

湖北郧西黄龙洞古人类用火证据

刘武, 武仙竹, 李宜垠, 邓成龙, 吴秀杰, 裴树文

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;

湖北省文物考古研究所, 武汉 430077;

重庆师范大学历史与文博学院, 重庆 400047;

北京大学环境学院, 北京 100871;

中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

E-mail: liuwu@ivpp.ac.cn

2008-01-02 收稿, 2008-09-08 接受

中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: KZCX2-YW-106)、国家自然科学基金(批准号: 40772016)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB806400)和科技部国际合作重点项目(编号: 2007DFB20330)资助

摘要 2004年发现的湖北郧西黄龙洞更新世晚期人类遗址经过3次发掘出土了7枚古人类牙齿化石、古人类制作使用的工具、大量动物化石及其他古人类活动的遗迹。在2006年对黄龙洞进行的第3次发掘中,在人类化石层位发现了大片的黑色物质,疑为古人类用火证据。采用微观形态分析、碳元素含量测定及地层高温事件检验3种方法对可疑的燃烧地层样品进行了检验分析,结果显示:可疑燃烧样品碳元素含量达到64.59%~73.29%,明显高于取自附近对比样品的碳元素含量范围5.82%~9.49%;对可疑燃烧样品的微观形态分析发现有薄壁细胞、纤维细胞、射线、导管等植物结构,这些特征清楚地表明黑色物质是植物燃烧后留下的炭屑,燃烧的植物可能是被子植物阔叶树;高温磁化率测量证实可疑燃烧地层经历过高温事件。基于这些检验可以确认在黄龙洞发生过燃烧。根据对遗址自然情况及人类在洞内活动证据的分析,认为这些燃烧是当时人类进行控制性用火活动所致。

关键词

用火

人类行为

更新世晚期

湖北郧西黄龙洞

1 用火与人类演化

在人类演化过程中,制作使用工具与用火是代表人类行为进步及技术发展的两个最重要的事件,尤其是有意识的控制性用火(controlled use of fire)对于古人类的生存和发展发挥了关键的作用^[1-3]。尽管用火在人类演化上的重要性早已得到共识,但学术界对人类何时开始用火,以及人类用火的规律(如地区间及人群间的差异等)一直存在争论^[3,4]。据文献报道,人类最早用火可以追溯到距今150万年的旧石器时代早期^[2,3],如在肯尼亚Koobi Fora和Chesowanja地区发现的似乎为燃烧过的地层^[3]、在埃塞俄比亚150万年前的Gadeb阿舍利石器地点发现的似为燃烧过的岩石^[4]、在距今150万年的南非Swartkrans南方古猿化石地点的洞穴中也发现了可能被烧过的动物

骨骼等^[5]。但学术界对这些在非洲发现的早于100万年前的古人类用火证据的可靠性都持怀疑。根据James^[6]对在世界范围30余处早更新世、中更新世古人类化石或活动地点发现的30余处被认为是古人类用火证据的分析,所有早于100万年的古人类用火证据都是一些间接的,其可靠性都值得怀疑,其中有些很可能是自然火形成的。他认为人类真正获得用火的能力应该在尼安德特人出现以后的中更新世末期,不超过25万年前。最近,有关学者对在以色列北部距今79万年前的Gesher Benot Ya'aqov阿舍利石器地点发现的可疑人类用火证据(包括似经过燃烧的种子、木头、燧石石器等)进行的分析显示,这些样品经历过高温燃烧。此外,燃烧过的燧石呈聚集状散落分布在遗址各处,提示可能是火灶的遗迹。其研究者宣称这一新发现是迄今发现的最早的人类用火证据^[7,8]。尽管

如此,目前国际古人类学界普遍认为人类广泛用火开始于旧石器时代中期(大约 30~20 万年前)^[3,4],甚至有人提出早于 15 万年前的古人类用火证据都不确定^[3]。在东亚地区,迄今已经至少在 6 处古人类化石或活动地点发现可能是古人类用火的证据^[3,9]。这些地点包括印度尼西亚Trinil、中国的周口店、西侯度、蓝田、元谋、金牛山。除周口店外,在这些地点发现的“古人类用火证据”都比较零散,如颜色发深的地层、可疑的烧骨、零星的炭屑灰烬等。由于这些可疑的古人类用火证据都没有确实可信的实验室检测,未能得到学术界的广泛承认。多年来,周口店一直被认为是东亚地区最早的古人类用火地点。但即便对于这样一处地点,许多学者对在周口店发现的用火证据是否真正代表当时古人类已经掌握了控制性用火的能力,或仅仅是自然的燃烧仍然存在争议^[10~14]。

