

刘兰芳, 谭秉霖, 张可, 等. 基于主成分分析的湖南省城市雾霾灾害风险评估[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 76–81. [LIU Lanfang, TAN Binglin, ZHANG Ke, et al. Risk Assessment of Urban Haze Disaster in Hunan Province Based on Principal Component Analysis[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(1): 76–81. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.01.015.]

基于主成分分析的湖南省城市雾霾灾害风险评估^{*}

刘兰芳¹, 谭秉霖², 张 可¹, 吴金雨¹

(1. 衡阳师范学院 城市与旅游学院, 湖南 衡阳 421002; 2. 长沙理工大学 经济与管理学院, 湖南 长沙 410076)

摘 要: 近年来, 我国各大城市雾霾频发, 严重影响城市可持续发展。城市雾霾灾害风险诱因多、影响广, 开展城市雾霾灾害风险研究具有重要意义。借鉴区域灾害系统理论, 从孕灾环境敏感性、雾霾成分危害性和承灾体易损性3个方面选取了12个城市雾霾风险评估指标, 运用主成分分析法, 对湖南省14个地级城市雾霾风险进行定量评价。结果表明: ①城市经济发展水平、机动车辆的数量、第二产业占比、煤炭消费量、房屋施工面积等对城市雾霾灾害风险的影响较大。②湖南省城市雾霾灾害风险度地域差异明显, 长株潭城市群雾霾灾害风险极高, 以其为中心向南、北、西三个方向逐渐降低。

关键词: 雾霾灾害; 风险评估; 城市发展; 主成分分析; 湖南省

中图分类号: X131; X43; X915.5; P49; D668; C916 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)01-0076-06
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.01.015

城市是人口、产业、资金、科技和生产力高度聚集区域, 也是各类灾害频发区域^[1]。近年来, 随着城市房地产建设、交通网络以及工业快速发展, 大气污染物和粉尘这些可吸入颗粒物浓度升高, 城市空气质量降低、大气透明度下降, 雾霾灾害风险性增大。雾霾严重影响城市发展及居民的生活, 雾霾风险管理就成为城市可持续发展需要解决的重大工作之一^[2]。作为雾霾风险管理基础工作的雾霾风险评估也就成为学术界关注的重点。许多学者对雾霾风险进行了研究: WONG C M 等研究发现, 城市雾霾造成人体健康风险^[3]; KAI Z 等研究了交通尾气对人群疾病致死率的影响^[4]; TING Qiao 等利用上海市 $PM_1-PM_{2.5}$ 等数据进行分析, 发现雾霾污染特征和上海市 $PM_1-PM_{2.5}$ 的变化规律^[5]; 吴伟强等用故障树模型与模糊综合评判分析法分析城市雾霾风险^[6]; 姜绵峰等采取层次分析法和熵权法构建雾霾危害综合风险评估体系, 并分析长三角雾霾风险^[7]; 韩磊从雾霾形成机理角度构建了雾霾灾害风险指数^[8]; 盛小星等结合层次分析法和集对分析法, 评估了长三角地区雾霾灾害风险^[9]; 谢志祥等评价了中国地级及以上城市雾霾风险, 并识别风险主导因子^[10]; 谭志斌等构建 $PM_{2.5}$ 治理成本函数, 从健康和经济两方面估算北京市雾霾的本地和外来风险^[11]; 卿清涛等运用层次分析法建立四川盆地雾霾灾害风险评估模型, 得到风险区划结果^[12]。尽管近年来雾霾风险评估研究较多, 但雾霾风险评估尚未形成

完整的理论体系, 雾霾风险评估实证分析集中在长三角等经济发达地区, 因此, 雾霾风险评估指标有待不断探索, 并将之应用到更多的区域雾霾风险评估当中。

城市雾霾形成诱因多、影响广、且具有社会性和复杂性。不同地方城市雾霾风险构成要素也存在差异, 因此, 城市雾霾风险评估的研究具有重要的意义。本文以湖南省各地级城市为研究对象, 运用 SPSS24.0 主成分分析法 (Principal Component Analysis), 综合分析湖南省城市雾霾风险的构成要素, 构建湖南省城市雾霾风险评估指标体系, 构建数理模型定量评估湖南省各地级市城市雾霾风险, 从风险防治的角度, 提出城市雾霾的治理对策, 期望为湖南省城市雾霾治理提供决策参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

