

尹宜舟,高歌,王国复,2019. 气象灾害的灾体模型及其初步应用[J]. 气象,45(10):1439-1445. Yin Y Z, Gao G, Wang G F, 2019. Meteorological disaster volume model and its preliminary application[J]. Meteor Mon, 45(10):1439-1445(in Chinese).

气象灾害的灾体模型及其初步应用^{*}

尹宜舟 高歌 王国复

国家气候中心,北京 100081

提 要: 基于灾度相关模型,提出了面向气象灾害的四维灾体模型。模型以受灾人数、受灾面积和直接经济损失形成的灾度平面作为损失的基本规模,在灾度平面垂直方向,以死亡失踪人数为要素形成第四维,最终形成四维灾体。将模型初步应用于我国气象灾害损失年景评价分析之中,结果显示,2003、2006 和 2010 年为气象灾害损失明显偏重年景;验证分析表明,灾体模型将死亡失踪人数作为特殊的一维来考虑,凸显了其在整个气象灾害损失评价中的重要地位,另外增加受灾面积指标,使得评价结果更趋完整。

关键词: 气象灾害,灾害评估,年景评价

中图分类号: P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.10.010

Meteorological Disaster Volume Model and Its Preliminary Application

YIN Yizhou GAO Ge WANG Guofu

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the conceptual model of disaster magnitude, a four-dimensional meteorological disaster volume model is proposed. The disaster plane, which is composed of the numbers of affected people, affected area and direct economic losses, is considered as the basic scale of the disaster loss. The number of deaths and missing people is the fourth dimension, which is in the vertical direction of the disaster plane. Then, a four-dimensional meteorological disaster volume is formed. The disaster volume model has initially been applied to the annual evaluation of meteorological disasters in China, and the annual evaluation results show that meteorological disaster losses are obviously heavier in 2003, 2006 and 2010. The verification results show that the disaster volume model considers the number of the dead and missing people as a special dimension, highlighting its weight in the assessment of the whole disaster loss. In addition, the disaster area is added, making the evaluation results more complete.

Key words: meteorological disaster, disaster assessment, annual disaster situation evaluation

引 言

我国是世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一,灾害种类多,分布地域广,发生频率高,造成损失重。近年来,受全球变暖的影响,极端事件趋多趋

强,我国面临的气象灾害及其衍生灾害风险正在不断加大,由此造成的灾害损失也在不断增加(秦大河等,2015)。因此,必须充分认识损失评估的重要性以及灾情形成的机理,推动自然灾害损失评估方法和理论的不完善与创新(李宁等,2017;史培军等,2019)。

^{*} 国家重点研发计划(2018YFC1509002),中国气象局气候变化专项(CCSF201924),公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506002)和国家自然科学基金项目(41505060)共同资助

2019 年 5 月 6 日收稿; 2019 年 9 月 16 日收修定稿

第一作者:尹宜舟,主要从事气象灾害风险方面研究. Email: yin_yizhou@sohu.com

灾度的概念最先由马宗晋等(1990)提出,认为灾度是自然灾害损失绝对量度的分级标准,根据自然灾害造成的死亡人数和直接经济损失,将灾害事件划分为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾 5 个等级,这使得国内对自然灾害灾情等级划分有了明确的量化标准,后又提出了 8 级灾度划分法,并给出了一元灾度的表达式(全国重大自然灾害调研组,1990;徐好民,1991)。于庆东(1993)、孙卫东(1993)、孙卫东和彭子成(1995)对灾度及其等级进一步做了改进或变通。

