

# 输电线路运行故障 分析与防治

国网武汉高压研究院 胡毅 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 输电线路运行故障 分析与防治

国网武汉高压研究院 胡毅 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书针对近年来输电网发生较多、影响较大的各类主要故障，如雷击、污闪、风偏、覆冰、鸟害、外力破坏等，进行了深入分析，并列举和分析了诸多案例，提出了一系列有针对性的防治措施。全书共分8章，分别是：输电线路风偏放电与防治；输电线路雷击跳闸与防治；输电线路覆冰分析与防治；OPGW雷击断股分析与防治；输电线路污闪与防治；输电线路鸟害与防治；输电线路接地装置的运行与改造；输电线路外力破坏与防治。

本书可供输电线路的技术人员和运行管理人员、运行检修人员阅读，同时也可供高等院校电力专业的师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

输电线路运行故障分析与防治/胡毅编著. —北京:  
中国电力出版社, 2007  
ISBN 978-7-5083-5509-2

I. 输… II. 胡… III. ①输电线路—故障诊断②  
输电线路—故障修复 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 061360 号

中国电力出版社出版、发行  
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)  
汇鑫印务有限公司印刷  
各地新华书店经售

\*

2007 年 7 月第一版 2007 年 7 月北京第一次印刷  
850 毫米×1168 毫米 32 开本 10.125 印张 268 千字  
印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
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

# 前 言



输电线路是电网的基本组成部分，由于其分布范围广，常面临各种复杂地理环境和气候环境的影响，当不利环境条件导致线路运行故障时，就会直接影响线路的安全可靠运行，严重时甚至会造成大面积停电事故。近年来，国外发生的大面积停电事故许多都起源于线路故障。因此，深入研究和分析输电线路各类运行故障的特点和机理，采取针对性的防治措施，对于增强电网抵御自然灾害的能力和<sub>提高安全运行水平</sub>十分重要。

近年来，随着 750kV 交流输电线路的投运，特别是 1000kV 交流输电线路和  $\pm 800$ kV 直流输电线路的开工建设，对线路运行维护及故障防治提出了一系列新的研究课题。同时需要研究更高电压等级线路的故障特点及发生规律、故障监测及判别方法、防治技术及措施等，并结合现场实际需要，制定相应的技术规程和标准，研制适用的检测设备等。全面实现线路的专业化、制度化、标准化管理，减少和防范线路故障，提高线路安全运行水平。

本书针对近年来我国输电线路发生较多、影响较大的各类主要故障，深入分析了各类故障的产生条件、规律、机理、特性以及影响因素等，并进行了大量的试验研究，列举和分析了诸多案例，从技术、方法和管理等多方面提出、总结和归纳了一系列有针对性的防治措施。本书的目的在于为输电线路技术人员和运行管理人员、基层班组骨干和运行检修工人提供一本系统地分析和防治各类线路故障的参考书。

本书由胡毅编著，参加本书各章节编写的有王力农、邵瑰玮、刘凯、郑传广、刘庭、胡建勋、陈家宏、徐莹等。

限于编者的水平有限，书中如有不妥及错误之处恳请读者批评指正！

**编著者**

2007 年 4 月



### 作者简介

胡毅 1955年生，1982年毕业于华中科技大学，教授级高级工程师，享受政府特殊津贴专家，博士生导师。现任职于国网武汉高压研究院，长期从事高电压技术、输电线路和带电作业研究，曾主持完成多项重大科研课题，近年来共获得8项国家电网公司科技进步奖和中国电力科技进步奖，1项中国标准创新贡献奖，主持制订了18项国家标准和电力行业标准，已在国内外专业技术刊物和论文集上发表论文80余篇，出版了5本专著。

