



考古科学中心通讯

CENTER FOR ARCHAEOLOGICAL SCIENCE
NEWSLETTER



2025 年第 1 期（总第 4 期）

CONTENTS

目录

01

人才培养与条件建设

02

学术交流

03

科研成果

01

INTERDISCIPLINARY
TRAINING PROGRAM
AND
FACILITIES
INVESTMENT

人才培养与条件建设

INTERDISCIPLINARY TRAINING
PROGRAM

跨学科人才培养

排序	招生专业代码	招生专业名称	导师姓名	申请指标数	备注
1	0803	光学工程	冯国英	1	电子信息学院与考古科学中心联合培养
2	071000	生物学(生物信息学)	袁慧军	1	华西临床医学院与考古科学中心联合培养
3	071000	生物学(微生物学)	孙 群	1	生命科学学院与考古科学中心联合培养
4	085400	电子信息(人工智能)	杨彦兵	1	计算机学院与考古科学中心联合培养
5	100301	口腔基础医学	李雨庆	1	华西口腔医学院与考古科学中心联合培养

四川大学考古科学中心实验室建设正在有序推进。目前，新建博物馆一期建筑群中科研楼的第八、九两层（建筑面积 2000 平方米）已完成主体水电气改造工程，进入设备安装与系统调试阶段。考古测年、分子考古、考古材料与文物保护、地学考古和考古资源库功能区规划完成，相关仪器设备陆续进场，预计下学期正式启用。

FACILITY
CONSTRUCTION

实验室建设



02

ACADEMIC
EVENTS

学术交流

Crossroads of Innovation: Agricultural and Metallurgical Exchanges across Eurasia (3000–1000 BCE)

“欧亚地区青铜时代公元前第三至第二千纪的全球化”国际研讨会

2025 年 5 月 16 日至 5 月 18 日，由四川大学考古科学中心主办，四川省文物考古研究院、成都市文物考古研究院协办的“欧亚地区青铜时代公元前第三至第二千纪的全球化”国际研讨会在四川大学望江校区举办。本次会议由主题学术汇报和学术圆桌讨论两个环节构成。

在主题学术汇报中，来自国内外机构的十五名参会学者围绕公元前第三至第二千纪欧亚地区冶金、驯化动物和驯化植物的传播过程这一会议主题，围绕青铜时代网络的兴起、食物全球化的深层历史进程及史前全球化对青藏高原及周边地区的影响三个主要方面分享观点。

在开幕致辞中，四川大学李水城教授结合世界体系理论，以新考古发现（如多地青铜器物、小麦遗存等）论证距今五千年前后是世界体系形成关键节点，反思了沃勒斯坦“现代资本主义催生世界体系”的传统认知，认为青铜时代才是全球化的真正起点。他强调三大议题的划时代意义：青铜技术与农业传播推动“史前全球化”；青藏高原作为“世界第三极”的枢纽地位；在西南考古中的“龙头作用”，并由衷感谢四川省文物考古研究院，成都市文物考古研究院的长期合作支持。



（四川大学李水城教授开幕致辞）

伦敦大学学院 Miljana Radivojević 教授以欧亚青铜时代冶金技术对环境经济影响为主题进行汇报。青铜时代（公元前 3500-1000 年）整个欧亚大陆大规模金属经济的兴起，不

仅使得各个社区成为互联贸易体系的一部分，还推动了前所未有的经济和社会变革。然而，这场技术革命具有巨大的隐性成本。她对青铜时代采矿和冶炼规模的研究显示，在青铜时代晚期，一些遗址的铜产量就高达 10 万吨，这需要大量的燃料资源。她整合了现有的考古、冶金和古环境证据，认为大规模冶金活动助长了森林砍伐，并导致了早期人为的碳排放。

法国国家科学研究中心的 Oliver Pryce 教授汇报了东南亚地区的冶金考古研究。冶金研究为理解欧亚大陆人群间的文化交流提供了关键视角，尤其在东南亚高地地区。近二十年来铅同位素溯源技术的突破，成功揭示了高地金属生产与低地消费群体之间的联系。最新发现表明，早在公元前 2000 年至前 1000 年初，一个跨越泰国湾至中国四川南部的庞大交流网络已然存在。尽管这些发现并非定论，却为探索远距离社群互动提供了可验证的研究路径。通过金属遗存建立初步关联后，再结合其他考古证据进一步检验，从而更完整地还原史前东南亚的技术传播与社会变迁历程。

四川大学黎海超教授从资源、技术、文化的多重视角出发，重构了三星堆在欧亚大陆文明中的立体图景。三星堆虽深居四川盆地，却凭借独特的区位优势构建起连接四方的交流网络，科技分析表明多类珍稀资源于此交汇、流动，不同区域复杂手工业技术、艺术造型与思想观念亦于此交互。这一庞大体系在商周之际消失，昭示着三星堆文明与其所维系的交换网络走向终结。

加拿大不列颠哥伦比亚大学的荆志淳教授介绍了商代青铜铸造业一项颠覆认知的核心创新。通过对安阳商代青铜作坊模具的深入研究，发现其核心材料并非传统认为的粘土，而是淤泥，这种铸造材料支撑了复杂青铜礼器的大规模生产。然而，淤泥缺乏粘性也迫使商代工匠使用石灰或有机物作为粘合剂。这种独特的技术路径，与欧亚大陆其他地区以武器为主导的青铜文化形成鲜明对比，它使得商王朝能够高效生产象征权力与信仰的青铜礼器，进而巩固其社会政治与宗教结构。这表明青铜技术的跨大陆传播绝非简单复制，而是外来知识与本地需求、材料及文化实践（如礼器传统）

深度结合后产生的创造性再发明。

伯尔尼大学的 Albert Hafner 教授介绍了中欧青铜时代精英的考古证据。中欧早中期青铜时代（公元前 2000-1300 年）的考古发现揭示了精英社会结构的形成。墓葬形制从平地墓向坟丘墓的转变以及锡青铜时代金、铜合金器物的集中出土均为阶层提供了物证。跨区域标准化器物类型，印证了当时存在广泛交流网络，而随葬丰厚的墓葬与祭祀遗址则凸显了等级社会的特征。这些发现为研究早期社会复杂化进程提供了重要依据。

圣路易斯华盛顿大学汇报以食物全球化为主题。在生物多样性、语言及本土文化加速流失的当下，全球化议题备受关注。研究显示，公元前三至两千纪的古代世界已呈现全球化特征。彼时，亚非欧大陆在食物生产、语言传播及技术交流等领域形成网络，虽与现代全球化形态不同，却同样重塑了生态与文化图景。研究发现，新石器时代的地方多样性逐渐让位于青铜时代的区域性差异，各地通过本土化适应策略化解矛盾，在日益互联的世界中推动创新。

日本奈良文化财研究所的庄田慎矢教授汇报了分子视角下的欧亚大陆粟食西传与饮食变迁。团队运用脂质残留分析与同位素检测技术，揭示公元前三至一千纪粟作在中亚的传播路径及饮食融合特征。研究通过检测陶器中粟特异性化合物“粟素”，结合脂肪酸同位素比值，发现哈萨克斯坦等地的粟食常与奶制品、肉类或海鲜混合烹饪，且不同遗址存在显著差异。研究还显示，儿童骸骨的碳同位素特征表明粟可能是儿童的主要食物。东亚地区案例，中亚粟食的本土化过程呈现出与本地畜牧经济深度结合的特点，该成果为重构古代欧亚饮食交流网络提供了关键证据。

四川大学的张正为助理研究员介绍了青藏高原公元前一千纪的家马研究。近年来在青藏高原多处遗址新发现了年代确凿的家马骨骼遗存。基于这些数据，青藏高原最早的家马证据出现在高原东北部海拔约 3000 米或以下的地区，而在高海拔区域家马出现更晚。然而，高原周边地区在公元前两千纪均已出现家马。结合现代民族志和兽医学研究，早期家马进入高原低氧环境可能面临较大的生理阻碍。因此，他

ACADEMIC EVENTS

学术交流

假设家马在进入高海拔核心区前，可能曾在较低海拔区域的“过渡地带”停留了数代长的时间以进行生理适应，在渐渐获得了对高海拔环境耐受力后，才迅速向更高海拔的区域扩散。对于这一假设，今后还需要古 DNA、同位素等手段进一步检验。

四川大学宋吉香副教授做了题为《青藏高原东北缘新石器时代粟作农业：宗日遗址植物考古学证据》的报告。在青藏高原东北部的宗日遗址 2015 年及 2020 年的发掘中发现了大量的粟类作物遗存。测年结果显示它们的年代集中于距今 4800-4400 年。遗址中发现的未成熟类型的粟黍籽粒比例很高，与现代粟类加工实验中产生的“副产品”比例高度吻合。其次，对粟黍籽粒的形态学测量显示，宗日遗址及海拔更高的遗址形态数据与低海拔遗址存在差异，暗示了长期适应栽培的可能性。在距今 5000-4000 年间，粟类作物是当时青藏高原东北部各遗址生业经济中的重要组成部分。她认为这种以粟作农业为基础、具有适应性的混合经济模式，可能在距今约 5000 年前起新石器时代晚期就已成为青藏高原东北部人群成功开发该区域并延续至少 1500 年的关键策略之一。

四川大学宫本一夫教授发表了题为《连接西亚与东亚的两条路线：欧亚草原与泰加林带》的报告。基于多年的考古研究，宫本教授认为史前亚欧大陆存在两条关键交流通道：欧亚草原带及其北部的泰加林带（Taiga Forest Zone）。起源于中国北方的黍作农业在公元前 4000-3500 年经草原带扩散至外蒙古南部。同时，小麦 / 大麦则从西亚向东传播。而后的草原带游牧社会也是连接西亚麦作与东亚黍作以及传播砷青铜技术的关键枢纽。泰加林带在公元前两千纪上半叶的塞伊玛 - 图宾诺文化的标志性器物到达内蒙古及中原地区，对早期中国的青铜文化产生了显著影响。小麦、大麦则在公元前二千纪中后期出现于藏南的林芝和滇西的海门口遗址，可能经草原带南下青藏高原东部或由印度次大陆东传。最后，宫本一夫教授总结，草原带与泰加林带共同构成了史前东西方农业与冶金技术交流的双重走廊。

四川大学陈心舟助理研究员发表了题为《西藏曲贡遗址年代学》的学术报告。报告基于 2020 年四川大学联合西藏

文物保护研究所对拉萨曲贡遗址的再发掘成果，结合碳十四测年与贝叶斯模型分析，对该遗址早期文化层——曲贡文化的年代框架提出了修正。曲贡遗址原定年约为公元前 2000-1500 年。2020 年对遗址关键区域的发掘及样本提取、分析将曲贡文化的主体年代精确限定为公元前 1400-1300 年，较原定年晚了约 500 年，且持续时间不足百年。这一结论解决了曲贡文化长期存在的年代矛盾问题。研究同时确认，该文化层陶器类型学特征与早年发现完全吻合，但新年代彻底排除了其新石器时代属性。新的年代框架也显著改变了曲贡文化元素传播方向的阐释。

四川大学孟琦助理研究员以公元前两千纪至一千纪哈密盆地的开发为题进行汇报。公元前 2000 年左右，河西走廊人群西迁哈密盆地，开发绿洲，形成独具特色的文化并向外扩散。此后千年绿洲农业持续发展，但在公元前 500 年左右开始衰落，而北部山地草原人群却日益兴盛。研究表明，绿洲衰退主因是水资源短缺，而山地草原凭借稳定降水、融雪及多样化资源，更利于发展农牧混合经济，从而维持社群持续发展。

成都市文物考古研究院周志清研究员分享了横断山区公元前 3000 年—公元前 2000 年史前文化交流与人群互动。横断山区五千年来持续的南北文化互动与人群迁徙，促进当地新石器化和金属时代发展，形成独特且多样的史前文化。人口迁移和资源需求是主要驱动力，河流成为重要传播通道。该区域连接黄河、长江上游与东南亚，是中国史前对外交流的关键通道、西南丝绸之路组成部分，以及连接中国西南、青藏高原和东南亚的枢纽。

四川省文物考古研究院刘志岩研究员在会议上梳理了四川地区距今一万年到五千年左右的考古学文化发展脉络。距今约一万年的四川石器时代旧石器时代晚期文化传统，以小型石片石器为主，细石器初现但不发达。距今七千年北方细石器文化分东西两路入川，六千年前抵达成都平原，其中川

西北高原与青海“拉乙亥”技术关系密切，而盆地北部来源待考。5500 年前仰韶文化人群进入川西高原，带来黍粟农业及家畜饲养。距今 5000 年以来，农业人群大规模扩散，最终形成四川史前文化互动圈。

四川大学吕红亮教授在会议中以青藏高原青铜时代为主题，以“距今 3600 年”这一青藏高原考古学的关键时间节点，指出迄今发现的最早青稞与家牦牛、家犬均与其相关，而高原上最早的青铜器也恰好出现于此时。根据现有考古证据，青铜器最初出现在西藏东部、西部两个不同区域，而中部地区的青铜冶金发展相对滞后。从器物类型来看，东、西部的青铜冶金传统差异显著，这进一步印证了青藏高原内部长期存在的“双边界”现象，以及其在史前欧亚全球化进程中的独特作用。

在后续学术圆桌讨论中，参会学者根据主题汇报分享的内容，结合自身在欧亚考古研究中的经历与感悟，探讨了当今全球考古学研究面临的挑战并展望了未来的发展方向。参会学者重点围绕考古学科发展存在的阻力和新兴科技检测手段如何与考古学的学术关怀有机融合，以及如何更好建立跨区域、跨研究领域的高效学术交流等议题各抒己见。参会学者均称赞本次会议的形式以及营造的良好交流氛围，希望未来能建立持续的紧密合作。

四川大学吕红亮教授、伦敦大学学院 Miljana Radivojević 教授以及圣路易斯华盛顿大学刘歆益教授在会议结束时发表了总结评论。他们首先感谢四川大学、四川省文物考古研究院、成都市文物考古研究院及四川省文物局的支持。指出会议形成两大共识：一是青铜技术研究需结合生态环境视角，食物全球化可纳入物质文化分析；二是近十年欧亚考古发展源于新技术驱动与边缘区域研究突破。特别提及青藏高原 3600 年前的文化现象或为全球深层变化的镜像。最后期待以会议为契机构建学术网络，促进跨领域交流。

为充分发挥四川大学考古科学中心、考古学实验教学示范中心聚焦学科前沿、凝聚团队、凝练课题平台作用，促进考古学多学科交叉研究和考古学成果转化。考古科学中心开展“考古科学论坛”系列学术活动。目前已成功举办 60 期。

论坛总体安排如下所示：

序号	时间	讲者	报告题目
45	2025 年 2 月 28 日	刘德成	周口店遗址 2009 年保护性发掘与研究进展
46	2025 年 3 月 7 日	黎海超	三星堆实验考古新探
47	2025 年 3 月 12 日	范佳楠	千帆之下：海上丝绸之路上的沉船与瓷器
48	2025 年 3 月 21 日	刘维明	非暴雨成因洪水及其考古举例
49	2025 年 3 月 28 日	李永宪	考古学在西藏的发展
50	2025 年 4 月 11 日	赵丽娟	基于水分态分析的三星堆糟朽象牙微结构表征与原位加固初探
51	2025 年 4 月 18 日	杨彦兵	面向 6G 的可见光通感一体化及在智慧文博场景的应用
52	2025 年 4 月 25 日	郭明建	龙山文化白陶产地的初步研究
53	2025 年 5 月 9 日	杨诗雨	古代人群牙齿磨耗研究
54	2025 年 5 月 16 日	肖娟英	陶器科技分析尝试：数据与解读
55	2025 年 5 月 19 日	王宁	¹⁴ C 年代学方法的基本原理与应用实例
56	2025 年 5 月 26 日	Kirie Stromberg	微型之音：日本弥生时代的小型铜铎与仿铜铎陶器——兼与中国早期铜钟的比较
57	2025 年 6 月 6 日	雷印杰	探秘文化遗产数字化保护：多模态内容理解与生成技术最新研究进展
58	2025 年 6 月 13 日	安竹	基于加速器的离子束分析技术：以三星堆与金沙金箔分析为例
59	2025 年 6 月 16 日	李映福	临邛冶铁与汉代成都
60	2025 年 6 月 27 日	罗英杰	青藏高原东北部新石器时代晚期的陶器交换与人群互动：基于喇家与东果滩遗址的科技考古证据

考古科学论坛第四十五期

2025 年 2 月 28 日，四川大学考古科学中心主办“考古科学论坛”第四十五期在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举办。中国科学院空天信息创新研究院副研究员刘德成主讲《周口店遗址 2009 年保护性发掘与研究进展》，四川大学考古科学中心李兰副教授主持。

讲座伊始，刘德成副研究员首先介绍了周口店遗址猿人洞的背景信息。猿人洞位于龙骨山的东北坡，是周口店遗址中最重要的一处地点。自 1921 年发掘以来，这里共发现了 200 余件“北京人”化石，分属于 40 余个男女老幼个体，同时出土了近 10 万件石器，发现 98 种哺乳动物化石及 62 种鸟类化石，这些发现使周口店遗址在国际古人类学研究中占

据了重要地位。然而，长期遭受自然侵蚀的猿人洞堆积剖面出现了诸多安全隐患，为了保护这一珍贵遗址，2009 年相关单位联合对猿人洞西剖面进行了保护性清理发掘工作。

随后，刘德成副研究员详细介绍了发掘过程中的关键发现。在探讨遗址中一处石块堆积现象时，国内学者对其成因有不同的认识。有观点认为其为石铺地面，另一些学者认为其为自然堆积，不是石铺地面。通过堆积物的角砾成分、磨圆、大小、包含物、产状等多方面的分析，表明其为坡积物经坡面流水浸润在重力作用下引起滑塌灌入了洞穴形成的堆积。

周口店遗址“洞穴”成因及猿人洞遗址演化过程历来是国内外考古与地质学者关注的问题，并未形成统一的意见。刘德成副研究员通过深入分析遗址周边岩石的节理、构造和洞穴发育特点，结合地质资料推演了周口店地区各遗址形成和发育的地质环境背景和遗址形成过程。这些研究成果不仅有助于我们更好地理解古人类的生活环境，也为文化遗产保护工作提供了重要依据。

四川大学考古科学中心的李兰副教授进行综合评议，她指出该报告条理清晰，逻辑严密，通过详细的数据和实例，生动地展现了周口店遗址猿人洞的历史演变和地质构造特点。该报告不仅深入探讨了遗址内堆积物的性质，准确区分了自然堆积与人工堆积的争议，还详细揭示了周口店洞穴的成因，为与会者提供了宝贵的学术信息和研究成果。随后，参会师生就洞穴成因等问题进行了更深入的探讨。



考古科学论坛第四十六期

2025 年 3 月 7 日，四川大学考古科学中心主办“考古科学论坛”第四十六期在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举办。四川大学考古科学中心黎海超教授主讲《三星堆实验考古新探》，四川大学考古科学中心吕红亮教授主持。

讲座伊始，黎海超教授首先介绍了三星堆实验考古的总体框架，包括场景化复原、功能性探索以及未来展望三个部分。其中，场景化复原旨在通过模拟祭祀坑的挖坑、掩埋、毁器、焚器等过程，重现场景；功能性探索则通过复制与使用铜铃、铜戈、陶盃、玉琕等器物，解读其功能；未来展望部分则聚焦于音乐与舞蹈、祭祀与宗教等方面的探索。

在场景化复原方面，黎海超教授团队针对三星堆 6 号祭祀坑的形成过程进行了木箱复制与焚烧实验。他们按照 1:1 的比例复原了 6 号坑，并制作了同尺寸的多只木箱，分为坑内、坑外等多种场景进行焚烧实验。通过实验，他们发现焚烧效果与风向、风力关系密切。焚烧过程中的声音、视觉效果也需要关注的重要内容。同时，实验还表明，朱砂经明火焚烧难以保存，木箱上的鲜艳朱砂应未受明火，需考虑炭化后施朱的可能性。此项实验仍在进行中，这些发现为我们理解三星堆祭祀坑的形成提供了重要线索。

在功能性探索方面，黎海超教授团队对三星堆出土的铜铃、玉器等器物进行了复制与使用实验。他们通过翻制石膏模、硅胶模，制作蜡模，再浇铸打磨的方式，精确复原了 6 件大小不同的三星堆铜铃，并开展测音实验。同时，他们还进行了玉器焚烧实验，探索玉器被焚后颜色及内部质地的变化。这些实验不仅验证了器物的制作工艺和使用方式，还为我们理解三星堆文明的艺术风格和宗教信仰提供了新视角。

除了场景化复原和功能性探索外，黎海超教授还展望了三星堆实验考古的未来方向。他提到，未来的研究将结合残留物分析开展陶器功能研究，如陶盃、陶“火锅”、尖底罐等；同时还将进行象牙雕刻工艺复原、铜器施彩技术复原以及玉斧、玉凿使用与微痕研究等。此外，他还强调应用严谨的科学逻辑与方法，可量化的实验指标，尽量去拓展考古学

研究的边界。尤其是祭祀、宗教、艺术等人类认知相关领域，更需要科学的实验考古工作。

四川大学考古科学中心的吕红亮教授进行综合评议，他指出该报告不仅展示了三星堆实验考古的最新研究成果，还为我们揭示了古蜀文明的神秘面纱。黎海超教授及其团队的实验考古研究不仅具有学术价值，还具有深远的历史和文化意义。他们的研究成果将为我们更好地保护和传承三星堆文明提供有力的支持。随后，参会师生就三星堆的诸多问题进行了更深入的探讨。



考古科学论坛第四十七期

2025 年 3 月 12 日，四川大学考古科学中心主办“考古科学论坛”第四十七期在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举办。四川大学考古科学中心范佳楠副教授主讲《千帆之下：海上丝绸之路上的沉船与瓷器》，四川大学考古科学中心张亮副教授主持。

讲座伊始，范佳楠副教授首先简要介绍了国内外史学界关于海洋史的研究动向，并以水下考古在中国的历史沿革和发展现状作为本讲的知识背景切入。接下来，范佳楠副教授详细梳理了文献中记载的唐宋时期的海上交通路线。据《汉书·地理志》记载，有从徐闻、合浦通往南海诸国的航程；《法显传》则记载了东晋法显从隆安三年到义熙七年期间前往印

