

丛日立, 安博, 王晓艳, 等. 雷击灾害下多级串联闪络保护器断线故障控制方法研究[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 47-52.
[CONG Rili, AN Bo, WANG Xiaoyan, et al. Study on the control method of break-line fault of multi-stage series flashover protector under lightning disaster [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 47-52. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.009.]

雷击灾害下多级串联闪络保护器断线故障控制方法研究^{*}

丛日立^{1,2}, 安博¹, 王晓艳¹, 康赫然^{1,3}

(1. 国网内蒙古东部电力有限公司经济技术研究院, 内蒙古 呼和浩特, 010020;

2. 国网内蒙古东部电力设计有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要: 输送电线路的多级串联闪络保护器在雷击灾害下, 容易出现断线、跳闸等情况, 对人类的工作与生活造成较大的影响。为此, 分析雷击及其雷击危害的性质, 获得雷击对输送电线路多级串联闪络保护器产生的危害。计算多级串联闪络保护器故障点、电源侧与负荷侧正序、负序以及零序等数据, 在故障点附近安装可调间隙保护装置先将雷电流导入大地, 间隙间电弧会在电磁力和风力等外力的推动下, 出现拉长形态后快速熄灭, 以此控制断线故障程度, 不出现严重损耗。对多级串联闪络保护器实行雷电冲击实验, 研究结果表明, 该方法控制后放电路径处于间隙之间, 在雷击灾害下, 保护间隙能够保障绝缘子的绝缘安全性, 有效避免多级串联闪络保护器断线故障导致炸裂等严重情况的出现。

关键词: 雷击灾害; 多级串联; 闪络保护器; 断线; 故障控制; 可调间隙保护

中图分类号: TM8; X43; X915.5 **文献标志码:** A; **文章标号:** 1000-811X(2019)04-0047-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.009

我国电力事业快速发展, 超高压、远距离输电逐渐广泛应用各大领域中, 大电网格局逐渐形成^[1]。我国地域宽广, 地形冗杂, 气候瞬息万变, 且跨越高寒山区的输电线路较多, 大多电网都备有多级串联闪络保护器, 用于防雷防灾^[2]。多级串联闪络保护器可理解为保护电网安全用电的装置, 其内置存在智能性防高压装置, 在电网遭到雷击灾害时, 能够开启内部保护装置, 保证用电安全。而在雷击灾害下, 多级串联闪络保护器也容易受到损坏, 会出现断线的事故, 这是导致输电设备非正常停止运行的主要因素^[3]。所以, 必须控制多级串联闪络保护器实行断线故障, 维护我国输电线路的安全运行。以往雷击灾害后, 输电线路多级串联保护器的断线故障排查主要通过人为完成, 而人为控制存在一定危险性, 且数据计算存在误差^[4]。本文深入探讨雷击灾害下多级串联闪络保护器断线故障控制方法, 通过故障特性分析方法准确计算雷击灾害下多级串联闪络保护器断线区的电压、电流等数据, 提高多级串联闪络保护器断线故障控制的安全性, 判断故障点,

并在故障点附近采用可调间隙保护装置完成多级串联闪络保护器断线故障控制。

1 多级串联闪络保护器断线故障控制

1.1 雷击危害的性质与对输送电路多级串联闪络保护器的危害

(1) 雷击及其雷击危害的性质

多级串联闪络保护器受到的雷击属于直击雷, 按照雷击形式的差异性可分成绕击雷与反击雷, 均对多级串联闪络保护器的安全存在较大威胁^[5]。因此, 控制雷击灾害下多级串联闪络保护器断线故障时, 必须准确分析雷击性质, 才可以获取较高的控制效果。若雷电击中配有多级串联闪络保护器的电线杆顶或者避雷线, 则可认为是反击雷电过压, 携带的电压强度与杆塔接地电阻、绝缘强度存在较高的关联性。反击雷过电压一般会出现于绝缘弱项, 不存在固定的闪络相别。因此,

* 收稿日期: 2019-05-17

修回日期: 2019-07-21

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2016MS0618)

第一作者简介: 丛日立(1973-), 男, 汉族, 内蒙古赤峰人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为输电线路设计。

