

杨琳晗,赵增保,张彦恒,等. 基于层次法的冀北地区输电线雷击风险区划[J]. 干旱气象,2018,36(3):516-521, [YANG Linhan, ZHAO Zengbao, ZHANG Yanheng, et al. Lightning Strike Risk Zoning of Transmission Lines in Northern of Hebei Province Based on Analytic Hierarchy Process (AHP) Model[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(3):516-521], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0516

基于层次法的冀北地区输电线雷击风险区划

杨琳晗,赵增保,张彦恒,武辉芹,张 娣

(河北省气象服务中心,河北 石家庄 050021)

摘 要:根据冀北地区2012—2015年输电线路雷击灾害资料及1981—2015年雷暴日数,结合冀北地区的人口密度、经济发展等社会经济特征,选取雷击灾害频度、雷暴日数、生命易损模数和经济易损模数4个指标,采用层次分析法确定评估指标权重分布,建立输电线路雷击风险评估模型,形成冀北地区输电线雷击灾害风险区划图。结果表明:极高风险区有崇礼、丰宁、承德县、青龙、迁安、遵化、迁西、丰润和香河,高风险区主要位于张家口中部和南部、承德北部和东部、唐山中部和廊坊中部,极高风险区和高风险区应为输电线路雷击风险重点防护地区;中风险区主要位于张家口北部和西部、承德中部和东南部、唐山东部、秦皇岛中部、廊坊北部和南部;低风险区主要位于玉田、曹妃甸、滦南、乐亭和永清。

关键词:冀北地区;雷击灾害;风险区划;层次分析法

文章编号:1006-7639(2018)03-0516-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0516

中图分类号:P429;X820.4

文献标志码:A

引 言

近年来,随着社会发展,输电线路覆盖的区域日益增多,气象因素对电网的安全运行影响越来越大,也越来越受到关注。张翠华^[1]研究发现,输电线污闪事故具有发生概率小,但影响范围广、影响时间长的特点,因而对污闪发生级别的综合预测标准进行了研究。武辉芹等^[2]发现电线积冰具有地域性,尤其2012—2014年全国330 kV输电导线因气象因素导致掉闸的事故中,河北北部冰害的掉闸率位居全国第3,对河北电网影响较大,进而对雨淞、雾淞以及电线积冰的关系进行了研究。付桂琴等^[3]研究发现,大风、暴雨、雷电是造成河北省电网安全事故的主要气象因素,占事故总数的98.5%,其中由于雷击而发生的电网事故频率最高。吴孟恒等^[4]研究发现,河北省的雷电分布特征主要是北部多于南部,山地多于平原,即冀北地区(张家口、承德、廊坊、唐山、秦皇岛)的雷电灾害是整个河北省的多发区。

目前,针对雷电灾害风险易损性的区划研究较

多,方法也各不相同。如蒋勇军等^[5]、尹娜等^[6]、严春银^[7]、郭虎等^[8]、田艳婷等^[9]通过对各指标取相同权重得到综合易损度,进而对不同区域的雷电易损度进行区划;而殷娴等^[10]则通过对各项指标应用聚类方法得到综合易损度,袁湘玲等^[11]通过层次法对各指标的权重系数进行赋值,从而得到黑龙江省雷电灾害风险区划。但对比结果发现,雷电灾害的区划具有明显的区域性,各项评估指标进行综合评估时多为平均处理。樊运晓等^[12]对应用层次法确定易损性评估中各指标的权重系数进行研究,弥补了权重系数处理方法的不足。现有的研究中,多以市为研究单位,针对输电线的雷击风险区划研究较少,无法满足电力行业日益精细化的需求。因此,全面认识和恰当评价冀北地区雷电灾害对输电线路造成的风险,是十分有必要的。

本文选取雷暴日数、输电线路雷击灾害频度、生命易损模数和经济易损模数作为雷击灾害风险评估指标,采用层次分析法确定各风险评估指标权重分布,建立雷击灾害风险评估模型,形成冀北地区雷击灾害风险区划图,为电力行业防灾减灾

收稿日期:2017-12-11;改回日期:2018-04-08

基金项目:河北省科技厅项目(162754091)和河北省气象局科研项目(18ky15)共同资助

作者简介:杨琳晗(1990—),女,硕士,助工,主要从事专业气象服务工作. E-mail:1015153969@qq.com.

