

我是谁？我从哪里来？人类自己的历史和未来，从来都是我们最好奇也最关注的问题。

兰州大学张东菊教授与她的科研团队，通过不断的研究与发现，以解密人类演化历史为己任，扎根高寒、缺氧的青藏高原，探索人类征服高原的过程和动力。

丹尼索瓦人：青藏高原的远古先民

寻找证据

从张东菊教授和她的科研团队第一次踏上青藏高原，到现在，屈指一算都十几年了！

在这漫长的时间里，可以说大半时间都在高原上。团队一直在啃一块硬骨头：人，是怎么一步步进化到今天，散布到世界各个地方？他们是怎么“闯”进青藏高原，还能在这片空气稀薄、气候多变的禁区扎根活下来？

后来，遗传学研究揭开了这个秘密。

当地居民体内的EPAS1基因发生了神奇的变异，让他们能在缺氧环境中更好地调节身体，对抗高反。更让人拍案叫绝的是，2014年的研究居然发现，早已消失在历史长河中的丹尼索瓦人身上也存在类似的基因片段！这一下子就打开了科研团队的脑洞：会不会是丹尼索瓦人曾经把这段“高反适应”传给了现在的我们呢？

这还只是一个大胆的猜想，它究竟在何时、何地、通过怎样的方式发生的。要想解开这些谜团，就得去找化石证据！

它们是谁

真正让一切有了着落的，是那件来自夏河县白石崖溶洞的古人类下颌骨化石。这件化石有一个传奇的经历，20世纪80年代，它由一位当地人在几经辗转后，最终交给兰州大学陈发虎教授。陈老师把这件化石的研究重任交给了张东菊，从而开启了科研团队追寻青藏高原早期人类活动历史的征程。

这件古人类下颌骨化石的个头比我们现代人的下颌骨粗壮，上面镶嵌的牙齿也更大、更结实。直觉告诉张东菊，它一定非常古老！可是，它究竟属于谁？生活在哪个年代？那一刻，它就像一个压在心里的巨大问号。

经过与陈老师多次讨论研究后，团队决定从两个方面入手：一方面，尽可能细致地研究化石本身；另一方面，还要重返白石崖溶洞，去看看化石出土地周围的环境，也许能发现更多线索。同时，张东菊组建了多学科研究团队，合作者包括德国马普进化人类学研究所、澳大利亚伍伦贡大学、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所、丹麦哥本哈根大学、台湾大学等国内外多个知名科研院所的顶尖研究组。

在实验室里，科研团队对这件下颌骨的形态进行了系统的测量和比对。结果显示，它属于此前未被识别的古老型人类！随后尝试提取古DNA，可惜失败了。当时，古蛋



张东菊教授与她的科研团队在发掘现场。



夏河白石崖溶洞。



在夏河县发现的丹尼索瓦人下颌骨化石。(本文由张东菊供图)

白质技术刚刚兴起，科研人员抱着试试看的心态引进了这个“黑科技”，结果却出乎意料：这件下颌骨与远在西伯利亚丹尼索瓦洞中发现的丹尼索瓦人关系最为接近！

最终，科研团队将这块下颌骨命名为“夏河丹尼索瓦人”，简称“夏河人”。

接下来的时间，要解决的问题是：它生活在什么时候？为了保护化石本身，团队通过采集和测试包裹在它外面的一层碳酸钙结核进行测年。结果显示，这件化石距今至少有16万年。这个时间，比此前我们所知道的人类最早踏上高原的时间(约4万年前)要早十几万年。

提取古人类DNA

下颌骨化石的研究有了阶段性的进展后，科研人员对白石崖溶洞进行了“地毯式搜索”。从2010年至2016年，张东菊教授和学生曾多次进入白石崖溶洞，尝试开展科学考察。2016年，在一个小小的、刚刚被踩破露出的新鲜地表断面上，检到了几件打制石器和动物骨骼。

而真正的发掘，则是从2018年冬天开始的。因为白石崖溶洞白天经常会有旅游参观活动，所以只能把发掘工作安排在深夜进行。经过认真细致的发掘，石器和大量的动物骨骼很快被不断发现。

科研团队采用了最为精细的发掘方法，用全站仪测定每一件大于2厘米的石

器或骨骼化石的三维坐标，记录它们的倾向倾向，对重要标本进行拍照画图。所有发掘清理出来的土，用孔径约2毫米筛子过筛，以便于收集所有大于2毫米的骨渣、石器碎屑和小型哺乳动物的牙齿或骨骼。

