



ZIBELINE INTERNATIONAL™

ISSN: XXXX-XXXX (Print)

E-ISSN: 2976-2421 (Online)

CODEN: XXXXXX

JOURNAL OF ROCK ART  
(JRA)DOI: <http://doi.org/10.65098/jra.01.2022.65.72>

## REVIEW ARTICLE

## 摩擦学在旧石器艺术研究中的作用

(澳) 罗伯特·G·贝德纳利克<sup>1\*</sup> 著, 夏瑞奇<sup>2</sup> 译<sup>1</sup>河北师范大学国际岩画断代中心、国际岩画组织联合会, 墨尔本 澳大利亚<sup>2</sup>南京师范大学文博系, 南京 210097, 中国

\*通讯作者邮箱: robertbednarik@hotmail.com

This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## ARTICLE DETAILS

## Article History:

Received 3 August 2022

Accepted 14 October 2022

Available online 18 October 2022

## ABSTRACT

摩擦学是研究相对运动中物体表面相互作用的科学, 是用科学手段解读岩画和可移动旧石器艺术的基础, 但它在应用层面几乎完全被忽略。本文简要总结了在旧石器艺术方面开展的摩擦学工作, 并举例论证了该科学方法的价值, 但没有涉及其学科。本文重点介绍了岩画的接触力学和所涉及的压缩-拉伸原理。岩画的摩擦学也被用于区分人为的与其它的岩石标记。

关键词

岩画, 考古摩擦学, 摩擦, 敲击, 接触力学

## 1. 绪论

对古代艺术品表面雕刻或磨损的物理痕迹进行系统的分析研究, 当然不是一个新的课题, 但它还未正式成为摩擦学的一个分支学科。人们对这一专业课题进行了各种探索——有些不过是轶事, 有些则是相当持久并富有成效的努力 (例如马沙克 (Marshack) 1964, 1970, 1972a, 1972b, 1985, 1989a, 1991; 贝德纳利克 (Bednarik) 1986, 1987/88, 1991a; 埃里克 (d'Errico) 1987, 1988; 1989a, 1989b, 1989c; 埃里克 (d'Errico) 和卡乔 (Cacho) 1994)。这些项目大多只涉及便携式物品, 特别是石头、骨头和象牙质地的雕刻牌匾, 而相关技术在岩画中的应用几乎完全被忽视了。这可以用一个简单的因素来解释: 在岩画研究中, 显微镜这一主要技术的使用仍然非常匮乏。因为扫描电子显微镜设备难以携带, 它在本质上也就局限于便携式标本的应用。即使是双目光学显微镜, 也几乎给所有的从业者带来了挑战, 它在不可移动的旧石器艺术方面的应用仍然仅限于少数例外。经过适当改造的设备应用并不广泛, 而且这种技术对山洞或偏远地区的物流方面要求很高。然而, 随着数字显微镜的逐渐出现, 这些传统的困难已经有所减少, 但对于特定的应用, 双目光学显微镜的使用仍是必要的。

本文试图在阐明摩擦学在旧石器艺术研究中的优势之外, 同时还提供一种正式的程序方法, 如果要使研究成果具有普适性, 这些程序就非常需要标准化。虽然从某种意义上说, 埃里克 (d'Errico) 的工作以马沙克 (Marshack) 的模型为蓝本 (他正试图检验这一模型), 但似乎可以说, 我们迄今为止在这一领域的努力是个人的开拓性努力, 基本上是孤立进行的。建立标准程序定会使得这一领域的未来研究受益, 此举也有利于为旧石器艺术研究提供一个更好的科学基础。

摩擦学, 就其本身而言, 自20世纪60年代建立以来, 一直专注于摩擦、机械、磨损和润滑 (约斯特 (Jost) 1966)。作为研究相建立标准程序定会使得这一领域的未来研究受益, 此举也有利于为旧石器艺术研究提供一个更好的科学基础。

对运动中物体表面的相互作用的科学, 它已经扩展到许多深层的、有经济价值的领域。这些领域包括微电子机械和纳米电子机械系统、生物医学和可替代能源。对分子乃至原子级探头扫描技术的深入研究, 促使了药物输送系统、分子筛、化学和生物探测器、芯片系统、纳米颗粒增强材料和新一代激光器的发展。相比之下, 市场化程度较低的领域, 如地质学则被忽视了, 而考古摩擦学作为一个研究课题直到最近才被引入 (贝德纳利克 (Bednarik) 2019a, 2020)。所有更新世的考古文物考证方法都来自对其摩擦学过程的分析, 全新世的许多文物也是如此。同样, 岩画和旧石器艺术的考证一般也完全归功于摩擦学。

旧石器艺术摩擦学作为摩擦学的一个分支学科, 可以追溯到法医科学, 例如将发射的弹丸归于特定的枪支等技术, 在20世纪的大部分时间里一直是法医科学的核心内容。然而, 与岩画研究明显相关的法医调查方法 (贝德纳利克 (Bednarik) 2001, 2016a; 蒙特利 (Montelle) 2009; 贝德纳利克 (Bednarik) 和蒙特利 (Montelle) 2016) 也一直未得到充分利用。但是, 正如枪管的某些特征可以从子弹上的标记中发现一样, 那些用于刻画或雕刻岩石标记的工具也可能留下明显的痕迹。对它们进行科学研究是摩擦学的任务。

## 2. 雕刻的饰牌

这里总结的方法在谢苗诺夫 (Semenov) (1957, 1964, 1968, 1970, 1974) 重要的先驱工作中有所体现, 他引入了系统的人工制品和微磨损分析。然而, 苏联的方法在西方往往不受欢迎, 甚至在1964年, 出版了一本内容详实、图文并茂的书后, 谢苗诺夫 (Semenov) (在1930年代所做的努力仍然被忽视。一个复杂的问题是, 这本书只包含了他所使用的技术的少量细节, 而西方研究人员则大量使用了放大法 (特林汉姆 (Tringham) 等人, 1974)。这反映了该书作者在介绍微腐蚀分析时的经历 (贝德纳利克 (Bednarik) 1992a): 评论家们试图用扫描电子显微镜来复制, 结果报告说他们看不到微腐蚀。化石埋藏学的重要领域提供了另一个苏联的例子: 它由叶夫列莫夫 (Efremov)

## Quick Response Code



## Access this article online

## Website

<https://volksonpress.com/journal/jra/>

## DOI:

10.65098/jra.01.2022.65.72

(1940) 在古生物化石学中提出, 西方花了近四十年的时间来应用, 然后迅速地把它误解为了行为古生物学, 而这正是叶夫列莫夫 (Efremov) 试图取代的 (所罗门 1990)。人们花了半个世纪才发现化石埋藏学理论在古生物学之外还有许多应用 (希斯科克 (Hiscock) 1990; 贝德纳利克 (Bednarik) 1990-91), 而化石埋藏学的逻辑要义 (贝德纳利克 (Bednarik) 1994a) 直到今天仍然被广泛误解。

