

40 Gbit/s WDM 系统在长途骨干网中的应用

袁 伟,王晓媛,武清华

(华信邮电咨询设计研究院,浙江 杭州 310014)

摘要:随着业务的爆炸式增长,40 Gbit/s WDM(波分复用)系统已经在现有骨干网中大规模商用。文章分析了 40 Gbit/s 系统工程建设中的相关问题,包括 40 Gbit/s 系统的光纤选型、编码选择、40 Gbit/s 系统中 10 Gbit/s 业务的解决方案、40 Gbit/s 系统的 OLP(光线路保护)和客户端解决方案。

关键词:40 Gbit/s 波分复用系统;色散;光线路保护;客户端

中图分类号:TN914 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2012)05-0014-03

Applications of 40 Gbit/s WDM systems in long-haul backbone networks

Yuan Wei, Wang Xiaoyuan, Wu Qinghua

(Huaxin P&T Consulting and Designing Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: With the explosive growth of communication services, 40 Gbit/s WDM systems have been commercially applied in large scales in the existing backbone networks. This paper analyzes the related issues in the construction of 40 Gbit/s systems, including fiber selection, coding options, 10 Gbit/s service solutions for 40 Gbit/s WDM systems, Optical Line Protection (OLP), client-side solutions.

Key words: 40 Gbit/s WDM systems; dispersion; OLP; client-side

0 引 言

随着 IPTV(网络电视)、P2P(点对点)业务、Triple Play(三重播放)等大流量业务以及宽带接入业务的爆炸式增长,骨干网对单通道 40 Gbit/s(以下简称为 40 G)光传输有着强烈的需求,基于技术的成熟性以及传输成本的不断降低,40 G WDM(波分复用)系统已经在现有骨干网中大规模商用。

1 40 G WDM 系统的光纤选型

现有骨干网中主要使用的光纤有 G. 652 和 G. 655。根据 40 G 系统建设的关键技术及工程经验,在建设 40 G 系统时,需重点关注光纤的衰耗、色散以及 PMD(偏振模色散)等指标。表 1 给出了 G. 652、G. 655 光纤的主要指标,可以看出,G. 652 光纤虽然在衰耗、色散斜率和 PMD 系数方面与 G. 655 光纤差别不大,但色散要高出很多。考虑色散补偿技术的成熟和引入衰耗、成本的不断下降,这种差别在实际工程建设中可以不予考虑了。

对于 G. 652 和 G. 655 光纤,两者之间还有一个重要的差别就是 G. 652 有较大的有效面积,可以提高光纤中 XPM(交叉相位调制)等非线性效应的阈值,承受更高的单波入纤光功率,从而使系统具有更强的传输能力。G. 655 光纤色散系数低,受非线性效应影响明显,因此要求入纤光功率低,从而限制了

系统的传输距离和 OSNR(光信噪比)指标。

表 1 国内常用光纤的主要指标

光纤参数	指标	
	G. 652 光纤	G. 655 光纤
工作波长/nm	1 310~1 565	1 530~1 565
1 550 nm 窗口衰耗/dB/km	≤0.22	≤0.22
MFD(模场直径)/μm	10.4±0.5	9~10(9.6)
CD(色散)/ps/(nm·km)	≤18	1~6.0(4.0)
色散斜率/ps/(nm ² ·km)	≤0.092	0.092(0.09)
PMD 系数/ps/√km	≤0.1	≤0.1
截止波长/nm	≤1 260	≤1 470
典型有效面积/μm ²	85	72

因此,在新建 40 G WDM 系统时,应优先考虑采用 G. 652 光缆。如果采用 G. 655 光缆承载 40 G 系统,则要严格控制单波入纤光功率,以免产生难以消除的非线性影响系统性能。同时,因架空光缆受环境影响较大,PMD 系数不稳定,应尽量避免采用架空光缆承载 40 G 系统。系统设计时,根据光缆测试的指标,考虑到光纤指标的劣化以及色散的欠补和过补,应选择衰耗系数较大、PMD 系数较大和色散系数较稳定的光纤进行系统配置。在施工阶段则需选择指标最优的纤芯承载 40 G WDM 系统。

2 40 G 系统的编码选择

在 40 G 系统中,FEC(前向纠错)技术的应用可使系统获得 7~10 dB 的增益,因而成为系统的标

收稿日期:2012-04-15
作者简介:袁伟(1983-),男,湖北武汉人,工程师,硕士研究生,主要从事骨干传输网的设计与咨询工作。

配;对于色散,40 G 系统一般先用 DCM(色散补偿模块)进行预补偿,然后采用 TDCM(可调色散补偿模块)进行精细化补偿。如此,40 G WDM 系统最主要的差别在于编码调制技术。

