

覆冰区220 kV典型输电线路杆塔反击跳闸率仿真分析

为了更好地评估山区输电线路杆塔的防雷性能,降低其雷击跳闸率,以10 mm、15 mm和20 mm不同冰区的输电杆塔为研究对象,简要介绍了其典型塔型结构,利用电力系统电磁暂态仿真软件(PSCAD)对三种冰区塔型进行仿真分析,计算其反击跳闸率,并从杆塔接地电阻、杆塔高度两个影响因素进行分析研究。结果分析显示:承载覆冰量越大的杆塔,其耐雷水平越大,反击跳闸率越低。杆塔高度越高,接地电阻越大的杆塔,其反击跳闸率越大。

张 弦¹ 李笑怡¹ 李汉威² 唐 伟¹ 雷 伟¹/1.中国葛洲坝集团电力有限责任公司武汉设计院 2.国网湖北省电力有限公司检修公司宜昌运维分部

0 引言

准确地评估输电线路的耐雷水平对不同的线路采取有针对性的防雷措施至关重要,处于丘陵地带的线路,由于山区湿度较大,针对不同高程的线路,覆冰量不同,电力部门会设置不同类型的输电杆塔。因为山区海拔较高,线路易遭受雷击,引起线路跳闸。

110 kV电压等级以上的输电线路由于线路绝缘和杆塔高度的差异,防雷侧重点会不同,110 kV和220 kV主要防止输电线路遭受雷击反击,而500 kV绝缘水平较高要防止雷电绕击到线路上。反击时,输电线路雷击物理过程可描述为:雷击杆塔或单根避雷线时,雷电流通过杆塔入地,塔顶电位增加,导致绝缘子闪络引起线路跳闸的故障^[1-3]。

计算输电线路跳闸率对提高线路的供电可靠性和保证电网安全稳定运行具有重要参考意义。本文通过PSCAD电磁暂态仿真软件建立输电线路杆塔模型,并对不同冰区的不同高度塔型进行仿真

分析。

1 多冰区典型输电线路杆塔介绍

本文选用湖南某地区220 kV线路,线路途经地区分为低山丘陵、山地和高山,沿线植被茂密,覆冰厚度分别为10 mm、15 mm和20 mm。根据工程实际需要,本文仿真选用了10 mm冰区单回路和双回路杆塔各一套,15 mm冰区杆塔一套,20 mm冰区杆塔一套^[4-5]。

为有效利用杆塔高度,本文选用10 mm冰区杆塔如图1所示,直线塔基本塔型为SZ101,耐张塔基本塔型为SJ101,均为鼓型塔。

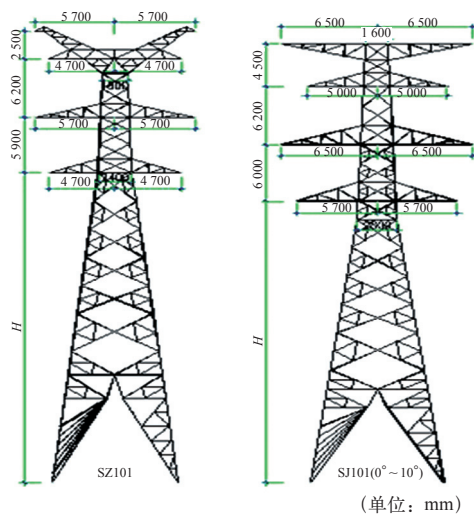


图1 10 mm冰区双回路杆塔单线图

导线采用 $2 \times \text{JLHA3}-340$ 钢芯铝绞线,分裂间距400 mm;一根避雷线采用 $\text{JLB35}-120$ 铝包钢绞线,另一根避雷线采用 $\text{OPGW}-120$ 。线路平均档距按350 m考虑。绝缘子串长2.88 m,绝缘子绝缘距离为2.40 m;导线弧垂约10.3 m,避雷线



