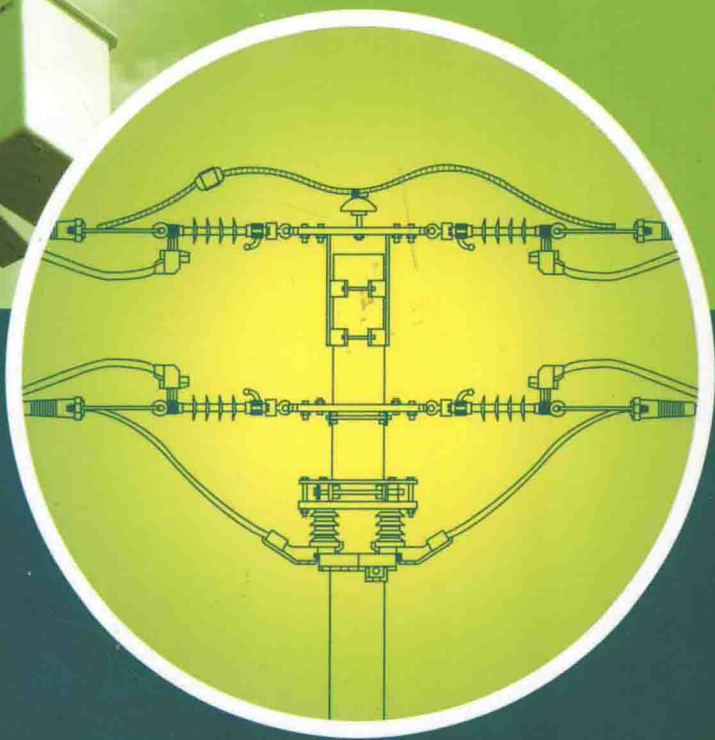
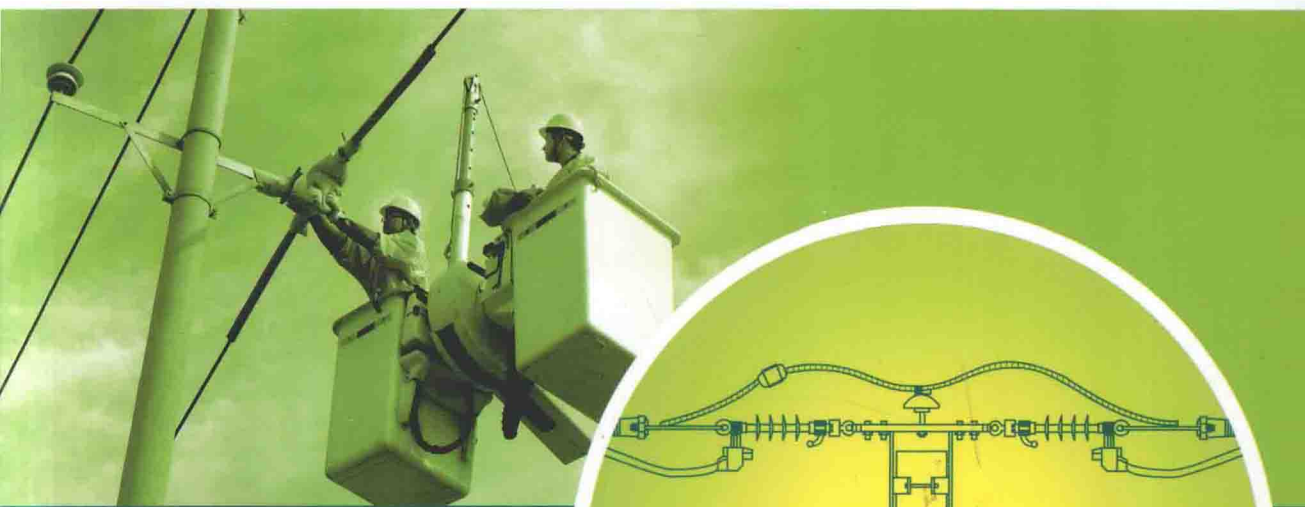


10kV架空配电线路 新型设计

王哲斐 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

10kV架空配电线路 新型设计

王哲斐 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书探讨 10kV 架空配电线路的新型设计,介绍了行之有效的防雷产品和节能金具,以及如何正确使用架空线的防雷和节能产品。全书共分五章,主要内容包括架空配电线路设计要点,架空配电线路通用设计,架空配电线路附件设计,架空配电线路典型设计,架空配电线路新型产品设计有关技术规范。本书的编者 10 年前开始研究并开发架空线防雷产品和节能金具,已获得专利 40 余项,其中发明专利 20 余项,产品在全国 20 个省市得到应用,保护效果显著。

本书可以作为架空配电线路的设计人员、施工人员和管理人员的参考用书,也可以作为相关专业师生的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

