

旧石器时代旷野遗址形成过程研究综述

裴树文^{1,2}

1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;
2. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044

摘要: 遗址形成过程(或成因)研究是以地质考古学的研究手段为出发点, 解读古人类遗址的形成和埋藏过程, 其研究结果对正确解读遗址完整性和早期人类生存行为具有重要意义。该研究方向在中国尚未引起足够重视, 这在一定程度上降低了我国古人类学和旧石器时代考古学学术研究的国际影响力。鉴于旷野遗址在保存早期人类化石及遗物方面的特殊地位, 本文以地质考古学为出发点, 系统分析有关旷野遗址形成过程研究所涉及的科学问题, 对 Glynn Isaac 在东非创立的一套系统解读旷野遗址形成过程研究所涉及的指标进行梳理。此外, 作者以古人类活动遗物的埋藏和空间分布特征为切入点, 详细介绍目前从事旷野遗址成因研究所涉及的关键指标及学术意义, 并对中国境内有关遗址成因研究以及旷野遗址形成过程研究的历史与现状进行讨论。

关键词: 旧石器时代; 地质考古学; 形成过程; 旷野遗址; 水流改造; Glynn Isaac

中图法分类号: K871.11, Q981; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2019)01-0001-18

A general study review of site formation processes for Paleolithic open-air sites

PEI Shuwen^{1,2}

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 2. CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing, 100044

Abstract: The study of site formation processes is an important field of research in archaeological geology or geoarchaeology, which enables to explore the formation and depositional processes of early human sites. Understanding of formation processes bears great significance on the interpretation of site integrity and early human adaptive behavior. However, new developments on the study of site formation processes have not received enough attention in paleoanthropological research in China. To a certain extent, this shortcoming has reduced the impact of Chinese paleoanthropological and paleolithic research in the international area. Considering the special relevance of open-air sites in preserving early human fossils and

收稿日期: 2018-09-20; 定稿日期: 2018-11-12

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB26000000); 国家自然科学基金项目(41872029, 41372032); The John Templeton Foundation through a grant to the Stone Age Institute 资助。

作者简介: 裴树文(1968-), 男, 河南兰考县人, 研究员, 主要从事旧石器时代考古学研究。E-mail: peishuwen@ivpp.ac.cn

Citation: Pei SW. A general study review of site formation processes for Paleolithic open-air sites[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2019, 38(1): 1-18

archaeological remains, this paper aims to highlight the importance of geoarchaeology as starting point in any archaeological research, and presents a state of the art on the research in open-air site formation processes. Concepts and models developed by Glynn Isaac to classify eastern African assemblages are discussed. After evaluating the taphonomic proxies and spatial patterns as foundations for research in site formation processes, the key features of assemblages (i.e. edge damage, technological composition, artifact size distribution, refitted data, artifact density, cluster analysis, digital elevation model, fabric analysis, etc.) retrieved during archaeological research, as well as their scientific significance, are discussed in this paper. Alongside, a review and discussion of the history and current status of the studies of site formation processes in Chinese paleoanthropological research are also proposed by the author in the current paper.

Key words: Paleolithic; Geoarchaeology; Site formation processes; Open-air sites; Hydraulic disturbance; Glynn Isaac

人类起源与进化是晚新生代地球演化历史的重要组成部分，而人类化石及其遗物则是揭示早期人类体质演化及其行为发展历程的重要材料^[1]。这些材料埋藏于不同的地貌和沉积环境，主要包括岩溶洞穴、裂隙和岩厦等石灰岩发育区^[2-3]，以及有水动力条件参与形成的河湖相沉积区^[4-5]；此外，冰川、黄土、海岸带和沙漠等沉积环境也常常保存一定数量的早期人类活动遗存。揭示不同类型古人类活动遗址的形成过程成为当前古人类学和旧石器时代考古学研究的重要组成部分^[6-7]，其研究结果对判断古人类活动遗址的完整性和准确解读早期人类生存行为具有重要意义。

中国地处欧亚大陆的东端，在研究早期人类起源、演化与技术发展领域具有重要和特殊的地位。自上世纪 20 年代末周口店北京猿人遗址的发现和研究^[8-9]开始，学术界就一直关注古人类活动遗址埋藏类型和形成过程的研究。鉴于人类化石和遗物发现于洞穴和裂隙沉积，有关遗址形成过程的地质考古研究多围绕这种沉积类型而设定^[10]，而大量保存于旷野河湖相沉积的早期人类活动遗址由于缺少相关地学研究的协作而浅尝辄止。同时，由于缺少此方面的学术交流，西方系统的遗址成因研究思路和手段一直未受到我国学者的重视，导致我们的部分研究成果受到许多学者的质疑^[11-12]。基于这种状况，本文以地质考古学（或考古地质学）为出发点，重点介绍有关旷野遗址形成过程研究所涉及的科学问题，对研究中常用的关键指标及其学术意义进行阐述，并对中国境内有关遗址尤其是旷野遗址形成过程研究的历史与现状进行讨论。

1 地质考古学与河湖相遗址形成过程研究

早在上世纪中叶，科学家就开始关注人类学和地质学之间的相互关系。1958 年，奥地利地质学家 Heinrich Häusler 提出了人类地质学（Anthropogeology）的概念，随后，瑞士地质学家 Heinrich Jäckli 和德国地质学家 Rudolf Hohl 分别于 1972 和 1974 对该学科

的概念和研究方法进行了明确说明，指出该学科将人类的历史看作地质演化历史的一部分，研究手段包括了地质学、地理学、政治学、经济学和工程技术等学科的多种研究方法^[13]。1979年，德国地质学家 Werner Kasig 重新审视了该学科的研究思路，并将研究出发点聚焦于人类活动对地质过程的适应^[14]，并于1980年提出考古地质学（Archaeological Geology）或地质考古学（Geoarchaeology）的概念^[15]。

地质考古学是借助地质学、地理学以及其他地球科学的研究手段，来解释考古学中有关遗址地层的形成过程，进而复原人类演化历史的一门交叉学科。该学科重点关注的领域是自然地质过程对遗址的改造和再沉积过程（亦称遗址形成过程）研究，研究对象包括土壤、黄土、碎屑物等在内的保存人类活动遗存的各种沉积物。从研究对象和研究手段来看，地质考古学与环境考古学有一定交集，但后者更为关注史前人类与环境互动关系的研究。近年来，随着科学技术的发展，计算机制图学（CC-computer cartography）、地理信息系统（GIS-geographic information system）和数字高模型（DEM-digital elevation model）等技术也被运用在地质考古学研究中^[16]。随着学科的发展，地质考古学研究已成为古人类学和旧石器时代考古学不可或缺的研究手段。在地质学研究手段的支持下，结合出土遗物本身的多视角分析来复原遗址的形成过程，逐渐成为揭示早期人类活动遗址的完整性和人类生存行为信息的重要基础与前提^[16]。

河湖相沉积是地球表层的重要沉积类型，其间保存了丰富的早期人类活动遗存，是进行早期人类演化和技术发展研究所重点关注的沉积体系。最早关注并开创该类型遗址形成过程研究的是南非著名古人类学家和考古学家 Glynn Isaac。他依据多年在东非从事早期人类活动研究的经验，在1967年首先提出了遗址出土石制品和动物化石的排列方式能正确解读遗物被水流改造或再沉积过程的观点^[17]，对客观解读古人类的适应行为具有划时代的意义。在他的指导下，印第安纳大学的 Kathy Schick 在肯尼亚 Koobi Fora 遗址开展石器制作和埋藏实验，验证了从事遗址形成过程研究的多项指标^[18-19]，并被后来的学者广泛采纳。该研究思路聚焦遗址的沉积类型，通过分析出土遗物的分布特点，复原遗物埋藏过程受水动力改造程度的大小以及再搬运和沉积的过程。研究表明，保存在细颗粒沉积物且极少受到改造的遗址（如湖泊边缘、河漫滩等）被认为是原地埋藏（primary context），而那些保存在高能量水流沉积体系（如：河流阶地、片流河道、冲积层等）中的遗址被称为次生埋藏（secondary context）^[20]。

Glynn Isaac 的研究首先将考古遗存看作是多种人为和自然因素叠加的多层次沉积体（palimpsests），因此，人类行为的揭示就难免要综合考虑生物（biological agents）和非生物因素（abiotic agents）在遗址形成过程中所扮演的角色^[21-22]。该方法创立后，迅速在非洲、欧洲和西亚的古人类学研究中得以推广和发展，并在解读人类行为方面改变了以往学术界的众多传统认识^[23-31]。经过半个世纪以来的发展，有关河湖相遗址形成过程研究的指标得到进一步的补充和强化。下文就目前研究中常用的指标进行阐释。