张 弦/助理工程师

关键词/Keywords

输电杆塔·
覆冰区·
反击跳闸率·
PSCAD·

弧垂约9.4 m。

10 mm冰区单回路直线塔为“酒杯型”ZB101，耐张塔为“猫头型”跳线上绕耐张塔J101，其基本尺寸如图2所示。

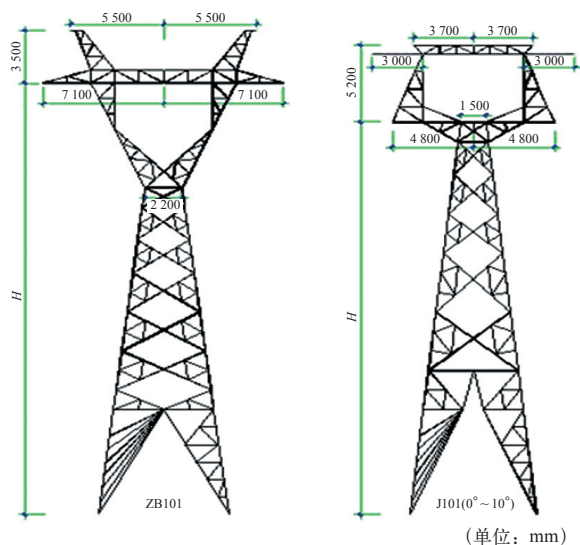


图2 10 mm冰区单回路杆塔单线图

导线采用 $2 \times \text{JLHA3}-340$ 钢芯铝绞线，分裂间距400 mm；一根避雷线采用JLB35-120铝包钢绞线，另一根避雷线采用OPGW-120。线路平均档距按350 m考虑。绝缘子串长2.88 m，绝缘子绝缘距离为2.40 m；导线弧垂约10.3 m，避雷线弧垂约9.4 m。

15 mm冰区单回路直线塔基本塔型为“下字型”ZX151和“酒杯型”ZB151，耐张塔基本型式为“单柱型”J151，其基本尺寸如图3所示。

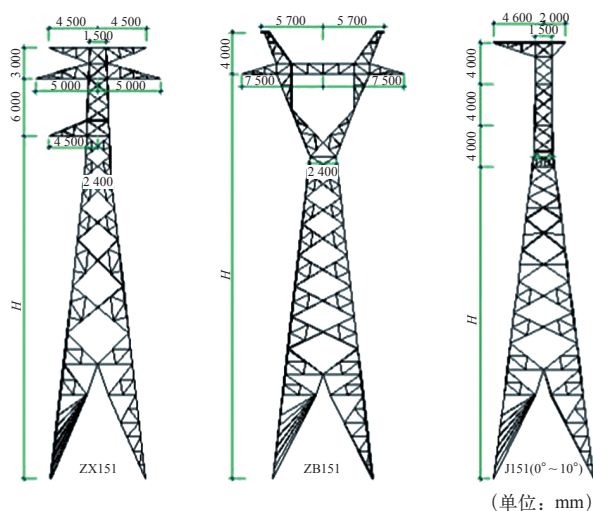


图3 15 mm冰区单回路杆塔单线图

导线采用 $2 \times \text{JLHA3}-340$ 钢芯铝绞线，分裂间距400 mm；一根避雷线采用JLB20A-120铝包钢绞线，另一根避雷线采用OPGW-120。线路平均档距按350 m考虑。绝缘子串长2.88 m，绝缘子绝缘距离为2.40 m；导线弧垂约13.5 m，避雷线弧垂约13.2 m。

20 mm冰区双回路直线塔基本型式为“下字型”ZX201和“酒杯型”ZB201，耐张塔为“单柱型”J201，其基本尺寸如图4所示。

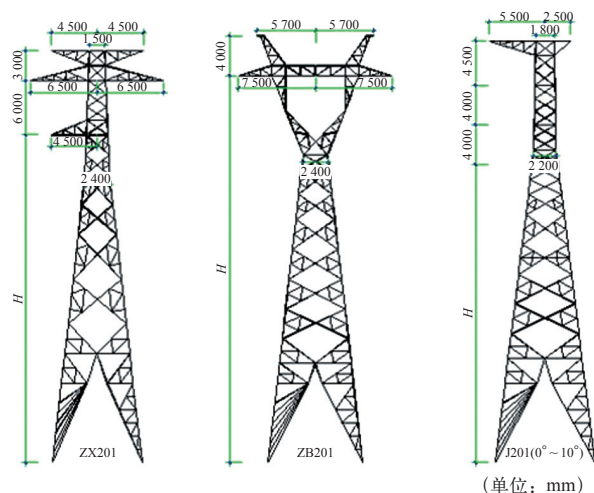


图4 20 mm冰区单回路杆塔单线图

导线采用 $2 \times \text{JLHA56.5}-340$ 钢芯铝绞线，分裂间距400 mm；一根避雷线采用JLB20-120铝包钢绞线，另一根避雷线采用OPGW-120。线路平均档距按350 m考虑。绝缘子串长2.88 m，绝缘子绝缘距离为2.40 m；导线弧垂约16.3 m，避雷线弧垂约14.9 m。

