

# 一起 110 kV 敞开式隔离开关合闸失败原因分析

郭 杨<sup>1</sup>,高世宇<sup>1</sup>,陈 昊<sup>2</sup>,余 爽<sup>1</sup>,李义峰<sup>1</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司超高压分公司,江苏 南京 211102;

2. 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司,江苏 南京 210019)

**摘要:**文中分析了隔离开关遥控操作规定及防误闭锁关系,统计了隔离开关操作异常情况,并提出实用性的操作异常处置流程。针对一起特高压变电站主变压器低压侧 110 kV 电抗器间隔倒闸操作过程中 GW55-126D II 型隔离开关合闸失败的异常案例,运用异常处置流程,通过分析操作控制回路图及工作原理并梳理现场设备电缆接线以及隔离开关电气闭锁关系,确定了隔离开关拒合的原因并及时排除了故障。所提出的针对性改进措施,对变电运检工作的后续开展具有指导意义。

**关键词:**处置流程;特高压变电站;隔离开关;合闸失败;电气闭锁

**中图分类号:**TM 564.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)05-0083-06

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20220516

## Cause Analysis on Closing Failure of A 110 kV Open-type Isolating Switch

GUO Yang<sup>1</sup>, GAO Shiyu<sup>1</sup>, CHEN Hao<sup>2</sup>, YU Shuang<sup>1</sup>, LI Yifeng<sup>1</sup>

(1. State Grid Jianysu Extra High Voltage Company, Nanjing 211102, Jiangsu, China;

2. State Grid Nanjing Electric Power Supply Company, Nanjing 210019, Jiangsu, China)

**Abstract:**The remote control operation regulations of isolating switch and the relationship of anti-misoperation locking are analyzed, the abnormal operation situation is counted, and a practical abnormal operation process is proposed. Aiming at an abnormal closing failure of GW55-126D II isolating switch during the switching operation of 110 kV reactor interval at the low voltage side of main transformer in extra high voltage(UHV) substation, through the analysis on the operation control circuit diagram and working principle, and combined with the arrangement of cable wiring of field devices and the analysis on the relationship of electric locking of isolating switch, the reasons for the isolating switch to refuse to close is determined and the fault is eliminated. Finally, the targeted improvement measures are provided, which will benefit the following maintenance in substations.

**Key words:**disposal process; UHV substation; isolating switch; closing failure; electric locking

## 0 引言

隔离开关作为电网重要的一次电气设备,广泛应用于各电压等级变电站及换流站。隔离开关在电网中的重要作用主要有:1)倒闸操作,改变电气设备的运行方式;2)隔离带电设备,形成明显断开点,并与其具有闭锁关系的接地开关配合使电气设备可靠接地,便于安全可靠地开展各类检修、试验、消缺工作<sup>[1]</sup>。

隔离开关数量众多,操作频繁,易出现设备缺

陷,如随着运行年限的增加、设备性能的老化,隔离开关经常会出现触头发热、绝缘子瓷瓶损坏、传动机构卡涩异响等缺陷。严重情况下,隔离开关可能发生操作拒动,因隔离开关拒动,将造成设备不能及时停役进行检修工作,或不能及时恢复运行,影响电网的接线方式及调度执行发输电计划。尤其是在隔离开关转动过程中突然停止,会产生拉弧情况,危急人生安全,造成跳闸事故。及时查明故障原因,消除缺陷,对缩短停电时间,提高设备可靠性具有重要意义。因此,对隔离开关操作异常的分析处理,长期以来是变电运维检修工作者的研究热点。文

献[2—3]分析了隔离开关因机械结构设计不完善造成操作失败的案例,并提出了相应的处理措施。文献[4—7]对隔离开关操作控制回路进行了梳理分析,并对异常问题提出了针对性的整改措施。以上文献仅从单方面分析了操作失败的原因,并未能从一般意义上阐明故障异常排查和处置的过程,未形成具有实用性的消缺方法。

