

中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图象质量评价

张霞 张兵 赵永超 童庆禧 郑兰芬

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 基于中国资源卫星应用中心提供的中巴地球资源一号卫星红外多光谱扫描仪(IRMSS)4个波段零级图象数据,首先综合运用各种有效方法进行了图象预处理(包括错位纠正、辐射校正、去噪声、清晰化、几何精校正等),然后在此基础上选择图象信噪比、地面分解力、清晰度、辐射精度、反差等5个指标对图象进行了全面的质量评价。研究分析表明,中巴地球资源一号卫星IRMSS图象某些波段的清晰度和反差稍好于TM,但在图象信噪比、地面分解力、清晰度等方面与TM相比尚有差距;通过图象灰度平衡、清晰化和数据融合等处理,中巴地球资源一号卫星IRMSS数据仍有很大的图象改善空间,并在国土资源调查、城市规划等诸多领域有着广泛的应用前景。

关键词 中巴地球资源一号卫星 IRMSS 地面分解力 清晰度 信噪比 反差 辐射精度

中图分类号: TP751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)06-0581-06

Image Quality Assessment for the Infrared Multi-Spectral Scanner of the Chinese-Brazil Earth Resources Satellite

ZHANG Xia, ZHANG Bing, ZHAO Yong-chao, TONG Qing-xi, ZHENG Lan-fen

(Laboratory of Remote Sensing Information Science, Institute of Remote Sensing Applications,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract Engineering analyses to assess image data quality are described and results are presented for the infrared multispectral scanner (IRMSS) of No. 1 Chinese-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-1), which was launched on October 14, 1999. Data from CBERS-1 IRMSS and Thematic Map are compared. Based on the zero-level image acquired by CBERS-1 IRMSS on March 23, 2000, pre-processing was carried out, including radiation correction, noise cleanness, etc. Then a comprehensive assessment was conducted by five criterions such as signal/noise ratio (SNR), spatial resolution, contrast, radiometric precision and clarity. In comparison with TM. Bands 8 and 9 of CBERS-IRMSS had better clarity, Bands 6 and 7 had better contrast, Band 8 had better radiance precision. However, TM was found to produce image with much better SNR and spatial resolution. In addition, by image enhancement processing such as data fusion, the image quality can be improved greatly, and will be widely used in many fields such as resource survey and city plan.

Keywords CBERS-1, IRMSS, Spatial resolution, Clarity, SNR, Contrast, Radiometric precision

0 引言

1999年10月14日,我国与巴西联合研制,也是我国的第一颗地球资源卫星——中巴地球资源一号卫星(CBERS-1)发射成功并进入预定的轨道,自此,大量的卫星数据源源不断地传向地面,这标志着

我国的空间遥感应用进入了一个崭新的阶段,我国从此结束了没有自己的资源卫星的历史.为了切实应用好这宝贵的卫星资源,目前急需对卫星数据的质量和潜力给以客观的评价,为应用提供指南.本文仅就CBERS-1携带的传感器之一——红外多光谱扫描仪(IRMSS)获取的4个波段图象数据,从图象信噪比、地面分辨率、清晰度等方面进行比较全

面的定量评价,并对应用潜力进行了分析。

1 中巴地球资源一号卫星数据说明

研究使用的数据是由中巴地球资源一号卫星(CBERS-1) IRMSS 传感器于2000年3月23日获取的一景零级图象,轨道编号为1,像幅编号为56。图象共有4个波段,即1个全色波段(B_6 : 0.50~0.90 μm),2个短波红外波段(B_7 : 1.55~1.75 μm , B_8 : 2.08~2.35 μm),1个热红外波段(B_9 : 10.40~12.50 μm);图象覆盖区地处冀中保定—廊坊地区,经纬度范围为115°13'44"E~116°51'32"E,38°32'25"N~39°48'19"N;星下点分辨率:6、7、8波段为77.8m,9波段为156m;图象大小:6、7、8波段为1712×1536pixels,9波段为864×768pixels,地面幅宽为119km。

