

高光谱在书画鉴定中的应用研究

——以清代司马钟《芭蕉仙鹤图》为例

武望婷 彭淼淼

(首都博物馆, 北京, 100045)

摘要 利用高光谱技术的优势进行画作信息的提取及分析, 既克服了传统画作信息调查分析的诸如工作量大、误差大和人为因素多等缺点, 具有快速、有效的特点, 又弥补了多光谱技术中高光谱信息不足的缺点, 具有波谱连续性及数据丰富的优点, 有望实现画作信息的快速、有效、科学的分析, 从而为画作信息的深入研究及保护修复工作提供指导和依据。最后以一副清代画为例, 利用高光谱分析了图像分类及图像增强、颜料的分类及识别、印章边缘信息提取和还原、隐含信息提取等, 为书画鉴定提供了可靠的依据。

关键词 高光谱 书画鉴定 颜料分类

引言

在历史长河中, 人类创造了许多灿烂的艺术文化, 绘画是其中一种重要的艺术表现形式。流传至今的古代画作具有珍贵的考古价值和文化价值, 而且在长久保存过程中, 自然环境(潮湿、高温、光照、灰尘)或人为保护不当造成古代书画出现不同程度的老化和褪色。基于高光谱及现代数字化技术对字画系统进行保护和鉴别或修复, 不论是在文物保护方面, 还是历史文化传播方面和历史文化研究方面都具有非常重要的作用和意义。我们利用数字正射影像技术和高光谱技术, 实现古时代字画信息的“录入”“识别”, 对于古字画的保护具有重要的现实意义。

由于古代字画的有效载体为纸质介质, 其实质为在纸质介质上的描述, 而且古代字画的颜料多为矿物颜料, 在时间的历史长河中, 受到自然环境如潮湿、高温等条件以及人为因素的影响, 由于化学或者物理作用, 可能导致这些矿物颜料的“变质”或者退化, 也基于这些自然环境的因素, 导致纸质介质的损坏、老化或者褪色。随着现代数字正射技术的发展, 为实现古代字画数字化保护提供了有效的技术支持。数字正射影像在古代字画大小不变形的情况, 保证了字画信息的丰富度和真实性, 是古代字画数字化的有效的现代技术手段之一。

高光谱的技术优势在于: ①非接触; ②波段多, 波段宽度窄; ③光谱响应范围广且分辨率高; ④可提供空间域信息和光谱域信息, 即“谱像合一”。

高光谱用于书画鉴定中的步骤如下(图1):

首先，对于古代字画，利用数字正射影像技术，建立古代字画信息数字正射影像图，在建立数字正射影像图的过程中，力求保证数字正射影像图的真实性和可靠性。

其次，在采集完古代字画数字正射影像的基础上，利用地面高光谱成像技术，对字画信息进行高光谱信息的采集，高光谱数据中含有丰富的空间信息及光谱信息，与此同时，由于高光谱数据以较窄的波段区间、较多的波段数量来提供遥感信息，其中含有大量的冗余信息，为有效提取数据中的信息，采用多波段合成技术，利用少数有效波段合成假彩色影像，即多光谱影像，通过对多幅含有不同信息的多光谱影像的目视解释，获取有效影像信息。