提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

使用资料包括:(1)河北省气象信息中心提供的1981—2015年冀北地区48个气象站日雷暴资料,每个站的雷暴日数是指35a的年平均雷暴日数;(2)电力公司提供的2011—2015年输电线路雷击灾害信息;(3)人口和经济特征资料来自《河北统计年鉴2016》^[13]发布的2015年统计数据。3种数据资料的年限不同,主要基于以下考虑,气象站的雷暴日数资料时段采用1981—2015年会使雷暴日数的统计更具有可靠性和代表性;输电线路的雷击灾害选用2011—2015年即近几年的灾害数据可以侧面反映当地的输电线路对于雷击的防护等级以及电网密度;人口和经济特征资料选用最近时次的统计,更能代表雷击事故发生后对社会经济和当地居民用电的影响。

1.2 方法

层次分析法由SAATY^[14]在1970年代中期提出,它的基本思想是把一个复杂的问题分解为各个组成因素,并将这些因素按支配关系分组,从而形成一个有序的递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性,然后综合人的判断以确定决策诸因素相对重要性的总排序。具体步骤如下:

(1)建立层次结构模型。依据风险评估要求,将模型分为3层,第1层是雷电灾害危险度的目标层;第2层是灾害形成条件的准则层;第3层是影响因素的指标层。

(2)建立雷击灾害风险评估指标的权重判断矩阵 T ,其大小为各指标之间相对重要性的比较。按SAATY标度方法,用 B_i 与 B_j 分别代表各个指标, B_{ij} 表示该项所对应的 B_i 比 B_j 的重要程度,取值为1、3、5分别表示 B_i 与 B_j 相比,一样重要、略重要、重要,2、4介于上述相邻两项之间;相应倒数表示不重要程度。

$$T = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \end{pmatrix}$$

(3)判断矩阵计算各指标的相对权重。首先计算判断矩阵 T 的最大特征根 λ 和特征向量 W ,

然后对 W 进行归一化处理,最终可得各指标的相对权重。

(4)判断矩阵的一致性检验。首先计算一致性指标 CI , $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$, n 为判断矩阵阶数;然后,查找平均随机一致性指标 RI , RI 为多次(500次以上)重复进行随机判断矩阵特征根计算之后取算数平均得到,SAATY给出的 RI 指标1~9阶,分别为0、0.58、0.90、1.12、1.24、1.32、1.41、1.45;最后计算一致性比例 CR , $CR = CI/RI$,当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可行的,否则,则需对判断矩阵做相应的修正。

均值-标准差法是利用数列均值和不同标准差倍数的组合来进行划分,从而实现有效的分类。其基本思路是将数据以 μ (均值)、 $\pm 1\text{std}$ (标准差)为分割点划分4级;以 $\pm 0.5\text{std}$ 、 $\pm 1\text{std}$ 为分割点划分5级,同理,以 μ 、 $\pm 0.5\text{std}$ 、 $\pm 1\text{std}$ 为分割点划分6级等;文中采用4分法进行分类。

2 建立雷击灾害风险评估模型

采用的雷击灾害风险评估指标包括雷击灾害频度、雷暴日数、生命易损模数和经济易损模数4个指标。输电线路雷击灾害频度 P (次 $\cdot a^{-1}$)指各县区域内平均每年发生输电线路雷击事件的次数;雷暴日数 M ($d \cdot a^{-1}$)代表一个区域内雷暴活动频繁程度;生命易损模数 L (人 $\cdot km^{-2}$),表示区域发生雷击灾害时单位面积上受危害的人口数量,其计算公式为 $L = L_s/S$, L_s 为各县市的人口总数, S 为各县市的国土面积;经济易损模数 D (万元 $\cdot km^{-2}$)表示区域内发生雷击灾害时单位面积上的经济损失,其计算公式为 $D = D_s/S$, D_s 为各县市的GDP生产总值, S 为各县市的国土面积。表1是冀北地区各县市输电线路雷击风险评估指标。

由4个评估指标,可以得到评价体系矩阵 $Q = [P \ M \ L \ D]$ 。通过层次分析法得到各项指标的权重矩阵 W ,进而可以求出其综合风险 $R = W \times Q$ 。通过比较各指标的相对重要性得到输电线路雷击风险评估判断矩阵(表2)。

