

兴业证券 IPv6 双栈改造关键技术研究及实践

(兴业证券供稿, 福建局指导)

一、项目背景

随着互联网技术的迅猛发展,公网 IPv4 地址快速消耗,IPv4 地址枯竭问题也在随之产生,只能大量采取 NAT 转换技术来应对 IPv4 地址缺乏的困境,一定程度上制约了数字经济发展。IPv6 (第六代互联网协议)作为下一代互联网的关键性技术,具有近乎无限的地址,有效解决 IPv4 地址短缺的问题,将逐步取代 IPv4 成为支撑互联网运转的核心协议。

二、IPv6 实施改造

规划先行,首先我司制定 IPv6 改造工作计划,并按照计划稳步推进各项 IPv6 改造实施工作,2019 年规划 IPv6 改造方案并完成官网改造,2020 年完成所有面向公众服务的互联网应用系统改造,2021 年重点开展上海金桥和福州滨海两个新数据中心的 IPv6 双栈部署工作,2022 年结合新数据中心应用迁移扩大 IPv6 部署规模,2023 年起持续推进新建应用系统 IPv6 双栈部署,研究云环境下 IPv6 双栈关键技术。总结 IPv6 改造工作,主要涉及基础设施和应用系统两个层面。

(一) 基础设施层

1. 技术路线选择

在 IPv6 改造的实施方案讨论中，技术团队对 NAT64 以及 IPv4/IPv6 双栈方案开展了讨论。与 NAT64 方案相比，IPv4/IPv6 双栈方案的缺点是技术复杂度较高，改造涉及的实施工作量较大，优点是改造程度更彻底，可避免重复性建设，为持续推进 IPv6 的规模部署提供经验积累和技术准备。因此在经过充分讨论后，开发和运维团队最终确定了选择 **IPv4/IPv6 双栈** 为主、**NAT64** 为辅的结合方案。



图 1 IPv6 改造技术选型

双栈方案有两种部署模式，模式一是额外购买一套运营商线路资源、负载均衡、防火墙、交换机等网络安全设备以及服务器设备，IPv6 协议运行在这套新采购的硬件设备和线路资源上，实现 IPv4 和 IPv6 协议双协议栈分区部署，协议间设备相互隔

离；模式二是不采购新的硬件设备和线路资源，IPv4 和 IPv6 协议同时运行在现有的硬件设备和线路资源上，协议间设备不做隔离。技术团队对两种部署模式展开讨论，认为模式二相比模式一，流量区分、排错难度和故障影响范围较高，但是建设成本较低，实施周期较短，经过综合考虑，确认选择模式二作为目标架构，整体架构方案如图二所示。

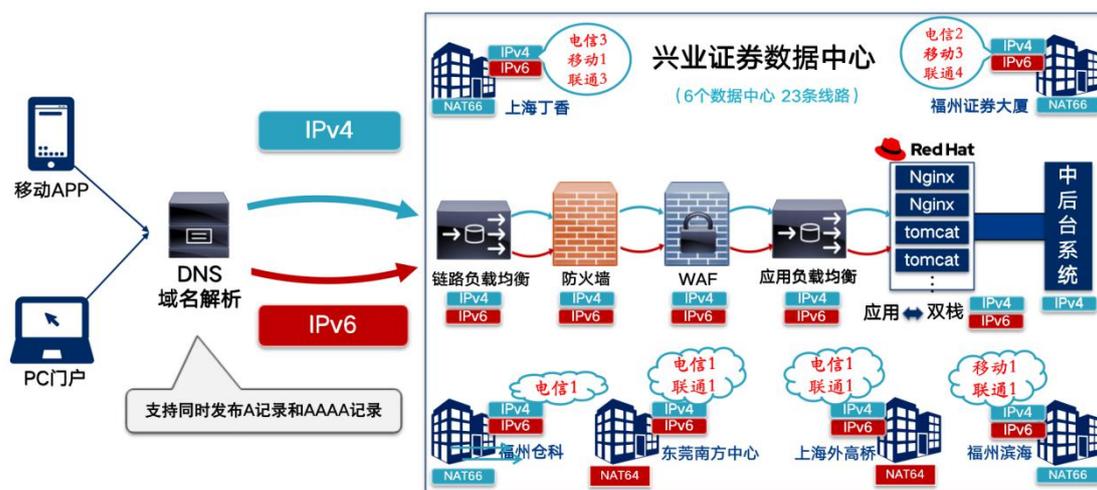


图 2 IPv6 技术架构图

DNS 系统同时发布 A 记录及 AAAA 记录以支持用户解析到 IPv4 及 IPv6 地址，用户 IPv4 及 IPv6 协议的访问流量均可通过同一条运营商互联网线路接入，负载均衡、防火墙、WAF、交换机等设备均同时运行 IPv4 及 IPv6 协议，DMZ 区服务器可同时处理 IPv4 及 IPv6 协议请求，在上述的技术架构下，互联网业务区支持 IPv6/v4 双协议栈，可提供 IPv6/v4 双栈的互联网业务。而 DMZ 服务器访问到内网中间件、数据库的保留现有的 IPv4 网络架构不变，在最小化改造的同时保障应用系统稳定运行。

