

广东电力 OTN 光传送网应用分析

李昭桦

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 随着电力信息化的不断发展, 电力企业构建大容量、高带宽的 OTN 传送网络已成为发展趋势。本文结合广东电力 OTN 光传送网的工程特点, 从组网结构、交叉技术和网络保护展开分析, 在组网结构上选择核心层、骨干层、接入层的三层结构, 骨干层随电网架构通过 OPGW 组成 MESH 网, 骨干层和核心、骨干层和接入层之间不少于 2 点互联, 提高可靠性的同时控制投资。本文给出了设备交叉技术、网络保护的技术选择因素, 为电力系统 OTN 光传送网的建设提供参考。最后, 本文给出了使用 OTN 空闲波道作为应急波道的应用案例, 为处于台风区的广东电力提供应急保障。

关键词: 电力通信网; OTN 光传送网; 组网; 交叉技术; 网络保护

中图分类号: TN929

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0155-06

Application Analysis of Optical Transport Network in Guangdong Power Grid

LI Zhaohua

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: With the continuous development of electric power information technology, the construction of large capacity, high bandwidth OTN network by electric power enterprises has become a trend. According to the Guangdong power OTN network's engineering characteristics, this paper gives an analysis on network structure, cross technology, network protection, and it selects a three-layer structure including the core layer, backbone layer and access layer, the backbone layer uses OPGW to build MESH network based on power grid structures. There are no less than 2 connections between backbone layer and core layer, the same to backbone layer and access layer, which improves the network reliability besides controlling the investment. This paper also gives the technology choice of the cross technology and the network protection, giving reference to OTN network construction by electric power enterprises. At the end, this paper gives an application case using OTN idle channels to provide emergency support for Guangdong power grid, which in the typhoon prone area.

Key words: electric communication network; OTN; network; cross-technology; network protection

1 信息化的背景和需求

1.1 信息化的背景

随着电网公司管理信息化工作的推进, 新一代信息业务系统陆续上线运行, 实现管理信息系统对业务全面覆盖、纵向贯通和横向集成, 信息业务带宽需求大幅增加; 结合信息系统网级集中或省级集中的部署需求以及其带来的业务流向变化, 传统的 SDH/MSTP 传输网络已无法满足业务带宽需求, 建设省级大容量传输网络已是大势所趋, 广西、湖

北、安徽、新疆^[1-4]等地均已建设电力省干 OTN 光传送网。

OTN(Optical Transport Network, 光传送网络)是一种以波分复用技术为基础、在光层、电层组织网络的传送网。早在 1998 年, ITU-T 就提出了 OTN 的概念并在随后的几年内完成了 OTN 相关技术的标准化工作。OTN 解决了 SDH/MSTP 传输网络基于 VC 12/VC 4 的交叉颗粒偏小、不适应大颗粒业务传送需求的问题, 也解决了传统 WDM 网络无波长/子波长业务调度能力、组网能力弱、保护能力弱、系统故障定位困难等问题。

OTN 光传送网在运营商、广电行业早已应用^[5], 在电力系统的应用也越来越多, 本文结合广东电力的特点和需求, 对其技术应用进行分析。

收稿日期: 2015-10-16

作者简介: 李昭桦(1982), 男, 广东东莞人, 高级工程师, 硕士学位, 主要从事电力系统通信规划和设计工作(e-mail)lizhaohua@gedi.com.cn。

1.2 广东电网信息化业务需求

广东电网信息化管理业务包括营销管理、资产管理、财务管理、人力资源管理、协同办公和综合管理等六大企业级应用以及容灾备份流量。广东电网有限责任公司本部、地区供电局、二级单位、技术储备中心、变电站、营业点等节点均属于信息化管理业务的用户节点。

结合已有的数据网络资源以及各节点的带宽需求, OTN 光传送网需要承载的信息业务流量和流向为:

- 1) 地区供电局→公司本部, 规划带宽 10 Gb/s。
- 2) 地区供电局→技术储备中心(广东备调), 规划带宽 10 Gb/s。
- 3) 培评中心→公司本部, 规划带宽 20 Gb/s。

