

史前人类的生存之火

高星^{1,2,3}

1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室暨中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; 2. 郑州大学, 郑州 450001; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:用火是人类独有的行为能力, 对人类的生存演化至关重要。用火熟食改善了人类的营养, 导致人类生物特性发生一系列改变, 人口、行为、社会关系和生存方式也发生相应变化。用火使人类获得更多的生存资源, 并帮助人类改变工具与用具的材料特性, 如对石料做热处理, 进而发明了陶器和金属工具, 开启了文明的历程。人类与火的互动是一个长期、曲折的过程, 经历了偶尔利用自然火、时断时续对火控制和利用、有效保存火种乃至人工取火形成用火的日常习惯, 进而发展到现代无所不在、不可或缺的复杂用火。人类用火被认为始于直立人的诞生, 但目前提取到的证据指向 150 万年前。早期人类用火证据的提取和论证存在极大的困难和挑战, 需要精细的野外工作, 做高精度的遗址埋藏和遗物遗迹的空间分析, 须采用现代科技手段和模拟实验对地层沉积物和燃烧物证做微形态、成分、色度、磁化率、微体植物化石等尽可能多的宏观和微观分析, 排除自然因素的干扰, 这样得出的结论才会坚实可信。本文介绍了人类用火的历史、作用和对用火证据提取与分析的思路、方法与技术, 通过一系列案例阐述人类用火的方式、发展演化过程和考古学家为破译远古人类用火的谜团所做的努力和取得的成果, 以期对这项意义重大但常被忽视的研究起到推动作用。

关键词: 有控制用火; 火的作用; 用火历史; 用火证据; 现代科技分析

Fire for hominin survivals in prehistory

GAO Xing^{1,2,3}

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins & Center for Excellence in Life and Paleoenvironment of the Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Beijing 100044;
2. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The paper made an in-depth review on the history of academic research on hominin use of fire. It discussed the significance of fire-use to human evolution and development, presented different hypotheses on the origins of controlled use of fire by human ancestors, and used a series of case-studies to demonstrate the way fire-use evidences were collected and analyzed, and the

收稿日期: 2020-04-22; 定稿日期: 2020-06-12

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (B 类: XDB26000000); 郑州大学“中华文明根系研究”(XKZDJC202006);

国家自然科学基金 (41672024); 国家科技基础性工作专项 (2014FY110300)

作者简介: 高星, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员, 中国科学院大学岗位教授, 郑州大学学科特聘教授; 主要从事旧石器时代考古学研究。E-mail: gaoxing@ivpp.ac.cn

Citation: Gao X. Fire for hominin survivals in prehistory[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2020, 39(3): 333-348

complicated developmental process of fire-use in human history. Controlled use of fire is a unique behavior and capacity of human beings, and it has played an essential role on hominid survival and evolution. The use of fire led to cooked foods and made nutrition more easily be digested, which in turn brought about a series of biological adjustments and changes in demography, behavioral patterns, survival strategies and social structures to our species. Fire helped hominins procure more resources and modify physical properties of imperative materials, such as heat treatment on lithic raw materials, and gradually brought about the invention of pottery and metal utensils, and eventually human civilization. The history of human-fire interaction is a long and tortuous process, from the occasional use of natural fire, controlled use of fire on and off for hundreds of thousands of years, effective preservation of fire seeds, the making of fire and habitual use of fire, to the omnipresent, indispensable and complex ways of fire-use today. It has been proposed that hominid fire-use history began with the emergence of *Homo erectus*, but the current available reliable evidence pointed to the time node of ca. 1.5 MaBP. The detection and verification of fire-use evidence of early stage are difficult and challenging, requiring delicate and detailed field excavation and recording, high-resolution taphonomic and spatial information, and all applicable analyses with state-of-the-art technologies. Possible factors of natural agencies in producing fire remains, such as natural fire and post-depositional disturbance, have to be evaluated and terminated. Only after such careful data collection and comprehensive analysis, the evidence presented and conclusions reached can be convincing and accepted.

Keywords: Controlled use of fire; The significance of fire-use; Fire-use history; Evidence for the use of fire; State-of-the-art analyses

1 引言

人猿相揖别以来,人类已经走过了700多万年的演化里程。在这漫漫的历史长河中,人类以一系列开天辟地的创举昭示着自己与其它动物门类的截然不同,包括制作和使用工具,学会用火,产生复杂的语言,建筑房舍,进行艺术创作等。其中有控制地用火对人类的生存和演化至关重要,对我们身体机能的演进和技术文化与社会关系的发展意义重大。那么用火对人类的早期演化到底有过怎样的影响?对塑造今天的人类起到怎样的作用?人类是如何学会用火的?有控制用火发端在何时何地?其后又有什么发展变化?研究者怎样提取和分析用火证据?这是本文所要阐述的学术内容和所欲讨论的相关问题。

2 火对人类演化的重要性

本文和其他研究著述中所讲的“人类用火”,是指人类对火做有控制性的使用,即

为了一定的目的按照人的意志把燃烧的火局限在特定的地方，能将火种保持一定的时间，也就是能对火做约束、管理，而不是对自然野火的简单利用。野火因雷电、地震、地热、火山喷发、干热等自然因素发生，在有些地方特定的季节，例如干热时期的非洲大草原、澳大利亚和美国西南部山地经常发生，对人类的生产生活带来重大危害。对于人类有控制的用火，必须有证据才可以得到认可，而人类对自然火的简单利用则无法证明，因为那样偶尔为之的行为留不下可验证的证据。

用火对人类生存与演化的重要性，可以从火对人类生物属性和社会属性的影响两个方面加以阐述。

用火对人类体质方面的影响显而易见、十分明瞭^[1]。用火熟食改变了人类的摄食种类、进食方式和营养结构，使人类变得越来越具有自己的特点，与同为灵长类的其他动物的区别越来越大。首先是用火帮助人类拓宽了食谱，使我们这个物种能享用比其他物种多得多的食物种类，因为一些动物的部位、器官和某些植物的果实、根茎、叶子只有被烧烤或烹煮后才可被食用；其次是熟食后对蛋白质和脂肪等营养成分的消化吸收会更彻底，更容易转化成身体的能量。食物的拓展、营养的改善导致人类在体质上发生几方面的重大改变，包括：1) 脑量增加：直立人比其之前的能人的脑量大约增加了 30%。2) 体型增大：尤其是女性身材明显变大，使两性间的形体差距大大缩小。3) 牙齿变小：尤其是臼齿，因为熟食后咀嚼的任务减轻，牙齿的咀嚼功能退化，第三臼齿（一般称为智齿）正在消失中，其他臼齿的尺寸也相应减小。4) 脸型变窄变小：牙齿变小顺带也使牙床和颌骨变得纤细，使我们的脸也变小、变窄，这是很多现代靓男俊女追求的锥子脸、鸭蛋脸的生理基础。5) 肠胃缩小：因为消化食物更容易，大而长的胃和肠道变得没有必要，人类的肠胃缩小为仅相当于其它灵长类的 62% 左右。6) 体毛减退：用火取暖使浓密毛发的保暖需求减少，导致毛发逐渐退化（当然，人类毛发的减少应该还有其他因素在起作用，例如奔跑排汗、减少寄生虫的侵扰等）。