灾度最初仅被用于评判地震灾情,后逐渐应用于洪水灾害、风暴潮灾害等领域(卜风贤,1996),且得到了广泛认同和应用,为灾害评估和灾情统计提供了参考依据(高庆华等,2007)。高建国(2008)提出了灾度的空间三维定义,认为灾度是三维空间中的原点到某点的直线距离,而该点的位置由死亡人数、直接经济损失和受灾人数决定。徐敬海等(2012)在利用灾度的概念对亚洲巨灾划分标准进行研究时,提出了“灾度平面”的概念,认为灾度为一个三维空间平面,该三维空间的 3 个轴分别为经济损失、死亡人数、受灾人数,这进一步丰富了灾度的概念及内涵。但是,将灾度的三维定义或灾度平面应用于气象灾害损失评价之中时,受限于维数,无法将常用的受灾面积或其他指标纳入其中,这导致损失信息不完整,在一定程度上会影响评价结果的合理性。

本文拟在灾度相关概念的基础上提出面向气象灾害的四维灾体模型,并初步应用于我国气象灾害损失年景评价之中,以丰富气象灾害损失评估的技术方法。

1 资料方法

1.1 资料来源

本文所用的气象灾害损失资料取自每年出版的《中国气象灾害年鉴》(中国气象局,2004—2018),目前出版物资料时段为 2003—2017 年,故本文分析时段定为 2003—2017 年。年末总人口、年播种面积、国内生产总值、商品零售价格指数均来自《中国统计年鉴 2018》(国家统计局,2018)。

1.2 灾体模型

国内学者提出过灾度相关示意图(高建国,2008;徐敬海等,2012),如图 1 所示,经济损失、死亡人数、受灾人数三要素组成直角坐标系。高建国(2008)提出的示意图中灾度为三要素构成的长方体的对角线,徐敬海等(2012)认为灾度为一个三维空间平面,即灾度平面。

在前人研究基础上,提出面向气象灾害的四维灾体模型。如图 2 所示,由直接经济损失、受灾人数、受灾面积形成灾度平面,此为损失的基本规模,再在灾度平面的垂直方向,起于灾度平面向上,由死亡失踪人数确立一个三角体,此三角体即称为灾体。若指标采用的是绝对损失值,则称此三角体的“体积”为灾体量指数。除死亡失踪人数外,若直接经济损失、受灾人数、受灾面积指标采用的是相对值(如灾损率等),则称为相对灾体量指数。

灾体将常见的 4 个气象灾害损失指标包括在内,灾体大小由这四要素决定,因此四维灾体及相关概念能够较完整地描述气象灾害损失的体量。在实际应用中,可以根据具体的灾害损失指标来确定各维要素。

1.3 灾体量相关指数计算方法

以气象灾害损失年景评价为例,若采用绝对损失值,假设某年气象灾害年受灾人数(单位:万人次)、年受灾面积(单位:hm²)、年直接经济损失(单位:亿元)、年死亡失踪人数(单位:人)分别为 X 、 Y 、 Z 、 R ,分别进行归一化处理得到 x 、 y 、 z 、 r ,则 (x, y, z, r) 为灾体结构的基本要素。以 X 为例,归一化方法如下:

$$x = \frac{X}{X_{\max}} \quad (1)$$

式中 X_{\max} 为 X 序列最大值。对于直接经济损失,在进行规范化处理之前,利用商品零售价格指数进行订正,本文统一订正到 2010 年价格水平。

灾体量指数(D)计算公式如下:

$$D = S \cdot r \quad (2)$$

式中 S 为灾度平面面积。假设灾度平面三个边边长分别为 a 、 b 、 c ,半周长为 p ,则:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (3)$$

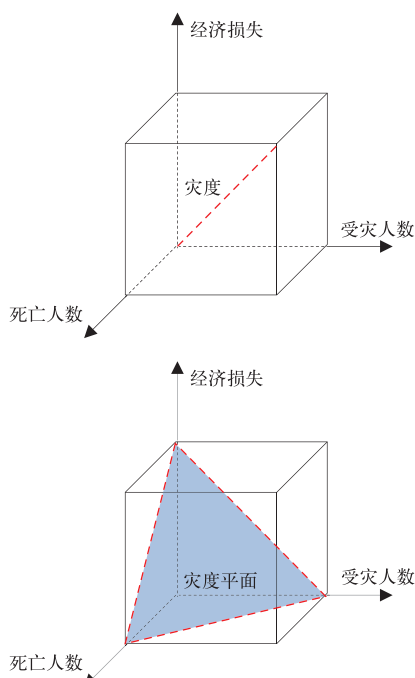


图 1 灾度模型示意图

[根据高建国(2008)以及徐敬海等(2012)原图改绘]

