

## 220 kV 线路保护通道配置的探讨

毛婕<sup>1</sup>, 赵萌<sup>1</sup>, 许海文<sup>2</sup>

(1. 浙江省电力设计院, 浙江 杭州 310012; 2. 中国水电建设集团公司, 北京 100048)

**摘要:** 2008年的冰灾对线路保护通道产生了严重影响, 冰灾中线路保护均采用专用光纤通道对突发情况应变能力太差。通过对常规的几种继电保护通道方式的分析比较, 对220 kV线路保护通道配置原则进行了调整。以220 kV方圆-岗阳线为例, 根据新的配置原则对线路保护进行了通道配置, 通过理论计算分析论证配置的合理性。对新的保护通道配置原则提出了一些看法。

**关键词:** 继电保护; 复用; 传输延时; 通道配置

### Discussion on the 220 kV transmission line protection channel scheme

MAO Jie<sup>1</sup>, ZHAO Meng<sup>1</sup>, XU Hai-wen<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Electric Power Design Institute, Hangzhou 310012, China; 2. Sinohydro Corporation, Beijing 100048, China)

**Abstract:** The snow storm disaster in southern China occurred in early 2008 left a serious impact to the line relay protection channel adhering to the transmission line, due to the poor adaptability to sudden accidents of communication channel based on optical fiber, which is widely used in field of transmission line relay protection. Based on the comparison and analysis of several kinds of commonly used protection communication channels, the principle for 220 kV transmission line protection channel scheme is adjusted. Theoretic calculation is made to demonstrate the reasonability of the new principle application in 220 kV Fangyuan-Gangyang line and further suggestions on the new principle for 220 kV transmission line protection channel scheme are given.

**Key words:** protective relaying; multiplexing; transmission delay; channel scheme

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)07-0094-04

## 0 引言

2008年初, 浙江电网遭受50年一遇的冰灾袭击, 500 kV线路停运23条, 195基500 kV铁塔损毁, 220 kV线路停运23条, 62基220 kV铁塔损毁, 一时难以修复, 直接威胁浙江电网的运行安全。输电线路覆冰导致大量的OPGW光缆中断, 保护通道频繁告警或中断, 严重影响线路快速保护的正确动作。哪种继电保护通道方式更加可靠, 线路保护通道怎样配置才能确保线路快速保护在恶劣天气下可靠运行与正确动作对浙江电网尤为重要。

## 1 常规的几种继电保护通道方式

220 kV线路通常采用纵联保护。纵联保护是指利用某种通信通道, 将被保护线路各端的保护装置纵向连接起来, 在系统故障时, 每段保护装置对各端送来的电气量进行比较, 判断故障发生在区内还

是区外, 以决定是否进行保护。纵联保护按照通道类型分类, 主要有: 导引线通道; 载波通道; 微波通道; 光纤通道。

### 1.1 导引线通道

导引线通道就是用二次电缆将线路两侧保护的电流回路联系起来, 导引线中传输的是电信号。导引线通道需要铺设电缆, 其投资随线路长度而增加。在中性点接地系统中, 除了雷击外, 在接地故障时地中电流会引起地电位升高, 会产生感应电压, 对保护装置和人身安全构成威胁, 也会造成保护不正确动作。导引线直接传输交流电量, 导引线的参数(电阻和分布电容)直接影响保护性能, 从而在技术上也限制了导线保护用于较长的线路。因此导引线通道方式通常不被采用。

### 1.2 载波通道

载波通道是利用电力线路、结合加工设备、收发信机构成的一种有线通信通道, 以载波通道构成

的线路纵联保护也称为高频保护。高频保护单独使用一台收发信机为专用方式。高频保护也可以采用音频接口接至通信载波机,与远动通信复用收发信机,称复用方式。

载波通道的优点是简单快速、灵敏度高、安全性好。这种保护通道方式在 20 世纪 80 年代被广泛应用。

载波通道的缺点:

1) 由于载波通道中传输的高频信号为电信号,易受各种强电磁干扰而造成保护拒动。

2) 根据运行经验,高频保护所用的收发信机故障率很高,直接影响保护的可靠性。

3) 由于浙江的大部分地区易受台风侵袭,载波通道所需要加装的阻波器在台风中易摆动造成线路跳闸,成为一个安全隐患。

因此,载波通道已不是首选的保护通道方式。

### 1.3 微波通道

微波通道为无线通信方式,采用频率为 2 000 MHz、6 000~8 000 MHz,主要用于电力系统通信,由定向天线、连接电缆、收发信机组成。

微波通道与输电线没有直接的联系,输电线发生故障时不会对微波通信系统产生任何影响,因而利用微波保护的方式不受限制。微波通信是一种多路通信系统,可以提供足够的通道,彻底解决了通道拥挤的问题。微波通信具有很宽的频带,线路故障时信号不会中断,可以传送交流电的波形。采用脉冲编码调制(PCM)方式可以进一步扩大信息传输量,提高抗干扰能力,也更适合于数字保护。但是微波通道受天气影响较大,且通道不稳定。浙江地区目前无 220 kV 线路保护采用微波通道。

### 1.4 光纤通道

20 世纪 90 年代末,光纤技术逐渐成熟。由于光纤通信技术有着其它通信方式无法比拟的稳定、可靠、抗干扰强、信息量大、整定维护简便的优势,光纤通道逐渐成为首选的保护通道方式。通常有两种光纤通道连接方式,一种为专用光纤方式,两台纵联保护通过光纤直接相连。专用光纤方式,信号没有经过转换,传输过程相对直接,但是浪费纤芯资源,每条线路保护占用 2 根纤芯。

另一种为复用方式,利用 2 Mbit/s 或 64 kbit/s 通道传输保护信号。最初,光纤保护采用 64 kbit/s 同步通道,保护装置按照 64 kbit/s 速率编码、同步数据链通信方式,和通信的接口采用 64 kbit/s 正向码速调整的同步接口方式,由 PCM 终端设备提供。这种保护方式中间环节过多,传输时延大,通道的故障概率增加。而采用 2 Mbit/s 通道方式,能传送的信

息量大,不需要经过 PCM 转接,运行可靠。通常做法为保护装置(内置光电转换装置)出 2 Mbit/s 口通过同轴电缆与 SDH 设备相连,通过光网络将信号传送到对端,如图 1 所示。

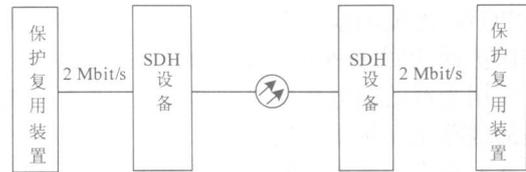


图 1 复用 2 Mbit/s 的光纤通道连接示意图

Fig. 1 Connecting diagram of multiplexing 2 Mbit/s optical fiber communication channel

## 2 浙江电网 220 kV 线路保护通道配置

### 2.1 220 kV 线路保护通道情况

至 2008 年底,浙江电网运行的 220 kV 线路共 541 条,全部配置快速保护。全省 220 kV 线路快速保护通道 1 056 条,其中光纤通道 486 条,高频通道 570 条,无导引线通道和微波通道。

冰灾期间,覆冰对线路保护通道造成了严重的影响。14 条 OPGW 光纤通道中断,导致 23 条 220 kV 线路损耗增大,发生 3 dB 告警 57 次。

### 2.2 冰灾前 220 kV 线路保护通道配置原则

根据专题比较,从经济角度来看,1 条 20 km 的 220 kV 线路架设 OPGW 的费用和开设高频通道(结合加工设备)的费用相当。加上采用光纤通道的稳定、可靠、抗干扰强、信息量大、整定维护简便的优势,采用专用纤芯的方式也无需开设电路。因此冰灾前对于 220 kV 线路保护通道首选为专用纤芯的通道。冰灾前浙江电网 220 kV 线路保护通道配置原则如下:

- a) 两套纵联保护应由两个完全独立的通道(含通道设备)传送。
- b) 对有 OPGW 光纤通道的线路,纵联保护通道应采用 OPGW 光纤通道。
- c) 保护通道为光纤通道时可配置一套光纤允许式方向/距离保护、一套光纤分相电流差动保护或两套光纤分相电流差动保护;无旁路切换要求时应采用两套光纤分相电流差动保护。
- d) 220 kV 线路两套主保护通道在选用相一地耦合制的电力线高频通道时,应分别耦合在不同的相别上;配置两套不同原理的高频闭锁式保护(专用收发信机)。
- e) 对有 OPGW 光缆的线路,每套保护直接使用不同的光纤芯或复用光纤通道;配置两套光纤保护。

f) 对有 OPGW 光缆且完全同杆并架双回线, 每回线均配置两套光纤保护, 每套保护直接使用不同的光纤芯或复用光纤通道。

g) 对有 OPGW 光缆且非同杆并架双回线, 在无 OPGW 光缆的线路上配置一套专用载波高频闭锁式保护或迂回 OPGW 通道的光纤保护以及一套直接使用光纤芯的分相电流差动保护; 在有 OPGW 光缆的线路上保护配置同 e) 项。

h) 对电缆或电缆架空线混合线路保护通道应采用光纤通道, 一套保护直接使用光纤芯, 另一套保护复用光纤通道, 复用光纤通道优先采用迂回 OPGW 通道; 配置两套光纤保护。

i) 对有 ADSS 光缆的线路, 一套保护直接使用 ADSS 光缆, 另一套选用相一地耦合制的电力线高频通道。

j) 保护通道不宜使用普通光缆通道和微波通道。

k) 迂回光纤通道应为 220 kV OPGW 通道, 传输延时不大于 12 ms, 并应满足通道收发同时切换、路由、时延和往返一致的要求。

### 2.3 冰灾后 220 kV 线路保护通道配置原则

冰灾期间, 发现一方面线路倒杆时光纤差动保护总是能在通道中断前动作跳闸, 另一方面两套线路保护均采用专用光纤通道对突发情况(光缆断线)的应变能力太差。因此对保护通道配置原则进行了调整。冰灾后浙江电网 220 kV 线路保护通道配置原则如下:

a) 本线有 OPGW

第一套线路保护正常都采用复用本线点对点 2 M 直达电路方式, 第二套线路保护采用本线专用光纤芯。特殊紧急情况下(如光缆断线), 两套主保护通道都中断时, 第一套线路保护可切换至 2 M 应急迂回通道。

若通信规划中本线点对点 2 M 电路不通, 则要求在两侧通信光端机上加光板供第一套线路保护复用本线 2 M 电路, 不采用单独配置小型光端机方式。

b) 本线无 OPGW, 但相邻平行线路有 OPGW

第一套线路保护正常都采用复用相邻线点对点 2 M 直达电路方式, 第二套线路保护采用相邻线专用光纤芯。特殊紧急情况下(如光缆断线), 两套主保护通道都中断时, 第一套线路保护可切换至 2 M 应急迂回通道。

c) 本线与相邻平行线路均无 OPGW

若具备可靠迂回通道时, 则第一套保护采用高频保护, 第二套复用 2 M 迂回。否则, 两套均采用高频保护。

d) 可靠迂回通道传输总延时不大于 12 ms, 收发同一路由, 220 kV 及以上电压等级的 OPGW。

e) 紧急情况下使用的应急迂回通道传输总延时不大于 12 ms, 收发同一路由。

f) 单台光纤通道设备(如 SDH 光端机)复用数量按照国网典设原则上不超过 8 套。

g) 保护若采用可靠迂回通道, 则通信部门在工程投产前必须确定固定的迂回路由, 并按照继电保护光纤通道运行管理办法严格管理迂回路由的运行和检修工作。

## 3 220 kV 方圆—岗阳线继电保护通道

### 3.1 220 kV 方圆—岗阳线基本情况

方圆变为杭州地区将建中的一个变电站, 本期方圆变 1 回 220 kV 出线至岗阳变, 220 kV 方圆—岗阳线为双回同杆架设线路。考虑到通信兼顾保护的需要, 方圆—岗阳线架设设有 32 芯 OPGW。方圆变设 1 套北电的 STM-16 SDH 光传输设备 TX-16XE, 本期开通青云—方圆—岗阳的 STM-4 电路。方圆变接入后网络拓扑如图 2 所示。

