

山西省主要气象灾害特征及风险评估 ——基于暴雨洪涝灾害气象数据融合的实证视角

王文娟¹, 李丽平^{1,2}

1. 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044

摘要 立足于山西省暴雨洪涝气象数据融合的实证视角,通过对山西省109个气象站点,1957—2008年的暴雨洪涝灾害数据,山西省经济发展数据、地理数据的高度融合,从致灾因子、孕灾因子、承灾体因子和防灾减灾因子4个维度出发,构建山西省暴雨洪涝灾害风险评估模型,并选择太原市、大同市、晋城市、朔州市、晋中市和临汾市进行实证分析,综合评估这6个城市的暴雨洪涝灾害致灾指数。研究成果不仅能够从实践上指导山西省在暴雨洪涝预测及防灾减灾方面的实践工作,而且从理论方法上对气象灾害研究提出独特的分析见解。

关键词 山西省;暴雨洪涝灾害风险指标体系;灾害风险评估;灾害风险区划分

“十三五”期间,中国经济发展步入新常态,实现全面建成小康社会的奋斗目标,全面深化气象改革,科学技术快速进步为气象事业的改革发展带来重大机遇和挑战。此外,有数据显示,由于中国城镇化速率加快,城市温室气体排放已成为二氧化碳产生的主要源头^[1],由于温室气体排放加剧中国部分省市极端气候的产生,进而给相关省市造成的气象灾害屡见不鲜。气象灾害的发生给社会、经济带来巨大的威胁和严重的损失。仅联合国减灾署(UN-ISDR)统计发现,从1993—2013年由气象灾害所带来的直接经济损失达3487.4亿美元,全球由气象灾害直接致死近4万余人。2015年UN-ISDR统计发现气象灾害是导致部分地区或区域贫困加剧的主要原因^[2]。数据显示,2003—2013年国内暴雨洪涝、台风、干旱等灾害相较1980—1989年年均发生频率上升2.5倍、2倍和6.5倍。中国幅员辽阔,地区或区域间的气象气候差异巨大,拥有超过7000万的贫困人口,气象灾害给进一步加剧我国相关区域社会、经济的脆弱性^[3]。

极端天气、气候事件在中国部分省市地区的不断发生,也进一步加剧了这些区域的致灾危险性,是由于这些区域在具体的时段内气象异常而超过该区域气象承载能力而造成的社会、经济的损失。它具有时空分布广、发生频次高、种类多样化和持续时间长特点^[4-5]。中国的气象灾害按发生形式

可以分为:冰雹、暴雨、洪涝、雷电、干旱、沙尘暴、台风等。中国气象局数据显示,每年中国重大气象灾害受灾累积人数约为4亿人,直接经济损失占国民生产总值的1%~3%,中国是农业大国,气象灾害造成年平均直接农业经济损失近2.4亿元,每年致死约2600人,每年平均农作物受灾面积约4100万 hm^2 ,绝收面积约460万 hm^2 。^[6]

山西省是中国气象灾害频发的省份之一,也是受气象灾害影响较严重的地区之一。山西省拥有独特的地理气候环境,位处黄河以东、太行山以西的黄土高原上。呈现山地、高原、盆地、台地和丘陵等多样复杂的地形地貌,大部分地区海拔高度1000~2000 m,是暴雨洪涝灾害影响敏感的省份。本研究立足于山西省暴雨洪涝气象灾害数据融合的实证视角,以探寻与构建山西省暴雨洪涝灾害的致灾影响因素为主线,一方面达到探索与发现山西省暴雨洪涝灾害的规律和特点,另一方面达到提高山西省防灾、减灾能力,为实现最大化保障人民生命财产安全,提供切实可行的理论与实践依据。

气象灾害风险评估是全球相关学者所共同关注的热点与焦点问题,然而在该领域的研究,发达国家起步较早,伴随其较早的工业化、城镇化过程,环境恶化,极端气候的出现,使发达国家相关领域的学者致力于该领域的相关研究。在20世纪30年代,气象灾害防治的风险评估与防治呈现出发展

收稿日期:2017-01-03;修回日期:2017-03-23

基金项目:国家社会科学基金项目(15XGL022);四川省科技厅软科学项目(2016ZR0234)

作者简介:王文娟,工程师,研究方向为气象灾害预警与评估,电子信箱:34123067@qq.com;李丽平(通信作者),教授,研究方向为短期气候预测,电子信箱:liliping@nuist.edu.cn

引用格式:王文娟,李丽平. 山西省主要气象灾害特征及风险评估——基于暴雨洪涝灾害气象数据融合的实证视角[J]. 科技导报, 2017, 35(8): 81-87; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.08.010