近年来,一系列新方法被用于古人类遗址燃烧证据的检验^[7,15,16]。这些新的检验技术包括对古人类遗址发现的各类样品进行微观形态(micromorphology)观察、检测因燃烧造成的物质微观结构变化、直接碳元素含量测定、地层高温事件检验、植物种类鉴定等。这些新的手段通过检测地层、动物骨骼、植物等各类物质因燃烧而产生的微观形态、物质结构、元素含量等客观变化来证实燃烧事件的发生,其结果的可信程度较以往研究明显增加。其中采用直接碳元素含量测定及借助古地磁等方法检测可疑样品是否经历过高温事件已成为确定古人类遗址是否发生过燃烧,进而论证古人类用火的主要实验手段。近年来,国内一些研究机构也开始使用一些新的方法对古人类及考古遗址发现的燃烧证据进行检测研究^[17,18]。

2 在黄龙洞遗址发现的可疑燃烧证据

位于湖北省郧西县的黄龙洞是近年在中国境内发现的一处重要的更新世晚期人类遗址。自 2004 年发现以来,先后进行的 3 次发掘共出土 7 枚人类牙齿化石、30 余件古人类制作使用的石制品与骨制品、大量动物化石以及其他古人类活动遗迹。初步研究证实这是一处距今 10 万年左右的古人类遗址^[19]。在 2006 年进行的第 3 次发掘过程中,在发现古人类化石的一区第 3 层上部的红色黏土中发现有夹裹的黑色物质,在局部区域呈薄层状,与地层胶结在一起。夹杂黑色物质的地层区域大小约 0.8 m × 0.5 m,最厚处约 10 cm,无明显炉床样痕迹(图 1)。提取的含黑色物

质的地层呈块状,初步观察部分黑色物质似乎为碳化的植物残段。由于这些黑色物质出现在古人类活动的地层中,我们怀疑这些黑色物质为古人类用火留下的证据^[20]。此外,2006 年发掘过程中在距一区大约 20 m 的二区,也在红色黏土中发现有夹裹的黑色地层物质。为进一步检验证实这些黑色地层物质是否为燃烧后留下的痕迹,本文将通过一些新的实验方法检测在黄龙洞发现的可疑燃烧证据。在此基础上,结合其他方面的信息论证古人类在这一地区用火的可能性。

3 实验室检验分析

为证实黄龙洞发现的黑色地层物质是否为燃烧所致,我们参照近年国外学术界检验古人类用火采用的方法,同时结合国内具体情况,选择了以下 3 种手段:(1) 微观形态观察:将可疑的黑色地层物质置于光学显微镜和电子显微镜下观察,通过微观形态特征辨别被怀疑为经过燃烧的黑色物质的种类。尤其重点通过电子显微镜观察是否存在植物成分,并试图进一步鉴定植物的种类;(2) 碳元素含量测定:使用 SEM/EDX 元素半定量分析方法,重点对比分析在地层发现的怀疑为燃烧证据的黑色物质及在周围区域提取的对比样品碳元素含量的差别;(3) 地层高温事件检测:采用岩石磁学方法,检测被怀疑为燃烧过的地层是否经历过高温事件,从而间接证实曾经发生过燃烧。

3.1 样品采集

在 2006 年发掘的黄龙洞一区和二区与发现人类化石相同的层位分别采集了 2 份可疑燃烧样品:HLD 1 和 HLD 2,均为夹裹在红色黏土中的黑色地层物质;为对比分析发现可疑燃烧样品与洞内其他位置在元素含量上的差异,分别在一区发现可疑燃烧物质的层位上、下、10 m 以外,以及洞口处采集了 4 份对比样品,分别命名为 HLD 3, HLD 4, HLD 5 和 HLD 6。样品采集及检测方法的详细情况如表 1。

3.2 微观形态观察

由于地层黑色物质出土时曾被怀疑是植物残段^[20],我们分别使用光学显微镜及扫描电子显微镜对怀疑为燃烧证据的样品进行观察,试图寻找植物解剖结构,判定是否含有植物纤维成分。地层中发现的黑色物质肉眼观察极似植物残段,在光学显微镜

