

中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究^{*}

冯学智 鲁安新 曾群柱

(中国科学院兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

摘 要 该文以中国雪灾高发区的西藏那曲地区为例, 主要介绍了在试验区雪灾背景数据库支持下, 利用 NOAA/AVHRR 卫星遥感资料对雪灾进行判别、预测及对灾情损失进行综合评估的一些技术和方法, 其内容包括: (1) 用于雪灾危险等级分析与判定的判别模型; (2) 用于灾情发展趋势模拟与预测的预测模型; (3) 用于灾情损失综合评估与估算的评价模型。并运用这些模型对 1995 年 2—3 月发生在西藏那曲的雪灾进行实时分析, 其结果和实情基本吻合, 能够满足应用要求。

关键词 雪灾, 监测评估, 判别模型, 预测模型, 评估模型

1 中国的雪灾及其时空分布特征

雪灾是由于降雪较大, 积雪覆盖草场, 积雪不易被风吹走, 并在表面形成一层冰壳, 牛羊吃不到草, 加之雪后强烈降温, 饥饿加严寒使大批牲畜死亡。造成雪灾的因素有许多, 其中影响较大的因素有最大积雪深度、积雪范围、最低气温、积雪时

间、大于多年月平均值积雪深度的延续天数、低于多年月平均值气温的延续天数、一次降水过程的降水总量等^[1]。我国的雪灾可划分为轻度雪灾(L)、中度雪灾(M)、严重雪灾(H)和特大雪灾(S)4级, 主要集中在东北大部、内蒙古中部和东部, 以及西部高原山区(图1), 由于这些地区也是我国内蒙古、新疆、青海和西藏4大牧区的所在地区, 因此, 我国牧区雪灾是较为严重的。雪灾发生的时

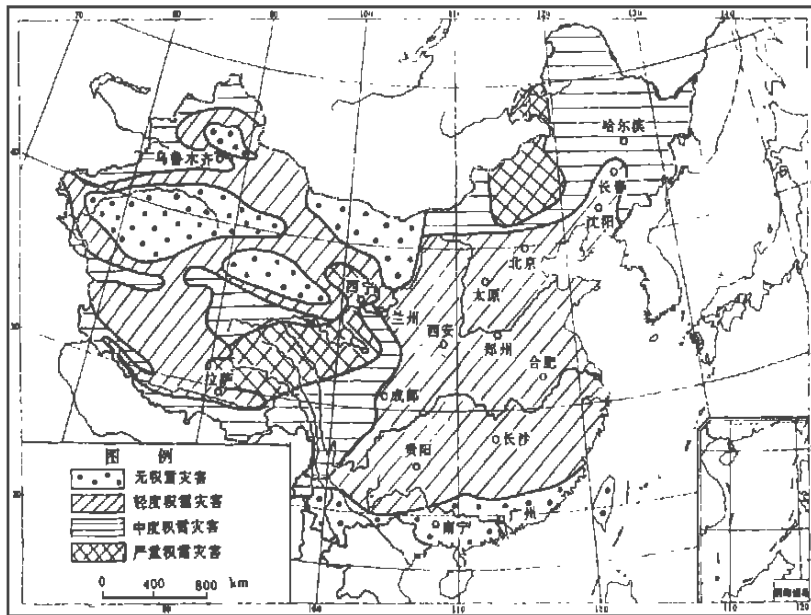


图1 中国积雪灾害危险程度图

Fig.1 The map of the dangerous extent of snow disaster in China

^{*} 该文得到国家“八五”攻关课题“我国主要牧区雪灾遥感监测”专题的资助。参加工作的还有: 陈贤章、顾钟伟、梁凤仙、李新、李文君、孙文新、李震、李硕、金德洪、王丽红、金冬梅等。

收稿日期: 1995年11月17日; 收到修改稿日期: 1996年4月10日

间, 冬雪一般始于 10 月, 春雪一般终于 4 月。危害较严重的一般是秋末冬初降大雪形成的所谓“座冬雪”, 随后又不断有降雪过程, 使草场积雪越来越厚, 以致持续整个冬天, 牲畜难于觅食, 大量冻死、饿死。