谢苗诺夫 (Semenov) 很大程度上依赖于标本的显微镜观察 (谢苗诺夫 (Semenov) 1964: 22-23)。他将所有的现象都描述为摩擦学, 并且他是一位比该学科建立的时间还要早很多年的摩擦学专家。他使用的林尼克型干涉仪至今仍在摩擦学中使用, 便是最有力的证明。1977年不列颠哥伦比亚省本那比举行的一次会议上首次提到了摩擦学的考古应用概念 (海登 (Hayden) 1979), 但多年来一直没有发展。亚历山大·马沙克 (Marshack) 采用了近乎摩擦学的方法来雕刻饰牌, 特别是那些欧洲更新世末的饰牌。他提出的具体研究问题成为他的研究动力, 比如旧石器时代晚期的人可能在其象征系统中使用符号。例如, 马沙克对可能会以雕刻形式记录月相流逝的物品很感兴趣。无论他试图澄清的问题的答案是什么, 关键在于他意识到了显微镜的重要性并引入了它。他这样做是为了明确一些饰牌上的雕刻刻痕是怎样精确制作的, 例如, 以何种顺序, 以何种方向, 重建雕刻的程序。他反复强调, 依靠“简单的目测”得出的解释是徒劳的 (例如, 马沙克 (Marshack) 1985)。在处理骨质、石质和象牙旧石器艺术饰牌及其它物品时, 马沙克 (Marshack) 认为, 工具的使用方向、沟槽的重叠扩孔、一组相交沟槽的叠加顺序及其它细节都可以通过双目显微镜来确定。

埃里克 (D'Errico) 检验了马沙克 (Marshack) 的一些主张, 例如他关于以色列贝列卡特蓝 (Berekhat Ram) 石器上人为性的摩擦痕迹的声明 (葛伦英巴 (Goren-Inbar) 1986; 马沙克 (Marshack) 1997; 埃里克 (D'Errico) 和诺维尔 (Nowell) 2000), 以及马沙克 (Marshack) 关于某些旧石器时代晚期物品的人为符号特征的主张 (例如马沙克 (Marshack) 1972c, 1989b; 埃里克 (d'Errico) 1989b, 1989c; 埃里克 (d'Errico) 和卡乔 (Cacho) 1994)。埃里克的工作标志着马沙克 (Marshack) 所概述的方法的标准化, 特别是在观察的图形记录方面的标准化 (埃里克 (d'Errico) 1991)。尽管他最终同意了马沙克 (Marshack) 关于饰牌上一系列雕刻标记的符号性质的观点, 但两位作者在这个问题上都是错误的 (贝德纳利克 (Bednarik) 1991a)。这个问题取决于不同的石制工具造成不同的敲击点, 这些敲击点可能是在不同的时间产生的。这与两位作者的观点都相反, 这是不可能的, 因为一个石尖会产生不同的条纹和沟槽截面, 这取决于它的精确程度和应用方向。如果工具在其主轴上稍作旋转, 其产生的包括沟槽宽度在内的特征, 都会有很大不同, 显然是不同的工具。即使施加的压力、工具的角度和其它变量都相同, 情况也是如此。石材工具点很少是等效对称的, 或者从各个侧面看都是统一的轮廓。

尽管马沙克 (Marshack) 和埃里克 (d'Errico) 都在应用摩擦学的一些原理, 但他们声称不了解该学科, 甚至可能不知道它的存在。相反, 他们提出了一个“痕迹学”的领域, 这个术语相当宽泛地指使用-磨损, 即在器具上发现的与使用有关的磨损痕迹 (奥德尔 (Odell) 2004; 托马斯等人, 2011)。将这一术语扩展到可移动的旧石器艺术物品上的刻意标记就会掩盖一些问题, 因为摩擦学, 这一与这些现象有关的科学学科, 已经将痕迹学定义为一种特殊的东西。

澳大利亚西南部魔鬼穴 (Devil's Lair) 的六块平坦的风化钙质鹅卵石的例子说明了雕刻饰牌研究中最基本的问题 (多奇 (Dortch) 1976, 1979a, 1979b, 1984; 多奇 (Dortch and Dortch) 1996)。它除了指出人为标记和非人为标记的区分, 也与岩画研究广泛相关。这些标本上的标记, 二十多年来一直被描述为有意的雕刻, 最终通过摩擦学方法进行了调查 (贝德纳利克 (Bednarik) 1998a)。在这些岩石碎片上的数百条沟槽中, 没有发现一条是由石器造成的。此外, 甚至被认为是石雕痕迹的都很少。这些标记缺乏诸如纵向条纹、寄生虫纹、沟槽直纹等特征 (贝德纳利克 (Bednarik) 1992b, 1994b; 埃里克 (d'Errico) 1994)。有几个凹槽是两个不同物种的爪痕 (贝德纳利克 (Bednarik) 1991b), 其它的则是各种类型的化石埋藏学痕迹, 或者来自于现代的破坏, 例如用来清洁物品的牙刷。

在考古学中, 尤其是在岩石上, 经常会遇到区分人为和自然标记的一般问题, 但也包括其它材料上的标记 (贝德纳利克 (Bednarik) 1998b), 在大多数情况下可以通过摩擦学解决。作为摩擦学的特征, 绝大多数的标记是由还原过程产生的表面标记。值得注意的例外是那些由化学反应引起的, 例如, 由菌根微生物呼吸的二氧化碳形成的碳酸。

### 3. 珠子和吊坠

在考古学研究中, 特别是研究更新世的珠子和吊坠时, 也涉及一些摩擦学方面的问题。一些制造过程中需要磨损的珠子尤其是圆盘珠, 如鸵鸟蛋壳、软体动物壳或类似材料。大多数早期的珠子和吊坠的穿孔是通过钻孔、扩孔或穿刺形成的, 这显然是相对运动的表面相互作用的结果。特定的磨损模式——另一个纯粹的摩擦学效应——可以从穿在皮肤上和与服装摩擦的物品上发现。更具体地说, 排列在绳子上的珠子已被证明具有独特的磨损痕迹 (贝德纳利克 (Bednarik) 2005)。在圆盘珠子的情况下, 其平坦的一面与相邻的珠子会产生摩擦 (葛伦英巴 (Goren-Inbar) 等人, 1991年), 而球形珠子可能在其穿孔周围出现广泛的凹陷磨损 (图1)。

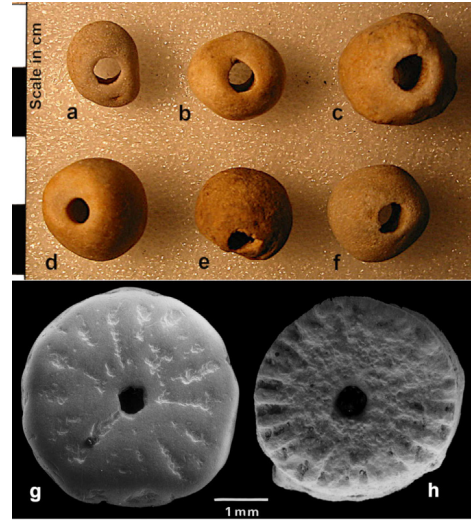


图1 六颗阿舍利时期的球状孢子菌珠子, 显示出隧道口不同程度的磨损, 包括主要的不对称的凹形磨损面 (b, d); 以及两颗阿舍利时期的海百合化石 (g, h, 注意g的严重磨损; g和h由葛伦英巴提供)

珠子, 尤其是吊坠, 有穿绳的痕迹, 是比较常见的, 特别是在保存状况良好的标本上。它们可能被长期佩戴过。如果重心不与穿孔重合, 即当它们是吊坠时而不是珠子, 弦的最突出的磨损痕迹会出现在离重心最远的孔一侧。有时在该位置会单独出现明显的凹槽, 甚至最多四组, 绳子固定在特定位置 (图2)。在魔鬼穴的一个小型泥灰岩物体的案例中, 人们一直怀疑它是一件吊坠, 当对该石头进行摩擦学研究, 发现了一系列的四个凹槽时, 这一预感得到了决定性的证实, 不可否认的是这是由悬挂绳造成的 (贝德纳利克 (Bednarik) 1997a)。它们中的大多数都很浅, 而且宽度变化很大, 但有一个沟槽在直径为225微米的截面上是很圆的。这似乎表明了悬挂绳的大致直径, 比我们想象中要细得多。这件物品的年龄大约为15000年, 是已知的澳大利亚最古老的石头挂件。

