

输电线路杆塔接地电阻对线路反击跳闸率影响研究

胡金殿¹, 王恒康¹, 赵宇欣¹, 徐敏杰²

(1. 云南电网有限责任公司丽江供电局, 云南 丽江 674100;

2. 云南宇恬防雷材料有限公司, 云南 昆明 650000)

摘要:随着输电线路建设运行规模的不断扩大,同一走廊的输电线路杆塔包含不同类型的塔头,从而导致杆塔不同类型塔头可能处于不同大气环境和土壤环境中,其接地电阻存在很大差异,因此有必要对不同塔头类型的杆塔在不同接地电阻值下的耐雷水平和反击跳闸率影响进行研究。建立了猫头塔、酒杯塔、鼓型塔等3种500 kV交流输电线路杆塔的反击闪络模型,并研究了3种塔头模型的杆塔接地电阻对线路反击耐雷性能的影响规律:酒杯塔与鼓型双回闪络规律类似,对鼓型单回闪络线路的影响最大,其次是鼓型双回闪络线路和酒杯塔,影响最小的是猫头塔。

关键词:猫头塔;酒杯塔;同塔双回鼓型塔;接地电阻;反击跳闸率

中图分类号:TM933 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2019)06-0014-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.06.004

Study on Influence of Grounding Resistance of Transmission Line Tower on Counterattack Trip-out Rate

Hu Jindian¹, Wang Hengkang¹, Zhao Yuxin¹, Xu Minjie²

(1. Lijiang Electric Power Supply Company, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Lijiang 674100, Yunnan, China;

2. Yunnan Yutian Lightning Protection Material Co., Ltd., Kunming 650000, Yunnan, China)

Abstract: Due to the expansion of EHV/UHV transmission lines, the probability of lightning strike on the line is increased, and the tower of the same line may be in different working environment. Therefore, it is necessary to study the influence of grounding resistance on lightning resistance performance of the lines. The back-flashover model for three kinds of towers are established, such as cat-head type tower, cup type tower and drum-shaped tower of 500 kV AC transmission lines. The influence regularity of grounding resistance of three models on lightning back-flashover performance is analyzed, that is, the flashover rules of cup type tower is similar to the drum-shaped double-circuit tower, and it has the greatest influence on the drum-shaped single-loop, followed by the drum-shaped double-circuit and the cup type tower, and it has the least influence on the cat-head type tower.

Key words: cat-head type tower; cup type tower; drum-shaped tower of double-circuit transmission line on the same tower; grounding resistance; counterattack trip-out rate

0 引言

近年来,超、特高压输电线路的规模迅速扩展,由于不同地理条件和输电走廊宽度的限制,线路杆塔的形式也多种多样^[1-3]。输电线路规模的扩大,在雷害高发区域,线路遭受雷击事故的概率将随之增加,雷击不仅会引起线路跳闸导致供电中断,同时也对电网安全稳定运行造成影响。因此针对不同塔

型线路的耐雷性能分析就显得格外重要^[4-8]。

由于超、特高压输电线路的里程比较长,其杆塔跨越的地理环境差异很大,故在一条线路中,杆塔的接地电阻存在很大差别^[9-10]。根据DL/T 620-1997^[11]标准的相关内容可以看出,绕击跳闸率主要与杆塔高度以及地线保护角等有关,并没有具体分析接地电阻对反击跳闸率的影响。然而杆塔接地电阻是最直接影响杆塔反击耐雷水平和反击跳闸率的因素。在同一走廊的输电线路杆塔包含不同类型的

塔头,从而不同类型塔头可能处于不同大气环境和土壤环境中,杆塔接地电阻存在很大差异。因此有必要对不同塔头类型的杆塔在不同接地电阻值下的耐雷水平和反击跳闸率进行研究。其实,针对线路反击有多种分析方法,但每种方法都有其对应的适用条件,因此对线路耐雷水平进行研究时需要考虑具体的现场运行环境,建立合适的反击模型^[11-15]。