依据山地的地形特点，分别对10 mm冰区、15 mm冰区和20 mm冰区不同杆塔的反击耐雷水平进行计算。

2 仿真模型及计算公式

通过PSCAD电磁暂态仿真软件根据线路杆塔实际数据，建立雷电过电压仿真模型，仿真模型分为以下五个模块^[6]。

2.1 各模块及参数设定

2.1.1 雷电波模型

雷电波形采用标准双指数波形，双指数函数为

$$I = AI_m[\exp(\alpha t) - \exp(\beta t)] \quad (1)$$

波形为2.6/50 μs，其中： $\alpha = -15\,900$ ， $\beta = -712\,000$ ， $A = 1.115\,7$ 。电流幅值 I_m 为50 kA，雷电流波形如图5所示。

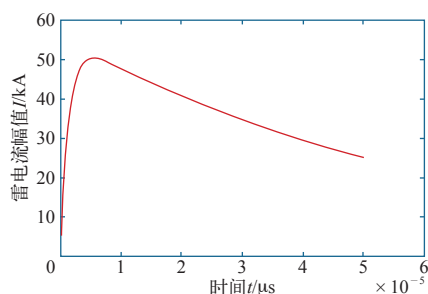


图5 雷电流波形

2.1.2 杆塔模型

根据本文所用的杆塔结构参数，建立杆塔多波阻抗模型，如图6所示。

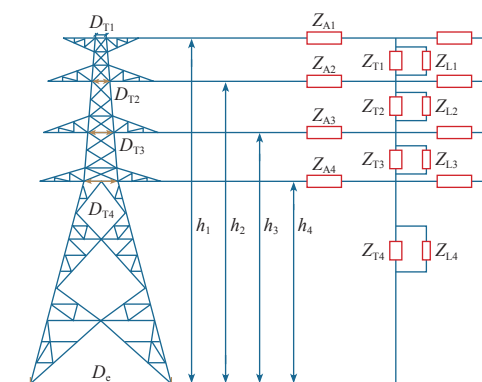


图6 输电杆塔的波阻抗模型

图6中， Z_T 为杆塔的主支架阻抗； Z_L 为杆塔的主支柱支撑架波阻抗； Z_A 为杆塔的横担波阻抗。

2.1.3 负载模型

负载模型如图7所示。

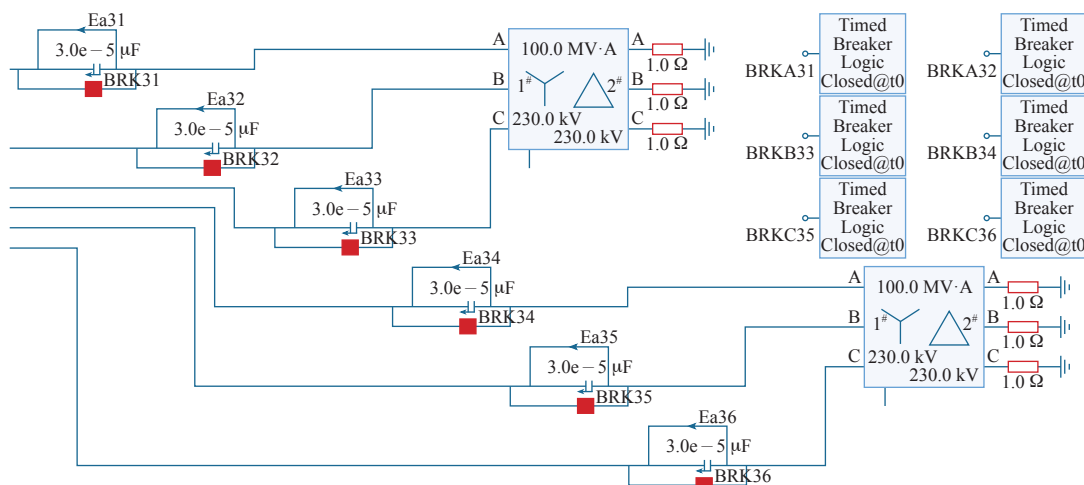


图7 负载模型

2.2 计算公式

导线绝缘子串的雷电冲击耐受电压为1 050 kV，当雷电流值为128.0 kA时，A相超过了绝缘子串临界击穿电压，B相、C相低于绝缘子串临界击穿电压。

超过雷电流幅值 I 的概率为

$$P_1 = 10^{-\frac{I}{44}} \quad (2)$$

雷电反击跳闸率可按式(3)计算

$$N = N_L \eta g P_1 \quad (3)$$

式中， N 为线路雷电反击跳闸率，次/(100 km·a)；

N_L 为落雷次数； η 为建弧率； g 为击杆率。

击杆率 g 与避雷线根数和地形有关，对于本工程，采用如表1所示的数据^[7-9]。

表1 击杆率

避雷线根数	1	2
山丘	1/3	1/4

3 计算结果及分析

3.1 线路反击跳闸率计算

设定档距为350 m，杆塔冲击接地电阻为10 Ω，

保护角分别取0°、10°和15°。对不同杆塔呼高，杆塔的反击耐雷性能进行计算^[10]。

3.1.1 10 mm冰区双回路塔反击跳闸率计算

计算结果如表2和表3所示。

表2 SZ101不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	1.379 2
	10	1.415
	15	1.426 4
27	0	1.777 1
	10	1.828 3
	15	1.843 5
33	0	2.276 9
	10	2.345 6
	15	2.348 7

