

弧光保护技术及其在电网中的应用综述

朱鑫¹, 郑永康¹, 向博², 赵子涵², 丁宣文¹, 吴杰¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘要:为全面了解高压开关柜各类弧光保护技术特点,文中根据对当前电网投入运行的弧光保护装置技术原理、技术方案、主流弧光保护装置的研究,总结了现阶段弧光保护装置的应用情况,并就当前弧光保护的配置选型、技术标准、检测标准、现场运行维护提出了相关建议。

关键词:电弧光;弧光保护;配电网;弧光传感器

中图分类号:TM 77 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)06-13-04

DOI:12.16527/j.issn.1003-6954.20210603

Review of Arc Protection Technology and Its Application to Power Grid

Zhu Xin¹, Zheng Yongkang¹, Xiang Bo², Zhao Zihan², Ding Xuanwen¹, Wu Jie¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract:In order to fully understand the characteristics of various arc protection technologies for high-voltage switchgear, the current application situation of arc protection is summarized according to the technical principle and schemes of the current arc flash protection equipment which is in operation and the prevailing arc flash protection equipment. Relevant suggestions are put forward for the current arc protection in configuration selection, technical standards, testing standards, and on-site operation and maintenance.

Key words:arc; arc protection; distribution network; arc flash sensor

0 引言

在10~35 kV不接地系统中,配电方式常采用开关柜型式,一般未配置母线保护。这导致母线故障时存在保护动作时间长、接线复杂、对互感器要求高、经济性差、不能提供故障定位等问题。相比传统保护方法存在的不足^[1],弧光保护系统具有保护原理简单、可靠性高、保护动作时间快、易实现故障点定位等优点。

根据对当前电网投入运行的弧光保护装置的技术原理和技术方案、弧光传感器以及对不同接地方式适应性的研究,总结了现阶段弧光保护装置的应用情况及存在的问题,并就弧光保护的配置选型、技术标准、现场运行维护提出了相关建议。

1 国内外弧光保护技术应用情况

在20世纪90年代初,美国、瑞典等开始将弧光保护用于中、低压开关柜,作为其内部故障时的保护。国外一些地区的配电网中性点直接接地或经小阻抗接地,其弧光保护主要采用弧光检测和过电流检测双判据原理,或采用弧光检测和零序电流检测双判据原理,当保护范围内发生相间弧光短路故障,或单相弧光接地故障时,弧光保护能够快速动作切除故障,有效减轻电弧光对设备和人身的伤害。

中国许多地区都安装了弧光保护,但运行效果并不理想,主要存在如下问题:1)弧光保护只采集了母线弧光信号,导致线缆室、断路器室发生的弧光故障不能及时切除;2)弧光保护采用弧光检测和过

电流检测双判据原理后,不接地系统中发生单相弧光接地时,故障电流较小,容易发生拒动;3)个别装置为解决不接地系统的故障电流检测灵敏度不足问题,降低了电流定值,并采用可见光波段的弧光传感器,导致雷电光或者强光手电照射又遇涌流时发生误动。

目前,已有厂家研发了新型的弧光保护装置和弧光传感器,即在原有弧光保护采用弧光检测和过电流检测双判据原理上,增加三相电压合成零序电压(或外接零序电压)判据,形成弧光检测和过流或零序电压判据原理,可以解决单相接地弧光故障问题。通过采用紫外光波段的弧光传感器避免强光遇涌流的误动,同时还增加电缆室弧光故障的选择性跳闸功能,其技术路线可以有效解决前述三方面问题。

2 弧光保护技术原理

2.1 弧光传感器类型

电弧是通过电离的气体(空气)在带电体和地之间或带电体之间形成的短路,通常伴随产生电光、刺激性声音,并以电磁波形式辐射^[2],是一个非常复杂过程。

目前,可利用对电弧光、红外等特征的检测判断开关柜内是否有电弧产生,进而判断柜内是否有故障。在电力系统中技术最成熟、应用最广泛的电弧检测方法是通过检测电弧光来判断柜内的故障情况。当前常用的弧光传感器可分为如图 1 所示的 3 类。

