

# 变电站预制光缆及其免熔接光纤配线 模块化标准化研究

邱新娟<sup>1,2</sup>, 方贞泽<sup>2</sup>, 吴聪颖<sup>3</sup>, 刘文轩<sup>3</sup>, 郭亚昌<sup>4</sup>

(1. 重庆理工大学, 重庆 400054; 2. 上海思方电气技术有限公司, 上海 200122;

3. 国网经济技术研究院有限公司, 北京 102209; 4. 中国能源建设集团山西电力勘测设计院, 太原 030001)

**摘要:** 针对智能变电站模块化建设“即插即用”要求, 设计了一种连接快速、性能可靠、可盲插的高密度预制光缆和标准化、模块化的免熔接光纤配线模块; 该预制光缆和免熔接光纤配线模块解决了智能变电站预制光缆接口标准不统一和免熔接光纤配线模块尺寸不标准的问题, 提高了光连接的效率性、可靠性、标准性和互换性; 通过对预制光缆和免熔接光纤配线模块的测试和验证, 表明该预制光缆和免熔接光纤配线模块达到了智能变电站建设标准化、模块化、通用性、互换性、兼容性目标。

**关键词:** 高密度; 预制光缆; 接口标准化; 免熔接配纤; 模块化

## Research on The Smart Substation's High-Density Prefabricated Optic Cable and the Modularity and Standardization of Its Welding-Free Fiber Distribution

Qiu Xinjuan<sup>1,2</sup>, Fang Zhenze<sup>2</sup>, Wu Congying<sup>3</sup>, Liu Wenxuan<sup>3</sup>, Guo Yachang<sup>4</sup>

(1. Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China;

2. Shanghai SFUN Electric Technology Co., Ltd., Pudong New Area, Shanghai 200122, China;

3. State Grid Economic and Technological Research Institute CO., LTD., Changping District, Beijing 102209, China;

4. China Energy Engineering Group Shanxi Electric Power Engineering CO., LTD., Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** Aiming at the requirement of “plug and play” for modular construction of intelligent substation, a high-density prefabricated optical cable with fast connection, reliable performance and blind insertion, and a standardized and modular fusible-free optical fiber distribution module are designed. The prefabricated optical fiber cable and the fusible-free optical fiber distribution module solve the problem that the standard of the intelligent substation prefabricated optical cable interface is not uniform and the size of the non-welded optical fiber distribution module is not standard, and the efficiency, reliability, standardity and interchangeability of the optical connection are improved. Through the test and verification of the prefabricated optical cable and the fusible-free optical fiber distribution module, it is shown that the prefabricated optical cable and the fusible-free optical fiber distribution module achieve the goal of standardization, modularization, versatility, interchangeability and compatibility of intelligent substation construction.

**Keywords:** high density; prefabricated optical cable; interface standardization; fusion-free fiber distribution; modular

## 0 引言

国家电网公司自 2017 年起全面推进 110 (66) kV 智能变电站模块化建设, 同时实施 220 kV 智能变电站模块化建设<sup>[1]</sup>。按照“标准化设计、工厂化加工、模块化建设”原则<sup>[2]</sup>, 其特征之一是二次回路由 SCD 文件描述的“虚回路”和由物理光纤连接构成的“实回路”共同组成<sup>[3-4]</sup>, 二次系统物理回路要求采用“即插即用”预制光缆连接, 摒弃了传统的光缆与 ODF 光配箱现场熔接方法在消除繁冗熔接工作的同时, 又降低光路损耗, 提高了系统通信可靠性。预制光缆应采用标准化设计, 以满足通用性、互换性及“即插即用”要求<sup>[5]</sup>。

