

# Power OTN Network Section-Coding Wavelength-Channel Planning Method

Jiangsheng Li

State Grid Economic Technology Institute Limited Company, Beijing  
Email: lijiangsheng@chinasperi.sgcc.com.cn

Received: Jan. 24<sup>th</sup>, 2018; accepted: Feb. 5<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 12<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

With the rapid development of power information, the information requirements are growing in the production and management of electric power enterprises. And the two issues of related SDH technology have become increasingly prominent in its transmission bandwidth and network expansion. In order to meet the demands of the future clean energy access, the energy strategy development, and the big data & cloud computing interconnection, the domestic power enterprises have implemented the construction of OTN network, which is characterized by high-speed accessing, flexible scheduling and secure managing. Based on the practices of power OTN projects, this paper proposed a section-coding wavelength-channel planning method, which is of the features in both practicing simply and calculating accurately. Firstly, the paper described the OTN planning methods in the view of its network advantages, which included services' requirement statistics, section-coding steps, wavelength-channel planning principle and its configuration. Then, according to the actual services' demand, the proposed method implemented OTN wavelength-channel planning by section-coding operation to achieve the accurate on-demand wavelength-channels allocation, which may ensure both services' Quality of Service and the effectiveness of the related investment in ONT planning period.

## Keywords

Wavelength-Channel Planning, Optical Transport Network, Network Planning, Power Communication

---

# 电力OTN网络断面编号波道规划方法

李疆生

国网经济技术研究院有限公司, 北京  
Email: lijiangsheng@chinasperi.sgcc.com.cn

收稿日期: 2018年1月24日; 录用日期: 2018年2月5日; 发布日期: 2018年2月12日

## 摘要

随着电力信息化的不断发展,电力企业在生产和管理方面的信息化需求不断增长,用于信息通信传输的相关电力SDH网络技术,在传输带宽和网络扩容两方面的问题日渐突出。为满足未来清洁能源接入、能源互联战略发展、大数据云计算联网的需求,国内电力企业已经陆续开展高速率接入、灵活调度、管理安全的OTN网络建设工作。本文以电力OTN网络建设工程实例为基础,提出一种简便实用且计算准确的断面编号波道规划方法。首先从OTN技术网络优势着手,通过业务需求统计、断面编号步骤、波道规划原则及波道配置方面进行规划方法的阐述;其次所提方法通过断面编号方法进行OTN网络波道规划,实现根据业务实际需求完成准确的按需配置波道,保证电网业务服务质量的同时保证网络规划期内的投资有效性。

## 关键词

波道规划,光传送网,网络规划,电力通信

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当前我国能源战略的调整使电力基础网络的结构也在发生着变化,可再生能源、分布式电源、智能电器等技术不断进步,促进了能源开发、配置和消费方式的变革,我国的“互联网+”战略更是促进了以云计算、物联网、大数据为代表的新一代信息通信技术与电网基础设施的高度融合,这些新技术已深刻改变了电力行业的传统业务形态和运作方式,也更有利地促进了电力信息通信技术的进步和发展[1][2]。

随着坚强智能电网的深入建设,电力企业的建设、运行、生产、营销、管理等各类电力通信业务不断向信息化、智能化方向发展,使得电力通信网带宽需求明显增长,通信系统实时性和可靠性要求也不断提高[3][4]。为解决原有电力骨干SDH(同步数字体系, Synchronous Digital Hierarchy)通信网的传输带宽瓶颈,满足信息灾备、客户服务、运营监测(控)等多类型电力通信业务增长需求,电力企业不断探索适用灵活接入的大容量骨干光通信技术,以OTN(光传送网, Optical Transport Network)为代表的骨干光传输技术正被逐步引入电力骨干通信网中,逐步成为解决省际、省级骨干网传输瓶颈的重要技术手段。本文将结合实际OTN网络建设工程作为案例演示,阐述OTN网络断面编号波道规划方法,为今后电力OTN网络建设提供可借鉴的波道规划方法。

## 2. 电力OTN技术应用分析

电力通信网作为电网不可分割的重要组成部分,随着电网发展不断完善,现已基本形成结构清晰的三层骨干通信网络架构,即省际骨干通信网、省内骨干通信网、地市骨干通信网。以光纤为传输手段的SDH技术已经被广泛应用到各级电力骨干通信网中,构成了电力通信传输的基础网络,为电力系统各类应用提供传输通道和专线服务。但随着智能电网的发展,大量IP数据业务快速增长,作为支持电路方式的SDH技术弊端很大程度上限制了大容量数据业务的长距离传输,灵活度较差、基于同步工作、设备成本较高都逐渐成为电力骨干通信网发展的障碍。近年来,智能电网建设和企业信息化发展,生产和管理

