

变电站二次回路常见异常及故障处理方法的经验综述

邵剑强,冷崇富,刘昱东,刘新伟

(国网江西电力有限公司九江供电分公司,江西九江 332000)

摘要:在电力系统中,二次回路是变电站二次系统的核心组成部分,正确、可靠及完善的二次回路直接影响着变电站一次设备的安全稳定运行。然而,由于变电站二次系统自身运行环境及接线复杂、涉及面广等特点,在实际运行中极易出现各种异常及故障现象,如开路、短路、接线松动等,快速识别及处理异常情况,有利于确保二次系统的正常运行。基于此,文中根据现场典型异常及故障案例,结合实际运行经验,系统分析了不同故障的产生原因及典型处理措施,旨在为相关人员处理二次回路异常及故障时提供一些参考及实践指导。

关键词:二次回路;故障分析;异常处理;分析方法;典型经验

中图分类号:TM 77 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2026)01-0051-07

0 引言

变电站二次回路是电力系统保护、测量、计量、监控及自动化控制的重要组成部分,其运行的可靠及稳定性直接关乎变电站一次设备的稳定运行。二次回路是由继电器、端子排、电缆、元器件等连接而成,且长期处于电磁干扰、环境变化大的复杂条件中,极可能在电磁干扰、灰尘、锈蚀等因素的影响下,出现不同类型的异常或故障。常见的异常现象包括电流电压异常、直流电源消失、控制回路断线、信号回路异常、通信中断、通道故障等,这些故障如果不能及时处理,轻则会导致二次设备无法正常运行,重则造成保护装置的误动或拒动,从而引发重大电网事故。

针对变电站二次回路运行出现的异常及故障现象,运检人员需借助于丰富的现场实践经验,结合系统性判断方法(如分段排查法、通断测量法等),实现故障点的精确定位和高效处理。首先,根据现场实际运行数据,梳理了变电站二次系统出现的典型异常和故障现象,如端子锈蚀、端子松动等;其次,根据一线运维检修经验,针对上述故障现象总结出典型故障的诊断流程和处理方法,以提升故障处理的时效性;最后,根据现场典型故障案例,验证上述方法的实际应

用效果。文中通过对现场运检经验的提炼和总结,构建二次回路故障判断和处理方法体系,提升运检人员二次回路故障的应急处理能力,确保变电站一次设备的安全稳定运行。

1 电力系统继电保护二次回路故障概述

1.1 变电站二次回路基本构成及分类

1) 基本构成

变电站的二次回路是由各种继电保护、电气设备及连接线构成,主要包括二次设备工作电源、各种继电器、电流、电压互感器、线圈等关键元器件。其主要功能在于对电力系统一次设备状态实时监控、精确测量、精准控制,从而确保变电站一次设备的安全稳定运行^[1]。

2) 二次回路分类

根据二次回路功能上的差异性分类,变电站的二次回路主要可以分为下面几种类别:

直流回路:用于为保护、测控等装置提供直流电源,为遥信回路提供遥信电源,为控制回路提供控制电源,为储能控制回路提供控制电源;

电流回路:用于传输电流信号,为电流相关保护提供电流量,例如差动保护等;

电压回路:用于传输电压信号,提供保护所需电

收稿日期:2025-06-13

作者简介:邵剑强(1990),男,硕士,工程师、技师,主要从事继电保护及电力系统自动化检修维护方面的工作。

故障分析 FAULT ANALYSIS

压量,例如低电压、过电压保护等;

信号回路:用于传递各种告警等状态信息,例如弹簧未储能信号等;

开入开出回路:用于接收发送开关量输入输出信号,例如断路器位置、跳合闸命令等;

