

王 洁,付桂琴,武辉芹,等. 冀北电网灾害事故的时空分布特征及风险评价[J]. 干旱气象,2018,36(5):879-883, [WANG Jie, FU Guiqin, WU Huiqin, et al. Temporal - spatial Distribution Characteristics of Power Grid Disaster Accidents and Risk Assessment in Northern Hebei[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5):879-883], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0879

冀北电网灾害事故的时空分布特征及风险评价

王 洁¹,付桂琴^{1,2},武辉芹¹,齐宇超¹,赵增保¹

(1. 河北省气象服务中心,河北 石家庄 050021;2. 河北省气象与生态环境重点实验室,河北 石家庄 050021)

摘 要:利用 2005—2017 年冀北电网输电线路逐日灾害事故记录和同期气象观测资料,统计分析该地区电网线路灾害事故的时空分布特征,评价电网输电线路的气象灾害事故风险等级。研究发现:(1)造成冀北地区电网灾害事故类型多样且分布极不均匀,主要灾种有雷害、冰害、风偏和污闪,其中雷害最多,占事故总数的 70.1%,而污闪占比最少,为 3.8%。(2)雷害频数均占冀北五地市电网气象灾害事故首位,冰害、风偏和污闪在不同地区影响不同,其中冰害、风偏对张家口电网影响较大,风偏、冰害和污闪对唐山电网影响较大,而承德、秦皇岛和廊坊电网受雷害以外灾种影响均较小。(3)冀北电网灾害事故月分布呈双峰型,主峰和次峰分别出现在 6—8 月和 11 月,主峰主要由雷害事故引起,次峰主要由冰害事故引起;13 a 间,冀北电网线路各种灾害事故均无明显变化趋势。(4)张家口东部、承德西部和南部、唐山北部是冀北电网线路气象灾害事故高风险区,唐山和秦皇岛南部、廊坊东部、张家口中部是电网线路事故低风险区,其他地区为中风险区。

关键词:冀北电网;灾害事故;时空分布;风险评价

文章编号:1006-7639(2018)05-0879-05 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0879

中图分类号:P429;P427.3

文献标志码:A

引 言

随着国民经济发展和人民生活水平的提升,我国输电线路的建设步伐亦在不断加速,截止目前全国用电量增速创五年新高。研究表明,气象条件与电网安全有密切关系^[1-2]。伴随着全球气候变暖,极端天气气候事件频发,气象灾害对电网安全运行的影响愈加明显^[3-5],雷电、大风、冰害等气象灾害会对输电导线、杆塔金具及部件造成损害,造成电网频繁掉闸、输电网络中断等供电事故,甚至还可能引起断线、倒塔、变电设备受损等严重事故,给输电线路和电网的安全运行造成极大威胁^[6-8]。国内外学者先后开展了气象灾害致电网事故的相关研究。JONES^[9]利用 Springfield 历史观测数据,考虑风速、降水因素对输电线路的影响,构建电线积冰模型,预报电线上冻雨凝结的积冰厚度。DEGAETANO 等^[10]对美国东部发生的 38 次电线结冰事件进行特征分析,并利用 WRF 模式对电线积冰进行预报。

AHTI 等^[11]和 SUNDIN 等^[12]利用实测资料分析了气象要素与输电线路之间的关系。陆佳政等^[13]对湖北省级 220 kV 及以上输电线路故障进行统计分析,发现雷害、冰害等灾种是影响该省输电线路安全稳定运行的主要气象因素。陈百炼等^[14]阐述了贵州冬季电线积冰的成因、类型和分布特征,分析了贵州电线覆冰的形成机理和天气成因,得出 0℃ 为电线积冰的临界气象指标。

冀北地区地处中纬度沿海与内陆过渡地带,辖张家口、承德、唐山、秦皇岛和廊坊 5 个行政市,对京津地区形成半包围,是电力输送的重要节点。地形上,由张承坝上高原、冀西北山间盆地、冀北及燕山山地丘陵三大地貌类型组成,地形地貌复杂,气象灾害种类繁多^[15-17]。因此,开展冀北电网输电线路的风险评估,提高电力气象灾害的防御能力和服务的针对性,是冀北电力部门的迫切需求。

河北省气象局开展电力服务多年,面对用户需求,在气象要素对电网安全运行影响方面做了

收稿日期:2018-06-08;改回日期:2018-07-31

基金项目:河北省科技厅项目“电力微气象灾害监测与预报预警技术及体系建设研究”(16275409D)资助

作者简介:王洁(1988—),女,工程师,主要从事电力、交通气象服务. E-mail:1107834478@qq.com.