的各种数据信息、视频流媒体等 IP 业务不断增加,使原有 SDH 体系架构的电力骨干通信网承载能力呈现出滞后现象。伴随着未来新能源的接入、能源互联网的发展,电力 IP 化数据通信业务将不断增长,各级骨干光通信网必须向容量大、动态灵活、生存性强的方向演进。通过 OTN 技术的应用,可有效解决原有电力 SDH 骨干通信网的传输瓶颈现象突出、网络扩容难度大、传输效率低等问题,满足电力通信专网业务骨干传输需求,实现电力骨干通信网具备较强的可持续发展能力。

### 3. OTN 技术简述

OTN 是以波分复用技术为基础、在光层组织网络的传送网,可以简单理解为是 SDH 和 WDM (波分复用, Wavelength Division Multiplexing) 技术优势进行有效继承和组合,具备组网功能应用的大带宽光传输技术,主要被应用在干线层面和城域核心层面,能够实现灵活的业务接入、大容量的透明传输、高性能的网络组织管理,是承载宽带 IP 业务的理想平台[5] [6]。

OTN 具有传输容量大、较完善 OAM (操作维护管理, Operation Administration and Maintenance) 功能、接入灵活、安全稳定等特点,其核心技术和标准现阶段已经发展比较成熟,国内外主流设备厂家 OTN 设备也已被广泛商用。OTN 的主要特点包括[7] [8] [9]:

◆在传输客户信号时不更改其净荷和开销信息,支持如 SDH、SONET(同步光纤网络, Synchronous Optical Network)、ATM(异步传输模式, Asynchronous Transfer Mode)、GFP(通用成帧规程, Generic Framing Procedure)、虚级联等多种客户信号的映射;自身的异步映射模式保证了客户信号定时信息的“透明”,具备多种客户信号的封装和透明传输功能。

◆在电层能够支持以 ODU (光通路数据单元 Optical Channel Data Unit)  $k$  ( $k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4, flex$ ) 为颗粒的时分复用的子波长业务调度;在光层上,能够通过 ROADM (可重构光分插复用器, Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer) 实现基于多维度频分复用的波长调度,使得 OTN 设备具备高速、高效的多粒调度能力。

◆在 ODU $k$  开销中设置了 6 级串联连接监测字节,能够对故障或误码基本定位,有利于实现多设备商/多子网的环境分级和分段管理,为跨设备商的连接性能提供了有效的监视手段。

◆具备电层的快速保护倒换机制和光层的波长调度机制,可以采用 1+1、1:1、1:N、Mesh 等网络保护方式,完成波长或子波长在 50 ms 内的保护倒换,满足电层和光层的双层保护,实现 OTN 的快速网络保护和恢复功能[10]。

OTN 的技术优势可以在提升电力通信网传输容量同时,进一步提高骨干架构的结构安全。

### 4. 业务需求

为了能够充分发挥 OTN 技术的优势,在电力 OTN 网络建设和后期运行管理过程中应避免传输资源的浪费,特别是在前期规划设计阶段应做到传输资源的合理分配。而 OTN 网络的规划设计是一个从电层满足业务需求到光层实现网络传输的系统工作,波道的合理规划对实际网络工程的设计和建设,以及后续网络投运后的维护至关重要。因此,在进行前期波道规划设计时,应明确 OTN 网络承载的业务种类和需求,并根据实际业务的需求合理配置波道资源。

以 X 电力企业 OTN 骨干网络(图 1)为例,其主要通信节点为容灾节点、电力企业总部、各地电力公司、各电力公司通信第二汇聚点和部分直调变电站。主要业务需求为通信数据骨干网业务、信息内网业务、部分调度数据网业务等。业务颗粒主要以 GE(千兆以太网, Gigabit Ethernet)、2.5 G 和 10 G 为主。

**通信数据网。**电力通信数据网主要承载了电网调度管理、办公自动化、企业信息化、电力营销、视频监控等管理信息大区业务。作为电力骨干 OTN 网主要的传输业务,电力企业大量的管理信息业务需要通过 OTN 的透明通道实现长途干线的数据网络联通。

