

# HJ-1 卫星延寿期的 CCD 影像质量评价与可用性分析

苏晓慧<sup>1</sup>, 张晓东<sup>1</sup>, 苏伟<sup>1\*</sup>, 孙中平<sup>2</sup>, 游代安<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

**摘要:** HJ-1 卫星发射升空投入运行以来, 已在灾害与环境的快速监测与预报领域发挥了重要作用。HJ-1 卫星目前已经成功运行 3 a 多, 属于超期服役状态。为了评价延寿期影像质量, 该文从影像的几何校正精度、灰度特征和纹理特征 3 个方面对延寿期 HJ-1A-CCD 影像进行分析, 并与正常寿命运行期的 HJ-1A CCD 影像、同时期的 Landsat7 ETM+影像进行比较, 分析结果表明: 延寿期 HJ-1A-CCD 影像质量虽然有一定程度的下降, 但其与正常寿命期影像质量接近, 仍能较好地描述丰富的地物类型及地物细节信息, 可以像正常寿命期影像一样, 有效地用于环境监测、灾害监测、国土资源管理、城市规划、农业应用等方面。

**关键词:** 影像质量, 几何校正, 校正精度, 纹理, 灰度, HJ-1 卫星

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.12.027

中图分类号: TP751

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-12-0164-07

苏晓慧, 张晓东, 苏伟, 等. HJ-1 卫星延寿期的 CCD 影像质量评价与可用性分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 164-170.

Su Xiaohui, Zhang Xiaodong, Su Wei, et al. Quality evaluation and usability analysis of CCD image in life extension period for HJ-1 satellite[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 164-170. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

环境与灾害监测预报小卫星(HJ-1)于2008年9月6日在太原发射站成功发射。HJ-1A与HJ-1B卫星一箭双星分别装有2台宽覆盖多光谱可见光相机(简称CCD相机),双星组网后48h对全球覆盖一次,地面像元分辨率为30m,单台CCD相机的幅宽为710km,波谱范围为0.43~0.9 $\mu\text{m}$ ,分为4个波段<sup>[1-2]</sup>,4个波段的光谱设置基本延续了美国Landsat、法国SPOT及中巴资源卫星CBERS<sup>[3]</sup>等系列卫星数据的光谱范围。现在,环境与灾害监测预报小卫星已在轨成功运行3a多,处于超期服役状态。

影像质量评价是影像处理前重要并且必要的步骤,对于影像应用、影像质量的进一步提高及后继星的研制都具有重要意义<sup>[3]</sup>。与影像质量相关的物理特征主要有灰度、清晰度、反差、颜色等,常用信息量(熵)、清晰度、信噪比等参数<sup>[4]</sup>。目前国内外研究学者对一些遥感卫星的影像质量进行了评价<sup>[1-16]</sup>,评价的遥感卫星影像包括中巴资源卫星<sup>[3-9]</sup>、Landsat<sup>[10-11]</sup>、IRS-P6<sup>[12]</sup>等,大多选取灰度<sup>[2,6]</sup>、纹理<sup>[1-6,9]</sup>、地面分辨率<sup>[4,7]</sup>、辐射精度<sup>[1,7]</sup>、几何

校正<sup>[1,9]</sup>、能量<sup>[2,5]</sup>等参数;针对正常寿命期的HJ-1A卫星CCD影像质量评价与应用,国内也有学者进行了相关研究<sup>[1-2]</sup>,评价参数包括空间分辨率、几何纠正精度、纹理和能量特征等。HJ-1卫星影像的质量评价对于推广应用HJ-1卫星的数据和进一步发展对地观测技术是具有重大意义的。

为了对延寿期HJ-1 CCD影像质量有一个定量、客观的评价,针对当卫星运行时间较长,姿态发生较大倾斜或者拍摄地区地面起伏较大时,会使影像上的像素点产生位移,从而造成遥感影像的几何畸变的问题,本研究从几何偏差方面对HJ-1卫星延寿期CCD影像进行评价。综合考虑国内外研究学者选取的影像质量评价参数,本文对HJ-1卫星延寿期CCD影像从灰度特征、纹理特征和几何校正精度等方面进行评价,并与同期Landsat7 ETM+影像和早期HJ-1A CCD影像进行比较,定性、定量地分析了该卫星延寿期的数据质量及其可用性。

## 1 影像选取与评价参数确定

### 1.1 影像选取

本研究中选取地物类型比较丰富、地形地貌具有代表性的北京市为研究区,HJ-1A CCD影像由环境保护部卫星环境应用中心提供,数据的获取时间分别为2010年9月28日(正常寿命运行期)与2011年9月22日(延寿期),为2级数据;Landsat7 ETM+数据获取时间为2011年9月20日。二者的空间分辨率均为30m,且均采用通用横轴墨卡托(universal transverse mercator Projection, UTM)投影。具体影像信息如表1和图1。

收稿日期: 2011-12-02 修订日期: 2012-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41171089); 环保公益性行业科研专项(2010467062)

