

白皮书  
2020-08

  
IMT-2020 (5G) 推进组

# 5G 承载光模块白皮书



## 目录

引言 P1

5G承载光模块应用场景及发展现状 P2

前传光模块关键技术方案 P6

中回传光模块关键技术方案 P10

5G承载光模块产业发展分析 P11

总结和展望 P18

主要贡献单位 P19

## 引言

第五代移动通信（5G）技术相比4G具有更高速率、更大带宽、更高可靠性、更低时延等特征，能够满足未来虚拟现实、超高清视频、智能制造、自动驾驶等用户和行业的新型应用需求。随着5G技术路线与标准日趋明确，美国、瑞士、英国、西班牙、韩国、日本等国家相继开启5G商用进程。2019年6月，我国工业和信息化部向中国电信、中国移动、中国联通和中国广电网络四家运营企业发放5G商用牌照，标志我国5G商用正式启动。2020年3月，5G网络被确定为新型基础设施建设重点之一，进一步促进5G相关产业加速发展。

5G承载网络为5G无线接入网和核心网提供基础的网络连接，光模块是5G承载网络的基础构成单元，主要完成光电/电光转换功能，近年来随着速率提升在系统设备中的成本占比不断攀升，已成为5G低成本、广覆盖的关键要素之一。相比于4G，5G承载在速率容量、传输距离、工作环境、光纤资源和同步特性等方面对光模块提出了新型差异化要求。目前业界针对5G承载光模块提出了多种解决方案，部分方案已逐步成熟并走向规模应用。同时，随着5G建设的分阶段持续推进和5G承载光模块产业链的蓬勃发展，涌现出一些新型光模块需求，业界正针对这些新需求开展研究。

2019年1月，IMT-2020(5G)推进组5G承载工作组发布了第一版《5G承载光模块白皮书》，本白皮书在第一版基础上，结合5G承载光模块新型需求，重点研究解决方案和产业发展基础共性问题，对5G承载光模块及核心光电子芯片的产业化能力延续评估并提出后续发展建议，进一步推动5G承载光模块产业链逐渐成熟和产业化应用，为5G部署提供有力支撑。

# 5G承载光模块应用场景及发展现状

## 1 5G承载光模块需求分析

目前，5G频谱的中低频段（6GHz以下）与高频段（6GHz以上）正协同推进。全球在3400–3800MHz中低频段共识度较高，多国已开展该频段全部或部分频谱的许可准备或首批许可。在高频段方面，美国、韩国进展较快，其他多个国家也正在积极论证或公开征求意见。我国三大运营商和中国广电已获得全国范围5G中低频段频率使用许可，中国广电与中国移动将共建共享703–743 MHz、758–798MHz共80MHz频谱带宽，中国移动获得2515–2675MHz、4800–4900MHz共260MHz频谱带宽，中国电信获得3400–3500MHz共100MHz频谱带宽，中国联通获得3500–3600MHz共100MHz频谱带宽，中国电信与中国联通将共建共享200MHz频谱带宽。5G时代面临更高的建网投资和更快的建网挑战，我国运营商正加强合作，开展5G网络的共建共享工作。在高频段方面，2017年6月我国发布了关于在毫米波频段规划5G系统使用频率的公开征求意见函；2020年4月，工业和信息化部部分关于推动5G加快发展的通知，将适时发布部分5G毫米波频段频率使用规划。

5G承载网络是为5G无线接入网和核心网提供网络连接的基础网络，具备灵活调度、组网保护和管理控制等功能，以及带宽、时延、同步和可靠性等方面的性能保障。5G承载网络架构可以划分为城域接入层、城域汇聚和核心层，以实现5G前传、中传和回传功能，如图1所示。

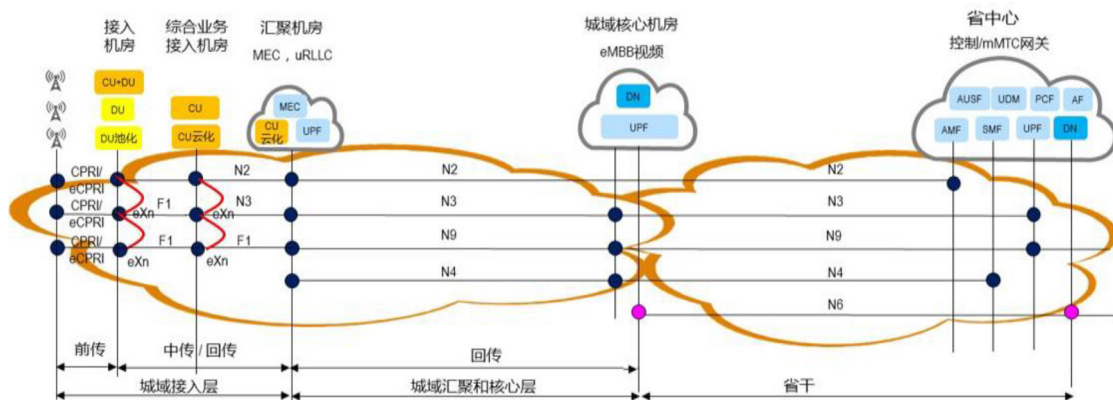


图1 5G承载网络架构

4G基站基带处理单元（BBU）与远端射频单元（RRU）之间主要基于10Gb/s及以下速率的通用公共无线接口（CPRI）接口，5G基站由于频谱带宽显著增加、基站处理功能重新分割等因素，将采用基于25Gb/s速率的演进型CPRI（eCPRI）接口来满足分布单元（DU）与有源天线处理单元（AAU）之间的前传需求，25Gb/s成为5G前传光模块的典型速率。对于100MHz频谱宽度、S111、64T64R站型，通常需要3个25Gb/s eCPRI接口，160MHz频谱宽度和共建共享模式下的200MHz频谱宽度通常需要6个25Gb/s eCPRI接口。5G建设初期，无线接入网通常采用分布式无线接入网（DRAN）和集中式无线接入网（CRAN）小集中模式；5G建设中后期，无线接入网将以CRAN为主，从小集中向大集中演进。

