

# 5G 前传光模块全面解析

## 蓬勃发展的 5G 市场

2019 年 5G 推出，在亚洲，北美和欧洲迅速发展。GSMA 预测，未来 5 年 5G 连接将持续增长。GSMA 预计，到 2025 年，这一数字将达到 5 亿。



图 1-1 5G 连接预测

2020 年至 2025 年，全球运营商将在移动通信领域投资约 1.1 万亿美元，其中约 80% 将用于 5G 资本支出。

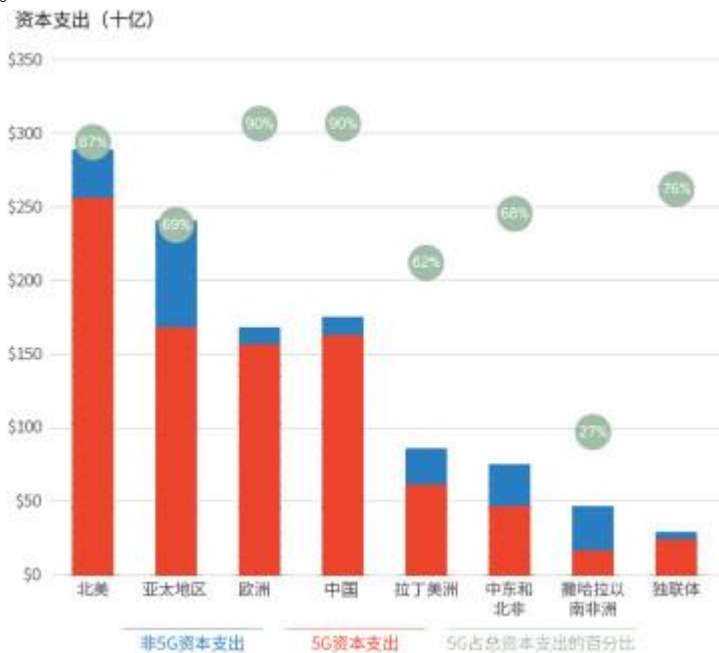


图 1-2 移动通信中的资本支出

## 5G 无线前传接口要求最低速率为 25Gbit/s

5G 无线通信需要比 4G 更多的频谱资源，以增强移动宽带（eMBB），超高可靠与低时延通信（URLLC）以及大规模物联网（mMTC）。

当前，5G 使用低于 6GHz FR1 频谱，该频谱支持 100Mbit/s 的最大带宽，是 4G LTE 的五倍。当有 64 个信道且带宽为 100MHz 时，公共无线电接口（CPRI）协议要求前传信道至少达到 100Gbit/s。但是，在 2017 年，业界尚未为 100Gbit/s 的光模块做好准备。因此，开发了增强型 CPRI（eCPRI）协议。

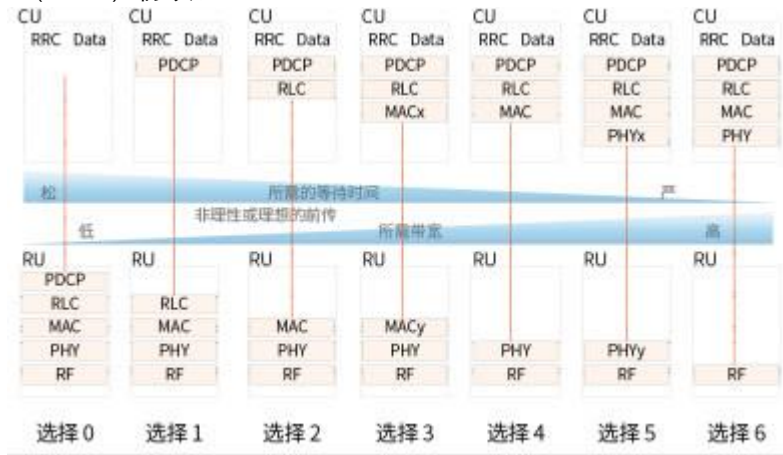


图 2-1 eCPRI 的不同拆分模式

eCPRI 协议定义了多种拆分模式。较高协议层的接口需要较低的传输带宽。在主流拆分方案中，一些物理层信号处理功能从基带传输到天线侧，仅需从前传接口获得 25Gbit/s 的速率。近年来，对主流前传光模块的需求已从 4G 时代的 10Gbit/s 演变为 5G 时代的 25Gbit/s。