最后，利用相关的遥感软件，应用高光谱数据处理方法，对高光谱数据进行处理分析，获取高光谱数据相关信息，为后续工作提供可靠依据。

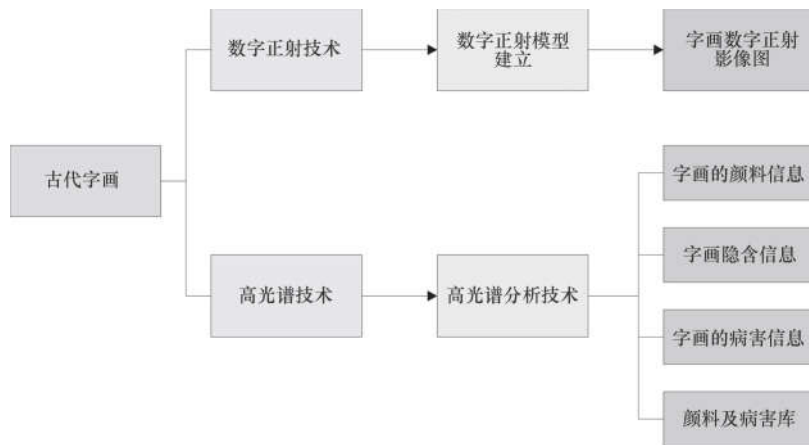


图1 古代字画技术方案流程

1 高光谱数据获取与处理

高光谱相机（图2）有两台，分别是400~1000nm波段和1000~2500nm波段。字画的高光谱

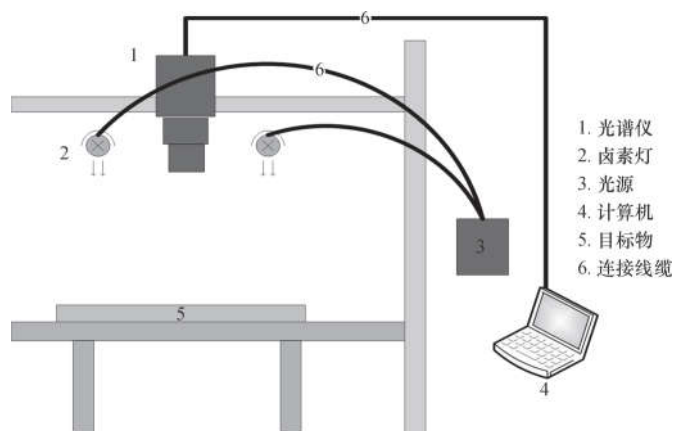


图2 高光谱成像仪拍摄示意图

数据包含了1200个波段，可合成1200多张灰度影像，通过红绿蓝颜色表示法（red, green, blue, RGB）彩色组合可合成千余张彩色影像，为数据的分析提供了充足的依据。

2 数字正射影像图

经过数字正射影像图信息数据的采集及预处理和模型的建立，建立《芭蕉仙鹤图》的数字正射影像图（图3）。

3 高光谱对画面的分类

3.1 分类及原理

高光谱分类主要是通过分类的方法鉴别字画所用颜料的主要类别，鉴别字画中使用的颜料的种类，为字画的修复提供可能。高光谱图像分类主要采用高光谱图像分类的思想，影像数据的分类就是利用计算机对遥感图像中各种颜料的光谱信息和空间信息进行分析、选择特征，并用一定的手段将特征空间划分为互不重叠的子空间；然后将图像中的各个像元划分到各个子空间中。影像数据分类特征就是能够反映颜料光谱信息和空间信息，并可用于遥感图像分类处理的变量。

本研究中的颜料分类主要采用光谱角填图的方法，光谱角填图将像元 N 个波段的光谱响应作为 N 维空间矢量，则可通过计算它与最终光谱单元的光谱角之间的广义夹角来表征其匹配程度：夹角越小，说明越相似。两矢量广义夹角用反余弦表示， $\theta = \arccos \frac{T \cdot R}{|T| |R|}$ 。式中， θ 值越小， T 和 R 的相似度越大。当用实验测量光谱与图像光谱比较时，须将测量光谱按照图像光谱的波长进行重采样，使得两个光谱具有相同的维数。

光谱识别：通过分析和鉴别字画所使用的颜料或染料，有助于我们了解绘画者当时所使用的材料。光谱识别的流程大致可以分为四个部分：数据维数判断、端元波谱选择、波谱识别和结果分析。

3.2 分类举例

在上述技术路线的支持下，利用ENVI5.0软件中的分类算法对清代司马钟《芭蕉仙鹤图》进行分类。《芭蕉仙鹤图》的分类图像如图4所示。

以《芭蕉仙鹤图》图轴主题画轴为对象，对《芭蕉仙鹤图》进行局部细化分类。其中图4（a）为对芭蕉树进行重点分类，主要分为6类；图4（b）为仙鹤的分类，仙鹤共分为5类。



