

# 光纤电流差动保护在应对冰灾期间 采用公用通信网通道的改进措施

赵曼勇, 周红阳, 余江, 杨晋柏

(南方电网电力调度通信中心, 广东 广州, 510623)

## Enhancement of Optical Fibre Line Differential Protection When Using Public Communication Network Channels During Anti-icing

ZHAO Man-yong, ZHOU Hong-yang, YU Jiang, YANG Jin-bai

(Power Dispatching & Communication Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

**Abstract:** The OPGW/ADSS optical line is a special communication media for electric power grid. Due to its advantage of construction facility, low investment and no need at all for addition transmission line corridor, OPGW/ADSS technology is the mainstream and mature solution for electric communication networks worldwide. But as an ice storm disaster befalls, optical fibre lines could be broken, resulting in serious impact on the grid operation as what happened in the icing case of China Southern Power Grid (CSG) in Jan. 2008. This paper illustrates how to use public communication networks to enhance the capability of OPGW/ADSS for anti-icing in the icing case of CSG, 2008, and presents a solution of enhancing optical fibre line differential protection to overcome the difficulty of employing the public communication network as it is self-recovery and not suitable to OPGW/ADSS channels, i.e. to add longitude impedance protection principle in optical fibre line differential protection equipments, and to exclusively use this protection in emergency cases.

**Key words:** optical fibre; line differential protection; public communication; longitude protection; CSG

**摘要:** OPGW/ADSS 光缆是一种电力网专用的通信媒体。由于充分利用线路走廊, 具有施工方便、投

资节省的优点, OPGW/ADSS 技术被国内外大多数电力通信网所采用, 成为最为主流、成熟的电力通信光缆, 但在遭受冰灾时, 会因为光纤通道中断而对电网的安全稳定运行造成影响, 如南方电网在 2008 年冰灾期间的情形。介绍利用公用通信网增强电力通信抗灾能力的实例, 并针对公用通信网是自愈环, 电流差动保护不再适用的特点, 提出了在光纤电流差动保护中增加光纤距离保护逻辑, 应急期间仅使用纵联保护的技术方案。

**关键词:** 光纤; 电流差动保护; 公用通信网; 纵联保护; 中国南方电网

光纤电流差动具有能够可靠地反映高阻接地故障、受系统运行方式影响小、原理简单、保护之间配合少, 不受串补等装置投运的影响, 不受功率倒向的限制等优点, 是高压线路保护装置的首选原理, 尤其适用于串补以及相邻线路、同杆并架线路以及直流输电系统逆变站出线。

2008 年年初冰灾期间, 南方电网主网架上多条 500 kV 线路的光纤通道出现问题, 迫使多套光纤电流差动保护退出运行, 而且由于种种原因, 冰灾期间输电线路一次设备和线路保护通道也不一定能够同步运行:

——冰灾期间为了尽快恢复一次设备, 会采取剪断地线的方案。若现场不具备光纤熔接条件, 随该线路架设的光纤通道将不可用;

——在电网抢修复电期间，地面熔接的光缆需要剪断并重新敷设；

——并不是所有的输电线路都随线路架设有光缆，会出现光纤通道比线路的恢复时间晚的情况。

为了抵御冰灾，减少其对电网安全稳定运行的影响，南方电网公司已提出利用公用通信网资源增强电力通信抗灾能力，构建南方电网应急通信网的规划。但公用通信网是自愈环，光纤电流差动保护原理不再适用<sup>[1]</sup>，有必要完善现有光纤电流差动保护装置，以适应在应急期间保护通道采用公用通信网的要求。

本文概要介绍了此次冰灾对南方电网保护通道以及保护装置运行的影响，并就如何完善光纤电流差动保护提出了建议。

## 1 冰灾对电流差动保护的影响

OPGW/ADSS 光缆<sup>[2]</sup>充分利用线路走廊，具有施工方便、投资节省的优点，是电力系统中特有的通信传输介质，由于它附挂在线路铁塔上，依托铁塔基础好、坚固的特点，面对洪水、台风等自然灾害时，只要不倒塔，OPGW/ADSS 都是非常可靠的；另外，OPGW/ADSS 也不容易遭受人为（例如盗窃）的破坏，因此被国内外大多数电力通信网所采用，成为最为主流、成熟的电力通信光缆。此外，国外也有用户采用租用公用通信网的 2Mbps 通道作为保护通道（无自愈环）的应用。

