

文章编号:1001-9014(2006)06-0411-06

## 油漆涂层对板材红外光谱特性影响分析

高连如, 张兵, 张霞, 李俊生

(中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**通过对不同油漆涂层覆盖下板材的光谱特性进行研究,发现板材的光谱特性随油漆颜色和厚度的不同呈规律性变化,并提出了用于探测油漆覆盖下板材的短波红外“窗口波段”。最后,本文对试验的基础数据进行了系统的误差分析,讨论了进一步开展相关试验所应注意的几个问题。此项研究可以为城市建筑材料和军事伪装材料的探测技术研究提供重要的理论依据和参考。

**关键词:**高光谱遥感;油漆涂层;短波红外;光谱分析

**中图分类号:**P237 **文献标识码:**A

## INFRARED SPECTRAL ANALYSIS OF ARCHITECTURAL MATERIALS COVERED BY DIFFERENT PAINTS

GAO Lian-Ru, ZHANG Bing, ZHANG Xia, LI Jun-Sheng

(The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The spectral characteristics of architectural materials covered by different paints were analyzed. Experiment and study show that the changes of spectral characteristics are highly relevant to the paint color and its thickness for different wood and metal plates. Spectral characteristics in short-wave infrared range is least affected by the external paint and can be used to distinguish different materials under the paint. The experimental process and the data qualities are also evaluated. This study is significant for the application of hyperspectral remote sensing in detecting the man-made objects and military camouflage materials.

**Key words:** hyperspectral remote sensing; paints; short-wave infrared; spectral analysis

### 引言

高光谱遥感的发展是人类在对地观测方面所取得的重大技术突破之一,是当前遥感技术的前沿。传统的多光谱传感器只能在若干个离散的光谱区间形成几个宽波段图像,而高光谱遥感却能在一段光谱区间内实现连续的窄波段成像,其光谱分辨率可以达到 $10^{-2}\lambda$ ,其波段数可以达到数百个。这就使得很多在多光谱遥感中无法有效探测的地物,在高光谱遥感中可以探测<sup>[1]</sup>。高光谱遥感在地质调查、植被监测和环境分析等领域都得到了广泛的应用,高光谱遥感技术应用于城市人工目标的探测则是一个新的领域<sup>[2]</sup>。

城市是自然环境与人工环境的综合体,人类频

繁的社会活动使得城市地物和人工目标的光谱特性复杂化,这给高光谱遥感的实际应用带来了困难<sup>[3]</sup>。高光谱图像目标探测要求地物具有排它性的光谱特征,因此目标的光谱特性分析是目标探测的前提,决定了高光谱遥感人工目标探测应用的潜力。刘建贵对高光谱城市地物及人工目标探测技术进行了研究,并采用分层复合方法<sup>[4]</sup>和基于图斑的方法<sup>[5]</sup>进行城市地物分类,取得了很好的效果;张兵利用凸面几何体投影变换完成了对北京亚运村建材市场屋顶3种不同铝合金板材的探测<sup>[6]</sup>,在油漆覆盖下的目标探测区分方面取得了很有意义的研究成果,但是对于不同颜色油漆和涂层厚度变化对材料光谱的影响一直缺乏完善的基础试验和系统性研究。