图3 《芭蕉仙鹤图》
数字正射影像图

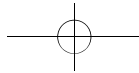


图4 《芭蕉仙鹤图》细化分类图
(a) 芭蕉树分类；(b) 仙鹤分类

4 图像增强

为了有选择地突出某些感兴趣信息，并且消除或降低一些其他无关的信息，利用图像增强的手段来达到这些目的。图像增强是数字图像处理的基本方法之一，具有重要的实用价值。对提取的图像信息进行增强处理，其目的是采用一些技术手段或有效算法提高图像的清晰度，改善图像的目视效果。因此，利用图像增强处理只是增强了对感兴趣信息的辨别能力。

对图像增强效果进行评价，不仅与算法本身的优劣性有关，也与图像的数据特征有关。目前常用的遥感图像增强处理方法主要有彩色合成、亮度变换、直方图变换、密度分割、亮度颠倒、图像间运算、领域增强处理、多波段压缩处理等。

彩色图像又分为真彩色图像和假彩色图像。真彩色图像上的影像颜色与真实的地物颜色基本相同，而假彩色图像影像的颜色与实际地物颜色不一致。一般利用高光谱影像数据合成真彩色图像时，对真彩色图像的三个颜色分量赋予真实的颜色波段影像。合成影像中，红色分量选红色波段的影像，绿色分量选择绿色波段的影像，蓝色分量选择蓝色波段作为合成影像。而在合成假彩色影像时红绿蓝三个颜色分量并不是真实的红、绿、蓝波段影像。通过彩色合成可以有效地突出目标要素，有利于信息的判读和提取。图5和图6是画芯部位的增强效果图。

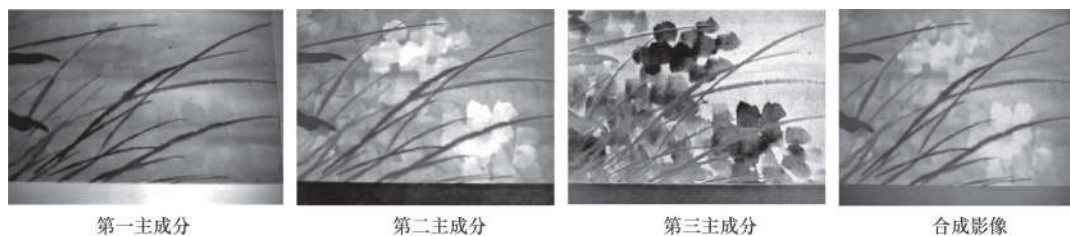


图5 草丛部位图像增强效果

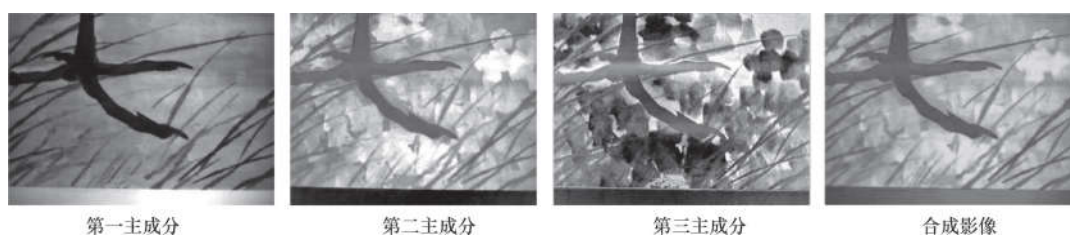


图6 仙鹤脚掌部位图像增强效果

5 颜料分析

颜料分类主要是利用ENVI中的监督分类过程。在分类的基础上，分别在重点高光谱影像数据上，选取重点颜料的区域进行分析，选取其中的光谱感兴趣区颜料。画上的颜料主要有红色、黑色、青色三种（采集点见图7），分别在文字、印章、鹤顶、竹业区域采集了光谱数据进行分析，