E-mail: 1134215624@qq.com

控制反击雷过电压最有效的方法是降低杆塔的接地电阻,提高输电线路保护层的绝缘性,完成多级串联闪络保护器断线控制。

(2)雷击对输送电线路多级串联闪络保护器产生的危害

因为输送电线路绝缘性能劣,架线较高,雷击机率较大,而输送电线路多级串联闪络保护器在雷击的伤害下,容易出现断线、跳闸等情况,雷击断线会造成用户断点,维修耗时长,停电时间久,对人们的生活与工作存在较大的不便^[6]。

1.2 多级串联闪络保护器故障点、电源侧与负荷侧正序、负序以及零序等数据计算

当多级串联闪络保护器正常运行时,线路中的电压与电流属于正序分类,通过对称分量法的基本原理可知,仅有正序故障分量是在各种种类故障下都会出现^[7]。

按照叠加定理,多级串联闪络保护器出现断线不接地故障时,故障点的正、负序和零序电流

\dot{A}_1 、 \dot{A}_2 、 \dot{A}_0 依次是:

$$\dot{A}_1 = -\dot{A}_{a101} \frac{1}{\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_0}} \times \frac{1}{B_1} + \dot{A}_{a101}; \quad (1)$$

$$\dot{A}_2 = -\dot{A}_{a101} \frac{1}{\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_0}} \times \frac{1}{B_2}; \quad (2)$$

$$\dot{A}_0 = -\dot{A}_{a101} \frac{1}{\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_0}} \times \frac{1}{B_0}. \quad (3)$$

式中: \dot{A}_{a101} 表示多级串联闪络保护器正常运行时的 a 相电流;多级串联闪络保护器的正、负序和零序的总阻抗依次设成 B_1 、 B_2 、 B_0 。多级串联闪络保护器断线点的正序电流占据非故障电流的二分之三;对应的负序与零序电流通过阻抗 B_0 与 B_2 的反比按照正序电流判定^[8]。在多级串联闪络保护器出现故障时,按照上述计算方法便可判断多级串联闪络保护器断线的故障点。

在雷击灾害下多级串联闪络保护器出现断线故障时,电源侧符合断线故障的边界条件,负荷侧符合断线的边界条件,则:

$$\dot{A}_1^{(1)} = \dot{A}_2^{(1)} = \dot{A}_0^{(1)}; \quad (4)$$

$$\dot{C}_1^{(1)} + \dot{C}_2^{(1)} + \dot{C}_0^{(1)} = 0; \quad (5)$$

$$\dot{A}_1^{(2)} + \dot{A}_2^{(2)} + \dot{A}_0^{(2)} = 0; \quad (6)$$

$$\dot{C}_1^{(2)} = \dot{C}_2^{(2)} = \dot{C}_0^{(2)}. \quad (7)$$

式中:电源侧的正序、负序以及零序电流依次设成 $\dot{A}_1^{(1)}$ 、 $\dot{A}_2^{(1)}$ 、 $\dot{A}_0^{(1)}$;负荷侧的正序、负序以及零序的电流依次设成 $\dot{A}_1^{(2)}$ 、 $\dot{A}_2^{(2)}$ 、 $\dot{A}_0^{(2)}$;电源侧

的正序、负序以及零序电压依次设成 $\dot{C}_1^{(1)}$ 、 $\dot{C}_2^{(1)}$ 、 $\dot{C}_0^{(1)}$;负荷侧的正序、负序以及零序电压依次设成 $\dot{C}_1^{(2)}$ 、 $\dot{C}_2^{(2)}$ 、 $\dot{C}_0^{(2)}$ 。

