

DOI: 10.5846/stxb201305030912

徐涵秋, 唐菲. 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义. 生态学报 2013, 33(11): 3249–3257.

Xu H Q, Tang F. Analysis of new characteristics of the first Landsat 8 image and their eco-environmental significance. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(11): 3249–3257.

新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像 新增特征及其生态环境意义

徐涵秋*, 唐菲

(福州大学遥感信息工程研究所 福州大学环境与资源学院, 福州 350108)

摘要: 美国 Landsat 8 卫星的成功发射使一度中断的 Landsat 对地观测得以继续。Landsat 8 除了保持 Landsat 7 卫星的基本特征外, 还在波段的数量、波段的光谱范围和影像的辐射分辨率上进行了改进。基于该卫星的首幅影像, 针对这些新的特性进行了分析和研究。研究发现: (1) 新增的卷云波段有助于区别点云和高反射地物; (2) 卷云波段设计的波长范围位于粘土矿物光谱反射的强吸收带, 有利于土壤与建筑不透水面信息的区别; (3) 新增的深蓝波段有助于水体悬浮物浓度的监测; (4) 全色影像波长范围的收窄有利于该影像上植被和非植被的区别; (5) 辐射分辨率的提高可避免极亮/极暗区的灰度过饱和现象, 这对反射率极低的水体的细微特征识别有很大帮助。显然, Landsat 8 这些新增的优点将会对全球生态环境变化的监测产生积极的作用。

关键词: Landsat 8; 遥感; 生态环境

Analysis of new characteristics of the first Landsat 8 image and their eco-environmental significance

XU Hanqiu*, TANG Fei

Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University; College of Environment and Resources, Fuzhou University; Fuzhou 350108, China

Abstract: The successful launch of Landsat 8 on February 11, 2013 has made it possible for the continuity of Landsat earth observation mission once stopped due to the failure of the aged Landsat 5 in late 2011. The satellite has two sensors, the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS), which collect remotely-sensed data over a 185 km swath. Landsat 8 has several new characteristics as well as those of Landsat 7. These include adding two spectral bands (deep blue and cirrus bands), refining spectral range of some bands of Landsat 7 ETM+, splitting one thermal band to two bands, and improving radiometric resolution from 8 bits to 16 bits. This paper aims to examine the new characteristics of the satellite's image. Image processing and analysis have been carried out on the satellite's first image acquired on March 18, 2013. The results show that (1) the addition of the cirrus band can be useful for the separation of cloud from bright ground objects; (2) the band is also helpful for the distinguishing soil from building materials because the spectral range of the cirrus band is designed within a strong water vapor absorbing zone of the clay minerals; (3) the addition of the deep blue band can be useful for monitoring suspended materials in open waters; (4) the narrowing of spectral range of the panchromatic band can help the differentiation of vegetated and non-vegetated area in the panchromatic image; and (5) the enhancement of radiometric resolution from 8 bits to 16 bits would avoid spectral saturation of the data in extremely dark/light regions. In general, Landsat 8 has technical advantages over Landsat 7 except a lower spatial resolution in thermal

基金项目: 国家科技支撑项目(2013BAC08B01-05); 福建省自然科学基金项目(2011J01269)

收稿日期: 2013-05-01; 修订日期: 2013-06-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hxu@fzu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

data. Its launch and operation can undoubtedly make significant contributions to the morning of global ecosystem and environmental changes.

Key Words: Landsat 8; remote sensing; eco-environment

在各种卫星遥感对地观测数据深入应用到各行各业的今天,长达 40 年历史的 Landsat 系列卫星数据无疑仍是应用最广泛的卫星数据,它们在全球尺度的生态环境变化监测中发挥了无可比拟的重要作用。但是,由于其两颗主力卫星中的 Landsat 7 号星的扫描行校正器于 2003 年 5 月 31 日发生了故障,使其实用价值大打折扣;而设计寿命只有 3 年的 Landsat 5 号星也因为近 29 年的超期服役而于 2012 年 12 月 21 日正式宣布退役^[1],从而造成 Landsat 40 年的连续对地观测出现一度中断。几经波折的 Landsat 8 卫星终于在 Landsat 对地连续观测中断 1 年 4 个月之后,于 2013 年 2 月 11 日在美国加州成功发射^[2]。这意味着 Landsat 将继续为全球的生态环境提供连续的观测数据。

3 月 18 日,Landsat 8 获得了第一幅遥感影像,并于 29 日作为样本数据供用户下载^[3]。为了了解 Landsat 8 卫星影像的基本特征、新增特征及其优点,本文对该影像进行了处理与分析,并重点测试了其新增特性的应用,旨在为广大用户了解该影像的应用潜力提供第一时间的基本信息。

1 Landsat 8 卫星影像的基本特征

Landsat 8 卫星是由美国宇航局(NASA)和美国地质调查局(USGS)共同负责的项目。美国宇航局负责卫星传感器的研制和发射,美国地质调查局负责后续的系统维护、地面接收、数据处理和分发。在研制和发射调试阶段,美国宇航局将这一新星称为 Landsat Data Continuity Mission(LDCM),意指其肩负着 Landsat 卫星连续对地观测的使命。在发射后大约 100 天的调试期结束后(5 月底),LDCM 将移交给美国地质调查局。届时,美国地质调查局会将其改名为 Landsat 8,以延续 Landsat 系列卫星自 1972 年发射以来,已持续了 40 年的全球对地观测使命。正是由于这一使命,Landsat 8 的设计和特征与 Landsat 7 基本相同,这使得 Landsat 8 数据可以和前期的 Landsat 数据保持很高的一致性和可比性。表 1 给出 Landsat 8 和 Landsat 7 卫星影像的基本参数对比^[4]。

