

# 基于 CWDM/环行器技术的 5G 前传承载方案研究

杜 喆,程 明,张德智

(中国电信股份有限公司研究院,上海 200122)

**摘要:** 运营商在规模建设 5G 前传网络时,为了节省光纤资源,大量部署了粗波分复用(Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM)无源彩光设备,实现 5G 前传 3 通道承载。为满足 5G 多频组网以及电信联通共建共享的需求,运营商提出了包括中等波分复用(Medium Wavelength Division Multiplexing, MWDM)、细波分复用(LAN Wavelength Division Multiplexing, LWDM)、密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)等技术在内的多通道承载方案。在此背景下,项目组创新提出了基于 CWDM/环行器技术的多通道承载方案,该方案不仅实现产业链共享、具备国产化能力最高的特点,还能够最大化降低 5G 前传网络建设成本。详细介绍了 CWDM/环行器方案的现网部署方案以及存在的问题。

**关键词:** 5G 前传;粗波分技术;环行器;光反射

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211448

中文引用格式: 杜喆,程明,张德智. 基于 CWDM/环行器技术的 5G 前传承载方案研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10): 10-15, 21.

英文引用格式: Du Zhe, Cheng Ming, Zhang Dezhi. Research on 5G fronthaul transmission based on CWDM/circulator technology[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 10-15, 21.

## Research on 5G fronthaul transmission based on CWDM/circulator technology

Du Zhe, Cheng Ming, Zhang Dezhi

(Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

**Abstract:** When building a large-scale 5G fronthaul network, operators have deployed a large number of CWDM passive coarse wavelength division multiplexing(CWDM)equipment in order to save fiber resources to realize 3-channel fronthaul transmission. In order to meet the needs of 5G multi-frequency networking and the joint construction and sharing of China Telecom and China Unicom, operators have proposed multi-channel solutions including medium wavelength division multiplexing(MWDM), LAN wavelength division multiplexing(LWDM), dense wavelength division multiplexing(DWDM) and other technologies. In this context, the research team innovatively proposed a multi-channel solution based on CWDM/circulator technology. This solution not only achieves industry chain sharing, has the highest localization capability, but also minimizes 5G fronthaul network construction cost. This article describes in detail the current network deployment plan of the CWDM/circulator solution and the existing problems.

**Key words:** 5G fronthaul network; CWDM; circulator; optical reflection

### 0 引言

现有 5G 前传采用传统 CWDM 无源彩光技术<sup>[1]</sup>仅能规模部署 O 波段前 6 波(1 271 nm~1 371 nm)25G 光模块,满足 3 通道前传承载的需求<sup>[2]</sup>。为满足 5G 多频组网以及电信联通共建共享的需求,运营商也针对性地提出了 MWDM、LWDM 和 DWDM 等多通道解决方案<sup>[3-4]</sup>,但是上述方案均存在需新开发光芯片、产业链不成熟、国产化能力不足、价格高昂等不足。为此,项目组主导提出了 CWDM/环行器方案,即基于 CWDM 技术 O 波段前 6 波光模块,并在无源复用/解复用器中引入新型环行器,实现由 1 根主干光纤完成同波长双向传输,完成 6 通道前传承载<sup>[5-6]</sup>。

### 1 CWDM/环行器技术原理

CWDM/环行器技术主要利用现有 CWDM 无源彩光系统的光模块,并在无源器件的复用器和解复用器中各增加了一个新型环行器,该环行器满足 1 271 nm~1 371 nm 波段的工作要求。借助新型全波段环行器可以实现 5G 前传系统上行和下行方向均采用相同的 6 个工作波长(1 271~1 371 nm)光模块。CWDM/环行器方案的具体工作原理如图 1 所示。

以 1 271 nm 和 1 331 nm 成对使用的前传工作通道为例说明。工作通道的上行方向,AAU 设备上 1 271 nm 波长光模块发送工作波长 1 271 nm 的光信号通过复用器中的复用器和环行器组件,随后经过主干光纤到达 CU/DU

