

基于遥感数据的渤海海冰面积提取订正模型研究

国巧真¹, 顾卫¹, 孙从容², 金会义³, 李京¹

(1. 北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所, 北京 100875; 2. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081; 3. 北京清华亚王液晶材料有限公司, 北京 101500)

摘要:为了获取准确的海冰信息,利用高空间分辨率和高时间分辨率数据相结合的方法来测算海冰面积,在假设 TM 海冰面积是比较准确的前提下,用 TM 海冰面积来订正 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积,以提高这两种高时间分辨率遥感资料对海冰面积的判别精度。选取 2003 年 2 月 5 日的 TM、MODIS 和 NOAA/AVHRR 数据,在这 3 个图像上分别选择 20 个样本,然后进行了海冰面积的线性回归分析,得到的海冰面积提取订正模型。并分别以此两种模型为基础,对 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 26 日和 2005 年 2 月 1 日至 2 月 11 日冬季渤海海冰面积进行修正,并将由 MODIS 和 NOAA/AVHRR 提取的海冰面积、用模型订正后和国家海洋环境预报中心给出的海冰面积做了详细的比较。结果表明:线性回归可以提高海冰信息的提取精度。此研究为海冰防灾减灾和海冰资源量估算提供依据。

关键词:遥感;海冰;TM;MODIS;NOAA/AVHRR

中图分类号:P731.15;P722.4;TP7

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2008)08-0070-06

海冰面积是海冰资源开发利用的重要信息,海冰面积信息的获取及其精度估算却一直是值得探讨的问题。李万彪、史培军、谢锋等^[1-3]在海冰信息提取方面进行了一些研究工作。我国渤海海冰面积信息获取的主要手段有常规方法和遥感方法^[4]。常规方法虽然可以较详细地获取冰型、冰厚等信息,但受时间、地点、工作条件等限制,无法快速获取大范围海冰面积分布的信息^[5]。遥感方法特别是卫星遥感技术^[6]虽然可以快速获取大范围海冰面积分布的信息,但由于时间分辨率和空间分辨率的限制,所得到的海冰面积信息存在一定的误差。作者将利用 Landsat/TM, MODIS 和 NOAA/AVHRR 三种遥感影像数据,建立基于 MODIS 和 NOAA/AVHRR 数据的渤海海冰面积订正模型,并对用这两种遥感数据估算的渤海海冰面积精度进行分析。

1 问题的提出

海上防灾减灾和海冰资源开发对渤海海冰面积估算的要求主要有两方面,一是现状中的海冰面积信息,二是历史上的海冰面积信息。对于现状信息更侧重于实时快速,对于历史信息更侧重于时间序列。受气象和海流的影响,渤海海冰处在不断运动之中,尽管固定冰区的海冰可近似看成是相对静止的,但对渤海来说,固定冰区只是存在于沿岸地区,绝大部分冰区的海冰是在不断运动的,因此在整体上,渤海海冰的面积是一个不断变化的量。无论是遥感数据还是地面观测数据,它所反映的海冰面积

严格说来只是卫星通过或人工观测那一瞬间的面积,在当前的技术水平和观测能力的条件下,绝对准确的海冰面积是难以得到的。由于没有可供参考的绝对准确的海冰面积,因此不同方法对海冰面积的估算误差,更多的取决于原始观测资料的精度。

目前,卫星遥感资料对于获取整个渤海的海冰面积信息是最适合的。尽管卫星遥感资料的种类有很多,但从获取的可能性和便捷性来说,能够用于实际研究或业务化运行的,主要还是 Landsat/TM, MODIS 和 NOAA/AVHRR 这三种遥感影像数据。TM 影像属于高空间分辨率,在海冰面积观测资料中精度较高,从 TM 数据中提取出的海冰面积信息,可以近似地看作是相对准确的数据,能用它来比较从其他遥感资料中提取出的海冰面积信息的精度。但 TM 资料时间分辨率低、周期长,且价格昂贵,难以用来进行实时监测。NOAA/AVHRR 影像时间分辨率高,资料获取容易,可以用来对整个渤海海区的海冰面积变化进行实时监测,并且具有较长的时间序列,最早的资料可以追溯到 20 世纪 80 年代,但 NOAA/AVHRR 资料空间分辨率虽然低,用于提取局部海区的海冰面积信息时,往往把冰水的边缘区和冰间水道、冰间湖误判为冰,从而夸大了实际的海