2 数据处理

数据预处理工作分错位校正、辐射校正、噪声滤除(包括去条纹、条带噪声,随机噪声等),另外,对图象还进行了直方图修正、数据融合等增强处理。

2.1 错位校正

IRMSS 系统在通过扫描镜前向和后向振荡扫描来获取地物辐射能量实现成像的过程中,由于前、后扫描速率不同及卫星姿态的不一样等原因,可能导致图象扫描带间或扫描线间的错位等畸变现象,必须予以校正。

(1) 扫描线配准

在6、7、8波段原始图象上奇偶扫描带间(8行为一扫描带)有约172个像元的位置错动,9波段原始图象的奇偶扫描带间(4行为一扫描带)有84个像元的位置错动,因此处理时,以奇数扫描带为基准,将偶数扫描带向左平移相应的错动像元数,即可完成扫描带的配准。在经扫描带配准后的图象上,奇偶扫描线间还存在2个像元的位置错动,处理方法与扫描带配准类似,即以奇数扫描线为基准,对偶数扫描线向左平移2个像元。

(2) 扫描非线性配准

经过扫描线配准后的图象上还存在奇偶扫描带间的细微错动,处理方法是以前数扫描带为基准,在相邻的偶数扫描带上选取多个控制点,建立奇偶扫描带间的位置关系,把偶数扫描带校正到与奇数扫

描带配准的位置上。配准公式为:

$$Y = 1E - 05X^2 + 0.9924X - 0.2818$$

(X, Y 分别为奇、偶扫描带的列坐标)

2.2 辐射校正

由于没有设定合适的辐射定标场,这里仅对图象进行了相对定标。通过相对定标可以消除图象的边缘辐射现象,并且也有利于波段间的辐射匹配。IRMSS 6、7、8波段以定标灯为内定标源,而9波段则以高低温黑体为内定标源,辐射定标过程须区别对待,具体作法如下:

(1) 前3个波段:定标灯的输出值分为4个级别,即最大可能输出(这里设定为255)的100%,66%,33%和0%。在定标图象上,对每个级别选取比较均匀稳定的区域,提取出10~20个连续亮条,每个亮条为8行,其分别对应8个探测器,对每个行取平均得到8个值,4个级别共32个值,由每个探测器的4个定标值可拟合一条定标曲线,共获得8条曲线,来对相应图象逐探测器行进行定标。表1给出了7波段的定标公式,可见定标曲线均为显著线性关系,相关系数 R^2 均大于0.99。

表1 CBERS-1 IRMSS7 波段图象定标公式

探测器号	标定公式	R^2
1	$y = 1.3653x + 5.5852$	0.9953
2	$y = 1.2893x + 6.3278$	0.9911
3	$y = 1.3263x + 7.0476$	0.9923
4	$y = 1.2746x + 6.4235$	0.9942
5	$y = 1.3181x + 6.7318$	0.9934
6	$y = 1.2622x + 6.7227$	0.9941
7	$y = 1.3347x + 3.8333$	0.9931
8	$y = 1.2506x + 6.7928$	0.9929

(2) 第9波段:基于普朗克函数在一定温度范围内近似为线性关系的原理,根据星上配备的高低温黑体的两组温度和DN(Digital number)值,可以逐波段、逐像元地将DN值转换为像元亮度温度值。转换公式为

$$T_{ij} = \frac{1}{DN_{BB_2}(i) - DN_{BB_1}(i)} [(T_{BB_2} - T_{BB_1}) \times DN_{ij} + DN_{BB_2}(i) \times T_{BB_1} - DN_{BB_1}(i) \times T_{BB_2}]$$

其中, T_{ij} 为某波段图象上*i*行、*j*列像元亮度温度值(K); $DN_{BB_2}(i)$, $DN_{BB_1}(i)$ 为图象上第*i*行所对应的高温黑体温度 T_{BB_2} 和低温黑体温度 T_{BB_1} 的平均灰度值。

