

接入网用光电混合缆电性能

蔡晶 卢星星 何军 李闯刚 熊壮

摘要：本文介绍了光电混合缆应用的基本原理及优势，提出对光电混合缆用电安全进行重视。结合馈电线电阻率、直流电阻、馈电线及成品缆绝缘电阻、介电强度对接入网用光电混合缆的电性能进行了探讨。

关键词：光电混合缆 电性能 直流电阻 绝缘电阻 介电强度

1. 引言

随着 3G/4G 网络的不断升级，通信光缆和设备不断地向用户侧延伸，远端基站、通信机房、用户接入点等的设备供电成为棘手问题。光电混合缆将光单元与电单元集为一体，能够有效解决网络建设中通信设备取电难题。同时，光电混合缆直流远程供电还有利于网络中电源设备的集中建设、运维，降低建设、运维成本，可同时实现高效电能与光信号的共缆传输，提升效率。但是由于目前光电混合缆的用户大多是运营商，其对光电混合缆的认识大多停留在光缆上，对光传输性能非常重视，对电性能的性能指标和测试的关注仍有待提高。

2. 直流远程供电解决方案

2.1 直流远程供电的基本原理

直流远程供电解决方案由局端和远端设备以及光电混合缆组成，局端设备直接将就近的通信基站机房内稳定的直流电压（DC-48V）经直流远供电源的局端机（PDL）升压、隔离处理后成为悬浮的直流电压（DC320V、DC350V、DC380V），通过光电复合缆中的电缆或电力电缆传输给直流远供电源的远端控制器（RPC），再接入远处的远端通讯设备，经降压处理后为远端通讯设备（RRU、光纤直放站、小宏基站、微蜂窝基站、ONU 等设备）提供全天候免维护供电^[1]。



2.2 直流远程供电的优势

直流远程供电有多种供电方案，可根据场景不同选择不同的远程供电方案，直流远程供电有以下优点：

(1) 采用远程直流供电，不受市电停电影响；

(2) 降低运营成本，节省交流取电的额外费用，避免了与电业部门、当地用户接入市电的烦琐工作；

(3) 选址灵活方便，不受市电供电线路的影响；

(4) 节省户外 UPS，解决了电源长期维护费用；

(5) 线路施工方便，采用复合光缆，不用再专门铺设传输电缆，节省线路投资；

(6) 安全可靠：传输线路具有断路、短路、漏电、强电入侵、防雷等保护。

3. 接入网用光电混合缆电性能的设计

接入网用光电混合缆设计标准大多是沿用室外光缆的设计标准，主要参考标准是 YD/T2159-2010 《接入网用光电混合缆》^[2]，该标准对光电混合缆电性能方面的要求较

低，对光电混合缆长期运行的安全性与可靠性尚未进行详细的考量。目前，光电混合缆电性能的规定主要包含三个方面：馈电线的导电性能、馈电线及成品缆的绝缘性能和介电强度。

3.1 馈电线导电性能：电阻率与单根馈电线直流电阻

接入网用光电混合缆采用的导体除特殊规定外，主要是采用不镀金属的铜线、铝线，通常采用标准 GB/T3956-2008 《电缆的导体》所规定的 1 号实心导体和 5 号软导体^[3]。

导体电阻率是用来表示导体电阻特性的物理量，GB/T3048.2-2007 《金属材料电阻率试验》对电力传输的铜导体和铝导体 20℃ 的电阻特性作出了明确规定^[4]，如表 1 所示。

表 1 铜和铝在 20℃ 的电阻特性

特性 导体	体积电阻率 ($10^{-8} \Omega \cdot m$)	电阻温度系数 ($10^{-3}/^{\circ}C$)	线膨胀温度系数 ($10^{-5}/^{\circ}C$)	密度 ($10^4 g \cdot m^{-3}$)
标准退火铜	1.7241	3.93	1.7	8.89
退火铝线	2.80	4.07	2.3	2.703

导体直流电阻是保证光电混合缆运行安全的关键因素，如果选用的直流电阻值过大，线路长期发热，会导致绝缘材料的快速老化，长期运行极易发生线路短路，引发安全事故，

威胁人民群众的生命财产安全。一般参考标准 GB/T3956-2008 《电缆的导体》^[3]，常用规格导体 20℃ 时的电阻值应不超过表 2 中规定的最大值。

表 2 20℃ 导体直流电阻

标称截面积/ mm^2	20℃ 时导体最大电阻值 (Ω/km)		
	不镀金属实心铜线	实心铝线	不镀金属软铜线
1	18.1	—	19.5
1.5	12.1	—	13.3

2.5	7.41	—	7.98
4	4.61	—	4.95
6	3.08	—	3.3
8	2.27	—	2.47
10	1.83	3.08	1.91
16	1.15	1.91	1.21

3.2 馈电线及成品缆绝缘特性：绝缘电阻

馈电线绝缘材料主要采用交联聚乙烯 XLPE、高密度聚乙烯 HDPE、聚氯乙烯 PVC。馈电线绝缘性能的好坏主要取决于绝缘材料的介电常数和绝缘层厚度。介电常数是表示

电介质在电场中贮存电能的相对能力。对于绝缘材料，相对介电常数愈小绝缘性愈好。PVC 分子链上有极性支链，易极化，其介电常数较 XLPE 和 HDPE 大。而 XLPE 由于交联过程形成网状分子结构，较 HDPE 更不易极化，其介电常数最小。三种材料的相对介电常数如下表 3 所示。

