

## NOAA/ AVHRR 与 EOS/ MODIS 的积雪监测模式对比<sup>\*</sup>

麻旭辉<sup>1</sup>, 刘志辉<sup>1,2,3</sup>, 肖继东<sup>4</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 干旱半干旱地区可持续发展国际研究中心 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 教育部绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 4. 新疆维吾尔自治区气象局遥感中心, 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:** 积雪是地表覆盖的重要部分, 目前用于积雪监测的卫星主要是 EOS/ MODIS, NOAA/ AVHRR, FY 等。本文分别介绍了 EOS/ MODIS 及 NOAA/ AVHRR 的积雪监测模式。在 MODIS 的积雪算法中主要运用归一化差分积雪指数(NDSI)和反射率, 其中用 NDSI 来区分雪与云, 而 NOAA/ AVHRR 利用可见光波段和近红外波段的信息作为积雪监测的基础, 以此来区分高云、中云、低云和积雪, 然后从两种卫星在时空分辨率等方面做对比, 得出二者分别在积雪监测方面的优点和不足之处。

**关键词:** NOAA/ AVHRR; EOS/ MODIS; 积雪监测

**中图分类号:** P332

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)03-0220-03

## The Comparison Between NOAA satellite and MODIS in Snow Monitoring Mode

MA Xu-hui<sup>1</sup>, LIU Zhi-hui<sup>1,2,3</sup>, XIAO Ji-dong<sup>4</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. International Center for Desert Affairs-Research on Sustainable in Arid and Semi-arid Lands, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. Oasis Ecology Key Laboratory of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830046, China; 4. Remote Sensing Center, Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** Snow is a very important part on the earth. In China, the main satellites used for snow monitoring are EOS/ MODIS, NOAA/ AVHRR and FY serials meteorological satellites. This paper mainly introduces the mode of MODIS and NOAA/ AVHRR. The NDSI and Reflectivity are used in MODIS. And NDSI is used to divided snow from cloud. But the information of the light wave segment and near red and outside wave band is the foundation of the NOAA/ AVHRR. According to it, we can divide snow from high cloud, middle cloud, low cloud. After making comparison between NOAA and MODIS, we obtain the advantages and disadvantages in snow monitoring finally and make a theoretic base for snow monitoring.

**Key words:** NOAA satellites; MODIS; snow monitoring

积雪是地表覆盖的重要部分, 关于最早积雪情况的记录受资料限制已无从考证, 20 世纪以前有关积雪的资料主要来源于沿岸台站和船舶报告。20 世纪以来, 人类航运的发展、各种考察的需要以及科技进步带来的观测仪器和方法的改进使得关于积雪的数据资料逐渐丰富并完善起来。如今, 积雪监测研究获取数据的方式大致有地面观测站、船舶报告、机载模拟器和遥感卫星。运用遥感技术监测积雪, 使得积雪观测出现了质的飞跃<sup>[2]</sup>。

因为雪具有较高的反射率, 卫星遥感资料非常适合于积雪监测。因此, 我们从雪的光谱特征出发来研究不同卫星的积雪监测模式。近年来, 利用遥感技术监测积雪越来越广泛, 基于此, 本文综述了 MODIS 与 NOAA 在积雪监测方面的模式, 总结了两者之间存在的优缺点, 为在具体应用方面

提供了理论基础。

### 1 积雪的光谱分析

分析研究地物的光谱特征, 是遥感监测的重要前期工作。研究表明, 雪在波长 0.1 ~ 0.8  $\mu\text{m}$  光谱段的反射率较高, 在 0.2  $\mu\text{m}$  左右反射率在 80% 以上, 随着波长的增加反射率逐渐降低。云也具有以上的光谱特征(除了光学厚度较大的高云外), 反射率的值也和雪较接近。而在 1.55 ~ 1.75  $\mu\text{m}$  的近红外波段上, 云和雪的反射率有较大的差异, 在这一光谱范围内云反射来自太阳的辐射, 而积雪吸收太阳辐射是区分云、雪的理想光谱段。

典型的积雪有很高的可见光反射率, 它对太阳光谱反射率很强, 几乎达到全反射; 在蓝光波段的 0.49  $\mu\text{m}$  附近它有

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(70361001)

作者简介: 麻旭辉(1985 - ), 女, 在读研究生, 主要从事水文水资源及决策支持系统研究。E-mail: maxuhui0120 @163.com

通信作者: 刘志辉(1958 - ), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源及地理信息系统研究。E-mail: lzh @xju.edu.cn