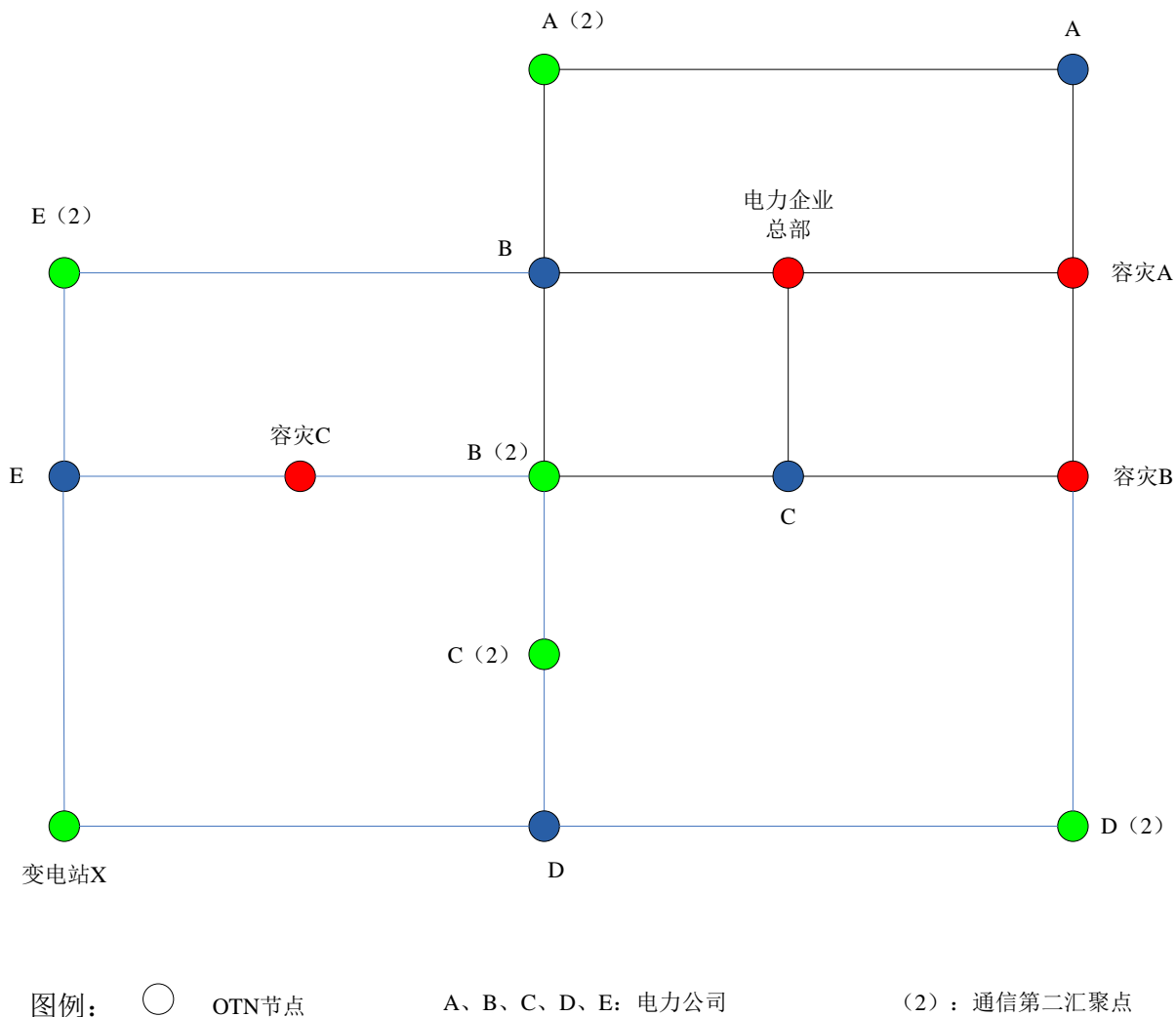


Figure 1. Diagram of power backbone OTN network  
图 1. 电力骨干 OTN 网络示意图

**信息内网。**电网企业内部各机构相互进行通信联系的专用网络。为缓解电网企业分支机构对信息内网的需求，避免占用宝贵的电力长途光缆纤芯资源，利用电力 OTN 网为其提供“透明”的光通道，组建基于 OTN 的分支机构骨干网。

**调度数据网。**电网生产环节的重要通信网络，主要了承载调度自动化、故障录波等生产控制类业务，以变电站需求为例，可通过 OTN 光传输平台承载部分调度数据网业务。

以部分站点的上述三类典型业务为例，X 电力企业 OTN 骨干网络速率需求如表 1 所示。

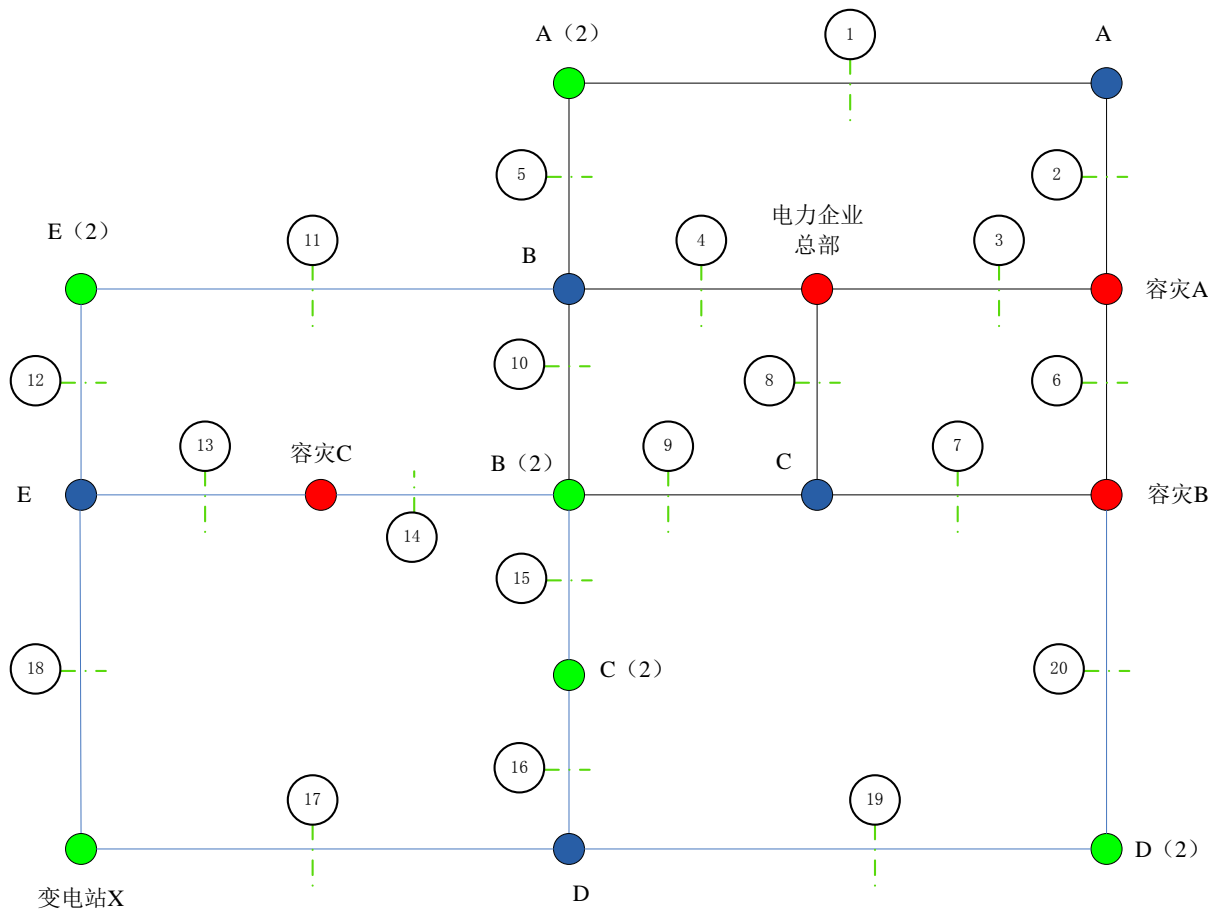
根据业务分析可以看出最大接入带宽需求 10 G、最小接入带宽需求 155 M。对于电力专网用户而言，电力通信业务种类相对固定，出现带宽需求爆炸性增长的周期比较长。因此，配置单波 10 G 的 OTN 系统即可，一方面容易识别每波业务内容，另一方面便于对业务进行整波的调度和管理。

## 5. 网络断面编号

首先，根据已有的电力骨干光缆网络结构及网络资源情况，对主要通信节点及交叉节点间的各复用段进行断面划分和断面编号[11]。如图 2 所示。

**Table 1.** Services' requirement  
**表 1.** 业务需求表

数据通信骨干网			数据通信骨干网					
源端	宿端	接口速率	源端	宿端	接口速率			
A	总部	10 GE	容灾 B	容灾 C	10 GE			
A	容灾 A	10 GE	容灾 C	容灾 A	10 GE			
A	容灾 B	10 GE	分支机构信息内网					
A(2)	A	10 GE				源端	宿端	接口速率
A(2)	容灾 A	10 GE				A	总部	10 G
A(2)	容灾 B	10 GE				A	A(2)	10 G
B	容灾 A	GE				A(2)	总部	10 G
B(2)	B	GE	B	总部	10 G			
B(2)	容灾 A	10 GE	B(2)	总部	10 G			
B(2)	容灾 B	10 GE	调度数据网业务					
总部	容灾 A	10 GE				源端	宿端	接口速率
总部	容灾 B	10 GE				D 变电站 X	D	155 M
总部	容灾 C	10 GE				D 变电站 X	总部	155 M
容灾 A	容灾 B	10 GE						