按照三序电压均衡方程运算可知,电源侧与负荷侧的正序、负序以及零序电流依次是 $\dot{A}_1^{(1)}$ 、 $\dot{A}_2^{(1)}$ 、 $\dot{A}_0^{(1)}$ 、 $\dot{A}_1^{(2)}$ 、 $\dot{A}_2^{(2)}$ 、 $\dot{A}_0^{(2)}$,依次如公式(11)~公式(14)所示,假定:

$$B_\Sigma = B_1^{(1)} + B_2^{(1)} + B_0^{(1)} - \frac{B_1(B_2^{(1)} - B_0^{(1)}) + B_2(B_1^{(1)} - B_0^{(1)}) + B_0(B_2^{(1)} - B_1^{(1)})^2}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}; \quad (8)$$

$$N = \frac{B_0(B_1^{(1)} - B_2^{(1)}) + B_2(B_1^{(1)} - B_0^{(1)})}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}; \quad (9)$$

$$M = \frac{(B_1^{(1)} + B_2^{(1)} + B_0^{(1)})(B_2 + B_0) - (B_2^{(1)} - B_0^{(1)})^2}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}. \quad (10)$$

则存在:

$$\dot{A}_1^{(1)} = \dot{A}_2^{(1)} = \dot{A}_0^{(1)} = \frac{\dot{D}(1-N)}{B_\Sigma}; \quad (11)$$

$$\dot{A}_1^{(2)} = \frac{\dot{D}(\hat{N}-M)}{B_\Sigma}; \quad (12)$$

$$\dot{A}_2^{(2)} = \frac{(B_2^{(1)} - B_0^{(1)})\dot{A}_1^{(1)} - B_2\dot{A}_1^{(2)}}{B_0 + B_2}; \quad (13)$$

$$\dot{A}_0^{(2)} = -(\dot{A}_1^{(1)} + \dot{A}_2^{(1)}) = -\frac{\dot{D}(\hat{N}-M)}{B_\Sigma} + \frac{B_2\dot{A}_2^{(2)} - (B_2^{(1)} - B_0^{(1)})\dot{A}_1^{(1)}}{B_0 + B_2}. \quad (14)$$

式中:三序电压均衡因子设成 N 、 M ; B_Σ 表示阻抗总值;雷击灾害下,多级串联闪络保护器的故障点与电源侧正序、负序以及零序阻抗依次设成 $B_1^{(1)}$ 、 $B_2^{(1)}$ 、 $B_0^{(1)}$;多级串联闪络保护器的故障点 D 与负荷侧正序、负序以及零序阻抗依次设成 $B_1^{(2)}$ 、 $B_2^{(2)}$ 、 $B_0^{(2)}$ 。

在多级串联闪络保护器出现 a 相断线接地故障时,假定:

$$B_\Sigma = B_1^{(2)} + B_2^{(2)} + B_0^{(2)} - \frac{B_1(B_2^{(2)} - B_0^{(2)})^2 + B_2(B_1^{(2)} - B_0^{(2)})^2 + B_0(B_2^{(2)} - B_1^{(2)})^2}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}; \quad (15)$$

$$n = \frac{B_0(B_2^{(2)} - B_1^{(2)}) + B_2(B_0^{(2)} - B_1^{(2)})}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}; \quad (16)$$

$$M = \frac{(B_1^{(2)} + B_2^{(2)} + B_0^{(2)})(B_2 + B_0) - (B_2^{(2)} - B_0^{(2)})^2}{B_1B_0 + B_1B_2 + B_2B_0}. \quad (17)$$

则存在:

$$\dot{A}_1^{(1)} = \frac{M \dot{D}}{B_\Sigma}; \quad (18)$$

$$\dot{A}_2^{(1)} = \frac{(B_2^{(2)} + B_0^{(2)}) \dot{A}_1^{(2)} + B_2 \dot{A}_1^{(1)}}{B_0 + B_2}; \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_0^{(1)} &= -(\dot{A}_1^{(1)} + \dot{A}_2^{(1)}) \\ &= -\frac{M \dot{D}}{B_\Sigma} + \frac{B_2^{(2)} + B_2^{(2)} + B_2 \dot{A}_1^{(1)}}{B_0 + B_2}; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\dot{A}_1^{(2)} = \dot{A}_2^{(2)} = \dot{A}_0^{(2)} = \frac{M \dot{D}}{B_\Sigma}. \quad (21)$$

通过理论推理对比可知, 在雷击灾害下, 多级串联闪络保护器出现电源侧或负荷侧断线故障时, 都存在正序电流暂态分量高于负序分量; 同时正序电流暂态分量在全部类型故障时都存在; 并和正常运行时的电流方向相反^[9]。

