

中国雪灾评估研究综述^{*}

吴 玮^{1,2}, 秦其明¹, 范一大², 杨思全²

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 民政部国家减灾中心减灾和应急工程民政部重点实验室, 北京 100124)

摘 要: 雪灾评估是灾害管理必不可少的一项基础性工作, 是政府和社会关注的重大现实问题。系统阐述雪灾风险评估、灾情评估的概念内涵和主要内容, 总结中国雪灾评估的研究进展与应用成果, 评述了雪灾评估的代表性技术手段和方法。在此基础上, 指出现阶段在损失预评估、脆弱性评估、非牧区雪灾评估、灾害模拟评估、遥感实物量评估等方面研究还很薄弱, 存在评价标准不统一的问题。最后, 展望雪灾评估的发展趋势, 从加强雪灾成灾机理与综合风险研究、发展多种雪灾评估方法的综合应用技术、完善雪灾评估标准等角度提出对策建议。

关键词: 雪灾; 风险评估; 灾情评估; 中国

中图分类号: X43; S427 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)04-0152-07

0 引言

雪灾是因降雪导致大范围积雪、暴风雪、雪崩, 严重影响人畜生存与健康, 或对交通、电力、通信系统等造成损害的自然灾害^[1]。作为我国主要自然灾害之一, 雪灾年年发生, 严重威胁人民的生命财产和正常生活秩序。根据雪灾的形成条件、分布范围和表现形式, 雪灾类型普遍被分为雪崩、风吹雪(风雪流)和牧区雪灾^[2]。其中, 雪崩是雪山地区易发的灾害, 风吹雪则会阻断公路交通的正常通行。牧区雪灾是由于积雪过厚, 维持时间长, 掩埋牧草, 使牲畜无法正常采食, 导致牧区大量畜牧掉膘和死亡的自然灾害^[3]。它是中国发生频繁、影响最为严重的一类雪灾。在高纬度、高海拔地区, 特别是有着广阔天然草场的内蒙古、新疆、青海和西藏等主要牧区, 几乎每年都会不同程度的遭受这类灾害。此外, 在全球变化背景下, 我国广大的农村、林区和城镇, 也时常遭受短时期降雪的影响, 严重的雪灾还会破坏交通、通讯等基础设施, 造成房屋倒损和农作物损毁等损失。我国雪灾有着显著的季节性特点, 发生时期一般是在当年10月到次年的4月。从雪灾的空间分布格局来看, 集中分布在内蒙古、新

疆、青海和西藏4省区, 地域上形成了内蒙古大兴安岭以西、阴山以北地区、新疆天山以北地区和青藏高原地区等3个雪灾多发区^[4]。

雪灾评估是灾害管理中必不可少的一项基础性工作, 是政府和社会广泛关注的重大现实问题, 对科学准确地制定防灾备灾措施、及时组织开展雪灾应急救援工作以及灾后的恢复重建决策有着重要的支撑作用。本文从灾害系统理论和灾害管理需求角度出发, 阐述雪灾评估的主要内容, 回顾总结雪灾评估的研究和实践进展, 对雪灾评估的代表性方法进行了评述。在此基础上, 详细分析了研究中存在的问题和薄弱环节, 指出雪灾评估将向着综合性、实时动态、量化、模拟可视化的方向发展, 并从加强雪灾成灾机理与综合风险研究、发展多种雪灾评估方法的综合应用技术、完善雪灾评估标准等角度提出对策建议。

1 雪灾评估的内容

根据灾害孕育和发展过程, 雪灾评估大致可以分为灾前、灾中和灾后三个阶段。灾前主要是开展雪灾风险评估, 即评估某一区域遭受雪灾的

^{*} 收稿日期: 2013-03-13 修回日期: 2013-04-28

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAH29B03, 2012BAK19B04, 2008BAK49B01, 2008BAK49B07); 国家自然科学基金(41101516)