截止2020年6月底，全国范围内已建设开通5G基站超过40万个，未来5G建设将持续投入，为达到与4G相同的覆盖能力，预计5G基站整体建设规模将达到数百万站，带来千万量级的前传光模块需求。

## 2 5G承载光模块应用场景

5G前传的典型应用场景包括光纤直连、波分复用和其他有源传输技术。小规模集中场景可采用光纤直连方案，包括双纤双向和单纤双向，如图2 a)所示，无需额外的传输设备，具备低延时、低成本优势，但对光纤资源消耗较大。在密集城区等中等以上规模集中场景，需引入波分复用方案来解决CRAN模式下的AAU拉远。波分复用技术可以在单根光纤复用多个波长，整体优势是容量大、节省光纤资源，缺点是成本高、链路预算大，又可细分为无源WDM、半有源WDM和有源WDM。无源WDM方案中，光模块位于AAU和DU设备，通过无源波分复用/解复用器件进行合分波，如图2 b)所示，该方案无需额外供电，但管理维护能力较弱。有源WDM方案在AAU侧和DU侧均采用有源设备进行业务接入和传输，如图2c)所示，该方案传输设备与无线设备管理界面清晰，支持完善的管理维护能力，但考虑到AAU侧的工作环境、室外设备供电等情况，成本较高，并存在时延和同步方面的QoS风险。半有源WDM方案在AAU侧使用无源波分复用器以简化部署难度并降低成本，DU侧使用有源设备通过光模块调顶等方式实现运维管理，如图2 d)所示，该方案综合了无源和有源方案的特点，是当前业界研究重点，产品研发和标准化工作正在积极推进。

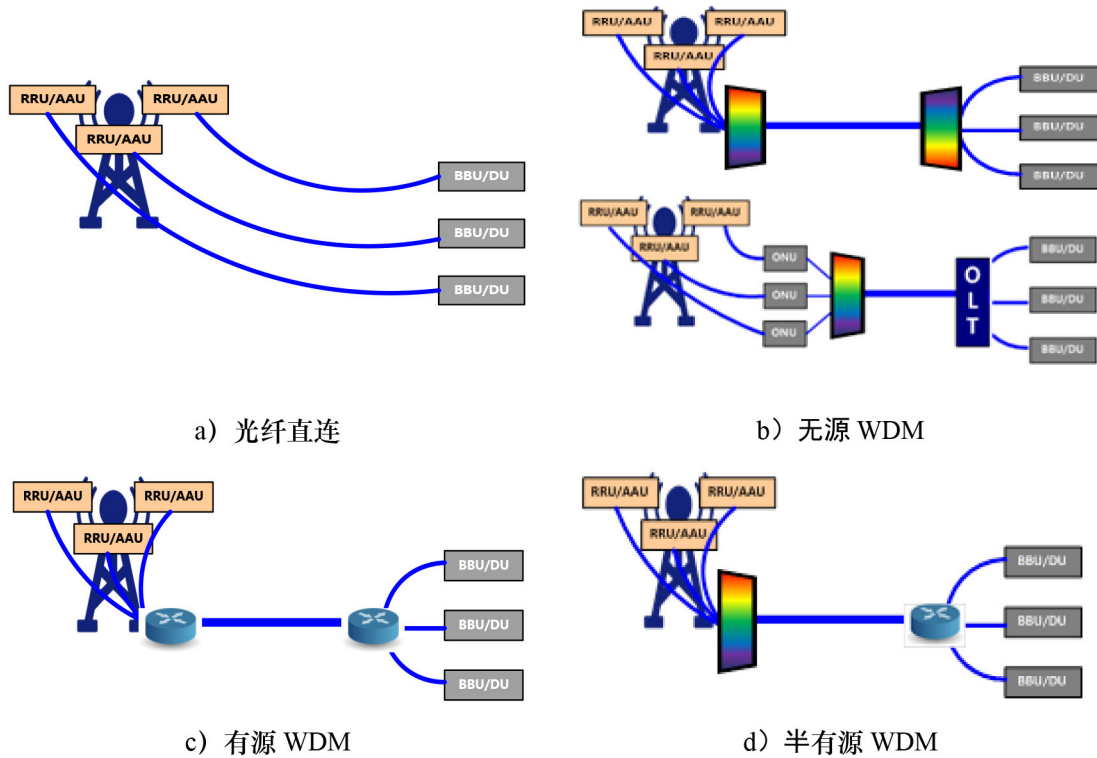


图2 5G前传光模块应用场景

5G部署初期，前传将以光纤直连和无源WDM方案为主，后续随着网络部署规模逐步扩大，尤其是CRAN小集中和大集中部署模式的规模应用，基于半有源WDM的部署占比将会显著提升。

5G中回传覆盖城域接入层、汇聚层与核心层，接入层和汇聚层将主要采用25Gb/s、50Gb/s、100Gb/s等速率的灰光或彩光模块，核心层及以上将较多采用100Gb/s、200Gb/s、400Gb/s等速率的彩光模块。

### 3 5G承载光模块发展现状

5G前传光模块涉及室外应用，需满足工业级温度范围和高可靠性要求，同时，由于基站数量庞大，还需满足运维管理简单和低成本。业界正在广泛开展5G前传光模块的技术研究与标准制定，涉及

的模块类型和接口特性各不相同，除双纤双向方案外，出现了单纤双向（BiDi）和WDM技术方案。

5G前传光模块的典型技术方案如表1所示。

表1 5G前传光模块技术现状

速率	封装	传输距离	工作波长	调制格式	光芯片
25Gb/s (eCPRI/CPRI)	SFP28	300m	1310nm	NRZ	FP/DFB <sup>注1</sup> +PIN
	SFP28	10km	1310nm	NRZ	DFB+PIN
	SFP28 BiDi	10km/15km	1270nm/ 1330nm	NRZ/ PAM4	DFB+PIN/ APD
	SFP28	10km	DWDM <sup>注2</sup>	NRZ	EML+PIN/APD
		10km	CWDM <sup>注3</sup>	NRZ	DFB+PIN/APD <sup>注3</sup>
		10km	MWDM <sup>注4</sup>	NRZ	DFB+PIN/APD
		10km/15km	LWDM <sup>注5</sup>	NRZ	DML+PIN
SFP28	10km/20km <sup>注6</sup>	DWDM	NRZ	EML/MZ+PIN/APD	
100Gb/s (CPRI/OTN)	QSFP28	70~100m	850nm	NRZ	VCSELS+PINs
	QSFP28	10km	4WDM-10 <sup>注7</sup>	NRZ	DFBs+PINs
	QSFP28	10km	1310nm	PAM4/ DMT	EML+PIN
	QSFP28 BiDi	10km	CWDM4 LWDM	NRZ	EML/DFBs+PINs