考虑到无线频谱中的中低频段已经很拥挤，3GPP 为 5G 分配了更高的频段。但是，这导致更高的信号损耗。因此，为了确保良好的通信质量，5G 基站密度要比 4G 更高，以及更高的光模块要求。LightCounting 预测，在未来五年内出售的所有光模块中，用于 5G 前传的 25G 光模块将超过 50%。

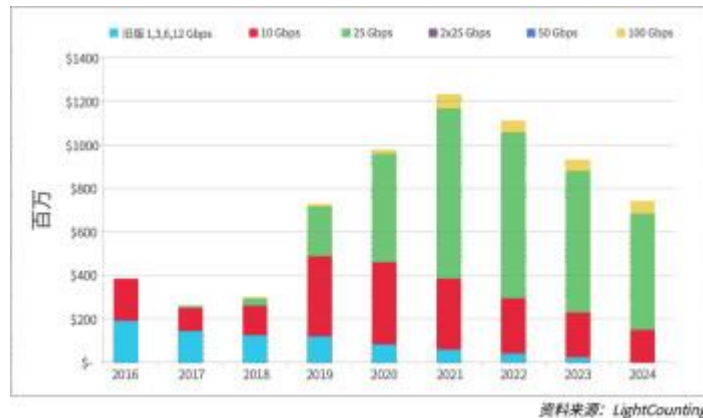


图 2-2 无线前传光模块销量

25G 光模块主要用于无线前传。因此，重用 25GE 以太网行业中的现有资源可以帮助电信运营商大幅降低成本并提高光学解决方案的效率。

## 典型的 5G 无线前传场景

无线前传的典型体系结构是分布式 RAN（DRAN）或集中式 RAN（CRAN）。在 CRAN 模式下，BBU 位于中心办公室中。这显著减少了辅助设备（特别是空调）的空间和功耗，从而降低了资本支出和运营支出。此外，集中式 BBU 构成了一个 BBU 基带池，可以对它进行集中管理并针对不同的网络需求进行调度。

