

[控制系统]

# 变电站直流系统接地故障快速定位及防范措施分析

文/国网漳州供电公司 林毅斌 术茜

变电站直流系统为全站继电保护装置及二次回路提供电源，其运行可靠性直接影响电网的安全性和稳定性，分析直流系统的构成及绝缘监测装置选线原理，给出快速定位直流接地故障的流程及方法，为二次检修人员查找直流接地故障提供思路，从而有效缩短了故障处理时间。

变电站直流系统作为二次系统的重要组成部分，其运行可靠性直接影响电网的安全性和稳定性。直流系统接地故障被列为变电运行的一类缺陷，受到电网运维人员的广泛关注。快速准确定位直流系统故障点，并在短时间内排除故障是变电二次检修人员的重要任务。本文从快速定位直流系统故障的必要性入手，分析直流系统的构成及绝缘监测装置的选线原理，给出快速定位直流接地故障的流程及方法，结合两个案例加以阐述，为二次检修人员查找直流接地点提供思路。

## 快速定位直流系统接地故障的必要性

运行实践表明，若直流系统存在一点接地，易导致断路器偷跳。当直流系统中发生一点接地故障之后，若再发生另外一点接地，将可能造成直流系统短路，导致直流电源中断供电或造成断路器误跳或拒跳事故的发生。

当运行中的直流系统发生一点接地之后，运维检修人员应立即进行检查处理，以避免进一步发展为两点接地故障。

## 变电站直流系统的构成

由图1可知，变电站的直流系统主要由直流电源、直流母线及直流馈线等元件构成。直流电源

包括蓄电池组及充电设备，直流馈线由主干线及支馈线构成。蓄电池组通常由多个蓄电池串联而成，直流系统电压越高，需串联的蓄电池个数越多；要求直流系统输出的电流越大，需并联的蓄电池支路数越多。蓄电池并接在充电装置的直流输出端，以恒压充电方式工作。正常运行时，在充电设备的充电下，蓄电池组以满容量的状态处于备用，即浮充状态。充电设备不仅为蓄电池组补偿功率损耗，更重要的是为具有维持恒定输出电压及恒定输出电流的调节功能。蓄电池及充电设备的输出均并接在直流母线上，直流母线汇集直流电源输出的电能，并通过各直流馈线输送到各直流回路。

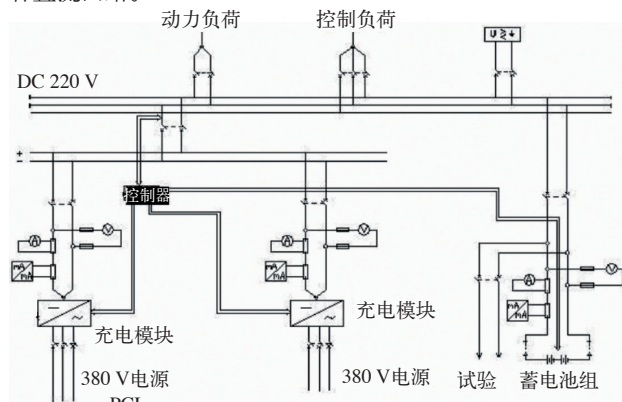


图1 变电站直流系统结构图

## 绝缘监测装置选线原理

直流绝缘监测装置是根据电桥平衡的原理构成的。其检测原理如图2所示。

正常情况下，直流系统正、负两极对地的绝缘电阻 $R_3=R_4$ ，由于装置内电阻 $R_1=R_2$ ，因此，在由 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 构成的四臂电桥中 $R_1R_4=R_2R_3$ ，满足电桥平衡条件。A点的电位与地电位相等，直流电压表指示等于零。信号继电器两端无电压，不动作。当某一极对地绝缘电阻下降或直接接地时， $R_3$ 不等于 $R_4$ ，故电桥平衡被破坏，A点对地产生电压，信号继电器动作，发出告警信号。

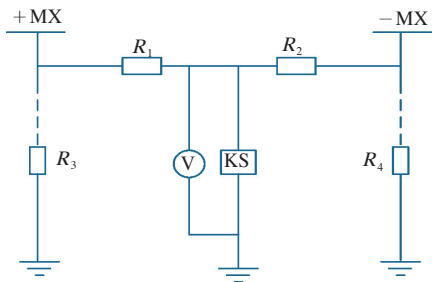


图2 直流绝缘检测装置检测原理图

$R_1$ 、 $R_2$ —监测装置内的附加电阻  $R_3$ 、 $R_4$ —直流电源两极对地绝缘电阻 KS—电压信号继电器 V—直流电压表  
+MX、-MX—直流电源的正、负小母线