萌芽,以美国相关学者为代表,对该领域进行较为初步的探索与研究^[7-8]。20世纪70年代,美国、英国和日本等国家对气象灾害风险评估的逐渐重视,并在洪涝、龙卷风、台风、干旱和海啸等方面的风险评估工作的逐步深入开展,标志着气象灾害评估研究领域逐步发展并进入成熟阶段。至21世纪,该领域的研究工作受到全球各国的高度重视,并提升到国家战略层面^[9]。其中比较有代表性的有:Nullet^[10]提出了一种季节性农业干旱的风险分析方法。在Nullet研究基础上,Granier等^[11]对干旱灾害评价模型进行系统综述,包含AKWK模型、Hydrocycle-1.0模型、水平平衡模型和BROOK90模型等。Blaikie^[12]提出灾害是承灾体脆弱性与致灾因子综合作用的结果。Vojtek和Vojteková^[8]提出洪涝灾害风险评价方法。Li等^[9]提出分析厄尔尼诺现象严重程度的完整方法,提出对公共安全管理、应急响应以及灾后保险支付等方面的相关建议。

相较于欧美等发达国家在气象灾害风险评估领域的研究,国内研究起步较晚。在20世纪50年代,国内学者以洪涝和干旱为研究对象,对气象风险评估进行系统研究。近年来,该领域的研究已有长足发展,如汤奇成等^[13-14]、张行南^[15]、周成虎^[16]等以暴雨洪涝灾害为研究对象,从致灾因子的视角,选取不同的测量指标,并运用相关的统计分析模型,对国内不同省市的暴雨洪涝灾害的风险进行评价,提出相关防灾减灾的政策建议。乐肯堂^[17]以海洋风暴灾害为研究对象,选择中国多个沿海省市,对相关气象站的灾情数据进行实证研究。朱娟韵等^[21]运用CCLM模式(COSMO model in climate mode),选择相关指标,整合云南省25个气象监测点相关降水量和气温数据,对云南省干旱情况进行系统分析与评估。史军和穆海振^[22]以上海市为研究对象,对中国城镇化进程中对气象造成的影响,以及气象环境的脆弱性进行分析,提出中国在城镇化进程中缺乏对气象环境因素的考虑,在未来发展过程中需要进一步加强相关领域的论证与评估。

在“互联网+”背景下,气象服务已进入数据驱动时代,可充分应用“云计算”、“数据挖掘”等技术挖掘大数据在气象上的运用,利用GIS地理信息系统技术、机器学习及RS遥感技术等先进分析工具建立科学合理的气象灾害风险区域划分^[20]。侯淑梅等^[18]以山东省东营市河口区暴雨洪涝灾害为研究对象,收集并整理10年(1991—2010年)河口区的气象、水文、社会经济、地理和灾情普查数据,综合运用菲尔德法、AHP法和加权评价等评价方法,对河口区相关区域的暴雨洪涝灾害进行评价,形成河口区暴雨洪涝灾害区域划分。李楠等^[19]从4个维度,即致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性及防灾减灾能力,提取相关的测量指标,利用山东省暴雨洪涝气象资料为主要数据来源,对其进行建模分析,进一步得出山东省不同城市的灾害风险指数和风险区域划分。李丽华等^[23]引入GIS技术对阿克苏地区冰雹灾害风险进行区划研究。

综上所述,20世纪70年代至今,气象灾害风险评估研究从萌芽发展至较为成熟,从上述文献分析可以发现,国内外

有较多相关领域的研究,能够为本研究提供理论支持和实践参考,但是纵观目前中国气象灾害服务系统与气象灾害风险评估,具有比较明显的缺陷。主要表现在以下4个方面。

1) 缺少对各类常见的气象灾害的监测、预警指标作明确的定义和划分。

2) 将气象灾害视为系统,从系统的视角对不同的气象灾害的致灾因子进行拆解式辨析,进而不能从大的范围进行系统的评价与监测研究。

3) 大多研究仅仅为得出气象灾害风险去划分,而忽略致灾因子的权重测评,缺乏普适性的方法,无法形成可拓展、可推广的研究范式。

4) 仅有少数文献考虑多个致灾因子,绝大多数研究仅考虑单一致灾因子,缺少对多元致灾因子的综合分析评价。

因此,本研究在系统梳理国内外近期研究文献的基础上,以山西省暴雨洪涝灾害为主要研究对象,综合考虑致灾因子、孕灾因子、承灾体因子和防灾减灾4个因子,并运用拆解辨析的系统方法,深入探讨山西省不同市区暴雨洪涝气象灾害的特征及评估,为山西省在暴雨洪涝气象灾害防治提供理论依据与实践基础。

1 山西省暴雨洪涝灾害致灾因子系统分析

1.1 山西省暴雨洪涝灾害系统的内涵解析

本研究将山西省暴雨洪涝灾害视为灾害系统,从系统的视角出发,基于气象灾害系统理论、系统工程理论,对该系统进行拆解式辨析,认为山西省暴雨洪涝灾害系统主要由4个维度构成,即致灾因子、孕灾因子、承灾体因子和防灾减灾因子。4个维度能够有效界定山西省暴雨洪涝气象灾害系统的内涵与外延,为此,本研究将进一步说明不同维度的内涵与外延。