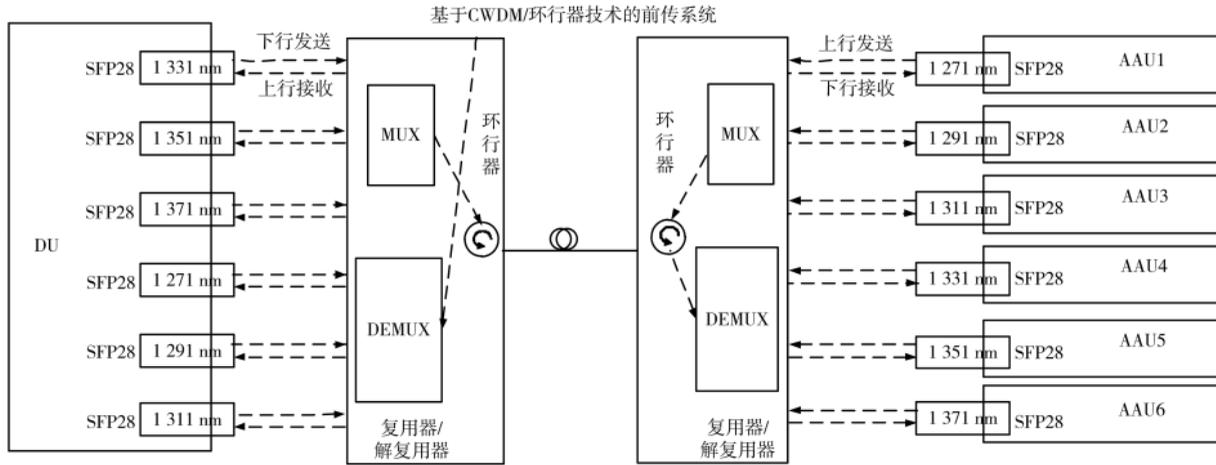


图1 CWDM/环行器方案工作原理示意图

侧解复用器中的环行器和解复用器组件,被 CU/DU 设备上 1 331 nm 光模块接收。在通过复用器和解复用器时,利用其中的环行器具备方向隔离的特点<sup>[7]</sup>,避免与下行方向的工作波长 1 271 nm 发生冲突干扰。但是,上行 1 271 nm 波长光信号在主干光纤遇到光反射点后,会有部分反射光信号与下行 1 271 nm 波长业务光信号同时被 AAU 侧光模块接收,对前传系统造成影响<sup>[8]</sup>。工作通道的下行方向原理与上行方向相同。

## 2 基于 CWDM/环行器技术的 5G 前传设备工作波长配对方案

影响 CWDM/环行器设备规模部署的关键的因素之一就是上行和下行工作波长如何配对部署使用的问题。目前,主要有两种工作波长配对方案,具体描述如下:

### (1)同波长配对方案

CWDM/环行器前 3 通道采用 1 271 nm、1 291 nm 和 1 311 nm 的 3 个波长光模块,后 3 通道采用 1 331 nm、1 351 nm 和 1 371 nm 的 3 波长光模块,而且每个工作通道上下行方向采用相同的工作波长。同波长配对方案原

理如图 2 所示。

### (2)异波长配对方案

CWDM/环行器前 3 通道和后 3 通道均采用 6 波长光模块,其中前 3 通道 AAU 设备采用 1 271 nm、1 291 nm 和 1 311 nm 的 3 波长光模块,CU/DU 设备采用 1 331 nm、1 351 nm 和 1 371 nm 的 3 波长光模块;后 3 通道 AAU 设备和 CU/DU 设备采用的光模块工作波长则正好相反。异波长配对方案原理如图 3 所示。

以上两种工作波长配对方案各有优缺点,具体对比情况如表 1 所示。

综合比较上述两种方案,建议采用异波长配对方案,一方面沿用了传统 CWDM 无源彩光的部署方式,不需要重新对 CWDM 无源彩光设备的装维人员进行培训;另一方面也有利于今后的平滑升级不断业务。

## 3 规模部署中的关键问题分析

影响 CWDM/环行器设备规模部署的另一个关键的因素就是如何有效降低前传光链路中的光反射问题。现以 1 271 nm 和 1 331 nm 配对(采用异波长配对方式)的