下面结合某特高压变电站内 GW55-126D II 型隔离开关合闸失败事件,介绍完整的隔离开关操作异常排查处置流程,并提出有针对性的改进措施。

## 1 隔离开关正常操作及异常处置流程

### 1.1 遥控操作流程

相对于传统 500 kV 变电站采用的无人值班、少人值守的监控中心集中监控模式,在运的 1000 kV 特高压变电站一般采取运维人员驻站,站内人员自行监控值班的模式<sup>[8—11]</sup>。站内包括断路器、隔离开关、接地开关等一次电气设备的倒闸操作采用站端变电运维人员遥控的方式进行。首先,主站操作人员通过后台操作员下发遥控操作命令,经过网络传输设备转换并经传输通道传输至现场测控装置;该指令经测控装置响应判断,导通相关二次遥控回路,驱动现场一次设备出口执行,一次设备操作成功<sup>[12—13]</sup>。完整的遥控流程如图 1 所示。

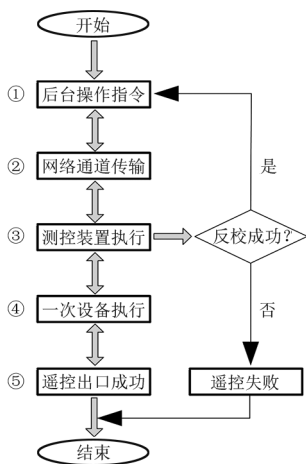


图 1 隔离开关遥控操作流程

### 1.2 防误操作闭锁

依据《变电站电气设备倒闸操作规定》和《电力安全工作规定》,为防止电气设备发生误操作,站端采用后台模拟预演闭锁、监控后台五防闭锁、测控装置逻辑闭锁、开关汇控箱电气闭锁,外加机构本体机

械闭锁等复合多重化防误闭锁功能<sup>[14—16]</sup>。各闭锁功能之间为串联关系,只有所有闭锁关系均满足,隔离开关才能动作变位,其闭锁关系原理如图 2 所示。

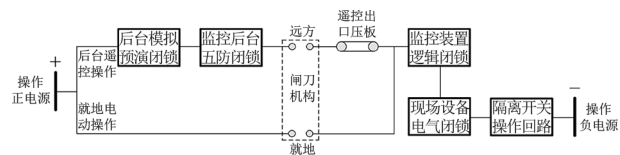


图 2 隔离开关防误操作闭锁原理

### 1.3 操作异常统计与处置流程

经长期的运行经验及设备缺陷异常统计,造成隔离开关操作失败的常见原因主要有防误闭锁关系、本体机构、操作控制回路三大类<sup>[17—19]</sup>,其具体原因如表 1 所示。

表 1 隔离开关操作异常原因统计

异常类别	具体原因
防误闭锁关系	测控装置防误闭锁逻辑条件不满足 汇控箱电气防误闭锁逻辑条件不满足
本体机构	机构卡涩失灵 开关辅助接点转换不良 隔离开关辅助接点切换不良 相关接地开关位置辅助接点接触不良
操作控制回路	三相操作电源不正常 闭锁电源不正常 操作回路断线、端子松动、接线错误 合闸接触器或电动机故障

针对这些异常,结合隔离开关遥控操作流程和防误闭锁原理制定了具有实用性的一般处置流程,如图 3 所示,便于查找故障点,消除缺陷。



图 3 操作异常一般处置流程

## 2 操作失败案例情况

某 1000 kV 特高压变电站 2 号主变压器及 110 kV 设备区年度检修工作结束后进行设备复役操作,在操作过程中相继发生了 2 号主变压器 110 kV IV 母线 1147 接地开关分闸不到位和同一间隔 2 号主变压器 1143 低电压电抗器 11431 隔离开关合闸失败的异常现象。2 号主变压器及 110 kV 设备接线方式如图 4 所示,图中黑框内为操作异常设备。