2 古人类活动旷野遗址成因研究主要指标

旷野遗址形成过程的研究参数主要来自遗址地层沉积物和出土遗物两个方面，两者互相印证进一步增强了研究结果的可靠性。

2.1 地学参数

最初的地质考古学研究手段由从事地学研究的学者来进行，重点关注地貌、地层、沉积物和各类水动力和环境代用指标^[32]，归纳起来主要有以下几个方面。

2.1.1 遗址地貌特征

早期人类活动旷野遗址均保存在晚新生代地球表层松散堆积物中，分布在各种地貌类型，因此，识别遗址所在的地貌类型或古地貌景观尤为关键。地貌部位和地形的发育及特征，对判断遗址形成时的地貌景观，以及推测人类依据周边各类资源所采取的生存策略有重要意义。传统的工作方法是通过地貌调查和地形识别来解读遗址埋藏的地貌（geomorphology）和地形（topography）特征。随着科学技术的进步，尤其是地理信息系统^[33-34]和计算机制图学^[35]的发展，研究工作取得了前所未有的突破。ArcGIS、Surfer、Photoscan 以及各类共享数据支持下的开放网站，都为复原和制作遗址地貌和地形特征以及高分辨率图件带来了方便。在现实研究中，一张集地形、植被和水体等信息的彩色高分辨率三维景观图^[15]，可以显著增加研究的科学性和视觉效果，也在一定程度上为遗址形成过程的复原打下基础。

2.1.2 地层沉积特征

保存早期人类遗存的旷野遗址地层多为未固结成岩的沉积物。通过对地层剖面各自然层之间的垂向和横向关系的野外观测，研究者可以从多方面探讨沉积物形成的地质过程，如通过沉积物的成分、组织、构造、边界特点和化石含量解释沉积物源区域和沉积区域的古代环境条件^[32]。一般来讲，灰色或灰绿色发育水平层理的黏土和粉砂沉积常反映水体相对较深且以还原为主的沉积环境，交错层理发育的棕黄色或灰黄色砂层常代表水动力相对较强且以氧化为主的沉积环境，而以砂砾石为主要沉积物的灰色或灰黄色沉积体多代表靠近物源区或者河床的沉积环境。在具体工作过程中，该指标多将人类活动当作地层沉积的自然过程来考量。通过宏观识别沉积物的空间展布特征，判断遗址地层的几个大的沉积单元，进而确定古人类活动的具体层位，并将古人类活动放置在一个相对较广的沉积过程中考虑，这也是从事遗址成因研究的基础与前提。

2.1.3 粒度分析

在一个分散沉积物系统中独立的三维个体通常被认为是一个颗粒（particle），颗粒的大小被称为粒度（grain size）。在不同的沉积环境、地形条件、搬运介质和水动力条件下，沉积物本身也按照颗粒的大小相应地以不同的搬运方式埋藏至沉积区。对沉积物进行粒度分析是一项传统的沉积学研究方法，它主要研究组成沉积物的各种粗细颗粒的机械组成及颗粒大小以及各粒级的百分含量，进而推断沉积物埋藏过程中所受机械营力大小以及沉积

环境^[32,36]。以往的分析方法多采用筛分法和沉降法，目前多采用激光和电镜法进行测试。由于粒度分析重点揭示机械营力对沉积物搬运和埋藏的影响，因此，该技术为从事古人类遗址成因研究者所青睐。一般来讲，颗粒越小在形成过程中受到的搬运营力越弱，相反粗颗粒常代表较大的水动力搬运条件。在古人类遗址成因研究领域，多数保存完好且遗址完整性较好的遗址均埋藏在较弱水动力条件下的沉积环境，如：细颗粒河漫滩、湖泊边缘、黄土堆积中；而河流阶地、湖泊边缘片流河道和砂砾石层沉积物中的遗址常常缺失多种古人类活动的有效信息。

2.1.4 磁化率

磁化率（magnetic susceptibility）是物质在外加磁场作用下的磁性响应能力的量度，主要反映沉积物中所含磁性矿物的富集程度。河湖相沉积物的磁性强弱主要受气候、水文、地形、物源及植被的影响，是沉积过程和环境分析的常用参数。相关研究表明，河湖相沉积物的磁化率值与其粒度的大小呈正相关关系，即高磁化率值常对应相对较粗的颗粒物，这也从侧面反映高磁化率可指示相对温暖湿润且水动力较强的生态环境，而相对较低的磁化率值常对应相对干冷且水动力条件较弱的环境^[37-38]。对于保存古人类活动遗存的旷野遗址来说，沉积物粒度大小与磁化率值高低的关系恰好用来解读遗址形成过程中水动力条件的强弱。需要指出的是，这种粒度和磁化率值在地层剖面上的纵向变化，需要在一个相对较厚的地层沉积体系内才能发挥作用，也就是说需要将保存人类活动遗物的“文化层”放在整个沉积体系内来研究，避免仅仅在文化层内进行解读。

2.1.5 其他指标

除上述有关遗址成因研究的指标外，学术界通常借助揭示沉积物形成过程的其他参数解读保存古人类活动地层的沉积和环境变化过程。例如，土壤微形态分析可反映地层成土作用过程中的动力与环境机制^[39]；不同黏土矿物组合的变化可揭示沉积物形成过程中受生物和气候条件的影响程度^[40]；常量元素地球化学分析有助于获得沉积物形成过程的化学风化信息和气候变化过程^[41]；易溶盐分析能有效揭示湖相遗址在不同形成阶段的古气候环境与水系变迁^[42]；等等。这些研究手段均比较成熟且在第四纪地质研究中得到广泛运用，具体哪种参数可以在遗址形成过程研究中发挥作用，取决于遗址的埋藏类型和地貌及地层特征。

2.2 考古遗物参数

相比地学的各种指标和参数来说，发掘获得的第一手考古资料对于解读遗址形成过程具有不可替代的优势。考古遗存的各类信息和参数主要包括埋藏学和空间分析两个方面^[43]。

2.2.1 遗物埋藏学参数

埋藏学参数（taphonomic parameters）是古人类活动留下的遗物和伴生物本身的特征，考虑到脊椎动物化石埋藏学是另一门科学，因此，这里主要涉及石制品的各类参数指标。

A. 石制品技术组合

遗址出土石制品的技术组合（technological composition）在一定程度上能揭示遗址受改造搬运程度强弱，进而反映遗址保存早期人类活动信息的完整性。如果一个遗址发生了

石制品的生产活动，那么其产品在技术上应该呈现一致性（coherency），尤其是石核与废片的比例；如果出现不一致的现象，我们应该考虑包括水流搬运和分选的可能性^[18]。根据 Kathy Schick^[18-19] 所进行的实验研究，对于一个石制品组合保存较为完整或原地埋藏的遗址来说，如果使用直径为 5mm 的网筛进行筛选，最大长小于 20mm 的碎屑 (SFD/small flaking debris)^[6] 的比例一般为 60-75% 甚至更高。

在统计石制品组合的过程中，学者们常用剥片类产品 (Flaked Pieces) 和废片类产品 (Detached Pieces) 的比例来表示，比值越小可能反映遗址受改造程度越小，反之后期水流搬运改造可能导致了古人类生产石制品的技术信息的缺失^[44]。图 1 表示近原地埋藏的水洞沟第 7 地点 (SDG7)^[45] 与泥河湾盆地飞梁遗址 TOK 探方 (FL-TOK)^[46] 以及异地埋藏的丹江口库区马岭 2 号地点 (ML2A)^[47] 遗物受后期改造的差异。从图中可以看出，虽然三处遗址的剥片类均在 10% 以下，但 SDG7 相对其他两个遗址更低，表明技术信息丢失微弱；异地埋藏的 ML2A 地点虽然受到明显的水流搬运和改造，但其技术组合和受到较弱水流改造的 FL-TOK 探方基本类似，说明两个遗址都保留了基本技术信息。

B. 石制品风化和边缘磨损程度

石制品风化程度 (degree of weathering stage)，即化学蚀变程度，是石制品产生后暴露地表或者被埋藏后，其破裂面接受化学蚀变而颜色和结构改变的程度，学者们常将风化程度分为 4 级^[48-49]。石制品磨蚀程度 (degree of abrasion stage)，亦即物理机械磨损程度，指石制品产生后在埋藏过程中受到水流等营力影响而使石制品边缘受到磨损的程度，国际学术者也常将磨蚀程度分为 4 级^[48-49]。相比石制品外表化学风化程度反映石制品制作后暴露在地表的时间长短（不同原料存在差异），石制品边缘的磨蚀程度 (roundness or edge damage) 则直接反映石制品制作后至埋藏过程中所受水动力搬运和改造的大小程度^[20,44]。需要指出的是，古人类使用、动物踩踏和自然水流磨蚀等都会在石制品边缘产生各类痕迹，研究者需要在显微镜下对标本边缘的微痕进行观察，来区别不同痕迹的产生原因^[50-51]，只有这样才能保证研究者在鉴别边缘磨损程度时的可信度。一般来讲，原地埋藏或极少受后期水流改造的石制品多外表新鲜，且边缘保存完好；而受水流搬运改造较强的石制品组合则常显示原始颜色改变且边缘受不同程度的磨损。

C. 石制品尺寸分布区间

石制品个体大小分布区间 (artifact size distribution 或 artifact size curve) 是反映石制品组合自制作完成至埋藏过程中，所受水动力搬运和改造程度的有效指标^[5,18,31,52]，在实际研究中常用石制品组合中废片类石制品的个体大小 (debitage size distribution) 来统计。Kathy