通信作者:付桂琴,女,正研级高工,主要从事电力、健康等应用气象研究. E-mail:919942110@qq.com.

相关研究,建立了河北电网输电线路舞动、积冰等气象灾害要素预报模型^[18-20]。然而,之前研究多以行政区为单元,鲜有基于输电线路杆塔为单元的电网气象灾害事故精细化分析及风险评估。为此,本文利用2005—2017年冀北输电线路故障、杆塔位置及灾害类型等资料,统计分析该地区气象灾害引发的输电线路事故及其时空分布特征,对输电线路的主要气象灾害事故风险进行精细化评价,为冀北电力气象服务和灾害防御、电网安全运行提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

使用冀北电力科学研究院提供的2005—2017年冀北电网输电线路事故逐日资料,包括220 kV和500 kV输电线路的杆塔故障及灾害类型记录等。其中,将雷击、雷电灾害记录统计为雷害,冰闪、舞动、覆冰舞动、覆冰记录统计为冰害;风偏、大风、飏线风记录统计为风偏,污闪记录统计为污闪,而将鸟害、外力等引起故障的记录统计为其他。因此,造成冀北输电线路气象灾害事故主要包括雷害、冰害、风偏、污闪。

结合电网输电铁塔、线杆位置分布,对应选取临近的国家气象站和区域气象站同期逐日气象资料,包括气温、相对湿度、风速、风向、降水和雷暴日、霾日等,该资料由河北省气象信息中心提供。

1.2 风险评价方法

由于输电线路气象灾害事故风险与干旱灾害风险同为小概率事件,本文引用气象灾害风险指数方法^[16,21],对2005—2017年冀北电网220 kV和500 kV输电线路发生气象灾害事故的205条输电线路段进行气象灾害事故风险评价,其计算公式为:

$$K_I = \sum_{i=1}^M \frac{D}{N} H_M \quad (1)$$

其中: K_I 为气象灾害致输电线路事故的风险指数; M 为输电线路气象灾害事故年次数的分组数,本研究分为4组; D 为输电线路气象灾害事故每组的灾年数; N 为研究时段; H 为线路气象灾害事故的年次数中值。根据冀北输电线路事故的气象灾害风险指数,将冀北输电线路分为高风险、中风险、低风险三个等级。

2 冀北电网气象灾害事故时空分布特征

2.1 灾害类型分布

表1是2005—2017年冀北电网事故的灾害分类统计。可见,13 a间造成冀北电网事故的灾害共发

生421次,其中雷害295次,占灾害总数的70.1%,远高于其他灾种;冰害59次,占灾害总数的14%;风偏、污闪发生次数分别为34次、16次,所占比例分别为8.1%、3.8%,而其他原因占5.6%。可见,气象灾害是引发冀北电网事故的主要因素。

冀北电网事故发生频繁,与输电线路杆塔所在地形及气象灾害发生频次有关。从地域分布上看,冀北五地市电网灾害事故分布极不均匀,张家口电网灾害事故最多,13 a间共发生137次,除污闪灾害事故外,其他灾种均有发生,其中雷害76次,居于首位,冰害38次,风偏18次;其次是承德、唐山,电网灾害事故分别为131、126次,承德除污闪外,其他灾种均有发生,而唐山各灾种均有发生;廊坊、秦皇岛电网事故较低。从灾种上看,雷害事故频次在冀北五地市均位居首位,张家口冰害、风偏对电网安全运行影响较大,唐山电网受污闪、冰害和风偏影响较大,而承德、秦皇岛和廊坊电网受雷害以外灾种影响较小。

表1 2005—2017年冀北电网灾害事故次数统计

Tab.1 Statistics of disaster accident frequency of power grid in northern Hebei during 2005 - 2017

						单位:次
地区	雷害	风偏	冰害	污闪	其他	合计
承德	120	1	7	0	3	131
廊坊	11	2	0	0	1	14
秦皇岛	11	1	1	0	0	13
唐山	77	12	13	16	8	126
张家口	76	18	38	0	5	137
合计	295	34	59	16	17	421

