

蔡菊珍,何月,张小伟,等. 基于 GIS 的浙江省积雪遥感监测与评估研究[J]. 气象,2010,36(4):85-89.

基于 GIS 的浙江省积雪遥感监测与评估研究^{*}

蔡菊珍 何 月 张小伟 李正泉

浙江省气候中心,杭州 310017

提 要: 针对 2008 年初浙江省遭受的持续性大范围低温雨雪冰冻天气,利用 MODIS 数据,综合运用遥感和地理信息系统技术对积雪的发生、发展和消融特征进行深入研究,在探讨云和积雪区分关键技术的基础上,建立积雪指数模型提取积雪专题信息,对积雪覆盖进行动态监测,同时利用 DEM 分地区分析各海拔高度带的积雪覆盖情况,探讨其消融变化特征,最后用雪灾前后 $\Delta NDVI$ 的方法结合地面实地调查,对林区进行灾情初步评估。研究表明,积雪的消融大致呈负指数减少趋势,起初各海拔高度带积雪覆盖比例呈中间多两头少的特征,即海拔 300~900 m 的中等海拔高度上积雪覆盖率较高,达 70% 以上,在 300 m 以下及 900 m 以上海拔高度带积雪覆盖率为 50% 左右,随着积雪的慢慢消融,各高程带间的积雪面积差逐渐减小,消融速度较之前明显减缓,表现出较稳定的下降趋势后再继续融化的特点,至 2 月 16 日,积雪覆盖比例与高程带呈正向一致性,即海拔越高,积雪覆盖越大,2 月 17 日海拔 500 m 以下积雪已基本消融,20 日 700 m 以下积雪基本消融,至 2 月 29 日,全省基本无积雪。林区受灾的严重程度主要与积雪覆盖时间及林区海拔高度有关。利用遥感和地理信息系统技术在南方开展雪情分析、动态监测及灾后评估工作,对地方防灾减灾具有重要的指导意义。

关键词: GIS, MODIS, 积雪监测, 灾情评估

Remote Sensing Monitoring and Evaluation of Snow Cover in Zhejiang Province Based on GIS

CAI Juzhen HE Yue ZHANG Xiaowei LI Zhengquan

Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310017

Abstract: At the beginning of 2008, persistent large-scale of ice and snow weather hit Zhejiang Province. With the support of remote sensing and geographical information system (GIS) technology, a deep study on the genesis, developing and melting of snow was carried out. First, snow and cloud were distinguished well using MODIS data, and a snow model (normalized difference snow index) was established to extract the snow information. Then, spatial and quantitative analyses on the distribution of snow cover were conducted, and the melt character was studied through the snow cover depletion curve. Finally, a preliminary assessment of the disaster of forests was discussed using the method of $\Delta NDVI$. The results show that snow melt has a decreasing trend of minus exponent. Originally, the snow cover ratio at the middle altitude (300—900 m) could reach over 70% and was more than that at altitudes higher than 900 m or lower than 300 m. Meanwhile, the disparities in the different elevation zones became narrower along with the snow melting. The speed of snow melt slowed down significantly as before. On Feb. 16, snow cover was consistent with the terrain character, that is, the higher the elevation is, the greater the snow cover is. When most snow is distributed in the high mountainous area, the speed of snow melt is much slower as before. Until Feb. 29, there was no snow at the study area. The degree of disaster is related to the time of snow cover and the elevation of the forest area. Working at real-time monitoring, dynamic analysis and

* 浙江省气象局轨道项目(编号: TG200707)资助

2009 年 2 月 3 日收稿; 2009 年 11 月 19 日收修定稿

第一作者: 蔡菊珍, 主要从事气象遥感技术研究. Email: Cai-juzhen@yahoo.com.cn

disaster assessment of snow cover in South China is very important to the disaster prevention and reduction of local government.

Key words: GIS, MODIS, snow monitoring, disaster assessment

引 言

雪是地球表面最为活跃的自然要素之一,是影响区域和全球气候变化的一个重要因素,它对地表的辐射平衡和能量循环起着非常重要的作用,对积雪的研究一直是国内外气象学者常常关注的问题之一^[1-2]。2000年成立的气候与冰冻圈计划(CliC)把积雪研究作为核心内容之一。就国内而言,1970年叶笃正提出的长期预报的一些物理因子中就包括青藏高原的异常雪盖作用^[3],而后许多学者的研究表明北半球积雪特别是青藏高原雪盖对中国的降水、大气环流、气温均产生深刻的影响^[4-6]。随着遥感技术的发展,利用多源遥感信息在中国西北部雪灾频发地区进行了大量的监测分析工作^[7-10],但对南方积雪研究较少,主要是因为南方积雪一般较浅,持续时间较短,危害程度亦较北方轻,加上南方复杂的地形地貌、植被多样性和气候背景场,使得南方积雪研究难度相对较大。