收稿日期:2006-12-06;修回日期:2008-05-12

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40335048)

作者简介:国巧真(1979-),女,河北武邑人,博士研究生,主要从事海冰遥感与资源利用的研究, E-mail: gqiaozhen@ires.cn

冰面积。MODIS 影像也具有高时间分辨率,其空间分辨率虽然高于 NOAA/AVHRR 影像,但还是低于 TM 影像,属于中等空间分辨率,用 MODIS 数据提取海冰面积时,也存在着误判的倾向,而且 MODIS 资料时间较短,最早的资料只是 2000 年,只能用于实时监测或分析近几年的海冰面积变化,不能用于研究历史上的海冰面积特征。

从以上分析可知,对于渤海海冰面积遥感估算研究来说,这 3 种遥感数据各有长短,只有把它们在时间分辨率和空间分辨率上各自的优势结合起来,才能满足海冰防灾减灾和海冰资源开发对海冰面积估算的要求。作者把这种结合方式设计为建立 TM 海冰面积与 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积之间的对应关系,在假设 TM 海冰面积是比较准确的前提下,用 TM 海冰面积来订正 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积,以提高这两种高时间分辨率遥感资料对海冰面积的判别精度,从而建立起长期的、连续的、有一定精度的渤海全区海冰面积的数据序列。对于 2000 年之前的海冰面积,通过用 TM 来订正 NOAA/AVHRR 数据得到,对于 2000 年之后的海冰面积,通过用 TM 来订正 MODIS 数据得到,因此,如何建立起基于 TM 资料的 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积订正模型,成为本文研究的核心内容。

2 渤海海冰面积订正模型的建立

2.1 数据源

本文所用到的 Landsat/TM 影像数据为 Landsat 5 卫星遥感数据,第 1,2,3,4,5,7 波段的空间分辨率为 30 m,第 6 波段的空间分辨率为 120 m,数据来自中国遥感卫星地面站。MODIS 的空间分辨率 CH1~2 为 250 m;CH3~7 为 500 m,其余为 1 000 m;

NOAA/AVHRR 的空间分辨率是 1.1 km^[7],这两种数据来自中国气象局和国家海洋局。研究区空间地理坐标为:37.10°~41.07°N,117.53°~122.27°E,用于建立海冰面积订正模型的遥感资料是 2003 年 2 月 5 日的 TM,MODIS 和 NOAA/AVHRR。

2.2 方法

在 ERDAS IMAGINE 8.5 和 Arc/Info 9.0 软件的支持下,对三幅图像分别进行了地理校正、几何校正。在进行地理校正时,三种数据采取了相同的投影方式,均为地球投影(经纬度投影)。从遥感影像中提取海冰面积分为三个步骤,一是进行海陆分离,即先把陆地信息部分从遥感数据中切除,此项工作是在 GIS 技术的支持下实现的,切除后的遥感数据只剩下海面部分,使遥感数据得到简化。二是进行冰水分离,即利用海冰和海水在反射光谱上的差异将彼此分开。三是统计海冰面积。

