

成品油销售企业推进 IPv6+SD-WAN 应用实践

张 越¹, 海 日², 张晓博¹, 张晓多¹

(1. 中国石油内蒙古销售公司, 内蒙古 呼和浩特 010050; 2. 中国石油内蒙古阿拉善销售分公司, 内蒙古 阿拉善盟 750306)

摘要: 在数字化转型浪潮下, 成品油销售企业对高效、可靠的网络架构需求愈发迫切, 本文聚焦于 IPv6+SD-WAN 技术在成品油销售企业中的应用实践, 分析了 IPv6 协议的地址容量、安全管理和流量监测能力, 以及 SD-WAN 技术对网络调配、应用体验等方面带来的能力提升, 阐述了两项融合后对成品油销售企业网络架构及业务优化带来的变革。实践表明, IPv6+SD-WAN 技术可助力企业实现高效的网络传输, 满足业务动态切分、链路冗余保障等多样化业务需求, 通过网络切片保障关键业务的稳定运行, 利用随流检测优化网络性能。同时, 在企业运维层面, 该技术简化了管理流程, 提升了运维效率。本文详细介绍了某成品油销售企业的具体应用案例, 探讨 IPv6+SD-WAN 的部署策略与成效, 分析了不同情况下的部署策略, 为同类企业提供参考范式, 对推动成品油销售行业数字化发展具有重要意义。

关键词: 成品油; IPv6; SD-WAN; 双栈

中图分类号: TP393.18 **文献标志码:** A

Practice of promoting IPv6+SD-WAN in refined oil sales enterprises

ZHANG Yue¹, HAI Ri², ZHANG Xiaobo¹, ZHANG Xiaoduo¹

(1. PetroChina Inner Mongolia Sales Co., Hohhot Inner Mongolia 010050, China; 2. PetroChina Inner Mongolia Alxa Sales Branch, Alxa Inner Mongolia 750306, China)

Abstract: Under the wave of digital transformation, refined oil sales enterprises have an increasingly urgent need for efficient and reliable network architecture. This article focuses on the application practice of IPv6+SD-WAN technology in refined oil sales enterprises, analyzes the address capacity, security management, and traffic monitoring capabilities of IPv6 protocol, as well as the ability improvement brought by SD-WAN technology to network allocation, application experience, and other aspects. It elaborates on the changes brought by the integration of the two to the network architecture and business optimization of refined oil sales enterprises. Practice has shown that IPv6+SD-WAN technology can help enterprises achieve efficient network transmission, meet diverse business needs such as dynamic business segmentation and link redundancy guarantee, ensure stable operation of key businesses through network slicing, and optimize network performance through flow detection. At the same time, at the enterprise operation and maintenance level, this technology simplifies management processes and improves operation and maintenance efficiency. This article provides a detailed introduction to a specific application case of a refined oil sales enterprise, explores the deployment strategy and effectiveness of IPv6+SD-WAN, analyzes deployment strategies under different situations, and provides a reference paradigm for similar enterprises, which is of great significance for promoting the digital development of the refined oil sales industry.

Keywords: finished oil products; IPv6; SD-WAN; dual stack

1 引言

随着能源行业数字化转型加速, 成品油销售企业的

网络架构面临多重挑战: 分散式经营场景下的实时数据互通需求、IPv4 地址资源枯竭导致的扩展性限制, 以及

传统 MPLS 专线的高昂运维成本^[1]。

在此背景下，探索网络架构转型升级成为企业数字化转型的必由之路。IPv6 是全球公认的下一代互联网商业应用解决方案，能够提供充足的网络地址和广阔的创新空间。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》中，要求 2025 年末网络、终端、应用全面支持 IPv6，主要目标为形成下一代互联网自主技术体系和产业生态，建成全球最大规模的 IPv6 商业应用网络。在 IPv6 部署时，软件定义广域网（SD-WAN）能够保障 IPv4 与 IPv6 双栈运行，实现分部分阶段推进；降低网络复杂度，节约企业组网成本；智能选路，提升链路利用率，降低运维压力^[2-3]。IPv6 与 SD-WAN 技术的融合成为破解行业网络困境的关键路径。