10kV 架空配电线路新型设计/王哲斐编著. —北京:中国电力出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5123-8202-2

I. ①1… II. ①王… III. ①架空线路-配电线路-设计 IV. ①TM726. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 209467 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 349 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序

未来电网的发展使命之一是大幅度提高电网的安全、经济运行水平，基本排除电网稳定破坏事故和大面积停电、具有很高的环境兼容能力，未来的电网将是智能电网。智能电网是以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制技术，构建以信息化、自动化、互动化为特征的统一坚强智能化电网。换言之，中国式的智能电网，首先要满足电力负荷需求，在前期要保证输电、变电的智能化建设，要保证供电安全可靠，要满足经济意义和节能，最后保证电能质量和可再生能源接入。

对10kV及以上的配电网，从防雷角度考虑，高效、可靠、自愈是电网建设工作者的目标。其中可靠和自愈更为重要。所谓可靠，就是电网承受扰动与冲击的能力更强，运行更加安全。自愈则是自动发现故障、诊断故障、自动采取控制措施，在用户察觉前消除缺陷。

本书作者王哲斐是上海兆邦电力器材有限公司的法人代表，曾被中华英模文化促进会授予“当代中国最具社会影响力英模人物”称号，他在配电网防雷理论和技术应用方面有一定的研究，在国内权威杂志上发表了多篇有关架空线路防雷的论文。他参著的《架空配电线路防雷设计与应用》一书，详细地阐述了架空线的防雷原理和设计应用，出版后受到读者的欢迎。

读者对《架空配电线路防雷设计与应用》一书提出意见，以为组合运用防雷产品的介绍还不够。为此王哲斐把目前新型配电线路的设计进行了整理和总结，特编本书。在编写过程中，还参考了国内各电力公司的配网典型设计，汲取了各电力公司典型设计中的精髓，并在此基础上结合新设备、新材料和新工艺的运用。

从电网安全运行考虑，仅采用防雷产品还是不够的，电网必须智能化，为此上海交通大学与上海兆邦电力器材有限公司共同成立了“上海交通大学—上海兆邦防雷技术联合研发中心”，力图为电网智能化做一些事情。

希望本书的出版，能够提高配电网的设计水平和建设质量，为保障配电网安全可靠发挥重要作用。

前 言

目前我国很重视坚强智能电网建设,10kV架空配电线路作为电网极为重要的组成部分,还存在着诸多安全问题有待解决,尤其在防雷技术方面。

2012年《架空配电线路防雷设计与应用》一书出版后受到读者的广泛欢迎。江西某厂采用10kV架空导线配电,每年雷雨季节总要发生跳闸,严重影响生产,后在该书编者的指导下完善了防雷措施,保证了雷雨季节线路的安全。

榆林某石油开采企业的10kV架空线路在雷击时由于绝缘子闪络而跳闸,在采用耐压20kV的绝缘子后,绝缘子损坏率相对减少,但避雷器损坏的几率增加了,说明防雷仅靠一味地提高绝缘等级并不可取,重点还是要将雷电流就近泄放。

上海市电力公司等单位采用该书介绍的防雷绝缘子系列防雷产品后,解决了绝缘架空配电线的防雷问题。

该书在受到读者好评的同时,也有读者向作者反馈:该书偏重于原理说明及产品介绍,希望出一本线路典型设计的书,便于在架空配电线路设计时参考。为此,编者经过调研、整理和总结完成本书的编写。

本书是以采用先进新技术、简化线路装置、减少故障点、提高线路可靠性、解决线路防雷,为实现坚强智能配电网打下坚实基础为指导思想而编写的,侧重于线路设计、产品应用和施工质量验收。本书重点讨论如何解决较为突出的10kV架空配电线路因绝缘等级相对较低而导致雷击时易发生跳闸断电,严重时发生断线的问题。

本书的编写宗旨:在执行《国家电网公司城市配电网技术导则》的基础上,结合并吸取国内相关省市供电企业的先进经验,提高10kV配电网设备装备水平和标准化程度,特别是根据国家电网公司的精神,对架空绝缘线路防雷击跳闸和断线加以研究,突出新型防雷击跳闸和断线产品的应用。

架空绝缘导线怕断线、裸导线怕跳闸,本书对跳闸和断线提出的新型设计,供读者参考,由于各地的情况不同,本书编者及有关专业人员可提供免费咨询服务。

本书在编写过程中，得到了王明邦、王常余、胡根富、应必光、王春华、吴兴武、王臻等的大力支持。参考了上海市电力公司、浙江省电力公司、辽宁省电力公司、河南省电力公司、湖南省电力公司、安徽省电力公司、广东省电力公司等配网典型设计，汲取了各电力公司典型设计中的精髓，并在此基础上结合新设备、新材料和新工艺的运用。

