



E-ISSN: 2976-2421 (Online)
CODEN: JRAOCQ

JOURNAL OF ROCK ART (JRA)

DOI: <http://doi.org/10.7508/jra.01.2023.79.87>



REVIEW ARTICLE

比小说更离奇——人为与非人为岩石痕迹的识别

罗伯特·G·贝德纳里克 (Robert G. Bednarik)¹著, 车静²译, 肖波³校

¹河北师范大学国际岩画断代中心, 石家庄 050000, 中国

²广西民族大学民族与社会学学院, 南宁 530028, 中国

³广西民族大学民族研究中心, 南宁 530028, 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 1 March 2023

Accepted 19 April 2023

Available online 19 May 2023

ABSTRACT

文章首先简要回顾了地质学和生物学上的岩石痕迹分类。然后考察了迄今为止在维多利亚西部四处地点中发现的令人困惑的地质现象及其性质。成组聚集的环状岩石痕迹被考古学家和地质学家判定为土著岩刻画。它们是被卸荷作用分割开来的“石蛋”——砂岩中的球形夹杂物, 其形成可归因于岩石固有的成岩特征。事实上, 这种圆形“岩刻画”是砂岩在最终锂化成岩之前内含的腐烂动物组织中的碳经过化学反应所形成的碳酸钙球形膨胀沉淀物。文章随后介绍了近年来对岩石痕迹进行错误识别的一些案例, 这些案例导致了若干地质过程的发现, 如压缩-拉伸岩石痕迹, 植物动力痕迹以及动能形变。在这些案例中, 对这些岩石痕迹的错误理解产生于将上述痕迹与岩画相联系, 而非对其本身进行基础性的地质学研究。

关键词

自然岩石痕迹, 石蛋, 压缩-拉伸痕迹, 根系痕迹

1.前言

在30多年前, 经过多年与岩画著作中频繁对岩石痕迹的错误识别抗争之后, 我们开始寻求系统解决这一问题的方法。对于那些一直致力于区分人为现象与非人为现象的人来说, 错误的后果是显而易见的。这意味着我们要尽力顾及其他的解释并反驳那些易被驳倒的解释。然而, 我们知道我们有时会犯错误, 这些错误也可能在未来随着研究者洞察力的提升而变得更加明显。鉴于旧石器时代中、晚期古代艺术的匮乏, 随着时间的推移, 这一点变得尤为重要。这些证据对于理解人类祖先在进化过程中获得的能力有着深远的影响。我们在20世纪90年代初的努力产生了《岩石痕迹的鉴别》一文, 试图提供所有形式的岩石表面痕迹的系统分类方法 (Bednarik, 1994)。在该方案中, 这些痕迹被分为12类, 其中10种为地质痕迹, 其余两种为人工痕迹:

G.地质学岩石痕迹

GP.岩相学痕迹

GP1.岩石内含物

GP2.自然加深的固有痕迹

GW.风化痕迹

GW1.溶解痕迹

GW2.剥蚀痕迹

GK.动力性痕迹

GK1.埋藏痕迹

GK2.岩屑运动痕迹

B.生物学岩石痕迹

BP.植物痕迹

BP1.植物动力痕迹

BP2.植物化学痕迹

BA.动物痕迹

BA1.动物抓痕

BA2.动物磨痕

BH.人为痕迹

BH1.无意识或实用性人为痕迹

BH2.非实用性人为痕迹 (岩画)

在这个岩石痕迹分类系统中, 只有最后两种类型, BH1和BH2是人为产生的。其中只有后者是指岩画。因此, 该分类体系通过确保岩画不属

Quick Response Code



Access this article online

Website
www.jora.org.my/

DOI:
10.7508/jra.01.2023.79.87

于其他11种类型中的任何一种，为识别岩画提供了理论依据。要成为岩画，则不能是由人类或其工具（BH1）或前10种类型之一制作的实用性的或偶然的痕迹。在BH1与BH2之间可能存在一个灰色区域，有许多自然痕迹被人为修整过的案例。经验表明，对于许多考古学家和地质学家来说，识别不同类型的岩石痕迹是很困难的，存在大量岩石痕迹被误识的记录。

这一分类体系自被提出以来已经得到了充分的证实，但有时现实比小说更离奇。一些鉴定结果仍然不被考古学家甚至地质学家所接受，这也反映出这些领域的某些缺陷。这些缺陷在此前便已被注意到，有些在1994年进行分类之初业已提及。克莱格（Clegg）（2007）还指出了地质学家无法解释的神奇现象：“这些受访专家所掌握的知识显然要比我在20世纪50年代上自然地理课时所记录的要少得多。当局、专家乃至科学家只有在他们已经知晓答案时才有用；人性的弱点使他们不愿或无法承认自己可能受到误导”（Clegg, 2007: 59）。从经验来看，我们支持克莱格。

我们通过对有争议的岩石痕迹进行持续性的调查，尤其是应用摩擦学原理（相对运动中物体表面相互作用的科学；Bednarik, 2019a, 2020a），发现了几个尚未被发现或其产物被误解的基本地质过程，包括动能形变（Bednarik, 2015）、压缩-拉伸岩石痕迹（Bednarik, 2019b）、植物动力痕迹（Bednarik, 1990, 2016a）以及胶结砂岩化石，（或废弃的）胶结砂岩（fossil (or spent) trovants）（本文对这3种情况进行了归纳和分类）。因此，对有意意识的、人为的和其他岩石痕迹之间的区别进行的研究意外引发了对地质学中各种未知现象的解释。本文尝试着对这些发现的环境和影响进行介绍，并从最令人困惑的案例开始。

2. 澳大利亚加里维德（GARIWERD）“圆形岩刻画”

最近在澳大利亚维多利亚已知的岩刻画的介绍中，我们引入了出现在加里维德山脉（Gariwerd）（也作格兰屏Grampians）中部和位于维多利亚西部的阿拉匹力司山（Mt Arapiles）的3组离散的圆形岩石痕迹（Bednarik, 2016b: 71, 2020b）。由（前）国家公园管理员大卫·汉兹库姆（David Handscombe）和瑞恩·达菲（Ryan Duffy）发现的前3组被考古学家和地质学家认为是岩刻画（通过减少过程创作的岩画）。我们在这3组岩石痕迹的沟槽中并未检测到任何敲击或研磨的显微证据，但注意到了这些岩石的结构、颜色和成分发生了转变，与原来的岩石基质截然不同。此外，其槽壁垂直于岩面而非岩刻画的U形截面，且未见压痕。我们发现这些圆形是因沟槽和砂岩基岩之间不同的风化和侵蚀速率而形成的，但仍未能破解形成这些神秘特征的因果关系（图1）。由于种种原因，真相难寻。

1). 这种类型的圆形痕迹通常来自深成岩（捕虏体或同源包体；Bednarik, 1994），但在砂岩中似乎更难解释。

2). 在这3处之中的一个地点，其砂岩比其他地点的风化严重得多，形成沟槽的物质风化程度很深，显然这些圆环是由球形夹杂物或凝结物的剥离而形成的。在某些情况下，可以在这些成组的“石弹”周围插入一只手（图2）。

3). 许多球体似乎在空间上与沿着断层擦痕面（光滑的断层滑动表面；Bednarik, 2015）的动能形变产物相关。这可能是巧合，也可能与球体的形成有关。

4). 这些球体最令人费解的特征是砂岩中的任何结构特征，如微弱的层理痕迹，都直接贯穿了“石弹”的中心。

最后一点似乎表明，不知何故，这些特征“超越”了岩石结构，更确切地说，仿佛它们是“漂浮”在其中的“气泡”。这在稳定性良好的砂屑岩中似乎是不可能的，砂屑岩颗粒上有明显过度发育的联晶石英。人们提出了几种假设来解释这些神秘的现象，直到地质学家艾伦·沃奇曼（Alan Watchman）和查尔斯·R·特维代尔（Charles R. Twidale）提出它们可能与胶结砂岩有关。这些“生长的石头”以罗马尼亚瓦尔恰县（Valcea）的最为著名，但在其他几个地区也有发现。它们的体会变大，这种现象也被称为“繁殖”。它们的直径从几毫米到十米不等，由格奥尔基·蒙塔努·穆里格茨（Gheorghe Munteanu-Murgoci）首次发现（1907；Ticleanu et al., 2012）。加里维德的球体不能生长或繁殖，但胶结砂岩在后生（岩石在周围岩石形成后发生变化）历史上有一些共同的现象，如石弹结核、裂隙结核、巨型球晶、莫奇石¹、堪萨斯石²以及龟裂结核。