不同类型的弧光传感器有各自的技术特性,其主要技术性能对比结果如表 1 所示。

2.2 弧光保护主要技术原理

弧光作为电弧变化最显著的特征量,具有变化速度快(以 ms 为单位)、监测最直观等特征。电弧光保护通常通过对开关柜内发生短路时产生的弧光

进行监测来判断柜内是否有故障产生。同时,为防止柜外光线对弧光保护系统的干扰,各厂家在保护系统中还以过流元件为闭锁信号,即只有同时满足弧光强度超过警戒值、过流元件动作时,弧光保护才会动作,既保证了保护动作的快速性,也保证了保护动作可靠性^[3]。

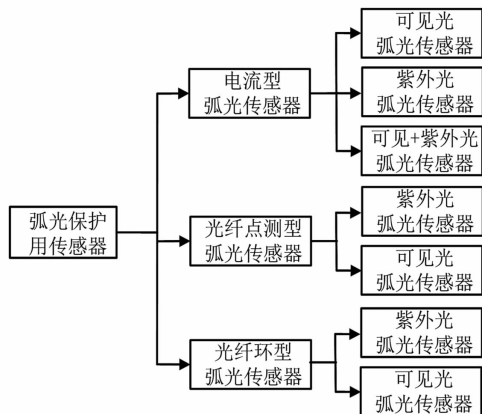


图 1 常用弧光传感器分类

按照当前弧光保护主要采用的技术原理分类,主要有以下 3 种判据方式:

1) 弧光、过电流检测双判据原理

基于对电力设备的在线监测技术^[4],当弧光保护同时检测到弧光信号、过电流(或电流突变量超过定值)时,弧光保护会动作并发出跳闸命令切除故障,通过对电弧光、电流信号的双判据,在保证保护动作时间的基础上也提高保护动作的可靠性。其保护逻辑如图 2 所示。

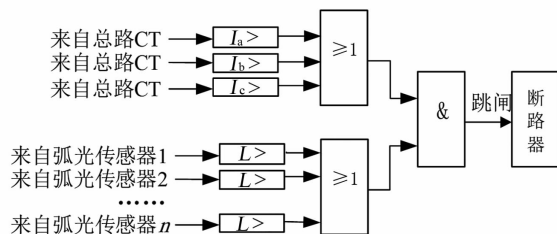


图 2 弧光、过电流检测双判据弧光保护逻辑

表 1 弧光传感器技术性能对比

类型	优点	缺点
电流型弧光传感器	1) 检测弧光信号就地转换为脉冲电流信号传输,检测精度高,传输无损耗,无老化衰减问题 2) 能具体定位弧光故障位置	1) 抗干扰技术要求高 2) 传感器故障更换导致的停电时间相对较短
光纤点测型弧光传感器	1) 检测弧光信号直接传输至采集装置,无源检测,没有电磁干扰 2) 能具体定位弧光故障位置	1) 检测精度低,光纤接触损耗大且不确定,信号随长度有衰减,光纤老化增加插入损耗 2) 传感器故障更换导致的停电时间相对较短
光纤环型弧光传感器	1) 整个光纤环都可检测弧光信号,无源检测,没有电磁干扰 2) 现场安装弧光传感器数量少,采集装置弧光通道也使用少	1) 不能定位弧光故障位置 2) 传感器故障更换导致的停电时间相对较长

2) 弧光、过电流、零序电流判据原理

在经阻抗接地系统中,若弧光保护原理仅使用弧光、过电流判据,单相接地故障的反应能力存在不足。需要引入零序电流判据,形成弧光检测和过电流检测或零序电流检测双判据原理,当发生相间弧光短路故障,或单相弧光接地故障时,弧光保护能够快速动作,切除故障,有效减轻电弧光对设备和人身的伤害。其保护逻辑如图3所示。

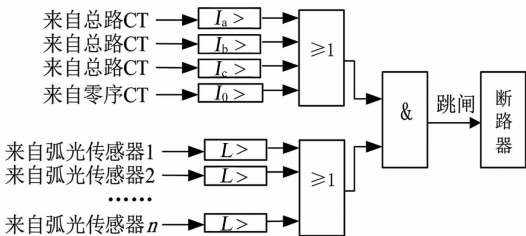


图3 弧光、过电流、零序电流判据弧光保护逻辑

3) 弧光、过电流、零序电压判据原理

在不接地系统中,可采用弧光检测和过电流检测双判据原理判别相间弧光短路故障。单相弧光接地故障时,接地故障电流较小,对总路电流的影响也较小,对采用弧光检测和过电流检测双判据原理的弧光保护而言,过流元件无法动作将导致弧光保护拒动,有必要增加零序电压(外接或相电压合成)作判据,形成弧光检测和过电流检测或零序电压检测双判据原理,可解决单相弧光接地故障问题,其保护逻辑如图4所示。