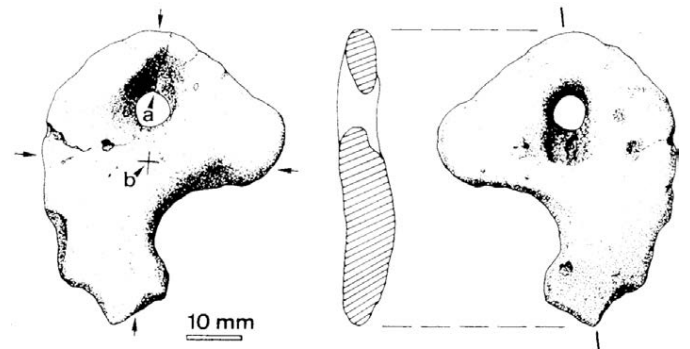


图2 澳大利亚西部的魔鬼穴最后更新世的泥灰岩吊坠。(a) 四个凹槽; (b) 重心。

比这更早的是利比亚El Greifa (利比亚的绿洲) 遗址E的旧石器时代早期的鸵鸟蛋壳珠子, 大约有20万年的历史 (贝德纳利克 (Bednarik) 1997b), 或者是在南非的卡图潘 (Kathu Pan), 可追溯到约29万年前 (博蒙特 (Beaumont) 1990; 波拉特 (Porat) 等人 2010)。鸵鸟蛋壳制成的圆盘珠提供了考古学中最多的古代珠子。它们不仅出现在中石器时代的一些遗址中, 也出现在从非洲到西伯利亚的后石器时代或旧石器时代晚期的大量的遗址中 (贝德纳利克 (Bednarik) 2017)。他们的研究在很大程度上是摩擦学

的关注点，正如我们广泛的复制实验所证明的那样（贝德纳利克（Bednarik）1997b）。事实上，复制性实验是所有考古学的重要组成部分（贝德纳利克（Bednarik）2020）。从1990年到1996年，我们进行了大量的实验，以查明用石器生产鸵鸟蛋壳珠子所涉及的技术要素，特别是还原和钻探的过程、及其痕迹和废品的情况。这项研究发现旧石器时代早期的鸵鸟蛋壳珠实际上是最小的。由于使用石钻，中心孔的直径不能小于1.4至2.0毫米，当接近6毫米的外径时，珠子的脆弱性成倍增加。来自利比亚(Libya)的阿舍利珠子大小约为6毫米，中央有完美的穿孔，这意味着制作者有强烈的完美意识。用阿舍利的石器进行复制，并且没有使用海舍技术(邓恩（Dunn）1931； 克拉克（Clark）1959)证明了这点，这为有关人类的认知状态的研究提供了重要证据（贝德纳利克（Bednarik）1997b）再次显示了摩擦学对考古学解释的重要性。

下一个例子也许能更好地证明这一重要性。珠子的主要意义在于，它们蕴含着制造和使用它们的人类的认知发展水平的信息。因此，我们拥有的最早例子对解释人类的过去具有特别的价值。珠子和吊坠需要几个认知的前提条件，如自我意识和思维理论的状态。它们不能孤立地存在，其作用必须在文化上构建，且使用需要共同的意义。即使假设它们只是被认为“有吸引力”，吸引力的概念也只能通过文化共识产生。我们所知道的最早的珠子可能是法国和英国北部的一系列阿舍利遗址中的球形石珠。在法国和英国北部的阿丘利人遗址中发现的。布歇·德·贝尔特（Boucher de Perthes）（1846年）和其它三个人在19世纪时首次报告了这一点。这些珠子是由白垩纪海绵动物球形孢子虫的化石组成的菲利普斯1829年。一种寄生虫使它们部分穿孔。阿舍利人收集到了呈现完全球形的特定尺寸的珠子。只有大约0.1%的天然样本在这个范围内（贝德纳利克（Bednarik）2005）。因此，不可能找到具有特定尺寸范围、球状和具有渗透性的化石的自然堆积物。此外，这些珠子显示出了两种类型的摩擦学效应。首先，在它们可以被用作珠子之前，必须形成它们的天然孔道的第二个开口（图3）。不管这个过程是怎样的，它是摩擦学的作用。

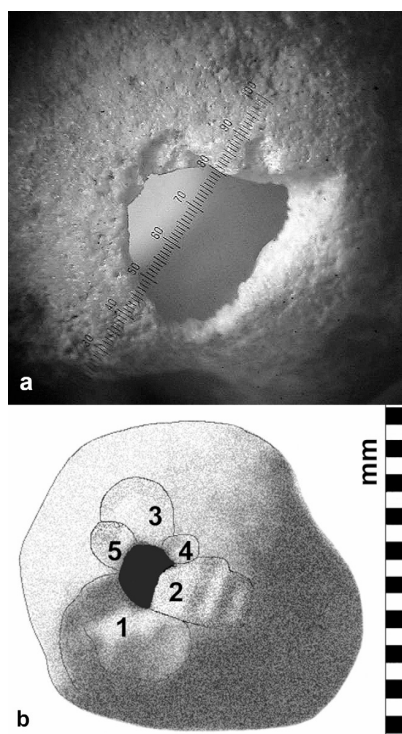


图3 (a)人工放大的贝德福德-阿舍利珠的孔口显微照片。(b)贝德福德-阿舍利珠其中一个隧道先前封闭一端的片状疤痕。注意2号疤痕中典型的冲击性断裂的波纹。

其次，一旦这些珠子被串在绳子上并佩戴，它们就会与相邻的两个珠子摩擦，经过很长一段时间，孔道入口周围开始形成凹陷的磨损面。在极端的情况下，这些珠子可能被磨损得更厉害，更甚失去其约一半的体积。我们可以认为这样的标本是世代相传和重复使用的。在这一点上，摩擦学分析的重要性就凸显出来了，因为这种看似微小的细节可以告诉我们有关人类的很多情况。如果珠子确实被佩戴了足够长的时间来形成如此深的凹陷，这不仅说明它们被高度重视；还意味着有关社会拥有传统考古学所无法想象的复杂的社会结构。所以这个例子说明了严谨的科学是如何检验人类的先入之见的。

如果互相摩擦的珠子具有相同的硬度，则它们不能产生任何的磨损。要做到这一点，必须要有更硬的研磨介质存在，推测可能是空气中的石英粉尘。需要注意的是，这些珠子是玉髓的，摩氏硬度为6.5-7.0。石英的硬度为7.0，几乎无法磨损石珠。这一点可以通过在实验室中对这些化石模型中的两个进行机械磨损来测试，以观察在有少量石英粉尘存在的情况下，需要多长时间才能获得所述的磨损。在此我们提出，这些石珠中有些是代代相传的(图4)。

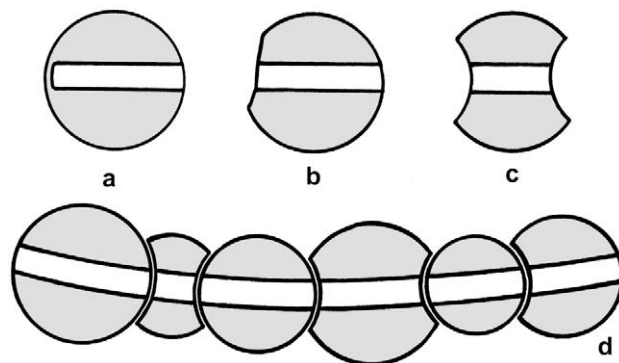


图4 (a) 人类活动前的初始化的石剖面；(b) 剥落以打开第二个隧道入口(c)；多年来与其他更新鲜的珠子摩擦造成的严重磨损；以及(d) 串在一起的不同年代的珠子，有些已经磨损了很长时间。