1) 致灾因子:山西省暴雨洪涝灾害的致灾因子主要是说明灾害发生的前提条件,具体体现为山西省暴雨过程的强度与频次,即强度越大,频次越多,其发生暴雨洪涝灾害的可能性越大。

2) 孕灾因子:山西省暴雨洪涝灾害的孕灾因子主要描述山西省不同市区的环境特征与灾情的演化特点,具体表现为山西省不同城区的地理、地形因素和河流水系特征。由于前述研究中分析发现,山西省地形地貌呈现多样和复杂特征,这成为导致山西省暴雨洪涝灾害频发的主要因素之一。

3) 承灾体因子:山西省暴雨洪涝灾害的承灾体因子主要描述受灾区域内社会经济状况,该区域对灾害所带来的风险承受能力。鉴于气象灾害给人们生活、生产、生命安全带来的威胁,该因素具体体现为土地利用状况、灾情状况、地均GDP、地均人口、耕地比重,从而分析灾害给不同城区带来的损失。

4) 防灾减灾因子:山西省暴雨洪涝灾害的防灾减灾因子主要描述受灾后该区域人们经济、社会生活状况,从而反映出防灾减灾能力,具体表现为人均GDP和土地保收面积。

1.2 山西省暴雨洪涝灾害评估体系构建原则

1) 完备性原则:本研究主要分析山西省暴雨洪涝灾害对不同城区的风险评估,其指标构成需要从系统工程的视角,能够还原山西省暴雨洪涝灾害致灾系统的全貌,体现出宏观与微观的双重视角。指标体系的设计应该具有可延展性、逻辑性和系统性的多重特征,能够科学地将现实情景映射至评估体系。

2) 科学性原则:本研究从山西省暴雨洪涝灾害系统解析入手,结合相关理论,探索不同维度下的测量指标,其研究过程需要符合规范的研究范式,且能够实现科学评估山西省不同城区的暴雨洪涝灾害影响。进而需要在指标选择过程中体现出科学性的原则,达到评估结果的有效性与可信性。

3) 可测性原则:对于山西省暴雨洪涝灾害的评估需要达到反映灾害系统的全貌,不能出现主观臆测,评估过程和结果希望能够反映山西省不同城区的灾害特征与规律,这就要求所选取的指标需要具备可测性的特征,在指标可测的基础上进而对不同城区进行灾害评估,能够更好地为相关管理部门提供政策制定的依据。

4) 可控性原则:本研究的主要目标是对山西省不同城区的暴雨洪涝灾害影响程度进行评估,那么就要求研究中所选取的指标具有反映灾害系统全貌的特征,即相关指标能够呈现不同维度的特征与特点。不同的指标应能够控制不同维度的状态,进而反映出系统的整体特征。

为此,基于上述分析,构建指标体系如表1所示。

表1 山西省暴雨洪涝灾害评估体系

Table 1 Assessment system of rainstorm and flood disaster in Shanxi

系统	一级指标	二级指标
山西省暴雨 洪涝灾害系统	致灾因子 VE	暴雨过程强度 U_{11}
		暴雨过程频次 U_{12}
	孕灾因子 VH	DEM 高程 U_{21}
		高程标准差 U_{22}
		河网水系流量 U_{23}
	载体因子 VS	土地利用比例 U_{31}
		受灾面积 U_{32}
		地均 GDP U_{33}
		地均人口数 U_{34}
		耕地比例 U_{35}
防灾减灾因子 VR	人均 GDP U_{41}	
	受灾保收土地面积 U_{42}	

1.3 山西省暴雨洪涝灾害评估体系的数据采集与处理规则

1) 数据融合来源。

研究所用的主要数据包括利用山西省气象信息中心归档的109个站1957—2008年的暴雨观测资料、高低空常规气象观测资料、山西省水文站的部分暴雨监测资料,以及社会经济发展状况等数据资料(《山西省统计年鉴》),具体内容如下。

(1) 基础地理数据:山西省各市区县分辨率的数据、行政区划图、水系湖泊图、土地利用分布图。

(2) 气象数据:山西省每年常规气象站和每年自动气象站降水观测资料。

(3) 历史灾情数据:山西省受暴雨洪涝灾害后的受灾土地面积、受灾人口数、地均GDP、地均人口数等。

(4) 经济数据:山西省统计年鉴资料,包括受灾保收土地面积,人均GDP等。

对所用数据进行了严格的质量检测和筛选,研究过程中数据处理工具包括SPSS 19.0统计软件等。

2) 数据处理规则。

由于所选指标的单位不同,通过式(1)将有量纲的数据转化为无量纲数值,且数值取值在0~1之间:

$$D_{ij} = \frac{U_{ij} - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} \quad (1)$$

