

成像高光谱数据的大气校正方法研究

林 辉, 严恩萍, 莫登奎, 臧 卓, 孙 华

(中南林业科技大学 林业遥感信息工程研究中心, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 高光谱遥感影像光谱信息丰富,但在成像过程中会产生误差,特别是受大气和光照等因素的影响较大,为获取真实的地表信息,必须对其进行大气校正。以湖南省攸县黄丰桥国有林场为研究区域,2010年12月28日获取的 Hyperion 高光谱影像为数据源,对其进行了几何校正和大气校正,并比较不同地物大气校正前后光谱特征。结果表明:FLAASH 大气校正速度快,可有效复原地物的地表反射率;Hyperion 影像经大气校正后,植被呈现出绿峰和红谷的典型植被反射率光谱曲线,在 427~712 nm 反射率比校正之前降低,而大于 712 nm 的结果则相反;FLAASH 能有效消除 Hyperion 影像的大气影响,校正后影像质量明显提高;大气校正后植被类间区分度增加,有利于提高植被的识别精度。

关键词: 高光谱遥感;Hyperion;大气校正;FLAASH

中图分类号: S771.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2011)11-0007-06

Study on method of atmospheric correction based on hyperspectral image

LIN Hui, YAN En-ping, MO Deng-kui, ZANG Zhuo, SUN Hua

(Research Center of Forest Remote Sensing & Information Engineering,
Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: There was much spectral information contained in hyperspectral remote sensing images. In order to reduce the effects of atmospheric and illumination, obtain true surface information, atmospheric correction was essential. The hyperspectral remote sensing images, which was acquired on December 28, 2010. Huangfeng national forest in Youxian of Hunan province, received geometric correction and atmospheric correction, the spectral features of different landmarks of Hyperion image before and after atmospheric correction were compared. The results show that FLAASH atmospheric correction was fast, by which land surface reflectance can be recovered effectively. After atmospheric correction, vegetation presented a green peak and valley, which was typical spectral curve of green vegetation. The reflectance was lower than apparent reflectance between 427 nm and 712 nm, but the result was on the contrary in other bands that were bigger than 712 nm bands. Through FLAASH atmospheric correction, the influence of atmospheric can be eliminated effectively and the vegetation differences were increased, which was helpful to improve the accuracy of vegetation recognition.

Key words: hyperspectral remote sensing; Hyperion; atmospheric correction; FLAASH

收稿日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871962); 高等学校博士学科点专项科研基金(200805380001); 国家林业局林业公益项目专题(201104028)

作者简介: 林 辉(1965-), 女, 湖北黄冈人, 教授, 博士, 主要从事森林经理学、遥感技术与地理信息系统的教学和科研工作

随着高分辨率成像光谱仪的出现,高光谱数据在地物波谱获取、生化参量估算以及森林类型识别上显示出巨大潜力,并已成为遥感领域的研究热点^[1-2]。传感器在接收地物信息过程中需经过大气层,获得的遥感影像同时包含了地面和大气的辐射信息,造成影像畸变。因此,要获得真实的地物信息,必须对影像进行大气校正^[3]。

大气校正是遥感定量研究的前提,旨在减少传感器成像过程中大气辐射因素的影响,获得真实的地表物理模型参数。目前,常用的大气校正方法有经验线性法和辐射传输模型法。前者简单易实现,但不易获取真实的地物辐射信息;而后者精度高,但在实际应用中受到限制。FLAASH 是目前流行的基于辐射传输模型的大气校正工具^[4],校正精度高,采用 MODTRAN 4 传输模型,对包含卷云和不透云层的分类影像,以及由漫反射产生的连带效应有明显的校正效果,可精确弥补大气效应。近十年来,相关学者利用 FLAASH 模块分别对不同数据进行了大气校正研究^[5-13],并取得一定成果。因此,理论而言,大气校正的好坏直接影响遥感影像的质量以及进一步的信息提取和遥感应用等。

2000 年 11 月 21 日,美国 NASA 为接替 Landsat-7 发射了新型对地观测卫星 EO-1,Hyperion 是搭载其上的第一个民用成像光谱仪,空间分辨率 30 m,采用退扫方式,波宽 10 nm,在 355~2 577 nm 可见近红外和短波红外范围内有 242 个波段。利用 ENVI4.7 软件的 FLAASH 模块,研究适用于 Hyperion 数据的大气校正实现方法,减少大气和光照等因素的影响,进而改善图像质量,提高信息提取的精度。