Fig. 1 Schematic diagram of disaster magnitude model

[modified according to Gao (2008) and Xu et al(2012)]

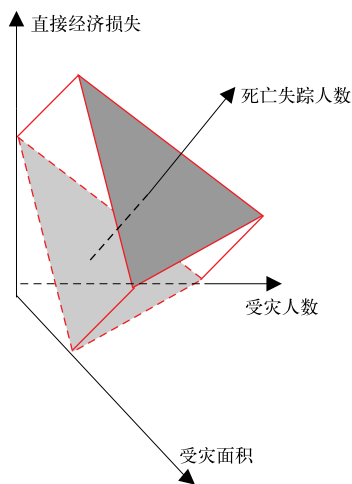


图 2 灾体模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of disaster volume model

$$p = \frac{1}{2}(a + b + c) \tag{4}$$

$$a = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{5}$$

$$b = \sqrt{x^2 + z^2} \tag{6}$$

$$c = \sqrt{z^2 + y^2} \tag{7}$$

若将计算指标改为灾害损失的相对值,即灾害

损失率,则计算结果称为相对灾体量指数(D^*)。年受灾人数、年受灾面积、年直接经济损失对应的灾害损失率分别为绝对损失值与年末总人口(单位:万人)、年播种面积(单位:万 hm^2)和国内生产总值(单位:亿元)的比值。

2 应用分析

2.1 基本灾情特征

2003—2017 年,我国平均每年因气象灾害造成的受灾面积为 3510.8 万 hm^2 ,受灾人数为 34472.7 万人次,死亡失踪人数为 2132.6 人,直接经济损失(除特别说明外,均为按 2010 年价格水平,下同)为 3030.4 亿元,直接经济损失占当年 GDP 比重为 0.83%。图 3 给出了 2003—2017 年我国气象灾害年灾害损失指标变化,可以看出,直接经济损失呈现出上升的趋势,但是占 GDP 比重为下降趋势;其他三个指标呈现出明显的下降趋势,同时受灾面积占播种面积比重、受灾人口占年末总人口比重均呈现出明显的下降趋势。

2.2 年景评价分析

根据 1.3 节方法逐年计算 2003—2017 年我国气象灾害损失灾体量和相对灾体量指数,结果如图 4 所示。可以看出 2003—2017 年,我国气象灾害年损失灾体量指数呈现出明显的下降趋势,特别是 2011 年以来指数平均值(0.08)远低于 2003—2010 年平均值(0.27)。比较发现,2011 年以来,年平均受灾面积、受灾人口、死亡失踪人数由 2003—2010 年平均值 4332.2 万 hm^2 、41551.8 万人次、2777.6 人分别减少为 2572.0 万 hm^2 、26382.2 万人次、1395.4 人,特别是死亡失踪人数减少近 50%;直接经济损失有所增加,由 2874.6 亿元增加为 3208.4 亿元,增幅为 11.6%,但是当年损失值占当年 GDP 的比重由 1.1%下降为 0.6%。相对灾体量指数的变化趋势与上述情况基本一致,2011 年以来指数平均值(0.05)远低于 2003—2010 年平均值(0.29)。

因为相对灾体量指数考虑了当年的社会经济发展情况,故采用 2003—2017 年相对灾体量指数平均值与标准差的组合作为划分标准,将灾害年景分为明显偏重、偏重、一般、偏轻、明显偏轻 5 类,结果如表 1 所示,最终评价结果为 2003、2006、2010 年为明

