

我国西部地区冬季雪盖遥感和变化分析*

刘玉洁 郑照军 王丽波

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要 利用改进的甚高分辨率扫描辐射仪(AVHRR)资料,在 multispectral 判识的基础上提取积雪信息的计算方法,并由此得到积雪遥感动态监测结果;同时,利用我国短时间序列的积雪资料,统计计算了新疆、内蒙古、青海、西藏和东北地区冬季积雪覆盖率,分析了我国西部地区积雪覆盖特征和变化规律;补充了常规气象台站对我国西部地区积雪监测和分析的不足。

关键词: 光谱特征;雪盖遥感;辐射

P4 B

1 引言

积雪和雪灾是我国冬季西北地区地表特征监测和分析的重要内容。根据多年积雪资料统计分析,我国西北地区位于典型的季节性积雪区,年周期性稳定或不稳定季节性积雪主要分布在新疆、甘肃、青海、内蒙古西部和藏北地区。每年深秋或初冬,由于季节性降雪的影响,积雪覆盖从北向南逐渐增加,1月份前后积雪覆盖范围达到最大,然后自南向北逐渐减少,到了5月或6月,季节性积雪完全消失,只剩下永久积雪分布在天山、阿尔泰山、祁连山、喀拉昆仑山等地区。每年积雪的多寡,积雪覆盖的时间和变化规律与多种因素有关,直接影响农业生产和牧区人民生活。高山融雪历来是农业灌溉丰厚的水资源,新疆地区就素有“积雪融化灌农田”的佳话。但是,降雪过量和积雪时间过长也会给农牧业生产带来灾害,冬季强暴风和春夏季融雪径流历来是牧区的最大威胁。从气候的角度来看,积雪的高反射率和低导热率将直接影响地面与大气温度、地面反照率和土壤湿度,也将影响地气系统的辐射平衡和水循环变化。因此,西北地区积雪的多寡和变化,历来是气候研究和旱涝灾害分析研究的重点。积雪的分布以及积雪随时间和地区的变化,已越来越受到国内外学者的重视。

气象卫星资料能够较客观地反映大范围积雪覆盖的变化和雪灾状况,尤其是在气象情报不足、气候条件恶劣的山区和牧区,卫星遥感资料是唯一能为雪灾分析和气候研究提供雪情信息的手段。但是,由于云雪光谱特征的复杂性和目前我们所能获取卫星资料的局限性,云雪区分始终是困扰卫星遥感积雪监测不断深入的难点和障碍。在对我国冬季积雪监测研究中,为了充分利用遥感手段监测积雪的形成和变化,我们从云雪光谱特征研究入手,开展了 multispectral 云雪判识技术研究,在区域积雪监测的基础上,进一步改进了

2002-10-25 收到, 2002-12-27 收到修改稿

* 国家科技部社会公益研究专项资金项目“我国西北地区生态气候环境监测预测方法研究”和国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”(G1998040900)共同资助

利用极轨气象卫星资料进行积雪监测的多光谱云雪判识方法,更新了1996年建立的卫星遥感积雪监测系统,并利用美国NOAA-16卫星携带的改进的甚高分辨率扫描辐射仪(AVHRR)资料,对我国2001~2002年冬季进行了连续积雪监测。

本文在卫星遥感雪盖监测基础上,对1996年以来计算获取的我国冬季积雪覆盖数据进行了检验和统计计算,综合分析了我新疆、青海、内蒙和西藏等地区积雪覆盖特征和变化规律,为我国西北地区生态环境监测和气候预测提供参考。

2 雪盖遥感原理

2.1 卫星资料和云雪光谱特征

卫星遥感积雪监测开始于1962年4月美国TIROS卫星的发射。此后,随着卫星系列的更新换代和遥感仪器的不断改进,GOES、GMS等高频次卫星以及LANDSAT TM等多光谱、高分辨率遥感仪器相继投入使用,卫星遥感积雪监测技术也得以不断发展和提高。1979年美国TIROS-N/NOAA系列卫星发射成功,星上携带了AVHRR仪器,数据的星下点分辨率为1.1 km,观测周期为12 h,星上数据记录精度为10 bit,比较适用于地表特征监测。尽管AVHRR仪器在对地观测波段和地面分辨率方面不及LANDSAT的TM仪器,在观测频次方面也低于静止气象卫星,但是丰富的多波段信息为云和积雪的判识提供了可能,也大大提高了云和积雪的判识精度。尤其我国FY-1C、FY-1D和美国的NOAA-16携带的可见红外扫描辐射计,都增加了1.58~1.64 μm 的短波红外波段,国内外许多研究表明,此波段是区分云和雪的最佳波段。

