

# 智能变电站的预制光缆设计方案

陈洛风

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川成都 610016)

**摘要:**智能变电站的发展进入到“标准化设计、工厂化加工、装配式建设”阶段,文中梳理智能变电站预制光缆的技术要求,对户内智能变电站、标准配送式智能变电站的预制光缆进行方案设计,从预制光缆的选型和连接方式进行研究,对传统方案和预制光缆方案进行经济性比较,对存在的问题提出可实施的建议,促进智能变电站技术的发展和运用。

**关键词:**智能变电站;预制光缆;连接器;分支器

**中图分类号:** TM72

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2014)S2-011-05

目前智能变电站中数据的采集、通讯、跳闸等都是通过光缆实现,与常规变电站相比,其控制电缆的用量大幅减少,但随之而来的是对光缆的需求量巨增。在前期投运的智能变电站中,光缆的应用也暴露出一些问题,例如:常规方案中光纤配线架上光缆密度高,尾纤混乱,标识不规范,维护检修不方便,现场熔接工作量大,据统计一个典型 500 kV 智能变电站中熔接点约为 8 000 个,工期长,且由于现场条件限制,熔接可靠性低等。

为了加快智能变电站建设,创新智能变电站工程建设模式,促进智能电网的发展,2013 年国家电网公司开展标准配送式智能变电站建设,推行“标准化设计、工厂化加工、装配式建设”,全面提升电网建设能力。

工厂化加工要求采用预制装配结构模式,工厂生产、现场装配。按电气功能单元实现集装箱式设计和整装采购,通过工厂集成调试,减少现场调试工作量。采用一次、二次通用设备标准化接口,定制一次设备与二次设备、二次设备间的标准化连接组件,简化现场二次接线,实现“即插即用”。因此预制光缆的提出就完全符合这个要求。

## 1 智能变电站预制光缆技术要求

### 1.1 预制光缆的种类

预制光缆是指光缆经过工厂预处理后,在光缆的一端或两端根据需要连接各种类型的光纤连接器,可实现预制端在施工现场的无熔接接续点的连

接或直连。预制光缆主要有 2 种,一种是采用光纤连接器的预制光缆,主要适用于预制舱之间的连接;另一种是采用光纤分支器的预制光缆,中间无断点,适用于点对点的连接。

光纤连接器是指用以稳定地,但不是永久连接 2 根或多根光纤的无源组件。将光纤的两个端面精密对接起来,使发射光纤(设备)的光能量最大限度的耦合到接收光纤(设备)中,最小化对系统造成的影响。光缆分支器是指光缆中的多根纤芯,经分支器无断点地分成多根尾纤,并在分支器中对分支点加以固定和保护。

### 1.2 预制光缆的结构

#### 1) 连接器型多芯预制光缆组件

第一种是连接器型多芯预制光缆组件,连接器型多芯预制光缆组件主要分为室外光缆组件和室内光缆组件 2 种形式。室外光缆组件包括插头、室外光缆、标记热缩管、防护材料等组成,如图 1 所示。

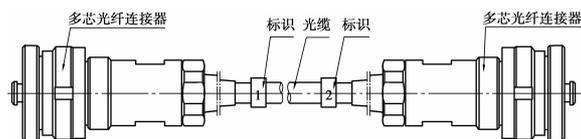


图 1 连接器型室外光缆组件(插头端)

室内光缆组件包括插座、室内光缆、光纤活动插头、标记热缩管、防护材料等组成,如图 2 所示。

#### 2) 分支器型多芯预制光缆组件

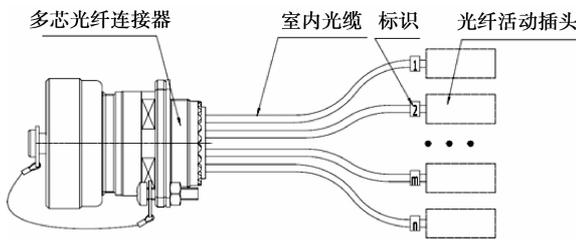


图 2 连接器型室外光缆组件(插座端)

