

智能变电站光纤通信链路检测方法探讨

贾 维

(四川电力送变电建设公司, 四川 成都 610051)

摘 要:针对电力系统智能变电站大量采用光纤进行数据通信的现状,分析了智能变电站光纤通信链路的特点和测试需求。并对光纤工程施工和检测过程中需要进行的测试项目,提出和归纳了一些解决方案。

关键词:智能变电站;光纤通信;测试方法;光时域反射仪(OTDR)

Abstract Aiming at the current situation that a mass of intelligent substations adopt optical fiber for data communication in power system, the characteristics and testing demands of optical fiber communication link in intelligent substation are analyzed. Furthermore, the solutions are put forward and concluded for the necessary testing items during the construction and detection of optical fiber project.

Key words: intelligent substation; optical fiber communication; testing method; optical time domain reflectometer (OTDR)

中图分类号: TM733 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)06-0074-03

0 概 述

现阶段在中国的电网建设过程中,智能变电站已经成为一个建设的重点。智能变电站技术充分体现了一次设备智能化和二次设备网络化的设计理念。一次设备智能化主要体现在光电互感器和智能断路器的应用,二次设备网络化主要体现在 IEC 61850 标准的实施。智能变电站系统一般按过程层、间隔层、站控层三层结构设计,解决了 TA 饱和问题、二次电缆问题、数据采集设备重复投资问题、二次智能设备互操作问题等,不仅实现了最大范围内的信息共享,同时大大降低了整个变电站的造价。

1 智能变电站通信链路的特点

由于智能变电站的一次和二次设备间、二次设备相互之间均采用计算机通信技术,一条信道可传输多个通道的信息,因此智能变电站的二次接线得到了大幅度简化。智能变电站的信号传输均用计算机通信技术实现。通信系统在传输有效信息的同时传输信息校验码和通道自检信息,一方面杜绝误传信号,另一方面在通信系统故障时可及时告警。这些数字信号基本上都采用绝缘的光纤来连接和传输,电磁干扰和传输过电压没有影响到二次设备的途径,而且也没

有二次回路两点接地的可能性。由于取消了 TV、TA 的 100 V/5 A 回路,屏柜间除了通信线外只需要装置电源连线,彻底避免交直流系统误碰的可能,从根本上解决抗干扰问题。

2 智能变电站通信链路的测试需求

智能变电站的二次设备和一次设备大量使用了光纤作为通信介质,光纤链路成为了采样、控制、告警及计量等二次设备的唯一数据来源通道,特别是在采样通道部分,基本上不可能实现链路冗余配置,因此如何保障光纤链路通道的通信质量和可靠性就成为了一个比较重要的问题。

现阶段电力系统的光纤通讯测试和管理方法更多的是偏重于基建项目完成后的日常定期检测和维护,如果在初期的光缆敷设和检测工作出现问题,则后期的检修工作会面临故障点难以定位、消缺工作牵涉面繁杂、故障易重复出现等困难,因此应当在首次的光纤施工过程中就加强测试工作,以保障光纤链路通道的通信质量和可靠性。针对智能变电站光纤链路的特点,在光纤施工过程中应该分阶段对光纤进行长度、线序、衰耗、端面污秽等项目的测试。

3 智能变电站通信链路的测试方法

根据光缆施工的特点和工序,应将智能变电站光

缆测试分为以下几个时间阶段：①单盘光缆测试：目的在于检测工厂产品出厂后运输到现场的质量；②施工布放后的测试：为检查布放过程有无损伤，并作为接续前的检查；③接续中的测试是：为了检查接头是否达到低损耗；④接续后组成单元光缆段的测试：目的在于检查是否达到设计对传输总衰减和总基带响应要求，作为连接光端设备的准备（有关光纤的几何特性、机械特性和环境性能的检测暂不讨论）。

目前智能变电站的保护、测控系统所使用的光纤类型主要是 62.5/125 μm、850 nm 的多模光纤，线路差动保护及远动系统用 8/125 μm、1310 nm 的单模光纤。针对这两种光纤应该进行下列的测试。

3.1 光缆长度测试

测试设备为光纤时域测试仪 (OTDR)。光缆长度的获得可以参看图 1、图 2 的衰减—距离关系曲线。将光标置于试样前端反射脉冲上升边缘的一点，确定 Z_0 (如试样前无光纤或光缆段，则 Z_0 为零；如试样前有已知长度为 Z_0 的光纤或光缆段，则 Z_0 为 Z_0)。如果由于不连续性极小而不宜确定 Z_2 和 Z_0 的位置，就在该处加一个绷紧的弯曲并改变弯曲半径以帮助光标定位；对于 Z_2 的定位，如有可能，试切割试样远端，使那里产生反射。试样长度为： $Z_2 - Z_0$

