

# 100 G OTN 超长站距通信关键技术研究与应用

岳晓斌<sup>1</sup>, 王海燕<sup>1</sup>, 解鹏<sup>2</sup>, 范志毅<sup>1</sup>, 张静<sup>1</sup>, 胡彬<sup>1</sup>, 郭浩川<sup>1</sup>

- (1. 中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐市 830001;  
2. 国网新疆电力有限公司, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐市 830063)

## Research and Application of Key Technologies for 100 G OTN Ultra Long Range Communication

YUE Xiaobin<sup>1</sup>, WANG Haiyan<sup>1</sup>, XIE Peng<sup>2</sup>, FAN Zhiyi<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, HU Bin<sup>1</sup>, GUO Haochuan<sup>1</sup>

- (1. China Energy Engineering Group Xinjiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Urumqi 830001,  
Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;

2. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830063, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**摘要:** 近年来, 随着能源互联网的快速发展, 国家电网有限公司各业务系统对通信系统传输带宽的要求越来越高, 单波 10 G 大容量骨干光传送网络(optical transport network, OTN)已无法满足数据类业务和大颗粒业务的带宽需求。目前单波 100 G OTN 系统技术日趋成熟, 但大跨距的 100 G OTN 应用研究与分析较少, 文章介绍了新疆 A 站—B 站 385 km 大跨距 100 G OTN 传输设计中遇到的超长站难以开通满足业务的 OTN 波数问题, 并通过实验测试和数据分析, 得出了相关结论和解决方案, 对后续国家电网有限公司大容量骨干光传输系统大档距的应用具有重要的参考价值。

**关键词:** OTN; 100 G; 大跨距光功率补偿; 超长站距

**ABSTRACT:** In recent years, with the rapid development of the energy Internet, the business systems of State Grid Corporation of China have more and more requirements for the transmission bandwidth of the communication system. The single wave 10 G large capacity optical transport network (OTN) has been unable to meet the bandwidth requirements of data services and large particle services. At present, the technology of single wave 100 G OTN system is becoming increasingly mature, but there is a lack of research and analysis on the application of large-span 100 G OTN. This paper introduces the problem of OTN wave numbers that are difficult to open and meet business needs in the 385 km large-span 100 G OTN transmission design of Xinjiang A and B stations. Through experimental testing and data analysis, relevant conclusions and solutions have been drawn, which have important reference value for the future application of large capacity backbone optical transmission systems of State Grid Corporation of China.

**KEY WORDS:** optical transport network(OTN); 100 G; large span optical power compensation; ultra long range

## 0 引言

“十四五”期间随着能源互联网的快速发展, 国家电网有限公司各业务系统对通信系统传输带宽的要求越来越高<sup>[1]</sup>, 2013 年建成的国网新疆电力有限公司(以下简称新疆电力)光传输网是 40×10 G 的光传送网络(optical transport network, OTN), A 站—B 站设计线路长度 385 km, 是“十四五”至“十五”期间拟建的新疆省网 B 平面核心网架跨越南疆、北疆、东疆的核心关键断面链路, 经测算, 单波 10 Gbit/s 的 OTN 电路无法在 385 km 的超长距离传输, 限制了新疆电力南北东疆数据的传输。同时新疆电力 40×10 G 的 OTN 传输系统部分传输通道

断面波道数已接近饱和<sup>[2-4]</sup>, 通过扩容波道仅能满足“十三五”期间业务增长需求, 对于“十四五”期间的业务增长, 业务带宽需求将难以为继。

为了对急剧增长的数据类业务和大颗粒业务的带宽进行量化, 本文提出一种业务容量需求分析方法, 预测业务带宽需求, 新疆电力 B 平面需要新建 100 G OTN 核心环以满足数据类业务和大颗粒业务的带宽需求, 目前单波 100 G OTN 系统技术日趋成熟, 但大跨距的 100 G OTN 应用设计与分析较少<sup>[5]</sup>, 本文通过对新疆 A 站—B 站 385 km 超长站距下 100 G OTN 引起的光传输损耗等因素的研究和实际应用, 为超长距场景下系统通道利用率的提升提供了行之有效的解决方案, 并通过实际运行结