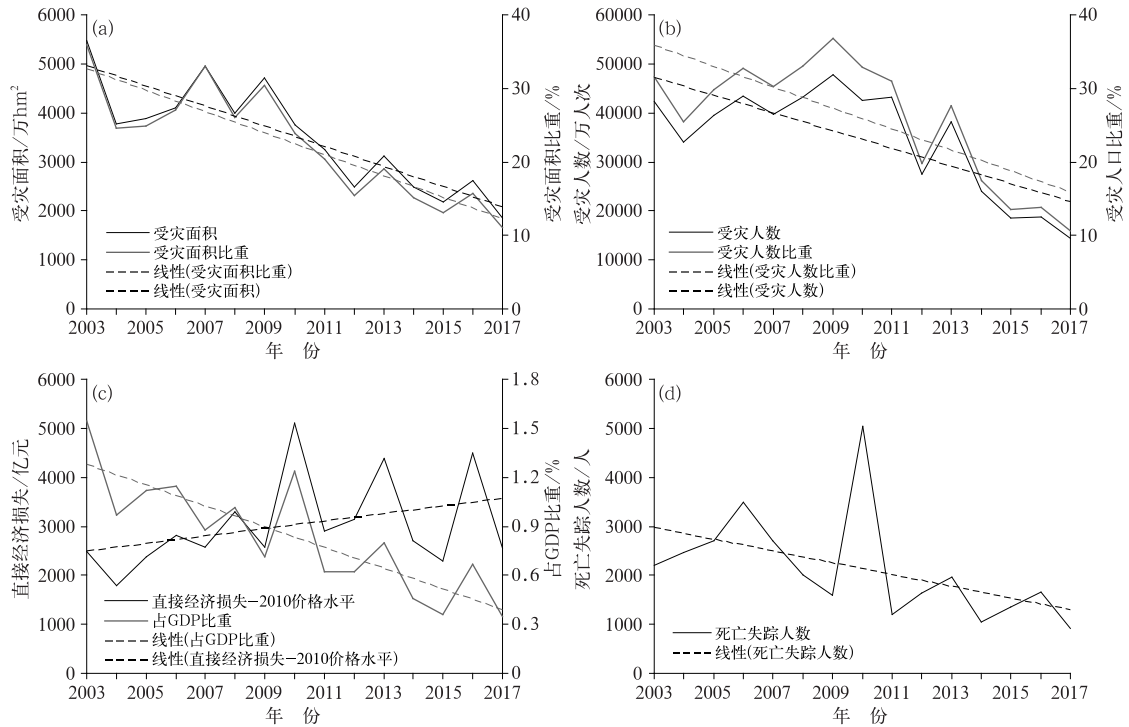


图 3 2003—2017 年我国气象灾害年损失指标变化

Fig. 3 Changes of annual loss indices of meteorological disasters in China from 2003 to 2017

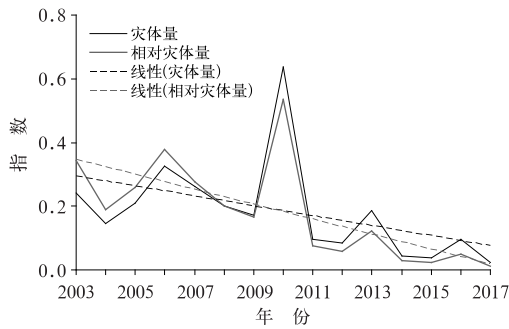


图 4 2003—2017 年我国气象灾害年损失灾体量和相对灾体量指数变化

Fig. 4 Disaster volume index and relative disaster volume index of annual meteorological disaster losses in China from 2003 to 2017