表 1 Landsat 8 与 Landsat 7 影像的主要参数对比

Table 1 Comparison of spectral bands between Landsat 8 and Landsat 7

| Landsat 8 | | | | | | Landsat 7 | | | | | |
|-----------|----------|------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 传感器 | 波段号 | 波段 | 波长 | 空间分辨率 | 辐射分辨率 | 传感器 | 波段号 | 波段 | 波长 | 空间分辨率 | 辐射分辨率 |
| Sensor | Band No. | Band | Wavelength /μm | Spatial resolution /m | Radiometric resolution /bit | Sensor | Band No. | Band | Wavelength /μm | Spatial resolution /m | Radiometric resolution /bit |
| OLI | 1 | 深蓝 | 0.43—0.45 | 30 | 12 | ETM+ | 1 | 蓝 | 0.45—0.52 | 30 | 8 |
| | 2 | 蓝 | 0.45—0.51 | 30 | 12 | | 2 | 绿 | 0.52—0.60 | 30 | 8 |
| | 3 | 绿 | 0.53—0.59 | 30 | 12 | | 3 | 红 | 0.63—0.69 | 30 | 8 |
| | 4 | 红 | 0.64—0.67 | 30 | 12 | | 4 | 近红外 | 0.77—0.90 | 30 | 8 |
| | 5 | 近红外 | 0.85—0.88 | 30 | 12 | | 5 | 短波红外 | 1.55—1.75 | 30 | 8 |
| | 6 | 短波红外 | 1.57—1.65 | 30 | 12 | | 7 | 短波红外 | 2.09—2.35 | 30 | 8 |
| | 7 | 短波红外 | 2.11—2.29 | 30 | 12 | | 8 | 全色 | 0.52—0.90 | 15 | 8 |
| | 8 | 全色 | 0.50—0.68 | 15 | 12 | | 6 | 热红外 | 10.40—12.50 | 60 | 8 |
| | 9 | 卷云 | 1.36—1.38 | 30 | 12 | | | | | | |
| TIRS | 10 | 热红外 | 10.60—11.19 | 100 | 12 | | | | | | |
| | 11 | 热红外 | 11.50—12.51 | 100 | 12 | | | | | | |

浅灰色标注的波段代表新增的波段或与 Landsat 7 对应波段在波长范围设置上有较大改变的波段

从表 1 中可以看出,新的 Landsat 8 具有以下特征:

(1) 波段设置: Landsat 8 除了具有 Landsat 7 所有的光谱波段外,还有以下变化(图 1):

<http://www.ecologica.cn>

- 在原蓝光波段之外新增了 1 个深蓝(Deep blue) 波段,用于监测近岸水体和大气中的气溶胶,因此也称海岸/气溶胶(Coastal/Aerosol) 波段;
- 在原近红外波段与短波红外波段间新增了 1 个卷云(Cirrus) 波段,用于检测卷云;
- 将原热红外波段的光谱范围一分为二,设置了 2 个热红外波段;
- 收窄了原近红外波段的光谱范围,以便去除 $0.825\mu\text{m}$ 处的水汽吸收影响;
- 收窄了原全色波段的光谱范围,新的全色波段的光谱范围不再覆盖近红外波段。

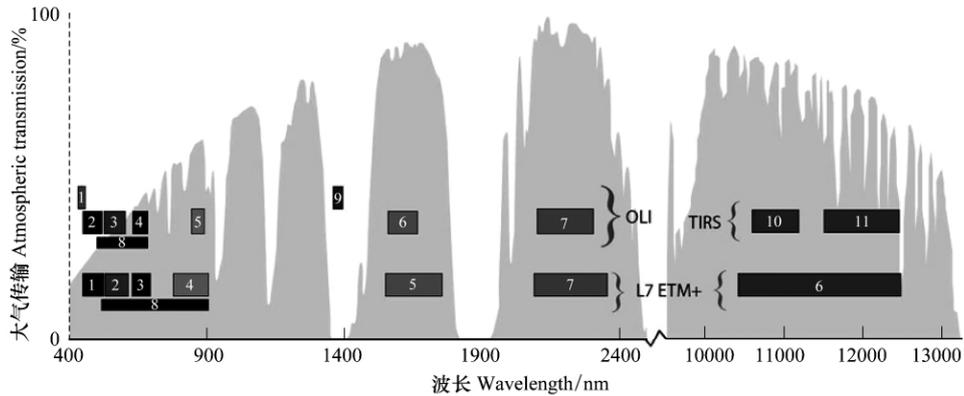


图 1 Landsat 8 传感器与 Landsat 7 传感器波段光谱设置范围的对比(据 NASA)

Fig. 1 Spectral band comparison between Landsat 8 and Landsat 7 sensors (from NASA)