湖南省地处中国中南部, 位于长江中游地区, 东与江西相邻, 南与广东、广西接壤, 西与贵州相接, 西北毗邻重庆, 北与湖北接壤, 位于 $108^{\circ}47' \sim 114^{\circ}15'E$ 之间、 $24^{\circ}38' \sim 30^{\circ}08'N$ 之间, 土地总面积 $211\,829\text{ km}^2$, 占全国土地面积的 2.2% 。全省下辖 13 个地级市和 1 个自治州, 共 14 个地级城市, 即长沙、株洲、湘潭、衡阳、邵阳、岳阳、常德、张家界市、益阳、郴州、永州、怀化、娄底和吉首。湖南省为亚热带季风湿润气候, 四季

^{*} 收稿日期: 2020-05-29

修回日期: 2020-08-10

基金项目: 湖南省哲学社会科学基金项目“湖南省城市雾霾灾害风险评估及防控对策研究”(18YBA044)

第一作者简介: 刘兰芳(1965-), 女, 汉族, 湖南祁东人, 博士, 教授, 主要从事区域自然灾害研究。E-mail: 741291694@qq.com

分明、气候湿润、光热充足、雨热同期。随着人口、经济的迅速增长,工业、交通和城市化发展的加快,近地面大气层中的污染物、粉尘等可吸入颗粒物增多,雾霾风险增大,给人们的生产、生活带来了许多的不利影响。近年来,随着“禁燃令”和对环保产业的扶持和发展等措施的实施,湖南省雾霾情况稍有改善,但形势仍然严峻。各地雾霾的成因以及主要风险因素各不相同,因此,对湖南省地级城市的雾霾风险进行科学、仔细的评价,并根据各地不同情况,针对性地提出城市雾霾治理对策,有助于湖南省城市雾霾更好地得到控制,实现城市经济可持续增长。

1.2 数据来源

本文数据主要来源于湖南省生态环境厅网站、《湖南统计年鉴(2018)》以及《中国城市统计年鉴-2018》。其中建成区绿化面积、机动车数量、房屋施工面积与卫生机构床位数的数据直接来源于《湖南统计年鉴(2018)》与《中国城市统计年鉴-2018》;煤炭消费量占比、经济密度、人口密度、第二产业占比等数据由《湖南省统计年鉴(2018)》、《中国城市统计年鉴-2018》数据计算而来;PM₁₀年均浓度、PM_{2.5}年均浓度、SO₂年均浓度和NO₂年均浓度,利用天气后报网站(<http://www.tianqihoubao.com/aqi/>)的日报数据计算得出。

2 雾霾灾害风险评估指标体系与主成分分析

2.1 评估指标体系

区域灾害系统论认为灾害是由孕灾环境、致灾因子和承灾体共同构成的复杂系统^[13]。孕灾环境是指产生致灾因子的地球表层环境,包括自然环境与人为环境等等;致灾因子是指在孕灾环境中形成对承灾体构成危害并直接导致灾害发生的因素;承灾体则是指承受灾害并受到不利影响的对象。孕灾环境敏感性、致灾因子危害性、承灾体易损性共同决定了雾霾灾害风险的大小。因此,城市雾霾灾害风险评估指标体系应从孕灾环境敏感性、雾霾成分危害性和城市环境易损性3个方面进行构建。研究表明城市雾霾的主要物质成分是有毒气体与可吸入颗粒物,这些物质主要来自于人类的生产、生活,即城市雾霾的形成受人为因素影响较大^[14]。就人为因素而言,经济越发达,城市居民拥有的机动车更多,机动车排放的尾气也随之增加,雾霾灾害风险增大。第二产业的发展往往伴随着对环境的污染和破坏,一个地区经济发展越依靠第二产业,对环境的污染和破坏越严重,雾霾灾害敏感性越大。一个地区煤炭消费量越大,工业排放的废气增多,雾霾灾害风险也就更大;除此之外,建筑施工也是可吸入颗粒物的一大来源,一个地区的建筑施工面积越大,可吸入颗粒物浓度越高,雾霾灾害风险性越大。故而,本文从人为因素中选取代表一个城市经济发达程度的经济密度、代表机动车尾气排放量多少的机动车数量、代表一个地区经济对第二产业依赖程度的第二产业占比、代表一个城市工业污染