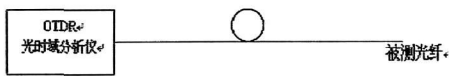


图 1 光缆长度测试接线

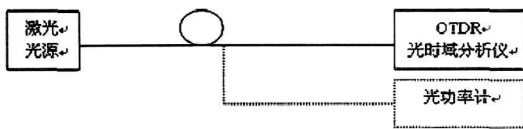


图 2 OTDR 曲线 (长度测定)

3.2 光缆线序测试

测试设备为激光光源、光功率计或光纤时域测试仪。光缆线序测试主要是为了建立光缆的配缆表和光芯的配芯表，便于以后查线和故障定位。测试接线图如图 3。

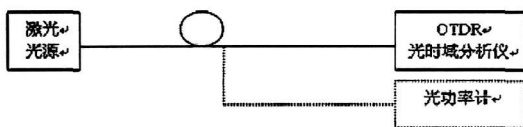


图 3 光缆线序测试接线

3.3 光缆衰耗测试

测试设备为激光光源、光功率计或光纤时域测试

仪。该项测试是光纤工程中最重要测试内容，它直接反映了光纤链路的通道质量，应该给予足够的重视。

光信号沿光纤传输时，光功率的损失即为光纤的衰减，衰减 A 以分贝 (dB) 为单位。

$$A = 10 \lg(P_1 / P_2) \quad (\text{dB})$$

P_1 和 P_2 分别是注入端和输出端的光功率。

目前对光纤衰耗的测试一般有 3 种方法，即剪断法、介入损耗法和后向散射法。

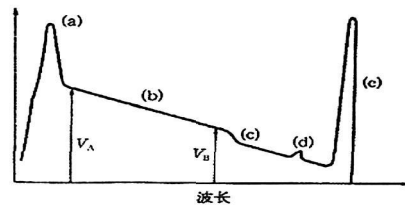
剪断法：精度高但有破坏性，且不可能获得整个光纤长度上的衰减信息，在变化的条件下很难测出光纤衰减变化；

介入损耗法：非破坏性，精度不如剪断法，也不可能获得整个光纤长度上的衰减信息，但有可能在环境条件 (温度和受力) 变化时连续测量光纤衰减变化；

后向散射法：精度不如剪断法，用光时域反射仪 (OTDR) 测量，功能全、精度高和无破坏性，可以获得整个光纤长度上的衰减信息及故障点检查和定位，在变化的条件下可以测出光纤衰减变化；测量数据可直接打印出来。

3.3.1 用 OTDR 测量光纤衰耗

用 OTDR 测试只需在光纤的一端进行，接线图如图 1 所示，图 4 为后向散射功率的典型曲线。用这种仪器不仅可以测量光纤的衰减系数，还能提供沿光纤长度衰减特性的详细情况，检测光纤的物理缺陷或断裂点的位置，测定接头的衰减和位置，以及被测光纤的长度，并可以把测绘的曲线打印出来用于分析和存档。



说明：
(a) 由纤维输入端的耦合器件产生的反射。
(b) 恒定斜率的区域。
(c) 段的斜率为 $A(\lambda) = 1/2 (V_A - V_0)$ dB。
(d) 由局部缺陷、接头或模态引起的不连续性。
(e) 由电介质缺陷引起的反射。
(f) 在纤维末端的反射。

图 4 光时域反射仪的接线图

现场光纤接续可由 OTDR 监视进行，熔接机在熔接完一根芯后都会给出熔接点的估算衰耗值，其估算一般都是本地纤芯直观监测，即通过观察纤芯对接前后几何形状改变的程度来估算衰耗值。接续工作是否完好，由 OTDR 监视者测量后通知接续工作者。这种方法的优点：一是 OTDR 固定不动，省略了仪表转

移所需的车辆和人力物力;二是测试点选在有市电而不需配发电机的地方;三是测试点固定,可减少光缆开剥。

3.3.2 OTDR 测量参数的选择

(1)选择适当量程:OTDR 有不同的量程,操作者可以结合测试的光缆长度选择比较恰当的量程,使测试曲线尽量显示在屏幕中间,这样读数才能准确,误差才会小。

(2)选择适当脉冲宽度:OTDR 可以选择注入被测光纤的光脉冲宽度参数,在幅度相同的情况下,宽脉冲的能量要大于窄脉冲的能量,能够测试较长距离,但误差较大。因此,操作者可以结合待测光纤的长度选择适当的脉冲宽度,使其在保证精度的前提下,能够测试尽可能长的距离。

(3)选择适当的折射率:由于不同厂家光纤选用的材质不同,造成光在光纤中传输速度不同,即不同的光纤有不同的折射率,因此在测试时应选择适当的折射率,这样在测量光纤长度时才能准确。

