

「开关设备」

基于超声波闭锁的智能电弧光保护系统及其应用

文/国电南瑞科技股份有限公司 杨 胜 韩民畴 王高明

以弧光信号、过流信号与逻辑构成的电弧光保护装置，逐步用于中低压配电网中；其10 ms的动作速度，一定程度上满足了中低压母线、配电柜内易发生弧光故障且需快速切除故障的要求。然而由于弧光元件极易受干扰，且未考虑弧光发生的原因仅为被动防御；同时现有电弧光保护装置结构及配置要求较高，有较大缺陷不易满足现场要求。在此基础上分析了弧光故障的形成及发展，提出了将超声波引入电弧光保护的逻辑，并对其试验验证。基于此在已有四合一装置基础上增加板件及保护模块，开发了NCE600RF-D系列超声闭锁智能电弧光保护装置，并通过现场及实验室各种测试，验证了其可行性，并在现场投入运行，显著改善了运行性能。

随着35 kV及以下配电网的发展，结构小、维护简单的成套开关柜大量应用在中低压系统中。由于成套开关柜结构过于紧凑，柜内空间较为狭小，而目前市场上开关柜的生产工艺、绝缘水平等参差不齐，加之6~10 kV母线出线较多、停电送电操作频繁、线路故障几率高、运行环境影响等诸多不利于设备安全运行的因素影响，使得电弧短路引起开关柜及母线的故障率很高，且故障时产生的电弧光对设备及人员造成极大伤害，极有可能引发连锁事故。且在中低压母线系统不配置专用的母线保护，而是依赖上一级元件的延时1 s以上的后备过电流保护来切除母线短路故障，导致了故障切除时间延长，加大了设备的损伤程度。为保证变压器、母线及出线柜开关设备的安全运行，迫切需要配置快速中低压母线及开关柜保护。目前兴起的电弧光保护系统，正是基于母线开关柜内故障时产生弧光这个思路而设计的一套快速切除母线及开关柜内的快速保护系统。

电弧光保护，国外于20世纪90年代开始研究并形成产品，国内于本世纪初引入，但尚未形成标准。传统电弧光保护装置，通过弧光信号、过流信号的与逻辑来判别是否发生弧光故障。实际因易受干扰、被动防御、配置复杂等原因，其运

行效果并不理想。

传统电弧光保护原理结构及缺陷

发生短路故障时会发出电弧光，由于电弧光照强度较大较易捕捉，且电弧光信号跟随故障速度快，所以是一种优异的故障特征量。基于此特征量的保护称之为电弧光保护。

目前，国内外弧光保护大多采用弧光和电流增量作为双重判据，当系统同时检测到弧光和电流增量时即可判断为弧光故障而发出跳闸指令；当仅检测到弧光信号或者电流增量信号时，只发报警信号通知运行人员而不判断为弧光故障。弧光保护的逻辑发信逻辑图如图1所示。

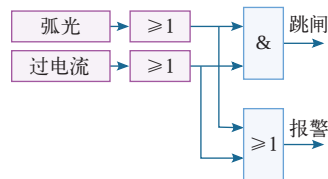


图1 传统电弧光保护原理图

目前电弧光保护系统，一般由以下部分构成：主控单元、弧光检测辅助单元、弧光传感器（探头）、电流检测辅助单元、光纤及数据线等。

系统基本原理：当弧光传感器检测到开关柜内的弧光信号后，将此信号传送到主控单元或者弧光单元；同理，当电流检测单元检测到过电流信号后，将此信号通过光纤传送到主控单元。若只检测一种信号则只发告警，如果上述两种信号满足与逻辑，系统则判定电弧光故障，2~3 ms内发出跳闸指令，跳开相应开关切除故障，达到快速保护的目的。由于弧光伴随着故障瞬间产生的电弧发出，因而电弧光保护拥有超高速的动作性能，其故障判断时间仅取决于传感器的光捕捉速度，而整套保护的動作时间可保证在几毫秒内。

采用上述原理及配置的电弧光保护，具有动作原理简单、动作安全可靠、动作迅速、配置灵活、保护配置灵活、故障点定位准确等特点。因此依此原理制造出的电弧光保护装置，得到了广泛的应用。目前国内主要投入使用的包括ABB公司的REA101弧光保护系统、芬兰UTU公司的EagleEye电弧光保护装置、南京弘毅的DPR360ARC弧光保护系统、保定尤耐特的UNT-EAP智能电弧光保护系统等，均采用上述原理及结构。