以 NRZ(非归零)码为参考,将 40 G 主流码型在 OSNR 灵敏度、PMD 容限、抗非线性能力和实现复杂度等方面做一比较,如表 2 所示。

表 2 不同调制码型性能比较

性能指标	NRZ	ODB/PSBT	RZ-DPSK	RZ-DQPSK
OSNR 灵敏度/dB	0	≈0	4.0	3.5
PMD 容限/ps	1.8	1.8	3.0	6.0
抗非线性能力	差	差	中	中
实现复杂度	=	≈	++	++

表中,ODB/PSBT 表示光双二进制码/相位整形二进制码;RZ-DPSK 表示归零差分相移键控码;RZ-DQPSK 表示归零差分正交相移键控调制码。

由表 2 可以看出,没有一种编码调制技术能做到各方面都最好,每种技术都有自己最适合的应用场景。因此,在 40 G WDM 系统的建设中需要根据光缆质量、站型设置等综合选择性价比比较高的编码调制技术。

ODB 谱宽较窄,可以做到 80 波以上,考虑 1 dB 的 OSNR 代价,其 PMD 容限为 2.5~3 ps。ODB 作为成熟可行的技术,性价比高,适合短距离传送(600 km 以下),是城域及短距离干线传输系统的最佳选择。

DPSK 编码是目前最具性价比的 40 G 编码技术,商用化程度高,其 OSNR 容限比 ODB 能改善 3 dB,能有效支持中长距 WDM 系统的要求。此外,DPSK 编码非常适合 40 G 波道和 10 Gbit/s(以下简称为 10 G)波道在同一系统中混传,在 OSNR 和光纤线路 PMD 达标的情况下,10 G 系统可平滑升级至 40 G 系统。

RZ-DQPSK 各方面性能比较平衡,其 PMD 容限相比其他编码技术有较大的提升,是省际干线超长距离 40 G 系统的主要选择。对于部分段落光缆 PMD 指标较差的地区,RZ-DQPSK 编码技术也是一种比较好的解决方式。

在 40 G WDM 系统实际组网中,首先要根据业务终端和转接的要求确定设置 OTM(光终端站)的站点;待 OTM 站点确定后,优先根据光缆测试的 PMD 数据,考虑 PMD 受限的因素,选择性价比最高的码型。

3 40 G 系统中 10 G 业务的解决方案

现阶段,骨干数据网的增长以 40 G 颗粒为主,辅以少量 10 G 业务。一方面,IP 数据业务呈指数增长,省际路由器很容易突破 10 G 链路数量限制;另一方面,SDH/ASON(同步数字体系/自动交换光网络)、国际网、CN2(中国电信下一代承载网络)、大客户出租业务等仍为 10 G 业务颗粒,因此,在一段时间内,10 G 业务和 40 G 业务将共存。目前,40 G 产业链非常成熟,成本较之 10 G 系统具有很大的优势,以中国电信 2011 年的集采价格为例,40 G OTU(光波长转换器)的价格已经降到了 10 G OTU 的1/3。因而,在光缆具备开通 40 G 系统的条件下,建设 40 G 系统的性价比比较高。为了满足 10 G 和40 G两种速率的业务传输,需要充分考虑在 40 G WDM 系统中有效解决 10 G 业务的传输问题。

从传输网现状及发展策略看,可以有 4 种解决方案:(1)协同数据专业,降低 40 G 的开放门槛,从源头上减少 10 G 业务。充分利用现有的 10 G 冗余波道(含 10 G 链路升级为 40 G 后的退网波道)及扩容 10 G 波道承载 10 G 业务。(2)对近两年建设的 10 G WDM 系统进行升级扩容,加载 40 G 波道,同时满足 10 G 和 40 G 业务的传送。(3)建设 10 G / 40 G 混传系统,10 G /40 G 业务通过不同波道进行承载。(4)新建纯 40 G 系统,10 G 业务采用 T-MUX(透明复用器)或支线路分离方式承载。

第 1 种方案充分利用了现有的 10 G 平台、机房和光纤等资源,节约了投资,是解决 10 G 业务的首选方案。

第 2 种方案要求现有的 10 G 系统的设计能满足 40 G 各项传输性能要求,只有这样才能实现系统平滑升级,加载 40 G 波道。在现网业务流量较小并且暂时没有 40 G 业务需求的地方,建设 10 G 系统时可考虑采用 40 G 平台,便于将来平滑升级加载 40 G 波道。

第 3 种方案采用波道方式承载 10 G 业务,存在波道规划、建设管理和维护管理等问题,且需考虑不同码型调制技术对相邻波道带来的 10 G/40 G 混传代价,详见表 3。现有的 10 G 系统均采用 OOK(开关键控)调制技术,采用 DP-QPSK(双极化四相相移键控)、DQPSK 和 DPSK 码型的 40 G 波道与采用 OOK 的 10 G 波道混传时,相邻波道传输代价很高;如果需要混传组网,须将 10 G 与 40 G 隔离 1~