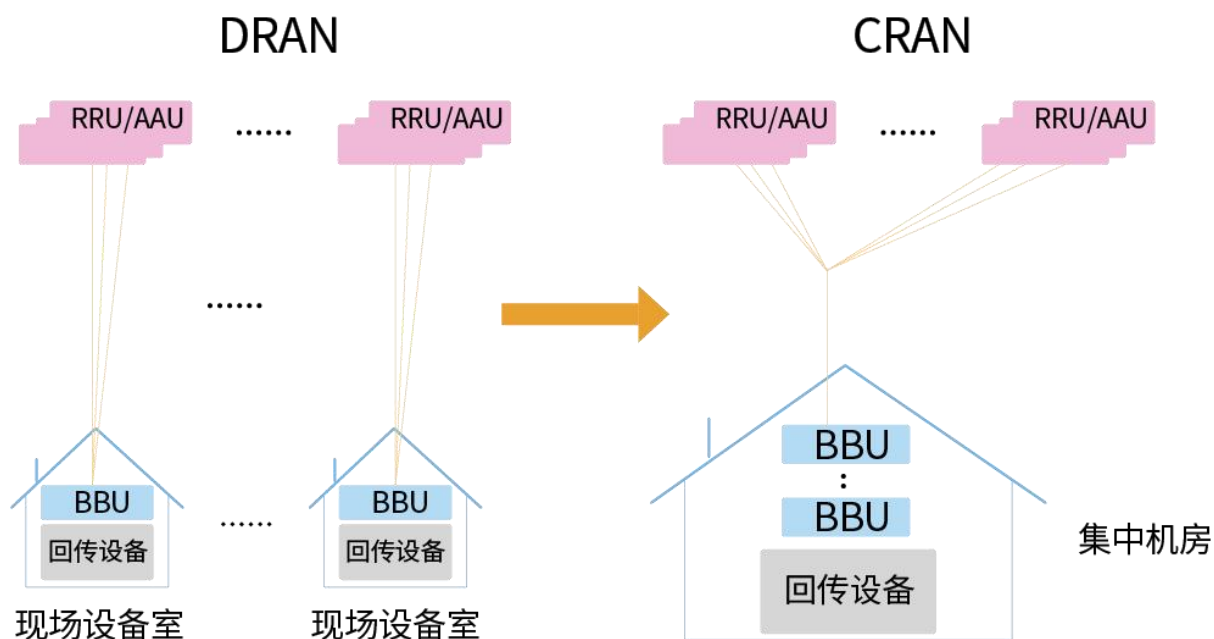


图 3-1 DRAN 和 CRAN 前传系统

由于增加了基站，因此 5G 网络建设的成本比 4G 高得多，并且获取站点具有挑战性。因此，CRAN 是大规模部署的首选。

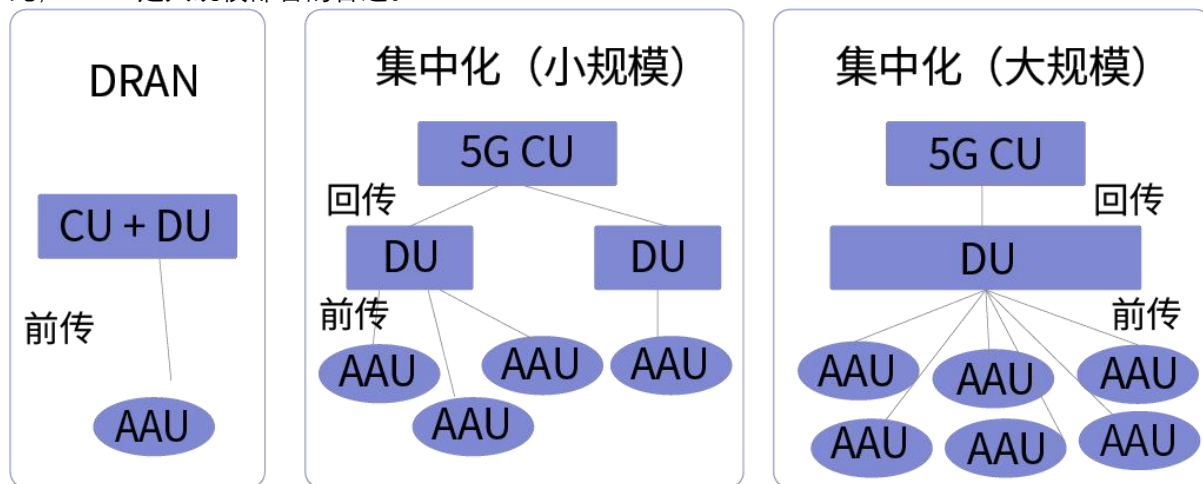


图 3-2 5G 前传部署场景

### 3.2 DRAN

这是一个简单的场景，其中 AAU 和 DU 分别部署在塔上和塔下 300 公里或更短的距离处。在 CRAN 方案中，两个单元之间的最大距离为 10km。考虑到成本效益和维护，DRAN 和 CRAN 都使用光纤直连。在这种情况下，需要使用 25G 灰光模块。

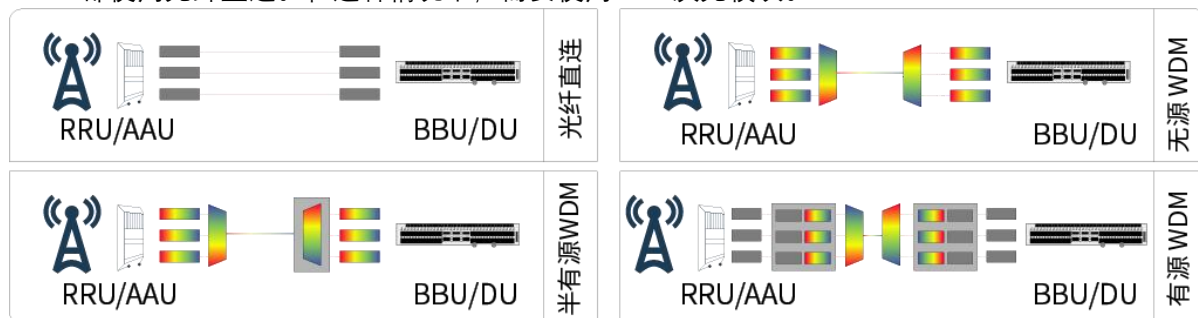


图 3-3 四种不同的前传方法

### 3.3 CRAN

在 CRAN 场景中，光纤直连需要许多光纤和电缆。在光纤资源不足的情况下，使用 10km 的双向灰光（BiDi）模块，因为它们需要的光纤数量是原来的一半，因此可以降低成本。如有必要，可以通过使用无源 WDM 和半有源 WDM 设备进一步减少所需的光纤资源。在这种情况下，需要使用 25G 彩光模块。

