

电力系统自动化继电保护装置及其测试研究

王 燕

(济南鲁源电气集团有限公司)

摘要：电力系统自动化继电保护装置及测试系统是智能变电站、电网安全稳定运行的重要保障。与传统使用光电转换装置的传输机制不同，本文通过利用通信设备 2M 光接口技术，可实现继电保护装置与通信设备直接连接，为电网的运行维护带来诸多益处。为验证 2M 光接口承载保护业务的可靠性，本文在实际线路搭建测试平台，从光接口性能、互通性、网管告警监测、传输设备切换以及通道切换等方面开展测试。现场测试结果显示，2M 光接口技术应用性能稳定、通道切换正常，满足继电保护装置对通道的各项要求，可为下一步应用提供依据。

关键词：2M 光接口；传输设备；保护装置；光电转换装置

2024.10.DQGY
77

0 引言

作为电网的重要组成部分，继电保护装置对电网安全稳定运行起到至关重要的作用^[1]。为保障其运行可靠稳定、动作灵敏准确，在相关继电保护国家和行业标准中，明确将光纤作为承载继电保护信息的优先方式^[2-4]。

光纤承载方式通常包括光纤专用通道和 2M 复用通道。其中 2M 复用通道是将保护信号通过电力通信网进行传输，具有传输距离长、纤芯资源使用少、业务自愈能力强等特点，已经成为承载继电保护业务的主要方式^[5]。继电保护 2M 复用光纤通道连接方式如图 1 所示。

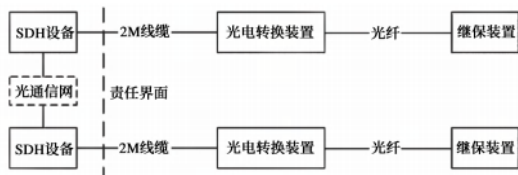


图 1 继电保护 2M 复用光纤通道框图

在 2M 复用方式下，通过光电转换装置连接继电保护装置与通信设备，保护信号需要经过 2M 电缆，没有实现光纤的全过程传输。近几年的电网运行情况表明，光电转换装置是 2M 复用保护通道的薄弱环节。针对此问题，南方电网、国家电网相继开展通过 2M 光接口技术取代光电转换器的研究及测试^[6-10]。考虑到继电保护通道的极端重要性，内蒙古电网在具备 A/B 双接口的保护装置上开展基于 2M 光接口技术的直连研究与测试工作。

本文分析内蒙古电网继电保护通道的 2M 复用保护趋势和 2M 复用保护方式下使用光电转换器存在的问题，在实际线路中搭建基于 2M 光接口技术的继电保护装置与通信设备直连测试系统，测试并验证了该项技术的可行性，为下一步在内蒙古电网推广应用该技术提供依据。

1 现状及存在问题

1.1 保护通道现状

近年来，各省网公司正大力推进继电保护通道光纤化工作，通道光纤化率逐年提高。以内蒙古电网为例，目前 500kV 线路保护通道的光纤化率为 100%，220kV 线路保护通道的光纤化率为 99%。上述光纤通

道中，500kV、220kV 系统复用通道占比分别为 87%、47%，电压等级越高，复用通道应用率越高。目前，内蒙古电网在运光电转换装置共计 1916 套，未来几年随着线路保护双通道技术的全面推广，使用量还将大幅增长。继电保护双复用光纤通道如图 2 所示。