用火也使人类在智能提高、行为发展乃至社会结构的演进上发挥了重大作用。这方面的例证很多，而且我们今日仍在见证：对火性能的认识和对其掌控能力的提高使人类越来越聪明、不断有新的发明创造，现代电能利用和火箭发射就是很好的例证；用火改变了人口结构。因为熟食使摄取营养更加容易，婴幼儿可以及早断奶，从而使产妇得以缩短哺乳期，缩短生育周期，使人口数量增加，也使牙口不好的老者得以摄取维持生命的必要养分，从而延长寿命，承担起照看婴幼儿的责任；用火增强了人类的适应生存能力。火的光热帮助人类拓展了活动的时间和场所，改善了居住环境，使潮湿、阴暗的洞穴和寒冷的旷野都可以栖身，并增强人类对凶禽猛兽的抵御能力，减少非正常死亡，使生命变得更有保障；用火增强了人类资源获取与利用的能力。可以借助火把狩猎从而得到更多的肉食资源，可以将岩石烧热然后泼冷水使其开裂，从而开采优质石器原料，还可以改善水质，用煮沸的方法消除有害成分；用火增强了人类改造物质世界的的能力，使一些自然的造物被改造和提纯从而使人类的材料开发、工具制作能力得到提高，例如一些石料被热处理后更容易打制，木质工具的尖端被烘烤后会变得有利于加工且会更加坚硬耐用，制陶、冶金更是这种用火方式的发展和延伸，并由此种下了文明的火种；用火改变了人的性情和人际关系。火的光亮、燃烧的声音和发出的气味儿会对人的血液循环和心境产生影响，而且因为不再茹毛饮血，在得到食材和进食之间增加了熟食与相关准备的环节，人们在等待的环节中消耗了时间但培养了耐心和平静的心态，

而且食物制备和分食需要协作,有助于养成互助、分享的习惯,使人际关系变得更加紧密^[2];用火改变了人类的作息方式。据观察,人类每天用于咀嚼食物的时间少于1个小时,而大猿要用4-7个小时,这使人类有更多时间与精力从事制作工具、狩猎采集、养儿育女、艺术创作,用于社会交流与休闲娱乐的时间也会大大延长;用火培育了人类的艺术细胞和浪漫情怀,为艺术创作、宗教与娱乐活动带来便利和激情,例如在洞穴深处绘制壁画必须依靠火把的照明,在篝火前餐饮乃至载歌载舞总会让人感到格外刺激。

我们还可以增加一长串用火为人类生存和社会进步带来的益处。当然,火也会给人类带来邪恶和灾难,例如战火、火刑、火灾、环境污染、地球变暖……,由此可见,火与人类演化息息相关,它改变了我们的过去,也在塑造着我们的现在和未来。

3 人类用火的起源

既然用火对人类生存如此重要,人类是到底是何时开始用火,又是如何学会驾驭火的呢?对此学术界在不断提出推断、假说,考古工作者在不断寻找证据,力图破译人类早期的这一行为谜团,但时至今日仍存在不同的假说和认识。

3.1 最初的接触:惊慌失措还是从容利用?

既然自然界会发生野火,人类在演化的早期就会与自然火发生互动,在对自然火的观察、了解中逐渐掌握火的特点、习性和用途,进而学会对其使用和驾驭,这是人们都接受的常识性认识。中国上古史中的燧人氏发明、教化人们用火,只是神话故事,在此之前人类早已对火驾轻就熟了。

一般认为,在遥远的远古,人类在初次遭遇野火的时候一定是惊慌失措,逃之夭夭。后来见多不怪了,在被烧烤过的动物肉香的诱惑下尝试接近火,偶尔引来自然火种加以利用,逐渐发展到能加以控制、保存火种,直至能够人工取火。但近来的研究倾向认为,即使对最初的人类而言,火可能也没有那么可怕。当人类的远祖-某种大猿还在非洲林地和草原生活的时候,可能就已经对大自然经常发生的野火习以为常了,并能够加以一定的利用。当然,那是纯粹利用大自然赐予的便利,而不是因势利导,对火加以控制性使用。

最近对塞内加尔一块黑猩猩生活的领地的研究发现,黑猩猩对自然发生的野火经常表现得从容淡定。这种野火的发生往往有一定的季节性和方向性,黑猩猩会根据气味、风向判断火对他们是否构成威胁。如果处在上风口,他们可以与火很接近而不做逃避,而当处于下风口时则会及时逃逸;在野火燎原后,黑猩猩会进入过火林间、草地去寻找那些被烧熟的、更易于消化的食物大快朵颐,尤其是烧死的动物是他们的最爱,而且他们的觅食领地会因为火清除了一些林木而比平日扩展很多^[3]。这说明这些黑猩猩已经能与野火和平共处,并能够利用火带来的便利条件更好地生存,这或许就是早期人类面对野火的情形-我们的先祖由对野火的观察、习惯到学会简单利用,为迈出有控制地用火的决定性的一步奠定了心理与经验基础。

对南非绿长尾猴(*Chlorocebus aethiops pygerythrus*)的观察也对研究人类用火的起源提供了有益的启示^[4]。这项研究发现,当火烧过草地后,绿长尾猴会前往觅食,在过火后的草地上能找到比未被火烧的草地更多的食物,尤其是无脊椎动物和可食性的草本植物,

而这样的获益会激励觅食者改变猎食行为，包括转移和扩大搜寻的领地。绿长尾猴据有很宽的生态位和很强的适应性，行为上的灵活性使他们能够从烟熏火燎中获得更多食物，这又会促进他们的行为变化。这种情形有助于我们了解人之初是如何与火打交道的，是如何与环境变化协同演化的。

3.2 “熟食假说”——人类用火始于 200 万年前

先祖何时跨过了从利用自然火到有控制地用火的这道门槛？一些学者认为应该发生在直立人的早期，大约距今 200 万年前，因为直立人与更早的能人乃至南方古猿相比，在体质形态方面发生了重大改变，尤其是脑量显著增加，而这些改变只有在用火熟食、改善营养后才会发生。人类用火始于 200 万年前的直立人早期是“熟食假说”（The cooking hypothesis）的推测^[5,6]。“熟食假说”已有 20 年的历史，该假说认为用火是人类的一项重大发明，用火的初衷是烧烤熟食，熟食使人类获得营养与能量的能力大幅度提升，同时大大减少茹毛饮血对健康带来危害，结果导致人类体质发生明显的改变，并因此演化成直立人。该假说也附带涉及了用火对人类的其他益处，例如有熊熊火焰的保护，人类在夜晚可以安然入睡，不必担心遭受猛兽的侵扰，而且一旦人类学会了用火就很快传播开来并形成依赖，再也不离不弃，于是火与人类耦合演化，直至今日。

这一假说是从人类演化过程中形体变化的角度提出的逻辑推断，尽管有很多支持和讨论，但由于缺乏直接的考古学证据，也受到一些质疑。有些古人类遗址曾经被宣称发现了直立人早期的用火证据，例如南非 Swartkrans 洞穴^[7]、肯尼亚 Chesowanja 遗址^[8]、中国山西的西侯度遗址^[9]和云南元谋人遗址^[10]，后二者的年代分别被推断为 170 万年和 180 万年前，但这些所谓的远古“用火证据”因遗迹遗物分散、材料少、保存状况不佳而很少被学术界认可。近来利用新的科技手段所做的分析表明，人类有控制用火可以被追溯到 150 万年前。对一些有线索的遗址开展新的发掘与现代科技分析，或许其结果会接近“熟食假说”所推断的最早人类用火的时间。

3.3 “人类与火长期互动假说”