操作回路:用于控制开关刀闸运行状态变化。

1.2 常规变电站二次回路的常见故障形式

二次系统作为变电站整个系统重要的组成环节,其可靠性与一次设备的安全稳定息息相关。一旦二次系统出现异常或故障必然会影响一次设备的正常运行,甚至会造成一次设备受损,进而给电力系统造成巨大经济损失。因此,变电站运行中必须对二次系统的运行状况给予足够的重视,确保其正常运行。表1总结了常规变电站二次回路常见的异常和故障类型,这些故障是日常运检过程的重点内容,应该引起足够重视,并采取有效的预防和处理措施^[2]。

表1 常规变电站二次回路常见的故障类型

回路类型	常见故障形式
直流回路	装置失电、电源异常、直流接地等
电流回路	采样异常、电流互感器断线等
电压回路	采样异常、电压互感器断线等
信号回路	弹簧未储能、闭锁重合闸等
开入回路	开关位置异常、保护误动拒动等
操作回路	电源消失、控制回路断线、分合闸开关失败等

1.3 智能变电站二次回路常见故障

与常规站相比,智能变电站二次回路大量采用光纤网络,其故障类别具有较大的差异,除具有常规站相类似的故障外,还存在自身独特的故障类型,表2总结了智能站二次回路特有的异常及故障类型。

表2 智能变电站二次回路常见故障类型

序号	常见故障形式
1	链路中断、链路异常等
2	采样值总告警,采样链路中断等
3	采样失步,采样丢帧等
4	保护、测控装置采样异常等

因此,在判断处理此类故障的过程中应该采取相应的分析方法进行判断。

2 二次回路故障常见分析方法

2.1 回路通断法

通断法是二次回路故障排查的基础手段,其主要作用是判断二次回路的完整性以及接点的可靠性等,其通常与其它故障判别方法结合使用。在实际故障处理中,通常适用的故障类型如表3所示。

表3 通断法适用的故障类别

故障类别	故障表现	测试重点
完全断开	开关拒动/信号无反应	端子或电缆
接触不良	数据频发/间隙性动作	插件或继电器接点
虚导通	寄生回路可能导致误动	绝缘开裂点或短接线

2.2 分段排查法

基本原理:将二次回路按照功能或结构进行划分,逐段检查、测试,排除正常范围,最终确定故障点,其流程图如图1所示,核心是“化整为零,逐段排查”^[3]。

基本步骤:第一,根据故障现象初步判断故障可能的范围,例如:控制回路故障,则首先检查电源、相关继电器及辅助接点等;第二,根据回路的组成或逻辑进行拆解,例如:可分为电源段、输入输出段、连接段等;第三,逐段检查,缩小排查范围;第四,精准定位故障点并处理。

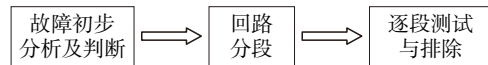


图1 分段排查法流程图

2.3 电压测量法

电压测量法是通过测量关键点的电压,依据电压值快速判断回路是否故障的方法。

基本原理:在不同运行状态下,测量关键节点的电压,通过与正常值比对(如表4),判断回路是否存在开路、短路或接触不良等故障,从而缩小故障范围并最终确定故障点。

表4 交直流电压测点的正常范围

测量对象	正常值	异常判断指标
直流电压	220 V±10%	<198 V 或 >242 V
交流电压	57.7 V/100 V	偏差>10%
继电器线圈电压	额定电压±15%	电压不足导致拒动
跳合闸回路压降	<5% 额定电压	压降大说明接触不良

注:1. 直流系统额定电压为220 V;

2. 具体参数标准参照《继电保护和电网安全自动装置检验规程》(DL/T 995-2016)

基本步骤:根据回路走向,从电源端开始,对关键节点(如元器件、端子排)逐一进行电压测量。通过与正常值比较,确定该段是否存在故障。图2为保护装置电源回路异常测量流程图。