通过计算,可得到最大特征值 $\lambda = 4.0468$,特征向量 $W = [0.4731, 0.2845, 0.1696, 0.0728]$, RI 由SAATY给出的指标4阶为0.90,得到 $CR = 0.017 < 0.1$,可认为判断矩阵可行,即得到输电线路雷击综合风险评估模型 R :

$$R = 0.4731P + 0.2845M + 0.1696L + 0.0728D \quad (1)$$

表 1 冀北地区各县市输电线路雷击风险评估指标

Tab. 1 Lightning strike evaluation index of transmission lines in counties and cities in northern of Hebei Province

县市	$M/$ ($d \cdot a^{-1}$)	$P/$ ($次 \cdot a^{-1}$)	$L/$ ($人 \cdot km^{-2}$)	$D/$ ($万元 \cdot km^{-2}$)	县市	$M/$ ($d \cdot a^{-1}$)	$P/$ ($次 \cdot a^{-1}$)	$L/$ ($人 \cdot km^{-2}$)	$D/$ ($万元 \cdot km^{-2}$)
康保	36.6	0	81.5	128.3	迁西	35.5	3.50	276.6	2 754.6
尚义	42.3	0	73.7	130.6	青龙	36.9	7.75	161.3	279.4
张北	40.8	0.75	94.5	236.5	滦南	27.3	0.50	387.4	2 114.5
怀安	42.9	0	144.9	371.7	卢龙	32.8	0.25	442.5	1 057.1
阳原	37.3	0	148.7	226.7	迁安	33.8	1.50	620.9	7 260.9
宣化	38.0	0	135.8	412.7	秦皇岛	26.4	0.25	829.0	3 849.1
万全	39.1	0.25	193.6	537.2	大厂	29.3	0.25	733.0	4 922.0
蔚县	44.2	0.75	157.2	249.0	固安	30.4	0.25	711.9	2 596.3
沽源	37.5	0	66.7	130.2	廊坊	30.2	0.75	865.4	4 444.6
崇礼	41.3	2.25	54.5	147.8	霸州	29.5	0.25	804.7	4 547.3
丰宁	42.1	1.75	46.8	107.9	永清	27.7	0	522.3	1 283.7
围场	37.3	0.50	58.8	110.9	三河	30.7	0	1 027.6	8 045.0
隆化	38.3	0	81.9	201.9	香河	29.0	1.50	807.8	4 433.2
平泉	38.1	0.50	146.7	472.6	玉田	32.1	0	602.6	3 022.8
张家口	36.8	0.75	1 039.9	4 711.3	滦县	27.4	0.25	546.7	4 222.3
赤城	37.9	0.50	56.6	142.3	丰润	31.7	1.50	716.9	5 257.9
怀来	34.5	0.50	199.8	710.8	丰南	26.2	1.50	403.8	4 676.3
涿鹿	38.6	0.75	125.6	329.7	唐山	31.3	0.25	1 944.9	7 336.9
滦平	41.0	0.50	109.6	514.5	曹妃甸	28.0	0	163.3	2 728.7
承德	43.2	0	565.3	3 027.2	乐亭	28.0	0	318.8	2 229.0
兴隆	39.1	0	105.7	312.2	昌黎	28.5	0.25	434.7	1 622.6
遵化	43.8	2.00	501.0	3 197.4	抚宁	28.3	1.25	353.6	1 115.6
承德县	35.9	1.50	116.8	319.6	文安	27.0	2.25	518.4	1 264.9
宽城	33.3	1.25	134.4	1 018.4	大城	22.4	0.75	579.1	1 243.6

表 2 冀北地区输电线路雷击风险评估判断矩阵

Tab. 2 The judgment matrix of lightning strike evaluation of transmission lines in northern of Hebei Province

T	$B1$	$B2$	$B3$	$B4$
$B1$	1	2	3	5
$B2$	1/2	1	2	4
$B3$	1/3	1/2	1	3
$B4$	1/5	1/4	1/3	1

注: $B1$ 表示雷击灾害频度, $B2$ 表示雷暴日数平均, $B3$ 表示生命易损模数, $B4$ 表示经济易损模数

3 输电线路雷击灾害风险区划与评价

为便于比较和对比,按照灾害学统一量纲的通用方法^[5],并结合冀北地区雷击灾害实情,对输电线路雷击风险评估指标采用均值-标准差法进行4级分类,即用极高、高、中和低4个级别来描述。对各等级的输电线路雷击风险评估指标赋值如下:极高为1.0,高为0.8,中为0.5,低为0.2(表3),再由公式(1)计算,得到冀北各县市的输电线路雷击综合风险指标,见表4。