一个反射峰,反射率高达 80 % 以上。然后反射率随着波长的增加而降低,在 1. 14 ~ 1. 26  $\mu\text{m}$ ,反射率急剧下降在近红外波段,雪的反射率继续下降,直至降到 20 % 左右(图 2)。

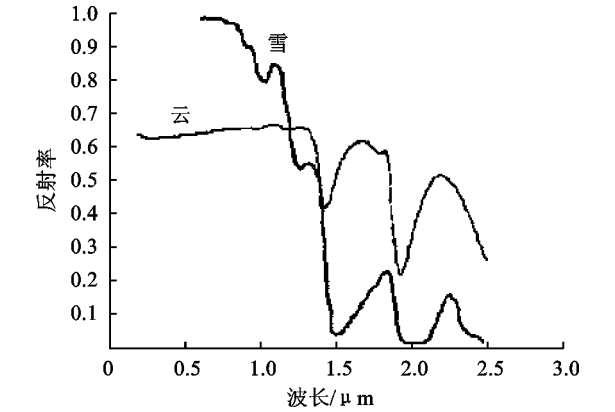


图 1 云、雪的光谱反射特性

2 MODIS 的积雪监测

2.1 关于 MODIS 的基本介绍

MODIS 的高光谱分辨率、高空间分辨率和高时间分辨率决定了它在地球资源观测中具有绝对的优势。MODIS 的第 4 通道(0. 543 ~ 0. 565  $\mu\text{m}$ )解决了积雪监测时的传感器饱和问题,是积雪测量的好波段,也是解决传感器积雪测量饱和问题的重要进展。MODIS 的扫描宽度为 2 330 km,覆盖范围很广,整个中国只需要 3 条数据就可全部覆盖,相对更高分辨率的遥感影像来说,更适合大范围的监测。MODIS 积雪产品的分辨率已达到 500 m,如表 1 所示。

表 1 MODIS 冰雪进行遥感的光谱通道和特征

通道	波谱/ $\mu\text{m}$	类型
1	0. 645	可见光
2	0. 865	近红外
4	0. 555	可见光
6	1. 640	中红外

2.2 MODIS 积雪监测算法

积雪监测算法 (Hall et al. ,1995 ; Klein et al. ,1998) 可用于对每条轨道、每 500 m 像元进行雪像元点的监测。MODIS 积雪制图算法是在分析 TM 影像的基础上,采用阈值技术划分积雪和其他目标的。TM 的积雪检测算法是根据积雪的波谱特性,即其具有很强的可见光反射和短波红外吸收的特性,选定了 2 个判别标准:归一化差分积雪指数(NDSI) 和一个近红外通道的反射率。

NDSI 用于鉴别雪和冰,并区分冰雪与大量积雪。它是基于雪对可见光与短红外波段的发射特性和反射差的相对大小的一种测量方法。NDSI 类似于归一化差分植被指数 (NDVI) (Tucker. 1979 , 1986 ; Townshend and Tucker , 1984)。

其 NDSI 计算公式如下:

$$\text{NDSI} = (\text{Visible} - \text{Near} - \text{IR}) / (\text{Visible} + \text{Near} - \text{IR}) \quad (1)$$

NDSI 是分辨雪和许多其他地表的有效方法,对于阳光下和阴影下的雪都能很好地监测出。

3 NOAA/ AVHRR 的积雪监测

3.1 NOAA/ AVHRR 的基本介绍

NOAA 卫星是太阳同步轨道业务卫星系列,亦采用双星运行体制,采用双星制后,观测周期可缩短至 0. 5 d (12 h),它们与 GOES 配合则构成完整的气象监测卫星系统。AVHRR 是 NOAA 搭载的主要遥感探测仪器之一。它拥有 5 个探测通道,星下点分辨率为 1. 1 km。

表 2 AVHRR 的波段特征

通道	波长/ $\mu\text{m}$	瞬时视角场/ mrad	特性用途
1	0. 58 ~ 0. 68	1. 39	可见光反射谱/ 白天云图
2	0. 72 ~ 1. 10	1. 41	近红外反射光谱/ 白天云图
3	3. 55 ~ 3. 95	1. 52	中红外混合光谱/ 夜间高温热源
4	10. 30 ~ 11. 30	1. 41	热红外发射光谱/ 日/ 夜间云图
5	11. 50 ~ 12. 50	1. 30	热红外发射光谱/ 日/ 夜间云图

