

付桂琴,曹欣. 雷雨大风与河北电网灾害特征分析[J]. 气象,2012,38(3):353-357.

# 雷雨大风与河北电网灾害特征分析<sup>\*1</sup>

付桂琴<sup>1,2</sup> 曹欣<sup>3</sup>

1 河北省气象服务中心,石家庄 050021

2 河北省气象与生态环境实验室,石家庄 050021

3 河北省电力公司,石家庄 050021

**提 要:** 利用 1983—2008 年 26 年河北省灾情直报数据资料,统计分析大风灾情记录及大风灾害对河北电网设施损坏的时空分布特征。结果表明:(1) 7~12 级大风是造成电网安全事故的主要灾害性大风;(2) 大风灾害致电网安全事故年变化存在显著差异,最多高达 43 起/年,最少年仅为 2 起/年;(3) 月分布呈显著的单峰曲线变化,6—8 月为大风灾害电网安全事故高峰期,占全年大风灾害总次数的 83%;(4) 空间分布极不均匀,燕山南麓、太行山东麓以及沿海地区是电网灾害事故相对多发区域;(5) 通过典型个例分析、成因分析,提出灾害性天气服务对策,为加强河北省电力行业气象服务及防灾减灾提供参考。

**关键词:** 雷雨大风, 电网安全, 特征分析

## The Characteristic Analysis of Thunderstorm Gale and Electrical Network Disaster in Hebei

FU Guiqin<sup>1,2</sup> CAO Xin<sup>3</sup>

1 Hebei Meteorological Science and Technology Service Center, Shijiazhuang 050021

2 Key Laboratory for Hebei Weather and Ecological Environment, Shijiazhuang 050021

3 Hebei Electric Power Corporation, Shijiazhuang 050021

**Abstract:** By using the gale disaster data in Hebei Province from 1983 to 2008, the characteristics of wind disasters leading to power system security incidents in time and space are analyzed. Results showed that: (1) The high winds of 7 to 12 scales are main factors for the electrical network security accident; (2) Wind-induced power disasters (WIPD) have significant changes yearly, the most disasters can be up to 43 cases in a year, and the least only 2 cases; (3) Monthly distribution of WIPD presents a remarkable unimodal pattern, power disasters are mainly concentrated in the summer half-year, the 97.8% of total disasters happened in April to October; (4) The spatial distribution of WIPD is extremely uneven, the electrical network disaster accidents were relatively more in Tangshan, Baoding and Cangzhou, but there were relatively few in Zhangjiakou and Chengde region. On this basis, through the case analysis and causation analysis, the prevention measures were proposed, which provided the reference to strengthening the entire province meteorological service, and the disaster prevention and reduction.

**Key words:** thunderstorm gale, wind-induced power disasters (WIPD), characteristic analysis

\* 河北省气象局科技基金重点项目“气象灾害风险评估技术应用的研究”(09ky08)和面上项目“河北省风电功率预测研究”(10ky06)共同资助

2011 年 3 月 27 日收稿; 2011 年 9 月 5 日收修定稿

第一作者: 付桂琴,从事电力气象预报服务工作. Email: fgq84@tom.com

## 引言

大风灾害是一种危害巨大的自然灾害,它威胁着人身和财产安全。尤其对电力系统,大风灾害是造成电力供应中断的主要自然灾害之一。大风灾害除造成电塔倒塔灾害外,还造成输电线路电杆被大风刮倒、刮断、输电线路发生偏闪络事故等<sup>[1-2]</sup>。这些事故的发生,给国家和人民财产带来极大的损失。关于大风灾害造成电网设施损坏方面研究,李兰等<sup>[3]</sup>通过计算最大风压,研究了瞬时大风对铁塔的破坏力。庞文保等<sup>[4]</sup>通过风随高度的变化关系,推算出 30 m 高度铁塔抗风设计建议值  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