社会性的和其它的标志物，包括珠子和吊坠，不仅用蛋壳和海绵化石制作，还用腹足动物或软体动物的壳、石灰石或泥灰岩、片岩、滑石、硬石、牙齿、骨骼、鹿角、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、贝褐碳、贝雷蒙石化石、珊瑚化石、当代和淡水贝类化石标本以及象牙制成。一项观察结果为该记录的埋藏学失真提供了线索，即俄罗斯斯特莱茨基人的一处遗址出土了更多的珠子，这是一个具有独特的旧石器时代中期根源的旧石器时代晚期的较早阶段的传统，仅从三个墓葬中发现的珠子数量就比世界上其它旧石器时代的地方多。在索米尔的三座墓葬，也许是在28 ka 的历史（但很可能更早），出土了13113个微小的、精心制作的象牙珠和250多个穿孔的狐狸牙齿（Bader 1978）。据报道在法国(阿布里布兰查德、卡斯塔内特、苏盖特、伊斯图里茨、圣让德韦尔日)、德国(例如盖森科罗斯特勒)、比利时(Spy 戈耶特)和保加利亚(胡布林等。2020)也出现了奥里纳西亚的象牙珠子。同时俄罗斯则从其它传统中提供了类似的证据，证明了从旧石器中期到旧石器晚期的生产方式的过渡（桑吉尔·科斯基）。怀特（White 1992）描述了很多这种珠子和它们的生产序列。贝壳珠是在许多地区发现的最早的“装饰品”之一，包括印度（弗朗西斯 1981: 140）、中国（Cheng 1959: 31）、澳大利亚（莫尔斯 1993）、南非（亨舍伍德等2004）、摩洛哥（布组加尔等2007）和阿尔及利亚（麦克布雷蒂和布鲁克斯 2000）。欧洲最早的吊坠之一，来自尼安德特人的夏特佩罗尼亚（Châtelperronian），甚至是由贝壳的化石铸成的（贝德纳利克（Bednarik）1995: 图6）。俄罗斯（如科斯坦基17）、中国和日本（贝德纳利克（Bednarik）1994c）都有更新世的石珠的报道。摩擦学的过程产生了这些冰河时代成千上万的珠子，因此对它们进行有效的科学研究是由摩擦学学科来完成的。

#### 4.其它便携式物品

除了雕刻的饰牌、珠子和吊坠，具有移动性的旧石器艺术还包括许多其它种类，其中一些往往在没有摩擦学分析的情况下被曲解。例如，鸵鸟蛋壳被认为是许多非洲和亚洲社会使用的容器，通常都有雕刻的装饰。然而，蛋壳上的线纹也可能是由其它几个媒介造成的。其中之一是受到菌根微生物呼出的二氧化碳的碳酸的影响，这些植物的细根在沉积物中与蛋壳标本接触。（贝德纳利克（Bednarik）1993）。所产生的凹槽被误认为是刻痕。例如，在印度，考古学家定义为带有雕刻痕迹的46个鸵鸟蛋壳碎片中，实际上只有一个雕刻的，即伯特涅的标本。在象牙、骨、牙齿、鹿角和石灰石等埋藏物上也可以发现菌类的线状痕迹（贝德纳利克（Bednarik）1992c）。识别它们是摩擦学的任务，其重点是研究雕刻工具的粗糙程度对三层蛋壳最外层的影响（贝德纳利克（Bednarik）2001: 图70）。

许多材料似乎都带有故意雕刻的标记或有规律的边缘缺口，包括骨、象牙、琥珀、牙齿和软体动物外壳。摩擦学分析倾向于准确识别它们，并严格评估其所具有的特征。例如，骨头上的切口争议就说明了科学方法的需求。它们可能具有含义（即构成外印），它们可能是脱肉的痕迹，或者它们可能只是归因于几种自然原因之一（埋藏学、啃咬痕迹、胃酸）。与上述情况一样，由于许多考古材料的保存状况，使正确确定这些痕迹的问题变得更加棘手，这大大增加了误认的

可能性。

另一类便携式旧石器艺术品——小型雕像，也是通过摩擦学过程创造的，其痕迹可以告诉我们这些物品的制造情况。在我们所掌握的少量的较早的“原俑”的例子中，这一点变得尤为突出，因为只有弄清楚它们的修饰性质，才能识别它们。像以色列贝列卡特盖(葛伦伦巴(Goren-Inbar) 1986)或坦坦(贝德纳利克(Bednarik) 2003)这样的阿舍利原型塑像是自然形状的石头，都带有摩擦学的标记，包括在第二个案例中发现了以前的赤铁矿涂层痕迹。对它们的分析和鉴定也是摩擦学的任务。

某些形式的证据通常包含在“旧石器艺术”保护伞下，不涉及摩擦学研究。它们包括无标记的人造物品，如水晶、视觉上类似其它事物的自然形状物体(例如来自马卡潘斯盖(Makapansgat)的“头”或来自艾佛德(Erfoud)的“阴茎”;贝德纳利克(Bednarik) 2017:图2和图4)，甚至是颜色或形状不寻常的石头，以及矿物颜料(尽管后者可能带有类工作的痕迹，这与摩擦学有关)。要想成为人力搬运的自然物体它们必须被搬运一段距离，即这些物品的材料须是在发现它们的占领区沉积物中不是自然天成的。

## 5.岩画

长期以来，研究人员，特别是欧洲和澳大利亚的研究人员，对洞穴中的动物抓痕、人为的线性雕刻和顶板指状物之间的区别感到困惑(沃尔什(Walsh) 1964; 哈勒姆(Hallam) 1971; 夏普与夏普(Sharpe and Sharpe) 1976; 冈恩(Gunn) 1986; 见贝德纳利克(Bednarik) 1991b, 1994b, 1998a)。现在，五个地区(西南欧、奥地利、澳大利亚、新几内亚和伊斯帕尼奥拉岛)都有关于指状凹槽的报道(数字沟槽,手指凹槽,手指纹,沟槽),但毫无疑问,其它地方也有。它们是石灰岩洞穴中特有的,在被称为月乳石的极软的方解石沉淀物上,有几组被伸出的手指扫过表面的痕迹(贝德纳利克(Bednarik) 1984, 1985, 1986)。在特定的保存条件下,这些多沟槽的标记会因钙化和干燥而变硬,其最细节的部分可能会在洞穴的稳定气候中保存下来(贝德纳利克(Bednarik) 1998c, 1999)。尽管有时也会发现两根或单根手指的凹槽组合,大多数的指状凹槽通常是三或四根手指。它们以单组的形式出现,也存在大量的堆积物,面积达几十平方米。指槽很适合进行摩擦学分析,尤其是那些保存良好的指槽。这对研究早期人类的认知和行为具有重要意义,因为指状物是已知的最早的岩画形式之一。我们可以对其制作过程进行生物动力学观察,研究粘滞现象和横向撕裂痕迹,以及反映收获的谷物的粗糙程度的纵向条纹,以及被挤压到凹槽边缘形成“卷曲”的月乳。上述这些和其它摩擦学现象使我们能够对手指的运动方向、压力和动力以及它们的大小进行许多观察。