常规多芯预制光缆是基于单芯光纤连接器工作原理, 将陶瓷插针与陶瓷套筒多对平行安装于圆形或矩形防护外壳内, 分别作多个单芯光纤预制。预制芯数越多时, 各通道的陶瓷插针与套筒的对准和光纤端面连接就越难、陶瓷插针折断的风险也就越高、预制防护外壳的外形尺寸相应越大。因此早期户外多芯预制光缆以 2 芯和 4 芯 (ODC) 居多, 难以满足智能变电站物理连接达 24 芯甚至更多芯数的要求。2014 年国家电网公司颁布了《智能变电站预制光缆技术规范》, 该规范多芯连接器型预制光缆基于《耐环境快速分离高密度小圆形电连接器总规范》<sup>[6]</sup> (GJB599A-1993), 等同于 MIL-DTL-38999 标准, 是将单芯光纤陶瓷插针替代电接插针安装于电连接器内以实现多芯光纤的预制型式。其实质是采用符合军标防护外壳的一种常规多芯预制光缆。如应用到智能变电站物理回路连接时, 由于不同芯数的预制光缆防护外壳径向尺寸不同, 导致接口无法统一, 尤其是 12 芯以上预制光缆外壳的直径很大, 使得匹配的免熔接光配箱在接口外形和尺寸等方面难以实现通

收稿日期: 2019-01-30; 修回日期: 2019-02-18。

基金项目: 国家电网公司科技项目 (B3441517K001)。

作者简介: 邱新娟 (1977-), 女, 江苏海门人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事电力系统光通信技术方向的研究。

用性、互换性和标准化、规范化要求；另外，多芯预制防护外壳的尾夹过长并在屏柜内占用较大纵深空间，也使得常规多芯预制光缆在屏柜内的弯曲半径变得较大、占用较多的柜内空间。与此同时，常规多芯预制光缆光纤连接器的光纤端面易污染、易损伤且难以修复等可靠性问题<sup>[7-8]</sup>及 MIL-38999 标准系列多芯预制光缆理论上不支持单模光纤传输<sup>[9]</sup>的技术问题也使得常规多芯预制光缆难以保证智能变电站采用单模和多模传输及互换性、通用性要求，并影响后期改扩建和日常运行维护。鉴于变电站长期安全稳定运行所具有的重要意义<sup>[10-11]</sup>，综上所述，提出研究一种基于多芯多排光纤插拔连接器构建高密度预制光缆技术 SPM (Standard Prefabricated MPO/MTP) 及其免熔接光纤配线标准化模块化 MR (Modular) 系统，统一智能变电站预制光缆接口标准，以实现二次物理回路高密度、小型化、低损耗、易维护、接口统一、精准定位、可盲插快速连接，匹配具有兼容性的免熔接光纤配线模块系统，达到智能变电站二次物理连接通用性、互换性、模块化、标准化的“即插即用”要求。

### 1 高密度预制光缆 SPM 损耗分析

高密度预制光缆 SPM 由预制防护外壳（分为插头防护外壳和适配器防护外壳）、多芯多排光纤插拔连接器、光缆等组成，预制阴插头和预制阳插头分别盲插连接适配器两端接口即可实现多芯多排光链路“即插即用”。高密度光纤活动连接器是一种多芯多排插拔式连接器（简称 MPO 或 MTP），其特征是由一个标称直径为 6.4 mm×2.5 mm 矩形插芯体，利用其端面上左右两个 φ0.7 mm 直径的导针孔与导针进行定位对接，对接时由一个装在插芯体尾部的弹簧对插芯体施加一轴向压力，直至带导针孔的阴插头和带导针的阳插头的外框套分别跟适配器锁紧形成对接。

影响高密度光纤活动连接器链路损耗的主要因素有输出光纤端面与输入光纤端面之间纤芯直径失配、横向错位、角度倾斜 3 个方面。下面具体分析这些因素对链路损耗的影响，在分析计算某一因素的影响时，假设不存在其它因素的影响。

#### 1.1 端面纤芯直径失配对连接损耗的影响

单模光纤直径失配时连接损耗  $C_a$ <sup>[12]</sup>如下公式：

求得：

$$C_a = \left[ \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \right]^2 \quad (1)$$

式中， $\omega_1$  和  $\omega_2$  分别为输入光纤和输出光纤的高斯束的宽度系数，由式 (1) 可见，在单模光纤时，只要直径失配，都会产生损耗。

多模光纤连接损耗采用光功率稳态分布条件下的损耗计算公式：

$$L_{(mm)} = -10 \lg \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^2 \quad (2)$$