河北省地处华北地区,东临渤海,西依太行山,北部有燕山山脉,天气气候复杂,灾害性天气对电力系统造成的损失时有发生。在所有的自然灾害中,由大风造成电力设施损坏的占总灾害的 68%。例如 2009 年 7 月 23 日夜,因局地雷雨大风等强对流天气,造成邢台任县 500 kV 输电线路发生一次性串倒输电铁塔 8 基,造成直接经济损失超过 1 个亿。2009 年 8 月 27 日,受局地大风灾害影响,石家庄栾城县 60 条 480 km 长的高压线路,发生倒杆 42 处 102 基、断杆 58 基、断线 60 处,有 6 条线路和 4 座变电站全部停电。因此分析大风灾害对电力系统设施的影响特征,有针对性地做好气象服务<sup>[5]</sup>,为防灾减灾、提前有效应对灾害性天气具有重要意义。

## 1 资料来源及说明

资料来源:根据《中国气象灾害大典》(河北卷)、河北气候影响评价、气象报表,地方民政局、农业局、档案局、救灾办以及电力公司等灾情记录,统计汇总成的河北省灾情直报数据,资料时长为 26 年(1983—2008 年),整理对电力设施、电网安全造成损害的灾情记录样本 407 个。

灾害性大风统计:在所有的灾害实例中,有的灾情明确记录最大风力及对电力设施的损坏情况,有的灾情只记录因大风天气造成电力设施损坏,没记录出现的具体风力。对灾情实例中明确记录风力的样本进行统计,以确定对电力设施造成损失的灾害性大风。不同风力造成电网设施损失的起数统计见表 1。可见 7~12 级大风是影响电网安全的主要灾害性大风。其出现频次相对较高,造成电网设施安

表 1 不同风力对电网设施造成损坏起数统计

Table 1 The statistics of WIPD

风力/级	影响起数	百分率/%
6	7	3.4
7	28	13.7
8	70	34.1
9	32	15.6
10	33	16.1
11	22	10.7
12	11	5.4
13	2	1.0

全事故的百分比率高达 95.6%,是今后预报服务和防范的重点。

## 2 1983—2008 年河北大风灾害对电网影响特征

### 2.1 年际变化特征

图 1 是 1983—2008 年 26 年逐年大风灾害引起电网安全事故发生起数。从图 1 可知,河北省历年平均大风灾害电力事故起数为 15.5 起,最多年为 1990 年的 43 起,最少年 1983 年仅为 2 起,逐年变化存在显著的差异。20 世纪 90 年代出现两个峰值高点,分别是 1990 和 1997 年,致使 90 年代年平均事故起数 18.1 起,明显高于其前后相邻的两个年代。图中趋势线是大风灾害事故一元线性回归方程,回归系数为  $-1.104$  起/10 a,说明大风灾害事故随时间呈略减少趋势,但并不显著。

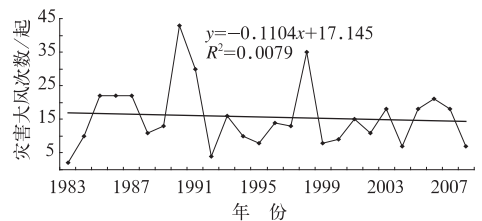


图 1 1983—2008 年河北大风灾害造成电网安全事故年变化

Fig. 1 The yearly change of WIPD (wind-induced power disasters) in Hebei Province during 1983—2008

### 2.2 月变化特征

由大风灾害造成电力系统安全事故主要出现在夏半年(5—9月),雷雨大风强对流的高发季节。河

北省雷雨大风最早出现于 4 月下旬,止于 10 月,6—8 月最多。雷雨大风持续时间短,风速大,破坏性强。图 2 给出大风灾害造成电网安全事故起数的月变化。由统计结果可知,7 月累计出现大风灾害电网安全事故 159 起,占到总灾害事故的 39.1%,6 月出现大风灾害电网安全事故 102 起,占总灾害事故 25.1%,8 月大风灾害电网事故 77 起。仅这 3 个月的灾害事故占全年总事故的 83.0%。另外 4 月出现的 8 次大风灾害事故主要出现在下旬,都记录的是雷雨、冰雹大风,属于强对流引起的瞬时大风灾害。10 月出现过的 4 次大风灾害都出现在上旬末、中旬初,也记录是雷雨大风灾害。由此可见,夏季雷雨大风是造成电力系统灾害的主要气象因素,其占总大风灾害事故的 97.8%,应引起足够重视。冬半年(11 月至翌年 3 月)大风造成的电网安全事故有但很少,其中各年 11 月均没出现过电力系统大风灾害事故,其他各月在 1~4 次之间。