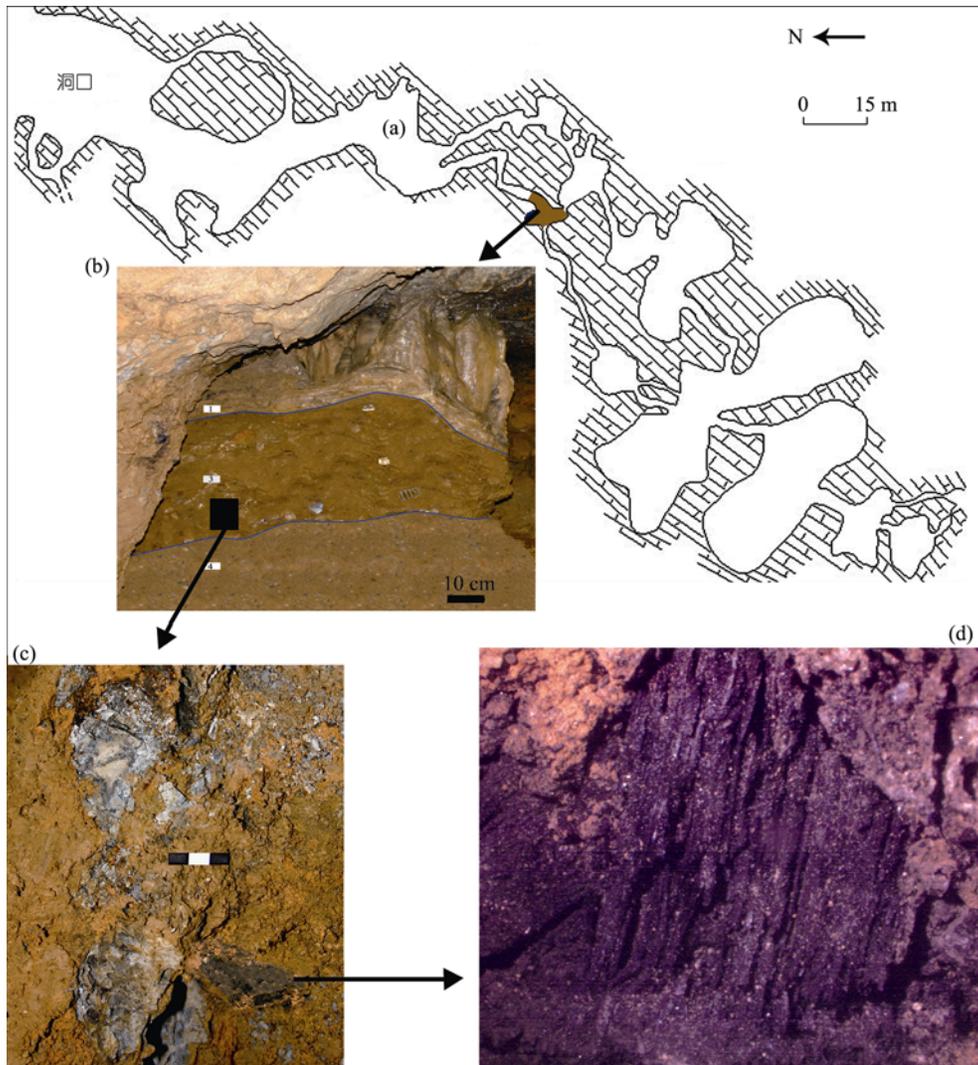


图1 在黄龙洞发现的可疑燃烧证据

(a) 黄龙洞平面图; (b) 黄龙洞地层剖面; (c) 黑色地层物质局部观察; (d) 黑色地层物质局部放大

表1 黄龙洞遗址样品检测方法

样品号	采集区域	检测方法		
		微观形态观察	元素含量测定	高温事件检验
HLD 1	采自黄龙洞一区发现古人类化石的层位			
HLD 2	采自黄龙洞二区与一区相同的层位			
HLD 3	采自一区可疑燃烧层之上层位			
HLD 4	采自一区可疑燃烧层之下层位			
HLD 5	采自距一区可疑燃烧层大约 10 m 处			
HLD 6	采自距一区可疑燃烧层大约 100 m 处的洞口			

下, 它们呈细长条状, 似为植物纤维结构(图 1(d)). 为了确认这些黑色物质是否确为植物炭屑, 我们在扫

描电子显微镜下进行了解剖结构的详细观察, 发现有薄壁细胞(ap, 图 2(b))、纤维细胞(fc, 图 2(a), (c), (d))、射线(ur, 图 2(c), (d))、导管(vl, 图 2(d)). 这些特征清楚地表明黑色物质是植物燃烧后留下的炭屑, 当时燃烧的植物可能是被子植物阔叶树. 然而, 由于这些炭屑易碎, 很难准确切出可以揭示植物细胞的排列方式的横切面和径切面, 因此, 要鉴定当时燃烧植物的物种, 需要进一步的工作.

3.3 元素含量分析

采用 SEM/EDX 元素半定量分析方法, 分别对在黄龙洞采集的可疑燃烧样品及对比样品进行测试. 实验仪器及条件如下.

