

# 利用 XRD, XRF, FT-IR, RS, SEM 和 DSC 分析綦江木化石及围岩

邓建国<sup>1</sup>, 王丰平<sup>2</sup>, 谢显明<sup>2</sup>

(1. 四川理工学院材料学院, 四川 自贡 643000; 2. 重庆市綦江区国土资源和房屋管理局, 重庆 401420)

**摘要:**采用 X 射线荧光、X 射线衍射、傅里叶红外光谱、激光拉曼光谱、扫描电镜和差热法研究了綦江翠屏山的侏罗纪木化石和围岩的元素组成、矿物结构与基团特征。结果表明:綦江木化石分硅化和钙化两类,钙化类主要含有的元素为钙、铁、铅,硅化类中主要元素为硅、铅,围岩中主要元素为硅、钙、铁、钾、铝;围岩中铝、钛、锆的含量远高于化石,其中铝含量约为钙化类木化石的 7 倍、硅化类木化石的 40 倍,钛、锆含量约为钙化类木化石的 6 倍,说明化石中元素的交代作用具有选择性;硅化类木化石中铅的含量约为围岩中的 5 倍,说明该树种能富集土壤中的铅,对土壤起到净化作用;綦江钙化类木化石由方解石构成,硅化类木化石由  $\alpha$  石英构成。

**关键词:**綦江木化石;围岩;光谱分析

**中图分类号:**P57

**文献标志码:**A

## 引言

木化石是植物化石的重要组成部分,在探究地质历史时期植物群的组成特征、植物的演化历史及陆相古气候和古环境重建等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。綦江木化石群是目前重庆地区木化石埋藏最为集中、保存较好的典型代表,也是当地曾经存在大型乔木的直接证据,同时承载着许多古环境信息,对研究古植物学、地层学、古气候与古地理以及沉积学都具有非常重要的价值<sup>[2-4]</sup>。

随着现代分析测试技术的发展,愈来愈被广泛运用于木化石的元素和矿物成分分析、形成原因及埋藏环境等方面的研究。李月彤<sup>[5]</sup>等采用扫描电子显微镜(SEM)、电子探针、X 射线粉末衍射仪(XRD)等手段,对

中国新疆奇台及缅甸蒲甘的硅化木样品进行了矿物组成分析研究;席晓光等<sup>[6]</sup>利用 XRD、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)和差热法(DSC)对朝阳硅化木进行了研究,明确其主要成分为  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>;杨金龙等<sup>[7]</sup>采用 SEM、X 射线荧光仪(XRF)、XRD 和电子万能材料试验机,研究了树化玉的显微结构、成分及力学性能;祖恩东等<sup>[8]</sup>利用激光拉曼(RS)法对紫晶、水晶、玛瑙、玉髓及欧泊进行了光谱分析;Ki Woo Kim 等<sup>[9]</sup>通过 SEM 和 X 射线微量分析法对韩国浦项第三纪盆地硅化木进行了断面形貌和元素分析;Chul Jong Yoon 等<sup>[10]</sup>通过 SEM 分析了马达加斯加和印度尼西亚硅化木形貌,采用 X 射线能谱法研究了印尼硅化木的颜色与元素组成间关系。

本文通过 XRF、XRD、FT-IR、RS 和 SEM 和 DSC 等

收稿日期:2018-06-15

基金项目:重庆市綦江区国土资源和房屋管理局项目(HX2017158)

作者简介:邓建国(1966-),男,四川成都人,教授,主要从事材料方面的研究,(E-mail)sczgdjg66@sina.com

分析方法,研究重庆綦江翠屏山侏罗纪木化石及围岩元素组成、矿物结构和埋藏特点,为建立翠屏山地区侏罗纪木化石及围岩数据库提供基础资料,并为木化石保护新材料的研制提供理论支撑。

## 1 材料及制备

选取重庆綦江翠屏山代表性木化石试样两件,围岩试样一件,化石及围岩试样产自于约1.5亿年前的侏罗系沙溪庙组(J2s)。如图1所示,代表性试样木化石1号通体黧黑;如图2所示,2号木化石试样整体为浅黄色;围岩试样如图3所示。为了在XRF、XRD、FT-IR、RS和DSC的分析测试中得到准确结果,减少误差,将化石和围岩样品分别研碎至20目、混合均匀,而SEM检测样则从化石或围岩上选取具有代表性的小块备用。