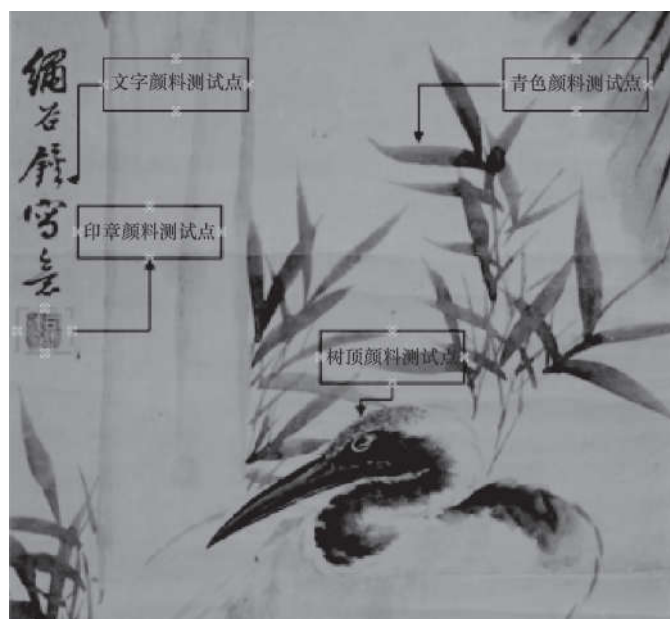


图7 颜料采集区域图

并在颜料光谱分析的基础上,选取北京建筑大学颜料光谱库中的颜料进行匹配,得出最终的可能的匹配结果。

在画作的左上角有作者的落款——“锈谷钟写意”。古代绘画书法上的黑色颜料大部分都是墨,我们在落款和仙鹤的黑色区域采集了感兴趣区域作为黑色颜料分析的样本进行分析。通过比较原始光谱曲线和一阶导数曲线,落款与石墨的光谱曲线趋势相近,重合度较高,使石墨的可能性最大。其原始光谱曲线和一阶导数曲线如图8所示。

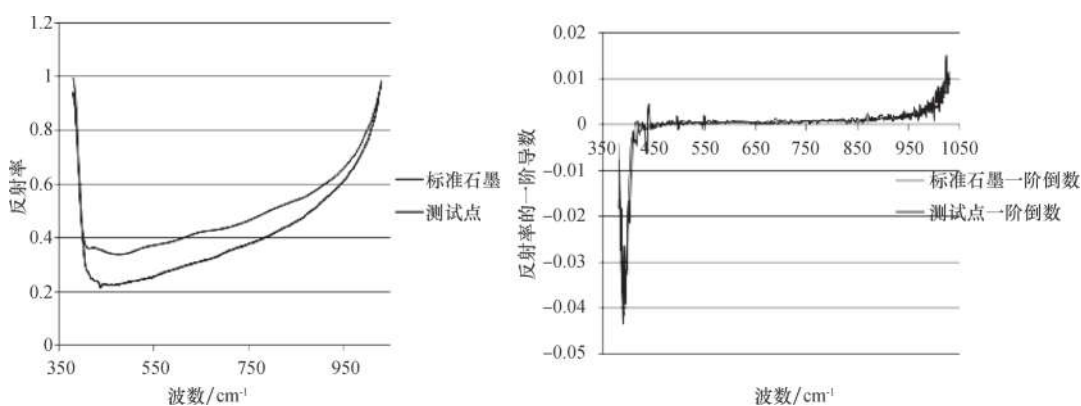


图8 黑色颜料和石墨的光谱曲线及一阶导数曲线比较

印章的颜料信息:在画作的左上角有作者的印章“司马钟印”。在印章上采集了感兴趣区域作为颜料分析的样本进行分析。通过比较原始光谱曲线,印章与朱砂的光谱曲线趋势相近,重合度较高。经过一阶导数的比较,更加清晰地表明两者的特征峰在同一个波段位置。所以结果表明,印章的材质应该为朱砂。其原始光谱曲线和一阶导数曲线如图9所示。

