

# Selection of Optical Fiber Communication Technologies for Distribution Network

Min Wang<sup>1\*</sup>, Yuqing Zhong<sup>1</sup>, Baoren Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou

<sup>2</sup>Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou

Email: [dearwangmin@qq.com](mailto:dearwangmin@qq.com)

Received: Nov. 15<sup>th</sup>, 2013; revised: Dec. 14<sup>th</sup>, 2013; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2013

Copyright © 2014 Min Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Min Wang et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** This paper compares several key problems in the application of industrial Ethernet switches and EPON technology in distribution power network, combined with a structure of medium voltage distribution network and distribution automation, electrical layout information collection service node, selecting the appropriate optical fiber communication technology. Distribution automation business application light communication network should use the ring structure, giving priority to the adoption of industrial Ethernet switch; the electric energy data acquisition application light communication network should be based on fiber optic cable construction which is a ring or star structure, to select using industrial Ethernet switches or EPON accordingly.

**Keywords:** Industrial Ethernet; EPON; Distribution Network; Optical Fiber Communication

## 智能配电网光纤通信技术选择

王 敏<sup>1\*</sup>, 袁宇清<sup>1</sup>, 陈宝仁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>广州供电局, 广州

<sup>2</sup>广东省电力设计研究院, 广州

Email: [dearwangmin@qq.com](mailto:dearwangmin@qq.com)

收稿日期: 2013 年 11 月 15 日; 修回日期: 2013 年 12 月 14 日; 录用日期: 2013 年 12 月 22 日

**摘 要:** 本文对工业以太网交换机和 EPON 技术在配网中应用中的几个关键问题进行了对比, 并结合中压配网一次结构和配电自动化、用电信息采集业务节点布置情况, 选择适宜的光纤通信技术。配电自动化业务应用光线通信网络宜采用环型结构, 优先采用工业以太网交换机; 在用电信息采集业务应用光线通信网络时, 宜根据光缆建设是环型或星型结构, 相应选择采用工业以太网交换机或 EPON。

**关键词:** 工业以太网; EPON; 配电网; 光纤通信

### 1. 引言

光纤通信具有通信容量大、传输距离远、安全可

\*第一作者。

靠性高、业务扩展灵活等优点, 成为应用最为广泛的通信技术。在 10 kV 配网通信中, 光纤通信同样是最主流的通信方式。当前, 国内电力行业中压配网光线

通信发展已初成规模,其中工业以太网交换机和 EPON 技术成为智能配电网中最主要的两种技术。但在配电网光纤通信的技术选择方面,国家电网公司主要选择 EPON 通信技术<sup>[1]</sup>,并开展 10G EPON 技术的研究;而南方电网公司则多采用工业以太网交换机技术。在智能配电网光纤通信技术应用上,光纤通信技术的选择原则及对业务通信的影响等问题,成为当前智能配电网光线通信技术研究的热点之一<sup>[2]</sup>。

## 2. 技术概述

### 1) 工业以太网交换机

工业以太网交换机是采用成熟的以太网标准技术,结合工业应用特征开发的一种以太网交换机。与普通电信类以太网交换机项目,工业以太网交换机的一般特性包括:

a) 工业网络的工作环境通常比较恶劣,工业通信设备必须能够在诸如高温、高湿、高海拔、严重的电磁干扰、较差的供电质量等自然和人为环境下,具备正常通信的能力。

b) 从通信流量的内容来看,民用网络上大部分是随机流量,而工业网络上的流量中,周期性流量特别是组播和广播数据经常占较大比例,且大部分流量的发生是可以预测的。

c) 从网络设计目标来看,民用网络的首要的目标是网络带宽的充分利用,通信设备的很多功能是针对网络流量大于可用流量时的流量控制处理技术,通常采取“尽力而为”的准则,在某些情况下可以允许较大的时延或一定程度的数据损失;而工业网络中,几乎所有通信流量都与工业系统的正常运行相关,一般不允许丢失任何数据,也不提倡采用流量控制措施。通信设备必须保证即使在突发最大流量情况下,所有数据能够正常收发。

