

用于电力光纤到户的光纤复合低压电缆接续技术研究

丁慧霞¹, 滕玲¹, 许高雄¹, 马乐²

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192;

2. 甘肃省电力公司 信息通信中心, 甘肃省 兰州市 730050)

Splicing Technology of Optical Fiber Composite Low-Voltage Cable for Fiber to the Home

DING Huixia¹, TENG Ling¹, XU Gaoxiong¹, MA Le²

(1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. Information & Telecommunication Center, Gansu Electric Power Corporation, Lanzhou 730050, Gansu Province, China)

ABSTRACT: Splicing of optical fiber composite low-voltage cable (OPLC) is one the key technologies to implement the power optical fiber to the home and the construction of intelligent community. According to the features of splicing of OPLC, technical requirements for safe separation of electric circuit from optical circuit, splicing of optical fiber and its protection, connection of cable and its protection and so on are listed, and the features of splicing of optical fiber cable are overall analyzed. It is proposed that the hot-splicing of optical fiber cable should be applied to intermediate nodes for power optical fiber to the home and the fast connector for the power optical FTTH, which is made by mechanical connection technology, should be applied to the terminal of OPLC. Finally, according to different circumstances of power optical fiber cable to the home a complete set of application scheme for splicing technology is proposed.

KEY WORDS: optical fiber composite low-voltage cable (OPLC); power optical fiber to the home; optical fiber splicing; mechanical connection; optical fiber connector; splicing loss

摘要: 光纤复合低压电缆(optical fiber composite low-voltage cable)接续技术是实现电力光纤到户及智能小区建设的关键技术之一。针对 OPLC 接续特点提出了光电安全分离、光纤接续及保护、电缆连接及保护等技术要求; 全面分析比较了光纤接续技术的特点, 建议电力光纤到户建设实施的中间节点应采用光纤热熔连接, OPLC 终端可采用冷接技术制作快速连接头。最后根据电力光纤到户的不同接续场景提出接续技术的整套应用方案。

关键词: 光纤复合低压电缆; 电力光纤到户; 光纤熔接; 机械压接; 活动连接器; 接续损耗

0 引言

目前我国电力通信网骨干线路健全, 但电网接

入末梢部分通信基础薄弱, 严重制约了用户与智能电网之间的交互功能, 因此电力光纤到户是近期智能电网建设的重要内容之一^[1-6]。电力光纤到户采用光纤复合低压电缆(optical fiber composite low-voltage cable, OPLC)技术实现电能输送的同时完成光纤宽带入户的同步建设, 不仅能够提供用户和电网之间数据读取的实时、高速、双向互动功能, 也可以通道资源优势为基础, 实现宽带业务接入, 为电力企业提供增值服务, 使电力网资源获得再利用和综合利用, 实现国家基础设施的优势互补和资源共享。OPLC 的接续技术则是在电力光纤到户暨智能小区建设中提出的。

OPLC 接续技术作为电力光纤到户建设实施中的重要环节, 接续的质量、效率、成本和便捷性将直接影响智能小区的推广建设, 接续附件作为一种新产品尚处于研制和试运行阶段。针对电力光纤到户现场施工中接续点繁多、分布广、环境复杂、难度大、成本较高等特点, 本文对比分析了热熔、冷接和胶粘等主要接续技术的特点和适用范围, 提出电力光纤到户建设中光电缆接续技术方案要点; 并根据应用场景综合光缆和电缆接续及保护的要求, 提出系列接续方案。

1 光纤复合低压电缆接续需求

低压特种光电缆将光单元与低压电力线复合进同一线缆中, 具有电能输送和光信号通信能力, 适用于额定电压 1 kV 及以下的电力接入网中, 在电缆到户的敷设过程中实现光纤到户。其实现了电力

和通信功能的整合,推动了电能和信息的同步入户,从而降低电缆和光纤分开敷设的施工成本,缩短建设周期,达到了资源共享、节约成本和工作量的目的,符合节约型社会发展理念。