2.2 年际变化特征

图1是2005—2017年冀北电网灾害事故发生频次年变化。可以看出,冀北电网灾害事故年平均为31次,2005年最少,仅为12次,2013年最多达57次。从灾种频次来看,雷害为冀北电网事故的主要灾种,2013年雷害事故发生最多,达49次,是最少年份(2009年)的9.8倍;其他灾种频数年平均在5次以下,污闪事故仅在2006年发生过,年际变化不明显,而风偏和冰害事故年际波动较大。总体来看,近13 a各类灾害引发的冀北电网事故发生频次均无明显变化趋势。

2.3 月际变化特征

图2是2005—2017年冀北电网灾害事故频次

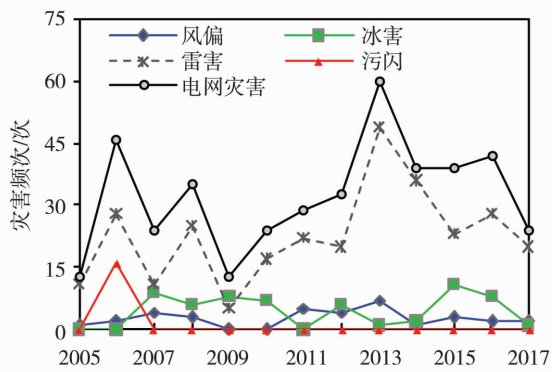


图1 2005—2017年冀北电网灾害事故发生频次年变化

Fig.1 Annual changes of disaster accident frequency of power grid in northern Hebei from 2005 to 2017

月分布。可以看出,冀北电网灾害事故呈双峰型分布,夏季是电网灾害事故的高发期,占全年电网灾害事故的63.4%,7月为最高峰值,11月为次峰值。从主要灾种的月分布来看,冀北电网雷害事故的月分布呈单峰型,夏季是雷害事故的高发期,峰值出现在6月,为87次,与电网灾害事故的相关系数高达0.97,说明冀北电网事故主要由雷害引起;电网风偏事故的月分布特征与雷害相似,风偏事故主要发生在夏季,占全年的76.5%。由于6—9月是河北省主汛期,河北北部夏季受偏南季风气流影响,雷雨大风强对流天气频发,极易引发电网灾害事故。电网冰害事故的月分布特征与其他灾害不同,表现出双峰型,主要出现在10月到次年5月,11月为最高峰值;污闪事故仅出现在1月(2006年)。尽管冀北电网的冰害、风偏等灾害事故较雷害严重偏少,但其持续时间长和受灾面积广、程度重,造成的社会经济损失较大,不容小觑。

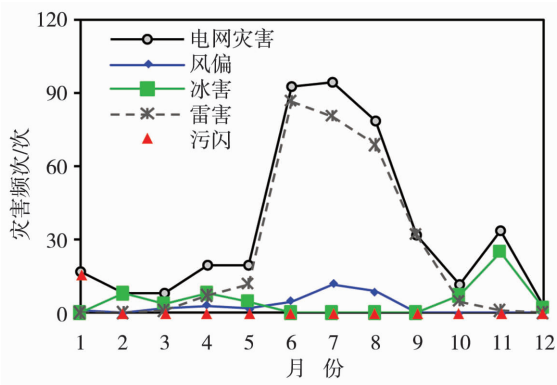


图2 2005—2017年冀北电网灾害事故月变化

Fig.2 Monthly variations of disasters accident frequency of power grid in northern Hebei from 2005 to 2017

3 冀北输电线路气象灾害事故风险评价

3.1 输电线路气象灾害事故风险分布

经统计,13 a间冀北五地市气象灾害导致单条输电线路事故最多发生11次,最少发生1次,其中发生1~6次事故的最多,达413次,占输电线路事故总数的98.1%;发生7~12次电路事故的仅有8次。因此,将线路气象灾害事故年次数分成1~3、4~6、7~9、10~12次,共计4组,即公式(1)中的M为4组。每年因气象灾害导致电网杆塔事故1~3次的年份最多,4~6次的年份明显减少,7次以上的年份最少,只出现在部分输电线路。H为每一组的中值,分别为2、5、8、11。D为每一组的灾年数。经计算,冀北输电线路的气象灾害事故风险指数为0.15~1.08,根据等宽分箱法,将冀北输电线路气象灾害事故风险分为高风险(0.77~1.08)、中风险(0.46~0.76)、低风险(0.15~0.45)三个等级。可见,冀北电网输电线路不同路段事故灾年、频次差异较大,面临的风险不同。