2. IPv6 改造准备工作

在实施 IPv6 改造工作之前，需完成 IPv6 地址规划、资源申请、基础配置改造等工作，为 IPv6 业务发布做好准备。

(1) IPv6 地址规划

技术团队结合我司系统现状以及运维习惯，同时考虑未来 IPv6 协议在内网持续规模部署的要求，对 IPv6 业务地址空间进行了规划。每个 IP 地址使用前 64 位作为子网前缀，其中 1-32 位使用 FD00::

	地址类型	单位类型	部署地点	业务分区	VRF	子网
/1-32	/33-36	/37-40	/41-44	/45-48	/49-52	/53-64

- 地址类型：33-36 共 4 比特，表示该 IP 地址承载的业务类型，包括传统环境和云环境的交易、管理、办公、测试等；
- 单位类型：37-40 共 4 比特，该字段代码表示地址所属的单位机构，包括总部、分支机构、子公司等；
- 部署地点：41-44 共 4 比特，表示该 IP 地址所部署地点，包括总部各数据中心、园区以及托管机房；
- 业务分区：45-48 共 4 比特，表示该 IP 地址所属的网络分区，最多可表示 16 个网络分区；
- VRF：49-52 共 4 比特，表示该 IP 地址所属的 VRF；
- 子网：53-64 共 12 比特，表示该 IP 地址所属的子网网段，最多可表示 4096 个网段；

(2) 线路资源申请

联系运营商在已有的互联网线路上分配 IPv6 业务地址以及 IPv6 互联地址，确保在已有线路上可以支持 IPv6 网络流量。从 2019 年至 2022 年，我司已完成 7 个数据中心 38 条互联网线路支持 IPv6 协议，不仅形成了运营商多条互联网线路的互备冗余同时也形成了多数据中心之间互联网线路的互备冗余，防止互联网线路的单点故障，为应用 IPv6 部署后安全稳定运行提供可靠的网络基础环境。

在推进运营商线路 IPv6 资源交付工作过程中，逐步完善了运营商线路测试规范，同时在 IPv4 以及 IPv6 协议下测试线路带宽、时延等关键指标，保证运营商按照标准交付互联网线路。下图是我司线路测试实例。

中国科学技术大学测速网站(IPv4 / IPv6)



图 3 IPv6 专线网速测试

(3) 软件版本升级

确认互联网业务区网络及安全设备各节点当前软件版本是否支持 IPv6 协议，包括负载均衡、防火墙、WAF、交换机等设备，对不支持 IPv6 的设备，与厂家沟通确认目标软件版本，尽快完成软件版本升级，保证互联网业务区网络安全基础设施提供 IPv6 支持能力。

(4) 网络安全设备基础配置优化

为互联网业务区运行在三层模式上的各网络及安全设备分配通道域互联 IPv6 地址，在各设备（包括负载均衡、防火墙、交换机）上完成通道域互联 IPv6 地址以及业务 IPv6 地址路由等相关基础配置优化，确保各设备之间 IPv6 协议连通性。

3. IPv6 改造实施工作要点

为完成基于 IPv6 协议的互联网业务发布，需要根据业务情况在网络及安全基础设施设备上完成相应的配置变更，具体改造实施工作要点包含以下八点：

(1) DNS 系统

针对待发布的互联网业务，发布该域名的 AAAA 记录，将解析结果指向支持 IPv6 协议的运营商线路上分配的 IPv6 地址，使用户可通过 IPv6 协议访问公司互联网站点，对于使用 Happy Eyeballs 算法的客户端，会同时发起 AAAA 和 A 记录的 DNS 查询请求，优先使用获取到的 IPv6 解析结果，然后通过 IPv6 协