图1 1号木化石试样



图2 2号木化石试样



图3 木化石的围岩

## 2 分析方法

试样送四川理工学院分析测试中心,分别采用以下五种仪器进行测定:

(1)采用德国布鲁克 AXS 公司 X 射线荧光光谱仪(型号为 S4EXPLORER)进行光谱半定量分析。测试参数为:真空光谱仪模式,固定速度为 0.5 转/s,与样品直径对应准直器面罩 34 mm,测量顺序以先测量高能量谱线,扫描范围  $10 \times$  准直器角度,步长 10% C. A。

(2)采用丹东方圆 DX-2600 衍射仪、石墨单色器进行 XRD 分析。测试参数为:CuK $\alpha$  40 kV,35 mA,发射狭缝(DS)  $1^\circ$ ,接收狭缝宽(RS) 0.2 mm,散射狭缝(SS)  $1^\circ$ ,扫描范围  $10^\circ \sim 70^\circ$ ,扫描速度 2.4  $^\circ/\text{min}$ 。

(3)采用美国热电红外光谱仪(型号 NICOLET6700 FT-IR)进行红外光谱分析。测试参数为:扫描 16 次/min,波数为  $8 \text{ cm}^{-1}$ 。

(4)采用美国热电公司生产的 DXR 激光拉曼光谱仪显微镜,其激发光波长为 780 nm,光圈孔 25  $\mu\text{m}$ ,光栅 400 线/mm,仪器分辨率  $2.4 \text{ cm}^{-1} \sim 4.3 \text{ cm}^{-1}$ ,测量光斑大小 3.1  $\mu\text{m}$ ,允许范围  $76 \text{ cm}^{-1} \sim 3413 \text{ cm}^{-1}$ ,最大激发功率 24 mW。将试样粉末放入激光拉曼光谱仪显微镜下,于镜下取点十字交叉处,聚焦激光光斑测试。

(5)采用捷克 TESCAN 公司扫描电子显微镜(型号为 VEGA 3SBU)进行形貌分析。在 1000 倍的放大倍数下,在化石及围岩中各选一清晰均匀区域采用 EDS 进行元素校正分析。

(6)采用德国耐驰公司制造差热扫描仪(型号: DSC200F3)对样品进行差热检测。测试条件:氮气为吹扫气和保护气体,流量分别为 60 Nml/min、40 Nml/min,温度由  $5^\circ\text{C}$  升到  $1200^\circ\text{C}$ ,速率为 10 K/min。

## 3 结果与讨论

### 3.1 綦江木化石及围岩元素特征分析

綦江木化石及围岩的 X 射线荧光光谱分析结果见表 1,从中可知木化石、围岩的元素组成具有以下特点:

(1)1 号木化石试样中存在的主要元素为钙、铁、铅,次要元素为硅、锰、硫、铝、磷,微量元素为镁、砷、钾、钛、锶、铜、钒、钴;2 号木化石试样中含有的主要元素为

硅、铅,次要元素为钙,微量元素为铁、铝、磷、钾、硫;围岩中含有的主要元素为硅、钙、铁、钾、铝,次要元素为钡、铅、钛、磷、锶;微量元素为锰、镁、钠、硫、钒、锌、铬、铜、镍。(2)硅化石中铅的含量约为围岩中的 4.5 倍,说明该树种能富集土壤中的铅,对土壤起净化作用<sup>[11]</sup>。(3)1 号木化石试样中钙含量占近一半,而硅含量较少,说明其为钙化而非硅化。(4)1 号木化石试样中硫含量是 2 号木化石的 68 倍,围岩的 22.7 倍,因其表面树皮碳化成煤<sup>[5]</sup>所致。(5)围岩中铝、锶、钛的含量远高于化

石,铝含量为 1 号木化石试样的 6.3 倍、为 2 号木化石试样的 49.7 倍,锶、钛含量约为 1 号木化石试样的 6 倍,说明化石中元素的交代作用具有选择性<sup>[12]</sup>。(6)1 号木化石试样的铁锰含量较天然树化玉 (Fe: 0.82%、Mn: 0.09%) 高,故其颜色更黑<sup>[7]</sup>。(7)2 号木化石以石英化为主,与缅甸硅化石 (Si:45.81%)<sup>[13]</sup> 相比,其硅化程度更低;而 1 号木化石试样钙化程度很高,是缅甸硅化石所不具有的,说明由于埋藏环境不同,不同地域形成的木化石之间所含元素有交代差异。