对于云雪光谱特征,国内外很多专家都做了大量的分析和论述。Kidder和Wu^[1]早在1984年就研究发现云和雪在反射辐射率方面的差异;Stowe和Gutman^[2]、Robert等人^[3]也曾指出,由于到达雪面的太阳辐射被雪粒子和粒子间的液态水吸收或反射,导致不同类型的雪在不同光谱波段具有不同的吸收或反射特性。在可见光波段冰雪吸收率较小(最小吸收率在0.46 μm 附近),随着波长的增加,冰雪对太阳辐射吸收逐渐增大,在近红外波段吸收率明显增强。图1展示了不同粒径的雪,其雪面反射率随波长的变化。在可见光波段,不同粒径的雪都具有较高的反射辐射,且雪盖表面反射率略有差别;但在短波红外波段,尤其是在1.25~1.35 μm 之间差别较大。随着波长的增加,积雪反射率逐渐减小,在1.55~1.65 μm 之间和2.1 μm 附近反射率都达到最小,而光学厚度较大的云在这些波段仍保持较高的反射辐射。图2是积雪、卷云和积云在1.55~1.75 μm 波段范围内的光谱特征曲线。理论研究表明,在短波红外波段,云和雪的反射率有较大的差异,在这一波段范围内,云反射来自太阳的辐射,而积雪却吸收太阳辐射,因此,云的反射辐射将远远大于积雪。尽管冰晶云与积雪的光谱特征有些相似,但是通过多光谱综合分析和多波段组合仍可达到区分云和雪的目的。

2.2 雪盖判识依据

在国内外已经开展的云和雪光谱特征研究的基础上,根据中国西部地区的地形特点,我们对冬季卫星观测资料进行了大量的跟踪分析,并对多种类型的下垫面如陆地表面、水面、冰面、积雪和植被等分别采样,提取了大量的云、积雪、水体、植被、裸地和冰的样本,通过分析和对比验证,得到了一些对于区分云和雪的一些很有价值的信息。图3

