

# 5G 承载网低成本建设策略研究

## Research on Low-Cost Construction Strategies for 5G Bearer Networks

田洪宁<sup>1</sup>,李启旺<sup>2</sup>,宋彦峰<sup>3</sup>,刘琦<sup>1</sup>,陈礼波<sup>4</sup>,尹祖新<sup>1</sup>,章烨<sup>5</sup>(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;3. 中国联通河南分公司,河南 郑州 450045;4. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;5. 多伦多大学圣乔治校区大学学院,加拿大 多伦多)

Tian Hongning<sup>1</sup>,Li Qiwang<sup>2</sup>,Song Yanfeng<sup>3</sup>,Liu Qi<sup>1</sup>,Chen Libo<sup>4</sup>,Yin Zuxin<sup>1</sup>,Zhang Ye<sup>5</sup>(1. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China;2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China;3. China Unicom Henan Branch, Zhengzhou 450045, China;4. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China;5. University of Toronto to St George Campus, University College, Toronto, Canada)

### 摘要:

5G业务及应用的发展需要依托高质量的承载网络,一方面需要承载网提供高带宽、低时延、灵活接入和安全可靠的网络服务,另一方面5G站点规模的持续增加、场景的日益复杂也给5G承载网建设带来了极大的投资压力。如何在保障业务安全的基础上,实现网络的降本增效是承载网面临的巨大挑战。从架构层面、设备层面、管线层面、综合承载4个维度11个方面提出了低成本创新策略体系。经验证,相比传统建设模式,在保持高质量业务承载的前提下,单站接入造价可降低20%以上。

### Abstract:

The development of 5G services and applications relies on a high-quality bearer network. On the one hand, the bearer network must provide network services characterized by high bandwidth, low latency, flexible access, and robust security. On the other hand, 5G bearer network construction is facing huge investment pressures due to the continuous expansion of 5G site deployments and the more and more complex application scenarios. Achieving cost reduction and efficiency improvement of the network while ensuring business security is a major challenge for bearer networks. It proposes a low-cost innovative strategy system in 11 aspects from four dimensions: architecture level, equipment level, pipeline level, and comprehensive bearer. It has been proven that compared with the traditional construction mode, the cost of single-station access can be reduced 20% above on the premise of maintaining high-quality service bearing.

### Keywords:

5G bearer network; Low-cost strategies; Comprehensive bearer solutions

引用格式:田洪宁,李启旺,宋彦峰,等. 5G承载网低成本建设策略研究[J]. 邮电设计技术,2026(3):52-57.

## 0 前言

随着5G站点覆盖节奏的持续加快,叠加国内各运营商陆续提出低频打底网战略,5G承载网的建设及投资压力日益严峻。与5G中频站相比,低频打底网选址更加偏远、建设模式更加多样、接入场景更加复杂,给

### 关键词:

5G承载网;低成本;综合承载

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.03.010

文章编号:1007-3043(2026)03-0052-06

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



承载网络的建设带来了极大的挑战,如何在保障业务安全的前提下,低成本高效率地建设5G承载网络<sup>[1]</sup>,已成为重要课题。在分析5G业务需求的基础上,从核心汇聚、接入2个层面,架构、设备、管线、综合承载4个维度提出了一系列低成本创新策略及具体实施举措。

## 1 5G业务承载需求分析

当前国内运营商5G基站按频段分类主要有5G中

收稿日期:2026-02-10

频站和 5G 低频站 2 类,以中国联通为例,5G 中频站采用 NR 3.5 GHz/NR 2.1 GHz,频带宽度为 100~200 MHz,低频站为 NR 900 MHz,频带宽度为 10 MHz 左右。

### 1.1 前传接口需求

NR 900 MHz 基站前传每 RRU 采用 1×10GE CPRI 接口,最大支持三级级联。5G 中频站包括 2 种类型,类型 1 为 100M 独立/共享载波 3.5 GHz 基站场景,BBU 需配置 3 个 25G eCPRI 前传接口,升级为 200M 时端口数量翻倍;类型 2 为 2.1 GHz 基站(新建锚点)场景,BBU 需配置 3 个 10G 前传接口。