作者简介: 苏晓慧(1985-),女,山西太原人,博士生,研究方向为空间信息技术的应用。北京 中国农业大学信息与电气工程学院,100083。

Email: suxhui2008@163.com

\*通信作者: 苏伟(1979-),女,中国农业大学副教授,博士,硕士生导师,主要从事农业遥感应用研究。北京 中国农业大学信息与电气工程学院,100083。Email: suwei@ccau.edu.cn

表 1 用于影像质量比较分析的遥感影像信息

Table 1 Information of remote sensing image used to compare and analyze quality of images

影像	拍摄地区	波段	光谱范围/ $\mu\text{m}$	时间
HJ-1A CCD	北京	1	0.43~0.52	2010-09-28
		2	0.52~0.60	
		3	0.63~0.69	
		4	0.76~0.90	
HJ-1A CCD	北京	1	0.43~0.52	2011-09-22
		2	0.52~0.60	
		3	0.63~0.69	
		4	0.76~0.90	
Landsat7ETM+	北京	1	0.45~0.515	2011-09-20
		2	0.525~0.605	
		3	0.63~0.69	
		4	0.75~0.90	
		7	2.09~2.35	



c. 2011 年 9 月 22 日 HJ 影像 (延寿期)

注：R 为 Band1；G 为 Band2；B 为 Band3。

图 1 研究区影像

Fig.1 Images of study area

1.2 评价参数

卫星影像质量评价可以为遥感数据定量应用的精度评价提供依据，为数据处理及信息提取提供先验知识<sup>[17]</sup>。准确的评价影像数据质量，需要选取合适的评价参数。本文从图像工程角度<sup>[4-6,10,12-14]</sup>出发，所采取的评价指标包括影像的几何校正精度、灰度特征、纹理特征。

1) 几何校正精度：为分析评价 HJ-1A CCD 影像的几何畸变程度，首先需要对 3 幅遥感影像进行几何精校正。以地理坐标正确的、以地形图为基准精校正后的 2006 年 TM 影像为标准参考影像，将本研究中的 3 幅影像选取参考点相同的 13 个控制点进行几何精校正，并分别对校正前后的控制点位移和总误差作比较，以位移、误差的大小<sup>[1,8]</sup>作为遥感影像几何校正精度的度量标准。

2) 灰度：遥感影像上的灰度是模拟地物的辐射物理量的模型。DN (digital number) 值是遥感影像像元亮度值，记录地物的灰度值。影像灰度与反射率是相关的，通常影像的灰度级为 0~255，0 为黑色，255 为白色，反映该像素点的能量大小<sup>[18]</sup>。

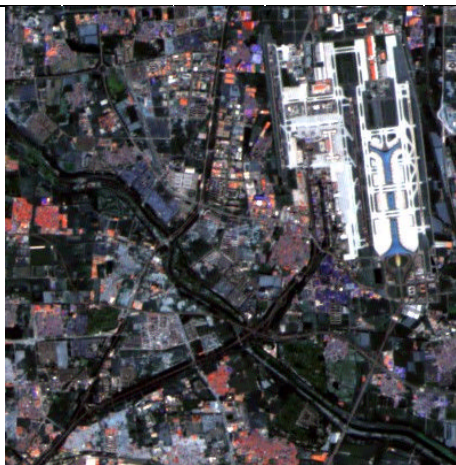
3) 纹理：统计相邻 2 个灰度在影像中同时发生的概率，得到的二维矩阵称为灰度共生矩阵。一幅影像的灰度共生矩阵 (GLCM) 表达了影像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息，常在共生矩阵的基础上抽取其纹理特征参数，称为二次统计量<sup>[19]</sup>。对于二次统计量的分析，可以很好地理解影像的纹理特性。从灰度共生矩阵抽取的二次统计量一般有以下儿种 (表 3)。

表 2 灰度特征评价参数

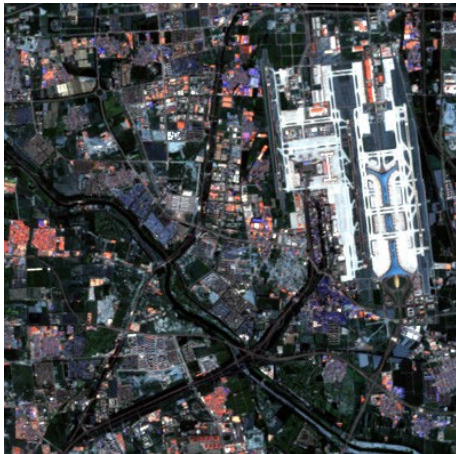
Table 2 Evaluation parameters for gray level

指标	意义	公式
平均值	影像中地物的平均反射强度	$E(i, j) = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i, j)$
值域 灰度直方图	影像的灰度分布范围 影像中所有灰度值的概率分布	[min, max]
方差	各像元灰度值与平均值的总的离散程度，体现出灰度的分布状态	$\sigma^2(i, j) = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [g(i, j) - E(i, j)]^2$
信噪比	影像中的有用信息与噪声信号的比值	$SNR = E / \sigma$

