

石制品使用微痕多阶段成形轨迹的实验研究

陈虹¹, 张晓凌², 沈辰^{2,3}

(1. 浙江大学文物与博物馆学系, 杭州 310028; 2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044; 3. 加拿大皇家安大略博物馆, 多伦多 M5S2C6)

摘要: 石制品微痕是进行石器功能研究、了解史前人类行为模式的重要考古证据之一。本文在以往实验研究的基础上, 设计并开展多阶段燧石制品“刮骨”微痕实验, 分阶段详细、直观地记录石制品刃缘使用微痕的最初形成与发展动态。实验研究表明, “刮骨”使用微痕迹随着使用时间长度的递增发生复杂的动态变化, 使用微痕的发展与使用时间之间并非简单的正函数关系。片疤破损自开始在一定时间段内呈连续发生状态, 随后停止发展, 是确认石制品是否经过使用的良好指示。磨圆表现出由少到多、由弱及强的逐渐发育过程, 可以反映石制品的使用时间和强度, 也是判断使用微痕的重要参考依据。

关键词: 使用微痕; 石器功能; 刮骨实验; 片疤; 磨圆

中图分类号: K871.11; **文献标识码:** A; **文章编号:** 1000-3193(2013)01-001-18

1 引言

石器功能研究, 是了解史前人类生存方式、行为模式的重要途径, 也是石器时代考古学研究的重大课题之一。其中备受关注的一种方法就是微痕分析, 即通过显微观察技术对石器标本上肉眼不易辨别或无法辨别的痕迹进行观察, 进而推测出工具可能的使用部位、运动方式及加工对象。从 1964 年 SA Semenov 的《史前技术》英译本出版至今^[1], 石制品微痕分析的成长一方面算是发展顺利, 另一方面又可谓举步维艰。几经质疑与争议, 研究者们不断通过一系列严格控制的实验与盲测来证实微痕分析的准确性与有效性, 使之成为考古研究中主要的石器功能分析方法。微痕分析取得每一个进步, 都离不开模拟实验。目标明确、程序规范、控制严谨、处理完备、记录详实的实验, 不仅推进了微痕分析的不断完善, 而且为以后的工作和深入的思考奠定了基石。

2 研究背景

石制品微痕研究, 历史悠久。早在 19 世纪中叶, RW Greenwell 和 Canon, 就曾尝试

收稿日期: 2012-08-13; 定稿日期: 2012-09-17;

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目 (XDA05130301); 浙江省教育厅科研项目 (Y201121361); 国家社会科学基金 (11CKG001); 国家自然科学基金 (41102016)

作者简介: 陈虹 (1980-), 女, 山西太原人, 博士, 浙江大学文物与博物馆学系讲师、硕士生导师, 主要从事旧石器考古学研究、微痕分析。E-mail: hollychen@zju.edu.cn

观察 Yorkshire Wolds 遗址出土端刮器加工刃缘的磨圆现象^[2]。后来的研究者 J Evans, 提出刃缘的磨圆与擦痕可能和材料之间的摩擦有关^[3]。1880-1930 年间, 一些研究者由于对欧洲和近东新石器时代遗址出土长石叶上的光泽感到困惑, 开始尝试摸索与使用痕迹相关的实验^[4]。FCJ Spurrell 通过加工木头、骨角等, 试图复原光泽的生成, 可谓微痕实验的先行者^[5]。1930 年左右, EC Curwen 等人努力开展系统的功能研究, 虽然仍以石镰刀上的光泽为主要考察项目, 但研究重心已经由分辨加工材料转向探讨光泽的形成机制了^[6-7]。

20 世纪 60 年代, SA Semenov 带领他的痕迹学实验室, 历经 23 年的系统工作, 开创了采用显微镜观察的全新功能分析技术(即后来所谓的低倍法)。随着其代表作《史前技术》英译本的出版, 史前考古学界犹如注入了一支强心剂。微痕分析在欧美兴起初期, 接受和应用的程度相当有限。1970 年代后期, 随着 L Keeley^[8]、GH Odell^[9] 和 J Kamminga^[10] 各自关于微痕研究的博士论文同时面世, 微痕分析在石制品研究中局面大开。1980 年代以后, 越来越多的学者接受并参与到微痕分析领域, 在引发争议和思考的同时, 促成了大量的实验和测试。1990 年代至今, 微痕分析在方法论和技术上不断进步, 日渐成为石制品研究不可或缺的重要部分, 成为广泛流行的功能研究手段。

目前关于石制品使用痕迹的形成与发展过程的研究, 屈指可数。Tringham 等人曾开展实验来验证石器在各种作用任务中形成的边缘破损, 分别对使用前、使用中、使用后的标本进行微痕观察^[11]。使用中的观察分为几个区间, 包括工作 50 次、150 次、300 次、500 次、750 次和 1000 次。研究者似乎采用了分段式(按照使用时间长度分段)观察, 但仅讨论不同运动方式、不同加工材料、其他外界作用力等方面对使用痕迹的影响, 没有涉及不同作用时间长度或强度下使用痕迹的区别。Lerner 试图讨论不同原料对于使用痕迹形成的影响, 开展了一项多阶段的分段式实验研究。在实验中, Lerner 明确定义“阶段”(stage)的时间长度和具体操作, 严格记录每阶段后的使用痕迹, 然后通过电脑图像处理程序, 对比不同阶段片疤破损的侵入程度。结果发现, 石料的确是决定使用痕迹形成的一个重要因素, 同时证明数码图像手段是解释微痕分析结果的有效手段^[12]。但是, 由于作者意在突出石料的作用, 没有公布任何微痕照片, 忽略了各阶段使用微痕的差别, 对于了解使用痕迹的形成动态而言, 不失为一个遗憾。

2004 年, 在中、外考古学家的不懈努力下, 中国首届“石器微痕分析培训研讨班”在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所开办。《石器微痕分析的考古学实验研究》一书系统普及了微痕研究的理论与概念, 以实例演示了微痕分析的方法、规范和流程, 提供了许多可对比的实验标本与数据^[13]。其中, 曲彤丽等人在对骨质加工开展的微痕实验中, 对个别标本经过分段式实验与观察, 在文末提出“对使用情况的阶段性观察和记录……为研究使用痕迹的形成过程, 分析微痕的产生机制提供重要线索。这方面应当是未来工作的重点”^[14], 但是该实验未能了解使用痕迹的具体发展动态。谢礼晔等人对钻孔运动方式的微痕实验中, 对部分单向和双向石钻标本进行分阶段观察, 认为石钻上“使用痕迹的产生速度很快, 在使用后一两分钟之内便可迅速出现。在片疤、磨圆和光泽中, 片疤产生速度最快。使用痕迹的发达程度并不是匀速上升或加速上升的。可以预见, 当片疤发展到一定程度之后, 其继续发展会‘消灭’掉已有的使用痕迹”^[15]。此后, 为了观察尖状器在不同使用阶段和多功能使用方式的使用痕迹, 张晓凌在实验中对 10 件尖状器分别进行分段使

用和观察，详细记录了使用痕迹在两个以上工作时段和经历两种动作之后的表现。实验颇有成效，初步明确了石制品经过复合使用后，前后两次的使用会互相影响彼此所产生的痕迹；而且，使用痕迹是动态变化的，破损微疤可能会在后来的使用中被磨蚀消失，而磨圆则随着使用而加强^[16]。

以上研究为认识使用微痕的多阶段成形发展奠定了良好基础，提出了进一步研究的可行性，但是上述实验的设计和操作因为当时实验的目的不同，对微痕多阶段成形发展缺少精密控制，观察略显主观，欠缺了必要的数据和变量。这些工作还不能清晰归纳使用微痕的发展轨迹，也不能全面了解使用痕迹发生与发展的机制，因此，这些实验为本研究的设计和开展提供了重要的参考信息和启示。

3 研究目的与实验设计

已经有大量研究表明，微痕分析可以辨别工具是否经过使用，而且，工具原料、加工类型、运动方式和加工对象都可以在很大程度上对使用痕迹产生影响。使用痕迹从产生到最终呈现在分析者面前，究竟经历了怎样的发展过程，目前还是未知，因此，我们于2008-2009年在加拿大皇家安大略博物馆一起设计并开展了一系列的微痕实验，希望通过一系列的分阶段实验以及对数码照片的处理来了解和观察微痕片疤破损的发展过程，了解和认识在使用不同阶段片疤破损与磨痕/光泽形成的关系，了解和认识使用时间与使用微痕多阶段成形的相应关系。