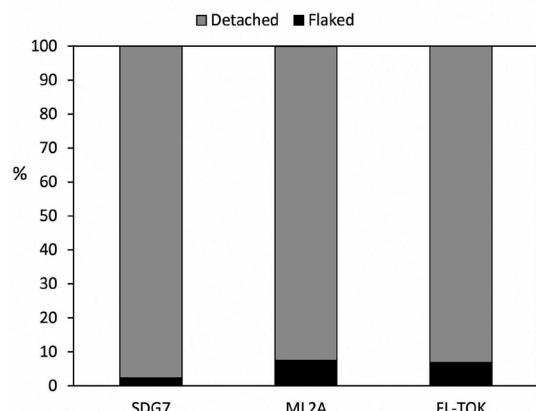


图 1 水洞沟第 7 地点^[45]、飞梁 TOK 地点^[46] 和马岭 2 号地点^[47] 剥片类和废片类石制品统计图

Fig. 1 Ratios of flaked pieces/detached pieces of lithic artifacts from SDG7^[45], FL-TOK^[46], and ML2A^[47] sites

Schick^[18]在东非根据多个实验($n=107$)的研究结果,绘制了一条关于废片类石制品的尺寸分布曲线,用以代表发生石制品生产活动且未受水流分选的遗址内废片的尺寸分布特征。这条曲线在尺寸 $L<2\text{cm}$ 处显示出一个明显的峰值,随着尺寸的增大曲线急剧下降。这表明尺寸较大标本的减少是一个正常的未受水流改造的现象,而个体较小标本的缺失常表明遗址形成过程中标本被水流搬运出遗址区。图2为实验曲线和近原地埋藏的水洞沟第7地点(SDG7)^[45]、泥河湾盆地飞梁遗址TOK探方(FL-TOK)^[46]及异地埋藏的丹江口库区马岭2号地点(ML2A)^[47]石制品废片受后期改造程度的差异。图中显示,

SDG7地点的曲线几乎和实验曲线吻合,而FL-TOK探方与ML2A地点均缺少了部分细小的石制品,尤其是后者 $L<2\text{cm}$ 的标本缺失,表明细小标本被后期的水流搬出遗址区。

D. 拼合研究

石制品拼合研究本是旧石器时代考古研究中复原古人类技术序列的重要研究手段,它有助于我们更加客观、全面的认识石器技术、古人类思维和行为方式、遗址功能等多方面的信息^[53-54]。但在该方法创立伊始,其对遗址形成过程研究的意义就被发现^[53],随后,多数学者运用一个石制品组合中可拼合标本的空间信息,揭示遗址埋藏过程中技术信息的完整性,进而复原遗址形成过程中所受次生改造的影响程度^[55-57]。一般来讲,遗址出土石制品可拼合标本的比例越大,表明石制品埋藏后所受后期改造的程度越小;反之,若一套组合中难以寻找到可拼合的标本,在排除人为因素之外,水动力改造和搬运造成信息缺失则是主要原因。在实际研究中,学者们常通过计算一套可拼合标本在水平和垂直方向上的位置和距离来分析埋藏过程中外力的强弱,从侧面评价遗址形成过程中后期水动力参与的程度。

E. 石制品和其他伴生遗物的关系

在遗址出土的所有遗物当中,除石制品之外的其他遗物(主要包括未见人工痕迹的砾石、岩块和动物化石等),在判断遗址形成过程方面同样具有不可替代的作用^[21,43]。若遗址除出土石制品外,还伴生大量的未见人工痕迹的砾石和岩块(unmodified lithic materials),尤其是在旧石器时代早期的古人类活动遗址,这种情况很可能是自然搬运的产物;若大量石制品伴生极少量的砾石或岩块,则应更多地考虑是否是人为搬运制作石制品的备料^[44]。此外,遗址伴生的动物化石遗存的特征,包括保存状况(bone preserve condition)和表面痕迹(surface modification)等,也是判断遗址成因的重要因素。若动物化石保存新鲜且表面可见人类砍砸或割切的痕迹,则人类活动在遗址形成过程中扮演了重要角色;反之,若伴生动物化石破碎且磨蚀较重,水流搬运和改造是遗址形成过程中的主要营力^[44,58]。

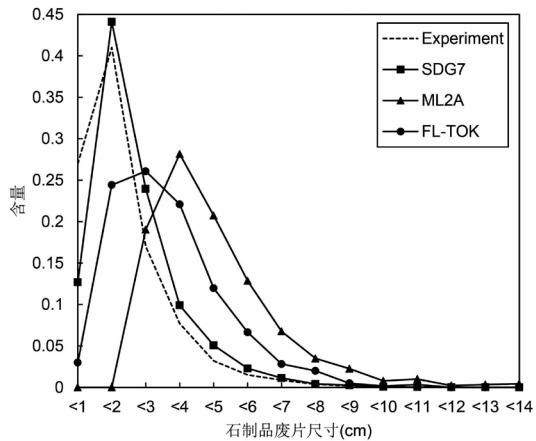


图2 水洞沟第7地点^[45]、飞梁TOK地点^[46]和马岭2号地点^[47]石制品废片尺寸大小区间统计图

Fig.2 Debitage size distributions of lithic artifacts from SDG7^[45], FL-TOK^[46], and ML2A^[47] sites

2.2.2 空间分析参数

空间分析参数 (spatial analysis parameters) 是古人类活动留下的遗物和伴生物在地层空间分布的特征，其信息对解读遗址埋藏过程中人类和自然因素所扮演的角色具有重要意义。同埋藏学参数一样，这里仅涉及石制品的各类指标。

A. 石制品密度

石制品密度 (artifact density) 是指单位发掘面积内出土石制品的数量和重量，可以指整个发掘面积也可以精确到每个发掘探方甚至一个自然的地层单元。就整个发掘区而言，高密度的石制品分布所隐含的早期人类信息相对较低密度的石制品分布来讲是高的，若一个区域多个地点的石制品分布密度很低，则可能折射了人类活动的频次较低或距离原料产地较远^[25]。需要注意的是，高密度的石制品分布特点常反映水流搬运的特点，尤其是呈长条状或局部聚集的石制品分布状况而言。随着学科的发展，研究者开始将发掘区按照微地貌特征分为多个埋藏区，在这种分析的条件下，如果将石制品的类型和未带人工痕迹的砾石和岩块区分开来，对判断遗址形成过程中水动力条件参与程度有极大的帮助。

B. 标本空间分布的数字等高模型

标本分布的数字等高模型 (DEM) 是运用 GIS 技术统计一个发掘区或单个地貌单元出土石制品在空间的分布状况^[33,35]。相比于传统的表格数量统计和多方向的二维分布图来讲，DEM 的视觉效果极为明显，可以直观识别发掘区内石制品分布随高程的变化情况。如果将石制品类型和自然砾石及岩块区别开来，不同区域石制品密度与类型随高程变化的规律就可判读出来。在研究中，学者开始尝试首先复原一个发掘区内单个文化层底界的微地貌和地形单元，然后根据标本的 DEM 分布，分析标本随高程的变化规律；同时可识别出标本的分布和微地貌的斜坡是否存在关系，进而判断水流改造的程度和水流方向^[51,59]。

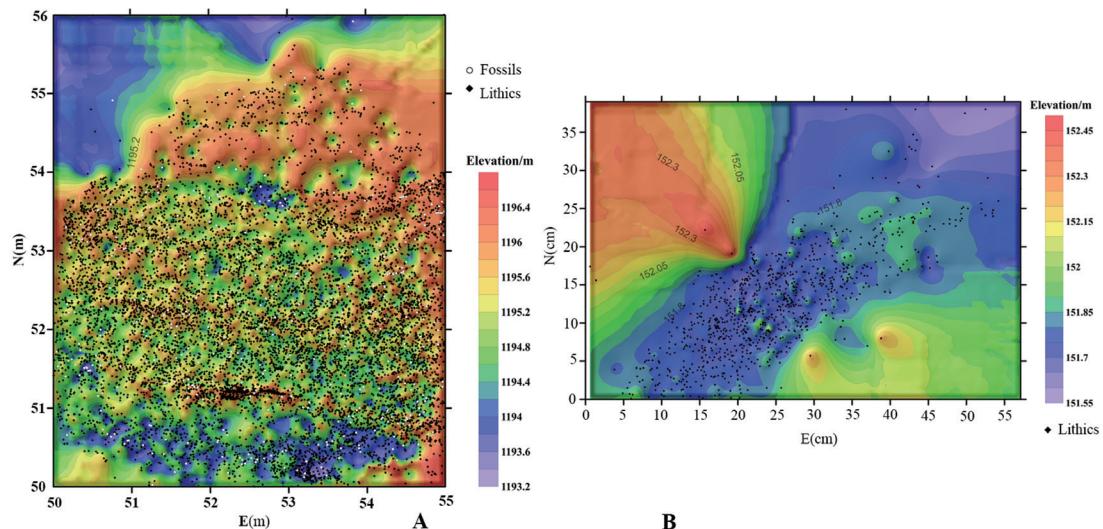


图 3 水洞沟第 7 地点和马岭 2 号地点石制品分布的数字等高模型图

Fig.3 Digital elevation model (DEM) figures of lithic artifacts from SDG7 and ML2A site