(2) 传感器数量: Landsat 8 具有 2 个传感器: Operational Land Imager (OLI) 和 Thermal Infrared Sensor (TIRS)^[5], 亦即 Landsat 8 具有单独的热红外传感器 TIRS, 而不像 Landsat 7 那样, 将其集成于 ETM+ 传感器之中。应该说这是一个被动之举。由于 Landsat 8 在最初的设计上并没有考虑要继续接收热红外数据, 后来决定要继续接收热红外数据时, 已设计的 OLI 传感器已无足够的空间来容纳热红外传感器。为了不耽误发射时间, 只得决定单独设计另一新的传感器, 由于时间紧迫, 所设计的热红外数据的分辨率为 100m, 这较之于 Landsat 7 的 60m, 不得不说是个退步, 而且设计的使用年限也只有 3 年, 低于同卫星的 OLI 的 5 年。但可喜的是, 新的热红外传感器有 2 个波段, 比 ETM+ 增加了 1 个波段, 这使得它可以用劈窗算法来进行大气校正^[6]。

(3) 辐射分辨率: Landsat 8 的 OLI 传感器采用的是已在 EO-1 卫星的 ALI 传感器上实验过的推进扫描方式^[7], 所以将比所有老的 Landsat 系列卫星的传感器具有更高的信噪比。根据 Irons 等^[6]的资料整理, OLI 各波段的信噪比有望比 Landsat 7 ETM+ 各对应波段平均高出近 3 倍。因此 Landsat 8 将 Landsat 7 的 8 bit 辐射分辨率提高到 12 bit, 大大增加了影像的灰度量化级。

2 Landsat 8 实验影像及其预处理

首幅 Landsat 8 遥感影像展示了美国怀俄明州和科罗拉多州的大平原区和落基山脉前沿交汇处的生态景观。由于影像许多地方被云覆盖, NASA 和 USGS 的网站主要展示的是其中云较少的科罗拉多州博尔德 (Boulder) 地区处的部分影像^[3]。因此, 本文亦选该处影像作为实验分析影像, 面积约 80 km² (图 2)。该影像仍沿用 Landsat 系列数据的 UTM/WGS84 投影/坐标

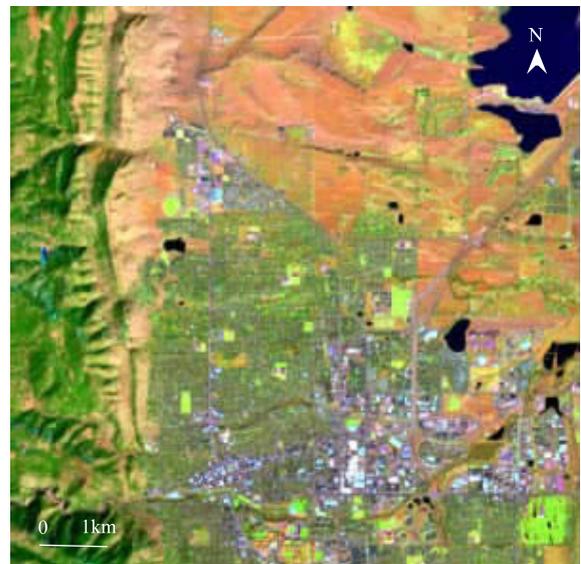


图 2 实验影像

Fig. 2 Subset of the first Landsat 8 image used as the test image

系,数据的处理格式为 Level 1T,即已进行了基于地形的几何校正。但由于撰稿时,Landsat 8 仍在调试阶段,其定标参数文件(CPF)尚未发布,影像各波段的增益值(gain)、偏离值(bias)和太阳平均辐照度(ESUN)等参数未知,因此无法将影像的灰度值(DN)转换为表观反射率(TOA)^[8],主要采用 Jensen 的直方图平移法对影像进行辐射校正^[9]。表 2 列出了经预处理后的该影像的基本统计特征。

表 2 实验影像的统计特征值
Table 2 Statistics of the test image

| | | OLI 1 | OLI 2 | OLI 3 | OLI 4 | OLI 5 | OLI 6 | OLI 7 | OLI 9 |
|------------------------------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 基本统计特征 Statistics | 最小值 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 | 208 |
| | 最大值 | 15247 | 17660 | 20189 | 21744 | 25446 | 23329 | 17695 | 763 |
| | 平均值 | 1764.739 | 2174.06 | 2949.846 | 3774.856 | 7430.722 | 8329.416 | 6531.492 | 427.446 |
| | 标准差 | 769.008 | 900.659 | 1063.528 | 1356.698 | 1925.615 | 3005.565 | 2406.547 | 81.923 |
| | 第一主成分 | 0.100 | 0.126 | 0.165 | 0.253 | 0.374 | 0.677 | 0.533 | 0.014 |
| | | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 | PC8 |
| 主成分分析 PCA | 特征值 | 19900503 | 2469258 | 1263719 | 111148 | 50544 | 14564 | 2793 | 1406 |
| | 特征值贡献率% | 83.57 | 10.37 | 5.31 | 0.47 | 0.21 | 0.06 | 0.01 | 0.01 |
| 相关分析 Correlation analysis | OLI 1 | 1 | 0.994 | 0.956 | 0.908 | 0.496 | 0.425 | 0.452 | 0.156 |
| | OLI 2 | 0.994 | 1 | 0.972 | 0.93 | 0.526 | 0.475 | 0.495 | 0.217 |
| | OLI 3 | 0.956 | 0.972 | 1 | 0.966 | 0.579 | 0.546 | 0.563 | 0.285 |
| | OLI 4 | 0.908 | 0.93 | 0.966 | 1 | 0.707 | 0.704 | 0.715 | 0.429 |
| | OLI 5 | 0.496 | 0.526 | 0.579 | 0.707 | 1 | 0.795 | 0.708 | 0.625 |
| | OLI 6 | 0.425 | 0.475 | 0.546 | 0.704 | 0.795 | 1 | 0.973 | 0.801 |
| | OLI 7 | 0.452 | 0.495 | 0.563 | 0.715 | 0.708 | 0.973 | 1 | 0.759 |
| | OLI 9 | 0.156 | 0.217 | 0.285 | 0.429 | 0.625 | 0.801 | 0.759 | 1 |

