弧光保护的可靠性探讨

Study on the Reliability of Arcing Protection

周锦涛

Jintao Zhou

信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司华东分院
中国·江苏 无锡 214063
Eleventh Design and Research Institute of
Information Industry Technology Engineering Co.,
Ltd. East China Branch,
Wuxi, Jiangsu, 214063, China

【摘要】论文依据弧光保护的原理,从动作时间、动作判据方面探讨了弧光保护的可靠性,并与传统继电保护进行了对比,突出了其特点。

【Abstract】This paper discusses the reliability of arcing protection from the action time and action criterion according to the principle of arcing protection, and compares it with traditional relay protection, highlighting its characteristics.

【关键词】弧光保护;可靠性;传统

【Keywords】arcing protection; reliability; traditional

【DOI】10.36012/etr.v2i2.1153

1 引言

在当前工业企业配电系统中,6~35kV 的中低压开关设备用量大、范围广。导致了电网的系统容量不断增大,其结构也越来越复杂,同时,随着设备及制造系统智能化程度的不断提高,对电网智能化的要求也越来越高,这些都对继电保护提出了更高的要求。电气系统运行过程中,发生电弧短路故障是非常危险的。电弧故障会导致设备的严重损毁及人员的严重伤害。此时,需要一种能快速判别电弧故障,减少电弧故障持续的时间的装置^[1-2]。

有别于电气量的继电保护,弧光保护是通过光学传感器实时监测非电量弧光信号,传感器分布于开关柜的不同间隔中,能快速监测到弧光现象的形成,并在 1ms 时间内,瞬间给断路器一个出口跳闸信号,切除电源、消除电弧电路故障及短路电能扩散,经适当的检修后,就可以迅速恢复正常供电,损失也会大大降低^[3]。

本文将就弧光保护的動作时间、弧光强度判据、电流判据 3 方面来探讨弧光保护的可靠性。

2 弧光保护的原理

弧光保护通常采用弧光强度判据和电流判据来发出动作或告警信号,当两个判据同时满足时发出跳闸指令,当其中一个判据满足时,发出告警信号。其典型的逻辑原理图如图 1 所示。

3 弧光保护的可靠性分析

3.1 动作时间的可靠性分析

电弧故障所产生的能量大小直接决定了其破坏程度。主要由电弧电流及燃弧持续时间 2 个因素以 I^2t 成指数规律递

图 1 弧光保护典型原理逻辑图

增。所以,有效减少燃弧持续时间是保证弧光保护可靠性的关键。下面将分析电力系统中主要元件——开关柜、变压器的短路燃弧耐受时间及常规配置保护的動作时间与电弧故障切除时间的对比关系。

3.1.1 开关柜内部燃弧耐受时间

根据 IEC298 标准附录 AA 中规定:开关柜内部燃弧耐受时间为 100ms,IEEE C37.20.7 中也针对开关柜内部弧光故障规定了测试导则,目前,市场上大部分的开关柜都是参考了这个燃弧耐受时间 100ms,而从動作时间可靠性要求来看,小于 100ms 耐受时间的動作时间才是实际有意义的^[4,5]。

同时,由于开关柜为刚性连接,结构紧凑,空间有限,若切除时间过长,必然导致柜内其他附件也受到绝缘破坏的威胁,带来停电等更大的事故。所以,可靠的動作时间必须小于开关柜本身的设计耐受时间 100ms。

3.1.2 变压器的动热稳定时间

GB 1094.5—2016《电力变压器 第 5 部分 承受短路的能力》中规定,110kV 及以上电压等级的变压器的热稳定允许时间为 2s,动稳定时间为 0.25s。而传统的过流后备保护的動作时间通常都超过 2s,大大超过了其动稳定要求的时间。所以,当近区低压侧出口(低压母线)发生短路时,其过流后备保护动

作时间过长,远大于变压器允许承受的短路电流持续时间,需要一种动作时间能小于 0.25s(变压器允许动稳定时间)的保护来进行有效保护。

3.1.3 常规采用的中低压保护方案中的动作时间分析

目前,中低压常规设置的保护方式如下:

①变压器后备过流保护方案。典型的保护动作时间为 1.2~1.4s,因为需要考虑与馈线及母线分段开关的配合,满足阶梯性配合的原则,此时间太长,不满足要求。

②馈线过流保护闭锁变压器过流保护方案。典型的保护动作时间为 300~400ms,此时间同样无法满足快速切除电弧短路故障的要求。

③采用环流原理的高阻抗母线保护方案。典型的保护动作时间为 35~60ms,这是国际上常规采用的专用电流差动中压母线保护方案,加上断路器的分闸时间,相对于耐受时间 100ms 以内的要求,这一动作时间仍旧太长,同时价格也相对较高,也无法完全契合中压母线保护的要求。

3.1.4 弧光保护的典型动作时间分析

根据弧光保护的原理,其典型的动作时间约为 80ms,主要由弧光判据信息采集时间(约 0.5ms)、过流判据时间(约 1ms)、继电器接点闭合时间(约 0.5ms)、断路器分闸时间(约 50~80ms)几个部分相加而成,根据动作时间分析,采用弧光保护满足了 100ms 内切除故障的要求,从而可以有效保护中低压母线及变压器。