A) 水洞沟第 7 地点 /SDG7 site; B) 马岭 2 号地点 /ML2A site

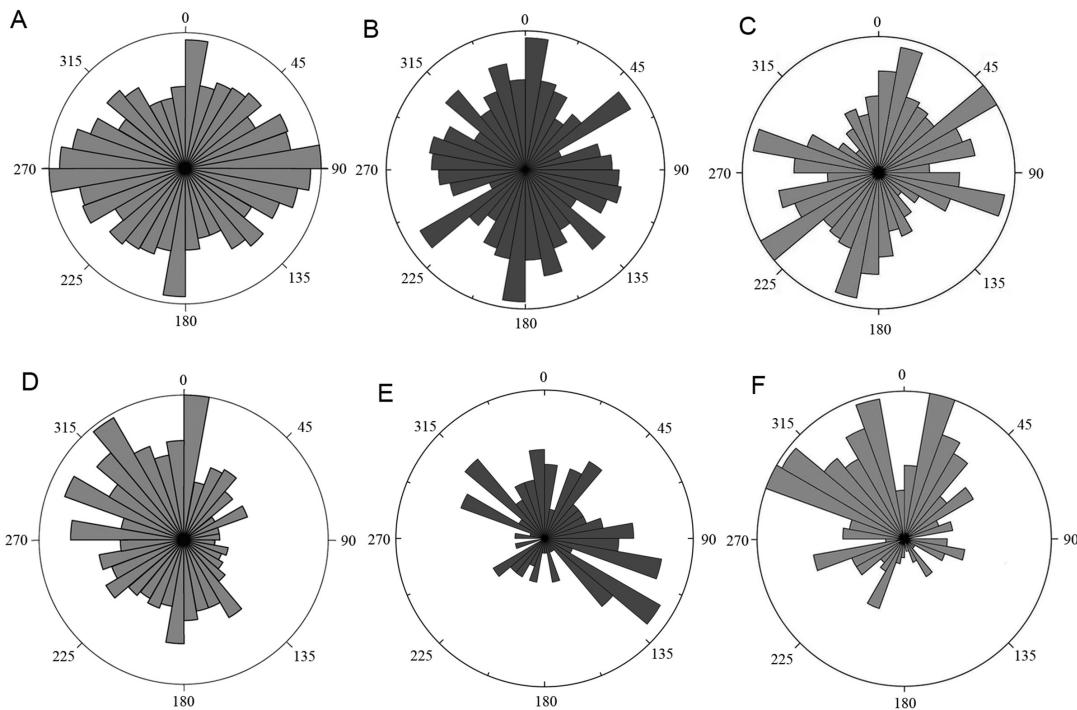


图4 水洞沟第7地点^[45]、飞梁TOK地点^[46]和马岭2号地点^[47]石制品走向和倾向玫瑰花图

Fig.4 Rose diagrams showing the orientation and dip patterns on the lithic artifacts from SDG7^[45], FL-TOK^[46] and ML2A^[47] sites

A) 水洞沟第7地点石制品走向 /Orientation pattern of SDG7 lithic artifacts($n=998$); B) 飞梁TOK地点石制品走向 /Orientation pattern of FL-TOK lithic artifacts($n=447$); C) 马岭2号地点石制品走向 /Orientation pattern of ML2A lithic artifacts($n=343$); D) 水洞沟第7地点石制品倾向 /Dip pattern of SDG7 lithic artifacts($n=611$); E) 飞梁TOK地点石制品倾向 /Dip pattern of FK-TOK lithic artifacts($n=126$); F) 马岭2号地点石制品倾向 /Dip pattern of ML2A lithic artifacts ($n=377$)

图3是水洞沟第7地点(SDG7)和丹江口库区马岭2号地点(ML2A)标本分布的DEM图,从图中可以看出,SDG7标本分布比较密集,深度较大且密度较高的区域反映了标本在原地制作完成后,受后期地层湿陷的影响而聚集的特点;而ML2A地点的标本呈长条状分布且分布在相对较低的范围内,反映水流搬运的特征。

C. 石制品走向和倾向特征

石制品的空间走向和倾向(orientation and dip)分析来源于地学中碎屑物的空间结构分析(fabric analysis)^[60], Glynn Isaac首先将其运用到早期人类河湖相遗址形成过程的分析中^[17, 43],随后被多数学者运用到不同类型的遗址成因研究案例中^[24-27, 61-63]。近年来,随着全站仪(total station)和GIS设备和技术的全面运用,出土标本的产状信息的获取和后期处理变得更加方便和有效,分析结果的可信度也得到增强^[64-66]。

实验研究表明,经过流水改造的石制品(尤其是形态上呈长条状的石制品)的走向会呈现一定的规律性,并可以反映水流的强度和方向。一般来说,尺寸 $L < 4\text{cm}$ 的带长轴的石制品的走向常与水流方向平行,而尺寸 $L \geq 4\text{cm}$ 带长轴的石制品的走向常常呈现与水流方向垂直的状态^[18-19, 25]。同时,石制品的倾向与倾角特征的结合是判断水流强度和方向的

另一个敏感指标^[18], 遗物倾向集中的方向往往代表了水流的上游方向; 而遗物倾角的大小与水流的强度和流速呈正相关, 较小的倾角范围(5-10°)往往由较弱的低速水流产生, 而较强的水流往往产生更大的倾角(10-30°或≥30°)^[18,25]。需要说明的是, 在无稳定河道的湖泊片流(sheet wash)沉积环境下, 古人类活动留下的石制品的走向和倾向信息较为复杂, 需要结合其他指标综合考虑^[4,51,66]。

图4为近原地埋藏的水洞沟第7地点(SDG7)^[45]与泥河湾盆地飞梁遗址TOK探方(FL-TOK)^[46]以及异地埋藏的丹江口库区马岭2号地点(ML2A)^[47]遗物受后期改造的差异。SDG7地点的标本走向是随机的, 反映无明显后期排列, 而倾向略向西北, 可能反映湿陷水流的上游。FL-TOK的标本走向不明显, 而其倾向大致沿西北-东南方向, 可能指示无固定河道的片流周期性震荡。而受明显搬运改造的ML2A地点标本的走向沿北东-南西展布, 其倾向西北, 反映水流来自西北, 和实际水流的流向一致。

3 讨论

3.1 古人类活动信息与遗址形成过程模型

自20世纪80年代以来, 遗址形成过程研究在解读早期人类生存和适应行为方面越来越受到重视, 如何鉴别遗址形成过程中水动力条件参与的程度和大小逐渐成为早期人类活动相关研究的热点。长期以来, 旧石器时代早期古人类在旷野遗址成因中扮演主角的情况常被古人类学家视作“人类生活面(living floor)”^[67-68]或“人类居住营地(home base)”^[69-70]来表述。古人类学家于上世纪60年代初最先在西亚的以色列‘Ubeidiya’遗址发现并确认人类活动面的存在, 研究者将密集分布的砾石、石制品和大量动物骨骼解释为早期人类采集石料、打制石制品并狩猎、食用所为^[71], 但对自然过程对遗址形成的影响尚未触及^[72-73]。在1988-1994年, 考古学家对‘Ubeidiya’遗址进行了发掘, 揭露多个所谓的“living floors”, 但对遗址内遗物的砾石分布特点、石制品组合完整性、风化磨蚀状况和古地貌研究显示, 所谓的“living floors”现象缺乏足够的证据, 水流搬运、改造在遗址形成过程中占据主要因素^[49]。在‘Ubeidiya’遗址发现“living floors”不久, Mary Leakey在东非的奥杜威峡谷(Olduvai Gorge)的发掘也取得重大发现, 她在遗址FLK-North level1-2层位发现1200余件Oldowan工业石制品和3300多件大型哺乳动物化石以及一定数量的砾石, 她将这种现象解释为“living floors”^[68], 并将与石制品伴生的砾石解释为人类搬运原料(manuports)的行为。与此同时, Glynn Isaac将这一发现和包括Koobi Fora遗址在内的多个东非遗址的此类现象解释为“home base”^[69-70], 但这种解释一直存在争议。随着非洲一系列古人类学和考古学工作的展开, 越来越多的学者开始关注如何鉴别遗址埋藏过程中人类参与和自然因素改造所扮演的角色, 并通过实验研究来验证考古学家对出土遗物现象的解释^[18-19]。对Olduvai Gorge早期发掘材料的进一步研究显示, 所谓的“living floors”和人类搬运砾石为备料的现象均缺乏足够依据, 自然水流搬运和改造才是遗址成因的主要营力, 并不存在所谓的“人类生活面”^[74-75]。对奥杜威峡谷地质和动物考古学研

究显示，先前确认的“home base”也缺乏足够的人类改造动物的行为，多数动物化石的死亡和集中埋藏与人类活动的关系不大，人类居住营地的说法也缺乏足够的证据^[76]。

近年来，古人类学家开始聚焦人类活动遗物数量和空间分布状态在遗址形成过程研究中所扮演的角色，力图增加遗址功能解读的可信度。以色列学者 Malinsky-Buller 等^[22]总结了遗址成因和人类在遗址形成过程中扮演角色的关系，归纳并提出了旧石器时代三种遗址形成过程的模型，包括人类生活面（living floor model）、快速堆积（rapid-accumulation model）和缓慢堆积（slow-accumulation model）等（表 1）。