d) 工业通信网络必须保证工业现场通信的安全性、实时性、可靠性、稳定性,并具备较强的自愈能力。

e) 民用网络的全球化特征明显,而工业网络一般为专用网络,目前常见的网络规模为局域网。

工业以太网交换机在配电网业务中的应用典型组网方式如图 1 所示。

### 2) EPON

EPON 是一种采用点到多点结构的单纤双向光接

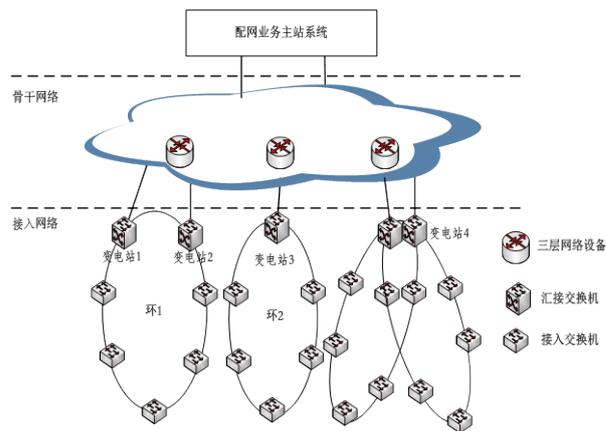


Figure 1. Industrial Ethernet switch typical network structures  
图 1. 工业以太网交换机典型网络结构

入网络,一个典型的 EPON 系统由 OLT、ONU、POS 组成<sup>[3]</sup>。OLT 根据需要可以配置多块 OLC (Optical Line Card), OLC 与多个 ONU 通过 POS 连接, POS 是一个简单设备,它不需要电源,可以置于全天候的环境中,一般一个 POS 的分线率为 8、16 或 32,并可以多级连接。

EPON 的典型网络结构如图 2<sup>[4]</sup>。EPON 系统下行采用广播方式,每个 ONU 都可以根据自己的逻辑链路标识(LLID)选择接收自身的数据;上行采用 TDMA 方式,每个 ONU 都可以根据 EPON 系统的统一调度,在系统分配的时隙发送上行数据,而不会发生数据相互碰撞。

## 3. 技术对比分析

工业以太网交换机 EPON 技术均是基于以太网标准协议,技术特性相似,但在标准完善性、组网结构、环境适应性、安全认证等方面,存在一定的差别。

### 3.1. 组网结构比较

工业以太网和 EPON 均可以支持几种典型的组网方式,包括链型、星型、树型、环型等,这些组网方式基本能满足配网通信的需求。但在这几种典型组网方面,两者各有优缺点,对比分析如表 1。

从表 1 可知,工业以太网交换机在网络结构上能够组建环网或以环网引申的相切环等多种带有冗余的网络结构,对于每个环网,都能够拥有一条备用通道,在网络中出现故障时,业务能够从备用通道实现互通。采用 DT-Ring 等协议组建环网,能够保证通信