为建立 TM 资料对 MODIS 和 NOAA/AVHRR 资料的订正关系,在三幅图像上分别选择 20 个相同的区域,其中一个样本如图 1~3 所示。从图上可以看出,不同空间分辨率影像所反映冰区和冰区边缘是截然不同的,TM 样本的冰区及其边缘是最清晰的,MODIS 样本次之,NOAA/AVHRR 样本冰区及其边缘非常模糊,很容易产生将冰间水道和冰间湖判别为冰区。计算 20 个样本区域海冰面积值,其结果如表 1 所示。用 MODIS 数据提取海冰面积比用 NOAA/AVHRR 数据提取时的相对误差小,用 NOAA/AVHRR 数据提取海冰面积的平均相对误差是 87.66%,而用 MODIS 数据提取海冰面积的平均相对误差是 23.91%,说明在提取海冰面积时,MODIS 数据可以得到更精确的值。TM 海冰面积对 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积的订正关系通过线性回归方法得到,整个分析过程见图 4。



图 1 NOAA 影像样本
Fig. 1 Sample of NOAA image

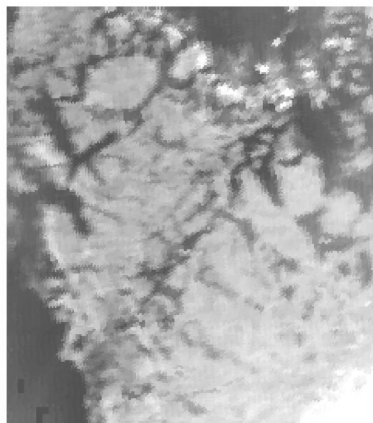


图 2 MODIS 影像样本
Fig. 2 Sample of MODIS image

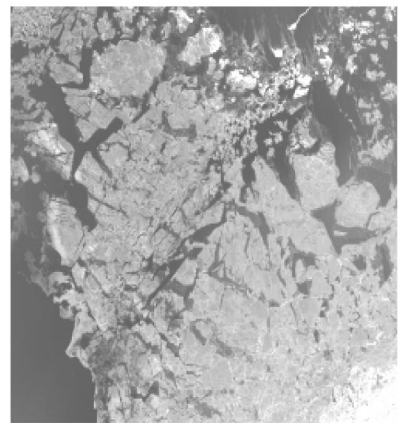


图 3 TM 影像样本
Fig. 3 Sample of TM image

表 1 渤海海冰样本面积值

Tab. 1 Sea-ice area of sample in the Bohai Sea

样本	海冰样本面积 (km ²)			NOAA/ AVHRR 的 相对误差 (%)	MODIS 的相 对误差 (%)
	NOAA/ AVHRR	MODIS	TM		
1	712.00	612.56	516.06	37.97	18.70
2	634.00	415.13	331.29	91.37	25.31
3	519.00	378.63	276.06	88.00	37.15
4	918.00	730.63	680.13	34.97	7.43
5	927.00	868.25	820.21	13.02	5.86
6	460.00	325.13	225.71	103.80	44.05
7	198.00	40.69	18.90	947.62	115.29
8	957.00	926.19	835.77	14.51	10.82
9	650.00	558.31	471.06	37.99	18.52
10	614.00	486.69	372.96	64.63	30.49
11	543.00	380.31	287.85	88.64	32.12
12	1 015.00	997.75	805.44	26.02	23.88
13	1 261.00	1 039.06	952.77	32.35	9.06
14	1 565.00	1 336.81	1 177.25	32.94	13.55
15	1 817.00	1 620.88	1 379.81	31.68	17.47
16	2 142.00	1 984.38	1 861.12	15.09	6.62
17	2 546.00	2 431.88	2 256.08	12.85	7.79
18	3 014.00	2 765.75	2 171.53	38.80	27.36
19	3 069.00	2 884.63	2 553.79	20.17	12.95
20	3 408.00	3 207.31	2 819.83	20.86	13.74
平均相对误差 (%)				87.66	23.91