注1：至少采用带宽不小于13GHz的工业级FP或DFB激光器；  
 注2：密集波分复用（DWDM）工作波长满足ITU-T G.694.1波长定义；  
 注3：粗波分复用（CWDM）工作波长的中心值分别为1271nm、1291nm、1311nm、1331nm、1351nm、1371nm，无保护场景采用PIN方案，有保护场景采用APD方案；  
 注4：中等波分复用（MWDM）工作波长的中心值分别为1267.5nm、1274.5nm、1287.5nm、1294.5nm、1307.5nm、1314.5nm、1327.5nm、1334.5nm、1347.5nm、1354.5nm、1367.5nm、1374.5nm，无保护场景采用PIN方案，有保护场景采用APD方案；  
 注5：细波分复用（LWDM）波长基于IEEE 802.3中400GE LR8的8个波长扩展得到；  
 注6：根据链路预算，可配置光放大器及色散补偿器，DWDM工作波长参考ITU-T G.698.4波长定义；  
 注7：4WDM-10的4个工作波长的中心值分别为1271nm、1291nm、1311nm、1331nm。

5G中回传光模块的典型技术方案如表2所示。

表2 5G中回传光模块技术现状

速率	封装	传输距离	工作波长	调制格式	光芯片
25Gb/s (Ethernet/OTN)	SFP28	40km	1310nm	NRZ	DFB/EML+APD
50Gb/s (Ethernet/OTN)	QSFP28	10km	1310nm	PAM4	DFB+PIN
	QSFP28 BiDi	10km	1270nm/ 1330nm	PAM4	DFB+PIN
	QSFP28	40km	1310nm	PAM4	EML+APD
	QSFP28 BiDi	20km/40km	1289nm/ 1314nm	PAM4	EML+APD
100Gb/s (Ethernet/OTN)	QSFP28	10km	CWDM/ LWDM	NRZ	DFBs(or EMLs) +PINs
	QSFP28	40km	LWDM	NRZ	EMLs+APDs
	QSFP28	10/20km	DWDM	PAM4	EMLs+PIN
100/200Gb/s 400Gb/s (OTN)	CFP2-DCO	80km~ 1200km	DWDM	PM-QPSK/ 8QAM/ 16QAM	IC-TROSA+ITLA
200/400Gb/s (Ethernet)	QSFP-DD	10km	LWDM	PAM4	EMLs+PINs

整体来看，5G承载光模块类型仍然较多，随着光器件芯片技术、标准和应用需求的发展，光模块类型可能会进一步收敛。

## 前传光模块关键技术方案

### 1 25Gb/s灰光模块

5G网络建设初期，在光纤资源充裕的场景中，前传将以光纤直连方式为主，主要采用25Gb/s灰光模块。基站的塔上塔下互连可采用300m双纤双向灰光模块，用于传输距离更远或链路损耗更大的AAU



与接入机房之间的互连可采用10/15km双纤双向或单纤双向灰光模块。

25Gb/s双纤双向灰光模块已基本成熟，参考标准包括IEEE802.3-2018和YD/T 3125.2-2019。从技术方案来看，可采用25GBaud或10GBaud两种激光器芯片来实现，25GBaud工业级激光器芯片可靠性与量产工艺要求较高，市场供应渠道有限；10GBaud工业级激光器芯片可充分利用成熟的供应链，有效降低光模块成本，目前业界主要有超频、PAM4高阶调制两种实现方案。超频方案根据不同传输距离可采用FP（300m）或DFB（10km/15km）激光器芯片，目前均已成熟。PAM4方案采用的配套电芯片已有相关样品，目前处于光模块关键参数测试验证阶段，使用效果和综合成本有待进一步评估。综上，25Gb/s双纤双向灰光模块将优先采用超频方案，PAM4方案取决于配套芯片性能和规模效应。

25Gb/s单纤双向灰光模块以波分复用1270/1330nm方案为主，基于NRZ调制码型的光模块产品在10/15km距离规格已基本成熟，基于PAM4调制码型的光模块处于少量样品阶段，行业标准YD/T 2759.2-2020对NRZ 10/15km和PAM4 10km距离规格进行了规范。由于BiDi方案具有节省50%光纤资源、时延对称性等优势，在5G前传网络光纤直驱场景中发挥重要作用。

## 2 25Gb/s彩光模块

5G网络建设中后期，随着高频组网及低频增点等深度覆盖，为充分利用已有光纤资源，波分复用的部署规模将逐步扩大，25Gb/s WDM方案成为业界研究热点，目前存在粗波分复用（CWDM）、中等波分复用（MWDM）、细波分复用（LWDM）和密集波分复用（DWDM）四种25Gb/s彩光模块方案。针对100M频谱带宽的S111站型，单个基站通常需要6波25Gb/s；针对160M/200M频谱带宽的S111站型，单个基站通常需要12波25Gb/s。同时，考虑与4G共站，还存在25Gb/s与10Gb/s不同速率的波分复用需求，本白皮书重点关注6波和12波25Gb/s技术方案。