度求法的经历。唐代文献更为丰富，包括中文史料《新唐书·地理志》引《皇华四达记》、《通典》引《经行记》等，以及阿拉伯史料《道里邦国志》、《中国印度见闻录》等。特别是贾耽的《皇华四达记》中关于海上交通路线的记录，如登州海行入高丽渤海道与广州通海夷道，经前辈学者的考证已能准确地落在地图上。《经行记》则记录了中亚、西亚和北非的地理环境、山川河流、风物土产等信息。

范佳楠副教授详细介绍了 9 至 10 世纪，即海上贸易第一次高峰时期的重要沉船发现及其出水瓷器。这一时期的沉船资料包括：黑石号沉船、井里汶沉船、印坦沉船、越南珠新号（Châu Tân）沉船、越南巴地市（Bà Rịa）沉船、泰国帕农·苏琳（Phanom Surin）沉船。在阐述黑石号沉船、井里汶沉船的发现与研究之后，范佳楠副教授重点介绍并分析了越南珠新号沉船出水瓷器的面貌及年代，并通过与扬州等地出土资料的对比，论述了珠新号沉船在广州、扬州两港均有上货，并最有可能从扬州出发返航。随后，她以南海一号沉船和新安沉船作为 13 至 14 世纪的代表性沉船资料，分析了这一时期的海上贸易情况。特别是 14 世纪东亚海域的代表性沉船——新安沉船，范佳楠副教授以她的博士论文为例，展示了如何从考古学的角度全面地研究沉船资料。在充分掌握历史文献记载的基础上，她系统地研究了新安沉船背后所蕴含的海上丝绸之路贸易活动的全过程。最后，范佳楠副教授对沉船及其出水瓷器的研究方法进行了反思。

四川大学考古科学中心的张亮副教授进行总结。他指出，范佳楠副教授本次报告资料翔实，研究条理清晰。特别是最后关于新安沉船的综合性研究，对我们今后开展历史时期考古其他方面的研究都有很大的启发。随后，参会师生就如何根据出土考古材料来确定贸易路线进行了更深入的探讨。

考古科学论坛第四十八期

2025 年 3 月 21 日，四川大学考古科学中心主办“考古科学论坛”第四十八期在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举办。中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究

所刘维明研究员主讲《非暴雨成因洪水及其考古举例》，四川大学水利水电学院范念念副研究员主持。

讲座伊始，刘维明研究员首先介绍了洪水的基本概念及其分类。洪水，作为河流、海洋、湖泊等水体上涨超过常规水位的现象，是自然界中最常见且破坏力极强的灾害之一。传统观念中往往将洪水与暴雨紧密相连，忽视了非暴雨洪水这一重要类型。刘维明研究员指出，非暴雨洪水，同样具有巨大的破坏力和深远的影响。

随后，刘维明研究员详细阐述了非暴雨洪水的类型及其特点。与常见的暴雨洪水不同，非暴雨洪水主要包括溃决洪水、河流冲决、湖面上升等类型。其中，溃决洪水是由于大量水体突然释放而引发的洪水，具有高流量、低频率的特点，其规模和破坏力往往远超暴雨洪水。例如，2000 年易贡滑坡堵江形成的堰塞湖溃决洪水，洪峰流量达到了 124000 立方米每秒，影响了下游 500 公里之外的平原地区，造成了巨大的人员伤亡和财产损失。

河流冲决洪水则是指当前河道中的水流发生改道，进入泛滥平原并形成新的河道，这一过程同样可能引发严重的洪水灾害。刘维明研究员通过历史案例，如黄河下游的频繁冲决与改道，生动展示了河流冲决洪水的巨大破坏力。

湖面上升导致的淹没洪水则主要发生在内流湖泊和外流湖泊中，由于降水增加、冰雪融水增加或河水倒灌等原因，湖泊水位迅速上升并淹没周边地区。刘维明研究员特别提到了青藏高原内陆湖泊的快速扩张现象，指出这一趋势可能对周边地区的社会经济和生态环境造成深远影响。

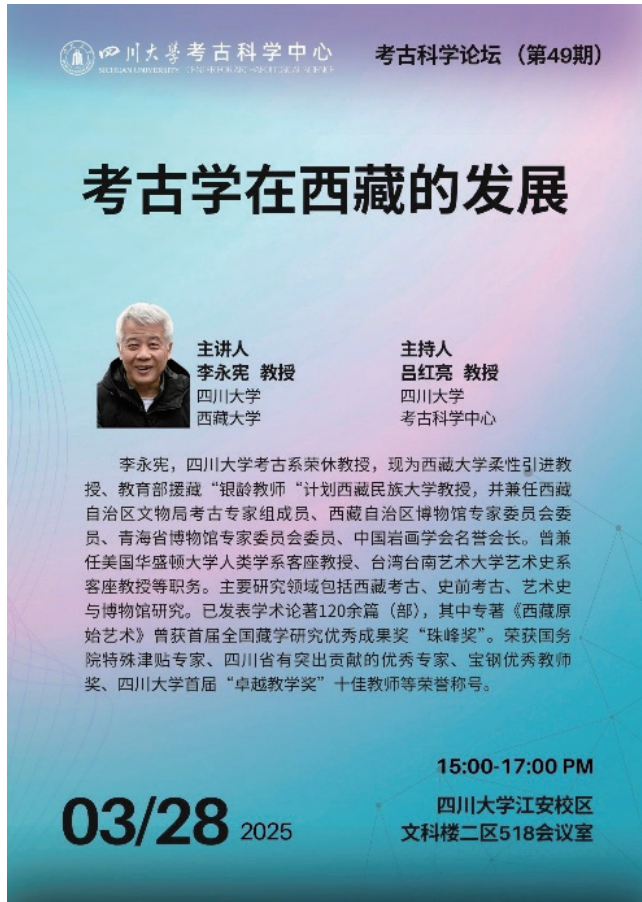
讲座中，刘维明研究员还结合考古实例，深入探讨了非暴雨洪水对人类历史的影响。他提到，通过考古发掘和历史文献记载，科学家们已经发现了多处与非暴雨洪水相关的遗址和遗迹。例如，在良渚古城遗址中，考古学家发现了大量的洪水沉积物和防洪设施遗迹，这些发现为了解良渚文化时期的洪水灾害和防洪技术提供了重要线索。

讲座最后，刘维明研究员总结了非暴雨洪水研究的重要意义。他认为，通过对非暴雨洪水的研究，不仅可以提高我们对自然灾害的认识和防范能力，还可以为考古学研究提供

新的视角和方法。同时，他还呼吁更多的学者关注这一领域的研究，共同推动非暴雨洪水研究的深入发展。

四川大学水利水电学院范念念副研究员进行综合评议。他指出此次讲座内容详实而全面，从洪水的基本概念、分类到非暴雨洪水的类型与特点，再到考古实例与科学研究，刘维明研究员都进行了深入浅出的阐述。他通过丰富的案例和详实的数据，让与会者对非暴雨洪水有了更加直观和深刻的认识。特别是他结合考古实例，展示了非暴雨洪水对人类历史产生的深远影响，这一部分内容不仅拓宽了我们的视野，也激发了我们对考古学与环境科学交叉研究的浓厚兴趣。随后，参会师生就非暴雨洪水的预测和防范方面进行了深入的探讨。





2025年3月28日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第四十九期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区518会议室举行。四川大学考古系荣休教授，现为西藏大学柔性引进教授、教育部援藏“银龄教师”计划西藏民族大学教授，并兼任西藏自治区文物局考古专家组成员、西藏自治区博物馆专家委员会委员、青海省博物馆专家委员会委员、中国岩画学会名誉会长。曾兼任美国华盛顿大学人类学系客座教授、台湾台南艺术大学艺术史系客座教授等职务。主要研究领域包括西藏考古、史前考古、艺术史与博物馆研究。已发表学术论文120余篇（部），其中专著《西藏原始艺术》曾获首届全国藏学研究优秀成果奖“珠峰奖”。荣获国务院特殊津贴专家、四川省有突出贡献的优秀专家、宝钢优秀教师奖、四川大学首届“卓越教学奖”十佳教师等荣誉称号。

考古学作为追溯人类历史、揭示社会结构和文化特征的重要学科，在塑造中华民族历史认知方面扮演着至关重要的角色。本次讲座，李永宪教授将带我们深入了解考古学在西藏的发展历程，探索西藏古代历史的未知部分。

讲座伊始，李永宪教授从考古学的认知观、知识来源及知识源如何调整认知度入手，深入浅出地阐述了考古学的基本概

念和重要性。随后，他详细介绍了考古学在西藏的发展历程。早在上世纪前半叶，外国学人如弗兰克·图齐和罗列赫等便开始了对西藏的田野考察，将“西藏考古”作为一种观察角度及思考，置于有关西藏佛教艺术、宗教思想和语言文字等方面的论述中。尽管他们未真正规划和实践既定的学科方向，但其田野工作或研究成果仍对西藏考古产生了深远的影响。

文献中，最早将“西藏/Tibet”与“考古学/Archaeology”连词，重视田野调查，对寺院、塑像壁画等遗存进行了详尽的记录和研究，还进行了体质人类学观察，并指出了西藏西部岩画的重要性。意大利学者朱塞佩·图齐精通多种语言，多次到西藏考察，详细描述了考古发现，认为西藏考古当时仅能勾画未来研究的远景，并强调了考古学及西藏艺术史的研究计划。乔治·尼古拉·罗列赫在藏北游牧部落考古方面取得显著成果，调查了石丘墓、大石遗迹等，认为这些遗存与“外喜马拉雅”地区及中亚、西亚的游牧文化存在互动，为观察藏族世俗艺术提供了新的窗口。

进入20世纪50年代，中国学者开始真正开创西藏考古的先河。中科院地质研究所赵宗溥教授等人在那曲以北发现了4处石器地点并采集到若干标本，标志着西藏考古工作的正式展开。随后，“青藏高原综合科学考察”活动在那曲、阿里、日喀则等地区共发现16个石器遗存地点，科学家明确指出高原人类曾经历过“旧石器时代”和“新石器时代”，西藏高原石器文化与中国北方石器文化之间存在密切关联。

1959年，中央人民政府文化部组织拉萨、山南、日喀则三地市为期五个月的田野调查，为西藏考古奠定了坚实基础。进入新世纪以来，西藏考古学得到了蓬勃发展。中国社会科学院考古研究所、四川大学中国藏学研究所、陕西省考古研究院等多家机构纷纷在西藏开展考古工作，研究领域涉及旧石器时代人类的高原拓殖、新石器时代高原文化的类型谱系研究、“高原丝路与南亚廊道”研究等多个方面。同时，国内外学术会议、发布会、论坛等交流活动也日益频繁，为西藏考古的学术交流与合作提供了广阔平台。

讲座尾声，李永宪教授概括了新时期西藏考古工作的四大核心任务：一是深入探索高原文化的起源与早期发展，揭示完整的西藏古代历史脉络；二是强化田野考古资料的整理与研究，深化文化阐释；三是通过学术成果传播，讲好‘考

古中国’的西藏篇章；四是加强专业教育，培育具备扎实学科理论与实践技能的双语考古人才。

2025年4月11日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区518会议室举行。四川师范大学化学与材料科学学院赵丽娟教授主讲《基于水分态分析的三星堆糟朽象牙微结构表征与原位加固初探》，四川大学生命科学学院孙群教授主持。

讲者首先揭示了三星堆象牙保存的严峻现状与挑战。这些珍贵的象牙文物，在长期埋藏过程中遭受了特殊环境的侵蚀，状态极为糟朽且饱水。而出土后，面对温湿度骤变、含氧量突增等不利因素，象牙的劣化问题进一步加剧，保护工作迫在眉睫。目前主要采用现场保护和临时保护两种手段。现场保护利用考古大棚、考古舱等设施，配合温湿度监测及调控系统，将发掘过程中的温度控制在 $18\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度保持在 $80\%\pm 5\%$ 。而临时保护则通过建立专用冷藏库房和购置冷藏柜，维持温度 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $> 90\%\text{ RH}$ ，以延缓象牙劣化。然而，这些措施仅为权宜之计，出土糟朽象牙的本体加固技术仍是国内外研究空白，亟需新的保护材料和方法。

赵丽娟教授的研究团队对象牙的理化性质进行了深入表征，发现三星堆糟朽象牙主要成分已降解为羟基磷灰石及少量碳酸化羟基磷灰石混合类型，晶体结构主要为羟基磷灰石（HA）和碳羟基磷灰石（CHA），呈现片层和针状混合堆积，且存在大量牙本质小管孔隙，主要为介孔和大孔，含少量微孔。同时，团队重点分析了象牙的水分态，指出出土糟朽象牙在无保护下极易失水，三星堆K7和K4坑的象牙含水量分别为35%~38%和35%~40%。水分状态主要为自由水、吸附水和少量结合水，水分的流失会导致象牙内部结构的部分坍塌和不可逆的破坏，特别是自由水和吸附水在维持象牙结构稳定方面起着重要作用。因此，如何有效地保持象牙的水分平衡，成为保护工作的关键。

针对象牙的临时保存问题，赵丽娟教授的研究团队开发



了一种应急保湿水凝胶材料。该材料以聚丙烯酰胺水凝胶为基体，引入有机溶剂丙酮缩甘油，通过与聚合物链间形成大量氢键，成功实现了对应急保护材料的保湿性能的提升。同时，他们还在水凝胶表面构筑了一层疏水阻隔PDMS弹性体，制备得到了临时保湿双层材料。这种双层材料不仅具有优良的界面粘接作用和优异的保湿性能，还能保持象牙的高透明度，有利于象牙的展示与观赏。状态主要为自由水、吸附水和少量结合水，水分的流失会导致象牙内部结构的部分坍塌和不可逆的破坏，特别是自由水和吸附水在维持象牙结构稳定方面起着重要作用。因此，如何有效地保持象牙的水分平衡，成为保护工作的关键。

在创新型加固材料方面，赵丽娟教授的研究团队提出了

一种利用新型有机硅与象牙中的水发生原位固化反应的方法，实现了对槽朽象牙的有效加固。这种新型有机硅以 Si-N 为主链结构，具有高度的化学反应活性，可以通过低温湿气固化转变为以氧化硅为主的材料。实验结果表明，新型有机硅加固后的象牙，其表面孔隙几乎被完全填充，同时形成了一层均匀且光滑的保护涂层，显著提高了象牙的力学强度和疏水性。此外，加固处理后的象牙在色差方面也得到了有效控制，均满足文物保护要求。

四川大学生命科学学院孙群教授进行综合评议，她指出讲座不仅系统梳理了三星堆象牙的保存现状、理化性质及水分态特征，还创新性地提出了应急保湿水凝胶材料与新型有机硅原位固化加固技术，为出土槽朽象牙的保护提供了科学、有效的解决方案。赵教授团队的研究成果兼具理论深度与实践价值，其开发的双层保湿材料在提升象牙保湿性能的同时，兼顾了展示与观赏需求，展现了跨学科研究的独特魅力。随后，参会师生就新型加固材料的应用方向等问题进行了深入的讨论。

考古科学论坛第五十一期

2025 年 4 月 18 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十一期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。四川大学计算机学院杨彦兵副教授主讲《面向 6G 的可见光通感一体化及在智慧文博场景的应用》，四川大学考古科学中心杨锋副教授主持。

随着 6G 通信技术的日益临近，可见光通感一体化技术作为其核心组成部分，正逐渐展现其在智慧文博领域的巨大应用潜力。杨彦兵副教授在面向 6G 的可见光通感一体化技术研究方面取得了重要进展，并探讨了其在智慧文博中的创新应用。

可见光通感一体化技术是一种集通信与感知功能于一体的新型无线通信技术。它利用可见光波段的光作为信息载体，通过光闪烁实现数据的高速传输，并同时利用光信号的变化进行感知。这项技术不仅具有频谱资源丰富、低能耗、支持



辐射敏感场景等优点，还能实现照明、通信和感知的三重功能集成，为智慧文博提供了泛在可用、高速可靠的通信和感知技术解决方案。

杨彦兵副教授及其团队自 2014 年起，便致力于可见光通感一体化技术的核心挑战研究，并取得了显著成果。特别是在手势识别和人员定位方面，团队通过基于光敏传感器和摄像头的可见光通感技术，实现了高精度、低成本的定位和手势识别功能，为智慧文博的智能化应用奠定了坚实基础。此外，该技术还可应用于灯具产品的溯源防伪、小车和无人机的室内定位等领域，展现了其广泛的适用性和巨大的商业价值。

随后，杨彦兵副教授分享在智慧文博领域，可见光通感一体化技术的应用案例。例如，在展览馆的导航与讲解系统

中，该技术通过精准的游客和展品定位，为游客提供个性化的导览服务；在 AR/VR 体验中，该技术利用高速可靠的通信能力，为游客带来沉浸式文化体验；在智能交互方面，该技术结合大模型和人工智能技术，实现了展品与游客之间的智能对话和互动。

讲座最后，讲者对该技术的未来充满信心，指出随着 6G 通信技术的不断发展和普及，可见光通感一体化技术将在智慧文博领域发挥更加重要的作用。未来，该技术将进一步优化通信与感知性能，提升系统的稳定性和可靠性，并拓展更多的应用场景。同时，随着人们对智能化、个性化服务需求的不断提升，可见光通感一体化技术也将为智慧文博领域带来更多的创新点和增长点。

四川大学考古科学中心杨锋副教授进行综合评议，他指出可见光通感一体化技术的创新性在于其利用了可见光波段的光作为信息载体，实现了通信和感知的一体化。与传统无线电通信相比，该技术不仅解决了频谱资源枯竭和高能耗的问题，还具有泛在可用和安全绿色的优势。在智慧文博领域，这种技术的优势更加明显，它能够为游客提供更加智能化和沉浸式的参观体验，可见光通感一体化技术作为 6G 通信的重要组成部分，具有巨大的应用潜力和社会价值。会后，参会师生就可见光通感一体的细节问题进行了深入的探讨。

考古科学论坛第五十二期

2025 年 4 月 25 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十二期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。厦门大学历史与文化遗产学院郭明建教授主讲《龙山文化白陶产地的初步研究》；四川大学考古科学中心杜战伟副教授主持。

龙山文化作为中国新石器时代晚期的重要文化遗存，其白陶制品以精湛的工艺和独特的文化内涵而著称。然而，关于这些白陶的具体产地，学术界一直并不清晰。为了解答这一谜题，郭明建教授团队以城子崖、丁公、两城镇、尧王城遗址为研究对象，结合民族学调查、地质背景分析，综合运



用岩相分析、矿物成分分析以及化学元素分析等多种方法，对龙山文化白陶的产地进行了深入研究。

针对陶器的产地研究，讲者团队首先进行了全面的理论探讨。他们参考民族学调查中关于陶器产地的案例，分析了采土地与制作地之间可能存在的远距离模式和近距离模式。同时，鉴于陶土物化特征的复杂性和特殊性，讲者引入了“指纹理论”和“混沌模型”两个概念，讨论了进行普通陶器与特殊陶器产地分析的可行性好必要性。基于山东东西部显著的地质差异和不同的陶土资源，讲者认为对龙山文化白陶展开产地研究具有充分的可行性。

在理论探讨的基础上，讲者团队采用了多种科学分析方法对白陶样品进行深入研究。首先，他们观察了白陶样品的外观与质地，包括硬度、保存状况以及陶土样品的原土与烧

制特征。随后，利用岩相分析技术，对样品进行了粒度与磨圆度分析，并确定了其矿物成分组成。此外，研究还采用了化学元素分析方法，对样品进行了主量元素和微量元素分析，进一步揭示了其化学元素构成特征。

经过系统的分析，讲者团队发现山东地区东西部龙山文化的白陶产地情况不同。城子崖与丁公遗址应该可以相对容易获得较好的陶土资源，两城镇 - 尧王城遗址的白陶样品可能来自多个产地，而呈现多元化特征，包括遗址临近区域的大窑沟等矿点、较远的五莲 - 莒南区域以及更西地区。这些区域拥有不同特征的陶土资源，而样品分析结果也显示，不同产地的白陶在岩相特征和化学元素组成上均存在差异，这些差异为确定产地提供了重要依据。

随后，讲者还探讨了白陶品质与等级的关系。通过对比不同产地的白陶样品，讲者发现来自“更西地区”的样品在品质上可能更高，这可能与该地区更为优质的陶土资源有关。此外，白陶的品质还可能受到聚落需求与控制能力的影响，反映了史前时代政治与经济资源的互动模式。

本次研究通过综合运用多种科学分析手段，成功揭示了龙山文化白陶的产地特征、产品来源及品质等级。研究结果不仅为理解史前时期陶器制作技术提供了重要线索，也为探讨史前社会网络及资源控制提供了新的视角。未来，研究者将继续深化相关研究，以期揭示更多关于龙山文化白陶生产的奥秘。

四川大学考古科学中心杜战伟副教授进行综合评议，他指出讲座以龙山文化白陶这一新石器时代晚期重要文化遗存为切入点，针对其产地这一长期悬而未决的学术问题，展开了系统而深入的研究。团队的研究方法令人印象深刻，他们并未局限于单一的研究手段，而是综合运用了民族学调查、地质背景分析、岩相分析、矿物成分分析以及化学元素分析等多种方法，形成了多维度、立体化的研究体系。这种跨学科、多方法的研究路径，不仅体现了考古学研究的科学性，也极大地增强了研究结论的可靠性。会后，参会师生就白陶产地研究的细节问题进行了深入的探讨。

考古科学论坛第五十三期

2025 年 5 月 9 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十三期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 704 会议室举行。重庆师范大学考古文博学院杨诗雨博士主讲《古代人群牙齿磨耗研究》；四川大学华西基础医学与法医学院云利兵副教授主持。

牙齿磨耗作为反映人类生存状态的重要生物学指标，记录着个体从幼年到老年的生命历程。其形态特征与磨损速率不仅反映了个体的年龄信息，更隐含着饮食结构、工具使用、健康状况等关键社会文化信息。传统研究多依赖肉眼观察与简单测量，这种方法存在精度低、主观性强等局限。讲者研究团队突破性引入工业级三维扫描仪、超景深显微镜等设备，

结合计算机辅助分析技术，实现了从宏观形貌到微观纹理的全尺度观测，为牙齿磨耗研究开辟了新的路径。

研究以甘肃漳县墩坪墓地东周时期人群为案例，系统验证了新方法的可行性。该遗址出土人骨保存完好，为方法学验证提供了理想样本。讲者首先采用 Smith 分类法对牙齿磨耗进行等级划分，通过对比前牙与臼齿的磨耗指数，发现墩坪人群上下颌均呈现前牙磨耗显著高于后牙的特征。其中，下颌前牙与第一臼齿的磨耗指数比值达到 1.49，与同时期其他遗址普遍存在的“后牙磨损更重”模式形成鲜明对比。这一发现提示墩坪人群可能存在特殊的饮食或咀嚼习惯，为理解其生存策略提供了重要线索。