式中, D_{ij} 为第 i 个维度下的第 j 评价指标的归一化数值; U_{ij} 为第 i 个维度下的第 j 评价指标的实际值; U_{\max} 为指标中的最大值; U_{\min} 为指标中的最小值。

2 山西省暴雨洪涝灾害风险评估总体模型构建

模型的总体构建思路主要是基于山西省气象数据融合的实证视角,以山西省暴雨洪涝灾害为研究对象,从气象灾害风险的内涵与外延出发,通过对国内外相关研究文献的梳理与总结,在上述评估指标体系构建的基础上,选取山西省各个区域的代表性城市为实证评估对象,对不同城市的致灾因子(VE)、孕灾因子(VH)、载体因子(VS)、防灾减灾因子(VR)进行评估分析,并最终得出上述城市在暴雨洪涝灾害风险评估排名。

1) 设灾害指数论域为

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

2) 设灾害指数样本集合为

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

对灾害指数的第 j 个样本 y_j 依据式(3)进行扩散,可将其所携带的信息扩散给 U 中的所有点

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y_j - u_i)^2}{2h^2}\right] \quad (4)$$

扩散系数可以根据样本集合中的最大值 b 、最小值 a 和样本个数 m 确定。

在计算扩散系数时,采用黄崇福等^[24],廖力等^[25]研究中所用的公式:

$$h = \begin{cases} 1.6987(b-a)/(m-1) & 1 < m \leq 5 \\ 1.4456(b-a)/(m-1) & 6 < m \leq 7 \\ 1.4230(b-a)/(m-1) & 8 < m \leq 9 \\ 1.4208(b-a)/(m-1) & m \leq 10 \end{cases} \quad (5)$$

得到

$$C_j = \sum_{i=1}^n f_j(u_i) \quad (6)$$

3) 相应的模糊子集的隶属函数为

$$\mu_{y_j}(u_i) = \frac{f_j(u_i)}{C_j} \quad (7)$$

称 $\mu_{y_j}(u_i)$ 为样本 y_j 的归一化信息分布。

对 m 个 $\mu_{y_j}(u_i)$ 进行处理,就可以得到风险估算结果。令

$$q(u_i) = \sum_{j=1}^m \mu_{y_j}(u_i) \quad (8)$$

则各点上 u_i 的样本数总和和 Q 为

$$Q = \sum_{i=1}^n q(u_i) \quad (9)$$

$$p(u_i) = \frac{q(u_i)}{Q} \quad (10)$$

即为样本落在 u_i 处的频率值,可作为概率的估计值。

4) 受灾指数达到或超过 u_i 的概率值

$$p(u_i) = \sum_{k=i}^n p(u_k) \quad (11)$$

5) 研究在山西省不同城市暴雨总降水量风险分析的基础上(如图1所示)发现总体而言山西省南北跨越5个纬度,降水差异明显,其降水分布的空间结构为南部地区降水相对

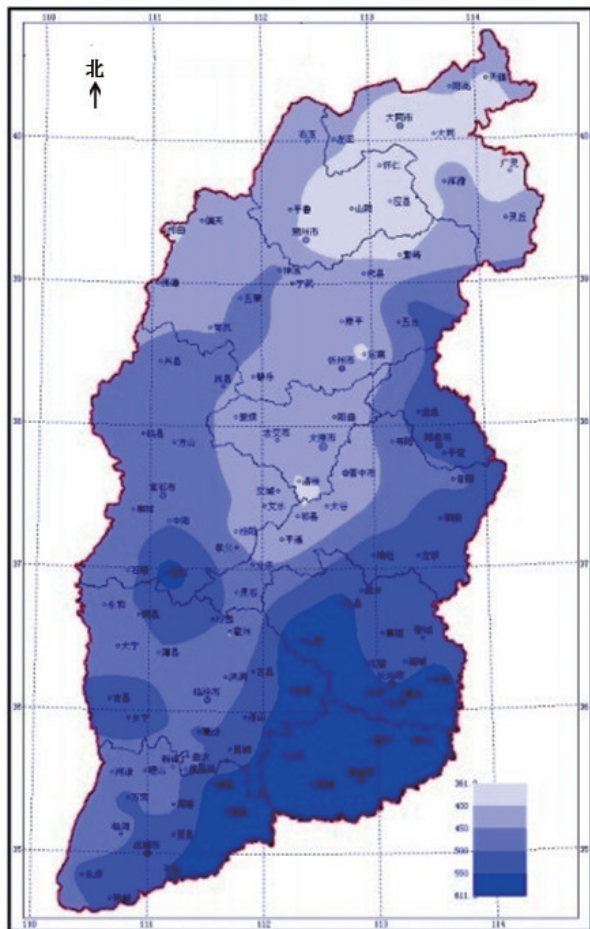


图1 山西省年降水量空间分布示意

Fig. 1 Spatial Distribution of Annual Precipitation in Shanxi

较多,因此研究从各区域抽取了代表性城市进行暴雨洪涝灾害评估,如少雨地区的朔州市、中度降雨地区的太原市、大同市,以及多雨地区的晋城市、晋中市、临汾市。进而研究基于上述构建的山西省暴雨洪涝灾害评估体系分析晋城市对其暴雨洪涝灾害风险指数,进行相应的评估,具体内容如下。