果为后续研究提供了宝贵的实践经验。

## 1 超大容量骨干光纤通信系统业务带宽需求分析

随着能源互联网的大力推进，国家电网有限公司数据通信业务应用将呈现出暴发式增长的态势，特别是一次设备智能化后，电网状态信息的实时交换、网络化的视频监控和多媒体交互信息管理等业务将更多的数据汇聚到集控中心、调度中心和数据容灾中心，未来数据类业务和大颗粒业务将成为电力通信网的主要业务需求<sup>[6-7]</sup>。

本文提出一种业务容量需求分析方法，主要依据电网中的调度数据网、数据通信网、专线业务对通信系统的带宽容量进行预测。

1) 调度数据网业务包括：各地市供电公司至省调、备调的调度数据骨干网一平面、二平面省内业务；省调、备调至分调的调度数据骨干网一平面、二平面省际业务；调度数据骨干网一平面省调、备调互联省内业务调度数据骨干网二平面省调、备调互联省内业务。

2) 数据通信网业务包括：各地市供电公司至省公司的数据通信省内业务；各地市供电公司至省公司第二业务汇聚的数据通信省内业务；各地区第二汇聚点至省公司第二业务汇聚的数据通信省内业务；省公司至省公司第二业务汇聚的数据通信互联省内业务；省直属单位本部至省公司的数据通信省内业务；省公司至分部的数据通信网省际电路业务。

3) 专线业务包括：重要站点至省公司的调度电话业务、通信网管业务、资源同步网业务、会议电视系统等<sup>[8]</sup>。

以下结合新疆电网网架的现状及规划，通过业务容量需求分析对新疆公司业务带宽需求进行预测。

根据“十四五”末建成的新疆电力一次电网网架结构<sup>[9]</sup>、国网新疆各地区电力公司、兵团各地区电力公司、省备调互联、省备调出疆电路的业务带宽需求进行综合预测，“十四五”期间全疆共计带宽需求约 640.508 Gbit/s，其中调度数据网带宽需求约 71.16 Gbit/s，数据通信网带宽需求约 540 Gbit/s，专线业务带宽需求约 29.35 Gbit/s，SDH 平面承载约 22.508 Gbit/s，OTN 平面承载 618 Gbit/s。而目前现网 OTN 平面最大承载容量为 400 Gbit/s，无法满足“十四五”末及“十五五”期间新疆电力的业务带宽需求。

鉴于上述业务带宽需求分析，需要在新疆电网建设一个 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统以满足新疆公司各业务的带宽需求。

## 2 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统建设原则

建设 100 G OTN 超大容量省内骨干光纤通信系统时，原则上尽量选择省内重要的站点，同时综合考虑网络架构、各地市覆盖站点的业务带宽需求、光缆情况、设备配置、网络保护配置等因素对系统传输性能的影响<sup>[10]</sup>。

1) 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统选址尽量覆盖省调、备调、地调、地市通信第二汇聚点、重要 750 kV 变电站等。

2) 骨干环网应优先选择重要 750 kV 及以上电压等级的变电站。省调、备调本部尽量不参与骨干环网组网，采用至少 3 条 OTN 链路接入骨干环网<sup>[11]</sup>。

3) 不具备两点接入的站点利用双光缆保护方式接入骨干网架。

4) 站点选择及设备配置应充分考虑未来网络向重要 110/220/750 kV 变电站延伸的可能<sup>[12]</sup>。

5) 站点均采用 OTN 电交叉设备，波道采用逐站电中继方式，一方面避免长距离无电中继配置拉曼等高功率器件；另一方面满足业务灵活调度需求。

6) OTN 设备业务端口配置 100 Gbit/s Ethernet、100 Gbit/s、10 Gbit/s Ethernet、10 Gbit/s、2.5 Gbit/s、1 Gbit/s Ethernet、155 Mbit/s 等任意速率业务接口，且设备支持 2 M 业务接口，以满足电力系统各种颗粒的业务传输需求。

7) OTN 设备光层配置光信道监测功能板卡，且具备光时域反射仪 (optical time-domain reflectometer, OTDR) 在线监测功能。