显偏重年,2005 和 2007 年为偏重年,除 2013 年外,2011 年以来的年份均为偏轻或明显偏轻。

2011 年以来各灾情指标值的明显减少是相对灾体量指数减少的直接原因,同时预报预测方法和水平的提升(杨波等,2017;金荣花等,2019)以及防灾减灾救灾能力的加强(徐璨,2018)是其减少的间接原因,这些间接原因无法在灾情综合评估中体现。若将年景评价放入长时间序列中进行评判,可能会导致 2017 年之后损失年景仍旧以偏轻或明显偏轻年份为主。因此实际业务中,在进行长序列整体评价的同时,可另外参考近 5 年的情况来对当年灾害年景进行补充评价,如 2018 年,根据应急管理部灾情统计结果,计算的相对灾体量指数为 0.01,参照

表 1 气象灾害损失年景评价标准及评价结果

Table 1 Evaluation criteria and results of annual meteorological disaster losses

评价	阈值计算	阈值	年份
明显偏重	$D^* \geq (ave + std)$	$D^* \geq 0.33$	2003、2006、2010
偏重	$(ave + 0.5std) \leq D^* < (ave + std)$	$0.26 \leq D^* < 0.33$	2005、2007
一般	$(ave - 0.5std) \leq D^* < (ave + 0.5std)$	$0.11 \leq D^* < 0.26$	2004、2008、2009、2013
偏轻	$(ave - std) \leq D^* < (ave - 0.5std)$	$0.03 \leq D^* < 0.11$	2011、2012、2014、2016
明显偏轻	$D^* < (ave - std)$	$D^* < 0.03$	2015、2017

注: D^* 为相对灾体量指数; ave 、 std 为 2003—2017 年相对灾体量指数平均值和标准差

Note: D^* stands for the relative disaster body index; ave and std are short for the average and standard deviation of the relative disaster body index from 2003 to 2017

表 2 2018 年气象灾害损失年景评价阈值

Table 2 Evaluation criteria of annual meteorological disaster losses in 2018

评价	阈值计算	2018 年评价阈值
明显偏重	$D^* \geq (ave + std)$	$D^* \geq 0.086$
偏重	$(ave + 0.5std) \leq D^* < (ave + std)$	$0.067 \leq D^* < 0.086$
一般	$(ave - 0.5std) \leq D^* < (ave + 0.5std)$	$0.028 \leq D^* < 0.067$
偏轻	$(ave - std) \leq D^* < (ave - 0.5std)$	$0.008 \leq D^* < 0.028$
明显偏轻	$D^* < (ave - std)$	$D^* < 0.008$

注: 同表 1, 但 *ave, std* 统计时段为 2013—2017 年

Note: Same as Table 1, but the statistical period of *ave* and *std* is from 2013 to 2017

表 1 标准, 其为灾害损失明显偏轻年景; 与近 5 年相比, 参照 2013—2017 年情况(表 2), 则属偏轻年景。

2.3 验证分析

2010、2006 和 2003 年为相对灾体量指数排名前三的年份, 也是 3 个灾害年景明显偏重的年份, 表 3 给出了计算相对灾体量指数时这 3 个年份各指标在 2003—2017 年内的排位情况。结合指标排位及重大气候事件, 分别对这 3 年情况进行分析。

2010 年死亡失踪人数位列第一, 其数值为 5038 人, 比排名第二的 2006 年多出 1500 余人。死亡失踪人数明显偏多, 主要是: 8 月 7 日甘肃甘南州出现局地短时强降水, 引发舟曲特大山洪泥石流灾害, 造成 1700 多人死亡失踪; 因暴雨洪涝灾害造成四川死亡人数达 221 人, 还造成吉林、河南、云南、陕西四省死亡人数超过 100 人; 1011 号台风凡比亚导致广东、福建和广西三省(区)135 人死亡失踪。2010 年直接经济损失当年值为 5097.5 亿元, 其占当年 GDP 的 1.2%, 占比仅次于 2003 年(1.5%), 另外受灾人口比也位列第三。综上, 因为 2010 年死亡失踪人数明显偏多, 且直接经济损失比和受灾人口比偏大, 所以总体上灾情明显偏重。