作者简介: 吴玮(1981-), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为数字减灾与风险评估。

E-mail: wuwei@ndrcc.gov.cn

可能性、风险的高低以及可能的灾害损失等,这是提高防灾备灾能力的重要方面。在雪灾发生后,主要开展灾中的应急评估和灾后的综合评估,重点就是要进行灾情的动态评估。灾中的应急评估是在雪灾发生过程中依据不完备信息快速及时地对灾害范围、强度以及造成的损失进行评价,分析次生灾害的风险,这是开展抗灾救灾、灾害应急指挥调度的基础。灾后的综合评估是指在雪灾灾情稳定后,通过各种观测手段、实地核查统计等方式,对整个灾害过程所造成灾情进行综合评价,为灾后恢复重建和灾害保险补偿提供重要的信息服务。归纳起来,雪灾评估主要包括风险评估和灾情评估两大方面。

对于灾害风险,不同的行业、学科在理解上会有所不同,一般包含有致灾可能性和风险损失等2方面的含义^[5]。灾害风险表达式较为普遍观点是致灾因子危险性、承灾体的暴露与脆弱性等三个因素的乘积^[6]。据此,雪灾风险可认为是由区域内积雪危险性、承灾体的暴露性和脆弱性等三个因素综合作用而形成,雪灾风险评估也应包括这三个方面内容。风险评估是一种通过分析潜在的致灾因子,评估能够对人员生命财产和生存环境造成危害的脆弱性存在条件,来确定风险性质和范围程度的方法^[7]。其中,危险性评估是对积雪及其变化的规模、强度和发生频率等进行预测分析。一般地,降雪强度越大,积雪越深,灾害所造成的损失就越严重,雪灾的风险也就越大。暴露性是致灾因子与承灾体相互作用的结果^[8]。承灾体的暴露性评估是指对积雪影响下的人口和社会经济总量进行估算,积雪覆盖的承灾体越多,雪灾风险也就越大。对脆弱性的含义、内容还存在一定的争议,但一般是指在一定社会政治、经济、文化背景下,某孕灾环境区域内特定承灾体对自然灾害表现出的易于受到伤害和损失的性质,是区域自然孕灾环境与各种人类活动相互作用的综合产物^[9]。脆弱性的结构包括敏感性、应对能力和恢复力^[10]。因而,脆弱性评估主要是评价某一区域或承灾体自身遭受雪灾的损失程度、灾害应急处置能力和灾后的恢复能力。雪灾风险评估是一个连续动态的过程,不仅是在雪灾发生前,也包括在灾害持续过程中,对雪灾的发展趋势进行评估。开展雪灾风险评估,能够科学准确地预测雪灾危险程度和损失强度,有利于有针对性地

采取风险控制措施,降低灾害风险。

灾害系统是由孕灾环境、承灾体、致灾因子与灾情共同组成具有复杂特性的地球表层异变系统,灾情是孕灾环境、致灾因子、承灾体相互作用的产物^[11]。雪灾的灾情评估主要是对雪灾范围、造成的损失和等级进行评估。其中,雪灾损失评估内容有人口、畜牧、生命线工程、农作物、林木等承灾体损毁评估和直接经济损失评估等。通过确定评估指标体系,建立评估模型和方法,进行损失核算,评价雪灾过程对经济社会的影响,这是开展灾区重建和应急救助的基础。

2 我国雪灾评估研究进展

雪灾评估工作由来已久,从最初侧重于灾害发生的可能性分析不断拓展到对灾害损失的定量化评估。近些年来,国际上对积雪遥感监测方法研究较多,综合灾害风险分析是研究的热点,但对单灾种雪灾的风险和灾情评估研究较少。大量成果从灾害系统角度研究灾害危险性和脆弱性问题。如基于雪崩脆弱性曲线的风险评估在北欧、西欧等地正在深入开展^[12]。同时,雪灾的综合性分析逐渐成为研究的重要方向,包括多指标的综合灾害评估、多方法的综合集成和多灾种的综合作用分析^[13-14]。