根据伯纳（Berner）（1968a, 1968b）的观察，在含有海水和其他溶液的密封罐中，细菌分解鲱鱼和胡瓜鱼会产生大量溶解性的碳酸氢盐、氨和挥发性胺。这一转化过程需要几个月的时间，伴随着pH值的升高。

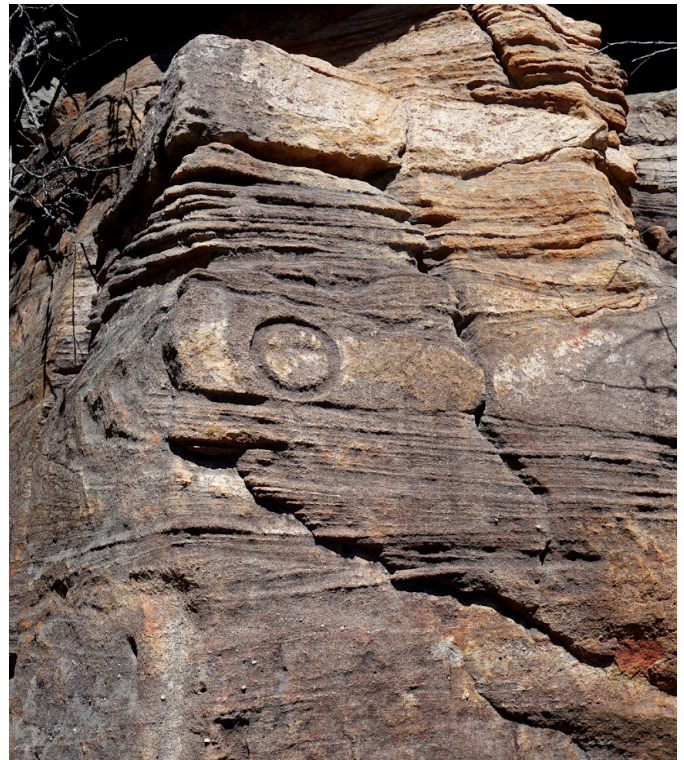


图1：最像岩刻画的加里维德圆形岩石痕迹。其外侧水平直径为12.6厘米（除另作说明部分外，其余照片均为作者所摄）。



图2：维多利亚州加里维德的风化严重的球形凝固物，仅剩1/4留在原处。

钙离子以具有14至18个碳原子的脂肪酸盐或脂肪酸钙盐混合物而非碳酸钙的形式从溶液中析出。碳酸钙的热力学不稳定性可以解释这一点，相对于脂肪酸钙盐或尸蜡（是一种由厌氧细菌水解组织里的脂肪而形成的蜡质有机物质）含有过量的游离脂肪酸。正是这一过程解释了类似“胶结砂岩”的现象。有机矿的自生矿化和过矿化在不同变化阶段

的碳酸盐基质中捕获有机碳,在海底沉积物中形成化石,并通常通过地质记录确保其生存(Grice et al., 2019)。碳源的厌氧微生物衰变导致碳酸氢根离子的局部过饱和,产生与衰变和扩散速率成比例的碱度梯度。这会导致碳酸盐的溶解度降低,从而引发碳酸盐沉淀(Raiswell, 1976),但仍不清楚胶结砂岩是由内到外(Raiswell、fischer, 2000)还是由外到内(Coleman, 1993)同心生长。

在这种环境中,衰变产物从衰变的有机物中向各个方向均匀地扩张。即它们在海底以下固结但尚未岩化的沙质沉积物中扩散时呈球状扩张。在反应前,钙沉淀为碳酸钙,其他阳离子也以类似的模式发生反应。反应锋面的铁含量也显著增加(形成中空球形结核),而锰的浓度与铁和钙成反比(Yoshida et al., 2018)。钙的含量比周围基质高几倍到20倍,(氧化钙固结: 30~60wt %,氧化钙基底: 1~12wt %)。反应锋面的宽度(L)几乎随生长时间的增长而线性增加,因此累计凝固物的直径(R)(Yoshida et al., 2018: 图4; $a = 0.0807 \pm 0.0105$, $b = 0.992 \pm 0.017$):

$$L = aR^b \quad (1)$$

由稳定碳同位素比值较低的R-COOH(脂肪酸)生成的碳酸氢根与反应锋面的钙离子发生反应。随着反应锋面孔隙渗水中碳酸氢根和钙离子的减少,浓度梯度地提供钙阳离子,直到碳酸氢根浓度与碳酸钙平衡,而有机衍生碳被耗尽。这就解释了为什么这种类型的特定现象,如胶结砂岩,当暴露在水中时还能继续生长,直到它们体内的所有有机物被消耗掉。这些驱动着这个系统的碳通常来自腐烂生物的组织。在大部分环境中,凝结物在几个月内迅速形成,并被认为形成于海床以下几十米的地方。随着沉积物被固结成泥质岩石或砂岩,甚至进一步变质,它可以像化石一样完美地保存原始的固结形式。这些碳如果暴露在岩石圈表面并经受风化作用,那么通常来自胶结能力弱组织的碳则会被率先清除。

我们观察到的20多个加里维德标本的(有几个标本不能完全获取)直径从1.5厘米到13厘米不等。它们外部改性区(outer modification zone)的厚度似乎与球体尺寸呈函数关系:它们的直径越大,改性区越厚(图3)。该区域的钙和铁明显比产生球体的基质更丰富,这就是其颜色较深和更容易风化的原因。

到目前为止,在3组样本中发现的加里维德胶结砂岩都出现在华塔克市(Wartook)的砂岩中,是奇峰罗列的迪弗卡尔特山(Mount Difficult sub-group)志留纪晚期的岩相。这种砂岩呈浅色,由粗粒石英到长英岩,呈现为层状、交叉层状、以及极少的槽状层理(Cayley and Taylor,

1997)。这3个地点都接近蜿蜒穿过加里维德中心的格拉尼库斯断层(Granicus Fault),这可能反映在其中两个地点附近的断层擦痕面上。这种球状固结物最费解的属性是,在岩体中通过岩芯观察到的任意结构纹理具有连续性,这表明有机碳引起的自生矿化是形成球体唯一可能的解释。这一过程只可能发生在砂岩成岩作用之前,此时球体已经形成,但石英颗粒上的共生石英过度生长以致还未闭合它们之间的孔隙(Bednarik, 2019a)。因此,这些球体可能最好被定义为“胶结砂岩化石”,或“胶结砂岩废弃物”,即在遥远的地质时期耗尽了可用碳的胶结砂岩。按照上述岩石痕迹的分类系统,加里维德的“圆形岩刻”属于GP2类型,即自然加深的固有痕迹。它们是由于子弹截面结构的反应锋面加速风化形成了起伏,使它们看起来像岩画。