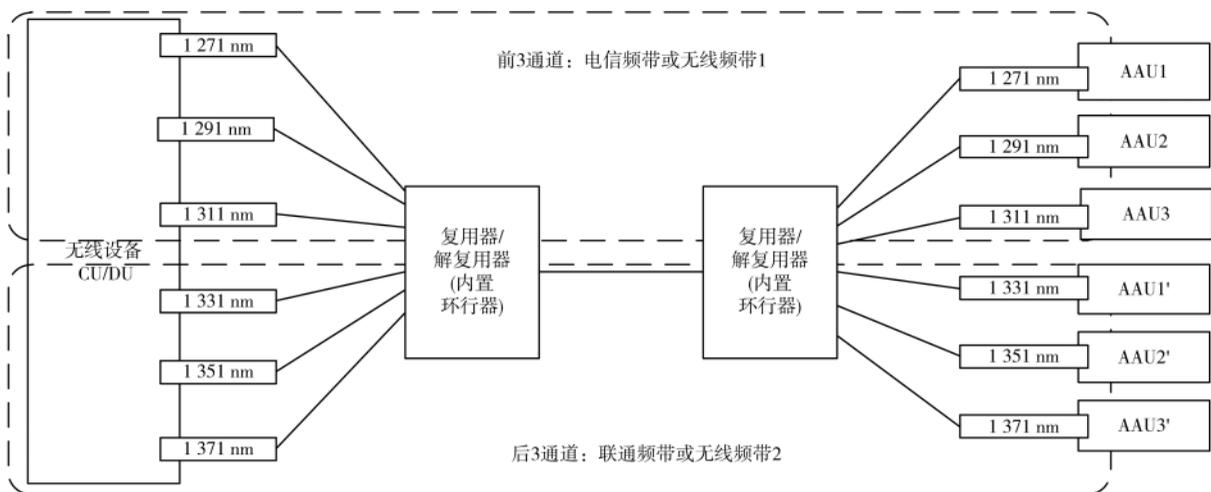


图2 同波长配对部署方案示意图

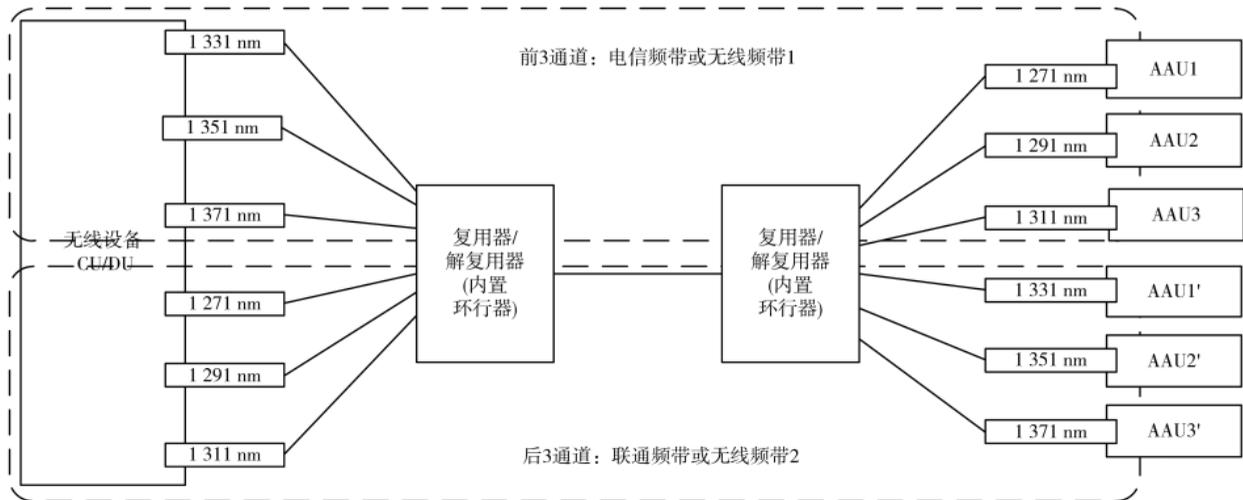


图3 异波长配对部署方案示意图

表1 两种CWDM/环行器波长配对方案优劣势对比表

方案	同波长配对方案	异波长配对方案
优点	上/下行波长一一同波长配对,方便安装维护,不宜错配使用,安装维护效率较高	配对方式与现网已部署上线的传统CWDM无源彩光设备相同。现网3通道升级为6通道时,现网设备无需中断前3通道移动业务
缺点	配对方式不同于与现网已部署应用的传统CWDM无源彩光设备。现网3通道升级为6通道时,现网设备需中断前3通道的移动业务	上/下行波长错开配对,容易导致错配使用,初期安装维护效率相对较低

工作通道为例描述光反射是如何形成的,如图4所示。当CU/DU设备上1331 nm光模块的下行发送光信号在主干光纤上经过一个活动连接器时,一旦活动连接器两端光纤存在未紧密连接等问题时,光信号除了大部分通过传输到远端AAU侧外,基于菲涅尔反射原理<sup>[9]</sup>,还会