通常,OTDR 能直接给出 A 值和 α 值。衰减测试应进行双向测量,将双向测量获得的数据取平均值得到精确的衰减和衰减系数;如光纤两端均匀性好,亦可进行单向测量。

3.3.3 光缆接头衰减单向测试法

该测试法适用于光纤熔接接头和机械式接头。测试设备为 OTDR 光纤时域测试仪。此种方法就是在接续方向的始端放置一台 OTDR,对所有接头点进行单向测试。接线如图 6 所示。

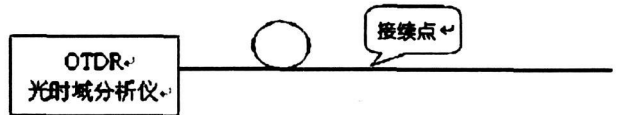


图 6 头单向测试接线图

当中继段长度较短,光缆接头不多,对接头衰减要求不很精确时,可以用光时域反射仪从一端监视,指挥接续者调整接续器达到相对最佳值即可正式接续,从图 4 观察到图内 (c) 点的波形出现小的“台阶”,衰减的大小可以由“台阶”的大小估计。

这种方法精度不如比较法,但比较简便,只要一点监视两点配合,适宜于中继段衰减余量较大的光缆段施工,可增快进度。

3.3.4 光缆接头衰减双向环测法

该测试法适用于光纤熔接接头和机械式接头。测试设备为 OTDR 光纤时域测试仪。此种方法就是在接续方向的始端将两根光纤分别短接,组成回路,OTDR 在接续开始点的前一点对所有接头点进行双向测试。由于增加了环回点,所以能在 OTDR 上测出接续衰减的双向值,这种方法的优点是能准确评估接头的好坏。测试示意图如图 7。

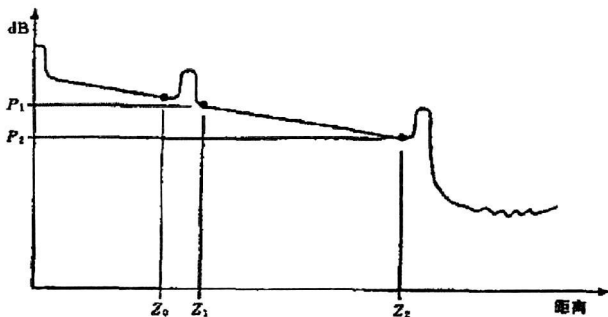


图 5 OTDR 曲线 (衰减测定)

(4)衰减和衰减参数的测定:在图 5 中将光标置于试样首端反射脉冲上升边缘的一点,确定 Z_0 (如试样前无光纤或光缆段,则 Z_0 为零);将光标置于试样曲线线性段始端 (紧挨近端),确定 Z_1, P_1 ;将同一光标或另一光标置于试样末端反射脉冲上升边缘的一点,确定 Z_2, P_2 。如果由于不连续性极小而不宜确定 Z_0 和 Z_2 的位置,就在该处加一个绷紧的弯曲并改变弯曲半径以帮助光标定位;对于 Z_2 的定位,如有可能,试切割试样远端,使那里产生反射。

始于盲区之后光纤或光缆段的单向后向散射衰减: $A = (P_1 - P_2) \text{ dB}$

始于盲区之后光纤或光缆段的单向后向散射衰减系数: $\alpha = (P_1 - P_2) / (Z_2 - Z_1) \text{ dB / km}$

光纤或光缆段的单向后向散射衰减: $A_{\text{总}} = \alpha (Z_2 - Z_1) \text{ dB}$

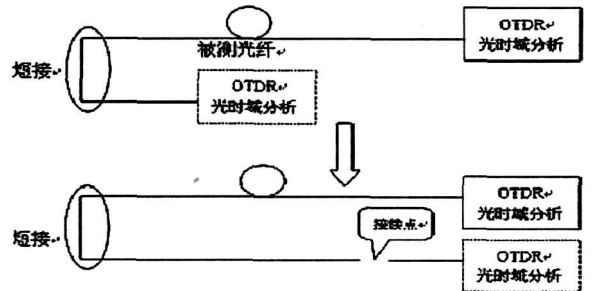


图 7 接头双向环测接线及步骤

由于测试原理和光纤结构上的原因,用 OTDR 单向监测会出现虚假增益的现象,相应地也会出现虚假大衰减的现象,对于一个接头来说,用两个方向衰减值的数学平均数才能准确反映其真实的衰减值。竣

(下转第 91 页)