鉴于编者的水平和经验有限，本书存在不足和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2015年10月

目 录

序

前言

第一章 架空配电线路设计要点	1
1.1 设计依据	1
1.2 设计内容	1
1.3 气象条件	2
1.4 架空配电线路防雷措施	5
1.5 如何消除架空线上的雷电能量	7
第二章 架空配电线路通用设计	12
2.1 线路电压	12
2.2 导线的选取和使用	12
2.3 架空导线间的最小距离	14
2.4 10kV 架空导线对地面、水面和跨越的最小距离	14
2.5 导线参数	15
2.6 导线安全系数的选取	15
2.7 架空线弧垂的设计及施工	16
2.8 初伸长补偿	16
2.9 导线横担的选择和使用	17
2.10 电杆及基础的选用	21
2.11 拉线的选取及使用	22
第三章 架空配电线路附件设计	25
3.1 10kV 绝缘子、金具及防雷击断线装置	25
3.2 配电绝缘线路其他防雷装置	27

3.3	接地装置	28
3.4	高压熔断器	29
3.5	杆上变压器 (变台)	29
3.6	柱上开关	30
第四章	架空配电线路典型设计	31
4.1	直线杆	31
4.2	转角杆	61
4.3	终端杆	94
4.4	跨越杆	124
4.5	杆上变压器	129
4.6	横担绝缘子	159
第五章	架空配电线路新型产品设计有关技术规范	198
5.1	FEG-12/5 型防雷支柱绝缘子	198
5.2	FGNC10-50/240XD 型防雷绝缘子耐张线夹串	205
5.3	HY5WB (D) G-17/50 (T) 支柱型避雷器装置	209
5.4	FSJ-12/5 放电间隙横担绝缘子	216
5.5	JHD 型绝缘横担	223

1.1 设计依据

架空配电线路设计是根据《国家电网公司城市配电网技术导则》及以下规程、规范、设计资料来进行的：

GB/T 4623—2006《环形钢筋混凝土电杆》

GB/T 14049—2008《额定电压 10kV 架空绝缘电缆》

GB 50061—2010《66kV 及以下架空电力线路设计规范》

GB 50173—2014《电气装置安装工程 35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》

DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》

DL/T 601—1996《架空绝缘配电线路设计技术规程》

DL/T 602—1996《架空绝缘配电线路施工及验收规程》

DL/T 621—1997《交流电气装置的接地》

DL/T 646—2006《输电线路钢管杆制造技术条件》

DL/T 5130—2001《架空送电线路钢管杆设计技术规定》

DL/T 5154—2002《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》

DL/T 5219—2005《架空送电线路基础设计技术规定》

DL/T 5220—2005《10kV 及以下架空配电线路设计技术规程》

《电线电缆选择及敷设手册》上海市电气工程设计研究会

1.2 设计内容

(1) 输电线路与配电线路的区别通常所称的输电线路就是指架空输电线路。通过不同电压等级的架空输电线路将不同地区的发电厂、变电站、负荷点连接起来，输送或变换电能，构成电力网络。电压等级在 110kV 及以上的线路属于输电线路，110kV 以下的线路属于配电线路。

1) 输电线路。也称送电线路，它将发电厂生产的大容量电能升高到 220kV 或 500kV，通过输电线路送到几百千米甚至上千千米以外的用电区域。

2) 配电线路。也可称供电线路，它通过 110kV、35kV 及以下（还包括 10kV、380/220V）电压等级的电网将电能送到每个具体用户。

(2) 架空配电线路设计涉及城市及城郊地区 10kV 线路的设计气象条件、导线型号的选取、金具及绝缘子的使用、线路新装置的选用、架空线路的典型设计、防雷击跳闸和断

线方法、对接地装置的形式、混凝土电杆和钢管及其基础的使用等方面。

1.3 气象条件

DL/T 5220—2005《10kV 及以下架空配电线路设计技术规程》附录 A 给出了典型气象区，见表 1-1。

表 1-1 典型气象区

气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
大气温度 /°C	最高	40								
	最低	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	-20	-20
	覆冰	-5								
	最大风	10	10	-5	-5	10	-5	-5	-5	-5
	安装	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
	雷电过电压	15								
	年平均气温	20	15	15	10	15	10	-5	10	10
风速 /(m/s)	最大风	35	30	25	25	30	25	30	30	30
	覆冰	10 ^①						15		
	安装	10								
	雷电过电压	15	10							
	操作过电压	0.5×最大风速（不低于 15m/s）								
覆冰厚度/mm		0	5	5	5	10	10	10	15	20
冰的密度/(g/cm ³)		0.9								