信息化业务是电力安全生产的必要保障, 承载网络的可靠性则是业务安全承载的基础, 下面结合广东电网的特点对 OTN 网络的组网进行分析。

1.3 广东电网电力 OTN 组网需求

广东省是中国受台风影响最多、灾害最重的省份, 划分为珠三角、粤东、粤西和粤北四个区域, 广东电网有限责任公司下辖 19 个地区供电局, 其中珠三角的江门、惠州、珠海、中山, 粤东的汕头、汕尾、揭阳和粤西的阳江、茂名、湛江属于台风区, 另外粤北的清远、韶关又属于冰灾区, 下辖 19 个地区局中的 12 个属于自然灾害受灾区, 对电力通信网的组网可靠性提出了较高的要求。

2012 年, 原下辖广东电网的广州供电局、深圳供电局正式分立由南方电网公司直管。广州、深圳供电局有限公司的厂站不属于广东电网有限责任公司的调管范围, 而广东中调在地理位置上处于广州市内, 为保证组网的可靠性, 需要以广东中调为核心, 通过多个方向从佛山、东莞、惠州等地市以较长的跨距连接到骨干层。

广东电网光缆总长度约为 52 515.14 km, 其中作为 500 kV 骨干 OPGW 总长度约为 5578.65 km, 光缆资源总体富余, 部分关键光缆段却资源紧缺, 81 条 500 kV 光缆中, 25 条的纤芯使用率大于 50%, 19 条的剩余纤芯不大于 10 芯, 对 OTN 组网的保护方式带来制约。此外, 21 条 500 kV 的 OPGW 超过 100 km, 利用 500 kV 骨干 OPGW 组网的光链路长度较长, 对组网的交叉技术选型带来制约。

2 OTN 光传送网组网结构分析

OTN 光传送网建设应全面支撑公司信息化等各类业务发展, 从组网结构着手, 规划建设安全、可靠的通信网架, 是保障电网安全生产的重要环节。

从信息业务的流向进行分析, 大颗粒业务的收发节点基本在上、下级信息中心, 变电站一般不上下业务; 从光缆网络稳定性角度看, 变电站组网使用的 OPGW 结构跟随一次线路, 相对比较稳定, 而信息中心节点存在整体搬迁的可能性; 从光纤可靠性角度看, 变电站节点间的光缆均随高压输电线路架设, 而调度机构位于城市, 外联光缆大多通过地理管道光缆^[6]。根据广东电网有限责任公司近几年的运行记录, OPGW、ADSS、管道光缆的平均缺陷率分别为: 0.04、0.05、0.37 次/(100 km·年)。从缺陷率来比较, 管道光缆的缺陷率是 OPGW 的 9 倍多, 管道光缆的可靠性比 OPGW 低。

可靠的通信网架应该建立在可靠的物理载体之上, 本文提出以下的组网思路:

- 1) 骨干层路由优先选用骨干 500 kV/220 kV 线路的 OPGW 光缆, 随电网架构通过 OPGW 组成 MESH 网, 从光缆路由选择方面降低光链路被外力破坏的概率, 形成一个可靠的骨干层。
- 2) 核心层与汇聚层通过管道光缆实现不少于 2 点互联, 有条件的站点实现 3 点互联, 通过多点互联降低管道光缆可靠性不高的影响。
- 3) 接入层通过双归属方式接入汇聚层, 汇聚层与接入层通过不同管道光缆实现 2 点互联。