为突破传统二维测量的局限，讲者团队建立了完整的三维分析流程。首先，使用高精度三维扫描仪获取牙齿表面点云数据，通过专业软件进行噪声去除与曲面重建，生成精度达 0.01 毫米的数字化模型。这一步骤确保了牙齿形态的精确还原，为后续分析奠定了坚实基础。接着，在专业平台上计算三维磨耗指数与牙冠表面积指数。结果显示，墩坪组的三维磨耗指数均值较其他遗址低 15%-20%，牙冠表面积指数也偏低，表明其牙齿磨损模式属于典型的“轻型磨耗”，牙尖磨耗程度低，咬合面形貌尚未达到磨平阶段。这种磨耗模式与墩坪人群相对年轻的年龄结构以及可能以软质食物为主的饮食结构相符。

在微观层面，研究采用超景深显微镜对臼齿颊侧牙冠进行微痕统计。通过设定放大倍数，研究记录了条痕数量、方面、尺寸等参数。结果显示，墩坪人群水平条痕与垂直条痕的比值为 104.73%，与以植物性食物为主的农业人群存在显著差异。这种特征与新疆加依村遗址畜牧业为主的人群的微痕模式高度相似，暗示墩坪人群饮食中肉类占比更高。最后结合墩坪人群的体质特征、行为模式研究与考古学文化背景，揭示了该人群以畜牧业经济为主要生计方式。这些微观证据与宏观分析结果相互印证，共同揭示了墩坪人群独特的饮食结构。

技术的革新不仅拓展了观察维度，更重构了研究方法论。讲者团队建立包含 500 余例古代样本的磨耗数据库，通过机器学习算法发现：牙本质暴露率与年龄呈非线性增长关系，35 岁后磨耗速率显著加快。基于该模型，开发出年龄估算公

式，可将误差范围控制在 ± 3.2 岁以内，较传统方法精度提升 40%。更令人瞩目的是三维磨耗面积测量技术的应用，通过对比每颗臼齿的 3D 磨耗数据，讲者发现现代人考古样本中存在显著关联性，据此建立的数学模型可准确反推个体死亡年龄。这项突破不仅为古代人口学研究提供新工具，更在法医考古领域展现出巨大应用潜力。

四川大学华西基础医学与法医学院云利兵副教授进行综合评议，他指出该研究通过三维扫描、显微分析及数据库构建等技术，对墩坪东周人群牙齿磨耗展开创新研究，发现其前牙异常磨损特征及与畜牧业相关的饮食结构，为古代人类生活史研究提供了数字化新范式，更在法医领域展现出重要应用价值：牙齿磨耗特征可作为身份识别的独特依据，其磨损程度能辅助推断年龄，而牙齿病理与修复痕迹则能反映个体生活史，这些信息在重大灾害或刑事案件中为身份确认与年龄估算提供关键证据，凸显了跨学科研究对法医实践的深远影响。随后，参会师生就基于牙齿磨损建模的具体细节展开热烈的讨论。

考古科学论坛第五十四期

2025 年 5 月 16 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十四期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。四川省文物考古研究院科技考古中心肖娟英助理馆员主讲《陶器科技分析尝试：数据与解读》；四川大学考古科学中心李凯博士主持。

在科技与人文研究深度融合的背景下，考古学领域正经历方法论的革新。讲者以金代长白山神庙遗址及川西马尔康孔龙村、白賸村遗址的陶器科技分析为例，系统展示了现代科技手段在古代文明研究中的应用实践。

金代长白山神庙遗址作为目前中原地区以外规模最大、保存最完整的皇家山祭遗存，其考古发现具有重要学术价值。讲者对该遗址出土的 94 件陶建筑构件展开系统分析，包括 88 件瓦当、3 件筒瓦、1 件鸱吻及 2 件陶器。依据考古类型学分类标准，遗址瓦当被划分为甲 -Aa、甲 -Ab、甲 -B、甲 -C、乙 -A、乙 -B 六个类型，为后续生产模式研究提供分类基础。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第53期）

古代人群牙齿磨耗研究



主讲人
杨诗雨 博士
重庆师范大学
考古文博学院

主持人
云利兵 副教授
四川大学
华西基础医学与法医学院

杨诗雨，重庆师范大学考古文博学院讲师，硕士研究生导师。研究方向为人类骨骼考古学，重点关注古代人类疾病与健康、中国新石器至青铜时代人群的饮食结构与生存压力、体质特征与人群迁徙等相关问题。主持国家社科基金青年项目1项，在 Journal of Archaeological Method and Theory, 《人类学学报》等国内外核心期刊发表论文10余篇，参与翻译、编写著作3部。

05/09 2025

15:00-17:00 PM
四川大学江安校区
文科楼二区704会议室

材质分析结果将制陶原料分为五组两大类：Ⅰ类原料包含岩相组 1、2、4，主要用于生产甲 -Aa、甲 -B、乙 -A 型瓦当；Ⅱ类原料包含岩相组 3、5，对应甲 -C、乙 -B 型瓦当。值得注意的是，甲 -Ab 型瓦当在两类原料中均有分布，暗示不同生产单元可能存在技术交流或原料共享。

地球化学分析揭示的原料来源更具颠覆性：尽管遗址毗邻天池火山与土顶子火山，但陶器原料并非取自广泛分布的玄武岩风化物，而是源自火山口附近的粗面岩风化产物。通过将陶器原料的微量元素数据与火山喷发岩石数据进行对比，确认遗址出土器物的元素特征与粗面岩具有高度关联性。这一发现修正了此前对区域地质与考古遗存关联性的认知，表明金代工匠已掌握鉴别特殊岩性的专业能力。风化程度差异导致的原料分区使用，更折射出严谨的原料管理体系。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第54期）

陶器科技分析尝试： 数据与解读



主讲人
肖娟英 助理馆员
四川省文物考古研究院
科技考古中心

主持人
丁羽帆 博士
四川大学
考古科学中心

肖娟英，四川省文物考古研究院科技考古中心助理馆员。研究方向为陶器科技考古，综合运用X射线荧光光谱分析（XRF）、电感耦合等离子体质谱分析（ICP-MS）、傅里叶变换红外光谱分析（FTIR）及岩相学观察等手段，开展成分检测与显微结构分析，系统探究古代陶器的原料来源、产地特征及制作工艺。完成三星堆、金沙、彭山远景村崖墓群等多处遗址出土陶质文物的科技检测与分析工作，主持或参与多项省部级、院级科研项目，相关研究成果发表于Journal of Archaeological Science: Reports等学术期刊。

15:00-17:00 PM
05/16 2025
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

生产组织模式研究显示，至少存在五个作坊协同供料：作坊 1、3 承担核心建筑 JZ1-3 的瓦当生产，作坊 2 专注 JZ1-2 的瓦当及其他构件，作坊 4、5 则专司小型建筑。特别值得注意的是，作坊 3 在神庙营建期生产高品质甲 -Ab 型瓦当，后期维修阶段转向低质产品，反映工程管理机制的潜在变化。筒瓦与鸱吻的原料特征与瓦当中的岩相组 2 高度近似，表明其属于同一生产体系，而陶器样品在岩相结构与地球化学特征上的显著差异，则证明建筑构件与日常用陶存在独立的生产系统。

川西高原考古研究同样体现科技手段的应用价值。针对马尔康孔龙村与白賒村遗址出土陶器的分析，讲者运用 ED-XRF 主量元素分析与 ICP-MS 微量元素分析技术，构建元素组成图谱。数据显示，川西彩陶与非彩陶在元素组成上存在明显差异：彩陶中 Ba、Sr 等元素含量较高，非彩陶则显示较高的 Fe、Ti 含量。这种差异不仅指向不同的粘土来源，更反映彩绘工艺对原料特性的特殊要求。研究通过元素指纹技术，为彩陶产地与传播路线等学术课题提供新的分析维度。

四川大学考古科学中心李凯博士进行综合评议，他指出两项研究共同体现科技考古的方法论意义：在长白山案例中，多学科交叉验证了“原料产地 - 生产工艺 - 社会组织”的完整链条；在川西研究中，元素分析技术实现文化交流的微观追踪。X 射线荧光光谱仪、质谱仪等科技手段的应用，使研究者能够从分子层面解析古代遗存，既揭示特定时空下人与环境的互动模式，也反映技术传统的传承逻辑与社会组织的运行规则。随后，参会师生就陶器成分分析的具体实验步骤、数据分析方法以及科技考古在考古学研究中的未来发展趋势等展开了深入的讨论。

考古科学论坛第五十五期

2025 年 5 月 19 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十五期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。中国科学院广州地球化学研究所副研究员王宁主讲《¹⁴C 年代学方法的基本原理与应用实例》；四

川大学考古科学中心李玉牛副教授主持。

讲座伊始，王宁副研究员首先介绍了 ¹⁴C 年代学方法的基本原理。¹⁴C 是碳元素中的一种放射性同位素，其半衰期为 5730 年，这使得它成为一种有效的定年和示踪工具。该方法基于 ¹⁴C 的形成和衰变过程，通过测量样品中 ¹⁴C 的剩余量来推算样品的年龄。其基本假设包括大气中初始 ¹⁴C 含量均匀稳定，与各个碳库迅速达到交换平衡，且样品在形成后脱离交换体系，形成封闭系统。

接着，讲者阐述了 ¹⁴C 测试技术的发展历史。从早期的盖革计数器法、气体正比计数法，到后来的液体闪烁计数法，再到如今广泛应用的加速器质谱法（AMS），测试技术的不断革新极大地提高了 ¹⁴C 测年的精度和效率。AMS 技术以其测试时间短、样品量少、高灵敏度、高精度和测年极限等优势，

成为当前 ¹⁴C 测年领域的主流技术。

在应用实例方面，讲座详细介绍了 ¹⁴C 年代学方法在考古学、地质学、环境科学等多个领域的应用。在考古学领域，通过测定古墓中遗骸的 ¹⁴C 年龄，可以推断墓主人的生活年代，揭示古代社会的丧葬习俗和人口迁移规律。此外，还介绍了核爆 ¹⁴C 定年、示踪应用以及高要埋藏古森林的年代学框架等具体案例。在地质学领域，该方法被用于确定沉积物、火山岩等地质体的年龄，为理解地球演化历史和环境变化提供关键数据。在环境科学领域，则用于研究海洋生物的食物来源、追踪污染物在生态系统中的迁移路径等。

为了提高 ¹⁴C 测年的准确性，讲者还介绍了一系列校正技术。包括同位素校正，以消除同位素分馏效应带来的年龄偏差；碳库校正，针对受年龄老的碳库影响的样品进行校正；树轮校正，使用树轮数据作为校正曲线，考虑南北半球差异；以及摆动匹配定年和贝叶斯模拟等拟合计算方法。

在数据处理方法方面，讲者强调了样品选择、数据校正和数据分析的重要性。选取合适的样品进行定年，如短寿的大型化石等，是确保测年结果准确性的关键。在拿到 AMS-¹⁴C 数据后，需要进行碳库校正和树轮校正，以消除不同来源的误差。最后，使用贝叶斯拟合等方法进行数据分析，以获得更准确的年代结果。

四川大学考古科学中心李玉牛副教授进行综合评议，他指出讲座全面解析了 ¹⁴C 年代学方法，通过阐述其基于放射性同位素衰变的基本原理、在考古定年、环境示踪等领域的多元应用实例，以及同位素分馏校正、碳库效应修正和树轮曲线校正等关键技术，并结合贝叶斯分析等先进数据处理手段，系统展现了 ¹⁴C 测年技术如何从实验室方法演变为揭示自然与人文历史的重要科学工具，为公众理解这项跨越地质纪年与人类文明尺度的计时技术提供了完整认知框架。随后参会师生就测年过程中的具体细节进行了深入探讨。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第55期）

¹⁴C年代学方法的 基本原理与应用实例



主讲人
王宁 副研究员
中国科学院
广州地球化学研究所

主持人
李玉牛 副教授
四川大学
考古科学中心

王宁，中国科学院广州地球化学研究所副研究员。主要从事宇宙成因核素与全球变化研究，擅长 ¹⁴C 年代学新方法的开发与应用，在重建古环境与人类活动记录、及 ²⁴C 和 ¹³C 双同位素联用技术示踪海洋碳循环与生物地球化学等研究方向取得了诸多成果。主持或参与多项国家自然科学基金、国家重点研发计划等项目。在 Science Advances、GRL、PPP、QSR、Radiocarbon 及科学通报等国内外知名期刊发表论文三十余篇。

14:30-16:30 PM
05/19 2025
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

考古科学论坛第五十六期

2025 年 5 月 26 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十六期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。耶鲁大学 Kirie Stromberg 博士主讲《微型之音：日本弥生时代的小型铜铎与仿铜铎陶器——兼与中国早期铜钟的比较》，四川大学考古科学中心石涛副教授主持。

讲座伊始，Stromberg 博士简要介绍了日本早期考古学的研究背景，特别是弥生时代的文化特征。她指出，弥生时代是日本历史上一个重要的时期，是农业发生和社会复杂化发生的重要时期。在这一时期，来自朝鲜半岛的移民带来了水稻种植、冶金技术等先进文化因素，对日本社会的发展产生了深远影响。

随后，Stromberg 博士详细介绍了日本弥生时代独具特色的两类文物：小型铜铃（小铜铎）和青铜铃陶器仿制品（仿铜铎陶制品）。在日本多地，考古学家们发现了众多制作精美的小型铜铃。这些铜铃虽然尺寸小巧，却展现了当时工匠们高超的冶金技术和精湛的铸造工艺。铜铃表面常常装饰着精美的纹饰，这些纹饰不仅具有审美价值，更可能蕴含着特定的宗教或社会意义。除了铜铃本身，讲者还介绍了在滨松市掛川遗址等地发现的青铜铃陶器仿制品。这些仿制品以陶土为原料，经过精心制作和烧制，形态逼真地模仿了铜铃的形状和纹饰。

Stromberg 博士强调，这些小型铜铃和青铜铃陶器仿制品并非孤立存在，而是在日本许多地区内均有发现，且数量众多。这一现象表明，铜铃及其仿制品在弥生时代的日本社会中可能扮演着重要的角色。为了更深入地理解这些文物的意义，Stromberg 博士将研究视野扩展到了中国。她通过对比中日两国的考古发现，指出中国早期铜铃与日本弥生时代的铜铃在形制、用途上存在着一定的差异。在中国，早期铜铃的出现可以追溯到更早的龙山时代，它们可能作为一种乐器或响器使用。而在日本弥生时代，铜铃的出现则相对较晚，且其用途可能更加多样化，除了部分作为乐器或响器外，部分铜铃可能并不用于乐器，而是作为身份 / 财富标识物，是为了获取社会地位的。这些差异不仅反映了中日两国在文明发展道路上的不同选择，也为我们理解东亚地区早期文明的多样性和交流互鉴提供了重要的线索。

此外，Stromberg 博士还提出了几个具有启发性的研究问题，

引发了听众的深入思考。例如，为什么在中国，陶器铃似乎先于全尺寸铜铃出现，而在日本，情况却相反？这可能与两国文明发展的不同路径有关。在中国，陶铃的出现早于铜铃。而在日本，由于弥生时代外来移民带来了先进的冶金技术，铜铃的出现可能早于陶铃。同时，Stromberg 博士还提出，这些不同用途的小铃铛在中国和日本分别有什么具体的用途？它们又能告诉我们关于早期中国和日本文明形成过程的哪些信息？这些问题不仅涉及到文物的功能和象征意义，更触及到中日两国早期文明形成过程中的社会结构、文化观念、宗教信仰等深层次问题。

四川大学考古科学中心石涛副教授进行综合评议，他指出该研究聚焦日本早期考古学及东亚地区早期铜器研究，深入探讨了日本弥生时代的小型铜铃和青铜铃陶器仿制品，并对比了中国早期铜铃与这些文物的异同，揭示了不同文明间的交流与互鉴，引发听众深入思考，具有较高的学术价值和

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第56期）

微型之音：日本弥生时代的小型铜铎与仿铜铎陶器——兼与中国早期铜钟的比较



主讲人
Kirie Stromberg 博士
耶鲁大学
考古学系

主持人
石涛 副教授
四川大学
考古科学中心

Kirie Stromberg, 耶鲁大学博士后研究员。主要研究方向为早期东亚音乐文化与思想史，尤其聚焦于音乐实践与东亚复杂社会形成之间的互动关系，以及早期文本所揭示的东亚音乐思想基础。在音乐考古学与艺术史领域取得重要学术成果，其提出的乐器考古研究方法论为考古学研究提供了创新性范式。曾参与中国陕西杨官寨新石器时代遗址的田野发掘工作，并在陕晋两省多地开展研究。论文《早期中国与日本的音乐与政治权威：史前至原史时期的比较研究》荣获美国教育部富布赖特-海斯博士论文海外研究奖学金。

15:00-17:00 PM
05/26 2025
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

文化交流意义。随后，参会师生就铜铃的制作用途等细节问题展开了深入的讨论。

考古科学论坛第五十七期

2025 年 6 月 6 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十七期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。四川大学电子信息学院雷印杰教授主讲《探秘文化遗产数字化保护：多模态内容理解与生成技术最新研究进展》；四川大学考古科学中心吕红亮教授主持。

讲座伊始，雷印杰教授首先强调了我国文物保护的战略需求。他指出，随着《中华人民共和国文物保护法》的最新修正，国家明确鼓励开展文物保护的科学研究，推广先进适用的文物保护技术，以提升文物保护的科学技术水平。在文化遗产传承与传播需求方面，雷印杰教授提到，历史文化遗产因自然侵蚀、人为破坏而面临消失的风险。在这样的背景下，引入 AI 技术开展数字化保护显得刻不容缓。通过高分辨率的单反相机、深度相机、多光谱相机、射线荧光光谱仪、三维激光扫描仪以及红外热成像仪等先进设备，我们可以获取到海量的多模态数据，为 AI 算法的训练提供丰富的素材。

雷印杰教授详细介绍了以下前沿技术：CLIP 模型由 OpenAI 提出，基于图像 - 文本对比学习构建，能够实现零样本图像分类。其衍生模型更是涵盖了从场景理解到内容生成等数项任务，为考古科学领域提供了强大的文本驱动的青铜器图像检索能力。LLaVa 系列模型支持单图像、多图像及视频的分析描述，为视觉理解任务提供了详尽的文字分析描述。DAM 模型由 NVIDIA 主导提出，专注于“视觉场景描述”，能够精准描述图像和视频的各处细节。HunYuan3D 模型由腾讯提出，支持文生 3D、图生 3D 等众多应用，实现了高精度几何生成和高清纹理生成。Qwen 模型由阿里云团队提出的首个能处理百万 Tokens 的理解 - 生成一体化多模态大模型，主要面向更复杂的长下文理解任务。

雷印杰教授进一步阐述了多模态大模型在文化遗产数字化保护中的应用，列举了多个知名企业及科研院所在该领域的成功案例。百度公司基于多模态理解技术，辅助专家进行甲骨文破译工作，并复原了秦始皇兵马俑；腾讯公司则利用多模

态生成技术，复原了三星堆青铜器和马王堆文物；敦煌研究院和云岗研究院也分别借助多模态生成技术，重建了敦煌莫高窟和云岗石窟。这些案例不仅展示了 AI 技术在文化遗产数字化保护领域的巨大潜力，也为我们提供了宝贵的经验和启示。

雷印杰教授还特别介绍了其团队在文化遗产数字化保护方面的研究成果。他们开展了多模态智能文物识别推理研究，以及多模态知识驱动的三星堆文化遗产智能重建研究。通过面向三星堆青铜器的多模态数据库构建，以及多模态驱动的文物的纹饰智能识别和青铜文物纹饰与图案分析，他们成功突破了单模态信息瓶颈，实现了智能文物识别推理。在智慧考古系统演示环节，雷印杰教授展示了他们建立的青铜文物纹饰和图案的数字化数据库，以及多模态文物智能识别及联合推理模型。这些成果不仅提高了文物识别的准确性和效率，也为文物的虚拟修复和数字化复原提供了有力支持。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第57期）

探秘文化遗产数字化保护：多模态内容理解与生成技术最新研究进展



主讲人
雷印杰 教授
四川大学
电子信息学院

主持人
吕红亮 教授
四川大学
考古科学中心

雷印杰，教授、博士生导师，教育部青年长江学者、四川省杰青、四川省千人计划特聘专家，四川大学电子信息学院副院长。研究方向为多模态内容理解与生成。近年来，主持国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划课题、国防基础科研重点项目等三十余项。在国内外顶级学术会议和期刊上发表论文80余篇，授权发明专利30余项。科研成果应用于解放军信息支援部队、中国核工业集团、中国电子科技集团、中国航空工业集团以及四川大学华西医院等单位。

15:00-17:00 PM
06/06 2025
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

ARCHAEOLOGICAL SCIENCE FORUM

考古科学论坛

讲座最后，雷印杰教授展望了文化遗产数字化保护领域的未来发展前景。他认为，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，AI 技术将在文化遗产数字化保护中发挥越来越重要的作用。同时，他也强调了跨学科合作的重要性，只有通过不同领域的专家共同合作和努力，才能够推动文化遗产数字化保护领域取得更大的突破和进展。

四川大学考古科学中心吕红亮教授进行综合评议，他指出通过这场讲座，不仅了解到了 AI 技术最新的研究进展和应用案例，也更加认识到了文化遗产保护的重要性和紧迫性。随着 AI 技术的不断发展和完善，我们将能够看到更多的历史瑰宝在数字时代焕发出新的活力，为中华民族的文化遗产和发展贡献出更大的力量。讲座结束后，参会师生就 AI 技术中的具体细节及其在考古的可能应用场景进行了深入的讨论。

考古科学论坛第五十八期

2025 年 6 月 13 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十八期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。四川大学原子核科学技术研究所安竹研究员主讲《基于加速器的离子束分析技术：以三星堆与金沙金箔分析为例》；四川大学考古科学中心黎海超教授主持。