收稿日期:2005-12-06,修回日期:2006-05-15

基金项目:国家自然科学基金(40571113)资助项目

作者简介:高连如(1979-),男,北京人,博士研究生,主要从事高光谱图像处理,目标探测和识别方面的研究。

Received date: 2005-12-06, revised date: 2006-05-15

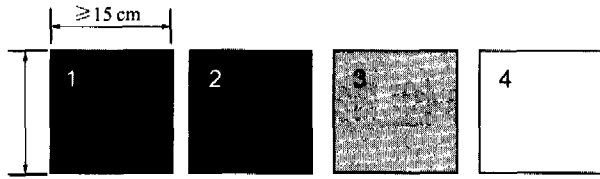


图1 板材用油漆涂覆的4种厚度状态  
Fig.1 Materials covered by paints with 4 type of thickness

在城市下垫面组成成分中,人工目标理化学特性的光谱响应受人为的影响最大,其中各种板材在不同颜色和厚度油漆涂层下的覆盖是影响其光谱特性变异以及下覆材料探测区分的主要因素<sup>[7]</sup>.本研究精心设计了试验过程,选用了多种油漆和板材,光谱测量严格按照规范进行,因此试验数据具有较高的代表性和可靠性.试验结果表明,在不同颜色不同厚度油漆覆盖下,不同板材的光谱特征呈一定规律性变化,其中短波红外波段的光谱受油漆覆盖影响最小,是探测区分不同油漆涂层覆盖下板材的有效“窗口波段”.

## 1 试验设计与实现

### 1.1 试验设计

试验板材选用铝板、木板、三合板、钛镀钢板、铁板和不锈钢板.试验中油漆选用国产红狮牌醇酸调和漆(调和漆指一般不需调配即可使用的色漆),品种分别为411中绿和中黄,该油漆为室外建筑用涂料.板材上油漆覆盖厚度不同,可分为4种状态(图1):最厚→次厚→最薄→原板,本文中均以1→2→3→4代表这4种油漆覆盖厚度状态:

(1) 最厚:为均匀厚覆盖,刷4层,板面油漆覆盖厚且均匀,不透;

(2) 次厚:均匀薄覆盖,刷2层,板面油漆基本均匀,微透;

(3) 最薄:不均匀薄覆盖,刷1层,板面油漆不均匀,局部外露;

(4) 原板:原始板材,不涂覆任何油漆.

试验中采用ASD FieldSpec FR2500光谱仪进行光谱测量.该光谱仪波段范围为350~2500nm,在350~1000nm范围内采样间隔为1.4nm,1000~2500nm范围内采样间隔为2nm,全波段范围光谱分辨率约为1.4nm.

### 1.2 数据获取与处理

试验于2004年9月22日中午在中科院遥感所东侧一新建沥青公路上进行,试验场地开阔,四面无

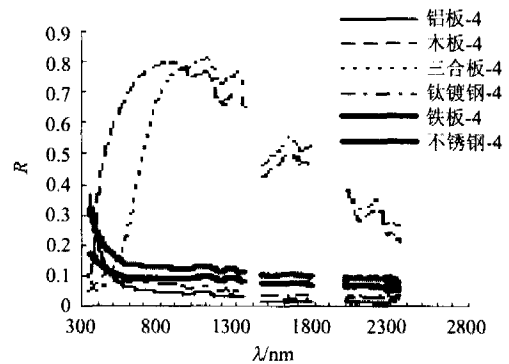


图2 无油漆覆盖板材光谱  
Fig.2 Spectra of materials covered by no paints

遮挡,且试验过程中,无行人和车辆的干扰.整个试验以沥青路面作为背景进行,黑色的沥青路面在350~2500nm范围内反射不强,对光谱测量影响不大.

试验采用手持探头,高度为20cm左右,保持探头基本垂直于目标板.在光谱测量过程中,先测量参考板(反射率为30%的灰板)光谱,后测量目标板光谱,各测量15次以上.这样一组测量在2min之内完成.由于完成时间很短,且天空晴朗无云,周围没有阴影影响,因此可以忽略太阳入射辐射变化和大气扰动的影响,认为目标板和参考板光谱测量时的光照条件相同.

整个试验共测得2203条光谱数据,剔除其中异常数据,然后对同一目标板的多条反射率光谱数据取算术平均,将得到的结果作为该目标板的反射率光谱曲线,经过该流程处理后共得到42条反射率光谱曲线,同时去除掉在1350nm~1450nm、1780nm~2000nm和2350nm~2500nm光谱范围内的水汽强吸收波段.