① 一般情况下覆冰可取风速为 10m/s，当有可靠资料表明需加大风速时可取 15m/s。

10kV 及以下架空配电线路设计中主要气象条件的设计用途见表 1-2。

表 1-2 主要气象条件的设计用途

气象数据	用途
最高温度	计算导线的最大弧垂，以及保证导线对地面及其他建筑设施有一定的安全距离
最低温度	确定导线最大应力的起始条件
最热月份的平均气温	验算导线的安全载流量
最大风速	(1) 确定导线、电杆、拉线等受力部件的外负荷； (2) 验算导线接近建筑设施的水平安全距离
导线覆冰	计算导线、电杆等部件的机械强度
雷电日数	防雷保护

设计架空线时关于如何利用表 1-1 所示的典型气象区，DL/T 5220—2005《10kV 及以下架空配电线路设计技术规程》有下面 6 条原则：

(1) 配电线路设计所采用的气象条件，应根据当地的气象资料和附近已有线路的运行经验确定。如当地的气象资料与附录 A 典型气象区接近，宜采用典型气象区所列资料。

(2) 配电线路的最大设计风速值，应试采用离地面 10m 高处，10 年一遇 10min 平均

最大值,如无可靠资料,在空旷平坦地区不应小于 15m/s,在山区宜采用附近平坦地区风速的 1.1 倍,且不小于 25m/s。

(3) 配电线路通过市区或森林等地区,如两侧屏蔽物的高度大于杆塔高度的 2/3,其最大设计风速宜比当地最大设计风速减少 20%。

(4) 配电线路邻近城市高层建筑,其迎风地段风速值应较其他地区适当增加,如无可靠资料时,一般应按附近风速增加 20%。

(5) 配电线路设计采用的年平均温度应按下列方法确定:

1) 当地区平均气温在 3~17℃时,年平均气温应取与此数较邻近的 5 倍数值。

2) 当地区平均气温小于 3~17℃时,应将年平均气温减少 3~5℃后,取与此数较邻近的 5 倍数值。

(6) 配电线路设计采用导线的覆冰厚度,应根据附近已有线路运行经验确定,导线覆冰厚度宜取 5mm 的倍数。

单从架空线防雷角度考虑典型气象区所列的数据是不够的。应了解架空线所在区的雷暴日数(表 1-3),以便决定是否要加防雷装置及防雷装置密度;从当地地形角度考虑,应了解避雷装置的具体安装位置;从接地角度考虑,要了解当地的土壤电阻率;从安装外间隙避雷器角度考虑,要了解当地湿度、海拔高度、盐雾度等。

表 1-3 全国部分城镇雷暴日数(摘自 YD/T 5098—2001 附录 D)

序号	地名	雷暴日数 (d/a)	序号	地名	雷暴日数 (d/a)	序号	地名	雷暴日数 (d/a)
1	北京市	36.3	23	鞍山市	26.9	45	漠河县	36.6
2	天津市	29.3	24	本溪市	33.7	46	黑河市	31.2
3	石家庄市	31.2	25	丹东市	26.9	47	铁力市	36.5
4	唐山市	32.7	26	锦州市	28.8	48	上海市	28.4
5	邢台市	30.2	27	营口市	28.2	49	南京市	32.6
6	保定市	30.7	28	阜新市	28.6	50	连云港市	29.6
7	张家口市	40.3	29	长春市	35.2	51	徐州市	29.4
8	承德市	43.7	30	吉林市	40.5	52	常州市	35.7
9	秦皇岛市	34.7	31	四平市	33.7	53	南通市	35.6
10	沧州市	31.0	32	通化市	36.7	54	淮阴市	37.8
11	太原市	34.5	33	图们市	23.8	55	扬州市	34.7
12	大同市	42.3	34	白城市	30.0	56	盐城市	34.0
13	阳泉市	40.0	35	天门市	29.0	57	苏州市	28.1
14	长治市	33.7	36	哈尔滨市	32.4	58	泰州市	37.1
15	临汾市	32.0	37	齐齐哈尔市	27.7	59	杭州市	37.6
16	呼和浩特	36.1	38	双鸭山市	29.8	60	宁波市	40.0
17	包头市	34.7	39	大庆市	31.9	61	温州市	51.0
18	乌海市	16.6	40	牡丹江市	27.5	62	合肥市	28.2
19	赤峰市	32.4	41	佳木斯市	32.2	63	芜湖市	34.6
20	海拉尔市	30.1	42	伊春市	35.4	64	蚌埠市	33.4
21	沈阳市	26.9	43	绥芬河市	27.5	65	安庆市	44.3
22	大连市	19.2	44	嫩江市	31.8	66	铜陵市	41.1