**Figure 2.** Section-coding  
**图 2.** 断面编号示意图

第二步, 根据表 1 中各项电力业务流向和骨干通信网传输带宽需求, 依据网络结构确定每条业务的路由组织, 在此过程中尽量采用最短路径方法, 以减少传输通道路径上节点过多(使 OTN 设备及 OTU(光通路传送单元, Optical Channel Transport Unit)光模块数量增加), 造成工程造价中设备购置费的增加[12] [13]。由于电力通信业务的流向相对固定, 属于分级汇聚型业务, 因此, 在进行路径规划时还需要注意多路径承载业务的均衡性, 即规划路径时, 如果光缆资源允许情况下, 尽量避免多方向业务在同一站点汇聚后经单一路径传送。以图 2 中总部至容灾 B 的业务为例, 有多条路径可以作为两点间业务联通路由: 如 3#、6#; 8#、7#; 4#、5#、1#、2#、6#; 4#、10#、15#、16#、19#、20#....., 当采用最短路径方式进行路由组织时, 3#、6#和 8#、7#两种路由最短, 但 3#断面也是总部至容灾 A 的业务路由, 考虑到尽量不与其他业务通道重路由的情况, 最后选择 8#、7#路径作为最终的合理路由, 其他路由由规划以此类推。全网业务路径描述如表 2 所示。

## 6. OTN 波道规划

在进行 OTN 波道规划时, 应提前明确传送业务的需求, 制定波道的复用和分配原则, 以便在工程设计初期进行网络波道规划时有据可循, 同时也有利于 OTN 网络建设中系统联调时的业务核查, 提高后期运维期间进行业务管理和波道调整的工作效率。

### 1) 按需配置

在 OTN 网络工程规划设计时, 线路传输带宽直接影响着波道数量的配置和工程造价, 因此在规划设计时应秉承经济实用, 控制投资的原则, 根据业务带宽实际需求统计结果, 按需进行波道配置, 并根据业务需求和发展规划合理设置业务波道、保护波道和冗余测试波道[13] [14]。以表 1 中 X 电力企业的需求为例, 在 OTN 网络中承载的业务带宽最小为调度数据网业务为 155 M, 最大为分支机构信息内网和数据通信骨干网业务为 10 G/10 GE, 因此, 现阶段每个波道采用最大带宽 10 G 速率的 OTN 系统即可满足需求。

根据 OTN 在传输高带宽、大颗粒 IP 业务方面的优势, 结合案例中 X 电力企业信息化的建设要求, 将企业数据容灾业务及通信数据网业务作为主要承载对象, 采用这样的数据承载方式, 一方面可以保证

Table 2. Business path description

表 2. 业务路径描述示例表

源端	宿端	路径描述	源端	宿端	路径描述
A	总部	2、3	总部	容灾 C	4、10、14
A	容灾 A	2	容灾 A	容灾 B	6
A	容灾 B	2、6	容灾 B	容灾 C	7、9、14
A(2)	A	1	容灾 C	容灾 A	3、4、11、12
A(2)	容灾 A	1、2	A	总部	2
A(2)	容灾 B	5、10、9、7、6	A	A(2)	2
B	容灾 A	4、3	A(2)	总部	5、4
B(2)	B	10	B	总部	4
B(2)	容灾 A	10、4、3	B(2)	总部	9、8
B(2)	容灾 B	9、7	D 变电站 X	D	17
总部	容灾 A	3	D 变电站 X	总部	18、12、11、4
总部	容灾 B	8、7			

企业数据容灾需要,为企业信息化业务应用提供一体化的运行、集成及信息展现环境;另一方面能够满足电力业务不断呈现出的“宽带化、网络化”特点,为企业信息化管理提供基础平台。考虑到今后能源互联网、智能电网建设的发展,后期势必会在电力骨干通信网中增加新的信息通信业务需求,为了保证今后一段时期内网络容量有适度的冗余度,通过对 X 电力企业近三年的带宽增长数据统计和未来五年规划的数据分析,本案例中根据工程建设方的要求,在全网现有已知业务需求基础上,在光传输通道的各复用段再增加配置 2 个 10 G 的冗余波道作为备用,以满足今后一段时间内的扩容需求[15]。

### 2) 波道复用

电力骨干通信网各节点主要业务的传输颗粒度从 155 M 至 10 G 不等,为了充分利用骨干传输带宽资源,在根据数据流向进行 OTN 业务通道组织的时候,应合理选择通道路径,在不影响网络灵活调度的前提下,线路侧波道资源尽量通过业务复用进行整合。对于有业务上下的 OTN 节点,在进行同源同宿的业务通道组织时,小颗粒的业务尽量采用复用的方式进行传输;对于 OTN 电中继节点,终点相同的业务尽量在经过 OTN 电交叉设备时进行复用,将不同业务复用到同一波道内进行传输。采用这种将零散颗粒业务复用后进行线路传输的方式可以很大程度上节省宝贵的线路侧波道资源。