微型绝缘监测仪的检测原理也是电桥平衡原理，不同的是装置内部有一低频电压信号发生器，该信号发生器产生的低频电压加在直流母线与地之间。当直流系统中某一馈线回路出现接地故障时，该馈线上将流过一个低频电流信号。该低频信号经辅助电流互感器传递给检测仪，经计算判断出接地馈线及接地电阻的大小。

## 直流系统接地故障快速定位流程及方法

### 1. 绝缘监测装置可选出接地支路

对于绝缘监测装置能够选出接地支路的故障，运行人员在第一时间可通过拉合馈线空开检查接地信号是否消失的方法，判断选线结果是否正确，并及时隔离故障支路，防止故障进一步扩大，待二次检修人员到现场后通过电位测量方法准确定位故障点后排除故障。

若选出支路不能真实反映故障点，应及时通知二次检修人员尽快到现场进行检查。二次检修人员应通过检查绝缘监测装置参数设置或检查选线装置，进一步确认故障支路并准确排除故障。

### 2. 绝缘监测装置无法选出接地支路

当绝缘监测装置显示结果为母线对地绝缘下

降，母线正失地或负失地时，判断为母线接地，母线接地故障查找难度较大，需要通过拉路法、分段隔离法等手段准确定位接地点。

拉路法即：短时间逐一拉开各馈线低压断路器，确定接地故障所在支路的方法。使用拉路法应提前告知运维及调度部门，根据先户外后户内、先信号回路后操作回路的原则。断开支路低压断路器的时间不得超过3 s，无论是否接地应尽快恢复。对于断开电源可能导致误出口的装置应提前做好隔离措施。

在拉路法仍无法确定接地支路时，应根据直流系统构成使用分段隔离的方法进一步确定故障点。首先，检查直流母线外观是否有异物导致直流母线绝缘下降，其次，通过轮流退出充电设备、蓄电池组等方式判断故障点是否发生在充电设备或蓄电池本体。最后，检查直流母线运行方式，确认是否存在环供现象。若上述方法仍无法确定故障点，应检查直流系统是否存在互串或寄生回路。若断开充电设备，该段直流系统蓄电池电压变化不明显，即可确认存在两段直流系统互串，通过测量支路电流即可定位互串支路。

### 3. 快速定位流程图

快速定位流程图如图3所示。

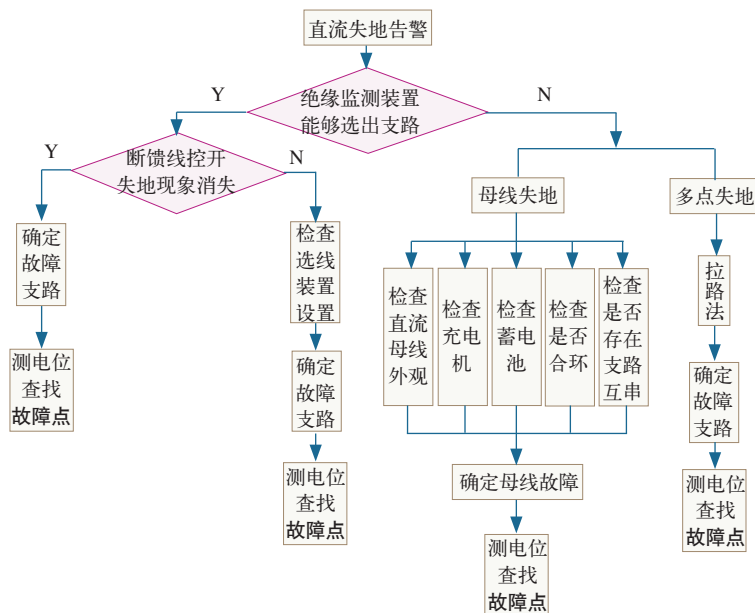


图3 直流失地快速定位流程图

### 4. 综合判断

在查找直流接地故障点时，可通过检查后台监控系统近期操作事件记录，直流系统告警记录等历史报文，对于故障发生时间进行研判。结合当天操作情况及天气状况等因素，为查找直流接