1.3 可调间隙保护装置

基于所判断故障点, 在故障点附近安装可调间隙保护装置便可完成断线故障控制。

1.3.1 基本结构

绝缘子串、导线侧电极与接地侧电极建立了并联可调间隙保护系统。它在绝缘子串的两侧连接导线侧电极与接地侧电极, 在导线侧电极与接地侧电极间将空气为绝缘介质, 建立和绝缘子串并联的保护间隙, 让保护间隙的长度不大于绝缘子串的长度, 若多级串联闪络保护器遭到雷击时, 并联间隙里会出现放电通道^[10]。

可调间隙保护装置主要通过可调固定支架、接地球形电极、导线球状电极与固定金具建立^[11]。导线用于固定上下固定金具, 同时与导线球状电极相连, 导线和固定线夹与接线球状电极相连。通过可调固定支架, 在线路横担上承载接地球形电极, 维持接地状态。并变换螺丝调整间隙的大小, 让放电电压低于雷击击穿电压。

绝缘子串加装可调保护间隙结构图如图 1 所示。

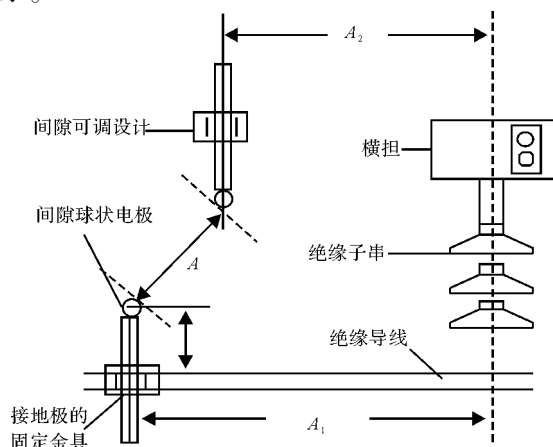


图 1 绝缘子串加装可调保护间隙图

1.3.2 保护控制原理

图 1 中间隙可调设计部分中间隙可调装置能够按照装置投入应用后的现实状况调整球状电极间的距离 A , 让它可以灵活调整间隙距离最终完成对多级串联闪络保护器线路、绝缘子的保护控制; 可调设计还能够经过逐次调整间隙间隔使多级串联闪络保护器的放电电压下降, 建立多组差异放电电压的保护间隙, 与站内和线路其他防雷装置实现综合保护控制^[12], 降低雷电入侵波对多级串联闪络保护器的伤害, 对断线故障进行及时控制^[13]。

雷击冲击电压时, 空气介质下 50% 多级串联闪络保护器电压的概率属于正态分布 q :

$$q = \int_{-\infty}^w \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{w - w_{50\%}}{\beta\sqrt{2}}\right] dw. \quad (22)$$

式中: w 表示放电两侧的电压峰值, $w_{50\%}$ 表示 50% 的闪络电压值, β 表示标准差。

将间隙的 50% 闪络电压设成 $w_{50\%}$, 绝缘子的 50% 闪络电压设成 $w_{i50\%}$ 。经计算可知, 若多级串联闪络保护器可调间隙的 50% 闪络电压, 是绝缘子 50% 闪络电压的 0.85 倍时, 可调间隙保护装置的间隙可以完成绝缘子安全保护^[14]。

若多级串联闪络保护器线路正常运行, 可调保护间隙在工频电场里, 因为工频电场强度不能让空气间隙击穿, 此刻间隙对多级串联闪络保护器线路的运行不存在干扰; 若多级串联闪络保护器线路受到雷电过电压的干扰时, 绝缘子串两侧便会承载较大的雷电过电压, 这时间隙会先将雷电流导入大地, 间隙间电弧会在电磁力和风力等外力的推动下出现拉长形态后快速熄灭, 以此便可控制断线故障程度, 不出现严重损耗。