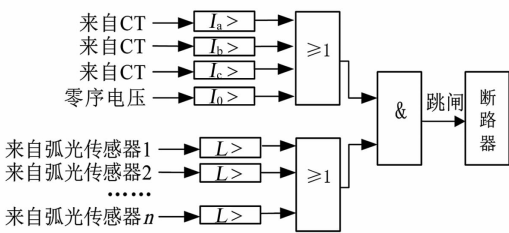


图4 弧光、过电流、零序电压判据弧光保护逻辑

2.3 不同弧光保护原理对配电网接地方式的适应性

不同原理弧光保护的差异主要体现在闭锁量选择上,不同闭锁量对不同配电网系统接地方式下弧光接地反应能力存在差异。对于相间弧光短路或两相弧光接地短路故障,相电流变化量较大,引入总路相电流,能起到有效的闭锁;但对配电网单相弧光接地故障,配电网的接地方式对闭锁量的影响非常大。不同原理弧光保护对配电网不同接地方式下单相接地故障的适应性如表2所示。

从表2可知,弧光+相过流判据对非直接接地

系统的单相弧光接地故障适用性最差,可能造成保护拒动;弧光+零序过流判据不适用于不接地系统,主要原因为零序电流无法采集总的接地电流,若用总路电流合成,误差会比较大,也不能代表总的接地电流;弧光+零序过压判据相对前面两种判据来说,适用性最强,灵敏度也更高。

表2 不同原理弧光保护对配电网不同接地方式下单相接地故障的适应性

类型	弧光+相过流	弧光+零序过流	弧光+零序过压
直接接地	适用	适用	适用
不接地	不适用	不适用	适用
经小电阻接地	不适用	适用	适用
经预调式消弧线圈接地	不适用	适用	适用
经随调式消弧线圈接地	不适用	适用	适用

3 弧光保护技术方案

3.1 弧光保护系统功能配置

弧光传感器的安装位置决定了弧光保护系统的保护范围。目前,根据弧光保护的主要保护范围形成了两种不同的功能配置方案:1)弧光保护系统仅实现母线保护功能;2)弧光保护系统在母线保护功能的基础上,增加出线电缆室弧光保护功能^[5]。

1) 母线弧光保护

母线弧光保护配置方案是在每一段母线安装一条光纤环型弧光传感器(包括间隔的断路器室),或者在每个间隔母线室和断路器室安装一只弧光传感器,同时采集进线间隔电流,实现对整条母线的保护。弧光保护装置跳闸出口作用于进线断路器和母联断路器。对于采用点测型弧光传感器,弧光保护装置可显示出故障发生的实际位置。对于采用光纤环型弧光传感器,故障位置需要在检查整条母线后才能确定。

2) 母线弧光保护+出线电缆室弧光保护

根据对开关柜故障位置分布情况的统计,开关柜电缆室的电缆连接处等部位是最易发生单相接地故障的部位,通常会产生产生电弧光。单相对地击穿易发展成两相或三相对地短路,产生更为严重的电弧光。发展为相间故障时,间隔过电流保护虽可动作,但此时设备已经产生比较严重的损坏。

该方案一般采用点测型弧光传感器,安装于母

线室、断路器室和线缆室,实现对开关柜的故障点全面监测。在母线室或断路器室发生弧光故障时,弧光保护作用于进线断路器或母联断路器。当线缆室发生弧光故障时,弧光保护作用于该馈线断路器。由于采用点测型弧光传感器,弧光保护装置可显示出故障发生的实际位置。

3.2 弧光保护系统功能集成方式

弧光保护功能集成有3种,分别是集中式弧光保护、分布式弧光保护、线路保护集成弧光保护功能,各自的技术特点如下:

1) 集中式弧光保护

集中式弧光保护装置采集多条进线电流,接入所有弧光传感器到一条弧光保护装置上。其具有只需安装一台装置、管理方便的优点,但也有现场施工困难、技改工程难度高等缺点。若配置线缆室弧光传感器,则跳闸需出口至每台馈线柜,对集中式弧光保护装置跳闸出口数量提出较高的要求,集中式弧光保护只适用于间隔比较少的母线。

2) 分布式弧光保护

分布式弧光保护采用主控单元加扩展单元的布置方式。主控单元负责采集进线电流及母线电压信号、部分母线室和断路器的弧光信号,剩余的母线室、断路器室等母线故障跳闸进线断路器或母联断路器弧光信号由扩展单元采集,扩展单元还负责采集线缆室弧光信号。结合主控单元采集的进线过电流信号或零序电压信号,跳闸馈线柜断路器。每台扩展单元可管理多条馈线柜的弧光故障,实现弧光保护功能。这种方式的保护系统现场施工简单、线缆较短、易于维护^[6]。

3) 线路保护集成弧光保护功能

在常规线路保护装置上增加弧光采集模块,结合采集的弧光信号与过电流信号,实现弧光保护功能。这类集成弧光保护对线缆室的弧光故障具有良好的保护性能,但CT一般安装在断路器室和线缆室间的隔板上,因此无法隔离间隔母线室、断路器室的弧光故障。

鉴于线路保护集成弧光保护功能的不足,有必要完善其母线弧光保护功能,实现对母线弧光故障的保护。可采用两种功能完善方式:1) 母线弧光保护与线路保护集成的弧光保护在功能上完全分开,母线室、断路器室的弧光信号全部接入母线弧光保护,线缆室的弧光信号接入集成了弧光保护的线路

保护装置,此种方式下,母线保护、线路保护功能明确,能实现对开关柜的完整保护;2) 母线弧光保护与线路保护集成的弧光保护在采集功能上不分开,母线弧光保护仅单独采用闭锁电量,所有的弧光信号由线路保护装置的采集,母线弧光保护与集成了弧光保护功能的线路保护装置需要建立快速通信机制,或采用开入开出节点方式,实施难度以及现场施工难度大。因此,线路保护集成的弧光保护功能只能作为线路保护的功能完善,不宜作为母线保护使用。

3.3 弧光母线保护与其他母线保护性能对比

1) 母线差动保护

母线差动保护是利用母线上所有支路电流相量实现区分母线内外故障及故障母线选择。母线差动保护的動作时间在10~20ms,能适用于各种运行方式,保护原理成熟、可靠性高^[7]。

2) 简易母线保护

简易母线保护基于间隔复压闭锁三段式过流保护,通过接入总路电流、分段电流和该段母线上馈线保护跳闸接点,利用电流和母线电压判别是否有故障,再通过该段母线上馈线保护跳闸接点开入来判断是否为母线故障。简易母线保护能缩短中低压母线故障时低压总路跳闸时间,且安装较为简单,可与主变压器后备保护共用CT绕组,无需对一次设备进行改造。

3) 保护性能对比

(1) 动作时间:母线差动保护和弧光保护动作时间远远优于简易母线保护。

(2) 设备及附件可靠性:母线差动保护优于简易母线保护,简易母线保护优于弧光保护。

(3) 保护范围:弧光保护大于母线差动保护,母线差动保护大于简易母线保护。

(4) 故障定位:点测型弧光保护可以实现定位,其余两种保护不能进行故障定位。

(5) 运行方式适应性:母线差动保护和弧光保护能适应各种运行方式,简易母线保护适应性较差。

4 结 论

根据对当前主要应用的弧光保护技术原理、技术方案以及主流弧光保护装置的调研,弧光保护装置及其应用情况总结如下:

个步骤分析内容和计算公式。最后,根据业务接入校核选出网络可靠性最高的设计方案,该方案简洁、扩展性高且易于管理。但所提方法并未考虑经济性,也并未对业务重要性进行赋值,认为业务重要程度相同。后续研究考虑将重要性和经济性作为约束条件,设计出更经济合理的设计方案。

参考文献

- [1] 霍雯雯. 贵州兴义地区电力调度数据网络拓扑结构研究[J]. 电工技术, 2018(5):57-60.
- [2] 陈志刚, 林承勋. 电力调度数据网组网分析及规划研究[J]. 华东科技(综合), 2019(11):281-281.
- [3] 电力调度数据网技术规范:DL/T 1306—2013[S], 2013.