从表 2 可以看出,该影像中信息量最大的波段是短波红外(OLI 6、7)波段。它们的标准差最大,对占影像总信息量 83.57% 的第一主成分(PC1)的贡献也最大,二者的载荷分别达到 0.677 和 0.533,远远超过其他波段。而新增的卷云波段(OLI 9)的信息量最小,其标准差和对 PC1 的贡献度都是最小的。从相关性来看,可见光组的波段(OLI 1—4 波段)具有很强的相关性,短波红外组的波段(OLI 6—7、9 波段)也具有较强的相关性,近红外波段则与各波段的相关度都小于 0.8。因此,从这 3 个波段组中各选 1 个波段进行彩色组合,可以最大限度地降低波段之间的冗余度,获得较好的目视效果。

从图 2 可以看出,实验影像的西部为覆有林地的落基山脉前沿,北部为大片裸土,主要为第四纪的松散堆积^[10],中部为绿荫遮蔽的居住用地,南部为商业区和科罗拉多大学博尔德分校。影像中还有少量人工草地和水塘点缀其中,最大的一处水体位于影像东北角。图 3 和表 3 是影像中主要土地覆盖类型的反射光谱曲线和统计特征。需要说明的是,NASA 虽然将卷云波段编号为 9 波段,但其光谱范围实际上介于 OLI 5 和 OLI 6 波段之间(表 1),因此在图 3 和表 3 中,将其置于 5 波段和 6 波段之间,以客观反映地物的光谱变化趋势。

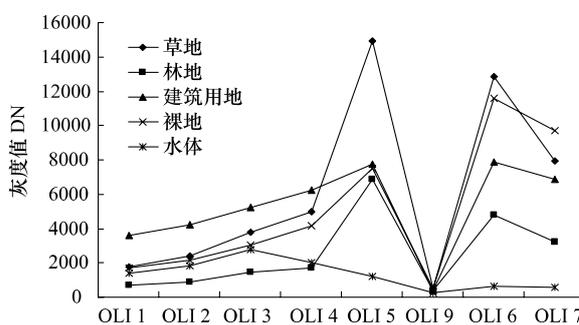


图 3 实验影像主要土地覆盖类型的反射光谱曲线

Fig. 3 Signatures of the main land cover classes of the test image

表 3 实验影像主要土地覆盖类型的均值

Table 3 The mean values of the main land cover classes of the test image

| | OLI 1 | OLI 2 | OLI 3 | OLI 4 | OLI 5 | OLI 9 | OLI 6 | OLI 7 |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 草地 Grass | 1771.17 | 2391.88 | 3768.61 | 5002.46 | 14957.07 | 516.18 | 12838.99 | 7949.99 |
| 林地 Forest | 678.75 | 892.67 | 1423.25 | 1675.26 | 6839.39 | 406.49 | 4759.73 | 3236.21 |
| 新建筑用地 New Built-up land | 12786.93 | 14967.84 | 17205.49 | 19518.84 | 23132.72 | 522.84 | 19356.53 | 17159.97 |
| 建筑用地 Built-up land | 3592.85 | 4197.04 | 5239.00 | 6207.51 | 7735.11 | 361.07 | 7862.15 | 6844.86 |
| 裸地 Bare soil | 1731.78 | 2158.06 | 3052.74 | 4160.28 | 7501.97 | 515.52 | 11604.91 | 9721.83 |
| 水体 Water | 1373.15 | 1853.79 | 2748.43 | 2009.17 | 1166.68 | 253.03 | 650.20 | 585.71 |
| 云 Cloud | 14201.16 | 15357.36 | 15831.55 | 17273.93 | 21750.06 | 4344.95 | 20329.73 | 18007.71 |