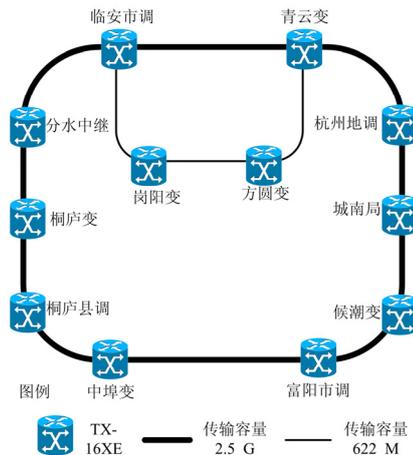


图 2 方圆变接入后网络拓扑图

Fig.2 Network topologic diagram with Fangyuan substation connected

### 3.2 继电保护通道配置

根据上述的配置原则, 以 220 kV 方圆—岗阳线为例, 组织继电保护通道。

220 kV 方圆—岗阳线路继电保护通道:

主通道: 方圆变 新建光纤通信 岗阳变(复用 2 M)。

备用通道: 方圆变 专用纤芯 岗阳变。

应急迂回通道: 方圆变 新建光纤通信 青云变 原有光纤通信 临安市调 原有光纤通信 岗阳变(复用 2 M)。

### 3.3 应急迂回通道分析

220 kV 方圆—岗阳线的应急迂回通道连接如图 3 所示。目前杭州地区的 SDH 环网配置为“二纤双向复用段保护”，满足配置原则中“收发同一路由”。

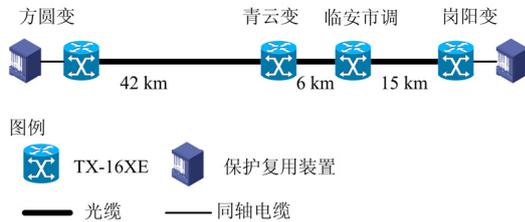


图 3 迂回通道连接示意图

Fig.3 Connecting diagram of detour channel

对于应急迂回通道，延时主要由传输系统的延时、传输设备的延时、保护复用装置的延时三部分组成。

#### 1) 传输系统产生延时 $t_1$

无论是电信号还是光信号，都是电磁波，在一定的传输介质中传播速度都是有限的，主要取决于介质的折射率。如光信号经过光纤的传输延时  $\tau$  可表达为：

$$\tau = l \cdot n_1 / C$$

式中： $C$  为真空中的光速 ( $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ )； $l$  为传输距离 (km)； $n_1$  为光纤区折射率，典型值为 1.48。由此可计算出光信号在光纤中的传输延时大致为  $4.9 \mu\text{s}/\text{km}$ ，再考虑整个系统中再生器和复用器引入的少量延时，整个光缆系统所产生的延时可以按  $5 \mu\text{s}/\text{km}$  估算。