由致灾因子、孕灾因子、承灾体因子和防灾减灾因子4项综合指标构成,4项综合指标又由相应的子一级指标计算得到,具体模型为

$$FDRI = (VE)^{we} (VH)^{wh} (VS)^{ws} (1 - VR)^{wr} \quad (12)$$

其中, $FDRI$ 为暴雨洪涝灾害风险指数,表示风险程度,其值越大,灾害风险程度越大。

3 山西省暴雨洪涝灾害风险评估实证分析

山西省暴雨降雨日最小值在1966年和1967年,为16天(每年),最大值为2006年,达到44日天(每年)。按总暴雨站次来看,1978年是山西省的最小值,为47站次(每年),1991年为最大值,达到345站次(每年)。

根据暴雨日降水量标准,考虑到计算精度要求,以为5 mm为间距,则暴雨雨量指数论域为

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} = \{50, 55, \dots, 250\}$$

根据式(10),研究计算出山西省代表性城市暴雨相关风险值 $p(u_i)$,其结果如表2所示表2中每一行的数据表示对应于每一个暴雨雨量风险水平,每个城市都可计算出一个对应的暴雨风险估计值,即该城市发生日降雨量超过该风险水平值的概率,例如80 mm对应一行中大同市发生日降雨量超过80 mm的风险概率水平为0.1631。

从表2分析可以得出,从降水量大于等于150 mm概率看,在本研究所选择的山西省6个不同的城市均存在发生150 mm降水的概率,且大同市、晋城市、朔州市、晋中市存在160 mm降水的概率,晋城市、朔州市、晋中市存在170 mm降水的概率,由此可见,选择的山西省6个城市具有较为显著的暴雨洪涝孕灾环境。从降水量介于50~150 mm概率看,各市降雨量均突破50 mm,降水量为60 mm的概率以太原市和临汾市最高,降水量在80~110 mm的概率以临汾市最高。

本研究将进一步从致灾因子(VE)、孕灾因子(VH)、承载体因子(VS)、防灾减灾因子(VR)和综合评估角度进行分析。

基于前述所获取的山西省1957—2008年109个气象站点暴雨降水量数据,建立不同时长的10个降水过程序列,统计不同气象站点从1~10天和10天以上暴雨降水量,并考虑不同时间长度的暴雨强度叠加效应,形成98%、95%、90%、80%、60%临界分位点,按照1:15、2:15、3:15、4:15、5:15赋予暴雨强度权重等级,得到暴雨致灾因子等级划分,具体如表3所示。

产流和汇流是影响暴雨洪涝过程的两个主要部分,而在孕灾因子维度分析中不仅需要考虑到山西省不同城市的地形地貌特征,也需要融合河流水系等要素的影响。故而基于前

表2 山西省代表性城市暴雨总降水量风险值
Table 2 Risk values of the total precipitation in representative cities of Shanxi

区域	风险概率						
	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm
太原市	1	0.712	0.5538	0.373	0.2142	0.1499	0.0498
大同市	1	0.4564	0.2698	0.1631	0.1275	0.0893	0.0521
晋城市	1	0.6533	0.4214	0.2598	0.1675	0.1099	0.0774
朔州市	1	0.5987	0.4627	0.3014	0.1897	0.1511	0.1294
晋中市	1	0.6748	0.4121	0.3524	0.2861	0.1884	0.0933
临汾市	1	0.6821	0.5311	0.4007	0.2971	0.2331	0.1591

区域	风险概率					
	120 mm	130 mm	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm
太原市	0.0357	0.0309	0.0299	0.0108		
大同市	0.0431	0.0402	0.0387	0.0114	0.0069	
晋城市	0.0721	0.0547	0.0521	0.0508	0.0464	0.0392
朔州市	0.1195	0.1011	0.0898	0.0786	0.0522	0.0301
晋中市	0.0901	0.0803	0.0521	0.0377	0.0289	0.0187
临汾市	0.0997	0.0557	0.029	0.0266		

表3 按不同百分位数统计的观测站点雨量等级范围
Table 3 Range of rainfall rating at observation stations according to different percentiles