8) OTN 设备支持自动交换光网络 (automatically switched optical network, ASON)、波长交换光网络 (wavelength switched optical network, WSON) 和 SDN 使能的传送网络 (transport software defined networking, T-SDN)。

9) 结合电力系统一次网架结构，尽可能选用可靠性高的光缆进行建设，光缆按照直流光缆、750 kV 线路超低损耗 (ultra low loss, ULL) 光缆、750 kV 线路 OPGW 光缆、220 kV 线路 OPGW 光缆、ADSS 光缆、管道光缆的优先级顺序选用，并尽量不选用重复光缆路由<sup>[13]</sup>。

10) 选择光缆路由, 合理预留光缆富余度, 避免一次线路  $\pi$  接对系统光缆富余度及系统运行造成的影响。

11) 优先选用 G.652 光纤纤芯, 合理选择路由, 均匀选择站距, 避免使用拉曼放大器等大功率光器件。

12) 工程建设的 OTN 骨干环网及分支环网均不开通光层保护, 采用电层 ODUk SNCP 1+1 保护方式以节省光纤资源, 仅在末端支链电路上根据两个方向光缆情况灵活选择 OCP 光层保护<sup>[14]</sup>。

本文结合新疆省网 B 平面 OTN 核心环网络,

选取新疆省调、新疆备调、750 kV 枢纽站、750 kV 变电站共 16 个站点作为 B 平面 OTN 核心站点, 核心环按  $8 \times 100$  G 配置。

新疆省网 B 平面 OTN 核心环承载业务包括: ①数据网上联业务, 包括省调、备调互联业务 100 Gbit/s, 省调出疆业务 100 Gbit/s, 备调出疆业务 100 Gbit/s; ②15 个地调上联省调业务(每地调至省调 40 Gbit/s)600 Gbit/s; ③15 个地调上联备调业务(每地调至备调 20 Gbit/s)300 Gbit/s。业务容量为  $100+200+600+300=1200$  Gbit/s。新疆省网 OTN 新建核心环网拓扑图如图 1 所示。