微痕实验所涉及的术语和要素众多，本文采用沈辰定义的“作用任务（working task）”一词来描述工具的使用方式^[17]。作用任务是一种行为，包含特定工具的运动方式和被加工材料两个方面。严格地说，工具“运动方式”指工具被操作的动作，例如切、刮、削、钻、砍等动作^[13]。“加工对象”是工具接触并加工的对象，硬度不等，例如肉、骨、木之类。

由于目的仅仅是辨认使用痕迹的阶段变化，而非运动方式或加工材料的作用，所以本次实验将“作用任务”锁定为单一动作，即单向刮骨。基于过去学者的实验经验，本实验将“刮”定义为：工具的工作刃缘以较大（70°-90°）角度与被加工物体垂直相交进行单向的横向运动（图1）^[13]。刮是石器的基本运动方式之一，工具只要具备一定长度的锋利刃缘即可。加工材料只选择干熟骨（猪蹄骨和火鸡腿骨）一种，属于一般硬性动物类物质（1H），基本保证其硬度、所含水分、油脂一致。

由于本次实验是在加拿大皇家安大略博物馆微痕实验室进行，所以标本均采用加拿大安大略省西南部伊力湖畔的深灰色 Onondaga 燧石制成。这是一种形成于泥盆纪中期石灰岩地层中的燧石，颜色从灰白到蓝灰不等，少数呈现

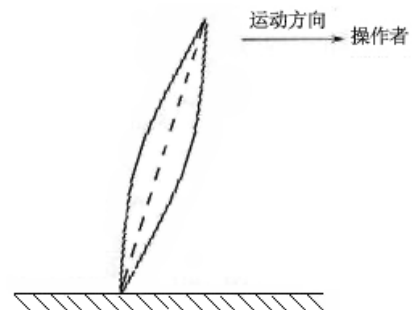


图1 “刮”动作示意图
Fig. 1 Action of scraping

黑色。Onondaga 燧石质地均匀，偶带玻璃质感，贝壳状断口，偶尔产生小碎片，是剥片实验和微痕实验的良好选材^[18]。为了清晰地观察和拍照，实验标本全部为未经二次加工的完整石片，形状各异，每件至少有一个可以作为工作刃的锋利边缘。无风化、热处理、水侵蚀等外部作用介入。

为了突出每阶段“刮骨”使用微痕的产生，包括片疤和磨圆，计划选用一种带颜色的辅助材料涂抹于标本可能使用的刃缘。每次使用时，新生片疤上的颜料会随着片疤一起被剥掉，便于观察。使用生成的力度远远小于二次加工的剥片力，且产生的片疤远不如二次加工片疤明显，因此，这种辅助材料必须具备这样一些特性：色彩鲜明、涂抹形成薄膜、可附着于石料上、粘度不能影响片疤的剥离。经过筛选，指甲油最符合我们的需要，主要成分为硝化纤维，配以丙酮、醋酸乙酯、乳酸乙酯、苯二甲酸酐类等化学溶剂。其中的薄膜形成剂和塑形剂可以在标本选定区域形成一定范围的薄膜，色料可以区别于石料本身的颜色，分散剂和安定剂可使色彩均匀分散并保持一定的稳定性，强化剂的强度既能保持一定的耐久性，又不至于影响剥片的产生，而且，指甲油用一般的洗甲水（主要成分为丙酮、甲醛及邻苯二甲酸酯）即可清洗，简单易行。本实验采用粉色指甲油和普通洗甲水。指甲油自身产生的光泽，不在此次实验观察范畴内。

4 实验过程与分析要素

4.1 实验过程

选定标本 7 件，其中有两件标本各有两个工作刃，全部用于刮熟骨。为了详细记录并评估使用痕迹形成的过程和速率，实验设计多阶段操作程序。“阶段”是根据行为持续的不同时间段来定义的，整个实验共分三个操作阶段。最初连续的 3 分钟加工为第一阶段（简称 S1）；接下来的 6 分钟为第二阶段（简称 S2），此时工具使用时间累计 9 分钟；然后再连续使用 12 分钟为第三阶段（简称 S3），至此实验结束，每件工具的使用时间累计 21 分钟。

为了便于标本间的对比，本次实验由同一位年轻女性操作者实施，力度和速度均属中等偏下（400 次 / 3 分钟）。为了尽可能保证力度和速度的连续性和一致性，每阶段的工具使用以连续 3 分钟为单位，即 S1 一次性完成，S2 分两次完成，每次 3 分钟，以此类推。其原因在于，经过预先试验发现，操作者在 3 分钟内基本可以保证稳定性，超过 3 分钟就有可能因疲劳出现或快或慢、或轻或重的偏差。实验者右手持标本，标本与加工材料表面之间夹角约为 70-90 度，每次工具运动的长度视加工材料表面形状而定，基本在 3-5cm 之内。

实验的每一阶段中包括涂刷指甲油、刮骨、清洗指甲油、清洗标本、微痕观察这 5 个步骤。先在标本预计使用的工作边缘轻轻涂刷一层指甲油，晾干；接下来刮骨，时间因各阶段而定；动作完成之后，用棉花棒蘸洗甲水将指甲油去掉，洗甲水亦可去掉有机质残留物；然后再用清水轻刷使用部位，除去残留其上的洗甲水；最后用显微镜观察，详细记录使用痕迹的片疤、磨圆和光泽情况，并拍摄显微照片。本次微痕分析采用低倍法，使用

连续变倍双目体式显微镜 Nikon-SMZ800，物镜变倍范围 1-6.3 倍，目镜 10 倍，放大倍数在 10-63 倍之间。附加外射光源，随意选取照射角度。通过电脑转换接口，采用显微摄像系统软件将微痕影像保存为数码照片。

为了向读者呈现各阶段使用微痕的状态，对显微数码照片进行了特别处理。首先将工作刃缘每阶段产生的使用痕迹部位分段拍摄，然后使用 Photoshop 照片管理软件将同一阶段、同一边缘的分段部位顺序拼接，最后将三个阶段、同一边缘的照片自上而下地拼接在一张图版内，相互对比。

4.2 分析要素

鉴于上述实验目的，本研究主要涉及以下几个分析要素：使用单位、使用部位、使用位置、片疤破损、磨蚀痕迹。

使用单位 (Employable Unit/EU)，是微痕定量分析的基本参数之一，用于记录石制品上被使用部位及其个数，按顺序编号^[16-17]。“使用单位”最初由 R Knudson 根据行为机理的概念提出^[19-20]，后由 GH Odell 继续使用并推广^[21-22]。

使用部位 (Employable Location/PC)，一般以坐标的形式描述石制品上二次加工和使用痕迹的具体位置，各位置之间以及它们与石制品整体的相对关系。本研究采用 GH Odell 的八分极坐标定位法 (8-Polar Coordinate grid)，用 P.C.1- P.C.8 来记录石器使用 (微痕) 的位置^[17, 21-24]。

片疤破损 (Scarring/SR)，亦称微疤，是使用微痕的主要特征之一，通常较小。本文的考察项目包括大小、分布、终止^[25]、形态等。磨蚀痕迹 (Abrasion)，是使用过程中因反复接触摩擦在工具表面产生的痕迹，包括光泽、磨圆和擦痕。本文将主要考察其表现程度和位置，用以揭示使用的时间和强度。片疤破损和磨蚀痕迹常常相伴出现，但又不是必然出现，其组合形态和匹配模式受到多种因素的影响。

在描述使用痕迹的位置时，还涉及 3 个术语，即接触面、非接触面和刃脊。接触面 (Contact Surface/C) 是指石制品使用边缘与加工材料直接接触的表面。非接触面 (Non-Contact Surface/NC) 是和接触面相对的表面，在“刮骨”动作中不和加工材料发生接触或摩擦。刃脊 (Edge Ridge/E) 是指接触面与非接触面相交的侧刃，范围狭长，近似一线，和加工材料发生直接的接触，而且是作用力的主要着力区。