式中， $a_1$  和  $a_2$  分别为输入光纤芯径和输出光纤芯径，当输入光纤芯径小于输出光纤芯径时损耗则小，反之则大。

在  $a_1 - a_2 < 1.5 \mu\text{m}$  时，无论是单模光纤还是多模光纤，连接损耗的增加均较平缓。

在  $a_1 - a_2 > 1.5 \mu\text{m}$  时，多模光纤连接损耗仍是缓慢增加，但单模光纤连接损耗将会激增。

由此可见，输入光纤和输出光纤选择相同规格的光纤且芯径允差控制在  $1.5 \mu\text{m}$  以内时对高密度光纤插拔连接器的连接损耗影响最小。

#### 1.2 端面纤芯错位对连接损耗的影响

高密度光纤插拔连接器链接时，假设输出光纤端面各纤芯与输入光纤端面各纤芯的芯径相同，存在横向错位情形和纵向错位情形如图 1 所示。

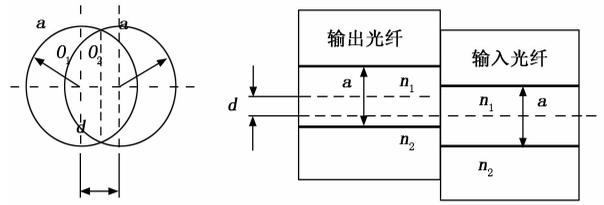


图 1 错位情形示意图

单模纤芯错位时的链接损耗  $C_d$  可由下列公式计算可得：

$$C_d = K_d \left( \frac{d}{a} \right)^2 \quad (3)$$

式中， $K_d$  为单模纤芯错位损耗系数，对于已知单模光纤其  $K_d$  是定值， $d$  为横向或纵向错位时的偏移量， $a$  为光纤芯径。

多模纤芯错位时的链接损耗采用光功率稳态分布条件下得损耗公式求得：

$$L_{(mm)} = -10 \lg \left( 1 - \frac{2d}{\pi a} \right) \quad (4)$$

当偏移量  $d$  变化时，利用基于光束传播法的 BPM 软件对光纤连接处光场进行仿真分析计算可得到单模光纤连接的传输效率与偏移量  $d$  的关系曲线，如图 6 所示。

在  $d < 0.75 \mu\text{m}$  时，无论是单模光纤还是多模光纤，连接损耗的增加均较平缓；

在  $d > 0.75 \mu\text{m}$  时，单模光纤连接损耗将会激增，而多模光纤连接损耗仍缓慢地增加。

#### 1.3 端面纤芯角度倾斜对连接损耗的影响

高密度光纤插拔连接器链接时假设阴插头端面与阳插头端面上的纤芯倾角为  $\alpha$ 。

单模光纤角度倾斜时的损耗可由下式推导：

$$C_a = K_a \left( \frac{\alpha}{\sqrt{2\Delta}} \right)^2 \quad (5)$$

式中， $K_a$  为端面角度倾斜损耗系数，对于已知的单模光纤其  $K_a$ 、 $\Delta$  是定值。

多模光纤连接损耗采用光功率稳态分布条件下的损耗公式：

$$L_{(mm)} = -10 \lg \left( 1 - 0.36 \frac{\alpha^2}{\Delta} \right) \quad (6)$$

当纤芯倾角  $\alpha$  增加时, 单模光纤或多模光纤, 连接损耗都将随着  $\alpha^2$  / (逐渐增加, 而且倾角对单模光纤连接损耗的影响比多模光纤连接损耗的影响要大得多。端面倾角控制在  $\alpha < 0.4^\circ$  以内时, 无论单模光纤或多模光纤连接均可获得小于 0.1 dB 低损耗。

### 1.4 斜面连接对回波损耗的影响

单模光纤斜面连接时存在轴向间隙和径向偏移, 其连接界面处的菲涅尔反射光以  $2\theta$  角返回, 斜面连接的功率反射系数<sup>[13]</sup>:

$$R = R_0 \exp\left[-\left(\frac{\pi n_2 \omega_2 \theta}{\lambda}\right)^2\right] \quad (7)$$