# 目 录



## 前言

<b>第一章 输电线路风偏放电与防治</b> .....	1
第一节 输电线路风偏闪络调查统计 .....	1
第二节 风偏闪络规律及特点 .....	4
第三节 风偏闪络原因分析 .....	8
第四节 导线—杆塔空气间隙电气强度.....	10
第五节 风偏角计算方法及参数对风偏角设计的影响.....	13
第六节 关于风偏角的设计.....	26
第七节 空气间隙湿（大雨）状态下电气强度试验研究 .....	28
第八节 防止输电线路风偏闪络故障的对策和措施.....	61
<b>第二章 输电线路雷击跳闸与防治</b> .....	63
第一节 雷电及其参数.....	63
第二节 输电线路雷击跳闸故障分析.....	72
第三节 雷击跳闸故障的判别.....	82
第四节 雷击跳闸的防治措施.....	86
<b>第三章 输电线路覆冰分析及防治</b> .....	122
第一节 输电线路覆冰事故统计 .....	122
第二节 覆冰形成机理分析 .....	125
第三节 输电线路冰害故障类型、特点 .....	132
第四节 输电线路防覆冰故障措施 .....	146
<b>第四章 OPGW 雷击断股分析与防治</b> .....	154
第一节 OPGW 断股情况的调查及案例分析 .....	154
第二节 雷击 OPGW 断股的现象特征、原因及机理 .....	157
第三节 OPGW 雷击试验标准及装置 .....	163
第四节 不同材料、不同直径的 OPGW 试验结果 及分析 .....	167

第五节	雷电流参数对断股的影响 .....	170
第六节	OPGW 遭雷击概率的试验分析 .....	173
第七节	耐雷型 OPGW 的研制与试验 .....	179
第八节	OPGW 断股损伤截面的处理 .....	183
第九节	OPGW 雷击断股的防治措施 .....	185
<b>第五章</b>	<b>输电线路污闪与防治</b> .....	<b>187</b>
第一节	绝缘子污闪事故特点 .....	189
第二节	绝缘子积污特性 .....	190
第三节	绝缘设备污闪特性 .....	199
第四节	污闪防治对策及措施 .....	210
第五节	输电线路防污闪研究 .....	224
<b>第六章</b>	<b>输电线路的鸟害与防治</b> .....	<b>226</b>
第一节	鸟害故障调查统计 .....	226
第二节	鸟害故障的类型和形成原因 .....	227
第三节	鸟害故障发生的规律 .....	235
第四节	防治鸟害故障的措施和对策 .....	239
<b>第七章</b>	<b>接地装置的运行与改造</b> .....	<b>250</b>
第一节	接地电阻的基本概念 .....	250
第二节	接地电阻的测量 .....	260
第三节	送电线路杆塔接地装置 .....	265
第四节	防止接地体腐蚀的主要措施 .....	279
第五节	接地装置的运行分析与改造 .....	284
第六节	接地降阻剂应用研究 .....	287
<b>第八章</b>	<b>输电线路外力破坏与防治</b> .....	<b>300</b>
第一节	输电线路外力破坏故障现状 .....	300
第二节	输电线路外力破坏故障分析 .....	304
第三节	外力破坏故障的防治措施 .....	308
<b>参考文献</b>	.....	<b>312</b>



## 第一章

# 输电线路风偏放电与防治

输电线路的风偏闪络一直是影响线路安全运行的因素之一，与雷击等其他原因引起的跳闸相比，风偏跳闸的重合成功率较低，一旦发生风偏跳闸，造成线路停运的几率较大。特别是500kV及以上电压等级线路，一旦发生风偏闪络事故，将对系统造成很大影响，严重影响供电可靠性。

对输电线路风偏闪络引起的故障及事故进行调查统计，分析其原因，研究并制订相关防治措施，对于降低输电线路风偏闪络故障及事故率，提高输电线路的安全运行水平是很有意义的。

### 第一节 输电线路风偏闪络调查统计

#### 一、1999~2003年间输电线路的风偏闪络统计及特点

经统计，国家电网公司系统1999~2003年间110(66)kV及以上输电线路风偏跳闸情况如下：

5年间共发生110(66)kV及以上输电线路风偏跳闸244次。其中，华北94次，占38.5%，西北66次，占27%，华东42次，占17.2%，华中25次，占10.2%，东北17次，占7%。超过10次以上的省份有新疆、陕西、青海、江苏、福建、天津、山西、山东、内蒙9省市、自治区，以新疆为最多，达到了30次。从统计数据可以看出，5年间输电线路风偏跳闸多发于北方和沿海风力大的地区。

按电压等级分类，500kV输电线路发生33次，占13.5%；330kV输电线路发生8次，占3.3%；220kV输电线路发生139



次，占 57%；110kV 输电线路发生 64 次，占 26.2%。说明 5 年间风偏跳闸主要发生在 110~220kV 线路，约占全部风偏跳闸的 83.2%。

按放电形式分析如表 1-1 所示。

**表 1-1 1999~2003 年 110 (66) kV 及以上输电线路**

**风偏跳闸按放电形式统计表**

放电分类		次数	次数	比例 (%)
边坡、树木 或其他	边坡	18	30	12.30
	树木	7		
	其他	5		
相间短路	—	4	4	1.63
对杆塔放电 (按放电点区分)	对塔身放电	186	210	86.07
	对横担放电	15		
	对拉线放电	9		
合计			244	