表 1 綦江木化石及围岩的 X 射线荧光光谱分析结果

元 素	元素质量分数/(10 <sup>-3</sup> %)			元 素	元素质量分数/(10 <sup>-3</sup> %)		
	1 号木化石试样	2 号木化石试样	围岩		1 号木化石试样	2 号木化石试样	围岩
Al	227	29	1440	Na	-	-	47
Ba	-	-	369	Ni	-	-	3
As	75	-	-	P	170	18	186
Ca	49860	348	4801	Pb	1521	1530	338
Co	9	-	-	S	612	9	27
Cu	21	-	6	Si	785	14290	9202
Cr	-	-	7	Sr	28.9	-	184
Fe	1912	67.9	2278	Ti	48	-	289
K	50.3	12	1630	V	12	-	10
Mg	98	-	54	Zn	-	-	8
Mn	743	-	67.3				

3.2 綦江木化石及围岩的 XRD 分析

綦江木化石及围岩 X 射线衍射分析结果如图 4 所示,在 2θ = 29.5° 强峰是方解石的特征谱带,在 2θ = 26.6° 的峰为 SiO<sub>2</sub> 的特征峰。

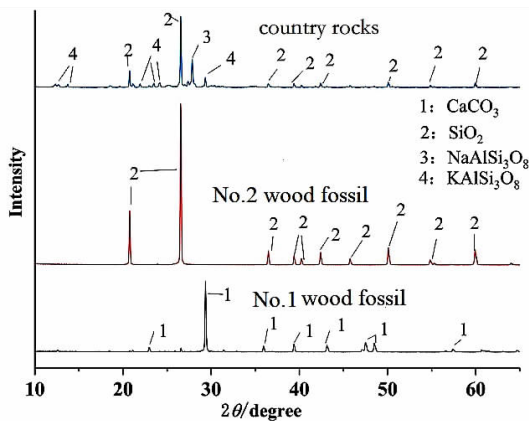


图 4 綦江木化石及围岩的 XRD 光谱

从图 4 可知 1 号木化石试样中主要矿物为 CaCO<sub>3</sub>;2 号木化石试样中主要矿物为 SiO<sub>2</sub>,未发现其他元素的衍射峰,可能是其含量过低的缘故<sup>[7]</sup>;围岩中主要矿物为

SiO<sub>2</sub>、Na [ AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ]、K [ AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ],其中 SiO<sub>2</sub> 占比为 66.04%,NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 占比为 16.20%,KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 占比为 17.76%<sup>[14]</sup>,由此推断綦江翠屏山木化石的成岩种类为钙化和硅化两种。

3.3 重庆綦江木化石及围岩的红外光谱分析

重庆綦江木化石及围岩的红外光谱分析结果由表 2 与图 5 所示。

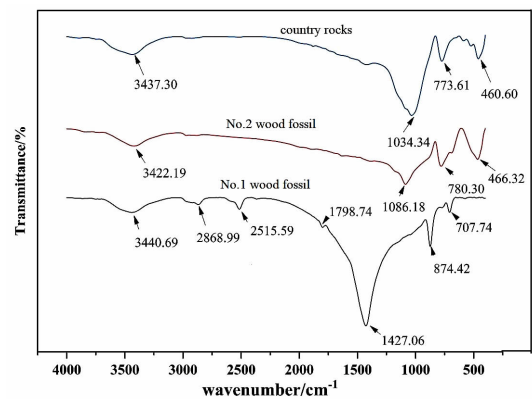


图 5 重庆綦江翠屏山木化石及围岩红外光谱

表2 重庆綦江翠屏山木化石及围岩红外光谱波长及分布

试样	1号木化石试样	2号木化石试样	围岩	朝阳木化石	振动基团	物质
波数/( $\text{cm}^{-1}$ )	3440.69	3422.19	3437.30	3451.23	$\nu(\text{O}-\text{H})$	吸附水
	2868.99	-	-	-	$\nu(\text{C}-\text{H})$	有机物
	2515.59	-	-	-	$\nu(\text{C}-\text{O})$	碳酸盐
	1798.74	-	-	-	$\nu(\text{C}-\text{O})$	碳酸盐
	1427.06	-	-	-	$\nu(\text{C}-\text{O})$	碳酸盐
	-	1086.18	-	1087.9	$\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$	石英
	-	-	1034.34	-	$\nu(\text{C}-\text{O})$	有机物
	874.42	-	-	-	$\delta(\text{C}-\text{O})$	碳酸盐
	-	780.30	773.61	797.82	$\nu(\text{Si}-\text{O})$	石英
	707.74	-	-	-	$\nu(\text{C}-\text{O})$	碳酸盐
	-	466.32	460.60	464.3	$\delta(\text{Si}-\text{O})$	石英

