

# 超高压线路高频保护双通道或逻辑分析与测试

分析了利用光纤通道和载波通道构成双通道或逻辑高频保护的原理及实现方案,并比较了几个主要型号的高频保护双通道功能升级的实现方法,包括主保护功能或逻辑、远传信号或逻辑及通道告警输出,并基于“光纤+载波”双通道或逻辑原理,设计了双通道保护或逻辑功能检测方案和试验方法,通过实时数字仿真系统RTDS模拟线路区内外故障,利用光纤、载波通道保护逻辑的差异性设置,开展纵联保护或逻辑功能验证。最后,该双通道或逻辑方案应用于实际500 kV输变电工程,并利用该试验方法开展了双通道或逻辑功能检测,保证了工程的顺利投运和安全运行。

李 鹏<sup>1</sup> 高 磊<sup>1</sup> 王玉婷<sup>2</sup> 宋亮亮<sup>1</sup> 袁宇波<sup>1</sup> / 1.江苏省电力公司电力科学研究院 2.国电南京自动化股份有限公司

输电线路纵联保护是反映线路两端电气量变化信息的保护,两端保护通过通信设备和通信通道快速地进行信息传递,通信方式分有导引线通信、电力线载波通信、微波通信和光纤通信等<sup>[1]</sup>。两侧纵联保护综合比较两端电气量变化的信息来决定是否要发跳闸命令。当前,线路保护两侧信息交换通道主要是电力线载波通道和光纤通道。

电力线载波通信以电力线路为信息通道,通道传输的信号频率范围一般为50~100 kHz,是电力系统一种特殊的通信方式。由于高频载波的通信速率低,一般用来传递状态信号,用于构成方向比较式和电流相位比较式纵联保护。根据高频载波通道传送的信号在纵联保护中所起的作用不同,电力线载波信号分为闭锁信号、允许信号和跳闸信号<sup>[2]</sup>。

随着光纤技术的发展和光纤制作成本的降低,光纤通道已经成为继电保护的主要通道。由于光纤通道的通信容量

大,一般用于分相式电流差动保护,传输的信号是本端电压电流采样值或相量值的实部和虚部,用于构成纵联电流差动保护。也可以利用光纤传输阻抗继电器、方向继电器动作的逻辑信号,可构成输电线路纵联距离、方向保护等<sup>[3-5]</sup>。

为了保证500 kV电网线路高频保护通道的可靠性,分析了“光纤+载波”双通道或逻辑的高频保护原理,并对几个主要型号的高频保护型号的双通道升级实现方法进行比较,最后根据“光纤+载波”双通道或逻辑原理,设计了或逻辑功能检测方案和方法,并应用于实际500 kV输变电工程中。

## 线路纵联保护两侧信息交换通道

纵联距离/方向保护一般采用高频载波通道或光纤通道的单通道模式,利用载波通道或光纤传输阻抗继电器/方向继电器动作的逻辑信号。对于高频载波模式,过电压保护或开关失灵保护动作后直接将远传信号发送至载波机,通过载波通道将远传信号传输至对侧载波机,然后对侧载波机通过硬接点信号直接将远传信号传输至就地判别装置。对于光纤单通道模式,远传信号开入到线路纵联保护装置,利用光纤通道传输到对侧纵联保护装置,对侧纵联保护远传出口模块通过硬接点将远传信号开出。

对于通道要求较高的线路,条件允许时可采用双通道模式,构成双通道纵联保护,包括光纤双通道和“光纤+载波”双通道两种形式。光纤双通道模式



李 鹏/工程师

### 关键词/Keywords

高频保护·  
光纤通道·  
载波通道·  
双通道·  
或逻辑·

构成双光纤通道纵联保护，两个纵联保护CPU模块完成双通道主保护功能，两个纵联主保护独立运行，通道间无相互影响；远传信号开入到线路纵联保护装置，利用两个光纤通道分别传输到对侧纵联保护装置，对侧纵联保护远传出口模块通过硬接点将远传信号开出。

