

水洞沟遗址的石料热处理现象及其反映的早期现代人行为

周振宇^{①②}, 关莹^①, 高星^{①*}, 王春雪^③

① 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 人类演化实验室, 北京 100044;

② 中国社会科学院考古研究所, 北京 100710;

③ 吉林大学边疆考古研究中心, 长春 130012

* 联系人, E-mail: gaoxing@ivpp.ac.cn

2012-05-18 收稿, 2012-09-25 接受

中国科学院战略性先导科技专项(XDA05130301, XDA05130303)和科技部科技基础性工作专项(2007FY110200)资助

摘要 宁夏水洞沟遗址的出土遗物、遗迹包含了大量现代人行为信息. 研究显示, 遗址第 2 和 12 号地点部分石制品经过热处理, 用以提高原料的利用率及打制性能. 热处理技术的应用反映了古人类的生存能力及生存策略. 水洞沟热处理石制品的发现首次确认了东亚地区存在热处理行为, 扩大了热处理技术在世界的分布范围, 也为我们解读与之相关的现代人行为提供了新的视角与材料.

关键词

旧石器时代
现代人行为
热处理
技术传播

现代人行为的出现是人类体质、脑力演化到一定程度, 为适应环境, 谋求生存的必然产物. 现代人行为的主要特征包括: 象征性行为及装饰品的出现^[1-4]; 骨角器的使用; 石叶技术出现, 石器类型标准化及多样化; 构造相对复杂的火塘; 合理、系统化的空间利用行为; 交换行为出现; 采用季节性迁徙的生存模式; 严酷环境下的生存能力; 捕鱼猎鸟行为等^[5-14]. 热处理技术的应用为大部分现代人行为的出现和发展提供了技术支撑, 其产生与发展与现代人行为紧密联系并互相促进. 旧石器考古学中, 热处理特指针对石料进行加热、保温、冷却处理改变石料的表面及内部结构, 从而改变原料质地、颜色, 以满足古人类在应对不同环境时日益增长的石器制作技术需求, 以及人类脑演化到一定阶段产生颜色认知, 而导致的对象征性物质、装饰品等的需求. 因此, 对石制品热处理的探讨与研究成为了解史前社会人类生产生活状态的重要线索. 热处理技术反映了古人类对石料的深度利用, 是现代人行为中重要的因素之一, 对热处理行为的判断与研究可以帮助我们了解古人

类对石料的选择与认知能力、石器打制技术的发达程度、利用与开发资源的能力, 据此阐释远古人类行为模式, 乃至推测早期社会组织行为.

目前发现人类最早有目的地用火对石料进行热处理是在南非南部海岸的 Pinnacle Point 遗址, 在该遗址 164 ka BP 和 72 ka BP 的文化层中发现的经过热处理的石制品表明人类早在十几万年前就开始有目的地对石料进行热处理并已经熟练掌握了针对硅质岩类进行系统化的热处理以达到改变石料性能的技术^[15]. 此外, 非洲其他地区和欧洲的旧石器时代中期遗址也都发现了热处理石制品, 旧石器时代晚期, 热处理技术已经分布于世界大部分地区, 除上述区域外, 美洲大陆、西伯利亚、印度、巴基斯坦、阿富汗等地区也都发现了热处理行为^[16-19]. 此前, 东亚地区未发现存在热处理石制品的旧石器遗址. 本文通过对宁夏水洞沟遗址出土石制品的观察、模拟实验、实验室检测和显微观察, 证实水洞沟存在距今 2 万多年的热处理石制品. 此项发现为我们探索更新世晚期中国北方地区古人类行为模式, 以及现代人

引用格式: 周振宇, 关莹, 高星, 等. 水洞沟遗址的石料热处理现象及其反映的早期现代人行为. 科学通报, 2013, 58: 815-824

英文版见: Zhou Z Y, Guan Y, Gao X, et al. Heat treatment and associated early modern human behaviors in the Late Paleolithic at the Shuidonggou site. Chin Sci Bull, 2013, 58, doi: 10.1007/s11434-012-5522-3

行为在中国的出现及其表现形式提供了重要证据。

1 遗址简介

水洞沟遗址位于银川盆地东部边缘,毛乌素沙地西南缘,宁夏回族自治区首府银川市以东 28 km,行政区划属灵武市临河乡(图 1)。

水洞沟遗址 2 号地点(简称 SDG2,下同)主要文化层的时代为距今 2.9~2 万年之间,热处理标本来自遗址第 1 至第 4 文化层,主要集中于第 1 文化层,距今 2 万年左右;SDG12 文化层的时代为距今 1.1 万年左右^[20,21];SDG8 尚无测年数据,根据地层及文化对比,推测其文化层年代为距今 2.7~2 万年左右^[22]。各地点空间分布较近,主要地层水平发育且连续,可进行对比。

水洞沟遗址石制品的岩性主要为硅质白云岩和燧石。根据水洞沟地区的地质资料和相关地质调查工作结果^[23,24],硅质白云岩和燧石在水洞沟周边地区并无出露。调查发现遗址区各级阶地中都发育有厚薄不等的砾石层,砾石层比较松散,砾石磨圆度高。调查采样发现砾石层包含了水洞沟古人群所使用的大部分石料种类,推测其为水洞沟遗址原料产地。