近来有学者提出人类逐渐学会用火的“人类与火长期互动假说”（A Long Prehistory）^[11]以挑战“熟食假说”，认为人类学会用火并非那样神奇和戏剧化；人类不是在短时间“发现”或“发明”了火，而是经历了一个与火长期互动的过程，在这一过程中人类了解、适应、学习、使用、控制火，直至今日人与火的互动演化仍在持续，而且这一过程并非直线发展，有时人类又会回到无火的状态，然后再寻找、利用和管控；不同地区、不同人群可能在不同时间独立做着对火使用和管理的实践。按照这一假说，人类习得用火应该经历了几个大的发展阶段：

第 1 阶段：100 万年前或更早，人类对自然发生的野火做机会性、季节性的利用，能否有火可用取决于大自然的恩赐。当然，这时对火的管理、控制程度很低；

第 2 阶段：40-20 万年前，随着居住营地的出现，人类实现了对火的控制性使用与管理，能较长时间保持火焰燃烧不灭；

第 3 阶段：距今 20 万年前后，亦即现代人起源以后，人类实现了对于火的封闭式管理，掌握了取火技术，这为一年四季都依赖熟食提供了条件。

这一假说提出人类掌握用火技术是一个复杂、曲折的过程，不是灵机一动、一蹴而就的神奇发明，也不会一旦被掌控火就成为长燃不灭的利器，帮助人类所向披靡；人类的生存之火曾经生生灭灭，演化道路曾经时而光明，时而幽暗，但终有一天，人类彻底掌控了火，终于走出黑暗，大踏步迈向现代文明。只是这其中的确切节点和曲折过程，我们还要追溯和重建。

4 对早期人类用火的研究：证据与困难、挑战

周口店猿人洞是第一处被报道的直立人期间已经能够对火做使用、控制和管理的遗址，这项成果在 1931 年就被广而告之^[12]。其后又有中国和非洲的几处旧石器时代早期遗址被描述过发现用火证据，但超过百万年的用火证据大多受到强烈质疑，基本被学术界否定了^[13]。为何来自南非的 Swartkrans 洞穴、肯尼亚的 Chesowanja 遗址、中国的西侯度遗址、元谋人遗址等早期用火的证据不被采信？这是用火证据的特点、提取早期用火证据的困难和对这些遗址发掘与研究的精细度及考古材料本身存在的问题等多方面原因造成的。早期用火方式简单，与自然火的遗存区分困难；遗址历时长久，在埋藏过程中经常遭受各种营力的改造和破坏，留下的证据往往残缺不全，难以构成完整、坚实的证据链，受到质疑在所难免。

4.1 早期用火证据的特点和提取、论证的困难

早期用火证据提取困难，论证难度大，主要原因是：

1) 早期人类不会构建火塘，很少会留下具有结构性的火塘残余，例如凹陷的灶坑、用石头、骨头围挡、圈筑的迹象，于是是否对火做过管理和控制性使用，难以认定和证实^[14]；

2) 火完全可以自然发生，在自然地层中经常有火烧的遗迹，在澳洲、美洲原住民生活过的遗址中大量发现自然火的遗存，有些人类家园被迫遗弃就是被野火所迫，这种情形仍然会发生在当代。对于出现在地层中零散的燃烧物，是人工火还是自然火的产物，很难加以辨识，需要更多的分析和佐证；

3) 化学变化、腐蚀、污染等痕迹容易与人工用火遗存相混淆，例如很多遗址的地层中出现黑褐色的斑块、条带，有时甚至是成层出现，初看之下很像燃烧过的木炭，有些早期遗址就凭此而被赋予“保留最早用火证据”的名份，但后来的分析证明这些褐色物质的成分其实是铁、锰、煤炭等。还有一些埋藏在地层中的石头和骨头表层呈现黑褐色，乍看很像被烧过，但分析表明其实是被周围的铁、锰成分污染了，而这样的污染只停留在表层，不会渗入内部；

4) 即使人类在一个地方升起过一堆篝火取暖、熟食、娱乐，用火遗存如果长期暴露而不被及时封盖，不断遭受风吹、雨淋和动物扰动，经年历月，这样的遗存、证据会逐渐变得模糊甚至消失，凭肉眼很难被发现和确认。

4.2 判定用火的证据要素或标准

那么有效确定人类有控制用火行为或事件的依据应该是什么？笔者经过对周口店遗址北京猿人用火证据的研究并在收集大量资料的基础上，认为必须考虑如下因素：

1) 确实发生过燃烧事件, 即存在灰烬、木炭、烧骨、烧石、砖红土等经过燃烧、烘烤过的遗物与遗迹;

2) 烧过的材料或遗迹与其他人类遗存共生, 例如人类化石、石制品、骨器、装饰品、被人类切割和改造过的动物碎骨等;

3) 存在人类控制与管理的迹象, 例如燃烧物与相关遗迹集中、有序分布, 具有火塘结构等(或坑状, 或有石圈围挡);

4) 这些被烧烤过的遗物、遗迹出现在适宜人类生存、易于被埋藏的环境。

这些要素或证据的分辨度和可信度是不同的。如果存在明确的灶塘结构, 单此一项就是确凿的证据。其他较弱的证据, 必须与其他要素合在一起, 构成证据链, 才有说服力。

有学者对古人类用火遗存按照物证种类和环境关联性列出了证据可信度(表1)^[15]。

4.3 用火证据的提取和分析

那如何提取和分析用火的证据?

首先是精细的田野工作, 即在考古发掘现场仔细观察、记录和提取各种遗物、遗迹分析样品, 注意遗物、遗迹的空间关系。目前已有全站仪、三维激光扫描仪和其他精密仪器和科技手段, 能精确记录出土物的三维坐标和出土时的各种状态, 为日后分析奠定信息基础。在发掘和材料收集时, 除了传统意义上的人工制品和动物化石, 以及有燃烧嫌疑的材料(例如烧石、木炭、灰烬), 还应注意观察是否存在不易辨认的火塘结构并采集相关信息, 例如看似零乱的石块或不正常的地层凹陷(可能的灶坑)。切记, 经时历久的火塘很少保持明显的原貌特征。此外要对疑似用火的层位、部位做系统的沉积物取样, 因为地层沉积物中有无燃烧植物所产生的植硅体、孢粉、相关的化学元素和颜色变化, 都是重要的证据和指标。

要避免不求甚解的主观判断。对于颜色灰白、黑褐的疑似经历过高温烧烤的物质, 不能凭经验轻易下结论, 而应该做进一步观察和燃烧及成分分析, 方可得出有说服力的结论。例如, 一块颜色黑褐色的骨头, 看似烧骨, 但如果观察断口, 发现黑褐色仅限于表层, 而内部却是骨头的本色, 很可能该骨头经历过铁锰的污染。而如果骨头内部也呈黑褐色, 则基本可以断定该骨头经历了长时间的高温烧烤。当然, 进一步的科技分析会使结论确凿无误。

空间分析十分重要。在精细记录地层各类包含物, 尤其是与人类活动有关的遗物遗迹的空间位置的基础上, 利用现代数字化手段对这些遗物遗迹的分布规律和相关性做复原和分析, 能对是否存在原地用火的证据得出可信的结论。例如在特定位置集中出现灰烬、烧骨、

表 1 证据可信度

Fig.1 Evidence and the degree of confidence

物证与环境关联	可信度
经过构建的火塘(凹坑、围石), 最好与烧骨、烧石、烧土等共生	确凿的证据: 人类有控制用火的意图明确, 可一锤定音
在不会生长树木的洞穴内出现原地埋藏的木炭、灰烬	基本可信的证据: 人类用火的可信度较高, 一般会被采信
在单一地层单元出现烧骨、烧石与石制品等人类遗存共生的现象, 但相互关系并不十分明确	指向性证据: 表明人类用火的可能性, 但不十分确定
烧过的材料散布在沉积物中, 缺乏与人类遗物直接的共生关系	无法确定的证据: 发生过火烧现象, 但无法证明是人类有意识用火的结果