第 2 种是分支器型多芯预制光缆组件,分支器型多芯预制光缆组件内部无断点,在室外光缆两端经分支器直接预制室内分支,并以套管等防护方式妥善保护。预制光缆组件包括室外光缆、分支器、标记热缩管、防护材料等组成,如图 3 所示。

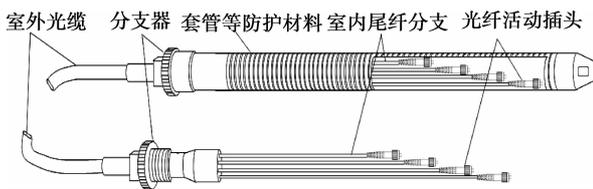


图 3 分支器型室外预制光缆组件

### 1.3 预制光缆及连接器的技术要求

1) 连接器及分支器的技术参数要求如表 1~表 3 所示。

表 1 预制光缆多芯连接器基本参数要求

性能指标	性能参数			
插入损耗/dB	4 芯	8 芯	12 芯	24 芯
回波损耗/dB	≤0.6(最大值)		≤0.8(最大值)	
	≤0.4(典型值)		≤0.6(典型值)	
机械寿命	≥50 次(仅限单模)			
振动参数	10~500 Hz, 加速度 98 m/s <sup>2</sup>			
冲击参数	980 m/s <sup>2</sup>			
工作温度/℃	-40~+85(+30) ~(+60±2)			
湿热温度	湿度 90%~95%, 持续时间 4 d			
抗拉力/N	≥720 N(插头)			
防护等级	IP67(用于室外), IP55(用于室内)			
	铝合金镀镍	96 h		
盐雾	铜合金镀镍	500 h		
	不锈钢钝化	1 000 h		

表 2 预制光缆单芯连接器基本参数要求

性能指标	性能参数	
拔插次数	>1 000 次	
拉伸力	>100 N	
工作温度	-40~+85℃	
插损	典型	≤0.2 db
	最大	≤0.5 db
回损	单模	≥50 db

表 3 预制光缆分支器基本参数要求

性能指标	性能参数
芯数	4 芯, 8 芯, 12 芯, 24 芯
工作温度/℃	-40~+85
抗拉力	≥1 000 N
产品防护等级	IP67(用于室外), IP55(用于室内)
抗压力	≥1 000 N(套管等防护材料)

### 2) 预制光缆的配套光缆

根据户外敷设的环境应选用防潮耐湿、防鼠咬、抗压、抗拉光缆。非金属铠装光缆宜采用玻璃纤维纱铠装方式,玻纱应沿圆周均布,玻纱密度应能保证满足光缆的拉伸性能,可防鼠咬。金属铠装光缆宜采用涂塑铝带或涂塑钢带作为防鼠咬加强部件。光缆应符合 GB/T7424.2-2008 的相关技术要求。

## 2 智能变电站预制光缆设计方案

### 2.1 全户内智能变电站预制光缆及光纤连接器的选型方案

#### 2.1.1 全户内智能变电站特点

- 1) 一次设备基本采用 GIS 和开关柜方式;
- 2) 二次设备按间隔下放,保护设备、智能组件由 GIS 厂家整合为汇控柜方式就地安装;
- 3) 公用设备集中在计算机室组屏;
- 4) 光缆的敷设条件相对较好,防护等级较低;

#### 2.1.2 预制光缆及光纤连接器的设计方案

1) 常规方案是采用“柜间预制尾缆+柜内跳线”的设计方案。

这种方案的特点在于中间增加或不增加断点,理论上说插损小,但在使用中存在不易标准化,防护性等不足:尾部跳线长度及光纤的接口类型,均要按客户使用设备的要求定制生产。预制光缆的尾部跳线防护性差,铺设不便,且易于损坏,若尾部跳线出

现损坏,很可能将不得不更换整条预制光缆。由于芯数多,仍存在意义插接时辨认的问题。

2)新的设计方案是采用“柜间预制光缆+柜内弯曲不敏感光跳线”的设计方案。

预制光缆选用 Masterline 型预制光缆,它是一种经分支器预制分支型的多芯预制光缆,预制光缆内部无断点,并且在变电站 100 m 左右的传输距离上衰减极小,信号具备最佳质量传输。防水型分支器结构紧凑,24 芯以下最大外径不超过 31 mm,套管顶部带拖曳孔,便于施工。预制端由金属套管保护,为螺纹旋紧式安装,拆卸方便,结合紧密,达到 IP67 防护等级。可以预制最多 144 芯,满足干线传输要求。技术参数如表 4 所示。

