



天津大学  
Tianjin University

# 天津大学IPv6建设与应用实践

天津大学 信息与网络中心

于瑞国

2023 年 11 月

# 报告内容



**IPv6的发展背景**



**校园网建设部署**



**应用改造与实践**



**未来工作及展望**

# IPv4面临的挑战

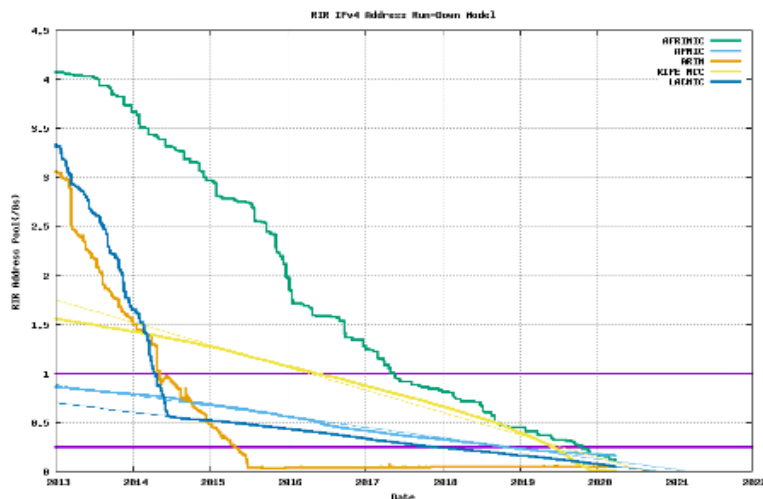
## IPv4 Address Report

This report generated at 25-Mar-2020 08:43 UTC.

IANA Unallocated Address Pool Exhaustion:  
03-Feb-2011

Projected RIR Address Pool Exhaustion Dates:

| RIR       | Projected Exhaustion Date | Remaining Addresses in RIR Pool (/8s) |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------|
| APNIC:    | 19-Apr-2011 (actual)      | 0.1646                                |
| RIPE NCC: | 14-Sep-2012 (actual)      | 0.0101                                |
| LACNIC:   | 10-Jun-2014 (actual)      | 0.0505                                |
| ARIN:     | 24 Sep-2015 (actual)      | 0.0002                                |
| AFRINIC:  | 18-Jun-2020               | 0.1227                                |



Projection of consumption of Remaining RIR Address Pools

Source: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html>

2019年11月25日，RIPE NCC从可用池中的最后一段剩余地址进行了分配。至此，全球的IPv4地址已经用完。

## IPv4地址严重匮乏

- 全球各IP地址分发机构，如亚太APNIC、欧洲RIPE NCC、拉美LACNIC，北美ARIN，非洲AFRINIC的IPv4地址池相继耗尽。
- 中国IPv4地址耗尽后，只能通过高昂的市场交易获取IPv4地址（8\$-12\$每个IP地址，甚至更高）。
- 美国是IPv4的发源地，人均IPv4地址为5.6，而中国仅为0.46。

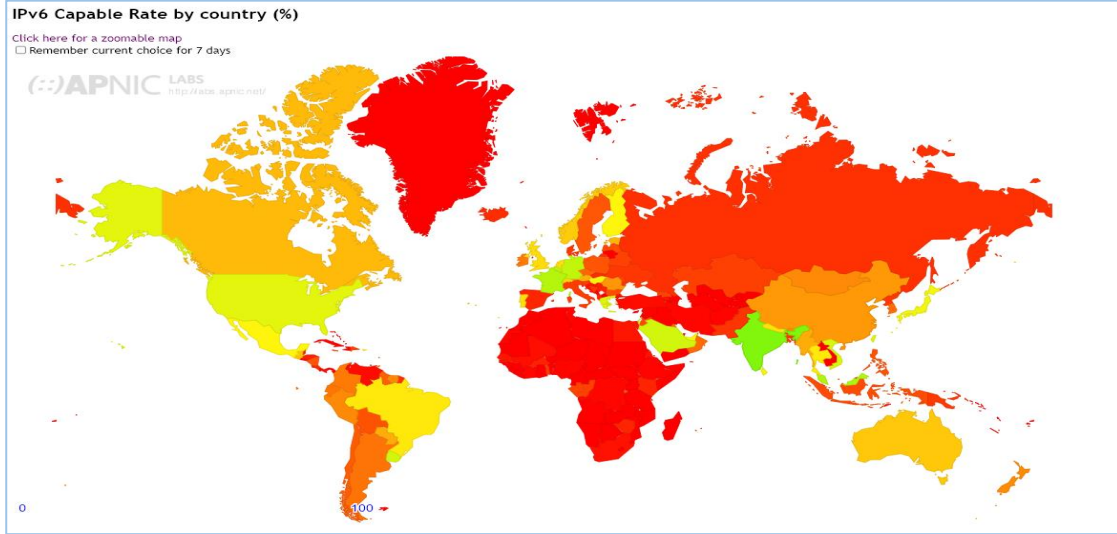
## 业务快速发展需求

- 宽带、移动互联网、IPTV等业务发展，需要数十亿地址空间。
- 物联网、传感网、智能家居等新兴业务，导致未来5~10年对地址需求急剧增加，百亿级地址需求。

## NAT（地址转换）功能带来的弊端

- IPv4挖潜工作消耗大量精力
- 流媒体类业务增大时延，影响体验
- 溯源安全问题加大
- 多连接应用消耗大量session，影响处理

# 世界各国IPv6建设进程加速



APNIC 全球各国IPv6部署程度  
(2023年11月)

| Index | ISO-3166 Code | Internet Users | V6 Use ratio | V6 Users (Est) | Population | Country                    |
|-------|---------------|----------------|--------------|----------------|------------|----------------------------|
| 1     | UM            | 0              | 95.83        | 0              | 0          | United States Minor Outly  |
| 2     | YT            | 150048         | 69.05        | 103602         | 272815     | Mayotte                    |
| 3     | IN            | 583504313      | 61.40        | 358254167      | 1380004385 | India                      |
| 4     | BE            | 10417994       | 58.69        | 6114482        | 11589623   | Belgium                    |
| 5     | BL            | 5103           | 58.39        | 2979           | 9279       | Saint Barthelemy           |
| 6     | US            | 250058937      | 57.28        | 143225029      | 331002651  | United States of America   |
| 7     | MY            | 27847051       | 48.14        | 13405660       | 32365999   | Malaysia                   |
| 8     | GR            | 7520062        | 47.76        | 3591947        | 10423054   | Greece                     |
| 9     | DE            | 70713647       | 47.48        | 33576787       | 83783942   | Germany                    |
| 10    | TW            | 25932758       | 43.88        | 11378804       | 23816775   | Taiwan                     |
| 11    | VN            | 53442603       | 40.62        | 21708771       | 97338579   | Vietnam                    |
| 12    | CH            | 8648237        | 39.44        | 3410505        | 8654622    | Switzerland                |
| 13    | FR            | 53937499       | 39.05        | 21065242       | 65273511   | France                     |
| 14    | JP            | 113144252      | 37.27        | 42170198       | 126476461  | Japan                      |
| 15    | MF            | 20253          | 36.74        | 7440           | 36824      | Saint Martin (French part) |
| 16    | LU            | 617258         | 36.12        | 222930         | 625978     | Luxembourg                 |
| 17    | FI            | 4876878        | 36.11        | 1761132        | 5540720    | Finland                    |
| 18    | GB            | 65237714       | 33.82        | 22066095       | 67886011   | United Kingdom of Great B  |