自1990年代以来,我国的雪灾评估研究开始得到重视,不同行业部门和科研机构在雪灾评估的理论方法上积累了丰富的成果,但各自评估的内容和侧重点有所不同。由于我国幅员辽阔,各地区自然环境、气候条件和社会经济水平不尽相同,因而在雪灾形成机制和潜在破坏程度上也存在差异。牧区雪灾一直是研究热点,国内学者主要针对内蒙古东中部、新疆北部、青海南部和西藏的东北部等地区,陆续开展了牧区雪灾评估理论、技术方法等方面的研究,根据不同地域的雪灾成灾特点,所选用的雪灾判别因子也不同。对于牧区雪灾的风险评估,气象部门常采用气象预报因子开展雪灾危险性等级评估^[15-18]。近年来,基于雪灾风险的形成是由积雪危险性、承灾体暴露性与脆弱性综合作用的基本思想,大量的研究针对青海、内蒙、新疆等牧区开展了案例分析,从灾害系统理论角度利用积雪、草地、牲畜灾情、社会经济与管理等指标进行风险预警与评估研

究^[19-25]。针对雪灾承灾体脆弱性评价研究一直较少,仅从区域孕灾环境敏感性和区域承灾体适应性方面建立评价指标体系和模型来定性地评估牧区草地畜牧业的脆弱性^[26]。在风险评估单元的选择上,将雪情、草情、畜情等多种因素进行空间网格化,来开展积雪危害性评估是常见的雪灾风险遥感应用研究方法^[27]。但也有研究结合社会经济属性将县级行政区作为基本评估单元来反映雪灾的风险区划^[28-29]。针对牧区雪灾灾情评估,围绕对草地和畜牧的影响,早期大多选择积雪深度、最低气温、积雪日数、草地和畜牧状况等作为牧区雪灾判别指标来确定雪灾灾情等级^[30-33]。2000年后,表征承灾体损失的人员死亡、畜牧死亡、基础设施损失等灾情指标被引入到灾情等级的评价中^[34-36]。在全球变化背景下,特别是发生2008年初南方低温雨雪冰冻灾害后,非牧区雪灾成为研究的新领域。这类猝发性降雪灾害的研究重点是雪灾对交通、电力、通讯等基础设施和农业、林业的影响程度和损失分析^[37-40]。对于非牧区雪灾风险评估,一些研究侧重于分析对山区公路造成影响雪灾主导因子^[41-43]。而灾情评估则有根据受灾人口、农作物损失、直接经济损失等构成的灾情指数来评估灾情^[44]。

在数据获取上,遥感资料能够很好地用于积雪范围提取、雪深反演和草场、交通线和农作物等承灾体的监测中,因而广泛应用在雪灾评估中^[45-49]。采用数理统计模型,通过多指标的综合进行评估一直是雪灾评估的主流方法。此外,雪灾的模拟评估方法有所发展,如利用粒子系统建模等方式,通过空间可视化的方法来模拟积雪参量及其变化特征,再现灾害场景,以更加真实地评估雪灾强度^[50-52]。

在评估标准的研究方面,一直以来以定性的等级评价为主,在我国尚未有一个统一的雪灾等级划分准则。对于雪灾风险评估,不同的研究区域、方法所选取的指标和等级标准不尽相同。但大都是从雪灾致灾的危险性或承灾体脆弱性指标相结合来判断。2012年,民政部颁布了行业标准《自然灾害风险分级方法》,这对雪灾的风险等级划分有一定的指导意义。该标准结合国家自然灾害应急救助响应等级,将自然灾害风险分级定义为自然灾害风险事件发生的可能性和产生的后果的乘积^[53]。在雪灾灾情评估标准方面,对于牧

区雪灾,大多是根据积雪面积、持续天数、积雪深度、积雪掩埋牧草高度百分比等指标来分级确定雪灾灾情程度^[54-58]。对于城市雪灾,现阶段研究主要通过降雪量、雪深等气象观测指标来分级确定灾情大小。

在应用系统建设方面,气象、农业、民政等部门根据各自业务需求建立了雪灾评估系统,其中,民政部国家减灾中心依托环境与灾害监测预报小卫星星座运行管理与减灾应用系统工程,建立了我国第一个面向多类型雪灾和灾害管理全周期业务化应用的灾害评估系统。

综合来看,我国雪灾评估研究中牧区雪灾一直是研究的热点,在评价指标、评估模型等方面都有涉及,但还没有形成统一的方法和指标集,而非牧区雪灾评估研究则明显不够。遥感和GIS技术越来越多地应用于灾害评估实践,灾害模拟仿真技术在雪灾评估中还处于起步阶段。灾害损失的定量化评估已成为雪灾评估重要趋向^[59]。

