

浅析输电线路通过综合治理取得的防雷效果

张廷碧¹, 彭力健², 刘启俊³

(1 广元电业局线路工区, 四川 广元 628000; 2 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072;

3 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:统计了广元电业局历年来输电线路雷击跳闸率, 采取的防范措施以及取得的防雷效果。

关键词:输电线路; 雷击跳闸; 综合治理; 防雷

Abstract: The statistics of lightning trip-out rates of transmission line of Guangyuan Electric Power Bureau over the years are carried out. The adopted precautionary measures and the obtained effect of protection against lightning are introduced.

Key words: transmission line; lightning trip-out; comprehensive control; protection against lightning

中图分类号: TM753 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2009)04-0069-03

广元地区地处龙门山脉、秦岭山脉之间, 该地区山峦起伏, 系典型的高山大岭、山地地形。广元电网穿越崇山峻岭, 地质情况复杂、土壤电阻率较高, 近年来雷电活动较为频繁, 电网防雷越来越突出。输电线路防雷更是防雷工作的薄弱环节和难点, 在雷雨季节, 线路频繁跳闸, 雷击绝缘子、导线现象屡次发生。对此, 广元电业局领导高度重视防雷工作, 矢志坚持“安全第一, 预防为主, 综合治理”的方针, 前几年投入了不少精力和资金, 采取了一些相应的常规措施, 地网的测试、开挖部分杆塔接地网, 线路零、低值绝缘子的定期检测, 对部分杆塔加装了线路氧化锌避雷器。但尽管如此, 由于广元地区防雷工作特殊性, 雷电活动频繁 (见表 1) 以及资金的制约, 致使防雷效果不尽人意, 防雷现状不容乐观 (见表 2 至表 4)。

从近年来看线路雷击跳闸情况足以说明, 线路雷击跳闸率居高不下。为加强输变电设备的防雷管理工作使防雷工作管理规范化、标准化, 不断提高输

表 3 2003~2006 年 220 kV 线路雷击跳闸率统计表

年份	跳闸次数 (次)	线路长度 (km)	跳闸率 (次/百公里·年)	备注
2003	1	420.698	0.2377	
2004	1	420.698	0.2377	
2005	1	420.698	0.2377	
2006	2	460.239	0.8690	

变电设备的防雷水平, 国家电网公司制定了《国家电网公司输变电设备防雷工作管理规定》, 四川省电力公司制定了《四川电网防止雷过电压事故措施的实施意见》、《关于开展输电线路杆塔接地网专项整治工作的通知》、《输电线路专项整治工作的实施意见》的有关防雷工作规定。广元电业局积极贯彻上级有关防雷管理规定, 上报了《广元电网综合防雷研究报告》, 四川省电力公司在防雷工作中投入了大量人力、物力、资金, 广元电业局结合广元地区不同地段、地势气象条件及雷击跳闸情况, 采取了以下有针对性的防雷综合治理。

1 综合治理措施

1.1 杆塔接地电阻普查和整治

对广元电业局管辖的 35~220 kV 输电线路 1 970 基杆塔接地电阻进行了测试, 开挖检查 394 基杆塔接地网, 坚持“边普查(查)、边整改、边分析”的原则, 针对输电线路运行维护工作和普查(查)中发现的杆塔接地方面存在的缺陷, 进行了修复完善。修复整治了 220 kV 线路 244 基、110 kV 线路 498 基、35

表 1 广元地区 2003~2006 年雷电活动情况统计表

	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
雷电开始时间	5 月 4 日	4 月 23 日	4 月 8 日	4 月 11 日
雷电结束时间	9 月 18 日	8 月 16 日	10 月 20 日	9 月 4 日
雷电日数	35	30	32	40

表 2 2003~2006 年 110 kV 线路雷击跳闸率统计表

年份	跳闸次数 (次)	线路长度 (km)	跳闸率 (次/百公里·年)	备注
2003	3	624.014	0.96	
2004	6	624.014	0.48	
2005	9	624.014	1.44	
2006	17	634.109	2.68	

kV 线路 407 基杆塔接地网(体),对无避雷线保护的 35 kV 线路,全部安装了 $\Phi 12$ 圆钢从金属横担直接引下接地,接地电阻降低在 30Ω 以下。对于运行时间较长的水泥杆塔,采取了从杆顶直接采用引下线与接地体相连的办法。杆塔接地网(体)普查和整治工作,达到了降低杆塔接地电阻目的,实现了大幅降低输电线路雷击跳闸率,提高输电线路雷雨季节安全运行可靠性,降低了输电线路运行成本。

表 4 110~500 kV 线路耐雷水平与杆塔接地电阻的关系

电压等级 (kV)	110				220				500			
接地电阻 (Ω)	7	15	30	50	7	15	30	50	7	15	30	50
耐雷水平 (kA)	63	41	24	16	110	76	48	32	177	125	81	55
相对危险因素	1.0	1.8	2.8	3.5	1.2	2.5	5.1	7.7	1.3	9.1	12.1	14.1