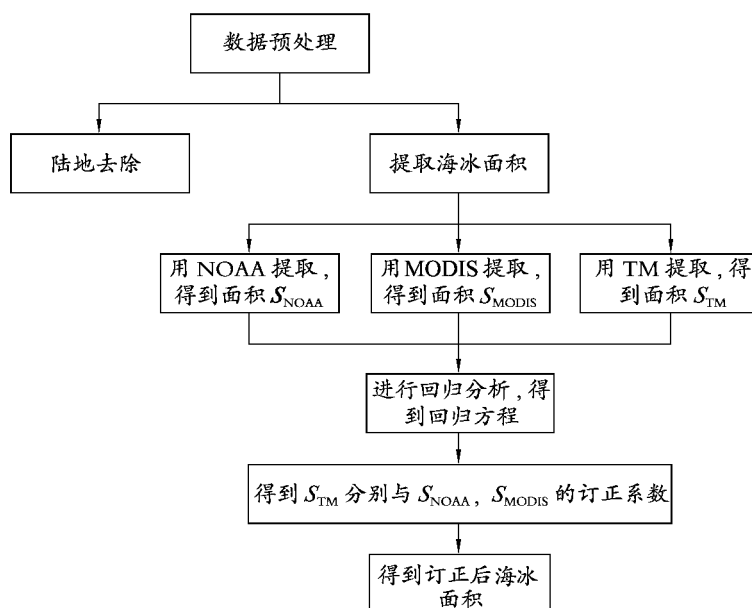


图 4 渤海海冰面积提取及精度订正流程示意图

Fig. 4 Flow drawing of extraction and revising about precision for sea-ice area in the Bohai Sea

2.3 TM 海冰面积对 MODIS 和 NOAA/AVHRR 海冰面积的订正关系

利用 TM 数据与 MODIS, NOAA 进行线性回归分析, 对由 TM 算得的海冰面积与由 MODIS, NOAA 求得的面积值的散点利用最小二乘法进行拟合, 拟合程度用相关系数 R^2 代表。得到的线性回归方程为: 由 NOAA 和 TM 回归分析得到 $S_{TM} =$

$0.86S_{NOAA} - 116.24$, R^2 为 0.98, 其中 S_{TM} 为由 TM 得到的海冰面积值, S_{NOAA} 为由 NOAA 得到的海冰面积值; 由 MODIS 和 TM 回归分析得到 $S_{TM} = 0.88S_{MODIS} - 17.70$, R^2 为 0.99, 其中 S_{TM} 为由 TM 得到的海冰面积值, S_{MODIS} 为由 MODIS 得到的海冰面积值。散点拟合结果如图 5 和图 6 所示。