对于人类生活面模型的遗址形成过程，作者强调人类活动的绝对参与且单一频次的占据，同时文化层厚度在 10cm 以下且边界清晰^[68]，可以识别出人类活动面和多个彼此分离的人类活动区域，文化遗物也是同时期形成并保存新鲜的状况。快速堆积模型是基于考古学和民族学材料结合的前提下提出的，它强调多个人类活动期连续重复地在一个相对较短的时期保存，埋藏过程较快后期自然营力参与程度较弱，文化层厚度多超过 10cm 且横向延伸不稳定；在空间上仍可识别出部分人类集中活动区，大部分石制品的外表新鲜或轻微磨蚀。相比前两种模型，缓慢堆积模型的出发点则是强调水动力条件在遗址形成过程中的主导作用，且早期人类活动留下的遗物在地表暴露时间较长，空间上无法识别出人类的集中活动区域，石制品外表存在新鲜和磨蚀严重混杂出现的状况。

此种思路对于我们依据遗址本身的地层和遗物来解读人类的生存行为具有重要的参考价值，而新技术和新方法诸如 GIS 和 DEM 手段介入使得该项研究更具科学性。以 Mary Leakey 早期在奥杜威峡谷 Bed-II 的研究为例，其中一处早期阿舍利遗址 EF-HR，由于石制品密集但动物化石极少，出于谨慎，她没有发表遗物空间数据；然而她仍在遗址发掘区识别出了几个小型湖泊片流河道，并提出河道之间存在多个人类生活面（living floors）。近年来，伦敦大学学院的 Ignacio de la Torre 通过新的发掘，采用先进的 GIS 和 DEM 手段对该遗址的形成过程进行系统研究，文化层底面的水系复原揭示主发掘区 T2 探方存在较为复杂的水系，而标本的密度恰恰与水系搬运能力消减区吻合（图 5）^[51]，表明先前揭示的人类活动面并不存在。

表 1 遗址成因模型与古人类活动信息
Tab.1 Accumulation models and corresponding archaeological signatures

遗址成因模型→	生活面模型 (living floor) ^[68, 77-78]	快速堆积模型 (rapid-accumulation palimpsest) ^[79-80]	缓慢堆积模型 (slow-accumulation palimpsest) ^[81]
古人类活动信息↓	一次单一的活动事件	少量活动事件伴随后期再沉积改造的遗址形成过程，但活动期次可辨	多个活动事件，活动期次边界被后期改造变得难以识别
古人类活动频次	短暂且单一的人类活动行为	人类活动和地质形成过程交替发生	长时间人类活动，但仅有地质形成过程可以识别
古人类活动时间	文化层厚度多在 10cm 以下，水平延伸和顶底边界清楚	文化层厚度多在 10cm 以上，水平延伸不稳定	文化层大大超过 10cm，且水平延伸不稳定，垂向边界不清
考古层位属性	空间分布不规律，多个分散的人类活动区域可辨	活动集中区由于后期的地质改造而变得模糊	无法分辨古人类活动的具体区域
标本空间分布特点	古人类遗存均为同时期形成，石制品保存新鲜无磨蚀	大部分石制品的外表新鲜	不同保存状况的石制品混杂一起
石制品保存状况			

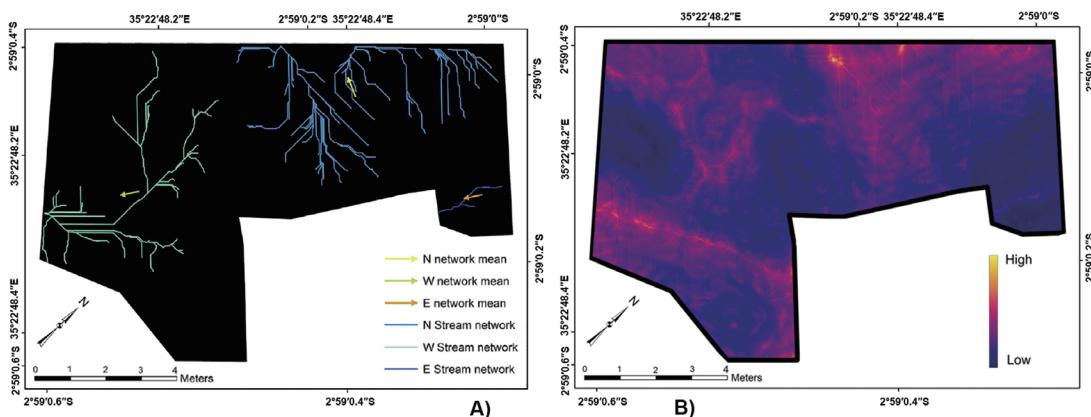


图 5 东非奥杜威峡谷 EF-HR 遗址 T2 探方文化层地面水系解析和标本分布密度解析图^[51]

Fig.5 Main streams networks of the bottom of the archaeological layers and artifacts density of the artifacts of T2 main trench of EF-HR site from Olduvai Gorge, East Africa^[51]

A) 文化层底面水系解析图 /Main stream networks of channels (identified through field observations), B) 标本空间分布密度图 /Probability surface of T2-Main Trench: a log-linear regression model based on elevation, slope, flow direction, and flow accumulation. Intensity of artifacts is represented by colors from blue (minimum) to yellow (maximum)

3.2 遗址成因研究在中国的尝试与发展

中国的古人类学和旧石器时代考古学是伴随着周口店北京猿人遗址的发现和研究开始。研究伊始，学者们就非常注重遗址埋藏类型和堆积过程的研究，但主要停留在地层的划分和剖面的描述层面。虽然新世纪以来有多学科研究介入^[82-85]，但尚未有通过遗物本身探求遗址形成过程的研究成果推出。我国对旷野遗址形成过程的研究起步于上世纪 80 年代，1982 年张森水等发表的铜梁旧石器遗址自然环境的探讨^[86]，应该是在探索旷野遗址形成过程的一个成功尝试；但其研究思路仍是通过传统的地层划分、动物群和部分环境替代性指标来复原古人类活动的生态环境，应该说这主要为解读早期人类的生存与环境适应行为开辟了新的思路。

随着改革开放的深入，国际上一些新的研究理念和方法开始影响我国古人类活动遗址的形成过程研究。尤玉柱于 1989 年出版史前考古埋藏学^[87]著作，从史前遗址堆积类型、地层结构出发，系统介绍西方学术界常用的遗址出土动物化石的属种、破碎状况、各种人为和自然痕迹的分析方法，对遗址形成过程中存在的人为和自然改造过程进行解读，并对遗址功能进行介绍。上世纪 90 年代初开始的中美泥河湾盆地合作考古发掘和研究，在中国旧石器旷野遗址的形成过程研究领域产生了深远影响。谢飞、卫奇接受了 Desmond Clark 和 Kathy Schick 的田野发掘和遗址成因研究思路，在泥河湾盆地的部分重要遗址开展了成功的尝试。谢飞等通过石制品的空间分布状况和拼合特点对岑家湾遗址的性质和人类行为进行解读^[88-90]；对飞梁遗址 T1 发掘区遗物产状分布和片流河道的关系进行剖析，分析水流改造在遗址形成过程中扮演的角色^[91]。卫奇通过对半山遗址发掘地层和文化遗物的空间分析，解读了该遗址的埋藏特点与人类活动的关系^[92]；通过对泥河湾盆地地质学框架的梳理，首次在中国提出旧石器时代考古学领域的“考古地质学”概念，并强调地层学是考古地质

学研究的基础^[93]。应该说两位学者对泥河湾盆地旷野遗址成因的研究是拉近我们和西方学者在该领域研究水平的典范。遗憾的是，他们的工作并未引起国内旧石器时代考古学界的足够重视，究其原因可能与大多数考古学者的教育经历（历史学而非地质学背景）有关。

虽然西方遗址成因的研究手段已经在国内外有了成功尝试，但旧石器时代考古学者凭主观印象解读早期人类适应行为的现象仍较为流行。张森水于1993年发表了对丁村遗址54:100地点的石制品研究报告，他依据遗址群内不同地点的石制品大小，建议把54:100和54:102地点的石制品从丁村大型石器组合中分离出来，归入周口店第1地点小石器文化传统，并代表人类不同的适应方式^[94]。对于该研究，物理学背景出身的山西省文物考古研究所王益人，通过对丁村遗址群不同地点埋藏环境的考察和研究认为，丁村文化是一个不可分割的整体，且丁村遗址是一个经过河流搬运埋藏的遗址群，各地点之间石制品大小和类型等特点的差异主要是由河流搬运埋藏的特点所造成的，并不是两种“工业”或两种文化传统的差异^[95]。随后，北京大学王幼平等在湖北鸡公山遗址的发掘取得“重要突破”，他们在下文化层发现一个面积近500 m²的生活面(living floor)，在东西长约30 m，南北宽约20 m的区域，布满了砾石、石核、石片和各种类型的石制品，由几个石圈组成^[96]。另外，安徽省文物考古研究所房迎三等在水阳江流域的毛竹山遗址也取得“惊人”发现；在对遗址性质的解读中，作者认为该遗址除作为储料场和石器制造场外，由于遗迹中石制品的比例较低，打制石器时应该存在的砾石碎屑很少，砾石的堆积具备一定形状，砾石圈体上存在比较规则的小圈，有直立的石制品和砾石等，推测砾石环带可能是水阳江旧石器地点群的一处中心营地^[97]。作者虽未到访过鸡公山遗址，却有幸考察过毛竹山遗址并观察过保存在安徽省文物考古研究所的石制品，该遗址埋藏于河流阶地上，距离“文化层”北侧不足10 m处就分布着厚度超过3 m的砾石层，这种高能量的堆积环境在没有动物化石发现的前提下就解释为人类生活面或居住营地过于牵强；此外，石器组合中砾石数量远大于石制品数量，细小石制品缺失，石制品周边磨蚀较重，这些均属于水流搬运遗物致细小石制品至遗址外的特征。虽然这些“遗物”多呈类似于“石圈”等现象，但自然动力搬运甚至排列砾石的现象甚为常见。