NOAA/ AVHRR 资料拥有 5 个观测通道包括了从可见光到远红外的光谱范围,但这 5 个通道中并不含有区分云雪的理想波段 1. 55 ~ 1. 75  $\mu\text{m}$ 。目前许多云雪识别的研究多利用云和雪 AVHRR 通道 3 的反射和辐射率方面的差异,采用多通道信息复合技术。

3.2 NOAA/ AVHRR 的积雪监测模式

3.2.1 区分云雪和其它地物

积雪监测主要利用 AVHRR 资料可见光波段 (CH1 : 0. 58 ~ 0. 68  $\mu\text{m}$ ) 和近红外波段 (CH2 : 0. 725 ~ 1. 1  $\mu\text{m}$ ) 的信息。积雪在两个通道的光谱特征明显,即 CH1 反射率很高,其它地物 (除云、冰和沙漠以外) 的反射率一般低于 30 %,采用阈值法将积雪 (包含云) 与其它地物分开。阈值为 CH1 > 30 且 (CH1 - CH2) > 0。在 NOAA 16 的遥感影像的晴空图中,积雪检测的判据为:  $R_{3a} < 0. 2$  并且  $R_1 > 0. 27^{[6]}$ 。

3.2.2 区分高云和雪

在海拔地区常有中高云出现,在通常情况下,云顶温度比雪表面温度低。特别是高云尤为明显,所以区分高云和雪,相对而言比较容易且准确度较高。殷青军等根据刘玉洁等的研究,提出采用阈值法区分高云和雪:

$$T_{34} > T_{th} \quad T_4 < T \quad (1)$$

满足以上条件时,判定为高云。

式中:  $T_{th}$  和  $T$  ——亮温差和亮温阈值;  $T_{34}$  和  $T_4$  ——某像元点 CH3 与 CH4 的亮温差和 CH4 的亮温值。

3.2.3 区分中低云和积雪

中低云在 CH4 的亮温值一般小于积雪,而 CH3, CH4 的亮温差则大于积雪。经大量试验,得出以下几种较理想的判识因子。

式 (1) 中低云在 CH3, CH4 的亮温差比积雪的大, CH4 的亮温较积雪低,因此采用下面的判识因子:

$$T_{34} = T_3 - T_4 \quad T_{34} / T_4 > T \quad (2)$$

满足以上条件,判定为云。

式中:  $T$  ——判定阈值;  $T_{34}$  和  $T_4$  ——CH3, CH4 的亮温差和 CH4 的亮温。

式 (2) 中低云在 CH4, CH5 亮度值比雪的亮度值大,并且在 CH4, CH5 的亮温比雪小。根据此特点利用判识因子:

$$(D4 + D5) / (T4 + T5) > T \quad (3)$$

满足以上条件,判定为云。

式中:  $T$ ——判定阈值;  $D4$  和  $D5$ —— $CH4$  和  $CH5$  的亮度值;  $T4$  和  $T5$ —— $CH4$  和  $CH5$  的亮温值。这个判识因子在实际应用中只作为辅助,用于目视判读。

式(3)中低云的  $CH3$  的亮度值比雪略低,而在  $CH4$ 、 $CH5$  亮度值比雪大。所以,采用下式作判识因子:

$$(D4 + D5) / D3 > T \quad (4)$$

满足以上条件,判定为云。

式中:  $D4$ 、 $D5$ 、 $D3$ —— $CH4$ 、 $CH5$ 、 $CH3$  的亮度值。

实际应用中,由于卫星观测受大气、观测时间、信号衰减等影响以及云层复杂性的影响,很难确定统一的、固定的阈值。但按以上的判别因子,云和积雪有较明显的差异,通过多次试验,结合目视判读,可以依据当地的环境选择最佳阈值<sup>[4]</sup>。

#### 4 EOS/MODIS 仪器与 NOAA/AVHRR 卫星相比所具有的特点和优势

(1) 空间分辨率大幅提高。空间分辨率提高了一个量级,由 NOAA 的千米级提高到了 MODIS 的百米级。

(2) 时间分辨率有优势。一天可过境 4 次,对各种突发性、快速变化的自然灾害有更强的实时监测能力,适合于实时监测。

(3) 光谱分辨率大大提高。有 36 个波段,这种多通道观测大大增强了对地球复杂系统的观测能力和对地表类型的识别能力。

(4) EOS/MODIS 不是一个探测器,具有 NOAA/TOVS 的 HIRS 上的许多光谱通道,MODIS 虽缺少平流层探测器,但具有空间分辨率高、信噪比好的优势。