- CWDM：CWDM彩光模块使用ITU-T G.694.2规范的波长，从1271nm到1611nm，通道间隔20nm，共18个波长。在25Gb/s CWDM光模块实际应用中，由于长波长色散代价较大，目前从短波长开始前6波（1271nm~1371nm）成熟可用，发送和接收端采用DML激光器和PIN探测器方案，其中前4波可共用数据中心100GE CWDM4产业链，成本较低。中间6波（1391nm~1491nm）由于早期受光纤水峰效应的影响，激光器产业链相对空白。后6波（1511nm~1611nm）受色散限制需使用EML激光器或APD探测器来保证链路功率预算，成本较高。综上，25Gb/s CWDM彩光模块可很好地满足6波需求，国内已有规模应用，为满足工业级应用，AAU侧光模块需采用带制冷的DML激光器。国际标准方面，ITU-T SG15 Q6 已启动是否开展基于25Gb/s CWDM技术标准修订的讨论。

- MWDM:** 25Gb/s MWDM彩光模块在CWDM前6波基础上进行左右偏移扩展为12波，采用不均匀的波长间隔，波长具体信息见图3。MWDM方案可重用CWDM方案中DML激光器成熟的设计经验及工艺控制技术，通过调整光栅参数实现波长偏移，与CWDM共外延工艺和芯片制造产业链。中国移动正在组织产业链上下游进行MWDM的行业标准制定，同时在ITU-T和O-RAN推动国际标准立项，相应产品目前处于测试验证和试商用阶段。2019年11月，华为、中兴、中信科三家设备厂商在中国移动全球合作伙伴大会上进行了Open-WDM/MWDM系统展示。2019年11月，中国移动启动MWDM等实验室测试，预计将于2020年8月底完成十余家设备商、模块商支持OAM的MWDM光模块异厂家互通测试。2020年5月至今，甘肃移动、云南移动、福建移动、湖南移动等十余个省份已开通基于半有源MWDM的 5G 前传商用网络。

- LWDM:** 25Gb/s LWDM彩光模块以IEEE 802.3-2018规范中400GE LR8的8个波长为基础，按照800GHz通道间隔等距扩展的方式来实现12个波长，波长具体信息见图3。LWDM波长位于O波段，色散代价小，可采用DML激光器和PIN探测器解决10/15km距离传输，其中基础的8个波长可重用100GE LR4和400GE LR8产业链。中国电信正在组织产业链上下游进行LWDM的行业标准制定和测试验证，并在ITU-T推动国际标准立项，目前国内已有少量试点应用。

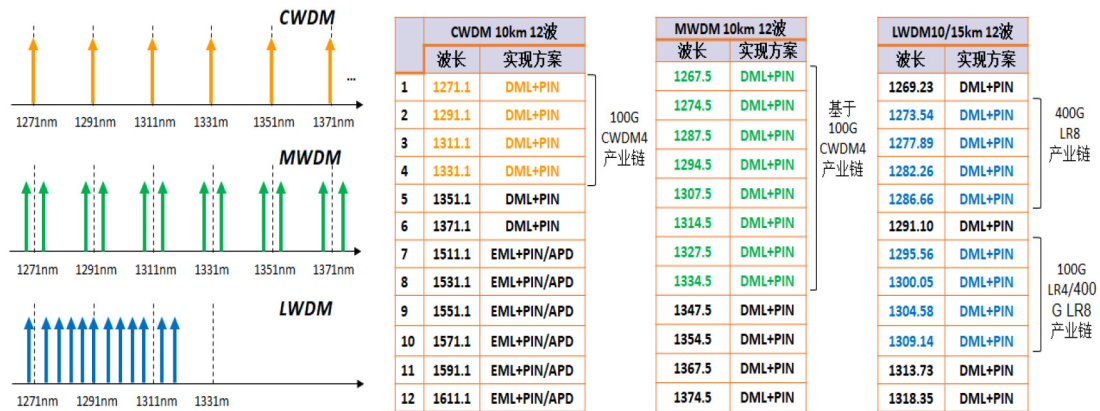


图3 CWDM/MWDM/LWDM波长及实现方案

- DWDM:** 25Gb/s DWDM光模块基于ITU-T G.698.4标准，采用C波段（1529.55nm~1565.50nm），通道间隔为100GHz时可支持40个波长，大幅提升系统容量、节约光纤资源，受色散限制主要采用EML激光器和APD探测器，成本较高。技术方案方面，25Gb/s DWDM

光模块包括两种不同的实现手段，一是采用波长可调谐光模块，该方案具有端口无关、波长自适应特性等优点，一种光模块可满足不同应用场景需求，但成本较高、实现难度较大。目前全波段可调谐光模块处于量产阶段，同时，业界正在积极研发低成本的窄带可调光模块，目前处于小批量样品验证阶段。二是采用固定波长光模块，波长识别和管理繁琐，整体运行维护较复杂。中国联通正在组织产业链上下游进行DWDM的行业标准制定，并将在已立项的ITU-T G.698.x系列（G.698.1/G.698.2/G.698.4）修订标准中增加25Gb/s速率。