序号	地名	雷暴日数 (/d/a)	序号	地名	雷暴日数 (/d/a)	序号	地名	雷暴日数 (/d/a)
67	屯溪市	60.8	105	襄樊市	28.1	233	昆明市	63.4
68	阜阳市	31.9	106	恩施市	49.7	234	东川市	52.4
69	福州市	53	107	长沙市	46.6	235	个旧市	50.2
70	厦门市	47.4	108	株洲市	50.0	236	大理市	49.8
71	莆田市	43.2	109	衡阳市	55.1	237	景洪市	120.6
72	三明市	67.5	200	邵阳市	57.0	238	昭通市	56.0
73	龙岩市	74.1	201	岳阳市	42.4	239	丽江市	75.6
74	宁都市	55.8	202	永州市	64.9	240	拉萨市	68.9
75	建阳县	65.3	203	怀化市	49.9	241	昌都县	57.1
76	南昌市	56.4	204	郴州市	61.5	242	林芝县	31.9
77	景德镇	59.2	205	常德市	49.7	243	那曲县	85.2
78	九江市	45.7	206	广州市	76.1	244	西安市	15.6
79	新余市	59.4	207	汕头市	52.6	245	宝鸡市	19.7
80	鹰潭市	70.0	208	湛江市	94.6	246	铜川市	30.4
81	赣州市	67.2	209	韶关市	78.6	247	渭南市	22.1
82	广昌县	70.7	210	深圳市	73.9	248	汉中市	31.4
83	济南市	25.4	211	珠海市	64.2	249	榆林市	29.9
84	青岛市	20.8	212	南宁市	84.6	250	安康市	32.3
85	淄博市	31.5	213	柳州市	67.3	251	兰州市	23.6
86	东营市	32.7	214	桂林市	78.2	252	天水市	16.3
87	潍坊市	32.2	215	梧州市	93.5	253	酒泉市	12.9
88	烟台市	28.4	216	北海市	83.1	254	敦煌市	5.1
89	济宁市	23.2	217	百色市	76.9	255	靖远县	23.9
90	日照市	29.1	218	凭祥市	83.4	256	西宁市	31.7
91	郑州市	21.4	219	重庆市	35.4	257	固原县	31.0
92	开封市	22.0	220	成都市	34	258	银川市	18.3
93	洛阳市	24.8	221	自贡市	37.6	259	乌鲁木齐市	9.3
94	平顶山市	22.0	222	攀枝花市	66.3	260	克拉玛依	31.3
95	安阳市	28.6	223	泸州市	39.1	261	石河子市	17.0
96	信阳市	28.7	224	乐山市	42.9	262	伊宁市	27.2
97	南阳市	29.0	225	绵阳市	34.9	263	哈密市	6.9
98	商丘市	26.9	226	达县市	37.4	264	喀什市	20.6
99	三门峡市	24.3	227	西昌市	73.2	265	吐鲁番市	9.9
100	武汉市	34.2	228	甘孜市	80.7	266	和田地区	3.2
101	黄石市	50.4	229	苗族自治区	52.6	267	阿克苏市	33.1
102	十堰市	18.7	230	贵阳市	49.4	268	海口市	104.3
103	沙市	38.9	231	六盘山市	48.0	269	台北市	27.9
104	宜昌市	44.6	232	遵义市	53.3	270	香港地区	34.0

1.4 架空配电线路防雷措施

1. 架空配电线路雷害事故的形成

架空配电线路雷害事故通常要经历以下四个阶段：

配电线路受到雷电过电压的作用；

配电线路发生闪络；

配电线路从冲击闪络转变为稳定的工频电压；

配电线路跳闸，绝缘架空线严重时断线，供电中断。

针对雷害事故形成的四个阶段，现代配电线路在采取防雷保护措施时，可采取“四道防线”，即：

(1) 防直击，就是使配电线路不受直击雷。

(2) 防闪络，就是使配电线路受雷后绝缘不发生闪络。

(3) 防建弧，就是使配电线路发生闪络后不建立稳定的工频电弧。

(4) 防停电，就是使配电线路建立工频电弧后不中断电力供应。

2. 防雷措施

对于配电线路的防雷工作，应按照“层层设防，突出重点，因地制宜，兼顾财力”的原则进行，有针对性地采取各种有效措施为线路设置一道道有力的屏障，防止雷电波侵入，提高线路的耐雷水平，从根本上降低雷击跳闸率。

3. 架设避雷线

避雷线的主要作用是防止雷电直击导线，同时还具有以下作用：

(1) 分流作用，以减小流经杆塔的雷电流，从而降低塔顶电位。

(2) 通过对导线的耦合作用，可以减小线路绝缘子的电压。

(3) 对导线有屏蔽作用，可以降低导线上的感应过电压。

为了提高避雷线对导线的屏蔽效果，减小绕击率，避雷线对边导线的保护角应做得小一些，一般采用 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