	光纤直连	无源WDM	半有源WDM	有源WDM
光纤消耗	高	低	低	低
性能监控与管理	不能	不能	能	能
插入AAU的彩光模块	不能	能	能	不能
网络架构成本	低	中等	高	很高

对于单个 5G 宏基站，一个 100MHz 频谱需要三个 25Gbit/s eCPRI。在中国，中国移动拥有 160MHz 的 5G 频谱，而中国电信和中国联通则共有 200MHz 的 5G 频谱。如果接口速率保持在 25Gbit/s，接口数量将从 3 增加到 6。

	频谱资源	频谱带宽	单个宏基站所需通道 (64 TRX)	所需光模块	光纤直连	无源WDM
中国移动	2515-2675 MHz 4800-4900MHz	160M	6 x 25G	12 x 25G SFP28	灰光	6/12 波长彩光
中国联通	3500-3600MHz	200M	6 x 25G	12 x 25G SFP28	灰光	6/12 波长彩光
中国电信	3400-3500MHz					

为了满足接口传输要求，每个宏基站需要六对 25G 光模块。在这种情况下，您可以使用一组 12 个波长的彩光模块（每个站点一根光纤）或两组 6 个波长的彩光模块（每个站点两根光纤）。

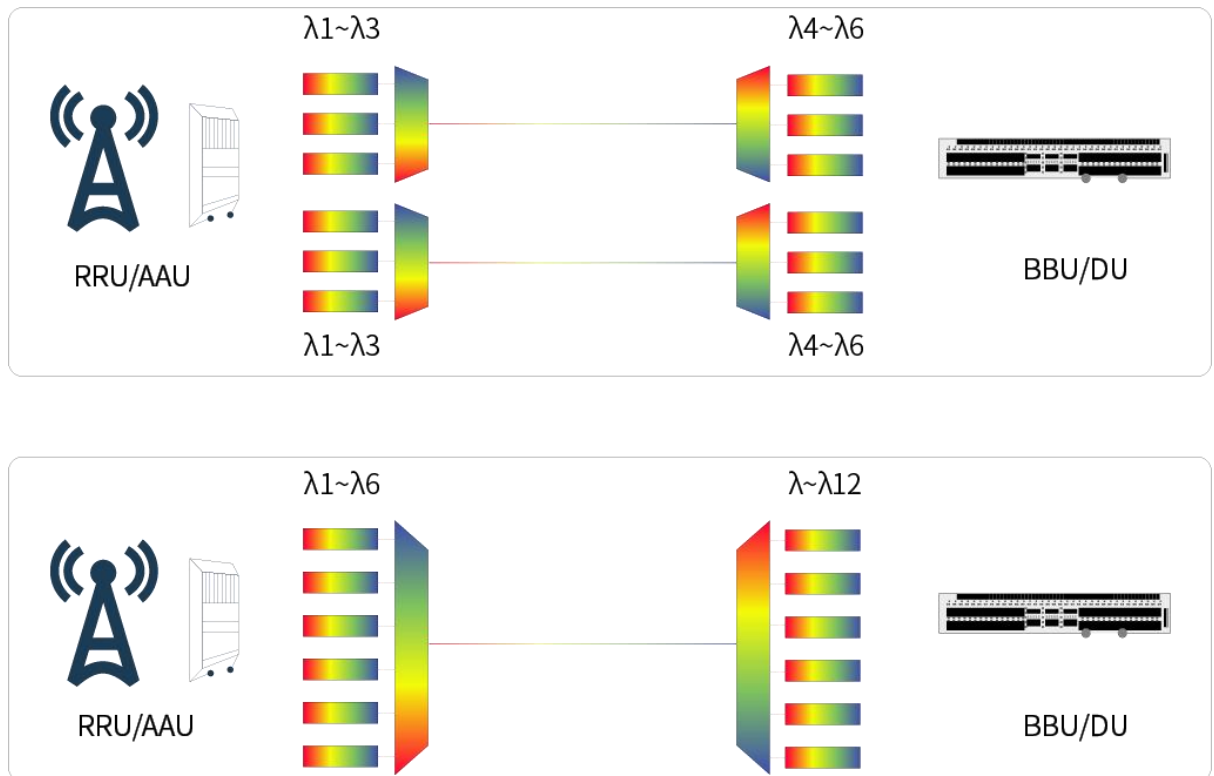


图 3-4 5G 前传无源 WDM 的两种不同方法

综上所述，DRAN 和 CRAN 方案都将使对 5G 前传光模块的需求激增。

## 25G 前传的不同解决方案

### 4.1 背景

2019 年下半年 5G 发布，并在中国迅速用于商业用途。到 2020 年 2 月底，已经部署了 164,000 个 5G 基站。为了应对快速而广泛的基站建设，运营商选择了彩光模块，以节省成本并迅速实现商业化。

另外，根据现有的 WDM 标准，不同的组织提出了 CWDM，MWDM，LWDM 和 DWDM 标准。中国移动运营商还主导了 CWDM 光模块的直接采购。

### 4.2 技术趋势

#### 4.2.1 重用现有的 10G/25G 行业资源

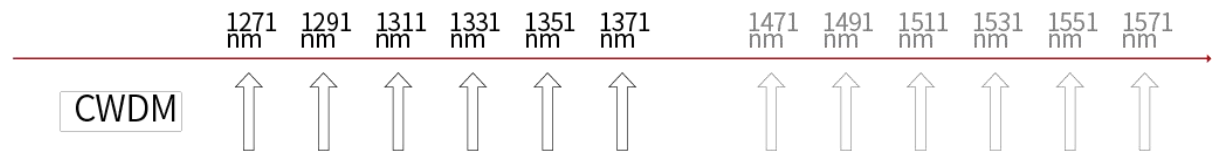
25G 灰光模块利用原 10Gbit/s 技术中的现有资源：

- 300m SR 模块使用 850nm 波长的垂直腔面发射激光器（VCSEL）；
- 10km LR 模块使用 1310nm 波长分布式反馈（DFB）激光器；