水洞沟遗址已经发现了极为丰富的石制品,在 2 万余年的时间跨度内,出现了包括细石叶技术、石叶技术在内的 3 种不同类型的石器工业,还有反映人类象征性意识的鸵鸟蛋皮装饰品;石制品原料较为多样,包括燧石、硅质白云岩、石英砂岩、石英岩、硅质灰岩等;除文化遗物外,遗址区内还发现了数量较

多的火塘遗迹及相关用火遗物,表明水洞沟古人类有足够的用火、控制火的能力^[25-30],这使得热处理成为可能。在对出土遗物的整理过程中,我们发现了数件疑似经过热处理的石制品,这些标本的外部特征与热处理石制品特征一致。距今约 3 万年前,热处理技术已经比较成熟,在欧洲、非洲、中亚等地较为普及,且多用于提高石叶、细石叶的剥片效率。水洞沟遗址自发现之日起就因其与西方旧石器文化类似而受到学术界的关注,石叶技术更是有别于中国北方旧石器主工业类型。水洞沟石器工业中的外来因素向西在中亚地区、向北在西伯利亚-蒙古高原一带都可以找到相似的文化遗存,而这些地区在旧石器时代晚期已经出现了成熟的热处理技术。在上述背景下,我们选择水洞沟遗址进行石制品热处理研究。

2 材料和方法

2.1 材料

本研究涉及材料包括水洞沟遗址出土的石制品和模拟实验样品。

水洞沟遗址自 20 世纪发现以来,共历经 8 次大规模的系统发掘,积累了极为丰富的考古标本。本文热处理石制品涉及 SDG2, SDG8, SDG12 历年发掘出土的标本。石制品原料主要是白云岩、燧石、石英岩、石英砂岩和硅质灰岩。石制品类型包括普通石核、细石叶石核、石片、细石叶、工具等。由于上述材料(除 SDG8 外)的室内工作仍在进行中,观察范围无法涵

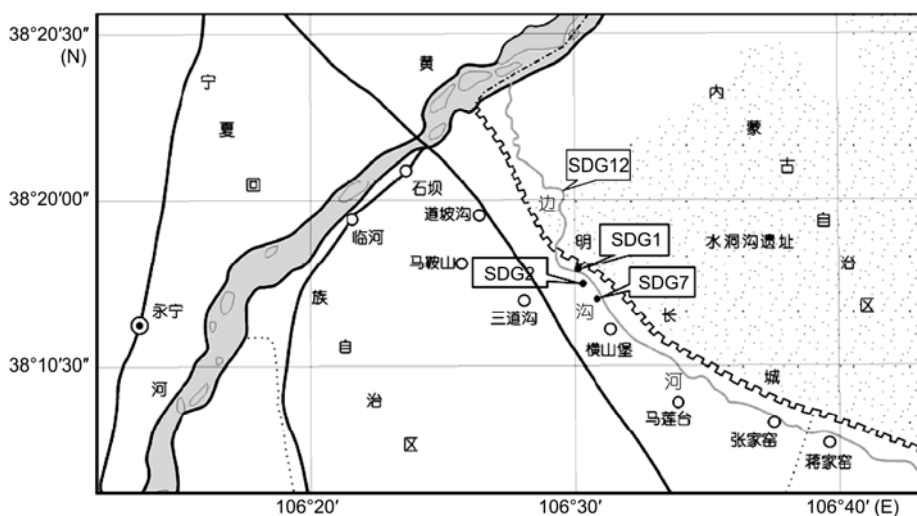


图 1 水洞沟遗址地理位置图^[20]

盖所有出土石制品。为避免研究结果受到这种不利因素的干扰，在观察过程中遵循按类别随机挑选的原则，即所有石制品类型均被观察。

实验标本来自第 SDG2 和 SDG12 号地点附近的 2, 3 级阶地出露较好的砾石层中采集的不同岩性的用于热处理实验的砾石。实验原料包括硅质白云岩、燧石、石英岩和石英砂岩。

2.2 模拟实验

热处理模拟实验的主要目的是通过模仿古人类的热处理方法获取实验标本，用以与出土石制品对比研究。实验分室外和室内两种环境。室外实验根据民族学及考古研究资料构建火塘对石料进行加热(图 2)，不同热处理环境下分别使用快速降温、慢速降温两种形式；热处理原料使用砾石和石片(石片取自同时进行热处理的砾石)两种形式。民族学及考古研究表明，古人类在进行热处理时多将石料覆盖细沙以降低原料因温度快速变化而破损的几率，因此加热

方式分为直接放在火中加热和细沙覆盖间接加热两种；通过实验我们得到有意识热处理和无意识受热两种类型的标本，直接置于火塘中的石片及砾石为无意识受热标本，细沙覆盖的原料为热处理标本。实验过程中，火塘中心温度最高为 600℃左右，热处理原料温度为最高 400℃左右，快速降温经 6 h 左右，石料自然冷却；慢速降温通过保温措施，经 16 h 左右冷却至常温。室外实验侧重全方位模拟，获取的标本主要用于热处理石制品外部特征的比对。实验过程中使用 TM902C 测温仪进行测温。