2.3 噪声滤除

在IRMSS图象上,7波段间断性噪声最明显,而条带现象在各个波段图象上表现得都很明显,

7 波段和 9 波段的随机噪声较严重,7、8、9 波段图象上存在坏行现象,为此采用不同的方法滤除噪声:

周期性噪声 用二维傅立叶变换法提取噪声分量;

坏行 用相邻两行或几行的平均值代替来修补;

部分坏行(间断性噪声) 模板卷积和域值法;

去条带 单个探测器分图象的累积直方图与总的

累积直方图相匹配的非线性校正方法;

随机噪声(斑点) 中值滤波法。

2.4 图象几何纠正与配准

(1) 几何精校正

由于 IRMSS 是扫描成像,在水平方向上会产生横向拉伸,需要进行正切校正。但是,横向的拉伸不足 2 个像元,所以只用控制点进行几何校正。根据图象区域范围及特性,选取 1:100 000 地形图 9 张,对照地形图,选取地面控制点共 18 个,以高斯克吕格为投影标准,在标准遥感图象处理软件 ENVI 上对 6 波段图象进行几何精纠正,均方根误差(RMS)为 0.385 1。

(2) 波段间配准

以图象质量较好的第 6 波段图象为基准,选取控制点对 7、8、9 波段图象进行波段间的配准。结果发现,波段间的横向错动比较大,纵向错动相对较小。7 波段相对 6 波段向右偏移了 18 个像元,向下偏移了 8 个像元;8 波段相对于 6 波段向右偏移了 43 个像元,向下偏移了 11 个像元。

经过以上预处理后的各波段图象基本上消除了条纹、条带、坏行以及随机噪声等的影响(见图版 1 图 1 和图 2)。

2.5 图象信息增强与清晰化

(1) 灰度变换

为了增强图象的显示效果以便于识别和分析,需对图象的灰度信息进行变换处理,这里采用的是分段线性拉伸或直方图均衡化的方法。

(2) 直方图匹配

采用直方图匹配的方法来提高彩色合成图象的分辨力。处理后的图象见图版 1 图 1 和图 2,从处理后的图象上,可以清晰地识别出村庄、水体、道路、林地等多种地物,可识别能力大大提高。

2.6 数据融合提高第 9 波段图象质量

利用高空间分辨率第 6 波段图象的细节信息和低空间分辨率第 9 波段图象的光谱信息进行融合处理,使第 9 波段图象的质量得到明显改善,其具体处理是基于小波变换进行的,处理流程如下:

(1) 以 6 波段图象为基准,对 9 波段图象进行配准,并且重采样至相同大小。

(2) 对两图象进行直方图匹配。

(3) 对两图象进行 n 次小波分解,通常 n 取 2 或 3。结果为

$$I = \sum_{i=1}^n I_{p_i} + I_r$$

其中, I 代表原图象, I_{p_i} 表示图象经小波变换分解得到的高频细节, I_r 表示图象经 n 次小波变换分解得到的低频轮廓部分。

(4) 以 6 波段图象中的细节部分 $\sum_{i=1}^n I_{p_i}$ 代替 9 波段图象的细节部分。

(5) 对 9 波段图象进行小波逆变换得到融合后的结果图象。

融合前后的结果见图版 1 图 3,通过对比不难发现,融合后图象清晰度明显增强,可分辨力提高,这表明小波变换是有效的,能够较好地提高图象的质量。

3 图象质量评价

3.1 评价指标的定义及计算方法

图象质量评价最常用的一个指标是图象的分解力,它表示某一遥感成像系统对微小细节反差表达的能力。但它只是表示对微小地物的极限分辨能力,不能从分解力的值去了解传感器对较大地物的表达质量^[1]。清晰度表示影像边界的清晰程度,数字遥感影像的清晰程度,可用相邻像元之间在 x, y 两个方向的灰度变化速率的加权平均值来表达,清晰度的数值本身并无绝对的意义,只是用于相互比较的一种指标,并且由于地物种类的不同,清晰度有很大的差异。图象的反差能在一定程度上反映遥感影像的目视效果,通常都要求影像的反差适中。以上这些评价标准都局限于某一方面,因此要全面反映图象的质量,必须将这些指标统一起来,进行综合评价。具体指标为:地面分解力、清晰度、信噪比、反差、辐射精度。