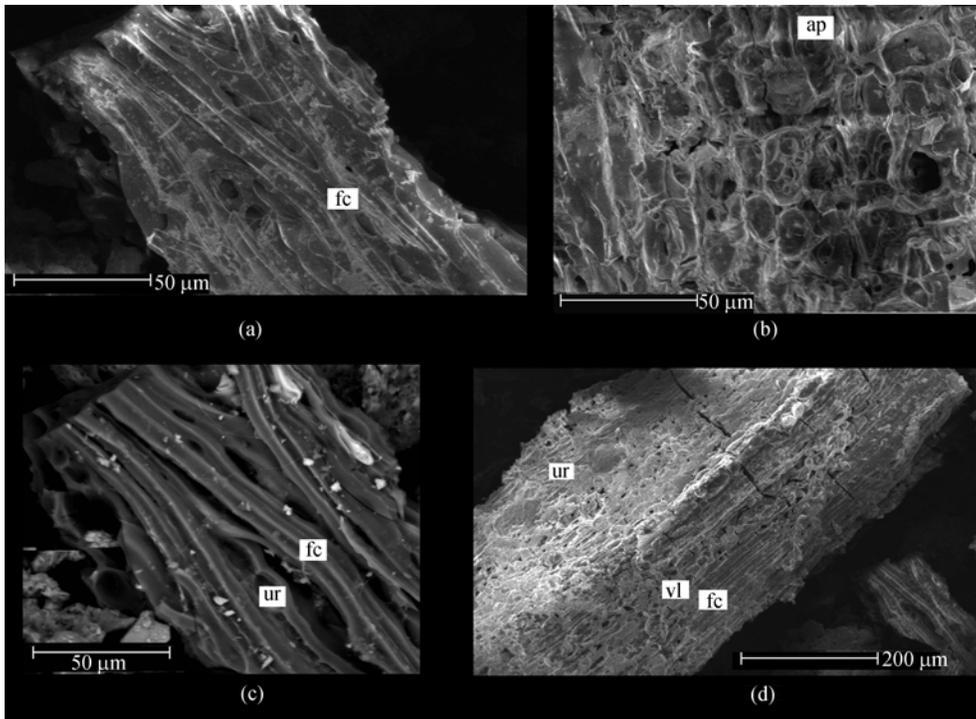


图2 扫描电子显微镜下炭屑解剖特征

ap, 薄壁细胞; fc, 纤维细胞; ur, 单列射线; vl, 导管

() 仪器及条件. FEI公司的XL30 ESEM-TMP型环境扫描电子显微镜和EDAX公司的能谱仪(超薄窗轻元素探头), 工作电压20 kV.

() 实验方法. 随机取少量样品置于扫描电子显微镜样品台上, 样品室抽真空(10^{-3} Pa)后进行面扫描元素半定量分析. 由于可疑的燃烧证据主要发现在黄龙洞一区, 黑色地层物质的分布范围也明显大于二区, 我们在1号样品(HLD 1)的不同部位提取了5小块样品, 分别命名为HLD 1(1)~HLD 1(5), 并对这些样品分别进行了元素含量分析.

() 检验结果. 对黄龙洞全部样品元素含量的测定结果列于表2. 可以看出, 可疑燃烧样品与对比样品碳元素含量差别非常显著(图3). 6个可疑燃烧样品的碳元素含量均在60%以上, 其中4个样品的含量高达70%以上. 与此相对, 4个对比样品的碳元素含量都在10%以下. 从各样品元素含量测定结果看, 碳元素和氧元素占整个元素组成的主要部分. 可疑燃烧样品(HLD 1和HLD 2)与对比样品(HLD 3, HLD 4, HLD 5和HLD 6)之间除上述碳元素含量差别外, 氧元素含量也明显不同. 可疑燃烧样品HLD 1和HLD 2氧含量较低, 在22.13%~29.35%之间. 而对比样品

(HLD 3, HLD 4, HLD 5, HLD 6)氧元素含量在43.75%~48.38%之间, 提示燃烧造成的局部氧含量减少. 此外, 所有对比样品都含有一定量的钠、钾、铁, 而除在HLD 1(1)样品检测到少量的钾外, 这些元素在其他样品HLD 1和HLD 2都没有出现. 铝和硅在对比样品中的含量也明显高于可疑的燃烧样品. 上述元素含量在可疑燃烧样品与对比样品之间的明显差别说明, 可疑燃烧样品与对比样品属于不同的物质, 前者是高碳元素含量的物质, 而后者则是地层基质.

3.4 岩石磁学分析

高温磁化率测量, 即磁化率随温度变化(χ - T)曲线可以用来检验沉积物的受热历史^[21]. χ - T 曲线用捷克Agico公司生产的KLY-3卡帕桥测量, 温度控制系统为CS-3, 在氩气环境中加热. 我们在样本HLD 1选择两个小样品(分别命名为HLD-R和HLD-B)做热磁分析: HLD-R呈淡红色, 取自可能经历过高温烘烤的地层; HLD-B呈黑色, 富含炭质. 并对样品HLD-R做了平行样品的逐步加热的 χ - T 曲线(图4(a)~(e)).

黄龙洞发育于中寒武统岳家坪组的石灰岩地层, 该组地层在黄龙洞附近表现为黑色中-薄层层状泥质灰岩和含炭泥质灰岩^[22], 黄龙洞附近未见火山岩或

表2 黄龙洞遗址样品元素半定量分析结果(重量百分含量)

样品号	C	O	Cu	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe
HLD 1(1)	73.29	23.99	-	-	0.88	0.05	0.06	0.09	0.06	1.58	-	-
HLD 1(2)	71.62	23.03	0.51	-	1.19	0.49	0.16	0.09	-	2.91	-	-
HLD 1(3)	70.75	25.79	-	-	0.92	-	-	0.07	-	2.47	-	-
HLD 1(4)	72.02	22.13	0.28	-	1.24	0.42	0.12	0.11	-	3.69	-	-
HLD 1(5)	62.44	25.41	-	-	1.13	-	-	0.56	-	10.47	-	-
HLD 2	64.59	29.35	-	-	0.60	0.67	0.96	0.89	-	2.94	-	-
HLD 3	9.49	48.38	-	0.69	1.96	7.76	20.13	-	1.57	4.24	-	5.78
HLD 4	5.82	43.75	-	2.10	8.29	22.09	1.18	-	1.69	4.94	1.28	8.87
HLD 5	6.52	44.42	-	1.51	1.90	7.84	23.59	-	1.69	2.72	-	9.82
HLD 6	5.82	46.83	-	1.06	2.03	8.43	25.66	-	2.32	0.97	-	6.86