浙江省地处我国东南沿海,属亚热带季风气候,土地类型多样,生态环境复杂,暴雨、洪涝、干旱、台风、寒潮、强冷空气和冰雹是影响浙江的主要气象灾害。在全球气候变暖的大背景下,各类极端天气气候事件频繁发生,特别是受异常大气环流影响,浙江的冰雪灾害时有发生。2008年1月11日至2月5日浙江省出现持续性50年一遇的低温、雨雪和冰冻天气,浙北大部分地区积雪深度为50年不遇。根据气象站观测,全省共有45个县市出现积雪,积雪覆盖率达72%,杭州、嘉兴、湖州、绍兴、宁波等地积雪深度普遍超过20cm,对电力、通信、交通、农业、林业及人们生活等造成了严重影响和重大损失,农作物受灾达 $832.9 \times 10^3 \text{ hm}^2$,直接经济损失超过150亿元。因此有必要对浙江开展冰雪覆盖监测和灾害评估方面的研究,利于及时应对此类灾害性极端天气气候事件。

常规气象台站由于站点空间分布不均,且大多位于坡度小、交通便捷之处,对于浙江省部分偏僻、山高坡陡、人烟稀少的地区,常因缺少测站资料而难以获得积雪覆盖的准确空间分布信息。遥感技术具

有监测范围广、时效性强、成本低等显著优势已逐步成为积雪监测中不可缺少的有效数据源。本文根据浙江气候、地形地貌、土地覆盖等特点,利用MODIS数据,选用合适的积雪指数模型,综合利用遥感和地理信息系统技术^[11]对积雪的发生、发展及消融特征进行深入研究,并对林区进行灾情初步评估,为政府和相关的生产部门防灾减灾,指导交通安全、农业生产、电力抢修等提供科学的决策依据。

1 资料选择与处理

1.1 资料的收集及数据预处理

采用的数据源分遥感信息和非遥感信息两种。遥感信息选取DVBS广播接收的覆盖浙江全省的2008年2月MODIS数据,具体包括2月4日、9日、13—17日、20日、27—29日共11幅晴空资料以及1km的土地利用类型图。非遥感信息主要包括1:50000地形图、行政区划图及野外实地考察的各种资料等。遥感信息的预处理有1~7通道辐射定标、投影变换、几何精校正、数据裁剪等。对DEM进行海拔高度分带(小于300m,300~500m,500~700m,700~900m,大于900m),采用经纬度投影方式建立统一的坐标系统。

1.2 积雪信息提取

积雪信息提取是根据雪的波谱特征,即它在可见光的强反射和近红外的高吸收特性,与植被、土壤、水体等典型地物易于区分。而云和雪的分离是积雪识别的难点,雪在可见光波段($0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$)反射率较高,随着波长增加反射率逐渐降低。云在可见光波段和远红外波段也具有和雪相似的光谱特征,反射率及亮温也和雪较为接近,因此在这些波段上难以区分云和雪。而在 $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$ 和 $2.105 \sim 2.135 \mu\text{m}$ 的近红外波段上,云和雪的反射率有较大差异,在该光谱范围内云反射来自太阳的辐射,表现出较高反射率,雪吸收太阳辐射,反射率很低,因此该波段是区分云、雪的理想光谱段^[12]。

目前应用最为广泛的是归一化积雪指数(ND-SI)判别法,它实际操作性强,识别精度高,是提取积

雪信息的最佳技术手段。根据 MODIS 的可见光 4 波段(0.545~0.564 μm)和近红外 6 波段(1.628~1.652 μm)的反射率,采用多波段归一化,进一步消除云和地形阴影等影响^[10],其计算公式为:

$$NDSI = (CH4 - CH6)/(CH4 + CH6)$$

式中:CH4、CH6 分别代表 MODIS 数据第 4、第 6 波段的反射率。

当积雪覆盖大于 50%,对应像元的 NDSI 值大于或等于 0.4。由于水也可能出现 $NDSI > 0.4$ 的情况,利用 MODIS 短波红外通道 CH2 中水的反射率 $> 11\%$,将雪和水区分开。逐点判识时,满足以下条件: $NDSI \geq 0.4$,CH2 反射率 $> 11\%$,CH4 反射率 $> 10\%$ 时,则该点可被认为被雪覆盖^[13-14]。但在森林覆盖区,许多被雪覆盖的像元其 NDSI 值低于 0.4,而林区像元比非林区像元有较高的 NDVI 值,森林覆盖后,可通过人机交互适当降低 NDSI 阈值,正确地将这些雪识别出来。