有一小部分光信号产生反射回到本端CU/DU侧1271 nm光模块的接收器。与此同时,CU/DU侧1271 nm光模块还会正常接收AAU设备上1331 nm光模块发送过来的正常业务光信号。其他波长工作通道也存在同样原理光反射的干扰光信号。因为干扰光信号的存在,此时移动业务会产生一定误码。为保证移动业务正常运行,需要将光反射控制在一定范围内。

为了有效控制前传系统中光反射,首选需要找到引入光反射的原因和具体故障点。通过大量现网光时域反射仪(Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)测试,并对测试结果分析表明光反射主要来源于前传光链路上的活动连接器,如图5所示。

图5为根据现网测试的OTDR数据模拟绘制的典型5G前传光链路OTDR测试曲线。目前,密集城区内的5G宏基站前传光链路全长在3~5 km左右,在这短短的数公里光纤链路上存在着多个活动接头。由于5G前传和FTTx光宽接入采用同一张光缆网,因此典型前传

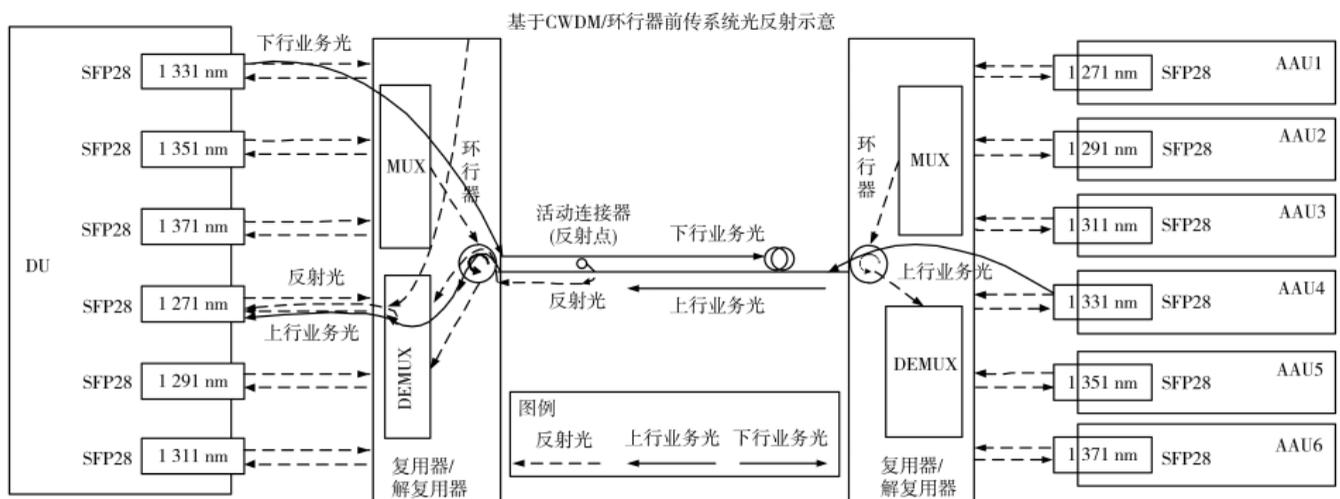


图4 CWDM/环行器前传系统光反射的原理示意图

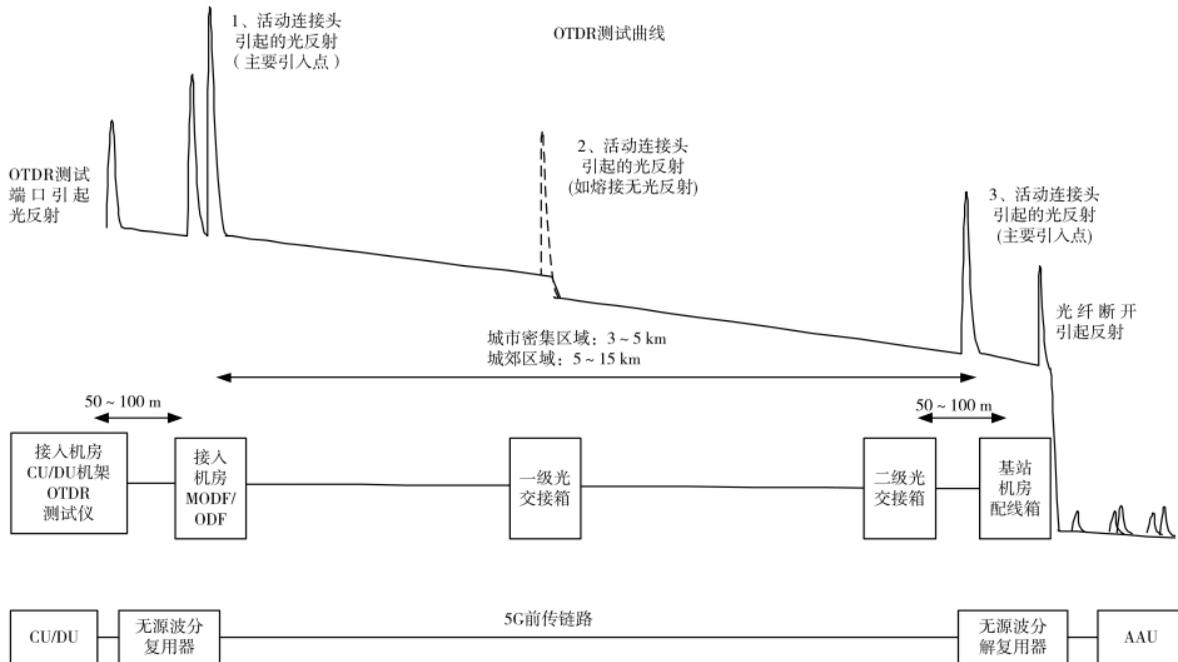


图 5 5G 前传光链路 OTDR 测试曲线示意图

光链路上活动接头主要分布在接入机房光配线架、基站侧二级配线光交、基站 AAU 侧分纤箱以及在基站 AAU 侧无源复用器处,以便于光纤之间的灵活连接<sup>[10]</sup>。其中,接入机房内光配线架架上的活动接头数量最多,普遍在 2~3 个,多则有 4~5 个活动接头,如图 6 所示。

针对光配线架活动接头的调研及测试表明,目前普遍采用 SC 型连接器,与以往采用的 FC 型连接器(通过旋转实现紧固方式)相比较,虽然连接方便了<sup>[11]</sup>,但是引入光反射的隐患大大提高。这些隐患包括:

(1)人工操作不当,导致光纤端面未紧密连接,产生光反射;