组网示意图如图 1 所示。

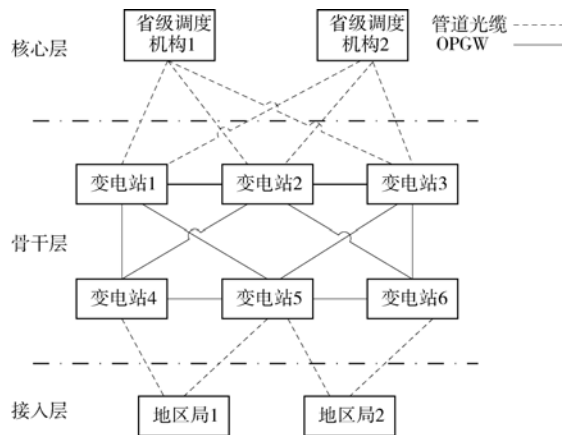


图 1 广东电力 OTN 组网示意图

Fig. 1 OTN Organization of Guangdong Power Grid

3 交叉技术分析及设备选型

交叉技术是 OTN 组网中的关键技术，对网络运行、维护和扩容有重要影响，本节对 OTN 交叉技术展开分析，对设备选型提出建议。

3.1 OTN 设备种类

OTN 设备分为两种：终端复用设备和交叉连接设备，其中交叉连接设备又分为三种：电交叉设备、光交叉设备和光电混合交叉设备^[7]。下面对几种设备进行简介。

OTN 终端复用设备指支持电层(ODUk)和光层(OCh)复用的 WDM 传输设备^[7]，其功能模型如图 2 所示。

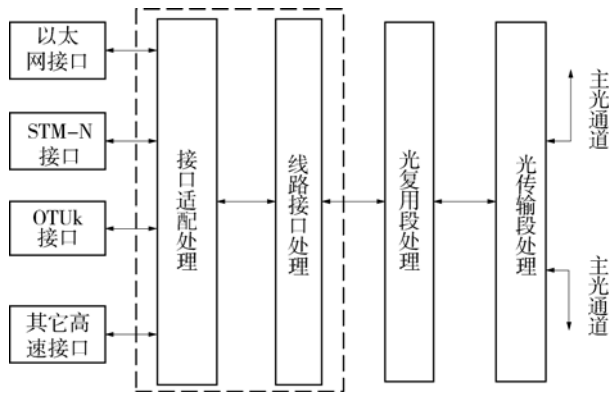


图 2 OTN 终端复用设备功能模型

Fig. 2 Functional Model of OTN Terminal Multiplex Device

电交叉设备 OTN 电交叉设备具备 ODUk 级别的电路交叉功能，采用光电光的处理方法调用子波粒度的带宽，有利于监视和再生光信号^[8]，为 OTN 网络提供灵活的电路调度和保护能力。