2006 年死亡失踪人数为 3485 人, 位列第二, 比排名第三的 2003 年多出 1200 余人。主要是: 0604 号强热带风暴碧利斯共造成 843 人死亡, 为 1976 年以来单个台风死亡人数第二多; 0608 号超强台风桑美登陆强度达 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 仅次于 1409 号超强台风威马逊, 为新中国成立以来登陆中国大陆台风第二强, 共造成 483 人死亡; 当年因台风共造成 1522 人死亡。2006 年直接经济损失比、受灾人口比、受灾面积比排位都相对靠前, 所以总体上灾情明显偏重。

2003 年受灾面积比和直接经济损失比均位列第一。受灾面积为 5479.5 万 hm^2 , 受灾面积占播种面积比为 36%, 比 2003—2017 年平均值多出近 15

个百分点。干旱受灾面积为 2485.2 万 hm^2 , 主要是东北地区出现严重冬春连旱, 受旱农田面积超过 1000 万 hm^2 , 另外江南、华南发生严重伏旱。暴雨洪涝受灾面积为 1937.4 万 hm^2 , 为 2003—2017 年最大, 比这 15 年平均值多出 1000 余万公顷, 当年淮河流域出现流域性特大洪水, 另外黄河中下游及汉江出现历史罕见的秋汛。2003 年直接经济损失当年值为 2118.6 亿元, 规模约为 2010 年的四成, 但是 2010 年的 GDP 为 2003 年的 3 倍, 最终 2003 年直接经济损失占比(1.5%)超过 2010 年(1.2%), 位列第一。总体上, 2003 年因受灾面积比、直接经济损失比相对最大, 但是死亡失踪人数接近于 2003—2017 年平均, 最终相对灾体量指数位列第三, 年景评价为明显偏重年份。

表 3 部分年份计算相对灾体量指数时采用的各项指标排名

Table 3 Ranking of indicators used for calculating relative disaster volume indices in some years

指标	受灾面积比	受灾人口比	直接经济损失比	死亡失踪人数
2010 年	8	3	2	1
2006 年	4	4	3	2
2003 年	1	5	1	6
2007 年	2	7	7	3
2005 年	6	8	4	4
2008 年	5	2	5	7

为了进一步验证灾体模型, 根据图 1, 分别计算逐年气象灾害损失的“灾度”和“灾度平面”, “灾度”由立方体对角线长度表示, “灾度平面”由其面积来表示, 计算采用相对指标归一化后对应的值, 所得结果分别称为相对灾度和相对灾度面积。表 4 给出了三种模型的计算结果排名前 8 的年份, 之后排位顺序对应的年份均一致。可以看出, 相对于另外两种模型, 相对灾体存在较明显的差异主要有两处: 2006 年超过 2003 年, 位居第二; 2007 年超过了 2005 和 2008 年。从图 3 可以看出 2006 年仅在死亡失踪人

数(3485 人)方面相对于 2003 年(2204 人)优势较大,而在受灾面积比和直接经济损失比上比 2003 年小,可以看出因为灾体模型中将死亡失踪人数作为特殊的一维来考虑,凸显了其在整个灾害损失评价中的重要地位,使得 2006 年相对灾体量指数高于 2003 年。另外从表 3 可以看出,2007 年受灾面积比

和死亡失踪人数分别位列第二和第三,均高于 2005 和 2008 年。在灾体模型中除了将死亡失踪人数作为特殊的一维来考虑外,还增加了受灾面积指标,灾情信息量更加丰富,这两方面因素可能是模型结果中 2007 年超过 2005 和 2008 年的主要原因。