讲座伊始，安竹研究员介绍了离子束分析技术的原理及特点。核分析技术是指通过射线与物质中的原子或原子核相互作用，采用现代核物理实验技术分析物质的元素成分和结构的高灵敏分析方法，包括活化分析，超精细相互作用分析及离子束分析技术（IBA）等。其中，粒子诱发 X 射线荧光分析（PIXE）和弹性背散射谱（EBS）是离子束分析技术中的两种重要手段。PIXE 技术通过测量粒子轰击样品产生的特征 X 射线的能量和强度，来确定样品中的元素种类和含量，具有分析速度快、多元素同时分析、灵敏度高、无损分析等诸多优点。EBS 技术则利用带电粒子与靶核间的大角度弹性散射的能谱和产额，确定样品中元素的质量数、含量及深度分布。这两种技术相结合，可以弥补各自的不足，提供更全面、准确的分析结果。

讲座中，安竹研究员详细阐述其所在科研团队利用串列

静电加速器、离子束分析终端等设备，对三星堆与金沙出土的金箔进行深入分析的全过程，成功获得了金箔样品的主量元素及微量元素成分。分析结果显示，三星堆 K5、K7 祭祀坑及金沙出土的金箔中，元素种类较丰富，主要包括金、银等元素，且杂质含量低。

讲座最后，安竹研究员强调离子束分析技术的优势不仅在于其高灵敏度和高分辨率，还在于其非破坏性的特点。这意味着在分析过程中，文物本身不会受到损害，这对于珍贵文物的保护和研究具有重要意义。在某些情况下，离子束分析技术，特别是外束技术，成为特别适用的分析方法，这充分体现了该技术在考古学研究中的重要价值。

四川大学考古科学中心黎海超教授进行综合评议，他指出该报告深入探讨了基于加速器的离子束分析技术在三星堆

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第58期）

基于加速器的离子束 分析技术：以三星堆与金沙 金箔分析为例



主讲人
安竹 研究员
四川大学
原子核科学技术研究所

主持人
黎海超 教授
四川大学
考古科学中心

安竹，四川大学原子核科学技术研究所研究员、博士生导师。研究方向先后涉及中子数据实验测量、核反应及核结构实验研究、电子-原子碰撞内壳层电离截面及韧致辐射测量、核分析技术，以及离子束分析技术在考古样品分析中的应用。主持国家自然科学基金等项目多项。

06/13 2025

15:00-17:00 PM
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

ARCHAEOLOGICAL SCIENCE FORUM

考古科学论坛

随后，李映福教授分析了临邛冶铁技术对汉代成都及天府之国的影响。临邛冶铁业的繁荣直接推动了汉代成都的经济崛起。依托发达的冶铁业，成都成为汉代重要的经济中心，商业贸易兴盛，手工业发达。经济的繁荣又促进了文化教育的进步，文翁兴学等举措，提升了蜀地的文化水平，使成都成为文化繁荣之地。冶铁业带来的财富积累，为城市建设、文化教育等提供了物质基础，推动了“天府之国”的全面发展。

此外，李映福教授还讲述了临邛冶铁技术在汉夷融合中的作用。通过南方丝绸之路等贸易通道，临邛铁器传播到西南夷地区，促进了汉夷之间的经济文化交流。冶铁技术和铁器产品的输入，不仅满足了西南夷地区的生产生活需求，也传播了先进的生产技术和文化，加速了汉夷民族的融合。这种技术传播和文化交流，增强了汉文化在西南夷地区的影响

与金沙金箔分析中的实践应用，通过 PIXE-EBS 联合分析，成功揭示了金箔的元素构成信息，充分体现了该技术在考古文物分析中的高效性、精确性与非破坏性分析等特点。该报告为考古、文物、艺术品分析领域展示了一种高效、适宜的分析方法，具有较高的学术价值和应用潜力。随后，参会师生就离子束分析技术的技术细节进行了深入的讨论。

考古科学论坛第五十九期

2025 年 6 月 16 日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第五十九期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区 518 会议室举行。四川大学考古科学中心李映福教授主讲《临邛冶铁与汉代成都》；四川大学考古科学中心原海兵副教授主持。

临邛冶铁技术是汉代四川地区重要的技术成就，对“天府之国”的形成与发展起到了关键作用。这项技术不仅体现了汉代冶铁工艺的高水平，更通过其产品和技术传播，深刻影响了汉代成都的经济、文化以及民族融合的进程。

李映福教授首先介绍了临邛冶铁技术的历史背景。他提到，中国早在公元前 14 世纪就已掌握人工冶铁技术，并经历了从陨铁利用到人工冶铁的两个重要阶段。临邛地区凭借丰富的铁矿资源和精湛的冶炼技术，在汉代发展成为重要的冶铁中心。其生铁冶炼技术通过高温熔炼直接获得液态生铁，再经过炒钢等精炼工艺，生产出性能优良的铁器。这种技术革新提高了铁器产量，降低了成本，使得铁器得以广泛使用。考古发现的汉代炒钢炉遗迹，证明了当时冶铁技术的先进性。炒钢工艺通过控制炉温和氧化反应，将生铁转化为可锻造的钢材，流程科学，效率较高。

临邛冶铁业的产品种类极为丰富，涵盖了农具、兵器、生活用具等多个方面，这些产品广泛应用于汉代社会的各个领域。例如，铁制农具如犁铧、长柄铁镰等，提高了农业生产效率，为“天府之国”的农业发展提供了重要支持。同时，铁制兵器如环首铁刀等，也增强了当时的军事力量。这些铁器不仅是实用的工具，也反映了汉代冶铁技术的精湛水平。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第59期）

临邛冶铁与汉代成都



主讲人
李映福 教授
四川大学
考古科学中心

主持人
原海兵 副教授
四川大学
考古科学中心

李映福，四川大学考古科学中心教授、博士生导师，四川省学术和技术带头人，国务院特殊津贴专家。主要研究方向为中国西南考古、冶金考古、中国新石器时代考古。主持国家社科基金重大项目及教育部、科技部冶金考古高水平国际团队建设项目等课题50余项，在《考古》《文物》《江汉考古》及Antiquity、Archaeometry等国内外期刊发表专业论文70余篇。曾获得四川省社会科学优秀成果一等奖、全国田野考古奖等奖项。

06/16 2025

16:00-18:00 PM
四川大学江安校区
文科楼二区518会议室

力，促进了不同民族之间的相互了解和融合。

讲座最后，李映福教授总结了临邛冶铁技术对中华文明多元一体格局的贡献。讲者强调，临邛冶铁技术不仅是汉代四川地区经济繁荣的基石，也是中华文明发展史上的重要篇章。它推动了“天府之国”的形成与发展，促进了汉夷民族的融合，为中华文明多元一体格局的形成做出了重要贡献。同时，讲者还指出，临邛冶铁技术作为核心文化遗产，具有深远的历史价值与现实意义，值得我们深入研究和传承。

四川大学考古科学中心原海兵副教授进行综合评议，他指出该报告深入探讨了临邛冶铁技术在汉代的重要地位及其对成都平原乃至中华文明发展的深远影响。从临邛冶铁技术的历史背景和技术特点，包括其先进的生铁冶炼和炒钢工艺，以及丰富的铁器产品，到阐述了临邛冶铁业对汉代成都经济繁荣和文化兴盛的推动作用，以及其在汉夷民族融合过程中的桥梁作用，具有很高的学术价值。随后，参会师生就生铁冶炼的技术复等问题进行了深入的探讨。

考古科学论坛第六十期

2025年6月27日，由四川大学考古科学中心主办的“考古科学论坛”第六十期讲座，在四川大学江安校区文科楼二区518会议室举行。四川大学考古文博学院博士研究生罗英杰主讲《青藏高原东北部新石器时代晚期的陶器交换与人群互动：基于喇家与东果滩遗址的科技考古证据》；四川大学考古文博学院博士研究生唐邦城主持。

青藏高原东北部，作为黄土高原与青藏高原的过渡地带，拥有多样的生态环境，这一区域因其独特的地理特征，长期被视为探索史前文化发展多样性的关键地区。在新石器时代晚期，马家窑文化主要分布于该区域内海拔相对较低的河湟谷地，而宗日文化则分布于海拔更高的共和盆地，这两种文化的互动模式一直是学术界关注的焦点。

讲者首先阐述了宗日文化形成的文化背景，并概述了当前对宗日式陶器的研究状况。他指出，宗日文化是在马家窑文化扩散的大背景下，由东部的马家窑农业人群西进与共和

盆地原有的狩猎采集人群接触后形成的。在这一过程中，马家窑人群向宗日人群传播了农业和制陶技术，这对宗日文化产生了重要影响，并催生了宗日文化中独具特色的宗日式陶器。囿于马家窑文化分布区内宗日文化遗存的缺失，仅基于现有证据，宗日文化似乎主要受到了马家窑文化的单向影响。

随后，讲者介绍了河湟谷地喇家遗址的最新发现：近年来，该遗址出土了与马家窑风格陶器共存的宗日风格陶器。这是首次在马家窑文化的核心区域内，发现具有明确出土背景的宗日文化遗存。这一发现立即引发了一个关键问题：这些宗日风格的陶器，究竟是来自宗日文化区（共和盆地）的舶来品，还是当地匠人模仿宗日风格而制作的本地产品？

为了厘清这个关键问题，讲者所在的研究团队以河湟谷地喇家遗址和共和盆地东果滩遗址出土的陶器为研究样本，

综合运用X射线荧光光谱（XRF）和岩相分析方法，从陶胎化学成分与显微结构两个维度，深入探究陶器的原料选择与制作工艺。通过对128件陶片的系统检测，并结合主成分分析（PCA）与陶器岩相分组技术，揭示了两种文化陶器在原料选择和制作工艺上的差异，以及它们之间潜在的交换模式。研究表明，喇家遗址出土的宗日风格陶器，其原料与制作工艺与共和盆地的宗日文化陶器一致，证明这些陶器确实来自共和盆地。此外，东果滩遗址出土的马家窑风格泥质彩陶，在化学成分上与喇家遗址同类陶器高度一致，这表明它们可能并非本地制作，而是来自马家窑文化核心区的输入品。与此同时，在东果滩遗址还发现了少量特殊的马家窑风格夹砂陶器，这些陶器虽然风格上模仿马家窑文化，但却包含了本地的岩屑类型，这表明在共和盆地内部，可能存在着本地化的马家窑风格陶器生产。

喇家遗址与东果滩遗址的陶器分析结果，为理解马家窑与宗日群体之间的关系提供了新的证据。研究显示，两者之间存在着双向的文化互动，这不仅打破了以往认为文化传播

是单向的认知，也表明至少在新石器时代晚期，青藏高原东北缘已经形成了一个复杂的跨区域互动网络。

在讲座的尾声，讲者提出了关于喇家遗址与共和盆地之间互动方式的猜想。他认为，这种互动可能是通过人口流动实现的，例如沿着黄河或湟水进行的小规模群体迁移，或者是通过技术交流来进行的。此外，他还进一步探讨了青藏高原东北部地区，在马家窑文化之后可能存在的跨区域互动情况。

四川大学考古文博学院博士研究生唐邦城进行综合评议。他指出，该报告以喇家遗址和东果滩遗址出土的陶器为核心研究对象，通过多学科整合的研究方法，揭示了青藏高原东北部地区，在距今4800至4450年期间，马家窑文化与宗日文化之间存在的双向互动机制。这一研究不仅重构了新石器时代晚期跨区域互动网络的形成过程，而且对于我们深入理解青藏高原东北部史前社会复杂化的内在机制，具有重要的学术意义。随后，参会师生就陶器产地分析中，选取的化学元素种类对分析结果的影响、岩相分析与化学成分分析如何有效结合等具体问题，展开了深入的探讨和交流。

四川大学考古科学中心
SICHUAN UNIVERSITY Center for Archaeological Science

考古科学论坛（第60期）

青藏高原东北部新石器时代晚期的陶器交换与人群互动：基于喇家与东果滩遗址的科技考古证据



主讲人
罗英杰 博士研究生
四川大学
考古文博学院

主持人
唐邦城 博士研究生
四川大学
考古文博学院

罗英杰，四川大学考古文博学院2023级博士研究生，师从李水城教授与杜战伟副教授。主要从事先秦考古研究，当前聚焦青海东北部新石器时代晚期至早期青铜时代的陶器生产研究。通过整合宏观形制观察、XRF元素分析、XRD物相鉴定及岩相显微结构分析等技术手段，系统分析马家窑文化与宗日文化陶器的原料配方与制作工艺。相关成果发表于 Journal of Archaeological Science: Reports，在重建该区域制陶技术传统与交换模式的基础上，证实马家窑与宗日文化的双向互动，为理解早期中国西北部社会复杂化进程提供了新材料证据。

15:00-17:00 PM
四川大学江安校区文科楼二区518会议室

06/27 2025

03

RESEARCH
PROGRESS

科研成果

科研成果

RESEARCH PROGRESS

2025 年上半年，中心科研团队在 Journal of Archaeological Science、Journal of Archaeological Science : Reports、Archaeological Research in Asia、Asian Perspectives、Antiquity、Science、Archaeological and Anthropological Sciences 等重要期刊发表科研论文 20 余篇。

1、中国西南旧石器时代洞穴遗址连续占据的新证据 (New Evidence of Human Occupation in Southwest China Since 44,800 Years ago)

自海洋同位素第三阶段 (MIS3) 以来，全球气候、人口动态和人类行为模式在世界许多地区发生了重大变化。随着考古证据的增多，我们对东亚旧石器时代晚期人类物种和技术轨迹的理解变得愈发复杂，而在中国西南地区，许多关键问题尚不清楚。四川大学考古科学中心在国际期刊 Lithic Technology (《石器技术》) 上发表题为 “New Evidence of Human Occupation in Southwest China Since 44,800 Years ago” (《44800 年前中国西南地区人类占据的新证据》) 的研究论文，对贵州招果洞遗址的石器技术面貌做了深入讨论，提出在过去的 45,000 年里，该遗址的石器技术保持着相当的稳定性。这一发现意味着中国南方的现代人可能已经发展出一种独特的环境与行为适应模式。

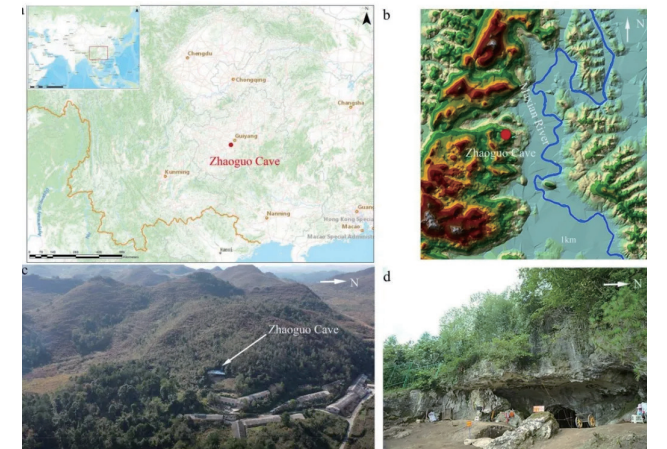
招果洞遗址位于贵州省贵安新区高峰镇岩孔村，2016 年由贵州省文物考古研究所、四川大学考古系、成都文物考古研究院联合调查发现，持续进行了 5 个年度的考古发掘，并入选 2020 年度全国十大考古发现。该遗址已积累了 25 个碳十四测年数据，经过校正后显示，遗址最底部年代为 44,881-43,086 cal.BP，最上层年代 7,934-7,752cal.BP。根据年代结果，本研究将遗址共划分为 2 期 5 段，第一期段为晚更新世（第一段为 25-21 层，第二段为 20-17 层，第三段为 16-9 层），第二期段为全新世（第一段为 8-2 层，第二段为第 1 层）。每一期段都出土了数量不菲的石制品，为检视石器技术的历时性变化提供了难得的窗口。

本文研究显示，黑色燧石是遗址中最为常见的原料，后期出现了一定变化，但整体以燧石为主，研究小组在野外调查发现了丰富且稳定的黑色燧石露头。第一期一段的石核没有采用预制台面技术，以单向打击为主，剥片序列较短，以生产宽长型石片为主，石片背疤数量在 2-6 条，显示出和石核相同的未预制台面的特点，刮削器主要是单边修理。这一阶段还发现了 3 处火塘，以及一些烧骨。第一期二段石核采用了单向和双向剥片的策略，发现了 7 处火塘；第一期三段出现了两极剥片技术和多向剥片，并且出现了一些新的沉积岩和变质岩类制品，这一时期的用火遗存出现了大量木炭颗粒以及白灰木条，可能属于重大用火事件和短时间多次用火，表明古人类对于遗址的造访频率显著增加。全新世阶段

招果洞遗址石器技术没有发生较大变化，主要表现为陶器和磨制石器的出现和使用以及骨器的大量使用。这一时期的火塘形态更加固定，并且互相重叠。

本项研究揭示出，从更新世晚期到全新世早期，招果洞的石器工业保持着相当的一致性，这不仅为现代人迁徙“南方路线”理论提高了佐证，也表明了中国西南在 MIS3 之后的人口连续性。该遗址首次发现发掘已近十年，考古遗存内涵丰富，相关的成果分别在《考古》、American Journal of Physical Anthropology、Journal of Archaeological Science: Reports 等国内外学术期刊发表，并入选全国十大考古发现，引起国内外广泛关注，已成为西南地区旧石器晚期的典型遗址之一。目前，对遗址动物考古学、古环境、植被、沉积微形态、OSL 高分辨率年代框架和古代 DNA 的更详细研究正在进行中。希望未来的研究能够揭示未解决的问题，例如确切的人类物种和连续性、气候波动的影响以及随时间变化的适应模型。

四川大学考古科学中心吕红亮教授和博士研究生张兴龙为本文的共同第一作者，考古科学中心胡越副研究员为本文



招果洞遗址地理位置图

的通讯作者，共同作者还有四川大学考古文博学院硕士生秦亚萍、徐鹏程、博士研究生杨国兵、陈云、以及成都文物考古研究院副研究员黄明和姜铭，以及华盛顿大学人类学系教授 Ben Marwick。

2、南亚更新世末至全新世中热带雨林适应的新证据 (Terminal Pleistocene to mid-Holocene Rainforest Foragers in Sri Lanka: Multidisciplinary Insights at Kebella-lena Rock shelter)

近年来，现代人扩散过程中对极端环境的适应问题引起诸多关注，例如现代人何时、如何拓展至高海拔、冻土、沙漠和热带雨林环境是考古学辩论的前沿。处于印度洋的斯里兰卡近年的考古证据显示，距今约 4 万年左右，现代人化石、细小石器、骨器以及象征性的装饰品等证据均已出现，这充分显示斯里兰卡的热带雨林对于早期人类觅食模式具有特别的意义。

为进一步了解以细小石器为代表的热带雨林觅食传统



New Evidence of Human Occupation in Southwest China Since 44,800 Years ago

Hongliang Lu, Xinglong Zhang, Yaping Qin, Guobing Yang, Yun Chen, Pengchen Xu, Ming Huang, Ming Jiang, Ben Marwick & Yue Hu



Terminal Pleistocene to mid-Holocene rainforest foragers in Sri Lanka: Multidisciplinary insights at Kebella-lena rock shelter

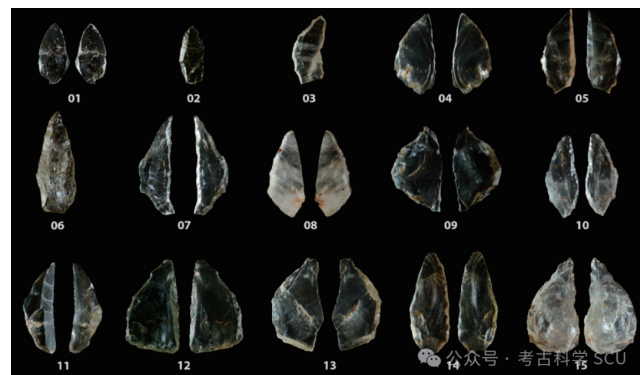
Pahiyangala Sumangala^{a,b}, Nimal Perera^c, Rathnasiri Premathilake^d, Jude Perera^e, Uduwila Uparathana^b, Kelegama Jinarathana^b, Galwewe Wimalakhanthi^b, Yue Hu^{a,c,*}, Hongliang Lu^{b,c}

科研成果

在更新世末至早中全新世的延续和变化，四川大学考古科学中心与斯里兰卡考古同行合作，对深藏热带雨林深处的Kebella-lena 岩厦遗址开展联合发掘和研究。近日，联合研究队伍在地学期刊 Quaternary Science Review（第四纪科学评论）上发表题为 Terminal Pleistocene to mid-Holocene Rainforest Foragers in Sri Lanka: Multidisciplinary Insights at Kebella-lena Rock shelter（从更新世末到全新世中斯里兰卡雨林中的采食者：Kebella-lena 岩厦遗址的多学科研究）的研究论文，为更新世末现代人的热带雨林环境中的适应策略增添了新证据。

Kebella-lena 遗址位于斯里兰卡 Sinharaja 原始热带雨林的 Runakanda 区域，地理坐标为 80° 19' 31.4" E，6° 30' 25.5" N，海拔约 322 米。该遗址最早于 2017 年被发现，2021 年至 2022 年进行系统性发掘，发掘出土丰富的考古材料，包括大量石器、细石器、骨骼、骨器、颜料和装饰品，包括鲨鱼牙吊坠、贝壳珠等，同时还发现了一处可能为石铺地面（paleo-floor）的古人类活动遗迹。通过石器技术分析，动物和植物遗存分析以及微痕分析揭示了约 13,000 年前至 7,000 年前的技术创新和文化复杂性。

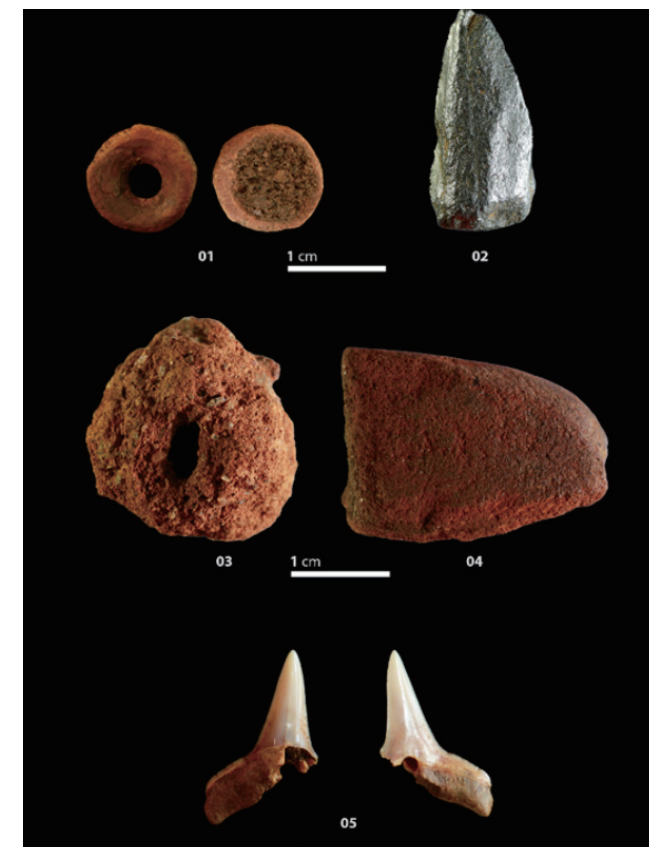
研究发现，Kebella-lena 的细小石器（microliths）技术从晚更新世开始并延续到全新世，而此前同区域发现的此类技术多在更新世末期后消失。还发现诸多小石锤（small hammers）用于加工细小石器。动物化石遗存以猴类等树栖哺乳动物为主，此外还有中型哺乳动物如豪猪和松鼠，以及少量大型哺乳动物（如野猪和鹿）。部分骨骼有明显的切割