中国石油内蒙古销售公司顺应 IPv6 技术的发展趋势，全面考虑 IPv6 升级演进的技术路线，梳理和分析网络基础设施、应用和终端、网络安全等各方面的现状与 IPv6 支持程度，制定合理的 IPv6 升级改造策略和方案，实现平滑演进，全面部署 IPv6，建设基于 IPv6 的石油专网。

本文以中国石油内蒙古销售公司为实践对象，探讨 IPv6+SD-WAN 的部署策略与成效，为同类企业提供参考范式。

2 IPv6 与 SD-WAN 技术

2.1 IPv6 技术特性

IPv6 作为下一代互联网协议，其设计与部署的迫切性源于 IPv4 地址资源的枯竭及现代网络需求的演进。在互联网规模指数级增长的背景下，IPv4 的 32 位地址空间（约 43 亿个地址）已无法满足物联网、移动终端和智能设备的爆炸式接入需求。尽管网络地址转换（NAT）技术通过地址复用暂时缓解了 IPv4 地址短缺问题，但其引入了拓扑复杂性、端到端通信障碍及性能损耗等副作用。IPv6 通过 128 位地址长度（提供约 3.4×10^{38} 个地址）彻底重构了地址空间架构，不仅实现了全局唯一地址的直接分配能力，还通过分层地址分配策略优化了路由效率，同时支持无状态地址自动配置机制，显著简化了网络部署流程，并降低了通信延迟。

在安全性方面，IPv6 通过协议原生集成 IPSec（Internet Protocol Security，互联网安全协议）实现了网络层安全的标准化。相较于 IPv4 中 IPSec 作为可选扩展的定位，

IPv6 将加密、认证与数据完整性验证内化为协议核心功能，强制支持端到端通信的安全保障。这一设计有效应对了中间人攻击、数据篡改等传统威胁，尤其为金融、政务等敏感领域的网络通信提供了底层架构级防护^[4-5]。

此外，IPv6 通过精简协议头部与优化扩展机制重构了网络数据处理范式。其固定 40 字节基础报文头结构删除了 IPv4 中冗余的校验和字段，采用固定字段对齐设计以提升路由器处理效率。扩展头部的链式结构替代了 IPv4 的可选项字段，允许按需添加路由、分片、安全等功能模块，既降低了基础报文处理开销，又增强了协议的可扩展性。此类改进在降低网络设备计算负载的同时，为未来网络技术创新预留了兼容性接口，体现了协议设计的前瞻性。

2.2 SD-WAN 技术原理

软件定义广域网（Software-Defined Wide Area Network，SD-WAN）作为下一代广域网架构的核心技术，源于传统网络架构在数字化转型背景下面临的多重挑战。随着企业业务向云端迁移、分支机构全球化扩展及视频会议等高带宽应用的普及，传统基于多协议标签交换（Multi-Protocol Label Switching，MPLS）的广域网因成本高昂、部署僵化及运维复杂等问题，难以满足动态业务需求，亟须一种能够整合异构链路、实现智能流量调度并降低运维成本的新型组网方案^[6-7]。在此背景下，SD-WAN 通过软件定义网络（Software-Defined Network，SDN）与网络功能虚拟化技术的融合，实现了广域网的智能化重构，成为企业网络演进的关键技术路径。

SD-WAN 技术具有智能选路、集中化管理和低成本三大优势。

SD-WAN 的核心特性之一在于其智能选路能力。通过实时监测网络链路状态（如带宽利用率、延迟、丢包率及抖动），SD-WAN 能够基于预设策略动态调整流量路径，确保关键应用（如实时通信）优先通过高质量链路传输，非关键流量则分配至成本更低的公共互联网链路。此外，SD-WAN 支持链路聚合技术，将多条物理链路虚拟为单一逻辑通道，显著提升带宽利用率与网络冗余性。这种动态路径选择机制不仅优化了应用性能，还通过减少人工干预降低了运维复杂度。

SD-WAN 通过解耦控制平面与数据平面，构建了全局集中化的管理架构。管理员可通过统一的 Web 界面或云端控制台，对所有分支节点的网络设备进行策略配置与状态监控。

SD-WAN 通过混合组网架构显著降低了企业广域网成本。传统 MPLS 专线虽具备高可靠性,但其带宽成本与部署周期限制了大规模应用。SD-WAN 则允许企业将 MPLS 与廉价互联网链路(如宽带、LTE)结合使用,利用智能选路算法按需分配流量。

