

# 电力系统长跨距光纤通信技术的应用探讨

杨雪, 刘卫华, 于昉

(山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013)

**摘要:**长跨距光通信技术是电力系统骨干通信网络建设的必要技术,文章以光纤通信系统衰减受限长度最坏值算法为基础,对目前用于长跨距光通信的技术产品进行分析和探讨,重点提出了电力系统长跨距光纤通信技术的5种应用方案,计算了各种方案的衰减受限长度,结合工程实际提出了4种推荐方案。计算结果表明,4种推荐方案适用于对骨干光通信网络中不同单跨长度,方案实现简单,性价比较高,对电力系统光纤通信工程的实施具有较好的借鉴意义和实用价值。

**关键词:**衰减受限;前向纠错编码;掺铒光纤放大器;拉曼放大器;遥泵

中图分类号:TN913.7

文献标志码:B

文章编号:1005-7641(2010)08-0040-04

## 0 引言

电力通信网络是电力生产调度自动化和管理现代化的基础平台。目前,光纤通信由于其损耗小、频带宽、抗干扰性能好、保密性好等优点已成为电力通信专网的主要通信方式<sup>[1]</sup>。随着我国统一坚强智能电网的建设,电力通信网络的支撑和平台作用越来越重要,特高压电网作为智能电网建设的骨干网架,具有覆盖范围广(多为跨区域电网)、传输距离长、输电容量大等特点,但其线路路径位置偏远,设置光中继站维护不便。因此,长跨距的光通信方案是智能电网建设的重要课题。

## 1 光纤通信系统衰减受限长度

对于通信系统来说,通信容量、传输距离(中继距离)是评判系统性能的两个重要因素,其中光纤通信系统的传输特性主要体现在衰减和色散上。

目前,色散补偿技术作为解决光纤通信系统色散受限的普通产品技术已得到广泛应用,色散补偿模块以其低廉的价格和优越的性能广泛应用于工程实际中<sup>[2]</sup>。所以,提高光通信系统的衰减受限长度是实现单跨长距光传输的关键问题。

在衰减受限系统中,传输衰减包括光纤本身的固有衰减以及光纤的连接损耗和微弯带来的附

加损耗<sup>[3]</sup>。根据 YD5095-2005《SDH 长途光缆传输系统工程设计规范》标准,光纤通信系统衰减受限实际可达再生段距离计算公式为

$$L = \frac{P_s - P_r - P_p - \sum A_c}{A_f + A_s + M_c} \quad (1)$$

$$L = \frac{P_s - P_r - P_p - \sum A_c - M_c}{A_f + A_s} \quad (2)$$

式中  $L$  为衰减受限再生段长度,单位为 km;  $P_s$  为 S 点寿命终了时的光发送功率,单位为 dBm;  $P_r$  为 R 点寿命终了时的光接收灵敏度,单位为 dBm;  $BER \leq 10^{-12}$ ;  $P_p$  为最大光通道代价,单位为 dB;  $\sum A_c$  为 S、R 点间活动连接器损耗之和,单位为 dB;  $A_f$  为光纤平均衰减系统,单位为 dB/km;  $A_s$  为光纤固定熔接头平均衰耗,单位为 dB/km;  $M_c$  为光缆富裕度,单位为 dB。

式(1)适用于再生段长度在 75~125 km 之间的衰减受限长度计算;式(2)适用于其他再生段长度的衰减受限长度计算。对于固有衰减已定的光纤通信系统,可通过提高系统的发送端信号功率,改善系统的接受灵敏度等途径来提高其衰减受限距离。

## 2 实现长跨距光传输的核心技术

光纤通信系统的单跨传输距离越长,其成本

越低,获得的技术经济效益越高。

目前,用于提高光传输中继长度的核心技术和产品主要包括前向纠错技术(FEC, Forward Error Correction)、光功率放大器(EDFA-BA, Erbium-doped Optical Fiber Amplifier Booster Amplifier)、前置光纤放大器(EDFA-PA, Erbium-doped Optical Fiber Amplifier Pre-Amplifier)、分布式拉曼放大器和遥泵技术等。