随着学科交叉的深入，地质和环境研究的成果开始影响古人类学研究，在新旧世纪之交，刘东生和黄慰文开始在地球环境演化视角下，审视古人类学和旧石器考古学研究的思路。黄土分布区横亘在欧亚大陆北部，其间蕴含大量地质和环境变化的信息，鉴于其重要性，刘东生院士于1999年提出了“黄土石器工业(Loess Lithic Industry)”、“黄土地质考古带(Loessic Geo-archaeological Belt)”和“黄土之路(Loess Road)”,^[98]等概念，为研究早期人类扩散、技术交流提供了人与环境关系层面的思考和解释，也将人类、人类所创造的历史和承载着人类活动的环境背景统一为密切的整体。随后，黄慰文结合中国南方的红土堆积特点，提出了“红土地质考古带(Latozoic-soils Geo-archaeological Belt)”和“红土石器工业(Latozoic-soils Lithic Industry)”,^[99]的概念，作为对刘东生建议的补充，并强调南方的红土也是探求早期人类演化和扩散的重要载体；同时，他再一次地强调了地层学是中国旧石器时代考古研究的基础^[100]，它影响着早期人类活动年代框架的建立和区域生存模式的解读和划分。应该说两位先生的思路对年轻学者从事早期人类活动研究提供了更为宏观的出发点。

与此同时，旧石器考古学界对早期人类活动遗址成因的研究，却仍停留在对遗址地层

划分、遗物分布特点和出土动物化石所揭示的埋藏学信息层面，如陈淳等于 1998 年在泥河湾盆地小长梁遗址采用了全球定位系统进行地理定位，分析显示石制品与动物骨骼分布为水动力短距离搬运沉积的特点^[101]；他于 2004 年出版的《考古学理论》中，重点对动物化石组合揭示的埋藏学特征进行介绍，并指出遗址形成过程可能受到的水动力改造会影响遗址功能的解读^[102]；李占扬等通过分析遗址出土遗物的分布特点，推测许昌灵井遗址是一处古人类制作石器、骨器并使用这些工具进行生产的工作营地，埋藏类型主要是湖相沉积和滨湖相沉积^[103]。遗憾的是，类似的工作似乎并未触及遗址形成过程所受自然营力改造的关键指标，推测可能缺乏相关理论和方法支持以及不同学科方法的介入。

随着国际交流的广泛开展和学科发展的进一步深入，我们发现中国的旧石器材料在国际学术界的显示度仍然较为有限，很难有比较系统的研究成果推出，其中缺乏遗址成因研究是主要因素之一。近年来，我国学者开始走出国境，主动到西方该领域具有影响力的机构访问交流，吸收了国际通用的早期人类活动遗址成因的研究方法，将我国的相关研究逐渐推向国际视野。裴树文等对水洞沟第 7 地点的遗址成因研究，揭示黄土湿陷现象对遗址形成过程的影响^[45]；对丹江口马岭 2 号旧石器地点的研究，阐释了广泛保存在南方河流阶地的石制品属于次生埋藏的事实^[47]；通过系统的遗址形成过程指标分析，解读了泥河湾盆地飞梁遗址群和麻地沟 E5 旧石器地点石器组合的完整性，并强调早更新世水流改造在遗址形成过程中扮演的重要角色^[46,104]；另外，他培养的研究生也开始在遗址成因研究领域有所贡献^[105,106]。通过在南非的系统学习，李浩也在遗址成因研究方面开展了卓有成效的工作，他用多项地质和考古指标对许昌人遗址成因的研究^[107]和丹江口库区果茶场 II 地点的分析^[108]，同样引起国内外学术界的关注。应该说上述工作的开展对我们在早期人类活动研究领域与国际同行接轨具有积极的推动作用，也在一定程度上促进我们融入国际古人类活动研究领域。

4 结论

遗址形成过程研究目前已成为从事早期人类活动研究不可或缺的方向，我们没有理由也无法回避。与大多数旧石器时代晚期人类活动在遗址形成过程占据主导因素不同，旧石器时代早 - 中期旷野遗址的成因研究在我国却是刚刚起步。在尚未进行遗址形成过程分析之前，过分解读人类的适应行为不但难以代表研究者的水平高低，反而折射出研究者视野不足和研究手段的局限，并给研究工作带来不利影响。同时我们应该看到，本文介绍的方法多为旧石器时代早 - 中期研究所常用，而对于更多的距今仅为 3-4 万年以来的旧石器时代晚期旷野遗址，由于形成时间较近，出土遗物更加丰富，因此在田野发掘过程中要花费更多的时间和精力来获取本文介绍的有关指标；同时，在解读遗址形成过程中，由于受后期改造的可能性不及早期的遗址那么大，因此，有关人类行为在遗址形成过程中扮演的重要角色需重点考虑，但自然营力改造的排除仍是解读遗址功能和人类行为的前提。

近年来，中国古人类学和旧石器考古学领域的发现和研究成果层出不穷，而遗址成因研究在一定程度上成了中国古人类和石器技术研究融入国际学术舞台上的瓶颈。我们不仅要吸收地学背景的学者参与进来，更应该在研究思路上进行调整，传统的地层划分、描述

和分析已不能满足遗址成因研究的需要，先进的 GIS 和 DEM 技术的运用和发展迫使我们必须在地质考古学领域进行投入。选择单个重要遗址为突破点，地质、考古和 GIS 等手段的综合运用，不断推出相关研究成果，将保证我们跟上国际学术界在该领域的研究水平。

致谢：本文写作过程受到了美国 Stone Age Institute & Indiana University 的 Kathy Schick 教授的启发；在写作过程中，作者曾多次同西班牙 Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH) 研究中心的 Mohamed Sahnouni 教授、南非 School of Geography & Archaeology and Environmental Studies, University of the Witwatersrand 的 Kathleen Kuman 教授，以及英国 University College London 的 Ignacio de la Torre 教授就古人类活动遗址成因问题进行探讨；在文章成文过程中同中国科学院古脊椎动物与古人类研究所李浩博士进行多次有益的讨论；中国科学院青藏高原研究所贾真秀制作图 3；笔者特致谢意！

参考文献：

- [1] Leakey LSB. Olduvai Gorge: A Preliminary Report on the Geology and Fauna, 1951–61[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1967: 1-117
- [2] Goldberg P, Sherwood SC. Deciphering human prehistory through the geoarchaeological study of cave sediments[J]. Evolutionary Anthropology, 2006, 15: 20-36
- [3] O'Connor S, Barham A, Aplin K, et al. Cave stratigraphies and cave breccias: Implications for sediment accumulation and removal models and interpreting the record of human occupation[J]. Journal of Archaeological Science, 2017, 77: 143-159
- [4] Morton AGT. Archaeological Site Formation: Understanding Lake Margin Contexts[M]. Oxford: BAR International Series 1211, 2004
- [5] Petraglia MD, Potts R. The impact of fluvial processes on experimental sites[C]. In: Nash DT, and Petraglia MD, (eds), Natural Formation Process and the Archaeological Record[M]. Oxford: BAR International Series, 352, 1987, 108-130
- [6] Kuman K. Site formation in the early South African Stone Age sites and its influence on the archaeological record[J]. South African Journal of Science, 2003, 99: 251-254
- [7] Schiffer MB. Formation process of the archaeological record[J]. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1987
- [8] Pei WC. An account of the discovery of an adult Sinanthropus skull in the Choukoutien deposits[J]. Bulletin of Geological Society of China, 1929, 8(3): 203-205
- [9] Teilhard de Chardin P, Pei WC. The lithic industry of the Sinanthropus deposits in Choukoutien[J]. Bulletin of Geological Society of China, 1932, 11(4): 317-358
- [10] 吴汝康, 任美锷, 朱显谟, 等. 北京猿人遗址综合研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1985, 1-267
- [11] Binford LR, Ho CK. Taphonomy at a distance: Zhoukoudian, “the cave home of Beijing man?”[J]. Current Anthropology, 1985, 26: 413-442
- [12] Binford LR, Stone NM. Zhoukoudian: a closer look[J]. Current Anthropology, 1986, 27: 453-475
- [13] Häusler H. Did anthropogeology anticipate the idea of the Anthropocene[J]. The Anthropocene Review, 2017, 5(1): 69-86
- [14] Kasig A. Anthropogeologie-Eine neue wichtige Forschungsrichtung innerhalb der Geowissenschaften[J]. Nachrichten der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1979, 21: 61-67
- [15] Ghilardi M, Desruelles S. Geoarchaeology: where human, social and earth sciences meet with technology[J]. SAPIENS, 2008, 1(2): 1-9
- [16] Rapp G, Hill CL. Geoarchaeology: The earth-science approach to archaeological interpretation (2nd edition)[M]. New Haven and London: Yale University Press, 2006
- [17] Isaac GL. Towards the interpretation of occupation debris: some experiments and observations[J]. Kroeber Anthropology Society Paper, 1967, 37: 31-57
- [18] Schick KD. 1986. Stone Age Sites in the Making: Experiments in the formation and transformation of archaeological occurrences[M]. Oxford: BAR International Series, 319, 1986, 1-313