### 1.2 回传接口需求

针对 NR 3.5 GHz,根据不同的天线类型,S111 站峰均值为 2.1~6 Gbit/s,回传可采用 10GE 接口。针对 NR 900 MHz,10GE 或 GE 接口均可满足 6 扇区以下 900 MHz 基站的回传需求,按照 S111 站型配置:当 NR 900 MHz 采用 10M 信道带宽时,单站回传均值带宽为 165 Mbit/s,单站回传峰值带宽为 230 Mbit/s;当采用 L+N 方式,信道带宽各为 5M 时,单站回传均值带宽为 143 Mbit/s,单站回传峰值带宽为 202 Mbit/s。NR 基站地址配置支持 IPv4 和 IPv6 双栈方式。

### 1.3 同步需求

根据 3GPP TS 38.133 要求,5G 基站采用时间同步,任意 2 个基站之间的同步精度要求为 3 μs,基站和时间服务器之间的同步精度要求为 ±1.5 μs<sup>[2]</sup>,即整个移动回传网络和前传链路全程指标要求为 ±1.5 μs。根据 ITU-T G.8271.1 中网络级性能同步指标要求,CLASS A/B 级别中场景 B 下的指标分配如表 1 所示<sup>[3]</sup>。

表 1 高精度时间同步性能指标分配

指标名称	指标分配/ns
PRTC	±100
链路重组和保持	±400
各类噪声贡献	±200
网元静态误差	±550
线路非对称	±100
用户端延伸系统	±150
合计	±1 500

CLASS A/B 级的静态网元误差要求为 ±550 ns,CLASS C 级的静态网元误差要求为 200 ns。考虑到 CLASS A/B 的单设备同步精度要求为 50 ns,而 CLASS C 的单设备同步精度要求为 10 ns,则设备跳数最高不得超过 20 跳。

## 2 低成本建设策略

结合 5G 业务需求,针对 5G 承载网低成本建设,从架构层面、设备层面、管线层面、综合承载 4 个维度进行分析,梳理总结低成本建设策略。图 1 给出了低成本建网策略概览。

### 2.1 架构层面

第一,采用 CRAN 组网架构,集中部署 BBU,减少机房占用及设备建设<sup>[4-6]</sup>。对于市城区、镇区场景,原则上采用 CRAN 建设方式,BBU 集中到综合业务点或 BBU 集中点,收敛综合业务接入区内的无线业务。对于乡镇场景,县乡环应按基础架构组环,乡镇节点收敛周边站点业务(宜 5 km 以内),其他农村站点可采用 BBU 小集中或 DRAN 方式,通过智能城域网二级接入环路接入,节省光缆建设成本<sup>[7-8]</sup>。综合业务接入点建议接入的无线基站数量为 10 个以上,BBU 集中点采用小集中方式,接入 3 个以上的无线基站。定义设备收敛比(5G 基站数量/智能城域网设备数量)来控制接入基站规模,结合设备接入能力和业务分布,5G 承建区域的收敛比不应低于 8。各接入方式所需资源如表 2 所示,BBU 集中后可有效降低 CAPEX 和 OPEX,减少机房占用和设备规模、能耗等,但需注意对主干和配线光缆纤芯的消耗。