2 模型检验及其分析

因为实际雷击灾害里, 大部分的雷电存在负极性, 所以, 使用 1.5/60 的负极性雷电波进行实验。对多级串联闪络保护器实行 50% 雷电冲击实验, 各个电压等级下, 反复进行 9 次冲击电压试验, 获取多级串联闪络保护器绝缘子的 50% 雷电放电电压 $w_{50\%}$; 于多级串联闪络保护器断线故障点两侧安装可调间隙防雷装置后, 分析其控制效果。表 1 是多级串联闪络保护器未使用本文模型时, 多级串联闪络保护器绝缘子 50% 雷电冲击电压数据。分析表 1 可知, 未使用本文模型控制前, 雷电灾害下, 保护器放电路径均是在多级串联闪络保护器绝缘子外表, 轻则会出现断线故障, 重则会出现炸裂。

表 1 多级串联闪络保护器绝缘子 50% 雷电冲击电压数据

是否安装可调间隙 防雷装置	冲击电压下多级串联闪络 保护器各级电压/kV	冲击电压分值 /kV	绝缘子闪络概率 /%	放电路径
否	14.1	106.5	0	/
	15.1	114.4	0	/
	16.1	122.7	8.4	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	17.1	129.3	8.4	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	18.1	137.0	25.1	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	18.6	141.8	33.4	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	19.1	145.5	41.7	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	20.1	152.3	75.1	多级串联闪络保护器绝缘子外表
	21.1	160.4	11	多级串联闪络保护器绝缘子外表

由于雷电冲击电压的过程较短，多级串联闪络保护器间隙的击穿具有放电延迟情况，只依赖 $w_{50\%}$ 冲击击穿电压来表示间隙雷击特征远远不足，必须通过多级串联闪络保护器的伏秒特征对它击穿特征进行分析。伏秒特征实验方法流程是：固定放电间隙间隔、固定冲击电压波形，并逐次提高电压让气隙出现击穿，绘制电压波形并采集击穿电压值 w 和击穿时间 e 的数据。多级串联闪络保护器绝缘子的伏秒特征实验数据如表 2 所示，将使用本文模型安装可调间隙防雷装置后的绝缘子实验数据绘制为伏秒特性曲线(图 2)。图 2 表示了多级串联闪络保护器被保护绝缘子与保护间隙的伏秒特征曲线，绝缘子伏秒特征曲线始终位于保护间隙伏秒特征曲线上方，电压过大，保护器安全性较低。同时结合表 2 数据可知，使用本文模型安装可调间隙防雷装置后的放电路径都处于间隙之间。因此，在雷击灾害下，过电时保护间隙能够优先保护绝缘子的绝缘，有效避免多级串联闪络保护器绝缘子由于雷击灾害而出现损害、炸裂等严重情况的出现。由此可见，本文模型的有效可行。

为进一步验证本文模型的性能情况，统计上述实验过程中本研究给出的模型、短路阻抗距离控制方法、基于半控桥的新型短路故障控制方法进行对比实验。

表 2 伏秒特征实验数据

冲击电压分值/kV	击穿时间/ μ s	放电路径
106.1	8.89	间隙间放电
114.2	4.59	
123.1	2.92	
129.3	1.75	
136.9	1.31	
141.7	1.12	
144.1	1.01	
152.2	1.01	
160.3	0.99	