### 2.1 前向纠错技术

前向纠错是一种利用数字算法在单向信道上对误码进行纠正的方法,其主要特点是可实时传输信息,不需要反馈信道,只要单向信道即可,译码时延固定,比较适合实时业务传输系统。

FEC分为带内FEC和带外FEC。带内FEC是利用SDH帧中未使用的开销字节装载FEC纠错编码字节的技术<sup>[4]</sup>,实施FEC编码后,信道码速不变,方便平滑升级,但帧开销中可利用的字节数有限,编码增益较小;带外FEC是把FEC纠错冗余字节插入到传输信号。FEC编码冗余度大,纠错能力强,编码增益较高,能够大大改善系统性能,因而得到了广泛应用<sup>[5]</sup>。目前FEC的标准是OTU2(G.709),编码增益约6~8 dB。

### 2.2 光放大器技术

光放大器是在光路上直接对信号进行放大的技术,取代了原有的大量电中继站,具有简单、经济、稳定可靠、易于制作的特点。目前,应用较为广泛的光纤放大器有分布式光纤拉曼放大器和掺铒光纤放大器<sup>[6]</sup>。

#### 2.2.1 掺铒光纤放大器

掺铒光纤放大器主要由掺铒光纤、泵浦光源、光耦合器、光隔离器和光滤波器等组成,如图1所示。

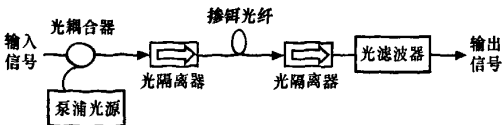


图1 EDFA结构  
Fig.1 EDFA structure

其原理是在泵浦光源的作用下,在掺铒光纤中出现了粒子数反转分布,产生了受激辐射,从而使光信号得到放大,如图2所示。

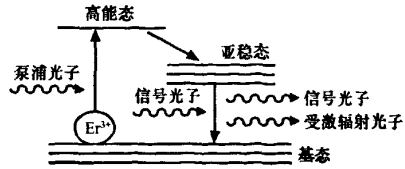


图2 EDFA原理  
Fig.2 EDFA principle

EDFA按照其在传输系统中的位置不同,又分为EDFA-BA和EDFA-PA。EDFA-BA置于光发送机之后,以提高发送光信号功率;EDFA-PA置于光接收机之前,用于放大接收信号功率,从而使光接收机能正常接收。如图3所示。

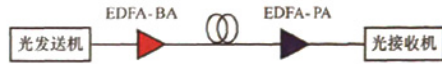


图3 EDFA安装位置示意  
Fig.3 Schematic diagram of installation position

常见EDFA-BA的输入范围一般要求在-6~+3 dBm之间,目前主流的BA产品功率增益在3~19 dB之间,输出功率可达17 dBm,部分高端产品的输出功率可达22 dBm。EDFA-PA的输入功率范围一般要求在-45~-20 dBm之间,其增益一般大于5 dB。

#### 2.2.2 分布式光纤拉曼放大器

分布式光纤拉曼放大器的基本原理是基于非线性光学效应,如果一个强泵浦光波和一个弱信号光波同时在一根光纤中传输,而弱信号光波的波长又在强泵浦光波的拉曼增益带宽内,基于SRS原理,弱信号光波能够得到放大获得拉曼增益<sup>[7]</sup>。分布式拉曼放大器可作为传输系统中对传输光纤损耗的分布式补偿放大,也可作为光接收机的前置放大器。目前,工程中常用的拉曼放大器典型应用值为5~10 dB,部分产品最大增益可达20 dB。