设备功能模型如图 3 所示。

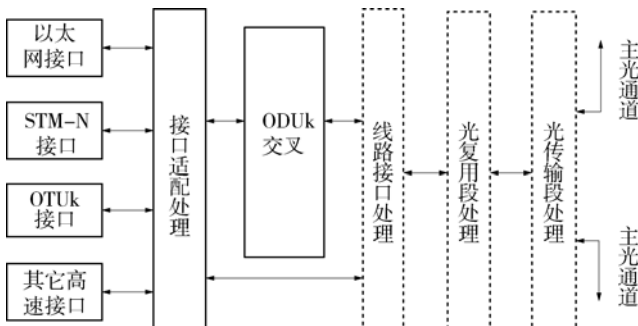


图 3 OTN 电交叉设备的功能模型

Fig. 3 Functional Model of OTN Electrical Multiplex Device

OTN 光交叉设备以波长为单位提供光层调度能

力，实现波长级别业务的调度和保护恢复^[7]。设备功能模型如图 4 所示。

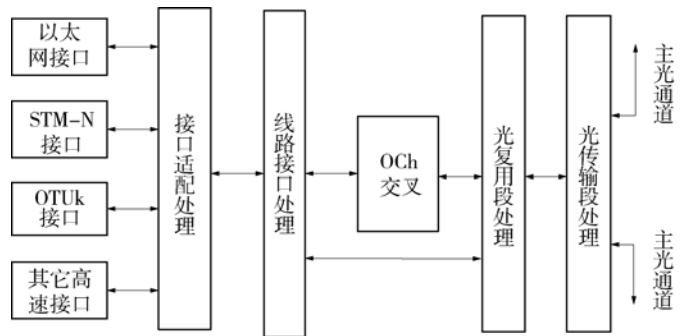


图 4 OTN 光交叉调度设备的功能模型

Fig. 4 Functional Model of OTN Optical Multiplex Device

OTN 光电混合交叉设备就是将电交叉设备与光交叉设备相结合，同时提供 ODUk 电层和 OCh 光层调度^[7]。设备功能模型如图 5 所示。

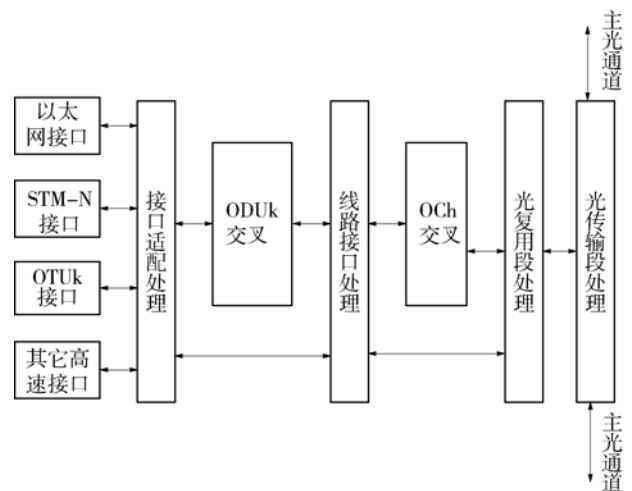


图 5 OTN 光电混合交叉调度设备的功能模型

Fig. 5 Functional Model of OTN Photoelectric Commixture Device

3.2 OTN 交叉技术比选

交叉技术的选择将影响设备选型，对工程投资有着很大的影响，主要关注有以下几个问题。

3.2.1 波长阻塞

商用波长转换技术的欠缺导致了在光交叉设备的使用中，多个方向的不同波道无法交叉到同一个方向，于是产生了波长冲突/阻塞的问题^[9]，光交叉节点较多时将约有 20% ~ 25% 数量的波长产生冲突情况^[6]，波长调度的灵活性受到了一定的限制。

光电混合交叉使用 ROADM 模块处理光层调度，同样存在波长阻塞问题，不过，由于配置了电交叉模块，在波长阻塞发生的时候可以通过电层交

又转换波长,通过增加电层成本的方式解决阻塞。

3.2.2 带宽利用率受限

光交叉设备提供的 OCh 光层调度能力以波长为颗粒进行处理,无法实现 ODUk 级别处理,对于电力通信业务侧常用的 GE, 2.5 Gb/s 链路无法实现汇聚处理,带宽利用率受到了一定的限制。

3.2.3 保护和恢复功能受限

光交叉设备及光电混合交叉的 ROADM 模块没有对信号进行再生,工作和保护路径在配置后无法随意变更。如发生突发灾害引起已有路由中断,应急光缆路由增长,由于光信噪比(OSNR)、色度色散、差分群时延(DGD)等光链路指标变化,原有端到端的业务配置可能无法工作,需要重新调整网络设备的配置。此外,如果开通 ASON 功能,业务中断后动态选择的路由将很可能无法开通,限制了动态重路由恢复功能,结合部分光链路长度较长的实际情况,无法任意选择路由进行 ASON 业务恢复。

电交叉设备或者光电混合交叉的电层模块可以实现信号的 3R 再生,可以有效解决这个问题。

不过,在一个光电混合交叉设备组网的 OTN 网络中,光链路出现故障时,光层和电层各自的保护机制都会响应和动作,需要一个协调和控制机制。一般采用以下 3 种机制:先光层再电层、先电层再光层、光层电层组合调控^[10]

光电混合交叉的这种协调保护方式提高了运维人员对业务保护和恢复的管理要求,加大了人工干预的难度。

3.2.4 扩容不便

在业务的端到端传输中,光交叉设备的中间站点没有进行信号的 3R 再生,OSNR、光传输距离、色散等问题均是初始设计时进行全面的考虑。在电力系统中,变电站解口光缆导致光缆路由增长时有发生,如果后期光缆长度发生变化,设计人员需要结合前期资料重新进行设计和规划,原有光放大可以连通的链路可能需要经过电层的 3R 再生才能开通,有可能需要调整原网络设备的配置,增加了网络扩容的难度。因此,光交叉设备在组建大型端到端的复杂波长网络时有一定困难^[10]。