- 10 km BiDi 模块使用 DFB 激光（上游 1330 nm，下游 1270 nm）。

具有这些波长的商用芯片很容易获得。一些芯片供应商还可以提供适用于无线前传应用的工业芯片。

基于重用 WDM 标准的原则，业界正在讨论针对 25G 彩光模块的各种解决方案。CWDM 标准在 ITU-T G.694.2 中定义。有 18 个波长间隔为 20nm 的 CWDM 模块直接安装在 DU 和 AAU 上，并使用外部 CWDM 多路复用器/解复用器。在具有三个信道的无线前传场景中，需要六个波长，最好是 CWDM 6 波（1271、1291、1311、1331、1351 和 1371 nm）。由于前四个波长与数据中心的 CWDM 4 波 DML 波长相同，因此芯片供应商仅需要针对工业温度和后两个波长进行开发。对于六个通道，需要 12 个波长。可以选择两个 CWDM6 波和两根光纤进行传输，或者可以选择 CWDM12 波和一根光纤，方法是将最后六个波长 1471/1491/1511/1531/1551/1571 相加。

图 4-1 CWDM波长



MWDM 是在 2019 年底提出的 CCSA 标准。在 MWDM 中，通过半导体制冷片（TEC）扩展 CWDM6 波的每个标准波长，以获得不等间距的 12 个波长。



图 4-2 MWDM 波长

通道	CWDM 6波长 (nm)	通道	MWDM 12波长 (nm)
C1	1271	M1	1267.5
		M2	1274.5
C2	1291	M3	1287.5
		M4	1294.5
C3	1311	M5	1307.5
		M6	1314.5
C4	1331	M7	1327.5
		M8	1334.5
C5	1351	M9	1347.5
		M10	1354.5

与 CWDM 6 波相比，MWDM 12 波解决方案需要将 TEC 添加到光学组件中，并将 TEC 驱动器添加到模块电路中。

LAN-WDM 技术的信道间隔为 800GHz（约 4.4nm）。在 O 波段中可以获得更多的波长，而色散损失很小。IEEE 802.3 基于 LAN-WDM 定义了 400GE LR8 接口。最后四个波长用于 100G LR4。因此，该行业可以很容易地支持最后四个波长。如果扩展到 12 个波长，CCSA 将在 8 个 LAN-WDM 波长上增加四个波长以形成 LWDM12 波。LWDM12 波和 MWDM 之间的唯一区别是光学芯片。