对于采用“光纤+载波”的双通道模式，两个纵联主保护算法独立运行，主保护出口逻辑是光纤通道优先，即光纤通道和载波通道都正常的情况下，只有光纤纵联距离会出口跳闸，而载波纵联距离只有保护动作报文，不会出口跳闸；当光纤通道故障时，载波纵联距离保护动作后会出口跳闸。对于此类保护，远传信号传统的实现方法是：过电压保护或开关保护失灵动作后直接将远传信号发送至载波机，通过载波通道将远传信号传输至对侧载波机，然后对侧载波机通过硬接点信号直接将远传信号传输至就地判别装置，即远传信号只有载波通道单通道传输，且不经纵联保护装置。

### 高频保护“光纤+载波”双通道或逻辑

对于“光纤+载波”的双通道模式，考虑到通道的可靠性，特别对于光纤通道迂回过长的情况，载波通道的可靠性可能更高，光纤通道和载波通道的纵联距离保护动作出口跳闸可采用“或”逻辑，即任意通道纵联保护逻辑满足跳闸条件均能出口。

对于远传信号，断路器失灵保护或过电压保护动作将远传信号开入到纵联保护，然后纵联保护通过光纤通道和载波通道同时将远传信号传输至线路对侧，对侧纵联保护接收到远传信号后再输出给就地判别装置，即远传信号实现了“光纤+载波”双通道的传输，提高了可靠性，且远传信号都要通过纵联保护转发。

根据以上要求，结合实际工程需要，南瑞继保、国电南自及北京四方公司分别对各自的PCS-902、PSL-602和CSC-101型高频保护进行了版本升级，以适应“光纤+载波”双通道或逻辑的要求。

#### 1. PCS-902型保护的双通道或逻辑

根据“光纤+载波”双通道模式的要求，南瑞继保对PCS-902的主保护逻辑以及远传信号逻辑进行了修改。PCS-902通过设置“光纤通道优先”控制字来实现纵联保护的通道选择，该控制字投入时，光纤通道优先，主保护高频逻辑和远传信号均为光纤通道优先；该控制字退出时，光纤通道与载波通道为“或”逻辑，主保护逻辑和远传信号均为或逻辑。就地判别装置远传信号与载波机的接口都由PCS-902来完成。考虑到就地判别装置采用“一取一”逻辑（六统一要求），因此PCS-902对光纤通道和载波通道的“远传信号”进行逻辑判断后仅输出一个远传开出给就地判别装置。修改后的PCS-902远传信号传输方式如图1所示。

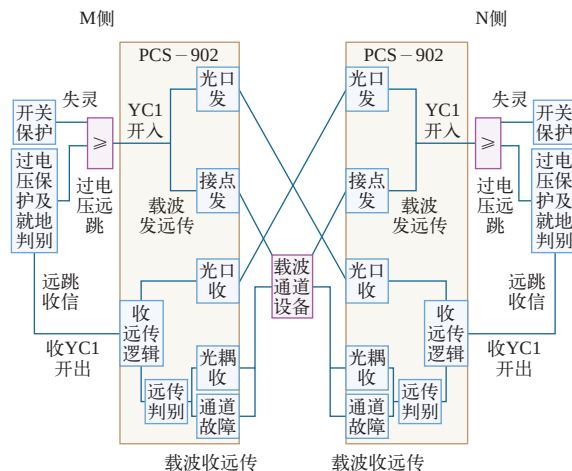


图1 远传信号传输方式示意图

在PCS-902中增加载波通道告警的逻辑，载波通道故障时闭锁载波远传的输岀，修改后的通道告警逻辑如下。

- 1) 光纤和载波控制字均投入、光纤和载波通道均异常时，装置通道告警接点动作。
- 2) 只投光纤控制字、光纤通道异常时，装置点通道告警接点；只投载波控制字、载波通道异常时，装置点通道告警接点。

#### 2. PSL-602型保护的双通道或逻辑

国电南自PSL-602进行“光纤+载波”双通道升级时，在单光纤通道纵联距离保护基础上增

加一个载波通道的纵联距离保护。光纤纵联保护执行正常逻辑，满足动作条件后直接跳闸出口，但是载波通道纵联保护动作后需要进行判别以决定是否跳闸出口。当“光纤通道优先”控制字退出时，载波纵联保护满足动作条件后，直接跳闸出口。此时，若光纤通道和载波通道均正常，保护动作结果与光纤通道保持一致，装置内部实现逻辑为：载波通道借用光纤通道的选相结果，若其中一个通道故障，保护逻辑与无故障通道的逻辑一致。光纤通道与载波通道主保护逻辑并不完全独立，但可实现双通道或逻辑。“光纤通道优先”控制字投入时，若光纤通道异常或光纤纵联保护压板退出时，此时载波纵联保护动作后可直接跳闸出口，否则载波纵联保护动作后仅发报文不跳闸出口。