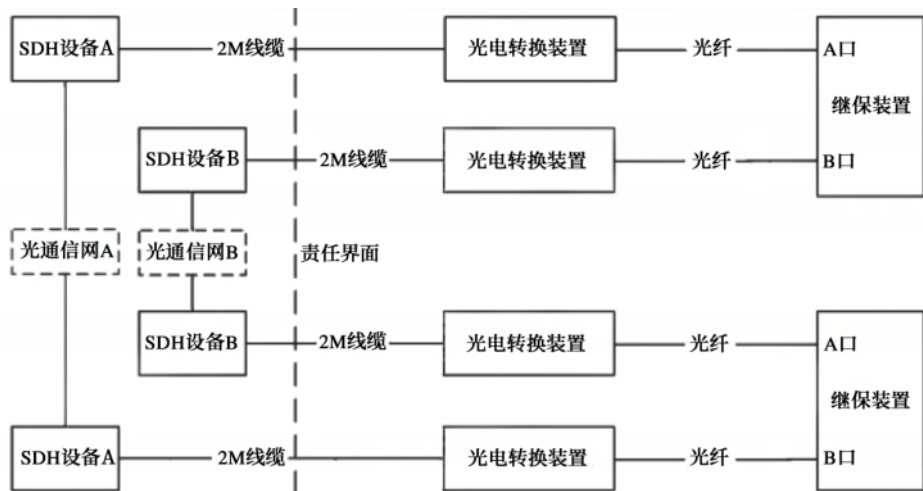


图 2 继电保护双复用光纤通道框图

1.2 存在问题

近些年的运行情况表明，光电转换装置是整个复用通道的薄弱环节，运行中主要存在如下问题。

1) 接地可靠性问题。一般情况下，光电转换装置布置在通信机房，通过 2M 同轴电缆接入通信数字配线架（Digital Distribution Frame, DDF），如果光电转换装置距离 DDF 架较远或地网设置不合理，流过通信机房的大地工频电流可能阻断 2M 同轴电缆通道，造成保护拒动。

2) 供电可靠性问题。光电转换装置通常以单电源方式供电，而单路电源失效则会造成保护通道中断。另外，对于 220kV 及以上双重化的系统，两套光电转换装置应来自不同的直流系统，且与所接保护装置一一对应，然而在设计和实施环节很容易忽视，且此类隐患很难暴露。

3) 故障率高问题。光电转换装置增加了保护业务

的中间传输环节，故障率高。另外，使用的 2M 接头需要人工焊接，工艺得不到保障，影响运行的稳定性。

4) 监控盲区和故障处理困难。目前技术无法对光电转换装置进行远程监控，属于监控盲区，出现问题时需要人工现场排查定位。另外，故障处理涉及保护、通信两个专业，由不同的运维队伍负责，影响故障处理速度。

5) 空间资源占用问题。光电转换装置至少占用两面通信机柜，进一步加剧了机房空间资源紧张问题。

因此，如果能将 2M 光接口技术应用于继电保护通道中，则可有效改善采用传统光电转换装置带来的弊端。

2 2M 光接口技术

IEEEC37.94 最早提出 2M 光接口技术标准，可用于继电保护的光纤专用方式，但应用于同步数字体系

(Synchronous Digital Hierarchy, SDH) 设备中则成帧机构复杂且利用率低。与传输的 2M 光接口技术标准不同, 本次采用的 2M 光接口标准采用非成帧不归零码 (Non Return Zero, NRZ), 非成帧方式对保护装置发送的信号无编码要求, 通过添加时钟信号进行同步, 保护信号可以在 SDH 系统中透明传输, 既可以满足通