表3 冀北地区输电线路雷击风险评估指标等级分类

Tab.3 Classification of lightning strike risk evaluation index grade of transmission lines in northern of Hebei Province

评估指标	等级(赋值)			
	极高(1.0)	高(0.8)	中(0.5)	低(0.2)
雷暴日数/(d·a ⁻¹)	>40.09	(34.38, 40.09]	(28.67, 34.38]	≤28.67
雷击灾害频度/(次·a ⁻¹)	>2.10	(0.82, 2.10]	(0, 0.82]	0
生命损失模数/(人·km ⁻²)	>768.49	(400.28, 768.49]	(32.06, 400.28]	≤32.06
经济损失模数/(万元·km ⁻²)	>4 268.77	(2 084.49, 4 268.77]	(0, 2 084.49]	0

表4 冀北地区各县市的输电线路雷击综合风险指标

Tab.4 Comprehensive lightning strike risk index of transmission lines in counties and cities in northern of Hebei Province

县市	综合风险	县市	综合风险	县市	综合风险	县市	综合风险
康保	0.44	隆化	0.44	迁西	0.84	香河	0.76
尚义	0.50	平泉	0.58	青龙	0.82	玉田	0.43
张北	0.64	张家口	0.71	滦南	0.44	滦县	0.49
怀安	0.50	赤城	0.58	卢龙	0.55	丰润	0.73
阳原	0.44	怀来	0.58	迁安	0.73	丰南	0.64
宣化	0.44	涿鹿	0.58	秦皇岛	0.52	唐山	0.62
万全	0.58	滦平	0.64	大厂	0.59	曹妃甸	0.29
蔚县	0.64	承德	0.57	固安	0.57	乐亭	0.29
沽源	0.44	兴隆	0.44	廊坊	0.62	昌黎	0.46
崇礼	0.88	遵化	0.86	霸州	0.62	抚宁	0.56
丰宁	0.78	承德县	0.73	永清	0.32	文安	0.70
围场	0.58	宽城	0.64	三河	0.48	大城	0.46

同样采取平均值-标准差分级法,将综合风险分为极高风险区(>0.72)、高风险区(0.58,0.72]、中风险区(0.44,0.58]、低风险区(≤0.44)4个级别。得到冀北地区输电线路雷击风险区划结果(图1)。可以看出,极高风险区有崇礼、丰宁、承德县、青龙、迁安、遵化、迁西、丰润和香河;高风险区主要位于张家口中部和南部、承德北部和东部、唐山中部和廊坊中部,极高风险区和高风险区应为输电线路雷击风险重点防护地区;中风险区主要位于张家口北部和西部、承德中部和东南部、唐山东部、秦皇岛中部、廊坊北部和南部;低风险区主要位于玉田、曹妃甸、滦南、乐亭和永清。

综合分析各地的雷击风险高低原因可以发现,极高风险区和高风险区具有雷暴频发、经济相对较发达、人口密度大、电网线路密集且线路本身致灾率高及雷电防护等级较低的特点;而中、低风险区的雷暴发生频率相对较低,同时人口较少,输电线路密度也

较低或者人口密度大且经济较发达的地区,输电线路的雷电防护等级较高,因而输电线路雷击灾害事故较少。

在综合风险计算中,输电线路雷击灾害频数所占的比重为0.4731,与占比为0.2845的雷暴日数同为主要影响因子。图2为2012—2015年冀北地区实际输电线路雷击灾害分布。可以看出,雷击灾害风险区划图分布与雷击实际造成输电线路灾害分布大体一致,综合其他3个因子影响后,大部分地区的风险级别均有所上升,雷击灾害风险区划中极高风险的地区包含了崇礼、迁西、青龙,其他地区的风险级别上下浮动不超过一个等级,说明雷击灾害风险区划图对于输电线路的雷击灾害风险评估具有良好的代表性和可靠性。即雷击灾害风险区划图可以为电网的输电线路雷击防护提供有益参考,同时为向电网提供精准的雷击风险预警服务提供可靠依据。