中国排名：2017：第67位； 2020：第44位； 2023：第12位  
2023年较2020年排名提升260%

## 世界各国政府出台国家发展战略

- 美国《政府IPv6应用指南/规划路线图》——全面推动IPv6的商用部署。2025年实现政务网80%的改造、未来走向IPv6 Only;
- 欧洲《欧洲部署IPv6行动计划》——要求运营商和大型网络部署IPv6，用政府采购促进和带动IPv6发展和布局
- 印度《国家IPv6部署路线图》
- 中国《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》

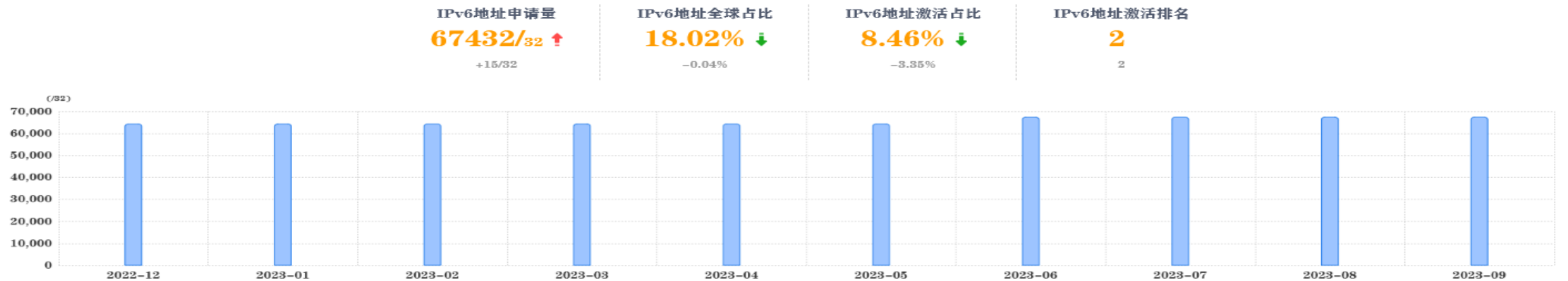
# 我国 IPv6 产业生态日趋完善

截至2023年05月，我国IPv6 **活跃用户数**达**7.63 亿**，**移动网络 IPv6 流量占比**突破**50%**。**IPv6地址申请占比18.02%**，**位居全球第二**。我国 IPv6 产业生态日趋完善，应用规模不断扩大。



IPv6申请地址数(块/32)

时间维度 月 起始时间 2022-12 终止时间 2023-11 详情 >>



# 我国大力推动IPv6规模部署

## 政策大力推动IPv6的发展

IPv6发展从关注基础设施建设到关注上层应用  
从技术改造到产业引导

2016年

十三五规划  
超前布局下一代互联网，全面向互联网协议第6版（IPv6）演进升级。  
——《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（2016-2020年）

2017年11月26日

中共中央办公厅  
& 国务院办公厅  
印发《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》

2018年3月12日

国资委发文  
关于做好互联网协议第六版（IPv6）部署应用有关工作的通知

2019年4月16日

工信部发文  
关于贯彻落实《2019年IPv6网络就绪专项行动》的通知

2020年3月19日

工信部发文  
《关于开展2020年IPv6端到端贯通能力提升专项行动的通知》

2021年7月8日

工业和信息化部&中央网络安全和信息化委员会办公室  
印发《IPv6流量提升三年专项行动计划（2021-2023年）》的通知

2021年11月10日

中央网信办、国家发展改革委、工业和信息化部、教育部等12部门

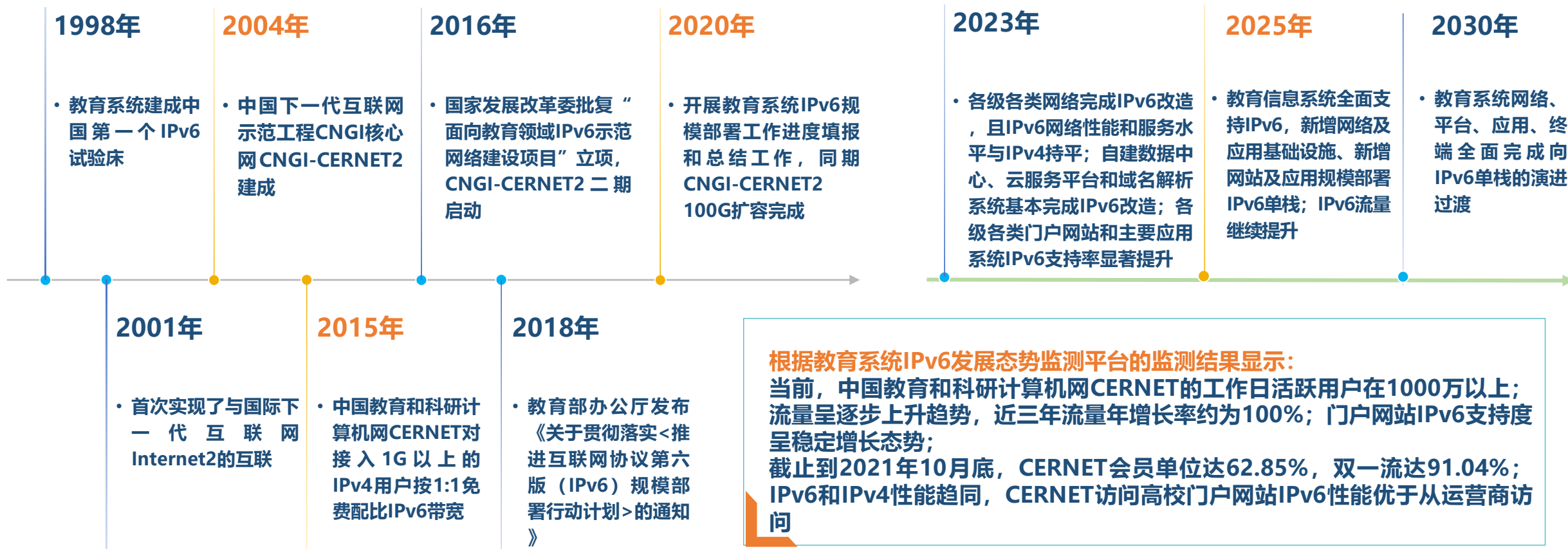
印发《关于开展IPv6技术创新和融合应用试点工作的通知》

关注IPv6基础设施建设——通路

关注应用、流量发展——通车



# 教育行业IPv6建设的探索



从上世纪九十年代末开始，教育系统在IPv6领域已经进行了长期的探索，即便“十二五”期间、“十三五”早期IPv6发展没有取得社会共识的情况下，教育系统依然本着服务国家战略的初心，锲而不舍开展相关探索。