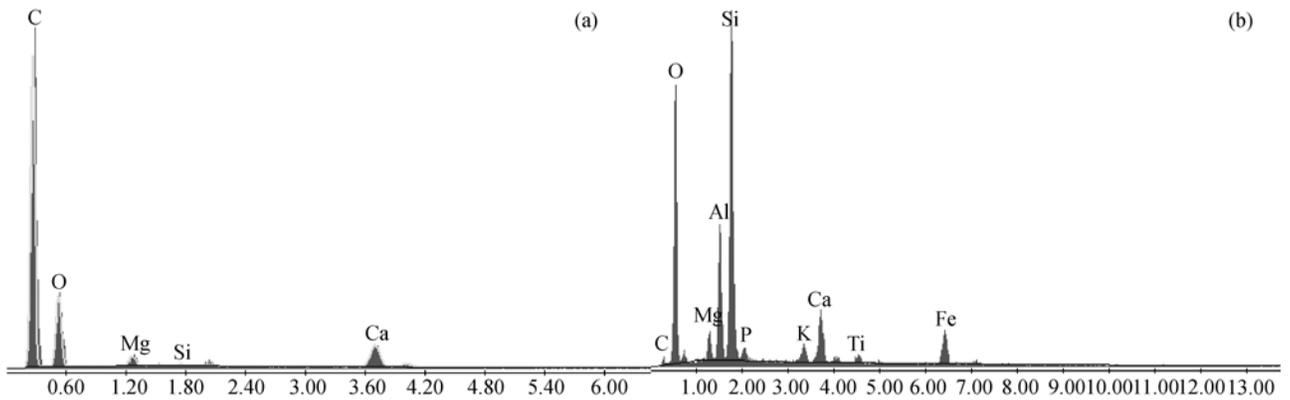


图3 黄龙洞遗址样品元素含量 X 射线能谱图

(a) 样品 HLD 1(1); (b) 对比样品 HLD 3

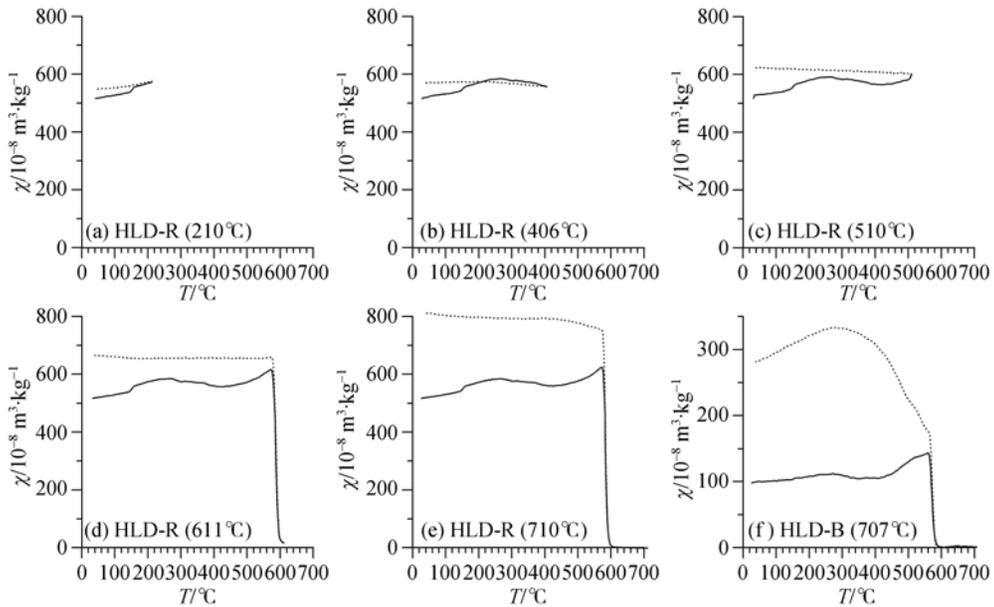


图4 黄龙洞沉积物典型样品的磁化率随温度变化(χ - T)曲线

实线表示加热曲线, 虚线表示冷却曲线

者岩浆岩分布。我们注意到, 样品 HLD-R 的磁化率高达 $516 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 远高于一般灰岩或碎屑岩地区沉积物的磁化率(图 4(a)~(e))。样品 HLD-B 的磁化率为 $98 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 也明显高于灰岩或碎屑岩地区沉积物的磁化率(图 4(f))。沉积物物源以及沉积后的风化作用等因素都难以解释样品 HLD-R 的高磁化率特征。因此我们推测, 样品 HLD-R 所在的地层曾经经历过高温烘烤, 从而导致磁化率异常升高。