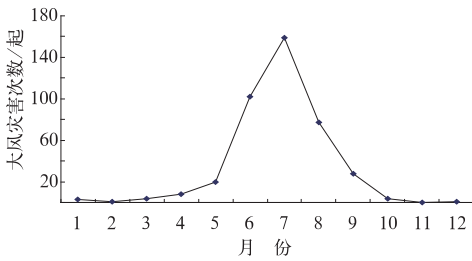


图 2 河北省大风灾害造成电网安全事故月变化

Fig. 2 The monthly change of WIPD in Hebei Province

### 2.3 空间分布特征

河北省地处中纬度沿海与内陆交接地带,南北相差约 6 个纬度,东西跨越约 7 个经度,从西北向东南依次为坝上高原、燕山和太行山地、河北平原三大地貌单元。复杂的地形地貌、气候差异和地方经济发展状况使得大风灾害电网安全事故分布极不均匀。以县为单位,统计分析 1983—2008 年河北省大风灾害造成电网安全事故的空间分布(图 3a)。由图可见,大风灾害对电力设施的影响具有明显的地域性<sup>[6]</sup>,主要出现在三个区域:(1)燕山南麓的唐山地区;(2)太行山东麓的保定地区;(3)沿海的沧州一带。而张家口、承德地区是大风灾害电网安全事故出现相对较少的区域。风灾事故次数与大风发生频次有密切关系<sup>[7]</sup>,由于大风灾害致电网安全事故主要出现在夏季,因此统计分析 1983—2008 年 6—8 月各气象站  $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上大风出现频次分布(图 3b)。在保定、沧州和唐山北部地区各有一个大风高频次中心,基本与电力灾害事故出现区域相对应。说明大风灾害多发区域,电力灾害事故也相对应较多。但是张家口西北部的大风高频次中心与电网灾害事故分布不相对应。这主要是因为张家口西北部地区与内蒙古高原相邻,平均海拔高度 1400 m,受西北路径冷空气影响,年内多大风天气;另外由于坝上地区占地面积大,人口密度小,经济相对欠发达,电力设施布设相对稀疏,因此造成的电力设施事故相对较少;第三与当地灾情上报数据有关。

