

## 红外光谱的煤精类文物材质判别方法

郭靖雯<sup>1</sup>, 先怡衡<sup>1\*</sup>, 肖薇<sup>1</sup>, 王永强<sup>2</sup>, 许卫红<sup>3</sup>, 张杨力铮<sup>3</sup>,  
杨岐黄<sup>3</sup>, 高占远<sup>4\*</sup>, 凌雪<sup>1</sup>, 温睿<sup>1</sup>

1. 文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室, 西北大学, 陕西 西安 710069
2. 新疆文物考古研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011
3. 陕西省考古研究院, 陕西 西安 710043
4. 天津城建大学, 天津 300384

**摘要** 我国是世界上最早使用煤及煤精的国家之一,但对考古出土煤精文物的研究发现,煤精文物原材料的质地常常偏离宝石学中对有机宝石煤精的定义。在此提出“煤精类文物”的概念,将以往出土文物中如褐煤、烛煤等与煤精类文物材质近似但不同的材料归至同一文化概念中。目前对于煤精类文物制品的科学研究仍存在较大空白,其中最为基础的材质种类判别也没有科学的判断方法。以陕西西周原贺家墓地、陕西咸阳岩村墓地、新疆吐鲁番胜金店墓地、新疆伊犁吉仁台沟口遗址四个遗址出土的16件煤精制品和原料为研究对象,初步探索漫反射傅里叶变换红外光谱在出土煤精类文物成分分析中的应用。结果表明,不同遗址出土的煤精类文物的红外谱图有较为明显的不同,同一遗址出土的煤精类文物的红外谱图在特征波段具有相似性,不同遗址煤精类文物则差异明显。使用 Norris 二阶导数法对红外光谱进行处理,提高吸收峰分辨率,为精细研究提供信息,选择特殊红外光谱参数  $I = A_{820\text{ cm}^{-1}} / A_{2870\text{ cm}^{-1}}$  定量分析不同样品的红外光谱,结合静水称重得到的部分样品的密度信息,对出土的煤精类文物制品材质的煤化程度初步判断。结合红外光谱特征波数的强度进一步通过主成分分析解释煤精类文物的红外光谱信息,来自不同遗址的煤精类文物样品在主成分分析得分图中得到了良好的区分,并且可以与特殊红外光谱参数  $I$  判别的初步结论互相对应。验证了以漫反射傅里叶变换红外光谱为主的无损分析方法在煤精类文物材质判别中应用的可行性;若结合不同产地煤精矿样红外光谱,则可以为煤精类文物产地判别提供研究方法。

**关键词** 煤精类文物; 红外光谱; 材质判别方法

**中图分类号:** K876.8    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)05-1424-06

### 引言

煤精又称煤玉,属于腐殖腐泥煤的一种。我国是世界上最早使用煤及煤精的国家之一,早期使用煤炭的遗迹或遗物由于质地致密度、风化等因素难以保存。密度大且保存较好的煤精文物则成为了研究我国古代煤炭发展历史的重要物质载体。煤精制品最早出现在距今七千年左右的辽宁新乐遗址,比煤炭出现早了三千多年,且数量众多<sup>[1]</sup>,因此开展煤精类文物的研究对探究我国古代煤炭的使用史有重要意义。

在对考古资料的收集过程中,发现煤精文物原料材质的使用受古人对煤炭资源的认识能力和手段等多种原因的制

约,呈现材质多样化的现象,除煤精外,还包括褐煤、烛煤、藻煤等多种材质种类。因此本工作提出“煤精类文物”这一说法,将这些使用性质与文化属性相同、材质近似的煤类矿物制品归属于同一文化概念中。