2.3 IPv6 与 SD-WAN 的结合

IPv6 虽然具有足够的地址,可将大量物联网设备添加到网络中,但是需要兼容旧有的 IPv4 设备。SD-WAN 支持 IPv4/IPv6 双栈运行,允许企业在迁移过程中逐步替换 IPv4,可避免一次性更换设备的成本,同时 SD-WAN 的集中控制可简化 IPv6 的部署^[8]。SD-WAN 的网络编排需要 IPv6 提供大量的地址资源,IPSec 也有助于保障传输安全。整体来看,IPv6 技术与 SD-WAN 技术具有互补性,两者的结合有助于网络实现智能化改造升级。

3 成品油销售企业 IPv6+SD-WAN 应用实践

3.1 整体方案

企业向 IPv6 的演进是在 IPv6+ 创新并保证系统可靠性的前提下,向 IPv6 单栈过渡的过程。演进的整体目标是深入推进 IPv6 规模部署和应用,从应用、系统、网络、终端和支撑平台五个层面,全面推动整个网络架构从 IPv4 单栈、IPv4/IPv6 双栈、IPv6 单栈演进,形成全 IPv6 的信息化底座,最大化发挥基于 IPv6 的业务价值^[9-10]。

企业 IPv6+SD-WAN 改造的整体演进策略为,基础网络设施先行、网络层改造试点、办公生产逐步迁移。

1) 基础网络设施先行。优先完成网络底层架构的 IPv6 适配,为上层业务迁移提供稳定、高效的传输环境。先对总部网络进行改造,完成核心层网络设备的升级改造,在验证技术方案可行性后,再对下属分公司汇聚层及所属库站经营单元的接入层进行改造。所有设备均为国产自主可控,提前满足信创要求。

2) 网络层改造试点。在核心、汇聚层网络设备更新的基础上,按照前期制定的 IPv6 整体规划方案,在骨干网层面配置 IPv6 地址,其中核心层通过 IPv6 BGP 与上联网络区域中心互联,局域网三个层级全面启用 OSPFv3,代替 IPv4 繁杂的静态路由。

3) 办公生产逐步迁移。通过对办公网、生产网的全面调研,了解企业的网络、业务和信息系统总体情况,利用 IPv6 海量地址的特性,在地址 33~36 位划分生产、办公、视频三级业务网络、37~44 位划分 20 个行政区域,49~52 位划分各单位所属子区域,确保 IPv6 地址的可读性和可追溯性,利用 SD-WAN 纳管平台对三级网络设备进行地址下发。