3 雪灾评估方法

从信息获取手段和处理分析方式的角度,代表性的雪灾评估方法有多指标综合评估法、基于历史灾情的类比评估法、地面调查统计法、遥感实物量评估法和雪灾模拟评估法等。

(1)多指标综合评估法是目前最为常见的雪灾评估方法。它从雪灾成灾机理出发,通过对灾害系统的综合分析来反映雪灾程度。基本方式是首先建立评估指标体系,从中分类优选出显著性特征指标,并对各指标进行归一化处理以消除量纲。利用主成分分析、专家打分法、层次分析法、灰色关联度分析法、模糊综合评价法、人工神经网络等数理模型来确定各指标权重,通过一定的函数关系加以聚合^[60-61]。由此得到的综合指数值与已建立雪灾等级标准对比,来评定雪灾大小。该方法一方面可用于承灾体脆弱性和雪灾风险高低的评估,另一方面也可在灾情综合评估中计算综合灾情指数,但需要有动态更新的评估指标数据,而且不能具体给出雪灾风险概率和损失,只能以一定的数值定性反映雪灾风险和灾情大小的相对量。

(2)基于历史灾情的类比评估法能够应用于雪灾风险评估和灾中的应急评估,但需要有较为连

续、完整的雪灾统计资料,对历史灾情样本量有一定要求。区域内雪灾的发生概率在一个长时段内往往会稳定在一定的区间范围。在雪灾风险概率的评估方面,通过统计历史雪灾的频次,可预测区域内现在和将来一定程度雪灾发生的可能性。在脆弱性评估方面,基于房屋、农作物、受灾人口等历史灾情,可以绘制脆弱性曲线,能够量化建立不同强度雪灾与灾害损失间的映射关系。这种函数关系简单、实用,但只能适用于一个区域,不具可移植性,不能反映承灾体脆弱性形成机理和影响要素。在灾害应急评估方面,对于同一地区,通过建立历史雪灾强度、承灾体脆弱性和灾情等指标的灾害拟合函数,由过往灾害危险性和承灾体损失情况预测未来灾害风险程度和灾情大小,但需要有效消除因孕灾环境和承灾体的变化而导致的灾损评估误差。当同一地区历史灾情数据不完备时,也可参考其它资料较为完整、自然环境和社会经济条件类似的区域,对评估地区的雪灾危险性或灾损进行类推,但这种方法需要对孕灾环境相似区域要有较为准确的划分。

(3)地面调查统计法是民政部门传统的评估雪灾大小的方法,主要用于灾情综合评估和现场抽样核查。2011年10月,民政部正式启用新修订的《自然灾害情况统计制度》(民发〔2011〕168号)。该统计制度比较系统地确定了灾情评估体系,建立了自然灾害情况统计快报表。其中,与雪灾统计相关的指标主要包括受灾人口、紧急转移安置人口、需救助人口、农作物受灾面积、草场受灾面积、倒塌房屋、因灾死亡大牲畜、直接经济损失等。这种依据地方上报灾情评估雪灾损失的方式,存在着数据客观真实性和准确性的问题。此外,对于像2008年南方低温雨雪冰冻灾害的巨灾,还需要综合民政、农业、林业、通信、电力、交通、教育多个行业部门灾情数据,建立数量化模型来进行灾情的综合评估。雪灾发生后,进行灾区的现场抽样调查也是地面调查统计的一种方式,它是通过局部灾情来推算总体灾情,适用于灾害应急评估和灾情核查,但需要建立较为完善的现场调查抽样指标和方法。

(4)遥感实物量评估法是近年来迅速发展的一种雪灾评估方式。遥感技术不仅能监测积雪范围、获取地面雪深等灾害特征参量信息,还能够结合地面抽样调查和灾区社会经济数据,确定受灾农

作物、房屋损毁等各类实物量损失程度,能够动态监测交通通讯设施的积雪影响状态,分析受灾人口、需救助人口数量,测算直接经济损失。该方法具有快速、准确、节省人力的优势,适用于大范围雪灾区域的灾中应急评估和灾情核查。但它无法连续动态表达雪灾变化,分辨率较低时,受混合像元影响,信息提取精度会降低。此外,对于作物损失、房屋损坏程度等信息的遥感评估仍然是面临的重要难题。