议尝试连接。

(2) 链路负载均衡设备

首先，在负载均衡设备上针对三大运营商每条互联网线路同时配置 IPv4 和 IPv6 的公网 VS (Virtual Server)，共计 6 个 VS，其中 IPv4 VS 的 IP 地址与 DNS 系统发布的 A 记录对应，IPv6 VS 的 IP 地址与 DNS 系统发布的 AAAA 记录对应；其次配置 VS 负载的 pool member，其中 IPv4 VS 对应的 pool member 为应用负载均衡的 IPv4 VS，IPv6 VS 对应的 pool member 为应用负载均衡的 IPv6 VS，确保链路负载均衡设备通过 IPv4/IPv6 协议将对应访问流量负载至 DMZ 区应用负载均衡。

(3) 防火墙

为确保待发布的互联网业务的正常访问流量通过防火墙，需在防火墙已有 IPv4 协议策略的基础上开通 IPv6 协议安全策略，其中策略源地址是 any 的 IPv6 地址，目的地址为 DMZ 区服务器的 IPv6 地址，端口为应用监听的端口，其余非预期流量均拒绝放行。

(4) WAF

对于 HTTP 类业务，需通过 WAF 的安全过滤，针对待发布的互联网业务的 IPv4/IPv6 站点添加防护策略，识别并阻断针对 IPv4/IPv6 站点的应用层攻击，提供应用层安全防护能力。策略的设置以 DMZ 区服务器 IPv4/IPv6 地址结合应用监听端口为设置对象，通过一段时间的仅检测自学习阶段，对策略调优，最终

开启阻断模式为站点提供应用层安全防护能力。

(5) 应用负载均衡

应用负载均衡设备上配置 IPv4 及 IPv6 VS 与链路负载均衡上配置的 pool member 保持一致，配置 VS 负载的 pool member 与后台真实服务器保持一致，其中 IPv4 VS 的 pool member 配置服务器的 IPv4 地址，IPv6 VS 的 pool member 配置服务器的 IPv6 地址，将来自互联网的 IPv4/IPv6 访问流量负载至 DMZ 区服务器。

(6) 交换机

在 DMZ 区汇聚层交换机上，针对待发布互联网应用的服务器所在的 SVI，在已有 IPv4 地址的基础上，新增 IPv6 地址作为服务器的 IPv6 网关，确保 DMZ 区服务器可通过 IPv6 协议连接至互联网。

(7) 服务器和操作系统

目前在 DMZ 区部署的服务器主要是 RHEL6.x 和 7.x 操作系统，已安装 IPv6 协议栈并支持 DHCPv6，均已支持 IPv6，在网络设备启用 IPv6 协议支持的基础上，在操作系统的网卡配置 IPv6 地址即可支持 IPv4/IPv6 双栈。

(8) 中间件

我司互联网应用多采用三层架构，DMZ 区域部署 Web 层主要使用两种中间件 nginx 和 tomcat:nginx 主要有两方面作用，一是作为反向代理连接内网部署的 App 层为 APP 提供 API 接口，二是作为静态 Web 容器对外提供静态网页、图片等服务；

tomcat 作为动态 Web 容器对外提供 Java 类动态网页服务。DMZ 区域的中间件服务支持 IPv4/IPv6 双栈协议，为互联网用户提供双栈服务，而 DMZ 服务器到内网 App 层中间件、App 层中间件到数据库层均保留 IPv4 协议。

目前对于 nginx 和 tomcat 两种中间件支持 IPv6 协议，在操作系统支持 IPv6 协议的基础上，开启中间件的 IPv6 地址的端口监听用以支持 IPv6 协议，同时形成配置基线，不仅制定的中间件规范，同时也方便各项目组规范使用。

- nginx: 建议使用 1.16.0 版本，已集成 IPv6 插件。
- tomcat: 从 6.0 版本开始默认支持 IPv6。

(9) 云平台负载均衡组件

在云平台负载均衡组件配置 IPv6 地址转发策略，负载均衡 IPv6 实例后端服务器为 IPv6 地址，该地址与后台真实业务虚拟机保持一致，负载均衡组件对后端服务器按需配置主备、权重策略等负载均衡模式，同步配置基于 IPv6 地址健康检查策略。

(10) 云平台网络分区 VPC

云平台 VPC 配置为 IP 双栈模式，VPC 网段同时分配 IPv4 地址段和 IPv6 地址段，针对有 IPv6 需求的应用系统按需独立分配 IPv6 子网段，同时 VPC 内虚拟边界路由器 VRouter 开启双栈模式，分别使用 IPv4 和 IPv6 互联地址与传统网络完成双栈协议并网。