3.1.5 弧光保护动作时间分析小结

根据以上对比分析,当出现电弧故障时,传统的几种继电保护因动作时间过长,响应比较慢,很难保证电力系统中主要电力元件(变压器、主断路器、开关柜)的安全有效运行,采用弧光保护满足了 100ms 内切除故障的要求,可以有效保护中低压母线及变压器等主要电力元件。

3.2 弧光判据的可靠性分析

常规的弧光保护一般设定其弧光传感器的感光度在 8000~40000Lux 可调,这个感光度区间有效避免常规光线的干扰,避免误报警。可保证其可靠性。

3.3 电流判据的可靠性分析

3.3.1 电流定值设定依据

目前关于电流定值设定,主要参考标准为标准 DL/T 1504—2016《弧光保护装置通用技术条件》的附录 D(整定原则建议及运行维护说明):弧光保护应能接入进线电流或分断电流作为辅助判据,电流整定值按躲过实际最大负荷电流整定,推荐设置为 $1.1I_n \sim 1.3I_n$ 。

而弧光保护装置的产品说明书中,对于弧光保护的电流

整定值也给出了参考意见,主要有以下两种:一种是参考系统最大负荷电流来设定,其设定值应躲过系统的最大负荷电流;一种是参考系统最小短路电流来设定,其设定值应小于系统的两相短路电流(中性点非有效接地系统)或小于单相接地短路电流(中性点直接接地系统)。以下分别说明其电流设定方式。

3.3.2 按系统最大负荷电流设定电流保护定值

按上节说明:这种整定方式下,电流整定值推荐设置为 $1.1I_n \sim 1.3I_n$ 。

常规继电保护的整定计算非常复杂,为确保动作快速有效,弧光保护通常采用瞬时值等特殊算数,通过电流瞬时值或电流瞬时值与电流变化率 d_i/d_t 来快速计算电流幅值(有效值)。如下示例:

假定动作电流幅值为 2000A(有效值),按电流瞬时值的算法,设定值转为瞬时值时定值为: $i_{\text{setting}} = \sqrt{2} \times 2000 = 2828(\text{A})$ 。

此时,当系统某相短路故障时,且故障瞬间直流分量达 100%,则故障电流对称的初始值(有效值)为 1200A。此电流能达到的最大峰值为: $i = \sqrt{2} \times 1200 \times K_{\text{ch}}$ 。其中 K_{ch} 为峰值系数,远离发电厂时可取 1.8,则 $i = \sqrt{2} \times 1200 \times K_{\text{ch}} = 3054(\text{A}) > i_{\text{setting}}$ 。

由此例可看出,采用电流瞬时值算法整定的弧光保护,在某些特殊情况下(远端短路故障、变压器瞬间启动投入、电容投入涌流等),即使其流过的电流幅值未达到动作定值,也可能导致电流判据达到设定值而误动作。

所以,采用这种整定算法时,按推荐要求适当增大其设定电流,若取 $1.1I_n$,则 $i_{\text{setting}} = 1.1 \times 2828 = 3110.8(\text{A}) > 3054(\text{A})$,弧光保护不会误动作。

3.3.3 按系统出现的最小短路电流设定电流保护定值

为保证弧光保护能快速动作,切断开关设备内部的电弧短路故障,其切除动作越快越好,因为弧光故障的危害程度比较大;在保证快速性的同时,也必须保证其动作可靠性,避免保护误动作。这种情况下,弧光保护的电流定值通常按系统运行的最小短路电流进行选择。

假定流过电源侧电流互感器的最小短路电流对称初始值为 I''_{min} ,具体计算可以参照等效采用 IEC 60909 的国标 GB/T 15544—2017《三相交流系统短路电流计算》。需要注意计算最小短路电流的前提条件:选用最小电压系数 c ,参见表 1;选择电网结构及从电源和电网供给短路点的短路电流为最小时的供电方式;不考虑异步电动机的影响;计算线路阻抗时用较高温度时的电阻 R_t ,计算公式见式(1)。

$$R_t = [1 + 0.004(\theta_c - 20)] \times R_{120} \quad (1)$$

式中, R_{120} 为导线在 20℃时的阻值, Ω ; θ_c 为短路结束时的导线

表 1 电压系数 c 的选择

标称电压 U_n	计算最大短路电流的电压系数 C_{max}	计算最小短路电流的电压系数 C_{min}
220/380V	1.00	0.95
380/660V 和 1140V	1.05	1.00
3~35kV	1.10	1.00
35~220kV	1.10	1.00