(2)活动接头两端光纤跳线接头内部弹簧的热胀冷缩松动等因素,导致跳接的两个光纤端面之间产生空气间隙,产生光反射。

由于在局端接入机房施工部署要求较为严格,这段光链路光反射质量相对较好。

其次,在基站侧分纤箱内也存在一定数量的活动接头,如图 7 所示。

针对 AAU 侧分纤箱内活动接头的调研和测试表



图 6 5G 前传光链路接入机房光配线架 OTDR 测试曲线示意图

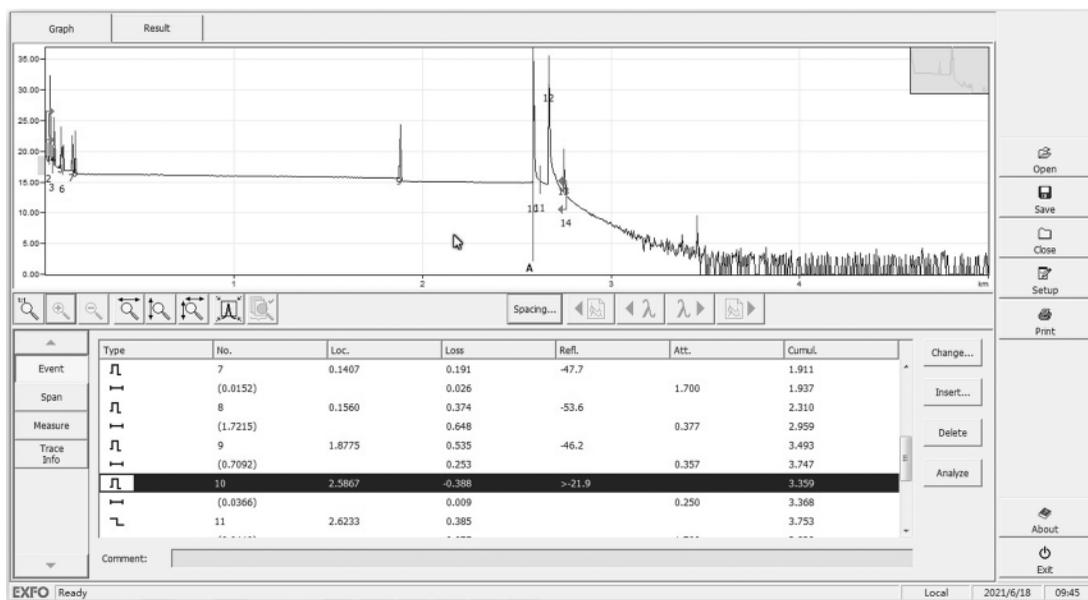


图7 5G前传链路基站AAU侧分纤箱OTDR测试曲线示意图

明,同样普遍采用SC型连接器,除了上述光配线架活动连接头固有的安全隐患外,还存在以下问题:

(1)装维人员不规范操作导致光纤跳线端面被划伤、污染产生光反射<sup>[12]</sup>;

(2)线路设计不合理,分纤箱内多次光纤跳接导致短距离内多个活动连接头端面产生的光反射相互叠加,进一步增强的光反射效果。尤其是光纤端面污染是一个普遍问题,针对被污染的光纤端面项目组开展了对比测试,被测光纤端面如图8所示。



图8 基站AAU侧分纤箱活动连接头光纤端面示意图

具体的对比测试结果如表2所示。

表2 5G前传链路反射光强度测试结果对比表

测试链路/ 说明	光端面清洁前 反射光功率	清洁后 反射光功率	更换光纤连接头 反射光功率
链路1	-12.19	-13.51	-24.34
链路2	-11.99	-15.94	-27.24
链路3	-10.74	-15.98	-27.61
测试说明	反射光很强	反射光减弱	反射光明显减弱, 且尚有提高余地

表2测试结果表明,当光纤端面受到污染后,会使得链路中的光反射明显增强,反射光强度值通常在-11 dBm左右;当对光纤端面进行清洁后,光反射有所改善,反射光强度在-16 dBm~-14 dBm左右。由于光纤端面无法被彻底清洁干净,项目组更换分纤箱内其他光纤接头,再次测试光反射明显改善,反射光强度降低到-27 dBm~-25 dBm的水平。而根据现网测试表明,部分质量好的前传链路反射光强度可以达到-30 dBm左右。