排放量的煤炭消费量占比、以及代表一个地区房屋施工项目的房屋施工面积等5个指标来对湖南省城市雾霾孕灾环境的敏感性进行量化评价。雾霾成分危害性是指雾霾的各种成分对城市经济与居民健康的损害。众多研究表明大气中PM₁₀和PM_{2.5}物质越多,对人类健康损害越大,且造成能见度变差,导致交通事故的发生,加剧雾霾危害性。SO₂和NO₂损害人类呼吸系统,导致出现气道阻塞性疾病,如咳嗽、支气管炎、肺气肿等等,甚至与肺癌的关系密切。因此,选取PM₁₀年均浓度、PM_{2.5}年均浓度、SO₂年均浓度和NO₂年均浓度等4个指标作为湖南省城市雾霾成分危害性评价指标。雾霾天气下,空气中气溶胶的浓度升高,大气层结相对稳定、不利于空气的对流扩散,大气的湿度、能见度等发生巨大变化,人们的生活和健康受到巨大的不利影响。这就意味着城市的人口密度越大,遭受雾霾危害的人数越多,承灾体易损性也就越大;卫生机构的数量越多,就意味着这个地区医疗越发达、医疗系统的承载力越高,因雾霾而身体不适、能够接受治疗、且可治愈的人越多,遭受雾霾风险性越小,即城市雾霾易损性越小;城市绿化可吸收有害气体和粉尘^[15]、减轻空气污染,降低承灾体的易损性。故选择人口密度、卫生机构数量以及建成区绿化面积作为城市雾霾易损性的评价指标(表1)。

2.2 主成分分析原理

主成分分析(Principal Component Analysis)是将原来众多的、具有一定关联性的指标,进行重新组合,形成一组新的、互不关联性的综合指标,对原有指标进行替换的统计方法。主成分分析可以使原来指标中蕴含的信息尽可能更多地得到保留,并省去部分重复信息,对原有指标进行降维处理,对原本复杂的数据分析过程进行简化^[16]。其中,方差贡献率最大的 F_1 就是第一主成分,若 F_1 方差贡献率不够高,不足够代表原有信息,则方差贡献率第二的 F_2 为第二主成分。方差贡献率就是最终评价城市雾霾风险的权重,依次类推,还可选取第三、……、第 n 主成分。

3 主成分分析评估过程

3.1 数据获取及处理

按表1的城市雾霾风险评估指标获取湖南省14个地级城市的原始数据(表2)。由于表2数据对雾霾风险影响存在正负性,且有不同的量纲,因此需要对数据进行标准化。其中正向影响的指标用公式(1)处理,负向影响的指标用公式(2)进行标准化处理。所有指标标准化处理结果见表3。

$$X^* = \frac{X_{ij} - \bar{X}}{S_j}; \quad (1)$$

$$X^* = \frac{\bar{X} - X_{ij}}{S_j}. \quad (2)$$

式中: X^* 为标准化后的数据, X_{ij} 为 i 地区第 j 个指标的原始数据, \bar{X} 表示第 j 个指标的算术平均值, S_j 是第 j 个指标的标准差。

表 1 湖南省城市雾霾灾害风险评估指标体系

一级评价指标	二级评价指标	指标解释	正负影响
孕灾环境敏感性	X_1 : 经济密度/(亿元/km ²)	城区生产总值÷地区土地面积	正向影响
	X_2 : 机动车辆数量/辆	城区机动车总数	正向影响
	X_3 : 第二产业占比/%	城区第二产业总产值÷地区生产总值	正向影响
	X_4 : 煤炭消费量占比/%	煤炭消费总量÷能源消费总量	正向影响
	X_5 : 房屋施工面积/m ²	地区建筑工程施工面积	正向影响
雾霾成分危害性	X_6 : PM ₁₀ 年均浓度/(μg/m ³)	由 PM ₁₀ 日均浓度求得	正向影响
	X_7 : PM _{2.5} 年均浓度/(μg/m ³)	由 PM _{2.5} 日均浓度求得	正向影响
	X_8 : SO ₂ 年均浓度/(μg/m ³)	由 SO ₂ 日均浓度求得	正向影响
	X_9 : NO ₂ 年均浓度/(μg/m ³)	由 NO ₂ 日均浓度求得	正向影响
承灾体易损性	X_{10} : 人口密度/(人/km ²)	城区常住人口÷城区土地面积	正向影响
	X_{11} : 卫生机构数量/个	卫生机构数量	负向影响
	X_{12} : 建成区绿化面积/hm ²	建成区绿化总面积	负向影响