3 Landsat 8 影像新增特征及其生态环境意义

植被、水体、土壤是地表三个主要的生态环境要素、也是遥感生态环境监测的主要地面目标。因此, 以下就这三大要素分析 Landsat 8 新增特性的优势。

3.1 植被监测

Landsat 8 全色波段(OLI 8 波段) 的一大变化就是其光谱范围不再包含近红外波段, 以覆盖绿光和红光波段为主; 而 Landsat 7 全色波段的波长范围则完整地覆盖了绿光、红光和近红外波段的波长范围(图 1、表 1)。为了考察这一变化带来的影响, 特选取了 Landsat 7 ETM+同一地区 2003-3-15 的全色影像作为对比。该影像的季相与本次实验影像(3 月 18 日) 完全一致, 虽然时隔 10 年, 但仍可以看出该区的土地覆盖在这期间并没有发生太大变化(图 4)。通过对比可以发现, 在 OLI 的全色影像上(图 4a), 植被呈暗色, 如西边落基山脉的林地和中部居住区里的绿化带, 因此植被和裸地、建筑用地等非植被区反差较明显。而对于 ETM+全色影像, 直观就可以看出其总体亮度较大, 主要的原因是植被区并不太暗, 特别是居住区的绿化带和其中的建筑物的亮度较接近, 二者的反差不像在 OLI 全色影像中那样明显, 因此很难区别(图 4b)。显然, ETM+全色波段由于涵盖了近红外波段, 因此接收到了植被在这一波长区间的反射光谱, 从而导致其影像的亮度增大, 植被与非植被信息难于区分; 而 OLI 全色影像上不包含近红外波段的光谱则有利于全色影像中植被和非植被信息的区别。



图 4 Landsat 8 OLI 与 Landsat 7 ETM+的全色影像

Fig. 4 Panchromatic images of OLI and ETM+ sensors

3.2 水质监测

新增的深蓝波段(OLI 1 波段) 主要用于监测近岸水体。但 Landsat 8 的首幅影像中没有海岸带, 因此主要

根据实验影像东北角的水体对其考察(图 5a)。先利用 MNDWI 水体指数^[11],将水体提取出来,然后计算水体的均值。从图 3 可以看出水体的均值从 OLI 1 到 OLI 3 波段为逐渐升高,然后逐渐下降。由于清水的反射率是随着波长的升高而降低,只有含悬浮物水体的反射率才会先升高后降低^[12],因此,可知这一水体的悬浮物浓度较高。从图 5 可以看出,该水体在深蓝波段的反射率低于蓝光波段(前者的红度不及后者),二者的差值影像(蓝光波段减深蓝波段)突出了悬浮物浓度差,影像越红的地方,浓度差距越大。显然,深蓝波段的出现有助于水体浑浊程度的判断。

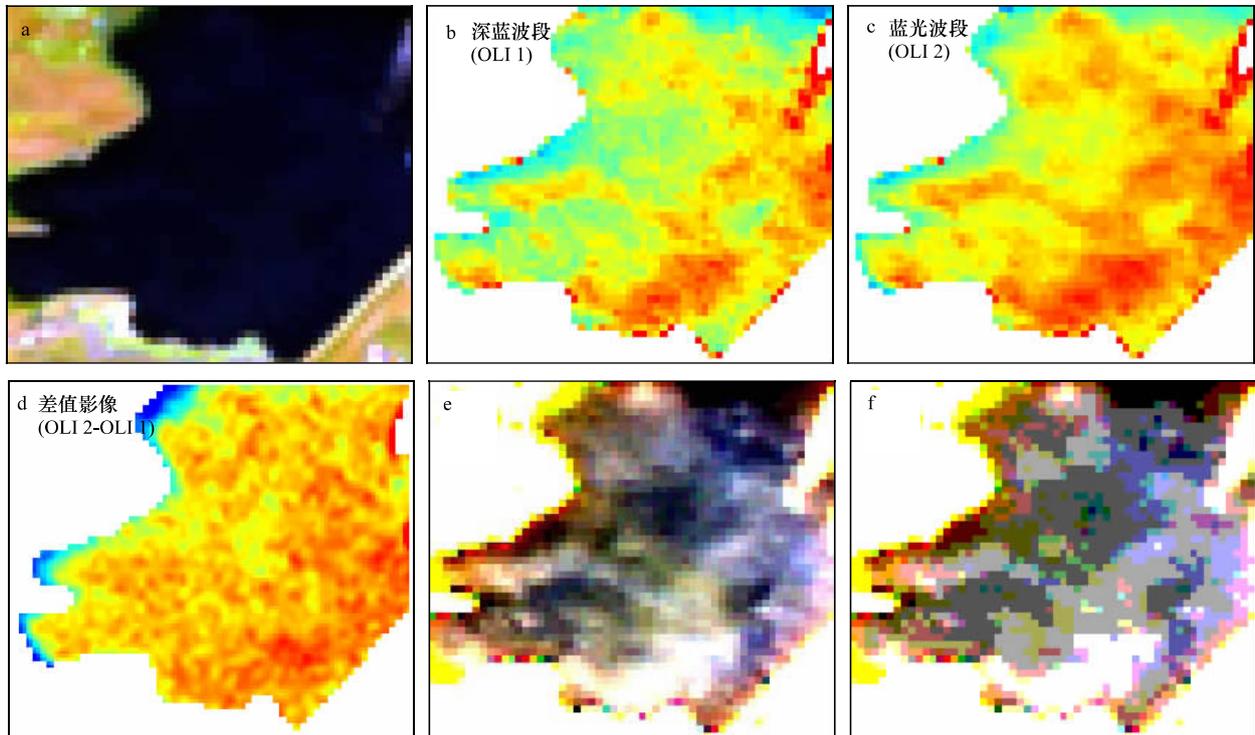


图 5 (a) 水体影像,(b)、(c) 深蓝、蓝光波段表现出的水体特征,(d) 差值影像所突出的悬浮物浓度差,(e) 16 bit 增强影像,(f) 8 bit 增强影像