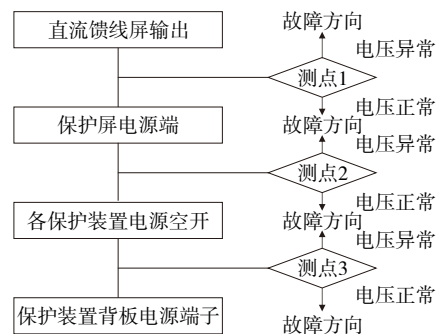


图2 保护装置电源回路异常测量流程图

2.4 绝缘检查法

绝缘检查法是指通过测量保护、测控、控制、信号等二次回路的绝缘电阻来判定其绝缘状况,从而确定故障回路的方法。

基本原理:以欧姆定理为基础,使用500 V或1000 V绝缘电阻表对测量对象施加直流电压,测量出其对地或线间的泄露电流值,根据公式 $R=U/I$ 算出绝缘电阻,然后将测量值与《继电保护和电网安全自动装置检验规程》(DL/T 995—2016)和《继电保护和电网安全自动装置基本试验方法》(GB/T 7261—2016)中规定的标准值(新装回路 $\geq 10\text{ M}\Omega$,运行中 $\geq 1\text{ M}\Omega$)进行比较,判断测量对象绝缘电阻是否合格,从而确定故障回路。

基本步骤:按照绝缘电阻表使用方法,选择适用于二次回路测量的绝缘电阻表,对被测二次回路的电阻进行测量,具体流程如图3。

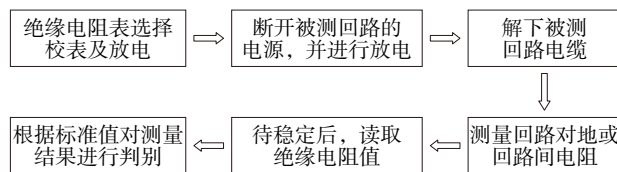


图3 绝缘电阻法流程

2.5 类比分析法

类比分析法指的是通过比较正常状态与故障状态的电气量、信号特点及逻辑行为,找到差异,从而确定二次回路故障点的方法。

基本原理:根据故障现象采用横向或纵向类比的方法开展故障排查。横向对比同类型设备的运行数据、电气量、逻辑行为,纵向对比本装置或本回路的历史运行数据,从而找出故障点,如图4所示。

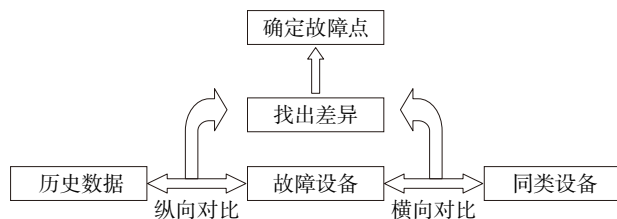


图4 类比分析法

2.6 逻辑分析法

逻辑分析法是一种系统性故障诊断方法,其核心思路是以“输入-处理-输出”模型为基础,将目标回路划分为输入、逻辑处理和输出三个环节,通过对其动作逻辑、信号流分析并结合故障报文,逐层排除

不可能因素,最终定位故障点。图5为逻辑分析法流程图。

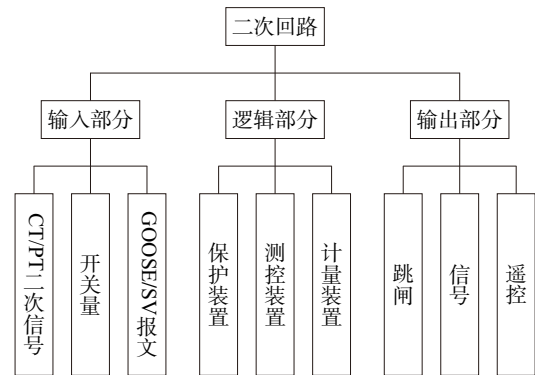


图5 逻辑分析法的流程图

本节对各种典型故障处理方法逐一进行了分析,但实际故障排查场景中,这些方法不是孤立运用,而是需要结合实际灵活搭配、综合运用,以提升排查速率,不同组合情况如表5所示:

表5 不同故障排查法的组合

序号	方法组合
1	类比法+分段排查法
2	逻辑分析法+分段排查法
3	电压法+分段排查法
4	类比法+分段排查法+回路通断法
5	电压法+分段排查法+绝缘检查法

下面结合现场典型故障案例验证上述分析方法的实际应用效果。

3 二次回路异常及故障案例分析

变电站二次系统运行中,各类故障频发且成因复杂。基于此,下面将列举现场典型故障案例,结合上述分析方法,系统性构建二次回路异常及故障诊断处理体系。通过结构化的分析思路和处理流程,重点阐述故障原因、定位及处理的排故思路,并以实例验证该思路的实用性和效果。

3.1 保护装置采样异常

保护装置采样异常是指保护装置采集电流电压等模拟量时出现数据丢失或失真,当装置出现采样异常时可能会导致保护误动或拒动。

案例:110 kV某线路112开关保测装置(装置编号1n)报保护采样异常,保护装置B相电流为0,A、C相电流为1.5 A、1.5 A(电流互感器保护、测量绕组变比为600/5),该保护电流回路如图6所示。

故障分析 FAULT ANALYSIS

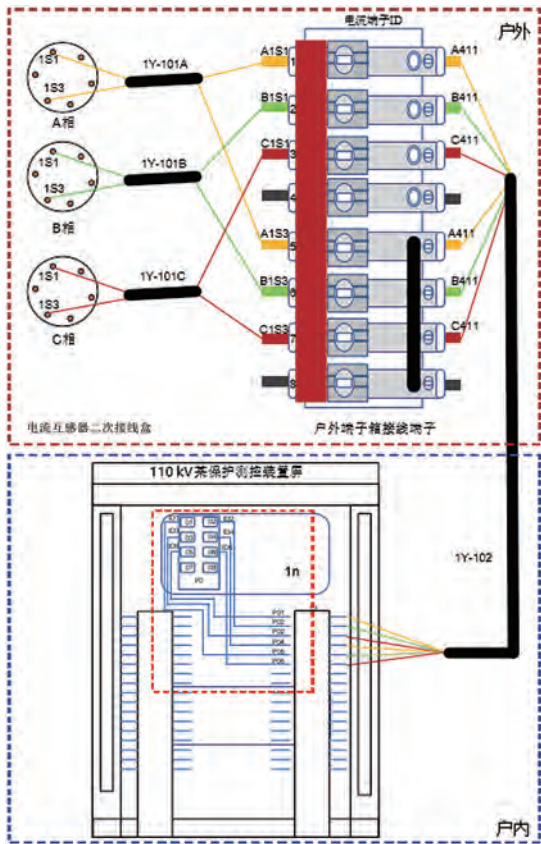


图6 110 kV 某线路 112 开关间隔保护电流回路

3.1.1 采用类比法快速定位电流故障相别

进入保护装置和测控装置信息查看菜单栏,分别检查保护和测控装置的电流采样值,如表6所示。

表6 保护和测控装置电流采样值

相序	I_A	I_B	I_C
保护采样	1.5	0	1.5
测控采样	1.5	1.5	1.5

由于保护和测控使用的电流互感器绕组变比相同,正常情况下,保护和测控装置的电流采样值应一致。但表6采样数据显示,保护装置B相电流回路可能存在开路故障。

3.1.2 采用分段排查法快速分段

根据二次回路故障现场处理经验,电流回路故障发生概率受环境影响较大。为提高排查效率,采用分段隔离法,将整个电流回路(图6)划分为两部分:区段1为电流互感器本体至户外端子箱段(环境较差,极易受户外潮湿、氧化等影响);区段2为户外端子箱电流端子至保护装置电流端子段(环境条件相对较好,受干扰较小)。

为确保后续检查不受其它因素干扰,需对户外端

子箱内B相电流回路进行如下处理(如图7):