信设备和保护装置的互联互通, 又可以提高数据的处理效率, 降低时延。为了提高数据的时钟提取准确度, 2M 光接口信号中“0”和“1”不能连续超过 4 个。

2M 光接口装置的原理如图 3 所示。此项技术避免了光电转换装置, 利用光纤具备的高抗干扰特性从根本上解决了上述问题。

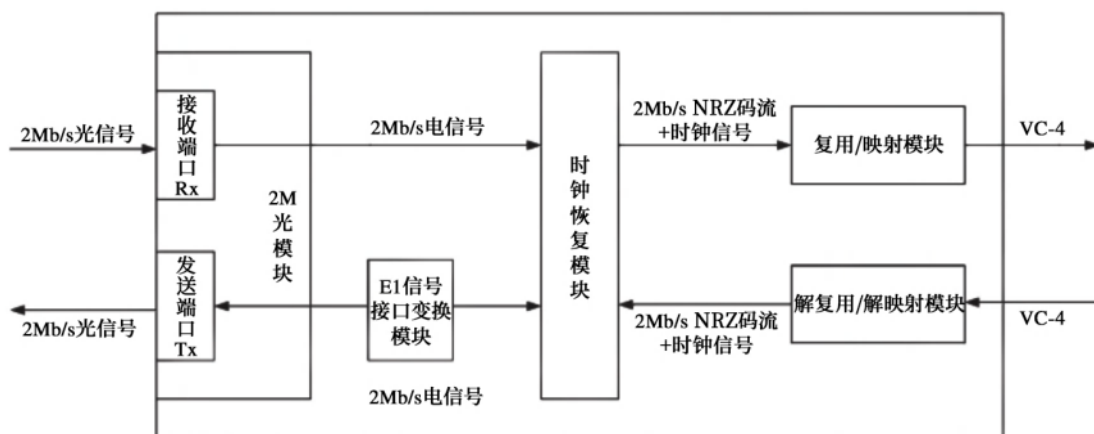


图 3 2Mb/s 光接口装置原理框图

3 测试平台搭建

为验证 2M 光接口承载保护业务的可靠性, 结合线路停电或保护退出, 实地选取乌兰察布地区烽火传输设备承载的 220kV 汗团 I 线 PSL-603UA-G、巴彦淖尔地区中兴传输设备承载的 220kV 天安线 CSC103A-G 保护进行现场测试。以 220kV 汗团 I 线 PSL-603UA-G 保护测试为例说明。

本次采用烽火 780B 设备 (配置 2M 光接口板) 搭建测试平台, 在汗海至团结建立 10G “1+1” 主备用光路, 为直达路由, 距离为 76.8km, 连接至保护装置 A 口; 利用汗海 - 前进 - 杭宁达莱 - 玉岭 - 庆云团结建立 10G “1+0”, 为迂回路由, 距离为 233.5km, 连接至保护装置 B 口, 如图 4 所示。

保护装置方面, 选用具备双接口功能的“九统

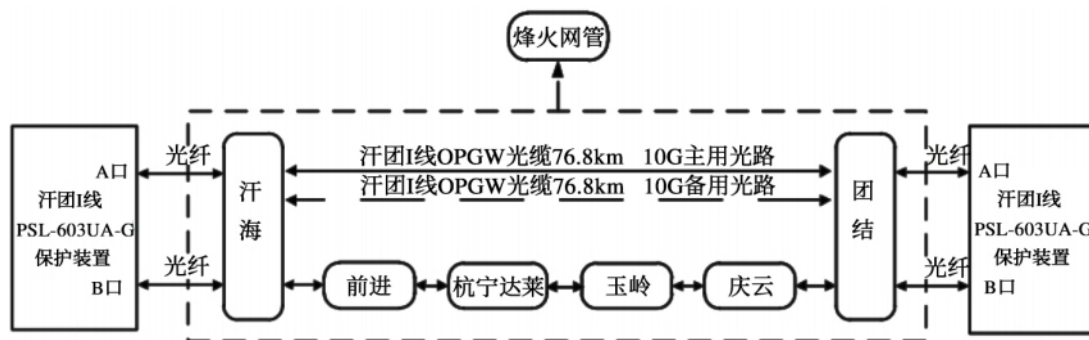


图 4 测试平台连接示意图

一”保护装置。本次测试选用的国电南自装置不支持光接口直连方式测试，厂家技术人员提前对保护装置光口配置文件进行升级，通过修改底层光口速率配置文件，将传输速率修改为 2.028Mb/s 后进行试验。

4 测试内容及结果

测试过程中，利用 SDH 分析仪、继电保护测试仪等工具从光接口性能、互通性、通信网管的告警监测、传输设备切换以及通道切换 5 个方面展开测试。

4.1 光接口性能测试

对烽火 780B 设备进行光接口性能测试。测试结果表明，2M 光接口的比特率、工作波长、发送功率、最差灵敏度等物理指标均优于标称值，满足通信设备和保护装置互通要求。

4.2 互通性测试

现场将通信 2M 光接口与保护装置直连进行互通性测试，测试结果如表 1 所示。测试结果表明，保护通道正常，可以建立正常通信，保护装置纵联通道延时稳定，线路区内故障时继电保护装置能够正确动作。

表 1 互通性测试结果

参数	汗海侧保护装置测试结果	团结侧保护装置测试结果
通断情况	正常	正常
发光功率/dB	-11.73	-10.51
收光功率/dB	-12.71	-12.71
延时/ μ s	969	969
误码	0	0

4.3 通信网管的告警监测测试

对烽火 780B 设备进行网管监测功能测试。测试结果表明，保护装置故障、保护装置与传输设备互联故障和传输通道故障时都能够产生 LOS 或 AIS 等正确告警信号，通道恢复后，保护装置复归。通过网管对 2M 光接口板查询或配置时，通信正常，响应正确。