其中:  $R_0$  为平面连接时菲涅尔反射系数。如图 2 ( $\omega = 5 \mu\text{m}$ ,  $n_2 = 1.46$ ) 所示是不同端面倾角与回波损耗的理论曲线<sup>[14]</sup>。光纤自身的瑞利散射在 65 dB 左右, 选择端面倾角  $8^\circ$  的斜面连接能以满足系统应用要求。

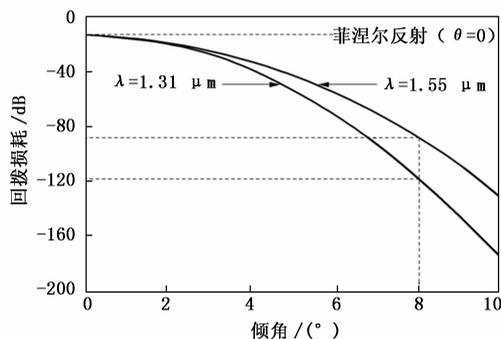


图 2 端面倾角与回波损耗理论曲线

## 2 高密度预制光缆 SPM 实现路径

高密度预制光缆 SPM “即插即用” 是基于阴、阳插头分别与适配器接口快速连接锁紧的同时, 实现阴插头导针孔与阳插头 PIN 导针精准定位, 并使得这对阴、阳插头的插芯体端面最终处于弹性接触状态形成光传输链路。因此, 阴、阳插头分别与适配器的连接精准度和导针孔与导针的定位精准度, 是确保阴、阳插头的插芯体端面接触状态, 并最终影响预制光缆传输质量的关键技术。

下面具体分析标准高密度预制光缆 SPM 的实现路径。

### 2.1 阴、阳插头与适配器 “盲插” 连接

为确保阴、阳插头精准对接, 采用阴、阳插头防护壳体外圆 “主键+辅键” 和适配器内孔 “T 字槽导向芯” 相结合的盲插技术来实现。适配器两端的接口内孔各设置一个主键槽且处于同一基准位置, 主键槽 (槽宽  $H^{+A/4}$ ) 左右两侧各设计若干辅键槽 (槽宽  $h^{+A/4}$ ) 并与主键槽形成夹角  $\gamma_1$ 、 $\gamma_x$  和  $\beta_1$ 、 $\beta_y$ , 适配器两端接口孔内的辅键槽夹角为同方向。

阴、阳插头防护壳体外圆上的主键 (键宽  $H_{A/4}$ )  $h$  和主键左右两侧各设计的若干辅键 (键宽  $h_{A/4}$ ) 与主键形成的夹角保持同适配器内键槽数相同、夹角一致且均为  $\gamma_1$ 、 $\gamma_x$  和  $\beta_1$ 、 $\beta_y$  但方向相反,  $x$  和  $y$  可以是零或自然数。

当阴、阳插头防护壳体与适配器匹配连接, 只有当主键对准主键槽, 相应辅键才能对准辅键槽时, 才能实现

“盲插” 连接。不同的适配器可与其匹配的阴、阳插头防护壳体通过调整任意一个  $\gamma_1$ 、 $\gamma_x$  或  $\beta_1$ 、 $\beta_y$  夹角或调整  $x$  和  $y$ , 可在实现 “盲插” 的同时确保防误插连接。

适配器内部的 “T 字槽导向芯” 底部和阴、阳插头防护壳体的 “导向 T 字槽” 底部始终对准主键槽或主键位并处于相同基准中心线, 这样可以保证阴、阳插头防护壳体 “主键+辅键” 对准并插入适配器 “主键槽+辅键槽” 时自始至终引导高密度光纤活动连接器阴、阳插头矩形插芯体 KEY 键准确无误地进入适配器 “T 字槽导向芯” 内完成 PIN 导针与导针孔二次 “盲插” 连接。