（二）应用改造

一是规范应用 **IPv6** 的改造流程。应用的 **IPv6** 改造流程主要有 7 个环节：（1）全面梳理架构，整理测试和生产环境的架构图，涉及数据中心、网络区域、**DNS** 域名、**WAF**、负载均衡、防火墙策略、中间件、数据库、应用及其关联系统等；（2）根据架构图，梳理改造点，确定 **IPv6** 部署方案，明确网络、安全、应用、测试等方面的工作职责；（3）**IPv6** 应用改造和 **UAT** 测试，应用页面增加 **IPv6** 图标标志，应用内部涉及 **IPv6** 地址显示、分析、处理、存储等方面进行改造，**UAT** 测试环境进行 **IPv6** 双栈的全量功能性回归测试保证功能的正确性；（4）**IPv6** 准生产测试，主要面向高并发和重要应用系统，完成 **UAT** 测试验证后在准生产环境再进行一轮回归测试，进一步保证功能的正确性；（5）性能测试，主要面向高并发应用系统，保证在同等规模部署下，**IPv6** 具有 **IPv4** 相同的高并发支持能力；（6）**IPv6** 生产环境部署和上线前，需通过 **UAT** 测试，必要情况下完成准生产测试后，通过变更流程应用进行生产环境部署和上线，并进行生产回归测试保证功能的正确性，应用进入试运行阶段；（7）稳定性测试，在试运行阶段，需在生产环境进行稳定性测试，即向应用系统发起连接请求并记录连接成功和失败情况，整个稳定测试期大于 15 天，验证业务在 **IPv6** 环境的稳定性，稳定性测试验证后应用正式上线。

二是应用改造代码评估。针对自研应用系统的改造，代码需

要评估如下因素：

- 评估当前代码的 IPv6 兼容性
 - 数据结构需要修改代码以容纳 128 位地址
 - 微软 Checkv4.exe 来识别源代码是否支持 IPv6
- 创建独立于地址族 (AF) 并向后兼容 IPv4 的代码
- 仅 IPv4, 双协议和仅 IPv6 的操作系统上具有相同的连接能力
- 在内存中存储 128 位 IPv6 地址以及与 32 位 IPv4 地址的兼容性
- DNS 查询能力支持 `gethostbyname()`
- 使用正确的格式处理 FQDN 主机名或 IPv4 / IPv6 地址的输入和输出
- 使用 IPv6 和 IPv4 建立套接字连接
- 支持 IPv6 的高级 API: BSD 套接字 API, Perl Socket6, IO :: Socket :: INET6, Python 套接字模块, Java 套接字
- 与 Path MTU Discovery (PMTUD) 配合, 需支持 PMTUD 功能使用最小 IPv6 链接 MTU 为 1280 字节

仅支持 IPv4 的 API 和支持双栈的共用 API 梳理如表 1。

表 1 IPv4 API VS 双栈 API

仅支持 IPv4 程序开发 API	IPv4 与 IPv6 共用 API
<code>int inet_aton</code>	<code>socket</code>

inet_ntoa

bind

inet_addr

listen

gethostbyaddr

accept

gethostbyname

connect

htonl

ntohl

htons

inet_pton

inet_ntop

getaddrinfo

gethostbyname2

三、IPv6 保障测试

为保障改造后，网络及应用环境实际运行能够达到预期目标，对 IPv6 改造过程中涉及到的相关设备以及应用，指定针对性的测试方案可以有效的验证 IPv6 改造效果。

（一）测试流程概览

制定详细测试流程，有效规避运行风险。由于 IPv6 技术改造涉及基础架构，因此需切实做好技术风险防范，公司基于 IPv6 技术特点制定了详细的测试方案和计划，并明确测试流程，包应用测试分为以下几个方面：UAT 测试，准生产测试，性能测试，生产测试，稳定性测试等，最终通过试运行逐步开放流量完成生产环境的平稳上线，有效规避生产变更的风险，保障应用系统的稳定运行。

推进应用测试规范化工作。应用 IPv6 部署的稳定运行离不开测试环境的全面测试，我司基于改造经验制定相关规范及手册，包括测试环境架构和测试资源申请，保证测试环境架构和生产环境的一致性，测试资源及测试变更包括 DNS 域名、负载均衡、双栈服务器资源、中间件等，UAT 测试的完整性，保障生产变更的准确性。