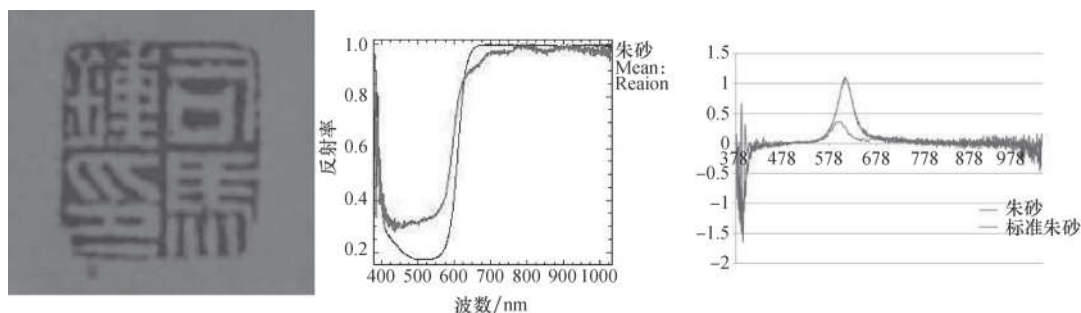


图9 印章及朱砂光谱曲线及一阶导数曲线

通过仔细观察可以看出,在鹤顶部分有两种红色颜料,外圈的红色颜料略显暗淡,内侧的红色比较鲜艳,因此猜测画家在鹤顶部分用了两种不同的红色颜料。分别采集光谱曲线来验证这一猜想。这两处的光谱曲线也比较相近,但是经过光谱角匹配,分析得出测试点1的颜料是赭红(Fe_2O_3) (图11),而测试点2的颜料是朱砂(HgS) (图12)。赭红和朱砂虽然都是常用的颜料,但是前者的颜色往往偏暗,这与分析结果相符。所采集测试点位置、光谱曲线及匹配结果如图10~图12所示。



图10 鹤顶红色颜料采集点

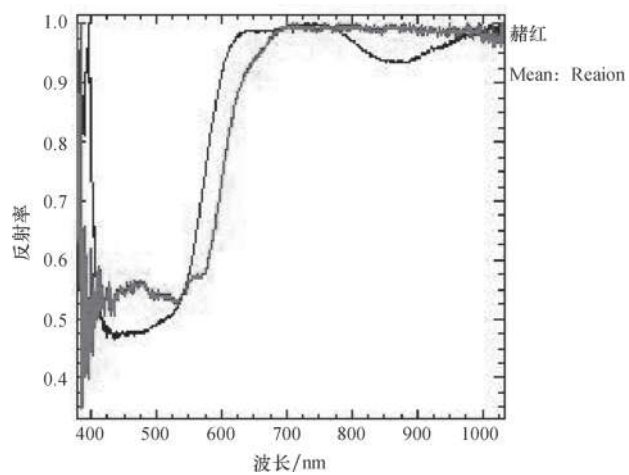


图11 测试点1光谱曲线

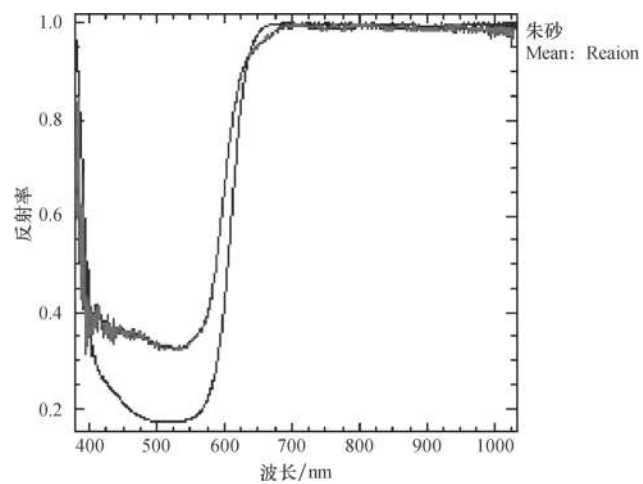
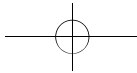


图12 测试点2光谱曲线



画中的竹叶、芭蕉叶等背景部分都显青色，而且颜色深浅不一，有的位置颜色较黑，有的位置比较蓝，所以估计青色颜料是一种混合颜料。在叶子上取了一个测试点作为样本来分析。其光谱曲线和分析结果如图13所示。