- 1) 打开电流端子ID2、ID6连片,切断区段1与区段2的电气连接;
- 2) 解除电流短接片并打开ID5、ID6、ID7电流短接片,以避免检查过程相互干扰而影响排查结果。

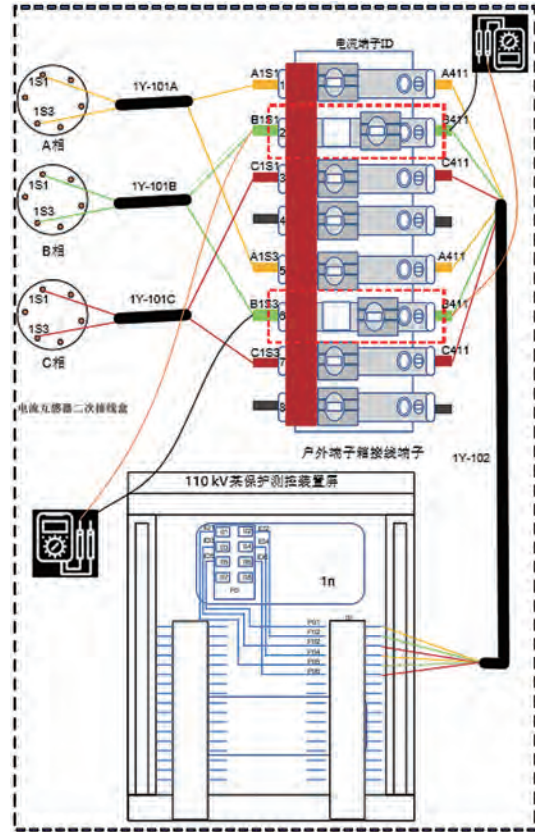


图7 分段排查法与回路通断法测试

3.1.3 采用回路通断法确定故障点

根据上述分段后区段,用万用表的通断档位对图7中的位置分别进行测试,测试情况见表7。

表7 端子箱各测量位置导通情况

测量位置	通断情况	有无故障	故障点
B1S1-B1S3	导通	无故障	否
B411-B411'	不导通	有故障	是

上述通断测试结果显示,保护装置B相采样异常点位于端子箱至B411-B411'回路间。现对该段回路再次分段通断测试:于保护屏电流端子ID处断开ID2、ID4连片,随后检测电缆1Y-102的B相及P01-P04通断情况,结果见表8。

表8 各测量位置的导通情况

测量位置	通断情况	有无故障	故障点
1Y-102电缆B芯	不导通	有故障	是
P01-P04	导通	无故障	否

上述分段排查和通断测试结果显示,110 kV 某

线路112开关保护B相电流采样异常的原因是端子箱至保护屏的连接电缆开路造成,通过更换B相电缆线芯,使B相电流恢复正常。

3.2 控制回路断线告警

控制回路断线是二次系统最为常见的故障之一,可能会导致开关等设备无法正常操作。该异常信号原理是通过跳位继电器(TWJ)和合位继电器(HWJ)来监视回路完好情况。图8为TWJ常闭触点与HWJ常闭触点串联构成的信号回路^[4-5]。



图8 控制回路断线信号原理

正常运行时,TWJ与HWJ仅一个得电,异常时,二者同时失压,常闭接点闭合触发控制回路断线信号。只有开关跳闸或合闸回路的完整性被破坏时,才会出现这种异常情况,下面将结合案例分析^[6]。

案例:110 kV某线路115开关间隔运行状态下报“控制回路断线”信号。

3.2.1 逻辑分析法判断故障回路

故障现象确认:1)检查该间隔保护装置是否确已报“控制回路断线”,若仅监控后台有信号而装置无则判为误发信号。2)该间隔处于运行状态,开关合位,正常HWJ应得电、常闭接点断开,不应发此信号。