和燃烧痕迹，反映了狩猎、加工或烹饪活动。软体动物壳主要为淡水物种，表明人类充分利用雨林中的水域资源。此外，植物花粉的分析揭示他们善于采集经济价值较高的雨林植物，如薯蓣和木菠萝，展现了他们对雨林生态成熟的适应能力。

新发掘共发现 16 件骨器，均为尖状器（单尖或者双尖），某些柄部有修理和使用痕迹，推测可能为投掷或装柄使用，用于捕猎如猴子等树栖哺乳动物。赭石既以块状存在，也以痕迹形式出现在研磨石和敲击工具上，推测可能用于装饰或仪式活动。但这些颜料并非采自附近地区，推测是通过贸易或远距离交换获得的。此外，遗址还出土了鲨鱼牙吊坠、贝壳珠和用鲨鱼椎骨制成的饰品，表明早期人类不仅与远离雨林的沿海区域存在联系，还体现了早期智人在技术、文化和象征性行为上的重要进步。

该项研究不仅挑战了过去认为热带雨林是“不适合人类生存”的“绿色荒漠”观点，还证明了早期智人可以通过复



RESEARCH PROGRESS

杂的技术和文化手段，在包括热带雨林在内的多样环境中成功适应。这一研究对了解人类适应性、技术创新以及南亚现代人象征行为提供了新的视角，同时也为全球范围内其他早期人类遗址的研究提供了对比和补充。

本文第一作者为考古科学中心博士研究生

Pahiyangala Sumangala，考古科学中心吕红亮教授及胡越副研究员为共同通讯作者，合作单位还包括斯里兰卡比丘大学 (Bhiksu University of Sri Lanka)、斯里兰卡国家考古局发掘部以及斯里兰卡凯拉尼亚大学 (University of Kelaniya)。

3. 青藏高原东北部共和盆地卡约文化聚落变迁考古新发现 (Excavations at the Xiangranggounan site reveal changes in dwellings during the Late Bronze Age on the Qinghai-Tibet Plateau)

四川大学考古科学中心、考古文博学院青藏高原考古团队联合青海省文物考古研究院在国际著名考古学期刊 Antiquity 上发表了题为 Excavations at the Xiangranggounan site reveal changes in dwellings during the Late Bronze Age on the Qinghai-Tibet Plateau 的论文。第一作者为四川大学考古文博学院、考古科学中心助理研究员孟琦，通讯作者为同单位杜战伟副教授，共同作者为同单位韩芳助理研究员、吕红亮教授、宋吉香副教授和青海省文物考古研究院乔虹研究员、李冀源和夏艳平馆员。

Antiquity 2025, page 1 of 8
<https://doi.org/10.15184/aqy.2025.25>
Project Gallery



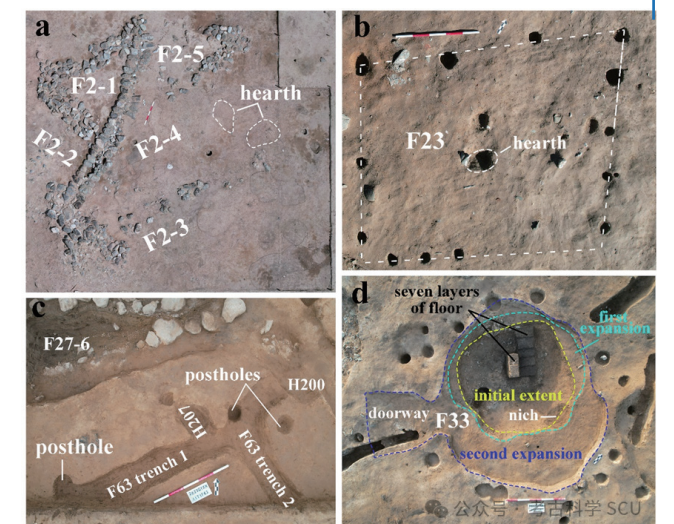
Excavations at the Xiangranggounan site reveal changes in dwellings during the Late Bronze Age on the Qinghai-Tibet Plateau

Qi Meng^{1,2}, Fang Han^{1,2}, Hongliang Lu^{1,2}, Jixiang Song^{1,2}, Hong Qiao³, Jiyuan Li³, Yanping Xia³ & Zhanwei Du^{1,2,*}

¹ Center for Archaeological Science, Sichuan University, Chengdu, P.R. China
² School of Archaeology and Museology, Sichuan University, Chengdu, P.R. China
³ Qinghai Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Xining, P.R. China
* Author for correspondence: duzhanwei-604@163.com

公元前两千纪中期齐家文化解体后，甘青地区逐渐形成了寺洼、辛店、唐汪、卡约、诺木洪等诸多文化类型并存发展的格局。与前者相比，后几支文化中与畜牧经济相关的羊、牛、马遗存显著增加；除诺木洪文化外，其余文化类型多见墓葬遗存，经过发掘的居址数量稀少、规模较小。因此，“后齐家时期”甘青地区经济与聚落形态的发展演变是考古学界一个重要的研究课题。就卡约文化而言，经过发掘的墓葬数

香让沟南遗址石构式 (a)、柱洞式 (b) 基槽式 (c) 和半地穴式 (d) 房址



科研成果

RESEARCH PROGRESS

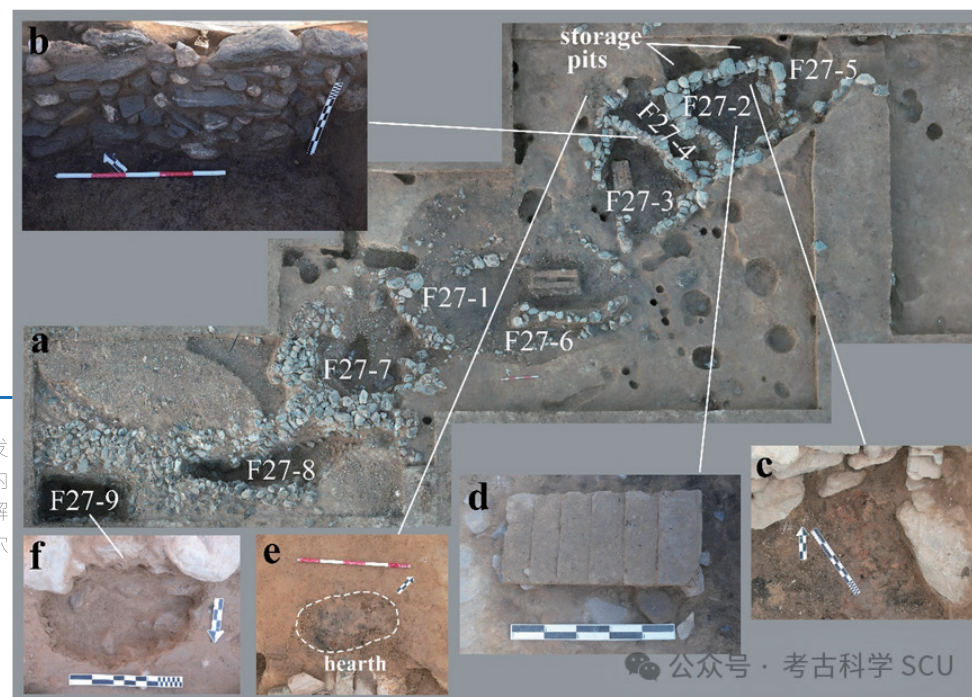
以千计，而与居住相关的遗存仅见于少数几个遗址，房址经过报道的则仅见于河湟谷地莫布拉和鲍下藏两处遗址，共计7座。

2022—2023年，经国家文物局批准，四川大学考古文博学院、考古科学中心与青海省文物考古研究院联合对青海省兴海县香让沟南遗址进行了发掘，揭示了一处以卡约文化为主体的聚落址。香让沟南遗址位于青藏高原东北部共和盆地内，地处黄河北岸三级阶地，卡约文化遗存分布于六个连续的台地上，遗址面积约49000m²，发掘面积共计1581m²，清理各类遗迹500余座。其中最为重要的发现为63座卡约文化房址，可分为五种结构：地面石构式、地面柱洞式、基槽式、半地穴石构式及半地穴柱洞式。其中多种类型的房址为卡约文化乃至甘青地区先秦时期文化中的首次发现。测年结果显示遗址卡约文化遗存年代集中在公元前两千纪末至前一千纪前半期。

根据层位关系，香让沟南遗址卡约文化居址至少可分为三个阶段，第一阶段以半地穴柱洞式房址为主，第二阶段新

出现了多间结构的半地穴石构式房址，地面柱洞式和基槽式房址多见于前两个阶段，第三阶段以新出现的地面石构式房址为主。部分半地穴柱洞式和半地穴石构式房址存在复杂的改扩建和重复使用现象。以结构最为复杂的F27为例，该房址占据了II号台地的西北部，已发掘部分共分为九个隔间，F27-4和F27-6等小隔间是根据功能需求从其他房间中分隔出来的；F27-1、F27-2、F27-3等隔间中均剥离出了数十层踩踏面；F27-2中还发现了整平红烧土和灰烬堆积后重复使用的现象。

相较于以往发掘过的卡约文化居址，香让沟南居址规模较大，房址数量多，类型丰富，层位关系清楚，为研究卡约文化聚落形态演变提供了重要的新资料。综合发掘情况、测年数据和对动植物遗存的初步分析，本文初步认为香让沟南是一处长期、连续使用的卡约文化聚落。遗址揭示的几类房址阶段性变化的现象为西北地区先秦考古中的首次发现。房址结构变化的动因以及遗址的经济形态有待多学科研究成果进一步揭示。



香让沟南遗址半地穴石构式房址F27：房址已发掘部分的全景（a）、F27-3东墙（b）、F27-2内填埋的红烧土块和灰烬堆积（c）与部分踩踏面解剖（d）、F27-4北侧灶址（e）、F27-9底部窖穴（f）

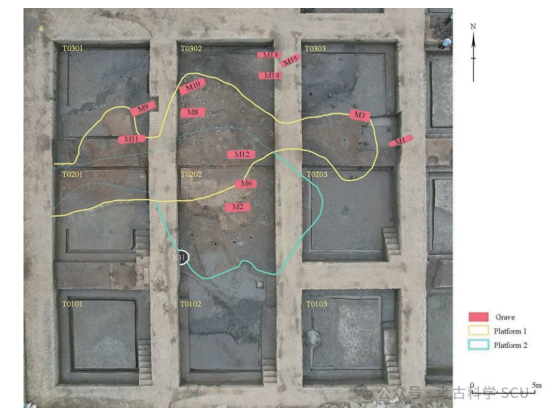
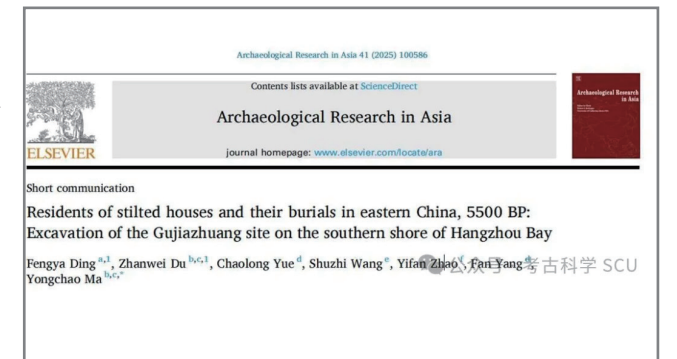
4、东南沿海河姆渡文化晚期聚落发现与研究的新成果（Residents of stilted houses and their burials in eastern China, 5500 BP: Excavation of the Gujiazhuang site on the southern shore of Hangzhou Bay）

四川大学考古科学中心、宁波市文化遗产管理研究院、国家文物局考古研究中心联合在国际知名考古期刊 Archaeological Research in Asia 发表题为“Residents of stilted houses and their burials in eastern China, 5500 BP: Excavation of the Gujiazhuang site on the southern shore of Hangzhou Bay”（距今5500年前中国东部居住于干栏式房屋的先民及其墓地：位于杭州湾南岸的顾家庄遗址考古发掘收获）。宁波市文化遗产管理研究院丁风雅馆员与考古科学中心杜战伟副教授为论文共同第一作者，考古科学中心马永超助理研究员为通讯作者。

长江下游地区一直是当今新石器晚期社会复杂化进程与生业经济研究者关注的焦点地区。不过，以往研究多关注杭州湾以北的环太湖地区的高等级聚落（如良渚古城）的营建与文明特质，对于同时期杭州湾以南的普通聚落的营建与环境适应等研究较少。基于此，2022年7月至12月，考古科学中心与宁波市文化遗产管理研究院、国家文物局考古研究中心联合对浙江省宁波市奉化区方桥街道顾家庄遗址开展了田野发掘。此次发掘揭露了河姆渡文化晚期、良渚文化晚期、钱山漾文化、六朝、宋元等五个时期的丰富遗存，其中尤以河姆渡文化晚期（5500-5000 BP）遗存保存最好。

河姆渡文化晚期主体遗存包括黄土台及以其为基础建造的干栏式房址、小型墓地。前者共包括2座形状不规则的黄土台，均由纯净的黄土堆筑而成，后者位于黄土台东北部，仅存排列较规律的柱洞，约3/4的柱洞中保留有木桩。木桩直径多为10厘米左右，其树种以朴属（Celtis sp.）为主。

与干栏式建筑大致同时的小型墓地分布范围与黄土台一致并打破后者。该墓地共包括12座形制一致的墓葬，墓向为西，随葬品常见罐、豆、釜的陶器组合和钺、镞的石器组合，墓底铺垫木板，其中M12保存最好。M12墓穴内可见保存较好的、由两片“U”木板扣合而成的木棺，木板均为樟属（Camphora sp.），棺内随葬陶豆、罐各1件，棺外随葬1件陶釜。



由上述考古发现可知，顾家庄遗址河姆渡文化晚期聚落营建过程可分为三大步，即在松软的海相沉积之上铺垫黄土、以黄土台为地基建造干栏式房址、在房址周围埋葬居住于其内的先民，最终形成核心家庭规模的、“居葬合一”的聚落格局。此外，在建造房址过程中，顾家庄遗址先民并未选择自然植被常见的树木——栎属（Quercus sp.）和松属（Pinus sp.），也与同时期或略早的田螺山遗址先民偏爱樟科（Lauraceae）不同。

顾家庄遗址河姆渡文化晚期聚落布局与规模、建筑材料的选择为当前新石器晚期东南沿海地区普通聚落的环境适应研究提供了一个范例，也将促进长江下游地区史前文明鼎盛期地区间聚落差异的对比研究。

科研成果

RESEARCH PROGRESS

5、川渝早期聚落分布的环境关联（Early human settlements and mobility patterns in the Sichuan-Chongqing region from the late Neolithic to the Bronze Age）

四川大学考古科学中心与西南民族大学在国际期刊 *Quaternary International* 发表题为 “Early human settlements and mobility patterns in the Sichuan-Chongqing region from the late Neolithic to the Bronze Age” （《四川 - 重庆地区新石器时代晚期至青铜时代早期人类聚落与迁徙模式研究》）的研究文章。研究使用时空信息技术，首次从 “双城视角” 揭示了川渝地区早期人类聚落分布的时空演化规律及其与环境因素的深层关联，为理解西南早期文明的发展与环境适应提供了全新视角。四川大学考古科学中心第宝锋教授、博士研究生李俊辉及西南民族大学郜媛媛副教授作为本文的共同作者。

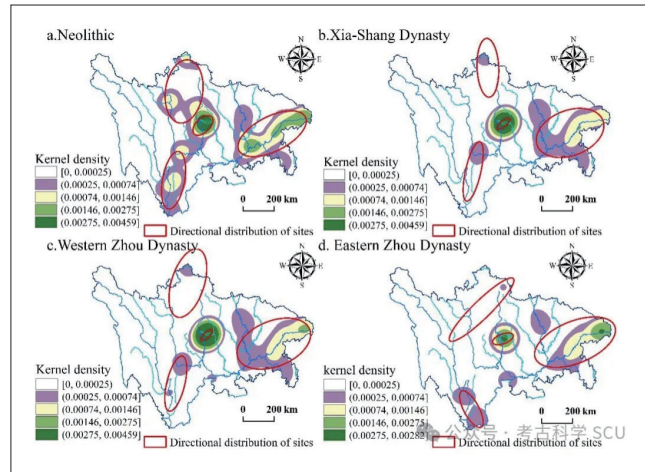


研究团队系统梳理了川渝地区 2000 年以来所发布的考古和地理数据，构建了川渝地区早期人类聚落的地理空间数据库。基于此，研究在空间维度揭示了早期人类遗址的分布及演化模式。研究发现：新石器晚期，川渝地区经历了一段漫长、多文化互馈的演变期，遗址广泛分布于成都平原、峡江地区及川西高原，体现早期人类对多样环境的适应性；新石器晚期到夏商时期，在成都平原逐渐形成了以稳定和大型的聚落中心为标志的聚落等级制度；夏商至西周时期，遗址格局发生快速演化，遗址数量与影响范围明显下降。东周开始，聚落规模扩大，尤其是川西南和渝东的聚落逐渐扩大，成渝双中心的趋势也开始出现。

研究还通过地统计学、最优参数的地理探测器（OPGD）模型对人地关系进行探讨。结果表明：聚落分布受环境因素的强烈影响，尤其是新石器时代晚期，水热资源成为该时期人类文明迁移的重要因素。早期人居环境在 “挑战 - 适应” 的互馈中逐渐形成三大特征：1. 宜居海拔，早期人类倾向于

选择 200-800 米的中等海拔区域，既避洪水风险，又利耕作和防御；2. 亲水而慎，超 83% 的遗址分布在距河流 2 公里范围内，但随生产力提升，逐渐从 “紧邻水源” 转向更安全的中距离区域；3. 沃土向阳，高土壤肥力、南向 / 西向的坡地成为聚落长效发展的关键因素。

此外该研究还结合气候变化与植物考古资料分析认为，人口迁移的过程也是对更适宜的农业环境的探索。从新石器时代晚期开始，气候变化与生产力的需求驱使北方、长江中下游文明的不断迁移与扩散；在此过程中，成都平原和渝东因其优越的自然环境而成为区域中心，并随着青铜时代以来农业种植技术和资源的集约化，最终形成了区域文化中心，并延续至今。



6、2 万年以来海平面变化与中国东部海岸带人类活动

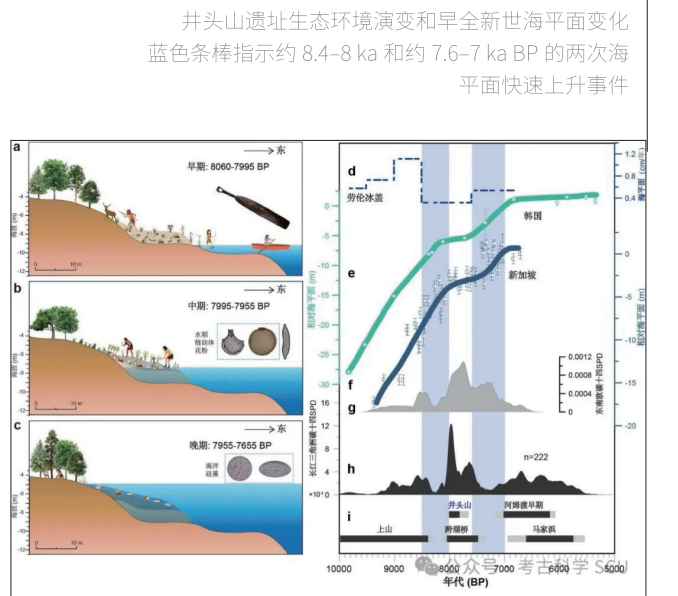
四川大学考古科学中心地学考古实验室贺可洋特聘副研究员在《史前考古》发表 “2 万年以来海平面变化与中国东部海岸带人类活动”。我院贺可洋特聘副研究员为第一作者和通讯作者，该研究受国家自然科学基金委交叉学部重大项目 (T2192954) “海岸带环境变迁与文化文明演替” 第一资助，国家自然科学基金面上 (42477479) 和青年项目 (41902187) 为第二、第三资助，同时受江苏省地质局地勘基金项目 (2024-SGH006) 资助。

末次冰消期以来，随着温度回升和冰盖融化，全球中 - 低纬度海岸带发生大规模海侵，对海岸带人类活动产生深刻影响。中国东部 2 万年以来的海平面变化曲线，呈阶梯状波动上升模式，刘敬圃等发现 6 次海平面快速上升融水事件（MWP），在这些融水事件之间则是海平面上升速度减缓的间歇期，其中几个关键时间节点包括：2 万年前，海平面处于 -130 m，东部大陆架出露约 120 万平方千米；1.5 万年前，海平面处于 -100 m，大陆架出露约 80 万平方千米；7 千年前，出现高海平面，东部平原约 13 万平方千米被淹没。再具体到争议最大中国东部全新世以来的海平面，争论的焦点就在于，是否存在中全新世高海平面。本文基于中国东部沿海大陆架钻探和考古发掘最新成果，从人群迁移和生业模式这两个方面，阐释海平面变化对人类活动的影响和人类的适应过程。

在人群迁移方面，目前在大陆架发现了 1.5 万年的陶片、1.3 万年的水稻、在海岸带发现了 1 万年的陶片和水稻，这些发现基本都处在海平面上升的间歇期，指示这些海平面上升的间歇期，可能是古代人类停留和活动的关键时段。2 万年以来在海平面上升速度减缓的间歇期，在大陆架和低海拔海岸带地区可能存在人类活动，例如井头山遗址，就是海岸带上人类活动的原生沉积。此外，对宁绍地区河姆渡文化一