连续天数	等级				
	1级 60%~70%	2级 70%~80%	3级 80%~90%	4级 90%~95%	5级 ≥95%
1	70.1 ≤ R ≤ 81.4	81.4 < R ≤ 101.2	101.2 < R ≤ 121.4	121.4 < R ≤ 141.7	R > 141.7
2	85.6 ≤ R ≤ 113.7	113.7 < R ≤ 129.8	129.8 < R ≤ 156.4	156.4 < R ≤ 189.2	R > 189.2
3	103.3 ≤ R ≤ 133.8	133.8 < R ≤ 159.5	159.5 < R ≤ 182.6	182.6 < R ≤ 212.4	R > 212.4
4	126.6 ≤ R ≤ 169.8	169.8 < R ≤ 213.4	213.4 < R ≤ 259.7	259.7 < R ≤ 313.6	R > 313.6
5	144.6 ≤ R ≤ 179.1	179.1 < R ≤ 220.1	220.1 < R ≤ 249.3	249.3 < R ≤ 285.7	R > 285.7
6	159.9 ≤ R ≤ 198.6	198.6 < R ≤ 232.1	232.1 < R ≤ 280.7	280.7 < R ≤ 349.7	R > 349.7
7	170.4 ≤ R ≤ 223.8	223.8 < R ≤ 275.1	275.1 < R ≤ 335.2	335.2 < R ≤ 369.8	R > 369.8
8	210.1 ≤ R ≤ 265.9	265.9 < R ≤ 340.2	340.2 < R ≤ 389.4	389.4 < R ≤ 455.1	R > 455.1
9	249.9 ≤ R ≤ 269.8	269.8 < R ≤ 299.2	299.2 < R ≤ 324.6	324.6 < R ≤ 355.1	R > 355.1
10	251.3 ≤ R ≤ 318.8	318.8 < R ≤ 374.4	374.4 < R ≤ 439.7	439.7 < R ≤ 508.4	R > 508.4

述地理信息数据,利用 ArcGIS 9.3 软件中的相关分析组件得到高程及高程标准差组合赋值,如表4所示。

基于承灾体因子的构成要素的内涵解析,考虑与山西省

表4 高程及高程标准差组合赋值表
Table 4 Combined table of standard deviation of elevation and the elevation

地形高程/m	高程标准差		
	1级 0~0.5	2级 0.5~1	3级 ≥1
1级(≤10)	0.90	0.80	0.70
2级(10~50)	0.80	0.70	0.60
3级(≥50)	0.70	0.60	0.50

不同城市人口、社会经济及耕地等相关测量指标,从而以此作为分析承灾体因子分析的基础,通过对前期获取数据的无量纲化处理,消除测量指标间的量纲影响后,对各指标进行加权平均处理:

$$0.28U_{31} + 0.1U_{32} + 0.3U_{33} + 0.2U_{34} + 0.12U_{35}$$

基于上述指标的加权处理,能够产生相应的叠加效应,叠加结果能够进一步对山西省不同城市在暴雨洪涝灾害下的承灾体因子进行分析,分析基于人口密度、经济状况、耕地状况等分布越集中,其承灾体越容易受到损害,其承担的经济损失越大,灾害对其的潜在威胁也就越严重。

山西省不同城市的对于暴雨洪涝灾害的防灾减灾能力体现于人力、物力、财力的投入,其结果表现为人均GDP和受灾保收土地面积。如果山西省不同城市防灾减灾能力越强,

其人均GDP和受灾保收土地面积应越大或与为受灾时的数量持平,反之其防灾减灾能力越弱,具体可由式(13)表示:

$$V_{dt} = f(U_{41}, U_{42}) \quad (13)$$

其中, U_{41} 表示人均GDP, U_{42} 表示保收土地面积。

研究通过前述指标体系,应用AHP方法对上述因子进行权重分析,得到如表5所示的山西省城市暴雨洪涝灾害风险评估体系以及各个指标的具体权重值,进而由式(12)可计算出太原、大同、晋城等代表性城市的风险评估值。

结合表5的指标权重,由式(12)计算可得,暴雨洪涝灾害

表5 山西省暴雨洪涝灾害风险评估指标权重

Table 5 Risk of flood disaster evaluation index weight of Shanxi Province

系统	一级指标	二级指标
山西省暴雨洪涝灾害系统	致灾因子 VE (0.38)	暴雨过程强度 U_{11} (0.1833)
		暴雨过程频次 U_{12} (0.1967)
	孕灾因子 VH (0.22)	DEM高程 U_{21} (0.0562)
		高程标准差 U_{22} (0.0717)
		河网水系流量 U_{23} (0.0921)
	承载体因子 VS (0.28)	土地利用比例 U_{31} (0.0541)
		受灾面积 U_{32} (0.0566)
		地均GDP U_{33} (0.0527)
		地均人口数 U_{34} (0.0701)
	防灾减灾因子 VR (0.12)	人均GDP U_{41} (0.0677)
受灾保收土地面积 U_{42} (0.0523)		

风险指数最高的城市为晋城市(3.8434),其次为朔州市(3.7764)和晋中市(3.6014),处于中间的城市为临汾市(2.9145),而暴雨洪涝灾害风险指数最低的为太原市(2.6617)和大同市(2.4018)。一方面,由于晋城市、晋中市降雨量较大,其孕灾因子指数较高外,还有上述城市减灾防灾能力较弱;另一方面太原市和大同市由于暴雨降雨量相对较少,且防灾减灾能力较强,而使得上述两市受暴雨洪涝灾害致灾指数较小。