PSL-602中的远传逻辑在光纤通道远传的基础上增加了一个载波通道远传逻辑。如图2所示。

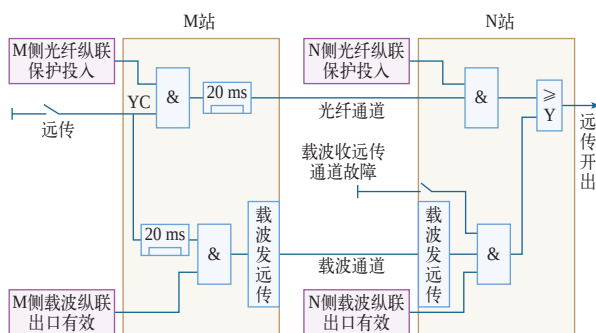


图2 PSL-602光纤和载波通道远传逻辑

PSL-602输出以下几种通道告警信息。

- 1) 光纤通道异常后“光纤通道告警”和“运行异常”节点动作。
- 2) “载波通道告警”为载波通道给线路保护的通道异常告警开入信号，有该开入后“运行异常”和“载波通道告警”节点动作。
- 3) “载波收远传通道故障”为载波通道给线路保护的载波收远传通道故障开入信号，有该开入时“运行异常”和“载波收远传通道故障”节点动作。
- 4) “纵联通道告警”为载波收远传通道和光纤通道均异常，即整个远传通道不可用，当该条

件满足时“运行异常”和“纵联通道告警”节点动作。

### 3. CSC-101型保护的双通道或逻辑

对于“光纤+载波”双通道版本的CSC-101，主保护对光纤通道和载波通道默认不做配合处理，即光纤纵联距离保护根据光纤通道情况作相应处理，载波纵联距离保护根据载波通道情况做相应处理，两者之间不存在配合关系；在“光纤通道优先”控制字置“1”时，在光纤通道通信良好且光纤通道压板投入的情况下，载波纵联距离保护只发跳闸报文，不跳闸出口；否则，各自跳闸。

针对“光纤+载波”双通道的要求，增加载波收发远传相关逻辑。当有远传开入时，在光纤通道良好的情况下，通过光纤通道通知对方远传开出；在载波通道投入的情况下，载波发远传开出两付接点，在无“远传通道故障（载波）”开入，且纵联压板和载波通道投入时，收到载波收远传开入时，开出两付接点。CSC-101的光纤通道及载波通道“远传信号”经两个独立回路分别开出，为满足一取一原则，可在装置外进行两个回路串联后再给一付接点到就地判别装置。

当光纤通道中断时，保护会开出通道告警接点，此时光纤通道不会发远传开出；在收发信机故障时，给保护远传通道故障开入，此时CSC-101自动开出载波通道故障。载波通道故障与光纤通道告警两个节点串联后给就地判别装置。

## 高频保护“光纤+载波”双通道或逻辑检测

为保证升级后高频保护光纤通道和载波通道满足或逻辑要求，即任意通道纵联保护逻辑满足跳闸条件均能出口，远传信号实现双通道传输，需要对双通道逻辑进行试验检测，主要涉及保护功能或逻辑验证、远传信号或逻辑验证和通道告警输出测试。

### 1. 高频保护功能或逻辑验证

高频保护通过“光纤通道优先”控制字来选择是光纤通道优先还是两个通道或逻辑，这是装置升级前后的主要区别，需验证该逻辑的正

确性。

高频保护装置可通过“通道分相式命令”控制字来控制通道的收信和发信命令是分相还是不分相。若该控制字投入，则收发信都分为A、B、C三相，此时若A相故障，则只有A相“发信”，且只有收到A相“收信”信号，保护才会动作，B、C相类似；若该控制字不投入，则“收信”和“发信”都只有一个，任一相故障就发信，而收信后，只要任一相故障就动作，若有多相故障则三跳。因此若线路区内一相故障，而另外一相正方向区外故障，采用分相式命令可正确选择故障相跳闸（区外故障相没有发信）；而不采用分相式时，则保护判断为相间故障，直接三跳（由区内故障相引起发信，检测到两相故障）。