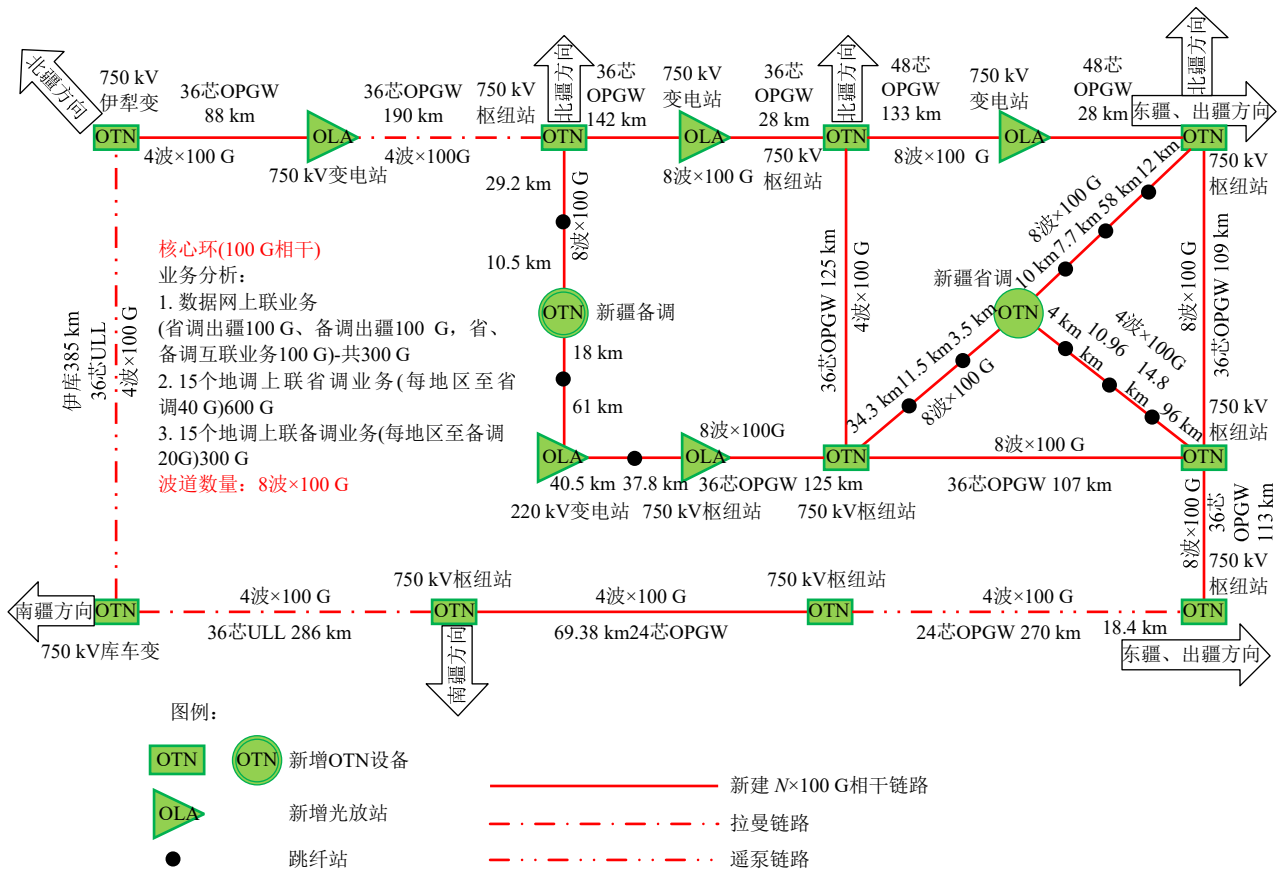


图 1 省网 OTN 新建核心环网拓扑图

Fig. 1 Topology diagram of the new core ring network scheme for OTN in the provincial network

目前新疆电力“十五五”B 平面尚未形成, 作为“十四五”至“十五五”期间新疆省网 B 平面南疆、北疆、东疆网络的重要组成部分<sup>[15-16]</sup>, 前期由于光缆资源条件限制, A 站—B 站未开通 OTN 波道, 因此整个省网 OTN 网络大环未形成。A 站—B 站 100 G OTN 通道在 2023 年率先开通  $4 \times 100$  G 电路。

### 3 100 G OTN 超长距传输网络组网方案

A 站—B 站设计线路长度 385 km, 是“十四五”至“十五五”期间拟建的新疆省网 B 平面核心网架跨越南疆、北疆、东疆的核心关键断面链路, 750 kV A 站—B 站输电线路工程首次使用 ULL 光缆, 在

线路中间设置遥泵中继。

B 站—A 站长距电力光缆线路示意如图 2 所示。

b 塔为 B 站→A 站方向的遥泵放大器 RGU 安装位置为: 距离 A 站变 113.509 km。

a 塔为 A 站→B 站方向的遥泵放大器 RGU 安装位置为: 距离 B 站变 111.616 km。

1) B 站—A 站方向线路。

B 站—A 站光缆线路总长 385.23 km, B 站变至遥泵放大器塔站 271.721 km, 遥泵放大器塔站点至 A 站变站点 113.509 km。B 站—A 站方向线路拓扑如图 3 所示。

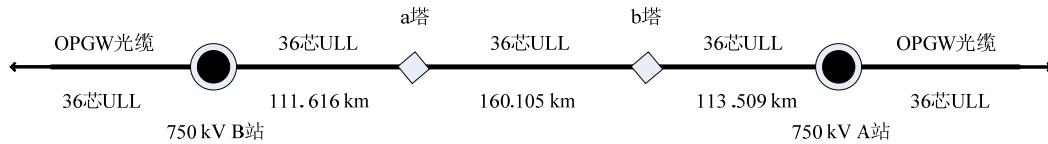


图2 B站—A站长距光缆线路示意

Fig. 2 Schematic diagram of the long-distance line from B station to A station

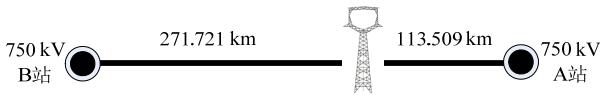


图3 B站—A站方向线路拓扑

Fig. 3 Topology diagram of the line from B station to A station direction

2) A站—B站方向线路。

A站—B站长距线路总长 385.23 km, A站变至遥泵放大器塔站点 273.614 km, 遥泵放大器塔站点至B站变站点 111.616 km。A站—B站方向线路拓扑如图4所示。