3.2.5 传输时延

电交叉设备要经过 OEO(光-电-光)的转换,延时相对较大,电交叉将产生异步映射,对于端

端业务将增加累计的时延^[6]。根据测试业务上下需要大约 200 us/次^[9],网络中经过的电交叉跳数越多,累计时延越大。对于时延敏感的承载业务,选用电交叉技术需要考虑时延问题。

6) 交叉矩阵冗余保护

主流电交叉设备均可配置冗余的电交叉矩阵,交叉单元 1+1 或 M:N 冗余,但无论是光交叉设备还是光电混合交叉设备的 ROADM 模块,光交叉矩阵无法实现冗余保护。

综上所述,三种交叉技术的比较如表 1 所示。

表 1 交叉技术比选
Table 1 Cross Technology Comparing

表目	光交叉	电交叉	光电混合交叉
波长阻塞	有	无	有
带宽利用率受限	有	无	无
保护和恢复受限	有	无	有
设备功耗大	无	有	有
扩容不便	有	无	有
传输时延	较小	较大	较大
交叉矩阵冗余保护	无	有	无

结合广东电力的应用实际,该工程选择了全电交叉设备。

4 网络保护方式分析

电力通信网作为保障电网安全的重要支撑设施,对于业务的保护需要重点关注。完全双路径 1+1 保护业务的配置方式尽管占用较多的网络资源,但是会明显降低业务风险,即使一条链路承载较多的业务数量,也不会显著影响业务风险^[11]。本节针对 OTN 光传送网的保护方式进行分析和比选。

4.1 保护方式种类

OTN 定义了线性保护和环网保护 2 种保护类型,线性保护可分为光层保护(OLP、OMSP、OCP)与电层保护(ODUk SNCP),环网保护可分为光通道共享保护环、ODUk 环网保护^[12]。结合广东电力的光缆现状,OTN 网络没有采用环网结构,以下针对线性保护进行介绍。

4.1.1 光缆线路保护(OLP)

OLP 保护光传输段(OTS)的光缆,主用光缆中断后自动切换到备用光缆,实现对线路信号的保护,保护原理如图 6 所示。

OLP 保护主要有 1+1 和 1:1 保护工作方式,

包括下列要求：

1)1 + 1 保护采用分光的方式，发光功率一分为二，同时在工作和保护光纤，接收端择优选取信号。

2)1 : 1 保护采用选发选收的方式，所有发送信号沿工作光纤传输。收端和发端需要 APS 协议判断采用主用光纤还是保护光纤。

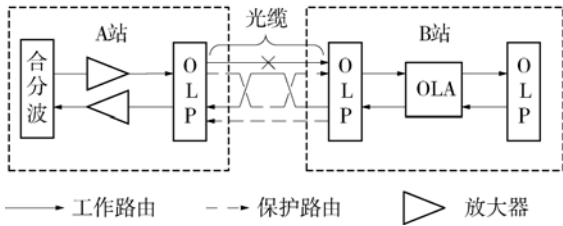


图 6 OLP 保护方式示意图
Fig. 6 OLP Protection Mode

4. 1. 2 光复用段保护 (OMSP)

OMSP 保护在光复用段的 OTM 节点间采用 1 + 1 保护，是对光复用段 (OMS) 的光缆和光放大器同时进行保护。发送端采用分光的方式，发光功率一分为二，分别在工作和保护的复用段传输；在接收端采用光开关择优选取信号。发生故障时，接收端通过光开关进行倒换，无需 APS 协议。保护原理如图 7 所示。

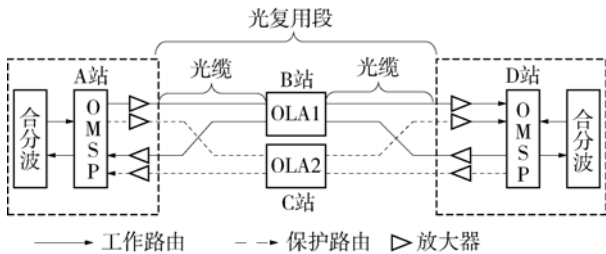


图 7 OMSP 保护方式示意图
Fig. 7 OMSP Protection Mode

4. 1. 3 光通道层保护 (OCP)

