

继电保护中光纤通信技术应用

李峥峰^{1,2}, 杨曙年¹, 喻道远¹, 路光辉²

(1. 华中科技大学 机械学院, 湖北 武汉 430074;

2. 许继电气技术中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 结合高压线路保护装置光纤电流差动 WXH-803 光纤接口, 对高压线路继电保护中光纤通信系统进行了分析, 特别研究了光纤通道的专用方式、64 Kbit/s 复用方式和 2 Mbit/s 复用方式等连接方式的通信体系结构, 以及在以上 3 种连接方式下光纤通道通信性能的各种影响因素, 其中包括光端机及复用设备的时钟方式、光接收功率、光发送功率、光饱和功率、通信通道裕度、电磁屏蔽措施和设备匹配等关键技术并对其进行了分析探讨, 最后对继电保护光纤通信应用中通道连接状态进行了介绍, 并总结了常见问题的简单处理方法。

关键词: 光纤通信; 时钟方式; 光功率; 通道连接

中图分类号: TM 774; TN 913.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2007)02-0075-04

0 引言

光纤通道具有传输容量大、抗电磁干扰能力强、运行可靠性高等特点, 有着常规通信方式无可比拟的优良性能, 光纤通信技术在电力系统继电保护领域中的应用也越来越广泛, 用光纤通道也成为信息传输的主要通道和手段^[1-2]。

在电力系统继电保护领域光纤通信系统中, 光纤的传输模式一般采用单模光纤; 根据传输距离的不同, 波长可以选用 1 300/1 310 nm 或 1 500/1 550 nm 2 种; 继电保护装置之间的光纤通道的通信方式有专用方式、复用方式^[3], 其中复用方式有 64 Kbit/s 和 2 Mbit/s 2 种。

针对不同的通信方式, 对光纤通信技术应用的关键技术, 如光纤通道连接方式、时钟方式、光接收功率、光发送功率、饱和功率、通道裕度、抗干扰屏蔽措施和设备匹配问题进行分析 and 探讨, 最后总结了光纤通道技术在继电保护应用中的通道连接状态和常见问题的处理方法。

1 专用光纤通信方式

专用方式需为继电保护敷设专用的光纤通道, 在此通道中只传输继电保护的信息。由于受光收、发接口工作距离的限制和敷设光缆费用的制约, 专用方式的通信距离一般在 100 km 以内。

专用方式的优点是光缆的纤芯经熔纤后由光缆终端箱直接接入保护设备的光收、发接口, 没有中间环节, 不需附加其他设备, 实现简单、可靠性高, 而且由于不涉及通信调度, 管理也较方便。目前, 专用方式主要应用于距离较短的城网线路保护以及发电厂与电力系统之间重要线路的保护。

1.1 专用方式系统连接图

如图 1 所示, 在专用光纤通信方式下, 保护装置的光接收接口和发送接口直接通过专用光纤与对侧保护装置的光发送接口和接收接口相连。这种方式中间环节少、简单可靠。

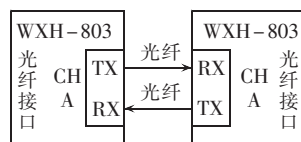


图 1 专用方式连接示意图
Fig.1 Connection of special optical fiber channel mode

1.2 通信性能影响因素

专用方式由于受光收、发接口的光信号发送功率和接收灵敏度的制约, 对通信距离有所限制; 并且在专用方式下, 通信通道的中间环节比较少, 而且传输的都是光信号, 受到的干扰也较少, 所以对通道性能的影响主要应该考虑光发送的时钟方式、光发送功率、光接收功率、饱和功率和通道裕度。

进行光功率测试时需使用光功率计, 注意光功率计波长选择根据实际工程参数选择 1 300/1 310 nm 或 1 500/1 550 nm, 并且对光功率计进行校准^[4]。