# 报告内容



IPv6的发展背景



校园网建设部署



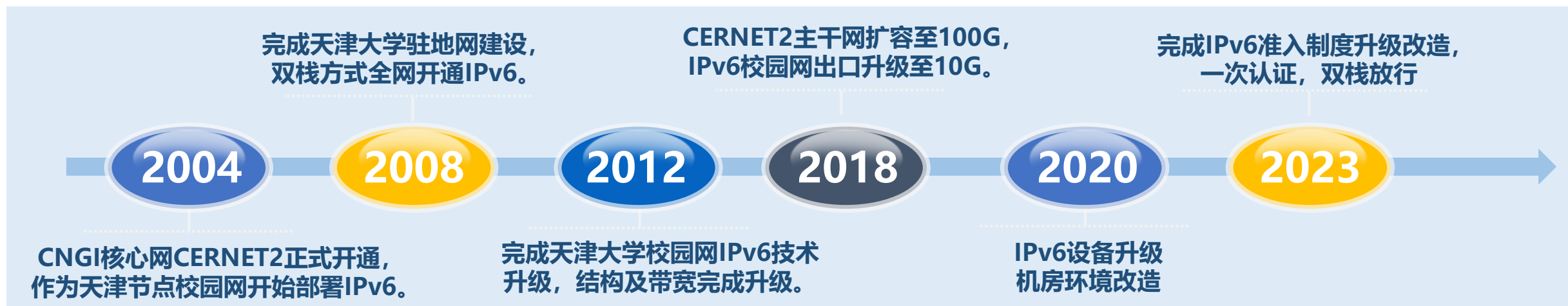
应用改造与实践



未来工作及展望

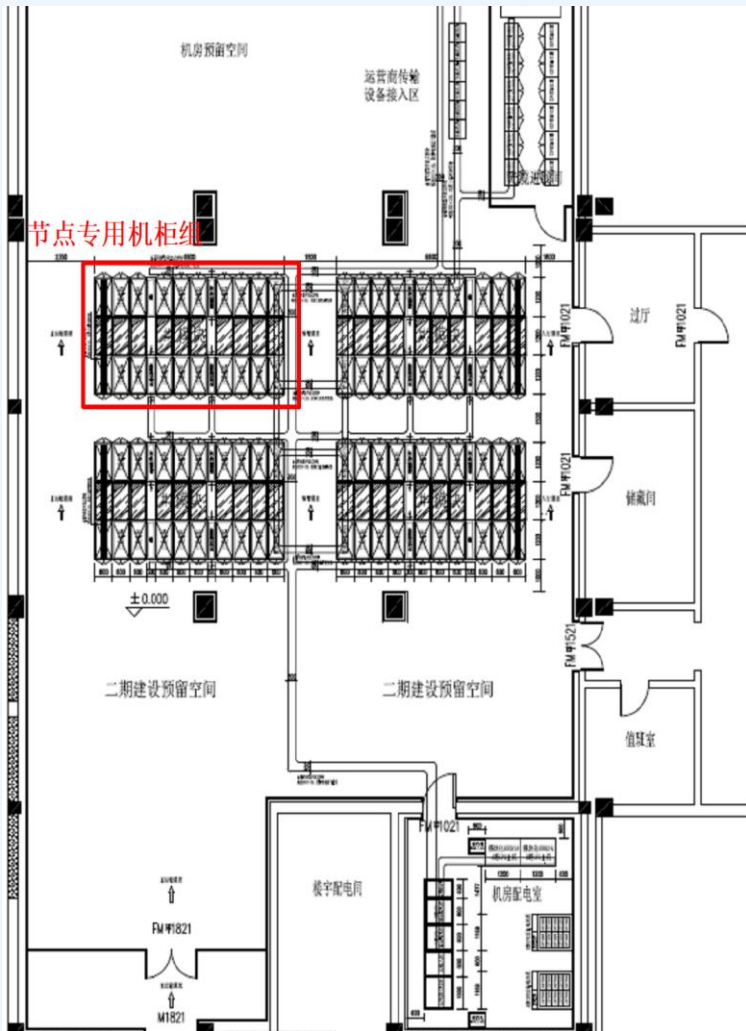


# 天津大学IPv6发展历程



# CERNET2 天津节点

## 天津节点机房布局



## 2020年建成核心机房

- 满足我校未来十年信息化发展需求和CERNET节点建设需求；
- 建设面积约600平米，完备的机房供配电系统、UPS系统、空调系统、消控系统、照明系统、机柜系统、动环监控系统、视频监控系统及综合布线系统等，7×24小时不间断运行；
- 机柜采用智能微模块结构，4组微模块机柜，每组含42U标准机柜18个，其中1组专用于CERNET/CERNET2节点相关设备。