输电线路风偏跳闸形式主要表现为导线对杆塔放电 210 次，占 86.07%，其次是对周边障碍物放电 30 次，占 12.30%，两项合计占 98.37%。其中对杆塔放电按放电点位置区分，对塔身放电 186 次，占 88.5%；对横担放电 15 次，占 7.1%；对拉线放电 9 次，占 4.4%。

按照塔型分析如表 1-2 所示。

**表 1-2 1999~2003 年 110 (66) kV 及以上**

**输电线路风偏跳闸按塔型统计表**

塔型	电压等级 (kV)	次数	比例 (%)
耐张	500	7	3.33
	330	5	2.04
	220	90	42.85
	110 (66)	40	19.0
	合计	142	68

续表

塔型	电压等级 (kV)	次数	比例 (%)
直线	500	20	9.52
	330	1	0.47
	220	25	11.9
	110 (66)	22	10.4
	合计	68	32

对塔身风偏闪络 210 次, 按塔型分: 转角 (耐张) 塔 142 次, 占 68.0%; 直线塔 68 次, 占 32%。转角 (耐张) 塔在输电线路中所占的比例是较低的, 一般为  $1/5 \sim 1/20$ , 而统计数据表明风偏故障发生在耐张塔的比例远大于发生在直线塔的比例, 因此解决耐张塔风偏问题是减少风偏事故的关键。

按导线排列方式分析: 三角排列 121 次, 占 49.6%; 水平排列 74 次, 占 30.3%; 垂直排列 49 次, 占 20.1%。从数据统计看导线三角排列发生风偏故障的几率较大, 这类塔型常见的有“猫头形”直线塔和“干字形”耐张塔。

## 二、2004 年 500kV 输电线路风偏闪络统计及特点

2004 年度全网 220~500kV 输电线路因风偏引起跳闸 114 次, 位居架空送电线路跳闸的第三位, 给系统安全稳定运行带来较大影响, 其中造成事故的有 37 次。

2004 年 2~7 月, 在仅半年的时间内, 500kV 交直流输电线路发生 21 次风偏跳闸, 且大多重合不成功。在 21 次风偏闪络中, 按发生时段划分, 分别为 7 月 7 次、6 月 10 次、5 月 2 次、4 月 1 次、3 月 1 次; 按交直流线路划分, 分别为交流 18 次、直流 3 次。

2004 年的风偏闪络与往年相比, 具有以下特点:

(1) 时段集中, 主要发生在 5~7 月之间, 而往年发生时间较为分散和随机。

(2) 范围广泛。往年主要发生在北方地区和沿海地区, 当年内陆地区发生较多, 涉及区域有河南、江苏、湖北、湖南、山东、山西、华北。

(3) 直线塔风偏闪络明显增多, 在 21 起风偏闪络事故中有 19 起发生于直线塔, 仅 2 起发生于耐张塔, 而往年则较多是耐张塔的跳线串对杆塔放电。

(4) 500kV 主干线路风偏闪络突出, 在 1999~2003 的 5 年中 500kV 线路风偏闪络共发生了 33 起, 而 2004 年前半年时间就已发生 21 起。

### 三、2005 年 500kV 输电线路风偏闪络统计

2005 年度, 全网 500kV 输电线路共发生风偏跳闸 7 次, 且全部造成线路非计划停运, 由风偏造成的事故率 100%。全网 66~500kV 输电线路共发生风偏跳闸 57 次, 造成事故的 40 次, 事故率 70.18%。这表明, 一旦发生风偏闪络, 造成线路停运的几率就很大。

## ④ 第二节 风偏闪络规律及特点

### 一、输电线路风偏闪络多发生于恶劣气候条件下

通过对近年来各地输电线路风偏闪络故障及事故调查分析, 结果表明, 输电线路风偏闪络发生区域均有强风出现, 且大多数情况下还伴随有大暴雨或冰雹。造成这一现象的原因是: 在某些微地形区, 高空冷空气移动缓慢, 与低空高热空气在局部小范围内不断交汇, 易于形成中小尺度局部强对流, 导致强风(也称为飚线风)的形成。这种飚线风发生区域范围从几平方千米至十几平方千米, 瞬时风速可达到 30m/s 以上, 持续时间数十分钟以上, 且常伴随有雷雨或冰雹出现。这样, 一方面, 在强风作用下, 导线向塔身出现一定的位移和偏转, 使得放电间隙减小, 另一方面, 降雨或冰雹降低了导线一杆塔间隙的工频放电电压, 二者共同作用导致线路发生风偏闪络。值得注意的是, 在强风的作