1.2.1 时钟方式

专用方式下, 光纤通信系统中没有其他时钟基准, 需要至少设置一端光收、发接口的光发送模块为主时钟, 从而为光收、发接口的光发送数据采用提供时钟基准。一般情况下, 可以设置两侧装置发送时钟工作在“主-主”方式下, 此时发送数据时钟采用内部时钟, 接收数据时钟采用从接收数据流提取的时钟。

1.2.2 光发送功率

光发送功率是影响传输距离的重要影响因素, 在专用方式下, 一定要对光收、发接口的光发送功率进行测量和检验。测量时, 需用光纤跳线一端接光收、发接口的光发射口, 另一端接光功率计测试端, 读出表上显示稳定值(dB), 发送功率为该值加上 2 dB (跳线光纤接头衰耗 1 dB×2 个), 要求光发射功率不

小于光额定发送功率^[5]。以 WXH-803 为例,光发送功率不低于 -14 dB(30 km 内专用,波长 1 310 nm)、-5 dB(30~60 km 以内专用,波长 1 310 nm)和 -11 dB(60~100 km 以内专用,波长 1 550 nm)。

1.2.3 光接收功率

光接收功率对光纤通道的通信性能有很大的影响,如果接收功率低于光接收模块的灵敏度,就会导致传输性能极大降低,所以在测出发送功率后,还要测量光接收功率。测量时,把从对端接收到的光信号接入光功率计,此时光功率计测量的功率数值即为接收功率,要求最小接收功率满足光器件接收功率的灵敏度,最好具有一定裕度。对 WXH-803 而言,一般光接收功率应该大于 -34 dB。

1.2.4 光器件饱和功率

光接收功率过低会导致通信传输性能的降低,同样,如果光接收功率太大也会导致通信传输性能的降低。如果光接收功率过大,以致大于光接收接口的饱和功率,此时通信传输性能也会下降,所以需要 对饱和功率进行监测,把测量的接收功率和光器件的饱和功率进行比较,要求最大接收功率要小于饱和功率^[6]。在专用方式下,一般不会出现接收功率超过饱和功率的情况。

1.2.5 通道裕度计算

由于光模块工作受温度和老化影响很大,为保证通道工作正常,需进行光纤通道裕度校验。通道裕度校验时,发射功率和接收灵敏度取测量修正值或光模块出厂标称值,其他参数取经验参考值,要保证系统衰减余量一般不少于 6 dB,也有文献要求通道裕度为 3 dB^[7]。

光纤通道衰耗有:光纤衰耗 0.3 dB/km(单模);接头衰耗 1 dB/点;熔接衰耗 0.2 dB/点。

通道裕度校验公式:光发射功率-光接收灵敏度- $0.3 \times \text{距离} - 1 \times \text{接头个数} - 0.2 \times \text{熔接个数} > 6 \text{ dB}$

例如:

衰减核算(按 50 km 线路)

发射功率 -10 dB

接收灵敏度 -45 dB

线路衰减 $50 \text{ km} \times 0.3 \text{ dB/km} = 15 \text{ dB}$

连接衰减 2 个接头衰减为 2 点 $\times 1 \text{ dB/点} = 2 \text{ dB}$

熔接 2 个点为 2 点 $\times 0.2 \text{ dB/点} = 0.4 \text{ dB}$

衰减余量 $= -10 \text{ dB} - (-45 \text{ dB}) - 15 \text{ dB} - 0.4 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 17.6 \text{ dB}$

经过上面的计算,可以看出系统的光纤通道裕度大于 6 dB,以上选择的发射功率可以满足要求。

1.2.6 抗干扰屏蔽要求

对专用方式,由于传输的信号都是光信号,而且中间没有经过其他设备,其通信通道具有很好的抗干扰屏蔽性能,一般不需要进行特殊处理,而保护装置本身的抗干扰屏蔽问题由装置本身保证。