表3 SJ101不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
18	0	0.856 5
	10	0.868 1
	15	0.883 6
24	0	1.093 1
	10	1.115 2
	15	1.139 5
30	0	1.405
	10	1.439 6
	15	1.474 1

3.1.2 10 mm冰区单回路塔反击跳闸率计算

计算结果如表4和表5所示。

表4 ZB101不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.572 2
	10	0.561 9
	15	0.561 7
27	0	0.773 5
	10	0.763
	15	0.764 9
33	0	1.043 6
	10	1.033 1
	15	1.036 9

3.1.3 15 mm冰区单回路塔反击跳闸率计算

不同杆塔呼高的反击耐雷性能如表6、表7和表8所示。

表5 J101不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.349 6
	10	0.348 8
	15	0.353
27	0	0.475 2
	10	0.476 8
	15	0.484 3
33	0	0.647 8
	10	0.652 6
	15	0.664 3

表6 ZX151不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.915 6
	10	0.921 2
	15	0.930 1
27	0	1.215 5
	10	1.228 7
	15	1.243 5
33	0	1.607 4
	10	1.63
	15	1.652 8

表7 ZB151不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.541 3
	10	0.530 6
	15	0.529 8
27	0	0.731 2
	10	0.719 2
	15	0.720 2
33	0	0.981 4
	10	0.970 2
	15	0.973 6

表8 J151不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
18	-15	0.822 3
24	-15	1.106 6
30	-15	1.478 7

3.1.4 20 mm冰区单回路塔反击跳闸率计算

不同杆塔呼高的反击耐雷性能如表9、表10和表11所示。

表9 ZX201不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.858 6
	10	0.854 2
	15	0.863 1
27	0	1.148 5
	10	1.161 7
	15	1.176 5
33	0	1.540 4
	10	1.563
	15	1.585 8

表10 ZB201不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
21	0	0.477 2
	10	0.466 8
	15	0.465 6
27	0	0.665 1
	10	0.654 3
	15	0.654 8
33	0	0.911 2
	10	0.900 1
	15	0.896 4

表11 J201不同呼高输电线路的反击耐雷性能

呼标高/m	地线保护角(°)	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
18	-15	0.773 4
24	-15	1.056 3
30	-15	1.424 3

3.2 计算结果分析

由以上仿真结果分析得出。

1) 根据不同冰区设计的杆塔,对比10 mm、15 mm和20 mm冰区的输电杆塔,承载覆冰量越大的杆塔,其耐雷水平越大,反击跳闸率越低。双回路杆塔的雷击跳闸率比单回路杆塔的雷击跳闸率高,这是因为双回线路杆塔上线路布置比单回多,引雷面积更大。

2) 对比同一塔型不同的高度,随着杆塔高度的增加,雷击跳闸率增加。随着杆塔高度增加,雷击塔顶后雷电冲击波沿着塔传播的折反射时间增加,以致横担电位增高,造成线路反击。杆塔越高,引雷面积越大,更易造成线路雷击跳闸。

3) 同一冰区的输电杆塔,根据国家电网公司

设计有关规定,耐张塔的绝缘子比直线塔的绝缘子多1~2片,而且耐张塔结构高度比直线塔低,因此耐张塔的耐雷水平比直线塔的耐雷水平高。

4 影响反击耐雷水平的因素

(1) 杆塔冲击接地电阻的影响

杆塔冲击接地电阻是衡量雷电防护性能的主要指标之一,对其取值大小在标准中有明确的规定。由表12计算结果可知,随着冲击接地电阻的降低,线路的反击跳闸率随之降低。冲击接地电阻从7 Ω降低到5 Ω时,总反击跳闸率下降30.5%;冲击接地电阻从10 Ω降低到7 Ω时,总反击跳闸率下降36.5%;冲击接地电阻从15 Ω降低到10 Ω时,总反击跳闸率下降44.8%;冲击接地电阻从30 Ω降低到15 Ω时,总反击跳闸率下降68.0%。可见降低接地电阻是降低输电线路反击跳闸率的最有效的方法之一^[11-12],如图8所示。