表 2 湖南省城市雾霾灾害风险评估原始数据

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
长沙	0.864	2 549 541.0	46.43	44.92	97 150 255.0	68.1	51.5	11.7	37.0	1 581	3 194	17 968
株洲	0.220	750 478.0	47.92	62.16	32 540 511.0	79.8	50.3	16.1	31.9	1 124	1 203	6 136
湘潭	0.400	632 749.0	49.66	64.57	15 510 907.0	84.3	51.3	19.1	33.1	1 334	936	3 667
衡阳	0.190	921 409.0	38.03	64.21	25 032 825.0	67.9	47.8	14.8	26.1	1 447	1 061	5 325
邵阳	0.078	910 300.0	35.34	67.56	17 581 516.0	75.0	51.9	25.1	21.1	1 606	1 139	3 050
岳阳	0.208	913 906.0	43.11	25.96	17 230 429.0	70.1	47.6	13.9	22.3	778	1 236	4 414
常德	0.170	1 090 384.0	39.12	67.18	15 669 296.0	74.7	49.7	11.6	18.8	504	1 552	4 418
张家界	0.056	341 204.0	20.26	69.24	3 757 267.0	65.8	38.4	7.6	17.6	206	259	1 341
益阳	0.133	768 446.0	39.26	74.11	13 377 969.0	78.2	41.4	12.4	25.6	740	1 040	3 083
郴州	0.112	701 759.0	47.47	80.71	26 874 679.0	65.9	36.3	14.0	25.0	361	1 227	3 620
永州	0.074	804 055.0	34.64	63.82	14 355 822.0	65.8	43.5	10.4	20.7	371	1 100	2 529
怀化	0.051	943 386.0	32.72	39.21	17 451 255.0	78.4	37.8	9.7	16.3	579	1 130	2 541
娄底	0.174	824 456.0	46.73	80.17	12 410 088.0	63.0	38.1	15.1	19.3	1282	474	2 039
吉首	0.037	328 955.0	31.17	45.44	7 969 115.0	62.3	34.1	3.5	14.9	285	847	1 456

表 3 湖南省城市雾霾灾害风险评估原始数据标准化处理

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
长沙	3.113	3.167	0.852	-0.986	3.286	-0.472	1.123	-0.295	2.025	1.395	-3.039	-3.275
株洲	0.105	-0.269	1.033	0.094	0.437	1.212	0.937	0.562	1.257	0.497	-0.048	-0.419
湘潭	0.946	-0.494	1.245	0.245	-0.314	1.860	1.092	1.146	1.438	0.909	0.354	0.177
衡阳	-0.035	0.057	-0.169	0.222	0.106	-0.501	0.549	0.309	0.384	1.132	0.166	-0.224
邵阳	-0.559	0.036	-0.496	0.432	-0.223	0.521	1.185	2.314	-0.369	1.444	0.049	0.326
岳阳	0.047	0.043	0.449	-2.174	-0.238	-0.184	0.518	0.133	-0.188	-0.183	-0.097	-0.004
常德	-0.127	0.379	-0.036	0.408	-0.307	0.478	0.844	-0.314	-0.715	-0.722	-0.572	-0.005
张家界	-0.663	-1.051	-2.329	0.538	-0.833	-0.803	-0.910	-1.093	-0.896	-1.308	1.370	0.738
益阳	-0.304	-0.235	-0.019	0.843	-0.408	0.982	-0.445	-0.159	0.309	-0.258	0.197	0.318
郴州	-0.398	-0.362	0.979	1.256	0.187	-0.789	-1.236	0.153	0.218	-1.003	-0.084	0.188
永州	-0.579	-0.167	-0.581	0.198	-0.365	-0.803	-0.119	-0.548	-0.429	-0.983	0.107	0.451
怀化	-0.687	0.099	-0.814	-1.344	-0.229	1.0109	-1.003	-0.684	-1.091	-0.575	0.062	0.449
娄底	-0.111	-0.128	0.889	1.222	-0.451	-1.206	-0.957	0.367	-0.639	0.807	1.048	0.569
吉首	-0.749	-1.075	-1.002	-0.954	-0.647	-1.307	-1.578	-1.891	-1.302	-1.152	0.487	0.710