电力复合低压电缆始于小区台变,终止于用户侧,根据不同的使用环境、敷设条件分为多种型号、规格,接续附件必须实现各段 OPLC(相同型号或不同型号)之间光纤和电缆的连接及保护功能要求。

OPLC 接续时要求接续附件能够实现光纤单元和低压电缆单元的安全分离,其次对光纤单元和低压电缆单元分别进行接续,再次加强对接续点的保护,以免接续点成为运行中的故障易发点。

OPLC 接续需同时考虑光纤接续点的脆弱性和电缆接续的安全性,并不等同于单纯的电缆接续和光缆接续。在接续过程中光电的安全分离和光纤单元的保护是关键点。对于光电安全分离可采用热缩材料制作的绝缘指型护套实现,而光纤单元接续和保护是在现场施工时面临的重要问题,在方案设计阶段就必需考虑。

2 光纤连接技术

2.1 光纤熔接

光纤熔接技术是采用电弧熔接的方法将两根光纤断面对接融化并连接在一起,其特点是接续损耗是现有接续技术中最低的^[7],长期稳定可靠。但光纤熔接技术对操作人员和环境要求较高,主要体现在:

- 1) 操作人员的熟练水平直接影响了接续损耗的大小;
- 2) 切割后的光纤不得在空气中暴露时间过长,环境中的灰尘、湿度等都会对熔接质量产生影响;
- 3) 连接时需专用设备和专业人员进行操作。热熔是永久性连接,适用于连接性能要求高的场合。

2.2 光纤冷接

机械式光纤接续又称光纤冷接,是通过简单的接续工具,利用机械连接技术实现光纤连接的方式。机械式光纤接续技术本身并不是一个新兴的技术,早在 20 年前就已经有产品诞生,是一种成熟的光纤接续技术。不同厂家所设计的冷接子结构和核心技术不同,性能和操作方式有很大的区别。目前通用的机械光纤接续技术以光纤匹配液和闭合设计的 V 型槽为技术核心,使用简单的工具,仅需较短时间就可以实现较低损耗的光纤接续。它能够用于 250 μm 和 900 μm 光纤各种组合接续,既可用于单模光纤,也可用于多模光纤的接续。

机械式光纤接续操作简单,人员培训周期短,工具投资小,为设计、施工和维护人员提供了一种方便、实用、快捷、高性能的光纤接续手段,适合于用户数量大且地点分散的场合。随着电力光纤到户暨智能小区的广泛建设,由于光纤入户场景多种多样,在诸如楼道高处、地板下、狭小空间等场合,光纤热熔将难以进行,或不需活动连接界面时,冷接技术将得到应用^[8-9]。

光纤冷接技术不仅可实现 2 根光纤之间的快速连接,而且可以采用冷接技术在现场制作快速连接头。这种快速连接头带有预置光纤,采用机械压力将尾纤与预置光纤连接,无需注胶、研磨即可现场组装。快速接头与传统的光纤连接器尺寸一致,接口匹配,可实现灵活调线。当快速接头与标准面板配合,即可将入户光纤终端像铜缆一样端接在墙面上或其它指定位置。光纤冷接技术为电力光纤到户提供了完整的、简单易行的技术方案,解决了电力光纤到户建设和运维中的一个瓶颈环节——OPLC 终接和保护。

在选择光纤冷接时,所要评估的内容主要包括:工具的投资及其维护需求、工具的简单及轻便性、安装的便利性、光纤对准器件的可靠性和夹持力(直接影响接续衰减的大小)、对环境的适应性、是否有耗材及长期使用稳定性等等方面。

2.3 光纤胶粘连接

光纤胶粘连接需要将光纤连接器插针、不锈钢外套管和光纤采用快速固化粘合剂进行固定连接^[10]。由于光纤连接器插针是尺寸较小的精密零件,需特定辅助工具才能完成光纤中心与不锈钢外套管的精确对准;另外粘合剂固化周期较长,固化后收缩率大可能造成光纤中心与不锈钢外套管圆心偏差大而影响光传输性能,粘合剂携带不便,因此光纤胶粘连接不适合电力光纤到户现场接续。