(5)雪灾模拟是对灾害系统演变机理进行认知、分析与预测的重要方法,能动态地表达三维雪灾场景,实时与周围地理环境进行交互,给人很强的真实感,比常用的统计方式有着更好的通用性和空间可视化效果。目前常用的雪灾模拟方法是基于三维粒子系统计算积雪信息。雪灾模拟评估的基本思路是从雪灾的成因机制出发,采用情景模拟途径,以积雪的物理学模型为手段,通过参数化的设置,模拟构造雪灾发生的真实环境和过程,从而建立积雪强度、承灾体脆弱性和灾害损失率等各指标间的空间关系模型。该方法可再现雪灾场景,推演雪灾发展趋势,为雪灾强度的风险评估和灾情评估提供了可视化的三维环境。目前模拟评估方法尚不成熟,处于研究探索阶段,主要还停留在致灾强度的模拟分析,对承灾体脆弱性状态的模拟表达和损失评估较少涉及。

4 面临的问题

经过多年的发展,我国在雪灾风险评估、灾情评估的研究和应用方面取得了丰硕的成果,特别是在牧区雪灾的研究上论著颇丰,有些成果已纳入国家标准,并在行业中得到应用。但从雪灾评估的内容、技术手段和方法来看,现阶段还存在如下问题。

(1)非牧区雪灾评估研究不够深入。牧区雪灾是我国主要的积雪灾害之一,在气象行业和科研机构已积累了大量的地面实测资料,研究成果丰富。但近年来,非牧区特别是南方城市、山区等,频繁遭受低温雨雪天气影响。在这些地区雪灾风险评估和灾情评估成果不多,评估的指标和方法还很不完善。

(2)雪灾损失预评估研究不足。目前,雪灾风险评估中常用的多指标综合评估法虽然能比较简

单直观反映灾害的大小程度,但对于实际的救灾应急工作还缺少直接的决策支撑作用。损失预评估就是要在灾害发生前对灾害可能造成的人畜、财产、生态系统等损失绝对量进行估算,这对国家灾害应急救助有着重要的指导作用,而这方面的研究还亟待加强。

(3)承灾体脆弱性评估研究薄弱。承灾体的脆弱性对最终灾情的大小和时空分布有重要影响。由于对脆弱性的理解不同,选取的脆弱性指标也就难以统一,部分指标较难定量化,在赋值上还存在一定的主观性,这给脆弱性研究带来不小难度。迫切需要加强对非牧区雪灾脆弱性研究,构建客观、实用的承灾体脆弱性曲线,为雪灾风险评估提供科学的测算依据。

(4)雪灾模拟评估研究有待深入。灾害模拟仿真雪灾评估技术的重要发展方向。现阶段对它的研究还局限在致灾过程的数值模拟和渲染表达方面,相关论著也不多。因此,雪灾的模拟评估还需要面向灾害管理全周期和灾害链式发展全过程,加强对整个灾害系统的雪灾情景模拟仿真研究,从三维空间中反映雪灾灾情的时空变化、物理属性和系统间的相互作用关系。

(5)缺乏系统有效的雪灾遥感实物量评估方法。高分辨率遥感数据在房屋、生命线工程的监测中有着明显的优势,尽管我国学者在雪灾交通线、农作物损毁监测做了一定的探索,但结合灾情统计制度,高时效、操作性强的承灾体遥感损失评估方法尚未成形,还不能完全适应灾情综合评估的需求。

(6)雪灾评估标准还不统一。在雪灾风险评估方面,目前还没有制定专门的国家和行业标准,现阶段在评判准则、指标和等级划分标准上还不一致。在灾情评估方面,尽管气象部门制定了牧区雪灾的国家标准和城市雪灾行业标准,但雪灾危险性等级的高低与实际的救灾业务存在出入,还无法与现行的灾情统计制度和《国家自然灾害救助应急预案》中的响应等级衔接起来。

