鞠晓雨,田红,程向阳,等.2024.安徽省雪灾危险性精细化评估与区划[J].暴雨灾害,43(5):580-586. JU Xiaoyu, TIAN Hong, CHENG Xiangyang, et al. 2024. Refinded hazard assessment and regionalization of snow disaster in Anhui Province [J]. Torrential Rain and Disasters, 43(5):580-586 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2023-184

安徽省雪灾危险性精细化评估与区划

鞠晓雨[1,4],田红[2],程向阳[3],唐为安[2],朱浩[3]

(1. 淮河流域气象中心,合肥 230031;2. 安徽省气候中心,合肥 230031;3. 安徽省气象灾害防御技术中心,合肥 230031;4. 寿县国家气候观象台,淮南 232200)

摘　要:在全国气象灾害综合风险普查技术规范基础上,针对安徽省雪灾影响特点,增加雪压这一观测要素,建立以年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压作为致灾因子的危险性评估模型,利用1978—2020年安徽省81个国家气象观测站雪深、雪压及地理信息等资料,分析各致灾因子的时空分布特征,并进行积雪日数地形订正,开展安徽省雪灾危险性精细化评估。结果表明:安徽省国家站最大积雪深度平均值、积雪日数平均值和最大雪压的年际变化趋势差异较大,位列前三的年份均为2008年、1984年和2018年;年均最大积雪深度大值区主要集中在大别山区、皖南山区和江淮之间。由于100 m以上区域的年均积雪日数与高程相关性显著且样本数量适中,对该区域进行地形订正后,年均积雪日数高值区位于大别山区及皖南山区,其次为淮北地区西北部至大别山区北麓一带。对最大雪压进行缺测插补计算,宣城、铜陵、黄山北部等地最大雪压值有所提高,且局地特征更为显著。安徽省雪灾致灾高危险区主要位于大别山区以及皖南山区等海拔较高地区,而低危险区主要位于淮北地区东部、江淮之间东部和沿江西南部。

关键词: 雪灾;积雪深度;雪压;地形订正;危险性评估

中图法分类号: P426.6　　**文献标志码**: A　　**DOI:** 10.12406/byzh.2023-184

Refinded hazard assessment and regionalization of snow disaster in Anhui Province

JU Xiaoyu[1,4], TIAN Hong[2], CHENG Xiangyang[3], TANG Wei-an[2], ZHU Hao[3]

(1. *Huai River Basin Meteorological Center, Hefei* 230031; 2. *Anhui Climate Center, Hefei* 230031; 3. *Anhui Meteorological Disaster Prevention Center, Hefei* 230031; 4. *Shouxian National Climatology Observatory, Huainan* 232200)

Abstract: Based on the technical specifications for the national comprehensive risk survey of meteorological disasters, and in view of the characteristics of snow disaster impacts in Anhui Province, the observation element of snow pressure is considered and combined with other disaster causative factors, such as the annual maximum snow depth and annual average snow-covered days to establish a risk assessment model. Using the data of snow depth, snow pressure, and geographic information from 81 national meteorological observation stations in Anhui Province from 1978 to 2020, the spatiotemporal distribution characteristics of various disaster-causing factors are analyzed, and the terrain correction for snow-covered days is performed to obtain a refined assessment of snow disaster risk in Anhui Province. The results are as follows. The annual variation and differences of the average maximum snow depth, average snow-covered days, and maximum snow pressure are significant, but the top three years for all these factors are 2008, 1984, and 2018. The areas with high annual maximum snow depth are mainly concentrated between the Dabie Mountains, the southern Anhui Mountains, and the regions between the Yangtze River and the Huai River. Considering the significant correlation between the annual snow-covered days and elevation in the area above 100 meters and the appropriate sample size, after terrain correction, the high-value areas of snow-covered days are located in the Dabie Mountains and the southern Anhui Mountains, followed by the northwest of Huaibei to the northern foothills of Dabie Mountains. After interpolation calculation of missing measurements, the maximum snow pressure in Xuancheng, Tongling, northern Mount Huangshan, and other places is increased, with distinct localized characteristics. The high-risk areas caused by snow disasters in Anhui Province are mainly located in high-altitude regions such as the Dabie Mountains and the mountainous areas in southern Anhui, while the low-risk areas are mainly located in the eastern part of the Huaibei region, the eastern part of the region between the Yangtze River and Huai River, and the southwestern part along the Yangtze River.

Key words: snow disaster; snow depth; snow pressure; terrain correction; hazard assessment

收稿日期: 2023-08-30;**定稿日期**:2023-12-25

资助项目: 安徽省科技厅标准化专项(202004h07020001);安徽省新技术集成项目(AHXJ201905)