此外，本文还涉及三个尺度方面的变量，包括刃缘角、片疤侵入距离、使用刃缘长度。微痕分析中有两个与工作刃相关的角度常被讨论，刃缘角 (edge angle) 和平面角 (spine-plane angle)^[26]。此处测量的刃缘角，指直接作用于加工材料的使用边缘两表面之间的夹角。刃缘角的测量方法见仁见智，本实验的刃缘角是在距离石片腹面和背面交线 1mm 处测得的^[27]。片疤侵入距离，是指一系列微疤在与刃缘垂直方向上、向石片内部延伸的纵深距离。微疤形成的时间、速率、形状以及破裂机制不等，片疤侵入可能呈现出单层或多层，侵入距离也因而而不等。鉴于本次实验采用指甲油作为辅助，故片疤侵入距离测量的是每阶段指甲油剥落纵深，不考虑片疤分布层次；下一个阶段产生的片疤侵入距离，可能覆盖了上一阶段产生的片疤侵入距离，也可能在上一阶段片疤侵入距离范围之内。使用刃缘长度，指因直接与加工材料接触摩擦并产生使用痕迹的刃缘部分，平行于边缘的长度。

5 实验结果

7 件标本共计 9 处使用单位 (EU) 经过使用, 工具的有效性和效率均正常。下面将按照使用单位的顺序, 逐一描述实验标本的微痕观察结果。

5.1 EU 1 (标本 201)

S1: 1) 非接触面: 痕迹不连续, 表现为左侧 / 右侧两组。左侧为连续大、中型浅平片疤, 多羽状。最左端一个片疤呈凹缺状向右为 5-6 个浅平中片疤; 再向右为 3 个浅平小片疤, 片疤侵入度小于左侧。右侧为 3 个大片疤, 有羽状、阶梯状; 最右侧阶梯状明显, 且片疤小。边缘连续分布钩状、阶梯状小片疤。2) 接触面靠近边缘处脱色, 边缘平面呈不规则锯齿状。3) 刃脊, 轻度 / 中度磨圆, 有光泽。最右端磨圆相对其它部位严重, 有似玉的温润光泽。不同颜色部位光泽有些许差别。

S2: 1) 非接触面不连续大片疤, 成三簇分布, 平面近圆形, 浅平, 羽状; 内套许多钩状、阶梯状小片疤, 边缘呈锯齿状。2) 接触面: 边缘脱色, 侵入度大于非接触面; 轻度磨圆。3) 刃脊: 粉碎感, 左端中度磨圆, 其余部分不明显。

S3: 1) 非接触面连续小片疤, 紧贴边缘, 侵入极少; 片疤平面柳叶形, 羽状, 间有阶梯状。个别小片疤破裂处显现凹缺状打击点; 中度磨圆。2) 接触面边缘脱色, 中度磨圆, 片疤间脊上疑有光点。3) 刃脊严重磨圆, 刃脊上有片状光泽。

5.2 EU 2 (标本 202)

S1: 1) 非接触面中、小型浅平片疤, 多羽状, 连续、层叠分布; 最左侧有一个钩状大片疤, 钩状终止可能与石料的颗粒有关。2) 接触面边缘脱色, 轻微磨圆。3) 刃脊轻度磨圆, 刃缘轮廓呈曲线状, 受片疤破裂影响。

S2: 1) 非接触面大、中、小片疤均有, 浅平, 多羽状, 偶有钩状; 大片疤间隔分布, 小片疤紧贴边缘, 连续分布; 片疤侵入很大; 边缘轻度磨圆。2) 接触面边缘脱色, 中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆, 略呈粉碎感。

S3: 1) 非接触面基本上无片疤产生; 中度磨圆, 边缘明显变钝。2) 接触面边缘脱色, 侵入度大于非接触面, 中度磨圆。3) 刃脊严重磨圆, 片状光泽 (图 2: 上)。

5.3 EU 3 (标本 204-1)

S1: 1) 非接触面连续大、中型浅平片疤, 羽状; 最右侧片疤呈凹缺状; 共 4 个明显片疤, 边缘近直线; 左侧侵入大于右侧; 边缘连续分布羽状小片疤。2) 接触面边缘脱色。3) 刃脊轻度磨圆, 最右侧折断状。

S2: 1) 非接触面不连续大片疤, 成三簇分布, 平面近圆形, 浅平, 羽状; 内套许多钩状、阶梯状小片疤; 边缘呈锯齿状。2) 接触面边缘脱色, 轻度磨圆。3) 刃脊粉碎感, 轻度磨圆, 不明显。

S3: 1) 非接触面几乎没有片疤产生, 仅隐约退色; 偶见两个圆形中片疤, 浅平, 羽状; 中度磨圆, 边缘明显变钝。2) 接触面边缘脱色, 侵入度大于非接触面; 中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆, 刃脊有片状光泽。(图 2: 中)

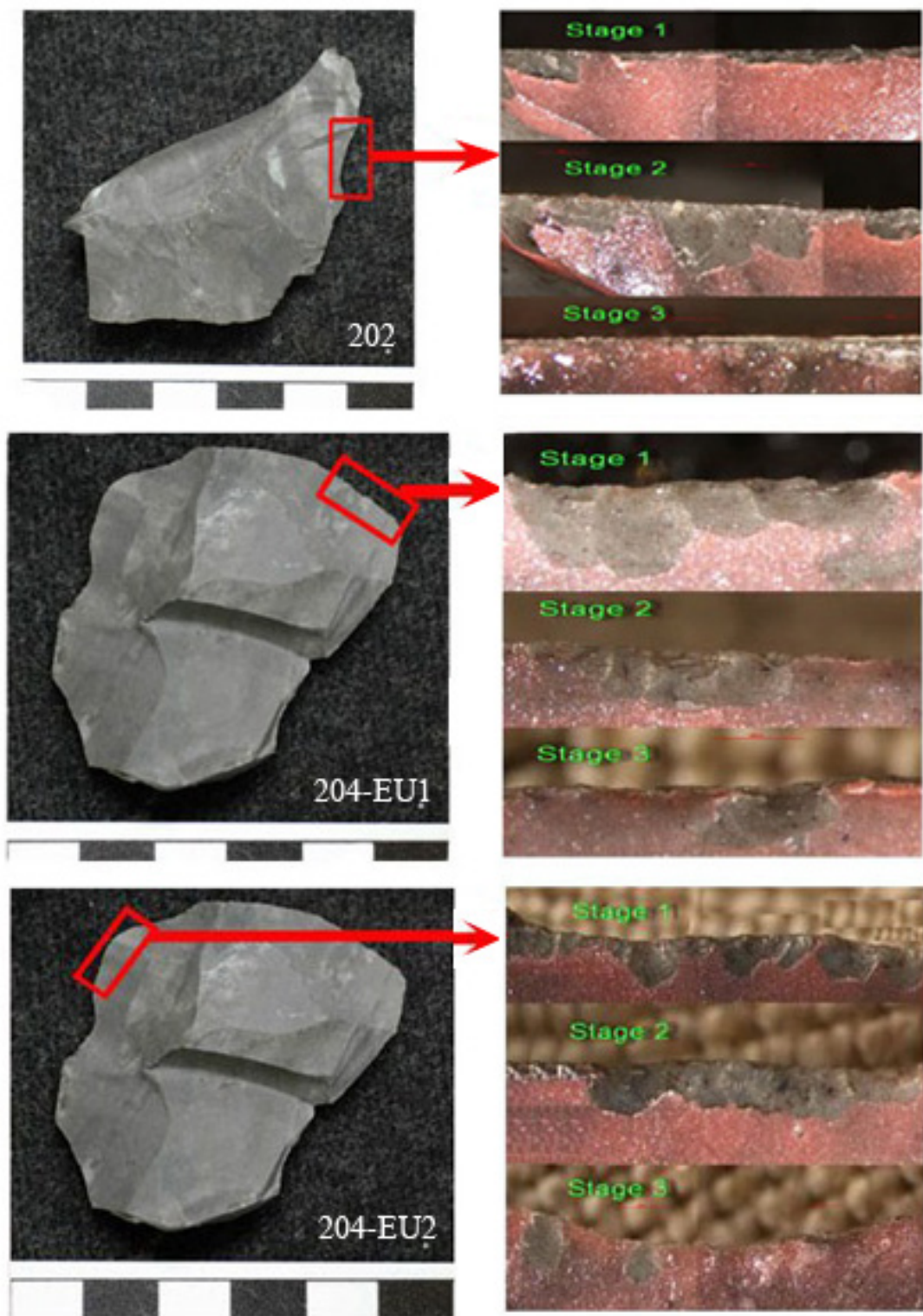


图 2 标本 202 和 204 非接触面微痕形成过程
Fig. 2 Multi-stage formation of use-wear on No. 202 & 204