该企业国产化 IPv6+SD-WAN 整体升级改造方案如图 1 所示。

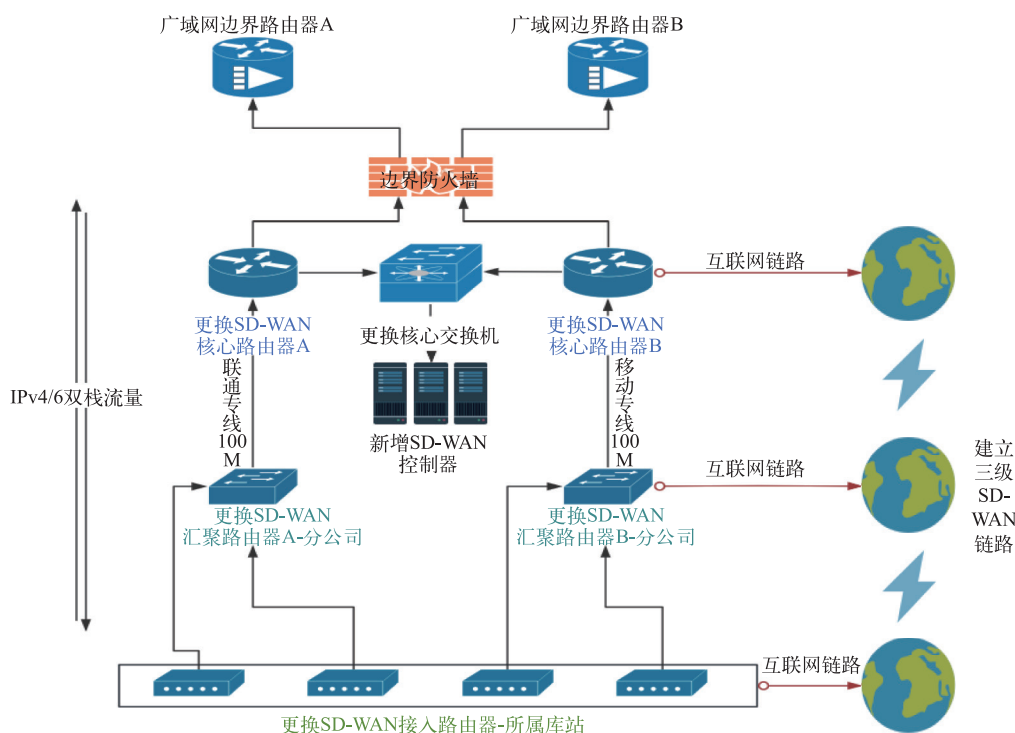


图 1 企业 IPv6+SD-WAN 改造方案

如图 1 所示, 该方案中对内蒙古销售公司总部核心路由器及交换机、12 家所属单位汇聚路由器及交换机和 1 300 余座库站经营单元接入路由器进行国产化替代, 并完成 IPv6 地址规划和 SD-WAN 改造升级, 实现业务 IPv4 和 IPv6 双栈运行、关键设备国产化替代和整网 SD-WAN 智能化管理。

3.2 实践成果

原网络设备已运行超过十年且未完成核心器件国产化替代, 存在故障风险及供应链安全隐患; 传统 IPv4 架构难以支撑业务规模扩张, 跨区域流量调度依赖静态策略, 灵活性不足; 运维体系分散, 故障定位效率低。采用国产高性能 SD-WAN 核心路由器及交换机完成双栈升级。通过国产设备冗余部署与 SRv6 快速重路由 (FRR), 降低跨盟市业务切换时延; 基于 IPv6 流标签与 SD-WAN 策略联动, 实时区分生产数据传输、视频监控等高优先级流量, 保证高速稳定传输; 实现全网状态秒级采集, 结合 AI 算法预测链路拥塞, 缩短故障平均恢复时间。

盟市汇聚层设备型号较多, IPv6 支持度参差不齐, 业务跨域互通依赖复杂路由规则, 区域网络资源孤立, 无法实现跨盟市带宽动态共享。现统一替换为国产化 SD-WAN 兼容汇聚设备, 构建基于 IPv6 的 Overlay 虚拟化网络, 部署集中式策略引擎, 全盟市启用 IPv6 双栈, 通过 SD-WAN 动态建立逻辑隧道, 实现跨盟市带宽资源池化。

各加油站、油库的加管、库管与综合办公等主要业务需要多级接入总部, 链路过长, 组网复杂, 故障点多, 业务虽采用专线, 但无加密手段和安全设备防护, 多业务混杂, 业务带宽难保障, 运维难度大, 成本高, 新业务拓展性差。在更换为 SD-WAN 国产化路由器后, 引入互联网、4G/5G 等多种接入线路, 有效降低链路成本, 智能识别链路优先级, 减轻运维负担; 集中监控加油站设备状态与链路质量, 提升运维效率。

3.3 经验总结

(1) 总公司核心层

总公司核心层作为整个网络架构的关键部分, 首先对核心路由器进行了升级, 确保其支持 IPv6 协议及 SD-WAN 功能。在配置方面, 开启了 BGP IPv6 功能, 使得核心路由器能够与外部网络进行 IPv6 路由的交互, 完成从 IPv4 单栈到 IPv4/IPv6 双栈的转变。通过合理设置 BGP 的相关参数, 如邻居关系、路由引入等, 确保了网络的稳定性和可达性。

在核心层部署了防火墙等安全设备, 对 IPv6 和 IPv4 的流量分别进行安全策略的配置, 确保网络的安全性。同时, 利用 SD-WAN 的集中管理功能, 对整个网络的安全策略进行统一管理和推送, 简化了安全管理的复杂度。