### 2.2 阴、阳插头多重精准定位连接

“圆弧中心聚焦”、“T 字槽 KEY 键限位”、“主辅键定位”、“PIN 导针与导针孔浮动交会对接” 等技术确保阴、阳插头连接时实现超精准定位。

高密度光纤插拔连接器矩形插芯体外轮廓是一个整圆的部分圆弧。阴、阳插头防护外壳的 “T 字槽” 内圆弧直径  $\Phi_e$ , T 槽底部槽宽  $s$ , 假定  $\Phi_e < \Phi_e \leq \Phi_e + \Phi A / 2$ ,  $S + \Phi A / 2 < s \leq S + \Phi A$ , 此时当阴、阳插头矩形插芯体分别卡入其防护壳体时, 因防护壳体内 “T 字槽” 的宽度、方向限定了矩形插芯体 KEY 键位置致使阴、阳插头矩形插芯体始终朝防护壳体的内圆弧中心方向聚焦, 且阴、阳插头内部矩形插芯体 KEY 键始终居于同方向位置。 $E$ 、 $e$ 、 $S$ 、 $s$  分别是标准高密度光纤活动连接器矩形插芯体和适配器相对应的圆弧基准直径、KEY 键宽度尺寸。

当阴、阳插头防护外壳外圆 “主键+辅键” 分别对准适配器内孔 “主键槽+辅键槽” 完成盲插连接后, 由于主键宽度  $H_{A/4}$  与主键槽宽  $H^{+A/4}$ 、若干辅键宽度  $h_{A/4}$  与对应的辅键槽宽度  $h^{+A/4}$  之间是微量间隙配合且最大极限间隙  $< A / 2$ , 这样的定位结构和定位精度确保了 PIN 导针一旦接触导针孔时可随时实现精准连接。

适配器内部 “T 型槽导向芯” 的一个关键作用是引导阴、阳插头完成 “PIN 导针与导向孔浮动交会对接”。主辅键设于插头防护外壳前端部并在前端面内侧设有一个内凹 U 型圆柱导孔, 内凹 U 型圆柱导孔外径  $\Phi G^{+A/4}$ 、深度  $B_0$ 。当阴、阳插头主辅键沿着适配器内主附键槽轴向推进时其前端首先接触到 “T 型槽导向芯”, 导向芯内部是一个带圆弧的 T 型槽, 其尺寸同插头防护壳体内 “T 字槽” 圆弧直径  $\Phi_e$  和 T 槽底部的槽宽  $s$ , 导向芯两侧分别为外径  $\Phi G_{A/4}$ 、宽度  $X_0$  的外凸 U 型圆柱体, T 型槽导向芯总宽度  $B$ , 导向芯正中间是一个与适配器主辅键槽相匹配的圆柱, 其圆柱外侧为球形体, 导向芯安装在适配器内部具备  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向微量移动和  $Z$  方向摆动。当内凹 U 型圆柱导孔接触并逐渐导入外凸 U 型圆柱时, 由于导向芯具有轴向微量移动和三维微量摆动的可浮动设计, 将精准引导 KEY 键矩形插芯体准确进入导向芯 T 型槽内。无论是带 PIN 导针的阳插头还是带导针孔的阴插头双端连接适配器时, 最终将使 PIN 导针第一次浮动交会导入导针孔并实现阴、阳插头矩形插芯体端面光纤精准接触连接。矩形插芯体光纤端面距内凹 U 型圆柱导孔底部高度为  $B_0$ , 且  $B_0 > B_1$ , 上述这样的结构

设计便于清洁维护高密度光纤活动连接器光纤端面，同时假定  $B=2B_0 - B_0$ ， $0 < B_0 < (I-J)/2$ ，使得阴、阳矩形插芯体第二次浮动交会对接，并确保光纤端面紧密接触连接。 $B_0$  为阴阳矩形插芯体受到弹性作用后的持续压缩量， $I-J$  值是矩形插芯体极限压缩量<sup>[15]</sup>。

### 2.3 高密度预制光缆链路损耗验证

多模光纤和单模光纤连接损耗测量时，采用 LED 光源，多模光纤峰值点波长为 850 nm/1300 nm，单模光纤峰值点波长为 1 310 nm/1 550 nm。