以变电站 X-总部和 B-容灾 A 两项业务为例,变电站 X-总部业务传输路径为 18#、12#、11#、4#,速率需求为 155M; B-容灾 A 业务传输路径为 4#、3#,速率需求为 GE。当 OTN 网络中承载不采用复用方式时,18#、12#、11#、3#这四个断面均各占用一个独立 10 G 的波道,4#断面占用两个独立 10 G 的波道,但采用复用方式时,虽然 18#、12#、11#、3#这四个断面的波道占用情况没有变化,但是 4#断面的 155 M 与 GE 两个不同速率的业务可以进行复用,占用一个 10 G 的波道即可。对于 4#断面而言,在满足业务传输需求的同时,简化了波道配置,进而节约了设备的投资。

### 3) 波道分配

在 OTN 网络中光放设备仅进行光信号放大,不需要进行波道分配,但每个电交叉站节点都要进行光-电-光的转换操作,因此每个电交叉站节点设备都需要在线路侧进行合理的波道分配。以 40 波的 OTN 系统为例,波道分配方式如下:

a) 对两端都为全波段电交叉 OTN 站点的复用段,波长分配由小到大,按照  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  的顺序递增。如图 3 所示。

b) 对三个方向的 OTN 电交叉站点,波长分配由小到大。对两个透传方向(线路侧)的波道,透传波道按照  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  的顺序递增至  $\lambda_{30}$ ,进入电交叉矩阵的波道按照  $\lambda_{31}$ 、 $\lambda_{32}$ 、 $\lambda_{33}$  的顺序递增至  $\lambda_{40}$ 。对一个非透传方向(支线侧)的波道,按照  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  的顺序递增至  $\lambda_{40}$ 。如图 4 所示。

## 7. 断面带宽计算及波道配置

当单波速率确定后,就可依照波道规划原则进行具体的波道计算。根据业务需求的分析结果,在全网拓扑结构断面划分和编号基础上,增加冗余通道后,通过下列公式计算出各断面传输带宽容量。

$$\text{断面传输带宽容量} = \sum(\text{实际接口带宽} + \text{冗余带宽}) \quad (1)$$

其中:

$$\text{实际接口带宽} = \sum(\text{数据通信骨干网} + \text{分支机构信息内网} + \text{调度数据网业务}) \quad (2)$$

按照单波道容量 10 G 的原则,通过下列公式采用向上取整的计算方法统计出波道的数量/断面,并顺序规划波道编号[16]。

$$\text{断面波道数量} = \lceil (\sum \text{断面传输带宽容量}) / 10 \rceil \quad (3)$$

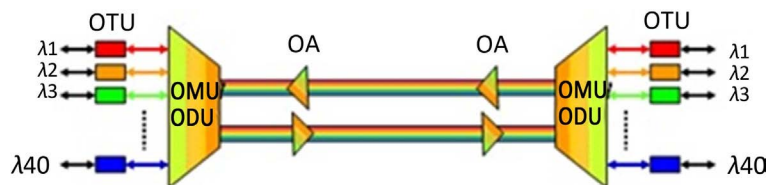


Figure 3. End to End OTN electrical cross site distribution channel  
图 3. 端到端 OTN 电交叉站点波道分配图

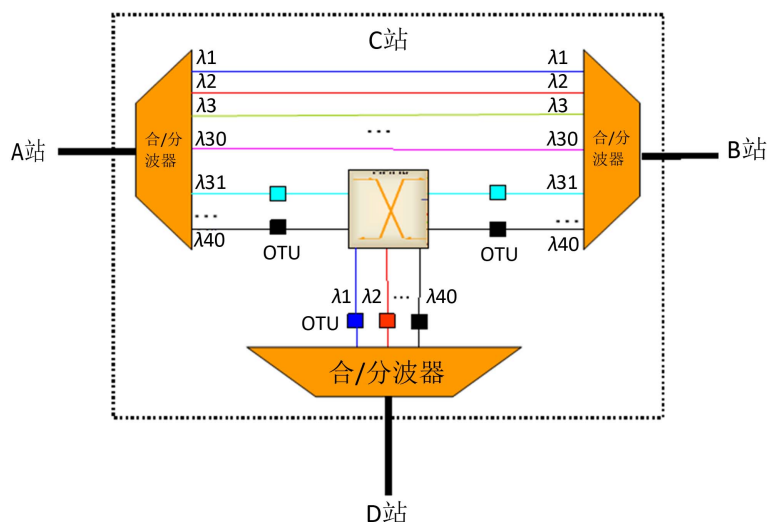


Figure 4. Three direction OTN electrical cross site distribution channel  
图 4. 三方向 OTN 电交叉站点波道分配图