然而实际发生的弧光故障，均为首先发生局部放电，部分严重的发展成电弧燃烧而产生弧光故障。上述结构均为对弧光故障的被动防御，无法提前反映局部放电；且弧光传感器易受手电筒、太阳光直射等强烈光干扰而误动；同时现有弧光保护装置均为独立装置，用户需同时安装1套四合一保护装置、1套电弧光保护装置，故不易装上开关柜。因此上述结构存在优化空间，由此本文提出了一种基于超声波闭锁的智能电弧光保护系统。

超声波用于电弧光保护的可行性

电弧光故障发生前会产生早期局部放电现象，早期局部放电所产生的电磁波、超声波等辐射波与故障电弧一样，它们都是弧光接地故障现象的一部分，是故障电弧发展过程不同阶段所表现出来的不同物理现象，不论是前期的局部放电还是后期的电弧光现象，早期局部放电现象是发生弧光故障的必要条件，在局部放电过程中会产生电磁波、超声波、紫外光。这些元素在弧光接地故障发展的整个过程中存在着一定的内在联系。

受局部放电现象影响，超声局放源将产生有规律的机械振动，可看作点脉冲声源。超声波向四周传播，遵循机械波的传播规律，其与可闻声本质上是一致的，它们的共同点都是一种机械振

动模式，在不同介质的交界处会产生反射和折射现象，是一种能量的传播形式，不同点在于是超声波频率高，波长短，一般指脉冲压力波中频率在20 kHz以上的部分，在一定距离内沿直线传播具有良好的束射性和方向性。超声波经过压电晶体介质时，由于晶体振动受压，将产生反映超声波的微弱电信号。电信号经过放大滤波处理，便可成为代表局部放电信息的特征量。

目前用超声波检测带电运行中的高压开关柜、高压设备，已是很成熟的方法了，广泛应用于发电厂、变电站等的运行检修中。由上可见超声波作为弧光故障的一种伴生现象，将超声波作为电弧光保护的判据，是完全可行的，对传统配置是较好的改进。

超声波闭锁的智能电弧光保护的系統结构

在电弧光尚未发展成为弧光短路故障时，弧光的微小放电现象能通过超声波检测发现，当超声波检测发出告警后，运行维护人员可以提前对故障进行处理。加入超声波检测，可以对开关柜内潜在的电弧故障进行检测并能消除潜在故障。这样防止故障的发展方法，不仅将被动保护方式转变为主动防御模式，并且还保留了电弧光保护的快速切除故障的功能，这样大大降低了弧光故障的发生及其产生的危害。

由于超声波检测时在弧光故障前已经开始探测，所以采用这样的动作逻辑不影响弧光保护动作的快速性。同时，引入了超声波检测判据后，避免了电弧光传感器有可能直射在手电筒或太阳光等强烈干扰光源下电弧光保护误动的可能性，增强保护的可靠性。

在弧光故障前期，超声波传感器检测潜在的弧光故障的放电现象，当超声波信号大于整定值时，发出预警信号并开放电弧光保护；如果潜在弧光故障继续发展，此时电流增量和弧光增量达到整定值，启动跳闸切除故障。其逻辑图如图2所示。

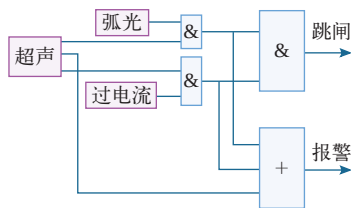


图2 超声波闭锁电弧光保护逻辑图

高速电弧光保护系统由主控单元、电弧光传感器、电弧光检测辅助单元、超声波传感器、超声波检测辅助单元、电流检测辅助单元通过光纤或网线连接构成,如图3所示。

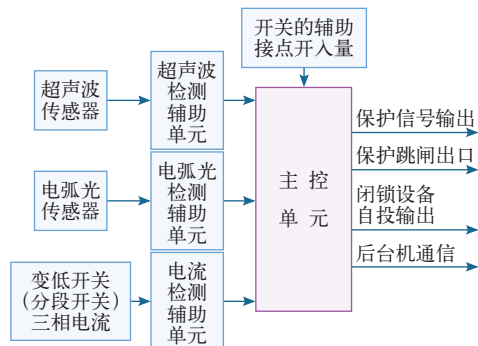


图3 超声闭锁的智能电弧光系统结构图

智能电弧光保护装置硬件设计及软硬件配置

基于上述超声波原理,开发了超声弧光检测模块。两模块均由传感器、放大电路、滤波电路、比较电路、光纤等构成。关键硬件为超声检测系统、电弧光检测系统。两者的放大滤波比较电路集中在一块BI-HGCS板件上,插在NCE600RF-D电弧光保测装置的总线上。同时增加一块BO-HGCS板件,作为扩展通信及快速固态继电器开出。