基于A站至B站光缆情况, 总长度 385 km,

衰耗值约在 73 dB 左右, 通过新建 A站—B站光方向, 组建跨天山南北东疆核心环, 考虑到未来骨干 OTN-100 G 演进的趋势, 本文采用 8×100 G 设计方案, 先实际开通 4 波 100 G 波道, 运行容量为 4×100 G。

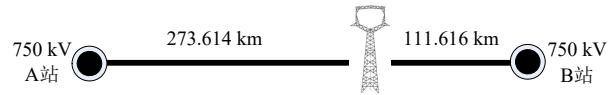


图4 A站—B站方向线路拓扑

Fig. 4 Topology diagram of the line from A station to B station direction

本次 A站—B站超长跨 100 G OTN 光层仿真效果如图5所示。

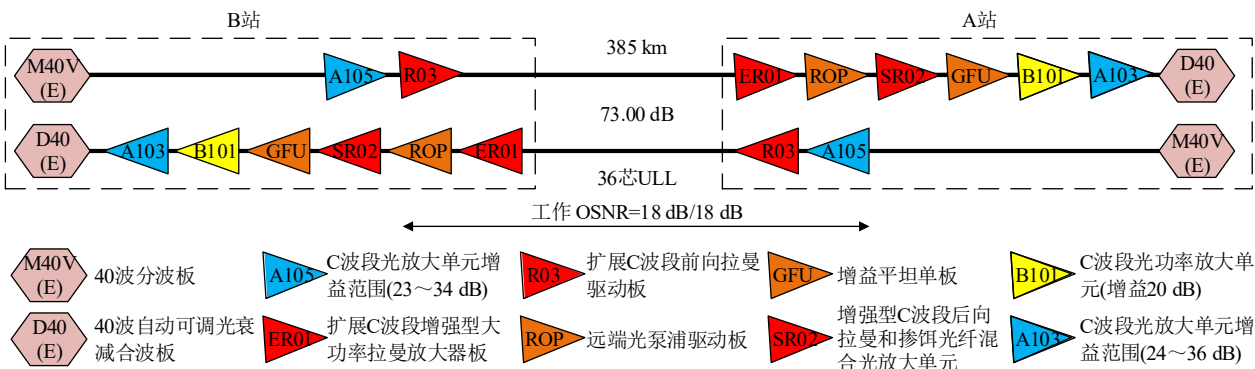


图5 A站—B站 100 G OTN 光层仿真效果

Fig. 5 Simulation effect of 100 G OTN optical layer from A station to B station

#### 4 100 G OTN 超长距传输光放配置策略

在 100 G OTN 超长距传输系统中, 光功率是限制传输距离的最主要因素<sup>[11]</sup>, 线路传输衰耗随着光纤距离线性降低, 单板的接收灵敏度一般在-16 dBm, 因此无光放传输距离一般在 40 km 以内。

1) 当线路传输衰耗大于 10 dB 时, 通常要在收发端配置掺铒光纤放大器(erbium-doped optical fiber amplifier, EDFA)提升信号光功率。

2) 当线路传输衰耗大于 40 dB 时, 需要考虑对信号进行光功率补偿, 但发端光功率不宜过高, 因此在收端使用拉曼放大器, 泵浦光从收端反向补偿信号, 称之为后向拉曼放大器。

3) 当线路传输衰耗大于 50 dB 时, 仅从收端补偿信号已经无法满足, 此时考虑从发端开始提升信号光功率, 泵浦光在发端对信号进行补偿, 称之为前向拉曼放大器。

4) 当线路传输衰耗到达 60 dB 以上时, 前后

向拉曼均已无法满足信号补偿要求, 因此提出远程光泵浦放大器(remote optical pumping amplifier, ROPA), 对超长距单跨进行光功率补偿。