注：m, n 为影像的高度和宽度；g(i, j) 为点 (i, j) 的灰度；E 为影像灰度平均值；min, max 分别为影像灰度的最小、最大值；σ 为影像灰度的均方差；SNR 为信噪比。



a. 2010 年 9 月 28 日 HJ 影像 (正常寿命运行期)



b. 2011 年 9 月 20 日 Landsat7 ETM+影像

表 3 纹理特征评价参数  
Table 3 Evaluation parameters for texture

指标	意义	公式
角二阶矩	是灰度共生矩阵像素值平方的和, 也称为能量, 是影像灰度分布均匀性的度量。	$f_1 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p^2(i, j)$
清晰度	影像的对比度, 反映了影像中的目标与背景相比可辨认的清晰程度	$f_2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i-j)^2 \left\{ \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \hat{p}(i, j) \right\}$
熵	影像所具有的信息量的度量	$f_3 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \hat{p}(i, j) \lg \hat{p}(i, j)$

注:  $\hat{p}(x, y)$  为归一化的灰度共生矩阵中的元素;  $L$  为灰度级;  $f_1$  为影像的角二阶矩;  $f_2$  为影像的清晰度;  $f_3$  为影像的熵。

## 2 结果与分析

### 2.1 影像几何校正精度评价结果

选取标准影像对参加质量分析的影像进行几何精校正, 3 幅影像选取参考点相同的 13 个控制点进行几何校正, 分别对校正前后的每个控制点的位移 ( $dx$ ,  $dy$ ) 及总误差  $RMS$  作比较。控制点位移为校正前的坐标与校正后的坐标之差, 每幅影像的总位移为控制点位移的平均值, 按式 (1) ~ (2), 而总误差  $RMS$  依据式 (3) 计算

$$dx = \frac{1}{13} \sum_{n=1}^{13} dx_n \quad (1)$$

$$dy = \frac{1}{13} \sum_{n=1}^{13} dy_n \quad (2)$$

$$RMS = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (3)$$

式中,  $n$  为控制点序号。

表 4 为 3 幅遥感影像的几何精校正结果。延寿期 HJ-1A CCD 影像  $x$  的总误差 (0.05) 比早期的 HJ-1A CCD 影像 (0.10) 和同期 Landsat7 ETM+ 影像 (0.08) 都小,

但  $y$  的总误差及  $RMS$  比二者都大, 且延寿期影像  $y$  的总误差 (0.22) 比早期 (0.10) 和 Landsat7 ETM+ (0.04) 大出很多, 这说明延寿期 HJ-1A-CCD 影像的几何畸变程度较大。Landsat7 ETM+ 影像的几何畸变程度在 3 幅影像中最小, 延寿期 HJ-1A CCD 影像的几何精校正总体误差相比早期 HJ-1A CCD 影像的几何纠正误差、同时期 Landsat7 ETM+ 影像分别高 76%、114%, 说明延寿期 HJ-1A CCD 影像的几何纠正精度有所下降, 但在一般情况下是不需要考虑其畸变程度的, 如果有更精确的应用需求, 可对其进行精纠正再使用。而早期的 HJ-1A CCD 影像的几何纠正误差仅比 Landsat7 ETM+ 高 21%, 说明早期的 HJ-1A CCD 影像的几何纠正精度较高, 可以直接使用。

从几何校正精度结果看, 各控制点校正前后的横纵坐标位移最大为 0.78 个像素, 延寿期 HJ-1A CCD 影像校正前后的总误差为 0.30 个像素, 均控制在 1 个像素 (即 30 m) 之内, 远远小于环境监测、灾害监测及农田尺度的面积要求精度, 所以延寿期的 HJ-1A CCD 影像仍可继续适用于环境监测、灾害监测以及农业应用等方面。

表 4 遥感影像几何校正精度结果  
Table 4 Geometric correction results of remote sensing images

控制点	参考点坐标		2011 年 HJ-1A CCD 影像			2010 年 HJ-1A CCD 影像			2011 年 Landsat7 ETM+ 影像		
	$x/m$	$y/m$	$dx/个$	$dy/个$	$RMS/个$	$dx/个$	$dy/个$	$RMS/个$	$dx/个$	$dy/个$	$RMS/个$
1	3795.00	5644.00	0	-0.19	0.19	-0.27	0	0.27	-0.24	0	0.24
2	4378.00	5020.00	-0.04	-0.01	0.04	0.08	0.14	0.16	0.30	0	0.30
3	4619.00	6189.00	0	-0.24	0.24	0.03	-0.11	0.11	0.05	-0.04	0.07
4	4576.00	3984.00	0.11	-0.12	0.16	0.12	0.17	0.20	-0.03	0.08	0.09
5	3152.00	4856.00	-0.15	0.33	0.36	-0.12	-0.19	0.22	0.03	-0.09	0.10
6	6506.00	5126.00	-0.02	-0.17	0.17	-0.06	0.01	0.06	0.06	-0.02	0.06
7	6530.00	6163.00	0	-0.20	0.2	-0.04	-0.07	0.08	-0.02	-0.02	0.03
8	2994.00	3315.00	-0.07	0.11	0.13	-0.09	-0.06	0.11	0.01	-0.04	0.04
9	1734.00	4073.00	0.08	-0.14	0.16	0.09	0.06	0.11	-0.02	0.04	0.05
10	3005.00	6070.00	0.03	0.07	0.07	0.11	0.05	0.12	0.04	0.03	0.05
11	6770.00	4235.00	-0.05	0.16	0.17	-0.05	0	0.05	0.03	-0.02	0.04
12	5522.00	4778.00	0.10	-0.38	0.39	0.08	-0.24	0.25	-0.23	-0.02	0.23
13	5765.00	5777.00	0.01	0.78	0.78	0.11	0.24	0.26	0.00	0.09	0.09
总误差			0.05	0.22	0.30	0.10	0.10	0.17	0.08	0.04	0.14