第二,开展极简网络建设。通过优化网络架构及精简网络,降低网络运行成本,提升集约化水平。

a) 优化网络布局,加快 BBU 回撤。结合无线网络建设,对非架构节点的 BBU“能撤尽撤”,提升架构机房大容量 BBU 槽位的利用率。回撤过程中同步开展对 BBU 资源的整合挖潜:一是通过基带板高低互调,将大容量基带板与低容量基带板互换,迁移冗余资源进行利旧;二是将同机房或相同位置的 BBU 进行合并,将所有 RRU 配置迁移至一个 BBU 内,拆除其他 BBU 硬件资源用于利旧。

b) 精简网络结构,推进智能城域网与 IPRAN 网络的融合。结合 5G 基站建设、BBU 回撤及架构节点优化工作,腾退相应的 IPRAN 设备:对于 IPRAN 与智能城域网重复覆盖的区域,业务迁移到智能城域网后应予退网;对于 BBU 回撤且 3G 已退网的区域,现有非架构节点中无业务承载的 IPRAN 设备应予退网;当 IPRAN 接入环上的设备存在安全隐患或接入环容量无法满足业务增长时,业务割接至智能城域网后应予退网;当 IPRAN 核心汇聚层设备老旧或存在安全隐患时,应

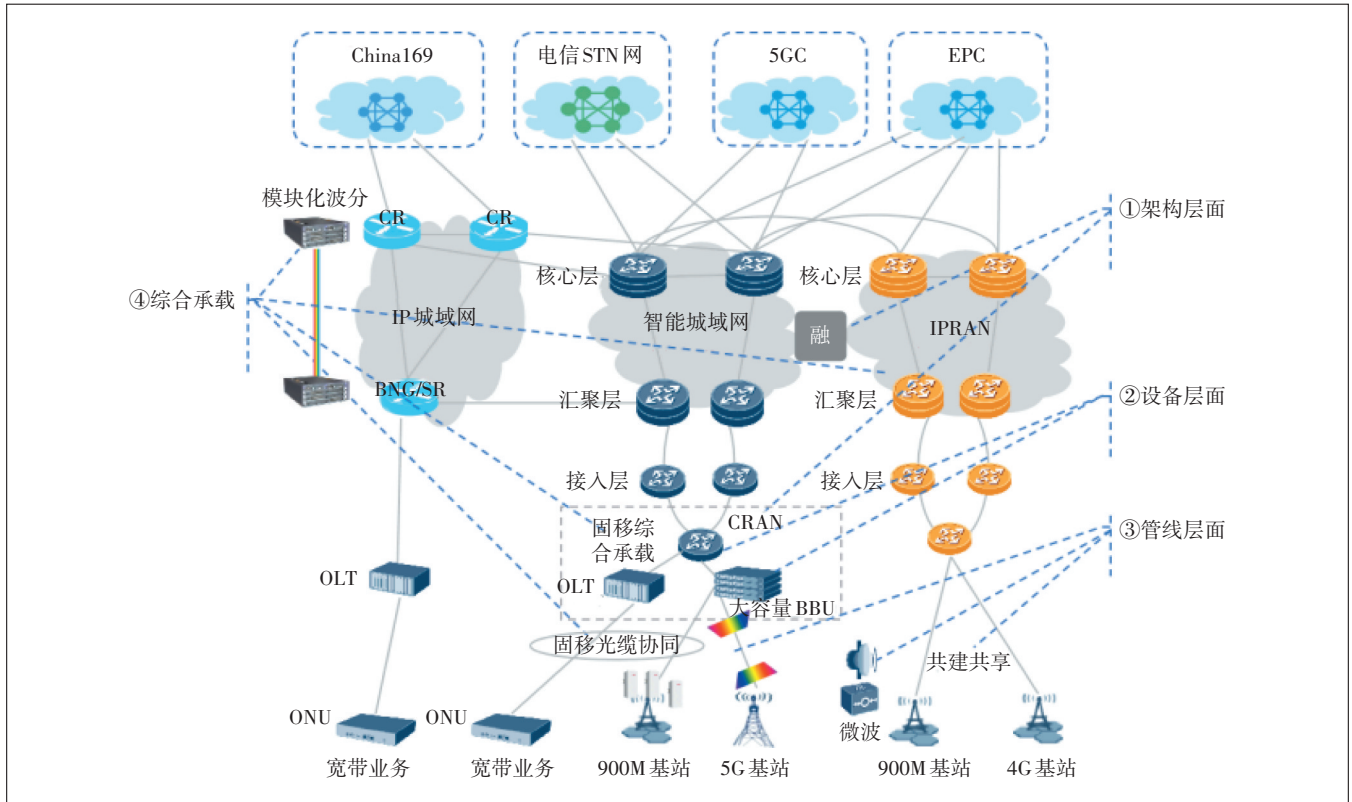


图1 低成本建网策略概览

表2 不同BBU部署方式对承载网需求分析

所需资源	DRAN	CRAN(BBU集中点)	CRAN(综合业务接入点)
所需机房数量	高	中	低
机房配套投资	高	中	低
MAR设备数量、功耗、维护	高	中	低
MAR组环占用纤芯	高	中	低