表 4 三种模型计算的相对指数部分结果

Table 4 Partial results of relative index calculated by the three models

年份	相对灾体	年份	相对灾度	年份	相对灾度面积
2010	0.54	2010	1.56	2010	0.70
2006	0.38	2003	1.39	2006	0.52
2003	0.34	2006	1.35	2003	0.52
2007	0.28	2005	1.21	2005	0.42
2005	0.26	2008	1.18	2008	0.37
2008	0.20	2009	1.15	2007	0.36
2004	0.19	2007	1.14	2004	0.32
2009	0.16	2004	1.06	2009	0.29

3 结论与讨论

本文借鉴灾度相关模型,提出面向气象灾害损失评价的四维灾体模型,该模型以受灾人数、受灾面积和直接经济损失形成的灾度平面作为损失的基本规模,以死亡失踪人数为要素在灾度平面垂直方向形成第四维,最终形成四维灾体。该模型相对于三维灾度模型及灾度平面,可以更完整地描述气象灾害损失的体量。本文将该灾体模型初步应用于我国气象灾害损失年景评价之中,得到如下结论:

(1) 2003—2017 年,除年直接经济损失(2010 年价格水平)外,年受灾人数、年受灾面积和年死亡失踪人数以及直接经济损失 GDP 比重、受灾面积占播种面积比重、受灾人口占年末总人口比重均呈现出明显的下降趋势。最终导致 2003 年以来相对灾体量指数呈现出明显的下降趋势,特别是 2011—2017 年指数平均值(0.05)远低于 2003—2010 年平均值(0.29)。

(2) 气象灾害损失年景评价结果显示,2003、2006、2010 年为明显偏重年,验证分析表明这三年内均有重大气候事件发生,导致灾情偏重。除 2013 年外,2011 年以来的年份均为偏轻或明显偏轻年。在气象灾害损失年景评价实际应用中,受限于无法评估预报预测水平的提升、防灾减灾救灾能力的加强等间接因素对相对灾体量指数的影响,因此建议

在长时间序列中进行评价的同时,进一步参考近 5 年的情况来对当年灾害损失年景进行评价。

(3) 灾体模型将死亡失踪人数作为特殊的一维来考虑,凸显了其在整个灾害损失评价中的重要地位,另外增加受灾面积指标,使得灾情信息量更加丰富,评价结果更趋完整。

(4) 本文应用的气象灾害损失指标规范化方法不是唯一方法,空间范围也可以是省级或地市级等,构建灾体模型的 (x, y, z, r) 指标可以根据实际情况来进行选择。后续研究计划将灾体模型进一步应用于单种气象灾害损失年景评价以及单个气象灾害事件损失评价之中。

参考文献

- 卜凤贤,1996. 中国农业灾害史料灾度等级量化方法研究[J]. 中国农史,15(4):38-46. Bu F X,1996. Study on quantification method of agricultural disaster history grades in China[J]. Agric Hist China,15(4):38-46(in Chinese).
- 高建国,2008. 灾害对社会影响和损失大小的一个可量化值——灾度[J]. 中国人口·资源与环境,18(S1):588-590. Gao J G,2008. A quantifiable value of the impact of disasters on society and the magnitude of the damage—the degree of disaster[J]. China Popul, Res Environ,18(S1):588-590(in Chinese).
- 高庆华,马宗晋,张业成,等,2007. 自然灾害评估[M]. 北京:气象出版社:1-8. Gao Q H, Ma Z J, Zhang Y C, et al,2007. Natural Disaster Assessment[M]. Beijing: China Meteorological Press: 1-8.
- 国家统计局,2018. 中国统计年鉴 2018[M]. 北京:中国统计出版社:31-401. National Bureau of Statistics of China,2018. China Sta-

