No. 4,2007 Dec. ,2007

# 成像光谱矿物识别中的大气校正效果分析

杨苏明,王润生,刘圣伟

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:大气效应是影响成像光谱矿物识别和矿物填图精度的重要因素之一。本文采用理论分析和对比试验的方法,分析研究大气效应对成像光谱矿物识别和填图的影响,并对不同大气校正和光谱重建方法的效果作了对比和 讨论。

关键词:成像光谱;大气效应;大气校正

中图分类号:TP79 文献标识码:A

文章编号: 1001-070X(2007)04-0095-05

## 0 引言

地面或实验室波谱与空中遥感传感器所测得的 波谱两者并不是完全等同的,其中大气的散射和选 择性吸收对空中波谱是一个重要的影响因素,因而 辐射定标和波谱重建的效果会直接影响其对矿物的 识别能力。本文采用理论分析和对比试验的方法, 分析研究大气效应对成像光谱矿物识別和填图的影 响,并对不同大气校正和光谱重建方法作了对比试 验和评价。

1 大气效应的理论分析

1.1 大气对电磁辐射的吸收作用

大气对电磁辐射的吸收以在大气中含量很少但

浓度有变化的可变气体为主,其中最重要的是H,0、 CO2、O3 和 CH4,另外还有 CO 和 N2O 等[1]。大气中 的水汽(H,0)对辐射的吸收作用最强(图1,左),其 空间分布受温度、地理和气候条件的影响强烈,例如 在不同景观区(村庄、水体、农田、树林等)和不同地 形地貌区(山脊、山谷),即使很近的距离内,水汽含 量可能会发生较大的变化。因此较精确的大气校正 对水汽含量的时空变化必须加以考虑;大气中的二 氧化碳(CO<sub>2</sub>)(图1,中)通常被作为恒定成分,但它 的含量受人类活动等因素的影响也在不断变化,因 此大气校正中虽通常可采用其区域平均值,但在精 度要求较高时,还应考虑其空间和时间上的变化; O<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CO 的光谱特征见图 1(右); 尘埃 对各光谱段均有少量吸收,为非选择性吸收,因而其 吸收仅造成辐射能量的损失,而对地物反射波谱特 征影响不大。



## 1.2 大气的散射作用

大气散射是辐射在大气中传播时受大气中分子 和气溶胶微粒的影响而改变传播方向的现象。散射 一方面改变了辐射的传播方向,降低了直射光的强 度,另一方面产生了天空光。上行天空光可直接被 传感器所接受,作为加性干扰因子叠加于信号之上, 下行天空光增加了地面和大气本身的亮度,而减低 了地物的反差。

收稿日期: 2007-08-20

万方数据

大气散射的强度取决于微粒颗粒的大小、微粒 的含量、传播路径和辐射波长。大气散射主要为瑞 利(Rayleigh)散射、米氏(Mie)散射和非选择性散 射,其中瑞利散射是造成遥感图像辐射畸变的主要 原因之一。散射的程度除了与大气条件有关外,还 与太阳高度角或观测角有关,而太阳高度角又是地 理位置、季节和时间的函数。

## 1.3 大气衰减

在被动光学遥感中,太阳辐射下行穿过大气到 达地面(称为大气下行传输),地面反射辐射上行经 过大气到达传感器入瞳处(称为大气上行传输),都 存在大气的吸收和散射所引起的大气衰减(指因大 气对光束的吸收和散射而引起的信号能量减弱)。 空中传感器所观测到的是经上行大气衰减后的地面 地物反射辐射与直接进入传感器的大气散射(程辐 射)之和,而到达地面的辐照度是经下行大气衰减 后的太阳直射辐射与大气散射所形成的天空光之叠 加。大气吸收和散射具有选择性,即对不同波长或 不同波段的辐射,其吸收和散射程度不同。散射的 影响主要在2.0 µm 以短的波长中,波长越短,散射 作用越强,大气透过率越小: 而大气的吸收则具有 很复杂的结构。大气衰减不仅造成辐射能量的损 失,而且使传感器接收到的波谱总体形态和诊断谱 带的形态信息都会因叠加了大气效应而发生改变。