逻辑分析:1)开关合位时装置仍报断线,说明HWJ未正常动作。2)HWJ未得电致常闭接点未断开,引发此信号。

综上,该信号发出是由于HWJ未得电,又因HWJ接在跳闸回路,所以可判断发此信号的根本原因是跳闸回路出现了问题。

3.2.2 分段排查法确定故障范围

通常,控制回路断线故障排查是一、二次班组协同完成。根据责任划分,两个班组的管辖范围是以图9中虚线为界(开关机构内部由一次班组负责)。据此,可以将控制回路分为两段排查。

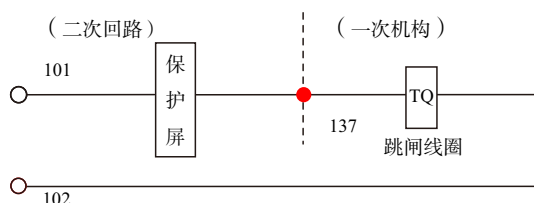


图9 110 kV某线路开关间隔跳闸回路

3.2.3 电压测量法确定故障点

1)在端子箱测量回路编号137的“黄金分割”点对地电压,理论正常值应为-110 V,现场实测为-110 V,表明该接点至断路器机构箱间的回路正常,可排除此区段存在故障。

2)在保护屏测量回路编号137接点对地电压,发现测量值偏离-110 V。由此判定故障位于保护屏至端子箱间的电缆或端子连接处。

3)测量此电缆两端端子电压,发现保护屏137接线端子因锈蚀电压不正常。可判断故障点为保护屏137的端子,更换端子复测:对地电压恢复至-110 V、控制回路断线信号自动复归。

3.3 直流系统接地告警

直流接地告警是指直流系统某极发生接地,导致绝缘监测装置发出报警信号,若不及时处理,可能会造成设备故障或断路器误、拒动。

案例:某220 kV变电站直流绝缘监测装置报“I段直流母线接地”、“支路16接地”等告警信号、且直流正对地电压+12 V,负对地电压-209 V,正对地电阻5 Ω,负对地电阻999 Ω。

3.3.1 拉路法与分段排查法结合确定接地支路

根据直流绝缘监测装置的告警信息,初步判断馈线支路16存在正接地。经核查馈线空开标签和接线,确定此支路为220 kV某线路212开关测控装置电源。试拉此空开,并测量直流母线电压正对地为+110 V,负对地为-110 V,由此可判定接地存在于该间隔测控相关回路中。进一步排查该间隔测控屏,确认该直流电源供接入测控装置和遥信回路,分别试拉两个电源空开,结果如下:

1)断开测控装置电源时,直流母线对地电压无变化,表明该回路无接地故障;

2)断开测控遥信电源时,测量正对地、负对地电压恢复正常,且绝缘监测装置告警立即复归,表明接地位于该回路中。

综上,本次接地故障是由该间隔测控遥信相关回路接地引起,需采用其它方法对各个遥信回路逐一进行检查,确定具体接地回路并予以处理。

3.3.2 分段排查法确定具体接地遥信信号回路

由于220 kV线路间隔信号数量较多,在已经确认正接地的情况下,为快速确定故障回路,只需要逐

故障分析 ➔ FAULT ANALYSIS

一解开遥信回路中带正电的公共端和信号开入端,并同步检测直流电压是否恢复正常,就可以确定具体接地回路。另据现场经验,接地故障出现在户外的概率较大,实际处理中优先解开来自户外的信号线。依据此方法,在解除户外遥信信号公共端 21GD1 或信号开入 21QD1(如图 10)时,发现接地信号消失,直流电压恢复正常,可以确定接地点位于总开关信号回路。