图3是气象灾害致冀北输电线路事故风险的空间分布。可以看出,张家口东部的赤城万顺一线段为雷害和风偏事故的高风险区域,灾害风险指数为1.08;承德西部、张家口北部的沽太一线丰宁和沽源线段为雷害事故高风险区,灾害风险指数为0.93,可见,雷害是影响冀北输电线路安全运行的重要气象因素。因此,针对雷害高发区,加密架设避雷针、降低杆塔接地电阻等方式提高线路的绝缘性,是预防雷害对电网线路安全运行的有效途径。风偏故障会造成电弧烧伤及线路短路等现象,针对其高发区域,应采取加装重锤、防风拉线、防风偏绝缘拉索、负荷横担等综合防范措施,定期检查防风设施,跟踪治理效果,同时加强输电线路途经区域气象监测,基于微地形开展输电线路的防风加固研究。

途经承德南部至唐山北部的承德县、遵化、丰润、迁西四县的承姜二线段为冰害事故高风险区,灾害风险指数为1.08。加强对冰害易发生区域的监测,针对冰害事故易发线路加装防冻外绝缘配置,提高线路防覆冰设防标准,并利用短路融冰技术、过电流融冰技术对冰冻进行驱除,同时加强冬季线路的检修和维护,提高输电线路防冰能力。

途经唐山的丰南和曹妃甸两地的安滨线为污闪事故高风险区域,灾害风险指数为0.85。可通过该线路实时监测的气象条件及污秽情况,控制线路两端变压器,降低其运行电压,在保证线路正常运行情况下,实现对线路污闪的防御。

综上所述,冀北五地市输电线路的气象灾害事故低风险等级主要位于张家口中东部的宣东一线、二线、家南一线和宣榆线、秦皇岛东南部的龙小一线、黎龙二线、高天一、二线和唐山南部的安南线、安曹二线、安林二线等;其余输电线路为中风险等级。

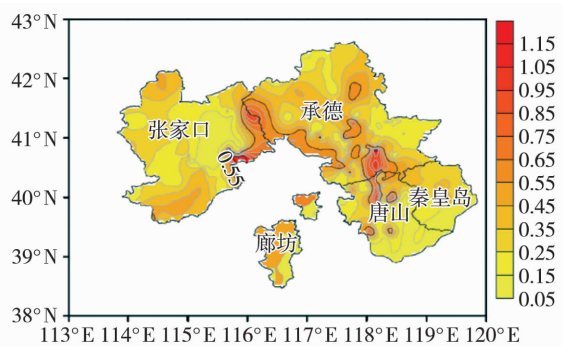


图3 2005—2017年冀北地区输电线路气象灾害事故风险分布

Fig. 3 Spatial distribution of meteorological disaster accident risk of transmission line in northern Hebei from 2005 to 2017

3.2 气象灾害致输电线路事故成因探讨

结合地形分布(图4),对2005—2017年冀北电网输电线路途经区域气象站数据分析发现:张家口东部赤城地区位于蒙古高原向华北平原过渡地带,境内多山地与平原接壤,受地形影响局地小气候特征显著,易出现瞬时大风和雷暴等局地强对流天气,一年中日最大风速超过 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的日数最高为147 d,年雷暴日数平均为46 d,万顺一线输电线路为事故高风险区,气象灾种为雷害和风偏,分别占75.0%和25.0%;承德南部与唐山北部的遵化、承德、丰润、迁西县年平均相对湿度在64%以上,承姜二线段途经上述四县,下垫面受大黑汀水库和潘家口水