## 2 试验数据分析

在无油漆覆盖状态下(图2),板材在可见光波段(350~700nm)的光谱特征受颜色及纹理影响,没有一定的规律性,但在近红外(700~1100nm)和短波红外波段(1100~3000nm),各板材光谱特征明显.根据各种板材之间光谱特征的差异性和相似性,可以将原板分为两类:一类为木质板材,另一类为金属板材.(本文中均以“板材—油漆—厚度”的顺序表示不同的样本,如“钛镀钢—黄—1”代表黄漆最厚覆盖状态下的钛镀钢板)

### 2.1 不同板材在相同油漆覆盖下的光谱特征分析

油漆覆盖最厚状态下(图3),油漆颜色是影响可见光波段板材光谱特征的唯一因素,而板材在近

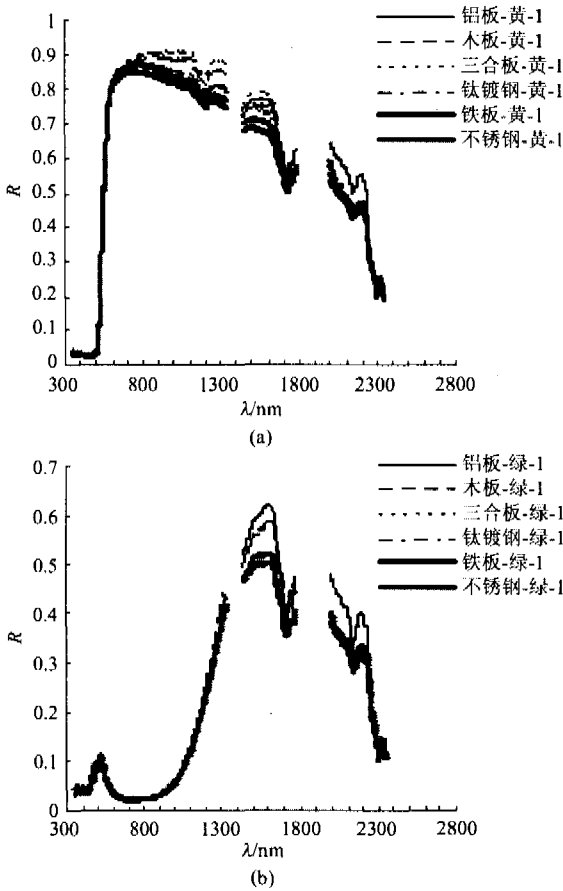


图3 板材在最厚黄漆(a)和最厚绿漆(b)覆盖下的光谱  
Fig.3 Spectra of materials covered by the thickest yellow (a) and green (b) paint

红外波段的光谱特征也可能受某些“不透明”油漆(如图3(b)中的绿漆)的影响,不能反映出板材本身的性质,短波红外波段是识别油漆覆盖最厚状态下板材的有效波段。

在该油漆覆盖状态下,光谱曲线体现的主要是油漆的特征,如2种油漆在1730nm、2150nm和2315nm附近的特征吸收波段。但在短波红外波段,光谱仍表现出一定的“透明性”,如铝板在2210nm波长位置附近存在强反射,比其它板材的反射率高20%左右;排除铝板后,在黄漆覆盖下,木板和三合板在1300nm波长位置具有较高的反射率,而在绿漆覆盖下,木板和三合板在1600nm波长位置具有较高的反射率,可以利用这2个特征区分这两类板材。最后将彼此间光谱特征差异不明显的钛镀钢板、铁板和不锈钢板归为第三类。

油漆覆盖最厚状态下,可采用光谱特征位置搜索或光谱空间距离统计<sup>[10]</sup>等方法选择特征波段对板材进行识别。这里引入一种光谱重排的方法<sup>[8]</sup>,该方法能有效区分具有相似光谱特征的不同地物。