室内实验使用 GW-300C 箱式电阻炉进行加热。热处理分快速增温、降温和慢速增温、降温两种加热方式；热处理原料使用砾石和石片两种形式；按不同温度进行多次实验，加热起始温度为 100℃，最高温度从 300℃到 550℃，以 50℃为一个梯度，快速增温速率为 100℃/h，慢速增温速率为 50℃/h，保持最高温 2 h 后开始降温，慢速降温冷却时间为 3 h，慢速降温冷却时间为 14 h；实验前将同一石料切割为

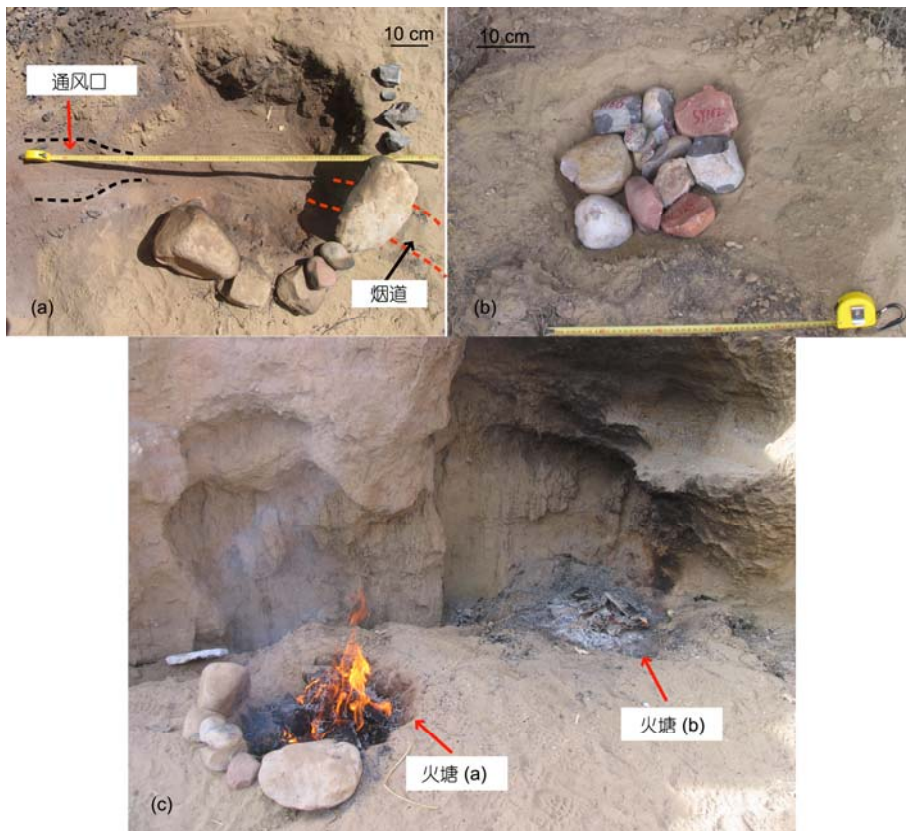


图 2 实验火塘

(a) 高投入火塘; (b) 低投入火塘; (c) 实验中的火塘

几块,分别以不同温度进行加热,确保不同温度下热处理的对比标本均来自同一块砾石,以增加实验结果的客观性.通过室内实验我们能获取不同升降温形式、不同温度、不同热处理时长下的岩石样本.室内实验侧重精度控制,获取标本主要用于显微观察.

2.3 外部特征观察

岩石经过热处理后的外部形态特征主要指肉眼可鉴定的特征,包括油脂状光泽、石料破裂(破碎、裂纹)、颜色变化(大多数趋向于变红)遗址石制品的测量统计特征等.油脂状光泽通过肉眼判断;颜色通过芒赛尔土色表(Munsell Soil Chart)辅助判定;岩石经过高温可能导致完全破碎、茶壶盖状破裂、片状劈裂、横向断裂、表面裂纹等,这些特征是初步判断石料是否经过热处理的重要依据^[31,32],因此石制品本身的破裂和测量特征也作为重要的观察标准.

2.4 显微观察

在通过外观形态无法准确判断热处理行为时,高温作用下岩石内部特征的改变可以帮助我们甄别经过热处理的石制品.上述方法侧重点各不相同,本文主要目的为判定水洞沟遗址是否存在热处理行为,因此使用显微观察方法更加直观有效.扫描电子显微镜可以直接观察到热处理造成的岩石晶体大小、形状、结构的变化,特别是岩石受热的再结晶现象^[33-35].

3 结果

3.1 外部特征

室内热处理实验标本57件,颜色趋于变红38件,占67%(图3).白云岩在不同温度和控温方式下进行热处理,其颜色均趋于变红;燧石、玉髓经300~400℃热处理颜色变红明显(图4);石英砂岩和石英岩经过热处理后颜色变化不明显.所有实验样品,仅有4件(7%)发生了破裂,其中1件出现茶壶盖状裂片,且均为550℃热处理样品(表1).这表明,只要在热处理过程中控制最高温度及温度变化速率,避免标本与明火直接接触可以有效地避免破损事故.当遗址中出现较多因受热破裂的石制品,更可能是由无意识的加热行为造成.