至四期堆积底界的海拔高度统计也显示，从约 -1 m 逐渐升高到约 2 m，远高于井头山遗址底界约 -10 m，指示随着海平面的上升人类可能向上迁移。综合以上证据，为海岸带地区未来水下考古和人地关系研究提供全新视角，指示在近海大陆架和更深的海岸带地区，在海平面上升减缓的间歇期，可能存在更早的人类活动或考古遗址，并且随着海平面跃升事件淹没沿海地区，人类可能向高海拔内陆地区迁移。



科研成果

在生业模式方面，基于对全新世早期海平面间歇性上升的认识和对井头山遗址的多指标分析，证实了在水下或者海相沉积下可能存在早期贝丘堆积，据此我们认为世界范围内海洋适应加强的时间应该前推进到 ~8 ka BP。围绕海洋适应与农业关系，井头山、庄边山、黄瓜山等贝丘遗址的证据显示，稻作农业与海洋适应在长江下游和福建沿海地区是并存的，可能一同促成了南岛语族的扩散。除此之外，海平面变化也对水稻的驯化产生了深刻的影响。已有的植物考古证据，尤其是近年在水稻扇型植硅体方面取得的一系列突破性进展，显示长江下游地区水稻驯化呈现多支线、多中心的地理镶嵌现象。受全新世海水入侵造成文化和农业间断影响，先民食物结构中稻米比重下降，采集和狩猎比重增加，同时，湿地增加，野生稻扩张，人口减少，驯化压力减弱，造成水稻杂草化，水稻驯化水平呈现停滞甚至下降，最终导致沿海地区水稻驯化推迟完成。

7、三星堆朱砂溯源新成果 (Research on the source of cinnabar excavated from Sanxingdui site in China based on sulphur and mercury isotope analyses)

四川大学考古科学中心联合四川省文物考古研究院等多家单位在国际期刊 Archaeological and Anthropological Sciences 发表论文 Research on the source of cinnabar excavated from Sanxingdui site in China based on sulphur and mercury isotope analyses。该研究通过硫、汞同位素分析结合考古与文献材料，系统探讨了三星堆遗址出土朱砂的来源问题，为揭示三星堆文明的资源网络和区域交流提供了新的科学证据。四川大学考古文博学院硕士生蒋沁芯为论文第一作者，黎海超教授为论文通讯作者。该文得到国家自然科学基金重大项目“三星堆文化与中国文明研究”的资助，是黎海超教授课题组关于三星堆资源、技术、文化互动网络研究的阶段性成果。

RESEARCH PROGRESS

文章接收后,中国科学院地质与地球物理研究所研究员，著名地貌与第四纪地质学家赵希涛老师为本文撰写短评，认为“贵文对其理论基础和最新进展均做了很好的概括和综述”……“你们在沿海平原和陆架内部发现冰后期海侵层下即海侵前的古文化遗存和水稻种植遗迹，及早、中全新世遗址随海面波动和岸线变化而进退，是研究的最新进展，值得大书特书”。

开展海平面变化与人类活动关系研究，不仅有助于增强对中国东部海岸带环境变迁与农业起源、文明起源关系研究的认识，还可以为旧 - 新石器过渡时期的文化 - 环境关系分析提供新的研究视角。该文是中国科学院地质与地球物理研究所吕厚远研究员所带领海岸带项目组的集体成果，发表在《史前考古》“东亚地区旧 - 新石器时代过渡与农业起源”专辑（2025 年第 1 期），在此对赵希涛老师、项目组成员孙国平、郑云飞等诸位老师、会议组织者赵辉老师等、以及编辑部李茜老师和两位审稿老师一并表示感谢。

分析，结合考古学材料和文献材料对于三星堆朱砂的来源进行探究。

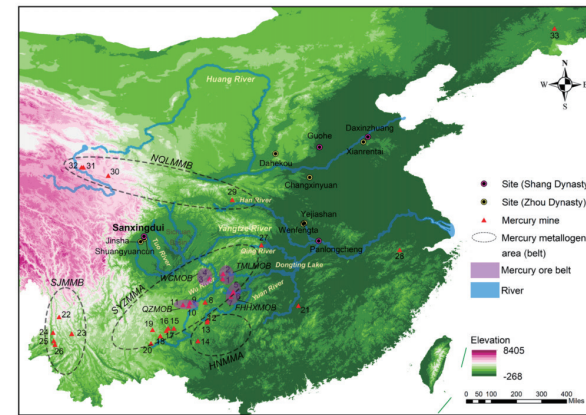


Fig.1 Locations of the sites, mercury mines, mercury metallogenic areas (belts) and mercury ore belts. NQLMMB=Nanqinling mercury metallogenic belt; SYZMMA=Shangyang mercury metallogenic area; SJMMB=Sanjiang mercury metallogenic belt; HNMA=Huanan mercury metallogenic area. The Wu River with the Wuchuan, Tongmaling, and Quanzhong mercury ore belts; The Yuan River with the Fenghuang-Huangxian mercury ore belt; The Qing River with the Tianzhuhan mercury mine.

1=Tongmaling; 2=Yangshikeng; 3=Dongjiaba; 4=Muyouchang; 5=Chatian; 6=Daodong; 7=Wanshan; 8=Zhifang; 9=Mahuangqing; 10=Baimadong; 11=Hongyan; 12=Danzhai; 13=Jiaoli; 14=Yilan; 15=Daigong; 16=Huijiang; 17=Lamuchang; 18=Guli; 19=Shachang; 20=Yagen; 21=Shixia; 22=Wenshuibei; 23=Maanshan; 24=Bayibay; 25=Jinshan; 26=Maocao; 27=Tianzhuhan; 28=Yuanjiang; 29=Guangji; 30=Heji; 31=Shanuo; 32=Mohu; 33=Yingfengge.

课题组对三星堆出土的青铜器等器物表面的朱砂样本进行了系统收集，并开展硫同位素与汞同位素分析，通过数据

对比确认这些朱砂主要来源于上扬子成矿区，尤其与乌江流域和沅江流域的汞矿密切相关，而清江流域可能性较小。朱砂通过长江水道经三峡输入至成都平原。随着商周更替，三星堆的朱砂来源经历了从乌江、沅江流域并存到仅以乌江流域为主的转变，反映了三星堆资源网络的变化。

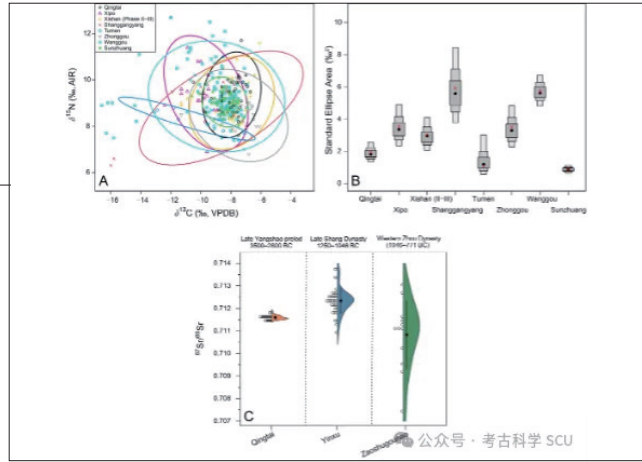
考古材料与文献记载进一步印证了这一科学推断。商周时期，乌江、沅江和清江流域与成都平原存在密切的文化交流，同时《史记》《逸周书》等文献亦记载了古代濮地、巴地长期开采朱砂并朝贡的历史。文章还从宏观层面对比了三星堆与商周时期其他重要遗址朱砂的同位素数据，认为商周时期上扬子成矿区可能是朱砂供应的重要中心。朱砂的流通可能主要有两种模式：中原王朝控制上扬子成矿区的朱砂，并将其赏赐给地方贵族。同时，各地与上扬子成矿区间也存在自主交换。该研究不仅填补了三星堆朱砂来源的学术空白，也为三星堆资源网络与文化互动提供了全新的线索。接下来，课题组将进一步梳理古蜀地区朱砂的来源及其变化，并从功能、等级、族属等视角深入揭示朱砂的考古学内涵。

8、五千年前中原人群生业与迁移模式研究取得新进展 (Multi-isotope analysis reveals human millet-based diets and limited mobility in the Central Plains of China ca. 5000 Years Ago)

四川大学考古科学中心联合郑州市文物考古研究院等多家单位，在国际期刊 International Journal of Osteoarchaeology 发表题为“Multi-isotope analysis reveals human millet-based diets and limited mobility in the Central Plains of China ca. 5000 Years Ago”研究成果。论文第一作者为 Wang Xuehui 特聘副研究员，郑州市文物考古研究院顾万发研究员和四川大学考古科学中心原海兵副教授为共同通讯作者。剑桥大学曹豆豆，郑州市文物考古研究院魏青利、丁兰坡，中国社会科学院陈相龙，中国科学院地质与地球物理研究所唐自华，南京师范大学滕逍霄，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所王恬怡、付巧妹，四川大学考古文博学院张若静、邹佳兴和邱雨杰为共同作者。

科研成果

RESEARCH PROGRESS



青台遗址与其他聚落人群的比较研究
A. 郑洛地区仰韶文化晚期人群碳、氮稳定同位素生态位分布图
B. 郑洛地区仰韶文化晚期人群饮食生态位贝叶斯标准椭圆面积对比图
C. 青台人群与其他不同时期人群的锶同位素对比图

仰韶文化（约 5000-2800 BC）是中国史前时期最为重要的一支考古学文化，其体现出丰富的物质文化表征、聚落形态等，可观察中原地区长时段的社会结构转变、文化发展进程以及文明发展程度等。研究表明，大约在仰韶文化晚期（约 3300-2800 BC），中原地区发生明显文化转型，其不再延续庙底沟文化时期体现出的文化统一态势，出现了明显区域文化加剧分化的现象，体现出明显区域文化发展不均衡以及受外来文化强烈冲击等现象。在此背景下，以多学科视角探索仰韶文化晚期人群活动样态、生业模式转型与人群迁移活动等对整体格局的影响显得尤为必要。

整体而言，长期以来仰韶文化稳定的粟作农业体系支撑了仰韶文化晚期社会的人口扩张，但目前学界对这一时期人群迁移规模、移动模式及特征等问题的认识极为有限。本研究以河南郑州荥阳青台遗址仰韶文化晚期大型环壕聚落人骨遗存为研究对象，分析了 54 例人骨骨胶原碳、氮稳定同位素以及 38 例人类牙釉质锶同位素，结合人骨碳十四测年结果，重建了仰韶文化晚期高精度时间分辨率的人群饮食结构与人群迁移模式。

碳、氮稳定同位素研究表明，青台遗址仰韶文化先民以粟黍类食物为主要食谱构成，且摄入一定比例动物蛋白作为补充。结合稳定同位素分析及动物考古相关研究可知，家猪应是古人主要的动物蛋白饮食来源。不存在明显的男、女性别食物分野，也不存在分年龄段以及个体生命周期阶段性的差异，体现出高度一致的生业模式表现。相较于仰韶文化中晚期中原地区多个大型聚落单元（如汪沟、尚岗杨等遗址）体现出的复杂多元饮食结构，青台人群 SIBER 同位素生态位模型体现出其饮食生态位幅度明显小于多数同期其他大型或小型聚落人群的状况。

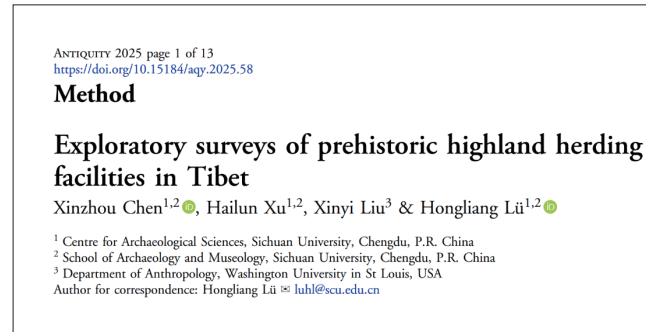
锶同位素研究表明，几乎所有个体的锶同位素比值均符合本地生物资源可利用范围，显示出青台人群本地定居、活动集中、迁移率极低的人群迁移样态。与晚商时期殷墟人群、先周及西周时期枣树沟脑等人群锶同位素显示的迁移形态相比，青台人群集中分布的研究数据进一步强化了其稳定定居的居住特征。

综合以上分析及碳十四测年等研究可知，青台遗址仰韶文化人群在大约 600 年的时间跨度内保持了稳定的粟作农业

生计模式和本地定居特征。因此，可以看出仰韶文化晚期阶段，中原地区高度发达、稳定的粟作农业体系为青台人群提供了充足、可靠的食物供给和饮食来源，其体现出长期、稳定的文化特性。这种食物供给模式很可能增强了仰韶文化人群抵御外来文化、环境变动等因素对自身冲击的能力，本地稳定的生业经济促进了人口增长、聚落拓展及社会复杂

9、青藏高原高海拔区古代牧业遗址调查方法的研究（Exploratory surveys of prehistoric highland herding facilities in Tibet）

四川大学考古科学中心在国际知名考古学期刊 Antiquity 发表题为 Exploratory surveys of prehistoric highland herding facilities in Tibet（西藏史前高地牧业遗存的实验性调查）的论文。第一作者为考古科学中心助理研究员陈心舟，合作作者包括考古科学中心徐海伦博士、圣路易斯华盛顿大学人类学系刘歆益教授，通讯作者为考古科学中心吕红亮教授。



从考古资料的空间分布来看，青藏高原的已知史前遗址多分布在河谷、阶地等地形中。这一资料现状表明我们对史前高海拔山地地形的利用方式的认知还不够。河谷、阶地（台子）、冲积扇（特别是扇口的位置）等地形是传统考古调查实践中所强调的地貌单元。经验而论，这些地貌单元中常常分布有相对大型的、堆积丰厚的“好”遗址。自然，此类遗

址对于构建文化序列等学术问题具有很高价值。

但是，河谷、阶地等“好”地形相比较于高原如此广袤的土地而言，总归是占少数的。高原的绝大部分地区为高寒山地或草地等。可是，这并不意味着这些地区没有古代人类的活动。实际上，这些区域具有很大的考古价值。即使是河谷中的居民，也往往要利用这些“边缘”地区来进行不同程度的牧业活动。如果不对这些“边缘地带”进行考古调查，将无法直接认识史前牧业的物质遗存面貌。因此，有必要从景观考古的角度来思考西藏考古调查的进路，并在山地地带对牧业遗存的调查策略进行探索。

西藏目前报道的史前遗址并不多，这固然与考古工作起步较晚有关，但也与在西藏进行区域调查的一些实际困难有关：由于高寒缺氧、地形复杂等诸多限制因素，西藏的田野考古工作相当艰苦；除少数地区之外，考古工作者几乎无法对史前聚落进行全覆盖式的区域系统调查；由于地貌变迁、人类活动强度不高等因素，地表陶片相对少见；需要调查的地区往往太大，粗放的地表调查往往收效不高；西藏考古实践中常见的观察剖面的做法虽然很有效，但这是一种收益不可控的调查法，具有很大的偶然性。

如何克服这些实际困难，并进一步探索山地牧业遗存的踪迹？研究团队受到了近年来在世界各地一系列牧业考古研究的启发。近年来，新疆、中亚、安第斯、欧洲的牧业考古

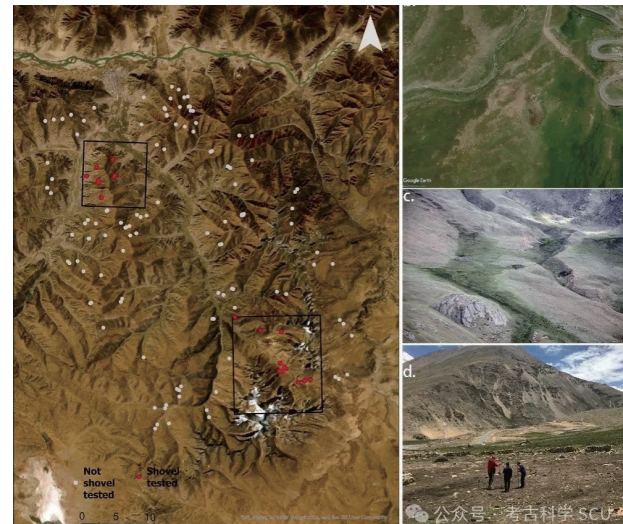
科研成果

RESEARCH PROGRESS

研究表明，由于牧人是生态位的积极改造者，牧业遗址常常具有重复使用的特点，因此古代的牧业遗存可以被考古田野工作直接锁定。近年来发表在 Nature 等杂志的一系列成果表明，古代牧场的长时段占据会对当地的生态环境产生积极的长久的影响，形成人与环境的正反馈，进一步吸引遗址的重复利用。这些成果表明，牧人的活动具有可预测的特点，而很多古代牧业遗址很可能就在现代牧场下面。

鉴于此，西藏考古团队在执行琼结邦嘎遗址发掘项目和日土夏达错遗址考古项目的过程中，借助卫星图像，对两个遗址周边的调查区域内的所有山地现代牧场进行了钻探。钻探调查了 23 个高海拔山地牧场中，在山南发现了 2 个史前遗址，在日土县发现了 1 个史前遗址。这些古代的牧场都很相似，遗址中都存在古老的石构建筑，这些建筑经常是地表可见的。这些遗址最早期的占据年代集中在公元前第一千纪，和附近的早期农牧业聚落具有共时性，且均有被多次利用的现象。对牧场遗址的小规模试掘和测年表明，山南的两个牧场遗址至少在公元前第一千纪、吐蕃前后和近现代都被反复利用。阿里地区的牧场遗址也至少存在近现代 / 公元前第一千纪这两个使用时期。

虽然本项调查区域不大，但是其方法具有收效可控、针对性强、省工等特点。这一实验性的调查说明，在西藏的极高海拔的山地地带的史前考古遗存可能较多，而且找到它们的田野作业成本是可以接受的。这为探索西藏史前牧业考古遗存提供了一个可行的思路，也为将来的进一步民族志考古等研究奠定了田野考古基础。今后如对此类遗址进行正式发掘或更大规模的调查，就能够获取更多考古信息。



山南牧业调查区域内的现代牧场和对现代牧场的钻探



乃东县热木纳村发现的巴冬遗址（海拔约4500米）

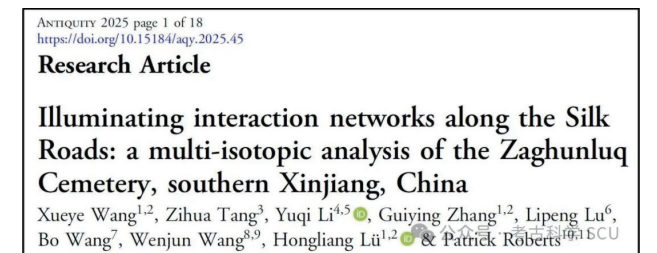
10、人骨同位素研究为重构丝绸之路绿洲人群互动网络提供新的证据 (Illuminating interaction networks along the Silk Roads: a multi-isotopic analysis of the Zaghunluq Cemetery, southern Xinjiang, China)

四川大学考古科学中心联合多家科研单位在国际考古学期刊 Antiquity 上发表了题为 “Illuminating interaction networks along the Silk Roads: a multi-isotopic analysis of the Zaghunluq Cemetery, southern Xinjiang, China” 的最新研究成果。论文第一作者为考古科学中心王学辉特聘副研究员，通讯作者为中国科学院地质与地球物理研究所唐自华副研究员和南开大学历史学院李宇奇副教授。合作作者包括新疆文物考古研究所鲁礼鹏研究馆员、新疆博物馆王博研究馆员、四川大学考古科学中心张桂英和吕红亮教授、中科院古脊椎动物与古人类研究所王文君、德国马普地球人类学研究所 Patrick Roberts 研究员。

近年来的考古学研究表明，早在丝绸之路于公元前 2 世纪正式开通之前，亚洲内陆就已是各类驯化动植物、器物、技术与观念在欧亚大陆传播的重要通道。然而，当地广袤的沙漠和高峻的山脉构成了天然的交流障碍。这使得学者们不禁追问：亚洲内陆早期人群是如何克服地理阻隔，建立起广泛联系的？

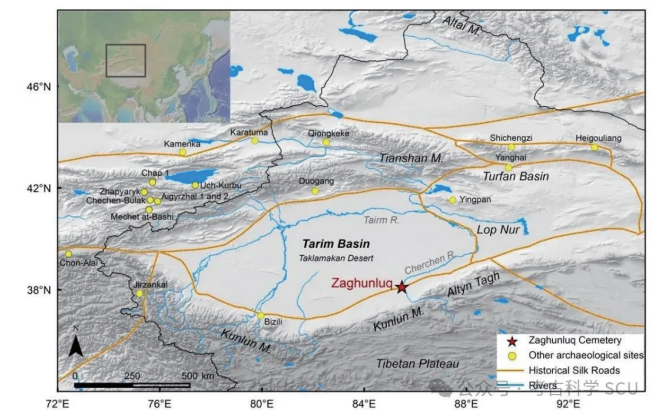
为了回答这一问题，当前学界尤为关注两种交流机制：草原牧民的远距离迁移，以及山地牧民因季节性垂直迁徙而在内亚山地走廊（Inner Asian Mountain Corridor）沿线形成的网络化互动。这两种机制在相当程度上成功解释了亚洲内陆早期游牧人群的交流方式，却难以阐明日后成为丝路支柱的绿洲人群之间的互动过程。

本研究选取亚洲内陆东部典型的丝路绿洲—新疆且末绿洲边缘的扎滚鲁克墓地为案例，深入探讨早期绿洲人群的互动机制。该墓地已发掘墓葬百余座，年代介于公元前 6 世纪至公元 1 世纪之间，分布于现已沦为荒漠的古绿洲之上。典型的绿洲环境，保存良好的人骨和随葬品，为研究绿洲人群



的移动性和互动网络提供了理想材料。

本研究通过扎滚鲁克一号和二号墓地 33 位个体的锶、氧、碳和氮稳定同位素分析，重建了该地区古代绿洲人群的迁移行为，以及与此有密切关系的饮食结构。



扎滚鲁克墓地位置及古代丝绸之路线路示意图

科研成果

RESEARCH PROGRESS

碳氮同位素、动植物考古和随葬品等多重证据表明，扎滚鲁克居民以定居农业（主要为C₃植物）为主，同时兼营放牧、狩猎和捕鱼等多元生计活动。锶、氧同位素分析进一步揭示，76%的个体（25个）活动范围主要局限于墓地周边10公里；仅有12%的个体（4个）可能生活在周边20-50公里范围内，或存在往返于绿洲和山地的季节性垂直迁徙行为；还有12%的个体（4个）则表现出明显的长距离迁徙特征。结合本研究构建的锶-氧同位素空间分布格局，可明确识别出其中一位成年女性（M65J）大概率来自约300公里外的罗布泊地区，其骨骼氮同位素特征也与考古发现的当地人群相吻合；另一位成年男性（M24C）的同位素值则与东天山和中亚西部地区一致，亦表明其曾经历过远距离迁徙。