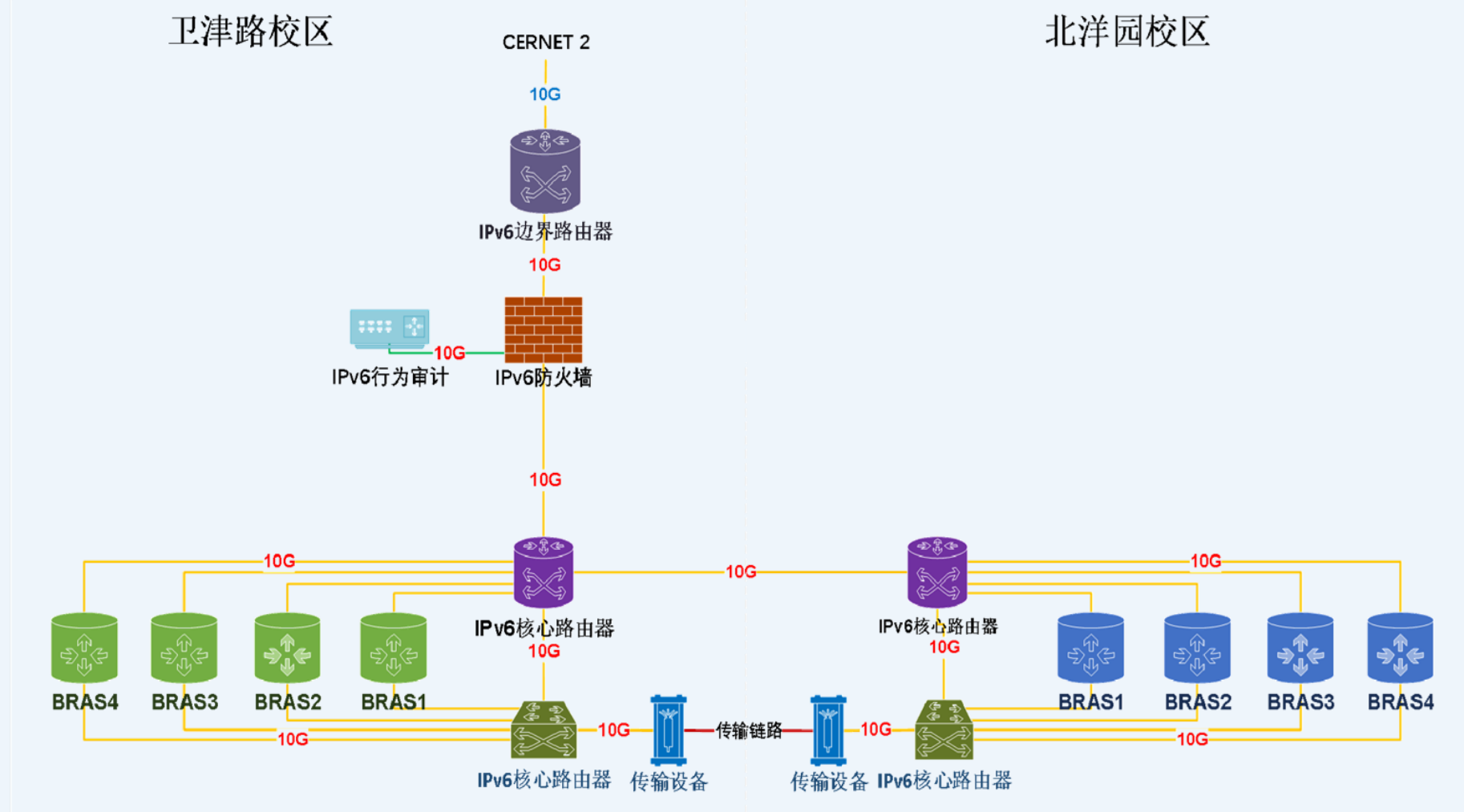
## 天津节点机房环境



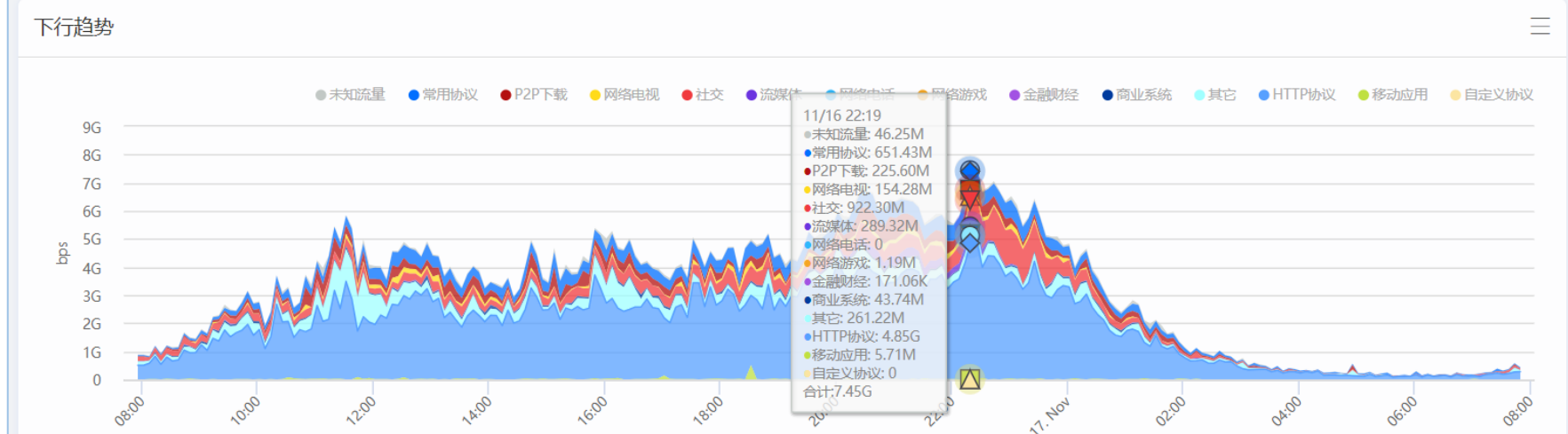
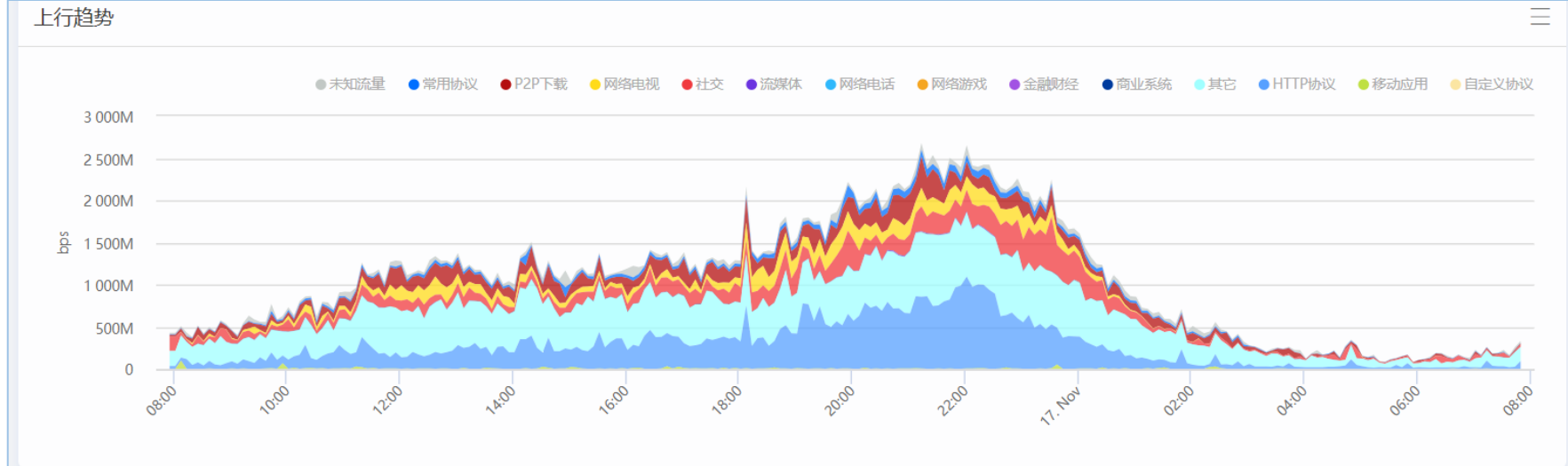
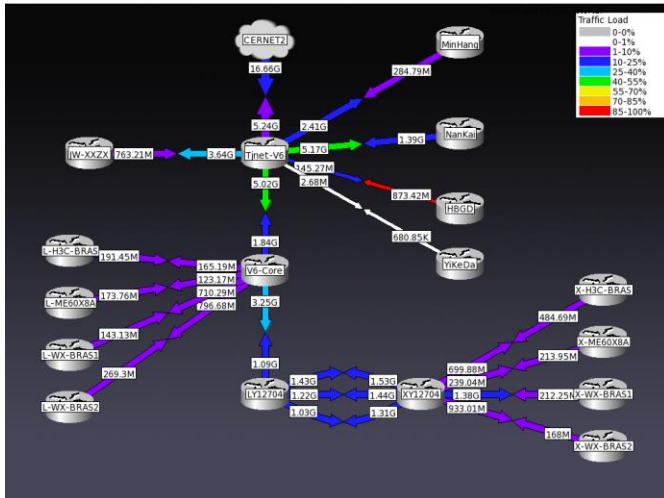
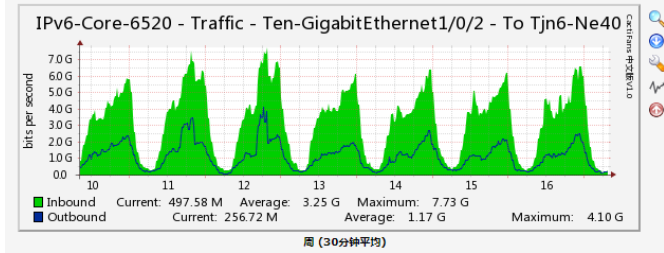
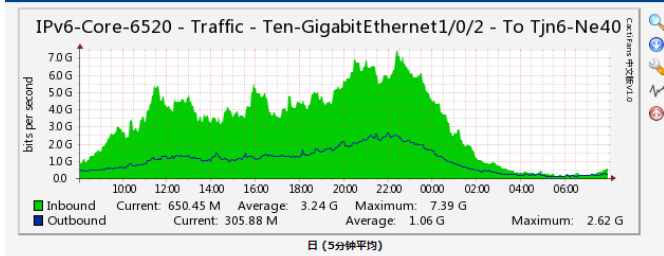
## 总体设计