在实际应用中发现：①避雷线是引雷的，只有在雷击严重区的10kV架空线上才安装避雷线；②避雷线无法阻止绕击。

4. 装设线路自动重合闸装置

配电线路遭受雷击跳闸一般都是瞬时性接地故障，大多数情况下都能在线路跳闸后自动重合成功。因此，装设线路自动重合闸装置，能大大提高线路的供电可靠性。

5. 降低杆塔接地电阻

大部分观点认为降低杆塔接地电阻是直接而有效的防雷措施之一。接地电阻阻值的高低是影响杆（塔）顶电位高低的关键性因素。杆塔接地电阻如果过大，雷击时易使杆（塔）顶电位升高，对线路产生反击。

若接地电阻满足设计要求，则雷电波侵入时，绝大多数雷电流将沿着杆塔导入大地，不致破坏线路绝缘，从而保证线路的安全运行。

经过多年的实践和研究发现：若杆塔上安装避雷器，杆塔接地电阻越小越好，有利于雷电流泄放；如果杆塔上仅安装绝缘子，则杆塔接地电阻越小，绝缘性能越差，因此推荐采用绝缘模担，则杆塔电阻越大越好。

6. 改变线路的绝缘水平

由于绝缘子性能的优劣将直接影响到线路的耐雷水平,因此线路运行单位应加强对绝缘子的全过程管理提高线路耐雷水平。

绝缘子挂网前,应加大对绝缘子的检测力度,严把质量检验关,防止劣质绝缘子挂网运行。

对于已经挂网运行的绝缘子,应严格按照《架空送电线路运行规程》的规定定期对零值绝缘子进行检测。

7. 采用差绝缘方式

此措施适宜于中性点不接地或经消弧线圈接地的系统,且导线为三角形排列的情况。所谓差绝缘,是指同一基杆塔上三相绝缘有差异,下面两相较之最上面一相各增加一片绝缘子,当雷击杆塔或上导线时,由于上导线绝缘相对较弱而先击穿,雷电流经杆塔入地,避免了两相闪络。据计算,采用差绝缘后,线路的耐雷水平可提高 24%。

8. 加装线路避雷器

避雷器作为防止直击雷防护措施应用在线路上,在国内已有十余年的历史,目前架空输电线路路上装设的避雷器,运行情况良好。虽然应用避雷器对架线线路进行防雷保护的机理还有争议,但它确实能消除或减少架空线路受雷击的事实已被越来越多的人所认识与接受。

9. 装设耦合接地线

对于已经架设了避雷线且经常受雷害侵袭的杆段,若接地电阻受条件限制很难降低时,可在导线下方增加一条架空地线,称为耦合地线。耦合地线虽然不能减少绕击率,但能使该基杆塔地网与相邻杆段的地网得到良好的连接,相当于埋设了连续伸长接地体,这样当雷电反击线路时能增大对相邻杆塔的分流系数和导、接地线间的耦合系数,间接地降低了杆塔的接地电阻,从而保护线路不发生闪络。一些经常遭受雷击的线路在加装了耦合地线后,线路雷击跳闸率降低了 40%~50%。

10. 加装负角保护针

在防止绕击雷方面,一些单位已经做了很好的尝试。通常是在绕击雷活动频繁区段加装负角保护针,该保护针为上翘 30°、长约 2.4m 的屏蔽针,安装在线路两边相,将绕击区屏蔽掉,可有效防止雷电绕击,起到了很好的防雷效果。

11. 安装避雷针

安装避雷针也是架空输电线路常用的一种防雷措施。但是在实际应用时却存在以下缺陷,使用时应注意以下问题:

(1) 由避雷针而导致雷击概率增大,避雷针是引雷的。

(2) 保护范围小。国内外不少防雷专家,对避雷针能对多大的区域提供保护做了系统的研究,得出结论是:“对一根垂直避雷针无法获得十分肯定的保护区域”。

英国的 BS 6551 法规曾指出:“经验显示,不能依赖避雷针提供任何保护区内的完整保护”。

而德国防雷法规则有意识地不引入避雷针保护范围的概念。从避雷针因侧击雷、绕击雷造成事故的实例来分析,其保护范围是不十分肯定的。

12. 感应过电压、接触电压和跨步电压问题

由于避雷针的引雷作用,雷击次数增加,当雷电被吸引到针上,在强大的雷电流沿针流入大地的过程中,雷电流周围形成的磁场会产生感应过电压,它与雷电流的大小及变化速度成正比,与雷击的距离成反比。而被保护物的自然屏蔽装置对电磁感应或电磁干扰不能达到有效屏蔽,使被保护区内的弱电设备因感应过电压而损坏。

13. 反击的危害

当雷电被吸引到针上,将有数千安的高频电流通过避雷针及其接地引下线和接地装置,此时针和引线的电压很高,若针对被保护物之间的距离小于安全距离,会由针及引下线向被保护物发生反击,损坏被保护物。我国国家标准规定针与被保护物的空气中距离 $\geq 5\text{m}$,针与被保护物的接地装置间的地中距离 $S_d \geq 3\text{m}$ 。