1.2.7 匹配问题

由于专用方式下,中间环节少,一般是同一个厂

家的保护与通信设备之间以及通信设备之间互相连接,在实际应用中,设备之间的匹配基本只需考虑内部阻抗、电平和编码的匹配,不需要考虑不同厂家设备之间的匹配,一般较少出现匹配问题。

2 64 Kbit/s 复用通信方式

64 Kbit/s 复用通信方式是保护装置光收、发接口利用数字复用技术通过复用接口与脉码调制 PCM(Pulse Code Modulation)复接设备及复用通道和对侧保护装置相连。为实现保护装置和 PCM 复用设备之间的互连,保护装置设有一个 64 Kbit/s 同向数据复用接口,其一般采用同步通信方式,通信规约符合 CCITT 标准中 G.703 码型协议。一般情况下,保护设备在保护室,而 64 Kbit/s 数据复用接口在通信机房,保护室的保护装置将数据通过光纤传送给设在通信室中的 64 Kbit/s 同向数据复用接口,由于同步数字体系(SDH)光端机不提供低于 2 Mbit/s 速率的业务接口^[6],所以需要在把 64 Kbit/s 信号通过 PCM 复用设备连接到 SDH 复用通道和对侧保护装置进行信息交换^[8-9]。

64 Kbit/s 复用方式主要用于长距离输电线路的保护,节省了光缆及施工费用;复用方式经济性能好,但系统中间环节多,实现复杂。

2.1 系统连接图

系统连接图如图 2 所示,当保护装置采用 64 Kbit/s 复用方式时,此时保护装置通过设在通信室的 64 Kbit/s 同向数据复用接口和 PCM 设备相连接,然后 PCM 设备可通过准同步数字体系(PDH)/SDH 连上复用光纤通道和对侧保护装置进行互连。

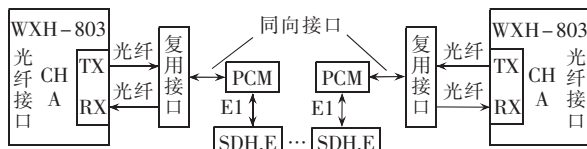


图 2 64 Kbit/s 复用方式连接示意图

Fig.2 Connection of 64 Kbit/s multiplex mode

2.2 通信性能影响因素

在 64 Kbit/s 复用通道方式下,光收、发接口直接发送的光信号传送到通信室的数据复用接口,在光纤中光的直接传输距离较短,一般不存在发送功率不足、接收功率不足或通道裕度不够的情况。同时,在 64 Kbit/s 复用方式下,中间设备较多,对通信性能的影响相对比较大。其影响因素主要有时钟方式、通道裕度、屏蔽干扰、匹配问题和通道延时等因素^[10-11]。

2.2.1 时钟方式

64 Kbit/s 复用方式下,由于 PCM 设备提供主时钟,要求其他连接到 PCM 的设备设置为从时钟,所以两端保护装置的光收、发接口的光发送数据的时钟方式要设置为“从时钟”,即数据的发送时钟从接收数据中提取的时钟为基准。

2.2.2 光功率及通道裕度

在复用方式下,一般不存在光功率发送不足、接收达不到灵敏度或通道裕度不足的问题,但在实际运行期间,还需要对光功率进行测量和验证,特别是光收、发接口的饱和功率要进行检验,防止接收功率达到饱和功率,引起接收过载,从而引起保护通信告警信号的频繁出现,降低了通道的传输性能。

其方法基本与专用方式下的测量方式相同,不仅测量光收、发接口的光功率,还要测量 64 Kbit/s 数据复用接口光功率及电平和复用设备的电平。

2.2.3 抗干扰屏蔽要求

a. 64 Kbit/s 数据复用接口与 PCM 设备之间的屏蔽要求。64 Kbit/s 数据复用接口和 PCM 复用设备之间传送的是电信号,容易受干扰,需要严密注意其电磁干扰的屏蔽措施。64 Kbit/s 数据复用接口与 PCM 设备之间的连接屏蔽双绞线一般采用 6 类双屏蔽电缆(HF-P31/AA),同时采取外屏蔽层两端接地,内屏蔽层一端接地的措施。如图 3 所示,外屏蔽层两端接地可有效降低高频段共模干扰的影响,内屏蔽层一端接地可降低低频段(50/60 Hz)的容性耦合^[12]。