(2) 盟市汇聚层

盟市汇聚层的路由器和交换机逐步进行了替换, 选用了支持 IPv6 和 SD-WAN 功能的新型设备。在功能配置上, 启用 OSPFv3 以实现与核心层和其他汇聚层的通信, 并利用 SD-WAN 功能实现了对下挂接入层设备的流量优化和管理。

盟市汇聚层与总公司核心层之间通过 IPv6 BGP 进行路由信息的交互, 将本地的 IPv6 路由信息传递给核心层, 同时也从核心层学习到全网的路由信息。在 SD-WAN 的架构下, 汇聚层设备能够根据核心层下发的策略及本地的网络状况, 灵活地调整流量的转发路径, 实现了与核心层的紧密协同, 提高了整个网络的智能化水平。

(3) 库站接入层

在库站接入层, 除了传统的专线接入外, 还积极引入了互联网接入方式, 并通过 SD-WAN 技术将多种接入链路进行融合。在保证网络稳定性和安全性的前提下, 降低了通信成本, 同时也提高了网络的灵活性和可扩展性。通过 IPv6 的部署, 解决了库站网络地址短缺的问题, 为各种智能设备 and 应用提供了充足的网络地址资源。同时, 结合 SD-WAN 的流量优化功能, 提高了库站与上级网络之间通信的质量和稳定性。

4 结束语

中国石油内蒙古销售公司 IPV6+SD-WAN 改造是中国石油销售企业 IPv6 规模化部署的先行者, 是同行业内第一家实现 IPv4/IPv6 双栈运行和 SD-WAN 联合组网的销售公司, 该举解决了 IP 地址限制物联网等新兴技术发展的瓶颈问题, 满足了油气生产的高速、稳定传输的要求, 为油气生产数据传输和视频监控提供了强有力的网络支撑。

随着 IPv6 的全面普及与深度应用, 云原生技术的不断演进, 高层次新技术的创新将不断出现, IPv6 与 SD-WAN 的融合将推动新一代网络变革。展望未来, 成品油销售企业有必要继续推进 IPV6+SD-WAN 应用, 关注技术发展的最新趋势, 为行业的数字化和智能化转型做出积极贡献。IM

参考文献

- [1] 陈晓东, 付皖青, 周涵, 等. 下一代互联网技术在石油石化行业的应用和发展趋势 [J]. 计算机与应用化学, 2013, 30 (8): 912-916.
- [2] 赵瑛, 迟化昌, 王康, 等. 浅析智能化及新能源融合在石油化工企业节能提质中的应用 [J]. 电气应用, 2025, 44 (1): 70-75.
- [3] 海川. IPv6 的机遇与挑战 [J]. 新经济导刊, 2018 (6): 46-50.
- [4] 刘普帮, 魏璐, 张倩茹. 基于 IPv6 油气生产物联网专网的应用研究 [J]. 信息记录材料, 2020, 21 (7): 193-194.
- [5] 陈柯, 秦骁, 艾乾可, 等. 基于 IPv4/IPv6 双栈协议的电力移动作业平台关键技术研究 [J]. 电气应用, 2015, 34 (S2): 657-660.
- [6] 秦燕滨, 张峰. 软件定义广域网 (SD-WAN) 技术在油品销售企业中的应用 [J]. 石油库与加油站, 2024, 33 (4): 4-7, 53-54.
- [7] 李一帆. 面向进度改进的 A 公司 SDWAN 项目群协同管理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [8] 王巍. 基于 IPv6 的 SD-WAN 部署 [J]. 电信科学, 2019, 35 (12): 38-42.
- [9] 路宽一, 张俊杰, 苏师. 企业自主研究 IPv6 和 SDN 的攻关工作——以中国石油长庆油田分公司第九采油厂网络实施项目为例 [J]. 中国信息化, 2024 (5): 58-59.
- [10] 邵萌珠, 王宗仁, 金弟, 等. 石油企业门户智能化探究与实践 [J]. 电子技术与软件工程, 2022 (13): 6-9.
-
- 作者简介: 张越 (1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为计算机网络与网络安全。
- 海日 (2002—), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向为密码学、编码、安全多方计算。
- 张晓博 (1989—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为系统开发。
- 张晓多 (1992—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为大数据应用。
- 收稿日期: 2024-12-11