从表2与图5可知1号木化石试样在 $3440.69\text{ cm}^{-1}$ 的宽吸收峰为吸附水分子间O-H伸缩振动, $2868\text{ cm}^{-1}$ 为甲基中C-H对称伸缩振动,由此判断该化石中存在有机物;在 $2515.59\text{ cm}^{-1}$ 、 $1798.74\text{ cm}^{-1}$ 、 $1427.06\text{ cm}^{-1}$ 、 $874.42\text{ cm}^{-1}$ 、 $707.74\text{ cm}^{-1}$ 处均为 $\text{CO}_3^{2-}$ 基团的振动吸收峰,其中 $707.74\text{ cm}^{-1}$ 为 $\text{CO}_3^{2-}$ 基团的面内弯曲振动吸收峰, $874.42\text{ cm}^{-1}$ 为 $\text{CO}_3^{2-}$ 基团的面外弯曲振动吸收峰, $1798\text{ cm}^{-1}$ 、 $1427.06\text{ cm}^{-1}$ 为 $\text{CO}_3^{2-}$ 基团的不对称伸缩振动,以上结果表明1号木化石试样中存在大量碳酸盐;在1号木化石试样中未发现O-Si-O的存在,说明其并非硅化,这与XRD的分析结果一致<sup>[5,6,15-21]</sup>。2号木化石试样红外光谱在 $3422.19\text{ cm}^{-1}$ 的宽吸收峰为吸附水分子间O-H伸缩振动; $1086\text{ cm}^{-1}$ 位于O-Si-O最强吸收区,属于O-Si-O的非对称伸缩振动, $780\text{ cm}^{-1}$ 为O-Si-O对称伸缩振动的吸收峰, $466.32\text{ cm}^{-1}$ 为O-Si-O弯曲振动的吸收峰,以上三峰说明2号木化石试样中存在的二氧化硅属于石英质类<sup>[5-6,12,18-19]</sup>。围岩红外光谱在 $3437.30\text{ cm}^{-1}$ 的宽吸收峰为吸附水分子间O-H伸缩振动; $1034.34\text{ cm}^{-1}$ 为C-O键伸缩振动的吸收峰,表明围岩中存在含氧的有机混合物; $773\text{ cm}^{-1}$ 为O-Si-O对称伸缩振动吸收峰, $460.60\text{ cm}^{-1}$ 为O-Si-O弯曲振动吸收峰,上述两峰表明围岩中存在二氧化硅属石英质类<sup>[5-6,12,18-19]</sup>。

从表2还可知綦江1号木化石含有 $\text{CO}_3^{2-}$ ,这一点与朝阳硅化木不同;2号木化石试样与围岩中含有 $\alpha$ 石英,

这与朝阳硅化木相同;綦江2号木化石试样与朝阳硅化木在 $3650\text{ cm}^{-1}\sim 3000\text{ cm}^{-1}$ 均存在吸附水分子间O-H伸缩振动峰,表明两试样中均含有吸附水<sup>[8]</sup>。

### 3.4 重庆綦江木化石及围岩显微拉曼分析

红外光谱与拉曼光谱间互为互补,为进一步分析化石与围岩中基团的存在形式,利用激光拉曼法对重庆綦江翠屏山木化石1号、2号和围岩粉末进行测试,得到拉曼光谱曲线图如图6~图8所示。

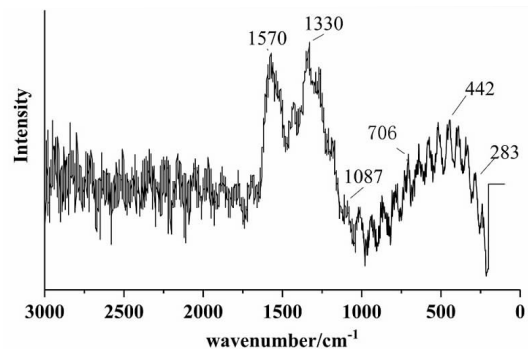


图6 1号木化石试样拉曼光谱

从图6可知1号木化石试样共检出六个有效峰,其中 $283\text{ cm}^{-1}$ 、 $706\text{ cm}^{-1}$ 、 $1087\text{ cm}^{-1}$ 构成方解石的拉曼振动峰<sup>[22]</sup>,该检出结果与XRD、FT-IR一致。 $1330\text{ cm}^{-1}$ 为O-H弯曲振动,因而含有结构水, $1570\text{ cm}^{-1}$ 为游离水O-H弯曲振动衍射所致<sup>[15]</sup>。