2.4 光纤活动连接器

光纤活动连接器在光纤通信应用中占有重要地位,已在国内外市场形成规模生产和商业化产品。大多数的光纤连接器由 3 个部分组成:2 个光纤接头和 1 个耦合器。2 个光纤接头装进 2 根光纤尾端;耦合器起对准套管的作用,多配有金属或非金属法兰,以便连接器的安装固定。光纤活动连接器根据接口形状、光纤保持技术、光耦合技术、对中技术等分为各种式样,以直径 2.5 mm 陶瓷插针为关键元件的套管连接器(ferrule connector, FC)和

方形连接器(square connector, SC)应用最为广泛。

FC 型光纤连接器是一种以单芯插头和适配器为基础组成的螺纹旋转式连接器^[11]。其特点是光纤嵌插在标称直径为 2.5 mm 的高精度插针圆柱体内,两插头用螺帽与适配器进行螺纹连接。连接器的光对中装置是弹性套筒或刚性内孔。该类型连接器经过改进,插针端面有球面和斜角球面 2 种,使得插入损耗和回波损耗性能大幅度的提高。FC 连接器广泛应用于光缆干线中。

SC 光纤连接器是一种以单芯插头和适配器为基础组成的插拔式连接器,外壳呈矩形,紧固方式采用弹性卡子锁紧机构,包括 1 个耦合销键和 1 个加在光轴方向具有弹性的插针^[11]。连接器的光对中装置是刚性内孔或弹性套筒。SC 光纤连接器的插针端面有球面和斜角球面 2 种。此类连接器价格低廉,插拔操作方便,介入损耗波动小,抗压强度较高,安装密度高。2 个接头连接的插入损耗不大于 0.5 dB,回波损耗分别大于 35 dB(球面插针)和 58 dB(斜角球面插针)。在电力光纤到户的本地光网络中,可采用简化的 SC 连接器,以实现高密度封装。

2.5 光纤接续技术的应用

光纤连接方式主要有热熔连接、冷接、胶粘连接和活动连接。不同连接方式各有利弊,对线路性能和经济成本的贡献也不同。见表 1。

表 1 光纤连接方法比较

Tab. 1 Comparison of optical fibers' connections

方法	机械压接	胶粘接	电弧熔接	活动连接器
光纤固定方式	光纤夹具	光纤夹具及 接续支架	电弧 融化	光纤接头 夹具
光纤间外加物质	匹配液	胶粘	无	无
光纤接头平均损耗	较大	较大	较小	较大
用途	可重复	永久连接	永久连接	活动连接
长期稳定性	不确定	较差	好	好
技术指标要求	未明确	未明确	明确	明确

在工程中大都采用熔接法。采用这种熔接方法的接点损耗小,反射损耗大,可靠性高。但随着光纤到户技术的发展,现场熔接技术面临一个共同的挑战,就是如何提高工作效率并节约安装时间和成本。对光纤现场快速灵活的冷接续技术需求越来越大,在诸如楼道高处、狭小空间内,照明不足、现场取电不方便等场合,机械式光纤接续为设计、施工和维护人员提供了一个方便、实用、快捷、高性能的光纤接续手段。因此光纤冷接、活动连接作为光纤热熔连接的辅助手段,为低压电力特种光电复合缆提供完整的解决方案。

2.6 光纤接续损耗影响因素

光纤线路的衰耗直接影响电力光纤到户的光通信系统性能。影响光纤线路质量的主要因素有:光纤的生产加工质量;施工过程中的拉伸、扭曲、弯曲、挤压、受潮、接续质量等。在电力光纤入户的线路中,光纤接头较多,接续损耗是传输质量的重要影响因素。引起光纤接续损耗的原因主要有本征损耗、非本征衰耗和接续工艺引起的损耗^[12-14]。

1) 本征损耗对光纤接续损耗的影响。

本征损耗是光纤材料所固有的一种损耗,引起光纤本征损耗的主要原因是散射和吸收。散射是由于材料密度不均匀产生的瑞利散射,吸收主要是材料中的杂质粒子对某些波长的光产生的强烈的吸收。