线路保护对通道的依赖性强，要求通道具有极高的可靠性和较短的传输时延。主要技术要求如下：

——光纤差动保护收发路由必须一致，禁止使用 SDH 自愈保护等技术；

——正常运行时，禁止线路纵联保护所用通道在任何环节进行交叉、自环；

——纵联方向保护、纵联距离保护、远方跳闸保护可以采用 SDH 自愈保护；

——端到端保护光纤迂回复用通道延时 $<15$  ms；

——通道误码率  $BER \leq 10^{-8}$ ；

——2 Mbps 通道关闭其重定时功能。

冰灾期间，线路运行时，导线通电发热有一定的熔冰效果，不通电的地线覆冰比导线稍重。地线覆冰后的弧垂较导线增大得快，引起导线和地线之间距离缩短而发生短路跳闸事故，甚至会出现地

线先于导线断线的情况。目前电力通信网复合在架空地线中，而地线尚无有效的融冰手段，地线断裂将导致电力通信通道中断，危及电力控制系统的正常运行。

2008 年的冰灾中，许多线路覆冰远远超出线路承受的能力，造成大面积断线或倒塔。架设在输电线路上的 OPGW 光缆和 ADSS 光缆，也遭到极大的破坏。受冰灾影响，南方电网区域共中断通信光缆 106 条，其中 OPGW 光缆 54 条，ADSS 光缆 52 条。光缆中断造成南方电网主干通信网解环运行，贵州电力通信网解列，广西桂林地区电力通信网与省电力通信网断开，电力通信业务受到了严重的影响，主要原因在于 ADSS 覆冰厚度大大超过了原设计标准条件<sup>[2]</sup>。

## 2 利用公用通信网组成通道应急方案实例

根据现有主干网架结构图，安青线光缆故障，OPGW/ADSS 大范围的通道中断将影响兴安直流站间局域网 LAN1；兴安直流站间局域网 RC LAN；兴安直流 PCM 通道 1；八换甲线主一保护通道 2；安八线主一保护通道 2；天平 I、II 线主一保护通道 2；河柳甲乙线主一保护通道 2；龙沙甲乙线主一保护通道 2、辅 B 保护光纤通道；安青 I、II 回、安青二回主二保护、辅 A、辅 B 保护光纤通道中断。在 2008 年冰灾期间，由于通信网络中断原因导致继电保护由双通道变单通道运行的线路共 120 条，受影响的采用单光纤通道的线路保护被迫退出运行<sup>[1]</sup>。

为了提高电力通信应对低温雨雪灾害的能力，一方面要强化电力光纤通信网在电力通信专网中的主力军作用，进一步提高电力光纤网抗灾能力，另一方面要充分利用公用通信网资源增强电力通信抗灾能力，构建电网应急通信网。公用通信网主要采用地埋光缆技术，其抗人为破坏、洪水冲击等自然灾害的能力较弱，但抗台风、冰灾等自然灾害的能力较强，可与电力通信光缆在抗击不同灾害时形成互补。

在冰灾期间，利用公用通信网恢复了多个远跳保护及纵联距离保护通道。以安贵 II 线为例加以说明。2008 年 1 月 28 日安贵线短路路径光缆中断，CSL101A 保护退出运行后，2 月 4 日 1 时 54 分成功切换了安贵 II 线 CSL101A 保护通道，通道组织如图 1 所示。2 月 4 日 1 时 57 分安贵 II 线 CSL101A

保护光纤通道投入, 直至 3 月 7 日保护通道才重新切换为电力通信网。在此期间, 安贵 II 线 2 月 4 日 4 时 28 分、5 时 10 分、15 时 15 分、18 时 36 分发生了四次线路故障, CSL101A 保护均正确动作, 充分说明了利用公用通信网作为纵联保护的通道是完全可行的。

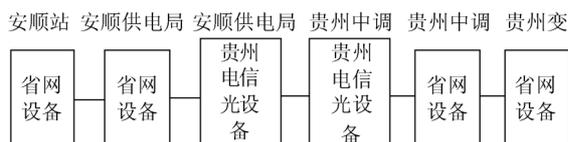


图 1 安贵 II 线保护通道示意图  
Fig.1 Protection Channel of An-Gui Line II

### 3 光纤电流差动保护应对措施

电力通信网和公用数据网受自然灾害的影响不同, 可以在抗击不同灾害时形成互补。然而, 公用通信网均采用自愈环技术, 而且通道延时不确定, 有必要对光纤电流差动保护装置进行适当的改进, 以提高装置对通道的适应性。反措工作应遵循以下基本原则:

——正常运行时, 保护装置使用电力通信网, 仅在灾害天气等应急情况下使用公用通信网, 因此不应降低保护装置在正常运行时的性能和可靠性;

——为了尽量降低保护反措后装置的复杂性, 在应急情况下, 可通过人工切换的方式将保护通道由电力通信网切换至公用通信网, 并将保护装置由正常运行方式切换至应急工作模式。

对于纵联距离保护, 改进重点在于公用通信网的通道延时可能比较长, 需要针对这一变化作相应的适应性调整, 由于不涉及保护原理及接口的变化, 相对而言比较容易实现。本节主要对改进光纤电流差动提出一些看法。

#### 3.1 调整同步方式

电流差动保护可采用基于数据通道的同步方法、基于参考相量的同步方法和基于 GPS 的同步方法这 3 种同步方法。

20 世纪 90 年代末, GPS 技术在电力系统的应用逐渐发展起来。不少高校、保护厂家和科研院所都开展了基于 GPS 的电流差动保护研制<sup>[3-5]</sup>。GPS 的精度为 1  $\mu$ s, 理论上的线路两侧电流的角度误差可以控制在 0.036°, 因此利用 GPS 时钟同步信号是

一种很理想的同步方式。然而, 采用 GPS 时钟同步信号, 存在信号丢失、干扰严重和精度低的问题, 基于 GPS 的电流差动保护一直没有在工程中得到广泛应用。

20 世纪末, 光纤通信技术的迅猛发展及其在电力系统中的广泛应用, 光纤电流差动保护成为 220 kV 及以上电压等级线路保护的首选配置。目前, 国内外光纤电流差动保护普遍采用基于数据通道的同步方法。通过计算通信传输延时和两侧采样时间差  $\Delta t$ , 意味着当前时刻收到的对侧电流采样值实际上是  $\Delta t$  前的采样值, 在进行差分算法时需采用本侧  $\Delta t$  前的采样值与当前时刻收到的对侧电流采样值, 就可以得出正确结果。线路电流过零点是两侧电流同步的最优同步点。光纤差动保护的原理不难看出, 时间差  $\Delta t$  大于 20 ms, 两侧的差动保护装置就很难同步。而且如果信号的收、发延时不一致, 时间差  $\Delta t$  的计算将出现很大偏差, 因此光纤差动保护的通道不允许自愈。

利用 GPS 信号作为现有光纤电流差动保护同步原理的补充, 有助于提高同步精度, 理论上可以增强光纤电流差动保护装置在应急期间对通道的适应性。例如, GE 公司的 L90 光纤电流差动保护如配置了 GPS 对时功能, 允许的通道延时将长于 20 ms<sup>[6]</sup>。然而, 从工程化的角度考虑, 对于现有装置增加 GPS 对时功能, 不仅增加了保护装置的硬件投资成本, 而且涉及大量的软件编程工作, 新装置的研发周期长, 而且现场实施反措的难度和工作量都比较大。

#### 3.2 保护功能调整

高频距离保护和高频方向保护传输的是一个开关量信号, 可以适应自愈环方式, 只要传输延时足够短能够躲过功率倒向时间。在应急期间将光纤电流差动保护作为光纤距离保护使用, 可以避免在电力通信网遭受大范围破坏时主保护退出运行。安贵 II 线 CSL101A 保护通道于 2008 年 2 月 4 日转共用通信网后, 经历了 4 次线路故障, 保护均正确动作, 充分说明了利用公用通信网作为光纤距离保护的通道是完全可行的。

目前国内外保护厂家的光纤电流差动保护装置都具备了接入双光纤通道的功能, 对于两个通道的数据如何使用, 不同的厂家有不同的作法, 主要有单保护模块和双保护模块两种, 如图 2 所示。