3.2 特征值与主成分确定

运用 SPSS (Solutions Statistical Package for the Social Sciences) 软件编程, 将标准化的 12 个指标进行主成分分析。本次主成分分析 KMO 取样适切性量数为 0.614, 大于其阈值 0.5, 说明变量之间存在相关性, 符合要求; Sig 值为 0.000, 小于 0.05, 这说明这份数据可以进行主成分分析, 且具有科学性与参考性(表 4)。采用凯撒正态化最大方差法进行旋转, 使得因子的载荷值尽量向 0 和 1 偏离, 以便于去掉部分没有明显相关性的指标内容, 经过 5 次迭代后, 结果趋于收敛, 确定最终指标。各主成分特征值和贡献率见表 5。据特征值大于 1 的原则, 选取前 3 项为主成分, 这 3 项的方差贡献率分别为 54.275%、20.252% 和 8.980%, 3 项累计贡献率为 83.507%, 基本能够反映原有指标的信息, 所以把前 3 项作为主成分因子并用 F_1 、 F_2 、 F_3 表示, 这样用前 3 个主成分取代原有的 12 个指标, 同时可以计算出各因子对于原始指标的载荷状况(表 6)。

表 4 KMO 和巴特利特检验

KMO 取样适切性量数		0.614
	近似卡方	149.353
巴特利特球形度检验	自由度	66
	显著性	0.000

表 5 主成分特征值与贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	6.513	54.275	54.275
2	2.430	20.252	74.527
3	1.078	8.980	83.507
4	0.692	5.770	89.277
5	0.504	4.197	93.474
6	0.314	2.617	96.090
7	0.235	1.960	98.050
8	0.127	1.058	99.108
9	0.063	0.528	99.636
10	0.024	0.202	99.839
11	0.016	0.137	99.976
12	0.003	0.024	100.000

表 6 主成分载荷矩阵

指标	F_1	F_2	F_3
X_1 : 经济密度	0.927	-0.194	0.079
X_2 : 机动车辆数量	0.881	-0.344	0.027
X_3 : 第二产业占比	0.632	0.371	0.263
X_4 : 煤炭消费量占比	-0.208	0.428	0.747
X_5 : 房屋施工面积	0.905	-0.361	0.132
X_6 : PM_{10} 年均浓度	0.272	0.616	-0.543
X_7 : $PM_{2.5}$ 年均浓度	0.722	0.478	-0.321
X_8 : SO_2 年均浓度	0.386	0.833	0.030
X_9 : NO_2 年均浓度	0.856	0.229	0.125
X_{10} : 人口密度	0.720	0.455	0.062
X_{11} : 卫生机构数量	0.930	-0.342	0.054
X_{12} : 建成区绿化面积	0.869	-0.379	-0.071

从表 5 看出, F_1 特征值为 6.513, 贡献率为 54.275%, 居 3 个主成分之首, 是湖南省城市雾霾风险形成的首要驱动力。分析主成分 F_1 载荷值(表 6), 发现第 1 主成分 F_1 在指标 X_1 (经济密度)、 X_5 (房屋施工面积)与 X_{11} (卫生机构数量)数值较大, 超过了 0.9, 这说明经济发展密度、房屋施工面积以及卫生机构是雾霾风险的第一构成因素。主成分 F_2 载荷值居前 3 位的指标依次是 X_8 (SO_2 年均浓度)、 X_6 (PM_{10} 年均浓度)、 X_7 ($PM_{2.5}$ 年均浓度), 由此可见, 湖南省城市雾霾危害主要以有毒气体 SO_2 和可吸入颗粒物为主。主成分 F_3 载荷值居首位的指标是 X_4 (煤炭消费量占比), 其次是第二产业占比, 反映煤炭消费与第二产业也是雾霾风险形成的重要环境因素。