表12 冲击接地电阻对反击跳闸率的影响

冲击接地电阻/Ω	山区反击跳闸率/(次/100 km·a)
30	5.214 7
20	2.664 8
15	1.670 1
10	0.922 6
7	0.585 6
5	0.406 9

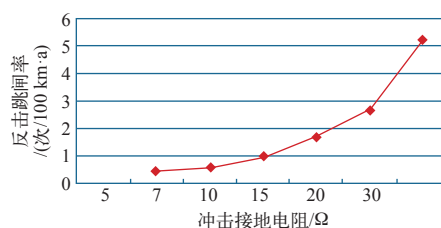


图8 冲击接地电阻对反击跳闸率的影响

(2) 杆塔塔型和呼称高的影响

随着杆塔高度增加,雷击塔顶后雷电冲击波沿着塔传播的折反射时间增加,以致横担电位增高,造成线路反击。杆塔越高,引雷面积越大,更易造成线路雷击跳闸。计算结果也证实了这一点,表13为杆塔不同呼称高时的反击跳闸率,杆塔高度每增加3 m,跳闸率约增加了38%,因此在满足了绝缘需要的条件下,应尽量降低杆塔高度

以降低反击跳闸率,如图9所示。

表13 杆塔呼称高对反击跳闸率的影响

杆塔呼称高/m	反击跳闸率/(次/100 km·a)
18	0.313 1
21	0.530 6
24	0.621 7
27	0.719 2
30	0.842 8
33	0.970 2

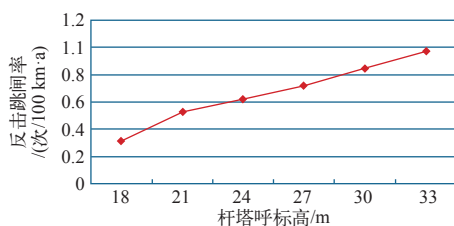


图9 杆塔呼称高对反击跳闸率的影响

5 结束语

通过上述计算和分析可知。

1) 对比10 mm、15 mm和20 mm冰区的输电杆塔,承载覆冰量越大的杆塔,其耐雷水平越大,反击跳闸率越低。双回路杆塔的雷击跳闸率比单回路杆塔的雷击跳闸率高,直线塔比耐张塔的雷击跳闸率高。对于同一塔型不同的高度,随着杆塔高度的增加,雷击跳闸率增加。

2) 输电线路耐雷水平随接地电阻的减小而增大,反击跳闸率随接地电阻的减小而迅速减小,故减小杆塔接地电阻是提高线路耐雷水平和运行可靠性的有效措施,因此建议在雷暴日和土壤电阻率较高的山区输电线路通过降低接地电阻来减少雷击跳闸率。

3) 不同相位角下雷击塔顶时的耐雷水平是有差别的,通过加装避雷器等防雷措施加强相导线的绝缘强度,能够有效提高线路的耐雷水平,降

低反击跳闸率。

参考文献

- [1] 孙萍. 220 kV新杭线回路雷击跳闸率的实测与计算[J]. 电网技术, 1999, 23(9): 12-13.
- [2] 许志元. 山区高压输电线路雷击规律及对策研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [3] 刘刚, 唐军, 孙雷雷, 等. 不同地形地貌的雷电流幅值概率分布对输电线路雷击跳闸的影响[J]. 高电压技术, 2013, 39(1): 17-23.
- [4] 束洪春, 黄然, 张广斌, 等. 重覆冰过山段线路耐雷水平计算与防雷措施分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(6): 1365-1371.
- [5] GB 50545—2010 110 kV~750 kV架空输电线路设计规范[S].
- [6] 王海燕, 张弦, 陈荣彪, 等. 220 kV变电站出线断路器雷击故障分析[J]. 广东电力, 2014, 27(6): 100-104.
- [7] 施围, 邱毓昌, 张乔根. 高电压工程基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [8] 张田乾, 张希峰. 架空电力线路的防雷保护[J]. 电源技术应用, 2005, 8(7): 41-42, 49.
- [9] DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [10] 黄伟超, 何俊佳, 陆佳政, 等. 实际雷电活动分布下的线路雷击跳闸率计算[J]. 高电压技术, 2008, 34(7): 1368-1373.
- [11] 谷定燮. 我国500 kV输变电工程过电压设计方面存在的问题和改进措施[J]. 电力建设, 2002, 23(7): 26-30.
- [12] DLT 741—2010 110(66) kV~500 kV架空输电线路运行规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2005.

(收稿日期: 2017-01-20) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告