近来的许多卸荷事件,在某些情况下沿着球体横截面的断层(如图1

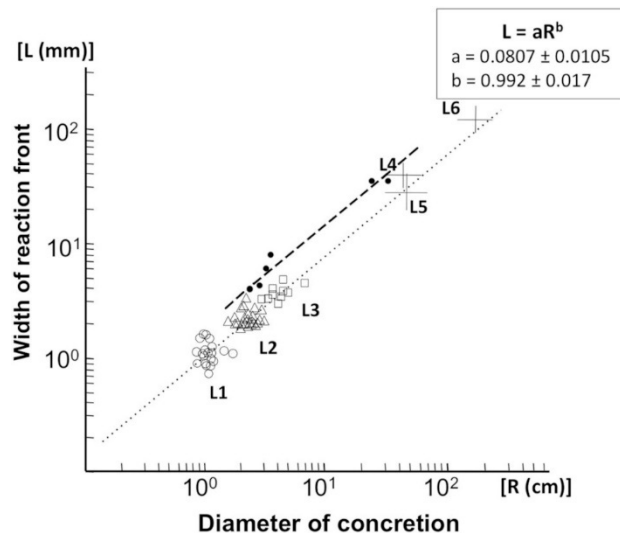


图4: 吉田等人(2018)描述的6个地点的球形凝固物直径(R)与反应锋面宽度(L)之间的关系与加里维德6个样品既定数据的比较(虚线)。



图3: 在加里维德的一个悬崖表面发生卸荷作用时被截断的小的球形凝固物样本。反应锋面与岩石基质相比没有质量损失,这意味着它们是最近暴露出来的。

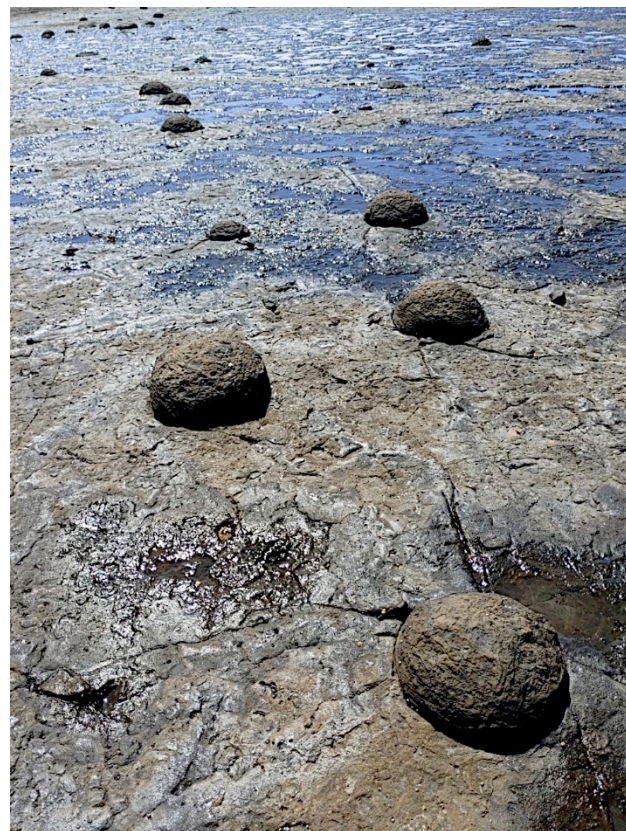


图5: 新南威尔士州南海岸阿勒达拉(Ulladulla)的石弹地貌(Robert Bednarik 拍摄)。

所示)把先前的胶结砂岩剖开,并暴露出在它们的反应锋面从而形成圆形。这些最新暴露的圆形形貌经历了风化作用,因为它们在早期成岩作用中生成了高碳酸盐成分,所以它们比基质或内部岩石衰退得更快。因此,每个圆形凹槽的深度便提供了暴露在反应锋面的卸荷事件的相对年代的测算依据。这些反应锋面样本的宽度可以通过插入到吉田(Yoshida)等人(2018)的图表中被准确测量,该表描述凝固物的直径(R)与反应锋面的宽度(L)之间的关系(图4)。这意味着加里维德标本的分布模式接近并平行于吉田等人报道的6处地点(点线),并略高于它们(虚线)。

自加里维德山脉“圆形岩画”的形成原因被确定以来,在新南威尔士州(New South Wales)南部海岸(例如:在守望者(Warden's Head),阿勒达拉(Ulladulla),惠勒斯角(Wheeler's Point),赫斯基森(Huskisson),克鲁克黑文(Crookhaven))和位于维多利亚的大洋路(the Great Ocean Road)上的瓦伊河(Wye River)炮附近还发现了其他几个与成组的“石弹”形貌类似的砂岩(Gill, 1977)。这正说明了这些形貌特征在某些砂岩中相当普遍(图5)。在西北约80公里的阿拉匹力山中也发现了两个像加里维德那样的圆形岩石痕迹,以及类似的砂岩。然而需要指出的是,被误认为是岩刻画的圆形痕迹并不局限于这里所描述的类型,它们亦常见于花岗岩和玄武岩上。一些更为引人注目的案例出现在美国报道的遗址或遗址群中,这样的痕迹在那里有数百个。例如南卡罗来纳州(South Carolina)的尖岩山(Pinnacle Mountain)中发现的案例(Charles, 2012; Cervený, 2022; 一些人认为是霍普韦尔文化Hopewell culture)或位于北卡罗来纳州(North Carolina)的杜邦州立休闲森林(DuPont State Recreational Forest)(Loubser, 2011)。它们往往较小,直径通常在10厘米左右,而维多利亚时期花岗岩遗址的圆形凹陷直径大多超过1米。这些自生岩(autoliths)的形貌发现于韦德伯恩(Wedderburn)的科隆山(Mt Korong)顶峰附近(Bednarik, 2007: 图3)。许多其他的圆形岩石痕迹被认为是岩画,如洛奇山(Mt Loch)顶部玄武岩上众多小的风化自生岩(Bednarik, 1994: 图3);塔斯马尼亚州(Tasmania)墨济崖(Mersey Bluff)的辉绿岩上隐约可见GP2类型圆形痕迹(Murray, 1980);以及在季隆(Geelong)附近莫德(Maude)的萨瑟兰溪遗址(Sutherland Creek site)的一小片砂岩上的圆形(Bolger, 1979; Bednarik, 1994: 图17)。后者是由两个螺旋的钢制工具创造出来的,所以尽管它们具有人为的特征也并未被定义为岩画。

正如此前所描述的“石弹”形貌一样,另一种圆形岩石痕迹也在岩化之前形成。在有利的条件下,风成岩有能力保存其由沙变为岩的形成过程。这种痕迹要么是由随风而动的植物造成的(图6),要么是在砂岩稳定成岩之前由古人创造的一种罕见现象(Helm et al., 2020: 图1)。后者如今被称为“ammoglyph”³,是最近由查尔斯·W·赫尔姆(Charles W. Helm)和他的同事们发现的,该发现对了解中石器时代人类的认知状态具有重要意义。它属于BH2类型,是一种新的岩画类型。

3. 印度中部的“女阴岩画”

2022年初,尼勒斯库马尔·基沙加尔(Nileshkumar Kshirsagar)向我们报告了在印度中部山脉的砂岩上发现的数百幅岩画。在某些情况下,它们被认为是成组的石弹是无误的(见图7d)。另一些则偏离了这些标准模式并表现出不同特征,尤其是拉长的形状。它们独特的、轮廓分明的裂隙排除了其为岩画的可能性,因为这显然并非用工具所能制



图6: 南非西海岸国家公园朗厄班潟湖(Langebaan Lagoon)的圆形痕迹(Charles W. Helm摄)。

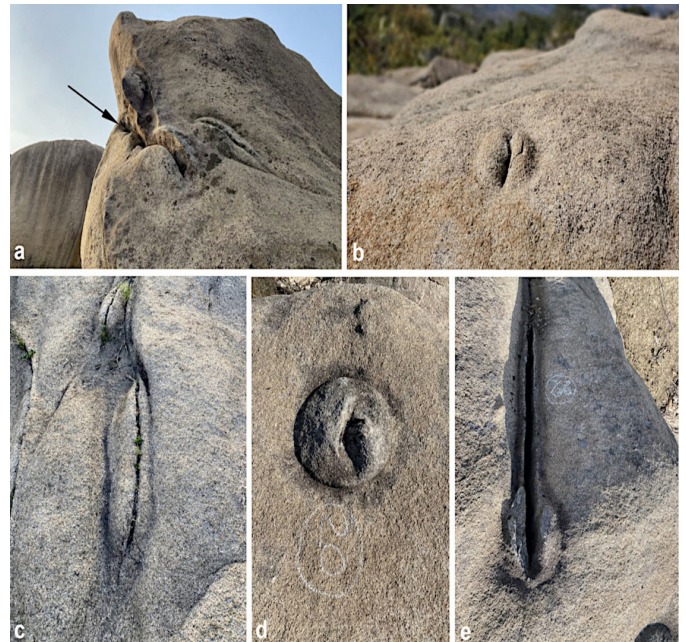


图7: 在印度中部发现的“女阴岩画”样本;均为自然形貌(Nileshkumar Kshirsagar摄)。

成。

由于没有机会验证这些现象,我们认为最合理的解释是,它们是在同一方向上受到不同程度的压缩所形成的石弹形貌。图7d中的连续体支撑了这一解释,这显然是因中部富含碳酸盐导致中心被侵蚀而形成的石弹形貌,从7b到7c再到7e,图7a(见箭头)左侧的特征是最显著的。印度中部的砂岩往往变质程度较好,通常被定义为石英岩(Bednarik, 2019a; Polymeris et al., 付印中),并且可能已经受到转换应力。未来需要针对这些特性进行详尽的研究。