从图7可知2号木化石试样共检出八个有效峰,其中 $1160\text{ cm}^{-1}$ 、 $1000\text{ cm}^{-1}$ 为Si-O非对称振动, $790\text{ cm}^{-1}$ 、 $741\text{ cm}^{-1}$ 、 $646\text{ cm}^{-1}$ 为Si-O-Si对称振动, $501\text{ cm}^{-1}$ 、 $441\text{ cm}^{-1}$

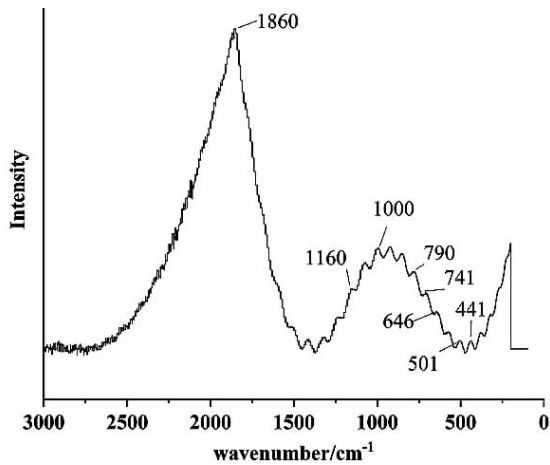


图 7 2 号木化石试样拉曼光谱

为 Si-O 弯曲振动,说明该石英为  $\alpha$  石英<sup>[8]</sup>,与红外结果相同。

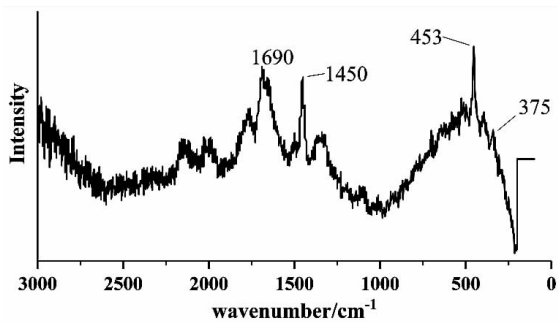


图 8 围岩拉曼光谱

从图 8 可知围岩中  $1690\text{ cm}^{-1}$  为 O-H 弯曲振动由游离水衍射所致, $1450\text{ cm}^{-1}$  为 C-H 弯曲振动,表明围岩中含有有机物<sup>[15]</sup>, $453\text{ cm}^{-1}$ 、 $375\text{ cm}^{-1}$  为 Si-O 弯曲振动,这与红外检测结果一致。

### 3.5 重庆綦江木化石及围岩的扫描电镜分析

綦江木化石及围岩的 SEM 形貌如图 9 ~ 图 11 所示。从图 9 可知,1 号木化石试样形貌存在大量沟壑,可能为其风化产物水合硫酸钙溶解而产生<sup>[23]</sup>。从图 10、图 11 可知,2 号木化石和围岩的形貌图未见如 1 号木化石试样中的沟壑,这是由于 2 号木化石试样的主要成分为石英,围岩的主要成分为石英及其胶结物,使两者难被风化。

利用扫描电镜对綦江木化石和围岩进行 EDS 能谱分析,检测其中的轻量元素,这是对 XRF 方法的有效补充,检测结果如表 3 所示。

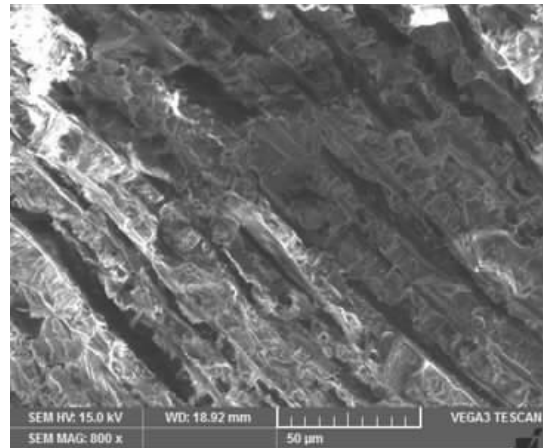


图 9 1 号木化石试样 SEM 形貌(  $\times 800$  )

