

# OTN 技术在骨干电力通信网中的部署与优化

路宏勇

国网石嘴山供电公司 宁夏 石嘴山 753000

**【摘要】**：电力调度控制与生产管理业务对通信网络的可靠性与承载能力提出更高要求，传统传输体系在带宽扩展与精细化调度方面逐渐显现局限。针对骨干电力通信网结构分层明显、业务类型多样及安全等级严格等特征，构建分层化 OTN 传送架构，优化核心与汇聚节点部署方式，完善电层交叉与光层调度协同机制。在此基础上，提出面向关键业务的带宽精细化配置策略与多级保护结构设计方案，强化跨区域资源协同与运行监测能力。经综合评估，优化后的 OTN 体系在传输效率、资源利用率与故障恢复能力方面均表现出良好性能，为骨干电力通信网稳定运行提供可靠支撑。

**【关键词】**：OTN 技术；骨干电力通信网；组网部署；网络优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.069

## 1 骨干电力通信网承载需求与结构特征

### 1.1 电力核心业务对通信性能的约束

调度自动化系统、继电保护装置、广域测量系统及变电站综合自动化平台对通信链路的时延、抖动和误码率提出严格指标，要求毫秒级响应与高精度时间同步能力。生产控制类数据具有强实时性与确定性特征，一旦出现丢包或时延波动，可能影响电网安全运行。电力调度数据流量呈现集中与突发并存的特点，需保障高优先级业务在拥塞状态下的带宽占用与快速转发能力。同时，电力通信网强调物理隔离与逻辑隔离并行，要求传输系统具备精细化颗粒调度与硬切片能力，以实现多业务安全承载和差异化服务保障。

### 1.2 骨干网络拓扑与分层结构特征

骨干电力通信网通常采用省级、地市级和县域级分层架构，上层承担跨区域汇聚与长距离传输任务，下层负责接入与业务分发，形成环网、网状网与链型结构混合部署的拓扑形态<sup>[1]</sup>。核心节点之间通过大容量光纤链路互联，承担大规模业务汇聚与跨区调度数据传输，要求具备高带宽交叉能力与大容量电层交换能力。汇聚层与接入层节点分布广泛，链路跨度大，光纤资源分布不均，网络结构呈现明显的地域分散性与分区管理特征，给统一调度与资源配置带来较高复杂度。

### 1.3 现有传输体系存在的主要问题

传统 SDH 或早期 PTN 系统在固定颗粒带宽分配模式下难以适应电力业务多样化增长需求，带宽利用率偏低，扩容方式依赖物理接口叠加，网络升级成本较高。部分区域链路仍采用环网保护结构，交叉能力有限，难以支撑跨层级业务的灵活调度。网络管理系统之间存在割裂现象，资源视图缺乏统一呈现，影响全网级容量规划与故障定位效率。面对大容量数据采集与高清视频监控业务快速增长，现有体系在高带宽承载与精细化调度方面已显不足。

## 2 OTN 在骨干电力通信网中的体系构建

### 2.1 分层化 OTN 架构设计思路

面向骨干电力通信网的高可靠与大容量需求，OTN 架构设计需与电网分级管理体系相匹配，构建核心层、汇聚层与接入层清晰划分的分层化传送结构。核心层侧重于大容量光电交叉与跨区域干线传输，部署具备高阶 ODUk 交叉能力与大容量背板交换能力的 OTN 设备，实现多方向高速光通道互联。汇聚层承担区域内业务整合与带宽重构功能，通过电层交叉与光层调度协同，实现对下级节点业务的集中调配。接入层则侧重小颗粒业务接入与本地环网互通，强化 GE、10GE 及小容量专线的灵活映射能力。架构设计过程中引入光电混合交叉机制与 ROADM 技术，形成光层与电层协同调度体系，使业务可在不同层级间实现动态重构，提升网络资源利用效率与调度灵活性。同时，结合电力专网安全分区原则，在逻辑层面构建独立承载通道与隔离策略，保障调度数据与生产控制流量的安全传输。