在已有的广泛运用于中低压系统的NSR600RF-D保测四合一装置基础上,硬件增加前述BI-HGCS、BO-HGCS板件;软件增加电弧光保护、失灵保护;即构成了NCE600RF-D系列超声闭锁智能电弧光保测装置。

超声、电弧光模块硬件如图4、图5所示。

超声波传感器采用施耐德Osisonic声光传感器,放大电路采用MC34082高速JFET运放,比较电路采用AD637转换器和LM393比较器实现。

弧光传感器采用HG-01光电弧光传感器,用AD8066芯片构建电路实现。

NCE600RF-D系列电弧光保测装置,根据一次设备,包括NCE612RF-D线路母联、NCE621RF-D电容器、NCE631RF-D配电变、NCE661RF-D电动机、NCE691RF-D主变低后备等智能电弧光保测四合一装置。以线路NCE612RF-D电弧光保测装置为例,其软硬件配置如表1及表2所示。

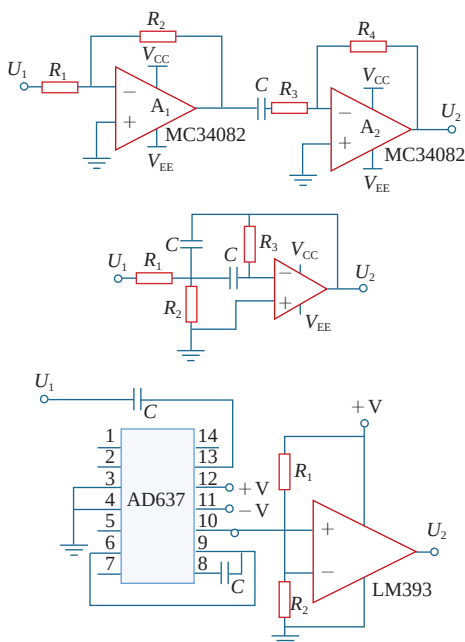


图4 超声波检测放大、滤波、比较电路原理图

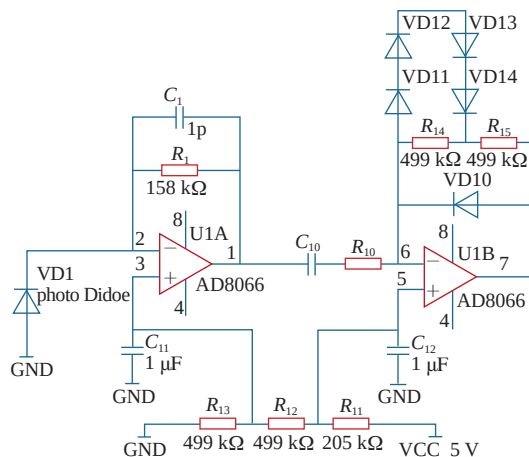


图5 弧光检测电路原理图

表1 NEC801、NEC612智能弧光保测装置硬件配置

硬件配置	功能
弧光超声开入板BI-HGCS	6路弧光接口:可直接接入1~6个弧光探头。6路超声接口:可直接接入1~6个超声传感器
扩展通信板BO-HGCS	3路光纤接口:分别主控单元、弧光辅助单元、超声辅助单元的高速通信。在原有继电器的基础上,增加4路快速继电器(固态继电器)
常规四合一板件NSR-LCD+NSR-KEY+28335-CPU/3跳闸告警开出,操作板,ADC01+PWRM,IOE+OPBD	交流采样板:15个交流电流电压输入;通信板:3路以太网、2路对时、1路484、1路打印;电源板:220V、110V交直流自适应;开入开出板:24路遥信开入,6路跳闸告警开出、5路刀开关遥控开出;操作板:1路开关的操作及遥控;CPU板液晶按键及其他