4. 压缩-拉伸岩石痕迹

在被邀请鉴定中国福建省一个小岛上的大型岩石标记是表示日出的岩画还是自然痕迹后,我们确认了压缩-拉伸岩石痕迹这一类别(Bednarik, 2019b, 2019c)。经过检查,很明显,“太阳符号”的“射线”是由非常深而窄的拉伸裂缝引发的风化槽,这些风化槽以相对均匀的放射状分布方式排列(图8)。由于这座花岗岩组成的岛上还有其他几个类似的图案,因此,确定这些因素非常容易,人们认为这些痕迹来自遥远的地质历史时期中巨型花岗岩岩块之间的大规模碰撞。然而,由于之前未曾解释这一过程,我们利用炸药对岩石众所周知的影响来阐述相关的力学问题(Bednarik, 2019c)。在这两种情况下,冲击波均以径向模式从冲击点或爆炸物排放点传播,通过压缩使岩石结构变形并受损,直到被其周围岩体的惯性所阻止。剩余的能量用于对周围的物体施加张力,产生与撞击点平齐且分布均匀的放射状裂缝。这些裂缝只有1毫米宽,但与其相邻的岩石在结构上也产生了几厘米深的形变。然后,它逐渐风化,同样受影响的核心区域也是如此。爆炸和自然撞击之间唯一的区别是,在前一种情况下,受影响的区域形成一个完整的圆形,而在撞击的情况下,它只能形成圆形的一部分,通常是半圆形。这是因为撞击发生在岩石表面,而爆炸发生在岩石内部。这种现象的几种表现形式与已被定义的雷击对岩石的影响有本质不同(Bednarik, 2007: 89)。雷电的撞击区域通常以光面为标志,在那里矿物被熔化或在极端条件下瞬间形成新的矿物。铁矿物可能变成蓝色或绿色。大块岩石可能碎成两半,或使岩石呈鳞片状剥落,但只能观察到微弱的压-拉冲击的迹象。最重要的是,雷电冲击缺乏独特的圆形中心形变区。

然而,压缩-拉伸岩石痕迹的重要性并不在于它在解释类似岩画中独特图案性质方面的作用。这种现象在自然界甚至考古学中都广泛存在。岩石因各种类型的动力冲击而断裂,在地质学中经常可以看到与径向模式近似平行排列的拉应力痕迹。我们以我们在玉树藏族自治州称文镇西部更卓岩画点附近的青藏高原上观察到的致密石英岩碎屑为例(Li et al., 2022)。该岩体由通天河(长江的主要源头)搬运至此,其特征是在劈理面上有一个由弧形的平坦区域界定的呈径向分布的图案(图9)。我们在多种岩性中观察到了大量此类案例。如果断裂的岩石在断裂方向上相对较窄,则拉伸应力痕迹优先形成,就好像动能“预测”了反面的轮廓。在图10中,图像顶部轮廓清晰的弧形痕迹描绘出了撞击



图8：中国福建省东门岛上的一处放射状岩石痕迹。它被认为是岩刻画，促进了压缩-拉伸岩石痕迹的发现。



图9：青藏高原石英岩块上的压缩-拉伸岩石痕迹。

点。左侧的拉伸痕迹向下面的反面弯曲。它们的阶梯状外观源于片岩的叶理结构。我们发现的“预测”方面在未来可能极具研究潜力，因为它似乎与冲击波在岩面上形成的赫兹锥体⁶有关。

另一种可归因于岩石的压-拉反应的现象在考古学中一直备受瞩目。在片状石器（用砸击技术制作的石器除外）腹面上发现的典型特征包括台面边缘的打击点，以及延伸至腹面的打击泡，表现为赫兹锥体。除此之外，在打击点外通常会有一连串模糊的同心波，并一直延伸到石片远端，显示了冲击波穿过石头所产生的效果。在打击产生的球状区域可观察到两个特征：以打击点为中心呈放射状的锥疤和若干线性的放射线。它们偶尔会出现在石片侧缘或远端，但大致能与打击点对齐（图11）。当一个石片被“开启力”（与劈理面呈直角操作）和“剪切力”（沿劈理方向）以与预期劈理方向成165°角剥去时，石器工具锤击的力学效应便会产生赫兹锥体。因此，腹面近端的球形反映了部分赫兹锥体。这种径向裂隙与首次发现于福建东门岛上的大型放射状岩石痕迹一样，均为压-拉反应的产物。

压缩-拉伸岩石痕迹明显源于动力学，即1994年岩石痕迹分类中的GK类



图10：印度沟⁵的更卓遗址（Gengzhuo site complex）片岩断面上的压缩-拉伸岩石痕迹。

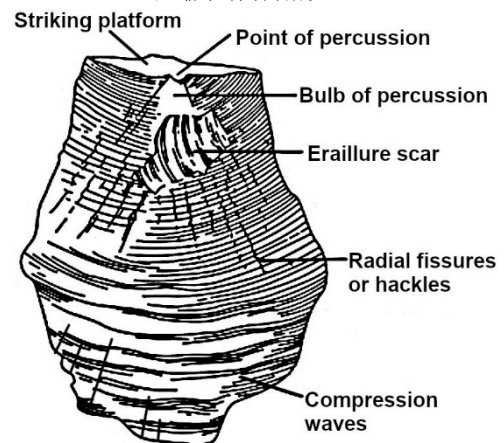


图11：石片腹面的典型特征。

型。更进一步，它们当属于GK2类型，即“岩屑运动痕迹”。然而，就东门岛的情况来看，它们被地质风化改变甚多。因此，还可能包含一点GP2类型痕迹，即“自然加深的固有痕迹”，其中的“固有痕迹”是指岩石受到撞击时产生的形变。

5.植物动力痕迹

大卫·谢菲尔德（David Shepherd）和弗兰克·乔利（Frank Jolley）（2016）在英国约克郡（Yorkshire）奔宁山脉（Pennine mountains）的30块岩石的岩面上发现了“奇怪”的岩石沟槽并试图确定其由来，这一研究已在本杂志上发表⁶。他们花费了数年时间（Shepherd and Jolley, 2011, 2014），研究团队融合了地质学家、考古学家以及相关学术团体（历史学、考古学和地质学）之间的通力合作。他们的调查经验老道，表明他们能够辨别凹穴和威森斯·克拉夫（Withens Clough）的一处地点因自然侵蚀而形成的坑洞；大部分调查人员都会在此遭遇滑铁卢。他们为查明奔宁山脉沟槽的性质所作的努力均以失败告终。有人提出了人为解释（如岩刻画、polissoirs⁷，各种类型的人为痕迹），也有人提出非人为解释（如化学溶解痕迹、化石、冰川擦痕、水流层理、侵蚀现象），但这些解释无一可信。

正是因为他们向《岩画研究》提交了一篇文章，他们才发现这个难题在澳大利亚早就被解决了（Shepherd and Jolley, 2016; Bednarik, 2016a）。20世纪80年代，我们在约克角半岛（Cape York Peninsula）的昆肯（Quinkan）地区的砂岩上发现了几组切割很深的规则沟槽。它们包裹在安菲希尔特（Amphitheatre）岩画点内岩石表面的边缘处，比周围的沉积地表高出2米。虽然它们表面上像是岩刻画，但我们意识到它们绝非由石器制作而成。然后，我们进行了文献回顾，并咨询了许多岩画研究者（包括Andrée Rosenfeld, Percy Trezise和Parietal Markings项目组的成员们），但这就像谢菲尔德（Shepherd）和乔利（Jolley）三十年后的工作一样，依旧无解。我们提出一个假设，即这些沟槽是由岩石和在强风中摇动的树根之间产生的摩擦作用，以及在沉积物的共同作用下产生的磨损。该假设在1989年11月12日被验证，并被发现是正确的，当时在悉尼的库灵盖狩猎地国家公园（Ku-ring-gai Chase National Park）首次观察到几组相似痕迹，然后在刚被连根拔起的桉树根旁有相同的痕迹，与树根的形态相匹配：