### 2.1 操作失败过程

在 2 号主变压器复役过程中,监控后台遥控拉开 2 号主变压器 110 kV IV 母线 1147 接地开关后,

监控后台显示 1147 接地开关位置不确定,测控装置无法采集到接地开关的位置接点信号。现场检查未见异常,初步推测一次设备可能操作未到位。因此,在 1147 接地开关机构箱内进行就地电动操作,在进行一次合闸、分闸操作后,监控后台显示接地开关在分闸位置,1147 接地开关分闸到位,位置不确定状态消失,异常消除。此后,依次遥控合上 11411 隔离开关、11421 隔离开关,当执行合上 11431 隔离开关指令时,发现监控后台合闸指令无法下发至一次设备,即图 1 中的前 3 个环节均已执行成功,但最后两个环节执行失败。

## 2.2 现场处置过程

发生 11431 隔离开关合闸异常情况后,根据如图 3 所示的倒闸操作设备异常处置流程进行了如下处理。

步骤 1:重新检查调度下发操作指令的正确性,梳理了倒闸操作票的操作顺序,并确认正确无误。

步骤 2:检查监控操作后台报文,确认没有异常告警信息,并确认后台五防闭锁关系满足要求。

步骤 3:至现场保护小室,检查确认遥控操作指令已下发至测控装置,且测控装置上逻辑闭锁关系满足要求。

步骤 4:至一次设备区,对 11431 隔离开关外观进行检查,发现设备无转动迹象,其两侧 114317、1147 接地开关均在拉开位置,对隔离开关机械闭锁开放。随后,进行现场手摇操作,隔离开关可以正常合上、分开,确认一次设备各传动机构状态良好。

步骤 5:对 11431 隔离开关机构箱开箱检查,确认电动机无发热发烫,各元器件无焦糊现象,隔离开关操作电源与电动机电源均在合位。鉴于检查无异常,在隔离开关机构箱内进行就地电动操作,但电动机无响应,推断可能是隔离开关控制操作回路存在异常。根据控制操作回路图(如图 5 所示),检修人员用万用表对合闸回路进行分段测量,排查消缺。测量图 5 中蓝色回路所示的各接点,依次测量各元件两端电位,发现 19 号端子与 20 号端子之间的电位差为交流 220 V。回路正常情况下,该两点之间应为等电位,因此将故障点定位在这两点之间。根据回路标识,该两点之间为 11431 隔离开关的外部连锁回路。

步骤 6:根据 11431 隔离开关闭锁关系的构成和外部连锁回路梳理,19 号端子与 20 号端子之间的回路及端子位置如图 6、图 7 所示。用万用表依次测量了 1143 断路器、114317、1147、110417 接地开关机构箱内接入闭锁回路的位置接点。发现这 4 组接点中,只有 1147 接地开关机构箱内 X1:7 接点与 X1:8 接点未导通,进一步测量发现其对应行程开关的常闭接点 SAUX:6 与 SAUX:8 未闭合,说明接地开关在分闸情况下,行程开关行程未到位。这与此前 1147 接地开关分闸不到位,监控后台位置显示不确定的异常情况相吻合。随后,用摇把插入 1147 接地开关机构箱手动分合闸插口,并往分闸方向轻微摇动,将行程开关行程走完,而后测量接地开关位置接点(7—8)发现其导通,再测量 11431 隔离开关闭锁回路首尾端子(19—20)亦呈导通状态。