BBU-AAU前传占用纤芯	低	中	高

推动其与智网核心汇聚层进行融合。

## 2.2 设备层面

第一,推广大容量BBU的应用,减少回传端口。加强与无线专业的协同,推广大容量BBU的应用,推进BBU端口整合、BBU机框整合,保证回传接口减半的效果,减少承载设备端口占用,避免板卡扩容。大容量BBU应用示意如图2所示,每BBU设备至少接入2个及以上基站。

第二,接入层设备结合业务需求按需定档,引入不同档次的接入设备,在满足业务接入需求的前提下

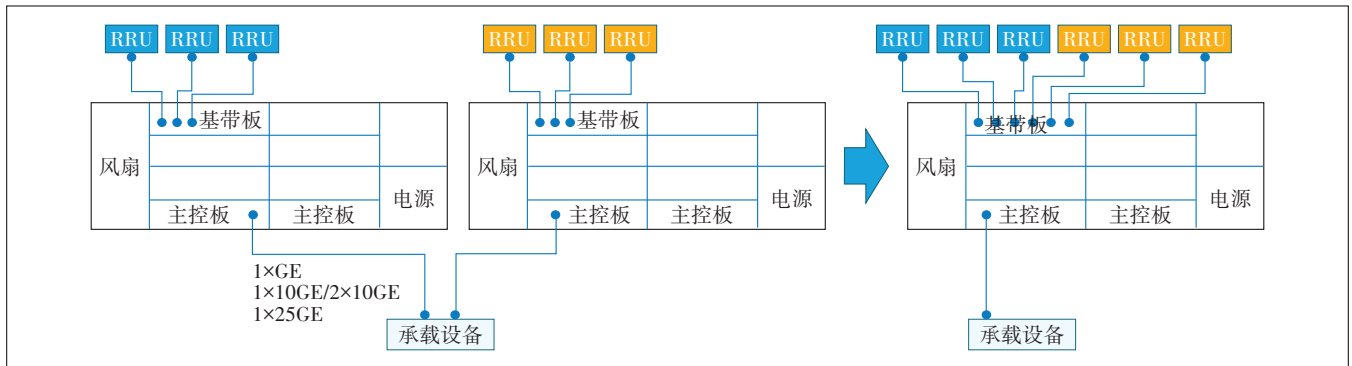


图2 大容量BBU应用示意

提高端口利用率,降低造价。接入设备应结合需求及业务发展合理选定配置模型,冗余端口不宜过多,保证组网侧端口分布在不同接口板上,业务侧复用组网侧板卡端口。接入层设备规格应按需部署,由低到高依次定义A1、A2、A3 3档设备,A1定位于综合业务接入点或条件较好的BBU集中点,A2定位于非5G承建区BBU集中点,A3定位于DRAN节点,具体如表3所示。

表3 接入层设备分档

项目	A1	A2	A3
设备形态	框式	盒式/框式	盒式设备
整机总容量	端口接入能力>420G	端口接入能力>160G	48G
主控冗余	双主控	单主控,部分厂家双主控	双主控
典型配置	至少8槽,单槽容量为100G	8个10GE接口+8个GE接口	4个10GE接口+4个GE/FE接口
新特性	支持SRv6、硬切片	支持SRv6、硬切片	不支持SRv6、硬切片