地故障点提供参考依据,有时可起到事半功倍的效果。

## 直流失地故障案例分析

### 1. 案例一:因绝缘监测装置参数设置错误导致无法选出故障支路

某日16:40,某站监控机报××变电站“2#直流充电屏控制母线正绝缘降低”信号。现场实测直流母线电压正负母线电压分别为“+3.8 V”“-233.2 V”,绝缘监测装置显示“正母绝缘降低”“正母对地欠压”“正对地电压8 V”“负对地电压230 V”“正控母对地电阻3.64 kΩ”,未选出接地支路。

该站直流系统由两路主屏充电机分别供电,一路由1#直流主屏及1#直流分屏、#3直流分屏构成;另一路由2#直流主屏及2#直流分屏、4#直流分屏构成。二次人员查看2#、4#直流分屏监测装置,分屏两套绝缘监测装置也无法选出失地支路,同样报出正母绝缘降低报文。

二次人员在使用拉路法及分段隔离法后仍无法定位故障点。由于2#、4#直流分屏绝缘监测装置无法选出接地馈线,二次人员将装置进行重启,在重启一段时间之后发现直流分屏两台绝缘监测装置的正负母线电压值均为0。在咨询一体化电源厂家之后,得知绝缘监测装置重启之后参数可能丢失,因此需要重新设置,在厂家人员的指导下重新设置装置参数。保存设置之后,从菜单进去可以查看到,2#直流分屏绝缘监测装置母线电压恢复正常采样,正控母对地电压:3.2 V、负控母对地电压-233.6 V、正控母对地电阻1.22 kΩ、负控母对地电阻708.26 kΩ;从支路绝缘选项进去可以看到支路48#正:2.88 kΩ,负:99.99 kΩ,断开48支路所对应的空开后绝缘监测装置告警消失,直流母线正母恢复正常电压,即成功定位故障点。

经查证,该站为新投运站,在投运前2#直流分屏绝缘检测装置出现故障,重新更换过,施工人员在更换新装置后未对参数进行设置,导致无法选出支路。

因此,在基建验收环节应加强把控,在完成验收后确保装置定值正确执行。

### 2. 案例二:因绝缘监测装置外部平衡桥电阻失地导致无法选出故障支路

某日10:30,运维人员巡视时发现××变电站直流控制系统告警,直流母线负母失地,负母对

地电压-56 V,正母对地电压170 V。二次人员检查发现站内直流系统绝缘监测装置显示负母对地电阻为40 kΩ左右,负母对地电压为-56 V,初步判断为负母不完全失地。该厂家监测装置在接地电阻大于25 kΩ时无法正确选线,因此无法准确定位失地支路。

二次人员在使用拉路法及分段隔离法后仍无法定位故障点后,将故障点的查找转移到绝缘检测系统本身,首先检查绝缘检测装置的接地部分,在端子排左侧发现有接地点,经检查为绝缘监测装置的外部平衡电阻,在测量对地电阻后发现其中一个电阻阻值只有40 kΩ(正常应为2 MΩ以上),在解除外部平衡电阻后直流失地现象消失,测量直流正负母线电压分别为“+115 V”“-115 V”,即直流系统恢复正常。与厂家确认后,了解此套系统有两套平衡桥,一套在绝缘监测装置内部,一套在外部。解除外部平衡桥后,装置内部平衡桥仍存在。因此,确认将外部平衡桥解除后,仍不影响绝缘监测装置的正常选线功能。

此次直流失地缺陷的故障电阻为40 kΩ,装置尚无法准确选线,且失地点存在直流母线上,绝缘监测装置不能正确选出失地馈线,存在偶然性。因此,查找过程较为复杂,但按照与直流母线相关联设备分段隔离的方法,仍能准确地查出直流失地点。

## 防范措施

1) 加强变电运维人员直流系统的培训力度,熟悉直流系统的构成,掌握不同厂家设备的操作方法,对于绝缘监测装置能够选出具体支路的直流系统接地故障能够通过拉路法准确定位,在检修人员到达现场前做好有效隔离措施,防止故障范围扩大。