第一作者: 鞠晓雨,主要从事气象灾害防御研究。E-mail: 12262686@qq.com

通信作者: 田红,主要从事气象灾害风险管理研究。E-mail: Linda2383@163.com

© Editorial Office of *Torrential Rain and Disasters*. OA under CC BY-NC-ND 4.0

引　言

雪灾是我国冬季主要的气象灾害，严重影响人们生产生活及生命安全。2008年初发生在我国南方的雪灾席卷近20个省份，影响范围广、持续时间长、灾害重，其造成的直接经济损失、受灾人口为历史同期同类灾害之最。2016年1月、2018年1月发生的雨雪冰冻天气也对交通、通讯、电力、畜牧等行业带来了不同程度的危害(朱敬宜，2022)。近年来，国内外许多学者围绕积雪时空特征、过程成因分析和风险评估等雪灾相关工作开展研究。其中，在雪灾风险评估方面，国外主要围绕雪崩开展。Stethem等(2003)针对加拿大雪崩风险管理方法的发生机制、预测预警和防御机构等方面进行了概述。Bocchiola等(2006)结合阿尔卑斯山脉中部的积雪深度设计了雪崩灾害制图程序，并对意大利伦巴底亚高山地区开展了雪灾风险评价。Eckert等(2023)基于统计建模结果，建立了针对山区的雪崩风险评价模型。国内相关研究则多集中在降雪频繁及稳定积雪的地区。如李婷等(2018)通过气候概率分布模式和地理信息系统(Geographic Information System，GIS)技术，研究了不同重现期下的雪灾致灾强度及其分布特征，开展了河北省雪灾致灾危险性评估。保广裕等(2019)通过对公路交通沿线雪灾风险因子进行分析，结合交通气象站资料以及交通事故、交通管制、车流量等资料构建评估模型，实现了青海省公路沿线强降雪年度灾害风险区划。还有学者通过选取不同致灾因子，结合孕灾环境及承灾体指标，分别针对内蒙古牧区以及东北地区等地构建了雪灾风险评价指标体系(德勒格日玛等，2020；韩少帅等，2020)。

目前针对我国南方地区雪灾危险性及风险评估的研究相对较少，而我国南北方降雪特征差异较大(郑国光等，2019)，北方多为干雪，而南方降雪过程常伴有降雨，多为湿雪，积雪密度较高、雪压较大(戴礼云和车涛，2010；莫美华，2016)，故南方降雪常常造成坍塌事故(周星妍等，2019；李莹等，2020)。例如，2014年2月上旬，湖北、湖南、江西等我国南方地区发生雪灾，致使局部地区农房倒损、蔬菜大棚被积雪压塌，造成巨大经济损失(中国气象局，2015)；2018年1月初安徽暴雪过程中，合肥发生了公交站台顶板倒塌事件，造成1人死亡、27人受伤。因此，研究南方雪灾，除了关注降(积)雪日数和积雪深度等外，还应当关注雪压。以往研究中对南方地区雪压精细化空间分布的分析相对较少(魏华兵等，2023)，全国气象灾害风险普查技术规范也未将雪压作为致灾因子。此外，全国规范(中国气象局，2021)是基于国家气象观测站(以下简称国家站)资料开展灾害调查，这对于平原地区或者有相当数量高山国家站的地区是可行的，但我国有不少省份(例如安徽)高山国家站数量很少，低海拔国家站资料难以反映山区雪灾真实情况。

本文以安徽省为研究区域，考虑南方致灾特点，选取年均最大积雪深度(年最大积雪深度的多年平均值)、年均积雪日数(年积雪深度＞0 cm累计日数的多年平均值)和最大雪压(雪压的历史极大值)作为致灾因子进行调查，并进行积雪日数地形订正，开展安徽省雪灾危险性精细化评估，以期为进一步开展我国南方地区雪灾精细化风险评估提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料说明

所用资料包括：(1) 1978—2020年安徽省经过质量控制的81个国家站雪深和雪压资料，数据来自安徽省气象信息中心，用于致灾因子的选取及特征分析。(2) 地理信息资料，包括安徽省行政区划图和安徽省30 m×30 m数字高程模型(Digital Elevation Model，DEM)，分别来源于国务院第一次全国自然灾害综合风险普查办公室以及航天飞机雷达地形测绘任务(SRTM，Shuttle Radar Topography Mission)，用于掩膜制图提取以及年均积雪日数的地形订正。(3) 1996—2020年安徽省雪灾灾情资料，来自安徽省应急管理厅，用于区划结果验证。

1.2 研究方法

1.2.1 致灾因子选取

致灾因子是指能够引发灾害事件的条件或因素，危险性体现了灾害的异常程度。通常，致灾因子的选取分为初选、独立性分析和确定三个步骤(章国财，2014)。根据历史灾情，本文初选年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压作为雪灾致灾因子，考虑到安徽省积雪季节变化特点，以上一年10月至次年4月作为一个年份的统计时段。为考察年均最大积雪深度和最大雪压两个致灾因子是否独立，利用两者数据绘制散点图并进行拟合(图1)，得出二者的相关系数为0.227，未通过α=0.05的显著性检验，可见两个因子间是独立的。

因此，最终确定年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压作为致灾因子，采用趋势分析、Kriging插值及栅格计算等方法，对各因子的变化趋势、空间分布以及与高程的相关性等进行研究，结合地形订正以及缺测插补计算，开展雪灾致灾危险性评估。

1.2.2 年均积雪日数地形订正

研究表明，随着海拔升高，气温降低，积雪日数增多，积雪日数等高值区主要分布在高海拔山区(Raghubanshi et al.，2023；Sosnovskii et al.，2023)。分析1978—