针对上述现网测试,项目组提出了CWDM/环形器承载5G前传时的前传链路施工验收改进方案,具体改进方案包括:

(1)在接入机房光配线架上,通过多次插拔配线盘外侧的光纤连接头,确保跳接两端的光纤端面紧密连接。如光反射未改善,还需要插拔配线盘内侧的光纤连接头。光配线架上空闲光纤端口需带上防尘帽,防止内部端面被灰尘等污染<sup>[13]</sup>。

(2)有条件的情况下,光配线架选用FC型连接器,当使用SC型连接器时,应当选择高质量光纤跳线完成局站内部的光纤跳接。

(3)在基站侧分纤箱内跳接时,应严格保证光纤端面清洁。通过专用光纤清洁棉纸,甚至含有酒精的清洁棉纸进行光纤端面的清洁<sup>[14]</sup>。有条件情况下,还可以借助专用显微镜验收光纤端面质量。一旦重新插拔连接和端面清洁均无法改善光反射时,则应更换光纤跳线。

(4)避免在基站侧分纤箱内多次跳接从而增加故障隐患点。建议通过单跳连接,并选用高质量光纤跳线连接无源复用器。

(5)鉴于前传链路验收CWDM彩光设备接收光功率指标最差为-10 dBm(在灵敏度-14 dBm基础上减去系统冗余2 dBm和光纤色散引入的传输代价2 dBm<sup>[15]</sup>),结合

前期实验室测试结果,为保证移动业务的正常运行,前传链路反射光强度指标应小于-25 dBm,建议小于-30 dBm。

在移动业务开通正常运行后,应实时监控移动业务运行状况。一旦出现业务误码率提高或业务中断,则需要排查前传链路反射光功率是否异常。

#### 4 结论

面向 5G 多频组网和电信联通共建共享的应用需求,现有 5G 前传采用传统 CWDM 无源彩光技术仅能实现单纤 3 通道承载。而 MWDM、LWDM 和 DWDM 等多通道解决方案又存在缺乏光芯片、产业链不成熟、国产化能力不足、价格高昂等问题。为此,在光纤资源紧缺场景下,CWDM/环形器技术不失为一种更为有效且成本较低的多通道承载方案。该方案不仅能够最大程度降低前传网络的建设成本,充分保障前期移动前传网络的投资,而通过制定合理的波长配对方案以及有效控制前传链路的光反射,还可以兼容传统 CWDM 无源彩光技术的