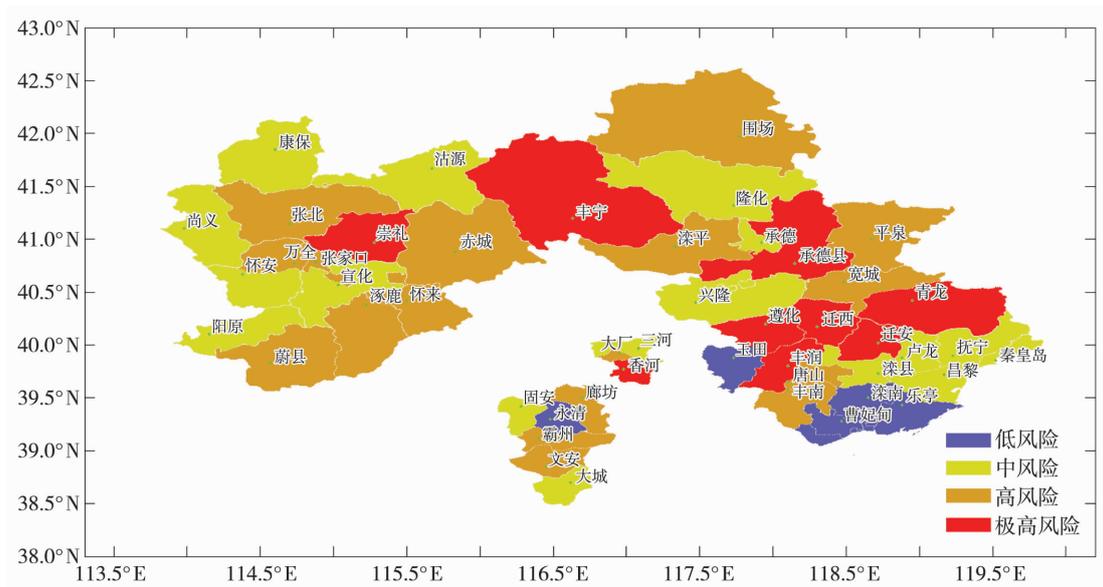


图1 冀北地区输电线路雷击灾害风险区划

Fig. 1 The lightning strike disaster risk zoning of transmission lines in northern of Hebei Province

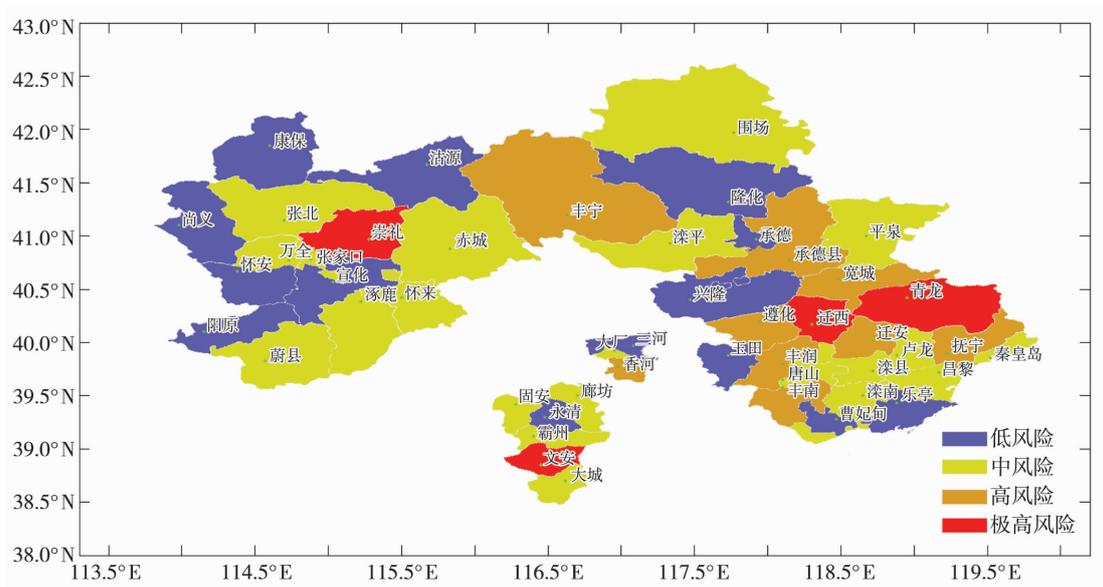


图2 2012—2015年冀北地区输电线路雷击灾害分布

Fig. 2 The distribution of lightning strike disaster of transmission lines in northern of Hebei Province during 2012 - 2015