5.4 EU 4 (标本 204-2)

S1: 1) 非接触面连续大、中型片疤, 羽状、钩状。大片疤多浅平, 中片疤多起伏明显; 大、中型片疤间隔分布, 大片疤居多; 边缘丛簇式分布钩状、羽状小片疤。2) 接触面边缘脱色。3) 刃脊轻度磨圆。

S2: 1) 非接触面连续浅平大片疤, 羽状; 靠近边缘处有个别的钩状小片疤。2) 接触面边缘脱色, 轻微磨圆。3) 刃脊粉碎感, 轻度磨圆, 光泽不明显。

S3: 1) 非接触面一个扁圆形大片疤, 羽状, 可见破裂点; 余为连续极小片疤, 羽状多, 个别阶梯状, 均紧贴边缘; 中度磨圆。2) 接触面边缘脱色, 侵入度大于非接触面, 中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆, 刃脊上有连续光点。(图 2: 下)

5.5 EU 5 (标本 206)

S1: 1) 非接触面刃部外形略呈凹状; 连续大、中型浅平片疤, 多羽状, 个别大片疤内套钩状中、小片疤; 总体连续, 偶有断开, 应是由于刃缘不直, 接触不均匀造成。2) 接触面边缘脱色, 轻微磨圆。3) 刃脊中度磨圆, 突起处尤为明显; 光泽不明显, 刃缘轮廓呈曲折状。

S2: 1) 非接触面有 5-6 个大型圆片疤, 分布间隔甚远; 边缘紧贴一排连续、浅平小片疤, 均为羽状, 边缘轮廓较平整, 偶有突起。2) 接触面边缘脱色, 中度磨圆, 轮廓凹凸起伏。3) 刃脊中度磨圆, 突起点部有片状光泽。

S3: 1) 非接触面几乎看不到片疤, 偶有极小片疤, 仅边缘处有些许颜色脱落。2) 接触面边缘脱色, 偶有卵圆形片疤出现; 刃缘平面有 2 处突起, 有些部位有层叠小片疤; 中度磨圆。3) 刃脊严重磨圆, 刃脊呈曲折线, 可见贝壳状破裂痕迹, 有片状光泽(图 3: 上)。

5.6 EU 6 (标本 208-1)

S1: 1) 非接触面连续中、小型片疤, 多羽状、阶梯状, 有 4 个钩状片疤间断分布; 不同尺寸片疤分布不规则; 最右侧可能由于接触少, 片疤侵入度小于左侧, 有 1 个阶梯状片疤; 边缘连续分布羽状、阶梯状小片疤。2) 接触面边缘脱色。3) 刃脊轻度磨圆, 左侧保留原有刃口形状, 有零星光泽; 右侧折断状。

S2: 1) 非接触面大型浅平片疤, 连续分布, 多羽状; 边缘紧贴小片疤, 连续、层叠分布, 多钩状。2) 接触面边缘脱色, 边缘轮廓呈不明显锯齿状, 凹凸起伏; 中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆, 突出处有点状光泽。

S3: 1) 非接触面几乎无片疤, 仅在最边缘处有极小片疤出现, 有些层叠, 羽状/钩状, 局部因石料颗粒呈现出毛糙感; 中度磨圆。2) 接触面边缘脱色, 刃缘中度磨圆, 与前无异。3) 刃脊严重磨圆, 片状光泽。(图 3: 中)

5.7 EU7 (标本 208-2)

S1: 1) 非接触面不连续 5 个浅平大片疤, 平面形状不规则, 每 2 个大片疤之间有间隔, 羽状; 中间分布有中、小型片疤; 左起第 2 个大片疤内有 2 个钩状痕迹。2) 接触面边缘脱色。3) 刃脊层叠阶梯, 似砍砸痕; 轻度磨圆。

S2: 1) 非接触面大片疤仅 3 个, 羽状, 浅平; 左侧第一个大片疤内层叠分布 4 层小片疤,

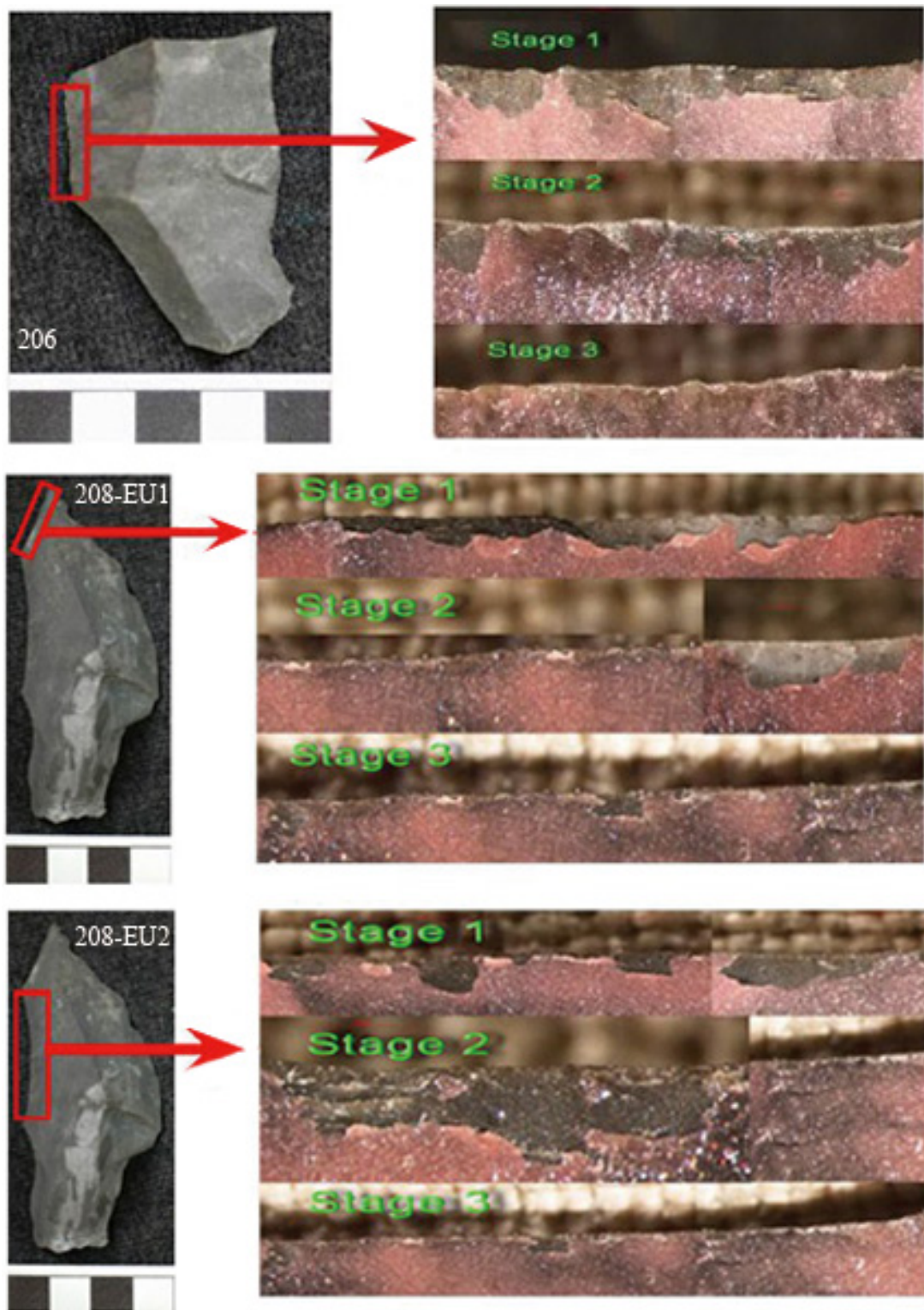


图 3 标本 206 和 208 非接触面微痕形成过程
Fig. 3 Multi-stage formation of use-wear on No. 206 & 208

钩状；边缘处连续分布小片疤。2) 接触面边缘脱色，中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆，局部有层叠现象，棱脊部分有点状光泽。

S3: 1) 非接触面几乎看不到片疤，有 3 个大片疤，极其分散，2 个羽状，1 个阶梯状；整个刃缘仅个别位置出现脱色，可能产生极小片疤。2) 接触面边缘脱色，严重磨圆。3) 刃脊严重磨圆，片状光泽。（图 3：下）