注:  $x$ 、 $y$  分别为参考点的横坐标、纵坐标;  $dx$ 、 $dy$  分别为影像校正前后的横纵坐标位移;  $RMS$  为总误差。

### 2.2 影像灰度特征评价结果

用数理统计方法分别计算了 HJ-1A CCD 影像和

Landsat7 ETM+ 影像的最小值、最大值、平均值、均方差、信噪比, 并绘制了直方图。[最小值, 最大值]是指影像灰

度的值域，影像灰度的分布范围反应的是影像信息量的丰富程度，对于同一地区的不同影像，灰度范围越大，表明影像反映的信息越丰富。平均值反应的是影像中地物的平均反射强度。均方差可看作是影像灰度值的概率密度函数的离散化图形，均方差越大，影像信息越丰富。直方图是影像灰度基本统计量的图形化表达方式。信噪比即表达影像受干扰的程度，其比值大，则影像所反映的有用信息较之噪声所引起的干扰要强，对于遥感影像而言，则是地物信息反映好，图像质量好。计算的方法有方差法、地学统计法、局部方差法、去相关法等，本文将图像噪声假设为高斯噪声分布，采用方差法估算进行计算。

$$SNR = E / \sigma \quad (2)$$

其中， $SNR$  (signal to noise ratio) 为信噪比， $E$  为影像灰度均值， $\sigma$  为均灰度方差<sup>[20]</sup>。表 5 为 3 幅遥感影像的灰度特征统计结果。统计结果表明，延寿期 HJ-1A CCD 影像第 1 波段的值域范围比正常寿命运行期 HJ-1A CCD 影像小，其他波段均比正常寿命运行期的灰度范围大，说明延寿期的 HJ-1A CCD 影像仍可表达丰富的地物信息，而 Landsat7 ETM+影像的前 4 波段灰度范围均较

大，能反映更丰富的地物信息；从灰度均方差来看，延寿期的 HJ-1A CCD 影像各波段均比正常寿命运行期的 HJ-1A CCD 影像大，说明延寿期的影像能够提供丰富的信息量，细节信息比较明显，而 Landsat7 ETM+影像除第 5、7 波段较小，接受光能较小之外，其他波段的均方差都较大；延寿期的 HJ-1A CCD 影像的信噪比除第 4 波段外，其他各波段比正常寿命运行期的 HJ-1A CCD 影像大，说明延寿期影像的噪声较小，仍可继续为环境监测、灾害监测等方面所使用，Landsat7 ETM+影像的信噪比则偏小。

从图 2 所示的直方图形态上看，HJ-1A CCD 影像各波段的直方图均向左偏，说明原始影像比 Landsat7 ETM+影像偏暗，正常寿命运行期 HJ-1A CCD 各波段的直方图显示的动态范围大，更接近于正态分布，而且 4 波段有多个峰值，较其余波段更容易区分不同地物类型。

从灰度分析结果看，延寿期 HJ-1A CCD 影像仍可表达丰富的地物类型，并且在小地物方面能较好的体现其细节信息，如道路、河流等，所以，延寿期影像仍可以应用于土地利用、城市规划、环境监测、农业应用等方面。

表 5 遥感影像灰度特征统计结果

Table 5 Gray level results of remote sensing images

	2010 年 HJ-1A CCD 影像 (正常寿命运行期)				2011 年 HJ-1A CCD 影像 (延寿期)				2011 年 Landsat7ETM+影像						
波段	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	7	
最小值	37.14	22.19	11.37	11.36	41.73	29.30	15.86	12.02	38.19	22.36	12.41	4.59	0	0	
最大值	156.31	134.96	112.95	84.21	153.08	151.70	137.81	107.50	190.04	193.30	152.90	165.50	31.06	10.80	
平均值	56.21	44.72	37.57	46.97	62.46	56.04	41.87	56.44	58.26	48.35	38.58	54.02	9.24	2.33	
均方差	13.06	13.13	14.52	7.24	13.18	14.16	14.92	9.70	15.71	16.93	18.62	12.59	3.12	1.22	
信噪比	4.30	3.41	2.59	6.49	4.74	3.96	2.81	5.82	3.71	2.86	2.07	4.29	2.96	1.91	