连接损耗值  $a$  按下列公式计算：

$$a = -10 \lg \left( \frac{P_1}{P_0} \right) \quad (8)$$

单模光纤回波损耗是由输入功率中沿着输入路径返回部分的量度，其测量基准为定向耦合器法，测量链路<sup>[16]</sup>如图 3 所示。

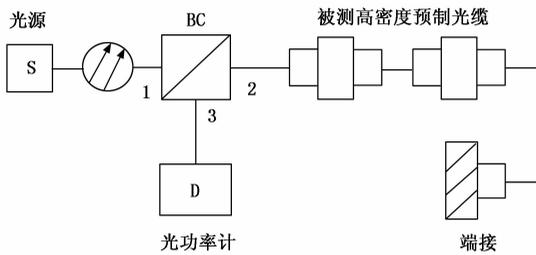


图 3 单模光纤回波损耗测量原理图

回波损耗值  $RL$  按下列公式<sup>[17]</sup>计算：

$$RL = -10 \log \frac{P'_1 - P_1}{P_0} + 10 \log T_{2,4} \quad (9)$$

预制 54 根高密度预制光缆，采用双排 24 芯 62.5/125  $\mu\text{m}$  多模光纤，PC 端面，共 1296 个光链路作为多模测试样本；同时再预制 54 根高密度预制光缆，采用双排 24 芯 9/125  $\mu\text{m}$  单模光纤，斜 8° 倾角 APC 端面，共 1 296 光链路作为单模测试样本。采用“替代法”，由“插入损耗测量仪”分别验证多模高密度预制光缆、单模高密度预制光缆的链路损耗值。

预制的 54 根高密度预制光缆，双排 24 芯 9/125  $\mu\text{m}$  单模，斜 8° 倾角 APC 端面，共 1296 个光链路同时作为回波损耗测试样本，采用“替代法”，由“回波损耗测量仪”测试验证高密度预制光缆链路的回波损耗值，结果如图 4 所示。

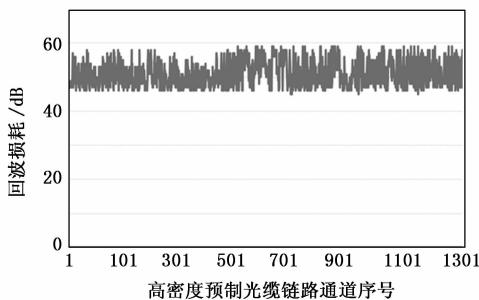


图 4 单模高密度预制光缆链路回波损耗值

实验结果表明，高密度预制光缆技术同时适用多模光纤和单模光纤。对所有被测的高密度预制光缆 1 296 个多模光链路和 1 296 个单模光链路数据分析，其链路损耗值最大值  $< -1.15$  dB，链路损耗典型值  $\leq -0.8$  dB，远低于 GJB1919-94；3.10.1 常规多芯预制光缆纤芯直径 62.5  $\mu\text{m}$  光纤的每一链路最大损耗为 1.8 dB 的界定值；通过验证高密度预制光缆的单模光纤回波损耗值，其最小值  $\geq 48$  dB。

### 3 免熔接光纤配线标准化、模块化方案

光纤配线箱通常安装在一次设备智能控制柜或开关柜、二次设备集中转接柜或通讯柜，须能适应快捷装卸、配纤防误识别、预制光缆准确快速连接及设计变更时满足增补等需要，结合各种柜体的机械结构，提出一种具有标准化尺寸，模块化特征，满足变电站通用性、互换性、兼容性要求的免熔接光纤配线模块 MR (Modular) 系统。

免熔接光纤配线模块 MR 面板或插箱的宽度基于 19' (482.6 mm) 机械结构尺寸<sup>[18]</sup>，高度以  $U = 44.45$  mm (1.75 in) 作为一个基准单位和垂直增量。横式安装的 MR 模块理论高度设定为 1U，每个面板可设置 1~5 个标准高密度预制光缆适配接口并满配 48 个 LC 或 24 个 ST (FC) 适配器。竖式安装的 MR 模块理论宽度设定为  $8 \times 5.08$  mm (19 in)、高度 5U 或 4U 的机架，每个竖式 MR 模块的面板设置 1~2 个标准高密度预制光缆适配接口并满配 24 个 LC 或 12 个 ST (FC) 适配器。