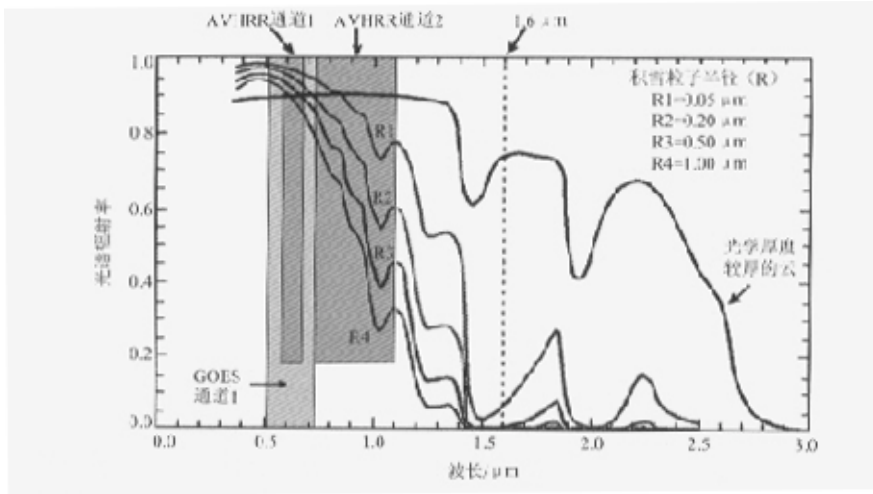


图1 不同冰晶结构的雪面反射率随波长的变化

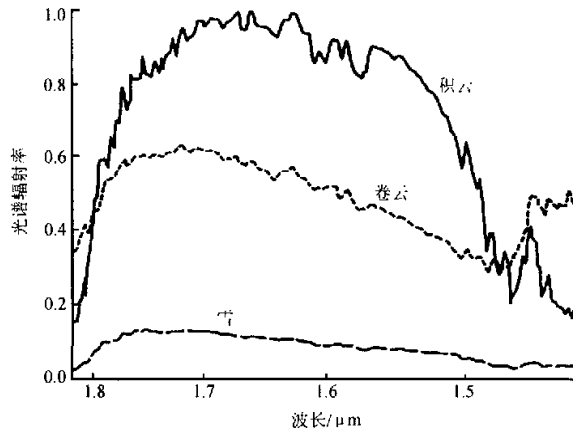


图2 卷云和积云在 1.55~1.75 μm 波段范围内的光谱特征曲线

就是利用实测卫星资料分析得到的不同陆地表面类型在可见光和短波红外波段光谱特征的例子。依据云和雪在可见光和短波红外波段对反射和吸收太阳辐射的光谱特征,借鉴植被指数算式可定义积雪指数(NDSI, I_{nds}),即:

$$I_{\text{nds}} = \frac{b_1 - b_6}{b_1 + b_6}$$

式中 b_1 和 b_6 分别代表可见光和短波红外波段的反射率。

NDSI 能更充分地体现积雪的光谱特征。如图 3 所示,与水体、裸土和植被相比,积雪和云在可见光波段都具有较高的反射辐射,但是,由于积雪在短波红外的低反射率,其积雪指数远大于云,这是区分云和雪的最好依据。尽管冰晶云也具有类似的光谱特征,

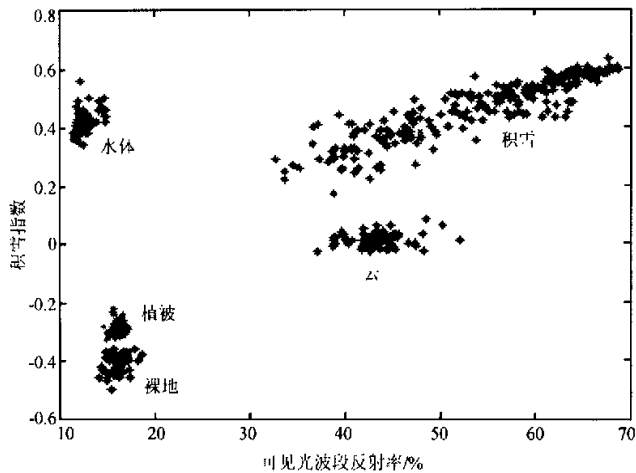


图3 不同陆表类型在可见光波段的反射率与积雪指数的点聚

但是其亮度温度与积雪相比有所不同。因此,综合利用多光谱的观测信息,在充分掌握云和积雪对各光谱波段的光谱响应特性基础上,利用卫星获取地面反射和放射辐射的大小以及各通道之间的差异;依据陆地表面不同地表类型所具有的光谱特征,选择适当的判识因子,例如可见光和近红外波段的反射辐射、红外波段的亮度温度、归一化积雪指数、差值积雪指数和植被指数等;并依据下垫面和云系的特征、气候统计数据以及云、雪判识经验,分别确定适当的阈值,用于从卫星资料中提取雪盖信息。

2.3 积雪监测方法

目前国内常用的卫星遥感监测积雪方法有简单的多时次合成法、多光谱阈值和多时次合成法以及聚类分析等方法。本文是在多光谱聚类分析的基础上,采用了多光谱阈值判识和多时次合成相结合的积雪监测方法。根据前面分析的云雪光谱特征和我国西部地区地表类型和云雪的特征,参考国内外多种云雪判识方法^[3~7],对以前设计的利用 AVHRR 资料进行积雪监测的多通道判识法^[8]进行了改进,建立了一套适合于我国及周边地区使用的积雪动态监测方法。利用 NOAA 和 FY-1C 气象卫星资料可见光及近红外通道的反射率、红外通道的亮度温度进行云雪粗判识;利用积雪指数、归一化植被指数 (NDVI)、可见光和近红外通道反射率以及红外通道亮度温度相结合的方式对云雪精判识。在此基础上,充分考虑太阳同步轨道卫星对地观测覆盖区域的周期性变化,将判识提取的积雪信息按旬进行多时次合成,以完全消除云的“污染”,获取我国及周边地区的旬积雪数据。最后将积雪信息叠加在归一化植被指数信息上,形成我国范围内积雪与植被指数的数据和图像。监测区域为(65~145°E, 17~57°N),分辨率为 0.05°×0.05°。