- [19] Schick KD. Modeling the formation of early stone artifact concentration[J]. *Journal of Human Evolution*, 1987, 16: 789-807
- [20] Petraglia MD, Potts R. Water flow and the formation of Early Pleistocene artifact sites in Olduvai Gorge, Tanzania[J]. *Journal of Anthropological Archaeology*, 1994, 13: 228-254
- [21] Isaac GL. Bones in contention: competing explanations for the juxtaposition of Early Pleistocene artefacts and faunal remains[C] In: Clutton-Brock J, Grigson C(eds). *Animals and Archaeology*, Vol. 1. Hunters and their Prey[M]. Oxford: BAR International Series 163, 1983, 3-19
- [22] Malinsky-Buller A, Hovers E, Marder O. Making time: ‘Living floors’, ‘palimpsests’ and site formation processes-A perspective from the open-air Lower Paleolithic site of Revadim Quarry, Israel [J]. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2011, 30: 89-101
- [23] Harris JWK. The Karari Industry: Its place in East African prehistory[D]. Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, 1978
- [24] Potts R. Lower Pleistocene site formation and hominid activities at Olduvai George[D]. Ph. D. Dissertation, Harvard University, 1982
- [25] Schick KD. Geoarchaeological analysis of an Acheulean site at Kalambo Falls, Zambia[J]. *Geoarchaeology*, 1992, 7: 1-16
- [26] Sahnouni M. The Lower Paleolithic of the Maghreb: excavations and analysis at Ain Hanech, Algeria[J]. Oxford: BAR International Series, 689, 1998, 1-162
- [27] Hovers E. Treading carefully: Site formation processes and Pliocene lithic technology[C]. In: Martinez J, Mora R, de la Torre I. (eds), Oldowan: rather more than smashing stone[A]. Bellaterra: First Hominid Technology Workshop, 2003, 145-164
- [28] Dominguez-Rodrigo M, Barba R, Egeland CP. Deconstructing Olduvai: A Taphonomic Study of the Bed I Sites[M]. Springer, Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology Series, 2007, 1-337
- [29] Benito-Calvo A, Martínez-Moreno J, Jordà Pardo JF, et al. Sedimentological and archaeological fabrics in Palaeolithic levels of the South-Eastern Pyrenees: Cova Gran and Roca dels Bous Sites (Lleida, Spain)[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009, 36: 2566-2577
- [30] Marder O, Malinsky-Buller A, Shahack-Gross R, et al. Archaeological horizons and fluvial processes at the Lower Paleolithic open-air site of Revadim (Israel)[J]. *Journal of Human Evolution*, 2011, 60: 508-522
- [31] de la Torre I, Benito-Calvo A, Proffitt T. The impact of hydraulic processes in Olduvai Beds I and II, Tanzania, through a particle dimension analysis of stone tool assemblages[J]. *Geoarchaeology*, 2018, 33(2): 218-306
- [32] Hassan FA. Sediments in Archaeology: methods and implications for paleoenvironmental and cultural analysis[J]. *Journal of Field Archaeology*, 1978, 5: 197-213
- [33] Conolly J, Lake M. *Geographical Information Systems in Archaeology*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006
- [34] Kvamme KL. Recent directions and developments in geographical information systems[J]. *Journal of Archaeological Research*, 1999, 7(2): 164-167
- [35] Ihaka R, Gentleman R. R: A language for data analysis and graphics[J]. *Journal of Computational & Graphical Statistics*, 1996, 5: 299-314
- [36] Visher GS. Grain size distributions and depositional processes[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39: 1077-1106
- [37] Thompson R, Bloemendal J, Dearing JA, et al. Environmental application of magnetic measurements[J]. *Science*, 1980, 207: 481-486
- [38] Maher BA, Thompson R. Paleorainfall reconstruction from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese Loess and paleosols[J]. *Quaternary Research*, 1995, 44(3): 383-391
- [39] Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, et al. *Handbook for Soil Thin Section Description*[M]. England: Waine Research Publication, 1985
- [40] Yemane K, Kahr G, Kelts K. Imprints of post glacial climates and palaeogeography in the detrital clay mineral assemblage of an Upper Permian fluviatile Gondwana deposit from northern Malawi[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1996, 125(1-4): 2-49
- [41] Harmois L. The CIW Index: A new chemical index of weathering[J]. *Sedimentary Geology*, 1988, 55(3-4): 319-322
- [42] Björck S, Olsson S, Evans CE, et al. Late Holocene palaeoclimatic records from lake sediments on James Ross Island, Antarctica[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1996, 121(3-4): 195-220
- [43] Isaac GL. The archaeology of human origins: Studies of the Lower Pleistocene in East Africa 1971-1981[C]. In: Wendorf F, and Close A(eds). *Advances in world archaeology*, Vol. 3[M]. New York: Academic Press, 1984, 1-87
- [44] de la Torre I. The Early Stone Age lithic assemblages of Gadeb (Ethiopia) and the Developed Oldowan/early Acheulean in East Africa[J]. *Journal of Human Evolution*, 2011, 60: 768-812
- [45] Pei SW, Niu DW, Guan Y, et al. The earliest Late Paleolithic in North China: Site formation processes at Shuidonggou Locality 7[J]. *Quaternary International*, 2014, 347: 122-132
- [46] Pei SW, Xie F, Deng CL, et al. Early Pleistocene archaeological occurrences at the Feiliang site, and the archaeology of human origins in the Nihewan Basin, North China[J]. *Plos One*, 2017, 12(11): e0187251
- [47] Pei SW, Niu DW, Guan Y, et al. Middle Pleistocene hominin occupation in the Danjiangkou Reservoir Region, Central China: studies of