- tistical Yearbook 2018[M]. Beijing: China Statistics Press; 31-401.
- 金荣花,代刊,赵瑞霞,等,2019.我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J].气象,45(4):445-457. Jin R H, Dai K, Zhao R X, et al, 2019. Progress and challenge of seamless fine gridded weather forecasting technology in China[J]. Meteor Mon, 45(4):445-457(in Chinese).
- 李宁,张正涛,陈曦,等,2017.论自然灾害经济损失评估研究的重要性[J].地理科学进展,36(2):256-263. Li N, Zhang Z T, Chen X, et al, 2017. Importance of economic loss evaluation in natural hazard and disaster research[J]. Prog Geogr, 36(2):256-263(in Chinese).
- 马宗晋,胡嘉海,孙绍骋,等,1990.灾害与社会[M].北京:地震出版社:137-141. Ma Z J, Hu J H, Sun S C, et al, 1990. Disaster and Society[M]. Beijing: Seismological Press; 137-141(in Chinese).
- 秦大河,张建云,闪淳昌,等,2015.中国极端天气气候事件和灾害风险管理及适应国家评估报告[M].北京:科学出版社:1-17. Qin D H, Zhang J Y, Shan C C, et al, 2015. China National Assessment Report on Risk Management and Adaptation of Climate Extremes and Disasters[M]. Beijing: Science Press; 1-17.
- 全国重大自然灾害调研组,1990.自然灾害与减灾 600 问答[M].北京:地震出版社:6-7. National Major Natural Disaster Research Group, 1990. 600 Questions and Answers about Natural Disasters and Disaster Reduction[M]. Beijing: Seismological Press; 6-7(in Chinese).
- 史培军,宋长青,程昌秀,2019.地理协同论——从理解“人-地关系”到设计“人-地协同”[J].地理学报,74(1):3-15. Shi P J, Song C Q, Cheng C X, 2019. Geographical synergetics: from understanding human-environment relationship to designing human-environment synergy[J]. Acta Geogr Sin, 74(1):3-15(in Chinese).
- 孙卫东,1993.相对灾度的提出及其实际意义[J].灾害学,8(3):88-89. Sun W D, 1993. Relative disaster degree: meaning and uses [J]. J Catastrophol, 8(3):88-89(in Chinese).
- 孙卫东,彭子成,1995.灾度指数及其意义[J].灾害学,10(2):16-20. Sun W D, Peng Z C, 1995. Hazard rate index and its significance [J]. J Catastrophol, 10(2):16-20(in Chinese).
- 徐臻,2018.改革·创新·治理——重要事件勾勒我国防灾减灾救灾十年发展路[J].中国减灾,(9):8-11. Xu C, 2018. Reform, innovation and governance—important events outline the 10-year development path of disaster prevention, reduction and relief in China[J]. Disaster Reduct China, (9):8-11.
- 徐好民,1991.灾害的级、类、度[J].科技导报,(4):61-63. Xu H M, 1991. Standardization system of disaster measurement [J]. Sci Technol Rev, (4):61-63(in Chinese).
- 徐敬海,聂高众,李志强,等,2012.基于灾度的亚洲巨灾划分标准研究[J].自然灾害学报,21(3):64-69. Xu J H, Nie G Z, Li Z Q, et al, 2012. Disaster magnitude based Asian catastrophe criterion for classification[J]. J Nat Disasters, 21(3):64-69(in Chinese).
- 杨波,郑永光,蓝渝,等,2017.国家级强对流天气综合业务支撑体系建设[J].气象,43(7):845-855. Yang B, Zheng Y G, Lan Y, et al, 2017. Development and construction of the supporting platform for national severe convective weather forecasting and service[J]. Meteor Mon, 43(7):845-855(in Chinese).
- 于庆东,1993.灾度等级判别方法的局限性及其改进[J].自然灾害学报,2(2):8-11. Yu Q D, 1993. The limitation and improvement of the method of disaster situation grade measurement[J]. J Nat Disasters, 2(2):8-11(in Chinese).
- 中国气象局,2004—2018.中国气象灾害年鉴(2003—2017)[M].北京:气象出版社. China Meteorological Administration, 2004—2018. China Meteorological Disaster Yearbook (2003—2017) [M]. Beijing: China Meteorological Press.