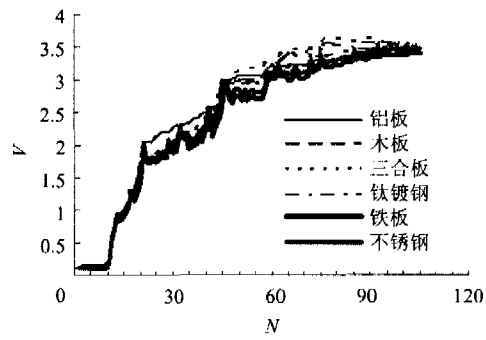


图4 重排后的光谱曲线  
Fig.4 Spectra after re-composition

光谱重排的方法是先一条光谱曲线(这里称为基谱)按照反射率从小到大排列,同时记下波长或波段号的序列,然后将其它光谱曲线按照此序列重排。通过光谱重排,基谱的光谱曲线将变成单调上升的重排曲线,而其它的光谱曲线在按与基谱相同的波段顺序重排后一般都会有特征出现。本文以图3(a)的光谱为例进行重排,此前需要通过4次 Haar 小波变换对原始光谱进行平滑处理,该平滑主要目的是消除光谱曲线中噪声的影响,平滑后的曲线在横轴和纵轴方向的值上不再具有物理意义。以铝板光谱为基谱,光谱重排的结果显示在图4中,可以看出,利用坐标横轴坐标62~72之间6种板材光谱特征存在的异同可以完成对三类板材的探测,如在该范围木质板材光谱曲线向上凸起,铝板光谱曲线平滑向上,而其余板材光谱曲线向下凸起。

油漆覆盖次厚和最薄状态下,如图5所示,在可见光波段,相同颜色油漆覆盖下的光谱曲线表现出相似的波形。在近红外波段,黄漆和绿漆仍表现出不同的“透明性”,其中在绿色油漆覆盖下,油漆影响仍占主导地位。短波红外波段仍是进行板材探测最有效的波段。在短波红外波段范围,尽管板材光谱曲线也受油漆明显影响,但仍能较好反映出材质,各板材光谱表现出了稳定的特征,这些特征可以用于对板材进行探测。在短波红外波段,木板和三合板特征明显,归为一类;在黄漆覆盖下,可以利用近红外波段范围的特征吸收探测铝板,在绿漆覆盖下,铝板在1451~1780nm波段范围的反射率比其它金属板材高100%左右,可利用该特征对铝板进行探测;钛镀钢板、铁板和不锈钢板由于光谱特征差异不明显,因此归为第三类。