OCP 保护是基于单个波长光通道的保护，可在光通道实施 1 + 1 的保护。

光通道 1 + 1 保护将客户侧信号输入到 OTN 系统的不同 OTU 中，采用 OCh 信号并发优收来保护客户侧信号，保护原理见下图所示。该保护方式不需要 APS 协议，保护倒换时间小于 50ms，保护原理如图 8 所示。

4. 1. 4 ODUk SNCP 保护

ODUk SNCP 是一种专用点到点的保护机制，

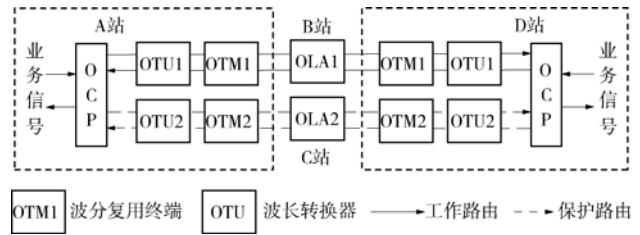


图 8 OCP 1 + 1 保护方式示意图

Fig. 8 OCP Protection Mode

用于保护一个通信网或多个通信网内一部分路径的保护，保护倒换时间应小于 50 ms。

ODUk 1 + 1 SNCP 保护如下图所示，发送端在电层将信号通过不同的路径发送到接收端，接收端择优选取信号，保护倒换动作只发生在接收端。保护原理如图 9 所示。

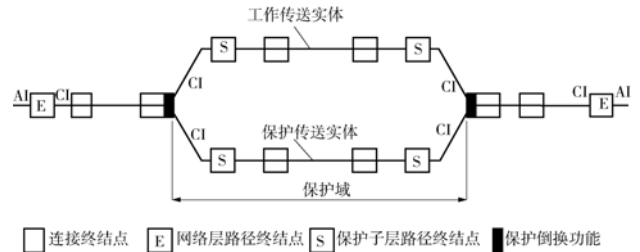


图 9 ODUk 1 + 1 SNCP 保护示意图

Fig. 9 ODUk 1 + 1 SNCP Protection Mode

4. 2 保护方式比选

以上几种保护方式主要比选如下：

OLP 保护需要设置主备纤芯，且主备纤芯的长度差距不宜过大，对于组网链路的纤芯资源比较紧张的链路，慎用 OLP 保护；OLP 保护将加大光链路插损，对长距离链路需要更大的光链路衰耗。

OMSP 保护需要在发送端使用光分路器进行分光，在接收端采用光开关优选，光分路器或光开关将可能成为新的故障点。

OCP 保护基于波长，它将整个 10 G/100 G 单波实施保护，无法基于特定业务实施保护。

OLP、OMSP、OCP 均属于光层保护，分别保护光传送段、光复用段和单波波长。

ODUk 1 + 1 SNCP 保护属于电层的保护，可针对任意拓扑结构，并为各种业务颗粒提供保护，减少波道资源浪费；但光交叉设备无法使用。

保护方式的选择需要结合网络结构、业务特征和用户运维习惯等多方面进行选择，不可一概而论。一般而言，传输干线或者业务起点终点比较统

一的网络,宜考虑光层保护,业务颗粒较多且各业务重要性有所差异的网络,可考虑电层保护。结合广东电力的特点,本工程选用了 ODUk 1+1 SNCP 保护方式。

5 应急波道的应用

广东电力 OTN 光传送网的设计中,每条光链路预留了 2 个 ODU 2(10 G)波道作为应急波道,这些应急波道除了用于 OTN 网本身的应急和网络维护使用,也将作为极端情况其它传输网的应急保障。

应急状态下,在 OTN 设备的用户侧以 2.5 G/10 G 的光通道为颗粒开通任意两个 OTN 站点之间的端到端应急通信通道,为 MSTP 传输网络提供 1:1 的业务带宽,满足应急通信需求。