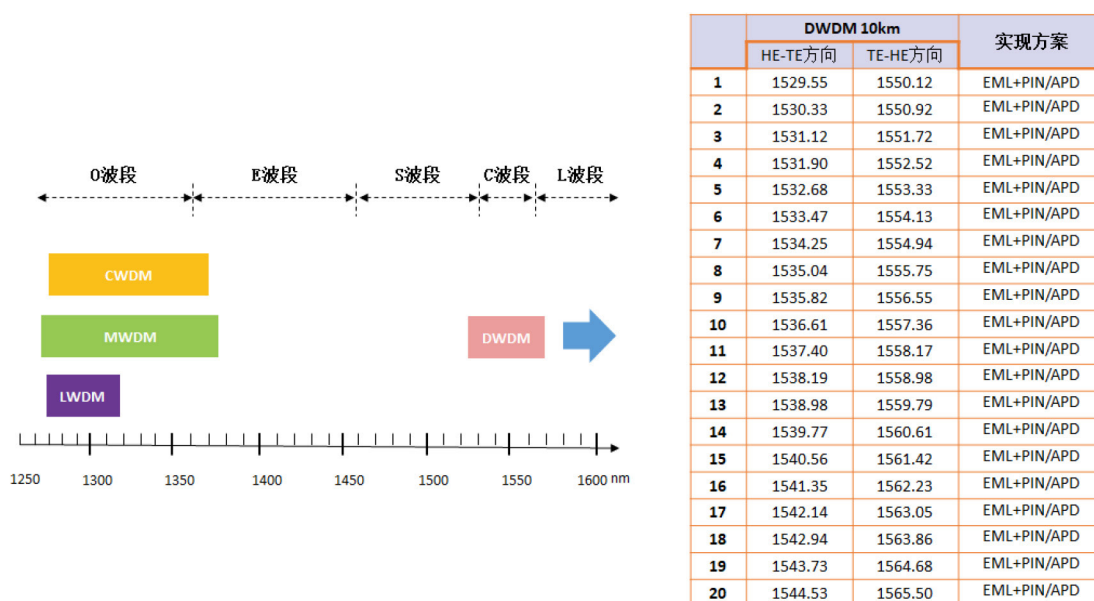


图4 DWDM波长及实现方案

调顶技术用于实现光模块的管理维护，主要有幅度调制和频率调制两种技术方案。幅度调制方案实现相对简单，典型调制深度小于5%、调顶代价小于0.5dB，采用曼彻斯特编码，部分场景中还可以结合不同的载频来标识波长。频率调制接收灵敏度相比幅度调制有显著提升、调顶代价更低，但技术难度较高。现阶段，为尽快在5G前传光模块中实现调顶功能、推进产业化应用，调顶技术将主要采用幅度调制，并将频率调制作为可选方案。

以上WDM彩光模块技术方案各有优缺点，共性特性主要包括采用了25Gb/s传输速率、10km量级

传输距离、优选单纤双向和半有源工作方式、增加在线维护管理机制等，但在传输容量、光模块及合分波器件中心波长、波长是否可调、管控开销实现机制等方面仍存在典型差异，呈现多种方案并行发展、产业化能力同步推进的态势。2019年底，中国通信标准化协会（CCSA）已对4种25Gb/s WDM系统及彩光模块进行了行业标准立项，2020–2021年将进行标准制定工作，预计2021年上半年整体制定完成。

## 中回传光模块关键技术方案

5G中回传覆盖城域接入、汇聚与核心层，主要采用提升模块速率或波分复用等方式提升承载容量，典型速率包括25Gb/s、50Gb/s、100Gb/s、200Gb/s和400Gb/s，传输距离从十几km到上百km，近期将以非相干灰光模块为主，同时积极推动低成本相干彩光模块的研发进度。

接入和汇聚层将主要采用25Gb/s、50Gb/s和100Gb/s等速率的灰光模块。目前，25Gb/s双纤双向40km光模块产业链已经成熟，国内外标准IEEE802.3–2018和YD/T 3125.2–2019已经发布。50Gb/s双纤双向和单纤双向光模块主要采用25GBaud光芯片和PAM4调制格式，根据距离可采用DML或EML激光器。50Gb/s双纤双向光模块有10km和40km两种距离规格，国内外标准IEEE802.3–2018、IEEE802.3cn–2019和YD/T 3713–2020已经发布。50Gb/s单纤双向光模块的国际标准处于在研阶段，有10km、20km、40km三种距离规格，IEEE802.3cp D2.1对上下行波长的建议如表3所示；国内行业标准将于2020年下半年征求意见和送审，2021年上半年制定完成。

表3 50Gb/s BiDi的波长范围要求（IEEE802.3 cp D2.1）

传输距离 (km)		10	20/40
波长范围 (nm)	上行	1260~1280	1281~1297
	下行	1320~1340	1306~1322

核心层的典型传输距离为40km~80km，核心层将较多采用100Gb/s、200Gb/s和400Gb/s等速率的相干光模块，随着硅光和低成本DSP技术的发展，低成本相干光模块被视为新的发展热点。中回传光模块的技术方案细节，参见2019年发布的第一版《5G承载光模块白皮书》。

## 5G承载光模块产业发展分析

### 1 光模块及芯片产业化水平

国内外光模块厂商围绕5G应用积极开展5G承载光模块研发，目前的产品化能力如表4所示。

表4 5G承载典型光模块产品化能力

应用场景	速率	光模块类型	封装	产品化能力
前传	25G	Duplex 300m	SFP28	批量
		Duplex 10km		批量
		Bidi 10km		批量
		Bidi 15km		批量
		CWDM 10km		批量
		MWDM 10km		小批量
		LWDM 10/15km		样品
		DWDM 10km		量产
		Tunable		样品
	100G	4WDM 10km	QSFP28	批量
	Bidi 10km	QSFP28	批量	
中回传	25G	40km	SFP28	批量
	50G PAM4	10km	QSFP28	批量
	50G PAM4	Bidi 10km		批量
	50G PAM4	40km		批量
	50G PAM4	Bidi 20km		批量
	50G PAM4	Bidi 40km		小批量
	100GbE	LR4 10km		QSFP28
	200GbE	LR4 10km ER4 40km	QSFP-DD CFP2	批量
	400GbE	LR8 10km ER8 40km	QSFP-DD	小批量
	100G/ 200G 相干	80km+	CFP-DCO CFP2-DCO	批量 小批量
400G 相干	80km+	CFP2-DCO QSFP-DD	在研	

5G承载光模块所使用的核心光芯片及电芯片，业界领先厂商的产业化能力如表5所示，国内目前整体上仍处于研发、样品或小批量阶段。

表5 核心光芯片及电芯片

光/电芯片		领先厂商产品化能力
25G 波特率	DFB	批量
	DFB (PAM4)	批量
	EML	批量
	波长可调 LD	样机
	PIN	批量
	PIN (PAM4)	批量
	APD	批量
	激光器驱动器/TIA	批量
	线性驱动器/线性 TIA (PAM4)	批量
50G 波特率	EML	样品
	DFB	样品
	DFB (PAM4)	样品
	激光器驱动器/TIA	样品
	线性驱动器/线性 TIA (PAM4)	样品
	PIN	样品
	PIN (PAM4)	样品
	APD	样品
100Gb/s 相干集成光收发芯片		批量
相干 DSP		批量
PAM4 DSP		批量