### 2.3 管线层面

第一,采用前传波分应用,降低前传纤芯占用,减少光缆叠加<sup>[9-11]</sup>。前传方案应根据纤芯情况选择无源波分或单纤双向(BIDI)+光纤直驱的方式承载。5G中频段站建议采用无源波分设备进行纤芯收敛,900 MHz基站可采用无源波分或通过RRU级联配合BIDI光模块,节省前传纤芯资源。

前传波分应用场景如表4所示。

表4 前传波分应用场景

类别		新建配线光缆	利旧配线光缆	BIDI+光纤直驱	前传波分
新建站		必选	-	可选	可选
共址站	纤芯资源充裕(7/10芯以上)	-	必选	可选	可选
	纤芯资源紧张(3~7/10芯及以上)	-	必选	次选	优选
	无纤芯资源(2芯及以下)	可腾退	-	必选	-
不可腾退		必选	-	可选	可选

对于5G新建站址的情况,前传可采用BIDI+光纤直驱或前传波分的方式。新建接入光缆应就近接入主干光交或综合业务接入点,纤芯容量原则上不少于24芯(业务量较大的综合业务节点可考虑建设48芯光缆)。

对于5G共址站的情况,方案建议如下。

a) 当接入光缆空余纤芯满足前传需求并有一定冗余时,可采用BIDI+光纤直驱或前传波分方式进行承载。

b) 当接入光缆空余纤芯较少时,优选前传波分,控制5G接入配线光缆建设。

c) 当接入光缆无空余纤芯时(2芯及以下),若基站引入光缆纤芯总芯数在12芯及以上的站址且可腾退2G/3G/4G占用的纤芯资源,则采用前传波分承载;若基站引入光缆纤芯总芯数小于12芯的站址或无法腾退纤芯,则新建配线光缆。

前传波分部署方案如下:针对3.5 GHz 5G站点,若载波带宽为100M,可选择1:6规格的25G无源波分系统,若载波带宽为200M,可选择叠加2套1:6规格的25G无源波分系统。针对3.5 GHz叠加2.1 GHz的5G站点,可与3.5 GHz站点同步解决前传需求,选择1:12规格无源波分,其中前6波采用25G波道,后6波采用10G波道,3.5 GHz NR 200 MHz带宽时叠加6波25G系统。针对900 MHz基站,可采用1套6波10G系统。某省分公司实际900 MHz工程建设项目通过应用前传波分及BIDI光模块,其叠加光缆比例降低了8%,单站叠加光缆建设规模降低了0.1 km,整体光缆投资减少约15%,有效缩短了建设工期及成本。

第二,可灵活采用微波技术<sup>[12]</sup>,解决偏远站接入,降低末端管线投资。对于光缆接入困难或造价偏高的偏远末端站点,可结合成本及未来业务发展统筹考虑采用微波技术作为回传的补充手段,具体应用场景的建议如下。

a) 对于城区光缆不便接入的基站回传、大客户接入,推荐采用E-BAND微波设备。E-BAND微波具备高带宽、抗干扰能力强等特点,但传输距离相对较短。

b) 对于农村大于5 km的基站接入等场景,微波有成本优势,宜推广使用,尤其是普通服务场景,推荐采用传统频段微波设备。

c) 对于农村超20 km的超长距接入场景、城区非视距场景,可采用低频固定无线接入设备。

第三,应发挥共建共享机制,减少管道、光缆、杆路等的建设。对于本地光缆、管道、杆路建设,应充分考虑与其他运营商的共建共享。有共同需求的新建管道、杆路、光缆线路,应予共建;在考虑业务发展预留后,若有空闲的管道资源、具备条件的杆路、富余的光缆纤芯,应予共享。

## 2.4 综合承载

传输网在规划建设时,应综合考虑 NR 900 MHz 承载、宽带覆盖,统筹组网结构、纤芯选取、设备选型等因素,实现固移协同综合承载。

第一,对于乡镇及以下场景,需协同建设固移光缆<sup>[13-14]</sup>。乡镇及以下场景新建传输光缆应按照满足固移双覆盖要求协同建设、统筹应用。固移业务光缆协