### 2.2 核心节点与汇聚节点部署策略

核心节点部署应围绕省级或区域级调度中心布局，优先选择光缆资源丰富、链路方向多样的枢纽位置，构建多环互联或网状结构，提高跨区域业务的可达性与冗余度。设备选型侧重支持大容量 OTU 接口与高阶电交叉矩阵，满足跨区域大带宽业务汇聚与快速重构需求<sup>[2]</sup>。核心节点间宜采用双路由光纤链路 with 1+1 光通道保护机制，确保关键业务在单点故障情况下仍具备稳定传输能力。汇聚节点部署则结合地市级变电站或区域通信机房布局，强化对下级接入节点的业务整合与带宽汇聚能力。通过在汇聚层配置高密度 ODUk 交叉单元，实现不同优先级业务的精细化调度，并结合链路负载监测功能对带宽进行动态分配。核心与汇聚节点之间形成多链路互备结构，利用光通道保护与电层快速重构技术，实现秒级以内的业务恢复能力。

### 2.3 多业务统一承载模型设计

骨干电力通信网承载业务类型涵盖调度自动化数据、继电

保护信息、视频监控流量及办公信息系统数据,不同业务在带宽需求与时延指标方面差异显著。基于 OTN 电层交叉与精细化颗粒调度能力,可构建统一承载模型,实现不同类型业务在同一传送平台上的隔离与调度。通过 ODUk 虚级联与交叉映射机制,将小颗粒业务进行带宽整合,再以高阶光通道形式进行集中传输,提高链路利用率。针对高优先级业务建立独立逻辑通道,配置专用保护路径与带宽保障策略,确保关键数据在拥塞状态下仍具备稳定传输能力。对视频与数据采集类业务采用动态带宽分配机制,根据流量变化进行实时调整,实现弹性扩展。结合网络管理系统对业务流量进行统一监测与调度控制,使不同业务在同一 OTN 平台上实现安全隔离、统一运维与集中管理,提升骨干电力通信网整体承载能力与运行稳定性。

### 3 面向电力业务的网络资源优化方法

#### 3.1 带宽精细化调度机制

电力调度控制、保护信号与状态监测数据在业务等级与实时性方面差异明显,对传输通道的带宽分配提出差异化要求。依托 OTN 电层交叉与 ODUk 颗粒化映射能力,可构建多级带宽调度体系,将不同优先级业务划分为独立逻辑通道,通过交叉矩阵实现精确到 2.5G 及以下颗粒的带宽分配。对继电保护与调度自动化数据设置固定带宽与专用通道,采用硬管道方式进行隔离承载,避免与普通数据流产生竞争。针对视频监控与大数据采集流量,引入动态带宽调整策略,通过网络管理系统实时采集链路利用率与端口负载情况,结合流量预测模型对 ODUk 资源进行重构配置。在发生链路拥塞或突发流量增长时,系统可依据预设优先级规则自动完成带宽重分配与路径调整,保障关键业务传输质量。通过精细化时隙管理与交叉矩阵优化,降低空闲带宽占比,提高光通道利用效率。

#### 3.2 容量规划与链路配置优化

骨干电力通信网容量规划需结合负荷增长趋势、电网建设规划及业务扩展周期进行综合测算。基于历史流量数据与未来业务模型,建立容量预测曲线,对核心链路与汇聚链路进行分级扩容规划<sup>[3]</sup>。对跨区域干线链路配置大容量 OTU 接口,预留一定比例的冗余带宽用于应急调度与新业务接入,避免频繁硬件扩展带来的资源浪费。链路配置过程中采用多路由设计原则,将重要业务分散至不同物理路径,降低单链路失效带来的影响范围。通过对光纤损耗、色散补偿与链路距离进行精确测算,合理选择放大器与中继设备部署位置,保证信号传输质量。结合电层交叉能力,对低利用率链路进行整合与重构,将零散带宽资源汇聚至高需求方向,提高整体容量利用水平。