烧石；植硅体、孢粉、相关的化学元素和颜色特征指向特定的位置，甚至人类文化遗存种类与大小尺寸的分布规律，都会提供有助的信息，因为他们会指向人类的活动，尤其是用火的活动，而火塘往往是遗址中人类活动的中心，围绕火塘的遗物遗迹分布应该有规律可循。当然，这些遗物遗迹的原生位置有时会被扰动，因而其分布规律并非总是一目了然。

现代科技的进步为提取、分析和论证古人类用火证据提供了更多、更可靠的手段，使很多肉眼无法看见的证据成为改写历史的依据。采用便携式磁化率扫描仪来探测可能的用火部位或层位是一个有效而可行的方法。对于疑似用火部位应加大取样力度，对沉积物做高密度的规范采样，以供日后的科技检测分析，并且应该对同层的其他部位做科学采样，进行对比研究，以期对用火信号的分布状态（是集中还是随机的）做出客观的分析，对真正的用火位置得出有科学数据支持的准确判断。目前可用于对沉积物中物质组分、化学元素分析的方法包括电镜扫描、红外光谱分析、X射线衍射与荧光分析、地球化学分析等。还有沉积粒度分析、土壤微形态分析、微体植物化石分析（例如燃烧特定树种所产生的植硅体）、磁化率分析、红度分析；古地磁分析；热释光分析；燃烧温度分析；遗物或包含物分布特征分析等。在做这些分析时，有针对性的实验模拟有时十分必要。当然，应该把各种信息、证据结合起来观察和判断，建立起坚实的证据链，这样的研究结论才会坚实，才会被同行采信，避免留下争论不休的悬疑。

在此记述几项国际学术界比较认可的有关早期人类用火的研究案例，从中可以窥见相关的研究思路和方法。

4.4 以色列 Gesher Benot Ya-aqov (GBY) 遗址的研究案例

2004年，以色列学者在美国《科学》(Science)杂志公布在约旦河岸 Gesher Benot Ya-aqov 遗址发掘出接近 79 万年前的用火证据。在该遗址出土阿舍利技术体系遗存的 8 个层位中发掘出大量燧石制品和六种植物遗存，一些石制品和植物种子、木头被烧过。研究者确认该遗址存在有控制用火证据的方法主要是对遗物遗迹的空间分析。这些阿舍利文化层皆出土丰富的燧石制品，其中包括大量小尺寸废片（长度在 2-20 mm 之间）。这些小废片有 1.8% 被明显烧过。根据实验观察，燧石材料在 350°C -500°C 的高温下会产生肉眼可见的物理变化，包括壶盖状崩裂、龟裂、皱缩、裂纹、爆裂、形变等，因而被高温烧烤过的燧石废片很容易识别。空间分析表明，这些被烧过的燧石废片不是在地层中随机分布的，而是在特定位置集中出现。例如在 V-5 层，超过 50% 被烧过的废片出自两处集中的部位，而在 V-6 层，60% 的这类标本来自另两处集中的部位。通过遗址埋藏学分析和古环境分析，被烧过的燧石片的集中出现非自然营力扰动所为，自然火的可能性也被排除，于是这样的部位被确认为古人类的火塘，即有控制用火的位置^[16]。其后，研究者利用 GIS 软件对该遗址 8 个阿舍利层位出土的烧过与未烧过的燧石小片做进一步的空间分析，证实被烧过的材料不是随机分布的，而是集中、高比例地出现，是人工用火的结果；而且人类用火证据在整个遗址持续数万年的各阿舍利文化层位都存在，说明当时人类在连续用火，对火的特点和性能有充分了解，能够根据意愿取火和用火^[17]。

4.5 南非 Wonderwerk 洞穴遗址的研究案例

2012年，《美国科学院院刊》(PNAS)发表一篇文章，宣布在南非北开普敦地区

Wonderwerk 洞穴提取到有控制用火的证据，测年结果为距今约 100 万年^[18]。该洞内堆积保留了厚度为 2 m 的早期石器时代 (Early Stone Age) 的文化序列。该序列始于最下面的第 12 层，出土属于奥杜威技术模式的小型石器组合，上覆第 11、10、9 三个阿舍利文化层位，所报道的用火遗存出自第 10 层。对该遗址用火证据提取和研究的方法主要是野外地层观测和在实验室内对地层做微形态分析及对相关材料做显微观察与科技分析，后者主要借助红外光谱仪 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, 即 FTIR) 来进行。野外观察和显微观测表明，第 10 层的沉积物是由复杂的厘米级的微地层系列构成的；显微分析显示最下面的微地层的顶部有一个清晰可辨的层面，分布大量已经灰炆化的植物遗存和微小的动物碎骨。进一步分析揭示出数个这样的层面和延展长度超过一米的燃烧区。利用 FTIR 对微地层样品做显微光谱分析，发现分布在这些层面上的一些动物碎骨被加热到大约 500 °C 的高温。这些碎骨棱角分明、断口锐利，灰炆化的植物遗存保存状况极佳，说明这两种材料是在原地被烧过，而不是被风力或水流搬运到遗址中的。于是研究者得出结论：借助现代科技手段在 Wonderwerk 遗址揭示出清楚无误的原地用火证据，将人类有控制用火的历史推至 100 万年前。

4.6 肯尼亚 FxJj20 AB 遗址的研究案例

一项新的研究又将人类用火的历史推前至距今 150 万年。这项成果于 2017 年发表在美国《现代人类学》杂志 (Current Anthropology) 上，所针对的分析对象是肯尼亚库比福勒地区的 FxJj20 AB 遗址^[19]。该遗址 (FxJj20, AB 是发掘部位编码) 在上世纪七十年代被发掘过，发现数处文化遗存富集的区域，被推测可能是远古人类用火的遗迹。其后再次发掘和磁学分析、热释光分析和植硅体分析、遗物空间分析支持这样的判断。然而，这些早期研究结论并未被广泛接受，出现很多批评质疑的声音，而且缺乏现代科技手段支撑的早期发掘在获取标本和提取信息方面存在缺欠，无法做高精度的空间和材料分析。

在 2010 年和 2015 年，该遗址被重新发掘。新发掘的宗旨是找到尽可能多的考古材料，尤其是微小的标本，并提取它们的三维空间和产状信息。在现代田野科技、思路的支持和指导下，精耕细作的发掘结果是使 95% 标本的位置和产状信息被记录在案，这使对遗物遗迹做高精度空间分析和对人类行为的复原成为可能。

后续的深度分析采用了几种方法或技术：1) 土壤微形态分析，以解析遗址各部位、各层位的沉积机理和过程。岩相薄片被置于显微镜下观察，以辨识古地面、人类活动迹象和自然营力作用；2) 系列燃烧实验模拟，在野外和实验室中分别进行，用以观察相关材料受热后的可见性变化 (例如色变和裂纹等)，以此建立烧土、烧骨和烧石的观测参照系；3) 便携式红外光谱仪分析，用来测试、记录加热和未加热的材料，以此分析相关材料受热后的矿物学变化。在目标区域出土的所有材料 (土壤颗粒、碎骨、石制品和砾石等) 都被做红外光谱分析，以确定是否受热。同样的红外分析还施加到从遗址其他部位、层位随机提取的材料上，以确认哪些部位发生过燃烧，是否存在野火的作用；4) 空间分析，借助 ArcGIS 来记录、分析石制品、动物碎骨、土壤团块等的三维坐标。这些遗物在平面和剖面上的空间分布对特定地层的沉积营力和过程可以提供非常有用的信息，尤其是文化遗物在纵向上的分布特征与土壤微形态信息相结合，可以提示一组考古标本是人类单次占据遗址所遗留，还是多次占据行为的叠加所致。上述分析的结果共同指向这样的结论：该遗址确实发生过燃烧加热现象，产生了无可争议的烧骨、烧石和烧土；很多烧石的原型是人