在进行保护双通道或逻辑验证时，可利用实时数字仿真系统RTDS开展数字动模试验，模拟线路区内A相和区外B相同时故障，并将光纤通道和载波通道“分相式命令”设置不同，通过保护的动作为可判断纵联保护是否为或逻辑。

### 2. 高频保护远传信号或逻辑验证

高频保护装置采用“光纤+载波”双通道时，若“光纤通道优先”退出，光纤通道的远传信号和载波通道的远传信号接收时采用或逻辑；“光纤通道优先”投入时，光纤通道正常时，只有光纤通道的远传信号起作用，只有光纤通道故障时，载波通道的远传信号才能起作用。

验证远传或逻辑、两台保护装置之间光纤和载波通道正常连接，通过短接装置的发信开入节点，并测量发信和收信开出节点，进行远传逻辑的检测。对于智能化版本的高频保护，通过便携式数字化测试仪实现智能化保护发送和接收远传GOOSE报文进行远传逻辑的测试。

### 3. 通道故障告警输出测试

通道故障告警信号用于就地判别装置闭锁远跳，防止因通道故障引起保护误动作。通道告警信号受光纤纵联和载波纵联保护投入的影响，当两个保护均都投入时，必须两个通道都故障，才会有通道告警输出；当只投一个纵联保护时，对应通道故障时，就有通道告警输出。通过设置两

个通道的状态及保护的投退情况，通过检测通道告警输出进行通道告警逻辑的测试。

## 应用实例

江苏省境内某实际500 kV输变电工程中，由于实际情况的要求，第一次采用了“光纤+载波”双通道或逻辑的高频保护装置，并利用本文试验方法完成了双通道或逻辑检测。

### 1. 工程情况

该工程为新建500 kV智能变电站，站内采用3/2接线，本期共4串，包括1个完整串和3个不完整串，5条出线。该变电站电压、电流采样值采用常规电磁式互感器经电缆直接接入保护装置；跳闸采用GOOSE点对点方式，经GOOSE网络起动断路器失灵、重合闸；站内其他装置经GOOSE网络起动线路远传。相关继电保护均为特殊版本。图3为500 kV智能变电站局部等效系统接线图。

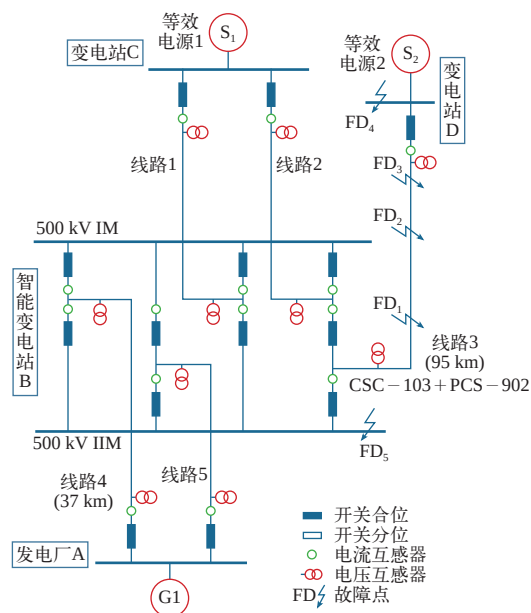


图3 500 kV智能变电站局部等效系统接线图

由于光纤通道不足，智能站B~变电站D间的线路3配置一套分相电流差动保护CSC-103和一套高频距离保护PCS-902，其中PCS-902保护采用一路复用2 M光纤通道和一路载波通道方式，远方就地判别装置均独立配置。光纤通道迂回过长，考虑通道可靠性，要求PCS-902保护采用“光纤

+ 载波”双通道或逻辑，其通道配置如图4所示。  
变电站D为常规500 kV变电站。

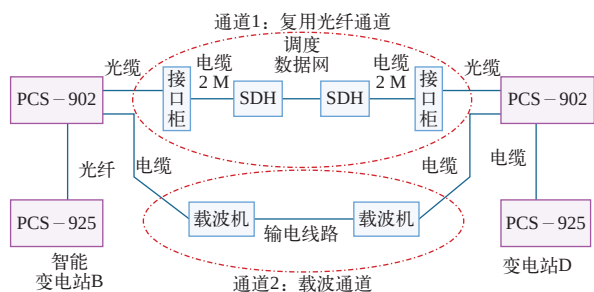


图4 线路3高频距离保护PCS-902通道配置示意图

PCS-902保护通道1为复用光纤通道，通道2为载波通道。通道1与常规复用相同，采用光纤经通信接口柜转成2 M电信号后由SDH转发至调度数据网；通道2采用载波机输出相应节点直接接至保护的开入，两个通道独立运行。正常运行时，PCS-902保护光纤纵联和载波纵联功能同时投入，任一通道逻辑满足动作条件后均会动作出口。