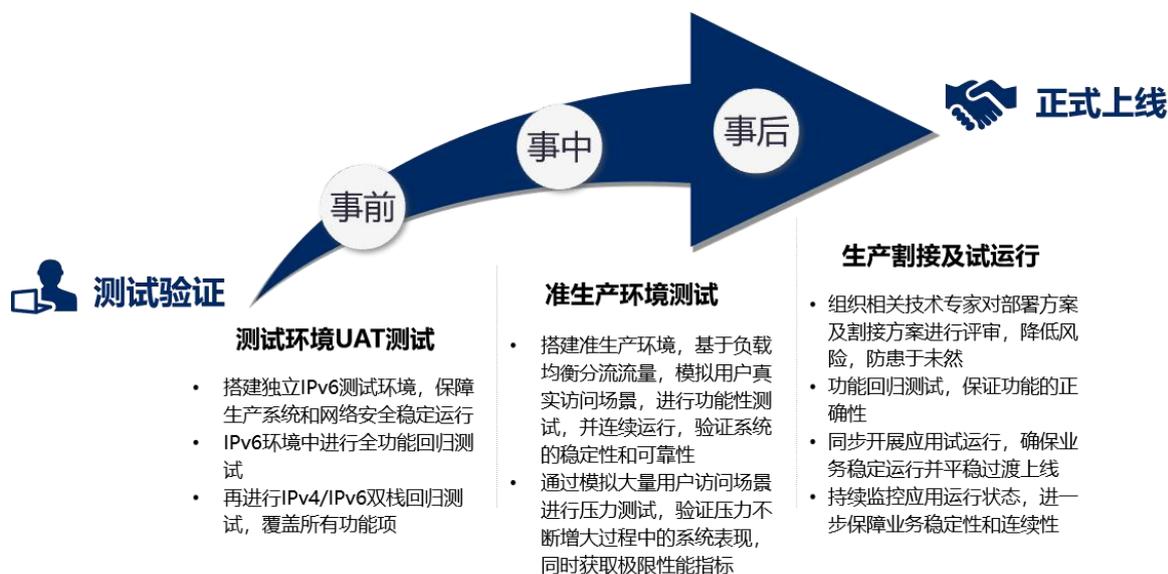


图 4 IPv6 应用改造事前事中事后保障机制

(二) UAT 测试

应用改造涉以下几个方面：应用页面或 APP 应用增加 IPv6 图标显示，网络编程 API 支持 IPv6 改造，应用内部涉及 IPv6 地址显示、分析、处理、存储等方面进行改造。

UAT 测试验证是保障应用稳定运行的第一道关卡，因此我司非常重视 UAT 测试，首先在纯 IPv6 环境中进行全功能回归测试，不断发现问题解决问题并积累经验，完成 IPv6 回归测试后，然后再进行 IPv4/IPv6 双栈回归测试，覆盖所有功能项，反复验证，保证功能的正确性。

同理，准生产测试和生产测试，均进行全功能回归测试，保证功能的正确性。

(三) 双栈测试

为保证应用 IPv6 改造后能完美的兼容 IPv4 和 IPv6，并能承载双栈的流量，同时基于双栈的基础上可以针对不同的业务进行验证性测试，以保证双栈下，业务可以正常运行。

表 2 双栈测试验证方案

服务端	服务状态	服务暂不支持 V6	服务支持 V4 和 V6	服务支持 V4 和 V6
	网络环境	双栈	双栈	V6 单栈
客户端	双栈	V4	V6 优先	V6
	V6 单栈	X	V6	V6

(四) 性能测试

性能测试是 IPv6 改造过程中非常重要的部分，主要面向高并发互联网应用系统，保证在同等规模部署下，IPv6 具有 IPv4 相同的高并发支持能力，并保持稳定性。测试目的为确认互联网应用系统在 IPv6 改造后，在高并发 IPv6 请求下的网络稳定性。测试范围包含互联网应用系统的域名所在主数据中心的全链路压测，包括负载均衡、WAF、反向代理 Nginx 等。测试指标为（1）并发数，根据生产峰值评估；（2）平均响应时间；（3）请求失败率，一般小于 0.1%。

性能测试场景设计，根据并发数设计并发数（如 500、1000、

1500、2000 等) 发起请求, 观察 FPS、平均响应时间、响应成功率, 以及服务器相应性能指标; 每个并发数持续时长 15 分钟; 压测期间前端同时进行页面访问, 确认是否存在卡顿、无响应等现象; 在性能指标符合预期的前提下, 逐步加大并发, 确认网络访问容量。根据设计的场景对我司某网站进行性能测试, 通过对性能数据的采和分析, 测试结果为相同条件下 IPv6 与 IPv4 响应时间、RPS 无明显差别。

(五) 稳定性测试

稳定性测试是 IPv6 改造完成后衡量改造成功与否以及质量的关键指标项。测试目的为确认应用服务或网站连接稳定性以及与 IPv4 网络连接时延比较。测试范围为不少于 15 天时间, 每隔 1 小时发起门户网站连接, 并记录连接失败率; 每隔 1 小时发起门户网站连接, 记录时延。测试指标为 (1) 失败率不超过 5%; (2) 与 IPv4 连接时间均值差异不明显(差异阈值为 75ms)。