## 2 光模块产业化能力测评

考虑到5G部署应用需求的紧迫性，为加速推动5G承载光模块核心技术研发，验证5G承载光模块技术方案设计，支撑国内外标准制定，推进5G承载光模块产业发展，5G承载工作组于2019年组织开展了第二次多厂家、多类型的5G承载光模块测试验证工作。光迅、海信、旭创、华工正源、新易盛、Finisar、Lumentum、索尔思、易飞扬、优博创、易锐、台达共12家国内外光模块厂商参加了测试，中国信息通信研究院承担具体测评工作，运营商中国移动、中国电信、中国联通，系统设备商华为、中兴、中信科，仪表商Keysight、VIAVI、VeEX对测试提供了大力支持。

本次参测的光模块包括10Gb/s可调80km、25Gb/s BiDi 15km、25Gb/s BiDi 20km、25Gb/s LAN-WDM 10km、25Gb/s LWDM 20km、25Gb/s LWDM 40km、25Gb/s DWDM 10km、25Gb/s可调10km、50Gb/s PAM4 10km、50Gb/s PAM4 40km、50Gb/s PAM4 BiDi 10km、单波

100Gb/s 10km等12种类型，如表6所示。

表6 参测光模块类型

速率	光模块类型	封装	参测厂商	测试仪表		测试设备
				光电接口	业务流量	
25G	BiDi 15/20km	SFP 28	光迅、旭创、易锐、优博创、台达	Keysight		华为 SPN 中兴 SPN 中信科 SPN
	LAN-WDM 10/20/40km		光迅、易飞扬、索尔思、Finisar	误码仪 M8040A	可调谐激光源 81608A	
	DWDM 10km		光迅、易飞扬、优博创	采样示波器 N1092C	2通道光衰减器 N7752A	
	O波段(6+6)ch 可调 10km		Finisar	时钟恢复 N1077A/N1078A	光波测试系统 8164B	
50G	BiDi 10km	QSFP 28	光迅、海信、华工正源	压力眼测试系统 N4917BACA	光波万用表 8163B	VIAVI ONT-603 VIAVI MST-5800 VeEX RXT-6200
	PAM4 10km		旭创、新易盛、易锐	任意波形发生器 M8195A	光功率计 81634B	
	PAM4 40km		海信、旭创、华工正源、索尔思、易锐	参考发射机 81491A	多波长计 86122C	
100G	单波PAM4 10km	QSFP 28	旭创	Yokogawa EXFO		VIAVI ONT-603 VIAVI MST-5800 VeEX RXT6000e VeEX RXT-6200
10G	C波段96ch 可调 80km	SFP+	Lumentum	光谱仪 AQ6370C 可调光衰 AQ2211	光反射仪 FOT-930 光功率计 FPM-300	



测评项目主要包括光接口关键参数、电接口关键参数、长期误码性能和丢包率、仪表环境下的异厂家互通和传输性能、系统设备兼容性、系统设备环境下的多厂家互通等，如图5所示。

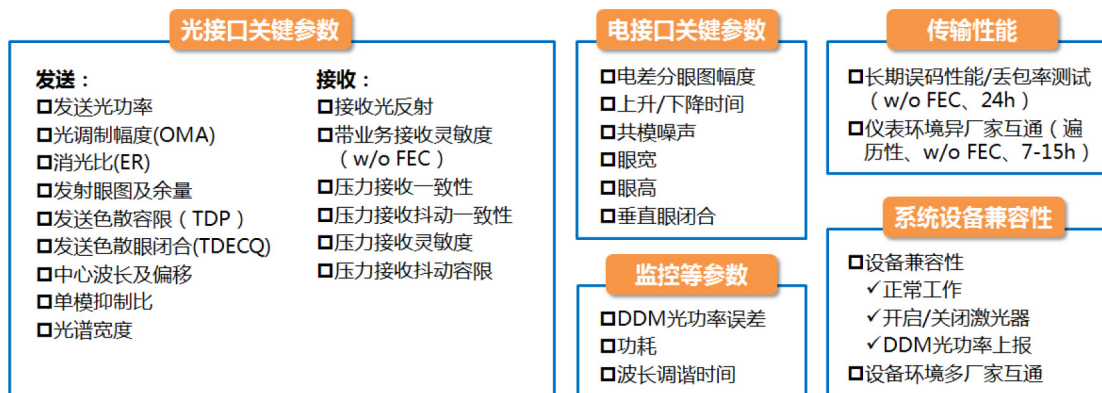


图5 5G光模块测评项目

从测评结果来看，参测光模块样品在光电接口关键参数方面基本满足已发布或在研的IEEE802.3、多源协议（MSA）和CCSA行业标准相关要求，个别样品存在发送功率偏低、光调制幅度（OMA）偏低、消光比低、发射机色散眼图闭合（TDECQ）过大或在短压力型随机码（SSPRQ）码型条件下不可测、接收光反射不达标、压力灵敏度不达标、眼高偏低和仪表兼容性（激光器不可控制、仪表死机、与仪表适配器尺寸不匹配、在部分端口高误码、需修改寄存器内容才可兼容）等问题。