本文提出一种基于 ULL 光纤+遥泵放大器+增强型前后向拉曼放大器技术的 100 G OTN 超长距设计的方案以解决超长站距 OTN 波数开通受限, A站—B站超长跨 100 G OTN 信号功率演化趋势图如图6所示。

对 A站—B站 385 km 超长距 4×100 G OTN 的电路光放配置如下。

光放配置方案说明:

1) 排序为 BA+RPC//后向 RGU+ERPC+ROP+SRAU+PA; 其中 BA(optical booster amplifier, 光功率放大器); RPC(Raman optical power amplifier working in the C-band, 工作在 C 波段的拉曼光功率放大器); RGU(remote gain unit, 远程增益单元); ERPC(enhanced Raman optical power amplifier working in the C-band, 工作在 C 波段的增强型拉曼

光功率放大器); ROP(remote optical pumping, 远端泵浦光单元); SRAU(super C-band backward Raman and erbium doped fiber hybrid optical amplifier unit, C 波段后向拉曼和掺铒光纤混合光放大单元); PA(pre optical power amplifier, 前置光功率放大器)。

2) RPC, SRAU, ERPC, ROP, RGU 对接收光功率均无要求;

3)以发端光放(BA)输出 16 dBm, 收端光放(PA)接收光功率-16 dBm 为例, 光功率衰减为 32 dB,

再加上 RPC 提供的增益约 10 dB, SRAU 提供的增益约 18 dB, ROP 提供的增益约 10 dB, ERPC 增强的增益约 3 dB, 合计损耗约 73 dB;

4)本次光放配置 100 G 系统最多支持 10 波(由于受激拉曼散射(stimulated Raman scattering, SRS)效应, 不同波长之间存在能量转移, 当系统波数增多时, 初始波长的能量将会向新波长转移, 同时放大器增益被分摊, 系统波数大于 10 波时, 抗衰能力低于 71 dB)。

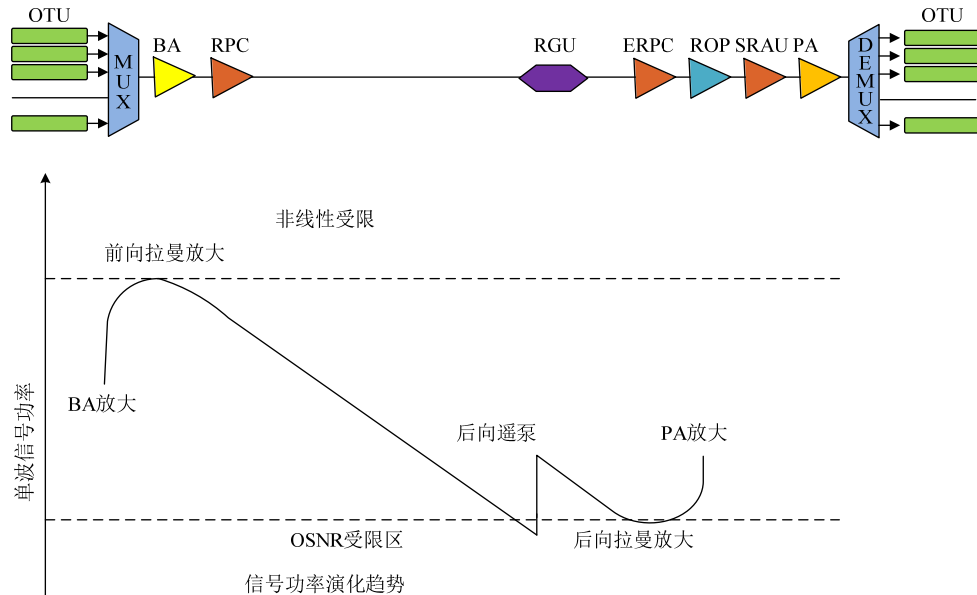


图 6 OTN 信号功率演化趋势图

Fig. 6 OTN signal power evolution trend chart

A 站—B 站 100 G OTN 通道开通后运行参数见表 1 所列。

表 1 A 站—B 站 100 G OTN 通道运行参数  
Table 1 Operating parameters of 100 G OTN channel from A station to B station