2) 非本征衰耗。

在单模光纤的接续中,对接的 2 根光纤纤芯和包层的同心度、纤芯截面不圆度、光纤的翘曲度、光纤模场直径不一致等光纤几何参数的差异,将会导致光纤接续损耗的产生。

当纤芯和包层的同心度存在差别时,在接续的过程中难以保证两根光纤的纤芯重合,在界面处会产生较大的散射,从而增加能量的衰减,引起接续损耗的增加。同样,纤芯截面不圆度较大时,在接续的过程中即使两根光纤的纤芯都对准,2 个纤芯形成的圆截面也会有较多不重合的地方,同样会引起接续损耗的增加。光纤的翘曲度小,光纤在很短的长度内就会有明显的弯曲,显著增加了两根光纤纤芯对准的难度。

当两根光纤完全对准,且忽略断面间隙的情况下,接续损耗主要取决于光纤模场直径的差异,接续损耗可计算为

$$b = 20 \lg \frac{(d_1/d_2 + d_2/d_1)}{2} \quad (1)$$

式中: b 是接续衰耗, d_1 与 d_2 分别是对接两根光纤的模场直径。从公式可看出,当对接的 2 根光纤的模场直径相等时,其接续损耗 $b=0$ 。因此两根光纤的模场直径不同也会引起接续损耗。

3) 接续工艺。

单模光纤纤芯很细,两根对接光纤轴心错位和端面倾斜都会影响接续损耗。有数据显示当错位 1.2 μm 时,熔接损耗达 0.5 dB;当光纤断面倾斜 1° 时,约产生 0.6 dB 的接续损耗。

接续器件质量不好很容易产生端面分离,造成连接损耗较大。光纤端面的平整度差时也会产生损

耗,甚至气泡。OPLC 接续点附近光纤受拉伸变形、线缆夹具压力太大等引起物理变形,都会对接续损耗有影响,甚至接续多次不能改善。

2.7 提高接续质量的措施

针对增加光纤损耗的影响因素,进行相应的改进措施可有效地降低光纤接续损耗。主要包括^[15]:

1) 选用高精度光纤端面切割刀制备光纤端面。

光纤端面质量直接影响到接续损耗,光纤端面应平整、无毛刺、无缺损,轴线倾角应小于 1° ,高精度光纤切割刀不仅提高光纤切割成功率,也可提高光纤端面的质量。

2) 正确选用接续方式。

电力光纤到户中间节点的接续尽量选用热熔连接,使用熔接机时需根据光纤类型正确设置熔接参数、预放电电流和时间、热缩时间等,并且在使用中和使用后及时去除熔接机的灰尘和光纤碎末,严格按照光纤熔接工艺流程操作,注意保证接续环境符合要求。

当采用冷接连接和活动连接时,应选择优质合格的接续器件,保证接续器件指标符合相关规定。但应注意接插良好、耦合紧密,保持器件清洁。

3 电缆接头技术要求

OPLC 中电缆接续与普通低压电缆的接续技术类似,必须采用热缩绝缘护套对电缆进行绝缘密封防护^[16]。OPLC 现场接续具有中间接续和终端接续2种形式。

中间接续由中间接头主体、接地线、外绝缘保护套或铠装带等组成。中间接续点应具有良好的密封性、绝缘要求并能承受一定的机械外力。

终端接续一般由绝缘管、接地线、接线端子等组件组成。终端接续应该能同时满足电力线和光纤的绝缘密封性能,并能耐受因电缆的负荷变化而产生的末端推力。

4 光电复合缆接续技术方案

4.1 应用场景分类

光纤接续和电缆接续技术是 OPLC 接续技术的基础解决方案,在电力光纤到户的建设和施工中,需将接续技术与实际场景相结合,采用规范的接续装置或附件,实现 OPLC 的接续和配线。按照光电复合缆接续点布放位置可以分为5类:

1) 光电综合配线柜。放置于小区配电机房内,适用于大电流的低压特种光电缆配线,即 OPLC 的

始端配线柜。

2) 室外光电综合交接箱。放置于小区楼室外,适用于部分楼宇的光电缆配线,是 OPLC 的中间接续箱。

3) 楼内光电综合配线箱。放置于楼层配电室,适用于楼层内垂直光电缆和水平分支光电缆的接续和配线。

4) 光电综合接头盒。放置于地下槽道内,适用于光电缆的接续,实现同类型 OPLC 的接续。

5) 光电综合配线终端盒。放置于用户门外的动力电缆和光纤的终端盒,是 OPLC 的终结设备。

4.2 光电综合配线柜

光电综合配线柜具有配电功能,在原有的配电柜基础上优化结构,增加光纤配线单元,通过光电隔离装置,保护光纤接续点、存放盘纤,在一个柜体中实现光电缆的接续及配线,如图1所示。具体方案及功能如下:

1) 将原有的配电柜进行结构改进,增加光纤配线单元、光电隔离装置,将电缆配电部分和光纤配线单元融于同一个柜体中,便于光纤复合低压电力电缆的接续与融合,用户可根据需求配置缆孔。

2) 光纤复合低压电力电缆由光电缆紧固件固定后,由指形护套将光电单元分离,电缆经电缆孔到低压配电部分,光纤进光纤配线单元进行接续。

3) 电缆配电部分和光纤配线单元各配置一个门,方便只对一部分进行操作。

4) 光纤配线侧门内配有可活动托板,熔纤时可放平托板作为操作平台。

5) 光纤配线单元由支撑架、多个盘纤盒和固定装置组成。其中盘纤盒可从箱体的槽位中拔出或插

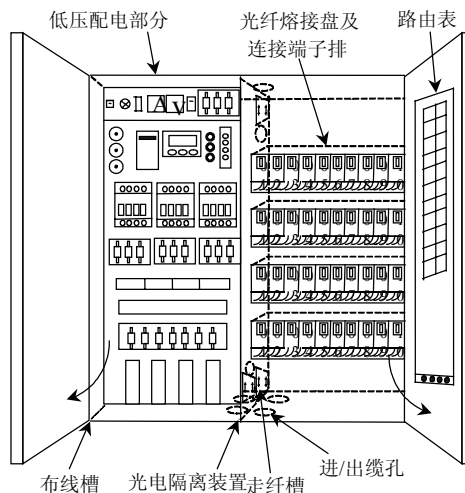


图1 OPLC 光电综合配线柜

Fig. 1 Multi-distribution cabinet for OPLC

入，用于存放光纤接头、余留光纤、标示光纤；盘纤盒中预留一段尾纤，一段用于与 OPLC 开拨后的光纤单元进行接续，另一端带有预置端接头，实现 OPLC 中光纤单元与其它光通信设备的连接。

该处施工完成后线路基本不需改变，因此光纤接续建议采用热熔技术，以保证光纤接续点性能长期稳定可靠。

4.3 室外光电综合交接箱

室外光电综合交接箱与光电综合配线柜相比，要求具有良好的防水防潮功能、光纤跳纤灵活等要求，因此方案设计差异性主要体现在以下几点：

- 1) 箱体防水防潮，箱体的上盖呈三角形，可令雨水迅速滑落，不至于滴入设备内部。
- 2) 箱体需安置一定数量的分光器。
- 3) 熔接盘中预置相应数量的尾纤，用于与 OPLC 光纤单元的熔接、熔接点保护等，是 OPLC 中光纤单元的延长部分，并带有预置端头，可通过适配器进行灵活跳纤。

光纤配线单元的分光及连接流程为：1) 上行缆线经箱体缆孔进入，由性能良好的指型护套对开拨点进行热缩保护后，光电单元安全分离进入相应接续单元；2) 光纤单元由隔离装置中的缆孔进入光纤配线单元，先在熔接盘中与预置尾纤进行熔接后，与分光器相连，分光器的分支光纤在适配器一侧进行活动连接；3) 下行缆线按相同步骤进行，在熔接盘与预置尾纤熔接后，直接连接在适配器另一侧，从而完成进线和出线连接。按着线路连接需求，只需改变适配器两侧的光纤，即可实现光路由的灵活调线。