基于上述实证分析可得:鉴于从总体上山西省暴雨灾害属于频发高发状态,而样本城市均表现出防灾减灾能力相对较弱,尤其以晋城市、晋中市为代表,降雨量较大,孕灾因子指数相对较高的情况。研究提出当地政府部门需进一步加强洪泛区的协调管理,在硬件上提高工程措施的防御能力,在软件上尝试引入基于GIS的风险评估与避难路径规划,在思想上提高群众的防灾,减灾与防灾意识。

4 结论

本文以山西省暴雨洪涝灾害为实证对象,立足于气象数据融合的实证视角,研究沿着基础理论分析—评价系统构建—样本实证分析的技术路径展开了系统科学的研究,取得了

以下研究结论。

1) 从研究的数据来源和分析方法综述入手,选择利用山西省气象信息中心归档的109个站点1957—2008年的暴雨观测资料、高低空常规气象观测资料、山西省水文站的部分暴雨监测资料,山西省地理信息数据以及各市区的土地面积、总人口、耕地面积等社会经济资料作为研究数据来源,并系统综述数据处理方法和模型分析方法。

2) 从影响山西省暴雨洪涝的指标入手,分析指标的具体内涵与外延,构建影响山西省暴雨洪涝灾害的指标体系,并进行分析。

3) 从致灾因子危险性分析、孕灾环境敏感性分析、承灾体易损性分析、防灾减灾能力分析4个方面入手,系统研究影响山西省暴雨洪涝灾害的指标体系。

4) 对山西省6个城市的暴雨洪涝灾害风险指数进行综合分析评估,得出不同城市的暴雨洪涝灾害的致灾指数。从总体上形成山西省平均年暴雨日数的在6个城市分布的特点总结,为山西省在暴雨洪涝减灾防灾方面提供理论支持与实践指导。

参考文献(References)

- [1] Xun L I, Cao G, Zhao P, et al. China's low-carbon eco-city development strategy[J]. *Urban Studies*, 2010, 17(20): 28-31.
- [2] Jenkins S F, Wilson T M, Magill C R, et al. Volcanic ash fall hazard and risk [R/OL]. [2017-03-23]. https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/10551/12649572_GVMc.%20Global%20Volcanic%20Hazards%20and%20Risk%20Technical%20background%20paper%20on%20volcanic%20ash%20fall%20hazard%20and%20risk.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [3] He Y, Gong Z. China's regional rainstorm floods disaster evaluation based on grey incidence multiple-attribute decision model[J]. *Natural Hazards*, 2014, 71(2):1125-1144.
- [4] 张春山, 张业成, 胡景江, 等. 中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(6): 559-566.
- [5] Zhang Chunshan, Zhang Yecheng, Hu Jingjiang, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and forming conditions of chinese geological disasters[J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(6): 559-566.
- [6] 刘彤, 闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(2): 90-95.
- [7] Liu Tong, Yan Tianchi. Main meteorological disasters in China and their economic losses[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20(2): 90-95.
- [8] 卢丽萍, 程丛兰, 刘伟东, 等. 30年来我国农业气象灾害对农业生产的影响及其空间分布特征[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1573-1578.
- [9] Lu Liping, Cheng Conglan, Liu Weidong, et al. Effect of the agricultural meteorological disasters on agricultural production and its spatial distribution characteristics during the last 30 years in China[J]. *Ecology & Environmental Sciences*, 2009, 18(4): 1573-1578.
- [7] Petak W J, Atkisson A A. Natural hazards risk assessment and public policy, anticipating the unexpected with 89 figures[J]. *Mnemosyne*, 1968, 21(1): 94-96.
- [8] Vojtek M, Vojteková J. Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study[J]. *Geomatics Natural Hazards & Risk*, 2016, 7(6): 1973-1992.
- [9] Li M, Wang J, Sun X. Scenario-based risk framework selection and assessment model development for natural disasters: A case study of ty-