项目	指标			
	B 站—A 站	A 站—B 站	B 站—A 站方向 OSNR 值	A 站—B 站方向 OSNR 值
192.1 频率波道	发光-2.9 dB, 收光-8.2 dB	发光-2.5 dB, 收光-8.0 dB	18 dB	18 dB
192.2 频率波道	发光-2.6 dB, 收光-8.0 dB	发光-2.4 dB, 收光-7.9 dB	18 dB	18 dB
192.3 频率波道	发光-2.8 dB, 收光-8.2 dB	发光-2.5 dB, 收光-8.0 dB	18 dB	18 dB
192.4 频率波道	发光-2.5 dB, 收光-8.9 dB	发光-2.4 dB, 收光-8.4 dB	18 dB	18 dB

### 5 结语

随着能源互联网的大力推进, 电力公司数据类业务和大颗粒业务将成为电力通信网的主要业务需求。本文提出一种业务容量需求分析方法,

可以对电网业务带宽进行需求预测, 支撑电网建设 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统。针对 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统在大跨距光功率补偿的需求, 本文提出一种基于 ULL 光纤+遥泵放大器+增强型前后向拉曼放大器技术的 100 G OTN 超长站距设计方案, 对新疆 A 站—B 站 385 km 750 kV 线路上的超长距单跨的 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统进行光功率补偿及其实现实例<sup>[17-18]</sup>。

其中业务容量需求分析方法适用于数量为 15 个地市公司, 容量为每个地市公司上联省调业务 40 Gbit/s, 上联省备调业务 20 Gbit/s, 省调、省备调互联业务 100 Gbit/s, 省调、省备调至国调或分调业务各 100 Gbit/s 的情况。

100 G OTN 超长站距设计方案适用于距离为 385 km 超长站距, 光缆采用 ULL 光缆, 线路传输损耗达 65 dB 以上的系统, 需求容量为 8×100 G 的超大容量光纤通信系统。该方案可用于支撑超长站距地市—省网—省际 100 G OTN 超大容量骨干光纤通信系统的建设。