在一般应用中光纤线路都预留部分冗余，若将占用光纤与预留光纤同时安放在适配器上，将造成管理和维护中的混淆，同时需对预留光纤接头进行保护，因此建议在适配器的附近安装一定数量的光纤停靠单元，使预留光纤安全可靠地固定在某位置。

室外光电综合交接箱大量采用了热熔和活动连接技术。

4.4 楼内光电综合配线箱

楼内光电综合配线箱容量较室外光电综合交接箱小，设计方案与室外光电综合交接箱基本类似，但要求体积小巧，安装位置灵活，防止破坏，不能随意打开。楼内光电综合配线箱同样大量采用热熔和活动连接技术实现 OPLC 光纤单元的接续和灵活跳纤。

4.5 光电综合接头盒

光电综合接头盒指管井(沟槽内)光电一体化光纤复合低压电力电缆接头盒，用于实现管井(沟槽内)光纤复合低压电力电缆的导体、光纤、绝缘层、屏蔽层和保护层的连接。

接头盒包括外壳、接头盒上盖、锁扣，接头盒内设有隔板、低压电缆连接单元和光纤接续单元，隔板设置在低压电缆连接单元和光纤接续单元之间，电缆连接单元和光纤连接单元可呈并列结构或上下叠放。并列结构需足够的宽度，维护较简单方便；上下结构可节省空间，但维护相对繁琐。外壳两端对称设有指型护套、缆孔，指型护套穿过缆孔对光电缆的开剥点进行保护，指型护套与进出缆孔之间设有密封胶，保证接头盒整体防水防潮。外壳需进行防水防潮设计，且进行再密封设计，从而满足电缆接头和光纤接头的环境要求。

因光电综合接头盒一般不要求具有调线功能，因此光电综合接头盒中建议采用光纤热熔连接技术。

4.6 光电综合配线终端盒

放置于用户门外的光电综合配线终端盒除具备电缆连接功能外，还提供光纤终端面板，具体结构见图 2。终端盒内安装空开、光纤面板及光电隔离装置。

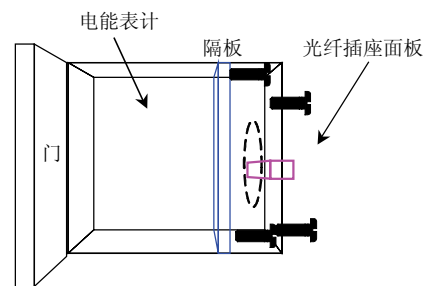


图 2 OPLC 终端盒示意图

Fig. 2 Terminal box for OPLC

用户开关位于正面门打开的盒体内，光纤插座固定在终端盒侧面板上，可有效防止对光纤接头的碰触，并配有防尘套当无连接时保护光纤端面。光纤插座面板空间充足，可预留光纤并保护接续点。电力光纤到户的施工中，光纤面板的安装位置多样，环境恶劣，数量庞大，采用光纤热熔技术受限条件较多，效率较低，因此可采用冷接技术制作快速接头，实现 OPLC 光纤终结和保护。

此方案中光纤插座采用冷接技术现场制作快速接头，取代工厂制作的定长尾纤，节约资源，同时布线合理，对施工人员要求不高。

5 结论

光纤接续方式不同,对光纤线路的传输质量和成本有着重要的影响。电力光纤到户建设不能片面追求成本最低化而盲目采用冷接技术,同样不能一味追求传输质量采用热熔技术而忽视建设成本和效率。通过对不同接续技术的比较分析,本文认为:

1) 光纤热熔连接适用于路由固定、传输质量要求高的 OPLC 中间接续;光纤冷接连接适用于 OPLC 光纤最后一段的连接或快速连接头的现场制作。

2) OPLC 接续附件作为新事物,目前其施工操作规范不成熟,产品不健全,但相关标准已颁布,有助于产业链的快速成熟和标准化,从而大大推动电力光纤到户组网建设成本的下降。

3) 由于接续设备使用年限较长、安装位置隐蔽分散,一旦出现质量问题故障定位难度很大,比输电线路故障定位更加复杂,因此必须高度重视接续技术的发展,并加强接续附件选型,并通过探索不断改进接续技术,保证接续设备长期稳定可靠。