目前对煤精文物的研究较偏重于出土煤精文物资料的整理<sup>[2]</sup>,科学分析研究较为有限。过去对煤精的研究,主要采用傅里叶红外变换光谱(FTIR)、X射线荧光光谱(XRF)、X射线摄像、扫描电子显微镜(SEM)、热解-气相色谱/质谱(Py-GC/MS)等方法对煤精类制品的材质进行鉴定。其中红外光谱作为一种可以进行无损鉴定的方法被认为具有足够的应用前景<sup>[3-4]</sup>。红外光谱也是研究煤化学结构的重要科技手段,在以往对于煤炭的研究中多有定性及定量研究的应

收稿日期: 2020-03-20, 修订日期: 2020-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(11575142, 51704241), 国家级大学生创新创业项目(201810697045)资助

作者简介: 郭靖雯,女,1998年生,西北大学文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室硕士研究生    e-mail: jing10912@qq.com

\* 通讯作者    e-mail: xianyiheng@sina.com; haifenglingyong@sina.com

用<sup>[5-7]</sup>。

煤炭学研究中利用煤化程度来表征处于不同程度煤阶的煤炭。煤化程度的影响因素众多,不同地区、不同时期、不同成因形成的煤炭的煤化程度都会不同。因此通过判断样品煤化程度的不同可以对不同材质的煤精类文物进行区分判别,进一步则可以区分来自不同地区的煤精类文物。煤的红外光谱可以在一定程度上定量表征煤化作用的程度。因此本文旨在以无损的红外分析为基础,利用煤炭学中“煤化程度”这一概念并结合对红外数据的主成分分析对煤精类文物的材质判别方法进行初步探索。

## 1 实验部分

### 1.1 样品

共分析了来自陕西周原贺家战国晚期至秦墓、陕西咸阳

岩村战国晚期至秦墓、新疆吐鲁番胜金店汉墓及青铜时代中晚期的新疆伊犁吉仁台沟口遗址的 16 件煤精类文物样品(图 1)。秦汉时期煤炭在我国开始大规模使用,煤精制品的出现可以与其互相印证,本工作的研究对象也大多出现于此时期。新疆吉仁台沟口遗址发现的煤类制品则将古代人民使用煤炭资源的历史推进了上千年,具有重要的研究价值。周陵贺家墓地及咸阳岩村墓地的煤精制品形制相似,为汉晋时期常见的八棱柱状或喇叭状;新疆胜金店墓地两件样品为较小的珠饰;来自吉仁台沟口遗址的五件样品则都是未经加工的半成品。

### 1.2 静水称重

通过静水称重对周原贺家墓地、胜金店墓地、吉仁台沟口遗址的样品进行密度测量,以宝石学教程提供的煤精密度为标准值<sup>[8]</sup>,实验结果如表 1。



图 1 样品照片

(a): 新疆胜金店墓地; (b): 新疆吉仁台沟口遗址; (c): 陕西周原贺家墓地; (d): 陕西咸阳岩村墓地

Fig. 1 Pictures of samples

(a): Shengjindian Cemetery in Xinjiang; (b): Jirentaigoukou Site in Xinjiang;

(c): Zhouyuan Hejia Cemetery in Shaanxi; (d): Xianyang Yancun Cemetery in Shaanxi

表 1 样品静水称重数据

Table 1 Density of samples

样品编号	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	系统宝石学教程 标准值/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
SZH-1	1.35	
SZH-2	1.30	
SZH-3	1.34	
XTS-1	2.15	
XTS-2	1.29	
XYJ-1	1.52	1.30~1.40
XYJ-2	1.53	
XYJ-3	1.55	
XYJ-4	1.50	
XYJ-5	1.53	

### 1.3 漫反射傅里叶变换红外光谱测试

采用 Nicolet iN10 FI-IR Microscope 显微红外光谱仪(美国 Thermo Fisher 公司),配有 Nicolet iZ10<sup>TM</sup> FT-IR 辅助光学台,扫描 32 次,分辨率  $4 \text{ cm}^{-1}$ ,测试范围为  $4\ 000 \sim 650$

$\text{cm}^{-1}$ 。根据文物样品检测无损的要求,使用红外漫反射附件可在无损检测的前提下较大程度收集煤精样品反射的光谱信号,获得准确的红外谱图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 样品密度与煤化程度