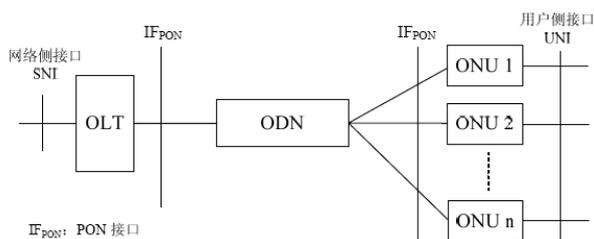


Figure 2. EPON typical network structures  
图 2. EPON 典型网络结构

Table 1. Analysis of advantages and disadvantages of different network modes

表 1. 不同组网方式优缺点分析

组网方式	工业以太网交换机	EPON
链型	<p>优点</p> <p>1) 设备之间可多级互联,理论上链型组网的级数无具体数量限制;</p> <p>缺点</p> <p>1) 单链上 2 个设备故障时, 2 个设备之间的其它设备将无法通信;</p>	<p>优点</p> <p>1) ONU 设备之间通过无源分光器直连, 任一 ONU 设备故障不影响其它设备的正常工作;</p> <p>2) 每条链路仅占用 1 芯光纤;</p> <p>缺点</p> <p>1) ONU 设备级联的数量受功率和距离限制, 一般不超过 12 级, 距离不超过 20km。</p> <p>2) OLT 设备或 PON 接口故障, 将导致全部设备的故障;</p>
	<p>缺点</p> <p>1) 每条链路占用 1 对纤芯;</p> <p>2) 汇聚节点要求配置大量的光接口模块;</p> <p>3) 汇聚节点的故障, 将影响全部设备的故障。</p>	<p>优点</p> <p>1) ONU 设备之间通过无源分光器直连, 任一 ONU 设备故障不影响其它设备的正常工作;</p> <p>2) 每条链路仅占用 1 芯光纤;</p> <p>3) OLT 设备仅需要 1 个光口, 可通过双 PON 口实现光口冗余, 提高可靠性。</p> <p>缺点</p> <p>1) OLT 设备或 PON 接口故障, 将导致全部设备的故障;</p>
星型/树型		
环型	<p>优点</p> <p>1) 单环内设备数量无具体数量限制;</p> <p>2) 单环各节点均支持链路保护。</p>	<p>缺点</p> <p>1) 单环内 ONU 设备级联的数量受功率和距离限制, 一般不超过 12 级, 距离不超过 20km;</p> <p>2) 每个光缆接口的衰减均累积至最后的节点, 在光缆运行几年后, 光缆接口的衰减值增加, 将导致部分末端节点因光功率不足而无法通信。</p>

在 50 ms 内恢复。

EPON 的网络结构以星形、树形结构, 在构建树形网络时, 它会有自己独特的优势。但星形、树形结构存在可靠性方面的隐患, 对于 EPON 网络来讲, 如果 POS 或 OLT 出现故障, 全部业务将瘫痪。因此, 需加强 OLT 设备的可靠性, 并将其安装在有标准通信

机房的位置。

### 3.2. 环境适应性比较

工业以太网交换机按照工业级设计, 环境适应性主要体现在温度特性、电磁兼容抗扰性、防护等级、安装方式、电源适应性、抗振动冲击能力等。工业以太网交换机目前已广泛应用于数字化变电站中, 满足 KEMA 认证标准 IEC61850-3、IEEE1613 的相关要求。

EPON 技术主要是电信业普通商用设备, 设备没有经历过工业环境的考验。在低温、湿度高、强电磁干扰等环境中能否保证长时间可靠运行还需要进一步认证。

### 3.3. 标准化

工业以太网交换机主要是一些厂家根据工业应用的特殊需求, 相应开发的工业级应用的以太网交换机设备, 除采用标准的以太网交换技术外, 针对设备的具体功能、性能等, 没有相关的国际标准或国家标准, 电力行业标准正在制定过程中。

EPON 技术由 IEEE 802.3 EFM 工作组进行标准化。2004 年 6 月, IEEE 802.3 EFM 工作组发布了 EPON 标准——IEEE 802.3 ah (2005 年并入 IEEE 802.3-2005 标准)。电信行业制订了一系列的 EPON 相关标准, 包括 YD/T 1771-2008、YD/T 1475-2006、YD/T 1531-2006、YD/T 1809-2008 等<sup>[5]</sup>。

在技术演进方面, IEEE 2009 年 9 月发布 10G EPON 国际标准 802.3av, 10G EPON 上下行速度可达到对称 10G bit/s, 分光比达到 1:256, 提升光功率 5-6dB。

### 3.4. 系统的可扩展性比较

工业以太网技术环型结构组网时, 在业务节点增多, 系统扩建时, 只需要将新建部分加入到网络中, 在网规模扩展过程中不会影响到其他节点的通信。当数量过多时, 考虑到网络总体安全性, 可另外增加 1 对纤芯组建另外一个环路。

EPON 环型结构(双链型)组网时, 要充分考虑各支节点的光功率损耗情况, 以此来设定可级联的 ONU 设备数量; 在星型组网时, 要充分考虑各节点 ONU 设备的数量, 以此来设定系统的分光比。当系统改造和扩建时, 如果在建网初期所设定的 ONU 设备级数或分光比考虑不全面, 需要在扩建时重新修改 ONU