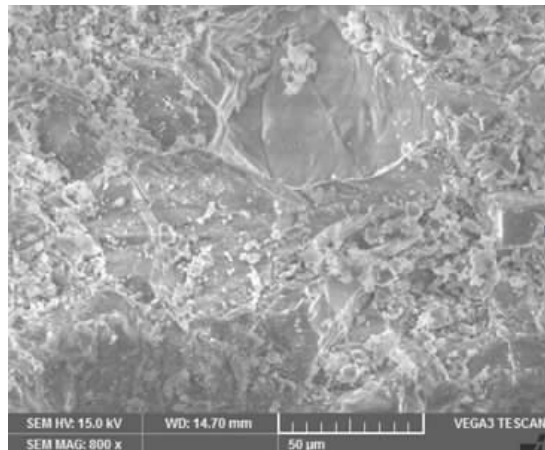


图 10 2 号木化石试样 SEM 形貌(  $\times 800$  )

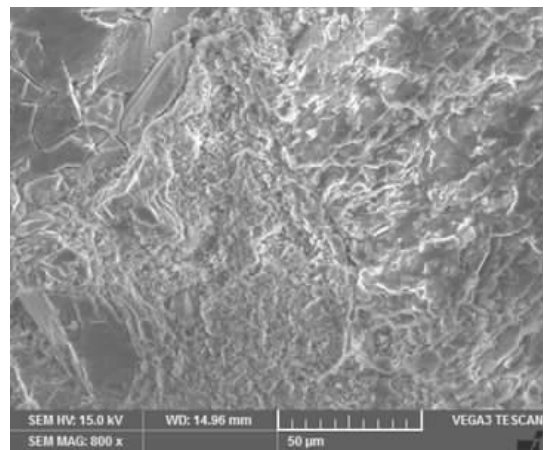


图 11 围岩试样 SEM 形貌(  $\times 800$  )

从表 3 可知,1 号木化石试样中检出 C、O、Si、Ca 四种元素,C、O 是主要元素、占比共超过 90%,Ca 元素含量远高于 Si 元素含量,该结果与 XRF 所测一致;2 号木化石试样中 O、Si 含量占比为 88.32%,这与前述得出 2 号木化石主要成分为  $\alpha$  石英的结论一致;XRF 和 EDS

法的元素分析均表明围岩中的元素种类、含量与硅化木中存在明显差异,表明化石与围岩间的元素交代具有选择性<sup>[7]</sup>。

表3 綦江木化石及围岩的EDS分析

元素	含量/%		
	1号木化石试样	2号木化石试样	围岩
C	40.04	11.02	
O	51.44	56.33	65.99
F		0.67	
Na			3.51
Mg			1.00
Al			6.18
Si	0.12	31.99	31.42
K			0.95
Ca	8.40		
Fe			0.95