### 1.4 大气的垂直分层效应

按照标准大气垂直廓线,将大气分为边界层(0~2 km)、对流层(2~i2 km)、平流层(12~50 km)、 中间层(50~80 km)和电离层(80~1 000 km)。在 影响辐射传输的诸因子中,气体分子在 80 km 以内, 除 O<sub>3</sub>和 H<sub>2</sub>O 外,各种气体的比例可认为是基本不 变的,其含量随高度层的增加而呈指数递减,指数拟 合的复相关系数最高为  $R^2$  = 0.897, m 0~15 km 指数 拟合的复相关系数最高可达 $R^2$  = 0.996(图2)。大



气中的水汽主要分布在5 km 以内,在边界层中含量 最多,且随高度的增加快速递减,其次是对流层,变 化相对较缓慢,12 km以上已基本不存在(图3)。



含量随高度的变化趋势图<sup>[3]</sup>

气溶胶主要分布在0-5 km 范围内,它在平流层内 可能会出现因火山作用形成的较稳定的浓度高值 带。

通常遥感卫星高度约在 800 km 的电离层内。 大气影响可看作是整层大气的作用。而航空遥感飞 行高度都在10 km 以内的对流层中,此时上行大气 衰减主要是航空器以下的大气在起作用。因此,航 空遥感中精确的大气校正需要考虑大气的分层结构 和大气成分的垂直变化。目前主要的大气成分地面 测量方法,如通过地面气压计测量确定 N,、O,、CO, 等大气常见气体的密度、利用窄谱段太阳辐射计测 量太阳直射辐射、根据大气传输模型反演大气气溶 胶光学厚度等参数<sup>[4,5]</sup>、利用全谱段太阳直接辐射 反演大气气溶胶光学厚度<sup>[6-9]</sup>、通过多角度测量天 空漫射光,直接由天空光的相对分布反演大气气溶 胶光学特性<sup>10]</sup>等,观测和反演的都是整层大气特 性,这是在航空谣感大气校正中应该注意的问题。 建议最好采用从高光谱自身观测数据中,逐项地反 演水汽及气溶胶等含量的方法<sup>[11,12]</sup>。若条件具备, 可采用数据获取同步气球观测等方式,测量气溶胶 和水汽在垂直方向上的变化[13,14]。

2 校正效果对比分析

#### 2.1 大气校正方法及不同应用条件

在此主要对因实用性较强而在航空遥感大气校 正中经常采用的光谱回归分析方法(经验线法)在 不同应用条件下的实际效果进行比较,即:①基于 "黑、白布标"同步光谱测试;②基于"明、暗自然地 物"(准)同步光谱测量;③基于"明、暗自然地物" 异步光谱测量。并与澳大利亚基于 6S 模型的专用 大气 校 正 模 块 "HyCorr for HyMap Atmospheric Correction"的大气校正和光谱重建结果作对比分析。 HyCorr 模块的原理是基于波长 940 nm、1 140 nm 处 的 H<sub>2</sub>O 吸收和 820 nm 处波段的 O<sub>2</sub> 吸收特征,提取 大气中 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub> 的状态,逐像元对图像作校正。 校正还需要输入数据获取的高程、时间和气候类型 等相应参数。

航空成像光谱数据获取采用澳大利亚 HyMap 机 载成像光谱仪,飞行区为新疆东天山土屋—三岔口地 区,飞行日期为2002 年10 月10 日~22 日,相对航高约 2 400 m。飞行期间共布设7 块布标,其中黑布标3 块, 白布标4 块,每块布标大小为21 m×21 m,分别布设在 横穿 11、12、13 和 15 航线的兰新铁路沿线两 侧(图4)。其中,11和12航线分别布设有黑、白两块