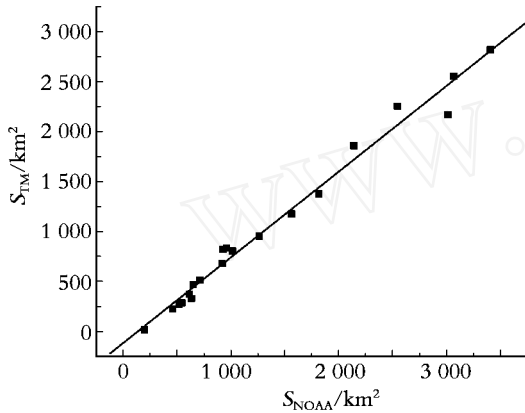


图 5 NOAA 与 TM 线性回归

Fig. 5 Linearity regression of NOAA and TM

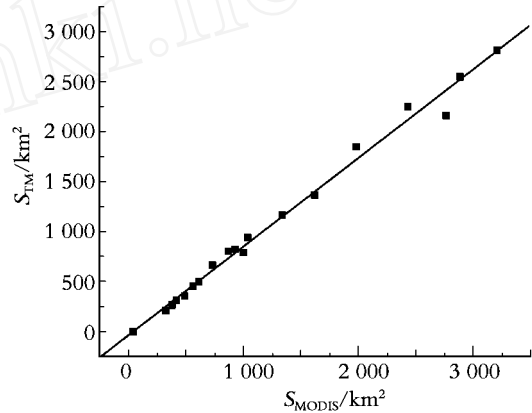


图 6 MODIS 与 TM 线性回归

Fig. 6 Linearity regression of MODIS and TM

2.4 结果比较

2.4.1 NOAA/AVHRR 数据提取海冰面积比较

用建立的模型对 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 26 日冬季渤海海冰面积值做了修正, 初算海冰面积是由 NOAA/AVHRR 数据提取出来的, 利用模型 $S_{TM} = 0.86S_{NOAA} - 116.24$, 得到订正后海冰面积值, 见表 2。从此表可以看出, 除 12 月 8 日和 12 月 12 日外, 其他时间国家海洋环境预报中心海冰面积的相对误差明显小于初算海冰面积的相对误差, 这是

因为用 NOAA/AVHRR 数据提取海冰面积误差很大, 而国家海洋环境预报中心用 MODIS 等数据来进行结冰范围的确定, 用模型订正后的数据精度明显提高。图 7 是国家海洋环境预报中心给出的 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 27 日冬季渤海海冰范围演变图^[10], 图 8 是用 NOAA/AVHRR 数据初算的国家海洋环境预报中心所得的和用模型订正后的海冰面积对比。

表 2 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 26 日冬季渤海海冰面积

Tab. 2 The sea-ice area in the Bohai Sea in winter from December 8, 2002 to February 26, 2003

日期 (月-日)	由 NOAA/AVHRR 初算 海冰面积 (km ²)	预报中心所得 海冰面积 (km ²)	订正后 海冰面积 (km ²)	初算面积相 对误差 (%)	预报中心所得面积 相对误差 (%)
12-08	3 500.53	2 100.00	2 894.22	20.95	27.44
12-09	4 071.65	3 000.00	3 385.38	20.27	11.38
12-11	4 808.54	3 500.00	4 019.10	19.64	12.92
12-12	4 785.55	3 100.00	3 999.33	19.66	22.49
12-31	1 1985.05	11 000.00	10 190.90	17.61	7.94
01-07	2 2077	18 000.00	18 869.98	17.00	4.61
02-16	8 138.46	8 000.00	6 882.84	18.24	16.23
02-18	8 299.39	7 100.00	7 021.24	18.20	1.12
02-19	7 505.63	6 900.00	6 338.60	18.41	8.86
02-26	5 371.19	4 000.00	4 502.98	19.28	11.17
平均相对误差 (%)				18.93	12.42

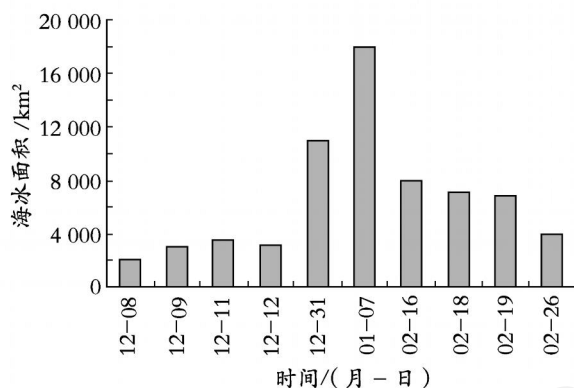


图 7 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 27 日冬季渤海海冰范围演变图

Fig. 7 Evolutive chart of range about sea-ice area in the Bohai Sea in winter from December 8, 2002 to February 27, 2003