下面建立了猫头塔、酒杯塔以及鼓形塔的仿真模型,并分析了3种模型条件下接地电阻对线路耐雷性能的影响,重点研究了3种塔头模型的跳闸率,定量分析了塔型对反击跳闸率的影响程度。

1 输电线路反击耐雷模型

1) 雷电流模型

雷电流模型采用的 Heidler 模型,波形取 2.6/50 μs,模拟表达式为

$$I = I_0 \frac{(t/t_f)^n}{1 + (t/t_f)^n} \exp(-t/t_h) \quad (1)$$

式中: I_0 为雷电流幅值; n 为电流陡度因子; t_f 为波前时间; t_h 为波长时间。根据公式(1)拟合的雷电流曲线如图1所示。

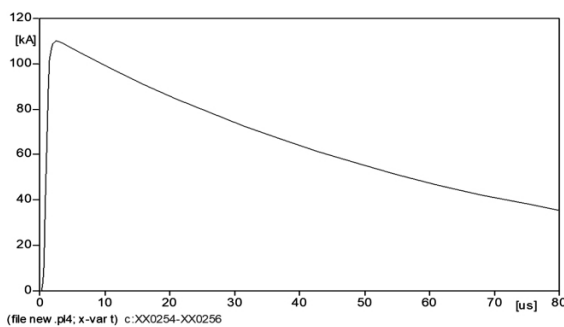


图1 雷电流波形

2) 杆塔模型

采用单波阻抗模型,波阻抗默认值取为规程推荐的 150 Ω,杆塔波速计算公式一般取:

$$v = c \frac{H}{H+L} \quad (2)$$

式中: c 为光速,取 3×10^8 m/s; H 为杆塔高度, m; L 为最长横担长度, m。

3) 绝缘子串的闪络模型

交流输电线路采用 JMarti 架空线模型,并采用绝缘子串压降分布与伏秒特性曲线的对比来分析闪络发生情况,如图2所示。

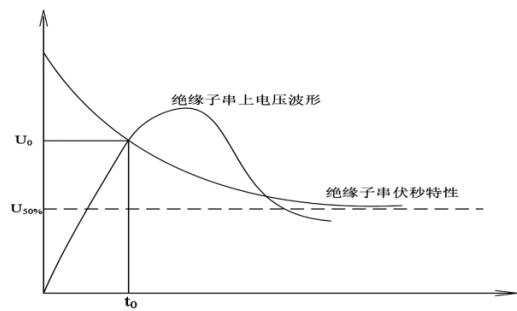


图2 闪络判断方法

4) 感应电压

采用场抵消法的简化算法,感应电压波形为

$$u_i(t) = \frac{V_m}{t_m - t_2} (t - t_2 + t') u_{(t-t_2+t')} - \frac{V_m}{t_m - t_2} \cdot \frac{2t_h - t_f}{2(t_h - t_f)} (t - t_2 + t') u_{(t-t_m+t')} \quad (3)$$

式中: V_m 为感应电压最大值; t_m 为峰值时间, $t_m = (1 + \frac{0.08}{\beta}) t_f$, β 为回击速度系数,一般 β 取 0.3 ~ 0.5; $t_2 = \frac{2(h_g + l_s)}{c_w}$, h_g 为避雷线平均高度, l_s 为先导长度, c_w 为雷电传播速度; $t' = \frac{l_s}{\beta c_w}$; $u_{(t-t_m+t')}$ 为 $(t - t_m + t')$ 时刻单位阶跃函数。

式(3)中的感应电压最大值计算公式为

$$V_m = 2.2 I^{0.4} h_c (1 - \frac{h_g}{h_c} k) \quad (4)$$

式中: h_c 为导线对地平均高度; k 为修正系数, $k = k_0 k_1$, k_0 为避雷线对导线的几何耦合系数, k_1 为电晕修正系数。

5) 反击跳闸率的计算

线路的反击跳闸率可表示为

$$N_1 = N \eta g P_{I_1} \quad (5)$$

式中: η 为建弧率; g 为击杆率; P_{I_1} 为雷电流超过 I_1 的概率; N 为每年每 100 km 线路雷击的总次数。

2 猫头塔反击跳闸率分析

2.1 线路参数

搭建 500 kV 用猫头塔,模型结构如下所示:

杆塔: 塔型 DFZ1, 呼高 32.5 m。

绝缘子串: 类型 XP-160。

导线: 型号 LGJQ-300, 直流电阻 0.108 Ω/km, 4 分裂, 导线半径 2.37 cm。

地线: 型号 LBGJ - 120 - 40AC 地线半径 1.425 cm ,
直流电阻 0.360 6 Ω/km
大地: 土壤电阻率 1000 Ω · m。

2.2 仿真模型

ATP 仿真模型如图 3 和图 4 所示。

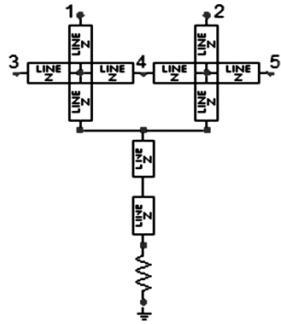


图3 500 kV 猫头塔与酒杯塔仿真模型

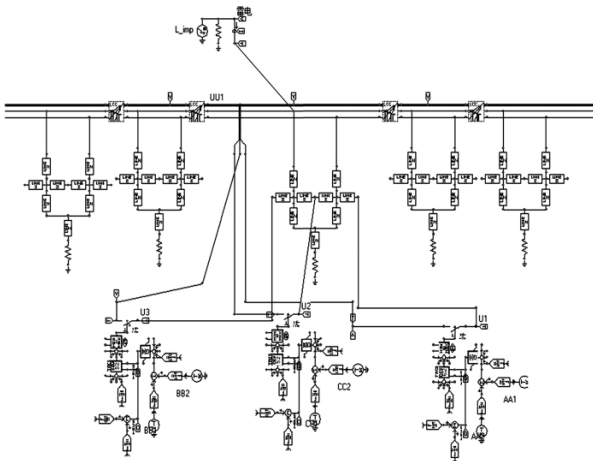


图4 500 kV 猫头塔与酒杯塔线路电路仿真模型

2.3 猫头塔反击耐雷性能分析

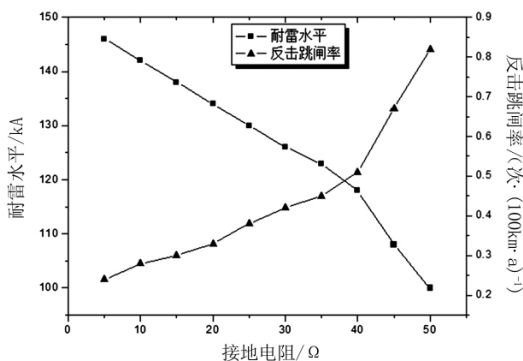


图5 猫头塔反击耐雷性能分析

对典型猫头杆塔进行仿真计算 接地电阻从 5 Ω 到 50 Ω 范围内 每次增加 5 Ω 计算结果如图 5 所示。当电阻由 5 Ω 增加到 15 Ω 反击耐雷电流由 146 kA 降至 138 kA; 当由 35 Ω 递增到 45 Ω 时 耐雷水平由 123 kA 下降至 108 kA 降值由 5.5% 升至 12.2%; 当电阻在

更大范围内增加 反击耐雷水平下降得更快。

此外 当电阻值由 5 Ω 上升到 15 Ω 反击跳闸率从 0.243 5 上升到 0.300 2 , 上升了 23.3%; 电阻值由 35 Ω 上升到 45 Ω 线路反击跳闸率从 0.444 5 上升到 0.658 2 , 上升 48.1%; 当电阻在更大范围内递增时 反击跳闸率增加的陡度会更大。