地处藏北高原的那曲地区不仅是我国的主要牧业生产基地, 而且也是我国雪灾的高频区之一。由于独特的地理环境和恶劣的气候条件, 特别是在秋末初春之际, 由于受孟加拉湾风暴北上和西伯利亚冷空气东移南下的共同影响, 该区不仅雪灾频繁, 而且影响范围之广, 危害程度之大, 在国内也是屈指可数的。资料分析表明, 受风暴北上影响造成的雪灾一般具有降雪强度大、受灾面积广与持续时间长等特点, 且在空间分布上降雪强度呈自西向东逐渐减弱的趋势。而受冷空气东移南下造成的雪灾, 则一般呈带状分布, 降雪强度自西向东逐渐增强, 持续时间短^[2]。但由于降雪后常伴有强降温的天气过程, 往往会造成牲畜大批死亡。特别是当两股气流同时入侵藏北高原后, 常会造成那曲地区较大范围的强降雪与强降温的天气过程, 在局部地方出现特大雪灾, 形成一年遭灾, 生产数年难以恢复的局面。

2 雪灾的遥感监测评估过程

雪灾的遥感监测评估过程, 首先是利用 NOAA/AVHRR 遥感资料对降雪过程进行跟踪监测, 通过对遥感资料的分析确定降雪范围和降雪区域的空间位置, 并计算出雪盖的面积, 再借助于地面积雪深度、积雪日数及气温等气象观测数据, 利用设计的雪灾遥感判别模型对一次降雪能否成灾进行识别并给出灾情等级^[3]; 其次, 利用雪灾遥感预测模型对雪灾因子的发展变化进行预测^[4], 再结合雪灾遥感判别模型对未来一天或几天的雪灾等级进行判别分析, 并通过灾情等级的对比, 达到对未来雪灾灾情变化进行预测的目的; 最后, 根据判定的雪灾等级, 利用单指标或多指标方法设计的雪灾遥感评估模型对雪灾造成的损失进行评估^[5]。

由于雪灾的遥感监测评估是一个综合的分析过程, 因此, 雪灾遥感判别模型、预测模型和评估模型只能在雪灾背景数据库空间分析操作的基础上, 根据所选择的因子体系及所获得的特征属性而实现, 其全过程如下:

(1) 利用 NOAA/AVHRR 遥感资料的积雪信

息对雪灾背景数据库进行实时更新;

(2) 利用背景数据库的空间分析操作实现对雪灾的跟踪监测;

(3) 根据监测结果和空间分析操作所得的特征属性, 设计判别模型, 对降雪能否成灾进行判别并给出灾情等级;

(4) 选择适当的雪灾因子和实时更新的雪灾背景数据, 利用灰色系统理论和多元回归分析设计预测模型, 对未来雪灾的灾情变化进行预测;

(5) 确定合适的评估指标体系, 利用层次分析模型对雪灾造成的损失进行评估。

该文主要对其模型的分析与结论部分作简要介绍, 并给出了一些典型历史雪灾的模拟运行结果。

3 雪灾遥感监测评估模型

3.1 雪灾判别模型

雪灾灾情及灾情等级的判别模型采用的是逐步判别分析方法, 其形式为:

$$Z_g(X) = \ln P_g + C_{og} + C_g^{(r_1)} X^{(r_1)} + \dots + C_g^{(r_l)} X^{(r_l)} \quad (1)$$

g 为 $1, 2, \dots, G$

式中: X 为判别因子矩阵; G 为雪灾的等级, 这里 $G=5$, $1, 2, 3, 4, 5$ 分别表示无灾、轻度雪灾、中度雪灾、严重雪灾和特大雪灾; L 为选取的判别因子数, 这里 $L=6$; C_{og} 为常参数; $C_g^{(r_i)}$ 为判别系数; P_g 为灾情等级划分的先验概率。其中:

$$C_g^{(r_i)} = (m - G) \sum_{j=1}^l W^{r_i r_j} X_g^{(r_j)} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, l; g = 1, 2, \dots, G$

$$C_{og} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l C_g^{(r_i)} X_g^{(r_i)} \quad (3)$$