以案例中 X 电力企业 OTN 网络为例，通过计算，其断面传输带宽需求及波道规划示例结果如表 3 所示。

根据各断面的波道数量，即可以准确得出每一个 OTN 节点设备的波道配置数量。以 3 个光方向的“总部”站点波道配置为示例，如图 5 所示，多个光方向的站点波道配置以此方法类推。“总部”节点有三个断面，波道数量分别为：3#断面容灾 A-总部 = 6 波(即 10 G 的 OTU 模块需要 6 块)、4#断面 B-总部 = 8 波(即 10 G 的 OTU 模块需要 8 块)、8#断面 C-总部 = 4 波(即 10 G 的 OTU 模块需要 4 块)，则“总部”节点配置的总波道数量 = 6 + 8 + 4 = 18，相对应本节点配置的 10 G OTU 模块数量为 18 个。

## 8. 断面编号规划方法应用效果

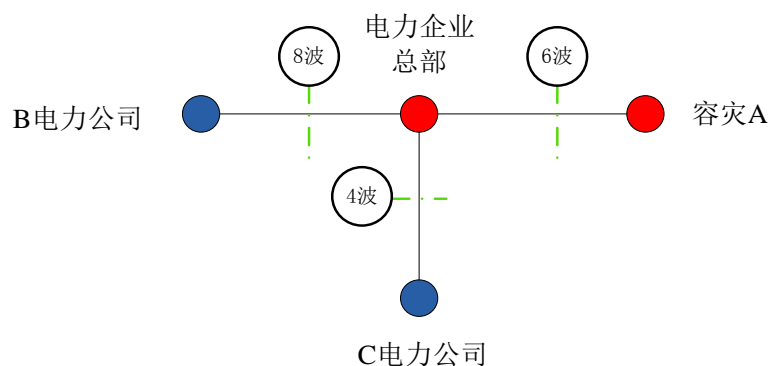
通过电力 OTN 网络断面编号波道规划方法进行波道规划，实现了 OTN 工程建设时按需配置波道的目的，在满足电力 OTN 网络业务需求的同时，兼顾未来业务与网络的发展。在规划设计前期阶段，采用此方法进行 OTN 站点的差别化配置，既能保证了骨干网的传输容量又可以节约网络建设投资。本案例中通过电力 OTN 网络断面编号波道规划方法，完成了在工程前期可研设计和后期的工程初设阶段的精准波道配置，共新建 OTN 骨干网络节点近 300 个，实现了 X 电力企业 OTN 骨干网络组织，覆盖了总(分)部、容灾中心、省级公司和重要通信节点，将电力骨干通信网承载能力从原来的 2.5 G/10 G 提升到 400 G，在缓解电力骨干光缆纤芯资源紧张的同时，优化了电力骨干通信网络结构。

随着云计算、物联网、大数据，移动通信不断融入到电力信息通信领域，电力骨干通信网的带宽需求将会不断增长，各电力企业的 OTN 网络建设需求也会相应增加。通过实际工程证明，OTN 波道断面编号规划方法可以提供准确而便捷的波道规划思路，目前也已经被多家电力规划设计单位所借鉴，并取得了很好的应用效果[17]。



**Table 3.** Bandwidth and channel statistics section planning  
**表 3.** 断面带宽统计及波道规划表

断面编号	源端	宿端	接口需求(Gb/s)	冗余(Gb/s)	总计(Gb/s)	波道数量	波道编号
1	A(2)	A	20	20	40	4	$\lambda_1-\lambda_4$
2	A	容灾 A	60	20	80	8	$\lambda_1-\lambda_8$
3	容灾 A	总部	31	20	51	6	$\lambda_1-\lambda_6$
4	B	总部	51.155	20	71.155	8	$\lambda_1-\lambda_8$
5	A(2)	B	20	20	40	4	$\lambda_1-\lambda_4$
6	容灾 A	容灾 B	30	20	50	5	$\lambda_1-\lambda_5$
7	C	容灾 B	40	20	60	6	$\lambda_1-\lambda_6$
8	C	总部	20	20	40	4	$\lambda_1-\lambda_4$
9	C	B(2)	40	20	60	6	$\lambda_1-\lambda_6$
10	B	B(2)	21	20	41	5	$\lambda_1-\lambda_5$
11	B	E(2)	10.155	20	30.155	4	$\lambda_1-\lambda_4$
12	E	E(2)	10.155	20	30.155	4	$\lambda_1-\lambda_4$
14	B(2)	容灾 C	20.155	20	40.155	5	$\lambda_1-\lambda_5$
17	D 变电站 X	D	0.155	20	20.155	3	$\lambda_1-\lambda_3$
18	D 变电站 X	E	0.155	20	20.155	3	$\lambda_1-\lambda_3$