研究石灰岩洞穴中的指状物、线性雕刻和动物抓痕,必须非常详细地了解其介质可能遭受的自然变化。重新沉淀的碳酸盐岩浆的软性沉积物经常暴露在以下几种类型的形态变化中:

- 腐蚀可以去除一些表皮,导致逐渐变粗。
- 洞穴堆积物的表皮覆盖了标记,但很好地保存了它们的轮廓。
- 厚厚的洞穴表皮掩盖了手指的凹槽,导致它们看起来像狭窄的凹槽。
- 介质逐渐被溶解,暴露出原生岩石。
- 珊瑚状的洞穴堆积物有选择地在沟槽之间的脊上形成。

这些都不是摩擦学问题,但在评估这类现象时则需彻底了解相关问题。摩擦学与洞壁上的磨蚀性石器标记关系密切。其刻痕的诊断特征往往比在同一洞穴中经常发现的指状刻痕表现得更清楚。然而,在试图识别同一工具的多种用途时,需要重申上面解释的限定条件。只有在相对于工具运动的方向相同的情况下,工具点的凸起才能产生相同的条纹图案(贝德纳利克(Bednarik) 1991a)。压力可以从该点上分离出微碎片,改变其表面的微观形貌。因此,摩擦学能够识别用同一工具制作的多个雕刻,但不能确定不同的图案是否由于使用了不同的工具。

20世纪80年代,对澳大利亚几个洞穴的工具痕迹进行了首次摩擦学分析,特别是在宁科尔(Nung-kol)和曼杜拉(Mandurah)洞穴(贝德纳利克(Bednarik) 1987/88, 1992b)。图5说明了一种尝试,以确定特定工具的重复应用,确定其工具点的切向应用的横截面,并确定一个面板中所有标记的相对顺序。所记录的条纹图案的复制表明,这些标记是用当地风化石灰岩的碎块制作的,而附近的另一块面板是用当地

的燧石制作的。

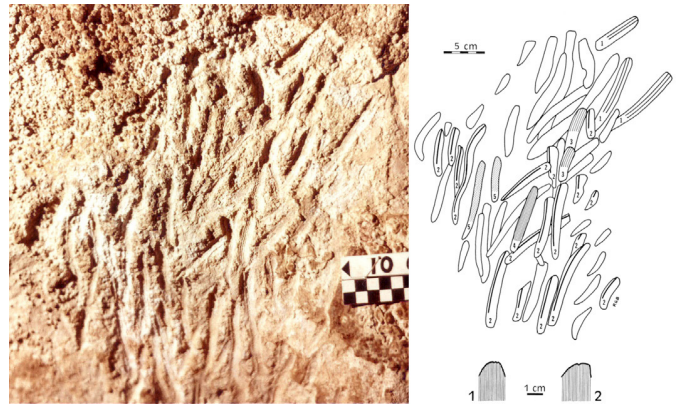


图5 澳大利亚南部宁科尔洞前软壁沉积物上的一小块工具标记的生产顺序的摩擦学重建。在保留有条纹图案的地方,已经确定了五个工具点,编号为1-5。两个工具尖的横截面已经确定,如下图所示(1号和2号工具)

多数形式的岩画的摩擦学研究尚未开始(贝德纳利克(Bednarik) 2016b),但其中一类岩画已经受到了关注(贝德纳利克(Bednarik) 2015)。凹穴是世界上最多的岩画图案,起源于旧石器时代早期到现在的众多文化。需要对它们进行摩擦学分析的原因之一是它们经常与自然现象相混淆,如坑洞(地质摩擦学的一种现象)或溶液效应。凹穴通常是球形帽或圆顶的形状,大多是由敲击产生(贝德纳利克(Bednarik) 2008)。所用的石锤在一些遗址中已经被找到,并且也对它们进行了摩擦学研究。例外的情况是用金属工具制作的或在相对较软的岩石上制作的凹穴。当凹穴被敲打在非常坚硬的岩石上时,随着它的加深,去除的岩粉量会逐渐减少。这首先是因为地下趋于风化,因此较软;第二,因为其直径随着深度的增加而扩大,因此每个深度单位所要清除的体积也在增加;第三,因为岩石在加深的凹穴底部吸收动能的能力逐渐提高(根据赫兹几何学);第四,在某些岩石类型中,通过特定成分的管道化形成动能变质(KEM; 贝德纳利克(Bednarik) 2015)产物的趋势越来越大。这些产物对变形的抵抗力大大增强,从而阻碍了进一步的冲击。有两个因素决定了凹穴深度在创建过程中所应用的每单位能量的进展:根据它的几何形状所获得的深度,以及随着动能变质产物的形成所获得的深度会递减。最初,进展受第一个因素制约,但在某个时刻,第二个因素决定性地超过了第一个因素并限制了其进一步的进展(贝德纳利克(Bednarik) 2020: 图5)。

对于凹穴摩擦学研究的一个重要方面是在受控条件下进行复制,以确保关于其生产的可靠数据。经过早期的实验(贝德纳利克(Bednarik) 1998b: 30),库马尔(Kumar)和克里希纳(Krishna) (2014)在已知最早的岩画遗址之一,印度中部的达腊奇-查丹石窟(Daraki-Chattan)附近进行了详细调查。根据他们的发现,在未风化的致密石英岩上形成一个凹穴所需的时间大约是在风化良好的石英砂岩所时间的1000倍。通过应用摩擦学公理,即任何岩画对自然磨损或擦除的相对敏感性大致与创建时间成正比(贝德纳利克(Bednarik) 2012: 79),我们可以大致估计岩画的年龄,因为后者的变量能被可靠地确定。这将结束一系列似是而非的年代测定,这些说法在很大程度上阻碍了岩画科学研究的进展。

敲击岩画的范围很广,从无处不在的凹穴到几十米的大型作品。人种学和复制证据表明,它们都是直接敲击而成的(席尔茨(Sierts) 1983; 萨瓦捷耶夫(Savvateyev) 1977; 布鲁德(Bruder) 1983; 贝德纳利克(Bednarik) 1998b, 2008; 威克斯(Weeks) 2001; 库马尔和克里希纳(Kumar and Krishna) 2014)。磨蚀岩画或雕刻是第二类主要的岩画。从摩擦学的角度来看,所有的岩画都是压缩的结果,不同的是,摩擦是通过极端的切向压缩,而敲击是通过极端的外力压缩。虽然敲击和摩擦岩画在技术上似乎不同,但从摩擦学的角度来看,它们都是由压缩/拉伸力产生的。在这两种方法中,目的都是为了在良好的控制条件下清除岩块,以创造出预期的图案。在敲击法中,动能以接近90°的角度作用于岩石表面,并具有相对高的速度。在摩擦法中,切向度(通常低于30°)和工具的低速运动使工具能够利用其摩擦点前后产生的相对于运动方向的压缩/拉伸差来清除岩石块。这两个摩擦学过程是所有岩画产生的基础,除了指状凹槽,其摩擦学稍微复杂一些。

## 6.象形图

第二种形式的岩画，即象形图，是一种添加性而非还原性过程的结果，包括岩画、颜料模版、颜料印刷品、干颜料岩画，以及用其它物质（如蜂蜡或粘土）创作的设计。象形图也是相对运动的表面相互作用的产物。然而，与岩画相比，对其经验特性的解释并不像摩擦学理论那样深入人心。它们也总是受制于法医学，遵循洛卡的交换原则。