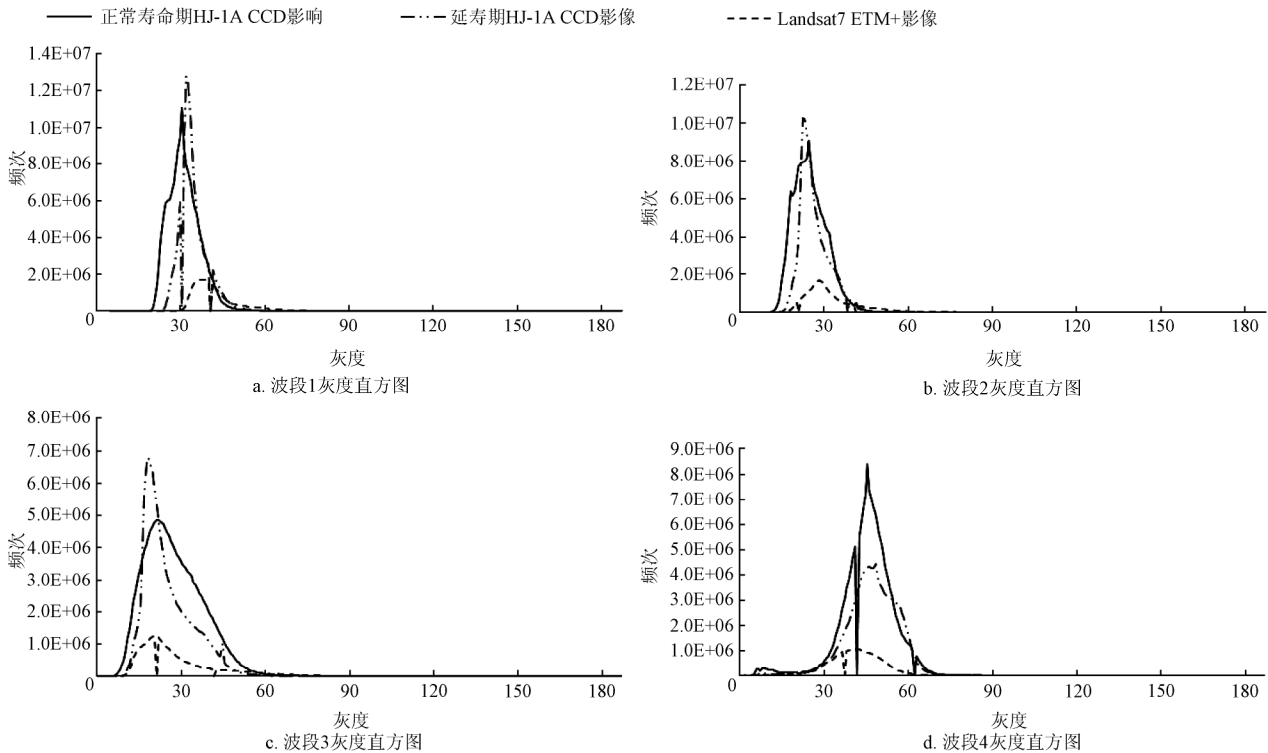


图 2 研究区影像灰度直方图  
Fig.2 Gray histograms of images in study area

### 2.3 影像纹理特征评价结果

利用灰度共生矩阵方法分别提取 3 幅影像的 3 个纹理特征值：清晰度、角二阶矩和熵。从影像整体来观察，纹理较粗时，角二阶矩的值较大，反之则较小。清晰度是用于评价影像纹理的参数，影像纹理的纹沟越深，其对比度越大，影像就越清晰，视觉效果就越好<sup>[20]</sup>。纹理的复杂度越高就意味着影像信息量越大，其熵值也越大。窗口大小的确定根据研究区内的地物大小确定，具体确定方法参见参考文献[19]，经多组试验确定本研究中纹理评价选取的窗口大小为 3×3 mm，表 6 给出基于 0°、45°、90°、135° 四个方向的纹理参数，从视觉效果来看，正常寿命运行期和延寿期的 HJ-1A CCD 影像质量相近，Landsat7 ETM+影像质量则稍好。从纹理计算结果可以看出，延寿期的 HJ-1A CCD 影像各方向的角二阶矩除第 4 波段（0.005, 0.003, 0.005, 0.003 μm）外，其余波段均比正常寿命运行期大，说明延寿期的影像纹理较粗，Landsat ETM+影像的角二阶矩为 3 幅影像中最小的，说

明 Landsat ETM+影像的纹理最细，对地物反映较敏感；延寿期影像第 4 波段各方向的清晰度（18.15, 22.55, 11.34, 22.59）比正常寿命期高，但比 Landsat ETM+影像低，说明 Landsat ETM+影像的纹理纹沟较深，影像较清晰，而延寿期影像的清晰度有所下降，但其第 4 波段对地物反映较好；延寿期 HJ-1A CCD 影像的第 3 波段 0°方向和第 4 波段所有方向的熵值比正常寿命运行期高，说明延寿期 HJ 影像第 4 波段信息量大，其他波段则各方向均比正常寿命运行期的 HJ-1A CCD 影像小，说明正常寿命运行期 HJ-1A CCD 影像信息量较大，纹理复杂度较高，能较好地反映地物的丰富程度，Landsat ETM+影像前 4 波段各方向的熵值均为 3 幅影像中最高，说明 Landsat ETM+影像的信息量最丰富。延寿期的 HJ-1A CCD 影像除第 4 波段的纹理统计数值较好外，其他波段的纹理统计数值均比正常寿命期的 HJ-1A CCD 影像稍差，而 Landsat ETM+影像的纹理统计特征则属于 3 者中最佳。