横式 MR-1U 模块和竖式 MR-5U (4U) 模块的插箱两侧均分别装有固定于控制柜机架用的耳板，耳板的封口槽 (或开口槽) 尺寸、上下封口槽 (或开口槽) 间距、两侧耳板间适配机架安装尺寸等均应符合通信标准规定<sup>[19]</sup>，耳板上设计紧固螺钉导向滑动长槽，方便随时调节 MR 模块在控制柜内机架上至合适的安装位置及满足预制光缆进缆与出纤方向是“前进前出”或“后进前出”的连接方式，这样的 MR 模块在面板宽度、高度、结构、安装等方面全面实现标准化、模块化。

所有 MR 模块内部已经工厂化预制并安装了高密度预制尾纤，尾纤的阳插头连接 MR 模块的预制光缆适配器接口，尾纤的 LC 或 ST (FC) 连接器按序号分别对应连接 MR 模块面板的跳线适配器接口。由于高密度预制光缆适配器接口和 LC、ST、FC 等适配器接口的结构、形状、尺寸全部实现标准化，使得变电站内部、各变电站之间以及应急备用的免熔接光纤配线模块 MR 可以完全实现通用性、互换性、兼容性目标<sup>[20]</sup>。

这种结构和尺寸标准化同时具备通用性、互换性、兼容性的 MR 模块，按设计要求可分别提前安装于一、二次设备控制柜内，做好光纤跳线转接。在完成工厂化联调的设备发往变电站现场后，只需将高密度预制光缆按编号分别插接起点柜和终点柜内的 MR 模块的预制光缆适配器接口，就能快捷实现“即插即用”光链路连接。

#### 4 高密度预制光缆“即插即用”连接型式

高密度预制光缆在变电站现场敷设完毕与MR对接前,应先检查预装在智能控制柜、通信机柜、开关等控制柜或光纤集中转接柜内的MR安装位置是否合适。如果需要调整MR的进缆和出纤方向,仅需拧开MR两侧耳板并调整安装在箱体面板的前后位置,就可以轻松实现光缆与跳线“前进前出”或“后进前出”要求。通常光缆弯曲半径静态时不小于10倍光缆直径,这样就要求预制光缆插头对接MR适配器接口后能够形成一个不小于250 mm的弯曲空间,如果MR前面板与控制柜门内侧距离不足250 mm时,可以松开MR两侧耳板与箱体的紧固螺钉,水平轻推箱体直至合适位置后再拧紧螺钉即可,如图5所示。

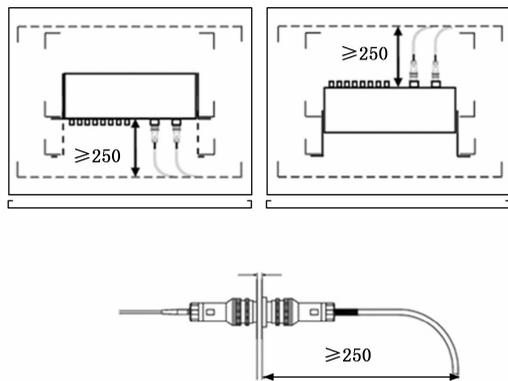


图5 SPM与MR即插即用连接示意图

高密度预制光缆与免熔接光配模块对接时,分别拧开预制插头和MR适配器接口防尘盖,将预制插头主键对准适配器接口主键槽,轻推插头卡入接口内孔的同时顺时针旋转插头外环,听到“嗒”声即预制光缆对接完成。

#### 5 结论

基于多芯多排光纤插拔连接器构建的高密度预制光缆,通过设计阴、阳插头防护壳体外圆“主键+辅键”和适配器内孔“T字槽导向芯”相结合的盲插技术实现对接,研究“圆弧中心聚焦”、“T字槽KEY键限位”、“主辅键定位”、“PIN导针与导针孔浮动交会对接”等技术,确保阴、阳插头对接超精准定位,实验验证高密度预制光缆技术不仅适用多模光纤同时也适用单模光纤连接,可实现2~24芯甚至更多芯数高密度预制光缆接口统一。