2.2 相同板材在不同油漆覆盖下的光谱特征分析

油漆种类和覆盖程度是板材光谱特征影响的主要因素,这里主要分析油漆覆盖状态对同一板材光

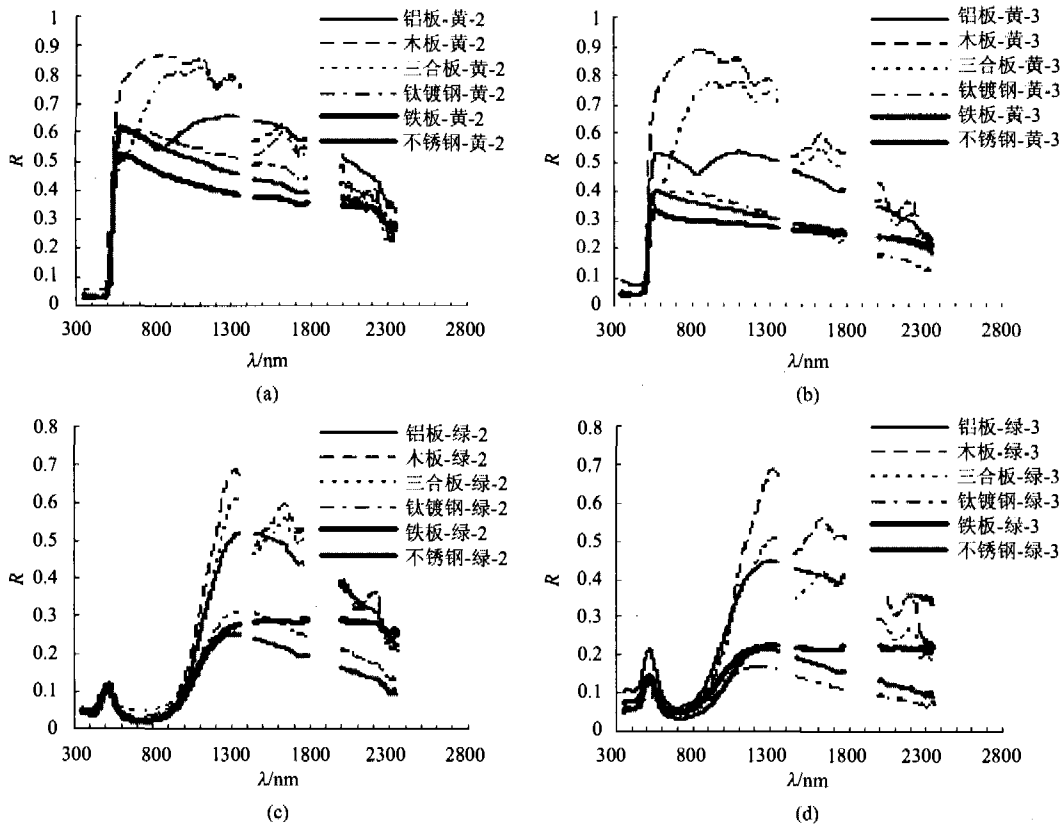


图5 板材在次厚黄漆(a)、最薄黄漆(b)、次厚绿漆(c)和最薄绿漆(d)覆盖下的光谱  
 Fig5 Spectra of materials covered by thicker yellow(a) and green(c) paint, the thinnest yellow(b) and green(d) paint

谱特性的影响, 仅以黄色油漆覆盖下的铝板为例 (图6), 其它板材性质相似. 可见光波段光谱特征易受油漆颜色及纹理影响, 对目标识别意义不大, 这里仅讨论近红外和短波红外波段.

在近红外波段, 不同油漆的影响程度不同, 黄漆在可见光红光波段对板材光谱的影响就已经开始减弱, 而绿漆在整个近红外波段对板材光谱的影响仍处于主导地位 (图5), 因此需要研究不同颜色不同种类的油漆对更多板材光谱的影响, 这一点对城市

人工目标探测非常有意义. 在该波段范围, 油漆覆盖最厚状态下, 光谱体现的是油漆的特性, 但当油漆厚度减小时, 板材的特性就变得很明显. 同时也可以发现, 在油漆覆盖次厚和最薄状态下, 油漆厚度只会影响反射率的大小, 而光谱曲线波形变化不大.

在短波红外波段, 当油漆覆盖最厚时, 光谱体现的主要是油漆的特性, 但当油漆厚度减小时, 板材的特性就立刻显现出来. 在油漆覆盖次厚和最薄状态下, 油漆厚度只会影响反射率的大小, 光谱曲线波形变化不大.

通过油漆覆盖次厚和最薄状态下的板材光谱特征分析发现, 虽然油漆覆盖程度不同, 但同种油漆覆盖下的相同板材的光谱曲线波形相似, 只是在反射率大小上存在差异. 因此通过光谱空间距离统计等基于反射率大小的方法不能用于探测油漆非完全覆盖下的同一种板材, 而采用光谱特征位置搜索方法可以对不同的板材进行探测. 进行光谱特征位置搜索最常用的方法就是选择其特征吸收波段, 因此通常先要对光谱曲线进行包络线去除<sup>[9]</sup>. 以次厚和最薄黄漆覆盖下的铝板和木板为例, 经过包络线去除后发现, 不同厚度油漆覆盖下的同一种板材具有相

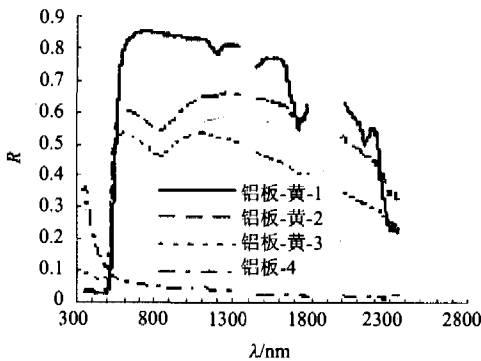


图6 铝板在不同厚度黄漆覆盖下的光谱  
 Fig.6 Spectra of the aluminum board covered by the different thickness yellow paint