由于煤炭成煤年代和成煤树种不同,以及古人对原材料选择的不确定性,煤精类制品的材质具有多样性,在此引用煤炭研究中煤化程度这一概念,用煤化程度的差异表征不同煤精类制品材质的区别。

《系统宝石学》中煤精密度的标准值为  $1.30 \sim 1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,由表 1 可得,进行静水称重的样品中,有近一半样品的密度属于或十分接近于煤精的密度,其中周原贺家墓地的样品及胜金店墓地 XTS-2 样品密度基本满足《系统宝石学中》提供的标准值;吉仁台沟口遗址样品密度稍高于其他地区;胜金店墓地 XTS-1 样品密度明显超过标准值。一般来

说, 煤炭密度随煤化程度的加深而提高, 因此推测表 1 中密度较大的样品煤化程度较高。

## 2.2 红外光谱分析

16 件煤精类文物样品的红外光谱图经基线校正后, 如图 2 所示。

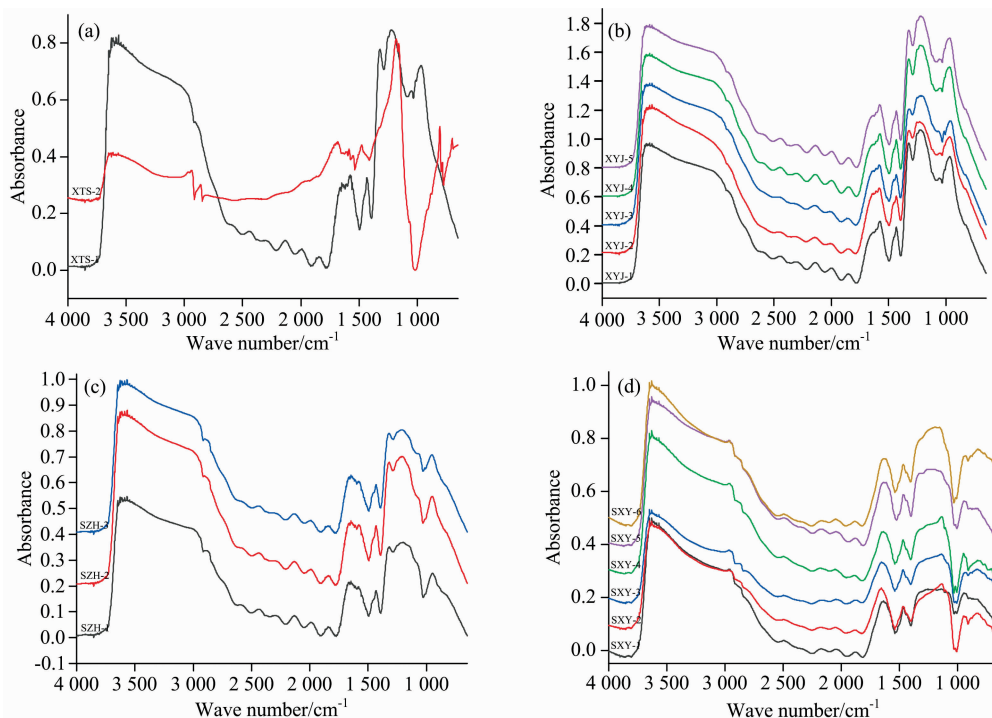


图 2 煤精样品红外光谱图

(a): 新疆胜金店墓地煤精制品红外光谱图; (b): 吉仁台沟口遗址煤精制品红外光谱图;  
(c): 周原贺家墓地煤精制品红外光谱图; (d): 咸阳岩村墓地煤精制品红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectra of samples

(a): Samples from Shengjindian Cemetery in Xinjiang; (b): Samples from Jirentaigoukou Site in Xinjiang;  
(c): Samples from Zhouyuan Hejia Cemetery in Shaanxi; (d): Samples from Xianyang Yancun Cemetery in Shaanxi