同承载示意如图3所示,在新建光缆场景下, NR 900 MHz 基站接入光缆建设统一采用 24 芯光缆,同时在村口预留光缆分纤箱或小型光交,便于后期宽带覆盖快速入村。在利旧光缆场景下, NR 900 MHz 建设利用前传波分、RRU 级联等方式节省纤芯占用,给宽带发展预留纤芯资源,便于后期从现有基站引入光缆至行政村。

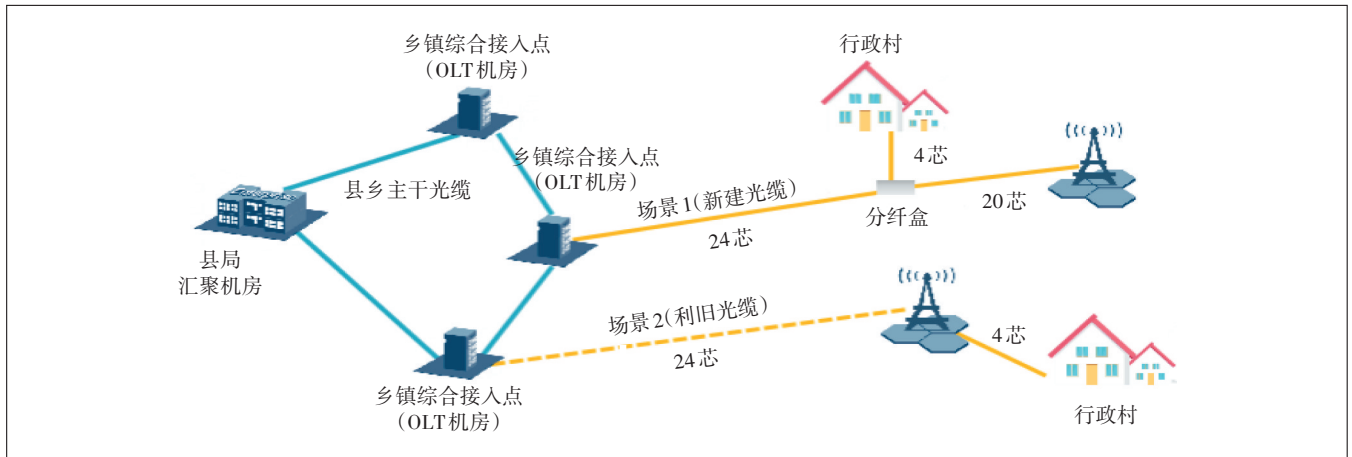


图3 固移业务光缆协同承载示意

第二,乡镇及以下 OLT 综合承载。对于光纤、波分等传输资源不足或已建智能城域网的地区,可通过智能城域网综合承载 5G 及 OLT 上联业务。

第三,利旧 IPRAN 盘活现网资源。NR 900 MHz 可按需接入智能城域网或利旧接入 IPRAN 网络。接入智能城域网时可采用 GE 或 10GE 回传接口,利旧接入 IPRAN 时回传可采用 GE 接口,前传为 10GE CPRI 接口,支持级联。当 NR 900 MHz 基站采用 IPv4 地址时,对语音和数据等基本业务无影响,对时延敏感型业务有少量影响。利旧 IPRAN 时,存在以下 2 种承载方案。

方案 1:新增 5GRAN VPN 承载 NR 900 MHz(见图 4)。回传采用 GE 接口,在现有 IPRAN 网络上新增 5GRAN VPN,通过智能城域网或 IPRAN 打通与 5GC 的路由。该方案的缺点是 IPv4 场景下的改造工作量较大,IPRAN 上需新增 5GRAN VPN,5GC 需进行双栈改造。该方案的优点是规范性好,配置清晰,可通过 VPN 直接识别业务流量属性;IPv6 场景下的配置方案便于未来与智网的融合。