3.3 雾霾灾害风险主成分综合得分与排名

主成分载荷矩阵中的载荷值反映指标在雾霾风险形成中的作用程度, 故可用指标载荷值表示指标权重。利用加权模型可以计算出评价单元在 3 个主成分的得分, 即在不同主成分上的雾霾风险指数, 其计算方法为:

$$F_{ij} = \sum W_j X_{ij}^* \quad (3)$$

式中: F_{ij} 是第 i 个评价单元在不同主成分上的雾霾风险指数, 例如在第 1 主成分, 则就是评价单元 i 在 F_1 上的雾霾风险指数; W_j 是第 j 个指标在相应主成分上的载荷值; X_{ij}^* 第 i 个评价单元第 j 个指标的标准化值。

根据主成分分析原理, 每个主成分占累计贡献率的比例反映了各主成分的重要程度, 分析主成分贡献率就可确定其权重, 利用加权模型便可计算评价单元的综合得分, 即为雾霾综合风险指数(F), 其计算方法为:

$$F = (F_1 P_1 + F_2 P_2 + F_3 P_3) \div (P_1 + P_2 + P_3) \quad (4)$$

式中: F_1 、 F_2 、 F_3 分别代表第一主成分、第二主成分和第三主成分在运算后的得分, P_1 、 P_2 、 P_3 则代表其对应的贡献率。

3.4 评价结果分析

表 7 中的数据显示, 湖南省 14 个地级城市雾霾灾害风险综合得分大小不同, 这意味着湖南省城市雾霾灾害风险度存在地域差异。雾霾灾害风险由高到低依次是长沙、湘潭、株洲、邵阳、衡阳、岳阳、娄底、益阳、常德、郴州、永州、怀化、张家界、吉首。对雾霾灾害风险综合得分进行数据描述性分析得出平均值为 0.005, 标准差为 2.371。以雾霾灾害综合风险得分平均值与标准差为参考, 采取聚类分析的方法和自然断裂法, 将湖南省城市雾霾灾害综合风险划分成低、中、高、极高 4 个等级, 具体划分标准是: $F \leq -2.371$ 确定为低风险区, $-2.371 < F \leq 0.005$ 为中风险区, $0.005 < F \leq 2.371$ 为雾霾高风险区, $F > 2.371$ 判定为雾霾极高风险区。将各个城市雾霾综合风险度与之比较, 即可确定该城市的雾霾风险等级(图 1)。

表 7 湖南省城市雾霾灾害风险评价结果

城市	F_1	F_2	F_3	F	排名
长沙	7.027	-0.066	0.054	4.557	1
株洲	3.137	0.420	0.642	2.390	3
湘潭	4.999	-0.215	0.839	3.287	2
衡阳	1.444	1.0257	-0.526	1.130	5
邵阳	1.852	1.109	-0.588	1.309	4
岳阳	0.591	-1.087	-0.076	0.112	6
常德	-1.219	-0.401	0.665	-0.818	9
张家界	-4.967	1.263	-0.408	-2.967	13
益阳	-0.623	-0.099	0.586	-0.366	8
郴州	-1.659	0.354	-0.889	-1.088	10
永州	-2.522	0.372	-0.468	-1.599	11
怀化	-2.605	-1.824	1.191	-2.007	12
娄底	0.309	-0.182	-0.817	0.069	7
吉首	-5.761	-0.668	-0.208	-3.929	14