5.8 EU8 (标本 209)

S1: 1) 非接触面连续的大、中型片疤，浅平，多羽状，个别钩状，片疤形状很规律；边缘处连续分布小片疤。2) 接触面边缘脱色。3) 刃脊轻度磨圆，刃缘轮廓近直线，较规则。

S2: 1) 非接触面连续大、中型浅平片疤，扁圆形，多羽状，靠近边缘有个别钩状 / 阶梯状，成簇分布；边缘略呈粉碎感，整体呈锯齿状；突起处有光泽；紧贴边缘处有连续小片疤分布，羽状、钩状、阶梯状均有。2) 接触面边缘脱色，轻度磨圆。3) 刃脊轻到中度磨圆；粉碎感，光泽不明显。

S3: 1) 非接触面几乎看不到片疤，偶有极小片疤，中度磨圆。2) 接触面边缘脱色，中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆，有分散的点状光泽。

5.9 EU9 (标本 210)

S: 1) 非接触面有 3 个浅平大片疤，羽状，卵圆形；可能由于该部位突起，直接与骨头接触，所以片疤很集中；边缘连续分布羽状小片疤。2) 接触面边缘脱色，轻微磨圆；刃缘形状呈锯齿状。3) 刃脊轻度磨圆，刃缘轮廓略呈曲折状，但起伏不大。

S2: 1) 非接触面 3-5 个大片疤，羽状，侵入度极大，中间偶有间隔；边缘连续小片疤，羽状、钩状、阶梯状多种片疤分布不均，局部边缘呈粉碎感。2) 接触面边缘脱色，轻到中度磨圆。3) 刃脊中度磨圆，有些地方粉碎感；突出部有点状光泽。

S3: 1) 非接触面基本上无片疤产生，紧贴边缘处有极小磨痕。2) 接触面边缘脱色，严重磨圆。3) 刃脊严重磨圆，片状光泽。

6 分析与讨论

对 9 个使用单位的微痕观察表明，单一作用任务所产生的使用微痕具有相似性、一致性和规律性，偶有差别但不明显（表 1）。

6.1 片疤破损

对比 9 个使用部位 3 个阶段的石器刮骨使用功能所产生的微痕特征以及采集到的数码照片表明，片疤破损在不同的使用时间段内情况不同。要注意的是，每一阶段涂刷的颜色将完全覆盖前一阶段产生的使用痕迹，因此各阶段的记录和照片仅反映相应时间段内形成的使用痕迹，不能反映之前或累积的状况，但是，这样能更准确得到每一阶段产生的片疤形态的信息，是这次实验的主要目的。

S1: 微疤集中出现在非接触面，破损明显，侵入距离较大。大、中、小型微疤层叠出现，方向单一，但是分布模式和终止形态有所区别。大、中型片疤多呈丛簇式分布；平面形状近卵圆形，浅平；终止形态以羽状为多，钩状较少，偶尔出现阶梯状；大片疤的破裂点有

表 1 9 个使用单位的微痕观察结果（片疤与磨圆）
Tab.1 Results of the use-wear analysis (scarring and rounding)

使用单位	标本序号	阶段	片疤破损				磨蚀痕迹		
			位置	尺寸	分布	终止	位置	磨圆	光泽
EU 1	201	S1	NC	L/M/S	R	F/H/S	E	LR	AP
		S2	NC	L/S	C/R	H/S/F	E/C	MR/LR	AP
		S3	NC	T	R	F	E/C	HR/MR	SP
EU 2	202	S1	NC	M/S/L	R	F/H	E/C	LR/LR	AP
		S2	NC	L/M/S	R	F/H	E/C	MR/MR	AP
		S3	--	--	--	--	E/C	HR/MR	SP
EU 3	204-1	S1	NC	L/M/S	R	F	E	LR	AP
		S2	NC	L/S	C/R	F/H/S	E/C	LR/LR	AP
		S3	NC	M	S	F	E/C	MR/MR	SP
EU 4	204-2	S1	NC	L/M/S	R/C	F/H	E	LR	AP
		S2	NC	L/S	R	F/H	E/C	LR/LR	DP
		S3	NC	S/L	R	F	E/C	MR/MR	PP
EU 5	206	S1	NC	L/M/S	R	F/H	E/C	MR/LR	DP
		S2	NC	L/S	D/R	F	E/C	MR/MR	PP
		S3	NC	T	S	F	E/C	MR/HR	SP
EU 6	208-1	S1	NC	M/S	D/R	F/S/H	E	LR	DP
		S2	NC	L/S	R	F/H	E/C	MR/MR	PP
		S3	NC	T	R	F/H	E/C	HR/MR	SP
EU 7	208-2	S1	NC	M/S/L	R/C	F/H	E	LR	AP
		S2	NC	S/L	R/S	H/F	E/C	MR/MR	PP
		S3	NC	L	S	F/S	E/C	HR/HR	SP
EU 8	209	S1	NC	L/M/S	R	F/H	E	LR	AP
		S2	NC	L/M/S	R/C	F/H/S	E/C	MR/LR	DP
		S3	NC	T	S	F	E/C	MR/MR	PP
EU 9	210	S1	NC	S/L	R/S	F	E/C	LR/LR	AP
		S2	NC	S/L	R/C	F/H/S	E/C	MR/MR	PP
		S3	--	--	--	--	E/C	HR/HR	SP

时很清晰。小型微疤位于大、中型片疤内部边缘处，分布形态多呈连续式，偶尔为丛簇式；微疤平面浅平；微疤终止羽状、钩状、阶梯状伴生。接触面的微疤不明显，仅见边缘指甲油颜色脱落，在 40 倍下观察到似有极小微疤连续分布于边缘，十分浅平，隐约为羽状终止。

S2: 微疤仍然集中出现在非接触面，基本特征同第一阶段。大、中、小型微疤层叠，大型微疤以间隔式分布，中、小型微疤则以连续式分布为多，偶见丛簇式；微疤平面浅平，近卵圆形。总体来看，微疤终止以羽状为多，其中大型微疤偶见钩状，中型微疤偶见阶梯状，小型微疤紧贴边缘，羽状、钩状和阶梯状三种形态均有。接触面的仍无明显微疤破损出现，平面呈柳叶形的极小片疤十分浅平，连续分布于边缘，偶尔出现层叠现象。

S3: 非接触面几乎无微疤产生，边缘仅有些许脱色，其侵入范围比接触面还小；偶见个别中型片疤，仍为浅平、羽状、卵圆形。接触面情况和前两个阶段一样。

对比 9 个使用单位在各阶段的情况可知：前两个阶段非接触面的片疤破损十分显著，微疤大小、分布模式和终止形态比较相似；最后一个阶段 S3 历时最长，却几乎无微疤产生。其中，S1 的大型微疤几乎均为羽状终止，中、小型微疤的钩状和阶梯状微疤出现频率较低，阶梯状只是偶尔出现。S2 的大型微疤开始出现钩状终止，中、小型微疤的钩状和阶梯状

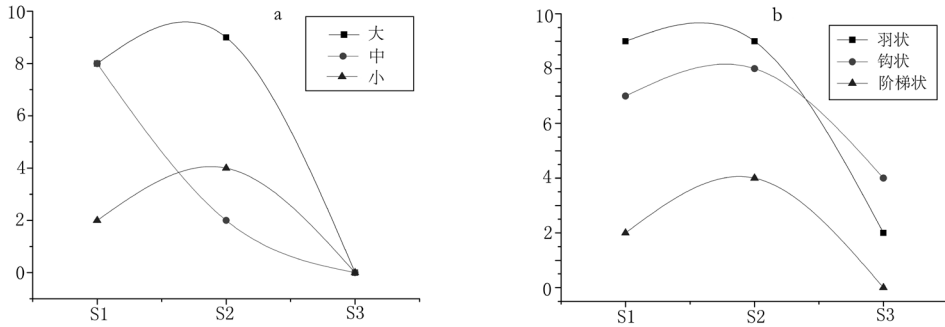


图 4 片疤破损形态发展轨迹示意图: a. 片疤大小变化; b. 终止形态变化

Fig.4 Multi-stage formation of scar fractures: a, sizes; b, terminations

终止明显增多 (图 4)。因此可以认定, 在一定的“作用任务”如“刮骨”的情况下, 片疤的破损并不是随使用时间的延长而递增, 而是在一定时间段内集中产生, 过了某个时间点便几乎停止生成。接触面几乎没有微疤出现, 边缘连续分布的极小片疤, 有可能并非破损形成, 而是摩擦产生的磨痕。