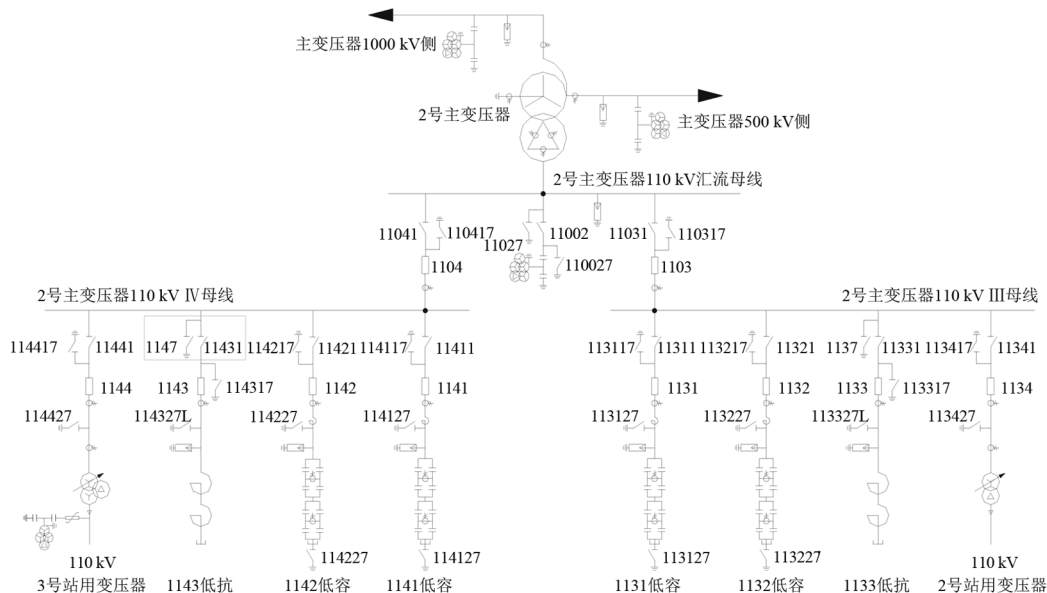


图 4 2 号主变压器 110 kV IV 母线各间隔一次设备接线

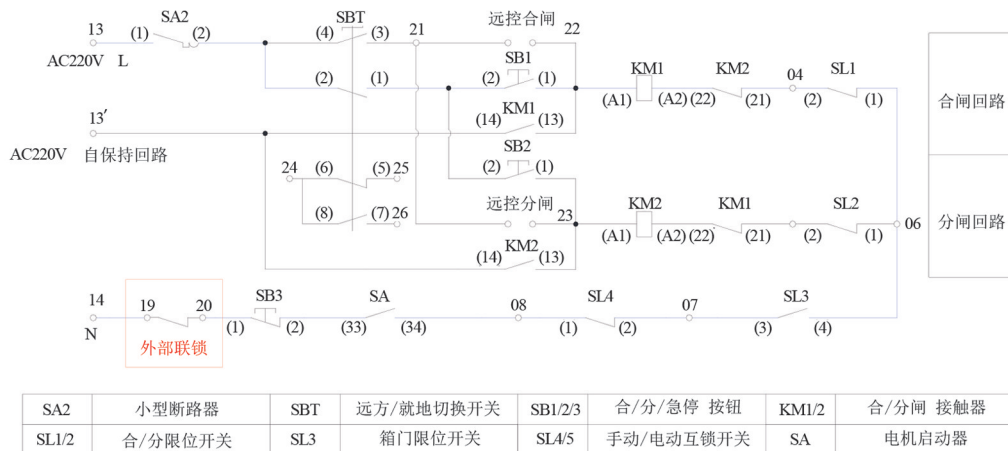


图 5 11431 隔离开关控制操作回路

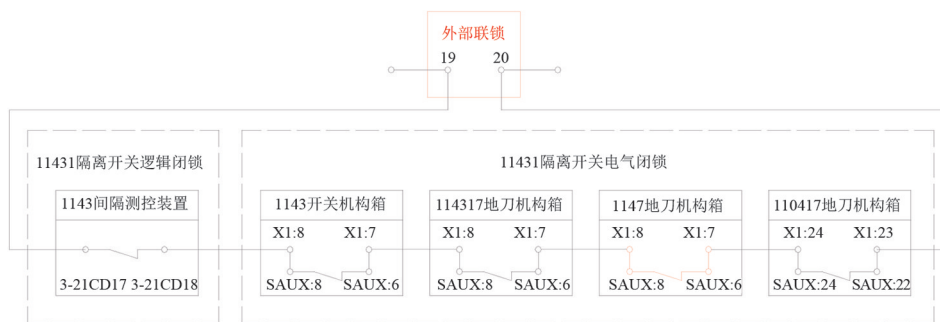


图 6 外部联锁回路

随后,在 11431 隔离开关机构箱进行就地电动操作,隔离开关顺利合上。但为何与 1147 接地开关构成电气闭锁关系的 11411、11421 隔离开关能先行正常合上仍是需要分析的问题。



图 7 11431 隔离开关机构箱 X2 端子排外部联锁回路首尾端子(19—20)