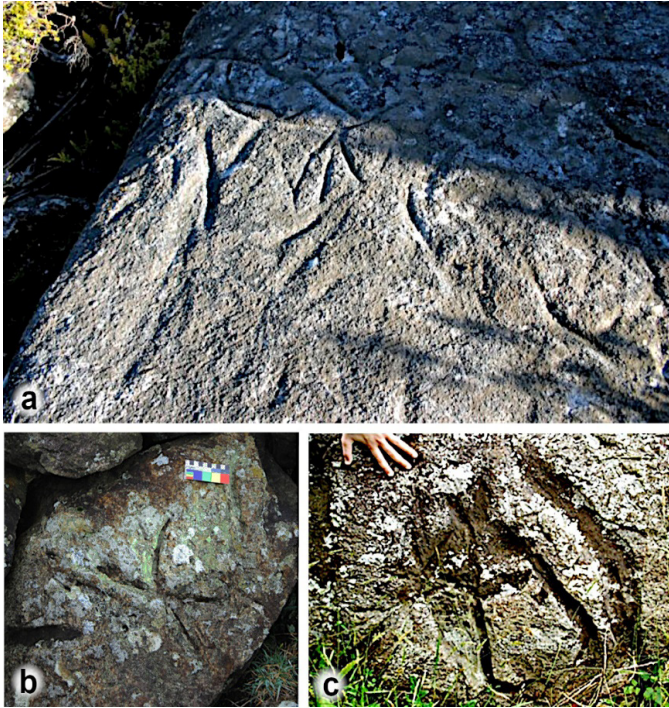


图12: 来自塔斯马尼亚 (a)、特塞拉岛 (Terceira Island) (b) (亚速尔群岛, M. T. M. Azevêdo摄) 和奔宁山脉 (c) (英国, D. Shepherd and F. Jolley摄) 的植物动力痕迹。

当(树木)在随风摇摆时,其根系也会随之轻轻移动,加之土壤和细砂共同的磨擦作用,足以在(极端情况下)使一棵树在生长周期中产生深达10厘米的沟槽。显然,岩画的研究人员需要熟悉各类现象,并在工作中保持问题意识。(Bednarik, 1990: 4)。

在当时已知的两个案例中,植物动力痕迹均发现在砂岩上,但岩性并非决定性因素,在随后的几十年里,我们在包括花岗岩在内的其他类型岩石上也发现了这种现象(Bednarik, 1994: 35, 2007: 26; Bednarik et al., 2007: 166) (图12)。我们在最新的观察中发现的一个共同因素是,这种岩石痕迹总是与高度暴露于风中的位置发生重合,位于岩石山脊或隆起处,以及海风吹拂的极少沉积物覆盖的海岸隆起处。谢菲尔德和乔利还报道了在奔宁山脉以外的两个案例,一个在奥克尼郡(Orkney),另一个在美国华盛顿州查卡努特山脉(Chuckanut Mountains)的砂岩山脊上。

最近,一位地质学教授面临着同样的需求,她需要解释之前被认为是岩画的岩石痕迹,但在她看来,这些岩石痕迹似乎是天然的(Azevêdo, 2021)。特塞拉岛(Terceira Island)是大西洋中部亚速尔群岛(Azores)的一部分,位于亚速尔微板块上,非洲、欧亚大陆和北美大陆板块在此交汇。因此,这些岛屿受到高度活跃的构造运动的影响而频发微震,这种微震给树木带来的震动比风更高效(Azevêdo, 2021: 127)。此外,火山口上方的斜坡多石且沉积物覆盖少,但在葡萄牙殖民之前,由巨大树木构成的森林密布,其中包括40多米高的山毛榉(杨梅)和50米高的雪松(短叶刺柏),其根通常包裹缠绕岩石以获得支撑。阿泽维多(Azevêdo)最初发现,诸如侵蚀等地质过程不可能解释粗面岩或粗安岩中的沟槽,所以她认为这一定是由人类活动导致的。然而,她发现很难将这种解释与大量此类痕迹相印证。她说:“随着时间的推移,需要成千上万的雕刻家才能雕刻出如此数量庞大的石头。那么,如此繁琐的工作的目的是什么呢?”她认为这可能代表一种古老的文字,但“无数的痕迹”“似乎并不符合任何已知的写作形式”。直到当她发现我们的解释为树根痕迹时,她才意识到在生物摩擦学上的大量证据。它们的数量之巨无疑归因于亚速尔群岛的多风和地震频繁这些自然因素。

阿泽维多、谢菲尔德和乔利非常正确地拒绝了一些地质学家所支持的假设,即粗面岩和硅质砂岩中的沟槽可能是由树根渗出的有机酸引起的。然而,需要强调的是,植物化学痕迹确实存在于碳酸盐岩中,如洞穴中,在岩石痕迹分类中被列为BP2类型。我们已说过多次(如Bednarik, 1994: 35-36),这是依存于树根上的菌根因呼吸作用产生二氧化碳而导致的。相比之下,这里描述的树根动力痕迹包括在BP1类型中,即“植物动力痕迹”,也包括其他类型。它们最典型的特征是通常会逐渐衰退或在末端变细,它们可能会缠绕在弧形表面也可

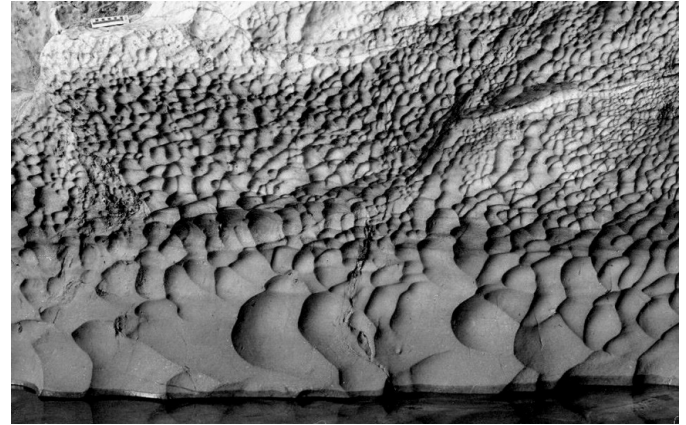


图13: 各种尺寸的溶解性扇形褶皱体现了不同的流动条件,澳大利亚新南威尔士州大拱门(Grand Arch),阿伯克龙比(Abercrombie) (K.Grimes摄)。

能会分叉。这些沟槽十分光滑,没有撞击痕迹,宽度通常在20到40毫米之间,边缘可能有凹陷。它们可能反映了由树根导致的所有可能的形貌特征。

6.溶解性扇形褶皱

关于该主题的开创性论文中尚未考虑到的岩石表面痕迹之一是受水流影响的碳酸盐岩洞穴中的溶解性扇形褶皱(图13)。然而,它们被首次发现的时间早在两个世纪以前(De Serres, 1835: 24; cf. Monroe, 1970)。溶解性扇形褶皱(法语为cannelure或vague d'érosion,德语为Fließfacette,西班牙语为huella de corriente)是因水流中漩涡的侵蚀而形成的浅凹穴,尤其是在洞穴中。它们成群出现,被尖脊分开,大小不等。由于上游末端更为陡峭,这种不对称的水平面便导致了一定方向的水流(图14)。此外,溶解性扇形褶皱的大小表明了流速:水流越快,扇形褶皱就越小。而且,没有记录在案的实例显示溶解性扇形褶皱被误认为岩画,但坎贝尔(Campbell)等人(2007)将他们描述为“天然凹穴”,这是一个不合理的推论,因为所有的凹穴都是人为制造的,并非自然形成。

在GW1类型中,溶解性扇形褶皱中加入了其他溶解痕迹,如溶沟(Karren),这主要是一种洞穴中的现象,而其他的则暂时归因于水的溶解过程(Bednarik, 1994: 29-30)。