6.2 磨蚀痕迹

S1: 磨蚀痕迹不明显, 少量可辨痕迹主要出现在与加工材料直接接触的部位。接触面由于摩擦产生轻微磨圆, 但比例不高 (EU=3); 零光泽。侧刃与加工材料接触面积相对较大, 磨蚀痕迹迅速出现, 9 个使用单位均可见轻度磨圆, 个别突起部位由于受力直接, 甚至达到中度磨圆 (EU=1); 光泽尚未成形, 有些标本突起的刃脊上隐约出现温润感或非常零星的疑似光泽 (EU=2)。非接触面几乎没有任何磨蚀痕迹。

S2: 磨蚀痕迹比 S1 有所发展。接触面可见轻度 (EU=4) 至中度磨圆 (EU=5), 刃缘平面渐直; 光泽仍不明显。侧刃明显磨圆变钝, 多为中度磨圆 (EU=7), 有些部位略显粉碎感, 可能是钩状或阶梯状小型微疤层叠分布的结果; 光泽总体仍然较弱, 但是比接触面明显, 棱脊或突起部分开始出现点状光泽 (EU=4)。

S3: 磨蚀痕迹发育。接触面磨圆程度较高, 多为中度磨圆 (EU=6), 个别甚至达到严重磨圆 (EU=3)。侧刃磨圆严重, 普遍为中度 (EU=4) 至严重磨圆 (EU=5); 光泽明显, 多数标本侧刃呈现片状光泽 (EU=7), 个别出现连续光点 (EU=2)。

总的来说, 磨蚀痕迹主要出现于接触面和侧刃, 非接触面几乎没有, 且经历了从无到有、由弱到强的过程。三个阶段相比, 磨圆自 S1 就有所表现, 光泽自 S2 才开始出现, 二者均逐渐发展并加重, 至 S3 时基本发育 (图 5)。就同一个阶段而言, 接触面的磨蚀程度总体上没有侧刃的磨蚀程度高, 几乎很少光泽出现。由此可知, 磨圆从工具使用初期便开始产生并逐渐增强, 而光泽在最初的时间段里没有形成, 直至某一时间点方开始出现, 然后逐渐发展, 最终形成较大范围的片状光泽。

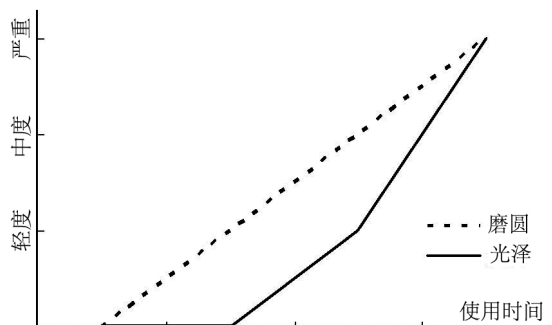


图 5 磨蚀痕迹发展轨迹示意图

Fig.5 Multi-stages formation of rounding

因此可以推测，片疤的破损并不是随使用时间的延长而递增，而是在一定时间段内集中产生，过了某个时间点便几乎停止生成。接触面几乎没有微疤出现，边缘连续分布的极小片疤，有可能并非破损形成，而是摩擦产生的磨痕。

6.3 刃缘角，片疤侵入距离，使用刃缘长度

对实验各阶段的刃缘角、片疤侵入距离、使用刃缘长度的测量结果显示：几乎所有标本在 S1 和 S2 之后，其刃缘角呈现出增长趋势，一般增大 3° - 5° ；经过 S3 后，多数刃缘角保持 S2 时的水平，个别继续增大 3° - 5° 。由于我们在距离刃缘顶部 1mm 处测量刃缘角，所以这个增长趋势可能和片疤破损、刃缘磨圆有关。前面已经提过，S1、S2 是微疤生成的主要阶段，随着大、中型片疤的剥离，导致刃缘顶部交线后退，附近两边的夹角便逐渐增大；S3 时，片疤破损已经停止，刃缘顶部两边和交线不再发生后移现象，磨圆对工具尖端角度的改变作用并不明显，因此刃缘角不再发生变化。

片疤侵入距离可以直接反映使用时所产生的破裂力的延伸范围，间接反映出非接触面片疤破损的程度。经过测量发现，各阶段不同使用部位的片疤侵入距离不等。S1 的片疤侵入距离平均值变异范围为 32-97mm，S2 的平均值范围为 49-91mm，S3 的平均值范围为 25-55mm。总体来看，前两个阶段的片疤侵入距离情况类似，而且比第三阶段的片疤侵入距离大得多，这和片疤破损形态分析结果一致。S3 的片疤侵入距离平均值范围似乎高于微痕观察的预期值，这个偏差可能是由于个别标本在 S3 时偶尔产生的大、中型片疤。就单个使用单位的片疤侵入距离而言，几乎所有（66.7%）使用单位在三个阶段都呈现出增长（S1）-增长（S2）-降低（S3）的趋势。将各阶段的刃缘角、片疤侵入距离和使用时间结合起来对比，结果发现：

为了便于测量，我们将标本两个表面颜色脱落部分的长度定义为使用刃缘长度。结果显示，几乎所有使用单位的非接触面使用刃缘长度都大于接触面。特别是在 S3 时，两者相差甚至达到 2 倍以上。通过对比发现，这种差异一方面和刃缘平面形状、加工材料表面有关，如果接触面积较大，在刃缘产生痕迹的长度自然相应较大；如果接触面积较小或接触不完全，使用长度也会相应较短；另一方面，片疤破裂机制也影响了两面的使用长度，在刮骨动作中，微疤通常从接触面向非接触面破裂，力量和破裂点呈辐射状，因此非接触面所产生的片疤范围之总和会大于接触面因摩擦产生的磨痕范围。

许多学者认为边缘形状和刃缘角是石制品分析中的重要变量，对于使用痕迹的产生具有直接影响^[27]。普遍认为，小刃缘角用于加工软性物质，大刃缘角用于加工硬性物质。而且小刃缘角可能多产生贝状或弯曲状破裂，大刃缘角则不太可能。Keeley 曾经指出，在刮骨行为中，加工材料相对较硬，刃缘角越大的标本越容易产生阶梯状的微疤。多数实验研究都对刃缘角进行测量，但是看起来都没什么用处，几乎没有针对刃缘角和其他变量的统计学分析。本研究通过对比得知，工具在使用过程中，刃缘角在使用前期有增大的趋势，在中后期不再增加。这一方面说明刃缘角的确是影响使用痕迹产生和发展的重要因素，另一方面也说明使用痕迹的发展反过来影响着刃缘角的大小。就工作效率而言，针对刮骨的行为，刃缘角的钝 / 锐并无大碍， $30^{\circ} < X < 90^{\circ}$ 比较好用，即便磨圆很强的时候，工具仍能有效刮骨。对于切割软性物质而言，可能需要相对锋利的刃缘角。

影响片疤侵入距离的因素主要有三个，一是工作角（作用力和刃缘的夹角），二是

刃缘角，三是使用时间。前两个因素，决定着作用力的发生途径：1) 假设刃缘角一致。当工作角较小时，作用力近垂直于刃缘，多发生弯曲破裂，作用力与刃缘横截面接触面积较大，破裂不仅仅局限于接触点，会产生侵入较大的片疤（图 6:a）；当工作角较大时，作用力近平行于刃缘，多发生点破裂，作用力与刃缘横截面接触面积较小，破裂集中在接触点附近，片疤侵入距离较深，明显大于前一种情况（图 6:b）。2) 假设工作角一致。当刃缘角较小时，标本厚度相应较小，比较容易产生破裂，作用力很快即停止，发生至终止的距离较短，片疤侵入距离一般不大（图 6:c）；当刃缘角较大时，标本厚度相应较大，不太容易产生破裂，作用力延伸较远，发生至终止的距离较长，片疤侵入距离也相应较大（图 6:d）。根据上述分析可知，第三个因素即使用时间，决定了是否产生片疤，在产生片疤的时间段内，片疤侵入距离受到刃缘角和工作角的影响；过了一定时间点，片疤停止产生，片疤侵入距离也随之锐减或停止产生。