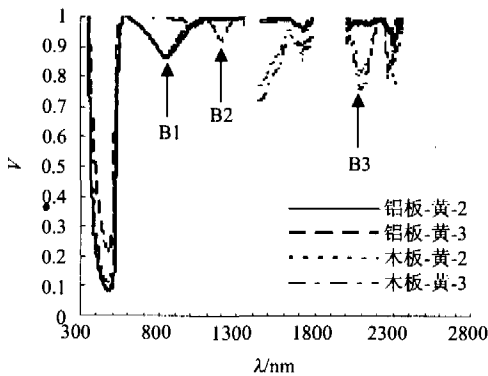


图7 包络线去除结果

Fig.7 The result after the envelope curves are removed

表1 次厚和最薄黄漆覆盖下木板和铝板的特征吸收位置和对吸收深度

Table 1 Absorption position and depth of aluminium and wood covered by thicker and the thinnest yellow paint

样本		铝板-黄-2	铝板-黄-3	木板-黄-2	木板-黄-3	
吸收位置	NIR	860nm	0.1300	0.1324	0.0030	0.0028
和对应吸	WSIR	1220nm	0.0065	0.0088	0.0762	0.0701
收深度		2110nm	0.0191	0.0151	0.1728	0.2344

同的吸收特征,而相同厚度油漆覆盖下的不同板材具有不同的吸收特征(表1),如图7所示,二者间可有效区分的3个特征波段为B1(860nm)、B2(1220nm)和B3(2110nm)。

从对不同厚度黄漆覆盖下铝板光谱的分析,我们也可发现这样一个现象:图6中短波红外波段范围出现部分覆盖的光谱反射率比原始板材和油漆全覆盖时都大的情况,因此不能单纯认为原始板材与油漆的光谱混合模型为简单的线性模型。

### 3 误差分析

在地物光谱测定与目标光谱特性分析中,光谱的不确定性是一个无法回避的问题。本试验的不确定性和数据误差分析可以从以下几个方面来考虑:

(1) 材料:经市场调研表明红狮牌醇酸调合漆属于市场上销售的普通漆。该漆无填平性,无流平剂,且由于该漆采用靠重力出料的方式,因此不同桶的油漆成分不同,因此刷漆结果直接将影响到光谱测量结果。为减小该不确定性因素的影响,在样本制备过程中,要求同种油漆取自一个桶中,且每次刷漆前要将桶中油漆进行搅拌至均匀。

(2) 样本制备:在刷漆过程中,油漆覆盖程度分为3个状态,受人为因素影响大,很容易出现油漆覆

盖不均匀和油漆覆盖程度不符合要求的情形。在为了减小该不确定性因素的影响,在样本制备过程中,全部由一个人完成刷漆工作,而且严格按照试验设计完成。试验结果显示,油漆覆盖程度分布满足要求。

(3) 测量:在测量过程中,光谱仪的探头由试验人员手持,因此很难保证稳定性,特别是油漆覆盖不均匀的情况下,探头的移动会对测量结果产生影响。在本试验中,试验人员尽量保证探头垂直且维持不动。减小该因素影响的方法是剔出异常光谱和多次测量取平均值。

## 4 结果与讨论

城市是自然环境与人工环境的综合体,是一个与人类活动息息相关的重要对象,对于城市和城市环境的遥感将是遥感应用的一个重要方向。作为城市地物的主要代表,各类人工目标表面往往涂以各种涂料以达到防腐、美观、隔热等目的,这给利用遥感不同目标进行探测区分带来了困难。本文研究表明,尽管人工目标表面的油漆或其它涂料在某些波段存在一定的“伪装”能力,但高光谱遥感器提供了目标在更宽波谱范围内的精细光谱特征,这为探测区分其下面的材料提供了可能。

本文揭示了不同油漆颜色和厚度对板材光谱影响的一般规律,可以概括如下:

(1) 在足够厚油漆完全覆盖下的板材,其光谱主要反映的是油漆的特征;当油漆非完全覆盖且局部有原始板材裸露时,可见光谱段依然受油漆的影响,而红外波段则显示出原始板材光谱特征;

(2) 可见光波段范围,油漆的颜色主要影响该波段范围的光谱波形,油漆覆盖厚度影响整体反射率的大小,但对光谱波形影响不大;