类石制品，表明人类在遗址的活动；这些被烧过的材料（尤其是石制品、动物骨骼）不存在定向排列现象，说明不是水流等自然营力搬运改造的结果；这些受热的材料并非随机出现，而是集中分布，说明不是野火作用的结果。这些特征都与欧洲、西亚更晚的被确定存在人类用火证据的遗址的情况十分吻合，说明 150 万年前这里确实发生过人类原地用火。

当然，上述每一项研究都有质疑的声音，所得出的结论并非都被学术界接受，这说明提取和分析早期人类用火证据具有很大的难度和挑战性^[20]。但这一领域的发展方向是明确的，就是在精细的野外工作的基础上，运用现代科技手段提取一切可能存在的信息，对各种迹象做交叉分析和验证，努力排除自然成因和干扰因素，每一项判断都须言之有据，而不是武断地凭主观臆断做出不被信服的结论。

5 用火方式的演化与人类社会的进步

人类学会用火、掌握保存火种的方法乃至发明人工取火的技术，应该是一个复杂、曲折的过程，对这一问题开展研究的学术道路也是历经曲折，充满争议。例如来自周口店遗址的用火证据最先被提出，但后来受到强烈质疑，近些年又在新发现的发掘与研究中得到证实（尤其是上文化层）^[21]。诚然，北京猿人生活的时期已不再是研究人类最早用火的敏感时段，因为在此之前人类已经学会用火了，但在周口店第 1 地点上文化层发现的具有结构的火塘遗迹是目前同类遗存中最早者，而且该遗址的发掘与研究体现了现代田野考古的科技水准和思路方向。

5.1 早期人类用火缺乏连续性和稳定性

按照“人类与火长期互动假说”，像北京猿人这样的旧石器时代早期人类对火控制与使用的能力还很弱，无法使其长燃不灭。张森水对北京猿人用火的能力与方式做过这样的推断：1) 他们懂得用火并能对火加以控制；2) 他们不具备制造火种的能力，应该是将野火带进洞中；3) 他们没有能力一直保持火焰不灭，有时不得不在没有火的情况下生活，致使堆积中缺乏连续积累的灰烬与木炭；4) 火对北京猿人的生存十分重要，被用来驱离猛兽、熟食、照明、御寒^[22]。这可能比较接近当时人类用火的实况。

最近对一些早期尼安德特人群用火方式的研究也指向这种状态。对生活在西欧的尼人留下的遗物遗迹分析表明，他们有能力用火，但在寒冷的冰期却缺少用火的证据^[23]，说明他们只会采集自然火种，而不能很好地保存火种。自然火多发生在温暖湿润的间冰期环境下，因为在那样的天气里才会经常雷鸣电闪。而冰期雷电很少，缺乏产生自然火的条件，于是他们便只能在无火的状态下艰难度日，熬过至冷至暗的时期。

这些研究和表述说明，我们不能简单地认为火被人类掌控之后很快得以普及，人类的生存之火瞬间燎原各地，变得与人类的生产、生活形影不离。人类在很长时期内对火的使用和控制应该是时断时续的，是一个逐渐学习、不断成熟的过程。

5.2 有效保存火种与人工取火 - 用火成为人类的日常行为

那么，从什么时候开始，人类对火的使用与管理达到了驾轻就熟的地步，可以有效

保持火种乃至人工取火，使用火成为习惯和日常性行为？一系列考古发现表明，黎凡特地区的古人群在此方可能走在前列。这里处于距今 35-20 万年间的多处洞穴遗址保留了长期连续用火的证据，例如以色列的 Hayonim 遗址^[24]、Tabun^[25] 遗址和 Qesem 遗址^[26] 等。这些遗址保留了很多呈现叠压关系的灰烬、火塘和高比例被烧过的石质材料和动物骨骼。这些数量丰富的用火遗存出现在连续地层中，延续时间长达数万年。

Qesem 遗址提供了大量坚实的日常用火证据。此处遗址坐落在撒马利亚山 (Samaritan) 的西坡上，西距地中海 12 km。该遗址上部 4.5 m 厚的地层是人类活动时期形成的文化层，对其年代测定表明古人在遗址的活动发生于距今 42-20 万年间，而这纵贯 20 万年的地层内皆有清晰的人类用火证据。直接证据是大量集中分布的木质灰烬，微形态分析和同位素分析表明这些灰烬经历了充分燃烧，被反复烧烤过；烧结的土块和大量炭化的骨骼、烧石与灰堆有清晰的共生关系；利用红外光谱仪和显微镜对烧骨的成分、颜色和形态特征的分析表明，这些烧骨或者在大于 650 °C 的高温下被短时烧过，或者在 500 °C 左右的火温中被长时间烧烤过；在洞穴的中央存在一处大型中心火塘，范围达 4 m²，火塘内包含层层叠叠原地生成的灰白色灰烬和烧结的土状团块，灰烬中和火塘周边分布大量炭化动物骨骼和烧过的燧石制品。对灰烬的成分分析表明，该中心火塘被使用的时期可以被分为两个阶段，中心火塘的位置和围绕火塘所分布的人类行为遗迹提供了火塘功能、遗址空间利用和人类生存活动组织的珍贵信息。该遗址丰富、明确的用火证据表明人类在此用火呈现持续状态，成为日常的行为。该遗址大型中心火塘的发现是旧石器时代遗址中的首次，所出土的遗物遗迹勾勒出穴居者围绕中心火塘制作、修理工具（包括目前最早的石叶石器），肢解猎物，处理动物骨骼（包括以动物骨骼为软锤加工石器），烤肉分食（从出土的人类牙齿的结石中提取到炭化材料），甚至制备、存储大型动物的骨髓和油脂^[27]。如此连续、习惯性用火，表明当时人类已有取火的能力，对火的管理和使用十分娴熟，并且对火形成了高度依赖，不仅熟食、取暖、照明，还以火塘为中心组织开展各种生产生存活动，这被认为可能是继尼安德特人之后出现的新人类的行为遗留^[28]。

虽然在 Qesem 遗址甚至更早的 Gesher Benot Ya-aqov 遗址保存的连续用火遗存被推断是古人掌握了人工取火技能的结果，但考古工作者一直无法找到人工取火的证据。这种证据的提取和论证同样具有巨大的困难和挑战性。常识中早期人工取火的方式为两种：钻木取火和打石取火。前者因为木质材料易于腐烂难以保存，直到新石器时代晚期才有物证；后者是指用燧石击打（相互击打或用燧石击打金属材料）产生火种，但用这种方式取火后的材料不易辨认，因为燧石是优质的制作石器的材料，取火的痕迹与石器被制作和使用的痕迹难以区分。但最近的一项研究带来曙光，从若干疑为尼安德特人制作与使用的燧石两面器上提取到古人类打石取火的证据^[29]。出土这样材料的遗址分布在法国西南部，年代被测定在 5 万年前，从中发掘出属于旧石器时代中期晚段具有阿舍利风格的莫斯特文化遗存。通过肉眼和显微观察，这些两面器上存在被用硬质矿物材料连续打击或与其摩擦所产生的痕迹，而这些痕迹的位置和性状与用黄铁矿石在两面器平或凸的器体表面做斜向打击取火实验所产生的平行条痕一致；这些痕迹在特定位置集中出现，且总是与两面器的长轴大体平行，与加工过程中产生的片疤相垂直，据此可以排除这些痕迹形成于埋藏过程中的可能性，被判定是遗址的占据者打石取火行为的证据。