1 研究区和数据处理

1.1 研究区

1.1.1 研究区概况

研究区位于湖南省攸县黄丰桥国有林场境内,地处东经 113°04′~113°43′,北纬 27°06′~27°04′,林区呈带状分布,中低山地貌为主,坡度 25°~35°。气候属亚热带季风湿润气候区,年平均气温 17.8℃,最高气温 40℃。全场有林地面积 14 万 hm²,森林覆盖率达 55.07%。

1.1.2 研究区典型地类划分

为了精确地确定研究区覆被分类体系,于 2009 年 10 月 1~7 日在平南县进行为期 7 d 的野外调查,参考国家林业局 2003 年 4 月颁发的《森林资源规划设计调查主要技术规定》(林资发[2003]61 号文件),结合野外实地调查情况,最后将研究区地物分为 8 类,即针叶林、阔叶林、竹林、灌木林地、农田、裸土地、水体、城镇和建设用地。



图 1 研究区在湖南省的地理位置

Fig. 1 Geographic position of study area in Hunan

1.2 数据源

1.2.1 成像高光谱数据

研究区采用的 Hyperion 成像高光谱数据来自攸县黄丰桥地区,隶属湖南省株洲市,成像时间为 2010 年 12 月 28 日,过境时间为凌晨 2 点 39 分,影像覆盖范围为北纬 26.86°~27.72°,东经 113.63°~113.91°,文件类型为 L1R 级的 HDF 数据,波段交叉(BIL)格式,WRS 编号为 122-41。Hyperion L1R 产品已经过辐射定标处理^[14]。

1.2.2 野外实测数据

野外实测数据为 2010 年 12 月 20 日~30 日,结合研究区主要植被的地理分布和生物化学特征,共选取 37 个样区。考虑高光谱数据分辨率为 30 m,故要求最小样区大小为 60 m×60 m,且区内植被分布均一。利用 Trimble 手持 GPS 记录典型覆被点的地理位置、高程以及分布情况。

1.3 Hypeion 数据处理

1.3.1 波段筛选

波段筛选是高光谱数据预处理的基础,它直接影响 Hyperion 数据的后续处理和进一步研究^[15-16]。首先,从 Hyperion 原始波段中剔除 44 个灰度值为零(未定标)的波段、20 个受水汽影响严重的波段以及 2 个重叠波段,剩余包含 176 个波段的数据;然后利用遥感软件 ENVI4.7 对 Hyperion 影像进行相关处理,检查图像,去掉 18 个质量不好的波段;最后保留包含 158 个波段(427~2 355 nm)的数据用于此次研究。

1.3.2 几何校正

以 1:5 万地形图数据为基础,在遥感图像处理软件 ENVI 4.7 中,选取 60 个地面控制点(GCP),采用二次多项式法对 Hyperion 数据进行几何校正,影像重采样采用最邻近法,误差控制在 0.5 个像元以内。在 ArcGIS9.2 中,把野外实测数据转化为矢量 Shapefile 文件,统一坐标系后与 Hyperion 影像叠加,提取研究区典型地物的 Hyperion 反射光谱。

2 研究方法

2.1 表观反射率

L1Gst 格式的 Hyperion 数据,所记录的是 16 位有符号整型 DN 值,产品生成时在可见光/近红外(8~70)波段和短波红外(77~224)波段采用扩大因子,因子系数分别为 40 和 80,因此需要进行辐射定标,将产品 DN 值转化为辐射亮度值。计算公式如下:

$$L_{\text{VIR}} = DN/40; \quad (1)$$

$$L_{\text{SWIR}} = DN/80。 \quad (2)$$

表观反射率又称行星反射率或大气顶层反射率,是大气辐射校正的途径之一,能有效减弱大气和地表因素的影响,如式(3):

$$\rho_{mA} = \frac{\pi L_{\lambda} D^2}{\lambda \cos \theta_s}。 \quad (3)$$

其中 L_{VIR} 、 L_{SWIR} 分别为转化后的可见光/近红外、短波红外波段的辐射亮度值, ρ_{mA} 为表观反射率; L_{λ} 为传感器处波谱辐射亮度; D 为日地距离(天文单位),此 Hyperion 图像获取时间的儒略日