图 4 是利用美国 NOAA 极轨气象卫星 AVHRR/HRPT 资料计算处理的 1996~2000 年 12 月下旬中国区域旬积雪分布,图中白色为积雪区,黑色为无雪区。这些图清晰地反映了全国各地积雪的时空分布状况。图 5 是利用 NOAA-16 极轨气象卫星 AVHRR/3 资料,由改进后的积雪监测系统计算的 2002 年 1 月上旬中国地区植被积雪覆盖,图中白色为积雪区,绿色区域为植被。此图清晰地反映了全国各地积雪的分布和

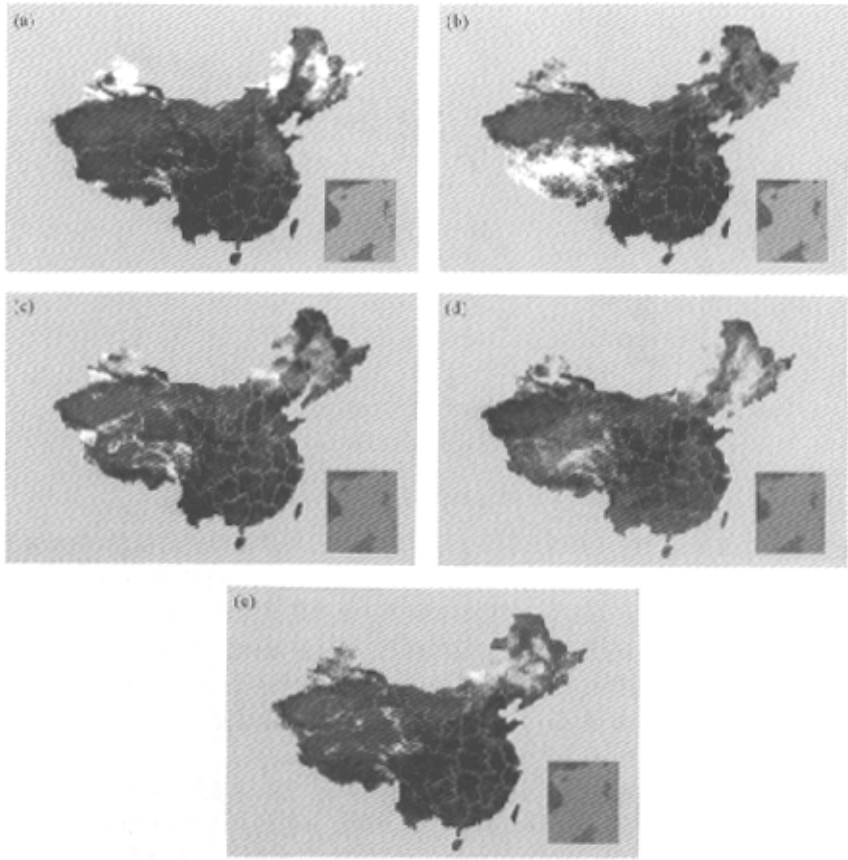


图4 1996年(a)、1997年(b)、1998年(c)、1999年(d)和2000年(e)12月下旬中国地区积雪覆盖系列

植被的覆盖状况。

3 中国地区冬季积雪分布和变化分析

3.1 我国积雪分布和变化的初步分析

我国冬季积雪的变化主要发生在青藏高原、新疆、内蒙古和东北等地区。由于内蒙古和东北积雪区域连在一起,这里我们统一称为东北积雪区。这样就将中国的主要积雪区划分为三大块。利用卫星遥感计算的旬积雪数据,可以获得某一区域长时间段的积雪覆盖率变化曲线。图6为中国三大积雪区1996~2000年度冬季(选择11、12、1、2共4个月)积雪覆盖率变化曲线。