表 4 Masterline 光纤组件的技术参数

项目名称	条件	数值
光纤类型		A1b(62.5/125 $\mu$ m)
光纤衰减系数	850 nm	$\leq 3$ dB/km
	1 300 nm	$\leq 1$ dB/km
外径		8.5mm
最小弯曲半径	安装	130 mm
	运行	80 mm
拉伸力	安装	3 000 N
	运行	1 500 N
压扁力	安装	1 000 N/cm
	运行	300 N/cm
扭转	$\pm 1440^\circ$	3 周
温度范围	运行温度	$-40 \sim +70$ $^\circ$ C
	储存温度	$-40 \sim +70$ $^\circ$ C
	安装温度	$-10 \sim +50$ $^\circ$ C
燃烧负荷		1.5 MJ/m
燃烧性能	单根垂直燃烧	符合
	成束垂直燃烧	符合
	燃烧时工作测试	180 min
燃烧测试:含卤气体	光缆外护套	无卤
燃烧测试:酸性气体浓度	光缆外护套	满足
阻水性能	$H=1$ m, 24 H, $p < 3$ m	符合

与普通尾缆或者光纤熔接方式的对比如表 5 所示。

表 5 Masterline 光纤组与光缆、尾缆对比

产品	光缆熔接	尾缆	Masterline
通道 衰减	尾纤接头+ 熔接损耗+ 光缆衰减	光纤接头+ 光缆衰减	光纤接头+ 光缆衰减
环境 要求	$-20 \sim$ $+60$ $^\circ$ C	$-20 \sim$ $+60$ $^\circ$ C	$-40 \sim$ $+70$ $^\circ$ C
机械 要求	$< 200$ N	$< 200$ N	800—800 N
安装 空间	光纤端接 盒+光缆	光缆直径约 15 mm	室外光缆直 径约 8 mm, 室内缆直 径约 5 mm
安装 时间	光缆准备+ 熔接+测 试+连接	光缆准备+ 连接	光缆准备+ 连接
安装 成本	物料:光缆+ 熔接盒+尾纤 人工:铺设+ 熔接+测试+ 连接	物料:尾缆 人工:铺设+ 连接	物料:Masterline 人工:铺设+ 连接
安装 方式	无需特殊 保护	对于尾缆的 连接器需要 特殊保护	无需特殊保护 光缆敷设时连 接器不露出来, 敷设完成后 去掉保护套管

柜内跳线推荐采用弯曲不敏感光跳线,弯曲不敏感光纤一般适用于接入网系统,在通信行业中应用广泛。这种跳线与普通光纤主要的不同的是在光纤核心层与包层之间增加了一层反射层,当光缆受到较小的弯折半径时,普通光纤的核心周围比较弱的光信号会反身到包层以外从而导致增加光波损耗增加,而弯曲不敏感光纤的反射层会防止核心外侧光波向包层外泄露,从而减少了光信号的衰减。

智能变电站柜内空间都比较狭小,对弯曲半径要求比较高,这种弯曲不敏感跳线非常适合高密度布线的情况。

光纤连接器的选型。光纤连接器按传输媒介的不同可分为常见的硅基光纤的单模、多模连接器,还有其它如以塑胶等为传输媒介的光纤连接器;按接头结构形式可分为:ST、SC、FC、MT—RJ、MU、LC 等各种形式。在实际应用过程中,一般按照光纤连接器结构的不同来加以区分。以下是一些目前比较常见的光纤连接器,在智能变电站中一般常用的接口类型有 ST、LC 及 SC 3 种。

目前主流二次设备厂家光纤连接器类型如表 6 所示。

表 6 主流二次设备厂家光纤接口类型表

厂家	主要接口类型	备注
南瑞继保	ST、LC	
国电南自	LC、ST	
北京四方	ST	
许继电气	ST	
罗杰康交换机	ST(千兆)LC(千兆)	
东土交换机	同上	
MOX 交换机	同上	