表 6 遥感影像纹理特征计算结果  
Table 6 Texture results of remote sensing images

影像 波段	2010 年 HJ-1A CCD 影像				2011 年 HJ-1A CCD 影像				2011 年 Landsat7 ETM+影像						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	7	
清晰度	0°	21.09	21.05	17.45	9.88	14.89	18.21	21.65	18.15	45.81	47.11	54.63	46.07	2.79	0.80
	45°	41.85	39.37	41.73	13.12	29.17	32.95	35.25	22.55	80.70	84.03	96.46	72.34	4.28	1.18
	90°	26.09	24.55	29.92	7.30	18.36	20.03	19.34	11.34	49.39	51.50	58.17	43.93	2.72	0.81
	135°	41.90	39.42	41.76	13.14	29.19	32.95	35.24	22.59	80.76	84.07	96.41	72.32	4.28	1.18
角二阶矩	0°	0.005	0.003	0.003	0.008	0.006	0.004	0.003	0.005	0.004	0.002	0.002	0.002	0.03	0.16
	45°	0.003	0.002	0.002	0.006	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.02	0.16
	90°	0.004	0.003	0.002	0.009	0.005	0.004	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001	0.03	0.16
	135°	0.003	0.002	0.002	0.006	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.02	0.16
熵	0°	6.17	6.32	6.50	5.56	5.90	6.05	6.61	6.21	6.63	6.88	7.12	7.03	4.23	2.90
	45°	6.51	6.62	6.96	5.77	6.23	6.35	6.87	6.38	6.89	7.16	7.40	7.28	4.45	3.16
	90°	6.27	6.38	6.81	5.47	5.99	6.09	6.58	6.04	6.67	6.91	7.16	7.03	4.24	2.92
	135°	6.51	6.62	6.96	5.77	6.23	6.35	6.87	6.38	6.89	7.16	7.40	7.28	4.45	3.16

鉴于上述结果，2011 年 HJ-1A 影像的第 3 波段 0°方向及第 4 波段所有方向纹理特征值比 2010 年 HJ-1A 影像稍好，而其他波段特征值均比正常寿命期影像质量较低，为了避免因单一波段特征值异常而造成评价偏颇，对 3 幅影像进行主成分分析（Principal Component Analysis, PCA），去除波段之间的多余信息与相关性，以第 1、第 2 成分作为纹理分析的使用波段。主成分分析结果显示（表 7）第 1 主成分（PC1）包含所有波段中 80%以上的方差信息，前 3 个主成分包含了所有波段中 99%以上的信息量。

表 7 遥感影像主成分分析结果

Table 7 Principal component analysis of remote sensing images

PC	2010 年 HJ-1A CCD 影像	2011 年 HJ-1A CCD 影像	2011 年 Landsat7 ETM+影像
1	88.24%	83.60%	82.21%
2	7.82%	13.45%	14.65%
3	3.07%	2.35%	2.48%
4	0.83%	0.60%	0.51%

主成分分析中前 2 个主成分已经包含了所有波段中 95%以上的方差信息，故选取前 2 个主成分波段进行纹理特征评价（表 8）。从纹理计算结果中可以看出，第 1 主成分波段（PC1）的清晰度中延寿期 HJ-1A CCD 影像为 3 幅影像中最小，正常寿命运行期影像次之，2011 年 Landsat7 ETM+影像最大，说明延寿期影像的纹理沟较浅，影像清晰度稍逊于正常寿命运行期影像；PC1 的角二阶矩中延寿期影像与正常寿命期影像相近，而 Landsat7 ETM+影像的 45°方向和 135°方向值则比前两者低，说明延寿期与正常寿命运行期的影像纹理相近，Landsat7 ETM+影像的纹理较细；PC1 的熵值中 2011 年 HJ-1A CCD 影像除 0°方向外，其他方向均比 2010 年影像低，Landsat7 ETM+影像的熵值则为最高，说明 Landsat7 ETM+影像反映地物的信息最丰富，正常寿命运行期影像次之，延寿期影像为最低。第 2 主成分波段（PC2）各方向的清晰度中 Landsat7 ETM+影像为最高，2011 年 HJ-1A CCD 影像居中，2010 年 HJ-1A CCD 影像为最低；PC2 的角二阶矩中 2011 年 Landsat7 ETM+影像最低，延寿期 HJ 影像次



之, 2010 年 HJ-1A CCD 影像最高, 说明 Landsat7 ETM+影像第 2 主成分波段的纹理最细, 延寿期影像比正常寿命期影像对地物的反映敏感; PC2 的熵值中延寿期影像居中, 正常寿命运行期的影像最低, Landsat7 ETM+影像最高, 说明延寿期影像包含的地物信息量稍次于正常寿命运行期影像, 而 Landsat7 ETM+影像所反映的地物信息量最丰富。