方案 2:利旧现有 4GRAN VPN 承载 NR 900 MHz(见图 5)。回传采用 GE 接口,利旧现有 IPRAN 上的

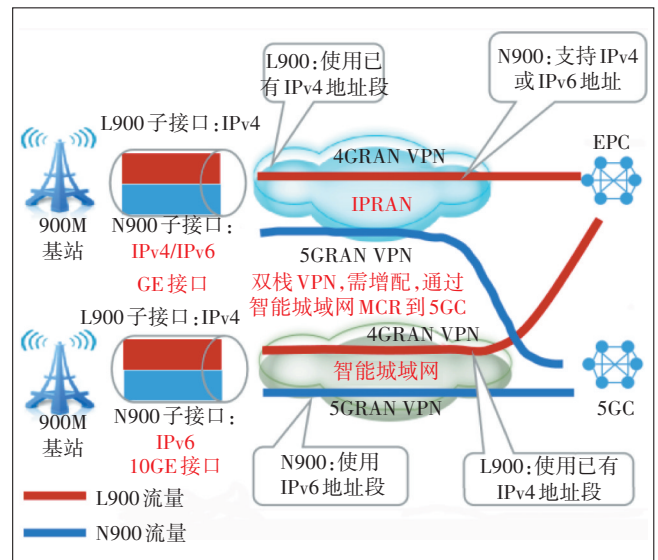


图4 新增 5G RAN VPN 方案示意

4GRAN VPN,通过智能城域网或直接在 IPRAN 上打通 4GRAN VPN 与 5GC 的路由。该方案在 IPv4 地址格式下可利旧现有配置及资源,改造工作量相对较少。采用 IPv6 地址时,需将 VPN 改为双栈模式,改造工作量与新增 VPN 基本相当,且承载规范性差,不便于流

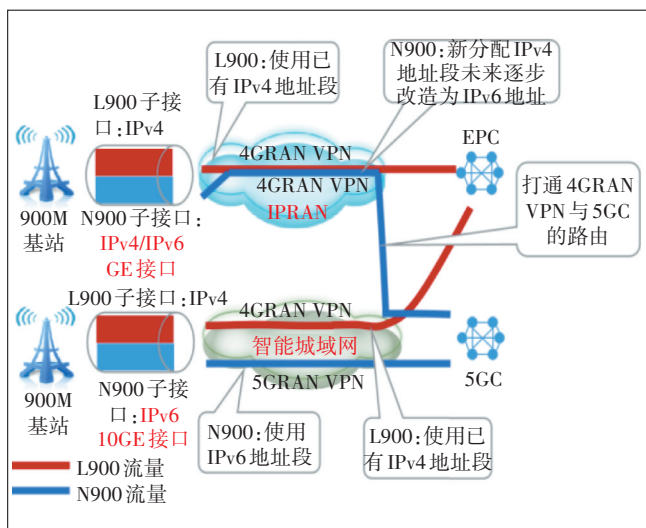


图5 利旧4G RAN VPN

量统计。

推进 IPv6 部署是建设数字中国、实现网络强国的重要组成部分,为落实 IPv6 国家战略,方案应优先考虑对 IPv6 的友好性,综上, NR 900 MHz 接入推荐采用方案 1 中的 IPv6 方案。

第四,按需引入模块化波分<sup>[15]</sup>。5G 需求引起核心汇聚层波分扩容,县城 MER 上联市区 MCR 需通过波分承载,上联端口以 100GE 为主。同时,随着宽带千兆业务的发展、10G PON 的规模部署,与 MER 同节点的 IP 城域网 BRAS 上联至 CR 也已逐步启用 100GE 端口。相较于传统波分方案,模块化波分对该点对点大容量、无需电层交叉的城域网业务场景的优势明显,建议优选该方案。相对传统波分,模块化波分具备以下优势:价格更低,业务量越大,优势越明显;集成度更高,1U 设备即具备 Tbit/s 级的接入能力,较传统波分提升 10 倍左右;功耗更低,模块化波分设备为前进风、后出风方式,相比于传统 100G WDM 设备,每 100 Gbit/s 带宽功耗可降低 50% 以上。