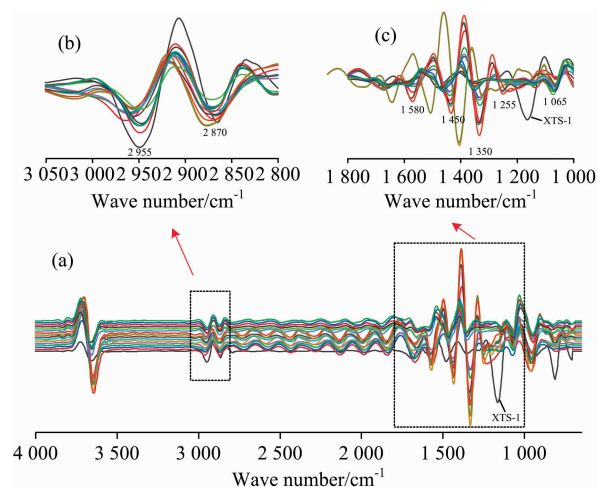


图 3 煤精样品二阶导数处理后的红外光谱图

Fig. 3 The second derivative infrared spectra of samples

芳环上不同取代程度的 C—H 面外弯曲振动吸收峰位于  $900\sim 700\text{ cm}^{-1}$ , 在此波段的吸收峰强度较高, 说明其分子结

### 2.2.1 样品红外光谱图归属简述

实验获得的红外光谱包含的信息复杂, 难以直接分析, 将测试得到样品的红外光谱图进行 Norris 二阶导数处理, 得到图 3 所示的谱图。

构中芳环缩合程度较高。胜金店墓地 XTS-1 号样品在此波段吸收峰强度较大, 有机成分中芳香结构比重及芳环缩合程度较大。煤炭含氧官能团主要包括羧基、羟基、羰基以及醚氧, 特征波段主要集中于  $1800\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ , 此波段不同地区煤精类制品的红外谱图存在着明显差异。其中羧基、羰基的 C=O 伸缩振动吸收峰位于  $1750$  及  $1670\text{ cm}^{-1}$  处,  $1300\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  处存在 C—O 伸缩振动及羧酸 C—OH 伸缩振动的吸收峰, 苯环 C=C 骨架振动带来的红外吸收谱带位于  $1580\text{ cm}^{-1}$  附近;  $1800\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  波段中还包括  $1350$  和  $1450\text{ cm}^{-1}$  处的  $\text{CH}_3$  和  $\text{CH}_2$  的弯曲振动等。来自咸阳岩村墓地的六个样品在此波段吸收峰强度较低。自缩合羟基氢键、羟基  $\pi$  氢键、羟基氮氢键等羟基的吸收峰位于  $3600\sim 3000\text{ cm}^{-1}$  波段, 芳环的 C—H 伸缩振动吸收峰位于  $3000\sim 3100\text{ cm}^{-1}$  处。

由二阶导数谱图(图 3)可以看到, 胜金店墓地 XTS-1 样品的红外谱图与其他样品有明显差别, 其他样品则难以通过红外谱图特征波段的出峰位置及出峰强度进行直观的区别, 需要对红外光谱的信息进一步的分析解读。

2.2.2 红外光谱参数及其变化特征

煤中芳香碳与脂肪碳的比例随着煤化程度的提高而增加<sup>[6]</sup>。通过红外光谱分析煤精类文物样品的特征官能团的含量,可以推测其煤化程度,从而对材质种类不同的煤精类文物进行差异判别。煤化作用的本质是杂原子逐渐脱落、碳原子逐渐集中的成分变化过程,其中包括含氢烷基侧链的降解及芳环的稠化,根据文献[7]的方法,结合煤化过程中官能团含量改变的规律及文物样品红外光谱的显著特征,选择  $I = A_{820\text{ cm}^{-1}} / A_{2960\text{ cm}^{-1}}$  作为样品煤化程度参考判断的参数,表征样品化学成分中芳环缩合程度与脂肪链断裂程度的比值,随煤化程度的增加,此参数值会越大。