### 2.3 遥泵技术

遥泵系统是在单跨传输链路中引入一个远程泵浦的光放大器,即将EDF与相关的无源器件放置在特殊盒体内,在传输光纤特定位置处接入,而光泵浦源放置在终端。

遥泵技术和产品可以解决一些特殊场合(沿海、岛屿、沙漠、森林等)的建网需求,可以建设大城市之间的直达路由,可以与Raman放大器结合

使用,进一步提高无中继传输距离。但是需要在光缆中间放置专门设计的饵纤,破坏原有光缆。遥泵的泵浦源昂贵,造价较高,系统的稳定性不足,故障诊断不方便。

### 2.4 长跨距技术比较

将 FEC、EDFA-BA、EDFA-PA、分布式拉曼放大器和遥泵技术的主流产品进行比较,结果见表1所列。

表1 长跨距技术产品比较

Tab.1 Comparison of long-span products

	增益效果	经济性	易用性
FEC 技术	6~8 dB	良	优
EDFA-BA	<25 dB	优	优
EDFA-PA	>5 dB	优	优
分布式拉曼放大器	5~10 dB	良	优
ROPA 技术	≈6 dB	差	差

## 3 长跨距光传输技术在电力系统的应用

在电力系统中,长跨距光传输技术主要应用于骨干传输网络,其特点是安全性和可靠性要求高、系统传输容量大(多为 2.5 Gbit/s、10 Gbit/s 的 SDH 系统)、传送距离长(例如京沪光电路全长约 1 900 km),本文主要基于现有的主流长跨距光传输的技术产品,针对电力系统骨干光纤通信系统制定长跨距通信解决方案。

### 3.1 前提

1)主要针对 2.5 Gbit/s、10 Gbit/s 的 SDH 系统进行研究,旨在提高单跨段的跨距。

2)根据 YD5095-2005《SDH 长途光缆传输系统工程设计规范》标准关于光口参数和 ITU-T 关于 G.652 的光纤参数的规定,计算不采用任何长跨距技术的 2.5 Gbit/s、10 Gbit/s 的 SDH 系统的最大传输距离分别为 82 km 和 75 km。

3)根据前文对长跨距技术产品的分析,长跨距技术产品的选择顺序依次为:光功率放大器、前置光纤放大器、前向纠错编码器、分布式拉曼放大器、遥泵系统。

4)考虑内置光放大器产品散热需求高且功率增益性能不佳,外置光放大器产品工程组网和统

一方面,本文方案采用的长距技术产品均为外置产品,其参数为目前市场主流产品的技术参数。

5)为保证工程实际安全可用,本文采用最坏值计算法计算衰减受限长度,系统富裕度取 5 dB,最大光通道代价及活动连接器衰减共取 3 dB。

6)根据部分现运行的骨干 OPGW 光缆(G.652 光纤)测量结果,光纤平均衰减系数(含固定接头平均损耗)一般为 0.21 dB/km,随着光纤制作技术的发展,其光纤衰减系数将会更低(0.19,0.20 dB/km 等),本文选取 0.21 dB/km 作为光纤衰减系数进行计算。

### 3.2 解决方案

基于前文分析,制定了 BA,BA+PA,FEC+BA+PA,FEC+BA+Raman+PA 和 FEC+BA+ROPA+Roman+PA 五种长跨距解决方案,并对每种方案的衰减受限距离分别计算,结果见表 2 所列。

由于目前的遥泵技术对周围环境的要求很高且成本昂贵,因此在电力系统光纤通信实际工程中,除特殊情况外应尽量避免采用遥泵技术。文中将表 2 中方案 1-4 作为工程应用的主推方案,即使用目前主流的长跨距技术产品一般可使光传输单跨距达到 276 km (2.5 Gbit/s) 和 214 km (10 Gbit/s),而且在采用高端技术产品、光纤本身条件较好、系统不需保留较多富裕度的条件下,2.5 Gbit/s 光传输系统单跨距可完全超过 300 km,10 Gbit/s 系统也可达到 250 km。

由表 2 可以看出,对 2.5 Gbit/s 光传输系统,可基本按照 176,214,252,276 km 的节点选取上述 4 种长跨距光传输配置方案,对 10 Gbit/s 光传输系统,可基本按照 138,162,190,214 km 的节点选取上述 4 种长跨距光传输配置方案,对光纤情况较好或系统富裕度可调的光传输系统,可综合考虑安全性和经济性予以适当调整。

## 4 结束语

长跨距光传输技术能取代大量的中继站,具有较高的安全性、可靠性和经济性;前向纠错技术、光功率放大器、前置光纤放大器、分布式拉曼放大器和遥泵技术是较为常见的长跨距光传输技术。长跨距光传输技术水平和设备产品性能一定会随着科技的进步和生产工艺的提高不断发展,