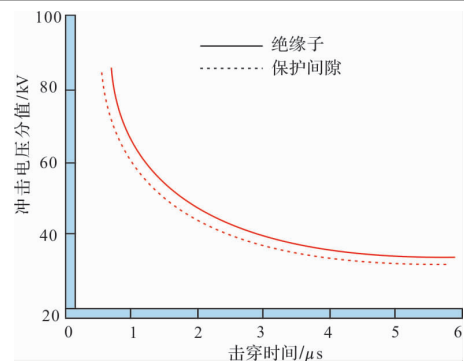


图 2 伏秒特征曲线

(1)跳闸率

将三种方法应用于相同多级串联闪络保护器断线故障控制中，并统计三种方法控制下多级串联闪络保护器线路跳闸率，三种方法的跳闸率对比结果如图 3 所示。

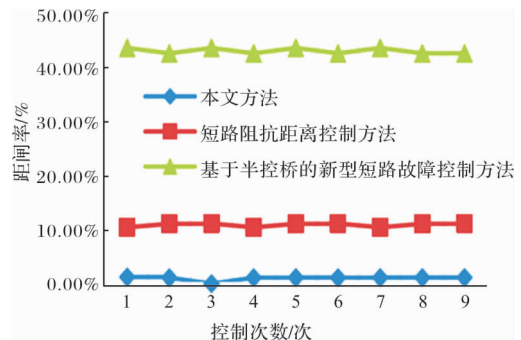


图 3 三种方法跳闸率对比结果

分析图 3 数据可知，上述实验过程中 50% 雷电冲击下，采用三种方法多次控制多级串联闪络保护器断线故障时，本文模型的跳闸率始终位于短路阻抗距离控制方法、基于半控桥的新型短路故障控制方法的下方，本文模型的跳闸率未超过 2%，跳闸率较小。

(2)控制效率

在 50% 雷电冲击下，多级串联闪络保护器断线故障的控制效率极为重要，若稍有不慎，电路将会产生炸裂等严重情况，从响应延迟与控制耗时两种角度分析三种方法的控制效率(表 3)。

表 3 三种方法的控制效率对比结果

控制次数/次	短路阻抗距离控制方法		基于半控桥的新型短路故障控制方法		本文模型	
	响应延迟	控制耗时	响应延迟	控制耗时	响应延迟	控制耗时
1	1.45	20.31	3.21	32.12	0.01	6.13
2	1.65	21.11	3.42	33.21	0.02	6.13
3	1.54	21.23	3.64	33.33	0.01	6.12
4	1.54	21.43	3.42	33.09	0.01	6.12
5	1.45	22.13	3.64	33.21	0.01	6.11
6	1.65	20.99	3.42	33.33	0.01	6.11
7	1.54	21.33	3.64	33.09	0.01	6.13
8	1.54	21.23	3.42	33.21	0.01	6.13
9	1.54	21.43	3.64	33.33	0.01	6.11
10	1.54	21.43	3.42	33.09	0.01	6.11
均值	1.54	21.26	3.49	33.11	0.01	6.12

ms

分析表 3 数据可知, 50% 雷电冲击下, 采用三种方法多次控制多级串联闪络保护器断线故障后, 短路阻抗距离控制方法的响应延迟与控制耗时两方面均值为 11.4 ms; 基于半控桥的新型短路故障控制方法的响应延迟与控制耗时两方面均值为 18.3 ms。本文模型的响应延迟与控制耗时两方面均值为 3.11 ms; 由此可知, 本文模型的控制响应延迟最小, 控制耗时最短, 在控制多次控制多级串联闪络保护器断线故障时的控制效率最高。

3 结论和讨论

本文深入研究雷击灾害下多级串联闪络保护器断线故障控制方法, 经验证 50% 雷电冲击下, 本文模型控制的多级串联闪络保护器跳闸率未超过 2%, 跳闸率较小, 且响应延迟与控制耗时两方面均值为 3.11 ms, 本文模型控制性能较同类控制方法显著。

除了本文模型外, 配有多级串联闪络保护器的输送电线路需要合理的布置避雷线与塔脚电阻, 电阻较大则输送电线路多级串联保护器的抗雷水平低, 合理的布置避雷线与塔脚电阻可以大大降低断线故障的出现机率, 有效降低雷击过电压的损害程度。

参考文献:

- [1] 王春义, 郝全睿, 高峰, 等. 三相串联 MMC 直流换流站在交流故障下的控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(11): 16-25.
- [2] 刘亚东, 孙集伟, 杨国生, 等. 断线故障对零序过流保护的