设备级数和设定分光比,此时,会影响到整个系统的通信<sup>[6]</sup>。

### 3.5. 业务安全接入

工业以太网交换机一般是作为局域网使用,自身不具备相应的接入认证功能,需要采用 802.1x 协议,限制未经授权的用户/设备通过接入端口访问网络<sup>[7]</sup>。

EPON 系统中的用户侧、网络侧、系统业务管理都采取不同的安全机制。主要包括以下几种方式:

1) EPON 系统的任一 ONU 发出的数据不会被其他 ONU 接收到,即上行方向的信息不会被其他用户窃听;下行方向采用广播方式,ONU 根据 LLID 标志选择是否接收数据;

2) 支持三重搅动加密算法,密钥由 ONU 生成,定期更改密钥,对所有数据报文和 OAM 管理报文加密;

3) 支持多种 ONU 接入认证方式(MAC 地址认证、逻辑标识 LOID + PASSWORD 认证、混合认证),禁止未认证 ONU 接入系统;

4) 支持 PPPoE+用户认证方式并支持相应的用户接入端口标识功能;

5) 支持 DHCP Option82 用户认证方式并支持相应的用户接入端口标识功能;

6) 支持 DHCP 保护功能:

- DHCP Snooping: 私自设置 IP 地址的用户不能接入网络。
- DHCP Source Guard: 将分配的 IP 与端口绑定。
- DHCP Spoofing: 防止用户端口私自设置 DHCP Server。

7) 支持 Source MAC/IP Guard 功能,不仅上报用户端口,而且通过侦听用户认证过程,自动产生用户端口的源 MAC 和源 IP 地址的过滤条目,只允许认证通过的源 MAC 和源 IP 地址的流量接入网络,从而比较彻底地防止了 MAC 地址和 IP 地址欺骗,拒绝非法流量接入。

## 4. 中压配电网结构及通信技术适应性

### 4.1. 中压配电网结构

中压配电网是指 10 kV 电网,主要由 10 kV 配电网主干线路和 10 kV 配电网支线线路组成。中压配电

网一次结构较复杂,典型接线方式如图 3,图 4,图 5 所示:

- 1) 单电源线辐射接线模式
- 2) 不同母线出线的环式接线模式
- 3) 不同母线三回馈线的环式接线模式

配网主干线路由 10 kV 线路、10 kV 开关站、10 kV 开关柜、环网柜、分支箱/分节箱、联络开关等组成,主要是链型和环型结构,是当前配电自动化业务重点关注部分。配网支线线路主要由 10 kV 线路、配变房(专变、公变)和支路开关等,是当前用电信息采集业务(大客户负荷管理、配变监测、低压集抄)重点关注部分,主要是星型结构<sup>[8]</sup>。

### 4.2. 智能配电网通信技术适应性

从 3.1 节可知,配电网自动化业务节点分布主要是以链型和环型结构,在通信光缆上,链型的网络可以采用光纤同路由环回的方式组成环(俗称假环),因此可以算是一种特殊的环型。根据 2.1 节分析结果可知,工业以太网交换机技术更适合环型组网,因此在配电自动化业务中,宜选择工业以太网交换机组网。

用电信息采集业务的节点分布,主要是从分支箱/分接箱为父节点的星型或树型结构,根据 2.1 节分析结果可知,EPON 技术更适合星型或树型结构,因此在用电信息采集业务中,宜选择 EPON 技术组网。

## 5. 结束语

工业以太网交换机和 EPON 是国内电力行业采用的两种主流的配电网光纤通信技术,其中工业以太网交换机适合环型组网,具有环境适应性好、设备可靠性高、网络可扩展性强等优点,但存在标准化不完善、业务安全接入措施较弱等缺点;EPON 技术适用于星型和树型组网,具有标准成熟、产业链完善、业务安全接入较好等优点,但存在工业应用性能相对较差、网络扩容受限等确定。

综合以上分析,考虑智能配电网光线通信网络属于专用网络,安全方面有一定保证,但对环境要求、工业应用性能要求较强等特点,建议在配电自动化业务应用光线通信网络宜采用环型结构,优先采用工业以太网交换机;在用电信息采集业务应用光线通信网络时,宜根据光缆建设是环型或星型结构,相应选择