气隙越小, 额定励磁电流下磁极铁心的磁化强度越强, 保持磁场的能力越强, 衰减就越慢 (磁极的剩磁衰减曲线如图 5 所示)。对于同一台发电机而言, 停机过程中的剩磁远远大于开机时的剩磁。灭磁过程中, 发电机定子磁场是励磁电流产生的磁场和剩磁的总和。因此, 剩磁的偏差导致各支路间电势差的进一步增大, 横差电流也会进一步增大。

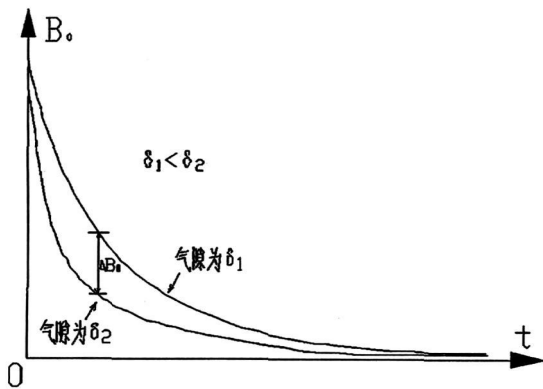


图 5 发电机剩磁的衰减曲线

在灭磁过程中, 各磁极的剩磁偏差远远大于启动时的剩磁偏差, 导致灭磁过程中的横差电流远远大于启动过程中的横差电流。通常, 灭磁时间比启动时间长。因此, 在灭磁过程中, 气隙偏差导致横差保护动作可能性最大。

通过上面的分析, 推导出的横差电流的特征, 与机组故障录波录制的横差电流波形的特征完全一致。由此可以断定, 正是由于空气间隙偏差过大导致了此次横差保护动作。为了进行验证, 根据发电机的绕组

结构, 引入空气间隙的参数, 进行了仿真计算, 绘出了在空载运行时横差电流的波形。由于计算过程中忽略了发电机剩磁、转子偏心、机组振动等影响, 其波形与现场录制的波形有一定的差异, 但其大致形状、周期都与实际的电流波形相符。

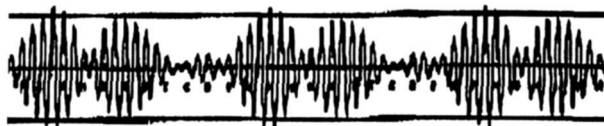


图 6 仿真计算出的横差电流波形

4 结 语

通过以上分析可以看出, 发电机空气间隙偏差过大, 是导致发电机横差保护动作的又一重要原因。横差保护动作后, 应根据机组故障录波装置采集的数据, 进行综合分析, 找出故障的原因, 从而采取相应的对策。要使发电机空气间隙绝对均匀是不可能的, 大修中应尽可能地降低空气间隙的偏差。运行中应根据实际情况, 适当增大发电机横差保护的定值。

参考文献

- [1] 刘学军. 继电保护原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 许实章. 电机学 [M]. 武汉: 机械工业出版社, 1986.
- [3] 杨宪章. 电磁场原理 [M]. 武汉: 高等教育出版社, 1985.

(收稿日期: 2010-08-16)

(上接第 76 页)

工后用光源和光功率计对全程进行双向测试, 其衰耗值必须符合设计要求。并用 OTDR 双向进行检查后向散射曲线是否符合要求。

3.4 端面污秽及破损测试

测试设备为 OTDR 光纤时域测试仪、200/400 倍视频探头或 200 倍光学放大镜。

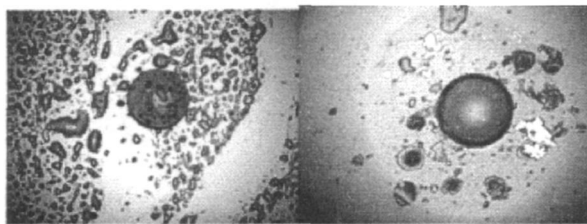


图 8 光纤端面污秽放大图像

放大光纤端接面的目的是识别质量不佳的连接。由于 85% 以上的光缆故障都是由于光缆端接面的污

染造成的, 因此使用端面放大系统就可以方便地查看光缆端接面的这些污染状, 为光缆定义通过 (PASS) 或失败 (FAIL) 的级别, 并附加注释。图 8 为光纤端面污秽放大图像。可以根据一种尺寸来确定光缆类型和保存图象, 用于生成认证测试报告和其他文档备案。

4 小 结

基于光纤通信的测试还有许多项目, 例如中心波长、色散、收发功率等测试, 由于施工现场条件和进度所限不一定都能进行测试, 只是在出现异常和故障时才有针对性地做测试。同时, 光纤通讯技术的发展也促进了测试技术的日新月异进步, 不断地学习和应用新的测试手段就成为了工程技术人员的使命。

(收稿日期: 2010-09-13)