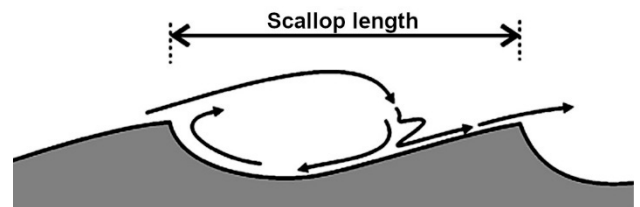


图14: 沿着水流的方向流过溶解性扇形褶皱这一过程所揭示的涡流形态典型示意图。

7.动能形变

这种现象到目前为止被定义为非人为的岩石痕迹,这些痕迹被描述为岩画或可能被误认为岩画。为了说明已解释了所有调查与发现的综合跨学科方法的有效性,这里讨论了这一现象,尽管它不太可能被理解为岩画。它与本文的相关之处是它可以与岩画同时出现,事实上也正是因此被发现的。然而,大部分该现象的发生,甚至可能超过99%是自然过程所致。这也再次表明了区分人为与非人为痕迹的复杂性。

在地球上大量改性岩石基质和断层擦痕面,地质学家将其归因于各种各样的过程。举个例子:冰川擦面通常被认为是磨蚀基面物质逐渐减少直至表面变得非常光滑的结果(Iverson, 1991; Benn and Evans, 2010)。这种解释在摩擦学上是不成熟的,因为这表明冰川“工具”的硬度突然降低,或者它们开始不够粗糙,从而形成了极度光滑的外观。另一种解释认为,表面晶体已朝着冰川滑移的方向弯曲,最外层的5微米已发生剧烈的形变,并沉积了“剪切磨损物质”(Siman-Tov et al., 2017)。这种“粉砂粘土和二氧化硅胶结物”是如何演变成比作为支撑的花岗闪长岩更坚硬的表面堆积物的,目前还无法解释,为什么剥落的基质比他们发现的超薄改性层要厚得多?研究人员自己也很困惑。冰川擦面具有极强的耐风化性能,可以近乎完美地保存超过3亿年

(Beaumont and Bednarik, 2013; Ward et al., 2014)。

类似的不足也适用于对其他层状改性岩石的解释，如断层擦痕面、在风棱石上发现的风成“釉”以及源自流水冲击（fluvial battery）的相同的改性面（Bednarik, 2019a）。意图使它们合理化而作的解释往往是模糊的、不充分的或是可以通过实践观察被驳倒的。西蒙·托夫（Siman-Tov）等人（2017）正确地指出冰川擦面和断层擦痕面令人费解的相似性，因为一个形成于岩石表面，而另一个形成于地壳深处。因此，似乎需要对这种现象做出一个通用的解释。这并不是通过地质调查发现的，而是通过研究人为岩石痕迹而发现的。

凹穴是球形穹状或球形帽状的（而不是“半球形”），是由石锤在岩面锤击而成的近似圆形的凹陷（Bednarik, 2008）。它们代表了已知数量最多的岩画主题，并出现在包括最硬的白石英和变质良好的石英岩在内的各类岩性的岩石上。对后一种岩石类型的复制实验表明，要在这种材料上形成一个较浅的凹穴，需要进行成千上万次的定向打击（Kumar and Krishna, 2014）。这表明要在仅几平方厘米的区域进行大量且集中的动能应用。现场的显微镜显示，一些撞击最密集的凹穴底部已经转化为比岩石基质更致密且耐风化的状态。我们首先在玻利维亚的一个地点观察到这种现象，后来在其他6个国家的地点和几种类型的岩石上

也有发现。目前，凹穴已在石英岩、硅质砂岩、富硅片岩以及花岗岩中被发现（Bednarik, 2015, 2016c, 2019a, 2019d; Jin and Chao, 2019）。

利用光学显微镜和扫描电子显微镜观察薄片样本和少量夹杂物的化学成分进行的摩擦学测试的结果发现，动能的大量应用通过再结晶和延展改变了冲击面（Bednarik, 2019a）。转换过程大体分为3个阶段，可以检测到改性最强的表层之下的一层（第三阶段，非晶态二氧化硅胶结物已转化为石英）。第二层和第一层加起来有20毫米厚，这便解释了西蒙·托夫等人（2017）的困惑：为什么剥落层比他们充分改性的表层要厚得多。由于部分转化，它们也比基岩更耐风化，并在表层岩剥落时粘附其上（图15）。

一旦确定了动能形变（KEM）的过程，很明显，人类并不是唯一可以将大量聚积的能量引导到岩石薄层的因素。在两种条件下这种情况可以自然地发生：在岩石表面或岩石内部，沿着断层。我们把注意力转向这些替代可能性的最初动机纯粹是出于实际考虑。由于我们不希望对凹穴这一受保护的文化遗产进行物理干预，因此不可能获得实验样本。然而，多年前，我们在达拉奇-查丹（Daraki-Chattan）凹穴遗址附近发现了一条古河道，其中存在大量河流引发的动能形变产物。因德加加尔（Indragarh）古河道在石英岩质高原的遗迹上，作为一个超过175米的悬谷而幸存下来，但现在位于周围山谷之上。它被一些粗砾石层、硅化砾岩所覆盖，但数百万年前，它是一条极富动能的河流。在以前的一个小瀑布附近，大量的石英岩卵石推移质沿着瀑布斜槽流动，它们影响了基岩的暴露，将超过50平方米的表面转化为构造岩（图16）。在吉日拉吉·库马尔的支持下，2016年对该遗址进行了深入的研究，由于它不是一个文化遗迹，所以从中获得了大量样本（Bednarik, 2019a: 217-221）。我们现在对于动能形变的大部分了解均来源于这些样本。

冰川擦面不是极薄的表层变形后堆积的结果，但也是岩石受到大量的动能作用而发生转换的结果。虽然我们只对光泽的风成面进行了初步调查，但我们预计它将同样被证明可归因于表层的动能形变。至于断层的转换产物，我们已经对断层擦痕面和偶然的动能形变现象做出了区分。断层擦痕面沿着岩体中基本上呈平面的断裂面或不连续面出现，在该岩体中发生了相对位移。这种运动所需的应变速率可能需要极高的能量水平来释放压力，然后在断层面上彻底排出。如前文所述，据推测，在一个非常狭窄的区域内引起动能形变转化将导致断层擦痕面（Bednarik, 2016c: Fig 16）。相同但随机分布的构造岩地层（见Bednarik, 2016c: 例如图17）可能是平面的或曲面的。它们出现在硅质砂岩中，在地质时期，这些砂岩在地壳表面以下几公里处经历了剧烈的变形和延展。这是巨大压力和运用动能的结果，因此，这也可以归因于动能形变。由此可见，凹穴中的动能形变产物的发现引发了对迄今为止尚未阐明或澄清的几个地质现象的解释。这是岩画研究首次对地质科学做出重大贡献。

8.结论

本文阐明了跨学科方法对研究岩石痕迹的益处，在摩擦学中，通常不适用这一主题，但比考古学和地质学更具相关性（Bednarik, 2019a, 2020a）。压缩-拉伸岩石痕迹、植物动力痕迹以及动能形变完全是摩擦学现象，但摩擦学作为一门学科即表明人们对其科学原理的非技术应用兴致不高。另一方面，考古学和地质学则几乎没有表现出在各自学科中应用摩擦学的倾向。正如前文所述的研究结果所示，这种学术上的划分阻碍了科学的进步。在文中引用的三个案例中不难发现，确立普遍适用的规则对认识地貌有重要影响。这些岩石表面的变化，以及在某些情况下的岩石内部变化显然在地貌的小规模演化中极为常见，而这恰好与岩画科学密切相关。事实上，从地貌学的角度来看，岩刻画只是“生物风化”的一种形式。

令人欣慰的是，现在需要被纳入的所有新报告的现象均证实了我们在1994年引入的岩石痕迹分类法经受住了时间的考验。我们曾设想，该体系将通过同行评议进行审查（Bednarik, 1994: 42），但目前这篇文章似乎是迄今为止对该体系唯一的检验。这一体系中有一个明显的不足：它只能处理岩刻画这种通过减少过程创造的岩画现象。然而岩刻画仅占全球岩画的半数左右。使用添加的制作方式创造的岩绘图案则需要不同的方式处理，但很明显，它们很少被误认为是天然的岩石痕迹，反之亦然。最初的分类体系（Bednarik, 1994）简要地回顾了这个问题，并指出只有两个已发表的岩石上的天然颜料痕迹被误认为使用了红色颜料的实例。在一个例子中，红色是由火灾的高温引起的（针铁矿还原为赤铁矿）；另一个例子的红色是氧化铁自然风化后的产物。这与大量岩画的错误识别案例相比更具优势，适用于全球数百万个独特的形貌或主题。