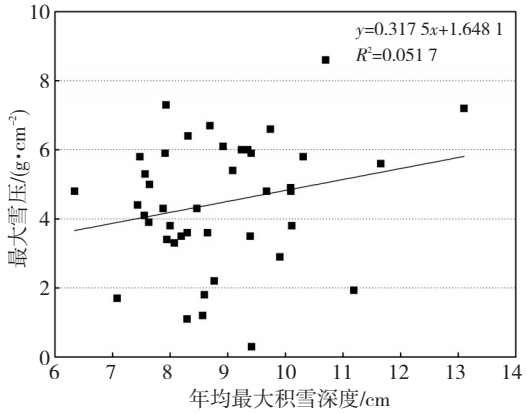


图1 1978—2020年安徽省年均最大积雪深度与最大雪压散点图

Fig. 1 The scatter map of annual maximum snow depth and maximum snow pressure in Anhui Province during 1978–2020

2020年安徽省81个国家站年均积雪日数与海拔高度的相关性(图2a)可知,年均积雪日数与海拔高度显著相关(通过α=0.01的显著性检验)。进一步选取海拔高度30 m以上、50 m以上、100 m以上的国家站(由于海拔高度200 m以上国家站仅6个,小于总国家站数的十分之一,故未作分析),分别将其海拔高度与年均积雪日数进行拟合(图2b—d),可见年均积雪日数随海拔高度上升呈线性增加趋势,且当海拔高度≥100 m时,两者相关性更为显著。因此,本文对安徽省海拔高度≥100 m的区域,基于站点年均积雪日数与海拔高度的关系,结合30 m×30 m的DEM数据在GIS平台上进行地形订正,提高年均积雪日数空间分布的精细化程度。

1.2.3 最大雪压缺测插补计算

因安徽省81个国家站中有42个开展了雪压观测,其余39个无雪压观测记录的国家站主要分布在长江以南地区,为更全面精细地反映安徽省雪压的空间分布情况,本文对最大雪压进行缺测插补计算。

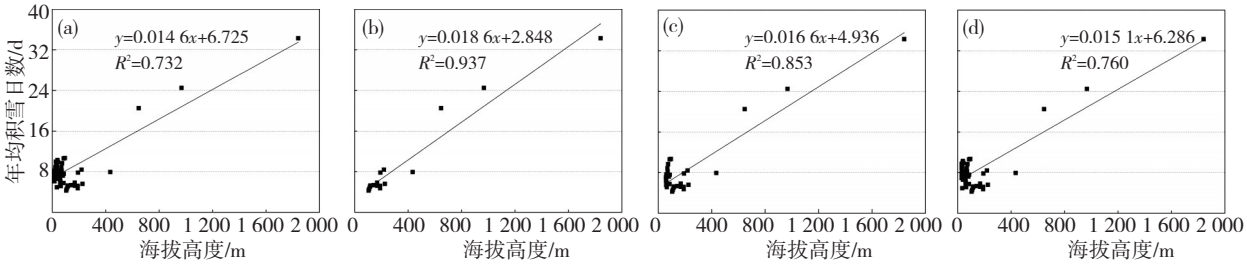


图2 1978—2020年安徽省81个国家站(a)、海拔≥30 m (b)、≥50 m (c)、≥100 m (d)国家站的海拔高度与年均积雪日数散点图

Fig. 2 The scatter maps of altitude height for (a) 81 national meteorological observation stations, national meteorological observation stations with elevations of (b) ≥30 m, (c) ≥50 m, (d) ≥100, and the annual average snow-covered days in Anhui Province during 1978–2020

根据《建筑物结构荷载规范》(GB 50009-2012)(下文简称《规范》),当国家站有雪压记录时,应采用雪压数据计算基本雪压;当无雪压记录时,可采用积雪深度和密度按以下公式计算雪压

$$S=h\rho g \tag{1}$$

式(1)中,S为雪压,h为积雪深度,ρ为积雪密度,g为重力加速度。可见,除积雪深度外,雪压值还与积雪密度有关,而积雪密度随积雪深度、积雪融雪时间以及各地的地理气候条件等因素的变化有较大差异。《规范》中指出,对于无雪压观测记录的国家站,可按该地区的平均积雪密度计算雪压,并推荐淮河、秦岭以南地区一般取150 kg·m^{-3},其中江西、浙江取200 kg·m^{-3}。而Mo等(2022)等参考《规范》并进一步利用实测数据,结合单点分析和影响区域法,将全国的积雪密度分布划分为6个区域,安徽省所在地区的积雪密度变异系数较大,其中合肥以北处于积雪密度为133 kg·m^{-3}分区,合肥以南处于173 kg·m^{-3}分区。

因此,本文首先针对开展雪压观测的安徽省81个站,将根据逐条雪压及对应雪深观测记录计算得出的积雪密度平均值作为该国家站的积雪密度;针对雪压缺测国家站,将周边所有相邻国家站的积雪密度平均值作为所在地区的积雪密度,再利用公式(1),代入该国家站最大积雪深度的历史极大值,得到缺测站点的最大雪压。