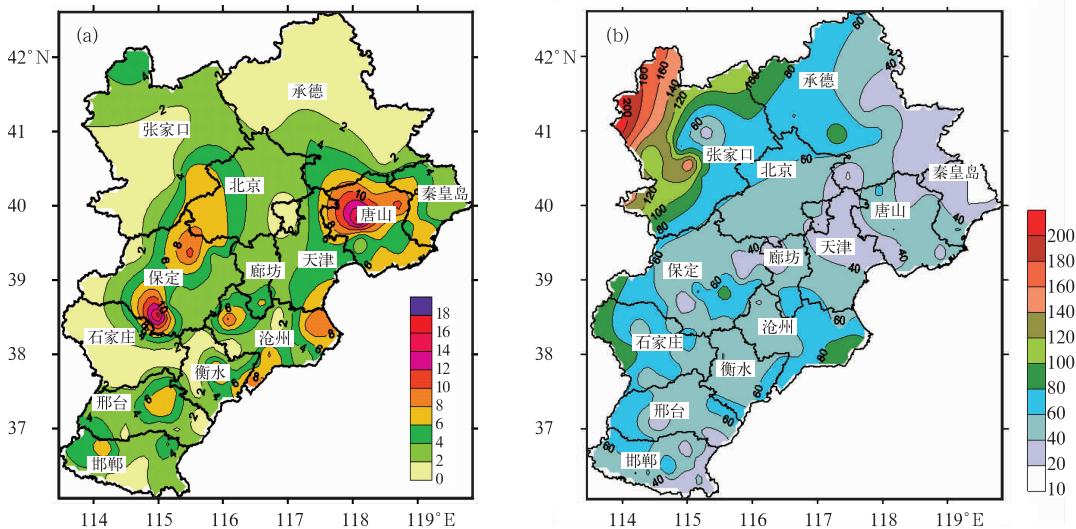


图 3 1983—2008 年 6—8 月大风频次(a)和大风灾害致电网事故(b,单位:起)空间分布对比图

Fig. 3 The distributions of high winds (a) and WIPD (b) in June—August of 1983—2008

由此可见,燕山南麓、太行山东麓等受地形影响,夏季强对流天气多,大风频次高,由此造成的大风灾害电网事故相对偏多,沧州一带受沿海大风、风暴潮的影响,出现大风相对高频次中心,电网安全事故相应较多;另外大风致电网设施安全事故分布与当地的经济发展、电力设施的布设有直接关系;第三,对于大风灾害的统计,可能有些偏远地区灾情未上报。

### 3 大风灾害个例及成因分析

#### 3.1 大风灾害个例

2009年7月23日23时至24日02时,京广铁路邢台段沿线和滏西地区出现了大风、冰雹、强降雨等强对流天气。邢台市区、任县、南和、临城东部、柏乡、内丘东部及隆尧西部出现暴雨,最大降雨出现在任县为93.6 mm,最大雨强出现在南和县城1 h降雨量达到81.8 mm。任县、南和局部地区出现冰雹,同时伴有7~8级大风,任县自动站24日00时01分极大风速达到 $24.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (9级),南和00时04分极大风速 $24.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (达到10级)。受恶劣天气影响,供电和通讯等基础设施损坏严重。河北省南部电网500 kV辛彭线南和县境内129~136号8座铁塔倒塌,7条220 kV线路跳闸,35 kV变电站全停18座,线路故障21条次、损失负荷 $2.49 \times 10^4 \text{ kW}$ ,倒杆862基,受损线路308 km,断杆1092根,基站停电334个,任县与南和县70%停电,造成直接经济损失达1亿元。铁塔倒塌附近长达4~5 km公路两侧,大树连根拔起或拦腰折断。图4是2009年7月24日00时00分的地面风速等值线分布图,可以看出在任县与南和之间存在一个 $10^1$ 量级的风速极大值区。从风场的分布来看,铁塔倒塌地点正好位于气旋的中心位置,任县先出现 $24.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风,3分钟后南和出现 $24.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风,铁塔倒塔时间正好发生在24日00时前后,与当地出现

大风的时间相吻合。根据近地面风速廓线指数模式变化方程<sup>[8]</sup>:  $u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha$ , 其中,  $u_1$  为高度  $z_1$  的平均风速,  $u$  为近地层任一高度  $z$  上的平均风速,  $\alpha$  为某一与层结有关的参数。参数  $\alpha$  与季节和地区的不同有所差异,夏季参考值  $\alpha$  取值范围 0.21~0.26,理论上计算南和7月24日00时30 m高度的风速为 $31.3 \sim 33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。因此,南和30 m高度上的风速超过电力输电铁塔抗风能力 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 值<sup>[1,3]</sup>。