#### 3.3 跨区域资源协同调度策略

电力系统跨区域互联程度不断提升,调度数据与控制信号在省际或区域间频繁交换,对网络资源的统一调配能力提出更高要求。依托 OTN 集中网管平台构建全网资源视图,实现各

区域节点的带宽占用、链路状态与保护路径的统一监控。通过跨区域电层交叉与光层调度协同机制,建立可跨域重构的业务通道,当某一区域链路负载升高或出现故障时,可将部分业务迁移至其他可用路径,实现资源共享与负载均衡。对跨区关键业务配置多级保护策略,包括光通道保护与电层快速重构相结合的方式,缩短业务中断时间。结合区域间流量模型与调度策略,动态调整跨域链路带宽分配比例,使网络资源在不同区域之间实现协同优化与均衡配置,增强骨干电力通信网整体运行稳定性与调度灵活性。

## 4 可靠性与保护机制优化路径

### 4.1 多级保护结构设计

骨干电力通信网承担调度控制与生产指挥等关键业务,传输系统必须具备分层分级的保护体系。依托 OTN 光层与电层协同能力,可构建光通道保护、电层交叉重构以及设备级冗余相结合的多级保护结构。在光层面,通过配置双路由光纤与光通道保护机制,实现物理路径隔离,避免单一光缆故障对跨区域业务造成连锁影响;在电层面,利用 ODUk 交叉与快速重构能力建立备用承载通道,使关键业务在主路径异常时能够自动切换至预置逻辑通道;在设备层面,通过主控板、交叉板及电源模块的冗余配置,保障节点稳定运行。多级保护结构强调不同层级之间的协同关系,光层保障链路连续性,电层保障业务连续性,设备层保障节点稳定性,形成纵向贯通、横向互备的可靠性体系。结合电力通信专网分区管理原则,对不同安全等级业务设置差异化保护策略,使高优先级业务具备更高等级的承载保障能力。

### 4.2 故障快速切换机制优化

在复杂拓扑环境下,链路中断、接口异常或设备故障均可能影响业务连续性,快速切换机制成为保障骨干电力通信网稳定运行的关键环节。基于 OTN 电层交叉特性,可构建预配置保护路径与自动重构机制,将关键业务的主备通道在交叉矩阵中预先建立映射关系,当系统检测到告警信号时,自动触发重构流程,实现业务级切换<sup>[4]</sup>。为缩短切换时延,应优化告警上报路径与判决逻辑,通过精简信令流程与缩短判断周期,提高保护动作响应效率。在核心节点与汇聚节点之间建立多路径并行结构,使业务具备多方向可达能力,降低单点异常对网络的影响范围。对跨区域长距离链路,可结合光层保护与电层重构形成双重切换机制,在光层无法完成恢复时由电层完成逻辑重定向,保障关键控制业务不中断运行。

### 4.3 网络运行监测与风险控制

高可靠运行依赖于对全网资源状态的持续监测与风险预判能力。依托 OTN 综合网管平台,可构建覆盖光层与电层的统一监控体系,对光功率、接口状态、交叉矩阵占用情况及保护通道状态进行实时采集与分析。通过对链路质量变化趋势进

行长期跟踪,识别潜在劣化风险,提前安排路径调整与资源重构,降低突发故障对业务的冲击。结合电力通信网分区结构,对不同区域节点建立分级告警策略,关键节点异常信息优先上报并联动触发保护策略。针对跨区域业务,实施端到端通道监测机制,对逻辑通道的完整性与连续性进行校验,避免隐性故障长期存在。通过完善巡检机制与配置一致性校验流程,减少人为操作失误引发的风险,使网络运行状态始终处于可控范围内,保障骨干电力通信网长期稳定运行。