(上接第16页)

1) 弧光保护动作速度快,对于 CT 改造困难、同时需要快速切除母线故障的变电站低压母线,将弧光保护作为母线保护使用,实现母线保护功能,是一种提升母线故障切除速度的有效技术手段。

2) 为防止弧光保护误动,目前的弧光保护大多增加电量闭锁,以主变压器低压侧的相电流闭锁为主,适用于相间和三相弧光短路、两相和三相弧光接地短路故障。

3) 若考虑母线单相弧光接地跳闸,相电流闭锁原理对不接地、消弧线圈接地、小电阻接地等配电系统不适应。目前,仅小部分弧光保护装置考虑了配电网接地方式对保护灵敏度的影响,增加了零序电流、零序电压判据,有利于提高单相弧光接地故障的反应能力。

4) 弧光保护弧光采集模式有3种形式,分别是电流型、光纤点测型、光纤带状型。从提高保护装置可靠性出发,光纤形式的采集装置远离强干扰源,有利于提高装置的可靠性。从故障定位需求看,点测型优于带状型,可以定位到产生弧光的具体位置。

5) 弧光保护集成方式可分为分布式和集中式。分布式的优势主要是便于扩展,对于有扩建需求的改造站,可以有效缩短施工作业停电时间。

通过对弧光保护应用情况、技术原理及技术方案的梳理,提出以下建议:

1) 目前各型号弧光保护的电量闭锁条件差异较大,在开展弧光保护的配置、选型时应合理选择。

2) 现阶段弧光保护技术标准、检测标准尚不完善,弧光保护装置检验仅有型式试验和厂内检测。

- [4] 钟健,余熙,王民昆,等. 四川电力调度数据网的设计及其应用[J]. 四川电力技术, 2008, 31(5):4-6.

作者简介:

黄显斌(1990),男,工程师,主要从事调度自动系统运行管理工作;

邓志森(1978),男,高级工程师,主要从事调度数据网运行管理工作;

喻显茂(1986),男,高级工程师,主要从事调度网络安全管理工作;

刘洵源(1994),男,助理工程师,主要从事调度自动化运行工作;

彭昊(1988),男,工程师,主要从事网络安全管理工作;

戴晨曦(1992),女,工程师,主要从事调度自动化运行管理工作。
(收稿日期:2021-09-13)

电力企业应对弧光保护装置开展功能及性能摸底测试,完善弧光保护装置配置方案,制定弧光保护技术规范,提出或推进相关国家、行业标准的修订。

3) 在电力企业中,弧光保护已试运行多年,因产品适应性、质量问题、现场运行维护能力等原因,弧光保护装置发生过误动、异常告警等问题,相关机构应进一步提升弧光保护的现场运行维护方法,研制实用的检测装置,制定现场运行维护检修的技术标准,提高母线故障的正确切除率。

参考文献

- [1] 艾绍贵,李秀广,黎伟,等. 配电网快速开关型消除弧光接地故障技术研究[J]. 高压电器, 2017, 53(3):178-184.
- [2] 李从飞,陈凡,鲁雅斌,等. DPR360ARC 弧光保护系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12):125-128.
- [3] 杨益民,关芳. 电弧光保护系统中低压开关柜中的应用[J]. 小水电, 2011(3):27-29.
- [4] 胡斌. 发电厂6 kV 厂用电系统电弧光保护的应用研究[D]. 北京:华北电力大学, 2011.
- [5] 吴志勇. 电弧光保护在电力系统的应用[J]. 四川电力技术, 2009, 32, (4):49-51.
- [6] 高卫东. 电弧光保护系统及应用分析[J]. 山西电力, 2010(6):8-10.
- [7] 杨奕,廖仕利,张柏年,等. 一种新型高压开关柜弧光检测与保护方案设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 29(9):111-115.

作者简介:

朱鑫(1989),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护技术研究工作。

(收稿日期:2021-08-31)