表 2 系统衰减受限距离计算

Tab.2 Calculation of restricted attenuation distance

		2.5 Gbit/s 系统	10 Gbit/s 系统
方案 1: 使用 BA	最小发送功率 $P_s$ (+BA 后人纤功率)	17 dBm	12 dBm
	最小灵敏度 $P_r$	-28 dBm	-25 dBm
	衰减受限中继距离 L	176 km	138 km
方案 2: 使用 BA+ PA	最小发送功率 $P_s$ (+BA 后人纤功率)	17 dBm	12 dBm
	最小灵敏度 $P_r$ (+PA 后人纤功率)	-36 dBm	-30 dBm
	衰减受限中继距离 L	214 km	162 km
方案 3: 使用 FEC+ BA+ PA	最小发送功率 $P_s$ (+BA 入纤功率)	17 dBm	12 dBm
	最小灵敏度 $P_r$ (+PA 后人纤功率)	-36 dBm	-30 dBm
	FEC 编码增益	8 dB	6 dB
	衰减受限中继距离 L	252 km	190 km
方案 4: 使用 FEC+ BA+Raman+ PA 最小发送 功率 $P_s$ (+BA 入纤功率)	17 dBm	12 dBm	最小灵敏度 $P_r$
	(+Raman+PA 后人纤功率)	-41 dBm	-35 dBm
	FEC 编码增益	8 dB	6 dB
	衰减受限中继距离 L	276 km	214 km
方案 5: 使用 FEC+ ROPA+BA+ Raman+ PA	最小发送功率 $P_s$ (+BA 入纤功率)	17 dBm	12 dBm
	最小灵敏度 $P_r$ (+PA 后人纤功率)	-36 dBm	-30 dBm
	+FEC+ROPA+Raman 编码增益	20 dB	18 dB
	衰减受限中继距离 L	309 km	248 km

注:使用部分高端产品,系统功率增益可再提高至少 5 dB,中继距离可增加 25 km 左右。

更好更广泛地应用在电力系统光纤通信网络中,为电力生产服务。

### 参考文献

- [1] 郑勇. 电力系统 SDH 光纤通信工程建设及组网实践[J]. 电力系统通信, 1999, 20(6): 31-33.
- [2] SCHMITZ J M. Optical coherence tomography(OCT): a review[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 1999, 5(4): 1 205-1 215.
- [3] 龚倩, 徐荣, 叶小华, 等. 高速超长距离光传输技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [4] CREMER C, GAUBATZ U, KRUMMRICH P. 4x10 Gbit/s WDM transmission with remote post and pre amplifiers[J]. Electronics Lett, 1996 (32): 1 116-1 117.
- [5] EOIYOUNG C, HODEOK J. Modeling and verification of FEC performance for optical transmission systems using a proposed uniformly quantized symbol error probability model[J]. Journal of lightwave technology, 2005, 23(3): 1 100-1 103.
- [6] 孙学康, 张金菊. 光纤通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [7] 夏江珍, 谢同林. 大跨距无中继光纤通信系统——西部电力通信系统的一种技术选择[J]. 电力系统通信, 2005, 26(5): 32-35. (LR)

杨 雪(1982—),女,山东德州人,助理工程师,从事电力系统通信设计工作。

刘卫华(1961—),男,山东济南人,高级工程师,从事电力系统通信设计工作。

于 盼(1966—),女,山东济南人,高级工程师,从事电力系统通信设计工作。

(收稿日期:2010-04-26)

## Application Discussion on Long-Span Optical Communication Technology in Electric Power System

YANG Xue, LIU Wei-hua, YU Fang

(Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Jinan 250013, China)

**Abstract:** Long-span optical communication technology is an indispensable technology for the construction of backbone communication network in power system. Based on the worst value numeration of restricted attenuation length in optical communication system, this paper analysed the technologies and products that used in long-span optical communication system, highlighted five applications of long-span optical fiber communication technology in power system, calculated the restricted attenuation length of each application, combined with engineering practice, recommended four solutions. The results show that the solutions have the advantages of easy realization and high cost performance. It has reference and practical value for optical communication engineering in power system.