- 影响及保护新方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(7): 130-134.
- [3] 曹旭东, 李支园. 单元串联变频器 IGBT 故障诊断方法[J]. 电机与控制学报, 2016, 20(12): 9-16, 共 8 页.
- [4] 杨凯, 张认成, 杨建红, 等. 基于分形维数和支持向量机的串联电弧故障诊断方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(2): 70-77.
- [5] 王尧, 韦强强, 葛磊蛟, 等. 基于电弧电流高频分量的串联交流电弧故障检测方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(7): 191-197.
- [6] 郭凤仪, 李坤, 陈昌垦, 等. 基于小波近似熵的串联电弧故障识别方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(24): 164-172.
- [7] 曹晓斌, 易志兴, 陈奎, 等. 高速铁路馈线电缆雷电压过电压及防护措施[J]. 高电压技术, 2016, 42(2): 619-626.
- [8] 吴素我, 张焰, 苏运. 基于配用电数据关联的中压配电网断线故障诊断方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(7): 101-109.
- [9] Tenno R, Nguyen P. Multistage flash evaporator control in PDE representation[J]. IFAC - PapersOnLine, 2016, 49(24): 70-75.
- [10] 尹昌新, 李蕴, 陈平, 等. 分区互联装置桥臂闪络故障保护策略设计[J]. 电力建设, 2017, 38(2): 100-105.
- [11] Knust J, Stonis M, Behrens B A. Preform optimization for hot forging processes using an adaptive amount of flash based on the cross section shape complexity [J]. Production Engineering, 2016, 10(6): 1-12.
- [12] 赵越, 石立宝, 姚良忠, 等. 海上风电直流输电系统断线故障保护及恢复策略[J]. 电网技术, 2017, 41(6): 1703-1709.
- [13] Boukhriss M, Zhani K, Bacha H B. Optimization of membrane distillation (MD) technology for specific application desalination [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 88(1-4): 1-12.
- [14] 汤伟, 杨钺, 刘洋, 等. 串联补偿型故障电流限制器应用研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(22): 94-98.

Study on the Control Method of Break-line Fault of Multi-stage Series Flashover Protector under Lightning Disaster

CONG Rili^{1,2}, AN Bo¹, WANG Xiaoyan¹ and KANG Heran^{1,3}

(1. State Grid East Inner Mongolia Economic Research Institute, Hohhot 010020, China;

2. State Grid East Inner Mongolia Design Ltd., Hohhot 010020, China;

3. Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract: Under the condition of lightning strike, the multistage series flashover protector of transmission line is easy to break the line and trip, which has a great influence on the work and life of human beings. In this paper, the properties of lightning strike and its lightning damage are analyzed, and the harm of lightning strike to multi-stage series flashover protector of transmission line is obtained. The fault point of multistage series flashover protector, positive sequence, negative sequence and zero sequence of power supply side and load side are calculated, and the lightning current is first introduced into the earth by installing adjustable gap protection device near the fault point. The gap arc will be driven by electromagnetic force and wind force and other external forces, and then it will be elongated and extinguished quickly, so as to control the degree of broken line failure. There is no serious wear and tear. The lightning shock experiment is carried out on the multistage series flashover protector. The results show that the discharge path is between the gaps after the control of this method, and the protection gap can ensure the insulation safety of the insulators under the lightning strike disaster. Effectively avoid multi-stage series flashover protector broken line fault resulting in cracking and other serious cases.

Key words: lightning disaster; multi-stage series connection; flashover protector; disconnection; fault control; adjustable gap protection

+++++
(上接第 29 页)

Risk Assessment of Disaster Bearability Based on Psychological Pressure

DUAN Jiaqi^{1,2}, CHEN Yiwen^{1,2} and YANG Sha^{1,2}

(1. CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Beijing 100101, China;

2. Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: When assessing the disaster risk of people in disaster-stricken areas, we can first analyze the excavation of the affected population and the identification of the source factors of psychological risk. Through the algorithm of excavation of people with mental illness after a disaster based on information entropy, we can excavate the people with mental illness in the disaster-stricken areas. Reducing the scope of the assessment; Improved ISR stress model is used to determine the source factors of psychological risk and improve the accuracy of evaluation results. Finally, a risk assessment model based on psychological stress was constructed to evaluate the disaster risk tolerance of people with mental illness in the disaster area. In order to validate the effectiveness and performance advantages of the risk assessment model based on psychological stress, experiments were carried out. The results show that the model can effectively assess the risk of disaster withstandability of disaster-stricken population based on psychological pressure, and the evaluation complexity is less than 5%.

Key words: psychological stress; disaster; risk tolerance; assessment; information entropy; ISR stress model