## 5 部署效果评估与运行优化策略

### 5.1 传输效率与资源利用率分析

在骨干电力通信网完成 OTN 体系部署后,需围绕传输效率与资源占用状况开展系统化评估。通过对光通道承载结构、ODUk 颗粒分配情况及交叉矩阵利用水平进行全面梳理,可形成全网带宽使用画像。结合不同业务类型的承载方式,对高优先级控制业务与常规数据业务的通道占用比例进行对比分析,检验带宽精细化调度机制的实施效果。针对核心层大容量光通道,重点评估光层透传效率与电层交叉开销之间的匹配程度,避免因过度电层处理造成传输效率下降。对汇聚层与接入层链路,分析小颗粒业务整合后的带宽填充率,优化虚级联映射策略,减少空闲时隙占比。通过对跨区域链路的负载分布情况进行横向比较,识别局部链路过载或闲置问题,并对光通道配置进行重构调整。综合评估传输路径长度、交叉层级数量及保护路径占用情况,平衡可靠性与资源效率之间的关系,使网络在保障关键业务的同时保持较高的链路利用水平。

### 5.2 系统稳定性与恢复能力评估

系统稳定性评估侧重于对故障响应过程与业务连续性保障能力的检验。围绕光层保护、电层重构及设备级冗余机制,对不同层级的保护动作流程进行实体验证,确认业务在异常情况下的切换路径是否符合预设逻辑。通过模拟链路中断、节点故障及接口异常等场景,观察交叉矩阵重构过程中的业务重定

向状态,检查逻辑通道是否存在冲突或残留映射问题。对关键调度通道开展端到端连通性检测,确保在多级保护切换后仍保持稳定传输质量<sup>[5]</sup>。对跨区域长距离链路进行连续运行状态跟踪,分析保护路径的可用性与占用状态,防止备用通道被其他业务侵占。结合告警记录与恢复流程,评估网络管理系统在异常定位与策略下发过程中的协同效率,检验各节点对保护指令的执行一致性。通过对不同故障类型的恢复路径进行分类整理,优化保护策略配置,使系统在复杂拓扑环境下保持稳定运行能力。

### 5.3 持续优化与运维协同机制

在 OTN 网络投入运行后,运行优化与运维协同成为保障长期稳定的重要环节。依托集中网管平台构建统一资源视图,对全网光通道、逻辑通道及交叉资源进行动态监控,定期开展资源占用核查与配置一致性校验,避免历史遗留配置对网络性能造成影响。通过建立业务开通与资源审批联动流程,将带宽分配、保护路径规划与设备配置纳入统一管理体系,减少人工配置误差。对跨区域节点建立协同维护机制,实现故障信息共享与远程协助处理,提高问题处置效率。结合运行日志与链路状态变化趋势,对可能出现的资源瓶颈进行提前识别,并制定优化方案,包括链路重构、带宽调整与保护策略微调。通过定期开展网络结构复核与拓扑优化,对冗余链路与低利用率资源进行整合,使网络结构保持合理布局。将技术维护与调度管理结合,形成以业务保障为核心的运维模式,使骨干电力通信网在复杂业务环境下保持稳定、高效运行。

## 6 结语

OTN 技术在骨干电力通信网中的部署与优化,有效提升了网络承载能力与运行可靠性。依托分层架构构建、资源精细调度及多级保护机制完善,网络实现多业务统一承载与高等级安全保障。结合运行评估与运维协同机制优化,骨干传输体系保持稳定高效状态,为电力系统安全运行提供坚实通信基础。

## 参考文献:

- [1] 赵仕特.人工智能技术在电力骨干通信网故障诊断中的运用分析[J].通讯世界,2025,32(9):88-90.
- [2] 陈亚琨,宋腾,王一妹,李云松,毛瑞.电力 OTN 骨干通信网风险预警分析及优化[J].科技视界,2022(3):24-26.
- [3] 沈雨生,荀思超,刘晓玥,徐兴永,施成杰.OTN 组网技术在电力通信网领域中的融合应用研究[J].通信电源技术,2023,40(15):61-63.
- [4] 王丽佳.OTN 技术在电力通信系统中的应用探究[J].消费电子,2025(13):77-79.
- [5] 赵立明.电力骨干通信网异构数据智能监测策略研究[J].电气技术与经济,2025(9):37-39+44.