

[输电线路]

110 kV同塔线路雷击同跳故障分析及防雷改造

文/海南电网有限责任公司海口供电局工会委员会 董明 贝嘉鹏 陶晰

110 kV同塔线路雷击同跳故障严重威胁到电网的安全稳定运行, 探讨其防雷改造措施十分必要。以海南电网为例, 对110 kV同塔线路雷击同跳故障的原因进行了分析, 并提出了相应的防雷改造措施, 对线路防雷研究具有借鉴意义。

改革开放以来, 我国对于电力能源的需求日益增加, 输电线路的建设也在不断增多。其中, 同塔输电线路具有导线数量多、杆塔高度高等特点, 容易发生雷击同跳故障, 会对电网的安全运行造成严重的影响。基于此, 笔者对110 kV同塔线路雷击同跳故障展开了分析和探讨。

110 kV线路雷击跳闸故障分析

1. 总体情况

2014年以来, 海南电网110 kV架空线路雷击跳闸情况见表1, 从表1中可以发现2016年的雷击同跳比例较低, 仅为3.57%, 2017年的同跳比率最高, 为25%, 并且重合闸的成功率较低, 主要是因为110 kV以上的重合闸以单向为主, 若是出现多相故障时, 便会出现闭锁重合闸情况。

表1 110 kV同塔线路雷击跳闸情况

年份	雷击跳闸/次	雷击同跳/次	雷击同跳比例 (%)
2017	20	5	25.00
2016	28	1	3.57
2015	38	6	15.79
2014	35	7	20.00

2. 同时跳闸分析

通过表1可以看出, 在2017年雷击跳闸出现20次, 其中的同跳为5次, 为25%左右的同跳比例。2016年的雷击跳闸出现28次, 其中的同跳为1次,

为3.57%左右的同跳比例。结合雷电定位系统中的数据得知, 出现故障的雷电流大于130 kA。之所以出现该故障主要是由于雷电的反击, 造成了双回线路的绝缘闪络。

3. 雷击跳闸活动关联研究

据相关数据报道, 2017年7月, 一共地闪59 214次, 其中的正电流为25.26 kA, 负电流为-32.25 kA。在2016年的7月份地闪63 419次, 其中正电流为18.25 kA, 负电流为-23.58 kA。2017年和2016年的雷电流地闪次数相近, 并且比2014年要更高一些, 在2017年100 kA以上的雷电流累计概率更是达到了3.02%。

110 kV同塔线路雷击同跳故障研究

1. 跳闸情况

某地同塔双回架设分别为110 kV A线和110 kV B线, 在2017年7月20日的16时34分12秒, 出现了三相跳闸现象, 这一现象闭锁了重合闸, 并且B线也出现接地故障和三相跳闸情况。在技术人员检查A线中, 发现AC相复合绝缘子周边出现了闪络痕迹, 并且B线与A线的情况相似, 在对故障杆塔接地的电阻测量后发现实测值为12.25 Ω , 并且A和B线呈现三相异相的序列。A和B线近几年的总体跳闸情况如表2所示。

表2 AB线雷击跳闸情况

线路名称	跳闸时间	故障点	备注
A线	2015-7-22	B相	B线85号同塔
A线	2015-8-23	A相	B线48号同塔
A线	2017-9-10	B相	B线58号同塔
B线	2015-4-23	C相	A线88号同塔
B线	2016-8-20	A相	A线34号同塔
A线	2015-3-12	B相	B线68号同塔
B线	2016-7-14	C相	A线54号同塔

2. 故障分析

1) 根据雷电定位系统中的相关信息数据可知,在出现故障时,在故障的杆塔附近曾发生地闪,并且电流值在-124.78 kA左右,这一数值高出了以往110 kV同塔线路双回闪络的防雷水平。在检测中发现B线的故障塔号为59,AC相为故障相,A线的故障塔号为85号,出现故障相与B线一致,经过细致检查后发现为雷电反击造成的故障。