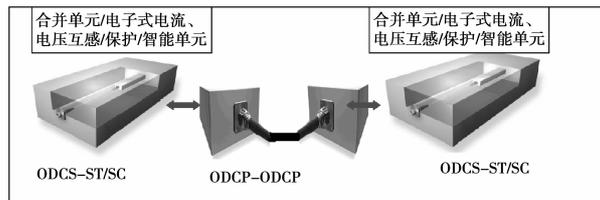


图 4 ODC 光缆组件应用方案

ODC-PLUG, 预制舱内采用 ODC-SOCKET 跳线, 直接与设备相连。如果一个柜内有多路光缆接入, 可以采用并排多个 ODC 的方案, 安装在预制舱的侧面。光缆组件的技术性能如表 8 所示。

对于智能变电站高密度的交换机综合布线, 建议统一采用 LC 接口连接器。LC 接口连接器的技术参数如表 7 所示。

表 7 LC 接口连接器技术参数

特性	小型化连接系统, 高密度综合布线, 适合于电信和局域网
光纤类型	多模: 62.5/125 μm
材质	插针: 陶瓷氧化锆, 直径 1.25 mm 连接器主体: 复合塑料
性能	插损: 典型值 0.10 dB 最大值 0.30 dB 500 次插拔循环后, 插损变化 ≤ 0.2 dB 温度范围: -40 ~ +75 °C

表 8 ODC 光缆组件的技术性能表

		标准	
插芯		陶瓷高精度插芯术	
机械拉伸力/N	ODCP	800	
	CDCS	30	
工作温度	IEC 61300-2-22	-40 ~ +85 °C	
插拔次数		1 000 次	
防尘防水	IEC 60529	IP68	
盐雾特性	IEC 61300-0-26	30 d	
震动	IEC 61300-2-1	10-500 Hz/10g	
冲击	IEC 61300-0-9	100 g	
插入损耗(多模)	典型值	≤ 0.20 dB	最大值
			≤ 0.50 dB
弯曲半径		≥ 60 mm	

## 2.2 标准配送式智能变电站预制光缆及光纤连接器的选型方案

### 2.2.1 户外配送式智能变电站的特点

1) 保护、通信、监控等二次设备, 按电气功能单元采用“预制舱式组合二次设备”, 舱内接线及单体设备调试均在工厂内完成;

2) 电气设备的安装根据标准工艺库的要求, 与装配式构支架和通用模数设备基础相结合, 做到设计与施工模块化、标准化、定制化;

### 2.2.2 预制光缆及光纤连接器的设计方案

采用 ODC(outer door connector) 光缆组件或者 IP67 RMC 多芯光缆连接组件。

ODC 光缆组件由插头和插座组成, 插头组件是安装人员用来连接较远距离的不同设备。不同设备之间用 ODCP-ODCP 的线来连接。插座组件一般是 ODCS 和 ODCP 连接, ODC 法兰安装的插座连接器, 另一头则是和设备连接。ODC 光缆组件的连接方案如图 4 所示。

预制舱之间采用 ODC 光缆组件, 两端都是

IP67 RMC 多芯光缆连接组件采用了标准的 MTP/MPO 多芯光纤插芯和专利设计的室外接头, 可应用于各种复杂的恶劣环境, 包括集装箱式预制舱的应用。RMC 多芯连接器在预制舱的应用方案如下: RMC 母头到 LC/ST 双芯分支, 屏内连接; RMC 公头可以快速连接到屏柜与另外一个预制舱的屏柜; 无需 ODF 配线架和适配器, 12 芯公头和 12 芯母头可以直接对接, 多芯光缆部署灵活快捷。RMC 多芯光缆连接组件的技术性能如表 9 所示。

表 9 RMC 多芯光缆连接组件的技术性能表

技术指标	参数值
机械性能	500 N 拉力
工作温度	-40 ~ +80 °C
防护等级	IP67
插入损耗(多模)	0.6 dB(max)
支持 4/6/8/12/24 芯光纤的应用	
支持单模 9/125 μm, 多模 62.5/125 μm	
螺纹接口, 安装快捷可靠	