室外热处理实验标本肉眼可鉴定特征主要包括:



图3 室内实验标本热处理前后颜色对比

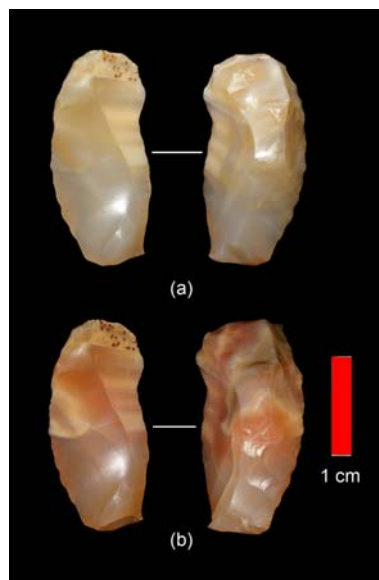


图4 室内实验燧石标本热处理前后对比
(a) 热处理前; (b) 热处理后

表1 热处理标本颜色变化趋势统计

原料类型	热处理温度()	颜色趋于变红	受热破损
白云岩	450~550	83%(n=24/29)	14%(n=4/29)
	300~400	80%(n=8/10)	无
燧石、玉髓	450~550	25%(n=2/8)	无
	300~400	100%(n=2/2)	无
石英砂岩	550	0(n=0/4)	无
石英岩	550	50%(n=2/4)	无

颜色、光泽、破损.67件样品中55%的石料经过热处理后颜色趋于变红,部分石料肉眼即可观察到颜色

改变, 19%的石料颜色变化较小或趋于变淡, 另有 26%的石料原始颜色和热处理后颜色都不属于红色系, 多为深灰、灰白等色, 颜色变化趋于变淡(表 2)。所有原料当中, 70%的白云岩颜色趋于变红, 余下的 30%颜色趋于变淡。23%的燧石颜色趋于变红, 剩余的 77%颜色趋于变淡, 这种比例与大多燧石颜色为黑灰色, 热处理后颜色趋于灰白或不变有关。

直接置于火塘中用于模拟无意识加热的 36 件石片, 呈现出与热处理标本不同的外部特征。13 件(36%)经过热处理后颜色趋于变红(表 2); 7 件(20%)过度氧化颜色呈灰白色; 剩余的 16 件颜色趋于变淡或不

显。18 件(50%)经过火烧后表面呈现炭黑色; 10 件(28%)表面出现光泽; 其中 2 件石英岩、石英砂岩光泽为炭黑状态下石英颗粒闪耀光泽, 剩余 8 件白云岩和燧石表面为油脂状光泽。6 件(17%)经过热处理后断裂或出现裂纹(图 5)。无意识加热石制品外部特征无明显规律性, 呈现破裂、颜色变化、光泽等不同的特征, 较容易与热处理标本区分。

实验结果显示, 石制品热处理后肉眼可鉴定特征为颜色, 大部分石料经过热处理后颜色趋于变红, 部分石料肉眼即可观察到明显的颜色变化, 室内、室外实验均表现出这一规律。整体上看, 不同温度下热

表 2 室外实验热处理标本颜色变化趋势统计

受热方式	原料类型	颜色趋于变红	受热破损	光泽
热处理	白云岩	70%(n=17/25)	-	-
	燧石、玉髓	25%(n=5/22)	-	-
	石英砂岩	0(n=10/12)	-	-
	石英岩	0(n=5/8)	-	-
	小计	55%(n=37/67)		
无意识加热	白云岩	38%(n=7/18)	28%(n=5/18)	32%(n=4/18)
	燧石、玉髓	28%(n=2/7)	-	57%(n=4/7)
	石英砂岩	33%(n=2/6)	-	33%(n=2/6)
	石英岩	40%(n=2/5)	20%(n=1/5)	-
	小计	36%(n=13/36)	17%(n=6/36)	28%(n=10/36)



图 5 无意识加热石片

处理石料颜色改变的区别不大, 经过 300~400℃热处理的石料颜色全部趋于变红. 由于实验者对于野外用火水平经验有限, 因此室外实验温度控制性较差, 因此石料外部特征变化规律性较差, 室内实验则规律性较强. 通过上述实验结果, 我们了解了水洞沟石料热处理后外部特征的改变, 以及无意识加热石制品的特征. 面对较大标本量时, 据此可以初步筛选出热处理石制品.

3.2 显微观察

水洞沟的主要原料经过热处理后, 最显著的特征是颜色趋于变红, 油脂状光泽及裂纹、破碎出现几率较低. 尽管有研究表明, 光泽比颜色更能反映标本是否经过热处理^[36], 但是本文实验结果表明, 水洞沟遗址原料经过热处理后, 光泽并不明显且不具有规律性, 因此我们以颜色为判断标准, 从出土石制品中挑出热处理标本, 并选择有代表性的石制品, 通过扫描电子显微镜观察其内部结构.