表2 NCE612RF-D智能弧光保护装置软件配置

软件配置	功能
弧光保护	经弧光元件、电流元件、超声元件闭锁的弧光保护；超声闭锁元件可投退
失灵保护	作为弧光保护的后备保护，若弧光保护动作但未能切除开关，经延时失灵跳本侧及进线或母联
常规四合一功能	三段式电流保护；反时限保护；合闸后加速；三相一次重合闸；低频减载；低压减载；三段式零序过电流保护；过负荷告警，PT断线告警，断路器失灵告警，母线接地告警，控制回路断线，电流越限告警，电流回路异常；分段开关充电保护；15套定值，7路遥控软压板（所有跳闸的保护），7路遥信硬压板（所有跳闸的保护），故障录波；打印功能（定值，报告，录波）；24+8路实遥信，34路虚遥信；17路遥测，1路开关遥控；4路开出；遥测，虚遥信和遥控的模拟测试；交流采集板采集 U_a ， U_b ， U_c ， $3U_0$ ， $3I_0$ ， I_a ， I_b ， I_c ， U_{La} ， I_{ma} ， I_{mb} ， I_{mc} ；支持以太网（最多5路），CAN网，485通信；支持报文对时，秒脉冲对时，B码对时

智能电弧光保护装置的试验验证

电弧光系统一般按如下配置：1段中低压母线配1套电弧光主单元。由1个主控单元、1个超声波检测辅助单元、1个电弧光检测辅助单元、若干个电弧光传感器、若干个超声波传感器组成，并接收各进线母联开关位置信号。主控单元与各检测辅助单元之间通过光纤连接，并接收辅助单元的信号；超声波、电弧光检测辅助单元间通过网线连接，并实现相互通信。每条出线柜配1套保测一

体弧光系统，由1个弧光保测装置、若干个电弧光传感器、若干个超声波传感器组成。

选取某110 kV典型接线的变电站测试该超声闭锁智能电弧光保护装置。该变电站为2台主变单母分段方式，每段母线8条出线。保护配置为：每条母线配1台NCE610RF-D弧光主单元、8个弧光传感器、8个超声传感器、1台弧光辅助单元、1台超声辅助单元；每条出线配1台NCE612RF-D线路四合一弧光保测装置、4个弧光传感器、3个超声传感器；如图6所示。

对该系统做下述测试，以测试其性能：

1) 超声波检测在弧光故障的验证。超声波传感器安装在开关柜的适当位置，超声波传感器的输出连接到信号处理器和比较电路中。当开关柜内的超声波传感器检测到弧光短路发生的超声波时，会发出相应告警信号。

试验模拟以下几种环境：带负荷低压开关柜出线上弧光短路、在开关柜外25 cm处有干扰外部声源下低压开关柜弧光短路、开关柜外25 cm处其他开关柜弧光短路。测试的结果如图7~图9所示。