1.3 林区灾情初步评估

普通降雪不会对森林生态系统造成严重影响。然而,长时间高强度的降雪对森林生态系统造成的威胁往往是致命的^[15]。在雪灾严重地区,大量林木倒伏、弯曲甚至折断,形成林窗,影响整个森林生态系统平衡。

植被长势的变化在一定程度上反应了林区受灾情况,考虑到受灾林区植被干枯、变黄所引起的绿度变化存在一定的滞后性,林区灾情评估选择灾前 2008 年 1 月 3 日和灾后 2008 年 3 月 27 日 MODIS 晴空资料,通过预处理后进行 NDVI 差值计算。利用土地利用类型图生成全省的林区分布图,掩模得到林区 $\Delta NDVI$ 图,根据灾情实地调查情况,确定灾

情评估等级划分指标为 $0.05 < \Delta NDVI \leq 0.15$,为轻度受灾林区; $0.15 < \Delta NDVI \leq 0.25$,为中度受灾林区; $\Delta NDVI > 0.25$,为重度受灾林区,并按市、县单元进行统计分析,综合评价。

2 结果分析

2.1 积雪时空分布特征

2 月 4 日为降雪过程后第一个晴空日,分析结果显示(图 1a),浙江省近 55%的区域积雪覆盖,除浙江南部及东南沿海部分地区基本无积雪覆盖外,全省其余各地积雪面积达 $5.55 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中嘉兴、绍兴、湖州的积雪覆盖比例较大,分别达 99.4%、94.7%和 92.3%;丽水、舟山、台州、温州积雪覆盖相对较少,低于 30%,其中积雪覆盖面积最多的是杭州,为 14360.8 km^2 ,积雪覆盖面积最少的是舟山,面积仅为 10 km^2 。海拔 300 m 以下积雪约为 30474.7 km^2 ,占积雪总面积的 55%,主要分布于杭州、绍兴、衢州、金华及湖州;海拔 900 m 以上的积雪面积约为 2815.9 km^2 ,集中分布于丽水地区。

2 月 6 日起,浙江省以多云天气为主,气温开始回升,积雪逐渐融化,遥感监测全省积雪面积约 $1.07 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1b),较 4 日有大幅减少,消融的积雪主要集中在海拔 300 m 以下,减少了约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。至 2 月 15 日积雪覆盖面积已不足 1000 km^2 ,主要分布于杭州、湖州、宁波、绍兴等地,88%的积雪分布于 500 m 以上山区。2 月 20 日积雪面积为 117 km^2 ,700 m 以下区域的积雪已基本消融。至 2 月 27 日气温进一步回升,除部分山区还有少量积雪外,大部分地区积雪已经融化。2 月 29 日(图 1c),遥感监测全省基本无积雪,积雪全部融化。

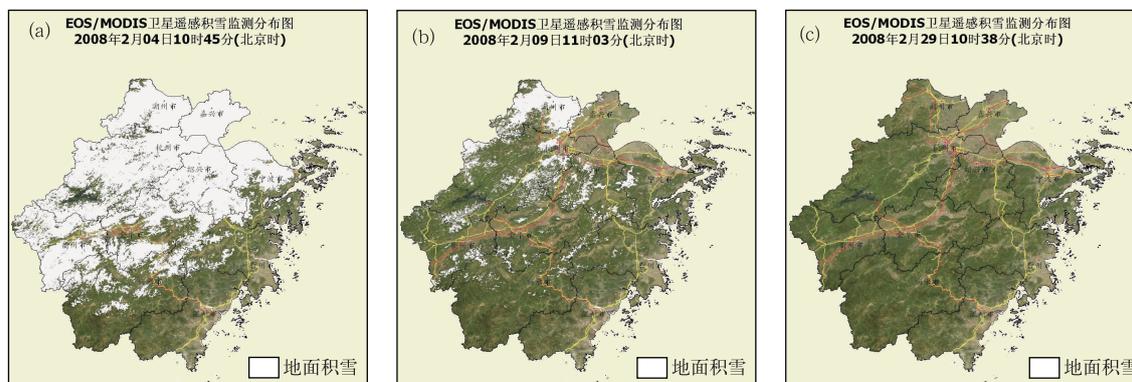


图 1 2008 年 2 月 4 日(a)、9 日(b)、29 日(c)浙江省积雪遥感监测空间分布

Fig. 1 Snow cover distribution of Zhejiang Province in 2008

(a) Feb. 4; (b) Feb. 9; (c) Feb. 29

2.2 积雪消融特征分析

积雪消融过程大致呈负指数减少趋势,相关系数高达 0.95(图 2)。从不同地区的积雪消融来看(表 1),至 2 月 14 日温州、嘉兴、舟山地区积雪基本消融;至 2 月 17 日衢州、丽水地区基本无积雪覆盖;至 2 月 20 日,积雪集中分布于杭州地区,另外绍兴、湖州也有零星分布。