表 3 某网站稳定性测试结果

测试 天数	累计请 求次数	IPv6 成功率	IPv4 均 值 (ms)	IPv6 均 值 (ms)	均值差异 (ms)
16	385	99.48 %	98.00	84.47	-13.53

由于稳定性测试时间长, 且具有规律性, 因此采用 Python 脚本技术进行自动化测试, 并每日自动发送邮件确认测试结果, 提升测试效率。下表是我司某网站 2019 年的稳定性测试结果,

累计运行 16 天时间，测试 IPv6 失败率为 0.52%，与 IPv4 连接时间均值差异为-13.26ms，均符合测试指标。

四、IPv6 协议平台建设

在推进 IPv6 改造工作实施落地过程中，我司同步开展 IPv6 协议平台的相关建设，有效助力我司应用系统 IPv6 部署，提高对 IPv6 协议的运维管理能力。

（一）稳定性测试自服务平台

稳定性测试作为 IPv6 改造计划的重要环节，用于检验应用 IPv6 改造后的整体稳定性，是衡量应用 IPv6 改造质量的重要指标。为满足众多互联网应用系统的稳定性测试需求并提升测试效率，我司质量保障组通过建设软件质量控制平台实现 IPv6 稳定性测试，以服务化的方式向项目组提供 IPv6 稳定性测试，有着以下优势：

（1）实现测试自动化。自动化测试代替手工测试和脚本测试，可以有效提升测试效率，释放人力，真正跨入自动化时代。

（2）实现测试平台化。IPv6 稳定性测试的平台可保留测试数据，提供可视化能力，通过图表形式展现测试结果，直观有效反馈测试状况及时发现测试问题；提供查询能力，通过客户化历史数据查询，方便项目组进行问题排查和定位。

（3）实现测试服务化。软件质量控制平台提供 IPv6 稳定性测试的服务，各项目组可以自助并且零成本接入，快速有效实

现应用 IPv6 改造后的稳定性测试，降本增效。

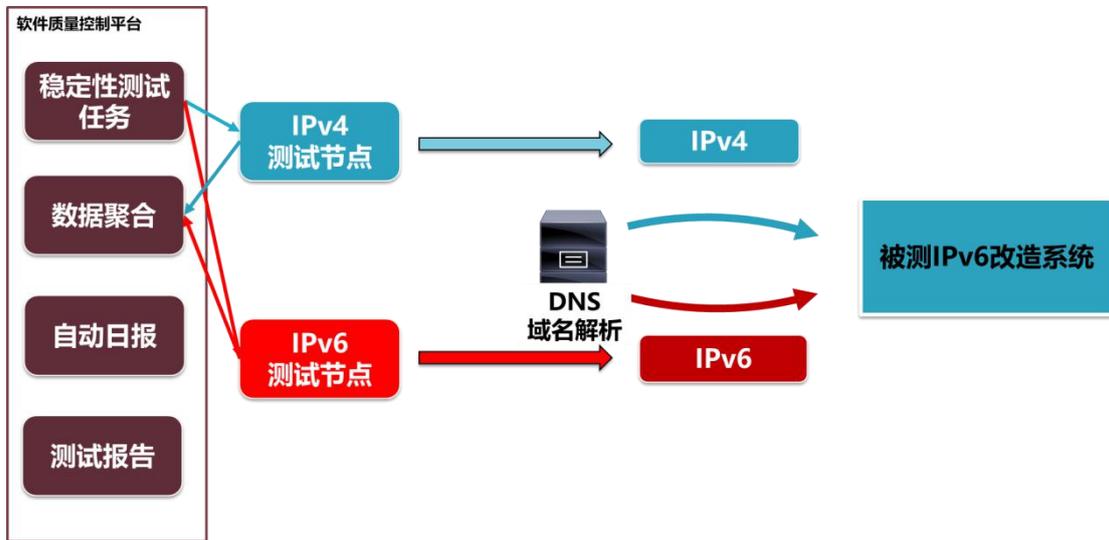


图 5 软件质量控制平台 IPv6 测试架构

下图是我司某网站 2020 年通过软件质量控制平台接入的服务化稳定性测试结果，平台通过图形化展示测试数据、趋势曲线、测试状态和测试结果；同时并在辅助验证系统 IPv6 稳定性测试中发现的问题，项目组在试运行过程中及时解决问题，保障应用正式上线后的稳定运行。