2) 经过调查研究后发现,110 kV的两条线都是在同一时间,出现了雷击跳闸情况,并且所出现故障的部分都是在AC相,并且均是在0.5倍左右的相电压峰值附近靠近。

3) 由于B线的杆塔会受到较强电流的冲击,从而造成了两线的跳闸,并且两线均为中相和下相部分。其出现闪络的原因与导线的排列方式以及电位有关,也就是说AC两相绝缘子的两端电位差会更大一些,也会率先发现闪络情况,从而出现跳闸现象。为了有效规避这一问题出现,技术人员对两线分别进行了不同方式的差异化改造,两线改造以是否安装线路避雷器为衡量标准,并且在安装避雷器的一段采取了回路间差的方式进行。

同塔线路防雷措施及防雷有效性

1. 同塔防雷方式

为了避免出现同塔多线路雷击同跳等情况的发生,结合当地的雷击情况和防雷措施,建立健全完善的防雷技术方法,以此对防雷措施进行完善,并且做到了因地制宜,结合当地的杆塔结构以及雷电规律等方面,形成完善且有针对性的防雷措施,促使整个防雷措施更加完善。对于防雷措施主要在重视降低电阻,加强线路的绝缘性,积极减少保护角等一些基础防雷方式的基础上采取了回路间不平衡的绝缘方式。再加上110 kV有着更大规模的同塔线路,同跳现象严重,说明在这过程中适合采用上述的方式来降低雷击的同跳率目的,并且220 kV的反击耐雷水平较高,依然适合上述的绝缘方式。

2. 同塔线路防雷改造

截至2017年底,完成了270个同塔线路杆塔的防雷工作,并且在2018年底完成325基同塔线路杆防雷改造。进行防雷的工作主要体现在增加线路的避雷器,分别改造不同类型的杆塔,还要在此基础上适当增加绝缘子片数以及其并联的间隙,从而达到避雷的效果,提升整个避雷水平。

3. 同塔线路防雷措施有效性

(1) 防雷效果

在决定对不同线路进行差异化改造之后,主要是对选取点或者是不同的区段展开差别化改造,但针对全线逐基塔进行改造的案例减少。因此,本次研究更多是采用实施差别化的同塔线路展开防雷改造,并对整体的效果进行分析。在整个差别化同塔线路改造过程中,安装了20条避雷器的线路,7条不平衡绝缘子的线路改造以及2条上述两种方式结合的线路改造。在对上述的线路改造方式进行研究检验后,对数据进行了分析统计,具体情况见表3、表4。

表3 不同防雷措施预防雷击同跳效果

防雷措施	改造前3年			改造后3年		
	雷击 /次	同跳次数 /次	比例 (%)	雷击 /次	同跳次数 /次	比例 (%)
避雷器	50	20	40	9	3	33.3
增加绝缘子	4	1	25	2	1	50
增加绝缘子和避雷器	12	10	83.3	3	2	66.7
合计	66	31	47	14	6	42.9

表4 不同电压线路防雷击同跳效果

电压 等级 /kV	改造前			改造后		
	雷击 跳闸 总数 /次	同跳 次数 /次	同跳比例 (%)	雷击 跳闸 总数 /次	同跳 次数 /次	同跳比例 (%)
110	30	8	27	3	1	33.3
110	48	22	46	10	4	40
合计	78	30	38	13	5	38.5

在进行避雷装置改造之前出现了50次的雷击,并且有20次同跳次数,但是在改造后的避雷器雷击次数为9,同跳次数仅为3次。绝缘子方面的雷击在3年前的雷击次数为4,1次同跳次数。在改造后的绝缘子雷击次数为2,也是1次同跳次数。

通过上述分析研究可以得出,在对线路进行针对性的避雷方式改造之后,雷击跳闸次数有了明显的减少,并且仍然出现跳闸的情况处于尚未改造的区域,但安装避雷器后也没有再发生相似的情况。

(2) 改造典型案例

某110 kV同塔线路甲乙线于2014年10月22日投入使用,甲线相序上中下分别为C、B、A相,
(下转第45页)