(1) 地面分解力

采用调制传递函数(MTF)计算地面分解力^[2,3]。首先定义以下 3 个变量:

$$\text{反差: } u = \frac{(r_o - r_b)}{r_b} \quad (r_o, r_b: \text{目标与背景的辐射度})$$

调制度: $M = (u-1)/(u+1)$

调制函数: $T(f) = M_i(f)/M_b(f)$, 其中 $M_b(f)$ 和 $M_i(f)$ 分别为在频率 f 的条件下, 目标物的地面真实调制度和对应图象上像元的调制度。

地面分解力计算的具体步骤如下:

① 找到图象中有明显变化的边缘作样区, 沿垂直该边缘扫取 N 条数据平均后, 获得刀刃曲线 $G(k)$, 其中, k 表示曲线上离散点的序号;

② 采用“五点三次法”对 G 作平滑处理;

③ 三次样条内插;

④ 求导, 进行平滑处理, 得到曲线 $A(k)$, 其中, $k=1, \dots, n-1$;

⑤ 进行傅立叶变换 $x(L) = \sum_{k=0}^{N-1} A(k)e^{-i2\pi \frac{kL}{N}}$

($k=0, 1, 2, \dots, n-1, n$ 为离散数据个数);

⑥ 求调制传递函数: $T(L) = \frac{x(L)}{\max(|x(L)|)}$;

⑦ 当 $T(L)=0.05$ 时, 反求 L ;

⑧ 地面分解力为 $S_p \times W/L$, 其中, S_p 为像元尺寸, $S_p=30m$, W 为扫描数据宽度, 单位为 pixel。

(2) 清晰度(EAV)

采用边缘锐度值的“后验模型化算法”来计算清晰度(EAV)

$$EAV = \frac{\sum_a^b (df/dx)^2}{|f(b) - f(a)|}$$

其中, df/dx 为垂直于边缘的灰度变化率, $f(b)-f(a)$ 为该方向总对比度。

(3) 信噪比(SNR)

利用局域平均值与方差比来计算 SNR, 具体步骤如下:

① 求图象平均值 M ;

② 图象分块($4 \times 4, 8 \times 8 \dots$), 求局域均值与方差 LM, LSD ;

③ 求出局域方差极大值 LSD_m ;

④ $SNR = M/LSD_m$

(4) 反差

反差利用调制传递函数(MTF)曲线所围总面积来衡量: 面积越大, 图象越清晰。

(5) 辐射精度

辐射精度是反映图象信息量丰富程度的指标。同一地区的不同图象, 若灰度分布范围越大, 方差越大, 则表明图象信息越丰富。采用如下 8 个变量来综合评价辐射精度:

指标均值 $m = \sum (i \times p(i))$

方差 $d = \sum ((i - m)^2 p(i))$

偏斜 $S = \sum ((i - m)^3 p(i))/d^3$

陡度 $K = \sum ((i - m)^4 p(i))/d^4$

其中, i 为图象像元可能取值, $p(i)$ 为图象像元值为 i 的概率。

边缘辐射畸变 R 由行方向均值矢量的均值和方差来衡量。

增益调整畸变 P 由列方向均值矢量的均值和方差来衡量。

3.2 中巴地球资源一号卫星数据质量评价结果

根据上述评价指标和步骤, 得到中巴地球资源一号卫星 IRMSS 数据的评价结果见表 2, 为便于比较, 表中同时给出 TM 数据的评价结果。需要说明的是, 在所统计的指标中, 地面分解力、图象清晰度、反差、信噪比具有一定的普遍性和可比性, 而其他指标随不同地域和季节的不同, 具有较大的可变性。