b. 数字复接接口设备与 PCM 之间的连接距离应不大于 50 m。



图 3 电缆屏蔽接地示意图
Fig.3 Grounding of cable shields

2.2.4 匹配问题

复用方式下,由于中间环节较多,特别是不同厂家的设备之间要进行配合,相对专用方式,设备之间的匹配问题更突出。64 Kbit/s 复用方式下的匹配问题,首先是时钟匹配,PCM 设备的时钟要和通信接口的发送时钟相匹配;其次阻抗匹配,64 Kbit/s 通信接口和 PCM 设备的阻抗要匹配,一般为同向型接口、120 Ω 平衡;还有 48 V 电平匹配和 G.703 编码匹配等^[13]。

3 2 Mbit/s 复用通信方式

2 Mbit/s 复用方式是保护装置的光收、发接口利用数字复用技术通过 2 Mbit/s 数据复用接口与 PDH/SDH 设备及复用通道和对侧保护装置相连。为实现保护装置和 PDH/SDH 复用设备之间的互连,装置设有一个 2 Mbit/s 数据复用接口,其采用同步通信方式,通信规约符合 CCITT 标准中 G.703 码型协议。一般情况,保护设备在保护室,而 2 Mbit/s 数据复用接口及复接通信设备在通信机房,保护室的保护装置将保护数据通过光纤传送给设在通信室中的 2 Mbit/s 数据复用接口,然后通过 PDH/SDH 复用设备及复用通道和对侧保护装置相连并交换信息。

2 Mbit/s 复用方式下,保护装置通过 2 Mbit/s 复

用接口盒直接连接到 PDH/SDH 设备,中间不经过 PCM 复用设备,减少了中间环节和传输时延,而且利用了 SDH 自愈环的高可靠性,提高了整个系统的可靠性^[14];2 Mbit/s 速率增加了传输带宽,可以传输更多保护信息。目前,2 Mbit/s 通道应用方式逐渐增多。

3.1 系统连接图

系统的连接图如图 4 所示,当保护装置采用 2 Mbit/s 复用方式时,保护装置通过设在通信室的 2 Mbit/s 数据复用接口和 PDH/SDH 设备相连接,然后通过复用光纤通道和对侧保护装置进行互连。

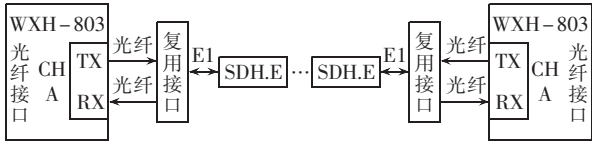


图 4 2 Mbit/s 复用方式连接示意图
Fig.4 Connection of 2 Mbit/s multiplex mode

3.2 通信性能影响因素

2 Mbit/s 复用方式与 64 Kbit/s 复用方式相似,相对 64 Kbit/s 复用方式而言,2 Mbit/s 复用方式减少了 PCM 复用设备,直接和 PDH/SDH 复用设备相连接,提高了通信的可靠性,具有更好的通信性能。

3.2.1 时钟方式

2 Mbit/s 复用方式下,根据所连接的复用设备的不同,光收、发接口的数据时钟基准也不同,当复用接口连接 PDH 时,一般把一端保护装置的时钟方式设置为“从时钟”而另一端保护装置的时钟方式设置为“主时钟”;当复用接口连接 SDH 设备时,一般把两端保护装置的时钟方式都设置为“主时钟”。

3.2.2 光功率及通道裕度

与 64 Kbit/s 复用方式类似,在 2 Mbit/s 复用方式下,一般不存在光功率发送不足、接收功率达不到灵敏度或通道裕度不足的问题,但在实际运行期间,还是需要进行测量和验证,特别是光收、发接口的饱和功率要进行检验,防止接收功率达到饱和功率,降低了通道的传输性能。