在长期误码性能和丢包率测试中，25Gb/s光模块采用eCPRI业务分别在仪表前向纠错（FEC）开启和关闭的条件下进行了24小时长期测试，模块发送和接收端口间串连相应规格的光纤和可调光衰减器。个别模块出现高误码，其他大部分光模块可实现24小时无丢包无误码传输。（1）25Gb/s BiDi 15/20km光模块：收发端口间总衰减量（光纤+可调光衰）可达11.1~18.9dB（FEC开启）和7.0~15.8（FEC关闭）。（2）25Gb/s LWDM光模块：具有10/20/40km不同规格，在标称距离规格光纤和4端口合分波器所带来的衰减外，还具备9.2~15.2dB（FEC开启）和4.6~9.5dB（FEC关闭）的衰减余量。（3）25Gb/s DWDM 10km光模块：收发总衰减量（光纤+合分波器+可调光衰）为22.1~23.9dB（FEC开启）和16.4~18.4（FEC关闭），色散代价为1.63~3.85dB。（4）25Gb/s 10km波长可调谐光模块：共两只测试样品，分别支持1328.28nm、1328.87nm、1329.46nm、1330.05nm、1330.64nm、1331.23nm 6个波长通道可调谐和1331.82nm、1332.41nm、1333.00nm、1333.60nm、1334.19nm、1334.78nm 6个波长通道可调谐，传输性能与25Gb/s LWDM 10km规格光模块接近。（5）50Gb/s 10km光模块：收发端口间总衰减量（光纤+可调光衰）为11.7~15.8dB（FEC开启）。（6）50Gb/s 40km光模块：总衰减量（光纤+可调光衰）为20.9~25.0dB（FEC开启）。（7）50Gb/s BiDi 10km光模块：总衰减量（光纤+可调光衰）为11.0~14.8dB（FEC开启）。（8）100Gb/s 10km光模块：收发总衰减量（光纤+可调光衰）为11.6dB（模块内部FEC开启）。（9）10Gb/s 80km光模块：收发总衰减量（光纤+合分波器+可调光衰）为21.9~23.2dB（FEC关闭）。

从仪表环境异厂家互通测试结果来看：（1）25Gb/s BiDi 15/20km光模块：不同厂商的光模块波长方案统一，均为1330nm/1270nm，如图6(a)所示配置，在仪表开启FEC模式下，可实现总衰减量（光纤+可调光衰）为10.8~19.4dB的异厂家光模块互通传输；在仪表关闭FEC模式下，1对光模块组合无法互通，其他组合可实现总衰减量（光纤+可调光衰）为10.9~15.5dB的异厂家光模块互通传输。（2）50Gb/s 10/40km光模块：如图6(b)所示配置，在仪表开启FEC模式下，50Gb/s 10km光模块可实现总衰减量（10km光纤+可调光衰）为10.5~15.9dB的异厂家光模块互通传输；50Gb/s 40km光模



块在仪表开启FEC模式下，可实现总衰减量（40km光纤+可调光衰）为20.1~24.3dB的异厂家光模块互通传输。（3）50Gb/s BiDi 10km光模块：如图6(c)所示配置，在仪表开启FEC模式下，可实现总衰减量（10km光纤+可调光衰）为12.0~15.8dB的异厂家光模块互通传输，部分样品需进行极性翻转设置。

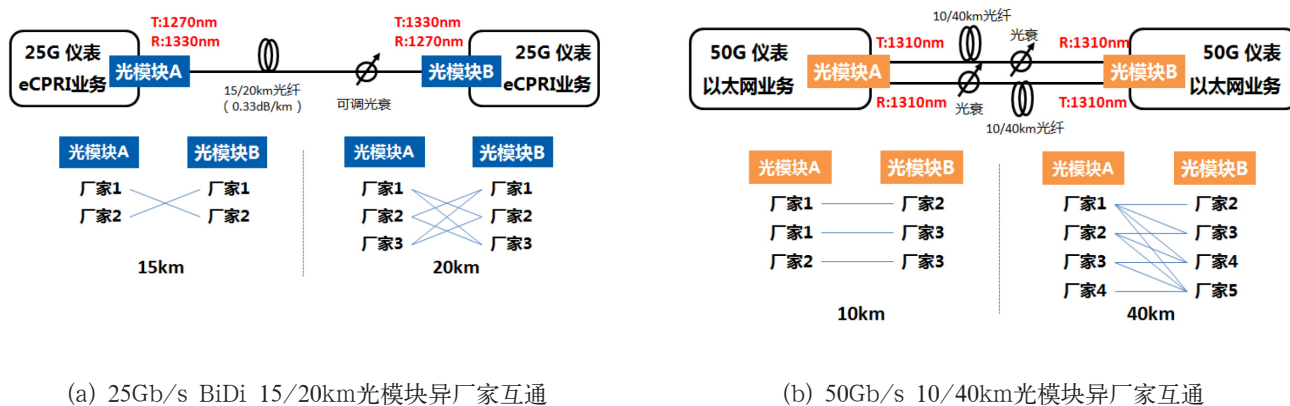


图6 仪表环境光模块互通测试

在仪表环境WDM光模块混合传输方面，不同波长和厂商的25Gb/s LWDM光模块经过合分波器（光迅，通道插损0.8~1.5dB）及20km光纤可进行混合传输，6小时内无误码。不同波长和厂商的25Gb/s DWDM光模块经过合分波器及10km光纤可进行混合传输，24小时内无误码。不同波长相同厂商的10Gb/s DWDM可调光模块经过合分波器及80km光纤可进行混合传输，24小时内无误码。

在设备环境的兼容性和互通测试方面，大部分参测样品可被不同设备商的SPN设备识别、支持

DDM光功率上报、激光器开启和关闭等操作，个别样品存在无法工作、光功率不上报等问题。如图7所示配置，在设备环境关闭或开启FEC模式下，大部分光模块可实现多厂家互通，少数光模块存在互通问题。由于厂家数量少或波长不一致等原因，无法进行异厂家互通测试的100Gb/s 10km、25Gb/s LWDM、25Gb/s DWDM、10Gb/s 80km光模块，可在设备环境下实现同厂家光模块互通传输。