Fig. 5 (a) Original water image, (b)–(c) water feature showing in the deep blue and blue bands, (d) the differencing image of the two bands, (e) enhanced 16-bit water image, and (f) enhanced 8-bit water image

Landsat 8 另一新增特征就是提高了影像的辐射分辨率。首幅影像的辐射分辨率为 16 bit,其灰度量化区间为 0—65536,大大超过之前 8 bit 数据的 0—255 量化区间。为了实际考察这一变化的优势,我们仍以影像东北角的水体进行实验。除了用 16 bit 的数据进行实验外,还将其量化为 8bit,模拟成 ETM+影像,以进行对比。图 5e、f 为对水域进行对比度增强后获得的 16 bit 和 8 bit 的水体影像。可以明显发现,16 bit 影像较好地显示出水体的细节信息,而模拟的 8 bit ETM+影像则会出现灰度过饱和现象,图像表现的细节远不及前者丰富。显然,辐射分辨率的提高可避免极暗区的灰度过饱和现象,这对反射率极低的水体的细微特征的辨析有很大的帮助。

3.3 裸土和不透水建筑地面监测

新增的卷云波段(OLI 9 波段)的信息量很低(表 2),这主要是因为其波段光谱范围的设置不是位于大气窗口内,而是位于强烈的水汽吸收带(图 1),大部分地面反射的电磁波信息无法穿过大气层,因此它们的信息很弱,传感器接收到的只是云层的信息。这样,当云和少数亮白色、反射率极强的地物(如沙土、新建筑用地)在其它波段不易区别时,就可以借助该波段来加以区别。从表 3 和图 6 可以看出,云和高反射的新建筑用地在大部分波段具有相似的光谱反射曲线特征,难于区别,但在卷云波段(9 波段)处,云的反射率明显高于新建筑用地,因此可设定阈值来将其分离。表 4 为各主要地类在卷云波段的统计值,从中可以看出,云的最小值都

大于任何其它地类的最大值,因此,以其作为阈值,就可以区分云和其它地类。图 7 取自该景影像中一小块有云覆盖的地区,其中有大片的裸土,将云在卷云波段中的最小值作为阈值就可以快速地将云的信息分离出来。

表 4 各地类在卷云波段的统计特征值
Table 4 Statistics of main land cover classes in the cirrus band

| | 草 Grass | 林地 Forest | 建筑用地 Built-up | 裸地 Bare soil | 水体 Water | 云 Cloud |
|----------|------------|--------------|------------------|-----------------|-------------|------------|
| 最小值 Min | 430 | 347 | 306 | 414 | 220 | 2439 |
| 最大值 Max | 557 | 492 | 457 | 583 | 286 | 5802 |
| 平均值 Mean | 516 | 406 | 361 | 516 | 253 | 4345 |

研究还发现,卷云波段除了能够突出云外,还有助于区分裸土和建筑用地。在利用光谱分解(SMA)技术提取建筑不透水面信息时遇到的一个主要难题就是土壤和不透水建筑用地的混淆问题^[13-16]。但是这一问题的解决似乎可以从卷云波段找到曙光。图 7d 是实验区卷云波段的伪彩色影像,北部的裸土和中、南部的建筑用地的色调明显不同,裸土呈红、黄色,说明具有很高的亮度,而建筑物则以蓝绿色调为主,说明具有低亮度。从表 4 也可以看出,裸地在卷云波段的均值 516,而建筑用地只有 361,说明前者的亮度明显高于后者,二者具有明显的反差。