用下，暴雨会沿着风向形成定向性的间断型水线，当水线方向与放电路径方向相同时，导线—杆塔空气间隙的工频闪络电压进一步降低，增加线路风偏闪络概率。例如，2004年度河南500kV嵩获二回线、获仓线、郑祥线以及2005年山西220kV丹珏线等风偏闪络故障发生时都出现了飊线风、大雨和冰雹等恶劣天气。

2004年6月16日20:07 500kV嵩获二回线A相跳闸，重合闸动作不成功，23:59强送成功。故障测距得出故障点距获嘉变52km，距嵩山变6km。17日7:50左右在21号塔发现闪络痕迹。经现场调查，该塔为双回线耐张塔，杆塔周边为平地，闪络相为21号耐张塔上相引流线对塔身放电，故障相位于外转角侧，转角度数 $22^{\circ}15'$ ，未安装跳线绝缘子串，两侧耐张串等高。附近农民反映放电故障发生时段有大风、暴雨、冰雹活动，持续时间前后约30min。

2004年6月22日23:05 500kV获仓线发生B相跳闸，重合不成功，23日00:08试送成功。经地面巡视和登塔巡视，6月23日05:59发现214号B相（左相）上曲臂的角铁、导线上有放电烧伤痕迹。经现场调查，该塔为酒杯形直线塔，线路呈东北至西南走向，故障相为西北迎风面侧，放电路径为导线小号侧防振锤对塔身小号侧上曲臂，曲臂上有两个主放电点，第一主放电点在距横担下平面2760mm处的斜材尖角部，第二主放电点在距横担下平面3223mm处的脚钉尖端。另外，还有散乱的放电烧伤点。周围地形为平地，前后两基塔基本等高，村民反映故障时有大风、冰雹，为几十年来罕见。

2004年6月20日17:40分500kV获仓线C相跳闸，重合不成功，22:05强送成功。经地面巡视和登塔巡视，6月21日05:58发现373号C相上曲臂的角铁及导线上均有放电烧痕。经现场调查，该塔型为酒杯形直线塔，线路走向为东北至西南方向，故障相为西北迎风侧，闪络路径为导线大号侧约800mm处对塔身上曲臂大号侧主材，有两处主放电点，第一主放电点在距横担下平面2740mm处的斜材尖角部，第二次主放电点距横担

下平面 3241mm 处的主材上。周围地面为平地，线路东南方向小树林中仍有四棵小树有折断痕迹，村民反映当时有大风、冰雹及暴雨，下雨时对面 2~3m 看不清人，持续约 20min，此情况在 20 多年前曾发生过。

2004 年 6 月 24 日 17:39 500kV 郑祥线发生 C 相跳闸，重合不成功，自动重合过程中 B、C 相故障，19:03 强送成功。经检查发现 8 号铁塔：C 相（左相）上曲臂（左侧）的角铁和脚钉上以及导线防振锤上都有明显的烧伤痕迹；B 相（中相）上曲臂的角铁及导线防振锤上都有明显的放电痕迹。经现场调查，该塔型为酒杯形直线塔，放电路径为防振锤对塔身上曲臂主材，C 相上曲臂上有两处主放电点，第一主放电点在距横担下平面 3.0m 处的角铁处，第二次主放电点距横担下平面 3.09m 处角铁和脚钉上。B 相（中相）有一处主放电点在距横担下平面 3.44m 处。另外，在 B、C 相的主放电点上下区域还有一些散杂的放电烧伤点。周围地面为平地。走访中当地农户反映当时有强风暴雨，距杆塔不远处农户院墙被风吹倒，持续时间约为 20~30min。

2005 年 6 月 30 日 2 时 20 分，220kV 丹珏线（255~294）双高频 C 相跳闸，重合不成功，测距故障点距 220kV 珏山变电站 1.7km，测距故障点距 220kV 丹河变电站 25.8km，经巡视发现 76 号塔 C 相复合绝缘子均压环对塔身放电。故障发生时的天气为飏线风、大雨等罕见的恶劣天气。根据当时的天气情况和对故障点的实际情况分析，确认事故为风偏闪络事故。