为 253,内插 D 为 1.006 794。 $ESUN_{\lambda}$ 为大气层外平均太阳辐射亮度,Hyperion 每个波段的 $ESUN_{\lambda}$ 可从网站上获得, θ_s 为太阳天顶角,即 $\theta_s = 90^{\circ} - 33.200 226^{\circ}$ (太阳高度角) = 56.799774° 。

2.2 大气校正

利用 ENVI 4.7 软件的 FLAASH 大气辐射校正扩展模块对研究区 Hyperion 影像进行大气校正。MODTRAN 4 提供了 6 种大气校正模型和 4 种气溶胶模型供用户参考,因采用的 Hyperion 数据成像质量好,基本无云,笔者结合研究区具体情况,选择乡村气溶胶模型。大气校正模块输入参数如表 1 所示。

表 1 Hyperion 影像 FLAASH 模块输入参数

Table1 Input parameters of FLAASH model for Hyperion image

项目	参数	项目	参数
影像中心点	27°17'17.16"N 113°46'8.75"E	初始能见度	40 km
传感器高度	705 km	气溶胶 Scale 高度	2 km
地面高程	0.5 km	CO ₂ 混合比例	390 μg/mL
像元大小	30 m	DISCORT 流数量	8
飞行日期	20101228	多次散射模型	Scaled DISCORT
飞行时间 GMT	03:39:24	MODTRAN 分辨率	5 cm ⁻¹
大气模型	Rutal	斜视仪器	天顶角 175.8408° 方位角 150.376°

2.3 光谱平滑处理

为消除 FLAASH 大气校正中的噪声,需对光谱曲线进行平滑处理,即计算相邻 N 个波段的均值。通常,移除大范围噪声选择较高 N 值,而移除由暗物质产生的锯齿噪声选择较低 N 值。 N 值取 5 到 11 之间的奇数,本研究为 10 nm 光谱分辨率的 Hyperion 数据,一般取值 9。Hyperion 数据光谱平滑后的处理效果如图 2 所示,已去除了反射率曲线的明显噪声。植被、裸土地 2 种覆被类型平滑效果较好,而建筑用地、水体平滑前后相差不大。

3 结果与分析

3.1 典型地类光谱曲线分析

提取了研究区内 4 种典型地类(建筑、植被、裸土和水体)的表观反射率和经 FLAASH 大气校正后的光谱反射率曲线(见图 3),结果表明,植被经大

气校正后呈现出红谷和绿峰的典型植被反射率曲线,但红谷深度不明显,因为 12 月 28 日为植被枯萎时期,叶绿素对红光的吸收减弱。在 427~712 nm(8~36 波段)波段反射率比校正之前降低,而大于 712 nm 的其他波段,其结果相反。水体经 FLAASH 大气校正后,450~1 450 nm 波段内大部分反射率比校正之前低,而 1 450 nm 以后的反射率

明显高于校正前,且曲线走势缓和,与典型水体波谱曲线特征基本吻合。裸土的反射率曲线变化趋势与植被相似,大于 712 nm 的反射率稍有提高。对于建筑,小于 915 nm 范围内的反射率比校正前低,其他范围内相反,但在 1 507~1 699 nm 和 2 063~2 183 nm 范围内的反射率比校正前低。