1.2.4 雪灾危险性评估模型构建

考虑到各致灾因子指标间的量纲和数量级差异,对每个指标值进行归一化处理,归一化计算公式为

$$X_{ij}=0.5+0.5\times\frac{x_{ij}-x_{\min}(i)}{x_{\max}(i)-x_{\min}(i)} \tag{2}$$

式(2)中,X_{ij}是j站(格)点第i个指标的归一化值,x_{ij}是j站(格)点第i个指标值,$x_{\min}(i)$和$x_{\max}(i)$分别是第i个指标序列中的最小值和最大值。

雪灾危险性是各致灾因子综合作用的结果,其计算公式为

$$H=S\times w_s+N\times w_n+P\times w_p \tag{3}$$

式(3)中,H为致灾危险性指数;S、N和P分别是经式(2)归一化处理后的年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压;w_s、w_n和w_p分别年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压对应的权重,本文采用Delphi法(又称专家打分法)确定权重系数(唐为安等,2023)。

根据致灾危险性指数结果,利用自然断点法(谢五三等,2023),将安徽省雪灾致灾危险性划分为高、较

高、较低和低风险等级，在GIS平台上绘制安徽省雪灾危险性精细化区划图。

2 致灾因子时空变化特征

2.1 最大积雪深度的年际变化及空间分布

由1978—2020年安徽省81个国家站最大积雪深度平均值的年际变化(图3)可知，不同年份的最大积雪深度平均值差异较大，其上升速率为0.13 cm·(10 a)$^{-1}$，未通过α=0.05的显著性检验，其中最大积雪深度平均值在2008年(26.3 cm)、1984年(24.1 cm)和2018年(20.8 cm)超过20 cm，最小值出现在1999年(3.4 cm)，多年平均值为8.9 cm。

从年均最大积雪深度的空间分布(图4)可知，2个高值区分别分布在六安中西部至安庆北部的大别山区以及池州东部至黄山北部一带的山地地区，年均最大积雪深度在12 cm以上；低值区主要分布在淮北地区北部至东部一带、江淮之间东部以及沿江西部等地，年均最大积雪深度小于8 cm。该空间分布与周厚福等(2008)研究结果基本一致。进一步将各国家站的年均最大积雪深度与海拔高度进行拟合，结果表明二者相关性较低，未通过显著性检验(图略)。

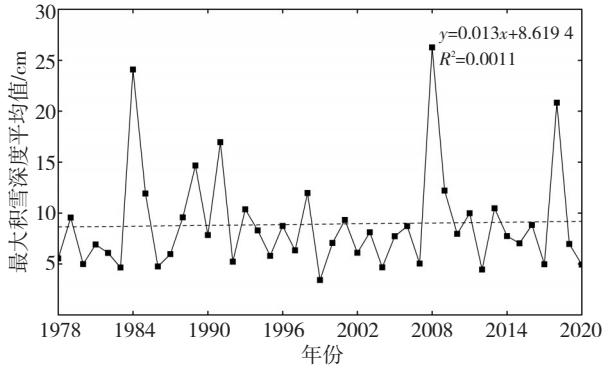


图3 1978—2020年安徽省81个国家站最大积雪深度平均值的年际变化

Fig. 3 The annual variation of the average maximum snow depth at 81 national meteorological observation stations in Anhui Province during 1978–2020

2.2 积雪日数的年际变化及地形订正的空间特征

由1978—2020年安徽省81个国家站积雪日数平均值的年际变化(图5)可知，43 a来积雪日数平均值前三的年份，与最大积雪深度平均值前三的年份一致，均为2008年(24.3 d)、1984年(21.0 d)和2018年(18.0 d)，积雪日数平均值的最小值出现在1999年(1.2 d)，多年均值为7.1 d，下降速率为0.06 d·(10 a)$^{-1}$，未通过α=0.05的显著性检验。

图6a给出1978—2020年安徽省地形订正前年均积雪日数的空间分布，可见黄山风景区、天柱山以及九华山海拔较高，年均积雪日数分别达34.4 d、24.5 d、20.5 d，远高于其他地区，表明随着海拔升高，温度降低，积雪日数增大。李双双等(2019)在对秦岭南北积雪日数的时空变化分析指出，积雪日数随海拔升高而增加，其中秦岭山地1 950 m以下区域，海拔每升高100 m，积雪日数上升0.012 d；2 000 m以上区域，海拔每升高100 m，积雪日数上升0.10 d；大巴山区1 600 m以下地区，海拔每升高100 m，积雪日数上升0.012 d。安徽省地形复杂，平原山地丘陵兼具，在开展地形订正(图6b)后，安徽省的年均积雪日数精细化程度提高，尤其在大别山区和皖南山区等海拔较高地区，更好地反映了海拔对积雪日数的影响。除山区外，年均积雪日数较高值区(8 d以上)位于淮北地区西北部至大别山区南部一带，低值区则主要位于沿江一带和江南南部局地。