图4 布标同步点位置分布

布标,野外实测光谱数据完整准确。因而采用11 航 线布标光谱数据的回归参数对图像作校正。

自然地物定标点需选择地物成分均一、地势平 坦旦反射率比较稳定的地点。定标点面积一般都大 于 30 × 30 m<sup>2</sup>,以使能在图像上提取一定数量的 "纯"像元。自然地物同步光谱数据为 2002 年 10 月航空数据采集期间测量,自然地物异步光谱数据 为同年6月实地踏勘期间测量。地物光谱数据的处 理和航空影像的大气校正都在 ENVI 图像处理系统 中进行,主要处理步骤包括:辐射归一化校正、波段 筛选、经验线性模型空地回归分析和光谱重建、光谱 增强和去噪平滑等。

图 5 和 6 分别为黑、白布标和暗色、浅色岩石地



图 5 黑、白布标校正前后图像光谱与实测光谱的比较



图 6 暗色、浅色岩石校正前后图像光谱与实测光谱的比较

标大气校正前后的图像光谱与实测光谱,图中人工 地标和自然地标校正后的图像光谱与实测光谱形状 非常一致,岩石中云母等矿物的短波红外特征谱带 反映的很清晰,波长位置和谱带特征都极为相似,说 明光谐重建的质量很好。

#### 2.2 校正结果的比较

随机采集分别具有白云母、方解石、绿帘石和白 板土光谱特征的40个像元点的影像光谱曲线,大气 校正分别采用上文所述3种应用条件的光谱回归分 析方法(经验线法)和 HyCorr 大气校正软件。通过 对不同方法的重建光谱与野外地面测量光谱的对比 分析,评价大气校正的结果。在图7~10的光谱曲 线中,用不同的线型分别代表2004年10月的地面





图 10 白板土4种辐射校正方法图像光谱的比较

测量光谱、基于布标校正的重建光谱、基于 2002 年 10 月测量的准同步自然地标校正、根据 2002 年 6 月测量的异步地标校正及利用 HyCorr 大气校正软 件的处理结果。

从图中可以看出,4 种校正方法的影像重建光 谱与地面实测光谱的总体形态都基本相似,主要的 吸收谱带都明显可辨,但发射强度相差较大。其中 利用 HyCorr 软件处理得到的校正光谱的强度最低, 布标和异步地标校正光谱的强度较高。在曲线光滑 程度和噪声方面,HyCorr 软件校正光谱曲线最光 滑,噪声最小;地物定标点校正的噪声水平略高,布 标校正光谱噪声最大,特别是在可见光 – 近红外光 谱区间,会出现一些锯齿状噪声。

#### 2.3 比较结果的分析

上文中影像光谱在大气校正前后及不同方法得 到的光谱重建结果与地面实测光谱的对比,表明各 校正方法均能有效压抑大气效应,地物的光谱特征 和不同矿物的特征吸收谱带均得到良好表现,谱带 的波长位置和谱带特征非常相似,进一步证明了光 谱重建的效果和数据处理步骤的合理性。基于布标 校正与基于自然地物定标相比,光谱重建的效果较 差,主要表现为锯齿状噪声的引人,分析其原因主要 是采用布标的面积较小所致,这会带来2方面的影 响:一是用于回归分析的样点较少,增大了回归方 程的不确定性;二是提取的"纯布标像元"的纯度不 够,其反射受周围地物的影响仍然较大,从而影响 地、空相关关系的计算,但是布设符合定标要求的 "大面积"的布标在实际操作中十分困难,因此在条 件允许时,应尽量选择大面积均匀平坦的自然地物 作为辐射定标点。然而,在自然地标选择困难时,布 标仍不失为一种替代方法或对自然地标的补充。

需要指出的是,由于本次工作区气候干旱,几乎

万方数据

寸草不生,且无居民居住,地物的湿度、表面覆盖等特 性随时间的变化很小,故异步测量也能取得较好的效 果。从以上的对比图中可以看出,异步地标光谱大气 校正的图像光谱主要吸收谱带的位置、形态和清晰度 与同步测量的图像光谱基本一致,仅光谱反射强度有 所不同,不同波段反射辐射亮度的增量也基本为一常 量,可以满足地质矿物填图的要求。