研究者认定在取火过程中与燧石两面器配合使用的材料是黄铁矿，是因为通过观察模拟实验中各种材料与燧石相碰撞、摩擦所产生痕迹的特点，排除了使用其他材料的可能性：锰矿石在两面器上留下的摩擦痕迹没有明显的条纹；赤铁矿、针铁矿会在两面器表面留下难以清除的残渣，而在考古标本上并不存在它们的残留物；硅质岩与燧石两面器摩擦后会留下网状痕迹，即便产生平行条痕也与黄铁矿的痕迹区别较大；石英、砂岩、石英岩等材料与燧石摩擦后所产生的痕迹皆与考古标本上的痕迹明显不同。研究者认为之所以燧石两面器被用来打石取火，是因为两面器上的修理疤痕与黄铁矿摩擦更容易产生火花，而且具有两个使用面，当一面的片疤被磨损导致生火能力下降时，取火者会翻转到另一面继续生火，因而具有更长的使用寿命。另外，在很多两面器上发现了二次甚至多次修理的片疤，有些疤痕打破了原来的取火痕迹，并在新的修理面上出现新的打火迹象，说明存在再次乃至多次修理、不断打石取火的情况。研究者还注意到，有一些修理与使用痕迹与打石取火并无关系，它们更接近切割、刮削所产生的痕迹，说明这些两面器并非专门为打石取火而制作，而是一种多功能的工具。

5.3 热处理和石煮法 - 用火逐渐成为人类生产生活不可或缺的利器

人类在掌握了对火的控制和使用并成功实现熟食、照明、取暖等初级目标后，随着时代的发展和认知能力与技术的提高，对火的使用又延伸到对工具、用具材料性能的物理改变上，使人类对资源及材料利用的领域不断拓展，制作技术突飞猛进，为日后的文明起源和社会复杂化奠定了物质基础和技术储备。对生产原料做加热改变这一技术被称为“热处理”，对此人们首先会想到陶瓷器、青铜器和铁器的发明与制作，但这一技术的最初应用是发生在旧石器时代，被运用于对石器原料的改造上。

目前发现的人类对石料进行热处理的最早证据来自南非南部海岸的 Pinnacle Point 遗址，在该遗址距今 16.4 万年和 7.2 万年的文化层中发现经过热处理的石制品，表明人类早在十几万年前就开始有目的地对硅质岩类石料进行热处理以改善原材料的性能，更好地被人类所利用^[30]。这被看作是人类用火的里程碑事件，是早期现代人的行为标志之一，是早期现代人智能与技术提升并比尼安德特人等古老型人类更好地认识自然、利用自然并改造自然的例证。随着早期现代人的扩散，经过热处理的石器材料扩展到非洲其他地区 and 西亚、欧洲的旧石器时代中期遗址；至旧石器时代晚期，热处理技术产品已经广泛出现在旧、新大陆的大部分地区^[31,32,33]。对远古热处理遗存的寻找和确认具有挑战性。首先，必须有明确的证据表明相关标本确实被高温加热过，发生了相应的物理性能改变；其次，必须证明这样的加热是人类有意为之，不是野火燎原的遗留，也不是人类在用火时无意识的行为结果。因而，遗址埋藏学研究和对相关遗迹与标本的热释光分析、磁学分析、矿物分析、色度与光泽分析、岩石力学分析等科技手段必须使用，而且要有实验模拟的对比、验证程序。

我国也发现过对石料热处理的考古证据，来自宁夏自治区水洞沟遗址的第 2、12 地点（SDG2、SDG12），测年数据在距今 3-1 万年间。研究者通过实验模拟和对实验标本外部特征肉眼与显微观察和应力实验等方法提取热处理标本的鉴别特征，并通过与考古标本的对比分析来研究生活在该遗址的先民是否采用过热处理技术。水洞沟遗址的石器原料主要是白云岩、燧石、石英岩和石英砂岩，模拟实验时选取这些石料（将每块石料一分为二，一半用作热处理实验，一半保持自然状态以做对比观察）分别于室外和实验室环境

下在 300 °C-600 °C 的温度下做不同时间的加热实验，冷却后比较加热后和未经加热的标本，观察受热后外部特征改变情况，主要是油脂状光泽、破裂（破碎、裂纹）、颜色（大多数趋向于变红）的变化，以此分辨石料是否经历过热处理。当对标本外观形态的观察无法准确判断热处理行为时，使用扫描电镜观察热处理前后岩石晶体大小、形状、结构的变化，特别是是否存在受热后再结晶现象，可以提供重要的鉴别信息。通过上述实验模拟、显微观察和比对分析，研究者在 SDG2 和 SDG12 出土的石制品中发现热处理石制品 110 件，来自两个地点的标本分别为 45 和 65 件，还有 13 件被判定为无意识加热的标本^[34]。这项研究并未囊括这两处遗址出土的全部石制品材料，但分析结果已经清晰表明水洞沟的先民掌握、利用了对石料的热处理技术。

他们这样做的目的为何？通过岩石力学分析和 X 射线衍射检测，发现经过一定温度的热处理后，白云岩等石材质地变得更加致密均匀，韧性增强，力学性能的离散性明显缩小，抗压强度下降。这些变化降低了打击石料所需的力度，使石料易于产生多次开裂，不容易发生一次性灾变破坏，为古人类调整打击点、打击方向和力度创造了机会，从而降低了打制难度，提高了石器的制作效率和质量^[35]。用火的热能对工具、用具的原材料做热处理是先民对火的性能、作用取得更深刻的认识并使其更好地为人类生产生活服务的重要体现，是人与火在长期互动历程中碰撞出的新的火花和取得的新的成就。人类历史上的第一次技术或认知革命发生在旧石器时代晚期，一系列新技术被发明并应用到对石器、骨角器等工具的制作上，大量精细、复杂和专门化的工具被制作出来，大量艺术作品产生，这其中火的催生作用不可低估。

到旧石器时代晚期，人类用火进一步发展，即使在用火熟食这一人类用火最初和最重要的领域，此时在传统的烧烤的基础上出现花样翻新的多种方法，用热石加工、烹煮食物即是其中之一。

西班牙北部 El Miro'n 洞穴遗址保留用热石烹煮食物并提取油脂的证据^[36]。该遗址在约 15.5 kaBP 的马格德林文化层位中发现大量受热龟裂或崩解的烧石（FCR, fire-cracked rocks）。这些 FCR 出现在数个直径大于 1.4 m 的火塘内，火塘中积累的灰烬、炭屑达 20 cm 厚。这些烧石由硬度很大的砂岩砾石构成，与其伴生的是大量动物骨骼和石制品。动物骨骼大多属于野山羊和赤鹿。空间分析表明，这些材料集中出现在火塘内和火塘周围，与火塘的功能密切相关，尽管不同火塘内遗物的数量和密度有所差异。这些材料在大小分布上有明显规律，符合路易斯·宾福德（R Binford）提出的“掉落与抛离”原理^[37]（drop and toss zones 指人群在围绕火塘这一中心开展活动时，小的垃圾型物件经常会掉落在靠近火塘处，大的物件经常会被抛离至稍远的地方）。研究者得出这样的结论：这些 FCR 是当时占据洞穴的人群采用石烹法或石煮法（Stone boiling）加工动物肉食资源的残留物，即用加热后的石头把置于水中的野山羊和赤鹿等猎物加热煮熟，使肉能被撕下，骨髓能被取出，并能榨取油脂。获取油脂被认为是发明热石烹食方法的重要动力^[38]。类似的材料在欧洲旧石器时代晚期的其他遗址也有所发现，例如在葡萄牙西南的露天遗址 Vale Boi，于距今 25 kaBP 的格拉维特（Gravettian）文化层位中发现鹿与马的骨骼与石锤、石砧和 FCR 共生，被认为是提取猎物油脂的残留^[39]。这样的热石烹煮能使人类更大化利用动物的营养成分，被认为是旧石器时代晚期狩猎-采集人群资源利用强化、努力扩大能量与营养来源的重要方式之一。