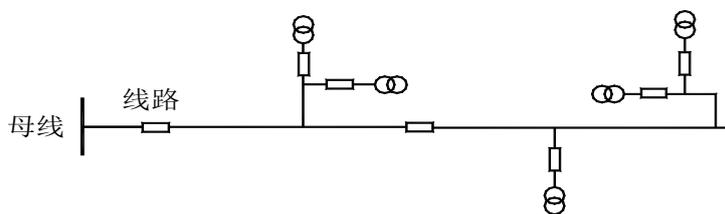


Figure 3. Connection mode of single supply radial  
图 3. 单电源辐射接线模式

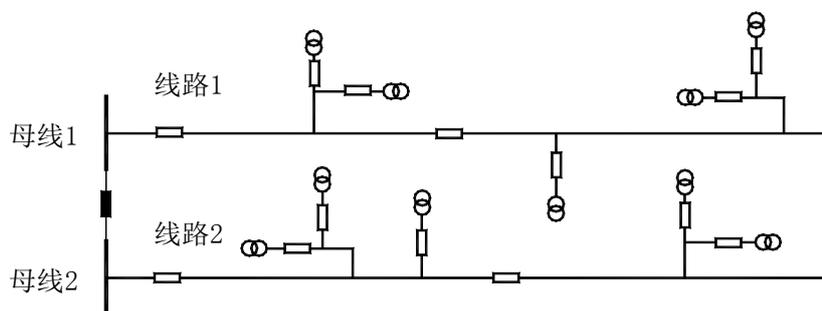


Figure 4. Connection mode of hand in hand loop network  
图 4. 手拉手环网接线模式

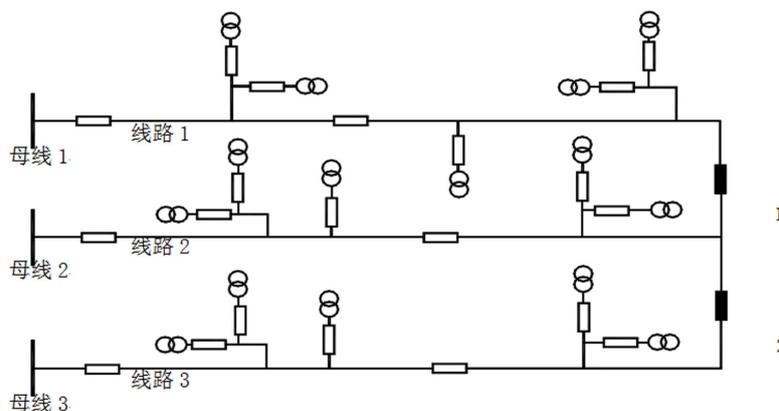


Figure 5. Connection mode of ring type on different bus three feed  
图 5. 不同母线三回馈线的环式接线模式

采用工业以太网交换机或 EPON。

## 参考文献 (References)

- [1] 杜欣 (2011) 基于EPON的10 kV终端通信网规划探讨. *电力系统通信*, **32**, 1-6.
- [2] 雷煜卿, 李建岐, 侯宝素 (2011) 面向智能电网的配用电通信网络研究. *电力系统通信*, **12**, 14-19.
- [3] 李涛 (2011) EPON技术在电力通信网中的应用. *电子设计工程*, **10**, 145-146,150.
- [4] 马悦 (2010) EPON技术研究及实践应用. 北京邮电大学, 北京.
- [5] 徐光年, 马新祥, 潘克菲, 钱锋强 (2011) 基于EPON技术的配电网通信系统设计和应用. *电力系统通信*, **29**, 59-62.
- [6] 张宇, 钟国新 (2010) EPON在电力配网通信中的应用. *电信科学*, **12A**, 159-161.
- [7] 王学超, 李凤林 (2005) 配网自动化中的光纤以太网通信技术及其特点. *山东电力技术*, **4**, 50-52.
- [8] 韦磊, 蔡斌, 韩际晖, 陈向东 (2011) “十二五”期间10kV通信接入网建设探讨. *电力系统通信*, **5**, 83-88.