关、11431 隔离开关、11441 隔离开关与 1147 接地开关均构成电气闭锁关系。

表 2 2 号主变压器 110 kV IV 母线各间隔电气闭锁关系

设备编号	操作命令	1141	114117	114127	1147	110417
11411	合闸	分	分	分	分	分
设备编号	操作命令	1142	114217	114227	1147	110417
11421	合闸	分	分	分	分	分
设备编号	操作命令	1143	114317	/	1147	110417
11431	合闸	分	分	/	分	分
设备编号	操作命令	1144	114417	114427	1147	110417
11441	合闸	分	分	分	分	分

### 3.2 1147 接地开关机构分析

1147 接地开关型号为 GW55-145D,工作方式为三相电动机械联动式。其机构箱内的行程开关(SAUX)共有 10 对常开接点和 10 对常闭接点。根据设计图纸和现场电缆标识,有 1 对常开接点和 1 对常闭接点输入至 2 号主变压器 110 kV IV 母线无功设备测控装置,用于构成相关设备间隔的逻辑闭锁、五防闭锁,并用于监控后台位置显示;另有 5 对常闭接点分别用于 1143 低压电抗器间隔、1141 低压电容器间隔、1142 低压电容器间隔、110 kV 3 号站用变压器间隔、1104 断路器间隔的电气闭锁回

## 3 案例分析

### 3.1 电气闭锁关系

根据设计图及图 4 的一次拓扑,2 号主变压器 110 kV IV 母线各间隔隔离开关电气闭锁关系如表 2 所示。由表 2 可知,11411 隔离开关、11421 隔离开



路,具体的接点编号及用途如表 3。

表 3 1147 接地开关行程开关接点编号及功能用途

序 号	SAUX 接点编号	接点 性质	对应 X1 端子 排接点编号	输出端 设备	用 途
1	1—3	常开	1—2	测控装置	逻辑闭锁、合闸位置显示
2	2—4	常闭	3—4	测控装置	逻辑闭锁、分闸位置显示
3	6—8	常闭	7—8	1143 断路器间隔	构成 11431 隔离开关电气闭锁
4	10—12	常闭	11—12	1141 断路器间隔	构成 11411 隔离开关电气闭锁
5	14—16	常闭	15—16	1142 断路器间隔	构成 11421 隔离开关电气闭锁
6	18—20	常闭	19—20	1144 断路器间隔	构成 11441 隔离开关电气闭锁
7	22—24	常闭	23—24	1104 断路器间隔	构成 11041 隔离开关电气闭锁

### 3.3 11431 隔离开关合闸异常回路分析

从 11431 隔离开关控制操作回路图可知,该隔离开关正常分合的前提条件是其机构箱内 X2 端子排上连接于外部联锁回路的 19—20 号端子导通,如图 5、图 7 所示。外部联锁回路包括逻辑闭锁回路和电气闭锁回路,如图 6 所示。从前述故障分析处置过程可得,11431 隔离开关的逻辑闭锁回路导通,而电气闭锁回路因 1147 接地开关机构箱内 X1 端子排 7—8 号端子未导通,进而造成 11431 隔离开关控制操作回路图中外部联锁 19—20 号端子未导通,控制操作回路断开,致使 11431 隔离开关无法合闸。

又从表 3 可知,除 1147 接地开关机构箱内 X1 端子排上 7—8 号常闭接点串接在 11431 隔离开关电气闭锁回路外,还有另外 4 对常闭接点 11—12、15—16、19—20、22—24 分别串接在 11411、11421、11441、11041 隔离开关的电气闭锁回路中,如图 8、图 9 所示。当执行分开 1147 接地开关操作后,串接于 11411、11421 隔离开关电气闭锁回路的 1147 接地开关的另外 2 对行程开关常闭接点 10—12、14—16 正常闭合,这两把隔离开关的合闸回路正常导通。因此,出现了 2 号主变压器 110 kV IV 母线各间隔依次由冷备用转为热备用的过程中,与 1147 接地开关构成电气闭锁关系的 11411、11421 隔离开关先行正常合上,而 11431 隔离开关无法合上的异常现象。