如图 3 所示，方圆变—岗阳变保护迂回通道的传输系统延时为：

$$t_1 = 5 \times (42 + 6 + 15) = 315 \mu\text{s}$$

#### 2) 传输设备的传输延时 $t_2$

SDH 设备完成同步复用、映射和定位，进行各类开销处理、指针调整及连接处理时会产生传输延时。目前传输设备的延时还没有标准化，不同厂家的 SDH 设备的延时都各不相同。方圆变、青云变、临安市调、岗阳变使用的为北电的 TX-16XE 设备，根据厂家提供的数据，TX-16XE 的 2 M 口至 STM-4 输出端的传输延时为  $30 \mu\text{s}$ ，STM-4 至 2 M 口的传输延时为  $105 \mu\text{s}$ ，STM-N 至 STM-N 的传输延时小于  $25 \mu\text{s}$ 。因此，迂回通道的传输设备传输延时为：

$$t_2 = 30 + 25 + 25 + 105 = 185 \mu\text{s}$$

#### 3) 保护复用装置的延时 $t_3$

保护复用装置包含保护装置和光电转换装置，

保护装置经过一对光纤收发装置，将信号转换为 2 M 信号后接入 SDH 光端机。因此，其中的光电转换将产生延时，方圆变和岗阳变使用的为南瑞的保护接口装置，根据厂家提供的数据，延时为  $4 \mu\text{s}$ ：

$$t_3 = 4 + 4 = 8 \mu\text{s}$$

因此方圆变至岗阳变迂回通道的传输延时为：

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 315 + 185 + 4 = 504 \mu\text{s} < 12 \text{ ms}$$

满足原则要求。

## 4 结论

调整后的保护通道配置原则，线路主备保护采用不同原理的通道方式，并组织应急迂回通道。实现了性能互补，提高了线路保护的可靠性。但目前的配置原则存在以下问题：

1) 电力通信组网主要是满足调度自动化、保护、生产管理等业务的需求，网络结构目前以环网为主。一次网络结构以放射状为主。通道配置原则中的“复用本线点对点 2 M 直达电路方式”，将产生大量的放射状电路，使通信网络变得复杂。

2) 通道配置原则中的“收发同一路由”，就需要核实现有运行网络的保护倒换方式。若网络配置为“二纤双向复用段保护”或“四纤双向复用段保护”则能满足要求，否则就需要对现有网络进行运行方式的调整和改变，对已运行的其它业务影响较大。

3) 通信设备上大量的保护复用业务的承载，增加了通信运行的压力，通信设备的运维都必须核实保护通道的情况。而通信设备的故障也将直接影响电网的安全运行。

总之，如何科学地为一次线路提供安全、稳定、可靠的保护通道，是通信专业值得探讨的课题。

## 参考文献

- [1] 韦乐平. 光同步数字传送网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.  
WEI Le-ping. Optical Synchronous Digital Transport Network[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 1998.
- [2] 赵大平, 孙业成. 浅析 SDH 光纤通信传输继电保护信号的误码特性和时间延迟[J]. 电网技术, 2002, 26 (10): 35-37.  
ZHAO Da-ping, SUN Ye-cheng. A Preliminary Analysis of Characteristics of Code Error and Time Delay of Protective Relaying Signals Transmitted by SDH Optical Fiber Communication System[J]. Power System Technology, 2002, 26 (10): 35-37.

(下转第 101 页 continued on page 101)

SERVER\_TEL=13709115414  
 SERVER\_SOE1=13700293708  
 SERVER\_SOE2=13700295432  
 END

其中,文件中所有定值均可根据实际要求修改,例如装置要设定的日期和时间、电压上下限、日报时间以及发往中心的三个电话号码等都可变。

#### 4 结语

借助 U 盘可以便于从现场直接获取数据,装置不在电信信号覆盖范围内时数据只能记录在装置内,可用 U 盘转储。通过 USB 接口读取相关的数据,实现对电能质量的进一步分析和处理。该装置已应用于西安铁路安康供电段管内的恒口车站、安康东等六个信号电源点的监测,半年多来运行效果良好。