表 2 中巴地球资源一号卫星 IRMSS 图象与 TM 图象相应波段间质量评价对比

波段	IRMSS 图象			TM 图象		
	7	8	9	5	7	6
波长(μm)	1.50~1.80	2.00~2.45	9.8~13.0	1.55~1.75	2.08~2.35	10.4~12.5
地面分解力(pixel)	1.71	1.71	2.05	1.81	2.08	1.56
图象清晰度	1.55	1.73	3.01	3.38	1.71	2.71
图象反差	0.73	0.73	0.58	0.49	0.49	0.74
图象信噪比	191.71	82.35	287.93	887.8	592.06	3980.74
图象均值	100.3	100.56	100.56	140.13	88.44	178.31
图象方差	259.39	1401.54	192.37	975.11	389.84	270.2
图象偏斜度(弧度)	-0.82	-0.39	-1.34	-0.48	-0.38	0.43
图象陡度	5.53	4.51	14.01	2.06	2.11	3.65
图象行均值向量均值	99.52	99.49	99.49	139.62	87.96	177.81
图象行均值向量方差	34.98	1234.50	36.65	728.64	279.94	83.9
图象列均值向量均值	99.49	99.50	99.51	139.64	87.99	177.83
图象列均值向量方差	14.09	17.34	15.98	15.07	8.71	2.61

表 3 中巴地球资源卫星 IRMSS 数据处理前后的图象质量评价对比

波段	处理前				处理后			
	6	7	8	9	6	7	8	9
地面分解力(pixel)	1.71	1.78	2.58	2.13	1.71	1.71	1.71	2.05
图象清晰度	1.55	1.32	1.55	2.90	1.55	1.55	1.73	3.01
图象反差	0.73	0.69	0.64	0.53	0.73	0.73	0.73	0.58
图象信噪比	297.02	93.82	69.7	140.89	447.08	191.71	82.35	287.93
图象均值	113.27	101.37	60.82	169.91	112.76	100.3	100.56	100.56
图象方差	231.51	208.84	319.82	46.50	231.72	259.39	1401.54	192.37
图象偏斜度	-1.79	-1.01	-0.79	-1.39	-1.80	-0.82	-0.39	-1.34
图象陡度	7.59	5.69	2.05	16.56	7.60	5.53	4.51	14.01
图象行均值向量均值	112.77	100.88	60.44	169.40	112.25	99.52	99.49	99.49
图象行均值向量方差	39.52	33.25	979.25	38.45	39.94	34.98	1234.50	36.65
图象列均值向量均值	112.76	100.88	60.34	169.39	112.29	99.49	99.50	99.51
图象列均值向量方差	9.35	13.57	6.15	5.37	9.36	14.09	17.34	15.98

由表 2 分析得出,在图象的信噪比方面, TM 具有绝对优势;在图象偏斜度方面, TM 好于 IRMSS;虽然 IRMSS 7、8 波段的地面分解力稍微高于 TM,但是与此对应的空间分辨率(地面分解力 \times 像元空间分辨率)还是逊于 TM;IRMSS 8、9 波段的图象清晰度稍好于 TM,但 7 波段比 TM 差;图象反差方面,IRMSS 6、7 波段高于 TM,但 8 波段低于 TM;辐射精度方面,IRMSS 8 波段方差好于 TM,但 7、9 波段明显低于 TM。

另外,根据上述评价指标和步骤,同时评价了处理前后图象的质量(表 3)。其中,处理前图象指的是只做过错位纠正的图象,而处理后图象指的是经综合处理后的图象。由表 3 可以看到,处理后图象的地面分解力明显提高;清晰度也有一定程度改善;反差增强;信噪比大幅度提高;图象方差增强,图象反映的信息更加丰富,从而图象质量大大改善。第 6 波段图象相对于其他 3 个波段的信噪比为最高,反差最大,地面分解力最优,这也是它从直观上看,图象质量远远好于其他波段的原因。

4 图象应用潜力评价

IRMSS 数据影像虽然在空间分辨率上低于 TM 影像,但其信息量大,不同波段合成的假彩色影像图对地物、地貌景观反映十分清楚。单波段影像清晰,色调一致,反差适中。IRMSS 6、7、8 波段合成图象色彩鲜艳,层次分明,对河流、沟渠、水库、坑塘反映较好,影像清晰;水体的深浅及湿地的赋水程度也有所反映;特别对干河谷反映更好,在视觉上比 TM 图象清晰;对地貌、构造,特别是对冲洪积扇反映效