## 4 结 论

上面通过分析得出所述案例隔离开关合闸失败原因,是由于该隔离开关母线侧接地开关机构箱内

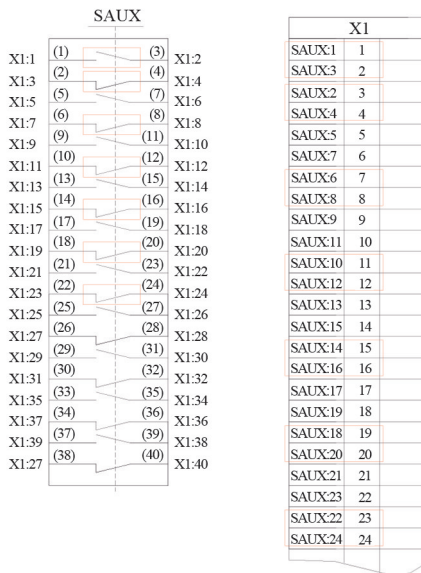


图 8 1147 接地开关控制操作回路行程开关和 X1 端子排分图

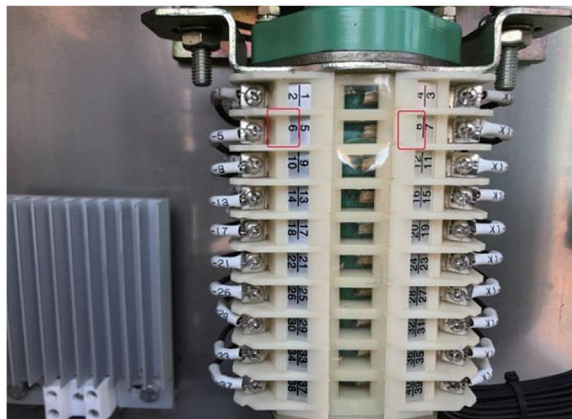


图 9 1147 接地开关行程开关接点

行程开关一对常闭触点未可靠闭合造成接地开关分闸不到位,影响到了与之相邻的隔离开关之间的电气闭锁回路,造成隔离开关控制操作回路断开合闸失败。为避免再次出现此类设备故障,影响设备停送电,从现场运维的角度提出以下改进措施。

### 1) 改进设备质量

由于接地开关及隔离开关的生产厂家众多,生产质量参差不齐,存在制造工艺老旧、装配质量差等情况,如导电部位螺栓未拧紧、底座齿轮与平键装配过紧、轴承润滑不够等问题。作为现场生产单位,对于设备运行过程中发现的问题应及时分析汇总,及时向设备制造厂家反馈所遇到的故障及异常,敦促改进。如对案例所述类型行程开关的生产和装配工艺进行改良,确保在接地开关主轴转动过程中,每个接点均同时可靠变位,从源头上确保设备质量的可靠性。

## 2) 提高验收质量

在变电站新建或改扩建工程中,新设备的交接验收工作要严格按照标准执行,建立新设备进站全过程跟踪验收机制;定期反馈施工进度和验收结果;一经发现诸如此类行程开关动作不能全部到位的情况,必须整体更换至验收合格,确保设备“零缺陷”投运。

## 3) 严控检修质量

结合设备计划或临时停电检修工作,开展在运接地开关和隔离开关防拒动排查,通过对设备进行多次分合操作,检查机构动作情况及行程开关的可靠性,消除因动作不到位或节点不良造成的设备隐患。在此基础上,调节存在异常的接地开关机构行程,检查接地开关拐臂是否转动到位,在机构转动处涂抹具有润滑功能的二硫化钼润滑脂( $\text{MoS}_2$ ),确保机构正常分合,避免出现机构卡涩及行程不到位;若调节之后,行程仍然不能可靠全部到位,则进行整体更换。