2 个样品在加热到 580~590 时磁化率都急剧降低, 显示了磁铁矿的居里温度(图 4(e)~(f))。其 χ - T 曲线都在 200~300 之间显示微弱的隆起, 随后磁化率逐渐降低至 400~450 又逐渐升高, 到 560 左右再次出现磁化率峰值。样品的加热曲线在 300~450 的磁化率降低一般是磁赤铁矿分解为赤铁矿的信号^[23,24]。本研究的 2 个样品的冷却曲线都显示出磁铁矿的特征并伴随着磁化率的显著升高(图 4(e)~(f)), 这主要由含铁硅酸盐/黏土矿物在加热过程中转化成磁铁矿引起^[23]。最高加热温度在 200~400 时, 样品 HLD-R 的磁化率增强幅度不大(图 4(a), (b)); 当最高加热温度大于 500 时, 该样品的磁化率显著增强(图 4(c)~(e))。因此我们推测, 样品 HLD-R 所在地层被烘烤的温度可能低于 400 。

4 讨论

4.1 黄龙洞燃烧证据的可信性

自 20 世纪 30 年代在周口店发现古人类用火的证据以来, 已经在非洲、欧洲和亚洲的多处古人类遗址发现了包括似为燃烧的黑色地层或石制品、烧骨等可疑的古人类用火证据。但由于以往检验燃烧证据实验技术的可信程度较低, 学术界对多数古人类遗址发现的用火证据的争论一直没有停止。近 10 余年来, 对古人类遗址发现的各类可疑燃烧样品的实验检验技术有了明显的改进, 一系列更为精确、可信程度更高的方法被用于燃烧样品的检验, 确定燃烧事件的发生。这些方法包括元素含量测定、检测燃烧产生的化合物及物质结构变化、地层高温事件检验, 以及通过对燃烧物质微观结构分析鉴定植物成分等。本文根据黄龙洞遗址的具体情况以及国内现有的实验条件, 采用元素含量分析、燃烧植物鉴定及地层高温事件检验 3 种手段来证实黄龙洞发现的黑色地层物质为燃烧遗留物。我们的检验结果显示在黄龙洞一区和二区发现的黑色地层物质碳元素含量在 62.44%~73.29%, 明显高于采自周围地层的

对比样品的碳元素含量 5.82%~9.49%; 通过扫描电子显微镜分析, 我们在可疑燃烧样品中辨识出植物解剖结构, 从而证实黑色物质是植物燃烧后留下的炭屑, 燃烧的植物可能是被子植物阔叶树。虽然植物在地层埋藏环境中也有可能形成炭化样形态结构, 但本文元素含量分析检测出高含量的碳元素以及黑色地层物质产出状态呈层片状分布, 基本可以排除黑色物质是炭化木可能性; 高温磁化率测量也表明地层曾经历过高温事件。这些结果可以比较准确地证实所检验的样品为燃烧残留物, 在黄龙洞确实发生过燃烧事件。

2004 年, 沈承德等人^[18]采用“元素碳”测定的方法对周口店遗址灰烬层样品进行了分析, 发现“元素碳”最高浓度可达 43.74%, 从而首次用定量分析的方法论证支持了周口店的燃烧证据。“元素碳”燃烧过程中产生一类富含碳元素的物质, 在古人类遗址中检测到高浓度的“元素碳”说明相应的样品中有高碳元素物质的存在, 可以证实燃烧事件的发生。本文采用 SEM/EDX 法直接对样品进行元素半定量分析, 较为精确地获得了碳元素的百分含量, 虽然所测得的碳元素含量中可能既有燃烧产生的炭化物的贡献, 也有样品中含碳有机物的贡献, 但与相近地层提取的对照样品中碳元素含量相比较, 可以对有机物对碳元素总含量贡献的大小进行估计。表 2 中的 4 个对比样品中, 采自一区可疑燃烧层之上的对比样品(编号为 HLD 3)中碳元素含量最高, 为 9.49%, 如果假定可疑燃烧层样品与对比样品中有机物的含量相当, 从可疑燃烧样品碳元素总含量中扣除有机物的贡献, 可获得燃烧产生的碳元素含量, 即“元素碳”的含量。本文采用的 SEM/EDX 分析方法与元素分析仪及“微量 CO₂ 气体纯化测量系统”相比, 不但具有快速、样品无需任何处理的优点, 而且测定元素含量的同时, 还可观察样品的微观形态, 从而为燃烧层样品分析提供更多的信息。高浓度的碳元素检出、植物鉴定以及地层高温事件检验, 为认定黄龙洞燃烧的发生提供了可靠的证据。

4.2 古人类在黄龙洞用火?