表 5 110 kV 及以下的输电线路杆塔接地电阻值

名称	数值				
土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	≤ 100	100~500	500~1000	1000~2000	>2000
接地电阻 (Ω)	10	15	20	25	30

表 6 220 kV 及以下的输电线路杆塔接地电阻值

名称	数值					
土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	≤ 100	100~300	300~500	500~1000	1000~2000	>2000
接地电阻 (Ω)	5	10	12	15	20	27

表 7 110 kV 三木南线接地电阻整治前后数据统计

序号	杆塔编号	杆塔型号	土壤类型	整治前的接地电阻值 (Ω)		整治后的接地电阻值 (Ω)				备注
1	7	耐张塔	土夹石	A: 30	C: 30	A: 2.3	B: 2.3	C: 2.3	D: 2.3	二点改四点
2	8	直路塔	土夹石	A: 20	C: 20	A: 1.5	B: 1.5	C: 1.5	D: 1.5	二点改四点
3	9	耐张杆	土夹石	A: 18	B: 18		A: 4.8	B: 4.8		
4	10	耐张塔	土夹石	A: 33	C: 33	A: 4.5	B: 4.5	C: 4.5	D: 4.5	二点改四点
5	11	直路塔	土夹石	A: 25	C: 25	A: 5.6	B: 5.6	C: 5.6	D: 5.6	二点改四点
6	12	直路塔	土夹石	A: 35	C: 35	A: 3.8	B: 3.8	C: 3.8	D: 3.8	二点改四点
7	13	直路塔	土夹石	A: 28	C: 28	A: 6.2	B: 6.2	C: 6.2	D: 6.2	二点改四点
8	15	直路铁柱	土夹石	A: 15	B: 15	A: 6.2	B: 6.2			
9	17	直路铁柱	土夹石	A: 19	B: 19	A: 2.9	B: 2.9			
10	22	直路杆	土夹石	A: 21	B: 21	A: 3.2	B: 3.2			
11	23	三连杆	土夹石	A: 26	B: 26	A: 4.5	B: 4.5			
12	25	直路铁柱	土夹石	A: 31	B: 31	A: 5.9	B: 5.9			
13	26	直路铁柱	土夹石	A: 24	B: 24	A: 6.6	B: 6.6			
14	27	直路塔	土夹石	A: 23	C: 23	A: 6.5	B: 6.5	C: 6.5	D: 6.5	二点改四点
15	28	直路单杆	土夹石		18			4.8		
16	30	直路铁柱	土夹石	A: 17	B: 17	A: 3.1	B: 3.1			
17	31	耐张杆	土夹石	A: 18	B: 18	A: 4.2	B: 4.2			
18	32	直路杆	土夹石	A: 26	B: 26	A: 5.3	B: 5.3			
19	33	直路杆	土夹石	A: 29	B: 29	A: 6.0	B: 6.0			
20	34	直路塔	土夹石	A: 27	C: 27	A: 4.7	B: 4.7	C: 4.7	D: 4.7	二点改四点

备注: 110 kV 三木南线土壤电阻率均在 $500 \sim 1000 \Omega \cdot m$ 范围内。

1.2 降低杆塔接地电阻

降低杆塔的接地电阻通常是提高线路耐雷性能最经济的方法。当杆塔型式尺寸与绝缘子型式和数量确定后,影响线路反击耐雷水平的主要因素是杆塔接地电阻值。降低杆塔接地电阻是 110 kV 及以上电压等级线路基本的反击雷害措施。按照 1997 年电业行业标准(规程)DL/T 620—1997《交流电气装置过电压保护和绝缘配合》中的 110~500 kV 线路的杆塔尺寸和绝缘子的 50% 雷电冲击绝缘水平对不同杆塔接地电阻计算出各自耐雷水平见表 4。

由表 5 可见,对于各种电压等级而言,线路耐雷水平随杆塔接地电阻的增加而降低,对于三种电压等级,接地电阻由 7Ω 增至 50Ω 时耐雷水平分别降至前者的 50%、29% 和 31%。广元电业局结合四川省电力公司防雷反措有关条款和契机,在运行线路中做好了地质、地势调查,测试杆塔周围的土壤电阻率、接地电阻值。如表 5、表 6 规定,降低接地电阻值。例如:广元电业局 110 kV 三木南线接地电阻整治前后的数据表 7、表 8 以及该线路雷击跳闸情况统计数据表 9 来看,充分显示了通过降低杆塔接地电阻,提高了线路耐雷水平。