**Key words:** restricted attenuation; FEC; EDFA; distributed raman amplification; ROPA



### 精品女装

T恤 连衣裙 针织衫 雪纺衫棉衣 毛衣 风衣 衬衫 皮衣牛仔裤 半身裙 吊带 裤子短外套 马甲 牛仔裤 职业装

<http://www.ryanruby.info/search.php?q=%C0%CB%C2%FE%D2%BB%C9%ED&catid=16>

### 女士内衣

文胸 保暖内衣 塑身内衣 女袜 睡衣 隐形胸罩 内裤 情侣内衣 内衣套装 情趣内衣男士内裤 男士背心 吊袜带

### 美容护肤

护肤品 彩妆 香水 化妆工具睫毛膏 眼影 美甲产品 粉饼唇彩/唇蜜 眼线笔 彩妆套装假发 美发护发 睫毛增长液

### 数码、手机、笔记本

MP3/MP4 移动存储 电池摄像头 配件 电脑周边 蓝牙耳机 读卡器 外壳 诺基亚摩托罗拉 三星

联想 苹果 <http://www.ryanruby.info/list.php?catid=50010443>

### 鞋包配饰

女靴 雪地靴 女鞋 休闲鞋凉鞋 帆布鞋 手袋 钱包 手包 后背包 腰包 家纺床品时尚饰品 流行男鞋 服饰配件

超高好评+销量! O.SA2011春装 新款大码修身加厚 打底裤 SK90901

皇家遗韵 O.SA2011新品 韩版双排扣毛呢大衣 外套 女 爆款 SD81002

(亏本秒杀)&HM81501&2011新款春装 星星中长韩版针织连衣裙+围脖

包邮 新款磨白铅笔裤韩版显瘦弹力大码牛仔裤小脚裤子女休闲长裤

秒杀—促销 韩版2010秋冬新款 f758#系带修身毛领短外套 实拍

雅尼拉新品牌女装2010冬装清仓新款韩版热卖真毛领外套棉衣9202

2011春季韩版秋冬新款弹力显瘦保暖花纹多款入打底裙裤

2011春季新款雪花欧美时尚弹力多彩花纹多款入打底裤

2010秋冬2011新款春装韩版女装显瘦长款毛衣毛衣裙5折 满就减包邮

之月 细节 秋冬韩版加绒加厚保暖9分打底铅笔裤特价

7W-482-1875 包邮细节冬装女装韩版短款加厚棉袄棉衣外套棉服棉衣

2011女装 冬装清仓 大码修身保暖拉绒加厚踩脚 打底裤

2011春冬新款细节 韩版长款女装厚毛呢大衣-泡泡袖毛呢外套

2011新款春装 韩版女装 假透肉竹炭银丝超

双皇冠特价 新品阿迪达斯 adidas 男士香水100ML 冰点 激情等7款

包邮 蓝色妖姬女士香水30ml 正品 专柜 淡雅 持久清香特价限时秒杀

双皇冠正品最热卖阿迪达斯男士香水 adidas100ML 天赋香水 包快递

泡妞必备德国艾科 AXE 男士香水止汗喷雾 诱惑催情 买2瓶包快递

正品 ALOBON 雅邦香水 古龙雅邦丛林男士香水 AB6雅邦 香水 古龙香水

特价包快递 Adidas 香水阿迪达斯男士香水 天赋 卖疯了

新款 Adidas 阿迪达斯男士香水100ml 冰点 征服 纵情 能量 等7款选

皇冠包邮 天使之爱女士香水30ml 正品 专柜 持久淡香特价生日礼物

店主推荐【美国版原装正品】CK/<http://www.ryanruby.info/list.php?catid=1625>

### 女士服装、内衣

外套 小背心/小吊带 雪纺衫 衬衫 针织衫 连衣裙 T恤 风衣 毛衣 打底裤 文胸 文胸套装 | 女袜/男袜 | 肚兜 情侣内衣 家居服 保暖内衣 抹胸/裹胸

### 帽子围巾、鞋包

围巾/丝巾 头巾 耳套 袖扣 手帕 鞋包/皮带配件 制衣面料 腰带/腰链/腰饰 手套 领带 女鞋 凉鞋 凉拖 编织鞋 运动鞋 帆布鞋 增高鞋 靴子 皮鞋

### 美容彩妆、护肤

美容工具 眼线笔 彩妆套装 唇膏/口红 指甲油 眼影 | 洁面 | 面膜 | 面部精华 | 身体护理 | 隔离霜 | 去角质 | 唇部护理 | 眼部护理 | 面部防晒 | 面霜