图 6 软件质量控制平台 IPv6 测试结果展示

（二）流量监控分析系统

网络流量监控分析系统通过旁路部署的方式，实时获取关键网络节点和系统的真实网络报文，并进行 L2-L7 层的报文解析，实现了网络全流量的可视化分析和管理工作，在网络及应用运行状况以及问题故障定位方面发挥至关重要的作用。由于 IPv4 和 IPv6 协议的差异，通常网络流量监控分析系统需要通过升级以支持对 IPv6 协议的监控、分析和告警。

我司已通过网络流量监控分析完成对 IPv6 协议的分析，对于 IPv6 协议的分析和管理水平不低于 IPv4 协议，主要监控和分析的指标包括以下方面：

（1）互联网线路，主要包括互联网线路的 IPv6 协议指标，包括带宽、时延、包长、重传率等。

（2）网络设备，主要包括关键网络设备 IPv6 协议性能指标对比，包括防火墙前后会话数、流量时延等指标。

（3）应用，主要包括应用在 IPv6 协议下的运行情况，包括应用流量、连接数、零窗口、RST 以及应用服务路径图等。

（4）IPv6 改造效果，对比线路和应用的 IPv4 与 IPv6 流量负载、网络时延和服务器响应时间等性能指标，统计 IPv4 与 IPv6 的用量占比，对比 IPv4 与 IPv6 的网络质量与响应质量。

以下是我司网络流量监控分析系统监控分析情况示例。



图 7 网络流量监控分析系统 IPv6 监控展示

(三) 无线网络 IPv6 建设

夯实基础设施无线网络建设，满足应用测试多元化需求。随着应用系统的不断改造，原采用手机 4G 热点共享的模式进行客户端 IPv6 测试的方式已无法满足日益剧增的应用测试要求。为实现多元化的接入服务，满足不同类型终端的接入需求，我司无线网络进行 IPv6 改造。无线网络作为重要的开发测试接入环境，属于基础设施全面 IPv6 改造的范围，是数据中心测试环境、生产环境基础设施网络建设的重要补充，也是提升业务测试速度的重要一环。

无线网络 IPv6 改造方案基于我司已有无线网络基础，主要

改造工作包括：启用 IPv6 设备特性并实现 IPv6 管理；升级互联网线路为 IPv4/IPv6 双栈线路。主要变更内容包括：核心交换机、边界防火墙等网络节点完成 IPv6 路由并新增业务 vlan；在 DHCP 服务器上新增 IPv6 地址池；无线控制器新增 IPv6 服务模板等。改造完成后无线网环境具备 IPv4/IPv6 双栈接入能力，接入无线网的用户终端可通过 IPv6 或 IPv4 形式访问互联网。通过无线网络的建设，保障测试团队高效快速地推进各项测试工作。