前传网络的建设和运维流程,满足从 3 通道到 6 通道前传承载快速的平滑升级。

#### 参考文献

- [1] 中国电信集团有限公司.中国电信 5G 技术白皮书[Z]. 2018.
- [2] MOSTERT W, EMMS D, 黄笛.光纤传输 O 波段的波分复用技术——Aurora Networks O 波段技术白皮书[J].有线电视技术, 2009, 16(7): 47-49, 63.
- [3] Zhang Dezhi, Du Zhe, Jiang Ming, et al. High speed WDM-PON technology and application for 5G fronthaul network[C]// 2018 ASIA Communications and Photonics Conference(ACP), 2018.
- [4] 杜喆, 韦炜, 张德智.室内场景下的 5G 前传承载方案研究[J].电子技术应用, 2020, 46(7): 24-28.
- [5] 吴敏, 郝祥勇, 王斌, 等.环形器技术在 5G 前传波分复用

(下转第 21 页)

(上接第 9 页)

表 6 合路点互调测试记录表

测试点	测试频段/MHz	互调值/dBc
A	1 800	-128
B	1 800	-132
C	1 800	-130
D	1 800	-129

-130 dBc,整个系统满足多系统合路要求。下行 100% 加载,所有 4G 系统上行 RB 噪声低于-110 dBm,所有 5G 系统上行 RB 噪声低于-108 dBm,POI 上行噪声测试指标满足现网标准要求<sup>[14]</sup>。

#### 5 结论

本文通过对互调干扰原理和 4G/5G 共址合路互调干扰分析,阐述了 5G 室分存在互调干扰的风险,并为降低互调干扰带来的不利影响,减少互调干扰概率及对通信系统的影响,从室分工程建设的规划、设计、器件质量、施工保证等方面系统性地提出了一套抑制互调干扰的有效方法。并以某 5G 室分项目为案例,证明了解决方案的可行性,为目前逐渐增加 5G 室分建设工程项目提供工程建设经验<sup>[15]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 杨磊,王瞳瞳.5G 室内覆盖解决方案综合分析[J].中国新通信, 2019, 21(8): 38-39.
- [2] 徐诚,张建明.浅析室内分布系统设计方案[J].江西通信科技, 2015(3): 18-21.
- [3] 赵龙,余丹娟.多网络室内分布系统的设计[C]//2011 全国无线及移动通信学术大会论文集, 2011: 348-351.
- [4] 朱政军,李梁军.室分场景多运营商多系统合路互调干扰解决方案探讨[J].广西通信技术, 2016(3): 22-28.
- [5] 冯延钊,李广伦,张沛,等.传统室分 5G 演进支持情况测

试方法与分析[J].山东通信技术, 2020, 40(1): 1-3.

- [6] 郭占涛.移动通信系统中三阶互调干扰的研究和分析[J].移动通信, 2011, 35(24): 51-55.
- [7] 郭希蕊,张涛.2.3G+TD-LTE 和联通 WCDMA 系统合路互调干扰问题研究[J].移动通信, 2015, 39(12): 15-20.
- [8] 邓妍,常时怡.浅析三阶互调干扰及其计算[J].有线电视技术, 2013, 20(11): 63-65.
- [9] 凌云.TDSCDMA 室内覆盖手段及传输放大设备的研究[D].上海:复旦大学, 2009.
- [10] 陈界,钱良.多网合一室内分布系统设计初探[J].电信快报, 2008(5): 20-23.
- [11] 王文栋.基于 LTE 的室内分布系统改造方案[J].信息通信, 2013(9): 235-236.
- [12] 薛楠,文博,吴琼.LTE 室内分布系统建设方案研究[J].邮电设计技术, 2013(1): 5-9.
- [13] 李新.TD-LTE 室内分布系统的规划与建设[J].电信快报, 2012(10): 7-9, 47.
- [14] 陈燕雷,孟俊仙,刘玮,等.5G 室内新型覆盖方案对比与分析[J].电信科学, 2021, 37(4): 151-158.
- [15] 赵培.室内无线通信技术原理与工程实践[M].北京:北京邮电大学出版社, 2014.