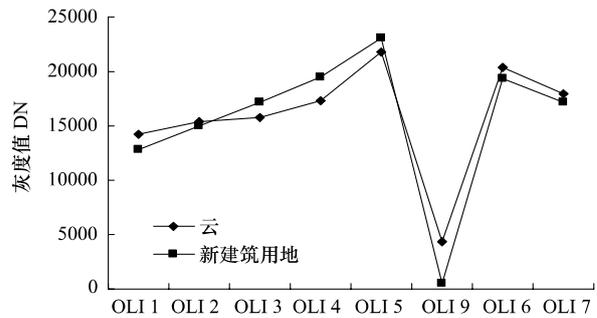


图 6 云和新建筑用地的反射光谱曲线
Fig. 6 Signatures of cloud and new built-up land

为了考察新增的卷云波段是否对区别土壤和建筑不透水面信息有帮助,我们利用 Wu 的线性光谱分解技术^[13]对影像进行了不透水面信息的增强实验。实验分为 2 个方案,一个是将全部多光谱波段参与实验(图 7e),一个是剔除了其中的云波段(模拟为 Landsat ETM+) (图 7f)。从图 7e 可以看出,其北部土壤以黄色为主,而中南部的建筑用地多为红色,二者反差较大;而图 7f 中,北部土壤的色调偏红,与建筑物的反差不如图 7e 来的明显。定量分析表明,有云波段参与实验的不透水面的均值与土壤均值的比值为 2.15:1,而剔除云波段的实验的比值为 1.91:1,前者比后者的比值提高了 12.6%。比值越大说明二者的反差越大,越容易区分。因此,加入卷云波段显然有利于二者的区分。为了探究其原因,我们利用美国地质调查局的光谱数据获得了 OLI 传感器各波段的光谱响应函数及主要地物的反射率曲线^[4]。可以看出,粘土矿物(高岭石、蒙脱石、叶蜡石)在卷云波段附近都有一个明显的吸收谷,而其它地物不具这一特征,多为平滑过渡(图 8)。可见,卷云波段的设立使得粘土矿物的吸收谷特征得以突出,这显然有助于土壤与其它地表地物的区别。而在老的 Landsat 系列卫星影像中,由于缺乏卷云波段,因此土壤与其它地物一样,在近红外与短波红外之间的光谱曲线同样表现为平滑过渡,体现不出强吸收谷的特征,因此在 TM/ETM+影像中,不透水面信息和土壤信息较难区分。

4 结论

新发射的 Landsat 8 卫星有 2 个传感器(OLI 和 TIRS)。除了保持原有 Landsat 7 卫星的基本特点外,Landsat 8 在波段设置上还新增了深蓝波段和卷云波段,并在原有热红外波段的光谱范围内,设置了 2 个热红外波段。除此之外,Landsat 8 还收窄了近红外波段和全色波段的光谱范围,将辐射分辨率从 8 bit 提高到 12 bit。

实验表明,新增的卷云波段可以很好地突出云的特征。除此之外,由于该波段的光谱范围位于粘土矿物的吸收谷附近,因此可以突出土壤的特征,有助于土壤和建筑不透水面信息的区别。深蓝波段的设立有助于

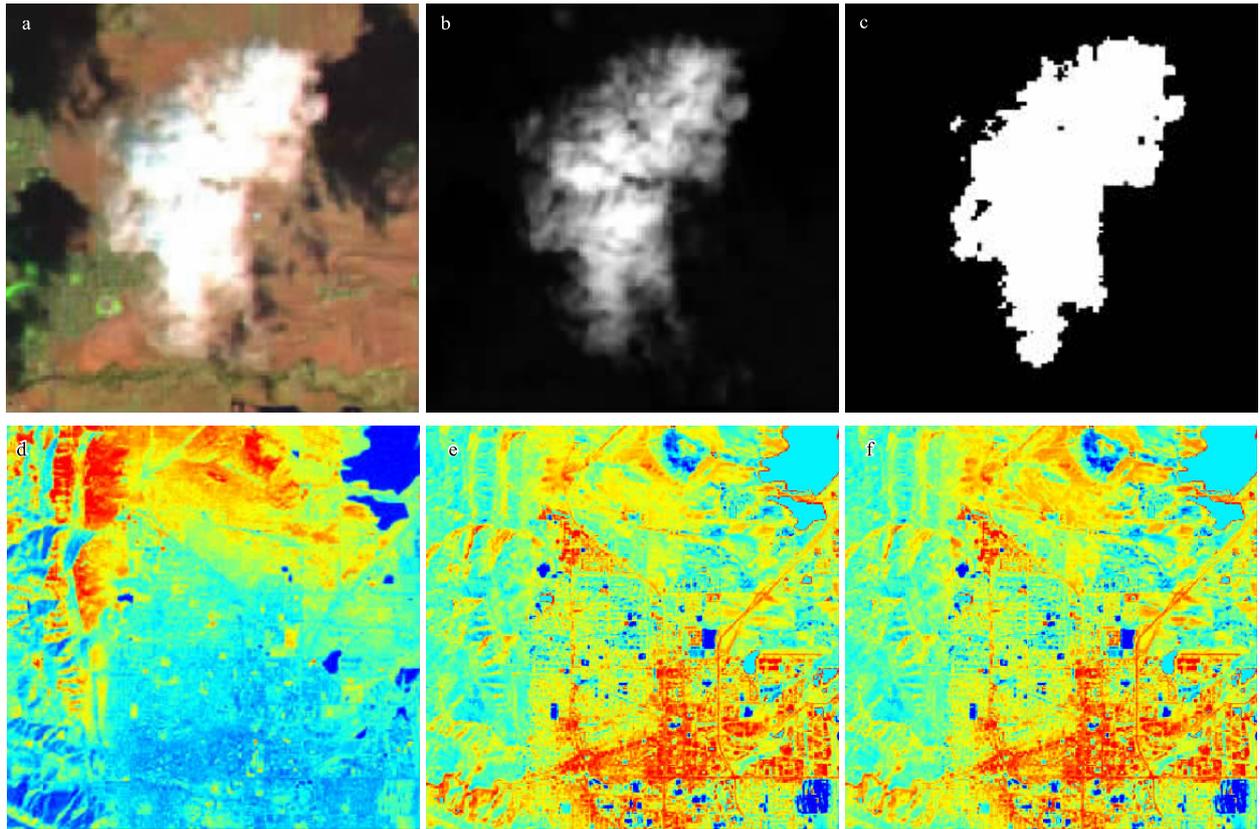


图7 (a) 云的彩色合成影像, (b) 卷云波段中的云, 其它地类由于在该波段反射率太低而被抑制, (c) 云的提取影像, (d) 实验区云波段影像, (e) 不透水面增强信息(全部波段); (f) 不透水面增强信息(剔除卷云波段)