## 4) 强化日常运维

严格按照特高压运行维护的要求,对隔离开关/接地开关的行程开关等进行例行巡视和专业巡视。除了使用目视法等常规手段发现设备异常之外,积极应用红外测温、机器人巡检、可调式高清摄像头、无人机巡检等智能运维手段<sup>[20]</sup>,全面提升巡视质量。对于相关二次回路,通过加装剩余电流传感器、弧光传感器、水浸传感器、烟感传感器等技术手段<sup>[21-22]</sup>,加强对二次回路的日常运维水平,进一步提升设备运行的安全性。

## 参考文献

- [1] 陈昊,徐鹏,谭风雷,等.变电站设备检修调试工作优化决策[J].湖北电力,2021,45(2):1-6.
- [2] 张帆.一起GW22A-252 II型隔离开关拒动故障原因分析及处理[J].江西电力,2019,43(12):29-32.
- [3] 李运涛,刘同杰.GW16A-252DW型隔开关拒动故障原因分析及处理[J].四川电力技术,2014,37(2):75-77.
- [4] 夏业波.隔离开关控制回路常见问题及处理措施[J].设备管理与维修,2019(22):96-97.
- [5] 祖武强,霍克伟.一起220 kV敞开式隔离开关拒分的原因分析[J].红水河,2016,35(4):99-100.
- [6] 盛明学,王志清.户外高压隔离开关常见故障的原因分析及处理[J].高压电器,2010,46(10):93-96.
- [7] 孙亚辉.电动操作隔离开关控制回路设计分析与应用[J].电气技术,2010(9):66-69.
- [8] 李雨舒,李明珍.无人值班变电站遥控常见故障的分析与处理[J].电力系统保护与控制,2009,37(18):145-146.
- [9] 陈国华.无人值班变电站遥控操作技术改进[J].电力自动化设备,2003,21(10):90-92.
- [10] 梁运华,李琼.500 kV变电站无人值班改造遥控试验的新方法[J].湖南电力,2011,31(5):42-45.
- [11] 楼书氢,罗纯坚.改进的遥控试验方法在吉安监控中心的应用[J].华中电力,2012,25(2):8-10.
- [12] 罗馨豫.一起隔离开关遥控失败的原因分析与对策[J].广西电力,2021,44(3):65-69.
- [13] 赵文斯,刘雪飞,纪鹏.变电站断路器遥控失败原因分析[J].电世界,2020(4):25-27.
- [14] 王一清,杨志强,高海龙.综合自动化变电站中隔离刀闸防误操作的闭锁策略分析[J].电力自动化设备,2011,31(5):137-140.
- [15] 陈昊,郭湘奇,田涛,等.隔离开关闭锁回路电子档案构建及应用[J].中国电力,2012,45(7):20-23.
- [16] 杨震强,王志林.变电站在线式一体化防误操作闭锁系统技术研究[J].电网与清洁能源,2009,25(8):32-36.
- [17] 潘铭.一起变电站110 kV隔离开关无法电动分闸的分析与处理[J].电气开关,2021(3):98-100.
- [18] 刘善军.一起110 kV变电站防误闭锁装置异常引起的故障分析处理[J].江苏电机工程,2016,35(3):80-83.
- [19] 杨行方.电力系统遥控操作失败原因分析及对策[J].电力系统装备,2018,12(1):82-83.
- [20] 陈昊,姚凯,张海华,等.变电站设备缺陷图像识别的实用化评价方法[J].湖北电力,2021,45(5):52-57.
- [21] 陈昊,刘怀宇,姚凯,等.采用自补偿复合电流判据的变电站长段动力电缆漏电监测方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(12):172-179.
- [22] 陈昊,崔运光,马兆兴,等.变电站站用电系统混合型负荷支路的漏电监测方法[J].消防科学与技术,2022,41(6):739-743.

## 作者简介:

郭杨(1986),男,硕士,工程师,主要研究方向为特高压运检技术;

高世宇(1990),男,硕士,工程师,主要研究方向为特高压运检技术;

陈昊(1980),男,博士,研究员级高级工程师,高级技师,主要研究方向为变电二次运检技术;

余爽(1991),男,硕士,工程师,主要研究方向为特高压运检技术;

李义峰(1983),男,高级工程师,技师,主要研究方向为特高压运检技术。

(收稿日期:2022-04-21)