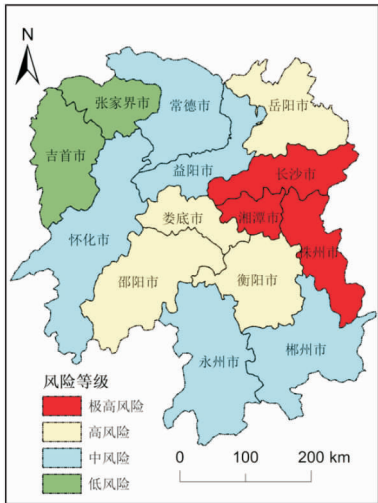


图 1 湖南省城市雾霾灾害风险等级空间分布

由图 1 与表 7 看出,长株潭城市群雾霾风险最大,为极高风险区,以长株潭为中心,向北、向西、向南呈降低趋势。由表 7 看出,长株潭城市群雾霾风险指数远远大于其他城市,尤其是长沙,高达 4.557。对长株潭城市群 3 个主成分得分进行分析,发现在 F_1 的得分远远大于 F_2 、 F_3 ,表明其主要驱动力是经济密度、机动车辆数量、房屋施工面积、卫生机构数量等。长株潭一直是湖南省经济发展中心,其经济发展速度高于其他城市,城市化进程也较快,由此带来的环境压力增大,空气污染严重,加之 3 个城市紧密相连,污染物空间溢出效应影响,使其成为雾霾极高风险区。为有效控制雾霾风险,长株潭城市群应积极转变经济发展方式,完善交通法律法规,对机动车进行管制,从而减少机动车尾气污染,也可缓解交通方面的压力。其次,城市政府强化联动治理机制,通过宏观调控,控制一个区域一定时间内的建筑施工面积,使其不过于聚集,并做好隔离措施,减少因建筑工程施工带来的可吸入颗粒物,控制雾霾成分的来源;此外,要加快提高城市绿化水

平。城市绿化可在一定程度上把城市产生的有害气体和粉尘吸收、减轻空气污染,净化空气,有利于降低承灾体的易损性。

从图 1 看出,邵阳、衡阳、岳阳、娄底属于雾霾高风险区。分析其 3 个主成分的得分发现,衡阳、邵阳在第 1 主成分与第 2 主成分都有较高的得分,说明这 2 个城市雾霾风险驱动力有第 1 主成分的经济密度、机动车辆数量、房屋施工面积等,同时第 2 主成分的 SO_2 浓度、 PM_{10} 浓度以及煤炭消费占比在雾霾风险形成中也起着重要影响。为此,雾霾风险防控的措施主要有:一是调整能源结构,推广清洁能源。用其他清洁能源替代煤炭,以减少煤炭的消费量,从而减少雾霾形成的物质成分、降低雾霾风险;二是在煤炭不可替代的情况下,完善煤炭的脱硫、脱硝和除尘技术,减少因燃烧煤炭而排放出的硫化物等,达到降低雾霾风险的目的;三是相关企业应增加研发的投入,积极研发新技术,提高能源利用率,减少能源的消耗,做到节能减排、绿色发展。

中风险区有常德、益阳、怀化、永州、郴州(图 1)。常德、益阳与怀化 3 个城市第 3 主成分的得分大于其他 2 个主成分得分,表明这 3 个城市雾霾风险形成的主要驱动力是煤炭消费占比与第二产业占比。因此,应通过加强对工厂污染物排放的监管,淘汰产能低而排放高的小微企业。建立、健全企业项目工程的审批制度,并严格执行,提高企业准入门槛,杜绝先污染、后治理,从源头上控制雾霾物质成分的排放。

位于湖南西北部的张家界与吉首属于雾霾低风险区。这 2 个城市以旅游产业为主,工业三废排放量小,同时地处湘西山地,森林植被丰富,大气自净能力强,空气优良率高,其雾霾污染小,风险低。

4 结论与讨论

本文基于区域灾害系统理论,从孕灾环境敏感性、雾霾成分危害性和承灾体易损性 3 个方面构建了湖南省城市雾霾灾害风险评估的指标体系。通过主成分分析法选取了 3 个主成分,根据其贡献率确定各指标权重,计算湖南省 14 个地级城市雾霾灾害风险度,并对湖南省各地级城市雾霾灾害风险度进行 4 个等级划分。得出以下结论:

(1)经济密度、机动车辆数量、房屋施工面积、 SO_2 浓度、 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度、第二产业占比、煤炭消费量占比等对城市雾霾灾害风险影响较大。也就是说,一个城市的经济发展水平越高、机动车辆越多、经济发展对第二产业依赖程度越高、煤炭消费量越大,城市雾霾风险就越高。

(2)长沙雾霾灾害风险最大,吉首雾霾风险最小。湖南省城市雾霾灾害风险度地域差异明显,长株潭城市群雾霾风险极高,以其为中心,大致向南、北、西三个方向逐渐降低。

(3)城市雾霾风险形成的驱动力主要是城市社会发展造成的大气环境污染,但也与城市的自然

属性有联系, 如气象条件、地形特征等影响着污染物的集聚与扩散, 对雾霾风险有加强或减弱的效应。由于受到数据获取的限制, 本文仅选取了城市发展等人为因素作为雾霾风险评估指标。今后要进一步研究自然因子在雾霾灾害风险形成中的影响。