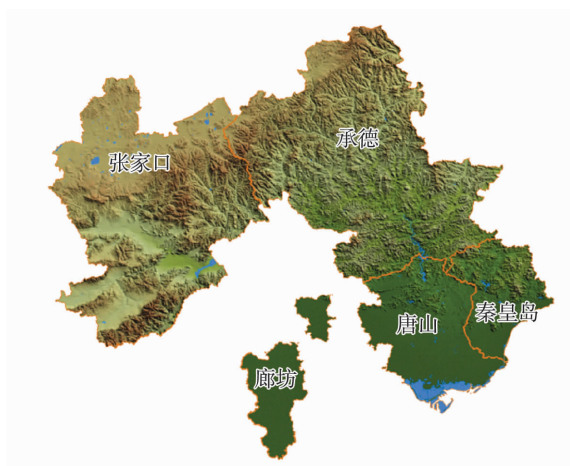


图4 冀北地区地形

Fig. 4 Topography of northern Hebei Province

库影响,相对湿度更大^[22-23],承姜二线段为冰害事故高风险区;承德西部与张家口北部交界处的丰宁、沽源地区为典型山区地形,易发生强对流天气,两地年雷暴日数平均为43 d,途经该地区的沽太一线为雷害事故高风险区;唐山的丰南和曹妃甸濒临渤海,空气湿度大,年平均相对湿度约为60.0%,污染性天气频发,两地年霾日数最高达218、263 d,年大雾日数最高达39、58 d,受周边工业污染、盐碱等影响,安滨线为污闪事故风险高发线段。

4 结论

(1)冀北地区电网灾害类型多样且分布极不均匀,这与输电线路杆塔所在地形、灾害频次和强度、线路走向有关。其中,张家口为电网事故高发区,东北部沿海地区秦皇岛是低发区。五地市电网均受雷害影响最大,冰害、风偏对张家口电网安全运行影响较大,唐山输电线路受风偏和污闪影响较大,承德、秦皇岛和廊坊输电线路受雷害以外的灾种影响较小。

(2)冀北电网灾害事故月分布呈双峰型,主峰出现在6—8月,雷害是其主要灾种,次峰出现在11月,冰害是其主要灾种,但不同灾种的月分布特征不尽一致。尽管冰害、风偏事故等较雷害严重偏少,但其持续时间长、受灾面积广、影响程度严重,造成的社会经济损失较大,不容小觑。

(3)赤城万顺一线段、承德南部至唐山北部承姜二线段、承德西部至张家口北部沽太一线段、唐山中南部安滨线段为冀北电网输电线路气象灾害事故高风险区,灾害风险指数为0.77~1.08;其余输电线路为中、低风险等级,灾害风险指数分别在0.46~0.76、0.45及以下。

(4)受地形和输电线路走向等影响,冀北电网各高风险线路的灾种不同。高风险输电线路中万顺一线赤城地区段受山地与平原过渡带影响,为雷害和风偏事故的高风险线路;承德南部和唐山北部承姜二线段受水库影响,为冰害事故的高风险线路;承德西部和张家口北部沽太一线受山区地形影响,为雷害事故的高风险线路;唐山中南部安滨线受渤海影响,为污闪事故的高风险线路。

参考文献:

- [1] 罗慧,徐军昶,肖波,等. 气象因子对西安城市用电量的影响研究及中长期系统化预测[J]. 气象,2016,42(1):54-60.
- [2] 张翠华. 气象要素对电力污闪发生的影响[J]. 干旱气象,2015,33(1):180-184.
- [3] 谢强,张勇,李杰. 华东电网500 kV任上5237线爬线风致倒塔事故调查分析[J]. 电网技术,2006,30(10):59-63.