(5) 从积雪监测的算法来看,EOS/MODIS 也较 NOAA/AVHRR 简单,并且已经较为通用。

#### 5 评价

积雪卫星监测是以卫星作为空间平台,通过光电光谱传感器信息传输、接收、解译、发现并监测作为主要行为的航天遥感技术手段。

(1) EOS/MODIS 和 NOAA/AVHRR 气象卫星信息源都是面向全球的无偿信息源,具有周期短、密度高和多时相动态遥感的特殊能力。依靠地面接收站和处理手段,可获得对积雪监测准确度高、功能独特、成本低廉等效应,是目前建立积雪卫星监测系统主要的无可取代的航天遥感信息源。但 NOAA/AVHRR 卫星的星下点分辨率为 1.1 km,对于小范围的积雪监测还存在不足之处。适应于大尺度的宏观监测;EOS/MODIS 用于积雪检测的通道分辨率为 500 m,比起 NOAA/AVHRR 来说已经提高了很多,适应于中小尺度的中观监测。

(2) 典型积雪有很高的可见光反射率,它对太阳光谱反射率很强,几乎达到全反射,因此,通道的饱和度相对来说是一个传感器进行积雪检测的重要参数。EOS/MODIS 的通道设计使它具有足够大的动态范围,因此,在观测积雪时,它

的可见光通道是不会饱和的。EOS/MODIS 数据不仅可以提供反照率和温度信息,还可以进行提供逐日积雪变化监测图像,非常适合长时期、大范围的监测评价。

综上所述,EOS/MODIS 在光谱分辨能力、空间分辨能力、逐日积雪变化监测评价能力上具有较 NOAA/AVHRR 更为明显的优势。

#### 6 验证

本文以军塘湖为研究区,依据 MODIS 和 NOAA-16 的遥感影像做了初步验证。

主要技术流程如下:(1) 选择符合要求的晴空遥感影像;(2) 在 ENVI 4.0 支持下,完成影像的矫正和积雪信息提取;(3) 将提取出的积雪图在 ENVI 4.0 下转换为 ARCVIEW 支持的“.shp”格式;(4) 在 ARCVIEW GIS 3.3 下完成积雪面积的计算,并保存图像,设计计算结果表格。

军塘湖所辖面积为 833.57 km<sup>2</sup>。其中,图 2 中 a、b、c、d 为 NOAA 的积雪雪盖信息。图 3 中 a'、b'、c'、d' 为 MODIS 的积雪雪盖信息。研究区 24-27 日为积雪期,所得雪盖面积 MODIS 大于 NOAA。而图 c、d、c'、d' 为融雪期,得出的雪盖面积 MODIS 为 328.44 和 37.58 km<sup>2</sup>,NOAA 分别为 352.13 和 91.10 km<sup>2</sup>,这可看出在融雪期 MODIS 所得出的结果要比 NOAA 更精确些,在融雪期间,NOAA 在积雪识别上要比 MODIS 有所下降,通过数据初步推断,MODIS 在小尺度区域的积雪监测要比 NOAA 具有优势,适合中尺度的积雪监测,尤其在小区域地区融雪期时,MODIS 在积雪监测时较为适用。由于资料有限及研究区云的影响,结果也许还有待于继续验证。而两者之间具体的误差需要另一参照物,从而得出两者存在的精确差距,可以做进一步的研究。

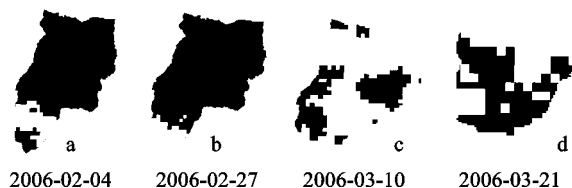


图 2 NOAA-16 2006 年雪盖图

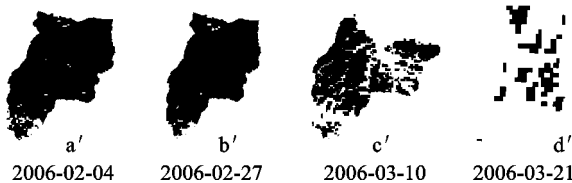


图 3 MODIS 2006 年雪盖图

表 3 NOAA 与 MODIS 雪盖面积

日期	NOAA		MODIS	
	积雪面积/ km <sup>2</sup>	面积百分比	积雪面积/ km <sup>2</sup>	面积百分比
2006-02-24	734.90	88.16 %	800.20	95.00 %
2006-02-27	768.84	92.23 %	813.34	97.58 %
2006-03-10	352.13	42.24 %	328.44	39.40 %
2006-03-21	91.10	10.93 %	37.58	4.51 %