未经热处理的实验标本在电子显微镜下呈现自形到半自形片状结构, 晶体粒度为 2~5 μm, 磨圆呈次棱角状, 不等粒结构, 整体定向性中等, 层间叠加紧密, 较平整; 经 350℃热处理后呈现自形到半自形板状结构, 晶体粒度为 2~8 μm, 磨圆呈次圆状, 等粒结构, 整体定向性中等, 层间叠加紧密、平整, 晶体边缘出现熔合迹象, 界限模糊连接紧密, 形成非常平整的平面; 经 400℃热处理的观察特征与 350℃基本一致, 但是出现熔合现象的范围更大、更加平整(图 6).

依据外部特征挑选出的热处理考古标本的显微镜下特征与实验标本完全一致, 无论是燧石还是白云岩都体现出类似的特征: 颗粒分布均匀, 以等粒结构为主; 磨圆呈次圆状; 有晶体熔合现象出现, 连接紧密, 表面平整(图 7(a)). 未经热处理标本的显微镜下特征也完全一致(图 7(b)). 相比来说, 燧石经过热处理后上述特征更加明显. 扫描电子显微镜观察验证了通过外部特征鉴别热处理石制品的准确性, 表明通过外部特征观察可以有效判断水洞沟的热处理标本.

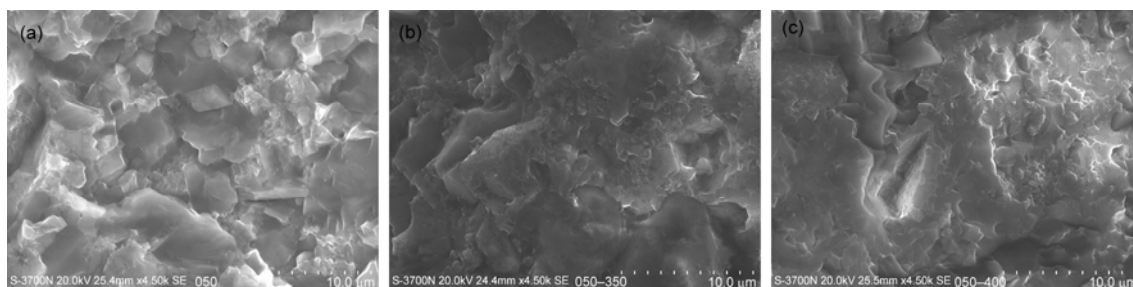


图 6 050 实验标本热处理前后扫描电子显微镜对比
(a) 热处理前; (b) 350℃热处理; (c) 400℃热处理

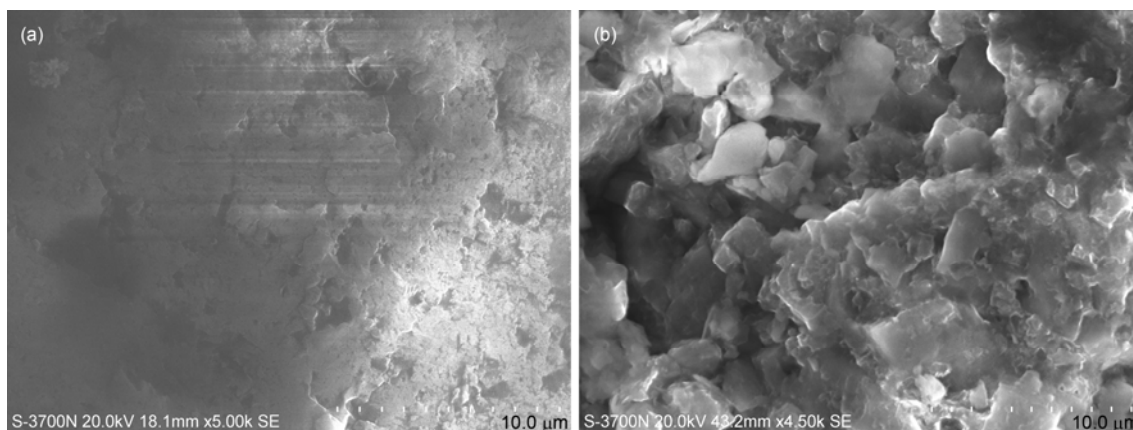


图 7 水洞沟遗址出土标本扫描电子显微镜观察
(a) 经过热处理(SDG12L3, 未编号); (b) 未经热处理(SDG12L5-7879)

3.3 热处理考古标本

通过考古标本与实验标本的外部特征观察、比对,以及扫描电子显微镜观察的进一步确认,我们发现水洞沟 SDG2 和 SDG12 存在热处理石制品 110 件(图 8); SDG8 未发现热处理石制品。

外部特征和扫描电子显微镜观察可以帮助鉴定标本是否经过加热,但目前除肉眼观察外,还没有直接的检测手段判断经过火烧的标本是古人类有意为之,还是无意掉落在火塘里,或者被自然火加热,因此需要结合标本的空间位置等指标综合推断。关莹等人^[37]对 SDG2 文化层所反映的人类空间利用行为进行了深入探讨,我们将热处理标本的三维坐标导入其空间分析数据库中,发现热处理标本全部位于中心火塘之外,这种分布状况在一定程度上降低标本无意识加热的可能性。