3 酒杯塔反击跳闸率分析

3.1 线路参数

搭建 500 kV 酒杯塔模型 模型参数如下所示。

杆塔: 塔型 ZB1 呼高 36 m

绝缘子: 型号 XP - 160

导线: 型号 LGJ - 300/25 直流电阻 0.0943 3 Ω/km 4 分裂 导线半径 2.376 cm

地线: 型号 GJ - 70 地线半径 1.425 cm 直流电阻 0.360 1 Ω/km

大地: 土壤电阻率 1000 Ω · m

3.2 仿真模型

500 kV 酒杯塔仿真模型及交流线路放着模型与猫头塔类似 主要差异在于各模块之间的几何尺寸 从而表现出阻抗的差异。

3.3 酒杯塔反击耐雷性能分析

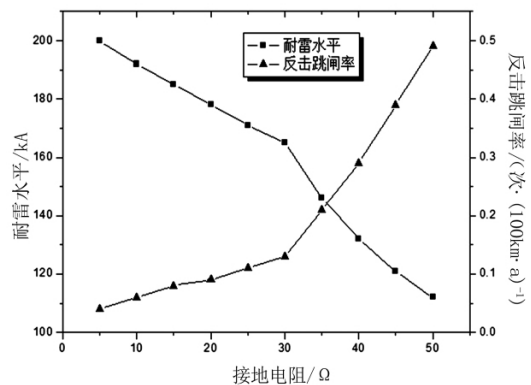


图6 酒杯塔反击耐雷性能分析

对典型酒杯塔进行仿真计算 接地电阻取从 5 Ω 到 50 Ω 范围内 每次增加 5 Ω 分析结果如图 6 所示。反击耐雷水平由 5 Ω 时的 200 kA 降至 15 Ω 时的 185 kA 减小约 7.5%; 当电阻值由 35 Ω 变化至 45 Ω 时 反击耐雷水平由 146 kA 将至 121 kA 减小了 17.1%。从仿真结果分析 接地电阻值变化相同时 酒杯塔的耐雷水平比猫头塔耐雷水平下降更明显。

对于典型的酒杯塔 当电阻值由 5 Ω 上升到 15 Ω ,

反击跳闸率从0.049 5上升到0.073 2,上升了47.8%;接地电阻值由35 Ω上升到45 Ω时,跳闸率从0.203 2上升到0.390 8,上升了92.3%;当杆塔接地电阻在更大范围内递增,反击跳闸率增加陡度会更大,这也意味着跳闸率增加的会更快。