参考文献

- [1] 赵宏波,高鹏,汪洋,等. 电力特种光缆传输特性对系统升级的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(9): 216-220.
Zhao Hongbo, Gao Peng, Wang Yang, et al. Analysis on transmission characteristics of special optical fiber cable for power communication on upgrading of optical communication system[J]. Power System Technology, 2010, 34(9): 216-220(in Chinese).
- [2] 王明俊. 智能电网热点问题探讨[J]. 电网技术, 2009, 33(18): 9-16.
Wang Mingjun. Some highlights in relation to smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(18): 9-16(in Chinese).
- [3] 苗新,张恺,田世明,等. 支撑智能电网的信息通信体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 8-13.
Miao Xin, Zhang Kai, Tian Shiming, et al. Information communication system supporting smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 8-13(in Chinese).
- [4] 赵子岩,刘建明,吴斌,等. 电力通信网光缆监测系统的规划与设计[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 24-28.
Zhao Ziyang, Liu Jianming, Wu Bin, et al. Planning and design of electric power optical fiber monitoring system[J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 24-28(in Chinese).
- [5] 钟金,郑睿敏,杨卫红,等. 建设信息时代的智能电网[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 12-18.
Zhong Jin, Zheng Ruiming, Yang Weihong, et al. Construction of smart grid at information age[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 12-18(in Chinese).
- [6] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.
Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).
- [7] 霍坤炳. 光纤熔接技术[J]. 有线电视技术, 2008(11): 85-86.
- [8] 何小玉. 光纤接入及 FTTH 技术与应用分析[J]. 电信科学, 2007, 23(5): 21-25.
He Xiaoyu. Technology and application analysis regarding fiber access and FTTH[J]. Telecommunication Science, 2007, 23(5): 21-25(in Chinese).
- [9] 李卫兵,薛强,吴伟平. 高端住宅小区的 FTTH 应用及分析[J]. 电信科学, 2007, 23(5): 35-40.
Li Weibing, Xue Qiang, Wu Weiping. FTTH application and analysis in high-level residence[J]. Telecommunication Science, 2007, 23(5): 35-40(in Chinese).
- [10] 林敏,黄建军. 光纤连接器中的胶固化系统[J]. 自动化与仪器仪表, 1999(4): 50-51.
- [11] GB/T 12507-1—2000 光纤连接器[S].
- [12] 杨一荔. 光缆施工中的接续技术探讨[J]. 通信技术, 2009, 42(7): 20-21,36.
Yang Yili. Discussion on splicing technology in optical cable construction work[J]. Communications Technology, 2009, 42(7): 20-21, 36(in Chinese).
- [13] 王文启. 光纤接续损耗分析及处理[J]. 信息通信, 2005(2): 32-33.
- [14] 薛梦驰. 光纤弯曲损耗的研究与测试[J]. 电信科学, 2009(7): 57-62.
Xue Mengchi. Research and measurement of optical fiber macrobend loss[J]. Telecommunication Science, 2009(7): 57-62(in Chinese).
- [15] 张敬武. 光纤接续损耗分析及其处理方法[J]. 电力系统通信, 2008, 29(184): 70-72.
Zhang Jingwu. Analysis of optical fiber fusion loss and its solutions[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 29(184): 70-72(in Chinese).
- [16] JB/T 7829—2006 额定电压 1 kV($U_m=1.2$ kV)到 35 kV($U_m=40.5$ kV)电力电缆热收缩式终端[S].

收稿日期: 2011-05-24.

作者简介:

丁慧霞(1981),女,硕士,工程师,主要从事电力光纤通信技术研究, E-mail: dhx@epri.sgcc.com.cn;

滕玲(1983),女,硕士,工程师,主要从事电力光纤通信技术研究;

许高雄(1983),男,硕士,工程师,主要从事电力特种光缆技术研究;

马乐(1981),男,工程师,长期从事通信运行管理工作。

(责任编辑 李兰欣)