在该智能站的集成测试阶段，开展了线路3高频保护双通道或逻辑试验及RTDS数字动模试验。建模时完整保留相关线路，对周边系统按短路容量等效，仿真故障点设置如图3所示。

## 2. 试验验证

### (1) 配置检查

智能站侧PCS-902保护过程层的GOOSE输出增加了光纤分相发信信号和载波通道分相发信信号，相应的逻辑节点LN进行了修改；同时“远传2信号”的名称修改为“载波远传命令”。

### (2) 主保护逻辑测试

主保护或逻辑验证时，线路两侧保护装置只投入主保护功能，采用RTDS模拟A相区内和B相正方向区外同时故障，并将光纤通道和载波通道设置不同“分相式命令”，检测纵联保护的动作为行为，试验接线如图5所示，测试结果如表1所示。

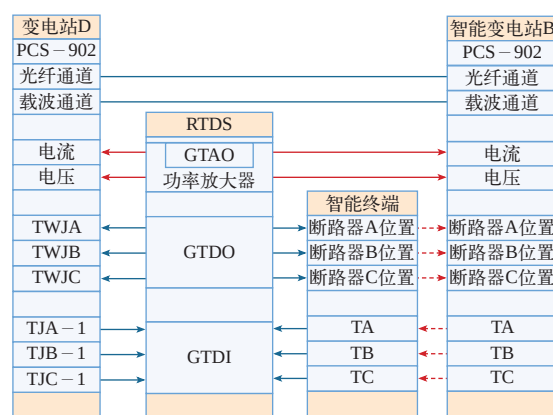


图5 主保护“或”逻辑验证接线示意图

表1 PCS-902主保护“或”逻辑测试结果

| 故障类型                                           | 智能化侧PCS-902 |               |               | 常规侧PCS-902 |               |               | 保护动作行为      |      |      |
|------------------------------------------------|-------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|-------------|------|------|
|                                                | 光纤通道<br>优先  | 光纤通道<br>分相式命令 | 载波通道<br>分相式命令 | 光纤通道<br>优先 | 光纤通道<br>分相式命令 | 载波通道<br>分相式命令 | 光纤通道<br>道状态 | 智能站B | 变电站D |
| A相区内故障<br>FD <sub>3</sub> , B相<br>常规侧反<br>方向故障 | 0           | 1             | 1             | 0          | 1             | 1             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
|                                                | 0           | 1             | 0             | 0          | 1             | 0             | 正常          | 三跳   | A相跳闸 |
|                                                | 0           | 0             | 1             | 0          | 0             | 1             | 正常          | 三跳   | A相跳闸 |
|                                                | 1           | 1             | 1             | 1          | 1             | 1             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
|                                                | 1           | 1             | 0             | 1          | 1             | 0             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
| A相区外故障<br>FD <sub>4</sub>                      | 1           | 0             | 1             | 1          | 0             | 1             | 正常          | 三跳   | A相跳闸 |
|                                                | 1           | 1             | 0             | 1          | 1             | 0             | 故障          | 三跳   | A相跳闸 |
|                                                | 0           | 1             | 1             | 0          | 1             | 1             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
|                                                | 0           | 1             | 0             | 0          | 1             | 0             | 正常          | A相跳闸 | 三跳   |
|                                                | 0           | 0             | 1             | 0          | 0             | 1             | 正常          | A相跳闸 | 三跳   |
| 智能化侧<br>反方向故障<br>FD <sub>5</sub>               | 1           | 1             | 1             | 1          | 1             | 1             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
|                                                | 1           | 1             | 0             | 1          | 1             | 0             | 正常          | A相单跳 | A相单跳 |
|                                                | 1           | 0             | 1             | 1          | 0             | 1             | 正常          | A相跳闸 | 三跳   |
|                                                | 1           | 1             | 0             | 1          | 1             | 0             | 故障          | A相跳闸 | 三跳   |
|                                                | 1           | 1             | 0             | 1          | 1             | 0             | 故障          | A相跳闸 | 三跳   |