“石煮法”遗存在宁夏 SDG12 地点也有发现^[40]。考古人员从该遗址距今约 1.1 万年前的灰土层中发掘出大量破碎的石块。对这些石块的形态、大小和岩性分析及燃烧实验表明它们是被人类选择、搬运、加热然后浸入水中崩解破碎的,即它们是生活在遗址的先民用来烹煮食物的烧石-FCR,其作用的对象可能是改善水质和烹煮动、植物食材。与灰烬和烧石一同出土有大量细石叶工具和骨器,还有石磨盘、石磨棒、石杵等加工植物种籽的工具;骨器中有骨柄石刀和类似后期人类织网用的梭形器,还出土大量羚羊、兔子等能快速奔跑的小型动物的骨骼。这些材料说明生活在该遗址的先民在努力扩大食物资源,最大化从狩猎-采集品中获得营养,显示出生活在旧石器时代末叶的人群对资源的强化利用和食物获取广谱革命的迹象^[41]。类似的煮食法在北美印第安人部落中也常见^[42],有学者推测这种烧煮食物的方法是在旧石器时代晚期从东北亚地区传入的美洲的,但它的源头并没有找到。SDG12 地点的 FCR 材料可能在东北亚的晚更新世人群和美洲印第安人之间建立起新的历史纽带。

5.4 用火改变了人类的生计模式并种下了文明的种子

大量考古学和人类学、民族学研究表明,人类新发端的行为方式,尤其是与大自然互动的新模式,会对自然环境和生态系统产生影响,进而影响人类的栖居方式,并使人类的社会组织结构发生改变,向减少流动性、更好地控制和利用自然资源的方向发展,而拓展性用火被认为是对人类生计模式、社会结构变革产生重大影响的新变量与发展动因。

在更新世末期,狩猎-采集者在觅食方面出现明显的食物广谱化与资源强化^[43,44,45],并进而发展出农业。这种生计模式的转变被一些学者认为是人类用火烧荒改变生态环境的结果^[46]。人类引来的燎原之火改变了其生存区域的生态条件,富集了资源斑块,特定生存资源的密度增加,获取特定资源的可预见性增强。在此情形下,捕获小型猎物更加便利,觅食的不确定性大为减少,觅食所要行走的路途大为减少,人群的流动性随之变小,这就预示着广谱经济之下的定居趋势的增加,进而人口规模扩大,社会日益复杂化,私有领地和财产的概念开始出现,成为旧石器时代晚期人类生计模式和社会结构转型的前奏,文明的曙光若隐若现。

火对人类生活改善和社会进步的推动作用还在延续。2 万年前,江西万年仙人洞的先民捏土做器,烤坯成陶,烧造出了盛水装物的器皿^[47]; 9 kaBP, 西亚地区新石器时代早期的先民借助火的热能锻造出红铜工具; 7 kaBP~6 kaBP, 更高的火候帮助人类制造出合金青铜器,火助人类启动了文明的历程。其后铁器、电、蒸汽机、火箭、计算器等科技产品不断被发明创造,数万年来人类飞翔太空、探秘宇宙的梦想变为现实。

当然,火并不仅仅为人类带来福利。人类历史上遭受火灾毁灭性打击的案例比比皆是。就近前来说,1987 年 5 月造成重大生命与财产损失的黑龙大大兴安岭森林火灾,2019 年分别在澳大利亚和美国加州燃烧了数月的熊熊山火,在 2019、2020 年两个年度的 3 月份发生在四川凉山西昌吞噬了数十位年轻消防员生命的森林大火……都清楚地昭示:人类虽然能够对火做有控制性的使用,用火造福于人类的生产生活,乃至将人类文明推到至高至远,但火并未完全被人类驯服,还会经常肆虐破坏,给人类和人类赖以生存的大自然造成重大灾难。从人类始祖开始的与火的长期互动,还将长期持续。

6 结 语

人类与火的互动是一个变害为利的长期征程，人类对火做控制性使用的历史已经穿越了将近 200 万年的时光隧道。用火使人类得以熟食烹饪，改善营养，塑造今日万物之灵健硕而灵巧的身躯；用火使人类能驱避猛兽，拓展领地，拥有现今温暖舒适的家园；用火使人类改善石料，制陶冶铁，成就今日之文明。如果先祖没有学会用火，现今的我们恐怕还停留在石器时代，而且是黑暗、湿冷、茹毛饮血的石器时代。我们将没有现代文明，没有现代科技，没有现代美食，没有火的光与热带来的激情和艺术；我们将局限在举头三尺的平面下，无法去太空翱翔，无法潜深海、钻地心去探索宇宙的奥秘。当然，人类并未将桀骜不驯的火完全驯服，火魔还会经常窜出来给人类带来重大灾难，人与火的长期互动还将继续下去。

远古人类用火的证据不易保留，发现和论证充满困难和曲折，很多遗址的材料和研究结论受到过质疑和挑战。考古人必须把握好野外科考的第一关口，做精耕细作的考古发掘，全面收集遗物遗迹并高精度记录各方面资料，关注遗址的埋藏过程和遗存的空间信息。在实验室内要借助现代科技手段对所获的样品做尽可能多的精细、可重复检验的分析，将各种信息综合起来，排除自然营力和人类非有意行为的干扰因素，这样得出的结论才可能是坚实、可信的，才不会让先祖历尽艰辛取回的火种和光热的火焰再次黯淡、湮灭。

致谢：作者感谢徐欣、张月书、张钰哲在参考文献方面提供的帮助，感谢张弛与蒋洪恩提供的相关信息。

参考文献

- [1] Richard Wrangham, Kevin Pariseau. Catching fire: How cooking made us human[J]. *Nature*, 2009, 20(4): 447-449
- [2] Lynn DC. Hearth and Campfire Influences on Arterial Blood Pressure: Defraying the Costs of the Social Brain through Fireside Relaxation[J]. *Evolutionary Psychology*, 2014, 12(5): 983-1003
- [3] S Jill D Pruetz, Nicole M Herzog. Savanna Chimpanzees at Fongoli, Senegal, Navigate a Fire Landscape[J]. *Current Anthropology*, 2017, 58 (S16): 337-350
- [4] Nicole M Herzog, Earl R Keefe, Christopher H Parker, et al. What's Burning got to do With it? Primate Foraging Opportunities in Fire-Modified Landscapes[J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2016, 159: 432-441
- [5] Wrangham Richard W, Nancy L Conklin-Brittain. The biological significance of cooking in human evolution[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, A*, 2003, 136: 35-46
- [6] Wrangham Richard W, Rachel Carmody. Human adaptation to the control of fire[J]. *Evolutionary Anthropology*, 2010, 19: 187-199
- [7] Brain CK, A Sillen. Evidence from the Swartkrans cave for the earliest use of fire[J]. *Nature*, 1988, 336: 464-466
- [8] Gowlett JAJ, JWK Harris, D Walton, et al. Early archaeological sites, hominid remains and traces of fire from Chesowanja, Kenya[J]. *Nature*, 1981, 294: 125-129
- [9] 贾兰坡，王建. 西侯度——山西更新世早期古文化遗址 [M]. 北京：文物出版社，1978
- [10] 袁振新，林一朴，周国兴，文本亨. 云南元谋人化石产地的综合研究 [A]. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所编. 古人类论文集 [C]. 北京：科学出版社，197: 94-98
- [11] Michael Chazan. Toward a Long Prehistory of Fire[J]. *Current Anthropology*, 2017, 58 (Supplement 16): 351-359
- [12] Black D. Evidence of the use of fire by *Sinanthropus*[J]. *Bulletin for Geological Society of China*, 1931, 11: 107-108
- [13] Steven R James, RW Dennell, Allan S Gilbert, et al. Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence[J]. *Current Anthropology*, 1989, 30(1): 1-26
- [14] 周振宇，关莹，王春雪，等. 旧石器时代的火塘与古人类用火 [J]. *人类学学报*, 2012, 31(1): 24-40
- [15] Weiner S Ofer Bar-Yosef, Paul Goldberg, Xu, QQ, et al. Evidence for the use of fire at Zhoukoudian[J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2000, 19 (supplement): 218-223