**Figure 5.** Three-direction site channel configuration  
**图 5.** 三方向站点波道配置示意图

## 9. 结论

从电力产业的发展来看，电力通信网一直是提供通信服务的支撑网络，但是网络所承载的业务却关乎生产、安全、调控、检测、营销、企业管理等各个方面的信息。OTN 作为现阶段电力骨干通信网发展的重要技术手段，其网络规划的是否合理至关重要[18]。通过 OTN 网络建设实际案例很好地验证了电力 OTN 网络波道断面编号方法的可用性，为大范围开展的电力 OTN 网络建设提供规划思路，对未来能源互联网，高比例清洁能源接入等诸多新型信息业务的接入提供规划方法。当然，OTN 网络规划是一个繁琐的工作，在实际工作中不止进行波道规划，还会涉及网络保护方案、板卡配置、技术指标等诸多规划环节，与此同时也会存在着不同厂家、不同设备互联互通的匹配问题等，在实际实施过程中也应当引起注意。

随着 IP 化的不断发展, 光通信技术的不断进步, 现有 400 G 容量的 OTN 技术会被更高传输容量的新技术所替代, 建议进行更深层的规划方法研究, 开发功能更加强大, 使用更加便捷的规划设计软件, 为 OTN 网络的规划设计提供更加有效的辅助手段, 满足未来更大规模、更高速率的电力通信网络建设。

## 基金项目

国家电网总部科技项目(SGKJ20161023)。

## 参考文献 (References)

- [1] 车全江, 葛文萍, 赵俊飞, 李艳超. WDM 光网络中基于概率感知的改进动态 RWA 算法[J]. 激光杂志, 2014(9): 79-81.
- [2] 孙毅, 周爽, 陆俊, 孙跃, 杜娜. 电力骨干光传输网络的动态波道均衡路由波长分配算法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(13): 114-120.
- [3] 李伟, 丁一新, 贾平, 江淞. 省级电力光传输网建设与优化[J]. 电力信息与通信技术, 2014, 12(10): 18-24.
- [4] 陆俊, 张旭, 徐志强, 丁闯. 基于最小环收缩的电力 OTN 网络节点评估方法[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(8): 49-54.
- [5] 周静, 刘贵荣, 赵子岩, 陈希. 电力骨干通信网资源优化配置与仿真研究[J]. 光通信技术, 2011, 35(2): 34-36.
- [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, 33(6): 9-14.
- [7] Kermarrec, A.M., Merrer, E.L., Sercola, B., *et al.* (2011) Second Order Centrality: Distributed Assessment of Nodes Criticality to Complex Networks. *Computer Communications*, **34**, 619-628.  
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2010.06.007>
- [8] Ramaswami, R. and Sivarajan, K.N. (1995) Routing and Wavelength Assignment in All-Optical Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, **3**, 489-500. <https://doi.org/10.1109/90.469957>
- [9] Chatterjee, B.C. and Sarma, N. (2012) Priority Based Routing and Wavelength Assignment with Traffic Grooming for Optical Networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, **4**, 480-489.  
<https://doi.org/10.1364/JOCN.4.000480>
- [10] Zhang, M.Q. and Wu, X.G. (2011) Evaluating Node Importance in Complex Networks Based on Factor Analysis. *International Conference on Computer Science and Network Technology*, Harbin, 24-26 December 2011.
- [11] Leesutthipornchai, P., Wattanapongsakorn, N. and Charnsripinyo, C. (2009) Multi-Objective Routing Wavelength Assignment in WDM Network Using SPEA2 Approach. *9th International Symposium on Communications and Information Technology*, Icheon, 28-30 September 2009, 1057-1062.
- [12] Yang, X., Shen, L. and Ramamurthy, B. (2005) Survivable Lightpath Provisioning in WDM Mesh Networks under Shared Path Protection and Signal Quality Constraints. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, **23**, 1556-1567.  
<https://doi.org/10.1109/JLT.2005.844495>
- [13] 田相轩, 杨君刚, 车雅良, 牛俊勇, 刘故箐, 王新桐. 多域光网络中基于优先级的波长路由分配算法[J]. 电子学报, 2014, 42(4): 625-632.
- [14] 刘超. DWDM 系统波道优化及路由改进[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [15] 孙广普. 传输城域波分网络保护机制研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [16] 梁建武, 易辉, 刘超. 动态 RWA 算法的一种改进与实现[J]. 微计算机信息, 2011, 27(12): 120-122.
- [17] 李萌. OTN 的规划与设计[J]. 邮电设计技术, 2013(6): 63-66.
- [18] 史开学. 城域 OTN 网络电路规划探讨[J]. 信息通信, 2014(1): 181-182.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3983，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjwc@hanspub.org](mailto:hjwc@hanspub.org)