14. 加装塔顶防雷拉线

防雷拉线有分流和屏蔽的作用。在雷击杆塔顶部时,一部分雷电流经杆塔入地,一部分雷电流经防雷拉线入地,可以起到分流作用,降低反击电位,减少反击的可能性。根据对某条线路雷电流幅值近 20 年的实测,在雷击杆塔顶部时,塔顶防雷拉线使塔身分流系数下降 1.5 倍,即耐雷水平至少提高了 1.5 倍,当雷电流绕过杆塔顶部的避雷线而直击导线时,首先会触及防雷拉线,防雷拉线可以起到屏蔽作用,减少绕击的可能性。

15. 应用雷电定位系统

应用雷电定位系统进行全自动实时雷电监测系统分析,当线路发生雷击跳闸时,雷电定位系统能准确定位雷击杆塔,帮助巡线人员及时查找故障点,大大节省巡线人员的故障巡视时间,使线路及时恢复供电,确保线路的供电可靠性。同时,通过对雷电定位系统的统计分析,能及时掌握雷电活动的规律、特性和有关数据,对防雷工作大有裨益。

由于雷电现象的复杂性和雷电活动的分散性,雷击概率受制约因素的多样性,它的危害不可能完全消除和避免,我们只能不断探索和尝试,使危害程度降到最低限度。

(1) 雷电危害与气候、环境、地质、设备等多种因素有关。因此,防雷工作应深入一线,掌握现场第一手资料,要有针对性地采取综合防雷措施。

(2) 在防雷技术措施实施前,要进行技术经济综合比较,合理选择。此外,已运行线路还可能受杆塔结构强度、高度等条件的影响,因此应从实际出发。

(3) 任何防雷措施、设施都不能一劳永逸,要不断完善,勤于维护和检修,才能充分发挥其作用。

(4) 应该对线路历年雷击资料和各种防雷措施投运后的实际效果,建立完整翔实的原始资料,以便积累真实客观的第一手资料,为今后线路防雷措施的进一步完善和今后运行线路附近新建工程的防雷设计提供依据。

(5) 线路设计前期,对于线路沿线的气候、地形地貌、地质情况、已运行线路雷害情况应收集细致、完整的资料,对土壤电阻率等尽可能予以实测。

(6) 接地装置施工要规范严格,接地电阻测试要客观真实可信。

1.5 如何消除架空线上的雷电能量

1. 雷击跳闸的原因

采取不接地的 10kV 架空线,发生雷击跳闸的可能原因不外乎下面三个:

- (1) 电容电流过大, 易因雷击发生工频续流而引起跳闸。
- (2) 绝缘子因雷击发生闪络造成工频续流过大。
- (3) 避雷器因雷击发生击穿, 导致工频续流过大引起跳闸。

2. 不接地系统必然存在对地电容电流

不接地系统, 若一相对地短路, 可继续运行, 但只适用于线路不太长, 也就是电容电流不太大的架空线路, 不适用于线路很长的电缆线路。某企业采用的架空线路两端都有电缆, 架空线路对地并不绝缘, 存在电容电流, 但运行证明电容电流不是太大, 在允许范围内, 因此采取不接地系统是可行的。

如果今后架空线路发生变动, 电容电流太大时, 可增加消弧线圈, 即在接地系统中接入一个电感分量来抵消系统中的电容电流, 将接地电流限制在一个较小的幅值内, 促使工频续流形成的电弧自动熄灭, 减少跳闸率。

3. 绝缘子因雷击发生闪络

采用绝缘子将架空线固定在横担上, 当雷电发生时, 往往会雷击到绝缘子上, 雷云使塔体电位升高, 同时在架空线上产生感应过电压。如果塔体电位和架空线感应过电压合成的电位差超过绝缘子的闪络电压值, 就会发生闪络, 即发生反击闪络。绝缘子一旦发生闪络, 就成为工频续流的通道, 工频续流加上架空线的电容电流, 如果两者之和过大, 就会引起跳闸。

10kV 架空线路的绝缘强度较低, 其耐雷水平小于 5kA, 侵袭线路的雷电会造成绝缘子闪络, 可能会引起跳闸。在未更换绝缘子前, 绝缘子若损坏不严重, 则能合闸, 但由于故障未解除, 绝缘子会进一步损坏, 甚至击毁, 此时会发生再次跳闸, 而且可能无法合闸, 因此每次雷击跳闸后要排除受损的绝缘子是很困难的。