在大多数情况下，岩石作为制作象形图的“工具”，无论是通过它的粗糙度在蜡笔上留下诊断性的凹槽，还是在还原过程中使用的研钵和研杵上的微小凹槽中的颜料沉积，而非棍子滑动现象或因涂抹颜料膏而产生的条纹。当手持的颜料（如末端带有木炭的棍子或赤铁矿的蜡笔）在岩板上绘制时，岩石上的凹凸不平会从颜料中去除少量的材料，这些材料仍然附着在岩石的凹槽中。这是一种不如绘画、喷涂或印刷有效的颜料应用程序。因此，这种图画比穿透岩石结构的液体涂料应用更容易变质。

在现阶段，象形图的摩擦学原理基本上仍未被探索。这也许是因为相对于岩画而言，它为发展分析方法提供的机会更为有限。

## 7.结论

在20世纪80年代初之前，岩画研究主要是一个充满想象力的解释以及创造意义、风格和古迹的领域，仅提供了关于所调查的岩画体和其地层学方面有限的经验和可检验的信息。在随后的几十年里，建立了基本的科学（可检验或可证实）方法，但岩画科学学科仍然需要克服各种重大限制才能发展。在这方面，摩擦学的支持无疑是必要的，但迄今为止，它与旧石器艺术研究的相关性尚未得到广泛认可。相反，我们看到的是一些半途而废的措施，例如引入“痕迹学”来“破译”斑块上的标记。要科学地研究旧石器艺术，必须首先解决和理解它的经验变量。对于这一层面的分析，虽然摒弃了传统上喜欢将关于简单化“意义”合理化的缺陷，但是仍然处于初级阶段。发展的不足导致这门学科停滞不前，一味地沉溺于理论建构。贝德纳利克（Bednarik）2013）。

每当两个表面相遇，就会产生影响，其量值是动能、其应用方向以及两个相互作用表面的各种属性的函数，例如合计硬度、脆性、韧性、强度、延展性、压痕硬度和耐刮擦性或耐磨性。应力波从接触点同心地发出，并穿过被冲击的物质。这些赫兹几何学的机械变形模式可以通过光弹性的技术呈现出来（弗罗赫特（Frocht）1965）。这种模式可以在特定的地质现象中观察到，比如最近发现的压缩-拉伸岩石标记现象（贝德纳利克（Bednarik）2019b）。它也可以在使用炸药爆破岩石时发生的变形中发现（麦克休（McHugh）1983；唐泽（Donzé）等人1997；埃森（Esen）等人2003；贝德纳利克（Bednarik）和莫汉蒂（Mohanty）2012；格拉（Guerra）等人2013；托比卡（Torbica）和拉普切维奇（Lapčević）2014，2018）。

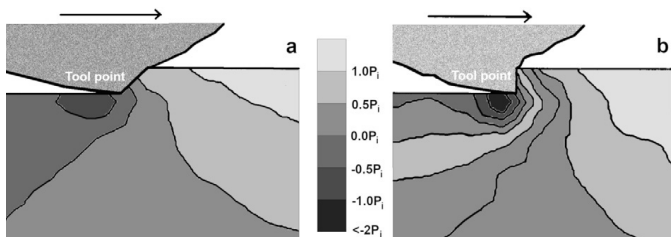


图6 (a)与(b)垂直于应用方向的“前缘”相比，应用角度为35°时的剥离器或工具点的应力发展。

在岩画的制作过程中，需要将其理解作为一种压缩摩擦学。在摩擦岩画中，决定材料位移量的变量包括活动凸起（“前缘”）的有效角度、施加的动能大小以及相对运动的两个物体的材料的众多物理特性。图6a描述了当采用与施力方向成35°角的“工具”前缘时，被撞击物体的压缩和拉伸力的分布。 $P_1 = -0.5$ 到 $-1.0$ 的拉伸区在点的“后面”，是对它的“前面”升高的压缩的反应。在图6b中，工具点的活性粗糙面垂直于应用方向，产生了明显不同的应力分布模式。现在工具点“后面”的拉伸区达到了 $P_1 = -2.0$ ，而我们之前遇到的波浪模式决定了张力首先减少到 $P_1 = 0.5$ 到 $1.00$ ，然后增加到 $P_1 = 0.0$ ，最后在这个波浪“前面”压缩到 $P_1 = >1.0$ 。这些差异也解释了为什么具有陡峭前缘的工具往往会随着滑动逐渐深入床面，而具有倾斜边缘的工具则会逐渐爬出其沟槽（贝德纳利克（Bednarik）2019b）。由此可见，我们所感知的摩擦力，经分析是另一个压缩-拉伸反应的例子：材料的压缩与拉伸应力的发展相平衡，最终导致岩块的破裂和移除。

这些观察结果证实了一个实验性的证据，即实际上我们是不可能将冲击性影响与磨蚀性影响分开的。在地质摩擦学和古摩擦学中，这一真

理的例子比比皆是，例如，在河流的悬浮物，或任何河川或风化物的运动中。当河中的卵石在床面载荷中被磨圆时，很难说明哪一部分磨损来自于摩擦性磨损，哪一部分来自于撞击性磨损。同样地，在创造岩画的过程中或在岩画的属性中实现这种分离也是不可行的（贝德纳利克（Bednarik）2020）。由于这两种形式之间的连续体的两端都来自相同的压缩-拉伸现象，因此需要重新考虑传统摩擦学对摩擦的强调。

综上所述，可以说在敲击岩画中，当赫兹机械变形波在岩石中移动并施加压缩/拉伸力，高角度和高速度将岩块破碎去除（贝德纳利克（Bednarik）2019a）。在摩擦岩画中，根据赫兹几何学，工具点的低角度、切向运动所产生的压缩和拉伸力之间的差异导致了岩块的断裂和移除。因此，从摩擦学的角度来看，岩画是人类有针对性地利用压缩/拉伸力去除岩块的结果。

所有形式的岩画都需要用这样的科学术语来理解，即自下而上，然后才可以用人文术语来解释它们的任何变量。

## REFERENCES

- Bader, O. N. 1978. Sungir: Verhnepalaeolithičeskaja stojanka. Nauka, Moscow.
- Banadaki, M. D. and B. Mohanty 2012. Numerical simulation of stress wave induced fractures in rock. *International Journal of Impact Engineering* 40-41: 16-25.
- Beaumont, P. B. 1990. Kathu Pan. In P. Beaumont and D. Morris (eds), *Guide to archaeological sites in the Northern Cape*, pp. 75-100. McGregor Museum, Kimberley.
- Bednarik, R. G. 1984. Die Bedeutung der paläolithischen Fingerlinientradition. *Anthropologie* 23: 73-79.
- Bednarik, R. G. 1985. Parietal finger markings in Australia. *Bollettino del Centro Camuno di Studi Preistorici* 22: 83-88.
- Bednarik, R. G. 1986. Parietal finger markings in Europe and Australia. *Rock Art Research* 3: 30-61, 162-170.
- Bednarik, R. G. 1987/88. The cave art of Western Australia. *The Artefact* 12: 1-16.
- Bednarik, R. G. 1990-91. Epistemology in palaeoart studies. *Origini* 15: 57-78.
- Bednarik, R. G. 1991a. Comment on d'Errico (1991). *Rock Art Research* 8(2): 89-91.
- Bednarik, R. G. 1991b. On natural cave markings. *Helictite* 29: 27-41.
- Bednarik, R. G. 1992a. A new method to date petroglyphs. *Archaeometry* 34(2): 279-291.
- Bednarik, R. G. 1992b. Base pour des études de pointe des débuts de l'art. *L'Anthropologie* 96(2-3): 369-374.
- Bednarik, R. G. 1992c. Natural line markings on Palaeolithic objects. *Anthropologie (Brno)* 30(1): 1-8.
- Bednarik, R. G. 1993. About Palaeolithic ostrich eggshell in India. *Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin* 13: 34-43.
- Bednarik, R. G. 1994a. A taphonomy of palaeoart. *Antiquity* 68(258): 68-74.
- Bednarik, R. G. 1994b. The discrimination of rock markings. *Rock Art Research* 11(1): 23-44.
- Bednarik, R. G. 1994c. The Pleistocene art of Asia. *Journal of World Prehistory* 8(4): 351-375.
- Bednarik, R. G. 1995. Towards a better understanding of the origins of body decoration. *Anthropologie* 33(3): 201-211.