可见，当“光纤通道优先”退出时，保护动作出口逻辑与光纤通道出口和载波通道出口的“或门”一致。当“光纤通道优先”投入时，且光纤通道正确，保护动作逻辑与光纤通道保持一致；光纤通道故障时，保护动作逻辑与载波通道保持一致。因此“光纤通道优先”能正确控制主保护的或逻辑或光纤通道优先，满足双通道要求。

(3) 远传逻辑测试

两台PCS-902之间光纤通道正常，通过便携式测试仪给智能化侧PCS-902发送和接收GOOSE报文，通过短接常规PCS-902的发信开入节点或测量发信开出节点进行远传逻辑的测试，同时考虑“光纤通道优先”逻辑。具体测试如表2、表3所示。

表2 智能化侧PCS-902远传逻辑验证

| 输入         |            |           |       | 结果   |      |            |           |           |
|------------|------------|-----------|-------|------|------|------------|-----------|-----------|
| 智能化PCS-902 |            | 常规PCS-902 |       | 光纤通道 | 光纤通道 | 智能化PCS-902 |           | 常规PCS-902 |
| 边开关失灵出口GSE | 中开关失灵出口GSE | 载波收远传开入   | 发远传开入 | 优先   | 状态   | 远传命令输出GSE  | 发远传开出（载波） | 收远传开出     |
| 1          | 0          | 0         | 0     | 0    | 正常   | 0          | 1         | 1         |
| 0          | 1          | 0         | 0     | 0    | 正常   | 0          | 1         | 1         |
| 0          | 0          | 1         | 0     | 0    | 正常   | 1          | 0         | 0         |
| 0          | 0          | 0         | 1     | 0    | 正常   | 1          | 0         | 0         |
| 0          | 0          | 0         | 1     | 1    | 正常   | 1          | 0         | 0         |
| 0          | 0          | 1         | 0     | 1    | 正常   | 0          | 0         | 0         |
| 0          | 0          | 1         | 0     | 1    | 故障   | 1          | 0         | 0         |

表3 常规PCS-902远传逻辑验证

| 输入        |         |            |            | 光纤通道 | 光纤通道 | 结果        |           |            |
|-----------|---------|------------|------------|------|------|-----------|-----------|------------|
| 常规PCS-902 |         | 智能化PCS-902 |            | 通道   | 通道   | 常规PCS-902 |           | 智能化PCS-902 |
| 发远传开入     | 载波收远传开入 | 边开关失灵出口GSE | 中开关失灵出口GSE | 优先   | 状态   | 收远传开出     | 发远传开出（载波） | 远传命令输出GSE  |
| 1         | 0       | 0          | 0          | 0    | 正常   | 0         | 1         | 1          |
| 0         | 1       | 0          | 0          | 0    | 正常   | 1         | 0         | 0          |
| 0         | 0       | 1          | 0          | 0    | 正常   | 1         | 0         | 0          |
| 0         | 0       | 0          | 1          | 0    | 正常   | 1         | 0         | 0          |
| 0         | 0       | 1          | 0          | 1    | 正常   | 1         | 0         | 0          |
| 0         | 0       | 0          | 1          | 1    | 正常   | 1         | 0         | 0          |
| 0         | 1       | 0          | 0          | 1    | 正常   | 0         | 0         | 0          |
| 0         | 1       | 0          | 0          | 1    | 故障   | 1         | 0         | 0          |

由测试结果可以看出，远传开入、开出正确，当“光纤通道优先”退出时，光纤通道的远传信号和载波通道的远传信号接收时采用或逻辑。当“光纤通道优先”投入、光纤通道正常时，只有光纤通道的远传信号起作用；光纤通道故障时，载波通道的远传信号才能起作用，满足远传逻辑要求。