4 同塔双回鼓型塔反击跳闸率分析

4.1 线路参数

搭建500 kV鼓型塔模型,参数如下所示。

杆塔:型号S1,呼高33 m

绝缘子:型号XP-300

导线:型号LGJ-630/55,直流电阻0.013 Ω/km,4分裂,导线半径3.432 cm

地线:型号LHAGJ-150/25,地线半径1.71 cm,直流电阻0.229 19 Ω/km

大地:土壤电阻率1000 Ω·m

4.2 仿真模型

500 kV双回鼓型塔ATP仿真模型见图7和图8。

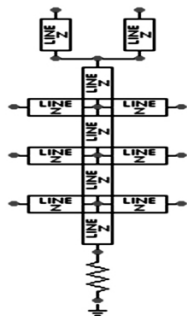


图7 500 kV同塔双回鼓型塔仿真模型

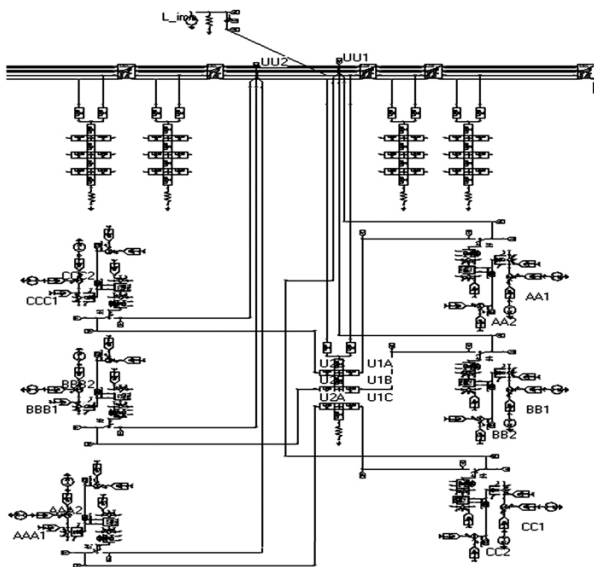


图8 500 kV同塔双回鼓型塔线路仿真模型

4.3 鼓型塔反击耐雷性能分析

图9给出了同塔双回鼓型杆塔模型条件下,单回及双回闪络情况下的耐雷性能分析。

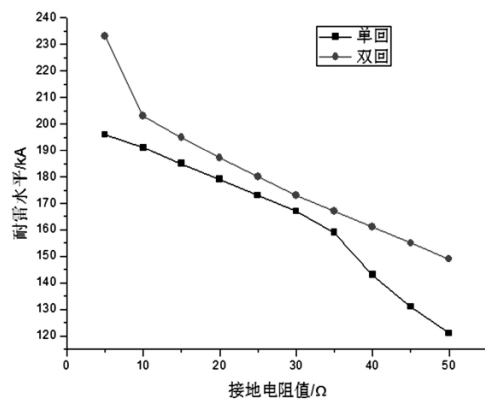


图9 鼓型塔耐雷水平分析

当电阻值由5 Ω递增至15 Ω时,单回闪络耐雷水平下降了约5.6%,双回闪络下降约16.3%。当电阻由35 Ω增加至45 Ω时,线路的单回闪络情况耐雷水平由159 kA降至131 kA,降低了17.6%;双回闪络情况由167 kA下降到155 kA,降低了7.2%。

从图10鼓型塔反击跳闸率分析可以看出,当接地电阻值由5 Ω上升到15 Ω,单回线路闪络反击跳闸率从0.079 4上升到0.105 9,上升了33.4%;双回线路闪络反击跳闸率从0.030 2上升到0.081 5,上升了169.9%。电阻值由35 Ω上升到45 Ω,鼓型单回线路闪络反击跳闸率从0.209 2上升到0.435 2,上升了108%;双回反击跳闸率从0.169 7上升到0.232 2,上升了36.8%。

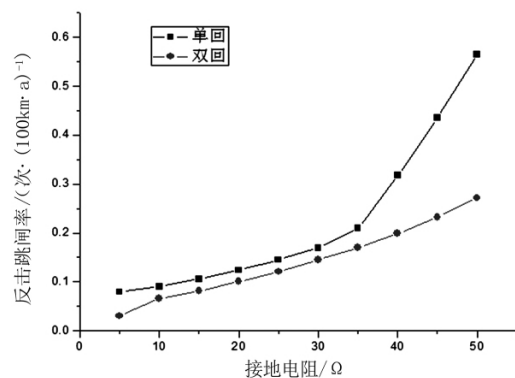


图10 鼓型塔反击跳闸率分析

5 不同塔头模型的反击跳闸率对比分析

对比分析了猫头塔、酒杯塔、鼓型单回以及鼓型双回闪络模型下接地电阻变化对反击跳闸率的影响,如表1所示。

表1 不同塔型对线路反击的影响

塔型	反击耐雷水平 下降比例/%		反击跳闸率 上升比例/%	
	5~15 Ω	35~45 Ω	5~15 Ω	35~45 Ω
猫头塔	5.5	17.1	23.3	48.1
酒杯塔	7.5	17.1	47.8	92.3
鼓型单回	5.6	17.6	33.4	108.0
鼓型双回	16.3	7.2	169.9	36.8

不同塔型反击跳闸率对比如图11所示,酒杯塔反击跳闸率的规律与鼓型双回闪络情况类似。鼓型单回闪络情况的反击跳闸率最大,其次是鼓型双回闪络和酒杯塔,影响最小的是猫头塔。