为防止绝缘子发生雷击闪络, 可提高绝缘子的耐压等级。例如, 某企业架空线的绝缘子规格是 FPQ-10/3T, 由于经常遭到雷击损坏, 后来将绝缘子的电压等级提高, 采用 FPQ-20/3T, 额定电压等级由 10kV 提高到 20kV, 绝缘子的抗闪络能力大大提高, 因此很少坏。从统计数据看, 损坏的基本上都是避雷器。

虽然提高绝缘子的额定电压, 防止绝缘子闪络的方法很有效, 但同时出现了另一个问题。

某专家在分析雷击跳闸时指出: 如何消除架空线上的雷电能量? 这是一个值得研究的问题。

当雷云出现在架空线上空时, 架空线上的静电荷积聚到一定电量, 雷云通过绝缘子闪络或避雷器击穿与横担之间放电, 击穿点通常在金属横担附近, 因为相对而言, 此位置的接地电阻较小。

根据静电学原理, 感应电荷集中在架空线的表面, 并向接地电阻小的方向流动, 绝缘子额定电压升高后, 阻止了雷电荷在绝缘子处发生闪络。在这种情况下, 避雷器因一端接地, 因此对地电阻相对较小, 雷电流就对避雷器发生雷击, 严重时把避雷器击穿, 然后通过避雷器向金属横担放电。当架空导线与金属横担之间发生雷电流击穿放电后, 同时架空线上的雷电能量也消失, 但架空导线的交流电源成为续流源, 持续拉弧, 引起架空线的电源跳闸, 严重时还会使架空线断线。

根据上面的分析, 绝缘子额定电压提高后, 没有消除架空线的雷电荷, 而是把雷电荷

趋向避雷器，雷电荷只有在接地电阻较小的避雷器处才有可能消除，因此避雷器的损坏率相对提高了。

4. 线路避雷器的故障

避雷器能防直接雷，通过它能把架空线的雷电能量消除，它是能有效阻断雷击后产生的续流的产品。

把避雷器直接接在 10kV 架空线上，在避雷器完好的情况下，能防直击雷，但避雷器遭直击雷发生短路故障后，不仅不能防后续雷，还会引起跳闸断电，甚至断线。

线路避雷器由于直接接在高压架空线上，在使用一段时间后将因种种原因而失效，当它出现对地短路状况时将引发电气事故，因此要对其工作状况进行监视，一旦发现无效，及时更换备件，否则可能导致供电中断等电气事故。

要查出损坏的避雷器不是易事，南京市地铁用了 20 个抢修人员，分两路，在雷雨中步行一小时，才找到避雷器损坏点。如果在 10kV 架空线路上安装避雷器，想找到损坏的避雷器就更难了；采用线路避雷器防直击雷，不仅达不到好的效果，反而带来维修困难，维修时间长的后果，在 10kV 架空线上采取避雷器防雷不是好方法。

《防雷工程专业资质管理与防雷装置设计审核及检测验收实用手册》中指出：避雷器本身是很不可靠的防雷设备，如果维护不当，反而常会引起事故，根据苏联的运行经验，如果线路上普遍装用管型避雷器，不但不能使事故次数减少，反而会增加事故。

氧化锌避雷器只宜用于室内或电源进建筑物处，且要有后备保护。

避雷器只宜局部采用，德国高速铁路采用过电压保护装置限制雷电过电压时，一般应用避雷器，但避雷器只能对过电压进行有限的保护，一般只用于有频繁雷电存在的地段，在其他地段，无论从经济方面还是防护效益方面，一般不考虑设置防雷装置。

日本高速铁路只在牵引变电所出口、接触网隔离开关、电缆接头或连接处、架空地线终端设置避雷器。

我国电气化铁道接触网的防雷措施规定：高雷及强雷区的下列位置设避雷装置：分相和站场端部的绝缘关节、长度 2000m 及以上的隧道两端、长度大于 200m 的供电线或 AF 线（正馈线）连接到接触网上的连接处。

避雷器的缺点：

- (1) 投资成本高，但能够消除雷电荷；
- (2) 必须接地；
- (3) 长期承受工频电压，容易老化；
- (4) 维护成本高，一旦发生短路，查找困难；
- (5) 若因避雷器故障而引起跳闸，必须替换此故障避雷器后才能合闸。

5. 防雷支柱绝缘子

普通绝缘子不能防雷，提高绝缘子额定电压后，耐雷水平提高了，但只能阻止雷电能量通过绝缘子向地泄放，不能消除架空线中的雷电能量，于是向电阻小的避雷器方向流动，并通过避雷器消雷，避雷器也因此容易损坏。

防雷支柱绝缘子，既具有绝缘子的功能，又能消除架空线中的雷电流，保护避雷器免遭雷击损坏。

如图 1-1、图 1-2 所示，新型组合式结构的 FEG-12/5 型防雷支柱绝缘子和 FGNC-50/