基于482.6 mm (19 in)机械结构尺寸,高度以 $U=44.45$  mm (1.75 in)作为一个基准单位和垂直增量的免熔接光纤配线模块MR,采用工厂化预制并预装高密度尾纤的方式,可按设计要求在一次设备智能控制柜和开关等机柜、二次通讯柜和预制舱光纤集中转接柜出厂联调前安装,变电站现场“即插即用”。这些免熔接光纤配线模块MR的进缆和出纤方向以及安装方式可按设计要求任意调节互换,满足“前进前出”、“后进后出”、“后进前出”等各种需求方式。横式安装的MR全部以1U高度实现,220 kV及以上电压等级的变电站光纤芯数较多时,可选择竖式安装5U

高度的MR实现。无论是110 kV变电站,还是220 kV以上电压等级变电站,采用标准化、模块化的MR,预制舱内仅需一面光纤集中转接柜即可完成光纤转接,节省预制舱内部空间。

标准化、模块化免熔接光纤配线模块MR的规范统一,真正实现各变电站内部、各电压等级变电站之间以及应急备用协议库存免熔接光纤配线模块MR的通用性、互换性、兼容性目标。

#### 参考文献:

- [1] 国家电网公司. 深入推进智能变电站模块化建设 [R]. 北京, 2017.
- [2] 国家电网公司. 110 (66) kV智能变电站模块化建设通用设计 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 高磊, 杨毅, 苏麟, 等. 智能变电站二次系统物理回路建模方法及设计实践 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (24): 130-139.
- [4] 杨辉, 温东旭, 高磊, 等. 智能变电站二次虚回路连线自动生成实践 [J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45 (23): 116-121.
- [5] 国家电网公司. 智能变电站预制光缆技术规范 [S]. Q/GDW11155-2014.
- [6] 国防科学技术工业委员会. 耐环境快速分离高密度小圆形电连接器总规范 [S]. GJB599A-93.
- [7] 王献锋, 刘涛, 乔东旭. 军用光纤连接器失效模式分析 [J]. 机电元件, 2012, 32 (2): 45-59.
- [8] 李华强. 军用光纤连接器技术近期发展动向 [J]. 光通信技术, 2015, 39 (3): 21-23.
- [9] 吴世湘. 军事/宇航用光纤连接器近期发展动向 [J]. 机电元件, 2005, 25 (1): 49-54.
- [10] 李晓朋, 裘愉涛, 钱建国, 等. 智能变电站二次设备互换性探讨 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (14): 76-81.
- [11] 裘愉涛, 胡雪平, 凌光, 等. 国网公司智能变电站继电保护标准体系研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45 (20): 7-13.
- [12] Telecommunications Industry Association. Generic Telecommunications Cabling For Customer Premises [S]. Ansi/Tia-568-C.0-2009. 2009.
- [13] 工业和信息化部. 光纤活动连接器第5部分: MPO型 [S]. YD/T1272.5-2009. 2009-06-15.
- [14] 信息产业部. 光纤活动连接器第3部分: SC型 [S]. YD/T1272.3-2005. 2006-03-01.
- [15] 国防科学技术工业委员会. 耐环境中圆形光纤光缆连接器总规范 [S]. GJB1919-94.
- [16] 宋金声. 单模光纤的连接损耗计算 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 1989 (6): 24-31.
- [17] 陶星辰, 朱益清, 姚晓天. 基于光束传播法的单模光纤连接横向偏移的研究 [J]. 光通信技术, 2016 (3): 33-35.
- [18] 江山, 刘水华, 方罗珍, 等. 单模光纤斜面连接的回波损耗 [J]. 光通信研究, 1994, 71 (3): 31-37.
- [19] 国家技术监督局. 高度进制为44.45 mm的面板、机架和机柜的基本尺寸系列 [S]. GB/T3047, 2-92.
- [20] 国家标准局. 高度进制为44.45 mm的插箱、插件的基本尺寸系列 [S]. GB3047, 4-86.