#### 3.2 成因分析

夏半年强对流天气伴随的局地瞬时大风,往往造成输电线路杆受力不均衡,特别是电线本身的重量在大风的影响下产生的力,使得电线杆瞬间受力极不均衡而发生断裂、倒杆。当有一根或几根电线杆被刮断、倾倒时,受电线牵引力和风作用力的影响,其相邻的电线杆受力平衡遭到破坏,以致出现一连串的电线杆被刮倒、刮断等事故;同样串性输电铁塔倒塔主要是由于一座电塔被大风刮倒,牵连相邻电塔发生倾倒折断事故。另外,部分输电线路与公路两旁的大树呈平行走向,且相邻较近,大风刮断树枝、刮倒树干从而导致了压断电线或撑倒电杆等事故的发生。在初春、严冬季节,由于系统性大风容易造成电线舞动,特别是在出现雨夹雪、冻雨等情况下,电线积雪或结冰<sup>[9]</sup>,使得电线重量增加,在风的作用下电线舞动,护线条大量损坏,导线因严重磨损断落,以至出现电线磨损短线、掉闸闪络事故等。

### 4 大风灾害电网设施损坏统计特征及气象服务对策

#### 4.1 大风灾害电网设施损坏统计

表2是1983—2008年间大风灾害造成电网设施损坏分类及年代变化统计。从大风灾害造成电网设施灾情统计分析看,大风灾害造成输电线路杆被刮倒、刮断是最常见的灾害,在407个样本中,发生电力系统输电线路电线杆被大风刮倒、刮断的有316起,占样本总数的77.6%。变电器毁坏也是雷雨大风灾害造成电力事故的一个主要特征。在大风灾害特别严重的情况下,还会发生电塔倒塔事故,26年间发生大风致电塔倒塌事故9起,其中最为严重的一次是2001年6月15日夜间,唐河县出现雷雨、大风、冰雹等强对流天气,瞬时风力达到9级( $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),903根低压电线杆被刮倒,涉及线路长

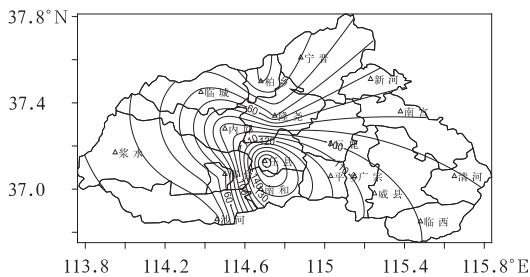


图4 2009年7月24日00时00分风速等值线

Fig. 4 The wind speed equivalent line on 00 BT July 24, 2009

表2 大风灾害造成电网设施损坏  
分类及灾情起数统计

Table 2 The statistics of WIPD and WIPD classification

时间	电线倒杆		电塔倒塔		变电器 毁坏/台
	次数/起	倒杆/根	次数/起	倒塔/座	
1983—1989年	83	11885	1	1	42
1990—1999年	152	36457	4	24	164
2000—2008年	81	6518	5	20	63
合计	316	54860	10	45	269

3800 m, 5座110 kV电杆铁塔被大风刮倒, 一台500 kV变压器被毁, 断电2天, 直接经济损失2000万元。大风灾害造成的电力系统安全事故不是孤立出现的, 而是相互联系。一次灾害性天气往往造成输电线路电杆被刮倒、刮断、电力设施开关跳闸、变电器毁坏等, 甚至输电铁塔被刮倒等多项灾害并发。无论哪种灾害都带来了大面积停电和严重的经济损失。因此做好大风灾害性天气的预报服务至关重要。

#### 4.2 气象服务对策

加强气象监测<sup>[10]</sup>, 为预报预警提供基础。现有的气象站一般都布设在县城和市区, 而电力输电线路和铁塔都布设在野外, 因此气象站点无论是密度上, 还是位置上都不能满足野外特殊观测的需要。为此, 需要加强野外特别是灾害性天气多发区域自动监测站建设, 以满足电力行业灾害性天气监测需求。

开展针对性强的气象服务研究。根据云图、天气雷达、地面自动站等多手段监测资料及综合气象资料, 提早做出灾害性天气判断, 并及时做好针对性强的气象服务, 使电力部门能及时采取应对措施, 减少和降低灾害性天气损失。

建立电力灾害评估机制<sup>[11-13]</sup>。根据大风灾害造成的电力影响, 及时作出灾害预评估, 为电力部门及时有效的防御灾害性天气造成的损失提供支持。