### 3 结束语

近年来,随着 5G 业务的高速发展,低成本创新策略体系的应用实践在 5G 承载网建设中发挥了巨大作用,本地承载网高效承接了 5G、家宽、政企、MEC 等多种业务接入。某运营商近 2 年的全国 5G 承载网建设项目数据显示,采用低成本策略建设的 5G 承载网的基站接入造价相对于传统建设模式可降低 20% 以上,其中 2022 年降低了 23.3%,2023 年降低约 19.8%。随着

5G 承载网网络架构的持续完善,预计整体建设造价将由持续下降趋势逐渐趋于低位平稳。本文从 4 个维度 11 个方面详细分析梳理了低成本建设策略体系,形成方法论,为未来持续拓展完善低成本手段应用及创新奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 中国联通. 中国联通 2024-2026 网络发展规划指导意见[Z]. 北京:中国联通,2023.
- [2] 3GPP. NR; requirements for support of radio resource management: 3GPP TS 38.133[S/OL]. [2025-06-08]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] ITU-T. 8271. Network limits for time synchronization in packet networks with full timing support from the network: G. 8271.1 [S/OL]. [2025-06-08]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.8271.1/en>.
- [4] 黄小光,汪伟,赵品勇. 面向 5G 规模演进的 C-RAN 架构部署方案[J]. 邮电设计技术,2019(11):39-43.
- [5] 段树侠,胥俊丞,杨伟,等. BBU 集中化部署及本地传送网应对策略研究[J]. 邮电设计技术,2017(11):18-21.
- [6] 陈烈强,顾荣生,尹祖新,等. 面向 5G 需求的本地基础网络架构浅析[J]. 邮电设计技术,2018(11):46-51.
- [7] 屠礼彪,宋盈,马季春,等. 中国联通智能城域网架构探讨与实践[J]. 邮电设计技术,2021(2):11-17.
- [8] 刘倩,项朝君,吕艳娜,等. 基于 5G 承载的智能城域网部署研究及实现[J]. 电子产品世界,2023,30(3):44-52.
- [9] 杨春,胡春琳. 5G 无线前传网络中的单纤双向技术探讨[J]. 光通信研究,2019(6):27-34.
- [10] 王义涛,钱永良,段宏. 5G 前传技术方案可行性分析和应用策略研究[J]. 邮电设计技术,2022(3):69-75.
- [11] 田洪宁,李文华,尹祖新,等. 5G 前传解决方案研究[J]. 邮电设计技术,2020(12):76-80.
- [12] 邓涛. 微波及毫米波技术在网络通信中的应用研究[J]. 通信世界,2000(24):24.
- [13] 田洪宁,尹祖新,刘琦,等. 宽带提速背景下 OLT 上联承载策略研究[J]. 邮电设计技术,2024(2):78-82.
- [14] 罗新军,许步扬. 面向广电的固移融合组网策略[J]. 信息技术与信息化,2022(1):169-172.
- [15] 童菲. 新型 DCI 互联波分技术原理及应用[J]. 通信世界,2023(18):45-48.

### 作者简介:

田洪宁,毕业于北京工业大学,高级工程师,主要从事本地承载网规划、测试工作;李启旺,毕业于北京邮电大学,高级工程师,主要从事承载网的规划、建设和管理工作;宋彦峰,毕业于北京交通大学,高级工程师,主要从事固网规划、建设等工作;刘琦,毕业于北京交通大学,高级工程师,长期从事本地承载网规划、研究等工作;陈礼波,毕业于重庆邮电大学,教授级高级工程师,主要从事光通信网络、5G 工业互联网等研究工作;尹祖新,毕业于哈尔滨工业大学,教授级高级工程师,长期从事承载网规划、研究等工作;章焯,就读于多伦多大学圣乔治校区大学学院,主要研究方向为统计分析算法。