- [16] Goren-Inbar N, Alpers N, Kislev ME, et al. Werker. Evidence of hominin control of fire at GBY, Israel[J]. *Science*, 2004, 304(5671): 725-727
- [17] Nira Alpers-Afil. Continual fire-making by Hominins at Geshar Benot Ya'aqov, Israel[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27: 1733-1739
- [18] Berna F, Goldberg P, Horwitz LK, et al. Microstratigraphic evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(20): 7593-7594
- [19] Hlubik S, Berna F, Feibel C, et al. Researching the Nature of Fire at 1.5 Mya on the Site of FxJ20 AB, Koobi Fora, Kenya, Using High-Resolution Spatial Analysis and FTIR Spectrometry[J]. *Current Anthropology*, 2017, 58 (S16): 243-257
- [20] Roebroeks Wil, Paola Villa. On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2011, 108(13): 5209-5214
- [21] 高星, 张双权, 张乐, 等. 关于北京猿人用火的证据: 研究历史、争议与新进展 [J]. *人类学学报*, 2016, 35(4): 481-492
- [22] 张森水. 周口店遗址志 [M]. 北京: 北京出版社, 2004
- [23] Harold L Dibble, Aylar Abodolazadeh, Vera Aldeias, et al. How Did Hominins Adapt to Ice Age Europe without Fire?[J]. *Current Anthropology*, 2017, 58 (S16): 278-287
- [24] Goldberg P, Bar-Yosef O. Site Formation Processes in Kebara and Hayonim Caves and Their Significance in Levantine Prehistoric Caves[M]// *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*. Springer US, 2002.
- [25] Shimelmitz R, Kuhn SL, Jelinek AJ, et al. "Fire at will": the emergence of habitual fire use 350,000 years ago[J]. *Journal of Human Evolution*, 2014, 77(S1): 196-203
- [26] Karkanas P, Shahack-Gross R, Ayalon A, et al. Evidence for habitual use of fire at the end of the Lower Paleolithic: Site-formation processes at Qesem Cave, Israel[J]. *Journal of Human Evolution*, 2007, 53(2):197-212
- [27] Blasco R, Rosell J, Arilla M, et al. Bone marrow storage and delayed consumption at Middle Pleistocene Qesem Cave, Israel (420 to 200 ka)[J]. *Science Advances*, 2019, 5(10): eaav9822
- [28] Ran Barkai, Jordi Rosell, Ruth Blasco, et al. Fire for a reason: Barbecue at Middle Pleistocene Qesem Cave, Israel[J]. *Current Anthropology*, 2017, 58 (S16): 314-328
- [29] Sorensen AC, Claud E, Soressi M. Neandertal fire-making technology inferred from microwear analysis[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8:10065, DOI:10.1038/s41598-018-28342-9
- [30] Brown KS, Marean CW, Herriés A, et al. Fire as an engineering tool of early modern humans[J]. *Science*, 2009, 325: 859-862
- [31] Copeland L. The Middle Paleolithic flint industry of Ras el-Kelb[A]. In: Copeland L, Moloney N, eds. *The Mousterian Site of Ras el-Kelb, Lebanon*[M]. Oxford: BAR, 1998: 73-101
- [32] Duttine MP. Effects of thermal treatment on TL and EPR of flints and their importance in TL-Dating: Application to French Mousterian sites of Les Forets (Dordogne) and Jiboui (Drome)[J]. *Radiat Meas*, 2005, 39: 375-385
- [33] Domanski M, Webb J. A review of heat treatment research[J]. *Lithic Technology*, 2007, 32: 153-194
- [34] 周振宇, 关莹, 高星, 等. 水洞沟遗址的石料热处理现象及其反映的早期现代人行为 [J]. *科学通报*, 2013, 58(9): 815-824
- [35] 邵亚琪, 郇勇, 代玉静, 等. 热处理对水洞沟遗址石器原料力学性能的影响 [J]. *人类学学报*, 2015, 34(3): 330-337
- [36] Yuichi Nakazawa, Lawrence G Straus, Manuel R Gonza'lez-Morales, et al. On stone-boiling technology in the Upper Paleolithic: behavioral implications from an Early Magdalenian hearth in El Miro'n Cave, Cantabria, Spain[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009, 36: 684-693
- [37] Binford LR. Dimensional analysis of behavior and site structure: learning from Eskimo hunting stand[J]. *American Antiquity*, 1978, 43: 330-361
- [38] Stiner MC. Zooarchaeological evidence for resource intensification in Algarve, southern Portugal[M]. *Promontoria: Revista do Departamento de História, Arqueologia e Património da Universidade do Algarve*, 2003, 1: 27-61
- [39] Bicho N, Stiner M, Lindly J, et al. Preliminary results from the Upper Paleolithic site of Vale Boi, southwestern Portugal[J]. *Journal of Iberian Archaeology*, 2003, 5: 51-66
- [40] 高星, 王惠民, 刘德成, 等. 水洞沟第 12 地点古人类用火研究 [J]. *人类学学报*, 2009, 28(4): 229-336
- [41] 张乐, 张双权, 徐欣, 等. 中国更新世末全新世初广谱革命的新视角: 水洞沟第 12 地点的动物考古学研究 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(4): 628-633
- [42] Thoms AV. Rocks of ages: Propagation of hot-rock cookery in western North America[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009, 36: 573-591
- [43] Kelly RL. *The Foraging Spectrum: Diversity in Hunter Gatherer Lifeways*[M]. Washington: Smithsonian Institution Press, 1995
- [44] Stiner MC, Munro N. The tortoise and the hare small-game use, the broad-spectrum revolution, and Paleolithic demography[J]. *Current Anthropology*, 2000, 41: 39-74
- [45] Zeder MA. The Broad Spectrum Revolution at 40: Resource diversity, intensification, and an alternative to optimal foraging explanations[J]. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2012, 31: 241-264
- [46] Douglas W Bird, Rebecca BB Bird, Brian F Codding. Pyrodiversity and the Anthropocene: The role of fire in the broad spectrum revolution[J]. *Evolutionary Anthropology*, 2016, 25: 105-116
- [47] Wu Xiaohong, Zhang Chi, Paul Goldberg, et al. Early Pottery at 20,000 Years Ago in Xianrendong Cave, China[J]. *Science*, 2012, 336: 1696-1700