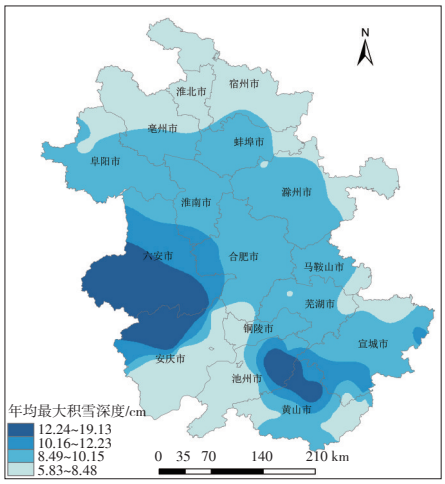


图4 1978—2020年安徽省年均最大积雪深度的空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of annual average maximum snow depths in Anhui province during 1978–2020

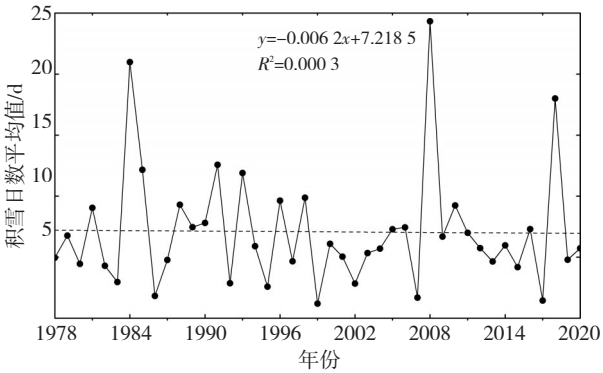


图5 1978—2020年安徽省81个国家站积雪日数平均值的年际变化

Fig. 5 The annual variation of the average snow-covered days at 81 national meteorological observation stations in Anhui Province during 1978–2020

2.3 最大雪压的年际变化及缺测插补计算的空间特征

安徽省开展雪压观测的国家站主要集中在淮河以北、江淮之间及江南东部和南部部分地区，上述国家站均在2018年停止雪压观测。1978—2018年间仅2007年安徽省没有雪压观测记录。分析逐年安徽省

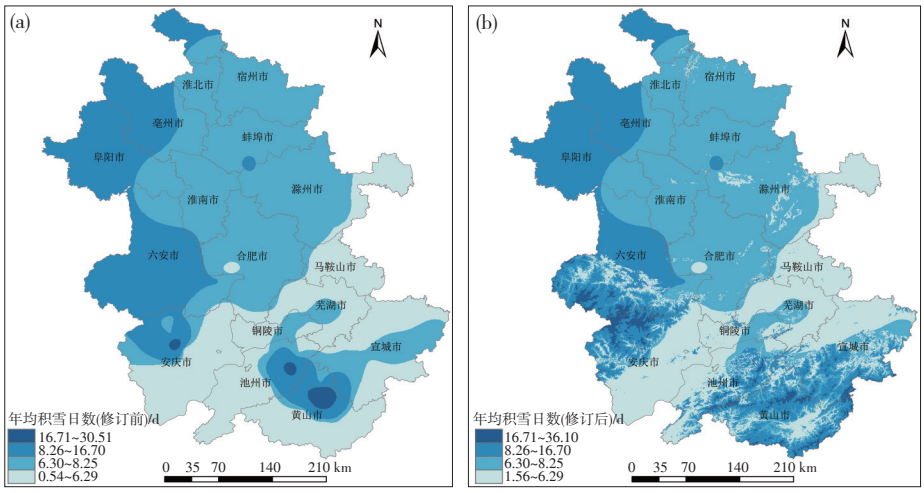


图6 1978—2020年安徽省地形订正前(a)和订正后(b)年均积雪日数的空间分布

Fig. 6 The spatial distribution of annual average snow-covered days (a) before and (b) after terrain correction in Anhui Province during 1978–2020

81个国家站最大雪压的年际变化(图7)可知,其最大值出现在2008年(7.3 g·cm^{-2}),其次为1984年(6.1 g·cm^{-2})和2018年(5.6 g·cm^{-2})。从趋势线来看,安徽省最大雪压呈不显著上升趋势,速率为0.16 (g·cm^{-2})·(10 a)$^{-1}$。

图8a给出1978—2018年安徽省缺测插补计算前最大雪压的空间分布,可见最大雪压有三个高值区,分别位于六安西部的大别山区,芜湖、宣城、马鞍山三市交界处以及东北部;最大雪压超过了6.7 g·cm^{-2},沿淮淮北西部的阜阳、马鞍山与滁州交界处等地雪压极值较低。对雪压缺测插补计算后,安徽省各站点最大雪压空间分布如(图8b)所示。与计算前相比,黄山风景区、九华山等高海拔地区以及宣城、铜陵和黄山北部、合肥中北部、滁州至蚌埠一带最大雪压有所提高,超过6.7 g·cm^{-2}的高值区增多,最大雪压的局地特征更为显著。

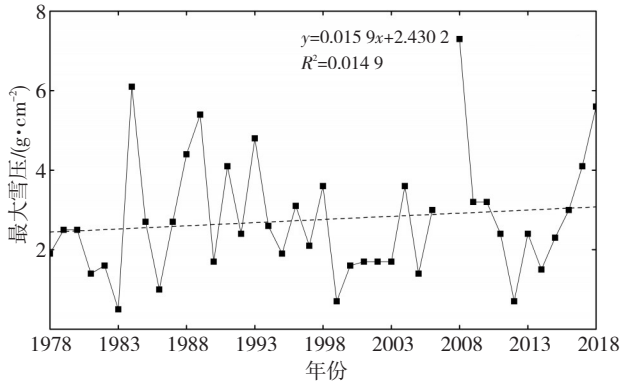


图7 1978—2018年安徽省81个国家站最大雪压的年际变化

Fig. 7 Annual variation of maximum snow pressure at 81 national meteorological observation stations in Anhui Province during 1978–2018