表 8 遥感影像主成分波段纹理特征

Table 8 Textures of principal component bands of remote sensing images

主成分 波段	2010 年 HJ-1A CCD 影像		2011 年 HJ-1ACCD 影像		2011 年 Landsat7 ETM+影像	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
	清晰度					
0	48.36	9.23	46.18	17.52	137.06	42.94
45°	99.16	12.32	84.47	21.87	244.51	67.62
90°	61.33	6.95	49.11	11.08	145.70	41.35
135°	99.29	12.33	84.48	21.91	244.55	67.61
角二阶 矩						
0	0.001	0.007	0.001	0.003	0.001	0.002
45°	0.001	0.005	0.001	0.003	0.0005	0.001
90°	0.001	0.007	0.001	0.004	0.001	0.002
135°	0.0007	0.005	0.0007	0.003	0.0005	0.001
熵						
0	7.43	5.63	7.49	6.28	8.06	6.99
45°	7.80	5.83	7.79	6.45	8.35	7.25
90°	7.57	5.55	7.52	6.12	8.09	6.70
135°	7.81	5.83	7.79	6.45	8.34	7.25

注: PC1 为第 1 主成分波段; PC2 为第 2 主成分波段。

PC2 波段的纹理计算结果显示延寿期影像质量要比正常寿命期影像稍好。清晰度和熵能较好地度量异质区域, 如较粗纹理的建筑类、空置土地和道路等; 角二阶矩对同质化区域能较好的描述, 如水、灌木和草地等<sup>[19]</sup>。本文所选取的研究区域包含建筑物、农田、道路、林地等多种地类, 延寿期影像的各项纹理指标与正常寿命期影像相接近, 说明延寿期影像可以更好地描述各种地类, 仍可应用于各方面。

### 3 结果与讨论

本文以北京市为研究区, 从几何偏差、灰度特征和纹理特征 3 个方面对处于延寿期的 HJ-1A CCD 影像质量进行了评价与分析, 并与正常寿命运行期 HJ-1 卫星影像、同期 Landsat7 ETM+影像进行了对比分析, 研究结论如下:

1) 延寿期的 HJ-1A CCD 影像灰度、纹理统计特征与正常寿命运行期的 HJ-1A CCD 影像较为接近, 能较好地体现地物的丰富程度与细节信息。几何偏差方面, 延寿期影像的几何畸变程度略大, 比正常寿命运行期影像的质量稍有下降, 但其误差远远小于环境监测、灾害监测及农田应用等方面的面积要求精度, 所以, 延寿期影像仍可应用于上述各方面。

2) 延寿期的 HJ-1A CCD 影像与同时期 Landsat7 ETM+影像相比, 质量略低, 但 HJ-1A CCD 影像比 Landsat7 ETM+影像获取容易, 这使得国产卫星的应用领域更为广泛。

3) 对 3 幅影像进行主成分分析, 并选取前两个主成分波段进行纹理特征比较, PC1 与 PC2 的纹理计算结果均表明, 2011 年的 Landsat7 ETM+影像纹理比延寿期 HJ-1A CCD 影像较好, 纹理较细, 清晰度高, 对地物的反映敏感且包含的信息量大。

综上, 延寿期的 HJ-1A CCD 影像的第 4 波段比正常寿命期的 HJ 影像质量稍高, 而其他波段质量稍逊于正常寿命期的 HJ 影像, 与正常寿命期影像的各项指标相接近, 所以延寿期影像完全可以与早期的 HJ 影像一样, 应用环境监测、灾害监测、国土资源管理、农业应用、城市规划等方面。

### [参 考 文 献]

- [1] 李石华, 角媛梅. 环境与灾害监测预报小卫星 A 星 CCD 影像质量评价[J]. 红外技术, 2009, 31(3): 167-172.  
Li Shihua, Jiao Yuanmei. Image quality assessment for the HJ-A CCD[J]. Infrared Technology, 2009, 31(3): 167-172. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孙中平, 熊文成, 魏斌, 等. 环境一号卫星 CCD 影像质量评价研究[J]. 红外, 2010, 31(9): 30-36.  
Sun Zhongping, Xiong Wencheng, Wei Bin, et al. Image quality evaluation of HJ-1 satellite CCD sensor[J]. Infrared, 2010, 31(9): 30-36. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨元元, 王鸿南, 汪静, 等. CBERS-1 卫星超期图像数据质量评价研究[J]. 航天返回与遥感, 2003, 24(4): 34-39.  
Yang Yuanyuan, Wang Hongnan, Wang Jing, et al. Research on the quality of exceed images provided by CBERS-1 satellite[J]. Spacecraft Recovery and Remote Sensing, 2003, 24(4): 34-39. (in Chinese with English abstract)
- [4] 周雨霖, 田庆久, 张雪红. CBERS-02B 卫星 CCD 数据质量评价与植被分类应用潜力[J]. 遥感信息, 2008, (6): 47-52.  
Zhou Yulin, Tian Qingjiu, Zhang Xuehong. CBERS-02B CCD image data quality evaluation and application potential for vegetation classification[J]. Remote Sensing Information, 2008, (6): 47-52. (in Chinese with English abstract)
- [5] 汪静, 杨媛媛, 王鸿南, 等. CBERS-1 卫星 02 星图像数据质量评价[J]. 航天返回与遥感, 2004, 25(2): 34-38.  
Wang Jing, Yang Yuanyuan, Wang Hongnan, et al. The Quality Evaluation of the Image Date of CBERS-1 of No.2 Satellite[J]. Spacecraft Recovery and Remote Sensing, 2004, 25(2): 34-38. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张霞, 张兵, 赵永超, 等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(6): 581-586.  
Zhang Xia, Zhang Bing, Zhao Yongchao, et al. Image quality assessment for the infrared multi-spectral scanner of the Chinese-Brazil Earth Resources Satellite[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(6): 581-586. (in Chinese with English abstract)
- [7] 赵书河, 冯学智, 赵锐. 中巴资源一号卫星南京幅数据质量与几何纠正评价[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(3): 170-174.  
Zhao Shuhe, Feng Xuezhi, Zhao Rui. Evaluation on data quality and geometric correction of china-brazil resources satellite No.1 data in Nanjing area[J]. Remote Sensing