判别因子矩阵直接影响到判别模型的效果, 因此, 判别因子的选择在建模过程中是至关重要的, 且从动态分析的角度, 判别因子矩阵还需进行实时的更新。经过对大量历史雪灾资料的分析, 当一场降雪的积雪范围确定以后, 选择地面最大积雪深度 (X_1)、积雪日数 (X_2)、大于多年月平均值积雪深度的延续天数 (X_3)、最低气温 (X_4)、低于多年月平均值气温的延续天数 (X_5) 以及一次降水过程的降水总量 (X_6) 等因子构成雪灾判别因子矩阵。

利用此模型对 1981—1995 年那曲、索县和班戈 92 个雪灾记录的灾情等级进行模拟判别的结果表明, 其判别结果的后验概率达 92% 以上, 且灾

情等级划分的判别结果与历年当地灾情通报的内容也基本吻合。

3.2 雪灾发展趋势预测模型

由判别因子矩阵可知造成雪灾的主要因素是地面最大积雪深度、积雪日数、最低气温、大于多年月平均值积雪深度的延续天数、低于多年月平均值气温的延续天数以及一次降水过程的降水总量。在这些因素中,最大积雪深度和最低气温是最主要的,它们的发展变化直接决定着其它因素的变化,当一场降雪成灾后,其灾情的发展趋势主要受这两个因素影响。因此,我们把对灾情的变化预测转变为对积雪深度和日均气温的预测,再结合雪灾遥感判别模型和由这两个因子得出的其它判别因子值,即可对当天及其后一天或几天降雪的成灾与否及灾情等级进行判别。从而通过连续几天灾情等级的对比,达到对一场降雪能否成灾及灾情的发展趋势作出预测的目的。

3.2.1 雪灾二次回归分析预测模型

设积雪深度或日均气温的历史数据资料为 $\{X_1, X_2, \dots, X_T\}$, 应用最小二乘法估算出二次需求图形的参数 a_T, b_T, c_T 。若方程的表达式为: $X_T = a_T + b_T t + c_T t^2$ 则求解系数 a_T, b_T 和 c_T 的过程主要使误差平方和 $S = \sum_{t=1}^T (X_t - X_t)^2$ 为最小。

3.2.2 雪灾灰色预测模型

传统的预测方法是通过建立起离散的递推模型来对系统作出预测,而灰色预测则是基于灰色系统(Gray System)理论,利用连续的灰色微分模型,来对系统的发展变化进行全面的观察分析,并作出预测。西藏那曲雪灾遥感监测评估研究中的灾情发展趋势预测主要是采用拓扑预测,它是对一段时间内行为特征数据波形的预测,是预测波形本身的变化,从本质上来讲,是对一个变化不规则的行为数据列的整体发展进行预测。在该研究中采用的是GM(1,1)模型,即一阶单变量的微分方程模型。用此模型主要是对雪灾因子的变化进行预测,再结合雪灾遥感判别模型,达到对雪灾的变化进行预测的目的。

模拟预测的结果不是注重其预测值与实测值之间的绝对差异,而主要是分析预测值与多年月均值的相对差异,给出其预测值所处的判别区间^[4];即决定预测值在积雪深度多年日平均值和多年日平均气温的平均值上下的波动情况,并统计其预测值

大于多年积雪深度日平均值和小于多年日平均气温平均值的持续天数,对雪灾的发展趋势作出预测。因为大于多年积雪深度日均值和小于多年日均气温平均值的连续持续天数对雪灾的发展起着重要的作用。基于这一预测准则,利用多次回归模型和灰色系统预测模型对1981—1995年的典型历史雪灾进行了模拟预测检验,预测结果基本上是围绕实测值周围波动的,但相比较有稍滞后现象,总的看来,预测结果和实测值基本上还是相吻合的。