分析结果表明，扎滚鲁克人群的生活方式以定居农业为基础，但其日常活动范围较典型的定居农业人群更广，重视对绿洲及周边荒漠、山地资源的利用。这种生计方式有利于通过频繁互动建立“强关系”，即与周边绿洲人群和山地牧民之间稳定而紧密的联系。而个别明显进行过远距离迁移的个体（如M65J和M24C），则很可能在更广泛区域中建立起“弱关系”——在复杂

网络中，看似稀疏，但极为关键的联结。这种强弱关系并存的网络结构，符合复杂网络理论中“小世界效应”的产生条件，可以在总体定居的基础上，通过少数跨区域个体，有效促进物质与文化的远程传播。这一现象相关随葬品中亦有所体现。两个涉及远距离迁徙行为的个体所处的B组墓葬中，随葬品种类更为丰富，包含丝绸、漆器、箜篌及带有草原动物风格的饰品等外来文化元素，可能正是弱关系推动跨地域文化交流的直接反映。

本研究通过多种同位素分析，揭示了亚洲中部典型绿洲人群如何在复杂地理环境中，通过本地“强关系”和少数个体建立的“弱关系”，积极参与区域互动网络的构建与运行。这一结论与此前学者们关注的草原牧民远距离迁徙和内亚山地走廊互动两种机制形成互补，极大地丰富了我们对于亚洲内陆早期人群交流方式的认识，也为我们理解丝绸之路的形成基础和维系机制提供了新的证据。

本研究得到国家自然科学基金项目（42072210、42402192）、中国科学院地质与地球物理研究所自主部署项目（IGGCAS-201905）、中央高校基本科研业务费资助项目（YJ202366、63243010）等的支持。



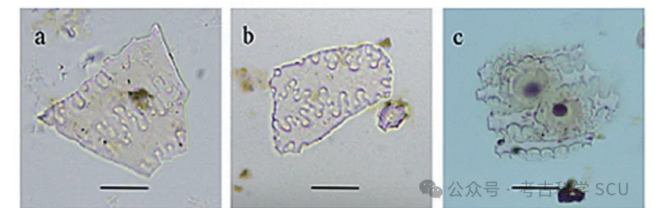
(a) 漆木筒 (M24:12); (b) 双耳罐; (c) 单耳罐; (d) 箜篌 (M14:20); (e) 带动物纹饰的木梳 (M14:33); (f) 套头裙 (M55:17)

11、青藏高原腹地曲贡遗址植硅体分析最新成果 (Local cultivation of millets-based agriculture on the Tibetan plateau around 3400 BP: Phytolith evidence from the Qugong site)

考古科学中心与西藏自治区文物保护研究所合作在国际考古学期刊 *Journal of Archaeological Science: Reports* 发表了曲贡遗址植硅体分析最新成果，探究了距今3400年前后青藏高原腹地粟和黍本地种植的可能性。考古文博学院硕士研究生憨昱彤和考古科学中心徐海伦博士为论文共同第一作者，考古科学中心马永超助理研究员和吕红亮教授为论文共同通讯作者，共同作者包括考古学科中心陈心舟助理研究员、宋吉香副教授、西藏自治区文物保护研究所合作李林辉研究员。



不晚于距今4800年，粟和黍已传播至青藏高原东部和中部，促进了古人类对高原的开发。然而，关于其是否能够在高寒环境中种植，不同学者基于自己的分析提出了相悖的观点。因植物种子便于携带，故以往关注于此类遗存的植物考古研究难以对上述问题和争议给出有效的回应。基于此，考古科学中心西藏考古团队对曲贡遗址2020年度发掘获得的土样开展了系统的植硅体分析。



曲贡遗址出土的农作物植硅体
a. 粟; b. 黍; c. 大麦

团队成员不仅对曲贡文化的地层堆积开展了分析，而且重点关注了该时期的灰坑。此次分析共发现了三种农作物——粟、黍、大麦的植硅体，且它们主要出土于灰坑中。上述发现基本排除了地层带来污染的可能，且进一步说明这些农作物植硅体应来自于加工的副产品。相较于植物种子，产生大量植硅体的植株更难以被远距离运输，因此粟和黍植硅体的发现为其本地种植提供了有力的证据。与上述灰坑同时期的石刀、石镰等收割工具的发现，以及旱作农业伴生杂草的出土均可为此观点提供辅证。另一方面，已有青藏高原南部的古气候重建显示，距今3600-2300年间，气候较温暖，降水量高于平均值，这为粟和黍在该地区的种植提供了适宜的自然环境条件。这也与此次发现的植硅体组合展现的环境特征一致。

曲贡遗址西藏腹地的著名考古遗址。该遗址在跨喜马拉雅农作物交流中占据着关键地位。我们近期的工作不仅修正该遗址的年代框架，而且首次系统的植硅体分析为其农业实践提供了新的科学证据。

科研成果

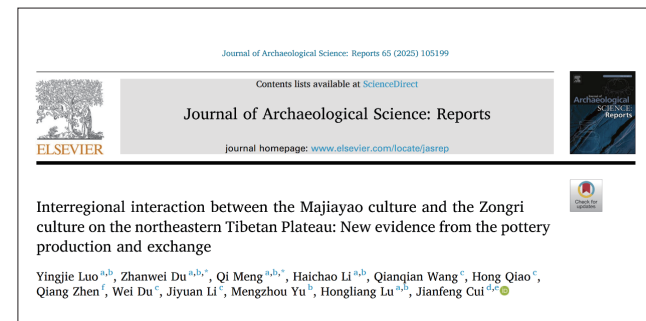
RESEARCH PROGRESS

12、青藏高原马家窑文化与宗日文化陶器生产与交换研究（Interregional interaction between the Majiayao culture and the Zongri culture on the northeastern Tibetan Plateau: New evidence from the pottery production and exchange）

四川大学考古科学中心与青海省文物考古研究院联合在国际考古学期刊 *Journal of Archaeological Science: Reports* 发表题为 *Interregional interaction between the Majiayao culture and the Zongri culture on the northeastern Tibetan Plateau: New evidence from the pottery production and exchange*（青藏高原东北缘马家窑文化与宗日文化的跨区域互动：陶器生产与交换的新证据）的论文。第一作者为考古科学中心博士研究生罗英杰，通讯作者为考古科学中心杜战伟副教授与孟琦助理研究员，共同作者包括青海省文物考古研究院王倩倩研究馆员、乔虹研究馆员、杜玮副研究馆员、李冀源副研究馆员、嘉兴市文物保护与考古研究所甄强馆员、考古科学中心黎海超教授、于孟洲教授、吕红亮教授、北京大学考古文博学院崔剑锋教授。

青藏高原东北缘是黄土高原与青藏高原的过渡地带，生态环境多样，一直是探索史前文化发展多样性的重要区域。在新石器时代晚期，马家窑文化主要分布于区域内海拔较低的河湟谷地，宗日文化则分布在海拔更高的共和盆地，其互动模式长期备受关注。有观点认为宗日文化的产生是由东部低地的马家窑农业人群西进与共和盆地原有的狩猎采集人群接触后产生的。在这一过程中，农业以及制陶技术的输入被认为是马家窑人群对宗日人群的重要影响之一。马家窑文化的西进催生了宗日文化中独具特色的宗日式陶器。囿于马家窑文化分布区内宗日文化遗存的缺失，仅从上述证据来看，宗日文化似乎是单方面受马家窑文化的影响。

近年来，研究团队在位于河湟谷地的喇家遗址进行了系统的田野发掘工作，在马家窑文化晚期的灰坑中发现宗日风格陶器与马家窑风格陶器共存。这是在马家窑文化核心区首次发现有明确出土背景的宗日文化遗存。这些宗日风格陶器是否为来自宗日文化区（共和盆地）的舶来品，抑或是风格上模仿的本地产品？



喇家遗址和东果滩遗址出土陶器（上为喇家，下为东果滩；a-e、o为马家窑风格陶器，f-n、p为宗日风格陶器）

基于此，研究团队以河湟谷地喇家遗址和共和盆地东果滩遗址出土的陶器为样本，综合运用 X 射线荧光光谱（XRF）和岩相分析方法，从陶胎化学成分与显微结构角度探究陶器原料选择与制作工艺。通过对 128 件陶片的系统检测，结合

主成分分析（PCA）与陶器岩相分组，揭示了两种文化陶器的原料差异及交换模式，首次通过科技考古手段证实了马家窑与宗日文化的双向互动。

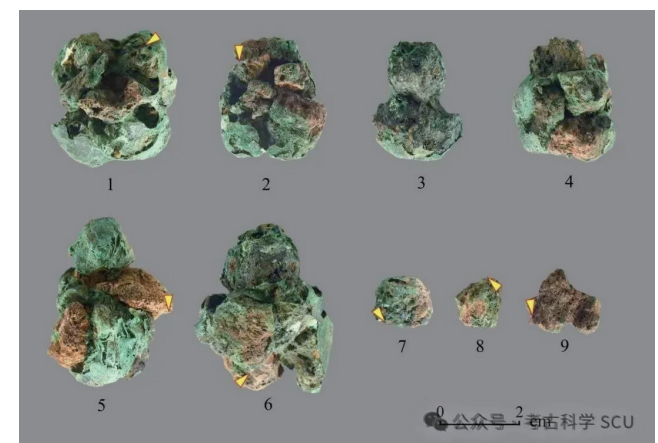
研究表明，喇家遗址出土的宗日风格陶器在化学成分和岩相特征上与共和盆地东果滩遗址的宗日陶器高度一致。二者均使用高铝低钙的黏土制作，且陶胎内均夹杂较多棱角状花岗岩碎屑。而遗址主体的马家窑风格陶器则均使用高钙黏土制作，陶胎内多包含磨圆度相对较高的变质岩碎屑和花岗闪长岩、石英闪长岩碎屑。上述结果表明喇家遗址的宗日风格陶器可能直接来自宗日文化核心区。东果滩遗址的马家窑风格泥质

彩陶与喇家遗址同类陶器成分一致，不排除为输入品。另外东果滩遗址内发现少量包含本地岩屑类型的马家窑风格夹砂陶器，表明共和盆地内应当存在马家窑风格陶器的本地生产。

上述陶器交换的证据显示，马家窑与宗日群体之间存在双向互动，打破了以往“单向传播”的认知，表明青藏高原东北缘在新石器时代晚期已形成复杂的跨区域互动网络。论文提出，喇家遗址与共和盆地的互动可能通过人口流动实现，例如小规模群体迁徙或技术交流。此项成果不仅深化了对青藏高原史前文化格局的认识，也为高原社会新石器时代跨区域互动网络提供了新的证据。

13、湘西地区战国时期青铜熔炼遗存研（Investigating Bronze Casting Production in Chu' s Western Borderlands during the late Warring States Period (c.306–221 BC): A case study of metallurgical materials excavated from tomb M19 of the Wangbao cemetery in Hunan, China）

四川大学考古科学中心、四川大学考古文博学院、湖南省文物考古研究院及成都市文物考古研究院在国际权威科技考古研究期刊 *Archaeological and Anthropological Sciences* 发表了以“Investigating Bronze Casting Production in Chu' s Western Borderlands during the late Warring States Period (c.306–221 BC): A case study of metallurgical materials excavated from tomb M19 of the Wangbao cemetery in Hunan, China”为题的最新研究成果。



王堡M19出土冶金遗物及取样位置

王堡墓群位于湖南省保靖县城东北部，面积约 165000 平方米，是附属于四方城遗址的一处战国晚期至西汉时期居民墓葬群。2019 年，湖南省文物考古研究院在对该墓地的清理中发现了一座疑似从事青铜生产活动的“土”一级的低级贵族墓葬（M19），并出土一批由丝织品包裹的青铜冶金遗物，填补了湘西地区先秦时期青铜冶金遗存的缺失。

本文基于冶金考古的研究路径，对王堡 M19 出土冶金遗物所反映的技术内涵及原料特征进行讨论。根据金相观察和成分分析结果，该批冶金遗物可分为熔炼渣和废弃铜块两类，并且基体中均存在较多菱形、骨骼状及针状的 SnO₂ 晶体，反映了二者在冶金生产中经历了较强的氧化气氛，并且渣体

科研成果

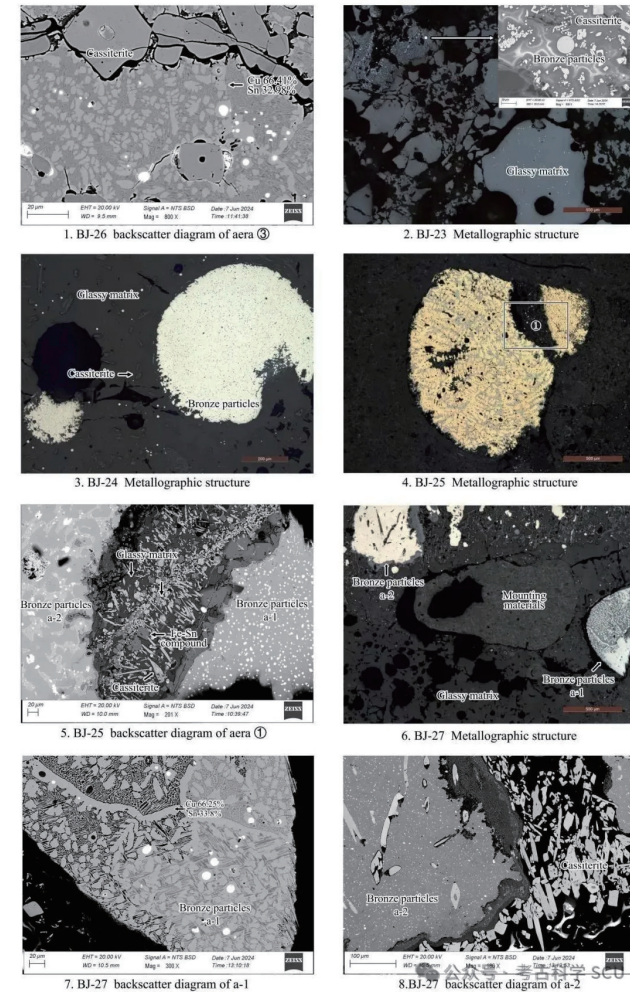
RESEARCH PROGRESS

中的异常高锡合金颗粒亦表明新的锡料应参与了冶金过程。综合推断王堡 M19 出土的冶金遗物为青铜熔炼环节产生的废弃物。

从铅同位素比值来看，样品 BJ-22、BJ-26、BJ-23、BJ-24、BJ-25 和 BJ-27 反映了铅锡青铜的合金特征，其铅同位素比值与豫西、湘西地区的铅矿数据相近；样品 BJ-21 反映了锡青铜的合金特征，其铅同位素比值则指征了铜料的来源与赣鄂沿江地区的铜矿数据密切相关。除此之外，结合地理位置及出土文献材料，本研究认为王堡 M19 使用的锡料应来自这一时期楚国控制的南岭矿区，并对两地之间的锡料流通路线进行复原。

战国时期的楚国业已开启了自身铁器化进程，但作为该时期最为重要的社会手工业部门之一，青铜冶铸生产行为仍然受到楚国官方的严格监管。从现有考古材料来看，战国中晚期的湘西地区已形成从矿石开采、合金熔炼及器物浇铸等一套相对完整的青铜生产流程，产品应为工具或兵器等实用性器物，主要用于满足楚国对其西陲边境开发与控制的实际需求。总的来看，通过王堡墓地 M19 出土冶金遗物的分析，对了解战国中晚期湘西地区青铜生产技术及原料流通网络具有重要意义，并为进一步探讨战国时期楚国铸铜活动的区域性特征提供了个案的参考。

本文第一作者为四川大学考古文博学院博士研究生肖航，四川大学考古文博学院、考古科学中心李玉牛副教授为本文通讯作者。湖南省文物考古研究院袁伟副研究员、四川大学考古文博学院李映福教授，以及成都市文物考古研究院童蕾旭副研究员为本文共同作者。湖南省文物考古研究院莫林恒研究员为本项研究提供了重要帮助。本研究得到国家自然科学基金（T2350410495）、四川大学（SKSYL2023-05、2035xd-02）等资助。



样品微观结构及分析位置图

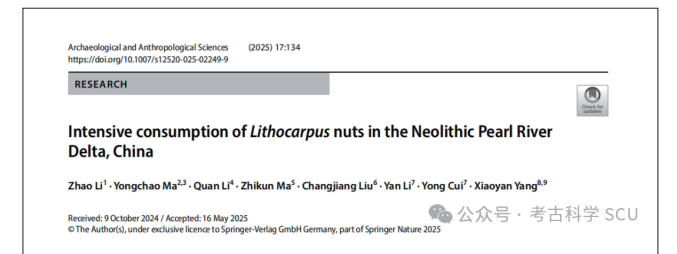
14、南中国亚热带地区橡子的选择性强化利用（Intensive consumption of Lithocarpus nuts in the Neolithic Pearl River Delta, China）

四川大学考古科学中心与暨南大学、广东省文物考古研究院等单位合作在国际知名人类学与考古学期刊 Archaeological and Anthropological Sciences 发表广东省佛山市古椰遗址出土柯属（*Lithocarpus*）植物强化利用的最新成果，揭示了史前不同地域先民利用橡子种类的差异。考古科学中心马永超助理研究员为论文唯一通讯作者，暨南大学李昭讲师为论文第一作者，广东省文物考古研究院李岩研究员、兰州大学杨晓燕教授等为论文共同作者。

壳斗科（Fagaceae）坚果是全球狩猎-采集群体生存依赖的重要植物性食物资源。此类坚果包含众多属，但是在以往研究中多统称为“橡子”，未对其进行进一步的深入分析。另一方面，某些地区的细致植物分类学研究显示，不同地区狩猎-采集先民选择的橡子存在着明显差异，如锥属（*Castanopsis*）受到东南亚人群的青睐，而东北亚温带地区先民更偏好栎属（*Quercus*）或板栗（*Castanea mollissima*）等。那么，在被壳斗科森林覆盖的全新世中国亚热带地区，狩猎-采集群体的坚果类选择是怎么样的呢？

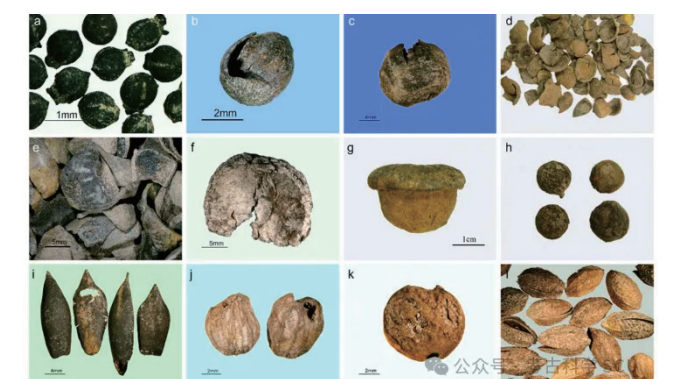


古椰遗址位置图



为回答此问题，考古科学中心等对古椰遗址开展了系统的植物考古学研究。该遗址共分为四个发掘区，此次分析的植物大遗存主要来自现代稻田区。因地下水位较高，稻田区第 5、6、7 层内保存了大量的植物种子、果实及其碎片。通过贝叶斯模型对这些植物遗存的 AMS ¹⁴C 测年数据进行处理后显示，它们的年代集中于 6000-5300 cal. BP。

系统的植物分类学与量化表明，除大量的克拉莎（*Cladium jamaicense subsp. Chinense*）、橄榄（*Canarium album*）等完整的果实、种子外，还发现了难以计数的以柯属（*Lithocarpus*）为主的壳斗科碎片。此发现为全新世南中国亚热带地区古人类食谱的多样性及其形成提供了一些新认识，主要体现在以三个方面。



古椰遗址出土植物种子、果实举例（c-f为柯属碎片，g-h为柯属完整个体）

科研成果

RESEARCH PROGRESS

第一，以往的研究认为华南史前狩猎-采集人群的植物食物多依赖芋头等块根块茎类、棕榈等。古椰遗址的上述分析表明，柯属果实也是其获取淀粉食物的主要来源之一。柯属多以碎片形式出土（应为食用时破坏其外壳所致），而非完整个体，也证实了这一点。

第二，古椰遗址先民对橡子的选择体现了浓厚的地域特色。如上述，其不同于东南亚、东北亚先民，也与同时期及略早的长江流域先民钟爱栎属（*Quercus*）、青冈属（*Cyclobalanopsis*）等形成鲜明对比。另一方面，以孢粉等为主要指标的古植被重建显示，柯属、栎属等均为自然植被中的优势种。相较于后者，柯属的诸多特性可能使其成为古

椰遗址先民的最优选择，如成熟季集中掉落便于采集，淀粉含量较高且丹宁酸含量较低。

第三，古椰遗址先民对柯属生态特性已有很好的掌握，并可能建立了适应性的食谱。首先，柯属完整个体中未成熟者的统计表明，随着时间的推移，其占比逐渐降低。其次，对华南地区各类柯属成熟季节的分析显示，它们基本可以覆盖全年。换言之，古椰先民可以在一年内获得连续的淀粉食物。由此形成的稳定森林植物性食谱可能延缓了其接受谷物农业的步伐。