- Bednarik, R. G. 1997a. Pleistocene stone pendant from West-ern Australia. *Australian Archaeology* 45: 32-34.
- Bednarik, R. G. 1997b. The role of Pleistocene beads in doc-umenting hominid cognition. *Rock Art Research* 14(1): 27-41.
- Bednarik, R. G. 1998a. Microscopic analyses of 'engraved plaques' and other objects from Devil's Lair. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 81: 165-175.
- Bednarik, R. G. 1998b. The technology of petroglyphs. *Rock Art Research* 15(1): 23-35.
- Bednarik, R. G. 1998c. Direct dating results from Australian cave petroglyphs. *Geoarchaeology* 13(4): 411-418.
- Bednarik, R. G. 1999. The speleothem medium of finger flut-ings and its isotopic geochemistry. *The Artefact* 22: 49-64.
- Bednarik, R. G. 2001. *Rock art science: the scientific study of palaeoart*, 1st edn. Brepols, Turnhout (2nd edn 2007, Aryan Books International, New Delhi).
- Bednarik, R. G. 2003. A figurine from the African Acheulian. *Current Anthropology* 44(3): 405-413.
- Bednarik, R. G. 2005. Middle Pleistocene beads and symbol-ism. *Anthropos* 100(2): 537-552.
- Bednarik, R. G. 2008. Cupules. *Rock Art Research* 25(1): 61-100.
- Bednarik, R. G. 2012. The use of weathering indices in rock art science and archaeology. *Rock Art Research* 29(1): 59-84.
- Bednarik, R. G. 2015. The tribology of cupules. *Geological Magazine* 152(4): 758-765.
- Bednarik, R. G. 2016a. Forensic science of cupules. *Rock Art Research* 33(1): 49-64.
- Bednarik, R. G. 2016b. The tribology of petroglyphs. In R. G. Bednarik, D. Fiore, M. Basile, G. Kumar and Tang H. (eds), *Paleoart and materiality: the scientific study of rock art*, pp. 171-185. Archaeopress Publishing Ltd, Oxford.
- Bednarik, R. G. 2016c. *Myths about rock art*. Archaeopress Publishing Ltd, Oxford.
- Bednarik, R. G. 2017. *Palaeoart of the Ice Age*. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne.
- Bednarik, R. G. 2019a. *Tribology in Geology and Archaeology*. Nova Science Publishers, New York.
- Bednarik, R. G. 2019b. Compressive-tensile rock markings. *Geological Magazine* 156(12): 2113-2116.
- Bednarik, R. G. 2020. Archaeotribology: the interaction of surfaces in relative motion in archaeology. *Tribology International* 141; doi:10.1016/j.triboint.2020.106198.
- Bednarik, R. G. and Y.-P. Montelle 2016. Forensic replica-tion work with Australian cave art. In R. G. Bednarik, D. Fiore, M. Basile, G. Kumar and Tang H. (eds), *Paleoart and materiality: the scientific study of rock art*, pp. 99-112. Archaeopress Publishing Ltd, Oxford.
- Boucher de Perthes, J. 1846. *Antiquités celtiques et antédiluvi-ennes*. Treuttel et Würtz, Paris.
- Bouzouggar, A., N. Barton, M. Vanhaeren, et al. 2007. 82,000-year-old shell beads from north Africa and im-plications for the origins of modern human behavior. *Proceedings of the National Academy of Science, U.S.A.* 104: 9964-9969.
- Bruder, S. J. 1983. Archaeological investigation at the Hedgpeh Hills petroglyph site. Research Report 28, Museum of Northern Arizona, Flagstaff.
- Cheng T. K. 1959. *Archaeology in China, Volume 1, Prehistory China*. Heffer, Cambridge.
- Clark, J. D. 1959. *The prehistory of southern Africa*. Penguin, Harmondsworth.
- d'Errico, F. 1987. Nouveaux indices et nouvelles techniques microscopiques pour la lecture de l'art gravé mobilier. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* 304: 761-764.
- d'Errico, F. 1988. Lecture technologique de l'art mobilier gravé. Nouvelles méthodes et premiers résultats sur les galets gravés de Rochedane. *L'Anthropologie* 92: 101-122.
- d'Errico, F. 1989a. L'art gravé azilien. Analyse microscopique, reconstitution gestuelle, signification. Ph.D. thesis, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- d'Errico, F. 1989b. Palaeolithic lunar calendars: a case of wishful thinking? *Current Anthropology* 30: 117-118.
- d'Errico, F. 1989c. A reply to Alexander Marshack. *Current Anthropology* 30: 495-500.
- d'Errico, F. 1991. Microscopic and statistical criteria for the identification of prehistoric systems of notation. *Rock Art Research* 8(2): 83-93.
- d'Errico, F. 1994. L'art gravé azilien. De la technique à la sig-nification. 31e supplément à 'Gallia Préhistoire', CNRS Éditions, Paris.
- d'Errico, F. and C. Cacho 1994. Notation versus decoration in the Upper Palaeolithic: a case study from Tossal de la Roca, Alicante, Spain. *Journal of Archaeological Science* 21: 185-200.
- d'Errico, F. and A. Nowell 2000. A new look at the Berekhat Ram figurine: implications for the origins of symbolism. *Cambridge Archaeological Journal* 10(1): 123-167.
- Donzé, F. V., J. Bouchez and S. A. Magnier 1997. Modeling fractures in rock blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 34(8): 1153-1163.
- Dortch, C. E. 1976. Two engraved stone plaques of late Pleistocene age from Devil's Lair, Western Australia. *Archaeology and Physical Anthropology in Oceania* 11: 32-44.
- Dortch, C. E. 1979a. Devil's Lair, an example of prolonged cave use in south western Australia. *World Archaeology* 10: 258-279.
- Dortch, C. E. 1979b. Australia's oldest ornaments. *Antiquity* 53: 39-43.
- Dortch, C. E. 1984. Devil's Lair, a study in prehistory. Western Australian Museum, Perth.
- Dortch, C. E. and J. Dortch 1996. Review of Devil's Lair artefact classification and radiocarbon chronology. *Aus-tralian Archaeology* 43: 28-32.
- Dunn, E. J. 1931. *The Bushman*. Charles Griffin, London.
- Efremov, I. A. 1940. Taphonomy: a new branch of paleontol-ogy. *Pan-American Geologist* 74: 81-93.
- Esen, S., I. Onederra and H. A. Bilgin 2003. Modelling the size of the crushed zone around a blasthole. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 40: 485-495.
- Francis, P. 1981. Early human adornment in India, Part 1. The Upper Palaeolithic. *Bulletin of the Deccan College Postgraduate and*