表2 高压线路故障前后两侧电压电流各序分量

	送端电压			受端电压		
	正序分量	负序分量	零序分量	正序分量	负序分量	零序分量
A	-0.73-j93.83	-80.95+j47.55	81.62+j46.37	-93.84+j0.42	47.30+j81.04	46.54-j81.56
B	-0.02+j0.07	-0.09-j0.06	0.02-j0.06	-0.01-j0.02	0.006-j0.010	0.05+j0.01
C	-2.11e-07	-2.11e-07	-2.11e-07	-1.84-j6.15	-1.82e-05	-1.84e-05
	-6.78e-j06	-6.78e-j06	-6.78e-j06		-6.15e-j07	-6.19e-j07
	送端电流			受端电流		
	正序分量	负序分量	零序分量	正序分量	负序分量	零序分量
A	-1.6922e-06-j0.0001	-9.607e-05+5.742e-j05	9.776e-05+5.449e-j05	-0.0001-1.840e-j06	8.016e-05+j0.0001	8.334e-05-j0.0001
B	1.042e-06+3.000e-j05	-2.650e-05-1.410e-j05	2.546e-05-1.59e-j05	7.01e-05+1.419e-j06	-3.62e-05+6.00e-j05	-3.3e-05-6.15e-j05
C	2.181e-07+6.798e-j06	2.181e-07+6.798e-j06	2.181e-07+6.798e-j06	1.82e-05+6.150e-j07	1.824e-05+6.150e-j07	1.82e-05+6.150e-j07

4) 利用故障点等电压，列写出正序与负序分量、不同步角度和故障距离的关系，求得两端电压不同步角度与故障距离，并对受端电流相量进行同步化处理。求解不同步角度为0.0032+j0.9993，即右侧采样不同步角度为90°，与假设相符。根据故障点电压等电压，求得故障距离为49.72 km，与假定的50 km误差较小。

5) 依据送端电压相量，与两侧电流相量计算过渡电阻值。

通过对受端电流修正，根据

$$R_g = \frac{U_s - dI_s Z}{I_s + I_R} \tag{13}$$

计算得过渡电阻值为：51.44+j1.998Ω。

结束语

本文提出了一种基于高压线路双端故障录波数据的过渡电阻计算方法，采集高压线路两侧不同步电压电流数据，利用傅里叶分解得到两侧电压、电流稳态与故障后相量，根据对称分量法分解得到两次电压、电流正序、负序和零序分量。根据故障点电压相等，列写正序与负序等值网络故障距离表达式，求取故障距离与不同步角度，对受端电流相量进行不同步角度修正，通过送端电压电流相量与受端电流相量计算过渡电阻值。基于PSCAD/EMTDC建模仿真，验证了方法的有效性。EA

(收稿日期：2018.12.28)

(编辑：朱金凤)

(上接第42页)

乙线为A、B、C相。地线采用负的保护角，由于线路靠电源侧为丘陵地区，雷电活动比较强烈。2015年改造前雷击跳闸次数4次，同跳次数2次。2015年9月初进行改造，至今雷击跳闸次数1次，没有发生同跳，相比2015年跳闸次数明显减少。改造前后线路雷击跳闸情况见如表5所示。

表5 改造前后雷击跳闸对比

指标	2015年 (改造前)	2016年 (改造后)	2017年
地闪 (/次×km ⁻² ×a ⁻¹)	4.68	2.12	0.69
雷击跳闸次数/次	4	1	0
同跳次数	2	0	0

从表5中可以看出110 kV的线路改造后雷击跳闸次数呈现出明显的下降趋势，出现这一问题的主要原因是在进行改造后的防雷改造区的长度所占比重更大。通过上述的结论得以看出在展开针

对性的线路改造后，对有效应对雷电天气，减少雷击造成跳闸现象有着重要的帮助，但在整个试验过程中由于缺少更加详细的数据，因此不能对雷击防治效果有更加直观的说明。

结束语

综上所述，在110 kV同塔线路雷击跳闸情况分析研究过程中，输电线路出现故障造成跳闸情况是时有发生，也正是因为输电线路的跳闸，严重危害了电网的安全运行，从而给人们日常生活带来了极大的不便。因此，本文对雷击跳闸的情况进行分析，通过案例分析研究，说明了造成跳闸的关键因素，旨在为提升我国电力行业水平，减少因雷击造成的故障而做出贡献。EA

(收稿日期：2018.11.08)

(编辑：朱金凤)