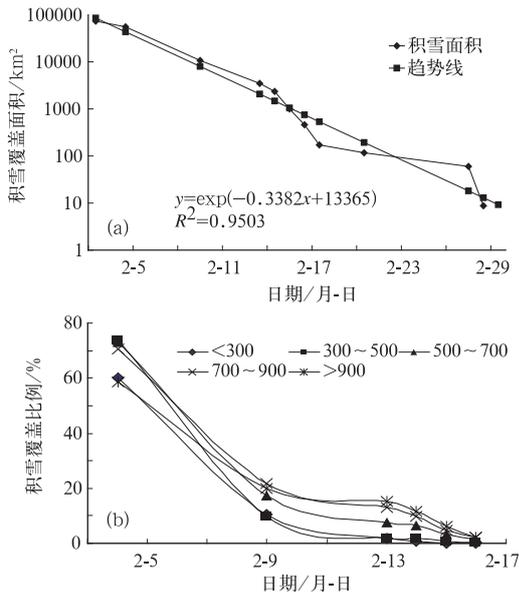


图 2 积雪面积变化趋势图

Fig 2 Changing trend of snow cover area

表 1 浙江省各市积雪面积变化(单位:km²)

Table1 Distribution of snow cover area in different city (unit:km²)

日期	2-4	2-9	2-13	2-14	2-15	2-16	2-17	2-20
杭州	14360.8	3234.1	834.8	717.5	439.1	182.1	128.5	96.4
衢州	7874.5	766.9	387.6	302.5	43.2	0.0	0.0	0.0
绍兴	7144.8	1265.9	299.5	300.4	139.5	85.8	21.5	10.7
丽水	6955.3	642.1	230.7	141.5	32.7	10.9	0.0	0.0
金华	6874.9	906.6	319.9	237.4	75.6	32.4	10.8	0.0
湖州	5122.3	3368.8	1009.3	361.3	74.4	53.1	0.0	9.6
温州	3819.9	43.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
嘉兴	1552.5	63.8	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宁波	943.4	150.1	267.0	226.3	150.1	85.8	10.7	0.0
台州	862.9	259.6	124.7	64.9	43.3	10.8	0.0	0.0
舟山	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
全省	55521.8	10701.6	3482.7	2351.8	997.7	460.9	171.5	116.7

从不同高程带上的积雪消融来看,起初各海拔高度带上均有积雪覆盖,积雪覆盖率呈中间多两头少的特征,即海拔 300~900 m 的中等海拔高度上积雪覆盖率达 70%以上,而在 300 m 以下及 900 m 以

上,积雪覆盖率为 50%左右;随着积雪的慢慢消融,各高程带间的积雪面积差逐渐减小,消融速度亦较之前明显减缓,表现出先保持一个较稳定的下降趋势后再继续消融,至 2 月 16 日,积雪覆盖比例与海拔高度呈正向一致性,即海拔越高,覆盖比例越大,海拔越低,覆盖比例越小,至 2 月 17 日,海拔 500 m 以下积雪已基本消融,900 m 以上积雪覆盖比例为 2%,2 月 20 日,700 m 以下积雪基本消融,2 月 28 日,900 m 以下基本无积雪覆盖,至 2 月 29 日,全省基本无积雪。

2.3 冰雪灾害对林区影响评价

2008 年 1 月 3 日(灾前)与 3 月 27 日(灾后)的 NDVI 对比分析显示,林区受灾最严重的地区位于临安、开化、安吉等山区,按林区受灾总面积排序前五位分别是:淳安、临安、龙泉、开化、遂昌(如图 3b,按林区受灾总面积从大到小排序,取前 10 名);按照重度受灾面积排序前十位分别是:临安、开化、安吉、淳安、桐庐、富阳、诸暨、绍兴、杭州、建德。此