5 展望与建议

雪灾评估研究对国家减灾救灾工作有着重要的支撑作用。伴随着高分辨率对地观测系统、数字地球等技术的发展,雪灾评估研究正由对

单一的积雪危险性分析向多种并发或链发灾害的综合评价发展,评估指标由定性向定量化发展,评估阶段由静态分阶段评估向实时动态评估发展,评估手段由经验型的统计分析向可视化的数值模拟方向发展。结合灾害管理业务需求,雪灾评估的研究与应用还需加强以下几个方面的工作。

(1)增强雪灾成灾机理和综合风险研究。雪灾的形成是一个复杂的过程,具有一定的不确定性和随机性。在全球气候变化背景下,雪灾的孕育、发生、发展和分布出现了新情况、新特点,需要进一步加强雪灾形成机制和演变规律的研究,这对于预测雪灾风险有着突出重要的意义。同时,多灾种风险得到了越来越多的关注,多灾种风险评估理论与方法被逐渐提出并在部分区域得以应用^[62]。雪灾、低温冻害、风灾等灾害并发情况日益显现,雪灾与旱灾、积雪与洪涝等灾害间也存在一定的关联性,需要深入认识灾害并发和链式发展规律,定量化地构建多灾种综合评价模型,为灾害的综合风险评估提供科学依据。

(2)加强雪灾评估综合数据库建设。当前,多元统计方法在灾害评估中应用较为广泛,这需要大量的雪灾历史案例为支撑。同时,原始输入数据的质量对于评估模型精度有很大影响,资料不足或存在较大的误差,都会造成模型结果的不准确。因此,需要加强标准统一、结构规范、内容完善的雪灾评估综合数据库建设,包含基础地理数据、社会经济数据、历史灾情数据、地面实测数据、重大案例和不同承灾体的雪灾脆弱性曲线库等。

(3)完善雪灾评估标准。针对雪灾风险评估,需要根据自然环境特征,分区域地统一评估指标,建立雪灾脆弱性评价、风险评估等级标准。对于雪灾灾情评估,则需要建立规范化的灾情遥感评估指标和承灾体损毁遥感评估标准。