果好于 TM;对矿产、地热的解译尚有一定的难度,但由于 IRMSS 空间分辨率较低,谱带宽,对土地资源解译只能达到一级分类水平,对林地解译也不能细分。总的来说,中巴地球资源一号卫星 IRMSS 数据,在多个领域的应用前景还是很广阔的,可为国土资源调查、能源、环保、城市规划等领域提供服务。

5 结论

通过对中巴地球资源一号卫星 IRMSS 图象零级数据的预处理和质量评价及信息处理方法研究,得出:

(1) 与 TM 相比,中巴地球资源一号卫星 IRMSS 图象在信噪比、空间分辨率、图象偏斜度等方面仍有待进一步改善;

(2) 通过图象去条带、去坏行和直方图等清晰化处理,图象的信噪比、分辨力等方面得到提高,地物清晰可辨,这表明中巴地球资源一号卫星 IRMSS 数据仍有很大的图象改善空间;

(3) 资源 1 号卫星 IRMSS9 波段数据与高空间分辨率的第 6 波段数据之间的融合,可再次提高中巴地球资源 1 号卫星空间精度。

(4) 综合分析表明,资源 1 号卫星 IRMSS 数据在农业、国土资源调查、能源、环保、城市规划等诸多领域有着广阔的应用前景。

参考文献

- 刘行华编. 遥感信息地物理解模型及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 178~183.
- 熊桢, 童庆禧, 郑兰芬. 若干平滑和插值算法对图象空间分辨率

估算的影响[J]. 遥感学报, 2000, 4(1): 36~40.

3 Anuta P E, Bartolucci L A, Dean M E *et al.* Landsat-4 MSS and thematic mapper data quality and information content analysis [J]. IEEE Transac. Geos. Remote Sens., 1984, GE-22(3): 222~236.

4 Malila W A, Metzler M D, Price D P *et al.* Characterization of Landsat-4 MSS and TM digital image data[J]. IEEE Transac. Geos. Remote Sens., 1984, GE-22(3): 177~191.



张霞 1972年生, 1998年获北京师范大学资源与环境科学系地图学与遥感专业硕士学位, 现为中国科学院遥感应用研究所助理研究员. 主要研究方向为遥感图象的大气校正、图象处理与特征信息提取.



张兵 1969年生, 中国科学院遥感应用研究所副研究员, 在职博士研究生. 主要研究方向为高光谱遥感机理、信息处理和应用模型发展. 发表SCI、EI和学报级文章10多篇.



赵永超 1970年生, 1994获北京大学化学系学士学位, 1999获北京大学地质学系岩石、矿物、矿床学专业博士学位, 现在中国科学院遥感应用研究所做博士后研究工作. 主要是从事地物目标的高光谱特征和响应机理研究、高光谱图象处理和相关信息提取模型研究.

童庆禧 1935年生, 研究员, 中国科学院院士, 1961年毕业于苏联敖德萨水文气象学院农业气象系. 主要从事高光谱遥感及其应用的研究.

郑兰芬 1941年生, 研究员, 博士生导师, 1964年毕业于南京大学地理系. 主要从事高光谱遥感及其应用研究.

《中国图象图形学报》第三届编辑委员会换届通知

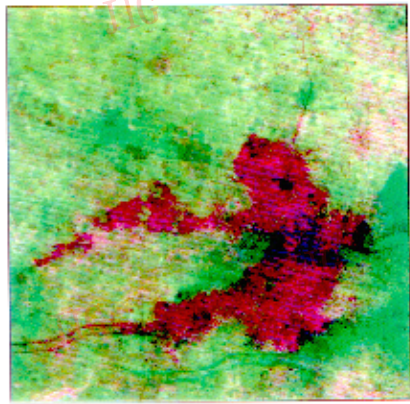
各位专家, 学者, 研究人员:

《中国图象图形学报》编委会将于今年换届, 为了把《中国图象图形学报》办成高水平的学术刊物, 本刊主编徐冠华曾指出, 没有一流的人才, 办不成一流的学报. 在此, 趁《学报》编委会换届之机, 本刊欲从广大科技工作者和专家、学者中评聘编委, 希望热心科技事业, 有奉献精神

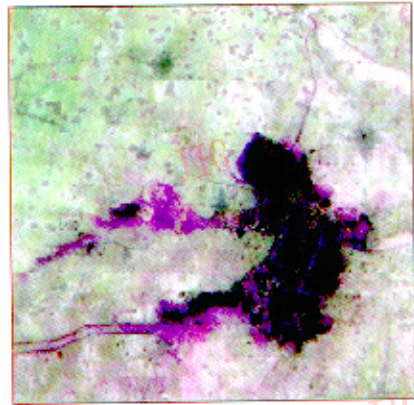
的专家、学者踊跃自荐或推荐.

编委条件: 有深厚的学术修养和较高的学术水平;
有丰富的科研经验和敏锐的学术洞察力;
了解学术研究的前沿, 有创新思想和能力;
能完成编委担负的工作任务(约稿, 审稿等).

有意担任或推荐编委者, 如没收到自荐(推荐)表, 请来函、来电或发电子邮件(主题写明索取自荐(推荐)表)索取自荐(推荐)表. 自荐(推荐)表返回截止日期为2002年7月15日.

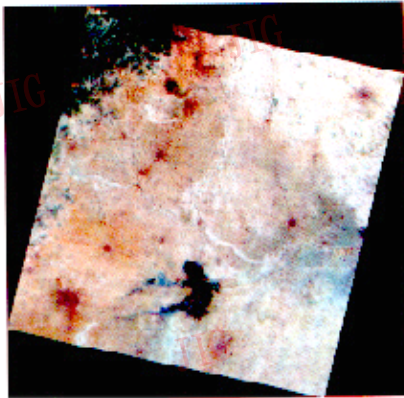


仅经过错位纠正

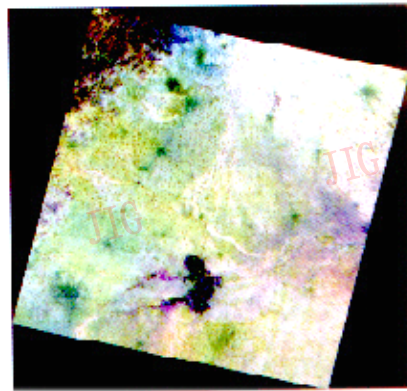


经去条带等清晰化处理

图 1 CBERS-1 IRMSS 白洋淀地区清晰化处理前后对比

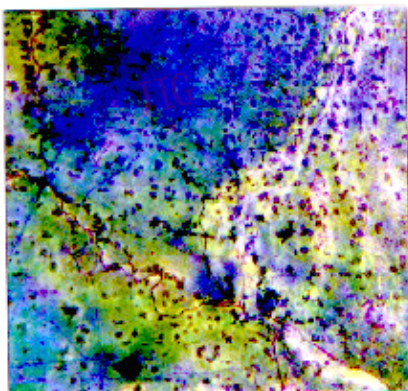


6、7、8 波段合成

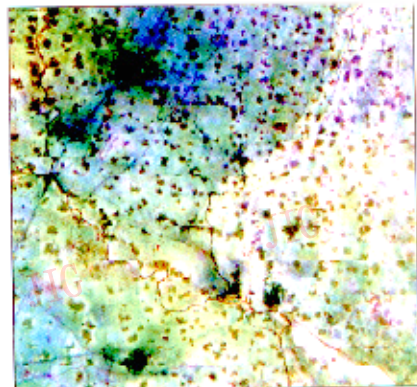


7、6、9 合成

图 2 保定—廊坊 CBERS-1 IRMSS 影像图



融合前



融合后

图 3 CBERS-1 IRMSS 波段 9 与波段 6 融合前后比较