(4)城市雾霾风险评估是城市有效防控雾霾污染的基础工作, 其评估指标体系一直处在探索之中。本研究基于灾害系统论选取评估指标体系, 运用主成分分析法计算雾霾灾害风险度, 其结论与实际情况基本相符, 具有较好的可信性。雾霾灾害风险评估及风险管理是一项长期复杂的系统工程, 需要从不同视角对城市雾霾灾害风险评估指标体系及评估模型进行更系统而深入的研究。

参考文献:

- [1] 夏陈红, 王威, 马东辉. 城市综合灾害风险等级组合评价的SD模型[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(4): 164-170.
- [2] 刘兰芳, 谭秉霖, 杨丽青. 城市雾霾灾害风险模糊评价指标体系研究——以湘南城市为例[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 156-160, 202.
- [3] WONG C M, VICHIT-VADAKAN N, KAN H, et al. Public health and air pollution in Asia: a multicity study of short-term effects of air pollution on Mortality[J]. Environ Health Perspect, 2008, 116(9): 1195-1202.
- [4] KAI Z, STUART B. Air pollution and health risks due to vehicle traffic[J]. Science of Total Environment, 2013, 450: 307-316.
- [5] QIAO Ting, ZHAO Mengfei, XIU Guangli, et al. Simultaneous monitoring and compositions analysis of PM₁ and PM_{2.5} in Shanghai: implications for characterization of haze pollution and source apportionment[J]. Science of the Total Environment, 2016, 95(3): 386-394.
- [6] 吴伟强, 王欣. 基于故障树模型的城市雾霾风险分析[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2015, 14(5): 76-82.
- [7] 姜绵峰, 叶春明. 长三角地区省级雾霾影响综合风险评价[J]. 数学理论与应用, 2016, 36(3): 101-111.
- [8] 韩磊. 雾霾灾害风险指数的构建与测度[J]. 统计与决策, 2017(2): 28-32.
- [9] 盛小星, 叶春明. 基于集对分析法的长三角雾霾风险评估[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(3): 334-337, 359.
- [10] 谢志祥, 秦耀辰, 李亚男, 等. 基于PM_{2.5}的中国雾霾灾害风险评价[J]. 环境科学学报, 2017, 37(12): 4503-4510.
- [11] 谭志斌, 邢瑶瑶, 周珍, 等. 北京雾霾风险探究与治理策略分析[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(6): 109-117.
- [12] 卿清涛, 徐金霞, 马振峰, 等. 四川盆地雾霾灾害风险区划初探[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(9): 145-152.
- [13] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.
- [14] 刘兰芳, 谭秉霖, 周松秀, 等. 城市居民雾霾认知调查与环境教育研究——基于衡阳城区的调查[J]. 衡阳师范学院学报, 2019, 40(6): 76-82.
- [15] 李晨曦. 关于城市绿化规划对防治雾霾的作用探讨[J]. 林业科技情报, 2018, 50(1): 84-85, 90.
- [16] 洪增林, 李永红, 张玲玉, 等. 一种基于主成分分析法的区域地质灾害危险性评估方法[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 118-124.

Risk Assessment of Urban Haze Disaster in Hunan Province Based on Principal Component Analysis

LIU Lanfang¹, TAN Binglin², ZHANG Ke¹ and WU Jinyu¹

(1. College of City and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang 421002, China;

2. School of Economics and Management, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: In recent years, haze occurs frequently in major cities in China, which brings great inconvenience to people's production and life. However, there are many causes and wide impacts of urban haze, and the causes and impacts of urban haze in different regions are different. Therefore, studying the risk of urban haze is possessed with crucial significance. According to the theory of regional disaster system, we determine 12 indexes to evaluate the risk of urban haze from three aspects: the sensitivity of disaster pregnant environment, the perniciousness of the haze elements and the vulnerability of the suffered object of disaster. The risk of haze in 14 prefecture level cities of Hunan Province was evaluated quantitatively by principal component analysis. The results show that: (1) The level of economic development of a city, the number of motor vehicles, the degree of dependence of economic development on the secondary industry, the amount of coal consumption, and the size of population density have a greater impact on the risk of urban haze disaster. (2) There are obvious regional differences in the risk degree of haze disaster in Hunan Province, which is highest in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan. In their center, they are gradually descending in three directions: South, North and West.

Key words: haze disaster; risk assessment; urban development; Principal Component Analysis; Hunan Province