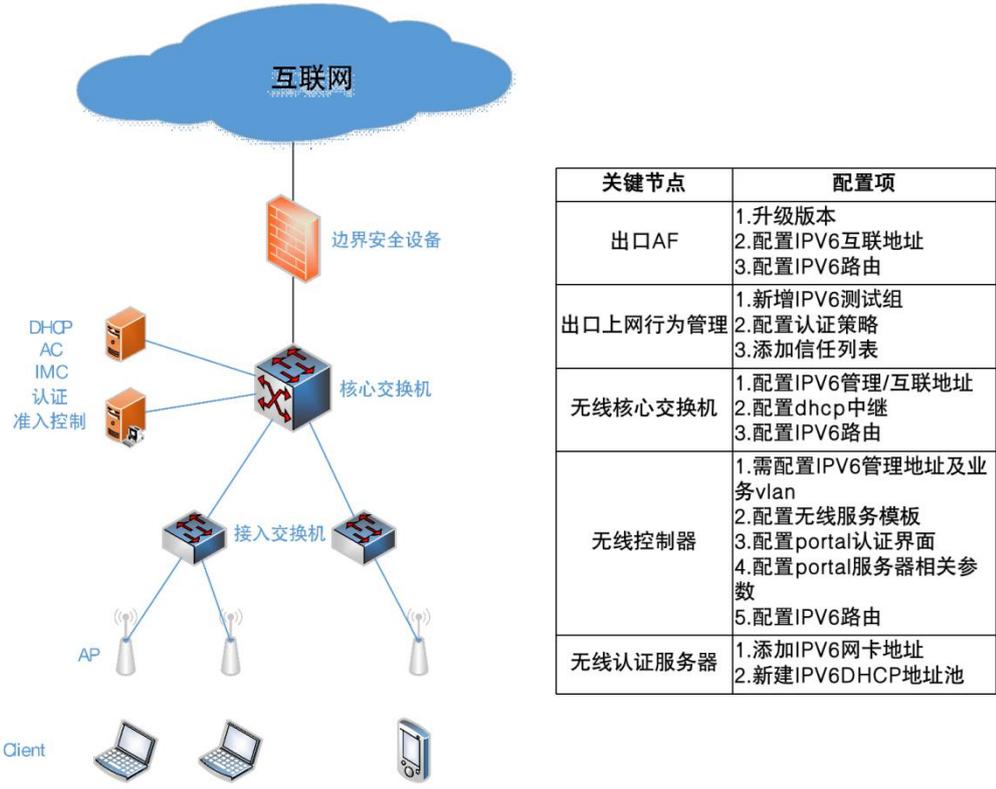


图 8 无线网络架构及 IPv6 改造要点

五、建设成效

截至 2024 年度 8 月下旬，我司 IPv6 规模部署取得的阶段性成效，在基础设施方面，我司已完成完成 7 个数据中心基础设施的 IPv6 改造工作，申请了 44 条 IPv4/IPv6 双栈互联网线路；在应用系统方面，完成面向公众服务的互联网应用系统在老数据中心的 IPv4/IPv6 双栈改造工作，共计 40 套应用系统。

我司 IPv6 改造工作，从设计规划上选择了以双栈为主的技术方案，在建设改造上通过实施规范、保障测试、平台建设等多项措施全方面保障 IPv6 改造工作按照预期落地：

（1）在技术路线上，选择以双栈为主的技术方案，在主要数据中心从互联网到 DMZ 区全路径 IPv4/IPv6 双栈实现，改造难度较大且改造程度较为彻底，在行业内具有示范效应；

（2）在实施规范上，制定基础设施 11 项技术规范，为 IPv6 改造落地提供理论指导；制定 IPv6 线路测试规范，推动运营商按照标准交付互联网线路。

（3）在保障测试上，制定详细测试流程，推进应用测试规范化工作，确保应用系统充分测试，稳定运行。

（4）在平台建设上，建设稳定性测试自服务平台，节省人力成本，实现降本增效；完善流量监控分析系统，提高 IPv6 协议的管理水平；搭建无线测试环境，满足多元化测试需求。

（5）在基础设施环境上，传统环境不断部署 IPv6 协议，同时推动对云环境 IPv6 协议部署的关键技术研究，修订现有技

术规范以支持适配云环境，为云上应用系统 IPv6 协议部署做好技术积累。

六、展望

根据中国人民银行发布关于金融行业贯彻《推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署行动计划》的实施意见，2021年起，在做好金融行业面向公众服务的互联网应用系统 IPv6 改造基础上，持续推进 IPv6 规模部署，逐步构建高速率、广普及、全覆盖、智能化的下一代互联网。

（一）内网系统 IPv6 部署

在互联网业务部署 IPv6 协议的基础上，进一步推广 IPv6 协议的应用，分批次有序开展内网系统 IPv6 改造，实现内网系统间使用 IPv6 协议进行业务访问，配套做好 IPv6 地址的管理，推进 IPv6 地址分配和交换机、服务器 IPv6 地址配置的自动化。

（二）推动 IPv6+创新落地

IPv6+基于 IPv6 的海量地址，发展出包括 SRv6、IFIT、APN6 等协议创新，和以网络分析、自动调优等网络智能化为代表的技术创新。未来将推动 IPv6+创新落地，在智能、安全、超宽、广联接、确定性和低时延六个维度全面提升 IP 网络的服务能力。

(1) 完成核心环网架构进一步优化，从 **SR-MPLS** 升级到 **SRv6**，简化控制层面的网络协议，收敛到只需 **IGP** 和 **BGP** 两种协议；将广域网 **Underlay** 资源虚拟化，基于 **IPv6** 协议，为所有业务提供统一的 **Overlay** 转发平面；降低网络运维管理的复杂度，构建自动化、智能化的网络基础。

(2) 推动示范应用 **APN6** 改造，利用 **IPv6** 扩展报文头空间，将应用信息携带进入网络，实现网络能力与业务需求的无缝结合，使网络感知到应用及其需求，根据不同应用的差异化需求，为其提供相应等级的 **SLA** 保障，从而实现应用级的精细化管理。

(3) 引入 **IFIT** 技术，基于 **IPv6** 报文的 **SRH** 扩展首部字段，对网络真实业务流进行特征标记，可实现丢包、时延等业务质量的实时可视，基于自动业务路径还原，实现端口和链路级精确定位和业务自愈，提升网络的管理水平和自动化运维能力。