7 石器刮骨使用微痕的多阶段成形轨迹

一些学者也曾针对“刮骨”动作产生的使用痕迹进行过实验和研究。Odell 用 Burlington 燧石将狗肉从骨头上刮掉的实验结果为：破损严重，微疤以大、中型片疤为主，终止多呈阶梯状和钩状，伴有少量羽状和折断状；接触面出现光泽^[24]。沈辰同样采用 Onondaga 燧石的实验结果表明，刮骨工具的刃部会很快出现磨圆，毛糙光泽，偶见擦痕，中型羽状或阶梯状终止微疤连续或丛簇式分布^[17]。侯亚梅以山西寿阳黑色燧石为石料，采用扫描电镜高倍法分析的实验结果表明，刮骨标本的光泽集中于边、刃局部，较暗，擦痕稀疏、微弱，阶梯状终止典型，接触面出现以脊相隔的宽疤，端部浅坑具有指向性^[28]。夏竞峰关于燧石刮削器的系统微痕实验和上述实验结果相近，认为刮骨标本光泽产生比较快，呈金属光泽^[29]。张晓凌等人针对刮削动作的微痕实验报告认为，刮骨产生的使用痕迹以阶梯状和羽状终止片疤为多，连续分布，多存在磨圆和层叠现象，其程度和范围因使用强度有所区别^[30]。曲彤丽等人对骨质加工的微痕实验报告结果则略有不同，提出刮骨会产生中型羽状、阶梯状和少量折断状终止片疤，重叠或不均匀分布，磨蚀不十分强烈^[14]。

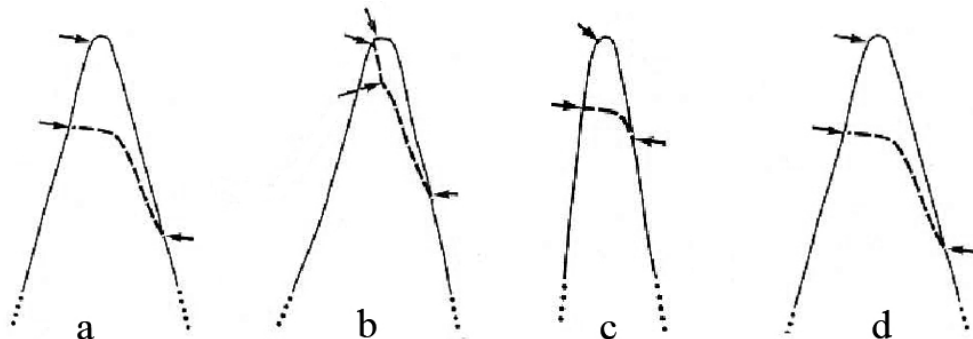


图 6 刃缘角与片疤侵入距离关系示意图

Fig. 6 Relations between edge angles and invasiveness of scars

- a. 刃缘角一定，工作角小，片疤侵入距离小；
- b. 刃缘角一定，工作角大，片疤侵入距离大；
- c. 工作角一定，刃缘角小，片疤侵入距离小；
- d. 工作角一定，刃缘角大，片疤侵入距离大

诸多研究中，除有关小微疤和羽状终止的出现和频率的讨论不太一致以外，其他基本相似。

由于使用痕迹的发生机制与石片的发生机制相近，Schiffer 曾经假设，持续使用的程度会影响使用痕迹的变化：微疤现象可能产生于早期阶段，随后减弱；磨圆和光泽虽然从一开始就会产生，但是在后期阶段终将成为主导^[31]。最近，张晓凌在博士论文中基于实验提出，“破损痕迹是动态变化的，曾经存在的破损微疤有时会在后来的使用过程中被磨蚀而消失不见……而磨圆则是叠加的，随着使用程度的增加，磨圆程度也在不断加强”^[16]。

多阶段实验的图像对比和数据统计表明，和其他动作相比，刮骨产生的使用微痕会随着使用时间长度的递增发生十分复杂的动态变化，但是并非简单的正函数关系。一方面，实验使我们进一步认识，在一定使用时间内，片疤破损形态是微痕观察与分析中重要的、可靠的元素。但是，当微痕形成到一定阶段不再继续产生中大型片疤，磨圆就取而代之成为识别微痕的重要元素。本次实验还表明，正如其他学者预见的那样，当片疤发展到一定程度之后，后生成的片疤会“消灭”（或称“覆盖”更为贴切）已有的使用痕迹^[15]。刮骨行为最终产生的使用痕迹基本特征和其他学者的实验结果类似，之所以不同学者在描述上有细微差别，可能并非错误或偏差，而是由于他们的实验处于不同阶段（即不同使用时间长度），观察到的现象分属不同阶段而已。

表 2 刃缘角和侵入距离的测量结果

Tab.2 Measurement of edge angles and invasiveness

使用单位	标本序号	阶段	刃缘角	侵入距离平均值 (μm)	侵入距离最小值 (μm)	侵入距离最大值 (μm)	标准偏差
EU 1	201	S1	30°	110.6	59.47	193.7	40.85
		S2	35°	110.16	30.58	331.33	73.76
		S3	35°	12.32	9.35	15.29	4.18
EU 2	202	S1	70°	79.87	27.24	173.31	53.59
		S2	77°	61.17	32.28	78.16	18.08
		S3	80°	10	6.52	15.25	2.43
EU 3	204-1	S1	40°	180.28	112.14	271.86	57.57
		S2	45°	131.34	20.39	181.81	54.39
		S3	45°	57.61	10.19	178.41	65.04
EU 4	204-2	S1	50°	163.34	40.78	261.66	75.69
		S2	55°	160	101.1	130.83	34.23
		S3	55°	49.03	10.19	232.78	76.76
EU 5	206	S1	40°	155.98	57.77	293.95	67.02
		S2	45°	136.78	25.49	246.37	76.49
		S3	45°	48.4	22.09	67.96	15.08
EU 6	208-1	S1	52°	95.32	11.89	183.51	54.03
		S2	55°	175.69	71.36	256	79.41
		S3	55°	15.87	11.89	25.54	3.87
EU 7	208-2	S1	60°	114.63	23.79	229.38	69.62
		S2	63°	117.42	68.05	166.51	36.25
		S3	63°	19.84	10.19	86.65	18.83
EU 8	209	S1	45°	102.54	64.57	132.53	18.41
		S2	50°	146.35	101.95	198.8	27.91
		S3	50°	12.32	10.19	15.29	1.77
EU 9	210	S1	70°	273.39	27.95	347.47	88.05
		S2	75°	289.53	207.29	361.92	51.71
		S3	75°	41.49	22.15	78.16	14.86

8 结 论

经过多阶段的实验和数理统计分析，本研究证实使用微痕的形成与发展确实随着使用时间的延长，表现出复杂的动态轨迹。刮骨单一“作用任务（working task）”所产生的使用微痕特征及规律如下：

1) 前期和中期阶段的微痕特征主要表现为片疤破损，且以浅平、卵圆形、羽状终止的大、中、小型片疤为多。钩状和阶梯状终止呈现增长趋势。

2) 后期阶段的微痕特征主要表现为磨圆与光泽，其分布范围与程度都逐渐增加。同时，片疤几乎停止生成。

3) 使用生成的极少量的大型片疤，以羽状终止为多，中、小型片疤则以钩状和阶梯状为多。随着片疤生成速率的降低，新生成片疤的尺寸越来越小，三个阶段累积最终呈现的片疤破损形态以钩状和阶梯状的大、中型片疤为典型。

4) 刃缘角、片疤侵入距离和使用时间长短之间存在相应比例关系。刃缘角一定时，二者成正比关系；工作角一定时，二者也成正比关系。随着使用时间的增长，二者逐渐失去明显的对应关系。

实验研究表明，“刮骨”使用微痕迹随着使用时间长度的递增发生复杂的动态变化，使用微痕的发展与使用时间之间并非简单的正比例关系。片疤破损自开始在一定时间段内呈连续发生状态，随后停止发展，是确认石制品是否经过使用的良好指示。磨圆和光泽虽然不十分明显，但表现出由少到多、由弱及强的逐渐发育过程，可以反映石制品的使用时间和强度。针对“刮骨”动作而言，如果石制品仅仅使用了一段时间，可通过观察片疤破损形态来辨识微痕。但是，当动作进行到一定阶段时，由于不再继续产生中大型片疤，磨圆就取而代之成为识别微痕的重要元素。

