

长飞特种光纤系列之三

光纤电流互感器用旋转光纤

随着“十三五”期间国家对建设智能电网的大力推广，以及一带一路发展战略地稳步推进，推动了构建全球能源互联网的进程以及低能耗冶金等行业的迅速发展。这些行业的飞速发展，对特高压、大电流的准确测量提出了日益迫切的需求。基于 Faraday 磁光效应的光纤电流互感器因具有测量准确度高，频带宽，动态范围大，绝缘简单，安装灵活等优势，在大电流测量领域具有十分广阔的应用前景。同时，由于现场应用环境的复杂性，除了需具有足够高的测量准确度外，光纤电流互感器还应具备优良的温度性能和抗振能力。对于电解冶金领域超大电流的测量，电流互感器还应满足柔性安装，测量精度对环路形状、母线偏心、杂散磁场干扰敏感度低等要求。基于以上背景，长飞光纤光缆股份有限公司（以下简称长飞公司）推出了光纤电流互感器用特种光纤——旋转光纤。作为光纤电流互感器的核心部件，旋转光纤保证了光纤电流互感器的实际应用需求。

旋转光纤是一种特殊保偏光纤，通过光纤的轴线旋转引入圆双折射，和光纤本身的高线性双折射共同形成椭圆双折射。该类光纤在旋转周期足够小的情况下，具备很好的圆偏振保持能力。同时，由于光纤存在很高的内应力，因此保留了保偏光纤很好的抗外部干扰和内部缺陷的能力，可以从本质上提升光纤电流互感器的环境适应性，保证互感器满足实际应用需求，适用于全光纤电流互感器的应用，是目前最具前景的研究方向。

1、旋转光纤保圆机理

光纤的基模有两个偏振态，设它们的传播常数（即波数， $\beta = 2\pi \cdot n_{\text{eff}} / \lambda$ ）分别为 β_1 和 β_2 ，圆偏振保持要求 $\beta_1 \approx \beta_2$ 。双折射光纤中两个偏振态的传播常数之差 $\Delta\beta$ （即 $\beta_1 - \beta_2$ ）较大（即传播速度相差较大），随着传播距离的增加，模式之间的延时差（对应相位差）线性增加。

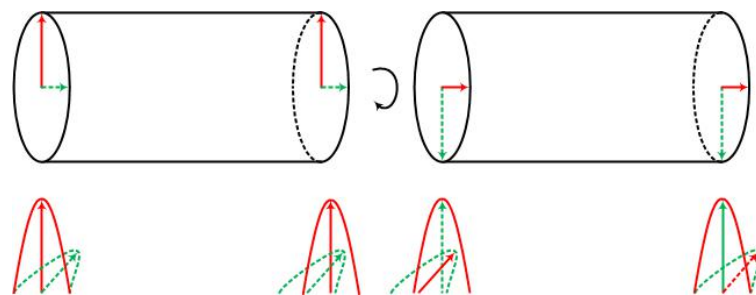


图 1 旋转光纤保圆机理示意图

采用离散的概念，旋转光纤可以看作是一段长为四分之一旋转周期的未处理的双折射光纤切片连接另一段同样的光纤，但主轴方向旋转了 $\pi/2$ 。这样，这两段光纤的模式延时可以完全抵消，如图 1 所示。

这样的旋转光纤，局部是线偏振保持光纤，而整体是圆偏振保持光纤。旋转周期越短，切片的长度就越短，局部的最大相位差越小，就越接近理想的圆偏振光。

2、旋转光纤制备

旋转光纤的制备方法通常分两种：一是保偏光纤后处理，一是保偏应力棒在线旋转拉丝。前一种方法虽然灵活，但由于涉及光纤涂覆层的剥除和再涂覆，难以保证光纤的机械可靠性。后一种方法类似普通保偏光纤的生产，通过预制棒直接拉丝、涂覆。既保证了光纤强度，也具备足够段长的生产能力。

预制棒的超高速旋转和光纤的超低速拉丝，对预制棒、旋转拉丝塔及工艺控制而言，都极具挑战性。目前国内市场上销售的旋转光纤主要被国外供应商垄断。国内试点挂网的光纤型电流互感器产品绝大多数使用进口旋转光纤。但进口旋转光纤存在单价高，光纤段长受限，供货批次和交期不受控等问题。

长飞公司，作为专业的光纤光缆设计及制造厂商，一直以来都密切关注和持续跟进电流互感器技术的发展，依托中国计量科学研究院牵头的重大科学仪器专项《宽带大电流测量仪开发与应用》，在常规光纤成熟的技术平台上经过多年积累，延续熊猫型保偏光纤生产工艺，依次攻克了 a) 高准直度（几何、重心）的应力预制棒；b) 高速旋转拉丝塔的动态垂直精度和稳定性；c) 超低速拉丝的自动控制等工艺难题，形成了一整套具备长飞特色的旋转光纤制备、测试平台。在此基础上推出的第一款高双折射旋转光纤 SH1016-A 具备 5mm 旋转节距，段长 $\geq 500\text{m}$ ，筛选张力可达 100kpsi。相关产品得到行业权威应用单位的认可，性能达到国内外领先水平。而长飞光纤光缆制备技术国家重点实验室与中国电力科学院武汉分院的交流与合作，将为该特种光纤更好地服务于电力行业提供更加广阔的研究平台。

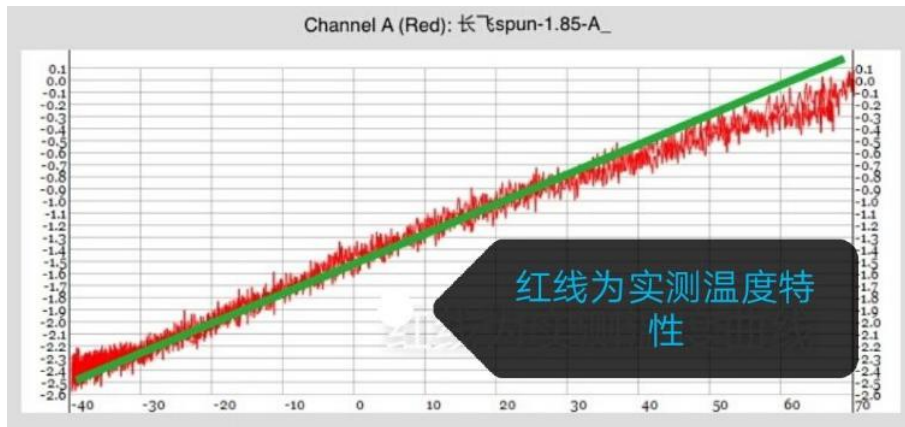


图 2 客户验证的长飞旋转光纤的比差 VS 温度线性度