表 3 三种材料相对介电常数^[5]

绝缘材料	XLPE	HDPE	PVC
相对介电常数	2.0-2.1	2.3-2.4	3.2-3.4

在相同绝缘电阻的要求下，XLPE、HDPE、PVC 厚度依次增大。为减小光电混合缆缆径，降低成本，应采用 XLPE 绝缘，但目前 XLPE 交联效率低，生产成本低，综合考虑馈电线和光电混合缆总成本，馈电线绝缘材料一般推荐采用 HDPE。同时，PVC 材料有一定的极性，其高温耐油性较差，在光电混合缆长期工作状态下与油膏相容性不好，如采用 PVC 绝缘馈电线，建议光电混合缆采用半干式结构。

油膏填充式与半干式光电混合缆绝缘性能的对比：油膏填充式光电混合缆是采用缆膏填充缆芯空隙达到阻水效果，缆膏主要成分是凡士林，凡士林也是一种介电材料，有

利于增大光缆的绝缘电阻。而半干式光电混合缆采用干式阻水带阻水，主要依靠空气绝缘，空气相对介电常数非常低，因此半干式光电混合缆绝缘性能略优于油膏填充式。

护套材料，接入网用光电混合缆护套料通常采用 HDPE、MDPE 和 LSZH，这三种材料介电常数都较小，绝缘性能优良。

光电混合缆在长期运行时，馈电线通电流发热，其工作状态一般在 70℃ 以下。因此，在实际生产时，通常是控制馈电线 70℃ 绝缘电阻，其数值不小于下表 4 所示。成品缆绝缘电阻控制常温 10000MΩ·KM。如在高压地区使用，其绝缘性能应考虑更高值。

表 4 铜导线 70℃最小绝缘电阻

导线	绝缘材料	HDPE	PVC
		70℃时最小绝缘电阻	70℃时最小绝缘电阻
	1.00	0.0100	0.0100
	1.50	0.0100	0.0100
	2.00	0.0098	0.0098
	2.50	0.0090	0.0090
	3.50	0.0085	0.0085
	4.00	0.0070	0.0070
	5.00	0.0068	0.0068
	6.00	0.0060	0.0060
	8.00	0.0058	0.0058
	10.00	0.0056	0.0056

3.3 馈电线及成品缆的介电强度：耐电压、耐电弧

馈电线及成品缆应具有足够的介电强度，以免光电混合缆在使用时发生介电击穿现象导致事故。介电击穿就是随着电压的不断增加至某极限值后，出现电阻率下降并降低到一定值时，电流增加，产生局部导电而使聚合物丧失绝缘性能的现象。介电击穿主要有三种形式：本征击穿、热击穿、放电引起的击穿^[5]。接入网用光电混合缆长期在通电状态下工作，馈电线导电产生热量，其绝缘材料随着使用时间的增长，材料老化到一定程度会导致热击穿和放电引起的击穿。为保障光电混合缆的使用安全和使用寿命，馈电线绝缘材料的使用决不能含糊，馈电线绝缘材料必须使用高性能全新料，拒绝使用再生料、环保料，另外在绝缘挤制过程中必须保证绝缘层厚度和绝缘同心度。

馈电线和成品缆介电强度采用耐电压试验及耐电弧试验进行测量，耐电压实验在标准规定环境下迅速将电压升高到标准规定电压，停留标准规定时间，观察绝缘层和护套是否被击穿。YD/T2159-2010《接入网用光电混合缆》[2]规定测试温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，标准电压 2KV，停留时间 5min。这个标准满足一般使用环境下的光电混合缆，但是，目前国家电网公司也开始引入光电混合缆使用，考虑使用环境，其耐电压试验的标准应该更加严苛。

耐电弧性试验是在一定的高压电场下，两级间的气体被击穿产生电弧、火花的作用，致使护套材料表面形成导电层，通常用所需要时间的长短表示高聚物对电弧、电火花的抵抗能力。目前光电混合缆的标准还未引入耐电弧性试验，随着光电混合缆使用范围的扩大，使用环境的复杂化，对光电混合缆耐电弧性进行测试还是非常必要的。

4. 结论

光电混合缆集光单元与电单元于一体，以优异的综合性能解决了分布式基站取电困难的难题，在内蒙古、辽宁等取电难的地区

应用愈加广泛。随着使用范围逐渐扩大，使用环境的增多，光电混合缆用电安全问题愈加凸显。在结构设计和生产控制时应同时考虑光传输性能及电传输性能，对其直流电阻、绝缘电阻、介电性能进行管控。

参考文献

- [1] 史惠萍，谭国华，付凯. 光电混合缆的开发与应用. 光通信研究. 2011(3): 32-36.
- [2] 接入网用光电混合缆. 中华人民共和国通信行业标准. YD/T2159-2010.
- [3] 电缆的导体. 中华人民共和国国家标准. GB/T3956-2008.
- [4] 电线电缆电性能试验方法 第2部分：金属材料电阻率试验. 中华人民共和国国家标准. GB/T3048.2-2007.
- [5] 何曼君，陈维孝，董西侠. 高分子物理. 复旦大学出版社. 2001.

长飞光纤光缆股份有限公司

Yangtze Optical Fibre and Cable Joint Stock Limited Company

地址：武汉市光谷大道9号（430073）

ADD: No.9 Optics Valley Avenue, Wuhan, Hubei, China(P.C.: 430073)

电话(Tel): +86 400-991-6698

邮箱(Email): marketing@yofc.com

www.yofc.com