## 参考文献

- [1] 周静, 胡紫巍, 刘国军, 等. 电力骨干通信网业务需求分析与拓扑规划[J]. 光通信研究, 2016(2): 15-18.  
ZHOU Jing, HU Ziwei, LIU Guojun, et al. Research on business requirement analysis and topology planning of backbone power communication network[J]. Study on Optical Communications, 2016(2): 15-18(in Chinese).
- [2] 孙海蓬, 刘润发, 于昉. OTN 在电力骨干通信网中的应用策略研究[J]. 电力系统通信, 2012, 33(6): 9-14.  
SUN Haipeng, LIU Runfa, YU Fang. Research on application strategy of OTN in electric power backbone communication network[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2012, 33(6): 9-14(in Chinese).
- [3] 于晓东, 于昉. OTN+PTN 技术在电力通信网中的应用[J]. 电力系统通信, 2010, 31(11): 31-34.  
YU Xiaodong, YU Fang. The application of OTN+PTN in power communication network[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(11): 31-34(in Chinese).
- [4] 李欢. 电力通信中分组增强型 OTN 技术应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2017(7): 195.
- [5] 孙雨潇, 田照宇, 杨帆, 等. 国网典型 100 G OTN 系统研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(5): 38-44.  
SUN Yuxiao, TIAN Zhaoyu, YANG Fan, et al. Research and application of 100 G OTN in power communication network[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2019, 17(5): 38-44(in Chinese).
- [6] 汤瑞, 李允博, 赵文玉, 等. 100G 传输技术及应用探讨[J]. 邮电设计技术, 2013(5): 35-37.  
TANG Rui, LI Yunbo, ZHAO Wenyu, et al. Discussion on 100G transmission technology and its application[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2013(5): 35-37(in Chinese).
- [7] 张宇, 廖圆月. 关于 100G 系统传输关键技术的应用探讨[J]. 中国新通信, 2014, 16(6): 80-81.
- [8] 欧阳长冬, 刘其超, 史朝翔, 等. 基于反向复用技术的 100G 光传输的设计与实现[J]. 电视技术, 2016, 40(7): 99-103.  
OUYANG Changdong, LIU Qichao, SHI Chaoxiang, et al. Implementation and design of 100G optical transmission system based on inverse-multiplexing technology[J]. Video Engineering, 2016, 40(7): 99-103(in Chinese).
- [9] 袁卫国, 宋伟, 龙函, 等. 100G 与 10G 混传系统研究与应用[C]//2016 年中国电机工程学会年会. 南京: 中国电机工程学会, 2016.
- [10] 谢歆, 陈文雄, 笕钟. 现有 10G、40GWDM 系统承载 100G 业务分析探讨[J]. 邮电设计技术, 2013(12): 59-63.  
XIE Xin, CHEN Wenxiong, DA Zhong. Discussion on the currently existing 10G and 40G WDM system carrying 100G service[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2013(12): 59-63(in Chinese).
- [11] 郭中华. 100G DWDM 优化 OSNR 的技术[J]. 邮电设计技术, 2012(5): 43-46.  
GUO Zhonghua. OSNR optimization technology in 100G DWDM[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2012(5): 43-46(in Chinese).
- [12] 赵鑫, 程华, 汤瑞, 等. 10 和 100Gbit/s 混传 OSNR 测试方法研究[J]. 电信网技术, 2015(7): 1-4.  
ZHAO Xin, CHENG Hua, TANG Rui, et al. OSNR test method for 10 and 100Gbit/s hybrid transmission[J]. Telecommunications Network Technology, 2015(7): 1-4(in Chinese).
- [13] 刘国军, 蔺一展, 张小建, 等. 电力分组增强型 OTN 技术应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(10): 79-83.  
LIU Guojun, LIN Yizhan, ZHANG Xiaojian, et al. Application research on power packet enhanced OTN technology[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017, 15(10): 79-83(in Chinese).
- [14] 连亦承, 喻鹏, 元峰, 等. 一种面向负载均衡的电力 OTN 网络路由优化算法[J]. 广东电力, 2018, 31(5): 42-48.  
LIAN Yicheng, YU Peng, QI Feng, et al. A load balance oriented optimization algorithm for electric power OTN route[J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(5): 42-48(in Chinese).
- [15] 孙严智, 胡劲松, 刘宇明, 等. 基于长距离光传送网的光信噪比计算[J]. 光通信研究, 2018(2): 14-17.  
SUN Yanzhi, HU Jinsong, LIU Yuming, et al. Optical signal noise ratio calculation based on long-distance optical transport network[J]. Study on Optical Communications, 2018(2): 14-17(in Chinese).
- [16] CHARLET G, RENAUDIER J, BRINDEL P, et al. Performance comparison of DPSK, P-DPSK, RZ-DQPSK and coherent PDM-QPSK at 40Gb/s over a terrestrial link[C]//2009 Conference on Optical Fiber Communication. San Diego: IEEE, 2009: 1-3.
- [17] 戴飞. 10G/100G 混传技术在广电省级干线波分系统中的研究与实现[J]. 有线电视技术, 2018, 25(4): 81-83.
- [18] 王甜甜, 黄红兵, 章毅, 等. 100G 与 10G 混传系统的优化与设计[J]. 光通信技术, 2018, 42(11): 18-22.  
WANG Tiantian, HUANG Hongbing, ZHANG Yi, et al. Optimization and design of 100G and 10G hybrid transmission system[J]. Optical Communication Technology, 2018, 42(11): 18-22(in Chinese).



岳晓斌

收稿日期: 2024-07-15。

作者简介:

岳晓斌(1966), 男, 高级工程师, 通信作者, 从事电网通信规划设计研究工作, yxb201@126.com;

王海燕(1978), 女, 高级工程师, 从事电网通信规划研究工作;

解鹏(1976), 男, 高级工程师, 从事电力通信系统规划建设管理、通信新技术研究管理等工作;

范志毅(1979), 男, 高级工程师, 从事电网信息通信规划研究工作;

张静(1986), 女, 高级工程师, 从事电网通信设计工作;

胡彬(1989), 男, 工程师, 从事电网通信设计工作;

郭浩川(1987), 男, 高级工程师, 从事电网通信设计工作。

(责任编辑 张京娜)