3 雪灾致灾危险性评估与区划

危险性是各致灾因子综合影响的结果,经专家打分法确定致灾因子年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压的权重系数分别取0.4、0.4和0.2,在GIS平台根据公式(3)计算得到致灾危险性指数,然后利用自然断点分级法将雪灾致灾危险性划分为高、较高、较低

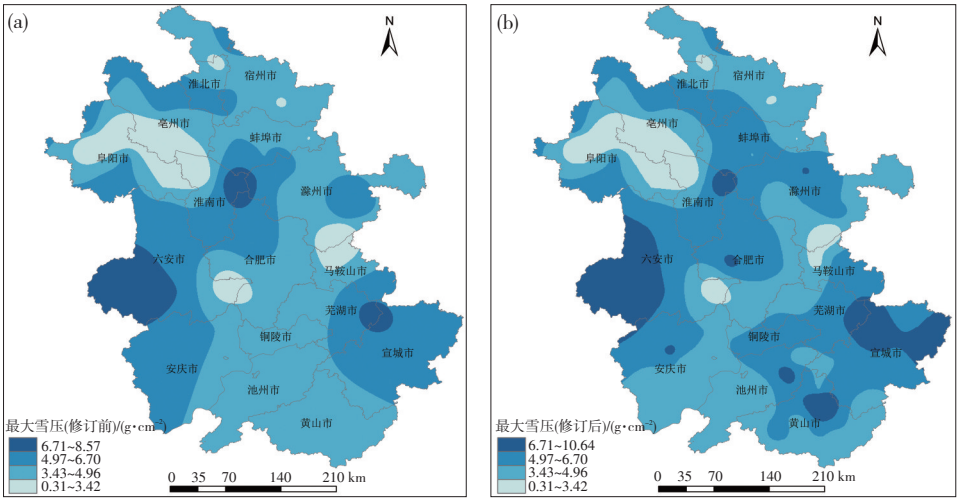


图8 1978—2018年安徽省缺测插补计算前(a)和计算前后(b)最大雪压的空间分布

Fig. 8 The spatial distribution of maximum snow pressure (a) before and (b) after interpolation calculation of missing measurements in Anhui Province during 1978–2018

和低4个等级，得到安徽省雪灾致灾危险性区划结果(图9)。可见雪灾高危险区主要位于大别山区及皖南山区等海拔较高地区，较高危险区主要位于沿淮地区、江淮之间大部及江南中东部地区，较低危险区主要位于淮北地区中西部、沿江中北部地区，低危险区主要位于淮北地区东部、江淮之间东部和沿江西南部。

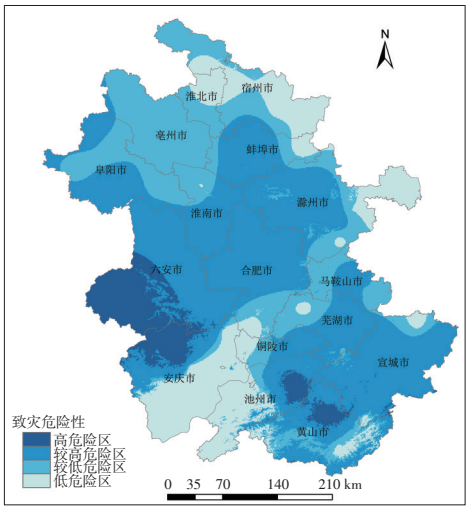


图9 1978—2020年安徽省雪灾致灾危险性区划

Fig. 9 The risk zonging of comprehensive disaster-causing hazard zoning of snow in Anhui Province during 1978-2020

为验证区划结果的合理性，利用1996—2020年安徽省雪灾灾情资料，绘制因雪灾造成的累积直接经济损失的空间分布图(图10)。可见，因雪灾造成的累积直接经济损失与雪灾危险性区划在空间上分布较为一致，特别是在淮北东部、大别山区、江淮之间中部以及江南中部等地，表明危险性区划结果是合理的。但由于未考虑承灾体及抗灾能力等，所以区划结果和实际灾情未完全对应，主要表现在江淮之间北部以及江南东部等地存在一定差异。

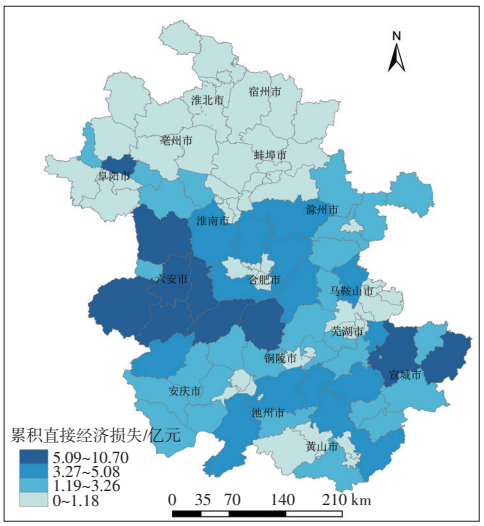


图10 1996—2020年安徽省因雪灾造成的累积直接经济损失的空间分布

Fig. 10 The spatial distribution of accumulated direct economic loss caused by snow disasters in Anhui Province during 1996-2020