4.4 传输设备切换测试

对烽火 780B 设备进行传输设备切换测试。测试结果表明，2M 光接口盘与 2M 电口盘可以使用同一块冗

余板卡，实现 2M 盘 1 : N 保护；冗余配置的主用主控盘、交叉盘、光口盘、2M 盘故障或热插拔，出现不同程度的丢帧或误码情况，但保护装置均保持正常通信状态。

4.5 通道切换测试

本项测试包含复用段保护（Multiplex Section Protection, MSP）切换、子网连接保护（Sub Network Connection Protection, SNCP）切换、双通道切换 3 项测试，验证在不同切换机制下保护装置的运行状态。

对烽火 780B 设备进行 MSP 切换测试，双光路采用 76.8km 直连方式。测试结果表明，保护装置的通道告警、通道延时在切换前后均保持不变，切换过程中未出现丢帧、误码等情况，光路 MSP 切换不影响保护装置运行状态。

对烽火 780B 设备进行 SNCP 切换测试，保护通道由 76.8km 直连路由切换为 233.5km 迂回路由方式。测试结果表明，切换前后保护装置出现通道失步、通道异常、通道中断闪告，未出现丢帧、误码等情况，通道延时增加 0.5ms 左右（由 966 μ s 增加到 1466 μ s），通道 SNCP 双向切换后，保护装置正常通信。

对保护装置的双通道切换测试。测试结果表明，主用通道（A 口通道）故障后，保护装置自动切换到备用通道（B 口通道）运行，双通道正常切换，保护装置动作正常，未出现保护装置通信中断。

5 结束语

现场测试结果显示 2M 光接口技术应用性能稳定、通道切换正常，满足继电保护装置对通道的各项要求，验证了 2M 光接口技术在继电保护通道中应用的可行性及合理性，为下一步 2M 光接口技术在内蒙古电网内推广应用提供依据。

该技术的应用可实现继电保护装置与光端机设备直接连接，省去光电转换设备，减少通道传输节点，

避免光电转换装置由于失电、故障等原因造成保护通道中断风险，实现继电保护通道路由全程网管监控，提升业务稳定运行水平。同时，减少光电转换装置使用，可释放更多屏位及电源资源，为通信设备等各类设备增设、扩容创造有利条件，为电网带来诸多益处。不足之处是2M光接口板卡占用传输设备槽位，槽位紧张的地方无法应用。应进一步强化不同传输设备、保护装置之间的测试工作以及2M光接口单侧应用的测试工作，改进测试手段。

参考文献

- [1] 魏明海, 谷明英, 张雁, 等. 继电保护(安控)通道安全可靠评价方法及应用[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(12): 54-57.
- [2] 郭子靖, 马松龄. 光纤通信网络传送继电保护信号传输方法研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(10): 199-202.
- [3] 周生海, 宋巍, 顾颖, 等. 光纤通信网络中继电保护信号准确传输方法研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2018(12): 15-18.
- [4] 魏勇, 张合明, 张敬娜, 等. SDH光纤通信系统2Mbit/s通道传输时延分析与计算[J]. 河北电力技术, 2017, 36(1): 33-34, 54.
- [5] 高建平, 任宇新. 内蒙古电力光纤通信专网自愈环的可行性分析[J]. 内蒙古电力技术, 2007(5): 4-7.
- [6] 蔡勇超, 吕华良, 曹小冬. 基于2M光接口的线路保护通信通道设计与应用[J]. 电气自动化, 2021, 43(5): 105-107, 111.
- [7] 朱允祥, 孙超, 韩光明, 等. 基于OLP的2M光接口承载继电保护通道方案研究[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2020, 23(6): 17-19.
- [8] 李泽宇, 赵克明, 王晓峰, 等. 面向继电保护业务的通信设备2M光接口技术[J]. 电子技术与软件工程, 2020(22): 7-8.
- [9] 王炫, 粟小华, 胡勇, 等. 通信设备2M光接口承载继电保护业务技术的研究与测试[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(5): 32-37.
- [10] 卢松, 张乃平, 于洋. 继电保护装置和光传输设备2M光接口的实现技术研究[J]. 现代传输, 2017(5): 53-56.

(收稿日期: 2024-04-13)