## 二、输电线路风偏闪络放电路径

从放电路径来看，输电线路风偏闪络有导线对杆塔构件放电、导地线间放电和导线对周边物体放电三种形式。它们的共同特点是：导线或导线侧金具烧伤痕迹明显。导线对杆塔构件放电又可分为直线塔导线对杆塔构件放电和耐张塔跳线对杆塔构件放电两种。其中，前者导线上的放电点比较集中，后者跳线上的放电点比较分散，分布长度约有 0.5~1m。不论是直线塔还是耐张塔导线对杆塔构架放电，在间隙圆对应的杆塔构件上均有明显

放电痕迹，且主放电点多在脚钉、角钢端部等突出位置。导线线间放电多发生在地形特殊且档距较大（一般大于500m）的情况下，此时导线上的放电痕迹较长，但由于放电点距地面较高，所以较难发现。导线对周边物体放电时，导线上放电痕迹可超过1m长，对应的周边物体上也会有明显的黑色烧焦状放电痕迹。

1997年4月27日17时22分，山西神头二电厂至太原侯村500kV线路两侧高频距离保护动作，掉A相，重合不成功，当日18时33分试送成功。事故发生时有强风和大雨，事后巡视检查线路，查出51号塔（ZB1-33型）右边导线（A相）分裂内侧下导线表面电弧烧伤约3m，对应塔臂大号侧外侧立材电弧烧伤约有400mm。检查中还发现38~68号塔地段多基铁塔右侧绝缘架空地线放电间隙棒严重烧伤，38号耐张塔烧伤4片地线绝缘子。

2004年7月3日20:38，500kV侯临线线路B相故障，两侧保护动作，开关重合不成功。临汾侧保护测距为282.4km，录波器测距192km；侯村侧保护测距分别为130.8、142.7km，录波器测距135.7km。雷电定位系统显示该线路走廊内没有雷电活动。故障发生时当地气象站测得最大风速16.7m/s，有强降雨。后经巡视发现，286号耐张塔（4400JG 2-27，右转37.4°，距侯村站121km）左边线（B相，外角）大号侧跳线对塔身放电。塔身主材加强板有两点放电痕迹，上端放电点为主放电痕迹，有烧熔现象。跳线有两点放电痕迹，不是很明显。两条绝缘架空地线绝缘子间隙有放电痕迹，接地引下线及绝缘子上未发现放电烧伤痕迹。

2004年8月19日下午2时18分，220kV新杭I回线2231线跳闸，重合不成功。下午3时07分强送成功。历时49min。工区根据故障录波显示马上组织人员登塔巡查，经查在2231线87~88号档距（档距845.73m）距87号塔300m左右发现故障点，是由于大风引起导线偏移对边坡树木产生放电。导线放电处有三点，与树木烧伤痕迹相吻合。根据当地气象站的信息，当时

风速为 22~26.5m/s。

### 三、风偏闪络故障发生时重合闸成功率低

由于风偏闪络是在强风天气或微地形地区产生飊线风条件下发生的，这些风的持续时间多超出重合闸动作时间段，使得重合闸动作时，放电间隙仍然保持着较小的距离；同时，重合闸动作时，系统中将出现一定幅值的操作过电压，导致间隙再次放电，并且第二次放电在放电间隙较大时就可能发生。因此，输电线路发生风偏闪络故障时，重合闸成功率较低，严重影响供电可靠性。例如 2005 年度，全网 500kV 输电线路发生风偏跳闸 7 次，全部造成线路非计划停运；66~500kV 输电线路共发生风偏跳闸 57 次，事故率 70.18%。

## 第三节 风偏闪络原因分析

针对近年来频繁发生的风偏闪络事故，国内相关领域专家对其原因进行了深入的研究和分析，认为造成风偏闪络的原因可以分为外因和内因两方面<sup>[4~7]</sup>。其外因是自然界发生的强风和暴雨天气；内因是输电线路抵御强风能力不足。因此需要研究内外两方面的影响因素，从设计参数、运行维护、试验方法等方面分析存在的问题，采取针对性的解决措施和方法，减少输电线路风偏闪络的次数，提高线路的安全运行水平。

### 一、恶劣气象条件引起输电线路风偏闪络

发生风偏闪络的本质原因是由于在外界各种不利条件下造成输电线路的空气间隙距离减小，当此间隙距离的电气强度不能耐受系统运行电压时便会发生击穿放电。当输电线路处于强风环境下，特别是在某些微地形区，易于产生飊线风，此时强风使得绝缘子串向杆塔方向倾斜，减小了导线和杆塔之间的空气间隙距离，当该距离不能满足绝缘强度要求时便会发生放电。