- formation processes and stone technology of Maling 2A site[J]. Journal of Archaeological Science, 2015, 53: 391-407
- [48] Sahnouni M, Heinzelin J. The site of Ain Hanech revisited: new investigations at this Lower Pleistocene site in North Algeria[J]. Journal of Archaeological Science, 1998, 25: 1083-1101
- [49] Shea JJ. Artifact abrasion, fluvial processes, and “living floors” from the Early Paleolithic site of ‘Ubeidiya (Jordan Valley, Israel)[J]. Geoarchaeology, 1999, 14: 191-207
- [50] Levi Sala I. Use wear and post-depositional surface modification: A word of caution[J]. Journal of Archaeological Science, 1986, 13: 229-244
- [51] de la Torre I, Wehr K. Site formation processes of the early Acheulean assemblage at EF-HR (Olduvai Gorge, Tanzania)[J]. Journal of Human Evolution, 2018, 120: 298-328
- [52] Sitzia L, Bertran P, Boulogne S, et al. The Paleoenvironment and Lithic Taphonomy of Shi’Bat Dihya 1, a Middle Paleolithic Site in Wadi Surdud, Yemen[J]. Geoarchaeology, 2012, 27: 471-491
- [53] Villa P. Conjoinable Pieces and Site Formation Processes[J]. American Antiquity, 1982, 47: 276-290
- [54] Peter B. Obviously sequential but continuous or staged? Refits and cognition in three late Paleolithic assemblages from Japan[J]. Journal of Anthropological Archaeology, 2002, 21(3): 329-343
- [55] Colclutt SN, Barton RNE, Bergman CA. Refitting in context: A taphonomic case study from a Late Upper Palaeolithic site in sands on Hengistbury Head, Dorset (Great Britain)[C]. In: Cziesla E, Eickhoff S, Arts N, et al. (Eds.), The Big Puzzle: International Symposium on Refitting Stone Artefacts, Monrepos 1987[A]. Bonn: Holos, 1990, 219-235
- [56] Villa P. Taphonomy and stratigraphy in European prehistory[J]. Before Farming: The Archaeology and Anthropology of Hunter-Gatherers, 2004(1): 1-20
- [57] Sisk ML, Shea JJ. Intrasite spatial variation of the Omo Kibish Middle Stone Age assemblages: Artifact refitting and distribution patterns[J]. Journal of Human Evolution, 2008, 55: 486-500
- [58] Clark JD, Kurashina H. Hominid occupation of the east-central Highlands of Ethiopia in the Plio-Pleistocene[J]. Nature, 1979, 282: 33-39.
- [59] Katsianis M, Tsipidis S, Kotsakis K, et al. A 3D digital workflow for archeological intra-site research using GIS[J]. Journal of Archaeological Science, 2008, 35: 655-667
- [60] Lenoble A, Bertran P. Fabric of Paleolithic levels: Methods and implications for site formation process[J]. Journal of Archaeological Science, 2004, 31: 457-469
- [61] Kluskens SL. Archaeological taphonomy of Combe-Capelle Bas from artifact orientation and density analysis[C]. In: Dibble HL, Lenoir M(Eds). The Middle Paleolithic Site of Combe-Capelle Bas (France)[M]. Philadelphia: The University Museum Press, 1995, 199-243
- [62] Bernatchez JA. Taphonomic implications of orientation of plotted finds from Pinnacle Point 13B (Mossel Bay, Western Cape Province, South Africa)[J]. Journal of Human Evolution, 2010, 59: 274-288
- [63] Benito-Calvo A, Martínez-Moreno J, Jordá Pardo JF, et al. Sedimentological and archaeological fabrics in Palaeolithic levels of the South-Eastern Pyrenees: Cova Gran and Roca dels Bous Sites (Lleida, Spain)[J]. Journal of Archaeological Science, 2009, 36: 2566-2577
- [64] McPherron SJP. Artifact orientation and site formation processes from total station proveniences[J]. Journal of Archaeological Science, 2005, 32: 1003-1014
- [65] Benito-Calvo A, de la Torre I. Analysis of orientation patterns in Olduvai Bed I assemblage using GIS techniques: Implications for site formation processes[J]. Journal of Human Evolution, 2011, 61: 50-60
- [66] de la Torre I, Benito-Calvo A. Application of GIS methods to retrieve orientation patterns from imagery: a case study from Beds I and II, Olduvai Gorge (Tanzania)[J]. Journal of Archaeological Science, 2013, 40: 2446-2457
- [67] Clark JG. Excavation at Star Carr: An Early Mesolithic Site at Seamer near Scarborough, Yorkshire[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1954
- [68] Leakey MD. Olduvai Gorge, Volume 3: Excavations in Beds I and II, 1960-1963[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1971
- [69] Isaac G LI. The diet of early man: Aspects of archaeological evidence from lower and middle Pleistocene sites in Africa[J]. World Archaeology, 1971, 2: 278-299
- [70] Isaac G LI. The food-sharing behavior of protohuman hominids[J]. Scientific American, 1978, 238: 90-108
- [71] Stekelis M. Archaeological excavations at ‘Ubeidiya, 1960-1963[M]. Jerusalem: Israel Academy of Sciences and Humanities, 1966
- [72] Bar-Yosef O, Goren-Inbar N. The lithic assemblages of ‘Ubeidiya[M]. Jerusalem: Hebrew University Institute of Archaeology, 1993
- [73] Bar-Yosef O, Tchernov E. On the Palaeo-ecological history of the site of ‘Ubeidiya’[M]. Jerusalem: Israel Academy of Sciences and Humanities, 1972

- [74] de la Torrea I, Mora R. Unmodified lithic material at Olduvai Bed I: manuports or ecofacts? [J]. Journal of Archaeological Science, 2005, 32: 273-285
- [75] Bunn HT, Mabulla AZP, Domínguez-Rodrigo M, et al. Was FLK North levels 1–2 a classic “living floor” of Oldowan hominins or a taphonomically complex palimpsest dominated by large carnivore feeding behavior? [J]. Quaternary Research, 2010, 74: 355-362
- [76] Domínguez-Rodrigo M, Barba R, Egeland CP. Deconstructing Olduvai: A Taphonomic Study of the Bed I Sites [M]. Springer, 2007
- [77] Villa P. Sols et niveaux d’habitat du paléolithique inférieur en Europe et au Proche Orient [J]. Quaternaria, 1976, 19: 107-134
- [78] Bailey G. Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time [J]. Journal of Anthropological Archaeology, 2007, 26: 198–223
- [79] Bordes F. Sur la notion de sol d’habitat en préhistoire paléolithique [J]. Bulletin de la Société Préhistorique Française, 1975, 72: 139-143
- [80] Bordes F, Rigaud JP, Sonnevile-Bordes D. Des buts, problèmes et limites de l’archéologie paléolithique [J]. Quaternaria, 1972, 16: 14-34
- [81] Binford R. Bones: Ancient Men and Modern Myths [M]. New York: Academic Press, 1981
- [82] 刘泽纯, 周春林. 葫芦洞洞穴的成因及堆积演化过程 [C]// 吴汝康, 李星学, 吴新智等编, 南京直立人 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002, 168-180
- [83] 李潇丽, 高立红, 张双权. 周口店田园洞洞穴发育与充填序列探讨 [J]. 第四纪研究, 2008, 28(6): 1098-1105
- [84] Goldberg P, Weiner S, Bar-Yosef O, et al. Site formation processes at Zhoukoudian, China [J]. Journal of Human Evolution, 2001, 41: 483-530
- [85] Boaz NT, Ciochon RL, Xu QQ, et al. Mapping and taphonomic analysis of the Homo erectus loci at Locality 1 Zhoukoudian, China [J]. Journal of Human Evolution, 2004, 46: 519-549
- [86] 张森水, 吴玉书, 于浅黎, 等. 铜梁旧石器遗址自然环境的探讨 [J]. 古脊椎动物动物与古人类, 1982, 20(2): 165-179
- [87] 尤玉柱. 史前考古埋藏学概论 [M]. 北京: 文物出版社, 1989: 1-262
- [88] 谢飞, 李珺. 岑家湾旧石器时代早期文化遗物及地点性质的研究 [J]. 人类学学报, 1993, 12(3): 224-234
- [89] 谢飞, 李珺. 拼合研究在岑家湾遗址综合分析中的应用 [J]. 文物世界, 1995(1): 25-38
- [90] 谢飞, 凯西·石克, 屠尼克, 等. 岑家湾遗址 1986 年出土石制品的拼合研究 [J]. 文物世界, 1994(3): 86-102
- [91] 谢飞, 李珺, 成胜泉. 飞梁遗址发掘报告 [C]// 河北省文物研究所编, 河北省考古文集(第一辑) [M]. 上海: 东方出版社, 1998: 1-29
- [92] 卫奇. 泥河湾盆地半山早更新世旧石器遗址初探 [J]. 人类学学报, 1994, 13(3): 223-238
- [93] 卫奇. 泥河湾盆地考古地质学框架 [C]// 童永生, 张银运, 吴文裕, 等. 演化的实证——纪念杨钟健教授百年诞辰论文集 [A]. 北京: 海洋出版社, 1997, 193-207
- [94] 张森水. 丁村 54:100 地点石制品研究 [J]. 人类学学报, 1993, 12(3): 195-213
- [95] 王益人. 从河流埋藏环境看丁村遗址群的文化性质——与张森水先生商榷 [J]. 人类学学报, 2002, 21(2): 158-169
- [96] 刘德银, 王幼平. 鸡公山遗址发掘初步报告 [J]. 人类学学报, 2001, 20 (2): 102-114
- [97] 房迎三, 黄蕴平, 梁任又, 等. 安徽宁国毛竹山发现的旧石器早期遗存 [J]. 人类学学报, 2001, 20(2): 115-124
- [98] 刘东生. 黄土石器工业 [A]// 徐钦琦, 谢飞, 王建. 史前考古学新近展——庆祝贾兰坡院士九十华诞国际学术讨论会文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1999, 52-62
- [99] 黄慰文. 红土地质考古带与早期人类演化 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(5): 481-487
- [100] 黄慰文. 中国旧石器文化序列的地层学基础 [J]. 人类学学报, 2000, 19(4): 269-283
- [101] 陈淳, 沈辰, 陈万勇, 等. 河北阳原小长梁遗址 1998 年发掘报告 [J]. 人类学学报, 1999, 18(3): 225-239
- [102] 陈淳. 考古学理论 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2004, 192-206
- [103] 李占扬, 陈文利. 许昌灵井旧石器遗址埋藏学观察 [J]. 华夏考古, 2007(4): 130-136
- [104] 裴树文, 贾真秀, 马东东, 等. 泥河湾盆地麻地沟 E5 旧石器地点的遗址成因与石器技术 [J]. 人类学学报, 2016, 35(4): 493-508
- [105] 牛东伟. 水洞沟遗址第 7 地点遗址成因与石器技术研究 [D]. 中国科学院大学博士学位论文, 2014, 1-159
- [106] 贾真秀. 泥河湾盆地早更新世古人类遗址成因与石器技术比较研究——以东谷坨、麻地沟和飞梁遗址为例 [D]. 中国科学院大学博士学位论文, 2018, 1-256
- [107] Li H, Li ZY, Lotter MG, et al. Formation processes at the early Late Pleistocene archaic human site of Lingjing, China [J]. Journal of Archaeological Science, 2018, 96: 73-84
- [108] 李浩, 李超荣, Kuman K. 丹江口库区果茶场 II 旧石器遗址形成过程研究 [J]. 江汉考古, 2016(1): 42-50