(4) 通道故障告警输出测试

PCS-902通道告警信号测试如表4所示。

表4 通道告警检测结果

| 通道状态   |        | 控制字     |         | 结果     |
|--------|--------|---------|---------|--------|
| 光纤通道状态 | 载波通道故障 | 光纤纵联控制字 | 载波纵联控制字 | 纵联通道告警 |
| 断开     | 0      | 1       | 1       | 0      |
| 断开     | 1      | 1       | 1       | 1      |
| 连通     | 0      | 1       | 1       | 0      |
| 连通     | 1      | 1       | 1       | 0      |
| 断开     | 0      | 1       | 0       | 1      |
| 断开     | 1      | 1       | 0       | 1      |

(续)

| 通道状态 |      | 控制字  |      | 结果   |
|------|------|------|------|------|
| 光纤   | 载波   | 光纤纵联 | 载波纵联 | 纵联通道 |
| 通道状态 | 通道故障 | 控制字  | 控制字  | 告警   |
| 断开   | 0    | 0    | 1    | 0    |
| 断开   | 1    | 0    | 1    | 1    |
| 连通   | 0    | 0    | 1    | 0    |
| 连通   | 1    | 0    | 1    | 1    |

由表4可以看出,“通道告警”信号受光纤纵联控制字和载波纵联控制字影响,当两个控制字都投入、两个通道都故障时,“通道告警”信号才置1;当只投一个控制字、对应通道故障时,“通道告警”信号就置1。通道告警逻辑符合应用需求。

### 3. 发现问题

该装置在试验检测和现场调试时发现了如下问题,并由厂家技术人员进行修改,满足了要求。

1) 通道告警信号问题。程序升级后,PCS-902接收载波机的“通道故障”信号进行综合判断远传信号(见图1),未考虑将载波机的“通道告警”输出,只将光纤通道的故障告警信号输出。由于就地判别采用“一取一”逻辑,接收PCS-902的“通道故障”信号进行远跳闭锁,PCS-902必须输出光纤通道和载波通道的“或”状态。后经厂家修改已满足要求。

2) 该工程在最初设计时将慢速通道的跳频信号接至PCS-902保护的远跳信号开入,将监频信号的常闭接点接至保护的通道故障开入。由于智能变电站B直接在载波机里实现远跳收信和通道故障这两个信号,载波机慢速通道的跳频输出和监频输出均为不带延时继电器,当对侧的PCS-902发出远跳信号时,一般监频先停,跳频再发,监频消失和跳频出现在时间上存在一个先后的问题(即使该时间差非常小),这会造成通道故障,闭锁远跳功能。因此经过设计更改,采用载波机延时可设置的慢速通道收信告警接点作为保护通道告警开入。

### 4. 其他应用

“光纤+载波”双通道或逻辑方案还应用于苏北双高频保护改造工程中,该工程涉及苏北电

网3条500 kV线路,原来配置ALPS型双套高频保护装置,本次改造全部采用国产化保护,仍采用双套高频保护的配置,涉及南瑞继保PCS-902、国电南自PSL-602和北京四方CSC-101型高频保护装置,由于电网实际需求考虑保护装置带串补功能。在此次高频保护的版本升级试验中,利用本文的试验方法完成了双通道或逻辑功能测试。

## 结束语

针对“光纤+载波”双通道或逻辑的原理,提出了高频保护光纤通道和载波通道的“或”逻辑功能试验验证方案和方法,从主保护功能或逻辑、远传信号或逻辑和通道故障告警输出几个方面对保护装置双通道逻辑进行了全面测试,基于实时数字仿真系统RTDS模拟线路区内外故障,通过设置光纤、载波通道保护逻辑的差异性,开展纵联保护或逻辑验证。最后,将该双通道或逻辑方案应用于实际500 kV输变电工程,并开展了功能检测,保证了工程的顺利投运和安全运行。

## 参考文献

- [1] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 陈益. 高频及光纤通道在220 kV线路保护中的运用[J]. 云南电力技术, 2008, 36(6): 38-40.
- [4] 王志锐. 输电线路光纤保护现场应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [5] 何永波, 余年, 朱志甫, 等. 高频保护通道的组成及其常见故障解决方法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(11): 111-114.
- [6] 冀有党, 李营, 曾宪国, 等. 高频保护载波通道运行问题的分析与解决[J]. 中国电力, 1997, 8(3): 24-28.
- [7] 沈冰, 邹晓峰. 实时数字仿真技术在智能变电站测试中的应用[J]. 华东电力, 2012, 40(6): 938-941.

(收稿日期: 2014-12-01) EA