2) 变电检修人员在变电站基建环节做好验收把控,按标准化验收作业卡进行验收。重点完成蓄电池充放电试验、充电设备工作状态检查、绝缘检测装置选线功能测试、直流馈线接入前绝缘测试等试验项目、直流馈线低压断路器标示检查,确保蓄电池、充电设备可靠运行,绝缘监测装置参数设置正确,直流馈线绝缘水平符合要求,在发生直流接地故障时绝缘监测装置能准确选出故障支路;验收时严格把控直流馈线的接入,对于状态指示器、带电显示器等经常发生故障的设备,可用交流电源替代尽量避免使用直流电源,减小直流系统供电范

围,降低故障发生的概率。

3) 变电站内的直流系统相关设备图样、说明书应完善、齐备;站内直流系统原理图应清晰、准确,并与实际接线相符,便于检修人员查找故障时使用。

4) 变电运维人员在平时设备巡视时应加强户外表计、主变非电量继电器、油位计以及户外开关端子箱、机构箱的防潮防渗检查。定期开展户外端子箱、机构箱内端子排清扫工作,确认温湿度控制器能够正常工作;检修人员在设备例检、大修时应确认户外设备防水、防渗措施有效,对于老化、变质、外皮存在磨损的二次电缆、二次线及时进行更换。

5) 对于技改、回路变更的相关工作应做好现场图实相符工作,确保回路正确,二次接线在设计 and 施工时应避免寄生回路的存在,防止因寄生

回路造成直流通地故障。

## 结束语

快速定位直流通地故障点,且在短时间内将故障点隔离是保障电网安全、稳定运行的重要手段。二次人员在查找故障点时应熟悉直流系统结构及绝缘监测装置选线原理,综合绝缘监测装置选线结果及近期操作情况、当天天气状况等各种因素,使用合理的定位方法,快速定位故障点并及时排除故障,使直流系统恢复正常运行。此外,通过提高运维人员对直流系统认知水平、加强基建验收环节把控、完善站内直流系统结构图示、加强户外直流回路防潮防渗、遏制寄生回路等手段进一步防止直流系统接地故障的出现。EA

(收稿日期:2016.09.13)

(编辑:杨得润)

(上接第68页)

定,切实加强站用直流电源系统和蓄电池组巡视维护工作。

1) 蓄电池组应检查外观清洁,外壳无裂纹、漏液,安全阀无堵塞,密封良好,极柱与安全阀周围无酸雾逸出,定期检查连接部分是否有松动。

2) 直流屏应重点巡视和检查蓄电池组熔断器有无熔断、转换开关是否到位以及各连接端子是否接触良好等。

3) 蓄电池的浮充运行是其最佳运行方式,此时蓄电池一直处于满荷电状态,在此条件下运行电池将达到最长的使用寿命。运行时应重点检查蓄电池组的浮充电压、浮充电流是否满足要求,以及检查是否有温度异常的蓄电池。

4) 在核容试验期间、年度检查及日常周期巡检时应进行蓄电池温度检查。应检查到每一蓄电池及所有连接点的温度,并与蓄电池室室温对比有无温度异常点。为减轻工作量,温度测试工作建议使用红外热成像仪。

5) 将蓄电池巡检装置(或在线监测装置)运行状况纳入巡视范围,及时发现并处理设备故障隐患。这样可将人为漏查降低到最低限度。

(5) 积极加强蓄电池组技术管理工作

1) 认真执行相关直流电源设备管理规定要求,正确设置电池组的运行管理参数。

2) 蓄电池组配置在线监测装置实现蓄电池开路监测、内阻监测、电压监测、电流监测及在线的单体核对性放电试验功能并将告警信号接入本站监控系统。

3) 专业班组必须建立直流系统及蓄电池组专业台账,且对初充电、蓄电池组容量试验、单体蓄电池电压值、内阻值等数据应长期保存,以便对蓄电池组维护时作比对判断。

4) 在蓄电池组投运前应进行蓄电池内阻测试,测试数据作为原始资料保存。在年度检查或核容试验合格后,蓄电池组满容量情况下,应进行蓄电池内阻测试,内阻值偏差不得大于蓄电池组平均值 $\pm 10\%$ 。并检查是否有单节蓄电池内阻与原始数据相比突变 $50\%$ 。

5) 依据蓄电池组使用年限、运行状况,或针对有家族性缺陷的蓄电池组,建议适当缩短内阻测试周期。EA

(收稿日期:2016.09.13)

(编辑:刘群立)