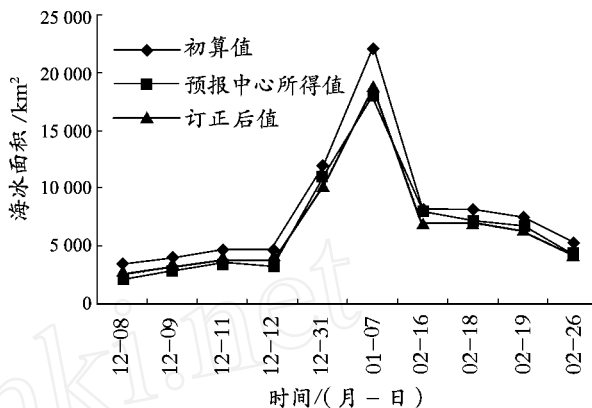


图 8 海冰面积对比

Fig. 8 Comparison of sea-ice areas

2.4.2 MODIS 数据提取海冰面积比较

用建立的模型对 2005 年 2 月 1 日至 2 月 11 日冬季渤海海冰面积值做了修正,初算海冰面积分别是由 MODIS 数据提取出来的,利用模型 $S_{TM} = 0.88S_{MODIS} - 17.70$,得到订正后海冰面积值,见表 3。从此表可以看出,预报中心海冰面积的相对误差明

显小于初算海冰面积的相对误差。图 9 是国家海洋环境预报中心给出的 2005 年 2 月 1~11 日冬季海冰总面积演变对比图^[8]。图 10 是用 MODIS 数据初算海冰面积、国家海洋环境预报中心和用模型订正后的面积对比(表 3 和图 10 中初算面积是由 MODIS 数据提取的海冰面积值)。

表 3 2005 年 2 月 1 日至 2 月 11 日冬季渤海海冰面积

Tab.3 The sea-ice area in the Bohai Sea in winter from February 1, 2005 to February 11

日期 (月-日)	由 MODIS 初算海 冰面积 (km ²)	预报中心所得 海冰面积 (km ²)	订正后海冰面积 (km ²)	初算面积 相对误差 (%)	预报中心所得面积 相对误差 (%)
02-01	21 655.98	19 000.00	19 039.57	13.74	0.21
02-02	22 024.16	20 000.00	19 363.56	13.74	3.29
02-11	24 973.5	22 600.00	21 959.00	13.73	2.92
平均相对误差 (%)				13.74	2.14

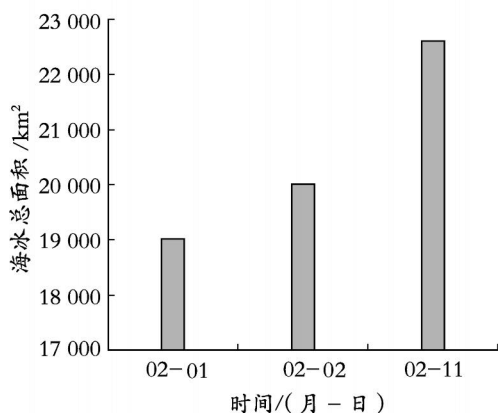


图 9 2005 年 2 月 1 日~2 月 11 日冬季海冰总面积演变对比
Fig. 9 Evolutive chart of range about sea-ice area in the Bohai Sea in winter from February 1 to February 11, 2005

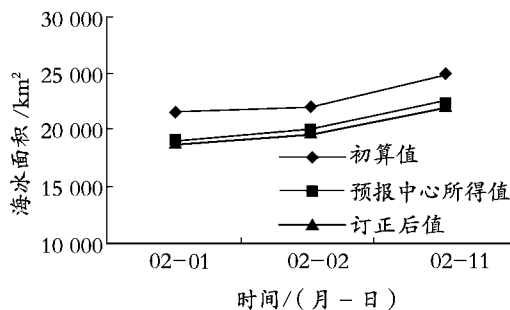


图 10 海冰面积对比

Fig. 10 Comparison of sea-ice areas

3 结论

基于 TM、MODIS 和 NOAA/AVHRR 三种数据建立了渤海海冰面积提取订正模型。用此方法可以提高 NOAA/AVHRR 和 MODIS 海冰面积估算精度,因此,本文得到的海冰面积提取订正模型是可