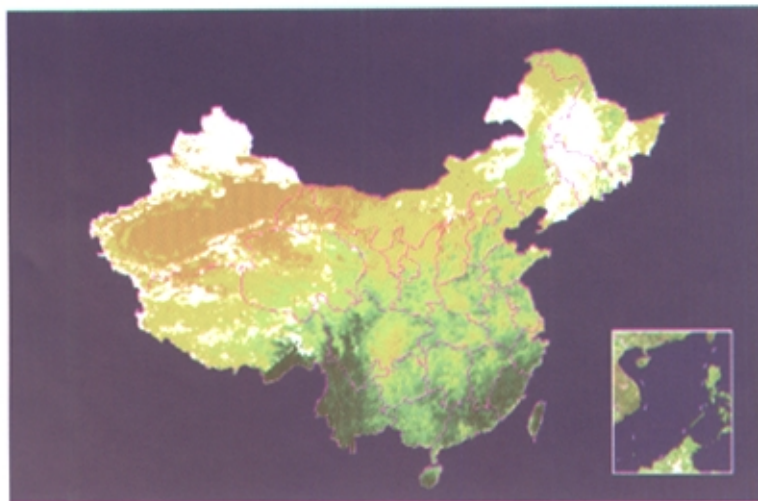


图 5 2002 年 1 月上旬中国地区植被积雪覆盖

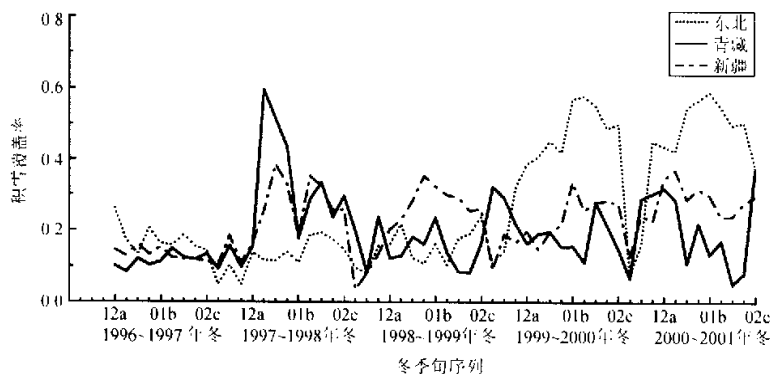


图 6 我国主要积雪区冬季积雪覆盖率变化曲线

图中的 a、b、c 分别代表每月的上、中、下旬

分析各地区这几年冬季的积雪覆盖率变化曲线,可以看到以下几个显著特点:新疆积雪区的积雪覆盖率年际变化不大;青藏高原积雪区除了 1997~1998 年冬季的值较大外,积雪覆盖率也比较稳定;东北积雪区(包括内蒙古)1999~2000 年和 2000~2001 年冬季积雪覆盖率明显偏大。比较三大积雪区的积雪覆盖率可以发现,新疆积雪区的值相对高些,东北积雪区其次,青藏高原积雪区最小。东北积雪区和青藏高原积雪区年际变化较大。另外,由于三大积雪区的地理面积相差不多,可以通过冬季积雪覆盖率的简单几何相加来看反映中国地区冬季积雪的大体情况,从近几年冬季积雪覆盖率变化曲线基本上可以看出,中国地区 1996 年冬季积雪较少,1998 年冬季积雪稍有增加,而 1997 年冬季、1999 年冬季和 2000 年冬季积雪较多。

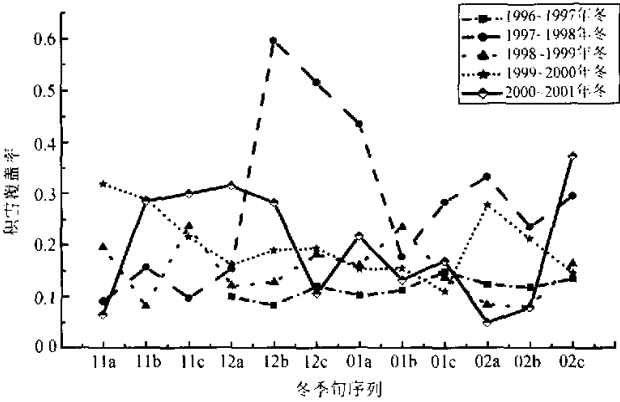


图7 青藏高原地区冬季积雪覆盖率变化曲线
(图中的a,b,c分别代表每月的上、中、下旬)