通过将实验标本与考古出土标本比对、扫描电子显微镜观察、以及考古学背景分析,我们确认 SDG2 和 SDG12 地点存在热处理石制品 110 件,分别为 45 和 65 件,无意识加热标本分别为 3 和 10 件; 8 号地点未发现热处理石制品(表 3)。因研究过程中,SDG2 和 SDG12 出土标本整理工作仍未完成,无法观察全部标本,特别是 SDG12 仅观察了小部分石制品。因此水洞沟热处理石制品数量极可能超过 110 件,尽管观察数量不全,但覆盖了所有石制品类型,在一定程度上可以代表水洞沟热处理石制品的全貌。

4 讨论

4.1 热处理标本鉴定标准

本文实验结果表明,颜色趋于变红是判断水洞沟石料是否经过热处理的有效标准,光泽、破裂等特征对于水洞沟石料并不适用。这表明不同类型的石料经过热处理后所反映出的外部特征并不完全相同。此外,肉眼观察具有一定的主观性,因此借助扫描电子显微镜、X 射线衍射、热释光、古地磁等方法提高热处理研究结果的客观性是十分必要的。

实验中将石片直接投入火塘中用于模拟无意识加热石制品,这些石片的加热过程与有意识热处理存在较大不同:它们加热的初始温度较高,一般在 300℃ 以上;同时加热过程中火焰温度较高,一般在 500℃ 以上,本次实验中最高可达 650℃。高星等人^[29]关于 12 号地点烧石的实验中,使用炉灶加热温度可达 800℃,而且这种加热方式石制品直接与燃料接触。综合实验结果,水洞沟无意识热处理石制品主要表现为颜色变浅,如灰白、灰褐色;表面出现龟裂纹,温度过高时破裂成块;部分标本出现油脂状光泽,上述特征通过观察即可识别。

4.2 水洞沟的热处理技术

通过对已发现的热处理标本进行石制品分析,我们发现,尽管 SDG2 与 SDG12 文化层年代相差



图 8 12 号地点热处理石制品

表3 水洞沟热处理石制品统计表

	SDG2			SDG12			SDG8
	观察数量 ^{a)}	热处理	无意识加热	观察数量 ^{a)}	热处理	无意识加热	标本数量
石核	61	2		69	6	2	14
砸击石核				40			
石器				331	12		11
石片	1927	11	1	1684	46	6	733
砸击石片				65			
微片				44	1	1	
碎片	1501	9	1				
断块	3805	23	1	51		1	15
小计	7294	45	3	2284	65	10	773
原料统计							
白云岩	934(12.8%)	6(13.3%)		1163 (50.9%)	22 (33.8%)		
燧石	3497(47.9%)	39(86.7%)		623 (27.3%)	19 (29.2%)		
石英砂岩	2157(29.6%)			42 (1.8%)			
玉髓				116 (5.1%)	23 (35.5%)		
其他	706(9.7%)			340 (14.9%)	1(1.5%)		

a) SDG2, SDG12 观察的标本数量仅为出土标本的一部分

1 万多年,但其热处理技术所反映的人类行为存在相似性:二者对石料均有较强的选择性,都以白云岩和燧石类为主(表3),SDG12 所反映的选择性更强;同时二者的热处理石制品类型均指示遗址可能存在搬运行为,所不同的是 SDG2 为石器加工地点,而 SDG12 为石器使用和修理地点.这种现象也可能是由于遗址发掘区域有限,未能完全揭露所造成;最后,两个地点的热处理技术均较成熟,均未发现过度加热现象,这表明当时人群了解热处理的适宜温度,并能够控制火塘温度.

除此之外,SDG12 所发现的热处理石制品似乎反映了更为成熟的热处理技术,主要表现在:古人类对热处理石料的选择性更强,热处理石制品中玉髓的比例与其他考古标本相比更高;其次,SDG12 热处理石制品类型以石片、细石叶和石器为主,这些标本大小形态规整,个体间差异较小,同时压制法、软锤法这类利于发挥热处理石料性能优势的打制方法成为主流,整体表现出较为进步的石器制作工艺,石料利用率较低的砸击制品中未发现热处理现象;再次,12 号地点古人类针对各种需求,采取不同的热处理策略,比如,热处理完整石片中玉髓和燧石占 82%,所有刮削器几乎都由热处理玉髓加工而成,与之不同的是,白云岩质细石叶占 50%以上,玉髓、燧石的

比例明显下降.由于白云岩硅质含量较玉髓、燧石低,打制性能较之略差,因此古人类对白云岩进行热处理并剥取细石叶,可以扩大石料的选择面;最后,SDG12 古人类利用热处理石片的刃缘会更加锋利坚硬,但脆性增强,适用于小型工具的特性,大量使用热处理石片加工成刮削器或直接使用,能有效提高生产效率.尽管水洞沟不同地点的热处理技术存在区别,但整体上看,当时古人类已经熟练掌握了热处理技术和火塘控温技术,掌握不同原料间的打制性能的差别,并将之运用于石器制作、使用中,提高石料利用率及生产效率.