### 3 预制光缆与常规光缆应用的经济性比较

#### 3.1 总体效益比较

常规设计方案中,泥浆、水汽、粉尘等现场环境对常规光缆熔接方式及质量影响非常大,工期时间长。而采用预制光缆的设计方案,由于预制端具有IP67以上防护等级,敷设等工作不会受太大影响,且柜内即插即用,现场光缆零熔接,使用起来比较方便,在很大程度上能保证建造工期及后期联调、验收等工作的有序进行,带来的直接和潜在经济效益非常明显。

预制光缆本身为工厂洁净环境下预制,经过严格出厂检验,应用上断点少于2个,远少于传统熔接方案的4个断点,通信质量及稳定性均比常规熔接方案大幅提高。设计方案中的预制光缆具有很强的防护能力和环保特性,如具备低烟无卤、阻燃自熄和180 min的耐火能力,在灾害工况下可以最大程度上保证系统持续工作和人员安全,并为故障排查及解决争取时间。

#### 3.2 估算比较

举110 kV变电站为例,一般熔接点600个左右,估算普通光缆和连接器费用6万,采用预制光缆及连接器费用7万,总造价会上升10%~20%左右。以造价的小幅提升带来变电站建造周期的缩短、系统工艺和可靠性的大幅提高,其收益还是相当明显的。

### 4 技术难点及改进建议

#### 4.1 预制光缆的长度估算问题

预制光缆可以大大缩短智能变电站的建设工程,但是最大的问题是预制光缆长度的估算。如果预制光缆的长度估算不准确,会造成电缆沟大量剩余光缆的堆积,布置混乱。

#### 4.2 预制光缆的敷设路径问题

预制光缆的长度在施工之前已经确定,路径也已经确定,如果施工方不能严格按照预制光缆的设计路径敷设,会造成预制光缆长度不够或过长。所以预制光缆对设计单位的要求更高。

#### 4.3 改进建议

采用传统的CAD进行光电缆通道设计普遍存在通道走向、通道大小、就地设备布置不合理等一些通病,造成光缆/电缆浪费,与智能变电站的宗旨相

违背。

建议在变电站设计中引入三维设计软件,采用三维设计进行空间建模后,无论是面对整体的统筹优化设计,还是错综复杂的空间布置,都能够尽展所长,能够有效避免人为设计所产生的设计误差,各个专业的设计都达到相对的优化设计,避免现场施工过程中出现的大量设计修改工作,完成光电缆通道的合理设计。对智能变电站进行三维建模,结合光电缆沟布置、预制仓、光缆/电缆起点、终点等进行光缆/电缆通道优化设计

### 5 结论

1) 针对全户内智能变电站,采用“柜间预制光缆+柜内弯曲不敏感光跳线”的设计方案,利用预制光缆高强度、防护等级高的特点,优化全户内智能变电站尾缆和跳线技术,提高智能变电站通信可靠性。

2) 针对标准配送式智能变电站,采用ODC(outer door connector)光缆组件或者IP67 RMC多芯光缆连接组件的设计方案,有效的解决户外预制光缆的防护、环保和通信质量问题,具有可实施性。

3) 通过预制光缆的设计方案的经济性比较,尽管造价方面有所上升,但是能带来变电站建设周期的缩短、工艺和可靠性的大幅提高,符合智能变电站技术发展的方向。

4) 预制光缆在智能变电站的应用才起步,具体工程中会遇到很多问题,比如预制光缆的长度估算、敷设路径确定等,希望在今后的具体工程中不断研究,使预制光缆技术能成熟应用在智能变电站建设中。

#### 参考文献:

- [1] 覃剑. 智能变电站技术与实践[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [2] 钟连宏,梁异先. 智能变电站设计与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [3] 胡先志. 光纤与光缆技术[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [4] 接入网用弯曲损耗不敏感单模光纤特性[S]. 北京:YD/T 1954-2009,2009.
- [5] Joseph C. Palais, Fiber Optic Communications Fifth Edition[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

(编辑 陈移峰)