- Technology and Application, 2000, 15(3): 170—174. (in Chinese with English abstract)
- [8] 洪志刚, 丛楠, 唐新明, 等. 中巴 02B 影像质量评价与几何校正初探[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 23(4): 31—34.  
Hong Zhigang, Cong Nan, Tang Xinming, et al. The elementary study on the geometric correction assessment of CBERS-02B data[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2010, 23(4): 31—34.(in Chinese with English abstract)
- [9] Kamel Soudani, Christophe Francois, Guerric le Maire, et al. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, (102): 161—175.
- [10] Kari Kallio, Jenni Attila, Pekka Harma. Landsat ETM+ images in the estimation of seasonal lake water quality in boreal river basins[J]. Environmental Management, 2008, 42(3): 511—522.
- [11] 王钦军, 田庆久. IRS-P6 卫星 LISS3 图像数据质量评价[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 11—14.  
Wang Qinjun, Tian Qingjiu. Quality evaluation of LISS3 image from IRS-P6 satellite[J]. Geography and Geo-Information Science, 2007, 23(3): 11—14. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990: 148—150.
- [13] 周雨霁, 田庆久. EO-1Hyperion 高光谱数据的质量评价[J]. 地球信息科学, 2008, 10(5): 678—683.  
Zhou Yuji, Tian Qingjiu. Image quality evaluation of EO-1 hyperion sensor[J]. Geo-Information Science, 2008, 10(5): 678—683. (in Chinese with English abstract)
- [14] Robert C W, Don H C, Christine A H. Thematic mapper image quality: Registration, noise, and resolution[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1984, GE-22(3): 263—271.
- [15] Azadeh Mansouri, Ahmad Mahmoudi Aznavah, Farah Torkamani-Azar et al. Image quality assessment using the singular value decomposition theorem[J]. Optical Review, 2009, 16(2): 49—53.
- [16] Corner B R, Narayanan R M, Reichenbach S E. Noise estimation in remote sensing imagery using data masking[J]. International Journal of Remote Sensing. 2003, 24(4): 689—702.
- [17] 曾生根, 仲海泉, 夏德深. 从图像工程角度看 CBERS-1 卫星图像[J]. 航天返回与遥感, 2001, 22(3): 40—45.  
Zeng Shenggen, Zhong Haiquan, Xia Deshen. Analysis of the CBERS-1 image based on image engineering[J]. Spacecraft Recovery and Remote Sensing, 2001, 22(3): 40—45. (in Chinese with English abstract)
- [18] 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 17—19.
- [19] Wei Su, Jing Li, Yunhao Chen. Textural and local spatial statistics for the object-oriented classification of urban areas using high resolution imagery. International Journal of Remote Sensing[J]. 2008, 29(11): 3105—3117.
- [20] 王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 828—831.  
Wang Hongnan, Zhong Wen, Wang Jing, et al. Research of measurement for digital image definition[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 828—831. (in Chinese with English abstract)

## Quality evaluation and usability analysis of CCD image in life extension period for HJ-1 satellite

Su Xiaohui<sup>1</sup>, Zhang Xiaodong<sup>1</sup>, Su Wei<sup>1\*</sup>, Sun Zhongping<sup>2</sup>, You Daian<sup>2</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Centre for Satellite Environmental Application, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100094, China)

**Abstract:** HJ-1 Satellite has made an important role in monitoring and prediction of disaster and environment since it launched successfully, and it has been serviced for 3 years, and it is in extension period. In order to evaluate image in the extension period, the study selected three image features: geometric deviation, texture feature and gray level feature. By comparing the images of the same temporal Landsat7 ETM+ and the forepart HJ-1A CCD, the quality of the extension period images from CCD sensor onboard HJ-1 Satellite was evaluated objectively. The result shows that the quality of extension period image of HJ-1 Satellite has declined a little, but it is close to the forepart image of HJ-1 Satellite. Image of HJ-1 Satellite in the extension period still can describe the types of the surface features and details. It still can provide service like the forepart image in environment monitoring, disaster monitoring, land and natural resources management, city planning and agricultural application.

**Key words:** image quality, geometry, calibration, textures, gray levels, HJ-1