4.3 热处理所反映的现代人行为

对古人类而言,热处理是一项复杂的技术,它要求生产者在石器制作过程中有预先的设计,并对不同石料的性能特点有足够的了解,从而对其热处理,改变原料特性而最终完成石器制作.同时热处理还要求生产者能够熟练使用火,并控制火塘温度.热处理是人类在原料认知、石器制作、熟练用火等能力均达到一定程度的产物.因此,热处理技术的出现反映了人类较为进步的资源利用能力和石器制作能力,可以将其视为现代人行为特征之一.

SDG2 和 SDG12 发现的热处理石制品表明水洞

沟古人类在距今约 3 万年前已经熟练掌握热处理技术。相比而言, SDG12 出土的热处理石制品反映出更进步的石器制作技能和资源利用策略, 如清楚认识到热处理石制品的特性, 有区别地使用; 利用热处理提高细石叶的生产效率; 改变石料特性, 扩大资源利用范围, 这明确反映出人类在为适应环境所作出的行为改变。相比 SDG2 人类生存时期的阔叶疏林草原环境, SDG12 的稀树荒漠草原环境气候变化剧烈, 资源减少且难以预测, 古人在生存压力下, 更为成熟地使用热处理技术, 提升石器类型标准化、多样化的程度, 提高生产效率。藉此, 人类活动的机动灵活性与迁徙能力得到加强, 活动半径扩大, 获取动植物资源效率更高, 在严酷环境下的生存能力得到提高。SDG2 与 SDG12 热处理行为的变化正是古人应对环境变化、提高生存能力的产物。热处理作为现代人行为特征的一种, 难以反映人类演化进程中行为方式变化的全貌, 相信随着出土石制品其他方面研究的深入, 我们对水洞沟古人类的行为模式会有更加清晰的认识。

5 结语

水洞沟遗址发现的热处理石制品研究表明, 热处理技术不仅仅简单地用于开发原料、改变石料颜色, 更重要的是用于提升原料制作性能, 提高石器生产效率, 是人类为适应环境、提高生存能力所作出的重要行为反应。水洞沟史前人类在距今 2 万多年前已经掌握了热处理技术, 随着体质演化与智力的增长, 他

们在距今 1 万多年前已经能够系统、熟练地使用热处理技术。综合水洞沟遗址发现的鸵鸟蛋皮装饰品、骨制品、用火遗存、空间利用行为等, 我们认为水洞沟遗址存在较为发达的现代人行为体系。

目前最早的热处理行为发现于南非的 Pinnacle Point 遗址(164~72 ka BP)^[15], 除非洲外, 欧洲也发现数量较多的距今 10~3 万年左右的热处理石制品^[16,17]。旧石器时代晚期, 热处理技术广泛分布于世界各地, 非洲、欧洲、美洲、大洋洲、西亚、中亚、南亚均发现热处理石制品^[18,19,36]。水洞沟是东亚地区首次发现存在热处理行为的遗址, 热处理石制品的发现不仅填补了区域内热处理研究的空白, 也为热处理技术传播模式研究提供了新的材料。

旧石器时代, 石器是人类演化历程中最重要的物质反映, 也是人类认知自然、适应环境的技术表现。石制品热处理技术为提高古人类在严苛环境下的生存能力提供了重要技术支撑, 并使古人类可以采取更加高效的适应策略。热处理石料为人类石器打制技术的进步提供了物质保证, 性能改良的原料使工具规范化、多样化成为可能; 精致且量产的石器促进了古人类交换行为的发生; 热处理石料呈现的偏红颜色在一定程度上满足了古人类精神意识层面对颜色的需求, 并且提升其交换的价值; 成功对石料进行热处理, 需具备构建火塘、控制火温的能力。对热处理石制品的深入研究, 为我们解读与之相关的现代人行为提供了新的视角与材料。

致谢 美国德州大学奥斯汀分校 Michael Collins 和 David Madsen 为热处理石制品的辨识提供技术指导, 皇家安大略博物馆沈辰研究员为热处理研究提供重要指导, 在此并致谢忱。

参考文献

- 1 Mellars P A. Symbolism, language, and the Neanderthal mind. In: Mellars P, Gibson K R, eds. *Modelling the Early Human Mind*. Cambridge: McDonald Institute Monographs, 1996. 15–32
- 2 Chase P G, Dibble H L. Middle Paleolithic symbolism: A review of current evidence and interpretations. *J Anthropol Archaeol*, 1987, 6: 263–296
- 3 Renfrew C. The sapient behaviour paradox. In: Mellars P, Gibson K R, eds. *Modelling the Early Human Mind*. Cambridge: McDonald Institute Monographs, 1996. 11–14
- 4 Gargett R H. Middle Palaeolithic burial is not a dead issue: The view from Qafzeh, Saint-Césaire, Kebara, Amud, and Dederiyeh. *J Hum Evol*, 1999, 37: 27–90
- 5 Christopher S H. The origin of modern human behavior-critique of the models and their test implications. *Current Anthropol*, 2003, 44: 627–651
- 6 Bar-Yosef O. The Upper Paleolithic evolution. *A Rev Anthropol*, 2002, 31: 363–393