确认在古人类遗址或活动区域发现的燃烧证据是天然火, 还是古人类有意识的控制性用火对于研究当时人类的进化水平、行为能力、技术发展是至关重要的。各种实验室检测方法只能确认燃烧的发生, 而人工用火的认定还需要有在遗址发现的各种古人类活动证据的支持。黄龙洞遗址发现以来, 我们进行

了3次大规模的发掘以及多次现场考察或样品采集,发现了7枚古人类牙齿化石以及大量的古人类活动证据.这些证据包括古人类制作使用的石制或骨制工具、动物骨骼表面遗留的古人类切割痕迹^[19,20,25].对黄龙洞古人类牙齿的研究显示,黄龙洞人类前部牙齿具有釉质破损与崩裂、齿冠唇面摩擦与刻划、齿间邻接面沟3种类型的使用痕迹.根据这些牙齿使用痕迹的分布和表现特点,推测生活在黄龙洞的更新世晚期人类经常使用前部牙齿从事啃咬、叼衔、研磨或剥离坚韧的食物或非食物物品、剔牙等活动,并可能将前部牙齿作为工具使用,提示当时人类从事狩猎活动,食物构成中包含有较多的肉类及粗纤维植物^[26].此外,在发现燃烧证据的黄龙洞一区和二区距洞口分别大约100和80 m,洞外的天然火因自然因素不可能进入洞内如此深度.唯一的可能是古人类在此制造、保存火种,或有意将火种带入洞内.结合在黄龙洞发现的其他古人类活动证据,作者认为当时人类在洞内进行了有意识的控制性用火行为,处理食用动物、或在洞内照明、取暖、驱赶猛兽等.

4.3 中国古人类用火与技术进步

如前述,控制性用火与制作使用工具是人类演

化过程中行为与技术进步的重要事件,对古人类遗址发现的用火遗迹的研究将有助于解决一系列与人类演化相关的问题.然而由于检测技术及遗址信息保存不全等因素的制约,学术界对在古人类遗址发现的各类可疑燃烧证据及古人类控制性用火的认定一直存在争议.尽管在中国的周口店、西侯度、蓝田、元谋、金牛山都有发现古人类用火证据的报道,但仅周口店的燃烧证据经历了较细致的测试分析.因而我们对更新世以来古人类在中国生存发展过程用火行为的产生、发展与区域分布并不清楚.黄龙洞古人类用火证据的发现为学术界深入研究这一问题提供了新的信息.同时,包括本研究在内,近年一些更为精确、可靠性更高的实验检验技术被用于中国古人类用火的研究,为今后学术界全面系统研究中国古人类用火问题开辟了有希望的前景.黄龙洞位于古人类资源丰富的鄂西-三峡地区,最近我们在附近的郧西县白龙洞更新世早期古人类遗址也发现了有待检验证实的燃烧证据^[27].相信对相关样品的检测分析及未来对这一地区古人类活动证据的调查与研究,将有助于揭示中国古人类用火行为与技术进步的更多信息.

致谢 作者在写作过程中与吴新智院士就文中涉及的问题多次讨论,中国科学院广州地球化学研究所沈承德研究员审阅了论文初稿,中国地震局地质研究所尹功明研究员在发掘期间曾到黄龙洞考察并对本文工作提出了建议,中国科学院植物研究所王宇飞研究员协助进行了样品的植物鉴定,湖北省郧西县文化局陈明惠、屈胜明同志参加了黄龙洞野外工作,特此一并致谢.

参考文献

- 1 Clark J D, Harris J. Fire and its roles in early hominid lifeway. *Afr Archaeol Rev*, 1985, 3: 3—27^[DOI]
- 2 McBrearty S, Brooks A. The revolution that wasn't: A new interpretation of the origin of modern human behavior. *J Human Evol*, 2000, 39: 453—463^[DOI]
- 3 Delson E, Tattersall I, Couvring V, et al. *Encyclopedia of Human Evolution and Prehistory*. New York: Garland Publishing Inc, 2000. 268—269
- 4 Gibbon A. Food for thought. *Science*, 2007, 316: 1558—1560^[DOI]
- 5 Brain C K, Sillen A. Evidence from the Swartkrans cave for the earliest use of fire. *Nature*, 1988, 336: 464—466^[DOI]
- 6 James S. Hominid use of fire in the lower and middle Pleistocene. *Curr Anthropol*, 1989, 30: 1—26^[DOI]
- 7 Goren-Inbar N, Alpers N, Kislev M, et al. Evidence of hominin control of fire at Gesher Benot Ya'aqvo, Israel. *Science*, 2004, 304: 725—727^[DOI]
- 8 Balter M. Earliest signs of human-controlled fire uncovered in Israel. *Science*, 2004, 304: 663—664^[DOI]
- 9 吴汝康, 吴新智, 主编. 中国古人类遗址. 上海: 上海科技教育出版社, 1999. 66—67
- 10 Binford L R, Ho C K. Taphonomy at a distance: Zhoukoudian, "the cave home of Beijing man?" *Curr Anthropol*, 1985, 26: 413—442^[DOI]
- 11 Weiner S, Xu Q, Goldberg P, et al. Evidence for the Use of Fire at Zhoukoudian, China. *Science*, 1998, 281: 251—253^[DOI]
- 12 Wuethrich B. Geological analysis damps ancient Chinese fire. *Science*, 1998, 281: 165—166^[DOI]