### 数码产品、手机

笔记本电脑 单反镜头 三脚架 摄像服务 数码摄像机 数码相机 闪存卡/U盘/移动存储 摄像头 蓝牙耳机 游戏软件 游戏配件 MP3/MP4

### 3C 数码配件市场

电池 MP3/MP4配件 保护套/硅胶套 读卡器 专用线控耳机 LCD 屏幕贴膜/保护膜 笔记本散热底座/降温卡 数据线 数码相框 数码清洁用品 手写输入/绘图板

### 手机卡类、游戏币

移动卡号 联通卡号 IP 电话卡 网络电话卡 GPRS/CDMA 上网卡 Skype 充值专区 影音娱乐充值 平台专项卡 IP 卡/网络电话/手机号码 网站 ID 注册/会员卡

### 男士服装、饰品

T恤 Polo衫 卫衣 衬衫 牛仔裤 休闲裤 西裤 | 风衣 棉衣 皮衣 羽绒服 西服 夹克 西服套装 | 男士内裤 | 男士背心 | 流行男鞋 | 男士背心

### 流行手表、珠宝

吊坠 项链 纯银 耳环 日韩流行 戒指 发饰 男士 手链 脚链 珍珠 情侣 水晶 琥珀 韩饰 太阳眼镜 ZIPPO 打火机 瑞士军刀 烟具/酒具 流行眼镜 礼品刀具

### 影音制品、书籍

乐器 CD/DVD 电影 电视剧 教育音像 动画碟 戏曲综艺 生活百科 外语/语言文字 文化 计算机/网络 自然科学 政治军事 娱乐时尚 育儿书籍 二手书

### 居家日用、收纳

完美日用 厨房用品 | 驱蚊/驱虫 清凉油/防暑贴/防暑用品 酒具/酒杯/酒壶 卫浴用品用具 | 保鲜盒 茶具 安利日用 浴室用品套件 烧烤/烘焙用具 保暖用品>

### 零食食品、茶叶

铁观音 奶酪/乳制小吃 糖果/果冻 水果/水产/罐头即食品 调味品/果酱/沙拉 山核桃/坚果/炒货 火腿/腌腊制品 饼干/糕点 藕粉/麦片/冲饮品 巧克力/DIY 巧克力

### 办公设备、电脑 <http://www.ryanruby.info/list.php?catid=14>

打印机 传真机 墨盒/墨水 财会用品 扫描仪 内存 硬盘 有线鼠标 移动硬盘 台机电源网卡 | 光驱/刻录机/DVD 电视卡/电视盒 | 路由器

## 床上用品、家饰

蚊帐| 被套| 凉席套件| 枕套/枕巾| 保健枕| 床品套件| 床单/床裙| 毛巾/浴巾| 挂帘/门帘| 布艺制品| 儿童床品| 刺绣| 音乐盒| 储蓄罐| 品牌家饰| 钟/闹钟/钟表

## 女装品牌、品牌女鞋

歌莉娅| 江南布衣| 欧时力| 淑女屋| 哥弟| ONLY| 艾格| VERO MODA| 阿依莲| 太平鸟| 浪漫一身| Eland| 罗马鞋| 天美意| 达芙妮| 她她| 百丽

## 妈妈用品、婴儿

防辐射服| 孕妇装| 亲子装| 连身衣/爬服/哈衣| 婴幼儿营养品| 妈妈护理| 宝宝洗浴护肤品| 哺乳期用品| 胎教/早教学习类| 儿童玩具/益智玩具(1岁以上)

<http://www.ryanruby.info/list.php?catid=50008090>