(4)提高多种雪灾评估手段的综合应用能力。灾情评估方法越来越注重多种方法的综合应用^[63]。充分利用静止和极轨观测卫星、地面台站和移动传感网等多种监测资源,深入研究“天-空-地-现场”一体化的信息融合方法,发展数理统计、模拟仿真和空间遥感等多种评估手段综合应用技术,不断提高雪灾评估的精细化水平。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB/T 28921-2012 自然灾害分类与代码[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [2] 高庆华, 马宗晋, 张业成, 等. 自然灾害评估[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB/T 20482-2006 牧区雪灾等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [4] 郝璐, 王静爱, 满苏尔, 等. 中国雪灾时空变化及畜牧业脆弱性分析[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 42-48.
- [5] 邹铭, 范一大, 杨思全, 等. 自然灾害风险管理与预警体系[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 30-47.
- [6] ESCAP/UNISDR. Reducing Vulnerability and Exposure to Disasters: The Asia-Pacific Disaster Report 2012[R]. United Nations, 2012.
- [7] UN/ISDR. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives[R]. United Nations, 2004.
- [8] 燕群, 蒙古军, 康玉芳. 基于防灾规划的城市自然灾害风险分析与评估研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(6): 78-83.
- [9] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展-脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(2): 73-77.
- [10] 石勇, 许世远, 石纯. 自然灾害脆弱性研究进展[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2): 131-137.
- [11] 史陪军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报, 1991, 11: 37-42.
- [12] 周瑶, 王静爱. 自然灾害脆弱性曲线研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 435-442.
- [13] Cappabianca F, Barbolini M, Natale L. Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform[J]. Cold Regions Science and Technology, 2008, 54(3): 193-205.
- [14] Tachiiri K, M Shinoda, B Klinkenberg, et al. Assessing Mongolia snow disaster risk using livestock and satellite data[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(12): 2251-2263.
- [15] 王希娟, 时兴合, 徐亮, 等. 青南高原雪灾模拟评估与服务对策[J]. 青海科技, 2000, 7(1): 12-15.
- [16] 周陆生, 汪青春, 李海红, 等. 青藏高原东部牧区大-暴雪过程雪灾灾情实时预评估方法的研究[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(2): 58-65.
- [17] 杨延华, 李林, 陈晓光, 等. 青海牧区雪灾月尺度精细化直接预测方法研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19468-19470.
- [18] 王江山, 周咏梅, 赵强, 等. 青海省牧区雪灾预警模型研究[J]. 灾害学, 1998, 13(1): 30-33.
- [19] 张学通. 青海省积雪监测与青南牧区雪灾预警研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [20] 王博. 内蒙古锡林郭勒盟牧区雪灾气象因子灰色关联分析与评估模型研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2011.
- [21] 梁凤娟. 基于 GIS 的巴彦淖尔市雪灾风险区划[C]//第 28 届中国气象学会年会. 北京: 中国气象学会, 2011.
- [22] 刘兴元, 梁天刚, 郭正刚, 等. 北疆牧区雪灾预警与风险评估方法[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 133-138.
- [23] 李硕, 冯学智, 左伟. 西藏那曲牧区雪灾区域危险度的模糊综合评价研究[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(1): 86-91.
- [24] 张国胜, 伏洋, 颜亮东, 等. 三江源地区雪灾风险预警指标体系及风险管理研究[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 144-150.
- [25] 何永清, 周秉荣, 张海静, 等. 青海高原雪灾风险度评价模型与风险区划探讨[J]. 草业科学, 2010, 27(11): 37-42.
- [26] 郝璐, 王静爱, 史培军, 等. 草地畜牧业雪灾脆弱性评价: 以内蒙古牧区为例[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 51-57.
- [27] 梁天刚, 高新华, 刘兴元. 阿勒泰地区雪灾遥感监测模型与评价方法[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2272-2276.
- [28] 伏洋, 肖建设, 校瑞香, 等. 赵慧芳. 基于 GIS 的青海省雪灾风险评估模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 197-205.
- [29] 陈彦清, 杨建宇, 苏伟, 等. 县级尺度下雪灾风险评估方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(Sup 2): 307-311.
- [30] 鲁安新, 冯学智, 曾群柱. 我国牧区雪灾判别因子体系及分级初探[J]. 灾害学, 1995, 10(3): 15-18.
- [31] 鲁安新, 冯学智, 曾群柱, 等. 西藏那曲牧区雪灾因子主成分分析[J]. 冰川冻土, 1997, 19(2): 180-185.
- [32] 冯学智, 鲁安新, 曾群柱. 中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 129-134.
- [33] 宫德吉, 郝慕玲. 白灾成灾综合指数的研究[J]. 应用气象学报, 1998, 9(1): 120-123.
- [34] 周秉荣, 李凤霞, 颜亮东, 等. 青海高原雪灾模糊评估模型研究[C]//中国气象学会 2006 年年会论文集. 成都: 中国气象学会, 2006.
- [35] 郭晓宁, 李林, 王军, 等. 基于实际灾情的青海高原雪灾等级(评估)指标研究[J]. 气象科技, 2012, 40(4): 676-679.
- [36] 董芳蕾. 内蒙古锡林郭勒盟草原雪灾灾情评价与等级区划研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [37] 赵敬红, 张志云. 天津地区大到暴雪对城市交通的影响评估分析[C]//2007 年中国气象学会年会论文集. 广州: 中国气象学会, 2007.
- [38] 胡菊芳, 王怀清, 彭静, 等. 2008 年 1-2 月江西低温雨雪冰冻灾害分析评估[J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(1): 67-72.
- [39] 王凌, 高歌, 张强, 等. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 I. 气候特征与影响评估[J]. 气象, 2008, 34(4): 95-100.