图8 1997年12月中旬西藏地区雪盖分布

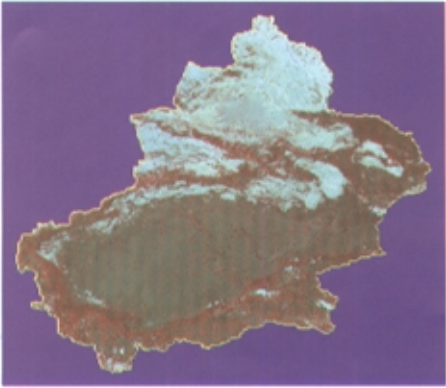


图9 1998年1月下旬新疆地区雪盖分布

3.2 我国青藏高原地区冬季积雪变化分析

分析卫星遥感积雪资料,我们发现受冬季环流影响,青藏高原地区冬季季节性积雪不仅存在着明显年际变化,而且变化起伏较大。

图 7 是利用遥感手段获取的旬积雪资料计算的青藏高原地区(青海和西藏两省)1996~1999 年度冬季(这里选择了 11、12、1、2、3、4 共 6 个月)积雪覆盖率变化曲线。1996~1997 年冬季,该地区明显少雪,最大积雪覆盖率仅有 15%。1997~1998 年冬季则是少有的多雪年,最大积雪覆盖率超过 60%,尤其是 12 月中旬的特大暴风雪和随后的持续降雪、低温,导致了西藏那曲等地区的特大雪灾,致使高原积雪覆盖时间持续长达 3 个月之久。图 8 是利用 AVHRR 资料计算得到的 1997 年 12 月青海西藏地区大范围雪盖图,西藏大部分地区被雪覆盖。我国短期气候预测以此作为强信号之一,成功地预报了 1998 年长江中下游汛期的强降水。

另外,从图 7 可见该区 1998~1999 年冬季积雪略多于 1996~1997 年冬季,其中,1998 年 11 月至 1999 年 1 月中旬,积雪覆盖率均高于 1996~1997 年同期。而 1999 年 1 月下旬至 2 月下旬,积雪覆盖率低于 1996~1997 年同期。尽管 1998~1999 年冬季为少雪年,但是 1999 年夏季长江中下游仍出现强降水,这是否仍与 1997~1998 年高原冬季积雪异常多有关,还有待于利用长时间的积雪资料作进一步的研究分析。1999~2000 年冬季的积雪分布明显不同于 1998~1999 年冬季。由于 1999 年 11 月中旬的一次强降雪过程导致了高原地区 30%的积雪覆盖,覆盖时间长达 2 个多月,致使 1999~2000 年冬季 1 月份之前积雪明显多于 1997~1998 年冬季,2000 年 1 月以后积雪略有减少,2 月份前后积雪也多于 1999 年同期,但是明显少于 1997~1998 年冬季。统计分析发现青藏高原地区冬季稳定季节性积雪的分布特征明显,年际变化起伏较大,对气候影响具有较强的指示信号。

3.3 我国新疆地区冬季积雪变化分析

新疆是我国最稳定的季节性积雪区,冬季积雪主要分布在天山及以北地区。每年深秋或初冬,由于季节性降雪的影响,积雪覆盖从北向南逐渐增加,1 月份前后积雪覆盖范围达到最大。然后,自南向北逐渐减少,5 月或 6 月季节性积雪完全消失,只剩下永久积雪分布在天山和阿勒泰山地区。

图 9 是卫星遥感得到的 1998 年 1 月下旬新疆地区雪盖分布图,除塔里木盆地以外,新疆大部分地区被雪覆盖。由于塔里木盆地的影响,本文计算的新疆地区积雪覆盖率始终低于 50%。

与青藏高原不同,新疆地区积雪覆盖率的年内变化较大,图 10 给出了 1996 年至 2001 年 5 个冬季新疆地区积雪覆盖率的年际变化曲线,除 1996~1997 年冬季积雪分布偏北、雪盖范围偏小外,其他年份均在 10%到 40%之间变化。受天气和气候条件影响,每年最大积雪覆盖率出现的时间不同。其中 1996~1997 年冬季较为特殊,除 1997 年 1 月由于连降暴雪导致了阿勒泰地区的雪灾外,基本属于少雪年,最大旬积雪覆盖率达 16%,出现在 1996 年 12 月下旬。其他 4 年均属于多雪年,最大积雪覆盖率分别出现在 12 月下旬、1 月上旬、1 月中旬和 12 月中旬。其中 1997~1998 年冬季最大积雪覆盖率达到 37%,且出现了两个峰值。2000~2001 年最大积雪覆盖率达到 36%。