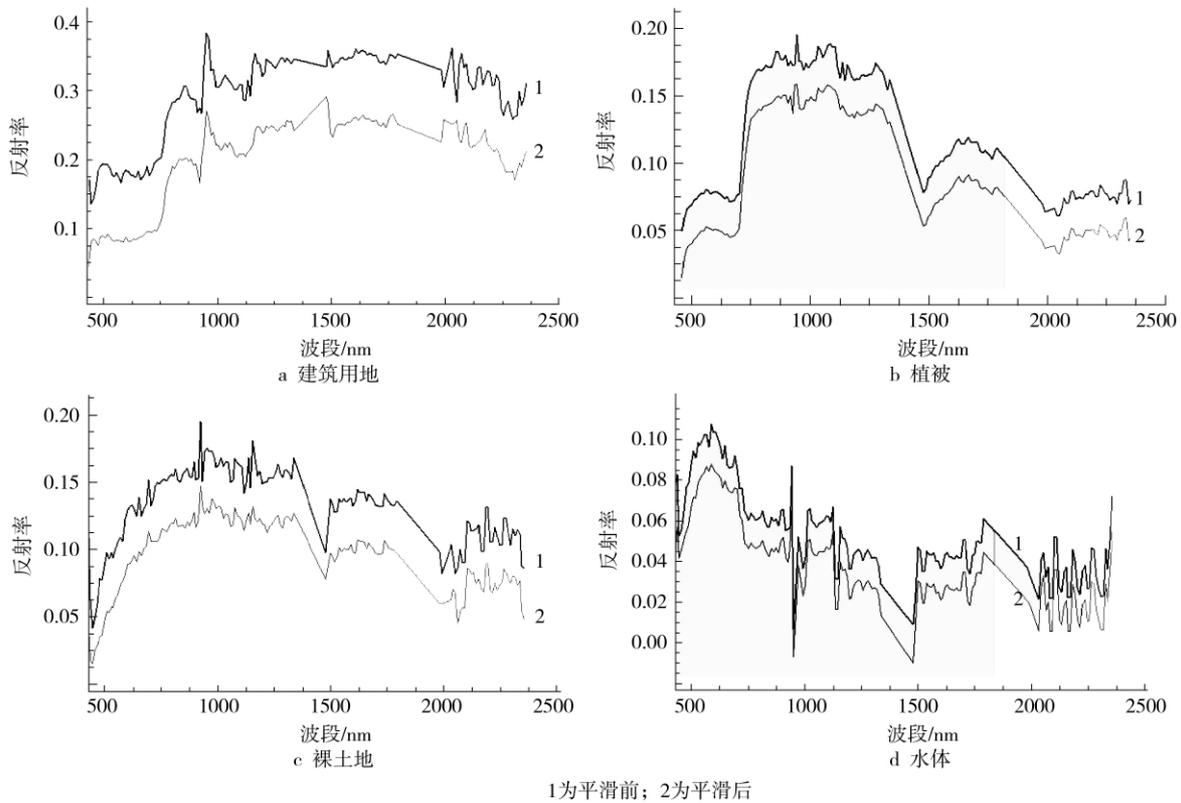


图 2 Hyperion 影像 4 种典型地物光谱平滑前后的效果

Fig. 2 Comparison between curves of before and after spectral smoothing treatments of four typical landmarks

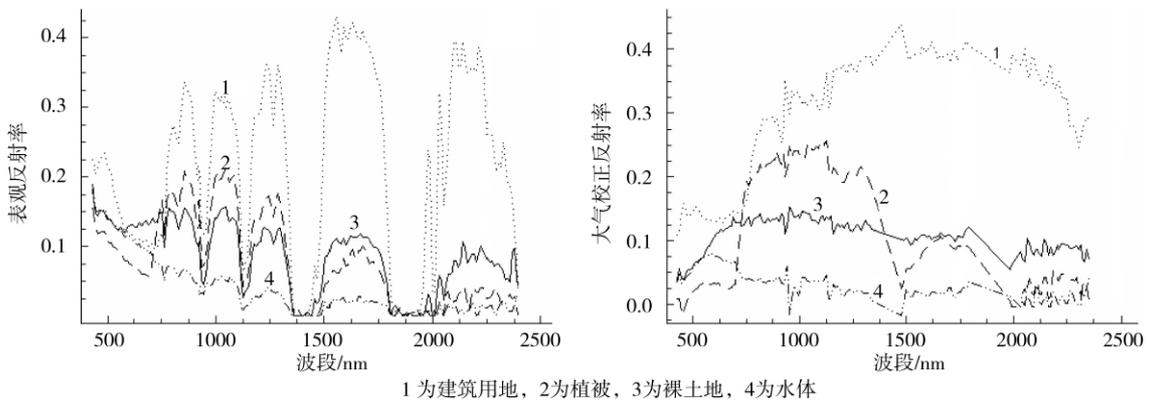


图 3 4 种典型地类表现反射率与大气校正反射率结果比较

Fig. 3 Comparison among apparent reflectance and atmospheric correction reflectance curves of four typical landmarks in Hyperion image

总之,Hyperion 数据大气校正后,都有效减弱了以 760 nm 为中心的氧气吸收带和 940、1 135、1 400 和 1 900 nm 为中心的水汽吸收带的影响,说明直接由 Hyperion 产品获得的表观反射率大气影响严重,若直接用于开展遥感应应用,难以获得真实的地表物理模型参数,而 FLAASH 大气校正可以克服这一缺点,提高遥感影像后续应用的准确性。选取合适的可见光波段,对校正前、后影像进行 R(641 nm)、G(580 nm)、B(509 nm)真彩色合成,结果见图 4。