(收稿日期: 2021-03-02)

#### 作者简介:

夏天(1971-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:移动通信网络基础设施建设及维护管理。

杜发辉(1979-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:移动通信网络优化及基础设施工程项目管理。

来平(1974-),男,硕士,工程师,主要研究方向:移动通信网络基础设施建设及商务收入定价管理。



扫码下载电子文档

表 6 边界单层异频组网参数设置

邻区	邻区 NR 3.5 GHz	邻区 NR 2.1 GHz
连接态优先级	6	6
模式	同频切换	异频切换
事件	A3	A2+A5
参数	$N>S+4$ dB	A2 门限: $-110\sim-106$ dBm A5 本端门限: $-116\sim-110$ dBm A5 对端门限: $-106\sim-100$ dBm
连接态优先级	6	6
模式	异频切换	同频切换
事件	A2+A4	A3
参数	A2 门限: $-106\sim-100$ dBm A4 对端门限: $-110\sim-106$ dBm	$N>S+4$ 4dB

on 3D channel model for LTE(Release 12)[S].2017.

- [8] 郑玉琴, 方方, 周传伟. 基于 5G NR 的 TDD 与 FDD 的差异与融合研究[J]. 通信与信息技术, 2020(2): 66-68.
- [9] 曹广山, 马丹, 李凤花, 等. 2.1 和 3.5 GHz 频段在 5G 网络中的应用建议[J]. 邮电设计技术, 2020(6): 6-10.
- [10] 欧阳晖. NR FDD 2.1G 技术的研究和初步应用[J]. 移动通信, 2019(12): 10-15.
- [11] 3GPP TS 38.133 V16.3.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; requirements for support of radio resource management(Release 16)[S].2020.
- [12] 3GPP TS 38.304 V16.2.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; user equipment(UE) procedures in idle mode and RRC inactive state(Release 16)[S].2020.
- [13] 3GPP TS 38.331 V15.7.0.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; radio resource control(RRC) protocol specification

(上接第 15 页)

系统中的可行应用研究[J]. 现代传输, 2021(1): 77-79.

- [6] Apple. 中国电信研究院创新提出基于 CWDM/环形器技术的 5G 多通道前传承载方案[EB/OL].(2020-11-24)[2021-03-03]. http://www.c-fol.net/news/7\_202011/2020112416-3204.html?btwaf=17455352.
- [7] 俞兴明, 徐冬梅, 李亮亮. 5G 前传技术及发展探讨[J]. 现代传输, 2019(6): 56-59.
- [8] 张昆. 基于光反射鉴别技术的回波损耗测量[J]. 电子质量, 2010(5): 16-17.
- [9] 陈更俭, 庄军. 光纤活动连接器的正确选用[J]. 中国有线电视, 2005(8): 759-761.
- [10] 杨伟娟. 光纤活动连接器的简介与维护[J]. 西部广播电视, 2015(23): 179.
- [11] 长濑亮, 岩野真一, 三田地成幸, 等. SC 型光连接器技术[J]. 四川通信技术, 1998(6): 42-46.
- [12] 李恩平. 光纤连接器产生反射的原因及其避免措施[J].

(Release 15)[S].2019.

- [14] 3GPP TS 23.502 V15.1.0.3rd generation partnership project; technical specification group services and system aspects; procedures for the 5G system(5GS); stage 2 (Release 15)[S].2020.
- [15] 3GPP TS 38.101-2 V16.3.1.3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; NR; user equipment(UE) radio transmission and reception; Part 2; range 2 standalone(Release 16)[S].2020.

(收稿日期: 2021-05-22)

作者简介:

袁满(1979-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网网规网优、无线网共建共享。

刘晓燕(1981-), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向: 移动端端到端优化。

王科(1980-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 无线网优化。



扫码下载电子文档

光通信研究, 1994(3): 42.

- [13] 吴亚玲, 程盛, 丁运生, 等. 光纤连接器端面防尘帽污染的成分检测及解决[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2017(5): 33-35.
- [14] 邓华秋, 邱东来. 光纤端面污染的清洁[J]. 光通信技术, 2008(7): 45-47.
- [15] 原荣. 光通信技术讲座——(十): 光纤通信系统设计[J]. 光通信技术, 2003(10): 49-51.

(收稿日期: 2021-03-03)

作者简介:

杜喆(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 无源光网络技术、移动前传承载技术。

程明(1985-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动前传、光传输、量子保密通信技术。

张德智(1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 光接入、PON 综合业务承载、PON SDN、移动承载方面技术。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所