- 采用与校园网IPv4相同网络架构设计;
- 借鉴IPv4部署经验进行实施;
- 主要包括用户接入、IPv6主干和出口控制三层面内容。

## 主干拓扑结构



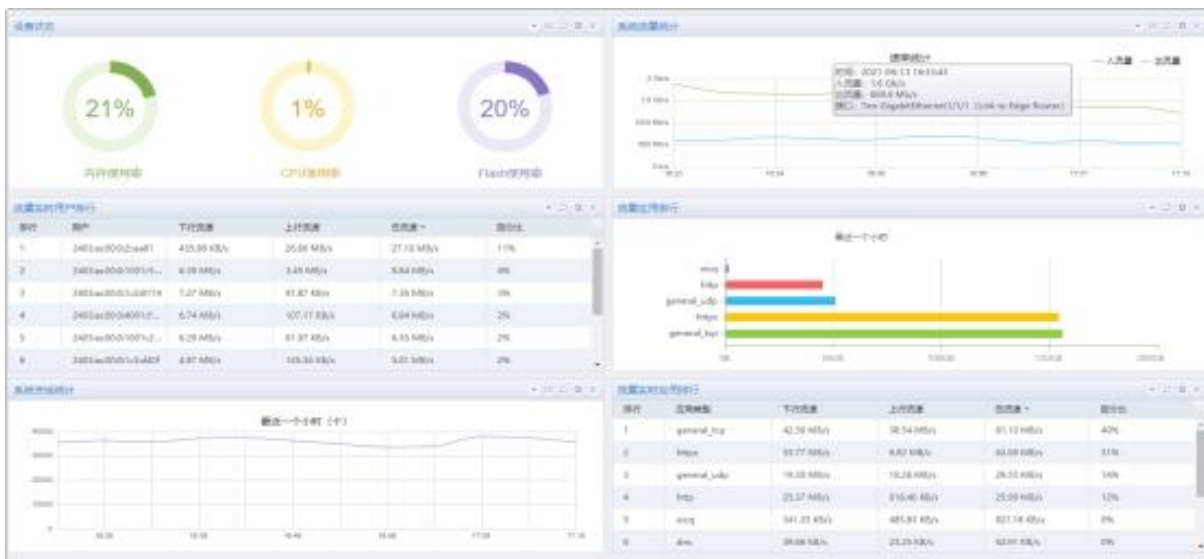
# 天津大学IPv6流量



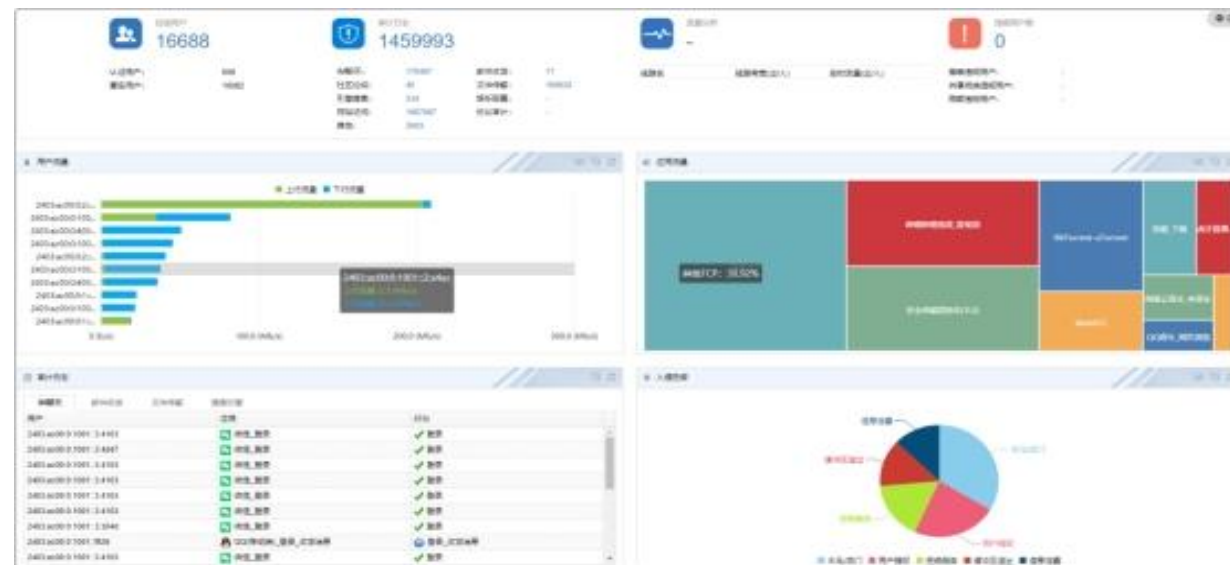
IPv6流量统计: 近期下行流量峰值7.7G, 上行峰值2.62G

# 天津大学IPv6安全防护

天津大学校园网IPv6仅接入CERNET2，互联网入口位于卫津路校区，通过部署1台IPv6**边界防火墙**和1套行为**审计系统**，实现校园网IPv6总体的流量管理、基本安全防护和用户上网审计日志记录和分析。



IPv6出口防火墙统计概览



IPv6行为审计设备统计概览

**完成IPv6实名制**：增加BRAS数量以扩容接入性能，认证计费系统以一次认证、双栈放行的思路确保用户原有上网习惯不变，在有线网用户PPPoE认证和无线网用户Portal认证后，日志中记录IPv6地址记录，实现用户IPv4和IPv6的实名制。



# 报告内容



IPv6的发展背景



校园网建设部署



**应用改造与实践**



未来工作及展望

# IPv6支持情况



- 天津大学目前已完成**80余个**网站及应用系统的IPv6改造;
- 从2021年开始, 新建的业务**强制要求**支持IPv4/IPv6双栈部署。

根据教育系统 IPv6 发展态势监测平台显示, 天津大学指标如下:

- 二级内联支持度: **100%**
- 三级内联支持度: **99.73%**
- IPv6支持度评分: **99.89**
- 活跃用户数: **56,073**
- 入流量平均带宽(Mbps): **3,203.82**
- 出流量平均带宽(Mbps): **1,063.73**
- IPv6授权体系: **具备**

## IPv6规模部署

请选择日期: 2023/11/12 天津 请选择类型: 双一流单位 CERNET会员单位 教育部通告单位 请选择线路: 教育网线路 运营商线路 [查询](#)

| 序号 | 省市 | 学校名称    | 门户网站                | 可解析 | 可访问 | 二级内链支持度 | 三级内链支持度 | IPv6支持度评分 | 活跃用户数  | 入流量平均带宽(Mbps) | 出流量平均带宽(Mbps) | IPv6授权体系 |
|----|----|---------|---------------------|-----|-----|---------|---------|-----------|--------|---------------|---------------|----------|
| 1  | 天津 | 天津大学    | www.tju.edu.cn      | 是   | 是   | 100%    | 99.73%  | 99.89     | 56,073 | 3,203.82      | 1,063.73      | 具备       |
| 2  | 天津 | 天津工业大学  | www.tiangong.edu.cn | 是   | 是   | 98.5%   | 96.13%  | 97.85     | 394    | 8.13          | 4.83          | 具备       |
| 3  | 天津 | 南开大学    | www.nankai.edu.cn   | 是   | 是   | 96.11%  | 95.79%  | 96.76     | 10万+   | 3,026.09      | 1,190.33      | 具备       |
| 4  | 天津 | 河北工业大学  | www.hebut.edu.cn    | 是   | 是   | 92.14%  | 89.96%  | 92.84     | 73,151 | 631.53        | 566.62        | 不具备      |
| 5  | 天津 | 天津医科大学  | www.tmu.edu.cn      | 是   | 是   | 94.26%  | 82.79%  | 90.82     | 596    | 10.08         | 16.90         | 不具备      |
| 6  | 天津 | 天津中医药大学 | www.tjutcm.edu.cn   | 是   | 是   | 85.19%  | 37.44%  | 69.05     | 3      | 0.01          | 0.55          | 不具备      |



# IPv6用户接入

天津大学校园网IPv6用户接入层面，总体采用扁平化的网络结构、IPv4/IPv6双栈接入模式、有线无线一体化的解决方案，其构成包括：有线网、无线网、BRAS和认证计费系统，有线网用户采用PPPoE拨号方式，无线网用户采用IPoE+Portal接入方式，服务器用户采用静态IPv6地址方式。