### 3.6 綦江翠屏山木化石和围岩的差热分析

为了进一步论证木化石及围岩矿物结构特征,对綦江翠屏山1号、2号木化石及围岩进行差热分析,结果如图12~图14所示。

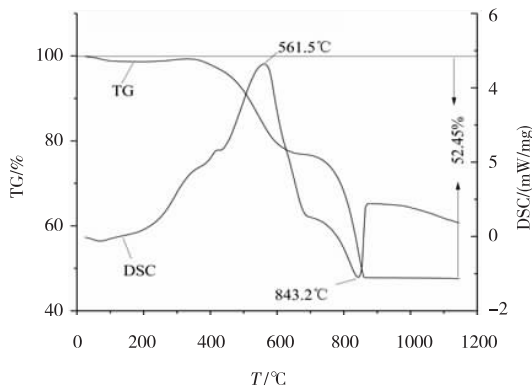


图12 1号木化石试样差热分析图

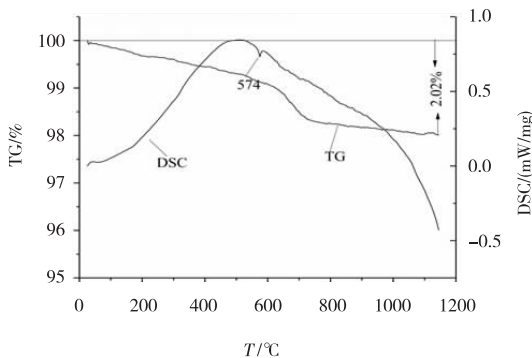


图13 2号木化石试样差热分析图

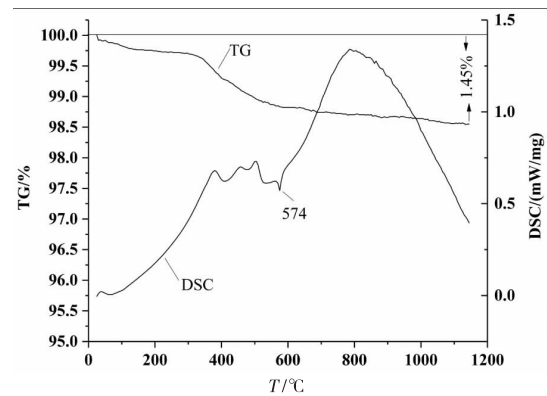


图14 围岩试样差热分析图

从图12可知,1号木化石试样在843.2℃存在明显吸热峰,较碳酸钙标准吸热峰前移,这是由于化石试样中存在杂质<sup>[24]</sup>;且1号木化石试样在该温度段存在较大质量变化,属于方解石的受热分解<sup>[25]</sup>,说明其中的碳酸钙属于方解石,这与红外、拉曼、XRD法的检测结果相对应。从图13可知,2号木化石试样在574℃存在吸热峰,此时其质量变化很小,属于 $\alpha$ 石英向 $\beta$ 石英的转变<sup>[26]</sup>,表明其中存在的二氧化硅为 $\alpha$ 石英,这与红外、拉曼、XRD法的检测结果一致。从图14可知,围岩与2号木化石试样相似,在574℃存在吸热峰且质量变化很小,说明围岩中的二氧化硅也属 $\alpha$ 石英,这也与红外、拉曼、XRD法的检测结果相符。

## 4 结论

(1)重庆綦江翠屏山1号木化石试样中的主要元素为钙、铁、铅;2号木化石试样中的主要元素为硅、铅;围岩中的主要元素为硅、钙、铁、钾、铝;木化石中铅含量是围岩的4.5倍,表明远古时代该树种对土壤中的铅具有富集作用,能净化土壤;围岩中存在的钠、镍、铬、锌元素是木化石中不存在的,说明木化石形成过程中的交代作用具有选择性。

(2)重庆綦江翠屏山木化石与朝阳硅化木相比存在独特的钙化形式,说明綦江与朝阳地区在木化石形成时期的地质埋藏环境存在较大差异。

(3)綦江翠屏山1号木化石主要物质为方解石;2号木化石主要物质为 $\alpha$ 石英,与朝阳硅化木相同,不同于缅甸硅化木的玉髓化<sup>[13]</sup>,说明綦江翠屏山木化石在独特形成条件下发生了钙化和硅化两种成岩类型。