- 7 Mellars P A. Major issues in the origin of modern humans. *Current Anthropol*, 1989, 30: 349–385
- 8 Mellars P A. Technological changes across the Middle-Upper Paleolithic transition: Economic, social, and cognitive perspectives. In: Mellars P, Stringer C, eds. *The Human Revolution: Behavioral and Biological Perspectives on the Origins of Modern Humans*. Edinburgh and Princeton: University Press, 1989. 338–365
- 9 Chase P G, Dibble H L. On the emergence of modern humans. *Current Anthropol*, 1990, 38: 58–59
- 10 Klein R G. Anatomy, behavior, and modern human origins. *J World Prehist*, 1995, 9: 167–98
- 11 Ambrose S H. Chronology of the Later Stone Age and food production in East Africa. *J Archaeol Sci*, 1998, 25: 377–392
- 12 Deacon H J. Modern human emergence: An African archaeological perspective. In: Tobias P V, Raath M A, Maggi-Cecchi J, et al, eds. *Humanity From African Naissance to Coming Millennia: Colloquia in Human Biology and Palaeoanthropology*. Florence: University of Florence Press, 2001. 217–226
- 13 Milo R G. Evidence for hominid predation at Klasies River Mouth, South Africa, and its implications for the behavior of early modern humans. *J Archaeol Sci*, 1998, 25: 99–133
- 14 Thackeray A L. The Middle Stone Age south of the Limpopo River. *J World Prehist*, 1992, 6: 385–440
- 15 Brown K S, Marean C W, Herriés A, et al. Fire as an engineering tool of early modern humans. *Science*, 2009, 325: 859–862
- 16 Copeland L. The Middle Paleolithic flint industry of Ras el-Kelb. In: Copeland L, Moloney N, eds. *The Mousterian Site of Ras el-Kelb, Lebanon*. Oxford: BAR, 1998. 73–101
- 17 Duttine M P. Effects of thermal treatment on TL and EPR of flints and their importance in TL-Dating: Application to French Mousterian sites of Les Forets (Dordogne) and Jiboui (Drome). *Radiat Meas*, 2005, 39: 375–385
- 18 Domanski M, Webb J. A review of heat treatment research. *Lithic Tech*, 2007, 32: 153–194
- 19 Clark J D, Williams M A. Paleoenvironments and prehistory in North Central India: A preliminary report. In: Jacobson J, ed. *Studies in Archaeology of India and Pakistan*. New Delhi: American Institute of Indian Studies, 1986. 19–41
- 20 刘德成, 王旭龙, 高星, 等. 水洞沟遗址地层划分和年代测定新进展. *科学通报*, 2009, 54: 2879–2885
- 21 高星, 袁宝印, 裴树文, 等. 水洞沟遗址沉积-地貌演化与古人类生存环境. *科学通报*, 2008, 53: 1200–1206
- 22 王春雪. 水洞沟遗址第八地点废片分析和实验研究. 博士学位论文. 北京: 中国科学院研究生院, 2010
- 23 郑昭昌, 李玉珍. 贺兰山奥陶系研究的新进展. *现代地质*, 1991, 5: 119–137
- 24 廖华瑞. 宁夏区域地质基本特征. *中国区域地质*, 1989: 314–323
- 25 宁夏文物考古研究所. 水洞沟 1980 年发掘报告. 北京: 科学出版社, 2003. 1–233
- 26 Madsen D B, Li J, Brantingham P J, et al. Dating Shuidonggou and the Upper Paleolithic blade industry in North China. *Antiquity*, 2001, 75: 706–716
- 27 高星, 李进增, Madsen D B, 等. 水洞沟的新年代测定及相关问题讨论. *人类学学报*, 2002, 21: 211–218
- 28 高星, 裴树文. 中国古人类石器技术与生存模式的考古学阐释. *第四纪研究*, 2006, 26: 504–513
- 29 高星, 王惠民, 刘德成, 等. 水洞沟第 12 地点古人类用火研究. *人类学学报*, 2009, 28: 329–336
- 30 高星, 张晓凌, 杨东亚, 等. 现代中国人起源与人类演化的区域性多样化模式. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 40: 1287–1300
- 31 Collins M B, Fenwick J M. Heat treating of chert: Methods of interpretation and their application. *Plains Anthropol*, 1974, 19: 134–145
- 32 Bleed P, Maier M. An objective test of the effects of heat treatment of flakeable stone. *Am Antiquity*, 1980, 45: 502–507
- 33 Purdy B A. Investigations concerning the thermal alteration of silica minerals: An archaeological approach. *Tebiwa*, 1974, 17: 37–66
- 34 Domanski M, Webb J. Effect of heat treatment on siliceous rocks used in prehistoric lithic technology. *J Archaeol Sci*, 1992, 19: 601–614
- 35 Joyce D J. Heat treatment of Alibates Chalcedony. *Lithic Tech*, 1985, 14: 36–40
- 36 Domański M, Webb J, Glaisher R, et al. Heat treatment of polish flints. *J Archaeol Sci*, 2009, 36: 1400–1408
- 37 关莹, 高星, 王惠民, 等. 水洞沟旧石器时代晚期遗址结构的利用分析. *科学通报*, 2011, 56: 2797–2803