01

有线网PPPoE接入：通过BRAS的域定义功能设置，定义校园网前域和校园网后域，通过DHCP方式自动获得IPv4/IPv6前域地址，仅可访问校内资源，用户拨号认证成功后，PPPoE连接获得IPv4/IPv6后域地址，此时可访问IPv4和IPv6互联网。

无线网IPoE+Portal接入：校园网用户连接无线SSID后，通过DHCP方式自动获得IPv4/IPv6地址，仅可访问校内资源，访问校外资源时，浏览器自动跳转至Portal页面，成功认证后方可访问IPv4/IPv6互联网资源。

02

03

服务器接入：服务器用户的接入总体采用静态IPv4/IPv6的接入方式，拟接入互联网的服务器需提前申请和报备公网IPv4/IPv6地址，申请成功后方可访问IPv4/IPv6互联网。

# 安防设备接入

## 天津大学北洋园校区

- 占地近3700亩
- 23个建筑组团
- 5个校园进出口
- 7停车场
- 建设规模大
- 开放程度高

### IPv6解决IPv4地址枯竭问题

- 地址空间大大扩展，由32位增加到128位
- 支持更大的路由表，增强网络寻址能力

### IPv6提高路由器转发数据包速度

- 遵循聚类原则，减小路由表长度
- 优化路由表表示，提高数据包转发速度

### IPv6增强组播支持和对流支持

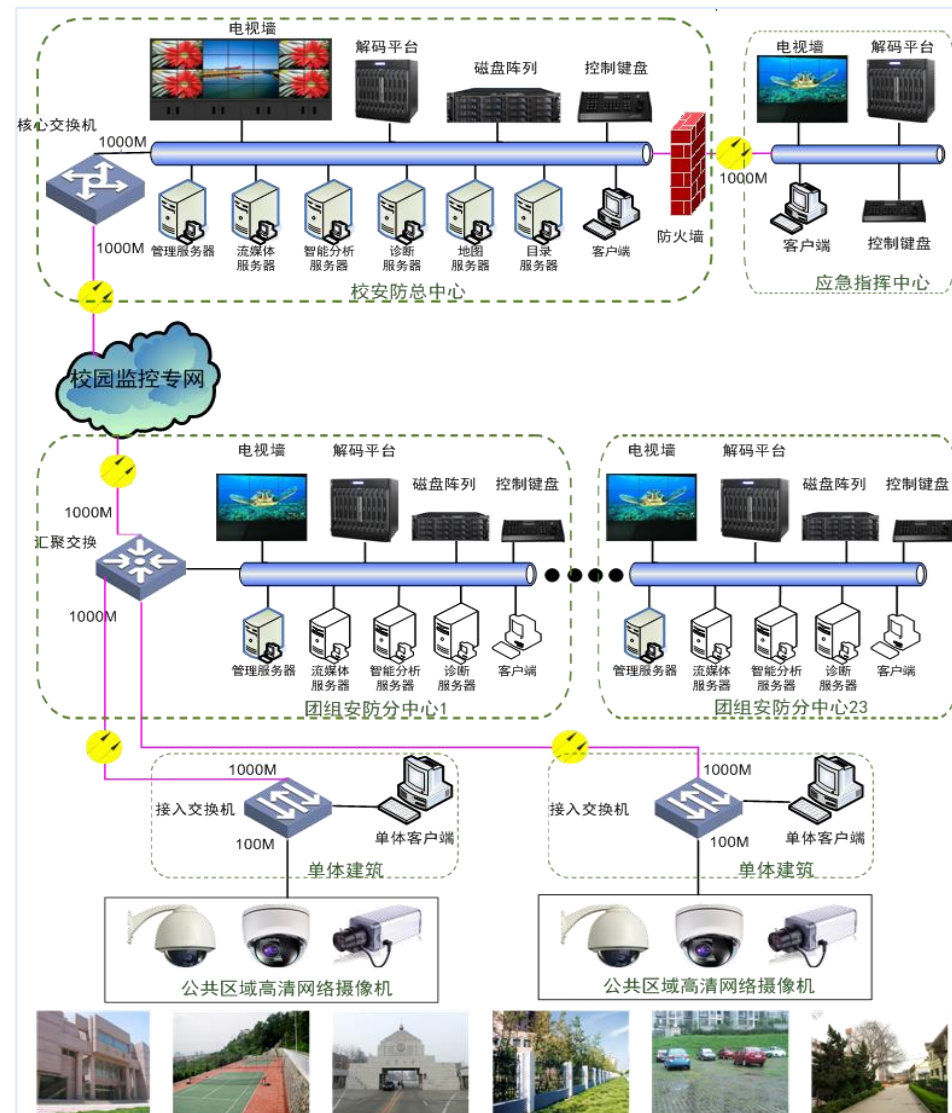
- 促进多媒体应用发展，提供优质网络平台
- 支持视频监控等多媒体应用的网络传输