#### 参考文献

- [1] 郑红阳. 铁路信号电源监控[J]. 西南民族大学自然科学报, 2005, 31 (3): 421-426.  
 ZHENG Hong-yang. The Monitoring of the Railway Signal Power[J]. Journal of Southwest University for Nationalities, 2005, 31 (3): 421-426.
- [2] 石文孝, 于德津. 基于TI5409处理器的U盘读写系统[J]. 吉林大学学报, 2008, 26 (1): 83-87.  
 SHI Wen-xiao, YU De-jin. U Disk Read-Write System Based on TI5409 DSPs[J]. Journal of Jilin University, 2008, 26 (1): 83-87.
- [3] 傅正财, 吴斌, 黄宪东, 等. 基于GSM网络的输电线路故障在线监测系统[J]. 高电压技术, 2007, 33 (5): 69-72.  
 FU Zheng-cai, WU Bin, HUANG Xian-dong, et al. Online Monitoring System Based on GSM Network for Transmission Line Fault[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33 (5): 69-72.
- [4] 晏运忠, 岳青松, 游建军. 基于GSM短消息的变电站无人值班系统[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (3): 99-101.  
 YAN Yun-zhong, YUE Qing-song, YOU Jian-jun. Unattended Substation System Based on SMS of GSM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (3): 99-101.
- [5] 黄平平, 吉荣延, 沈大鹏. 基于CH375实现单片机读写U盘[J]. 现代电子技术, 2006, 18: 13-15.  
 HUANG Ping-ping, JI Rong-yan, SHEN Da-peng. Communication between MCS-51 and the Flash Disk Based on CH375[J]. Modern Electronics Technique, 2006, 18: 13-15.
- [1] 郑红阳. 铁路信号电源监控[J]. 西南民族大学自然科学报, 2005, 31 (3): 421-426.  
 ZHANG He-ming, XU Jun-xian. Analysis on 2 Mbit/s Differential Protection Channel and Improving Its Operation Reliability[A]. in: Electric Power Communication Special Committee. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference[C]. Fujian: 2008.185-189.
- [2] 吴凡, 陈培丽. 纵联保护传输通道应用分析[A]. 中国电机工程学会电力通信专业委员会. 第七届学术会议论文集[C]. 福建: 2008.193-197.  
 WU Fan, CHEN Pei-li. Analysis of Longitudinal Differential Protection Channel[A]. in: Electric Power Communication Special Committee. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference[C]. Fujian: 2008.193-197.
- [3] 张合明, 许俊现. 2 Mbit/s 差动保护通道技术分析及其运行可靠性提高策略[A]. 中国电机工程学会电力通信专业委员会. 第七届学术会议论文集[C]. 福建: 2008.185-189.  
 ZHANG He-ming, XU Jun-xian. Analysis on 2 Mbit/s Differential Protection Channel and Improving Its Operation Reliability[A]. in: Electric Power Communication Special Committee. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference[C]. Fujian: 2008.185-189.
- [4] 吴凡, 陈培丽. 纵联保护传输通道应用分析[A]. 中国电机工程学会电力通信专业委员会. 第七届学术会议论文集[C]. 福建: 2008.193-197.  
 WU Fan, CHEN Pei-li. Analysis of Longitudinal Differential Protection Channel[A]. in: Electric Power Communication Special Committee. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference[C]. Fujian: 2008.193-197.
- [5] 邹绍平, 王文元, 李志宏. 冰灾期间线路保护通道运行情况及其应对措施[J]. 江西电力, 2008, 32 (2): 48-51.  
 ZOU Shao-ping, WANG Wen-yuan, LI Zhi-hong. Operation and Countermeasures of Line Protection Channel in Ice Hazard[J]. Jiangxi Electric Power, 2008, 32 (2): 48-51.
- [6] 李骏年. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 1993.  
 LI Jun-nian. Relay Protection Principle[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1993.

收稿日期: 2009-05-11; 修回日期: 2009-08-12

作者简介:

刘家军 (1962-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为电力系统监控、运行与控制;

宋娜 (1983-), 女, 硕士, 研究方向为电力系统的测量与控制。E-mail:pds.sn.@163.com

收稿日期: 2009-05-11

作者简介:

毛捷 (1978-), 女, 硕士, 工程师, 从事电力系统二次设计与咨询工作; E-mail: maojie20020808@sina.com

赵萌 (1959-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统二次设计与咨询工作;

许海文 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力工程工作。