图 4-3 LWDM波长





通道	中心波长 (nm)	前传WDM	400G LR8	200G LR4	100G LR4/ER4
L1	1269.23	新			
L2	1273.54		√		
L3	1277.89		√		
L4	1282.26		√		
L5	1286.66		√		
L6	1291.10	新			
L7	1295.56		√	√	√
L8	1300.05		√	√	√
L9	1304.58		√	√	√
L10	1309.14		√	√	√
L11	1313.73	新			
L12	1318.35	新			

DWDM 技术基于 ITU-T G.698.4，广泛用于骨干网和城域网。波长范围为 1529nm 至 1567nm，间距约为 0.78 nm。波长的数量可以是 6、12、20、40、48 或 96。但是，DWDM 模块价格昂贵，通常部署在光纤资源不足的区域。

图 4-4 DWDM波长

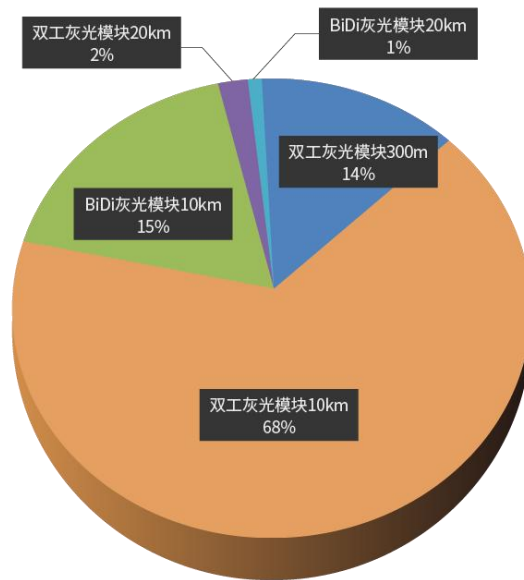


由于窄波长间隔，MWDM 需要 TEC 控制器和更可能的定制波长芯片。LWDM 底层的直接调制激光（DML）光学芯片的产业链尚不成熟，电吸收调制激光器（EML）的成本很高，并且 LWDM 需要 TEC 控制器。DWDM 芯片价格昂贵，DWDM 需要 TEC 控制器，仅 CWDM 6 波不需要 TEC 控制器且拥有丰富的 DML 资源，因此 CWDM 6 被公认为是运营商最具成本效益的解决方案。

	CWDM	MWDM	LWDM	DWDM
标准	ITU-TG.694.2 CWDM被重用	CCSA项目启动已完成	项目启动中	ITU-T G698.4 DWDM被重用。CCSA的可调谐 DWDM项目正在启动中
波长数	6	12	12	12-48
发展阶段	成熟的基础光学芯片资源	底层光学芯片资源不成熟	底层光学芯片资源不成熟	基本的光学芯片供应商很少
采购成本	A	约1.6A	约1.8A	10A以上

#### 4.2.2 更长的传输距离

标准无线前传光模块的传输距离限制为 10km。随着 CRAN 部署的广泛采用，聚合前传网络上可能需要更长的传输距离。根据 LightCounting 的数据，在未来 5 年中，所有灰光模块中有 3% 将需要大于 10km 的传输距离。但是，行业供应商仍将重点放在 10km 的光模块上。



■ 双工灰光模块300m ■ 双工灰光模块10km ■ BiDi灰光模块10km ■ 双工灰光模块20km ■ BiDi灰光模块20km

#### 4.2.3 高密度光模块形式

随着 5G 的发展，前传通信容量将需要逐渐增加。但是，对于无线基站，基带板的面板端口是固定的。无线设备供应商需要找到方法来提高端口的接收和传输能力。

双通道小型可插拔（DSFP）光模块是一个很好的解决方案。2018 年发布的 DSFP 标准最大支持 100Gbit/s 的速率，主要用于以太网协议。它还适用于无线 eCPRI 前传场景。DSFP 模块与 SFP 模块结构兼容。通过 DSFP 模块内部的集成封装，可以传输两个信号通



道，从而使传输和接收容量增加一倍。当前，25G SFP 模块是标准配置。但是，随着对前传带宽的需求增长以及 BBU 侧基带芯片的发展，可能需要更多的 DSFP 模块。