1.3 加装线路避雷器

表 8 110 kV 三木南线接地电阻整治前后雷击跳闸情况统计

序号	跳闸时间	简 况	备注
1	2005. 06. 30	重合成功,通过登塔检查发现 47 号三联铁柱 C 相绝缘子遭雷击而炸裂,由于引流线作用,导线未掉地	整治前
2	2005. 07. 17	重合未成功,登塔检查发现 79 号耐张杆塔 A 相、92 号 A 相、93 号 B 相、96 号 A 相及 B 相绝缘子遭雷击。	整治前
3	2005. 07. 18	重合成功,登杆检查发现 55 号直线杆塔 C 相绝缘子遭雷击。	整治前
4	2006. 07. 03 01:22	重合成功,登杆检查发现 74 号直线杆塔 C 相绝缘子遭雷击。	整治前
5	2006. 07. 03 0:44	重合成功,登杆检查发现 76 号耐张杆塔 A 相绝缘子遭雷击。	整治前
6	2006. 07. 03 03:14	重合成功,登杆检查发现 72 号耐张杆塔 A、B、C 三相绝缘子遭雷击。	整治前
7	2006. 07. 22 01:58	重合成功,登杆检查发现 16 号直线杆塔 B 相绝缘子遭雷击。	整治前
8	2006. 07. 14 07:34	重合成功,登杆检查发现 41 号直线铁柱 B、C 相绝缘子遭雷击	整治前
9	2006. 07. 22 02:38	重合成功,登杆检查发现 21 号直线杆塔 A 相绝缘子遭雷击。	整治前
10	2006. 07. 31 05:29	重合成功,登杆检查发现 76 号耐张杆塔 A 相绝缘子遭雷击。	整治前
11	2006. 08. 28 02:44	重合不成功,通过登塔检查发现 49 号三联铁柱 B 相绝缘子遭雷击而炸裂,由于引流线作用,导线未掉地。	整治前
12		110 kV 三木南线接地电阻整治后,2007 年未出现因雷击引起开关跳闸。	整治后

为了减少线路的雷击事故,提高供电可靠性,广元电业局从 1998 年开始安装线路避雷器,分别安装在雷电活动强烈的 35~220 kV 线路上,经过 9 年的运行,安装了线路避雷器的杆塔未因雷击开关跳闸。根据其运行经验支持的易击段、易击点、多雷区双回易击点的一回线路上,2006~2007 年安装线路避雷器 42 组,从动作次数及线路跳闸率分析,真正达到了保护线路、降低跳闸率的目的。

1.4 采用同塔双回不平衡绝缘

在同杆双回的线路中也有采用不平衡绝缘方式以达到降低双回线路同时跳闸的概率,但无法消除同时跳闸事故。同杆双回的线路因导线垂直排列,杆塔较高,线路反击耐雷水平一般比同电压等级导线水平排列的线路低,当雷电流足够大时,可能会产生同塔双回线路的绝缘子相继反击,造成双回线路同时跳闸。国内曾有研究表明:不平衡绝缘方式下双回线路同时闪络的概率较目前平衡绝缘方式均有所降低,杆塔接地电阻越小,不平衡绝缘防止双回线路同时闪络跳闸的效果越好,冲击接地电阻小于 7 Ω,同时闪络的概率可降低 86%,冲击接地电阻 30 Ω 时可降低 74%。如表 9 所示,由于目前还没有冲击电阻测试仪器,仅能以理论值校核。

表 9 雷击塔顶时线路绝缘闪络概率

冲击接地电阻 (Ω)	平衡绝缘		不平衡绝缘		效果 [(2)-(1)/(1)]
	第 1 回	第 2 回	第 1 回	第 2 回	
7	0.20	0.14	0.20	0.019	-86.4
15	0.33	0.27	0.33	0.066	-75.6
30	0.48	0.42	0.48	0.11	-73.8

研究结果显示,在同杆双回线路的一回线路上增加绝缘子确可令双回线路同时跳闸的概率降低,但无

法完全消除同时跳闸事故。广元电业局结合输电线路运行经验,在 110 kV 三木南线、三木北线同塔双回的线路中采用不平衡绝缘方式以达降低双回线路同时跳闸的概率,在 110 kV 三木北线增加了一片绝缘子,根据广元电业局 2007 年输电线路跳闸统计,110 kV 三木南线、三木北线未出现开关同时跳闸。

2 综合治理取得的防雷效果总结

2006 年底至 2007 年初,广元电业局加大人力、物力、财力对管辖的输电线路进行了综合治理,采用了杆塔接地电阻普查和整治、降低杆塔接地电阻、加装线路避雷器、不平衡绝缘针对性防雷措施,如表 10 所示。

表 10 2007 年 110~220 kV 线路雷击跳闸率统计表

电压等级 (kV)	跳闸次数 (次)	线路长度 (km)	跳闸率 (次/百公里·年)	备注
110	3	743.902	0.403	
220	1	460.239	0.217	

雷击跳闸率显著下降,充分展现了输电线路通过综合治理取得的防雷效果,降低了雷击跳闸率,提高了输电线路耐雷水平,确保了电网的供电可靠性和安全运行。

参考文献

- [1] 杜澍春. 高压输电线路防雷保护的若干问题 [J]. 电力设备, 2001, (1): 40-44.
- [2] DL/T 620-1997, 交流电气装置过电压保护和绝缘配合.
- [3] 四川省电力公司. 四川电网防止雷过电压事故措施的实施意见 [R]. 2005.

(收稿日期: 2009-01-23)