由以上各条件下传感器和跳闸的情况，可以得出在开关柜内部弧光故障时，超声波传感器内快速地检测到开关柜内部故障，并很好判断区外、区内弧光故障以及区分干扰。

2) 对开关柜的每个弧光传感器用强光手电筒进行照射检查。通过检查，校验传感器的动作情况，记录下传感器时相应的位置信息并进

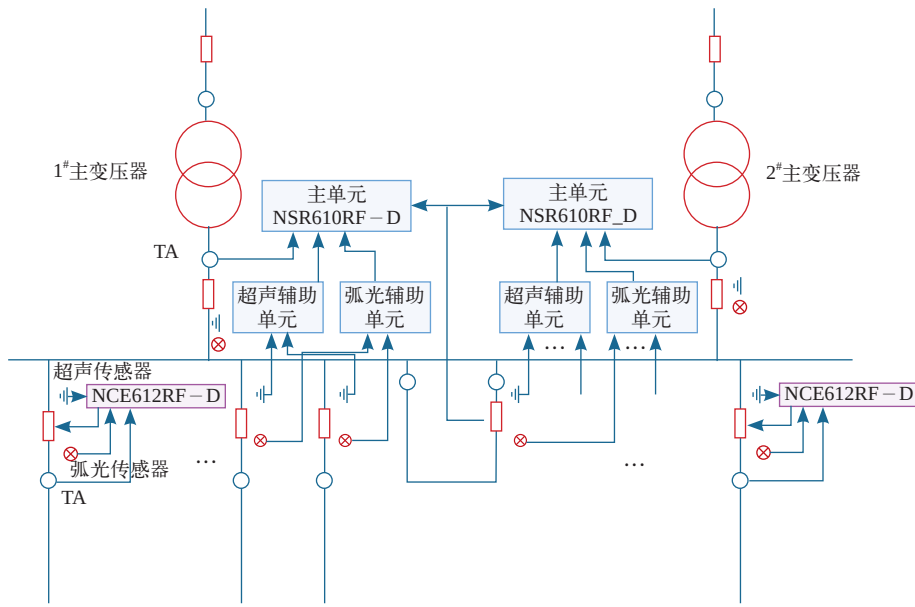


图6 超声闭锁智能电弧光保护配置图

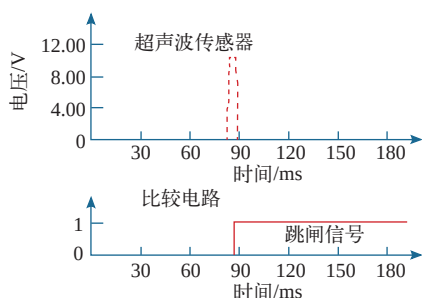


图7 出线弧光故障，传感器及告警信号动作情况

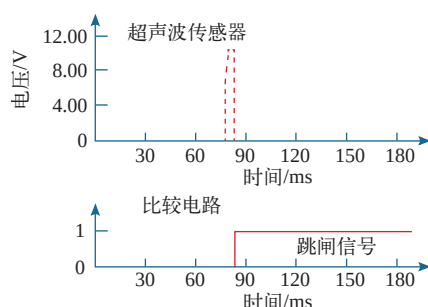


图8 柜外25 cm处有外部干扰时，出线弧光故障，传感器及告警信号动作情况

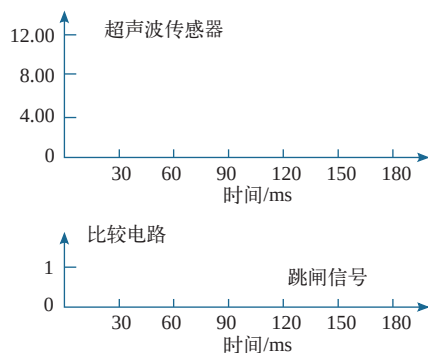


图9 柜外25 cm处，其他柜弧光故障，传感器及告警信号动作情况

行编号。

3) 模拟局部放电的超声波信号，对开关柜内的超声波传感器进行检查，检查超声波检测辅助单元对超声波的检测情况，记录传感器动作信号位置并进行编号。

4) 校验电流辅助单元的精度、过电流动作值和返回值是否满足规程要求。

5) 保护逻辑校验。校验保护动作条件是否满足下，保护能否正确动作。例如：在模拟缺少超声波条件下，只有弧光信号和过电流信号下，保护能否可靠不动作。

6) 核对保护发出的遥信信号是否及时、正确、准确。

7) 带开关做传动试验。通过模拟弧光短路故障，检验动作逻辑以及开关动作情况。

8) 电弧光保护系统在安装调试完毕后，模拟不同的故障情况，对保护的各个器件以及开关的动作行为进行现场传动试验，录波图如图10所示。

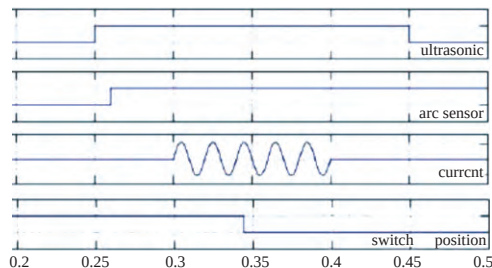


图10 弧光故障各元件录波图

通过现场调试情况以及开关传动情况可见：

- 1) 只用弧光元件时，易受干扰而误动。
- 2) 超声元件，具有极强的抗干扰性。
- 3) 超声元件，能预告开关柜、电缆等运行设备的绝缘程度，为运维提供便利。
- 4) 引入超声闭锁后，电弧光保护装置的可靠性大幅提高。
- 5) 动作时间7 ms左右，从发生故障到故障切除40 ms左右；较传统保护快约70 ms。
- 6) 系统对分段开关位置能自适应。
- 7) 超声元件、弧光元件，均可独立投退。
- 8) 系统配置灵活，超声弧光传感器对安装位置要求低。

9) 装置配置灵活。无需更换装置，无需另外开孔，可在已有NSR600RF-D装置基础上，直接插上2块板件、升级保护程序后即成为超声闭锁智能电弧光保测装置。

由此表明NCE600RF-D系列超声闭锁智能电弧光保测装置，能很好实现对母线及开关柜的快速保护，并能满足保护快速性、灵敏性、选择性和可靠性要求。超声弧光元件动作简单可靠，配置简单灵活，且能明显改善传统弧光元件的缺陷，主动预警提高运维水平，是一种较好的改进。

此装置现场运行一年来，动作正确率达100%，多次预警及切除弧光故障，取得了良好的社会效益。EA

(收稿日期：2014.11.17)