其方法基本与专用方式下的测量方式相同,而且不仅测量光收、发接口的光功率,还要测量 2 Mbit/s 数据复用接口光功率及电平和复用设备的电平。

3.2.3 屏蔽要求

2 Mbit/s 数据复用接口到 PDH/SDH 设备之间用电信号传送数据,需防止电磁干扰,一般采用同轴电缆进行连接。由于同轴电缆比双绞线具有更好的电磁屏蔽性能,相对而言,2 Mbit/s 复用比 64 Mbit/s 具有更好的屏蔽性能,直接采用同轴电缆即可满足要求。数字复用接口通过同轴电缆和 PDH/SDH 设备相连接时,数字复用接口与 SDH 的距离不大于 50 m。

3.2.4 匹配问题

与 64 Kbit/s 复用方式的匹配问题相类似,对 2 Kbit/s 复用方式也需要不同厂家的设备之间进行配合。2 Mbit/s 复用方式的匹配问题,首先是时钟

匹配,PDH/SDH设备的时钟要和通信接口的发送时钟相匹配;其次阻抗匹配,PCM设备和通信接口的电阻要匹配,一般为 $75\ \Omega$ 不平衡;此外还有48 V电平匹配和G.703编码匹配等^[13]。

4 通道连接状态

光纤通道系统在实际应用中可能由于各种原因导致不同的通道连接状态,保护装置需对此加以区别和判断,从而保证通道的正确连接。下面对常见的通道连接状态进行分析和讨论。

通道中断:保护装置在规定时间内接收不到对侧数据时,此种工况可能由于通信通道物理中断或接收不到数据等原因引起。

通道自环:光纤保护装置通过尾纤处于自环状态或者网管通过自愈环网进行网络通道自环。

通道互连:本侧光纤保护装置和对侧保护装置通过通道互连并收到对侧数据时。

装置混联:说明两端保护装置的连接不配对,由于不同线路的保护装置进行互连。现在一般可采用装置编码或线路编码技术解决。

通道号混联:在双通道的情况下,其中一个通道收、发和另外一个通道的收、发混联。根据不同厂家的产品,有的允许通道号混联,有的不允许通道号混联。

通道延迟长:说明两端保护装置之间的通信通道延时超过规定通道时延的最大值,已经对保护装置动作性能造成较大影响。不同厂家对通道延时有不同的要求,有些厂家的保护装置允许通道延时达到20 ms。目前,实际应用中,我国相对比较长的高压线路的复用通道延时在5 ms以内^[15]。

5 常见故障处理

通道不通或误码高时需检查以下项目:

- 检查光收、发接口的连接是交叉还是平行连接;
- 检查光收、发接口时钟工作方式设置是否正确;
- 检查复用接口装置跳线是否恢复;
- 光发送功率、接收灵敏度和饱和功率是否满足要求;
- 专用方式下,通道裕度是否满足要求;
- 检查光纤接头部分是否松动或接触不良;
- 检查光纤头是否受潮或熔纤应力变化;
- 用纯酒精擦拭接头部分,防止光纤头部有灰尘;
- 通过分段自环检查来确定光收、发接口问题,通道问题,PCM设备或PDH/SDH设备的问题;
- 检查复用接口与复用设备匹配是否良好。

6 结语

对继电保护领域中光纤通信技术应用的关键技术进行了分析和探讨,特别是对专用通信、64 Kbit/s复用通信和2 Kbit/s复用通信3种方式的接线及其通信性能的影响因素作了分析和研究,并对通道的

连接状态和常见故障处理方法作了总结。

参考文献:

- [1] 廖泽友,鲍伟廉,杨维那,等. 高压线路电流差动保护的现状及前景展望[J]. 继电器,1999,27(1):4-7.
LIAO Ze-you,BAO Wei-lian,YANG Wei-na,et al. Actuality and perspective of current differential protection in HV transmission line[J]. Relay,1999,27(1):4-7.
- [2] 顾生华. 光纤通信技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [3] 谷昕. 利用光纤通信网络传送继电保护信号[J]. 电力系统通信,2004,25(7):35-37.
GU Xin. Protective relaying signals transmission through optical fiber communication networks[J]. Telecommunications for Electric Power System,2004,25(7):35-37.
- [4] 黎连业. 网络综合布线系统与施工技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [5] 倪伟东,李瑞生,李峥峰. 光纤电流差动保护通道试验及研究[J]. 继电器,2005,33(8):68-70.
NI Wei-dong,LI Rui-sheng,LI Zheng-feng. Research and experimentation on optical fiber channel in current differential protection[J]. Relay,2005,33(8):68-70.
- [6] 邓大鹏. 光纤通信原理[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [7] 刘峰,袁峰源,刘建. 光纤通道对光纤差动保护影响的实验研究[J]. 电力系统自动化,2005,29(13):97-99.
LIU Feng,QU Feng-yuan,LIU Jian. Study on the influence of fiber channel on the pilot different current relay[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(13):97-99.
- [8] 纪越峰. SDH技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1998.
- [9] 樊昌信,张甫翊,徐炳祥,等. 通信原理[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [10] 卢武彬,刘文叶. 电力系统通信网信号系统和接口技术[M]. 北京:中国电力出版社,1997.
- [11] 莫远东. PCM数字终端音频接口方式及应用[J]. 电力系统通信,2001,22(11):49-50.
MO Yuan-dong. The VF interfaces in PCM terminal and its application[J]. Telecommunications for Electric Power System,2001,22(11):49-50.
- [12] 王梅义. 继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [13] 赵宏波,卜益民,陈凤娟. 现代通信技术概论[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2003.
- [14] 王芊,金华锋,石铁洪. 用于差动保护的E1速率通信接口[J]. 电力系统自动化,2003,27(7):55-57.
WANG Qian,JIN Hua-feng,SHI Tie-hong. Research of E1 interface used in current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(7):55-57.
- [15] 阎忠平,王萍. 华北电网SDH光纤通道传输500 kV线路继电保护信号的应用[J]. 电力系统通信,2003,24(8):33-36.
YAN Zhong-ping,WANG Ping. The application of SDH optical fiber channel to transmit 500 kV protection signal[J]. Telecommunications for Electric Power System,2003,24(8):33-36.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

李峥峰(1976-),男,河南许昌人,博士研究生,研究方向为制造执行系统MES和通信系统(E-mail:zhengfengli@yeah.net);

杨曙年(1948-),男,湖北武汉人,教授,研究方向为精密仪器制造和设计;

喻道远(1956-),男,湖北武汉人,教授,研究方向为机电控制工程和现代制造系统;

路光辉(1969-),男,河南许昌人,高级工程师,硕士,从事继电保护方面的设计与研究工作。

Application of optical fiber communication in relay protection

LI Zheng-feng^{1,2}, YANG Shu-nian¹, YU Dao-yuan¹, LU Guang-hui²

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. XJ Electric Co., Ltd., Technical Center, Xuchang 461000, China)

Abstract: Taking current differential protection WXH-803 as an example, the optical fiber communication system of HV (High Voltage) line protection is analyzed, especially the communication system architecture of special optical fiber channel mode, 64 Kbit/s multiplex mode and 2 Mbit/s multiplex mode. Different influences on optical fiber communication performance under above three communication modes are studied, including the clock mode of optical terminal and multiplex equipment, the optical receiving power, the optical transmitting power, the optical saturation power, the margin of communication channel, the electromagnetic-shield manners, the equipment match and so on. The channel connection status is introduced, and general problems in optical fiber communication system for relay protection and simple countermeasures are summarized.

Key words: optical communication; clock mode; optical power; channel connection