(下转第 225 页)

4.2 应用实例解析与结论

为了对经过治理后的丹东市整体的流域现状做比较分析,特将其境内的河流分为五大流域,即:大沙河、暖河、隶属鸭绿江的其他支流、大洋河、隶属辽东半岛入黄海的河流其他支流。详细情况如表 1 所示。

依据前述步骤依次操作,获取最优解(表 2 和图 2)。

由图 2 可知,最优解的编码为  $x_i = (11111, 1111,$

$11111)^T$ ,进而可求出相似度距离值(表 3)。

由此,可以得出以下结论:

从水土保持综合效益上可以看出,大沙河 > 隶属辽东半岛入黄海的河流其他支流 > 暖河 > 大洋河 隶属鸭绿江的其他支流。

同时,可以明确以后治理的重点是隶属鸭绿江的其他支流与大洋河。

表 2 初始群体产生示例

个体编号	初始群体 $P(0)$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$f_i(x_1, x_2, x_3)$	$f_i / f_i$
大沙河	11110111011110	30	14	30	74	0.4
暖河	11001000101010	25	1	10	37	0.2
鸭绿江支流	01001000101001	9	1	9	19	0.1
大洋河	00001101100010	1	11	2	14	0.08
入黄海支流	00001110111011	1	13	27	41	0.22

注:  $f_i = 185, f_{\max} = 74, f = 37$ 。

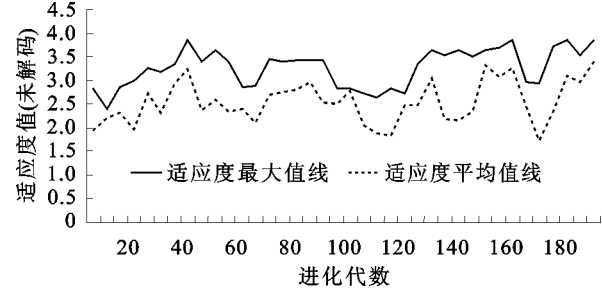


图 2 进化图谱

表 3 相似度距离值列表

样本个体	大沙河	暖河	鸭绿江支流	大洋河	入黄海支流
相似度距离值	3	8	9	9	6

5 小 结

计算结果与辽宁省卫星遥感影像观测结果推出的结论基本一致,这表明:采用遗传算法与欧氏距离判别法相结合的方法在评价水土保持综合效益上具有可行性,而且较好地

克服了主观性,从而使结果更加客观公正。

参考文献:

[1] 陈维杰. 浑椿河小流域综合治理效益分析[J]. 水土保持通报,1999,19(6):53-59.

[2] 林积泉. 小流域环境治理评价方法研究[J]. 中国水土保持,2004(1):21-22.

[3] 康玲玲. 水土保持生态效益评价方法探讨[J]. 中国水土保持,2004(9):22-24.

[4] 古丽奴儿. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):80-95.

[5] 李敏强,寇纪淞. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2002.

[6] 李智广. 小流域综合治理效益评价方法刍议[J]. 水土保持通报,1998,18(5):19-23.

[7] 林积泉,王伯铎. 小流域综合环境质量综合评价指标体系研究[J]. 水土保持研究,2005(2):69-71.

[8] 李忠魁. 黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究[J]. 生态学报,1998,18(3):241-247.

(上接第 222 页)

参考文献:

[1] 刘玉洁,杨忠东. 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社,2002.

[2] 曾严,鄯俊洁. MODIS 数据在积雪检测中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2005,28(6):97-99.

[3] 刘玉洁,王丽波,刘诚,等. 卫星遥感雪灾监测与分析[M]. 牧区雪灾的分析研究. 北京:气象出版社,1998:100-102.

[4] 殷青军,杨英莲,徐维新. NOAA 卫星资料云雪识别方法的研究[J]. 高原气象,2002,21(5):526-528.

[5] 郭艳君,翟盘茂,李威. NOAA 卫星遥感与常规观测中国积雪的对比研究[J]. 冰川冻土,2004,26(6):756-760.

[6] 延昊. NOAA16 卫星积雪识别和参数提取[J]. 冰川冻土,2004,26(3):369-373.