13 Wu X. Investigating the possible use of fire at Zhoukoudian, China. *Science*, 1999, 283: 299[DOI]

14 刘东生, 张森水, 吴新智, 等. 对美国《科学》杂志关于周口店第1地点用火证据的文章的评论. *人类学学报*, 1998, 17: 317—329

15 Berna F, Behar A, Shahack-Gross R, et al. Sediments exposed to high temperatures: Econstructing pyrotechnological processes in Late Bronze and Iron Age Strata at Tel Dor (Israel). *J Archaeol Sci*, 2007, 34: 358—373[DOI]

16 Karkanas P, Shahack-Gross R, Ayalon A, et al. Evidence for habitual use of fire at the end of the Lower Paleolithic: Site-formation processes at Qesem Cave, Israel. *J Hum Evol*, 2007, 53: 197—212[DOI]

17 崔海亭, 李宜垠, 胡金明, 等. 利用炭屑显微结构复原青铜时代的植被. *科学通报*, 2002, 47(19): 1504—1507

18 沈承德, 易惟熙, 杨英, 等. 周口店猿人遗址样品“元素碳”浓度及其应用于人类用火证据探究的可能性. *科学通报*, 2004, 49(3): 275—278

19 武仙竹, 刘武, 高星, 等. 湖北郧西黄龙洞更新世晚期古人类遗址. *科学通报*, 2006, 51(16): 1929—1935

20 武仙竹, 裴树文, 吴秀杰, 等. 湖北郧西黄龙洞古人类遗址2006年发掘报告. *人类学学报*, 2007, 26: 193—205

21 Hroudá F, Müller P, Hanák J. Repeated progressive heating in susceptibility vs. temperature investigation: A new palaeotemperature indicator? *Phys Chem Earth*, 2003, 28: 653—657

22 武仙竹, 裴树文, 吴秀杰, 等. 郧西人遗址洞穴成因与埋藏环境初步观察. *第四纪研究*, 2007, 26: 514—521

23 Deng C L, Zhu R X, Verosub K L, et al. Mineral magnetic properties of loess/paleosol couplets of the central loess plateau of China over the last 1.2 Myr. *J Geophys Res*, 2004, 109, B01103, doi: 10.1029/2003JB002532

24 Deng C, Zhu R, Jackson M J, et al. Variability of the temperature-dependent susceptibility of the Holocene eolian deposits in the Chinese loess plateau: A pedogenesis indicator. *Phys Chem Earth, Part A*, 2001, 26: 873—878[DOI]

25 裴树文, 武仙竹, 吴秀杰. 湖北郧西黄龙洞古人类石器技术与生存行为探讨. *第四纪研究*, 2008, 28: 1007—1013

26 刘武, 武仙竹, 吴秀杰, 等. 古人类牙齿表面痕迹与古人类生存适应及行为特征-湖北郧西黄龙洞更新世晚期人类牙齿使用痕迹. *第四纪研究*, 2008, 28: 1014—1022

27 武仙竹, 裴树文, 吴秀杰, 等. 湖北郧西白龙洞古人类遗址初步观察. *人类学学报*, 2009, 28: 1—13

《中国科学 D 辑: 地球科学》 2008 年 第 38 卷 第 12 期 目次

专题: 重大地史突变期生物与环境协同演化

对地球生物学、生物地质学和地球生物相的一些探讨	殷鸿福	谢树成	秦建中	颜佳新	罗根明
华南埃迪卡拉纪陡山沱盆地氧化界面的迁移与碳同位素异常	蒋干清	张世红	史晓颖	王新强	
华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学新结果及其构造地层学意义	张世红	蒋干清	董进	韩以贵	吴怀春
广西泥盆系弗拉斯-法门期之交的事件沉积及其对小行星碰撞引起的大海啸的启示	杜远生	龚一鸣	曾雄伟	黄宏伟	杨江海
华南晚泥盆世弗拉期-法门期之交葛万藻与腕足动物的耦合关系	徐冉	龚一鸣	曾剑威		
华南二叠纪腕足长身贝类的形态演化规律	张阳	何卫红			
华南二叠纪末深水硅质海绵骨针灭绝模式和灭绝过程	刘桂春	冯庆来	顾松竹		
广西晚长期放射虫生物地层学及其与牙形石带的对比	吴俊	冯庆来			
广西东攀剖面二叠纪末期牙形石动物群: 浅水相与深水相的对比	罗根明	赖旭龙	冯庆来	江海水	Paul Wignall
华南早三叠世错时相沉积及其对复苏期生态系的启示	赵小明	董金南	姚华舟	张克信	Zhongqiang Chen
青藏高原新生代主要隆升事件: 沉积响应与热年代学记录	张克信	王国灿	曹凯	刘超	向树元
	洪汉烈	寇晓虎	徐亚东	陈奋宁	孟艳宁
	陈锐明				

论文

四川及邻区上地幔各向异性研究	常利军	王椿镛	丁志峰
2008 年汶川地震震源区横波分裂的变化特征	丁志峰	武岩	王辉
	周晓峰	李桂银	