3.3 雪灾遥感损失评估模型

雪灾损失评估模型是根据层次分析理论和模糊聚类方法而建立的,主要用于对一场降雪成灾后所造成的灾情损失进行评估。

3.3.1 层次分析模型

层次分析模型 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP), 是美国著名运筹学家 Saaty 教授提出的一种新的定性分析与定量分析相结合的决策评价方法。在雪灾遥感综合评价中,应用这种模型可以按评估因素和各因素间的相互关系把参与评价的指标体系进行分层,建立一种多层次的分析结构,使指标体系条理化。同时,还可在每一层次中按已确定的准则对该层元素进行相对重要性的判断,构造出判断矩阵,并通过求解各判断矩阵的特征值,确定出各元素的排序权重,再经过进一步计算各层元素对目标层的组合权重为雪灾灾情等级的综合评价提供量化依据。实际上,在评价指标体系和层次结构确定之后,层次分析模型的关键环节就成为构造判断矩阵、求解判断矩阵的特征值及层次排序问题。具体计算步骤为:(1)建立层次结构;(2)构造判断矩阵;(3)进行层次排序。

3.3.2 模糊聚类模型

研究表明,造成雪灾损失(牲畜死亡)的诸多因素中,由于它们彼此之间的不确定关系,很难用数学物理模型来表述。因此,就可用模糊聚类法按雪灾类别所具有的共性为灾情的分类评价提供依据。特别是当灾情损失程度划分或评价指标之间存在模糊性时,采用此法能比较客观地对雪灾造成的损失做出评估。

根据那曲雪灾的时空分布特点和对那曲历史雪灾资料分析,选择雪灾受灾面积、成灾时间、积雪深度、积雪日数、最低气温、日最大降雪量及低温持续天数等因素作为评价指标,并对从1981—1995年的历史雪灾记录资料中所选取的40个评价

样本通过评分和加权的方法, 形成模糊聚类评价的模糊集。在此基础上应用模糊聚类的方法, 对雪灾灾情样本进行类型划分。分析结果表明, 在置信度水平 $\lambda=0.85$ 时, 所选取的灾情样本大致可以归纳为 3 类: 第 1 类主要反映了重大和特大雪灾灾情; 第 2 类主要反映重大以下的雪灾灾情; 第 3 类主要反映了局部地区的雪灾状况。

4 实例分析

在建立了以上 3 种雪灾遥感监测评估模型之后, 就可以利用这些模型来对一场降雪成灾与否进行判别、成灾后的灾情变化进行预测以及成灾后所造成的损失进行评估。首先, 利用遥感资料对降雪过程进行跟踪监测, 通过对遥感资料的分析确定其降雪范围、降雪区域的空间位置和雪盖的面积, 并通过多时段遥感资料分析结果的对比, 直观得到降雪范围和雪盖面积的变化, 为以后的计算模型提供参数; 其次, 主要借助于地面观测资料, 把一场降雪的雪灾因子, 即最大积雪深度、最低气温、大于

多年月平均积雪深度的日数、低于多年月平均气温的日数以及一场降雪的降水总量等参数都挑选和计算出来, 代入到雪灾判别模型中, 通过计算可以得到一场降雪的雪灾等级, 若其等级大于 1, 则表示成灾; 第三, 主要是通过预测模型对一场降雪的积雪深度和气温的发展变化进行预测, 同时可得到大于多年月平均积雪深度的日数和低于多年月平均气温的日数的变化情况, 结合雪灾判别模型对未来一天或几天的雪灾等级进行预测, 并通过灾情等级的对比, 达到对未来雪灾灾情变化进行预测的目的; 最后, 根据判定的雪灾等级, 在空间操作支持下, 利用单指标或多指标方法设计的雪灾评估模型对一场雪灾造成的损失进行评估。