- phoon storm surges[J]. *Natural Hazards*, 2016, 80(3): 2037-2054.
- [10] Nullet D, Giambelluca T W. Risk analysis of seasonal agricultural drought on low pacific islands[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 1988, 42(88): 229-239.
- [11] Granier A, Bréda N, Biron P, et al. Lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands [J]. *Ecological Modelling*, 1999, 116: 269-283.
- [12] Calderón G, Macías J M, Serrat C, et al. At Risk. *Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*[J]. *Economic Geography*, 1996, 2 (4). 119-132.
- [13] 汤奇成. 中国干旱区洪涝灾害的研究[J]. *干旱区资源与环境*, 1996 (1): 38-45.
Tang Qicheng. Flood disasters in China arid area[J]. *Journal of Arid Land Resources & Environment*, 1996(1): 38-45.
- [14] 汤奇成, 张捷斌. 西北干旱地区水资源与生态环境保护[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(3): 227-233.
Tang Qicheng, Zhang Jiebin. Water resources and eco environment protection in the arid regions in northwest of China[J]. *Progress in Geography*, 2001, 20(3): 227-233.
- [15] 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. *水利学报*, 2000(3): 1-7.
Zhang Xingnan, Luo Jian, Chen Lei, et al. Zoning of Chinese flood hazard risk[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000(3): 1-7.
- [16] 周成虎, 万庆, 黄诗峰, 等. 基于GIS的洪水灾害风险区划研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(1): 15-24.
Zhou Chenghu, Wan Qing, Huang Shifeng, et al. A GIS-based approach to flood risk zonation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 15-24.
- [17] 乐肯堂. 我国风暴潮灾害风险评估方法的基本问题[J]. *海洋预报*, 2000, 21(2): 215-223.
Le Kentang. An analysis of the recent severe storm surge disaster events in China[J]. *Marine Forecast*, 2000, 21(2): 215-223.
- [18] 侯淑梅, 郝家学, 仲光崑, 等. 东营市河口区暴雨洪涝灾害风险区划初步分析[J]. *暴雨灾害*, 2011, 30(3):260-265.
Hou Shumei, Hao Jiaxue, Zhong Guangwei, et al. Tentative discussion on risk regionalization of rainstorm flood disaster in hekou district of Dongying City[J]. *Torrential Rain & Disasters*, 2011, 30(3): 260-265.
- [19] 李楠, 任颖, 顾伟宗, 等. 基于GIS的山东省暴雨洪涝灾害风险区划[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(20): 313-317.
Li Nan, Ren Ying, Gu Weizong, et al. GIS based risk evaluation for flood hazard in Shandong province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(20): 313-317.
- [20] 李宏. 自然灾害的社会经济因素影响分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 20(11): 136-142.
Li Hong. On socio-economic factors of natural disasters[J]. *China Population Resources & Environment*, 2010, 20(11): 136-142.
- [21] 朱娴韵, 苏布达, 黄金龙, 等. 云南气候变化高分辨率模拟与RCP4.5情景预估[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(3): 476-481.
Zhu Xianyun, Su Buda, Huang Jinlong, et al. Simulation of climatic change in Yunnan Province and Rcp4.5 scenario projected trend by cclm[J]. *Resources & Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(3): 476-481.
- [22] 史军, 穆海振. 大城市应对气候变化的可持续发展研究——以上海为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(1): 1-8.
Shi Jun, Mu Zhenhai. Sustainable development of large cities facing climate change: Taking shanghai as an example[J]. *Resources & Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(1): 1-8.
- [23] 李丽华, 陈洪武, 毛炜峰, 等. 基于GIS的阿克苏地区冰雹灾害风险区划及评价[J]. *干旱区研究*, 2010, 27(2): 224-229.
Li Lihua, Chen Hongwu, Mao Weiyi, et al. GIS-based hail risk zonation and assessment in aksu prefecture[J]. *Arid Zone Research*, 2010, 27(2): 224-229.
- [24] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. *自然灾害学报*, 1998(2): 1-9.
Huang Chongfu, Liu Xinli, Zhou Guoxian, et al. Agricultural natural disaster risk assessment method according to the historic disaster data [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1998(2): 1-9.
- [25] 廖力, 邹强, 何耀耀, 等. 基于模糊投影寻踪聚类的洪灾评估模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(9): 2422-2432.
Liao Li, Zou Qiang, He Yaoyao, et al. A fuzzy projection pursuit clustering algorithm based flood disaster assessment model[J]. *Systems Engineering & Theory Practice*, 2015, 35(9): 2422-2432.

Main meteorological disasters and risk assessment in Shanxi Province: Based on empirical analysis of rainstorm and flood disaster data

WANG Wenjuan¹, LI Liping^{1,2}

1. College of Atmospheric Sciences; Nanjing University of Information Science And Technology, Nanjing 210044, China
2. Collaborative Innovation Center for Meteorological Disaster Prediction and Evaluation, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract From the perspective of empirical research based on the flood meteorological data fusion of Shanxi province, a flood disaster risk assessment model is established, based on the data at 109 meteorological stations in Shanxi Province, including the rainstorm and flood data in 1957-2008, a high degree of integration of the data of the economic development of Shanxi province and the geographic data, with considerations of the disaster factors and the four dimensions of the disaster body factors, the disaster prevention and reduction factors of Shanxi Province. The cities of Taiyuan, Datong, Yangquan, Shuozhou, Jinzhong and Linfen are chosen for empirical analysis, and the comprehensive evaluation of the flood disaster of six city disaster index is made. The research results can not only guide the practical work of Shanxi province in the storm flood forecasting and the disaster prevention and mitigation, but also serve as a unique analysis of the meteorological disasters based on a theoretical method.

Keywords rainstorm and flood disaster; risk index system; disaster risk assessment; risk area division of disaster (责任编辑 刘志远)