表 2 煤精类文物样品煤化程度红外光谱参数表  
Table 2 Characteristics and infrared index of samples

样品编号	$A_{2970\text{ cm}^{-1}}$	$A_{820\text{ cm}^{-1}}$	$I = A_{820\text{ cm}^{-1}} / A_{2970\text{ cm}^{-1}}$	
XTS-1	-0.000 56	-0.002 39	4.27	>2
XTS-2	-0.000 57	-0.000 14	0.24	<0.5
XYJ-1	-0.000 64	-0.000 49	0.76	>0.5
XYJ-2	-0.000 43	-0.000 50	1.18	>1
XYJ-3	-0.000 49	-0.000 51	1.04	>1
XYJ-4	-0.000 65	-0.000 45	0.69	>0.5
XYJ-5	-0.000 59	-0.000 46	0.78	>0.5
SZH-1	-0.000 50	-0.000 18	0.37	<0.5
SZH-2	-0.000 51	-0.000 16	0.32	<0.5
SZH-3	-0.000 49	-0.000 17	0.36	<0.5
SXY-1	-0.000 36	-0.000 21	0.59	>0.5
SXY-2	-0.000 23	-0.000 33	1.44	>1
SXY-3	-0.000 39	-0.000 22	0.55	>0.5
SXY-4	-0.000 44	-0.000 29	0.65	>0.5
SXY-5	-0.000 36	-0.000 33	0.92	>0.5
SXY-6	-0.000 37	-0.000 35	0.93	>0.5

如表 2 所示,吉仁台沟口遗址样品的  $I$  值普遍高于 0.5 并大于周原贺家墓地及胜金店墓地的 XTS-2 样品 ( $I < 0.5$ )。咸阳岩村墓地的六件样品在这一参数值上具有较大的波动,但除 SXY-2 样品外其余样品的参数值均没有超过 1,具有参考价值。除 XTS-1 样品外,我们可以判断四个遗址文物样品的煤化程度由低到高依次为胜金店墓地、周原贺家墓地、咸阳岩村墓地、吉仁台沟口遗址,这与通过静水称重所得样品密度所推断的煤化程度结果一致。同时不同遗址出土的煤精类制品的红外参数值具有一定断层,可以据此对煤精文物的来源地区建立初步的区分及判别方法。

胜金店墓地 XTS-1 样品红外参数  $I$  值远大于 XTS-2 样品,煤化程度较高,这种分散现象与其他遗址内部样品保持较高的一致性差别较大。胜金店墓地年代为西汉时期<sup>[9]</sup>,丝绸之路业已凿通,包括煤类矿物在内的大量产品和原料交流活跃度较高,推测胜金店墓地两件煤化程度差别较大的煤精类文物的原料很可能来自不同矿区。

2.2.3 基于红外分析的主成分分析

除煤化程度较高的 XTS-1 样品外,对其他样品的红外光

谱特征波数的峰强值进行主成分分析。基于煤精在形成过程中烷烃逐渐减少、含氧官能团增加、芳环类化合物逐渐增加等特点,在二阶导数处理样品红外光谱的基础上选取 10 个可以代表煤精类制品脂肪族和芳香族结构的特征峰波数(表 3),使用 SPSS 软件对其峰强进行因子分析,得到特征值大于 1 的主成分两个累积贡献率达 87.9%,可较为有效地说明数据信息。根据因子分析结果计算得到样品红外特征波数强度的 PC1 和 PC2 并绘制散点图(图 4)。