(3) 在近红外波段范围,不同种类的油漆影响不同,不能用于探测油漆覆盖下的板材;

(4) 在短波红外波段范围,光谱受油漆的影响最小,是探测区分油漆覆盖下板材最有效的波段;

本试验选取了几种典型的油漆和板材进行了不同排列组合的光谱试验,但是与目前市场上种类繁多的油漆和板材相比,我们试验中所用的样本数量仍有限。如果从目标光谱建库的角度出发,就需要收集更多的油漆和板材样本进行更广泛的研究。此外,从试验结果中我们也可以发现,油漆与其下覆材料的综合光谱效应很复杂,不是一般的光学作用模型就可以解释的,因此对油漆覆盖下板材的光谱形成机理需要做更深入的研究。进一步的试验研究应注

意以下几点:(1)选取更多种类的油漆;(2)选取更多类型的板材;(3)增强对油漆覆盖薄厚程度的模拟;(4)减小各种不确定因素的影响.另外,在采用航空高光谱遥感器获取图像时,由于遥感器空间分辨率的限制,城市地物在图像中往往以混合像元的形式存在,因此在人工目标光谱特性分析的基础上,亚像元级的目标探测技术也是高光谱遥感城市人工目标探测识别研究的重点<sup>[10]</sup>.

**致谢** 本研究在数据获取过程中得到了北京师范大学刘素红副教授的指导和北京师范大学王树东同学的帮助,在此特以致谢.

### REFERENCES

- [1] PU Rui-Liang, GONG Peng. *Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications* [M]. Beijing: High Education Press (浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社), 2000: 11—122.
- [2] Zhang Bing, Liu Liang-Yun, Zhao Yong-Chao. Natural and artificial target recognition by hyperspectral remote sensing data[J]. *Proceedings of SPIE*, 2002, **4741**: 345—350.
- [3] Uta Heiden, Sigrid Roessner, Karl Segl, et al. Analysis of spectral signatures of urban surfaces for their identification using hyperspectral HyMap data[J]. *Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas; IEEE/ISPRS Joint Workshop*, 2001: 173—177.
- [4] LIU Jian-Gui, ZHANG Bing, ZHENG Lan-Fen, et al. Study on the hierarchical classification of urban manmade objects based on spectral features[J]. *Remote Sensing Technology and Application* (刘建贵, 张兵, 郑兰芬, 等. 基于光谱特征的城市人工地物分级分类方法研究. *遥感技术与应用*), 1999, **14**(3): 1—6.
- [5] LIU Jian-Gui, ZHANG Bing, ZHENG Lan-Fen, et al. Urban remote sensing application study using hyperspectral data[J]. *Journal of Remote Sensing* (刘建贵, 张兵, 郑兰芬, 等. 成像光谱数据在城市遥感中的应用研究. *遥感学报*), 2000, **4**(3): 224—228.
- [6] ZHANG Bing, CHEN ZHENG-Chao, ZHENG Lan-Fen, et al. Object detection based on feature extraction from hyperspectral imagery and convex cone projection transform[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张兵, 陈正超, 郑兰芬, 等. 基于高光谱图像特征提取与凸面几何体投影变换的目标探测. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(6): 441—445.
- [7] Bhaskar S, Datt B. Sub-pixel analysis of urban surface materials[J]. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, Proceedings of IGARSS*, 2000, **4**: 1535—1537.
- [8] GENG Xiu-Rui. Target detection and classification for hyperspectral Imagery [D]. Ph. D Dissertation. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences (耿修瑞. 高光谱遥感图像目标探测与分类技术研究. 中科院遥感应用研究所博士学位论文), 2005: 17—26.
- [9] Clark R N, Roush T L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis technique for remote sensing application[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, **89**: 6329—6340.
- [10] LI Zhi-Yong, KUANG Gang-Yao, YU Wen-Xian, et al. Algorithm on small target detection base on principal component of hyperspectral imagery[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李智勇, 匡纲要, 郁文贤, 等. 基于高光谱图像主成分分量的小目标检测算法研究. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(4): 286—290.