建立信息联动机制和畅通的信息发布渠道。气象和电力两部门加强业务交流, 气象部门要充分了解行业需求, 在大风灾害来临前, 将有用的信息及时发布出去, 供电力部门决策参考。

提高大风灾害多发区域电力设备抗风能力。河北省地形、天气气候复杂, 根据气候资料及电力设备抗灾需求, 在重点区域提高电力设备抗风设计标准, 增强其抗灾性能。

## 5 结语与讨论

利用河北省1983—2008年大风灾害对电力设施损坏实例资料, 从大风灾害发生的时间、空间及损

害电力设施类型等方面, 揭示了河北省大风灾害的分布特征。

(1) 7~12级的大风是影响河北省电网安全事故的主要灾害性大风。6—8月为大风灾害电网安全事故高峰期, 占全年大风灾害总次数的83%。1983—2008年平均每年大风灾害对电力设施造成的损坏次数为15.5次, 26年间随时间呈略减少趋势。

(2) 大风灾害电网安全事故地理分布具有明显的区域性, 主要集中在三个区域: (a) 燕山南麓的唐山地区; (b) 太行山东麓的保定地区; (c) 沧州、秦皇岛沿海区域。

(3) 在多种电力设施中, 输电线电杆被大风刮断、刮倒是最主要的灾害损失, 变电器被烧毁、输电铁塔被刮倒也是主要的电力设施损失, 其造成的直接经济损失也最为严重。

大风灾害是一种突发性强的灾害天气, 掌握大风灾害对电力设施损坏时空分布规律, 做好防御工作具有重要的社会意义。可通过以下对策加强预防: (a) 加强气象监测, 为预报预警提供基础; (b) 开展针对性强的气象服务研究, 提高预警服务能力; (c) 建立电力灾害评估机制; (d) 建立信息联动机制和畅通的信息发布渠道; (e) 提高大风灾害多发区域电力设备抗风能力。

#### 参考文献

- [1] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126-131.
- [2] 吕升亮, 王兴荣, 陈晓平, 等. 亳州市电视铁塔倒塌事故的气象原因[J]. 气象, 2001, 27(2): 52-54.
- [3] 李兰, 陈正洪. 2006年4月11—13日湖北省大风致灾分析[J]. 气象, 2007, 33(10): 23-27.
- [4] 庞文保, 李怀川, 鲁渊平, 等. 300 kV榆神输电线路最大风速取得推算[J]. 气象, 1998, 24(1): 53-55.
- [5] 黄树燕, 赵芳, 覃峥嵘. 气象为电网电力生产调度服务的效益分析与发展思考[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(4): 83-85.
- [6] 陈正洪, 刘来林, 袁业畅. 湖北大畈核电站周边飊线时空分布与灾害特征[J]. 气象, 2009, 36(1): 79-84.
- [7] 尹尽勇, 刘涛. 冬季黄渤海大风天气与渔船风损统计分析[J]. 气象, 2010, 35(6): 90-95.
- [8] 刘德祥. 近地层风速随高度的变化[J]. 干旱气象, 1983, (4): 24-26.
- [9] 李登文, 杨静, 吴兴洋. 2008年低温冰冻雨雪灾害天气过程中贵州电线积冰气象条件分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 161-169.
- [10] 陈伯, 郝庆林, 吴明江. 金华近56年电线积冰及灾害防御[J]. 气象, 2009, 35(8): 85-90.
- [11] 林良勋, 吴乃庚, 蔡安安, 等. 广东2008年低温雨雪冰冻灾害及气象应急响应[J]. 气象, 2009, 35(5): 26-33.
- [12] 顾骏强, 朱特则, 姜瑜君, 等. 探空资料在输电线路覆冰事故评估中的应用[J]. 气象, 2010, 36(8): 81-86.
- [13] 郑利兵, 陈林, 林云生, 等. 基于气象规范的电线积冰自动监测系统的研究[J]. 气象, 2010, 36(10): 97-101.