伴的关系。当 IaaS 提供商在其边缘计算策略中建立本地服务点时, SD-WAN 供应商将提供流量管理, 以确保流量流向最佳的网络服务提供点(PoP), 确保一致的服务质量(QoS)。

## 6.2 打造标杆示范应用，推进 SD-WAN 与垂直行业的应用融合

当前，SD-WAN 行业应用更加深入，应用规模与水平都得到很大提升，并形成了一批典型的 SD-WAN 应用场景，主要包括实时数据传输、综合办公、在线视频、数据灾备等，SD-WAN 能够提升传输性能，优化网络环境，进行智能选路和动态灾备，对于特定场景具有很高价值。对此，可以持续推进 SD-WAN 与垂直行业的应用融合，明确 SD-WAN 的典型应用场景，探索 SD-WAN 2.0 在这些应用场景中焕发新活力。分行业、分场景、分类型推动 SD-WAN 及 SD-WAN 2.0 优秀应用案例推广，通过对标案例激励 SD-WAN 2.0 的创新和开发，使业内形成良性竞争的氛围，刺激 SD-WAN 2.0 应用发展。

## 6.3 推动供需协同发展，助力企业流程再造和创新发展的

随着企业数字化转型的深入，企业多分支机构、多计算平台之间灵活连接的要求不断提高，企业专线网络连接的 VPN、MLPS 等传统技术在服务等级协议（SLA）、网络灵活度、线路成本等方面正面临持续的压力。面对这些实质需求，SD-WAN 2.0 可以帮助企业构建高性价比、简易运维、即需即用的云化企业专线，为企业提供一系列网络增值服务（VAS），以及整体架构级别的安全服务，从根本上保障端到端通信的安全自动化、数字化、无边界化、弹性化等。同时，帮助企业解决在云场景中跨境数据传输和运用 CRM、EPR 等高端应用时经常出现的丢包、延迟、卡顿等无法正常使用的情况，重塑从订购、业务开通到运维、业务调整和优化的全流程在线体验，助力企业

业务在云时代下快速创新。

## **6.4 全面深化国际合作，提高企业行业竞争力和国际影响力**

全球 SD-WAN 基础设施市场继续保持着稳定增长和激烈竞争的态势。与此同时，以 SD-WAN 2.0 为核心的创业公司正在乘势而上。全面推动和 MEF、CSA 等国际组织合作，从宏观和标准化的角度更好的理解 SD-WAN 2.0 的架构、业务、管理等内容。不断优化产业各角色间的合作模式，不断整合和优化基础电信服务商、增值服务提供商、主流设备制造商、垂直行业用户等各个环节的能力优势，提高国内企业的竞争力和国际影响力，促进技术发展平台的和整个行业生态的快速健康发展。

算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300540

传真：010-62300094

网址：[www.ccnis.org.cn](http://www.ccnis.org.cn)