2005 年 7 月 29 日受降雨大风等恶劣天气的影响，500kV 孝邵线（湖北孝感变至河南邵陵变）19:12 发生 C 相跳闸，重合

不成功，20：00 强送成功。经巡视发现在 459 号铁塔 C 相（左相）上曲臂距横担 3.13~3.7m 区域外侧角铁及外角四分裂外下侧导线上发生了明显的闪络痕迹。线路跳闸发生时，459 号铁塔所处的汝南县和孝镇正逢强对流天气，风向为西北风，狂风大作，暴雨如注。汝南县气象局观测点测得最大风速为 26m/s。经分析事故发生的主要原因为导线在强风作用下，向塔身侧风偏过大，对塔身放电，造成线路跳闸，由于大风的持续性，自动重合闸不能成功。

DL/T 5092—1999《110kV~500kV 架空送电线路设计技术规程》中规定，对于海拔 500~1000m 的 500kV 线路，工频电压下的最小空气间隙不得小于 1.3m；对于海拔 500mm 以下的线路，工频电压下的最小空气间隙不得小于 1.2m。2004 年 500kV 嵩获二回线、获仓线、郑祥线风偏跳闸事故均发生于海拔 500m 以下线路。通过对发生风偏闪络的杆塔构架上余留的电弧烧痕进行分析，可以反推出发生风偏闪络时的间隙距离分别为 0.98~1.15m，均不满足规程要求。虽然电弧烧痕点在强风的作用下存在一定的分散性，但仍然可以断定：2004 年 500kV 输电线路的多次风偏跳闸主要是由大风引起导线—杆塔空气间隙距离减小造成的。

目前，国内外输电线路风偏设计均是以纯空气间隙的电气绝缘强度数据作为技术依据，而没有考虑导线—杆塔空气间隙之间存在的异物（雨滴、冰雹、沙尘等）对间隙电气强度降低的影响。尤其值得注意的是，自然气候条件下，多是强风伴随着大雨。当风向是沿着导线—杆塔方向时，一方面间隙距离减小了，另一方面雨水在强风的作用下，可能沿着放电路径方向成线状分布，使得导线—杆塔空气间隙的工频耐受电压进一步降低，历年来对风偏闪络故障和事故的统计分析也说明了这点。因此，伴随着强风而来的降雨、冰雹、扬沙等也是造成输电线路风偏闪络的原因之一。



## 二、设计参数选择不当会增加输电线路风偏闪络概率

在线路风偏角设计中，如果选取的风偏角计算参数不合适，使得线路风偏角安全裕度偏小，则当线路处于强风环境下，特别是在易于产生飚线风的某些微地形区，线路发生风偏跳闸的概率就会大大增加。2004年7月3日，山西省全省范围出现了强降雨和大风天气，最大风速达到31m/s，风力分别为大同10级、朔州9级、吕梁9级、忻州8级、太原8级、阳泉8级、长治8级。受气候影响发生10kV及以上线路跳闸115条次，其中500kV线路2条次，220kV线路10条次，110kV线路1条次，35kV线路14条次，10kV线路88条次。

这表明，合理选择风偏角设计参数是保证输电线路最小空气间隙满足规程要求的前提，特别是在易于产生强风的某些微地形区，需要根据实际选择合理设计参数，提高输电线路抵御强风的能力，以减少线路风偏跳闸故障及事故的发生。

影响线路风偏角大小的主要设计参数是最大设计风速、风压不均匀系数、风速高度换算系数等。通过对搜集到的国内外输电线路风偏角设计资料汇总分析，结果表明，目前国内外在输电线路风偏角设计模型及计算方法上是一致的，但在主要设计参数的选取上则存在着较大区别。因此，必须在综合分析比较国内外风偏角设计模型及参数选取方法的基础上，立足于我国国情选取合适的风偏角设计参数，以提高输电线路抵御强风的能力，降低风偏跳闸故障及事故率。

## 第四节 导线一杆塔空气间隙电气强度

自然界强风及伴随着强风的降雨、冰雹及扬尘等是造成输电线路风偏闪络的外部原因。因此，弄清楚强风及强风带来的各种异物对放电间隙电气强度的影响对于防治输电线路风偏闪络故障具有直接的意义。针对输电线路风偏闪络大多发生在强风伴随降雨天气条件下，国内外研究人员对于风、雨水及风雨组合对