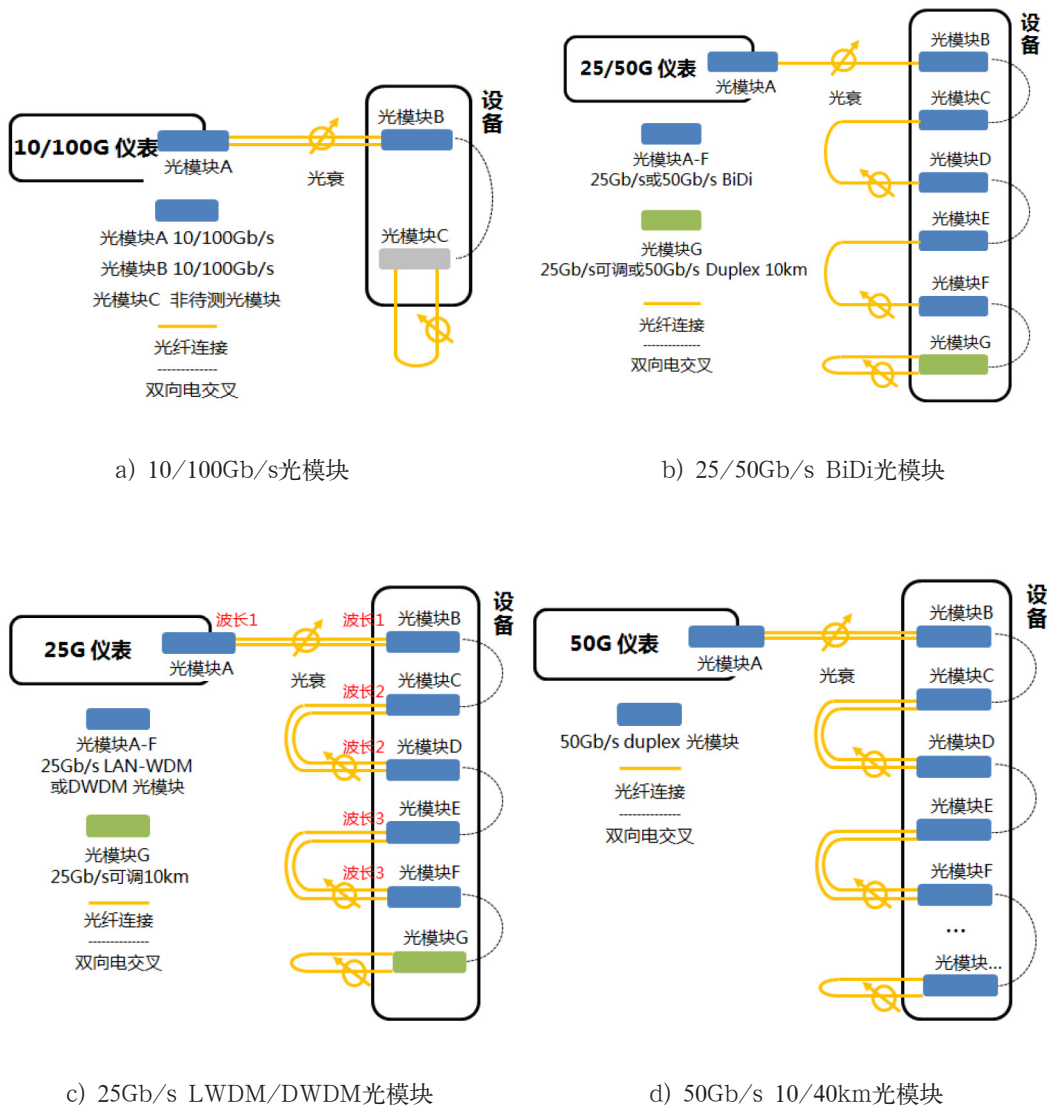


图7 设备环境光模块兼容性和互通测试

综上，参测光模块样品整体上满足已发布或在研的IEEE 802.3标准及草案、CCSA行业标准及草案、多源协议MSA等相关要求，在光电接口、长期稳定性、互通能力、设备和仪表兼容性方面个别模块仍存在一些尚待完善的问题。50Gb/s PAM4光模块互通能力、与仪表和设备兼容性相对首次测试已有较明显提升，50Gb/s 40km压力灵敏度、SSPRQ码型条件下的TDECQ需进一步评估。通过本次测试，多种5G承载光模块的功能性能得到了充分验证，相关结果将进一步推动5G承载光模块产业链成熟，为我国5G商用奠定良好基础。

### 3 光模块产业发展建议

5G对光模块高性能、低成本的需求持续存在，技术创新和产业链聚集是两大有效手段，产业链上下游、业界各方需形成合力，在评估实际应用场景与传输距离需求的基础上，建立合理化、通用化和国产化产业链，并从标准规范、测试验证和评价机制等层面推动聚焦。

5G网络建设的快速推进为光模块市场带来了机遇和活力，5G承载光模块多样化技术方案并存发展的态势预计短期内仍将持续，分支过多将带来重复开发、资源浪费、市场碎片化等问题，在一定程度上影响产业链的规模协调发展。为尽可能降低多样化方案并行带来的潜在影响，建议5G前传相关业界从部署需求、传输性能优化、低成本建设及便捷运维管理、产业链良性发展等多方面综合考虑，从标准层面加强共性技术协同推动，统一管控模型及操作管理维护（OAM）机制，进一步优化和完善产业发展格局，使业界资源得到有序配置，通过规模效应实现成本降低。

5G承载光模块及芯片的自主创新发展需要产业生态的改善，建议业界进一步完善评价机制，通过公平、公正、公开的测试验证平台，有效评估各类5G承载光模块技术方案的可行性、可靠稳定性、互通性和兼容性等关键问题，指导业界进行关键技术开发和产品性能的改进。

## 总结与展望

5G更高性能要求和无线侧系统的更新换代对承载网提出新型挑战，光模块作为承载网络的基础构成单元，已成为5G低成本、广覆盖的关键要素。技术创新和产业链聚集是5G承载光模块实现高性能、低成本的有效策略，面向5G承载多样化应用场景，业界对5G光模块技术方案进行了广泛研究、提出了多种规格和新型解决方案，为产业链提供了新的发展方向，但多样化的光模块解决方案同时也将导致重复开发、资源浪费和市场碎片化等问题，产业链上下游和业界各方需加强合作、聚焦共识，从核心技术突破、标准规范制订、测试验证评估等多方面协同推动5G承载光模块的健康有序发展。

## 主要贡献单位





联系方式

电话: +86-10-62300164

邮箱: [imt2020@catr.cn](mailto:imt2020@catr.cn)

COPYRIGHT©2015 IMT-2020 (5G) PROMOTION GROUP.  
ALL RIGHTS RESERVED.