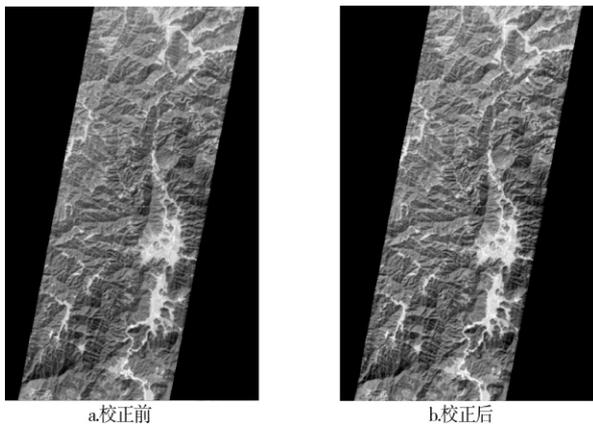


图 4 Hyperion 影像 FLAASH 大气校正前后的比较
Fig. 4 The comparison of Hyperion image before and after FLAASH atmospheric correction

从图 4 可以明显看出,校正后的图像效果有明显改善,经 FLAASH 校正后的 Hyperion 影像对比度增强,影像整体质量明显提高,说明有效抑制了大气中水汽、气溶胶等因素的影响。

3.2 植被反射率分析

在不同地物光谱特征分析的基础上,针对植被进行深入研究,比较了针叶林、阔叶林、竹林、灌木林大气校正前后的光谱曲线差异(如图 5 所示)。结果表明:经 FLAASH 大气校正后,针叶林、阔叶林、竹林、灌木林都呈现出典型的绿色植被反射率光谱曲线,对于蓝绿光波段而言,经大气校正后反射率普遍下降;而红光波段,除大气吸收峰部位,反射率普遍上升。对比发现,针叶林、竹林反射率光谱曲线上升趋势明显,阔叶林、灌木林稍有上升,尤其是 Hyperion 高光谱数据更明显,有利于森林类型的进一步识别研究。

3.3 归一化植被指数

为进一步研究 Hyperion 影像的 FLAASH 大气校正效果,论文利用归一化植被指数(I_{NDVI})分别分析表观反射率与大气校正后的反射率,计算公式如式(3):

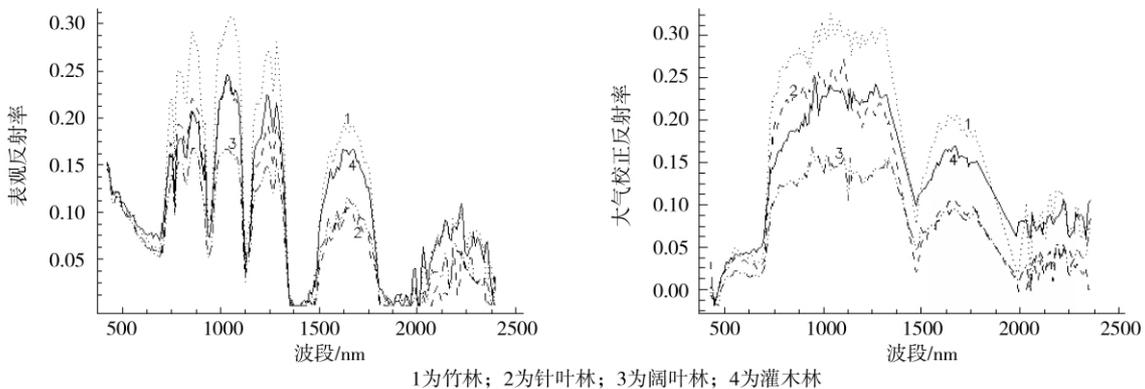


图 5 Hyperion 影像 4 种典型地物在 427~2 396 nm 的表观反射率和大气校正反射率结果

Fig. 5 Comparison among apparent reflectance and atmospheric correction reflectance curves of four typical vegetation in 427~2 396 nm bands

$$I_{NDVI} = (N_R - R) / (N_R + R) \tag{3}$$

式中: N_R 和 R 分别代表近红外和红光波段。论文对应选择的分别是 833.83 nm 和 671 nm 波段(即 band 48、32)。在表观反射率和校正后两幅影像中 随机选

取植被、水体、建筑和裸土同名地物点的 I_{NDVI} 值进行对比分析。由表 2 可知,随机选取的 4 种地物经 FLAASH 大气校正后的 I_{NDVI} 值总体上比校正前的 I_{NDVI} 值高,尤其是植被,大气校正前表观反射率 I_{NDVI}