4 结论与讨论

选取年均最大积雪深度、年均积雪日数和最大雪压作为致灾因子，构建安徽省雪灾致灾危险性评估模型，在对各致灾因子时空特征分析的基础上，借助GIS技术，实现安徽省雪灾致灾危险性评估和区划，得出主要结论如下：

(1) 1978—2020年安徽省81个国家站最大积雪深度平均值、积雪日数平均值和最大雪压分别在3.4~26.2 cm、1.2~24.3 d和0.5~7.3 g·cm^{-2}，各年份间差异较大，但位列前三的年份均为2008年、1984年和2018年。

(2) 年均最大积雪深度高值和较高值区主要集中在山区和江淮之间等地，低值区主要分布在淮北地区北部至东部一带、江淮之间东部以及沿江西部等地；年均积雪日数与海拔高度来自相关性较高，地形订正后年均积雪日数空间分布的精细化程度提高，除山区外，淮北地区西北部至大别山区北麓一带为积雪日数的较高值区，低值区主要位于沿江地区；最大雪压根据《规范》进行了缺测插补计算，计算后宣城、铜陵和黄山北部、合肥中北部等地最大雪压有所提高，超过6.7 g·cm^{-2}的高值区增多，最大雪压的局地特征更为显著。

(3) 雪灾致灾危险性区划结果显示，安徽省积雪致灾高危险区大别山区、黄山风景区及九华山等海拔较高地区，较高危险区主要集中在沿淮地区、江淮之间大部及江南中东部地区，而淮北地区东部、江淮之间东部和沿江西南部为低危险区。使用1996—2020年安徽省安徽省雪灾灾情资料验证区划结果，安徽省雪灾危险性区划与淮北东部、大别山区、江淮之间中部以及江南中部等地的累积直接经济损失在空间上分布较为一致，区划结果较为合理。

本文结合年均积雪日数的地形订正以及最大雪压的缺测插补计算，开展了安徽省积雪灾害危险性精细化评估，可为南方地区雪灾评估工作提供参考。然而雪灾形成、发展的影响因子众多。由于雪深观测资料分辨率的局限性以及雪压数据的不确定性，会对评估结果带来一定影响。因此，后续可结合遥感资料和承灾体数据，优化各致灾因子的精细化程度并深入开展南方地区雪灾精细化风险评估与区划。

参考文献(References)：

保广裕，周丹，郑玲，等.2019.青海省公路沿线强降雪天气灾害风险区划研究[J].沙漠与绿洲气象，13(4)：109-116. Bao G Y, Zhou D, Zheng L, et al. 2019. A study of severe snowfall disaster risk zoning along highways in Qinghai Province [J]. Desert and Oasis Meteorology, 13(4): 109-116 (in Chinese). doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2019.04.016

戴礼云,车涛.2010. 1999—2008年中国地区雪密度的时空分布及其影响特征[J].冰川冻土,32(5):861-866. Dai L Y, Che T. 2010. The Spatio-temporal distribution of snow density and its influence factors from 1999 to 2008 in China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,32(5):861-866 (in Chinese)

德勒格日玛,李一平,孟雪峰,等.2020.内蒙古锡林郭勒盟牧区雪灾风险评估研究[J].冰川冻土,42(4):1353-1362. Delegerima, Li Y P, Meng X F, et al. 2020. Study of the risk evaluation of snow disaster in pastoral areas of Xilingol League, Inner Mongolia [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,42(4):1353-1362 (in Chinese). doi:10.75225/j.issn.1000-0240.2019.0067

韩少帅,郭唯娜,柯长青,等.2020.东北地区雪灾风险综合评价[J].高技术通讯,30(1):91-100. Han S S, Guo W N, Ke C Q, et al. 2020. Comprehensive assessment of snow disaster risk in Northeast China [J]. Chinese High Technology Letters,30(1):91-100 (in Chinese). doi:10. 3772/j. issn.1002-0470.2020.01.011

李双双,胡佳岚,段克勤,等.2023.基于遥感监测的秦岭南北积雪日数时空变化及影响因素[J].地理学报,78(1):121-138. Li S S, Hu J L, Duan K Q, et al. 2023. Spatiotemporal variation of snow cover days and influencing factors in north and south Qinling Mountains based on remote sensing monitoring [J]. Acta Geographica Sinica,78(1):121-138 (in Chinese). doi:10.11821/dlxb202301008

李婷,孙玉龙,陈笑娟等.2018.基于GIS的河北省雪灾致灾危险性评价[J].河南科学,36(7):1099-1104. Li T, Sun Y L, Chen X J, et al. 2018. Hazard assessment of snow disaster in Hebei Province based on GIS [J]. Henan Science,36(7):1099-1104 (in Chinese)