根据上述的分析过程, 下面对 1995 年 2—3 月发生在西藏那曲的降雪进行判别和评估 (表 1)。

4.1 雪灾卫星监测

从 NOAA/AVHRR 卫星雪盖监测过程可以看出 (表 2), 该场降雪基本始于 2 月中旬, 并一直延续到 3 月上旬, 受灾面广, 持续时间长。在 2 月

表 1 1995 年 2—3 月西藏那曲雪灾的评价指标统计值与评分表

Table 1 The statistical values of the criterion system and the results of integrated assessment of the snow disaster happened in Nagqu area of Xizang in Feb. - March, 1995

评价因素	县名 评价指标 评分	那 曲		班 戈		索 县	
		统计值	标准分	统计值	标准分	统计值	标准分
卫星雪盖参数	雪盖面积 (%)	>90	45	70—90	35	70—90	35
	积雪深度 (mm)	92	135	18	45	58	135
	积雪日数 (d)	17	90	9	50	13	70
受灾范围	受灾面积 (%)	95.1	315	78.1	245	82.8	315
	受灾草场面积 (%)	>90	90	>90	90	>90	90
不利放牧因素	日最大降雪量 (mm)	6.4	45	1.5	15	4.8	35
	最低气温 (C)	-17.7	14	-14.5	10	-12.2	10
	低温持续天数 (d)	16	90	17	90	12	90
基本抗灾条件	畜群结构 (%)	13.2	12	12.6	12	17.6	14
	饲料储备 (kg/d)	3/(4—9)	10	3/4	6	3/(4—9)	10
	围栏草场面积及其它设施建设 (m ²)	<100	6	<150	6	<200	6
数 量 评 价		796		556		750	
雪 灾 等 级		特大雪灾		中度雪灾		特大雪灾	

表 2 西藏那曲 1995 年 2—3 月部分卫星雪盖资料统计表^[5]

Table 2 Satellite snowcover area obtained from NOAA/AVHRR images on Feb. - Mar., 1995 in Nagqu area of Xizang

时间 (年·月·日)	班 戈		那 曲		索 县	
	雪盖面积 (km ²)	受灾面积 (%)	雪盖面积 (km ²)	受灾面积 (%)	雪盖面积 (km ²)	受灾面积 (%)
1995.02.14	835	3.2	1988	12.6	1502	2.60
1995.02.17	24665	78.1	15000	95.1	4794	82.8
1995.03.04	4768	18.1	6716	42.6	2282	39.5

14 日的 NOAA/AVHRR 图象上, 索县、那曲及班戈等县在海拔 5200m 以下的广大地区已开始陆续积雪, 到 3 月 4 日止, 索县和那曲两县的受灾面积达 40% 左右, 加之持续的低温天气和积雪阻塞交通, 一些地方被大雪围困, 给救灾也带来很大困难。

4.2 雪灾遥感判别

利用上面的判别模型和最大积雪深度、大于多年月均值最大积雪深度的天数、最低气温、低于多年月均值最低气温的天数、一次降水的降水总量等因子的雪灾判别结果表明, 1995 年 2—3 月这场雪灾的情况是索县和那曲为特大雪灾, 班戈为中度雪灾。

4.3 雪灾发展趋势预测

利用二次回归预测和灰色预测分别对 1995 年

2—3 月这场雪灾进行了预测, 预测结果见图 2。基于前面所述的预测准则, 从图 2 可以看出, 预测值基本上围绕实测值上下波动, 预测值的波形和实测值的波形基本一致, 在允许误差范围内, 预测值可以反映实测值, 能达到预测的目的。

4.4 利用层次分析模型

对 1995 年 2—3 月这场雪灾的评价结果如下: 各评价指标的统计值及数量评价的标准分由表 2 所示。根据标准分和雪灾遥感综合评价各指标的初始加权值^[5], 计算出 1995 年 2—3 月的雪灾综合数量评价 (SDG) 分别为 796 (那曲), 556 (班戈), 750 (索县), 参照雪灾遥感综合评价指标体系及灾情等级数量标准^[5] 得出此次雪灾的灾情等级那曲和索县为特大雪灾 (5 级), 班戈为中度雪灾 (3 级)。根据当年的牲畜存栏数, 若利用历年雪灾不同灾情等级的平均牲畜死亡率, 可计算出 1995 年 2—3 月的雪灾造成上述三县的牲畜死亡数约为 38 万只 (羊单位), 仅牲畜死亡造成的直接经济损失约为 19000 万元人民币。评估结论与地方政府的统计数据基本吻合。