表 3 样品红外光谱主要吸收峰归属  
Table 3 Representation and attribution of FTIR peaks

特征波数	吸收峰/ $\text{cm}^{-1}$		吸收峰归属
	波数	波动范围	
3 035	3 100~3 000		芳环 C—H 伸缩振动
2 955	2 960~2 865		$\text{CH}_2, \text{CH}_3$ 伸缩振动
2 870			
1 670	1 685~1 655		与苯环相连的羧基 C=O 伸缩振动
1 580	1 625~1 365		芳环骨架振动
1 450			
1 350	1 470~1 335		$\text{CH}_2, \text{CH}_3$ 的变形振动
1 255	1 270~1 230		酚类 C—OH 伸缩振动; 芳香醚 C—O—C 伸缩振动
1 065	1 075~1 055		硅酸盐矿物 Si—O 伸缩振动; 芳香醚 C—O—C 伸缩振动
820	900~700		芳环 C—H 面外弯曲振动

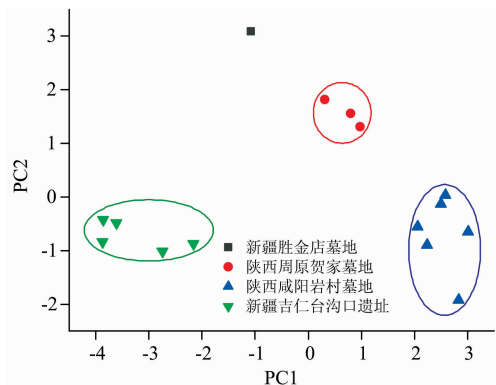


图 4 样品红外特征波数峰强主成分得分图  
Fig. 4 PCA results of samples with different spectral characteristic

如图 4 可见,咸阳岩村墓地的 SXY-2 样品较该遗址的其他样品在图中偏于 PC2 轴的负方向,远位于该遗址样品的聚集区域,这与该样品红外参数  $I$  值明显大于其出土遗址其他样品的现象相印证。除 SXY-2 及 XTS-2 号样品外,不同遗址的样品在主成分得分图中得到了良好的区分,可见明显聚类效果,判断这些来自同一遗址的煤精类制品的原材料很可能来自于同一煤矿产区。主成分分析结果表明可以通过煤精类制品脂肪族和芳香族结构的特征峰波数的峰强,即煤精的特征官能团的含量来对不同地区的煤精制品进行区分,从而判别原料产地,进一步对其流通过程做深入研究。

### 3 结 论

通过红外谱图可以直观地表征出煤精类文物有机成分种类及含量的不同, 16 件煤精文物样品虽名为煤精, 但材质上属于或接近于煤精, 具有多样性, 不乏煤精之外的煤类矿物原料, 例如 XTS-1 样品煤化程度就明显偏高。但这些制品在使用功能或形制特征上具有很高的相似性, 在实际应用中应将其全部归至“煤精类文物”这一文化概念中。

初步验证了漫反射傅里叶变换红外光谱分析在煤精类文物材质判别中的可行性, 红外光谱可以无损高效的从煤精类制品表面获取文物的材质信息, 利用煤化程度改变过程中有机成分官能团含量的变化, 结合密度比较及主成分分析手段, 发现来自不同遗址、不同地区的煤精类文物的组成成分上存在一定的差异, 可以利用其建立对煤精类文物材质判别的方法。若结合我国不同产地的煤精类制品原材料矿样的红外光谱信息, 则可以建立以红外分析为基础的煤精类制品的产地区分模型, 为煤精类文物的产地研究提供判别方法。