行的。利用所建立的渤海海冰面积提取订正模型对 2002 年 12 月 8 日至 2003 年 2 月 26 日由 NOAA/AVHRR 数据提取的海冰面积进行了订正,并对初算、订正后和国家海洋预报中心海冰面积进行了比较,初算海冰面积的平均相对误差是 18.93%,国家海洋预报中心海冰面积的平均相对误差是 12.42% (以订正后海冰面积为基准),即国家海洋环境预报中心海冰面积更接近于订正后的海冰面积。此模型提高了海冰面积的提取精度,对于研究海冰的历史资料是很有意义的。利用此模型对 2005 年 2 月 1 日至 2 月 11 日冬季渤海海冰面积值进行了订正,并对初算、订正后和国家海洋预报中心海冰面积进行了比较,结果显示国家海洋环境预报中心海冰面积的相对误差小于初算海冰面积的相对误差(以订正后海冰面积为基准),即国家海洋环境预报中心海冰面积更接近于订正后的海冰面积。国家海洋预报中心把 MODIS 遥感资料用于数值预报相对来说是比较准确的,如果应用此方法将会进一步提高海冰提取的精度。

参考文献:

[1] 李万彪,朱元竞,赵柏林. GMS 红外通道实时资料遥感

海冰的研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版),1997,33(1):53-61.

[2] 史培军,范一大,哈斯,等. 利用 AVHRR 和 MODIS 数据测算海冰资源量 [J]. 自然资源学报,2002,17(2):138-143.

[3] 谢锋. 高时间分辨率遥感影像中渤海海冰信息的提取研究 [D]. 北京:北京师范大学,2006. 18-69.

[4] Myers J. Airborne, optical remote sensing of methane and ethane for natural gas pipeline leak detection [J]. *Technical Report*, 2004, 1-43.

[5] Hunke E, Zhang Y. Comparison of elastic-viscous-plastic and viscous-plastic dynamics models using a high resolution Arctic sea ice [J]. *Technical Report*, 1997, 1-6.

[6] Stramski D, Reynolds R, Kahru M, *et al.* Estimation of Particulate organic carbon in the ocean from satellite remote sensing [J]. *Science Magazine*, 1999, 255: 239-242.

[7] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京:科学出版社,2004. 81-102.

[8] 李春花,刘煜,白珊,等. 2004~2005 年度冬季渤海海冰数值预报 [J]. 海洋预报,2006,23(1):1-8.

Study on the revised model for extraction of sea-ice area in the Bohai Sea based on remote sensing data

GUO Qiao-zhen¹, GU Wei¹, SUN Cong-rong², JIN Hui-yi³, LI Jing¹

(1. Institute of Resources Technology and Engineering, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China; 3. Beijing Tsinghua Yetop Liquid Crystal Materials Company, Limited, Beijing 101500, China)

Received :Dec. ,6,2006

Key words :remote sensing; sea-ice; TM; MODIS; NOAA/ AVHRR

Abstract :At present, it is still worth discussing on how sea-ice area is surveyed precisely. The sea-ice area is surveyed with the combinative method of the high spatial resolution and the high temporal resolution data in this paper. MODIS and NOAA/ AVHRR sea-ice areas are revised by TM sea-ice area under the premise of supposing TM as the relatively accurate data, which can enhance the distinction precision of these two kinds of high temporal resolution remote sensing data for sea-ice area. TM, MODIS and NOAA/ AVHRR on February 5, 2003 are selected in this paper, and 20 samples are chosen on these three images separately, then the linear regression analysis of sea-ice area is carried out. The models of extraction and revising about sea-ice area are obtained. The sea-ice area in the Bohai Sea from December 8, 2002 to February 26, 2003 and from February 1, 2005 to February 11 is revised on the base of these two kinds of models respectively. And the sea-ice areas extracted by MODIS and NOAA/ AVHRR, revised with the models and the sea-ice areas given by national marine environment forecast center are compared detailedly. The result shows that the linear regression can improve the accuracy of extraction. This research can provide a basis for prevention and reduction of disaster and resource estimation about sea-ice.

(本文编辑:刘珊珊)