5 结 语

从分析结果可以看出, 利用遥感技术对牧区雪灾进行监测评估研究是可行的, 但是应用时要注意, 每个模型参数的选取和参数选取的标准应根据雪灾的地域差异和成灾条件有侧重地加以选择。随着雪灾遥感监测评估研究的进一步深入, 模型参数指标体系和选取标准还有待于进一步完善。

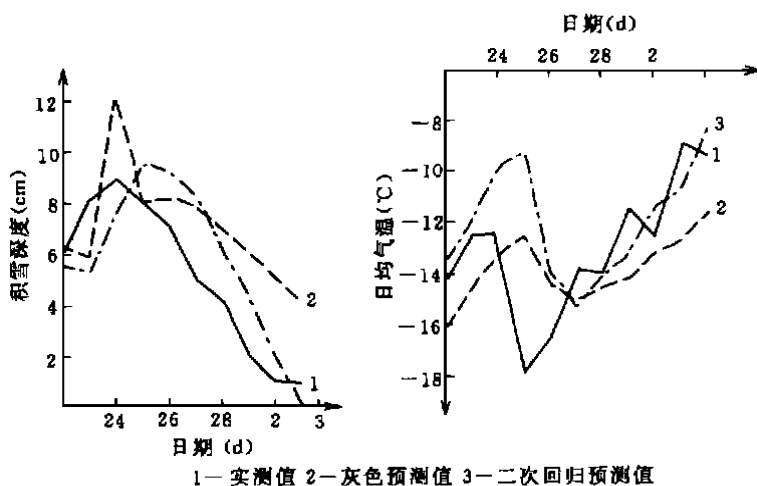


图 2 预测结果和实测值的变化曲线

Fig. 2 Curves of the forecasting and measurement values of snow depth and temperature in Feb. to Mar. 1995

参 考 文 献

- [1] 曾群柱等. 中国雪灾的分类分级和评价方法研究. 中国自然灾害影响评价方法研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 87—105.
- [2] 冯学智等. 西藏那曲雪灾的基本特征. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊第 8 号. 北京: 科学出版社, 1995, 9—13.
- [3] 冯学智等. 西藏那曲雪灾遥感判别模型. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊第 8 号. 北京: 科学出版社, 1995, 68—73.
- [4] 鲁安新等. 西藏那曲雪灾遥感预测模型. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊第 8 号. 北京: 科学出版社, 1995, 68—73.
- [5] 冯学智等. 西藏那曲雪灾遥感评价模型. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊第 8 号. 北京: 科学出版社, 1995, 68—73.
- [6] 於崇文等. 数学地质的方法与应用. 冶金出版社. 1980.
- [7] 鲁安新等. 我国牧区雪灾遥感判别初步研究. 自然灾害学报, 1994, (4): 69—76.

作 者 简 介

冯学智,男,生于 1953 年 11 月 24 日,研究员。1977 年毕业于南京大学计算机制图专业。现从事寒区遥感和 GIS 研究,已发表论文 60 多篇,专译著 2 本。

Study on Snow Disaster Monitoring and Assessment Using Remote Sensing in the Main Pastoral Areas of China

Feng Xuezhi Lu Anxin Zeng Qunzhu

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000)

Abstract The snow disaster monitoring and assessment were carried out by means of snow disaster monitoring and assessment system (SDMAS) which could be updated by using NOAA/AVHRR data in the main pastoral areas of our country. Some models, such as snow disaster distinguishing, forecasting and assessment, which were developed based on the spatial attribute, data from the spatial analysis and operation of SDMAS, and their application are introduced in this paper. Some results from the operation of SDMAS are approximately identical with the records of disaster reports.

Key words Snow disaster monitoring and assessment, Discriminant model, Prediction model, Assessment model