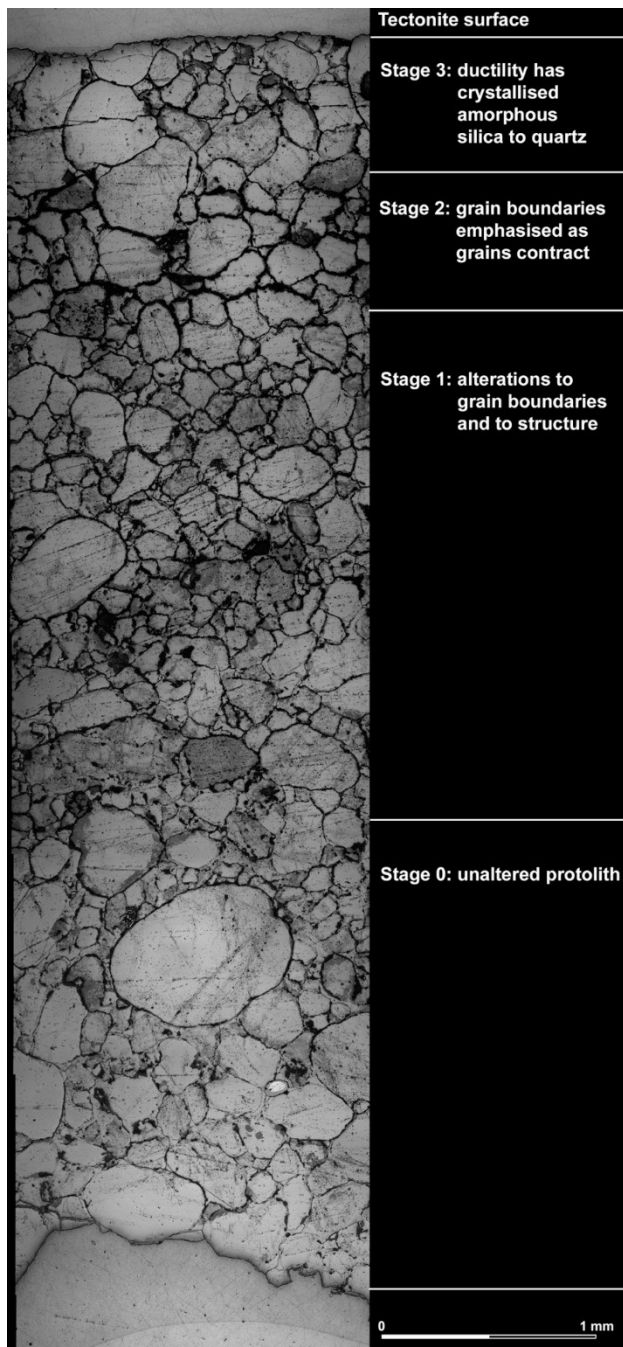


图15：动能形变（KEM）石英岩样品薄片改性区域的复合显微照片。

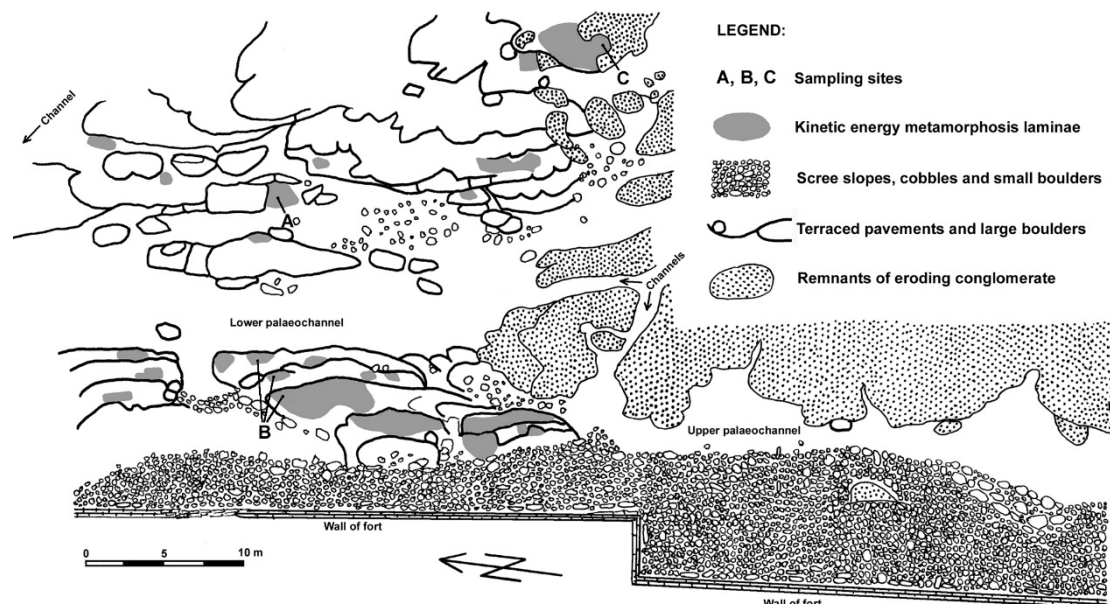


图16：印度中央邦班普拉附近的因德拉加尔古河道（Indragarh Paleochannel）动能形变（KEM）遗址。

本文介绍了几种已发现的非人为岩石痕迹，值得深思的是，对其中一些岩石痕迹的解释非常古怪，以至部分地质学家仍持怀疑态度。树根机械地制造岩石沟槽的能力就是一个例子。乍一看，在砂岩岩化之前有机物衰变形成球状凝固物的想法是相当奇怪的——特别是只要它们有来自内部有机碳的供给，就能在沉积基质中向外扩展/延伸。这样的解释真的比小说更离奇，但它们既合理又适用。

致谢

感谢R.G. (‘ben’) 冈恩 (R. G. (‘ben’) Gunn) 博士、艾伦·沃奇曼 (Alan Watchman) 教授、和查尔斯·R·特维代尔 (Charles R. Twidale) 教授、小罗伯特·贝德纳里克⁸、汤惠生教授、吉日拉吉·库马尔 (Giriraj Kumar) 教授为本研究提供的帮助。特别感谢《岩画研究》的同行评议人澳大利亚勋章获得者麦克·唐纳森 (Mike Donaldson) 博士、哈拉尔德·埃曼 (Harald Ehmann) 博士、R.G.冈恩 (R. G. Gunn) 博士、查尔斯·赫尔姆 (Charles Helm) 博士、扬·皮埃尔·蒙特尔 (Yann-Pierre Montelle) 博士以及大卫·谢菲尔德 (David Shepherd) 博士对这篇文章的改进所作的付出。

注释

¹译者注：莫奇石“Moqui marbles”，也称莫奇球“Moqui Balls”，其核心为砂岩，外层为氧化铁凝结物，尺寸不一，形状多样，多呈球形或椭圆形。此外，莫奇石与下文中的堪萨斯石外形极为相似，并均有萨满石的称号。

²译者注：堪萨斯石“Kansas Pop Rocks”，也作波吉石“Boji stones”，主要由黄铁矿和钼等物质组成，多呈圆形或椭圆形，是美国堪萨斯州特有的一种天然化石。堪萨斯石经常成对出现，人们根据其形状和特性将其分为雌石和雄石两种，又因北美原住民萨满曾将其用作疗愈，人们认为其具有神奇的能量，亦称其为萨满石“Shaman Stones”。

³译者注：“ammoglyph”由“ammos”+“glyph”组合而成。“ammos”在希腊语中是沙子的意思，“glyph”在希腊语中是雕刻、图像或符号的意思，是早期人类创作的艺术作品化石的名称。它们是一种特殊的风成岩。