2 个波道;采用 ODB/PSBT 码型的 40 G 与 10 G 混传代价很低,可以实现 80 波/40 波混传。

表 3 10 G/40 G 混传系统不同码型对相邻波道带来的代价

系统类型	调制类型		
10 G	OOK	PSK	OOK
40 G	OOK	PSK	PSK
10 G/40 G 混传代价	很低	很低	高

第 4 种方案采用 T-MUX 方式承载 10 G 业务,价格相对较高,如果能实现支线路分离,则下一步 10 G 升级到 40 G 只需要更换支路客户侧板卡即可,性价比将能得到很大的提高。

针对以上 4 种 10 G/40 G 业务传送解决方案,在长途干线中可以选择不同的方案。首先充分利用现有 10 G 冗余波道或扩容 10 G 波道,解决 10 G 业务;考虑到省际 40 G 业务将增长较快,10 G 业务将不断减少,10 G/40 G 混传系统存在波道规划、建设和维护管理等问题,为此,当冗余波道或 10 G 扩容仍满足不了 10 G 业务的需求时,建议采用第 4 种方案解决 10 G 业务的传送。

4 40 G 系统的 OLP(光线路保护)

在目前的 10 G WDM 系统中,为了提高系统的安全性,很多光放段都配置了 OLP,当主通道发生故障时,会在毫秒级内自动倒换到备用通道,基本不影响业务。对于 10 G 系统,OTU 板卡通常有±800 ps/nm 的色散容限,将主备通道的残余色散配置控制在这个范围内可保证正常工作。对 G. 652 光纤来说,可容忍的主备线路距离变化为±50 km,现有的光缆资源一般可满足要求。

但对于 40 G 系统而言,其 OTU 板卡通常只有±100 ps/nm 的色散容限,因而可容忍的主备线路距离变化仅为±5 km(对于 G. 652 光纤),现有的光缆资源很难达到要求。当主备通道的残余色散差异的受限距离>5 km 时,如果主备通道倒换,40 G 光模块接收到的色散将超出其窗口范围,线路可能出现误码,此时板卡会启动 TDC(可调色散补偿)调节。但是 TDC 调节速度为秒级,无法确保毫秒级的保护倒换,会造成较长时间的业务中断。同时,40 G 系统的各方面性能指标要求相对 10 G 系统更严,OLP 带来的损耗将降低整个系统的稳定性。因此,40 G 系统的光缆 1+1 保护不具备普遍操作可行性,同时考虑系统承载的电路在业务层面均已配置了基于全网的路由保护,因此建议骨干网 40 G

WDM 系统不配置 OLP。

5 40 G 系统的客户端解决方案

目前 40 G 系统的客户侧接口通常配置 1 550 nm 波长的 40 G NRZ 接口,其色散范围一般只有 40~60 ps/nm。对于 G. 652 光纤,客户侧色散受限距离只有 2~3 km;对于 G. 655 光纤,客户侧色散受限距离接近 10 km,因此数据机房与传输机房之间的 40 G 接口必须考虑其色散限制。

针对以上问题,有以下几种解决思路:(1) 充分考虑数据设备等与 40 G WDM 设备的机房的关系,即 40 G WDM 系统终端机楼的选择要与数据设备协调起来,合理安排。40 G WDM 系统主要承载 IP 数据业务,中国电信在 40 G WDM 网络建设中与数据专业协同规划,确保 40 G WDM 系统与 IP 路由器设备在同一机房。(2) 在 40 G WDM 系统终端机楼与数据设备机楼之间、或者在需要转接的两个终端机楼之间建 40 G WDM 中继系统。建设局间 40 G WDM 系统代价较大,但也是目前最有效的解决方法。(3) 在 40 G WDM 系统终端机楼与数据设备机楼之间、或者在需要转接的两个终端机楼之间敷设 G. 655 光缆,G. 655 光缆在 1 550 nm 窗口的色散系数为 4.2 ps/(nm·km) 左右,可以保证 40 G 客户侧接口传送 10 km 左右。(4) 配置 1 310 nm 波长的客户侧接口,ITU-T 最新已建议将波长限制在 G. 652 光纤零色散波长附近的 1 307~1 317 nm,色散受限距离可望达到 40 km。

6 结束语

现阶段,各运营商都在大力建设 40 G WDM 系统。本文着重分析了 40 G WDM 系统的光纤选型、编码选择、40 G WDM 系统中 10 G 业务的解决方案、40 G WDM 系统的 OLP 和客户端解决方案等与工程建设相关的问题,可为长途骨干传输网 40 G WDM 系统的工程建设提供有价值的参考依据。

参考文献:

[1] 程铭. G. 652 和 G. 655 单模光纤的研究现状及发展趋势 [J]. 光纤与电缆及应用技术,2000,(5):34-40.
[2] YD/T 1991-2009,N×40 Gbit/s 光波分复用(WDM)系统技术要求 [S].
[3] 郑波,臧志宏. 40 G WDM 系统编码及色散补偿技术在工程中的应用 [J]. 邮电设计技术,2011,(4):9-14.
[4] 韦乐平. 超高速光纤传输系统的关键技术与发展战略 [J]. 电信工程技术与标准化,2009,(4):2-5.