例如,在基建工程实施过程中,新建变电站解口了已有光缆,临时中断了其它站点之间的过路业务,造成 MSTP 传输网的业务临时中断,可以通过 OTN 光传送网提供 ODUk 通道来恢复传输链路。示例如图 10, A 站点经 C 站点到 B 站点的 MSTP 业务,由于 BC 站点之间的光缆解口被临时中断, A 站点将业务临时接入站内的 OTN 设备的业务支路卡,开通 A 站点迂回其它站点到达 B 站点的 10 G/2.5 G 光通路,再从 B 站的 OTN 设备下业务,可在施工期间对原有业务进行恢复和保障,减少业务调整,有效提供 OTN 网的资源利用率。

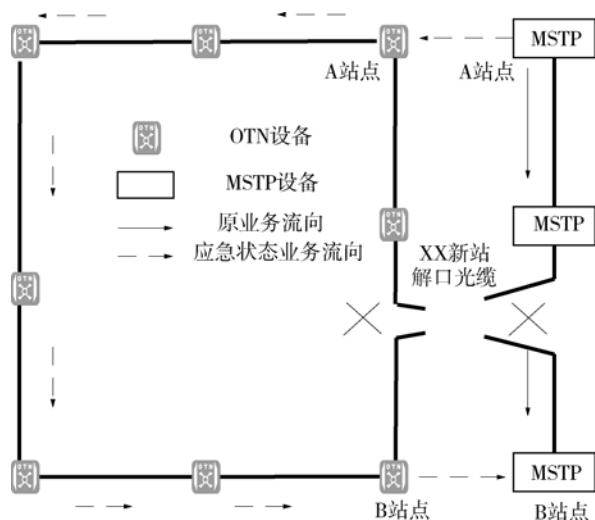


图 10 MSTP 备用链路示意图

Fig. 10 MSTP Backup Link Sketch Map

6 结论

电力 OTN 光传送网的建设要求安全可靠,架构清晰,技术先进并预留良好的扩容能力。本文结合广东电力 OTN 网的建设经验,结合业务流向和光缆可靠性选择组网结构,采用核心层、骨干层、接入层的三层结构,核心和骨干之间采用多点接入,骨干层之间采用 MESH 组网,骨干和接入之间采用两点接入的方式,形成一个可靠的物理网架。

本文对 OTN 交叉技术、网络保护技术进行深入分析和比选,在考虑传输时延满足业务要求的前提下,采用了全电交叉技术和 ODUk SNCP 保护方式,提供灵活的调度能力和保护颗粒,方便其它工程对网络结构的调整实施,并提出了应急波道的一种应用方式,充分利用 OTN 光传送网的大带宽,确保电力安全生产运行。

参考文献:

- [1] 蒋兴强. OTN 技术在广西电网通信系统中的应用研究 [J]. 通信世界, 2014(23): 31-34.
- [2] 梁婧, 秦森. 光传输网 OTN 技术在省级电力传输网中的应用 [J]. 电力建设, 2013(3): 45-49.
- [3] 林航. 大容量骨干光传输网络规划与建设 [J]. 电力信息与通信技术, 2015(1): 32-35.
- [4] 张海波, 乔涵, 李雅洁. OTN 技术在新疆电力传输网中的应用研究 [J]. 中国新通信, 2015(1): 74-78.
- [5] 李兴毅, 陆大庆, 贺鲲. 广电省干传输建设 OTN 模式探讨 [J]. 电视技术, 2015(2): 23-26.
- [6] 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(6): 9-14.
- [7] YD/T 1990-2009, OTN 网络总体技术要求 [S].
- [8] 张博, 白文其. OTN 智能光网络关键技术研究 [J]. 电信技术, 2015(3): 41-43.
- [9] 梁昕, 张帆. 电力通信中 OTN 交叉技术的分析探讨 [J]. 华北电力技术, 2012(6): 48-52.
- [10] 李允博. 光传送网(OTN)技术的原理与测试 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [11] 丁慧霞, 高会生, 王法宁. 链路失效的电力 OTN 业务风险分析 [J]. 光通信技术, 2015(8): 40-43.
- [12] YD 5092-2014, 波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范 [S].

(责任编辑 郑文棠)