### IPv6提升网络传送环境质量

- 提供更安全的接入认证能力
- 增强故障报警和管理维护功能

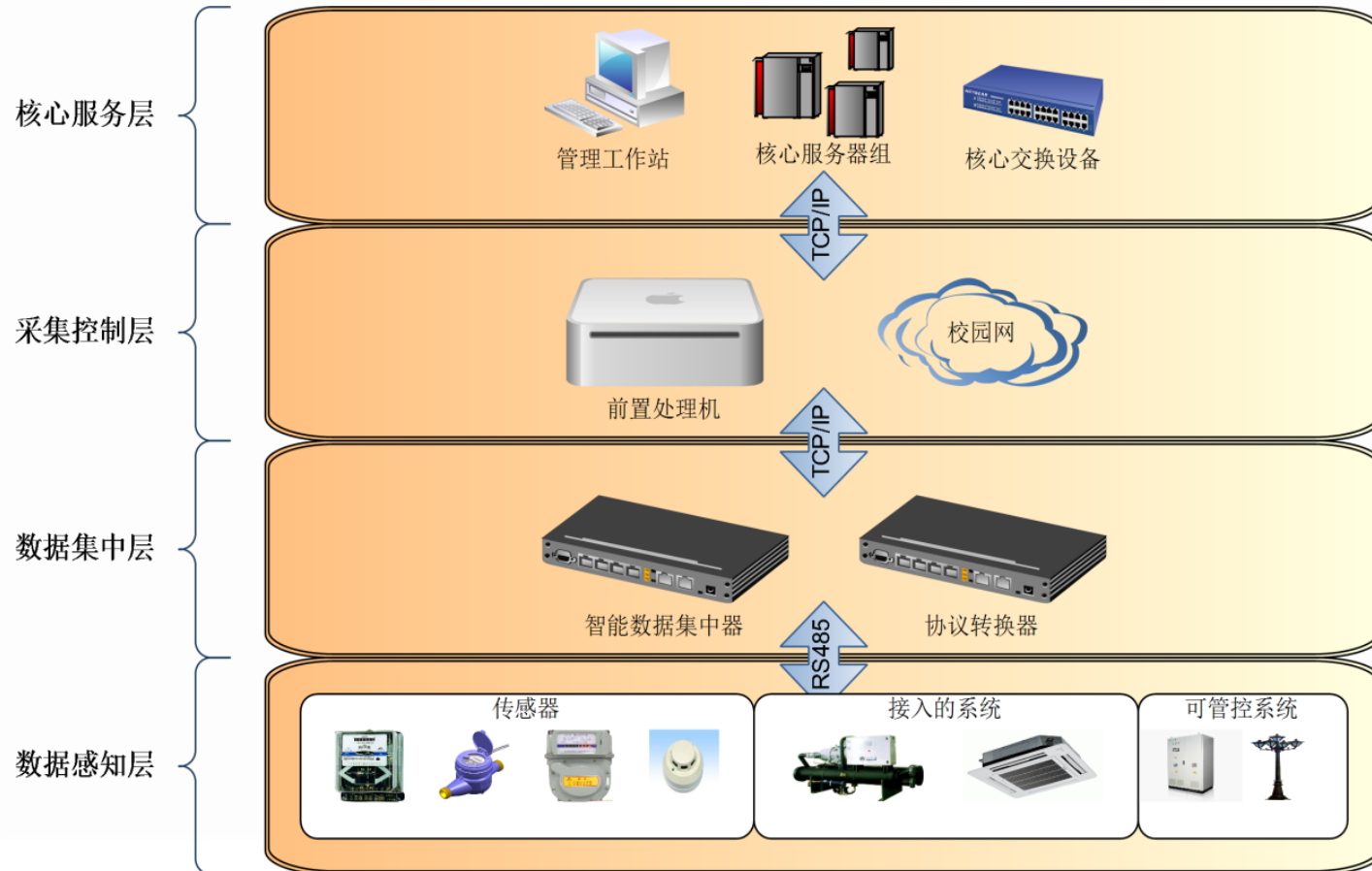
### IPv6实现网络视频监控应用

- 提供良好的扩展性和速度优势，适应更多场景和内容
- 支持更丰富的分辨率，满足网络摄像机更高的成像需求
- 提供更优质的网络传送环境，实现更复杂的监控工作



# 能源监测系统接入

天津大学能源监测平台由**能耗采集系统、空间能耗系统、变配电站监管系统、能源站监管系统、建筑单体能耗采集系统、宿舍安全用电系统**等子系统构成，各子系统间通过数据交换总线相互衔接，实现各子系统之间的数据交换。



能源监测平台建立了“**两级平台**”的校园数字化能耗管理模式在学校建立具有强大扩展能力的应用软件系统和相应的能耗采集设备，采集、汇总、统计、分析、发掘能耗使用状况，为制定科学合理的能耗管理制度体系提供支持。

# 报告内容



IPv6的发展背景



校园网建设部署



应用改造与实践



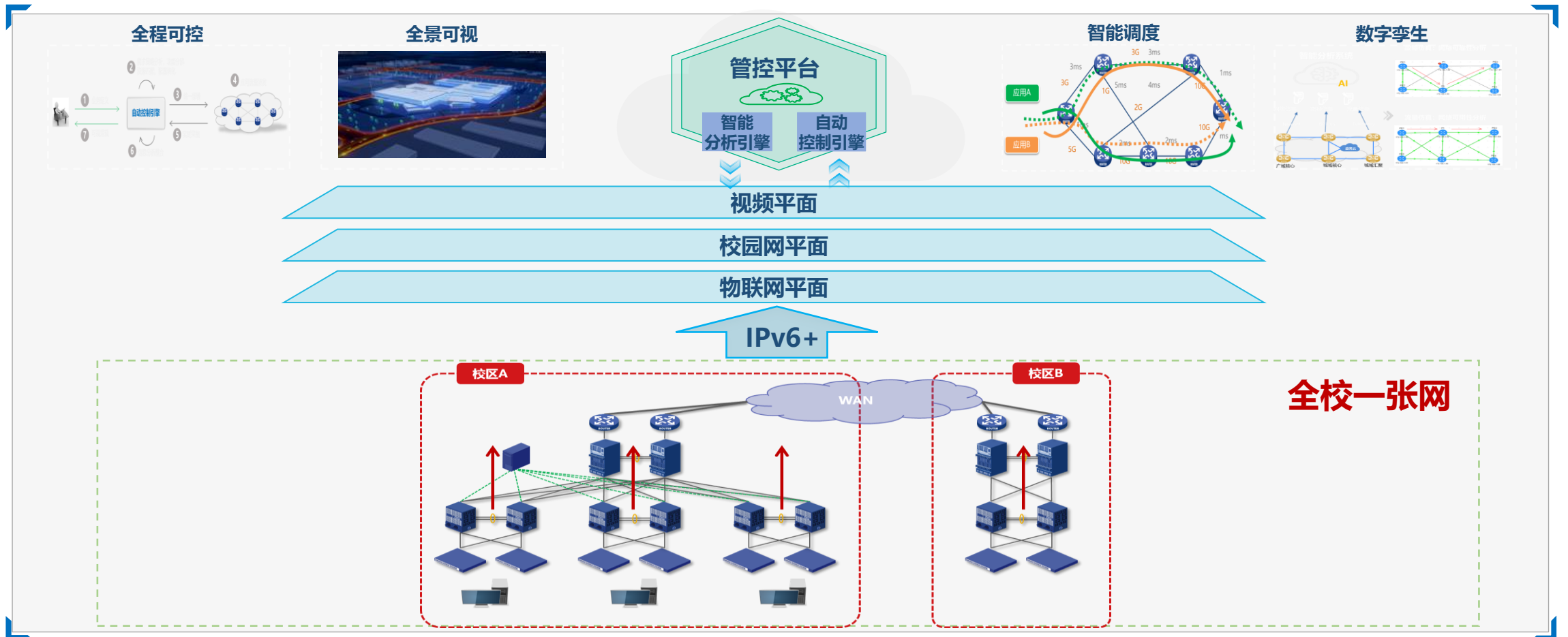
未来工作及展望

# 应用驱动的IPv6推广



# 构建数字校园 “一张网”

基于IPv6+创新技术实现“一网多平面”升级，构建数字校园“一张网”，支撑学校治理能力现代化



一网统载，全程网办

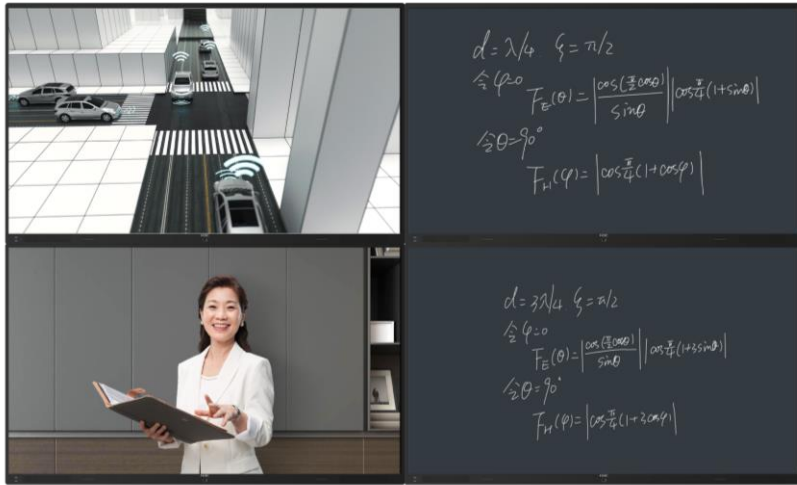
一网多面，专网体验

主动安全，精准防控

智能运维，高效坚韧



# IPv6助力教学科研创新



线上教学 远程培训 办公会议...

IPv6+一张网

**精度高**

丢包检测率 $10^{-6}$

**实时看**

数据秒级采集  
实时呈现

**定位准**

逐跳分析, 快速  
定位故障区域



工业控制、机器视觉、AR/VR、车联网...