李莹,曾红玲,王国复,等.2020. 2019年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J].气象,46(4):547-555. Li Y, Zeng H L, Wang G F, et al. 2020. Climatic characteristics and major meteorological events over China in 2019 [J]. Meteorological Monthly,46(4):547-555 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2020.04.009

唐为安,田红,严小静,等.2023.基于地形订正技术的安徽冰雹灾害风险区划[J].暴雨灾害,42(5):606-612. Tang W A, Tian H, Yan X J, et al. 2023. Risk zoning of hail disaster in Anhui Province based on terrain correction technology [J]. Torrential Rain and Disasters,42(5):606-612 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2023-0218

谢五三,唐为安,王胜.2023.安徽省暴雨致灾危险性评估[J].暴雨灾害,42(3):353-359. Xie W S, Tang W A, Wang S. 2023. Disaster-causing hazard assessment of rainstorms in Anhui Province [J]. Torrential Rain and Disasters,42(3):353-359 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022-118

魏华兵,周月华,史瑞琴,等.2023.基于随机森林的湖北雪密度预测模型及其在雪压分析中的应用[J].气象科技,51(4):473-479. Wei H B, Zhou Y H, Shi R Q, et al. 2023. Snow density prediction model in Hubei based on random forest and its applicationin snow pressure analysis [J]. Meteorological Science and Technology,51(4):473-479 (in Chinese). doi:10.19517/j.1671-6345.20220295

章国财.2014.自然灾害风险评估与区划原理和方法[M].北京:气象出版社:23-26. Zhang G C. 2014. Principles and methods of natural disaster risk assessment and zoning [M]. Beijing: Meteorological Press: 23-26 (in Chinese)

郑国光,矫梅燕,丁一汇,等.2019.中国气候[M].北京:气象出版社:221-225. Zheng G G, Jiao M Y, Ding Y H, et al, 2019. The climate of China [M]. Beijing:Meteorological Press:221-225 (in Chinese)

周厚福,刘英,翟菁,等.2008. 2008年安徽雪深全国之最的成因探讨[J].安徽农业科学,36(18):7874-7877. Zhou H F, Liu Y, Zhai J, et al. 2008. Discussion on the causation of depth snow in Anhui in 2008 [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,36(18):7874-7877 (in Chinese). doi:10.13989/j.cnki.0517-6611.2008.18.018

周星妍,曾红玲,王遵娅等.2019.2018年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J].气象,45(4):543-552. Zhou X Y, Zeng H L, Wang Z Y, et al. 2019. Climatic characteristics and major meteorological events over China in 2018 [J]. Meteorological Monthly,45(4):543-552 (in Chinese), doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2019.04.009

朱敬宜.2022.江苏种植业雪灾风险评估[D].南京:南京信息工程大学. Zhu J Y. 2022. Snow disaster risk assessment of crop production in Jiangsu Province [D]. Nanjing:Nanjing University of Information Science & Technology (in Chinese)

中国气象局.2015.中国气象灾害年鉴(2015)[M].北京:气象出版社:48-49. China Meteorological Administration. 2015. Yearbook of meteorological disasters in China (2015) [M]. Beijing:Meteorological Press: 48-49 (in Chinese)

中国气象局.2021.全国气象灾害综合风险普查技术规范:雪灾调查与风险评估技术规范(灾害调查类)[S].中国气象局全国气象灾害综合风险普查领导小组办公室:1-8. China Meteorological Administration. 2021. Technical specification for national meteorological disaster comprehensive risk survey: technical specification for snow disaster investigation and risk assessment (disaster investigation) [S]. Office of the Leading Group for the National Comprehensive Meteorological Disaster Risk Survey of the China Meteorological Administration:1-8

Bocchiola D, Medagliani M, Rosso R. 2006. Regional snow depth frequency curves for avalanche hazard mapping in central Italian Alps [J]. Cold Regions Science and Technology,46(3):675-687. doi:10.1016/j.coldregions.2006.07.004

Eckert N, Giacona F.2023. Towards a holistic paradigm for long-term snow avalanche riskassessment and mitigation [J]. Ambio, 52:711-732. doi:10.1007/s13280-022-01804-1

Mo H M, Zhang G L, Zhang Q W, et al. 2022. Estimating ground snow load based on ground snow depth and climatological elements for snow hazard assessment in North-eastern China [J]. International Journal of Disaster Risk Science,13:743-757. doi:10.1007/s13753-022-00443-0

Raghubanshi S, Agrawal R, Rathore B P. 2023. Enhanced snow cover mapping using object-based classification and normalized difference snow index [J]. Earth Science Informatics,16:2813-2824. doi:10.1007/s12145-023-01077-6

Sosnovskii A V, Osokin N I. 2023. Dynamics of snow cover depth and density in the arcticunder the modern climate [J]. Water Resources, 50(3):S328-S332. doi:10.1134/S0097807823700537

Stethem C, Jamieson B, Schaerer P, et al. 2003. Snow avalanche hazard in Canada-a review [J]. Natural Hazards,28(2-3):654-676. doi:10.1023/A:1022998512227

(责任编辑 唐永兰)