4 结论与讨论

(1)冀北地区输电线路雷击风险区划结果表明,极高风险区位于崇礼、丰宁、承德县、青龙、迁安、遵化、迁西、丰润和香河;高风险区主要位于张家口中部和南部、承德北部和东部、唐山中部和廊坊中部,极高风险区和高风险区应为输电线路雷击风险重点防护地区;中风险区主要位于张家口北部和西部、承德中部和东南部、唐山东部、秦皇岛中部、廊坊北部和南部;低风险区主要位于玉田、曹妃甸、滦南、乐亭和永清。

(2)极高风险区和高风险区具有雷暴频发、经济相对较发达、人口密度大、电网线路密集且线路本身致灾率高及雷电防护等级较低的特点;而中、低风险区的雷暴发生频率相对较低,同时人口较少,输电线路密度也较低或者人口密度大且经济较发达的地区,输电线路的雷电防护等级较高,因而输电线路雷击灾害事故较少。

(3)冀北地区输电线路雷击风险区划图综合考虑了输电线路雷击事故、自然雷暴、当地的经济发展和人口密度,为电网的输电线路雷击灾害风险服务提供了可靠依据,对于极高风险区和高风险区,电

网管理部门应提高输电线雷电防护等级,当有该地区的雷电灾害风险预警时,应提前做好重点防范措施。

本文中受输电线路雷击灾害资料年限限制,可能影响评估和区划的可靠性,另外,区划的精度可以进一步细化至输电线路,对于目前存在的不足,有待于今后进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 蒋勇军, 况明生, 匡鸿海, 等. 区域易损性分析、评估及易损度区划——以重庆市为例[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 59-64.
- [6] 尹娜, 肖稳安. 区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 441-449.
- [7] 严春银. 江西省雷电灾害易损性分析及其区划[J]. 江西科学, 2006, 24(2): 131-135.
- [8] 郭虎, 熊亚军. 北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 35-40.
- [9] 田艳婷, 吴孟恒, 史锋旗, 等. 河北省雷电灾害易损性综合评估与区划[J]. 气象科技, 2012, 40(3): 507-512.
- [10] 殷娴, 肖稳安, 冯民学, 等. 区域雷灾分布特征及易损度区划[J]. 气象科技, 2009, 37(2): 216-220.
- [11] 袁湘玲, 纪华, 程琳. 基于层次分析模型的黑龙江省雷电灾害风险区划[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(3): 279-283.
- [12] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 85-87.
- [13] 吴晓华, 孟祥云, 彭建强. 河北经济年鉴—2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [14] SAATY T L. The analytical hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

Lightning Strike Risk Zoning of Transmission Lines in Northern of Hebei Province Based on Analytic Hierarchy Process (AHP) Model

YANG Linhan, ZHAO Zengbao, ZHANG Yanheng, WU Huiqin, ZHANG Di

(Hebei Provincial Meteorological Service Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on the data of lightning strike disasters of transmission lines during 2012-2015 and daily thunderstorm statistics during 1981-2015, and combined with population density and economic development in northern of Hebei Province in 2015, the zoning of lightning strike risk of transmission lines was made. Lightning strike disasters, thunderstorm days, vital vulnerability and economic vulnerability were selected as four indicators and weighed by analytic hierarchy process (AHP) during the analysis. The results show that Chongli, Fengning, Chengde County, Qinglong, Qian'an, Zunhua, Qianxi, Fengrun and Xianghe belonged to the maximal risk area. High risk areas were mainly located in the central and south of Zhangjiakou, the north and east of Chengde, the central Tangshan and central Langfang. Areas of above should be the key protection areas for lightning strike risk. The north and west of Zhangjiakou, the central and southeast of Chengde, the west and south of Tangshan, the southern Qinhuangdao, and the southern Langfang belonged to the moderate risk area. Low risk area was mainly located in Yutian, Caofeidian, Luannan, Laoting and Yongqing.

Key words: northern Hebei; lightning strike disaster; risk zoning; analytic hierarchy process