### References

- [ 1 ] Shenyang Xinle Heritage Museum, Shenyang Cultural Relics Management Office(沈阳新乐遗址博物馆, 沈阳文物管理办公室). *Archaeology(考古)*, 1990, (11): 969.
- [ 2 ] QI Shou-hua(祁守华). *Relics and Museology(文博)*, 1986, (6): 68.
- [ 3 ] Pollard A, Bussell G, Baird D. *Archaeometry*, 1981, (23): 67.
- [ 4 ] Hunter F, McDonnell J, Pollard A, et al. *Archaeometry*, 1993, (1): 69.
- [ 5 ] HAO Pan-yun, MENG Yan-jun, ZENG Fan-gui, et al(郝盼云, 孟艳军, 曾凡桂, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2020, 40(3): 787.
- [ 6 ] ZHAO Yun-gang, LI Mei-fen, ZENG Fan-gui, et al(赵云刚, 李美芬, 曾凡桂, 等). *Journal of China Coal Society(煤炭学报)*, 2018, 43(2): 546.
- [ 7 ] ZHANG Ke, YAO Su-ping, HU Wen-xuan, et al(张科, 姚素平, 胡文瑄, 等). *Coal Geology & Exploration(煤田地质与勘探)*, 2009, 37(6): 8.
- [ 8 ] ZHANG Bei-li(张蓓莉). *Systematic Gemmology(系统宝石学)*. Beijing: Geological Publishing House(北京: 地质出版社), 2006. 558.
- [ 9 ] ZHANG Yong-bing, LI Xiao, DING Lan-lan, et al(张永兵, 李肖, 丁兰兰, 等). *Archaeology(考古)*, 2013, (2): 29.

## Study on the Method of Distinguishing the Material of Jet-Like Cultural Relics Based on Infrared Spectra

GUO Jing-wen<sup>1</sup>, XIAN Yi-heng<sup>1\*</sup>, XIAO Wei<sup>1</sup>, WANG Yong-qiang<sup>2</sup>, XU Wei-hong<sup>3</sup>, ZHANG Yang-li-zheng<sup>3</sup>, YANG Qi-huang<sup>3</sup>, GAO Zhan-yuan<sup>4\*</sup>, LING Xue<sup>1</sup>, WEN Rui<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Cultural Heritage Conservation and Research, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069, China
2. Xinjiang Institute of Relics and Archaeology, Urumqi 830011, China
3. Shaanxi Institute of Archaeology, Xi'an 710043, China
4. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

**Abstract** China is one of the earliest countries in the world to use coal and jet. However, during the research of unearthed jet cultural relics, it was found that the texture of raw materials of jet cultural relics sometimes deviated from the jet defined in Gemology. Thus, the concept of jet-like cultural relics is advanced in this paper to have jet, lignite, candle coal and other materials which have a similar texture with jet put into the same cultural concept. At present, there is still a large gap in the scientific research on jet-like cultural relics, among which there especially is no scientific judgment method for the most basic study of material type identification. In this paper, 16 pieces of jet-like relics unearthed from Zhouyuan Hejia Cemetery in Shaanxi, Xianyang Yancun Cemetery in Shaanxi, Turpan Shengjindian Cemetery in Xinjiang, and YiliJirentaigoukou Site in Xinjiang are studied for exploring the application of diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy in the composition analysis method of jet-like cultural relics. It can be seen through the result of the infrared spectrum that spectrograms of jet-like relics unearthed from different sites are quite different, while spectrograms of jet-like relics from the same site are similar. The infrared spectra are processed by Norris second derivative method for improving the resolution of absorption peak, a special infrared index  $I = A_{820\text{ cm}^{-1}}/A_{2870\text{ cm}^{-1}}$  was selected to have the infrared spectra quantitative analysis of different samples.

Combined with the density data of some samples, the coalification degree of jet-like cultural relics can be judged preliminarily. Furthermore, the materials of jet-like relics from different sites could be distinguished by the result of principal component analysis, which is consistent with the judgement of the special infrared index. This paper verifies the feasibility of non-destructive analysis method based on the infrared spectrum in distinguishing materials of jet-like cultural relics. In addition, a research method for the identification of jet-like cultural relics' origin can be provided if enough infrared spectrum of jet ore samples are collected from different areas.

**Keywords** Jet-like relics; Infrared spectrum; Material distinguishing method

(Received Mar. 20, 2020; accepted Jul. 4, 2020)

\* Corresponding authors

---

## 《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，**突出创新之处**。
2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。
3. 句型力求简单，尽量采用被动式，建议经专业英语翻译机构润色，与中文摘要相对应。用 A4 复印纸单面打印。
4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。