同时，科研团队还引进了国际最前沿的分析技术，包括2017年刚刚报道的考古遗址沉积物古DNA分析技术、适应洞穴遗址复杂堆积测年的单颗粒光释光测年技术、率先应用到夏河人下颌骨上的古蛋白分析技术等。相应的，在野外发掘中专门采集了各类分析样品，对骨骼化石、石器标本和沉积物古DNA样品的收集，尽量避免任何一点可能的污染。

经过后面几年的发掘，材料一点点地积累，遗址的整体情况也逐渐清晰。结合碳十四和光释光两种测年方法，科研团队为遗址已发掘地层建立起了一个比较可靠的年代框架，结果显示遗址年龄至少从19万年前一直延续到约3万年前。

揭开谜团

科研团队从洞穴沉积物中提取到了丹尼索瓦人的DNA，而且在不同年代的地层中都能检测到。这说明，至少16万年前到大约4万年前，丹尼索瓦人曾在这个洞穴长期活动。结合形态学和古蛋白质分析，科研人员一点点重构出他们的生存策略：他们会猎

取犀牛、野牛、岩羊等动物，进行剥皮、割肉和敲骨吸髓等行为，并且会利用动物骨骼制作工具。这是丹尼索瓦人适应青藏高原极端环境的有力证据！

此外，通过古蛋白质分析，科研人员在土层中发现了一小块丹尼索瓦人的肋骨化石，它的年代为距今约4.2万年，这是现在已知最晚的丹尼索瓦人化石。

这一新发现表明，在大约4万年前，丹尼索瓦人和现代人在东亚甚至青藏高原曾经是有生活时间重叠的，这为他们之间产生基因和文化的交流提供了可能，也为之前发现的丹尼索瓦人对现代人有基因贡献提供了一个合理的解释。总的来说，科研团队这些年的工作主要围绕丹尼索瓦人、青藏高原早期人类活动历史及其高海拔环境适应等问题展开，将古人扩散至青藏高原的时间推前至约19万年前，并为厘清东亚古老型人类的演化格局和人类的高海拔环境适应过程提供了关键证据。

基于这些发现，张东菊科研团队陆续发表了一系列获得国内外同行广泛认可的研究成果。部分成果先后入选Science等国际权威媒体和机构评选的“2019年世界十大科学突破”“2019年世界十大考古发现”“2019年世界十大科技新闻”“2020年人类起源研究十大新认知”等，并被评为“2019年中国科学十大进展”等多项国内年度重大科技成果。

通过这些年的求索，青藏高原的早期人类活动历史，或许解答了一部分问题：是谁、在什么时候走到了青藏高原，他们在这里停留了多久。但同时，新的问题也随之浮现：他们每天具体怎么生活？季节变换时会如何调整？他们为什么会最终消失？他们和之后来到高原的现代人之间究竟发生过什么样的故事？在整个青藏高原上，还有多少像白石崖溶洞这样的遗址仍然等待着我们去发现？

(本文由甘肃省科学技术协会提供)



鼎形铜行灯
甘肃省博物馆藏

当古人智慧遇上现代科技——

一盏战国铜灯的重生

□ 廖青铃

长明灯历史考证及其原理

长明灯的记载最早可追溯至《史记·秦始皇本纪》，“以人鱼膏为烛，度不灭者久之”的描述，为其蒙上了神秘面纱。而定陵地官出土的青花云龙纹缸，内贮油脂、表层凝蜡、灯芯留燃烧痕迹，直接印证了其“长明灯”的实际功能。

美国物理化学教师西蒙·艾菲克耗时31年、完成700余次实验，终于破解长明灯之谜：它并非“永不熄灭”，而是依托燃烧三要素(可燃物、温度达到燃点、氧气)设计的“复燃装置”。古人在灯油中掺入燃点仅40℃的白磷或黄磷，选用挥发缓慢的动物油脂或蜂蜡为燃料，灯芯经蜜蜡、松香浸泡延缓燃烧。古墓封闭后氧气耗尽，灯火自然熄灭；墓门开启新鲜空气涌入时，低燃点磷化物自然、瞬间引燃灯芯，便形成了“千年不灭”的视觉错觉。