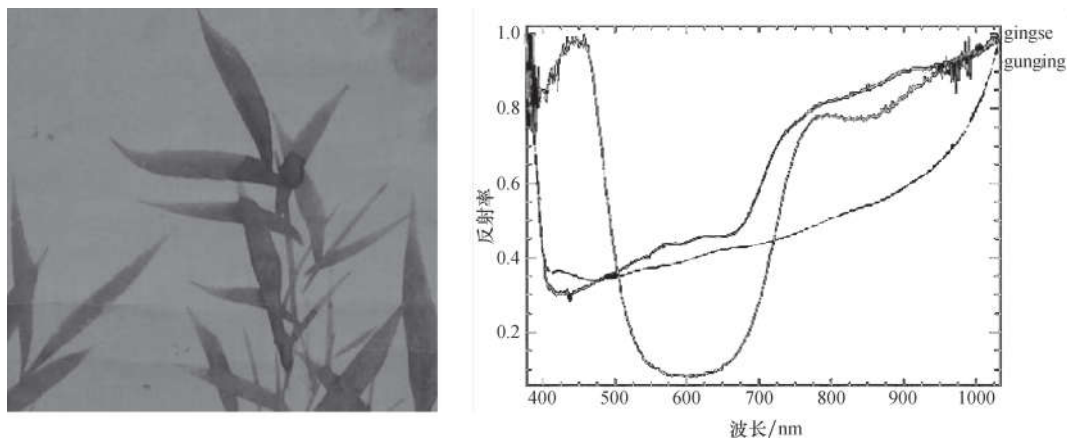


图13 叶子处光谱采集区域及叶子、石墨、群青的光谱曲线

通过与光谱库的纯净颜料比较，图中青色颜料得不出好的结果。因为它是一种混合颜料，所以不能简单地与纯净颜料匹配。结合拉曼测试结果，我们猜测，它是由石墨和群青混合而成，其光谱曲线特征间于石墨和群青之间。

6 隐含信息提取

隐含信息提取流程可以分为预处理阶段、底稿信息提取阶段、波谱曲线提取阶段和隐含信息比对分析阶段。通过应用主成分分析方法对画作进行底稿信息提取，得到底稿信息合成影像，通过与可见光照片比对，发现隐含信息。

这幅画隐含信息大部分为背后的修复痕迹，估计是在修复图像裂痕时使用的胶水或其他物质。在可见光图像中，人眼无法明显看出画背后的修复痕迹。通过MNF变换之后，对比可见光照片和特征波段合成影像，我们发现在某个特征波段显示的修复痕迹比较明显。以下就是我们选取几幅影像采用MNF变换处理之后的结果。通过合成图像可以看出画上有许多深色的条带，我们猜测这就是修复过程中在画的背后留下的痕迹。图14是画中的一部分，A、B分别为纸质上的区域，该画芯区域在可见光部分未有异常，但经过特征波段合成以后，其出现条带状的A、B区域，经分析可能是由于画芯后粘贴胶条。

从图15可以看出，在真彩色合成影像中仙鹤后爪中的“虫蛀”损害区域不可以清晰看出来，但在特征波段合成以后，一些“虫蛀眼”等损害信息可以很好地观察到。

在对比原始影像与PCA处理之后的图像，发现几处笔者常见的手法，有可能是有意为之，也有可能是后期晕染，总之可以将该特征作为该幅画的一个标记，用以鉴别其他画作。



图14 纸质背景隐含信息可见光图像MNF波段合成图像

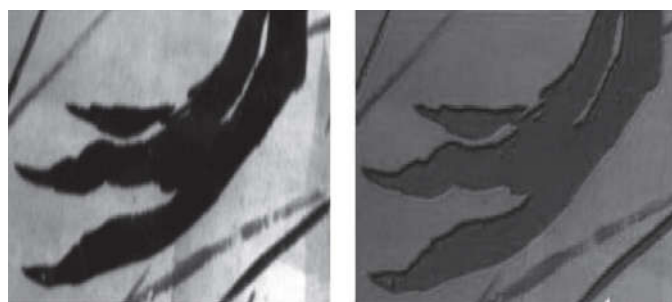


图15 仙鹤爪子“虫蛀”隐含信息

结 语

本文以清代司马钟的《芭蕉仙鹤图》为例，运用高光谱对画面颜料进行判别，通过数学运算进行图像增强处理，隐含信息的提取达到了较好的效果，为书画鉴定提供了一种实用方法。