#### 4.2.4 可调彩光技术

CRAN 在 5G 基础架构的部署中发挥了更大的作用。到 2020 年，中国的三大运营商预计，CRAN 将占 5G 基础设施的 80%，因此对彩光模块的需求将会增加。首先，由于 CWDM6 波模块价格便宜且易于使用，因此已得到广泛部署。然而，在基站的建造和维护过程中，波长配置需要大量的时间和精力。因此，提出了可调谐 DWDM 彩光技术。可调谐 DWDM 系统具有与固定 DWDM 系统相同的波长范围和间隔。唯一的区别是波长可调 DWDM 模块支持 12 或 48 个波长的自动配置。当前，可调谐 DWDM 标准在 CCSA 中启动，并且 ITU-T G.698.x 标准正在修订中。之前，DWDM 可调技术已应用于传输网络，但它比 CWDM6 波昂贵得多。因此，业界一直在努力降低该解决方案的成本。

### 无线前传 25G 光学解决方案

25G 彩光模块可以分为 25G CWDM6 波和可调 25G DWDM 模块。客户可以根据其性能需求和预算选择不同的选项。全系列的前传 25G 光模块涵盖了各种 DRAN 和 CRAN 应用场景。

#### 5.1 不同类型的 25G 灰光和 CWDM6 波光模块

25G 灰光和 CWDM 6 光学模块有几种类型：

- 25G 300m：双纤双向接口
- 25G 10km：双纤双向接口
- 25G 10km BiDi：单纤双向接口
- 25G 10km CWDM6 波：双纤双向接口；一组六个模块

中心波长为 1271/1291/1311/1331/1351/1371nm 的所有光模块均符合 SFP28 协议 SFF-8419 和 SFF8472。

电气端口符合 CEI-28G-VSR。25G 10km 双芯光纤和 25G 10km BiDi 光端口符合 IEEE 802.3CC 25GBase-LR。

下图显示了功能框图，包括 DML TOSA、PIN ROSA、发送 CDR、激光驱动器、接收 LA、接收 CDR 和控制器。

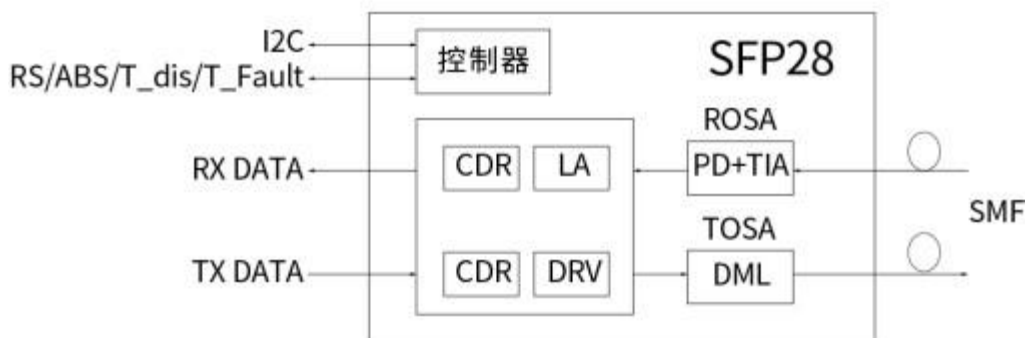
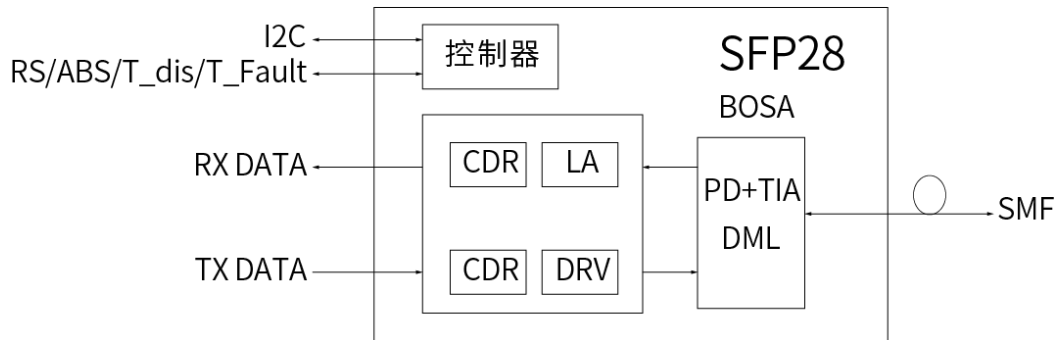