值为 0.534,校正后 I_{NDVI} 值为 0.809,提高幅度明显大于其他地物,说明 FLAASH 对 Hyperion 影像植被覆盖地区的大气校正效果更加显著。

表 2 Hyperion 影像大气校正前后典型地物 I_{NDVI} 对比
Table 2 The comparison of four typical objects I_{NDVI} in Hyperion image fore and after

典型地物	表观反射率 I_{NDVI}	大气校正 I_{NDVI}
植被 (Vegetation)	0.534	0.809
水体 (Waters)	-0.254	-0.323
建筑 (Building)	0.270	0.401
裸地 (Bare Land)	0.016	0.092

4 结 论

本研究利用 ENVI4.7 软件的 FLAASH 辐射传输模块,对成像高光谱数据 Hyperion 影像进行大气校正,结合表观反射率,对比分析了校正前后典型地物的光谱反射率。主要结论如下:(1) FLAASH 大气校正速度快,效果显著,可有效复原地物的地表反射率;(2) Hyperion 影像经大气校正后,植被呈现出绿峰和红谷的典型植被反射率光谱曲线,在 427~712 nm 反射率比校正之前降低,而大于 712 nm 的结果相反,经光滑处理后的反射率曲线可有效抑制大气中噪声等因素的影响;(3) FLAASH 能有效消除 Hyperion 影像的大气影响,经校正后影像质量明显提高,有利于数据解译及进一步研究使用;(4) 对比较正前后影像典型植被光谱特征及归一化植被指数发现,植被类间区分度和归一化植被指数值都有明显改善,有助于提高森林类型精细识别的精度。

参考文献:

- [1] 浦瑞良,宫 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
[2] 袁金国,牛 铮,王锡平. 基于 FLAASH 的 Hyperion 高光谱

影像大气校正[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(5):1181-1185.

- [3] 郑兰芬,王晋年. 成像光谱遥感技术及其图像光谱信息提取分析研究[J]. 环境遥感,1992,7(1):49-58.
[4] 杨 航,张 霞,帅 通,等. OMIS-II 图像大气校正之 FLAASH 法与经验线性法的比较[J]. 测绘通报,2010,(8):4-10.
[5] 杨校军,陈雨时,张 晔. FLAASH 模型输入参数对校正结果的影响[J]. 遥感信息,2008,32(6):32-37.
[6] 韩念龙,刘 闯,许 旭. 基于 FLAASH 的 CBERS-02B 星 CCD 影像大气校正[J]. 安徽农业科学,2011,39(4):2051-2053.
[7] 马灵玲,王新鸿,唐伶俐. HJ-1A 高光谱数据高效大气校正及应用潜力初探[J]. 遥感技术与应用,2010,25(4):525-531.
[8] 郝建亭,杨武年,李玉霞,等. 基于 FLAASH 的多光谱影像大气校正应用研究[J]. 遥感信息,2008,(1):78-81.
[9] 宋晓宇,王纪华,刘良云,等. 基于高光谱遥感影像的大气校正:用 AVIRIS 数据评价大气校正模块 FLAASH[J]. 遥感技术与应用,2005,20(4):393-398.
[10] 罗彩莲,陈 杰,乐通潮. 基于 FLAASH 模型的 Landsat ETM+卫星影像大气校正[J]. 防护林科技,2008,(5):46-51.
[11] 李 颖,何 莹,兰国新. 基于经验线性法的 Hyperion 影像大气校正[J]. 大连海事大学学报,2011,37(2):117-119.
[12] 聂爱秀,张立亭,陈竹安. 大气校正方法及其在高光谱影像 Hyperion 中的应用[J]. 东华理工学院学报,2007,30(2):157-160.
[13] 李庆利,薛永祺,王建宇,等. PHI 高光谱图像的大气校正算法[J]. 红外与毫米波学报,2006,25(4):316-320.
[14] BARRY P. EO-1 Hyperion Science Data User's Guide [M]. Redondo Beach, California: TRW, 2001.
[15] 沈 艳,牛 铮,陈 方,等. 基于经验线性法的 Hyperion 高光谱图像地表反射率反演研究[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(1):27-30.
[16] 谭柄香,李增元,陈尔学,等. EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理[J]. 遥感信息,2005,(6):38-43.

[本文编校:谢荣秀]