鼎形铜行灯蕴含的科学智慧

战国秦代灯具的典范之一——鼎形铜行灯现收藏于甘肃省博物馆，其设计

兼具实用性与科学性，堪称两千多年前的“便携照明神器”。

此灯支起时高30.2厘米，收合后仅16.7厘米，口径11.3厘米，由盖、键、耳、身四部分构成，收合为严丝合缝的三足圆鼎，鼎腹可储灯油，鸭首形卡扣固定鼎盖，颠簸中也不会漏油；启用时反向旋盖、支起双键，将键端插入盖中心圆盖，鼎盖便翻转成灯盏，实现巧妙的“一器两用”。

其设计中处处彰显古人的科学智慧，经检测，铜灯含锡15%，既保证青铜硬度，又兼具延展性，适配精细铸造；灯体表面自然形成的碱式碳酸铜氧化膜，如同天然防腐涂层，能隔绝潮湿空气、延缓腐蚀；鼎腹内残留的黑色黏稠物，经检测，确认为牛羊油脂与植物蜡质的混合物，这种燃料挥发性慢、燃烧稳定，与长明灯的燃料选择一脉相承。

鼎形铜行灯的现代修复科技

历经千年埋藏，这盏铜灯出土时伤痕累累：表面覆盖厚重锈迹，双键与鸭首衔接处布满有害锈。修复时遵循“最小干预”“可逆性”原则，以现代化学技术为核心，搭配物理修复与数字化手段完成

了这场精细的“文物救治”，让千年铜灯褪去锈迹，重焕光彩。

科技问诊，精准定位锈蚀病害。修复的首要步骤是为铜灯建立完整的“病害档案”，通过专业设备实现病害量化检测：利用X射线荧光光谱仪精准测定合金成分配比，为补配材料选择提供数据支撑；通过扫描电子显微镜观察锈蚀微观结构，清晰区分有害锈与无害锈。无害锈主要是指氧化铜、氧化亚铜、硫酸铜、碱式碳酸铜等结构致密、均匀，化学性质较稳定的锈层，其中碱式碳酸铜锈，不仅对青铜器无害，在一定程度上起到阻止青铜器被进一步侵蚀的保护作用，同时也为青铜器增添了许多古雅色调；有害锈主要指氯化亚铜、碱式氯化铜等含有氯离子的锈蚀产物，通常呈粉末状，它们在一定的湿度条件下，会不断蔓延、深入形成渐进性腐蚀，使器物溃烂、穿孔，从而导致器物基体的不稳定，同时还会传染给其他铜器。借助离子色谱仪与pH试纸，检测出有害锈覆盖面积，为除锈方案划定精准范围。

梯度处理，科学清理各类锈蚀。针对

不同锈蚀类型，采用“物理清理+化学置换”的梯度方案，在彻底除锈的同时最大程度保护文物本体。对于表面浮锈、土锈与无害锈，先用软毛刷、竹制刷子轻轻清扫，再用超声波清洗机以高频振动瓦解顽固污渍。对于危害极大的氯化亚铜，调配一定比例的过氧化氢与碳酸氢钠缓冲溶液，微量滴渗注入有害锈区域，利用氧化还原反应将氯离子转化为可溶物质，再用去离子水反复冲洗，每次冲洗后检测水质。整个过程中检测一次溶液pH值，确保维持在中性范围，避免酸碱腐蚀青铜基体。

精细防护，筑牢铜灯防腐屏障。完成锈蚀清理后，再对铜灯进行全方位的防护处理，从根源上延缓锈蚀再生。先采用专用脱水剂对铜灯基体进行脱水干燥，避免潮湿环境再次引发腐蚀反应；再在灯体表面均匀喷涂一层微米级防腐保护剂，该保护剂质地轻薄、透气性好，既能隔绝空气中的水分、氧气与氯离子，又不会遮盖铜灯本身的古雅质感。

灯火千年未冷，因古人智慧而不褪色；文物重获新生，因现代科技始终守护。传统智慧与现代科技相融，让沉睡千年的文物重新绽放光彩。

“破暗长明世代深，烟和香气两沉沉。不知初点人何在，只见当年火至今。”唐代诗人罗隐笔下的古墓长明灯，是考古界延续千年的谜题。1956年明定陵发掘时，地宫青铜灯遇空气微燃又沉寂的瞬间，为传说添上现实注脚。在甘肃，1974年出土于平凉庙庄战国秦墓的鼎形铜行灯，既藏着古人掌控火焰的科学智慧，更在现代科技加持下完成了“重生”。这盏国家一级文物的除锈修复，正是用科学解码传统、以技术守护文明的最好实践。