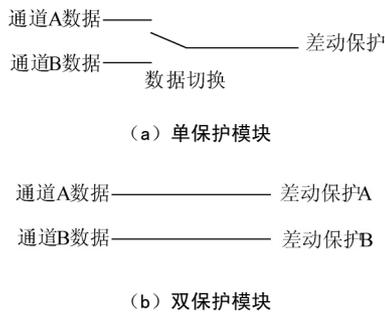


图2 双通道光纤电流差动保护数据使用示意图  
Fig.2 Data for Double Channel Optical Fibre Lines Differential Protection

各保护厂家均有光纤距离保护装置,在差动保护装置中增加光纤距离保护功能,软件修改难度不大,但就如何运行则有不同的方案。

方案一:将目前双光纤电流差动保护改为一个光纤电流差动和一个纵联距离,光线电流差动和纵联距离相互独立,如图3所示。正常两个功能同时运行,在应急情况下仅将纵联距离的通道切换至公网应急通道即可。



图3 按方案1改进后的差动保护  
Fig.3 Line differential Protection after Improvement with Scheme 1

方案二:在双光纤电流差动保护的基础上增加纵联距离的功能。正常运行时工作在光纤电流差动模式,纵联距离功能退出,在应急情况下,将其中一个通道切换至公网应急通道,同时将保护装置切换至纵联距离模式。

两种方案各有利弊。采用方案一,可以弥补正常运行时电流差动保护对通道质量要求高的不足,即使出现通道A/B质量欠佳,光纤距离保护仍可使用,主保护不至于完全退出运行。该方案的不足之处在于影响了装置在正常运行时的性能和可靠性。对于图2(a)结构的保护装置,改进成图3后,有可能会影响到硬件平台的设计。对于图2(b)结构的保护装置,改进前后对硬件设计的影响较小。采用方案二,对装置在正常运行时的性能和可靠性几乎没有影响,由于差动保护和纵联距离保护的帧结构不同,保护装置应能适应正常运行和应急期间通信接口变化。

## 4 结束语

利用公用通信网可以有效地增强电力通信抗灾能力。然而,公用通信网是自愈合,电流差动保护不再适用。利用GPS对时信号,或者在光纤电流差动保护装置中增加光纤距离保护原理,可以扩大光纤电流差动保护装置的适用范围。现有装置增加GPS对时功能,存在硬件投资大、研发周期长、现场实施的难度和工作量大等不足之处。在光纤电流差动保护中增加光纤距离保护逻辑,应急期间仅使用纵联保护的技术方案已得到国内外保护厂家,如南瑞、南自、四方、许继、ABB的认可。

### 参考文献:

- [1] 高鹏,陈新南,陆明,金华锋.南方电网SDH光纤通信环网继电保护通道分析[J].南方电网技术,2007,1(2):36-52.  
GAO Peng,, CHEN Xin-nan, LU Ming, et al. Analysis on Relay Protection Channel of SDH Optical Network in China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology, 2007, 1 (2):36-52.
- [2] 南方电网电力调度通信中心.电力通信应对低温雨雪等重大自然灾害措施专题研究报告[R].广州:2008.
- [3] RICHARDS S H, POTTS S, ROBINSON N, et al. GPS(全球定位系统)同步电流差动保护的应用[J].国际电力,2002,6(3):43-47.  
RICHARDS S H, POTTS S, ROBINSON N, et al. Application Benefits of GPS Synchronised Current Differential Protection[J]. International Electric Power for China, 2002, 6(3): 43-47.
- [4] 高厚磊,江世芳,贺家李.基于GPS的纵差保护设计及试验[J].电力系统自动化,2001(10):61-65.  
GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li. Design and Testing of GPS Based Current Differential Protection[J]. Electric Power System and Automation, 2001(10): 61-65.
- [5] 张红.基于GPS原理的多端线路电流纵差保护方案设计[J].东北电力技术,2002(3):1-3.  
ZHANG Hong. The Design of GPS Based Longitude Current Differential Protection Scheme for Multi-branch Lines[J]. East-North Electric Technology, 2002(3): 1-3.
- [6] GE Power Management:L90 Line Differential Relay-UR Series Instruction Manual[Z].USA, 2003.

收稿日期:2008-04-14

### 作者简介:

赵曼勇(1957-),女,教授级高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作。

周红阳(1969-),男,高级工程师,硕士研究生,从事继电保护生产运行管理及研究工作。

余江(1975-),女,高级工程师,博士研究生,从事继电保护运行管理及研究工作。

(本文责任编辑 张亚拉)