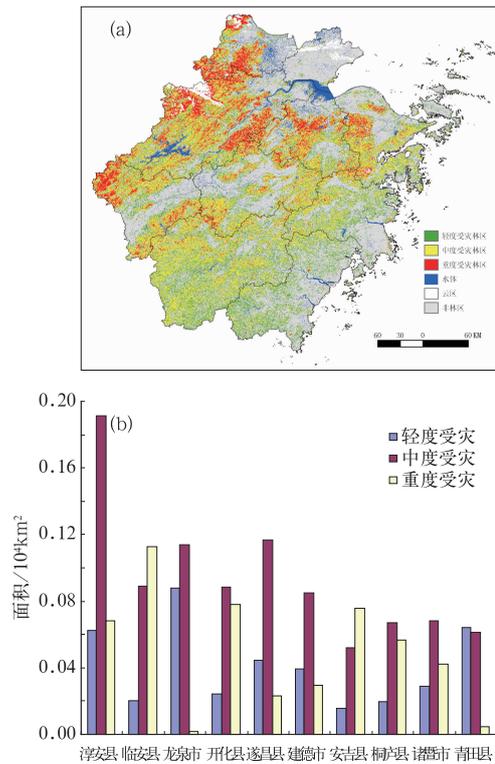


图 3 浙江省林区灾情初步评估

(a) 遥感分级评估; (b) 林区

受灾总面积大小排序(取前 10 名)

Fig. 3 Assessment of disastrous forest area

(a) classified assessment using remote sensing;

(b) histogram of the top 10 disastrous area

结论与实地调查结果基本一致。监测结果表明,林区受灾的严重程度主要与受灾时间及林区海拔高度有关,受灾面积最大的林区,受灾不一定最严重,如淳安,积雪最大覆盖面积约 $0.28 \times 10^4 \text{ km}^2$,但受灾不是最严重的;而持续时间较长的林区,受灾则相对较严重,典型的比如临安,其积雪覆盖持续时间最长,林区受灾最严重。

3 结 语

(1) 以 MODIS 数据为信息源,通过分析云和积雪区分的关键技术,建立积雪指数模型提取积雪专题信息,在浙江地形复杂地区是可行的。

(2) 综合利用遥感和地理信息系统技术对积雪发生、发展及消融特征进行深入研究,利用 DEM 分地区分析各海拔高度带的积雪覆盖情况,探讨其消融变化特征,结果表明,积雪消融大致呈负指数减少趋势。

(3) 利用 ΔNDVI 方法对林区灾情进行初步评估,林区受灾的严重程度主要与积雪覆盖时间及林区海拔高度有关。

综合利用遥感和地理信息系统技术在南方开展雪情分析、动态监测、灾后评估有着广阔的应用前景。对此类极端天气气候事件做出准确、客观的监测,及时向有关部门提供决策依据,为合理安排交通安全、农业生产、电力抢修等提供重要依据。

参考文献

- [1] 王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(4): 29-36.
- [2] 谢玉琴, 赵求东, 王芳. 积雪变化特征及与气候之间的关系——以乌鲁木齐地区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(9): 51-55.
- [3] 叶笃正. 长期预报的一些物理因子[J]. 气象, 1975, 1(3): 10-12.
- [4] 孙林海, 宋文玲. 冬季积雪对我国夏季降水预测的评估分析[J]. 气象, 2001, 27(8): 24-35.
- [5] 宋文玲, 袁景凤, 陈兴芳. 冬季高原积雪异常与 1998 年长江洪水关系的分析[J]. 气象, 2000, 26(2): 11-14.
- [6] 柯长青, 李培基, 王采平. 青藏高原积雪变化趋势及其与气温和降水的关系[J]. 冰川冻土, 1997, 19(4): 289-294.
- [7] 徐虹. MODIS 数据在云南省积雪监测中的应用[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(1): 60-62.
- [8] 张娟, 冯蜀青, 徐维新. MODIS 数据在青海省积雪监测中的应用[J]. 青海气象, 2006, 1: 55-57.
- [9] 吴杨, 张佳华, 徐海明, 等. 卫星反演积雪的研究进展[J]. 气象, 2007, 33(6): 3-10.
- [10] 韩庆红, 王普才, 王玉昆, 等. 利用 MODIS 产品分析东北地区积雪覆盖状况及冬季气候特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 396-401.
- [11] 吴焕萍. GIS 技术在气象领域中的应用[J]. 气象, 2010, 36(3): 90-100.
- [12] 徐兴奎, 天国良. 中国地表积雪动态分布及反照率的变化[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 178-181.
- [13] 刘玉洁, 杨忠东, 王长耀, 等. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 180-192.
- [14] Andrew G. Klein, Dorothy K. Hall, et al. Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model [J]. Hydrological Processes, 1998, 12: 1723-1744.
- [15] Cao Yungang, Liu Chuang. Normalized difference snow index simulation for snow cover mapping in forest by geosail model [J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16(2): 171-175.