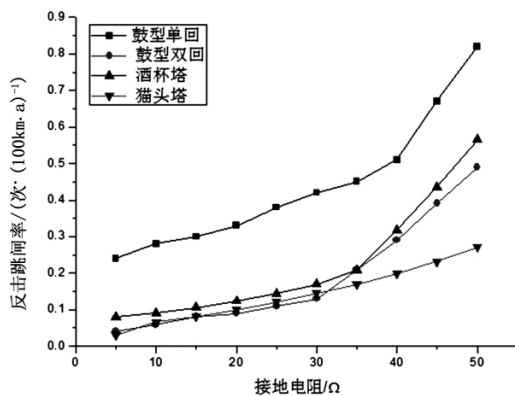


图11 不同塔型反击跳闸率的对比

6 结 语

前面根据具体的运行参数,建立了500 kV猫头塔、酒杯塔、同塔双回鼓型塔3种杆塔的ATP电气仿真模型和相应线路的仿真模型,并进行研究,得出以下结论:

1) 通过理论计算研究了3种塔头模型下接地电阻对耐雷性能的影响,并得出其规律:接地电阻与反击耐雷水平负相关,与跳闸率正相关,当电阻在更大范围内递增时,反击耐雷水平下降的陡度以及跳闸率增加的陡度会更大;酒杯塔的耐雷水平受接地电阻的作用比猫头塔更敏感。

2) 对比分析多种塔型耐雷性能的影响,酒杯塔反击跳闸率的规律与鼓型双回闪络情况类似。鼓型单回闪络情况的反击跳闸率最大,其次是鼓型双回闪络和酒杯塔,影响最小的是猫头塔。

参考文献

[1] 国家电网公司. 国家电网公司2005—2010年架空输

电线路运行分析报告[R]. 北京: 国家电网公司生产技术部, 2011.

[2] 张永记, 司马文霞, 张志劲. 防雷分析中杆塔模型的研究现状[J]. 高电压技术, 2006, 32(7): 93-98.

[3] 范冕, 万磊, 戴敏, 等. 1000 kV/500 kV特、超高压同塔4回交流输电线路雷电性能仿真分析[J]. 高电压技术, 2013, 39(3): 584-591.

[4] 郭小筱. 东莞电网220 kV同塔多回架空线路防雷技术应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.

[5] 岳灵平, 陆利平, 章旭泳, 等. ±500 kV宜华直流输电线路雷电性能评估研究[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 161-165.

[6] 卢黎明, 龚小燕. ±800 kV特高压直流输电线路防雷接地设计浅议[J]. 云南电力技术, 2018, 46(6): 51-53.

[7] 李汉明, 陈维江, 詹铭, 等. 220/110 kV同杆四回线路耐雷性能的研究[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 27-30.

[8] 周浩, 赵斌财, 王东举, 等. 500/220 kV同塔四回线路的耐雷性能研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(10): 2075-2080.

[9] 彭向阳, 李振, 李志峰, 等. 杆塔接地电阻对同塔多回线路防雷性能的影响[J]. 高电压技术, 2011, 37(12): 3113-3119.

[10] 王东举, 周浩, 陈稼苗, 等. 特高杆塔的多波阻抗模型设计及雷击暂态特性分析[J]. 电网技术, 2007, 31(23): 12-16.

[11] 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合: DL/T 620-1997[S], 1997.

[12] 莫付江, 陈允平, 阮江军. 输电线路杆塔模型与防雷性能计算研究[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 81-84.

[13] 孙义豪, 司马文霞, 杨庆, 等. 1000 kV/500 kV同塔混压4回输电线路的防雷性能[J]. 高电压技术, 2011, 37(9): 2102-2110.

[14] 苏杰, 曹炯, 姜文东, 等. 220 kV/110 kV同塔四回输电线路双回同时闪络耐雷性能及防治[J]. 陶瓷避雷器, 2013, 05: 90-96.

[15] 梁义明, 葛栋. 同塔多回线路防雷计算中的杆塔模型[J]. 高电压技术, 2006, 32(1): 76-78.

作者简介:

胡金殿(1982) 工程师, 从事输电线路运行检修管理工作;
王恒康(1989) 工程师, 从事输电线路运行检修相关工作;
赵宇欣(1983) 工程师, 从事输电线路设计运行检修相关工作;
徐敏杰(1990) 助理工程师, 从事防雷研究相关工作。

(收稿日期: 2019-07-09)