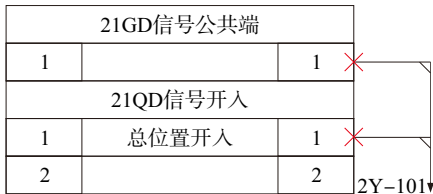


图 10 测控遥信开入端子排

3.3.3 电压测量法确定具体的接地点

220 kV 某线路 212 开关总位置信号回路图如图 11 所示。

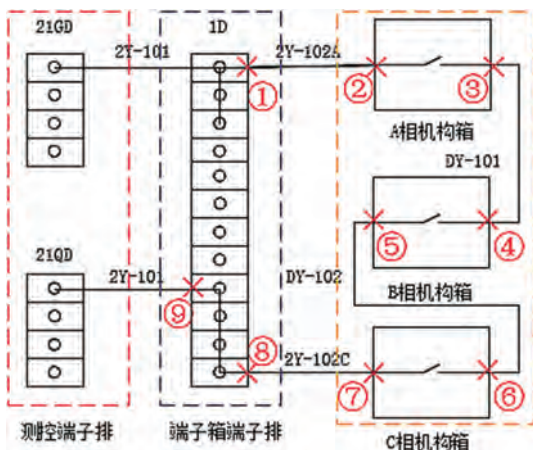


图 11 220 kV 某线路 212 间隔开关总位置信号回路

根据图 11 标注顺序,依次对该信号回路逐级进行解线操作,同时测量直流母线正对地电压,测量结果详见表 9。

表 9 各标注位置解线后直流正对地电压

解线位置	正对地电压/V	故障位置
①	110	①→21QD1
②	109	②→21QD1
③	110	③→21QD1
④	111	④→21QD1
⑤	109	⑤→21QD1
⑥	110	⑥→21QD1
⑦	112	⑦→21QD1
⑧	12	⑦→⑧

根据表 9 电压测量结果,确认直流接地故障点在电缆 2Y-102C。经绝缘测试,该信号线芯对地电阻为 0 Ω,判断其为接地故障点。通过更换备用线芯,绝缘监测装置告警信号消失,直流正、负对地电压恢复

正常。

综合上述常规站几类典型故障分析可知,在日常的消缺维护中,涉及电流、电压采样异常的故障可优先采用“类比+分段+通断”相结合的方式快速消除故障;涉及遥信、遥控等回路异常故障可优先采用“逻辑分析+电压测量+通断”相结合的方式快速消除告警。

3.4 220 kV 某线路 216 开关间隔 B 套保护 GOOSE 总告警

案例:220 kV 某线路 216 开关 B 套保护报“B 套光差保护接收 220 kV 母差 B 套保护 GOOSE 信号中断”和“GOOSE 总告警”^[7]。

3.4.1 逻辑分析法确定故障光路

220 kV 智能变电站过程层网络采用的是双网(A/B 网)冗余配置结构^[8]。根据装置告警信息,初步判断故障存在于 B 网中。又据图 12 中的信息流可知,线路保护与母线保护之间传递的信息主要包括:线路保护发出的启动失灵信号和母差保护发出的远跳信号。依据智能变电站“谁收不到、谁告警”的机制,可以最终确定故障范围为 B 套母差保护至 B 套保护的组网光路,如图 12 中的红色信息流线。

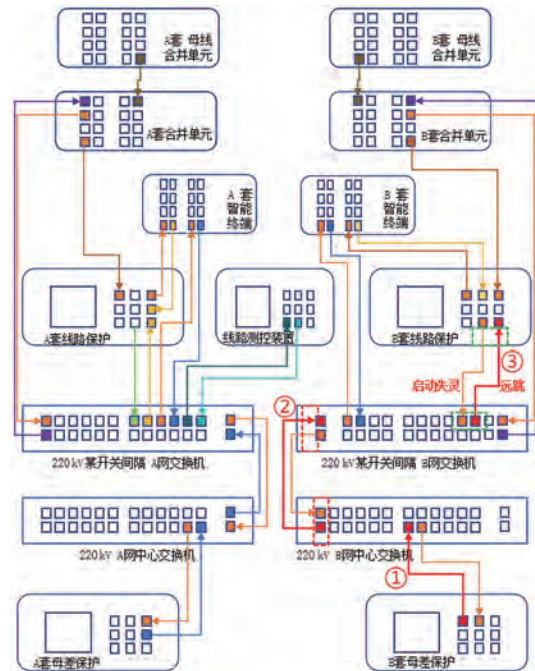


图 12 220 kV 某线路 216 开关间隔信息流

3.4.2 分段排查法确定故障点

为确定最终故障点,将已确定的故障光路分为三段逐一进行排查:

1) 光路①(B 套母差至 220 kV B 网中心交换

机)。该段光路是220 kV母差保护组网光路,用于传递启失灵、远跳及失灵联跳信号。若此光路故障,则所有接入间隔均应发出告警信号,但实际只有220 kV某线路216开关间隔发出相关告警信号,故排除此光路故障。

2) 光路②(220 kV B网中心交换机至220 kV某线路216开关间隔交换机)。此段可能的故障点包括:中心交换机光口、尾纤或间隔交换机光口。在图12中红色虚线框处进行抓包分析,结果显示各处均能收到母差的远跳信号,故排除此光路故障。

3) 光路③(间隔交换机至B套线路保护)。此段可能的故障点包括:间隔交换机光口、尾纤、B套保护装置背板光口。在图12中绿色虚线框处进行抓包分析,发现在B套保护组网光口无法抓取到远跳报文,故判定故障点为该光口。更换备用光口后,保护装置告警信号消失。

通过该案例可知,与常规站相比,智能站二次回路的虚端子化使得传统电压测量、通断等方法效率较低。采用逻辑分析结合分段排查的方式,则是智能站缺陷查找的最优选择。

4 结语

二次回路作为变电站系统控制与保护的关键环节,其安全、可靠性直接影响着变电站一次设备的稳定运行。文中结合案例系统地分析了回路通断法、分段排查法、电压测量法、绝缘检查法、类比分析法、逻辑分析法等在二次回路异常和故障诊断处理中的应用,分析发现:

1) 回路通断法与电压测量法:适用于信号回路、操作回路的异常告警分析,通过通断检测与电压测量

判断回路完整性。

2) 逻辑分析法:适用于故障现象明确的情况,尤其便于智能站异常与故障的快速定位,依据逻辑关联与报文信息追根溯源。

3) 类比分析法:在有正常参考数据或可对比可靠装置的场景下使用,通过横向对比识别参数、行为差异以锁定异常。

4) 绝缘分析法:针对直流系统异常(如直流接地、绝缘监测告警),通过绝缘阻值检测判别故障支路与部位。

5) 分段排查法:常与前五类方法配合,在确定故障大致范围后,逐段隔离验证,迅速缩小并确认故障点,提高排查效率。

参考文献:

- [1] 戴志辉,鲁浩,刘媛,等.基于改进D-S证据理论的智能站保护二次回路故障诊断方法[J].电力系统保护与控制,2020,48(09):59-67.
- [2] 朱树云,吕梦妮.电力系统继电保护二次回路维护与检修对策分析[J].光源与照明,2023(05):234-236.
- [3] 谭正卯.继电保护二次回路异常及故障问题的有效处理[J].黑龙江科技信息,2015(08):10.
- [4] 高擎,付伟.微机保护断路器控制回路断线故障分析及处理方法[J].广播电视信息,2012(11):81-83.
- [5] 黄智华,刘洪兵,侯斌,等.断路器“控制回路断线”检测方式分析及改进[J].电子元器件与信息技术,2021,5(01):87-88.
- [6] 邝志聪.断路器控制回路断线技术分析及处理方法[J].自动化应用,2024(11):95-96.
- [7] 程凯,杨艳茹.智能变电站二次回路故障排查方法研究[J].通讯世界,2015(24):225.
- [8] 葛立青,赵光元,杨凡,等.智能变电站二次回路故障诊断方法研究[J].智能电网,2014,2(06):28-31.