- [40] 姚筠, 马晓群, 许莹, 等. 2008 年安徽省雪灾农业影响定量评估研究[J]. 气象, 2010, 36(1): 85–90.
- [41] 李亚滨. 黑龙江省雪灾强度划分及其预评估方法的研究[C]//中国气象学会 2008 年会论文集. 北京: 中国气象学会, 2008.
- [42] 李华蓉, 赵一, 潘建平. 山区公路雪灾预警评估模型初探[J]. 城市勘测, 2010(2): 116–119.
- [43] 刘明明, 潘建平, 杨海明. 山区公路冰雪灾害预警评估模型研究[J]. 公路交通技术, 2011(3): 27–30.
- [44] 刘兰芳, 陈涛, 刘沛林. 2008 年冰雪灾情评估及形成机制分析—以湖南省衡阳市冰雪灾情为例[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(2): 61–66.
- [45] 全川, 雍世鹏, 雍伟义, 等. 温带草原放牧场积雪灾害分级评价的遥感分析[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1996, 27(4): 531–537.
- [46] 刘兴元, 梁天刚, 郭正刚等. 阿勒泰地区草地畜牧业雪灾的遥感监测与评价[J]. 草业学报, 2003(12): 115–120.
- [47] 梁天刚, 刘兴元, 郭正刚. 基于 3S 技术的牧区雪灾评价方法[J]. 草业学报, 2006, 15(4): 122–128.
- [48] 范一大, 王磊, 聂娟, 等. 我国低温雨雪冰冻灾害遥感监测评估技术研究与应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 21–25.
- [49] 李甫, 伏洋, 肖建设, 等. 青海省 2008 年年初雪灾及雪情遥感监测与评估[J]. 青海气象, 2008, 2: 61–65.
- [50] 陈海山, 孙照渤. 积雪季节变化特征的数值模拟及其敏感性试验[J]. 气象学报, 2004, 62(3): 269–284.
- [51] 王顺领, 李学庆, 王善斌, 等. 虚拟场景中的实时降雪模拟[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 152–157.
- [52] 魏伟, 郭新宇, 赵春江, 等. 农业场景中下雪和积雪的实时模拟[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(24): 6350–6357.
- [53] 中华人民共和国民政部. MZ/T031–2012 自然灾害风险分级方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [54] 冯学智, 曾群柱, 鲁安新, 等. 我国主要牧区雪灾遥感监测与评估研究[J]. 青海气象, 1996(4): 12–13.
- [55] 刘兴元, 梁天刚, 郭正刚. 雪灾对草地畜牧业影响的评价模型及方法研究—以新疆阿勒泰地区为例[J]. 西北植物学报, 2004, 24(1): 94–99.
- [56] 余忠水, 刘雪松, 拉巴. 藏北雪灾主要环流特征及其等级划分与评估标准[J]. 西藏科技, 2006(2): 32–35.
- [57] 刘兴元, 陈全功, 梁天刚, 等. 新疆阿勒泰牧区雪灾遥感监测体系构建与灾害评价系统研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 215–220.
- [58] 李海红, 李锡福, 张海珍, 等. 中国牧区雪灾等级指标研究[J]. 青海气象, 2006(1): 24–38.
- [59] 张星, 张春桂, 吴菊薪. 福建农业气象灾害的产量灾损风险评估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 90–94.
- [60] 葛全胜. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [61] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [62] 明晓东, 徐伟, 刘宝印, 等. 多灾种风险评估研究进展[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 126–132.
- [63] 袁艺. 自然灾害灾情评估研究与实践进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(1): 22–32.

Review on Snow Disaster Assessment in China

Wu Wei^{1, 2}, Qin Qiming¹, Fan Yida² and Yang Siquan²

(1. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Lab of Disaster Reduction and Emergency Engineering, National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China)

Abstract: Snow disaster assessment, which is a basic work for disaster management, is a widely concerned issue to government and society. Firstly, the connotation and main contents of snow risk and disaster assessment are presented. Then, we review the research progress and application achievements of snow disaster assessment. In addition, some representative techniques and approaches of disaster assessment are discussed. On this basis, we find that there are no unified standards for snow disaster assessment and point out that current research is weak in disaster losses pre-assessment, vulnerability assessment, non-pastoral snow disaster assessment, disaster simulation assessment and physical quantity loss assessment by remote sensing. Finally, we look ahead to the tendency of snow disaster assessment. Besides, some suggestions are put forward, including enhancing the research of disaster mechanism and integrated risk, strengthening integrated applied capacity of multiple methods as well as improving the snow disaster assessment standards.

Key words: snow disaster; risk assessment; disaster assessment; China