⁴译者注：赫兹锥体是物体穿过固体时产生的圆锥，如子弹穿过玻璃。

⁵译者注：原文用的是“Indian Valley”，即“印度沟”，称多县境内的通天河在历史上被称为“印度沟”。

⁶译者注：该杂志为《Rock Art Research》。

⁷译者注：来自法语polissoir，复数形式为polissoirs。刻在岩石上的凹槽，曾经用来打磨石斧。

⁸译者注：小罗伯特·贝德纳里克为本文作者罗伯特·贝德纳里克教授之

子。

参考文献

- Azevêdo, M. T. M. 2021. Markings on the stones of Terceira Island, Azores — rock art or natural causes? *Rock Art Research* 38 (2): 119–130.
- Beaumont, P. B. and R. G. Bednarik 2013. Tracing the emergence of palaeoart in sub-Saharan Africa. *Rock Art Research* 30 (1): 33–54.
- Bednarik, R. G. 1990. Annual AURA Meeting 1989, Sydney, 11–12 November 1989. *AURA Newsletter* 7 (1): 1–4.
- Bednarik, R. G. 1994. The discrimination of rock markings. *Rock Art Research* 11 (1): 23–44.
- Bednarik, R. G. 2007. *Rock art science: the scientific study of palaeoart*, 2nd edn. Aryan Books International, New Delhi.
- Bednarik, R. G. 2008. Cupules. *Rock Art Research* 25 (1): 61–100.
- Bednarik, R. G. 2015. The tribology of cupules. *Geological Magazine* 152: 758–765.
- Bednarik, R. G. 2016a. The aetiology of the Pennines rock grooves. *Rock Art Research* 33: 94–97.
- Bednarik, R. G. 2016b. *Myths about rock art*. Archaeopress, Oxford.
- Bednarik, R. G. 2016c. Forensic science of cupules. *Rock Art Research* 33 (1): 49–64.
- 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: 2113–2116.
- Bednarik, R. G. 2019c. Natural or artificial: Fujian rock markings. *Rock Art Research* 36 (2): 227–230.
- Bednarik, R. G. 2019d. Rock metamorphosis by kinetic energy. *Emerging Science Journal* 3: 293–302.
- Bednarik, R. G. 2020a. Archaeotribology: the interaction of surfaces in relative motion in archaeology. *Tribology International* 141; doi:10.1016/j.triboint.2020.106198.
- Bednarik, R. G. 2020b. Petroglyphs of Victoria. *Proceedings of the Royal*

- Society of Victoria 131: 7–11.
- Bednarik, R. G., G. Andrews, S. Cameron and E. Bednarik 2007. Petroglyphs of Meenamatta, the Blue Tier Mountains, Tasmania. *Rock Art Research* 24 (2): 161–170.
- Benn, D. I. and D. J. A. Evans 2010. *Glaciers and glaciation*. Hodder Education, London.
- Berner, R. A. 1968a. Rate of concretion growth. *Geochimica Cosmochimica Acta* 32: 477–483.
- Berner, R. A. 1968b. Calcium carbonate concretions formed by the decomposition of organic matter. *Science* 159: 195–197.
- Bolger, P. 1979. Aboriginal engravings from Sutherland Creek, Maude, Victoria. *Victorian Naturalist* 96: 69–71.
- Campbell, A. J. Clottes and D. Coulton 2007. Modern use of rock painting sites in Kenya and Uganda. *International Newsletter on Rock Art* 49: 19–25.
- Cayley, R. A. and D. H. Taylor 1997. Grampians special 1:250 000 map. Geological interpretation of geophysical features. Geological Survey of Victoria, Melbourne.
- Cervený, N. V. 2022. Final report for 38PN122 Long Ridge Site research. Unpubl. report prepared for G. Johnston.
- Charles, T. 2012. *Discovering South Carolina's rock art*. University of South Carolina Press.
- Clegg, J. 2007. Science and rock art research of the world. In P. Chenna Reddy (ed.), *Exploring the mind of ancient man*. Festschrift to Robert G. Bednarik, pp. 52–60. Research India Press, New Delhi.
- Coleman, M. L. 1993. Microbial processes: controls on the shape and composition of carbonate concretions. *Marine Geology* 113: 127–140.
- De Serres, P. M. T. 1835. *Essai sur les caverns à ossements et sur les causes qui les y ont accumulés*. Loosjes, Haarlem.
- Gill, E. D. 1977. Evolution of the Otway coast, Victoria, Australia. *Proceedings of the Royal Society of Victoria* 89 (1–2): 143–171.
- Grice, K., A. I. Holman, C. Plet and M. Tripp 2019. Fossilised biomolecules and biomarkers in carbonate concretions from Konservat-Lagerstätten. *Minerals* 9: 158; doi:10.3390/min9030158.
- Helm, C. W., H. C. Cawthra, J. C. de Vynck, C. J. Z. Helm, R. Rust and W. Stear 2020. Drawing a line in the sand. *Rock Art Research* 37 (1): 95–99.
- Iverson, N. R. 1991. Morphology of glacial striae: implications for abrasion of glacier beds and fault surfaces. *Geological Society of America Bulletin* 103: 1308–1316.
- Jin A. and Chao G. 2019. The 2018 Expedition to Fangcheng cupule sites in central China. *Rock Art Research* 36 (2): 157–163.
- Kumar, G. and R. Krishna 2014. Understanding the technology of the Daraki-Chattan cupules: the cupule replication project. *Rock Art Research* 31 (2): 177–186.
- Li M., Lari J., Tang H., Li Y. and R. G. Bednarik 2022. The 2019 survey of petroglyphs in the Qinghai-Tibet Plateau, western China. *Rock Art Research* 39 (2): 143–154.
- Loubser, J. H. N. 2011. Heritage resources evaluation of the Big Rock Trail, Bridal Veil, and Long Rock petroglyphs, DuPont State Recreational Forest. Unpubl. report by Stratum Unlimited, LLC, Alpharetta, GA.
- Monroe, W. H. (ed.) 1970. *A glossary of karst terminology*. Geological Survey Water-Supply Paper 1899-K, U.S. Geological Survey, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 26 pp.
- [Munteanu-]Murgoci, G. 1907. *Tertiariul din Oltenia cu privire la sare, petrol, și ape minerale*. Carol Göb, București.
- Polymeris, G. S., I. Liritzis, I. Iliopoulos, V. Xanthopoulou, R. G. Bednarik, G. Kumar, A. Vafiadou and M. Bratitsi (in press). Constraining the minimum age of Daraki-Chattan rock art by OSL dating and petrographic analyses.
- Raiswell, R. 1976. The microbiological formation of carbonate concretions in the Upper Lias of NE England. *Chemical Geology* 18: 227–244.
- Raiswell, R. and Q. J. Fisher 2000. Mudrock-hosted carbonate concretions: a review of growth mechanisms and their influence on chemical and isotopic composition. *Journal of the Geological Society* 157: 239–251.
- Shepherd, D. and F. Jolley 2011. Marked rocks of the south Pennines. *Yorkshire Archaeological Society Prehistory Research Section Bulletin* 48: 56–64.
- Shepherd D. and F. Jolley 2014. A genuine Pennine mystery: what are these strange grooves? *Down to Earth* 89 (Nov. 2014): 8–9.
- Shepherd, D. and F. Jolley 2016. Strange grooves in the Pennines, United Kingdom. *Rock Art Research* 33 (1): 89–97.
- Siman-Tov, S., G. M. Stock, E. E. Brodsky and J. C. White 2017. The coating layer of glacial polish. *Geology* 45 (11): 987–990.
- Ticleanu, M., J. Wojewoda, R. Nicolescu, R. Geyer, A. Ionand T. Voigt 2012. The trovants Sandsteinkonkretenen from the Carpathian area and summary data on these pseudo-concretions reported on the Earth. *Congres Geologique International, Resumes* 34: 3443.
- Ward, J. D., B. J. Bluck, R. Swart, R. J. Jacob, M. C. J. de Wit and R. I. Spaggiari 2014. Concave polished rock patches: pointers to widespread pre-Karoo landscape remnants in southern Africa (abstract). In *Proceedings, celebrating 50 years of geological service: the Roy Miller Symposium*. Geological Society of Namibia, Windhoek.
- Yoshida, H., K. Yamamoto, M. Minami, N. Katsuta, S. Sin-ichi and R. Metcalfe 2018. Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. *Science Reports* 8: 6308; doi:10.1038/s41598-018-24205-5.