使用微痕的形成和发展是复杂的动态过程，是从考古标本中无法获得的信息。多阶段的实验和图像处理，无疑是了解使用微痕发展轨迹的有效手段，也是解释其发生机制的途径之一。考古标本上的微痕远比想象的更为复杂，分阶段实验及其结果将为我们提供微痕形成全过程的参照数据与图像，因此，本实验有助于观察者在实际分析中辨认出处于不同使用程度或使用阶段的微痕，特别是减少对不明显微痕的误读或遗漏。作为微痕研究的新方向和新尝试，本实验也为了解石制品的多功能使用痕迹提供了新的思路。

同时，本研究仅限于单一动作和单一加工材料，分析结果具有一定的局限性。鉴于多元化的考古标本和千差万别的史前人类适应方式，结论是否可以类推至其他动作或加工材料，以及如何应用于考古标本的观察和研究，还有待进一步的实验工作和数理分析。随着视野的拓宽和标准的完善，相信微痕研究将为阐释史前人类的适应行为提供更多的依据。

致谢：谨以此文纪念 George H Odell 教授在微痕研究领域的卓越贡献。对复旦大学陈淳教授提出的宝贵意见致以谢意。

参考文献

- [1] Semenov SA (translated by Thompson MW). Prehistoric Technology: An Experimental Study of the Oldest Tools and Artifacts from Traces of Manufacture and Wear [M]. London: Cory, Adams & Mackay, 1964
- [2] Greenwell W. Notices of the examination of ancient grave-hills in the North Riding of Yorkshire [J]. Archaeological Journal, 1865, 22: 95-105
- [3] Evans J. The Ancient Stone Implements, Weapons and Ornaments of Great Britain [M]. London: Longmans, Green, Reader and Dyer, 1872
- [4] Barnes AS. Modes of prehension of some forms of Upper Paleolithic implements [J]. Proceedings of the Prehistoric Society of East Anglia, 1932, 7: 43-56
- [5] Spurrell FCJ. Notes on early sickles [J]. Archaeological Journal, 1892, 49: 53-59
- [6] Curwen EC. Prehistoric flint sickles [J]. Antiquity, 1930, 9: 62-66
- [7] Curwen EC. Agriculture and the flint sickle in Palestine [J]. Antiquity, 1935, 9: 62-66
- [8] Keeley LH. Experimental Determination of Stone Tool Uses [M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1980
- [9] Odell GH. The Application of Micro-wear Analysis to the Lithic Component of an Entire Prehistoric Settlement: Methods, Problems and Functional Reconstructions [D]. Ann Arbor: Dissertation, Department of Anthropology, Harvard University, 1977
- [10] Kamminga J. Over the Edge: Functional Analysis of Australian Stone Tools [A]. Anthropology Museum, University of Queensland, Occasional Papers in Anthropology No. 12, 1982
- [11] Tringham R, Cooper G, Odell G, Voytek B, Whitman A. Experimentation in the formation of edge damage: A new approach to lithic analysis [J]. Journal of Field Archaeology, 1974, 1: 171-196
- [12] Lerner H, Du X, Costopoulos A, Ostoja-Starzewski M. Lithic raw material physical properties and use-wear accrual [J]. Journal of Archaeological Science, 2007, 34(5): 711-722
- [13] 高星, 沈辰 (主编). 石器微痕分析的考古学实验研究 [C]. 北京: 科学出版社, 2008
- [14] 曲彤丽, 梅惠杰, 张双权. 骨质加工对象实验与微痕分析报告 [A]. 见: 高星, 沈辰 (主编). 石器微痕分析的考古学实验研究 [C]. 北京: 科学出版社, 2008: 61-82
- [15] 谢礼晔, 李意愿, 王强, 等. 钻孔运动方式实验与微痕分析报告 [A]. 见: 高星, 沈辰 (主编). 石器微痕分析的考古学实验研究 [C]. 北京: 科学出版社, 2008, 107-144
- [16] 张晓凌. 石器功能与人类适应行为: 虎头梁遗址石制品微痕分析 [D]. 北京: 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 2009
- [17] Shen C. The lithic production system of the Princess Point Complex during the transition to agriculture in Southwestern Ontario, Canada [M]. Oxford: BAR International Series 991, 2001
- [18] Fox WA. Southern Ontario chert sources [A]. Paper presented at the Canadian Archaeological Association Meeting, Quebec City, 1978
- [19] Knudson R. Organizational Variability in Lake Paleo-Indian Assemblages [M]. Seattle: Washington DC, 1973: 17
- [20] Knudson R. Inference and imposition in lithic analysis [A]. In: Hayden B (Ed). Lithic Use-wear Analysis [C]. London: Academic Press, 1979: 269-281
- [21] Odell GH. A new improved system for the retrieval of functional information from microscopic observations of chipped stone tools [A]. In: Hayden B (Eds). Lithic Use-wear Analysis [C]. London: Academic Press, 1979: 329-344
- [22] Odell GH. Toward a more behavioral approach to archaeological lithic concentrations [J]. American Antiquity, 1980, 45: 404-431
- [23] 陈虹, 陈淳. 微痕分析中的使用单位与使用部位 [N]. 中国文物报, 2009年8月7日, 第7版
- [24] Odell GH. Stone Tools and Mobility in the Illinois Valley: From Hunter-Gatherer Camps to Agricultural Villages [M]. Michigan: International Monographs in Prehistory, 1996
- [25] Ho Ho Committee. The Ho Ho classification and nomenclature committee report. In: Hayden B (Ed). Lithic Use-wear Analysis [C]. London: Academic Press, 1979: 133-135
- [26] Hayden B, Kamminga J. An introduction to use-wear: The first clue [A]. In: Hayden B (Ed). Lithic Use-wear Analysis [C]. London: Academic Press, 1979: 1-13
- [27] Lawrence RA. Experimental evidence for the significance of attributes used in edge-damage analysis. In: Hayden B (Ed). Lithic Use-wear Analysis [C]. London: Academic Press. 1979: 113-122
- [28] 侯亚梅. 考古标本微磨痕初步研究 [J]. 人类学学报, 1992, 4: 202-213
- [29] 夏竞峰. 燧石刮削器的微痕观察 [J]. 中国历史博物馆馆刊, 1995, 1: 22-42, 128
- [30] 张晓凌, 王春雪, 张乐, 等. 刮削运动方式实验与微痕分析报告 [A]. 见: 高星, 沈辰 (主编). 石器微痕分析的考古学实验研究 [C]. 北京: 科学出版社, 2008: 83-106

- [31] Schiffer MB. The place of lithic use-wear studies in behavioral archaeology [A]. In: Hayden B (Ed). *Lithic Use-wear Analysis* [C]. London: Academic Press, 1979: 15-25

Experimental Study of Lithic Use-wear Multi-stage Formation

CHEN Hong¹, ZHANG Xiao-ling², Chen SHEN^{2,3}

(1. Department of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University, Hangzhou 310028; 2. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 3. Canada Royal Ontario Museum, Toronto M5S2C6)

Abstract: Use-wear analysis has become an essential method for functional study of lithic artifacts from archaeological assemblages, however study of use-wear multi-stage formation is poorly developed. In this paper, we report on an experimental study focusing on scarring patterns and rounding/polish formation found in multiple stages. The paper starts with an extensive review of use-wear experiments. The objective of this experiment is to understand the formation of use-wear in scarring patterns as well as development of rounding and polish. For comparison, nine cases of single working tasks were undertaken on bone scraped with Onondaga chert. Each case was observed in three different working stages, S1 represents the first three minutes, S2 the next six to nine minutes, and S3 working for an additional 12 minutes. Thus all nine scraping bones were worked a total of 21 minutes. Appearance of attributed scarring and abrasion were observed separately in each stage and a photomicrograph was taken and compared for the visual of changing trajectory of use-wear formation.

This experiment clearly demonstrates that scarring formation does not correspond to rate of usage over time, thus formation of scarring pattern and rounding become diagnostic attributes for use-wear observation, at least for scraping bone in this case. Scarring fractures occur most frequently in early stages (S1 and S2). At the later stage (S3) scarring fractures stopped developing while rounding and polish steady grew to be apparent. This study also examines the changing trajectory of the rate of scarring invasiveness and length of use. The results are informative as they suggest that invasiveness grew as use time extended at a given working angle. This experiment provides detailed data on how use-wear scarring and rounding/polish are formed, as well as relationships between various attributes related to scarring patterns over the multi-stage observations of use-wear experiments, which offers lines of inquiries for future study.

Keywords: Use-wear; Experimental studies; Multi-stage formation; Scarring patterns; Rounding