Fig. 7 (a) Cloud image, (b) cloud in the cirrus band, other features seen in (a) are all suppressed, (c) binary cloud image, (d) image of the cirrus band of the test image, (e) enhanced impervious surface image using all multispectral bands, (f) enhanced impervious surface image using all multispectral bands except the cirrus band

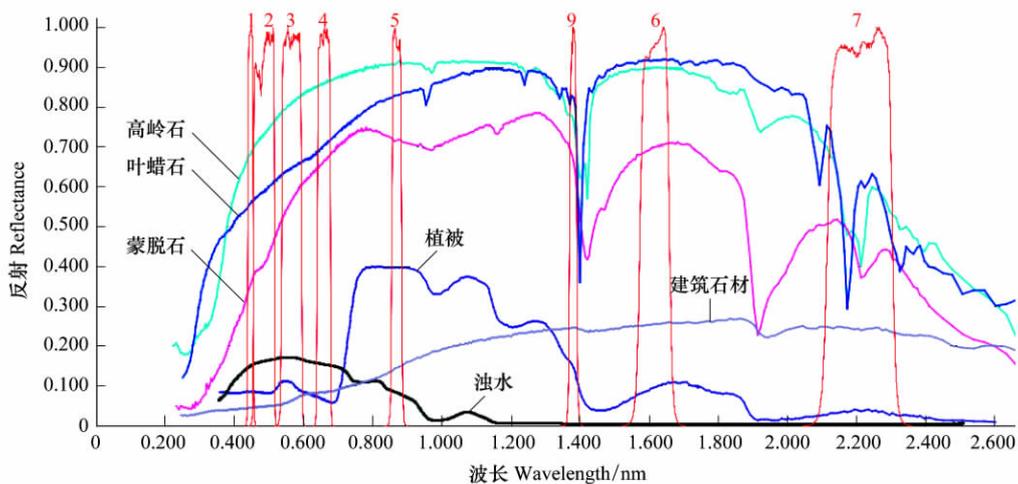


图8 OLI 各波段(1—7, 9 波段) 以及主要地表地物的光谱响应特征 (据美国地质调查局)

Fig. 8 Relative spectral response curves for bands of OLI, as well as main land cover classes (from USGS)

水体悬浮物的监测, 区分浑浊水体。全色影像光谱范围的收窄扩大了该影像上植被和非植被信息的反差, 而辐射分辨率的提高则避免了极亮/极暗区的灰度过饱和现象, 可以更好地显示这些地方的信息细节。显然,

Landsat 8 这些新增的特点将会对全球生态环境变化的监测产生积极的作用。

致谢: 本文使用的影像均下载于 USGS 网站 特此致谢。

References:

- [1] USGS. Mission Accomplished for Landsat 5. <http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=3485>, 2013/4/18.
- [2] NASA. LDCM Launch. http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/launch/index.html. 2013/4/18.
- [3] NASA. A Closer Look at LDCM's First Scene. http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/news/first-images-feature.html. 2013/4/18.
- [4] USGS. Landsat Missions. <http://landsat.usgs.gov/index.php>. 2013/4/18.
- [5] USGS. Landsat Data Continuity Mission (LDCM) -Landsat 8. http://landsat.usgs.gov/LDCM_Landsat8.php. 2013/4/18.
- [6] Irons J R , Dwyer J L , Barsi J A. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment* , 2012 , 122: 11-21.
- [7] Ungar S G , Pearlman J S , Mendenhall J A , Reuter D. Overview of the earth observing one (EO-1) mission. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 2003 , 41(6) : 1149-1159.
- [8] Chander G , Markham B L , Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS , TM , ETM+ , and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* , 2009 , 113(5) : 893-903.
- [9] Jensen J R. *Introductory Digital Image Processing*. 3rd ed. Upper Saddle River , NJ: Prentice Hall , 2004: 526-526.
- [10] Sheila M S. *Geology of the Boulder Area*. <http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/geology/>. 2013/4/18
- [11] Xu H Q. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* , 2006 , 27(14) : 3025-3033.
- [12] Xu H Q. Water colour variation analysis of the coastal waters surrounding Xiamen Island of SE China by multispectral and multitemporal remote sensing measurements. *Acta Scientiae Circumstantiae* , 2006 , 26(7) : 1209-1218.
- [13] Wu C S , Murray A T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment* , 2003 , 84(4) : 493-505.
- [14] Powell S L , Cohen W B , Yang Z Q , Pierce J D , Alberti M. Quantification of impervious surface in the Snohomish Water Resources Inventory Area of western Washington from 1972-2006. *Remote Sensing of Environment* , 2008 , 112(14) : 1895-1908.
- [15] Gluch R , Quattrochi D A , Luvall J C. A multi-scale approach to urban thermal analysis. *Remote Sensing of Environment* , 2006 , 104(2) : 123-132.
- [16] Yang X J , Liu Z. Use of satellite-derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth. *Computers , Environment and Urban Systems* , 2005 , 29(5) : 524-540.

参考文献:

- [12] 徐涵秋. 环厦门海域水色变化的多光谱多时相遥感分析. *环境科学学报* , 2006 , 26(7) : 1209-1218.