- Research Institute 40: 137–144.
- Frocht, M. M. 1965. Photoelasticity. J. Wiley and Sons, Lon-don.
- Goren-Inbar, N. 1986. A figurine from the Acheulian site of Berekhat Ram. *Mi'Tekufat Ha'Even* 19: 7–12.
- Goren-Inbar, N., Z. Lewy and M. E. Kislev 1991. The tapho-nomy of a bead-like fossil from the Acheulian of Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Rock Art Research* 8(1): 83–87.
- Guerra, A., V. Petr and D. V. Griffiths 2013. Radial frac-tures in rock under the action of explosives. Paper presented to 6th International Conference on Discrete Element Methods, 5–6 August, Golden, CO.
- Gunn, R. G. 1986. Wall markings in Tantanoola Cave, Tanta-noola, South Australia. Unpubl. MS, Archive of the Aus-tralian Rock Art Research Association Inc., Melbourne.
- Hallam, S. J. 1971. Roof markings in the 'Orchestra Shell' Cave, Wanneroo, near Perth, Western Australia. *Mankind* 8: 90–103.
- Hayden, B. (ed.) 1979. Lithic use-wear analysis. Proceedings of the Conference on Lithic Technology, Burnaby (BC), Canada, 16–20 March 1977. *Studies in Archaeology*, Academic Press, Cambridge, MA.
- Henshilwood, C., F. d'Errico, M. Vanhaeren, K. van Niekerk and Z. Jacobs 2004. Middle Stone Age shell beads from South Africa. *Science* 304(5669): 404.
- Hiscock, P. 1990. A study in scarlet: taphonomy of inorganic artefacts. In S. Solomon, I. Davidson and D. Watson (eds), *Problem solving in taphonomy: archaeological and palaeonto-logical studies from Europe, Africa and Oceania*, pp. 34–49. *Tempus 2, Archaeology and Material Culture Studies in Anthropology*, University of Queensland, St. Lucia.
- Hublin, J.-J., N. Sirakov, V. Aldeias, S. Bailey, E. Bard, V. Delvigne et al. 2020. Initial Upper Palaeolithic Homo sapi-ens from Bacho Kiro Cave, Bulgaria. *Nature*; doi:10.1038/ s41586-020-2259-z.
- Jost, P. 1966. Lubrication (tribology): a report on the present position and industry's needs. Department of Education and Science, H.M. Stationary Office, London.
- Kumar, G. and R. Krishna 2014. Understanding the technol-ogy of the Daraki-Chattan cupules: the cupule replication project. *Rock Art Research* 31(2): 177–186.
- Marshack, A. 1964. Lunar notation on Upper Paleolithic remains. *Sciences* 184: 28–46.
- Marshack, A. 1970. Notation dans les gravures du paléolithique supérieur. *Nouvelles méthodes d'analyse. Publications de l'Institut de Préhistoire de l'Université de Bordeaux*, Bordeaux.
- Marshack, A. 1972a. Cognitive aspects of Upper Paleolithic engraving. *Current Anthropology* 13: 445–477.
- Marshack, A. 1972b. Upper Paleolithic notation and symbol. *Science* 178: 817–828.
- Marshack, A. 1972c. *The roots of civilisation*. McGraw-Hill, New York / Weidenfeld and Nicolson, London.
- Marshack, A. 1985. Theoretical concepts that lead to new analytic methods, modes of enquiry and classes of data. *Rock Art Research* 2(2): 95–111.
- Marshack, A. 1989a. On wishful thinking and lunar 'calen-dars'. A reply to Francesco d'Errico. *Current Anthropology* 30: 491–495.
- Marshack, A. 1989b. Methodology in the analysis and in-terpretation of Upper Palaeolithic image: theory versus contextual analysis. *Rock Art Research* 6(1): 17–38.
- Marshack, A. 1991. A reply to Davidson on Mania and Ma-nia. *Rock Art Research* 8(1): 47–58.
- Marshack, A. 1997. The Berekhat Ram figurine: a late Acheu-lian carving from the Middle East. *Antiquity* 71(272): 327–337.
- McBrearty, S. and A. S. Brooks 2000. The revolution that wasn't: a new interpretation of the origin of modern human behaviour. *Journal of Human Evolution* 39: 453–563.
- McHugh, S. 1983. Crack extension caused by internal gas pressure compared with extension caused by tensile stress. *International Journal of Fractures* 21: 163–176.
- Montelle, Y.-P. 2009. Application of forensic methods to rock art investigations — a proposal. *Rock Art Research* 26(1): 7–13.
- Morse, K. 1993. Shell beads from Mandu Mandu Creek rock-shelter, Cape Range Peninsula, Western Australia, dated before 30,000 b.p. *Antiquity* 67: 877–883.
- Odell, G. H. 2004. *Lithic analysis*. Springer, New York.
- Porat, N., M. Chazan, R. Grün, M. Aubert, V. Eisenmann and L. K. Horwitz 2010. New radiometric ages for the Fauresmith industry from Kathu Pan, southern Africa: implications for the Earlier to Middle Stone Age transi-tion. *Journal of Archaeological Science* 37: 269–283.
- Savvateyev, J. A. 1977. *Zalavruga, cast' II. Stojanki*. Nauka, Leningradskoe otделение, Leningrad.
- Semenov, S. 1957. *Pervobytnaja tehnika. Materialy i Issledovania po Archeologii SSSR* 54. Nauka, Moscow and Leningrad.
- Semenov, S. A. 1964. Prehistoric technology. An experimental study of the oldest tools and artefacts from traces of manufac-ture and wear (transl. by M. W. Thompson). Cory, Adams and Mackay, London.
- Semenov, S. A. 1968. Development of technology in the Stone Age (in Russian). Nauka, Leningrad.
- Semenov, S. A. 1970. The forms and functions of the oldest tools. *Quartär* 21: 1–20.
- Semenov, S. A. 1974. *The origins of farming*. Nauka, Leningrad.
- Sharpe, C. E. and K. J. Sharpe 1976. A preliminary survey of the engraved boulders in the Art Sanctuary of Koonalda Cave, South Australia. *Mankind* 10(3): 125–130.
- Sierts, W. 1968. How were rock engravings made? *South African Journal of Science* 64: 281–285.
- Solomon, S. 1990. What is this thing taphonomy? In S. Solo-mon, I. Davidson and D. Watson (eds), *Problem solving in taphonomy: archaeological and palaeontological studies from Europe, Africa and Oceania*, pp. 25–33. *Tempus 2, Univer-sity of Queensland, St Lucia*.
- Thomas, T. R., B.-G. Rosén, H. Zahouani, L. Blunt and M. ElMansori 2011. Traceology, quantifying finishing machining and function: A tool and wear mark charac-terisation study. *Wear* 271(3–4): 553–558.
- Torbica, S. and V. Lapčević 2014. Rock breakage by ex-plosives. *European International Journal of Science and Technology* 3. 96–104.
- Torbica, S. and V. Lapčević 2018. Rock fracturing mecha-nisms by blasting. *Underground Mining Engineering* 32: 15–31.
- Tringham, R., G. Cooper, G. Odell, B. Voytek and A. Whit-man 1974. Experimentation in the formation of edge damage: a new approach

- to lithic analysis. *Journal of Field Archaeology* 1(2): 171–196.
- Walsh, W. P. 1964. Unexplained markings in Kintore and Cutta Cutta Caves, Northern Territory, Australia. *Helictite* 2(3): 83–91.
- Weeks, R. 2001. Indirect percussion: fact or fiction? *American Indian*
- Rock Art 27: 117–121.
- White, R. 1992. Technological and social dimensions of 'Aurignacian age' body ornaments across Europe. In H. Knecht, A. Pike-Tay and R. White (eds), *Before Lascaux: the complex record of the Early Upper Paleolithic*, pp. 277–299. CRC Press, Boca Raton, FL.