3 结语和讨论

成像光谱矿物识别的基本原理是成像光谱数据 的重建光谱与矿物标准光谱或实测光谱的定量对比 分析。辐射定标和光谱重建是地物识别和定量分析 不可缺少的环节,重建光谱的质量直接影响到矿物 识别的能力和可信度。因此,航空成像光谱在数据 获取时,都应选择定标场,进行同步或准同步地面光 谱测量,有条件时还可以用太阳辐射计作太阳直射 辐射监测或用地面光谱仪检测太阳照度的变化,用 以估计大气气溶胶光学厚度等参数,为大气校正中 的大气参数选择提供依据。若测区及其附近自然定 标场选择比较困难或选取的定标场不够理想,可考 虑布设人为地标,作为自然定标场的补充。在定标 场(点)的地物特性(地物成分、湿度、植物生长状况 等)变化不大时,采用非同步的光谱测量数据(踏勘 时的光谱量测或飞行后的补测),一般也能取得较 好的校正结果。对于卫星数据,组织同步测量比较 困难,一般采用辐射传输模型方法进行大气校正。

#### 参考文献

[1] 徐希循,遥感物理[M],北京:北京大学出版社,2005.

[2] Gao B C, K B Heidebrecht, A F H Coetz. Derivation of Scaled

Surface Reflectance from AVIRIS Data[J]. Remote Sens. Enviton., 1993,44:165-178.

- [3] Qin Z, Karnirli A. A Mono window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel – Egypt border region [J]. Int. J. Remote Sensing, 2001,22(18):3719-3746.
- [4] 赵柏林,王强,毛节泰,光学遥感大气气溶胶和水汽的研究
  [J],中国科学(B),1983,10:951-962.
- [5] 毛节泰,张军华,王美华.中国大气气溶胶研究综述[J].气象 学报,2002,60(5):625-634.
- [6] 邱金恒. 从全波段太阳自接辐射确定大气气溶胶光学厚度 [: 理论[J]. 大气科学,1995,19(4):385-394.
- [7] 译金恒. 大气气溶胶光学厚度的宽带消光遥感方法及其应用 [J]. 遥感学报,1997,(1):15-23,
- [8] 邱金恒,杨景梅,潘继东.从全波段太阳直接辐射确定大气气 溶胶光学厚度II:实验研究[J].大气科学,1995,(5):587-596.
- [9] 邱金恒,杨理权.从宽带太阳直接辐射小时或日曝光量反演气 溶胶光学厚度研充[J].大气科学,2002,26(4):449-458.
- [10] 赵增量,毛节泰,联合反演大气气浴胶光学特性和地面反照 率[J].大气科学,1999,(6):722-732.
- [11] Ben Dor E., Kinde B. A Method Estimate Aerosol Load on a Pixel - by - Pixel Basis Using Airborne Hyperspectral Sensors; A Case Study Over Santa Monica, California, Proceedings of 2004 AVIRIS Workshops [R]. 2004.
- [12] Bernstein L S, Adler Golden S M, Sundberg R L, et al. A New Method for Atmospheric Correction and Aerosol Optical Property Retrieval for VIS - SWIR and Hyperspectral Imaging Sensort: Quick Atmospheric Correction, Proceedings of 2004 AVIRIS Workshops [R]. 2004.
- [13] 任丽新、游荣高,等.0-30公里大气气溶胶的垂直分布[J]. 科学通报,1984,18:1121-1124.
- Shi Guangyu, Li Xu, et al. Belloon Observation of Vertical Diswibution of Ozone and Aerosol in Atmosphere from 0 - 30 km
   [J]. Kexue Tongbao, 1987, 32(16):1125-1129.

## AN ANALYSIS OF ATMOSPHERIC CORRECTION IN MINERAL IDENDIFICATION USING IMAGING SPECTROMETER

YANG Su - ming, WANG Run - sheng, LIU Sheng - wei

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Atmospheric effect is one of the important factors affecting the results of mineral identification and mineral mapping in the application of imaging spectra. By means of theoretical analyses and comparative experiments, this paper has investigated the effect of atmosphere on mineral identification and mineral mapping. The results of atmospheric correction using different methods have been compared and discussed.

**Key words**: Imaging spectrometer; Atmospheric effect; Atmospheric correction 第一作者简介:杨苏明(1957-),女,工程师,主要从事成像光谱数据处理和遥感技术应用研究。