注:电压系数 c 与标称电压 U_n 的积应不超过设备最高电压 U_m 。

温度, $^{\circ}\text{C}$; 0.004 是铜、铝和铝合金的温度系数, $1/\text{K}$ 。

假定系统的标称电压为 U_n , 系统的正序阻抗为 Z_1 , 负序阻抗为 Z_2 , 零序阻抗为 Z_0 。系统对称三相短路电流对称初始值为 I''_k , 两相短路电流对称初始值为 I''_{k2} , 单相接地短路电流对称初始值为 I''_{k1} 。短路电流对称初始值 I''_k 可按下式计算:

$$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_1} \quad (2)$$

对于两相短路, 正序阻抗 Z_1 等于负序阻抗为 Z_2 , 则:

$$I''_{k2} = \frac{cU_n}{|Z_1+Z_2|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_k \quad (3)$$

对于低压直接接地系统, 零序阻抗 Z_0 可按 3 倍正序阻抗 Z_1 计算, 则:

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_1+Z_2+Z_0|} = \frac{3}{5} I''_k \quad (4)$$

计算出系统最小三相短路电流 I''_{kmin} 后, 还需要根据以下情况, 选择可靠系数:

①典型的中压系统为中性点非有效接地系统。巨大能量的电弧故障有可能来源于两相弧光短路, 此类系统, I''_{kmin} 需乘以可靠系数 0.87。②典型的低压系统为中性点直接接地的系统, 巨大能量的电弧故障有可能来源于单相接地弧光短路, 此类系统, I''_{kmin} 需乘以可靠系数 0.6。③电弧电阻的存在, 会降低故障电流值, I''_{kmin} 需另外乘以可靠系数 0.5。④电流互感器(保护绕组)在流过准确限制系数倍数的电流时误差最大可达 10%, 此时 I''_{kmin} 需另外乘以可靠系数 0.9。

按上述公式, 对于典型的中性点非有效接地中压系统, 其电流定值可设定为: $I_{\text{trip}} = I''_{kmin} \times 0.87 \times 0.5 \times 0.9 = 0.39 \times I''_{kmin}$ 。

对于典型的低压中性点直接接地系统, 电流定值可设定为: $I_{\text{trip}} = I''_{kmin} \times 0.6 \times 0.5 \times 0.9 = 0.27 \times I''_{kmin}$ 。

式中, I''_{kmin} 为计算的最小三相短路电流对称初始值, I_{trip} 为计算电流判据的设定值。条件允许时, 尚应校核电流互感器在流过定值电流时是否会出现饱和现象。

3.3.4 电流判据可靠性分析小结

目前, 弧光保护采用的主要判据就是电流判据, 根据以上分析, 两种整定方法中: 当按系统最小短路电流来设定其保护电流定值时, 其短路阻抗计算比较复杂, 很难准确定值; 当按

系统最大负荷电流来设定电流定值时, 则相对简单且可靠。

4 结论

弧光保护的应用, 对电力系统而言, 能带来以下优势:

①减低弧光故障危害。消除了弧光产生故障可能对设备和人身产生的安全隐患, 保护运维人员人身和开关柜及柜内设备的安全, 延长现有电气设备的使用寿命, 并降低对配电网运维人员的伤害。有效地限制了弧光短路故障损坏开关设备及上级变压器, 防止电气火灾的发生及事故的进一步蔓延, 为企业节省了对设备的大量维护费用, 全面提升生产现场的作业水平, 达到安全生产的目的。

②拓展了传统继电保护的盲区。传统继电保护主要用于交流系统, 而对于直流系统及变流设备的保护, 传统保护所发挥的作用比较小, 且在有些场合, 因电流互感器安装位置限制, 无法采用传统过流保护, 弧光保护有效地解决了这些问题。

③简化了保护的整定计算。传统继电保护的整定计算是依据系统实际可能发生的最不利运行方式和故障类型来计算的, 必然难以满足系统所有运行工况的要求。特别当中低压开关柜内部母线室、电缆室、断路器室等发生电弧故障时, 传统保护常常误动或拒动, 而弧光保护一般以弧光采集系统为主, 电流采集系统为辅, 与上述的诸多因素无关, 整定计算比较简单。

④不需其他电量保护配合, 比较灵活。电力系统保护设计时, 传统的各级保护装置间的配合, 始终比较难协调, 且不同的负载投入时的影响(如变压器启动、大型电机投入、或其他冲击性负荷投入)和各种不同的工况的影响常常造成保护的误动或拒动。弧光保护应用比较灵活, 可不与传统电量保护进行配合。

⑤改善了系统时限级差。弧光保护用于馈线保护时, 不用考虑前后级时限级差 Δt 的配合, 尤其对比较复杂的辐射性网络接线及分散式接线系统, 具有较大的优势。能最大限度保证各级保护之间的选择性要求。

弧光保护作为继电保护发展的一个新的分支, 改进了传统保护的概念和理念, 有效扩展了传统保护的盲区, 并以其动作的快速可靠保证了电力系统运行的可靠, 避免了事故的扩大与蔓延, 必将成为继电保护家族的有益补充。

参考文献

- [1] 丁心志, 刘柱揆. 弧光保护装置运行与检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
- [2] 白忠敏. 电力用互感器和电能计量装置设计选型与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.