IPv6+一张网

**低时延**

时延降低2ms

**低抖动**

抖动降低5ms

**零丢包**

5个9无丢包



# 算力接入

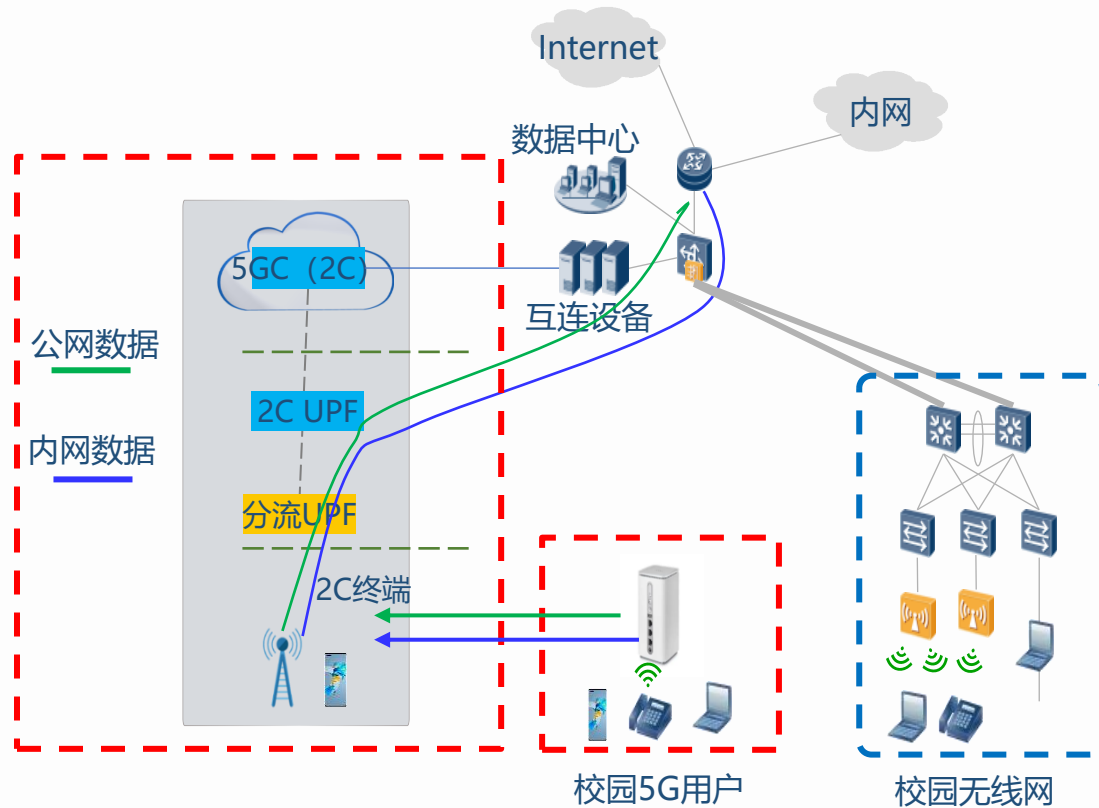
2023年，天津大学建设一套硬件先进、功能齐全、资源丰富的全校性共享的智算平台，通过提供开放、优质的计算服务，帮助学校在重要学科领域取得突破性研究成果，并在优势学科保持学术水平领先，为学校的一流大学建设提供更好的支撑和保障。

通过新老校区IPv6互联，将双校区算力连接共用，为学校科研提供算力和通信保障。

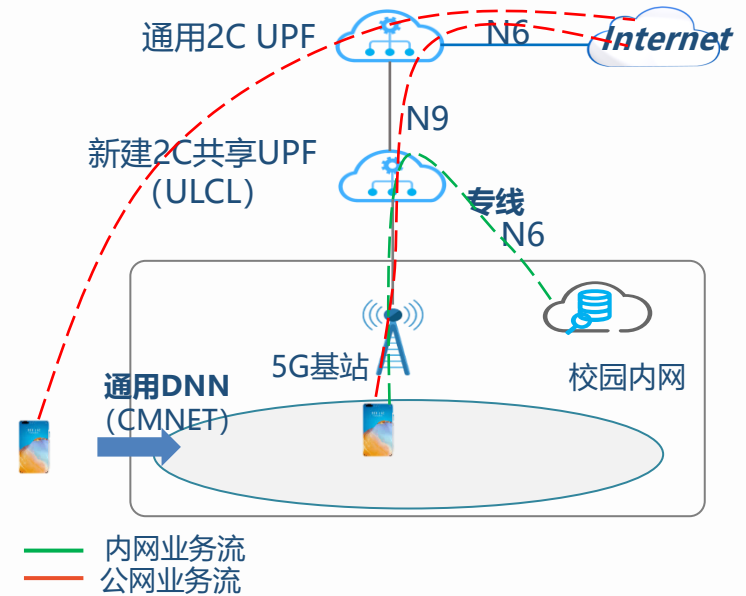


# 5G校园网接入

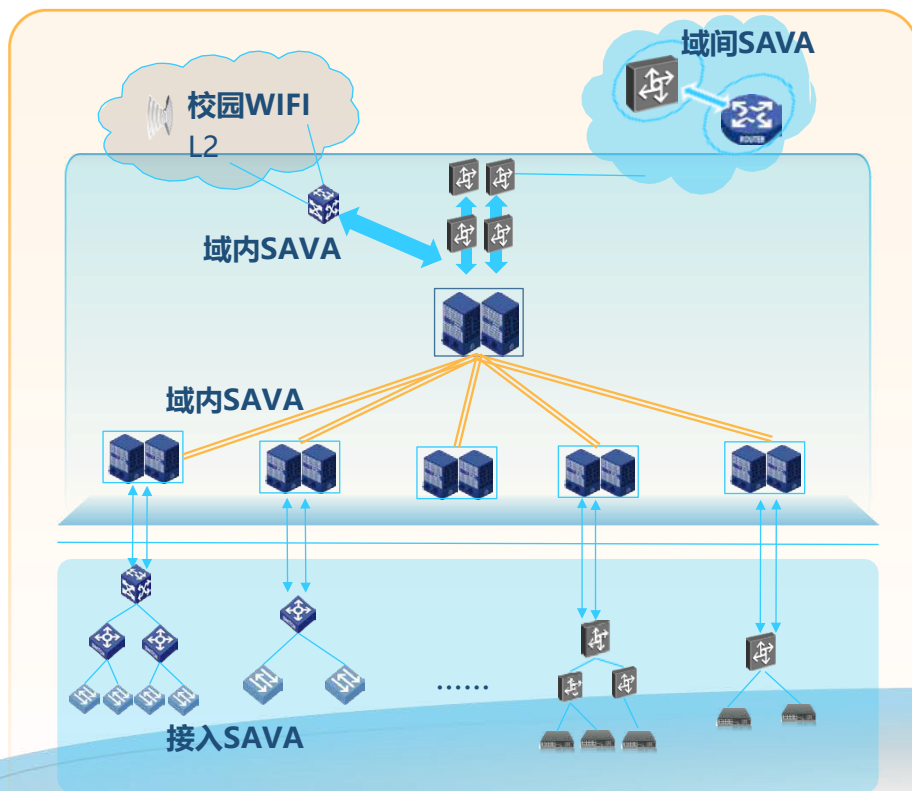
## 5G专网组网方案



## 5G分流方案 (代替VPN)



当前基于IPv4的5G校园网已完成落地部署，面向教师（ULCL）和学生（专网）提供高速的5G服务。  
下一阶段，根据IPv6的工作推进，实现5G校园网IPv4向纯IPv6方式的转换。



## 整体情况

### SAVA源地址验证体系架构

实现IPv6环境下非法攻击流量阻断，合法流量溯源

- ◆ 域间源地址验证
- ◆ 域内源地址验证
- ◆ 接入网源地址验证
- ◆ 基于真实源地址的计费 and 网管

积极开展SAVA真实源地址验证体系的试验和部署，构建端到端可信网络

**谢谢!**