## 参考文献:

- [1] 王永栋,田宁,蒋子堃,等.中国中生代木化石研究新进展:多样性变化及古气候波动[J].地学前缘,2017,24(1):52-64.
- [2] 张锋,王丰平,李伟,等.重庆綦江古剑山上侏罗统蓬莱镇组木化石群的发现及其科学意义[J].古生物学报,2016,55(2):207-213.
- [3] 戴离言.重庆綦江木化石—恐龙足迹国家地质公园景观资源分析及规划研究[D].重庆:重庆师范大学,2016.
- [4] 张锋,胡旭峰,王荀仟,等.重庆綦江中侏罗世木化石群的发现及其科学意义[J].古生物学报,2015,54(2):261-266.
- [5] 李月彤,权晓云,施光海.新疆奇台和缅甸蒲甘硅化木的宝石学特征[J].宝石和宝石学杂志,2016,18(2):26-33.
- [6] 席晓光.朝阳硅化木的矿物成份分析及宝石特征[J].辽宁工程技术大学学报,2007(3):464-466.
- [7] 杨金龙,王亚利,苏恒博,等.天然树化玉的显微结构及力学性能[J].硅酸盐学报,2010,38(7):1286-1291.
- [8] 祖恩东,李茂材,张鹏翔.二氧化硅类玉石的显微拉曼光谱研究[J].昆明理工大学学报,2000(3):77-84.
- [9] KIM K W, YOON C J, KIM P G, et al. Fine structure and X-ray microanalysis of silicified woods from a Tertiary basin Pohang, Korea by scanning electron microscopy[J]. Micron, 2009, 40(5): 519-525.
- [10] YOON C J, KIM K W. Anatomical descriptions of silicified woods from Madagascar and Indonesia by scanning electron microscopy [J]. Micron, 2007, 39(7): 825-831.
- [11] 蒋文琼.绿化造林改善砵石山生态环境效应的研究[D].北京:北京林业大学,2004.
- [12] 刘东亮,邓建国,彭光照,等.利用XRD,XRF,FT-IR和RS分析浙江缙云恐龙化石及围岩[J].信阳师范学院学报:自然科学版,2014,27(3):332-336.
- [13] 雷芳芳.缅甸硅化木的矿物学特征分析[J].世界有色金属,2016(19):111-114.
- [14] GIAMPAOLO P, ANDRÉS S C, ANTONIO B, et al. A multi-technique approach by XRD, XRF, FT-IR to characterize the diagenesis of dinosaur bones from Spain [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2011, 310(1): 92-107.
- [15] 邓建国,刘东亮,叶勇.恐龙化石的人工加速腐蚀研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2014,39(7):47-52.
- [16] 迪安 J A. 分析化学手册[M].北京:科学出版社,2003.
- [17] 宋德宏,丁永生,庞艳华,等.贝壳棱柱层和珍珠层的傅里叶变化红外光谱[J].大连海事大学学报,2006(4):110-112.
- [18] 邓建国,刘东亮,叶勇,等.利用XRD,XRF,FT-IR和Rs分析甘肃酒泉恐龙化石及围岩[J].西南大学学报:自然科学版,2015,37(1):138-143.
- [19] 陈全莉,周冠敏,尹作为.珊瑚化石的红外光谱及XRD研究[J].光谱学与光谱分析,2012,32(8):2246-2249.
- [20] 王蕙贞,冯楠,宋迪生.高句丽石质文物风化的保护方法研究[J].文博,2010(6):76-81.
- [21] 杨群,王怡林,袁波,等.禄丰老长箭恐龙化石的XRD和RS分析[J].光电子激光,2004,15(11):1365-1368.
- [22] 杨群,王怡林.楚雄盆地恐龙化石和围岩的XRF全元素分析[J].光散射学报,2008,20(4):369-374.
- [23] 鲁群岷.三峡库区重庆段大气与降水组分分析及其时空特征研究[D].重庆:西南大学,2013.
- [24] KENNETH C. How to make a fossil [J]. The Journal of Paleontological Sciences, 2007(1): 1-10.

- [25] 彭华,王少君.内蒙白云鄂博白云石和方解石的差热分析研究[J].武汉理工大学学报,2001,23(8):30-32.
- [26] 林宗寿.无机非金属材料工学[M].武汉:武汉理工大学出版社,2013.

## Analysis of Wood Fossils and Surrounding Rocks From Qijiang Region by XRD, XRF, FT-IR, RS, SEM and DSC

*DENG Jianguo<sup>1</sup>, WANG Fengping<sup>2</sup>, XIE Xianming<sup>2</sup>*

(1. School of Materials, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Qijiang Bureau of Land and Resources, Chongqing 401420, China)

**Abstract:** The element composition, mineral structure and group characteristics of Qijiang wood fossil and its surrounding rock are analyzed by X-ray Diffraction, X-ray Fluorescence, Fourier Infrared Spectrum, raman spectroscopy, scanning electron microscopy and differential scanning calorimetry. The results show that the metasomatic forms of wood fossil are consisted of two types: silicification and calcification, and calcification characteristic wood fossil are calcium, iron and lead, while the main elements of silicified ones are silicon and lead. The main elements of the surrounding rock are aluminum, calcium, iron, potassium and silicon, and the content of aluminum, strontium and titanium in the surrounding rock is much higher. The contents of aluminum is about 7 times higher than that of calcified wood fossil and 40 times over that of silicified wood fossil, and the content of strontium and titanium is about 6 times that of calcification wood. The metasomatism of elements in the fossils is selective, and the content of lead in wood fossil is about 5 times that of the surrounding rock. It shows that the trees exhibit enrichment effect and purification effect for the soil. The calcified wood fossil in Qijiang region is composed of calcite, while the silicified ones are composed of alpha quartz.

**Key words:** Qijiang wood fossils; surrounding rock; spectral analysis