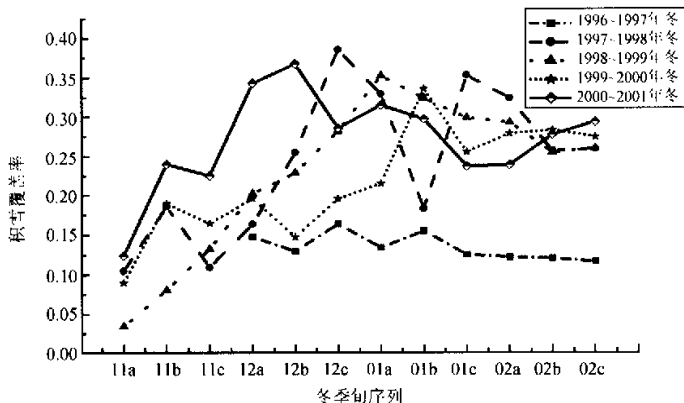


图 10 新疆地区冬季积雪覆盖率变化曲线

图中的 a, b, c 分别代表每月的上、中、下旬

4 小结

经过反复试验和多次改进,多光谱阈值判识积雪计算方法已日趋成熟,在日常积雪监测积累的基础上,为雪灾监测和西部生态环境监测以及高原积雪异常对气候影响的分析提供了大量的冬季积雪数据和分析结果,使气象卫星资料在冬季雪灾监测中发挥了重要作用。但是,由于云雪光谱特征比较复杂,有时云雪判识还依赖于经验,在积雪计算过程中,虽然考虑了各地区的气候特征,也难免出现判识误差。尤其是受森林和低云的影响,有时统计的积雪覆盖率偏小。但对于同一地区积雪覆盖率变化的比较还是有意义的。通过对近 5 年积雪资料分析我们发现:

- (1) 我国卫星遥感积雪能较好地反映我国季节性积雪的分布和变化;
- (2) 青藏高原地区季节性积雪覆盖变化特征明显,年际变化起伏较大;
- (3) 新疆地区是我国冬季最稳定的季节性积雪区,这块积雪区也是西部最稳定的固态水资源,合理利用将是解决西部水资源短缺的有效途径。
- (4) 高原特大积雪年与我国长江中下游汛期降水有较好的对应关系,对次年长江中下游汛期降水的影响有待于进一步研究;
- (5) 由于积雪资料时间序列较短,分析结果仅供参考。

参 考 文 献

- 1 Kidder, S. Q., and Huey-Tzu Wu, Dramatic contrast between low clouds and snow cover in daytime 3.7 μ m imagery, *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**, 2345~2346.
- 2 Stowe, S., and Gutman, G., Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data, *Adv. Space Meteor.*, 1991, **11**(3), 51~54.
- 3 Robert, C. A., A. D. Philip, and H. W. Carlyle, Snow/cloud discrimination with multispectral satellite measure-

- ments, *J. Appl. Meteor.*, 1990, **29**, 994~1004.
- 4 Gutman, G. . Satellite daytime image classification for global studies of Earth's surface parameters from polar orbiters, *International Journal of Remote Sensing*, 1992, **13**(2), 209~234.
- 5 Gutman, G. . and Tarpley, D. ., Cloud screening for determination of land surface characteristics in a reduced resolution satellite data set, *International Journal of Remote Sensing*, 1987, **8**, 859~870.
- 6 Hall, Dorothy K. . and Jaroslav Martinec. Remote sensing of ice and snow, London, New York, Chapman and Hall, 189 p. GB240L. 72. R42H35 1985.
- 7 Baglio, J. V. . and Holroyd, E. W. III. Methods for operational snow cover area mapping using the Advanced Very High Resolution Radiometer, San Juan Mountains test study, USGS Research Technical Report, USGS/EROS Data Center, Sioux Falls, SD. . 1989.
- 8 刘玉洁、袁秀卿、张红, 用气象卫星资料监测积雪, 环境遥感, 1992, **7**(1), 24~31.

Remote Sensing on Snow Cover and Variation Analyzing in West of China

Liu Yujie, Zheng Zhaojun, and Wang Libo

(National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract The method that to extract the snow cover with AVHRR data is introduced to drive the results automatically based on multi-spectral analysis. The percent of snow cover in Xinjiang, Inner Mongolia, Qinghai, Xizang and Northeast of China are calculated by using short period of snow cover data. The characteristic of snow cover in the west of China and its variation are analyzed. It is the supplemental in snow cover analyzing for the lack of snow cover information observed regularly by weather stations in the west of China.

Key words: spectral characteristic; winter season; snow cover; variation analyzing