- [4] 何永秀,朱芷,罗涛,等. 城市电网规划自然灾害风险评估研究[J]. 电工技术学报,2011,26(12):205-210.
- [5] 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.
- [6] 霍林,谭萍,张婷婷,等. 电力气象灾害时空分布特征及其影响分析[J]. 南方农业,2017,11(20):83-84.
- [7] 王丙兰,宋丽莉,袁春红,等. 河南电网输电线路舞动的气象要素指标研究[J]. 气象,2017,43(1):108-114.
- [8] 杨琳晗,赵增保,张彦恒,等. 基于层次法的冀北地区输电线路雷击风险区划[J]. 干旱气象,2018,36(3):516-521.
- [9] JONES K F. A simple model for freezing rain ice loads[J]. Atmospheric Research, 1998,46(1):87-97.
- [10] DEGAETANO A T, BELCHER B N, SPIER P L. Short-term ice accretion forecasts for electric utilities using the weather research and forecasting model and a modified precipitation-type algorithm[J]. Weather and Forecasting, 2008,23(5):838-853.
- [11] AHTI K, MAKKONEN L. Observation on rime formation in relation to routinely measured meteorological parameters[J]. Geophysica, 1982,19:75-85.
- [12] SUNDIN E, MAKKONEN L. Ice loads on a lattice tower estimated by weather station data[J]. Journal of Applied Meteorology, 2015,37(5):523-529.
- [13] 陆佳政,周特军,吴传平,等. 某省级电网220 kV及以上输电线路故障统计与分析[J]. 高压技术,2016,42(1):200-207.
- [14] 陈百炼,吴战平,张艳梅,等. 贵州冬季电线积冰及其天气成因分析[J]. 气象,2014,40(3):355-363.
- [15] 吴孟恒,田艳婷,崔海华,等. 2003—2008年河北省雷电灾害特征统计分析[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):21-25.
- [16] 李亚军,卫晋芳,张忠效,等. 山西省不同导线电线积冰特征对比分析[J]. 科技与创新,2016(18):26-29.
- [17] 王茜,王卫,吕昌河. 基于GIS和RS的土地利用与土壤侵蚀关系研究——以冀北地区为例[J]. 中国水土保持科学,2006,4(6):37-41.
- [18] 顾光芹,周须文,史印山. 河北省输电线路舞动特点及气象因素分析[J]. 热带气象学报,2012,28(6):953-960.
- [19] 付桂琴,张文宗. 河北省致电网事故的气象灾害特征及风险评价[J]. 干旱气象,2014,32(3):460-464.
- [20] 武辉芹,张金满,赵增保. 河北省输电线路冰害的气象要素时空分布特征[J]. 干旱气象,2017,35(6):991-997.
- [21] 张文宗,赵春雷,康西言,等. 河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(2):10-15.
- [22] 马占山,张强,秦琰琰. 三峡水库对区域气候影响的数值模拟分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(9):1044-1052.
- [23] 廖顺宝,杨旭,陈世强. 基于时空观测样本的水库库区小气候效应分析——以福建省大型水库为例[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2014,30(5):38-43.

Temporal – spatial Distribution Characteristics of Power Grid Disaster Accidents and Risk Assessment in Northern Hebei

WANG Jie¹, FU Guiqin^{1,2}, WU Huiqin¹, QI Yuchao¹, ZHAO Zengbao¹

(1. Hebei Provincial Meteorology Service Center, Shijiazhuang 050021, China;

2. Key Laboratory for Meteorology and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on daily disaster and accident information of transmission lines in power grid of northern Hebei Province and meteorological observation data from 2005 to 2017, the temporal and spatial distribution characteristics of disaster accidents of power grid were statistically analyzed, and the meteorological disaster risk of transmission lines were assessed. The results are as follows: (1) There were diverse disasters causing accidents of transmission lines in power grid of northern Hebei Province during 2005 – 2017, mainly including lightning disaster, ice disaster, windage yaw and pollution flashover, and their distributions were very uneven. The frequency of transmission line accidents causing by lightning disaster was most, and it accounted for 70.1% of total accidents, while the proportion of pollution flashover was least (3.8%). (2) The frequency of lightning disaster accidents was the first in power grid accidents in five cities of northern Hebei Province, but the effects of ice disaster, windage yaw and pollution flashover on transmission lines were different in different areas. The effect of ice disaster and windage yaw on power grid in Zhangjiakou was greater, while for windage yaw, ice disaster and pollution flashover in Tangshan it was greater. The meteorological disasters had a few influence except lightning disaster on power grid in Chengde, Qinhuangdao and Langfang. (3) The monthly distribution curve of accident frequency of power grid in northern Hebei presented a double peak shape, the major and secondary peaks occurred in June to August and November, respectively, and the lightning disaster mainly caused power grid accidents in major peak period, while the ice disaster was main in secondary peak period. The various disaster accidents of transmission line in northern Hebei Province hadn't obvious change trend during 2005 – 2017. (4) The risk of meteorological disasters causing transmission line accidents was high in eastern part of Zhangjiakou, western and southern part of Chengde, northern part of Tangshan, while it was relatively low in southern part of Tangshan, southern part of Qinhuangdao, eastern part of Langfang and central Zhangjiakou. The risk in other region was moderate.

Key words: power grid in northern Hebei Province; disaster accidents; spatial and temporal distribution; risk assessment