图 5-1 25G 300m，10km 和 CWDM6 波光模块

Figure 5-2 25G 10km BiDi optical module



在发送方向上，CDR 对边缘连接器接收到的电信号执行时钟恢复，而 DRV 放大信号。然后，DRV 驱动 DML TOSA 将电信号转换为光信号以进行输出。

在接收方向上，光信号通过 PIN PD 转换为电信号，由 TIA 放大，然后发送到 LA。CDR 执行时钟恢复后，边缘连接器将执行信号输出。CWDM 6 波使用未冷却的 DFB 激光器。与其他 WDM 解决方案相比，它具有更高的成本效益和更低的功耗。在不需要大量波长的情况下，这是理想的解决方案。

## 5.2 可调 25G DWDM 与 DWDM 12 波光模块

25G DWDM 光模块有两种：

- C 波段 48 波长可调，支持 10km 传输
- 具有成本效益的 C 波段 12 波长可调，支持 10km 传输两者均符合 SFF-8419 和 SFF-8472 协议。电气端口符合 CEI-28G-VSR。

下图显示了功能框图，包括 TTOSA、PIN ROSA、发送 CDR、激光驱动器、接收 LA、接收 CDR 和控制器。

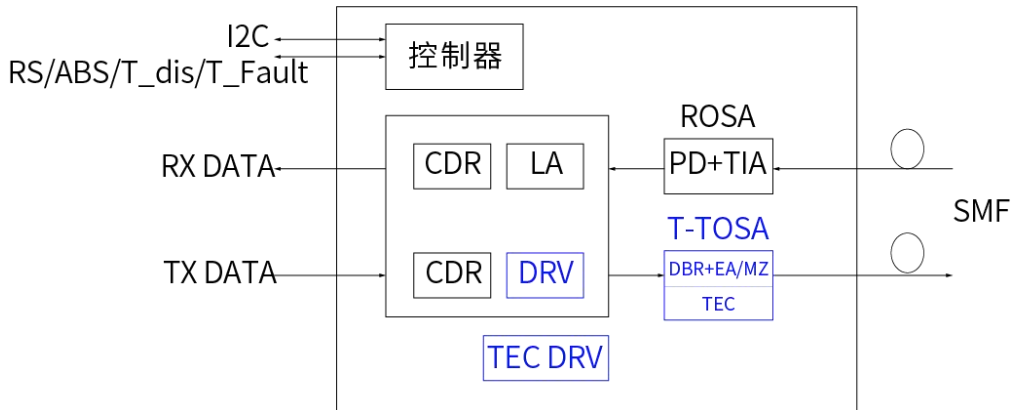


图 5-3 25G DWDM 光模块

在发送方向上，CDR 对边缘连接器接收到的电信号执行时钟恢复，而 DRV 放大信号。然后，DRV 驱动 TTOSA 将电信号转换为光信号输出。

在接收方向上，光信号通过 PIN PD 转换为电信号，由 TIA 放大，然后发送到 LA。CDR 执行时钟恢复后，边缘连接器将执行信号输出。

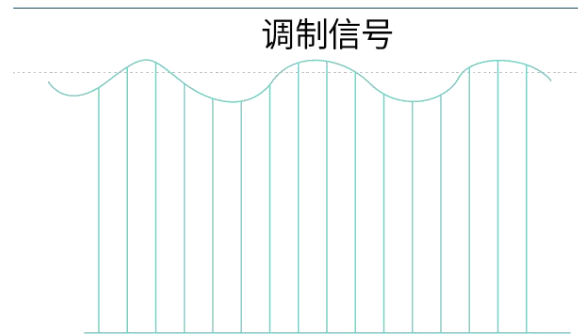


图 5-4 调制信号

## 结论

eCPRI 标准阐明了 5G 前传接口。25G 前传接口符合以太网协议，提供丰富的运维方法。另外，可以重复使用 25G 以太网光模块的现有资源。25G 前传接口已成为行业标准。随着用于 5G 基站建设的资本支出的增加，运营商正在寻找更具成本效益的 25G 前传光模块。同时，有限的光纤资源推动了对彩光模块的需求。经过数十年在光电领域的投资和创新，易飞扬已推出了 25G 灰光和彩光模块的完整解决方案，以构建 5G 无线通信的多样化。