总之，本研究不仅揭示了我国亚热带狩猎-采集人群对橡子选择及其对森林环境适应的地区多样性，而且为谷物农业扩散至其非起源中心的速率差异探讨提供了宝贵的案例。

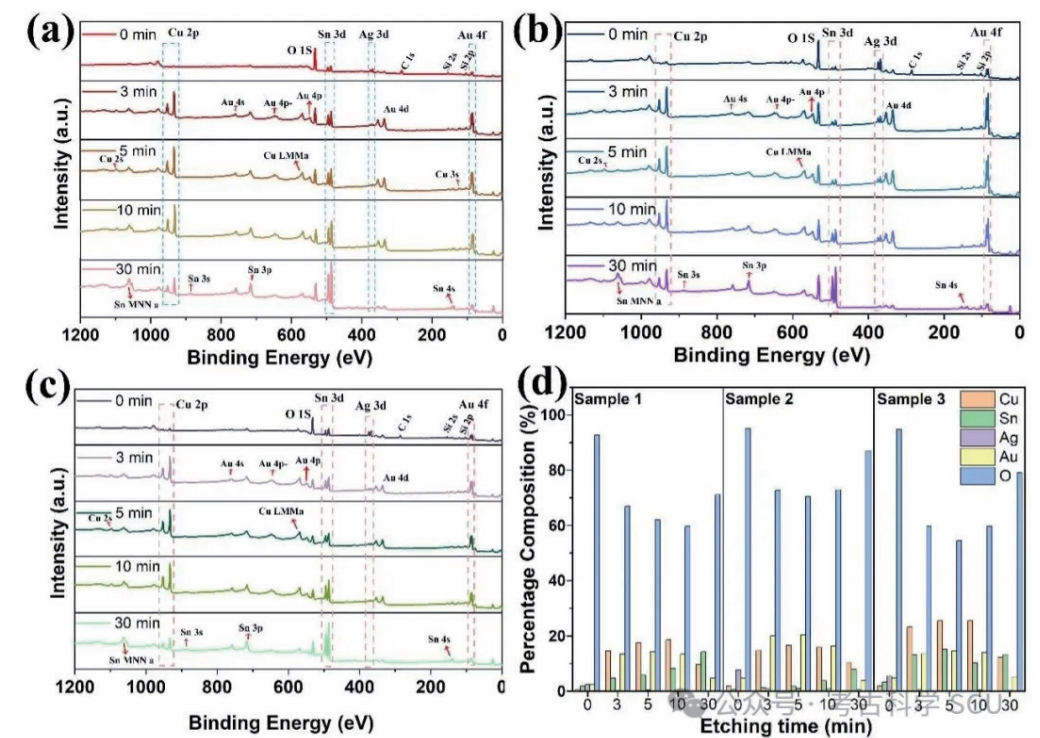
15、东汉时期自然锈蚀鎏金铜器金层 IBE-XPS 分析 (IBE-XPS investigation of the gilded layer from the Eastern Han Dynasty naturally corroded gilt-bronze)

西藏民族大学、四川大学考古科学中心、四川省文物考古研究院、西藏自治区文物保护研究所联合在国际学术期刊 npj Heritage Science 上发表题为“IBE-XPS investigation of the gilded layer from the Eastern Han Dynasty naturally corroded gilt-bronze”的研究成果。

三件鎏金铜器来自于四川省眉山市彭山区大坟包墓地。腐蚀严重，器物中无铜基体存在。本研究中分析的三个样品取样于鎏金铜器的尾部，可以清楚地观察到鎏金层的部位。

的部位。

结果表明，这些器物使用了火法鎏金工艺，鎏金层主要元素包含金、银、铜和锡，且氧化严重。



样品XPS谱图与不同刻蚀时间下金层中铜、锡、银、金、氧的百分含量柱状图

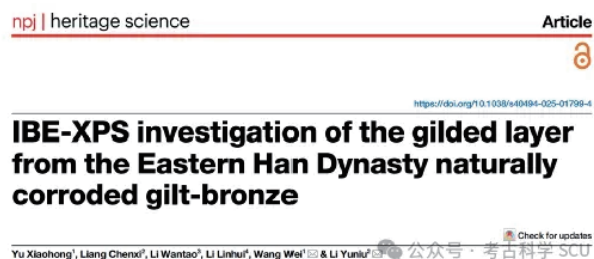
XPS 全谱中观察到金层表面具有较高的氧（O1s），结合 XPS 与 EDS 结果，对 Au4f、Ag3d、Cu2p 和 Sn3d 进行高分辨 X 射线光电子能谱（HR-XPS）检测。

HR-XPS 结果表明，金在镀层中主要以零价形式存在且较为稳定，样品 2 的 Au4f 图谱表明，刻蚀 30 分钟时已接近金层与青铜基体交界面。考虑到电偶联反应，银的迁移机制推测如下：银以一价的形式均匀地从界面迁移至金层表面，并在表面发生聚集和氧化，导致其结合能略微升高。检测到的铜元素和锡元素推测来自于下层青铜基体。其中，铜在金层中以二价和一价两种形式存在，分别分布在金层表面与金

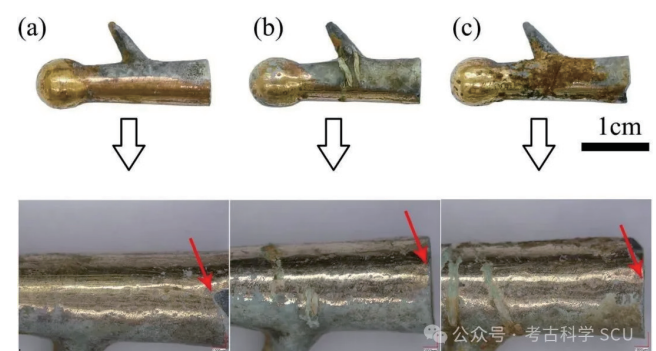
层内部；而锡的含量表至内呈上升趋势，表明来源于下层铜基体，并主要以四价形式存在，部分存在于金层内部的二价锡也被检测到。此外，由于二价铜和四价锡相对容易流失至土壤中，金层表面的铜与锡元素含量较低也可能与长时间埋藏有关。

本研究首次应用 IBE-XPS 对中国古代鎏金铜器金层的表面与内部进行了分析并据此推断金层中主要离子的迁移过程，也是该方法首次应用于汉代出土鎏金铜器的表面研究，为研究古代鎏金铜器金层表面与内部变化提供了新数据信息。

西藏民族大学余小洪副教授与四川大学考古文博学院博



研究通过离子刻蚀 X 射线光电子能谱（IBE-XPS）和扫描电子显微镜（SEM）对东汉时期三件自然锈蚀鎏金铜器表面金层进行了分析。



东汉时期三件自然锈蚀鎏金铜器

科研成果

RESEARCH PROGRESS

士研究生梁晨曦为本文共同第一作者，西藏民族大学王蔚与四川大学考古科学中心、考古文博学院李玉牛副教授为本文共同通讯作者。四川省文物考古研究院李万涛副研究员，西藏自治区文物保护研究所李林辉研究员为本文共同作者。四川大学分析测试中心闫曙光高级实验师与四川大学考古科学

中心张桂英实验师为本研究分析结果提供了重要帮助。

本研究得到西藏自治区科技重大专项藏文化传承保护 - 文化遗产保护修复（XZ202201ZD0002G）、国家自然科学基金（T2350410495）、四川大学（SKSYL2023-05、2035xd-02）等资助。

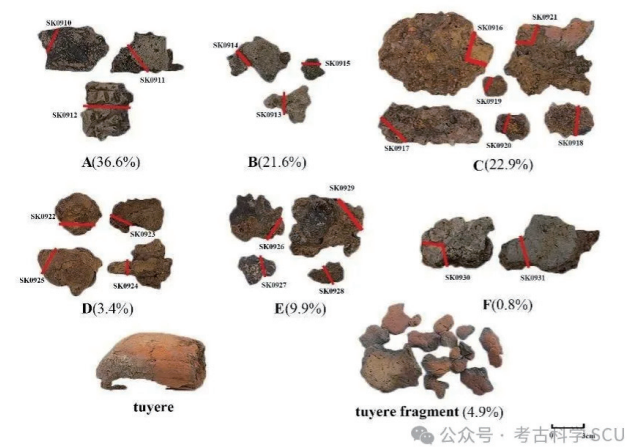
16、川东城坝遗址冶铁技术考古研究（Archaeological and Anthropological Sciences 发表了以 “Iron Smelting Techniques in Eastern Sichuan Province, China —— Scientific Analysis of Smelting Remains Excavated from the Chengba site）

四川大学考古科学中心、考古文博学院，联合四川省文物考古研究院在国际权威科技考古研究期刊 Archaeological and Anthropological Sciences 发表了以 “Iron Smelting Techniques in Eastern Sichuan Province, China —— Scientific Analysis of Smelting Remains Excavated from the Chengba site” 为题的最新研究成果。四川大学考古文博学院博士研究生孙天强为本文第一作者，四川大学考古科学中心、考古文博学院李玉牛副教授为本文通讯作者。四川省文物考古研究院陈卫东研究员、四川大学考古文博学院李映福教授、博士研究生刘芳、四川大学考古科学中心张桂英实验师为本文共同作者。

城坝遗址位于四川省达州市渠县土溪镇。该遗址是目前川东地区历史最早、历时最长、规模最大的古城遗址。遗址内含城址区、墓葬区、窑址区、津关区和一般聚落区等，同时出土了诸多罕见且重要的遗物，如战国时期巴文化风格的青铜器、汉晋时期的“宕渠”瓦当、竹木简牍、铁器等。据研究，城坝遗址内的城址很可能为汉晋时期“宕渠县”治所所在地。《华阳国志》中记载：“宕渠县东汉时有铁官”。《后汉书》中记载：“宕渠县产铁”。2021 年至今，遗址内多处区域出土有冶炼遗存，特别是城址区西侧的一般聚落区，发现了大量冶炼废弃物堆积，主要分布于两条狭长的灰沟内。清理出的冶炼废弃物包括炼渣、鼓风管残块、炭屑、铁器和锻片等。出土器物类型学特征结合碳 14 测定结果表明，遗址内冶炼活动的存续时间为东汉中期。经统计，出土的不同形态炼渣达 20000 余件，炉衬和鼓风管残块 1200 余件。

根据城坝遗址出土冶炼遗物的宏观形态、微观金相组织、以及化学成分分析等研究结果表明，遗址内出土的冶炼遗物可能产生于块炼铁冶炼过程及其产品的锻造过程。冶炼遗物可分为高硅型耐火材料、高硅高铁型块炼铁渣和高铁型渣铁

混合物。城坝遗址内进行块炼铁生产活动产生的废弃物主要是耐火材料，占比超 50%；其次是渣铁混合物和排出渣；积铁块和挂渣数量较少。遗址内出土的冶炼废弃物主要集中于两条灰沟中，而灰沟内未发现矿石和炉壁残块等，说明冶炼过程中产生的废弃耐火材料、炼渣等垃圾或有专门的堆放地，以实现工作环境与废弃物堆积的分离。



城坝遗址出土典型冶炼遗物

历年考古发掘成果表明，城坝遗址内在战国晚期至西汉早期开始出现铁器，遗址在该时段已属于秦汉王朝的统治范围。中原文化等多种文化因素在巴蜀地区的交融互动使得该地区使用铁器的种类和数量激增。城坝遗址最早出现的铁器很可能是外来文化交流融合的产物。西汉中晚期，遗址内铁

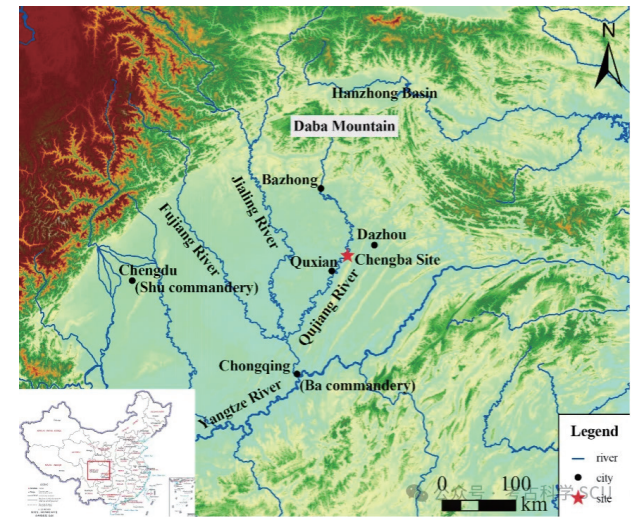
器的使用仍然有限，直至东汉时期变得较为普及。城坝遗址出土的汉代铁器基本为生铁制品，但遗址未见生铁冶炼遗存。遗址出土的这些生铁及钢制品可能来源于其他地区。城坝遗址所处的川东地区向北可通汉中盆地，区域内嘉陵江水系也可提供便利的水系交通，优越的地理位置十分有利于川东地区与周边地区的资源互换。城坝遗址内冶铁遗存的发现印证了古文献中的记载，城坝遗址所出现的块炼铁冶炼活动可能是“宕渠铁官”管辖下的铁工业生产活动。

秦汉时期，随着秦汉中央集权多民族统一国家的形成和发展，中国古代铁器和铁工业全面发展，中国古代社会全面进入到铁器时代。中原地区率先完成了铁器化，河南、陕西和山东等地发现了多处汉代大型铁工厂遗址。中原地区全面发展的钢铁技术也带动了边远地区的铁器化进程。西南地区近年来发现了多处汉代冶铁遗址，特别是成都平原的汉代生铁冶炼遗址群。城坝遗址的冶炼技术展现出了与同时期中原地区和成都平原地区不同的技术体系面貌，说明至少在东汉时期，一些地区仍保留了以块炼铁生产为主的技术传统。本研究弥补了川东地区汉代冶铁技术发展研究的空白，同时阐释了川东地区汉代冶铁技术不同于周边区域的影响因素。

四川省文物考古研究院张兵圆为本文的考古学研究提供了重要帮助。成都市文物考古研究院童蕾旭副研究员为本项研究的实验分析提供了重要帮助。本研究得到国家自然科学基金(T2350410495)、科技基础资源调查专项(2022FY101505)、四川大学（SKSYL2023-05、2035xd-02）等资助。

17、罗家坝遗址出土铁器和冶炼遗物的科技分析与考古学研究（The Use and Production Technologies of Iron of the Han Dynasty in Eastern Sichuan Province, China）

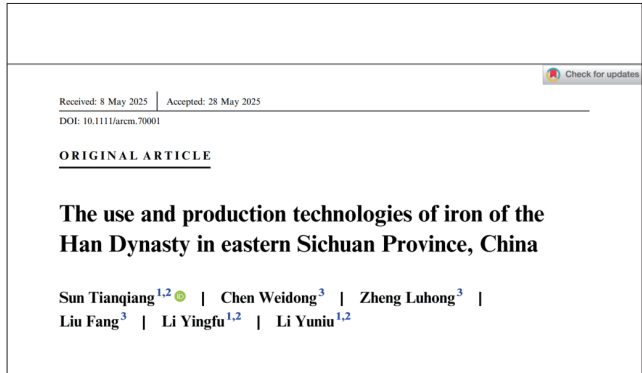
四川大学考古文博学院、考古科学中心联合四川省文物考古研究院在国际权威科技考古研究期刊 Archaeometry 发表了以 “The Use and Production Technologies of Iron of the Han Dynasty in Eastern Sichuan Province, China” 为题的最新研究成果。文章通过罗家坝遗址出土铁器和冶炼遗物的科技分析与考古学研究，首次探讨了川东地区汉代的冶铁技术特征，讨论了川东地区铁器使用的起源与发展，以及战国秦汉时期该地区的铁器化进程。



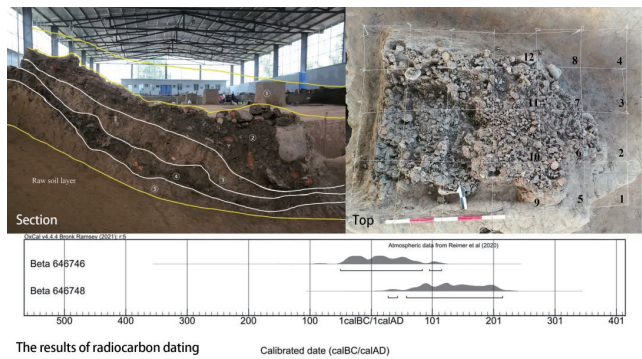
城坝遗址地理位置图

科研成果

RESEARCH
PROGRESS



罗家坝遗址位于四川省达州市宣汉县。20 世纪至今，遗址经历了多次发掘，出土了新石器时代至汉代的大量遗存，遗存主要以战国秦汉时期的墓葬为主，随葬品包括了陶器、青铜器和铁器等。遗址内战国中晚期的少量墓葬开始随葬铁器，但铁器在随葬品中的占比较小。2021 年，一处墓葬区发现了冶炼废弃物堆积坑（H235）。坑内堆积长约 2.4 米，宽约 1.6 米。出土遗物包括炼渣、陶片、鼓风管残块、锻片和炭屑等。地层特征和炼渣内夹杂木炭的碳 14 测年结果显示，遗址内冶炼活动存续的时间为西汉晚期至东汉（约 100 BC-AD 220）。



H235剖面图和俯视图及碳14测年结果

本研究通过对出土炼渣的冶金考古分析，对罗家坝遗址冶炼遗物所反映的技术特征和生产方式进行了讨论。出土冶炼遗物根据其宏观形态、磁性、密度等特征可分为 6 类。结

合 6 类冶炼遗物的金相组织特征、化学成分分析结果等研究内容，本研究认为，罗家坝遗址内出土的炼渣等冶炼遗物很可能是块炼铁冶炼及锻造活动产生的。6 类冶炼遗物可能分别产生于块炼铁冶炼的不同环节或炼炉的不同位置。

根据罗家坝遗址历年的发掘资料来看，遗址内出现铁器的年代最早为战国中期晚段至战国晚期早段。根据该时段遗址内墓葬的特征及器物风格，本研究认为，战国中期晚段至战国晚期早段，罗家坝遗址与楚国和秦国的文化交流互动很可能为铁器的流通提供了媒介，使得罗家坝开始接触到铁器。但是，铁器作为随葬品的使用十分有限，可能反映了此时铁器在生活中的应用也比较有限，铁器并没有因为其稀有性而成为身份或者地位的象征。战国末期至西汉早中期时，在秦统一巴蜀后，随着罗家坝遗址受到汉化进程的深入影响，铁器的使用逐渐普及，器类更加丰富。

通过研究发现，汉代川东地区的冶铁技术体现出特殊性。罗家坝遗址周边的城坝遗址同样发现东汉时期的块炼铁冶炼遗存。而川东地区以北的中原地区、以西的成都平原和以东的长江中游地区所发现的汉代冶铁遗存均为生铁冶炼遗存。对比之下，川东地区的块炼铁技术显得尤为特殊。地处中国西南边陲的广西贵港地区曾发现有汉代块炼铁冶炼遗址群，该地区选择块炼铁制品的原因可能是保持了原有的传统，以及社会对生铁的需求不是很强烈等。本研究认为，川东地区汉代使用较为特殊的块炼铁技术可能有以下几点原因。首先，川东地区可能继承了早期的块炼铁技术传统。其次，作为少数民族聚居区，当地冶铁活动可能根据本地社会发展情况、经济水平、生产生活需求等因素选择了块炼铁技术。第三，由于生铁和块炼铁各自特性的不同，块炼铁本身的性能优势可能是生产一些器类的合适选择。

川东地区两处使用块炼铁技术遗址的发现，反映出汉代中国在生铁技术广泛普及的背景下，各地区冶铁技术仍存在多样性，川东地区根据当地的社会情况和生活需求选择了使用块炼铁技术。

本文第一作者为四川大学考古文博学院博士研究生孙天强，四川大学考古文博学院、考古科学中心李玉牛副研究员

为本文通讯作者。四川省文物考古研究院陈卫东研究员、郑禄红副研究员、四川大学考古文博学院李映福教授、博士研究生刘芳为本文共同作者。四川大学考古科学中心张桂英实验师、成都市文物考古研究院童蕾旭副研究员为本项研究的

18、丝绸之路人群遗传与演化奥秘（Pilot work of the 10K Chinese People Genomic Diversity Project along the Silk Road suggests a complex east-west admixture landscape and biological adaptations）

Science China Life Sciences（《中国科学：生命科学》英文版）在线发表由中国工程院院士刘超教授、四川大学考古科学中心 / 四川大学华西罕见病研究院何光林副研究员、重庆医科大学基础医学院法医学系王萌萌副教授等合作题为“Pilot work of the 10K Chinese People Genomic Diversity Project along the Silk Road suggests a complex east-west admixture landscape and biological adaptations”的研究论文。该研究深入探讨了丝绸之路沿线人群的精细遗传结构、复杂演化历史，以及在古今基因组资源背景下的该区域古今人群之间的遗传联系，揭示了复杂的人群交流与融合历史，并系统地论证了人类群体演化历史事件，特别是迁徙混合历史与生物适应性对人类疾病与健康关联的演化遗传机制。

目前，大规模人群基因组学研究集中于具有欧洲遗传背景的个体，例如英国生物银行（UK100K）、北美地区的TOPMed 和 All of Us 等大规模基因组计划。这不仅限制了我们人类遗传多样性的全面理解，也加剧了精准医疗中的健康不平等。中国作为世界上人口最多的国家之一，其古今人群的遗传历史和演化进程的研究对于全球遗传学和精准医疗至关重要。丝绸之路作为古代欧亚贸易路线的网络，是理解欧亚西部人群和中国内陆人群之间遗传交融和跨文化交流的关键地点。本研究聚焦于丝绸之路沿线的中国人群，旨在揭示这些人群的遗传混合和适应性历史。

为了全面捕捉丝绸之路沿线人群的基因组多样性，研究

实验分析提供了重要帮助。

本研究得到国家自然科学基金（T2350410495）、科技基础资源调查专项（2022FY101505）、四川大学（SKSYL2023-05、2035xd-02）等资助。



者报道了中国万人基因组多样性计划（10K_CPGDP）中“丝绸之路沿线人群遗传演化与疾病健康的遗传学基础”的子课题试点研究成果。项目旨在通过全基因组测序检测丝绸之路沿线人类遗传学研究中代表性不足的人群，整合大规模古今基因组资源，结合计算生物学方法创新，阐明丝绸之路沿线人群的遗传形成过程、生物适应性和医学相关性变异的图谱。研究揭示了丝绸之路沿线中国人群与东亚人群，尤其是中国的蒙古语、通古斯语和藏缅语现代人群以及来自黄河流域、青藏高原、藏彝走廊和西辽河流域古代个体之间的紧密遗传关系。虽然这些丝绸之路沿线人群与上述现代 / 古代东亚人群聚类在一起，但其内部存在精细的遗传亚结构，可以分为两个遗传聚类群：一组包括撒拉族和土族群体，另一组包括东乡族、藏族和裕固族群体。此外，研究发现中国西北汉族和邻近北方汉族与中部 / 西南部汉族和讲蒙古语的蒙古族之间更近的遗传关系，而不是与地理上邻近的西北少数民族人群之间

科研成果

RESEARCH
PROGRESS

有更近遗传关系，这表明丝绸之路沿线民族语言多样化的人群独特的遗传背景和不同人群之间发生了复杂的混合历程。

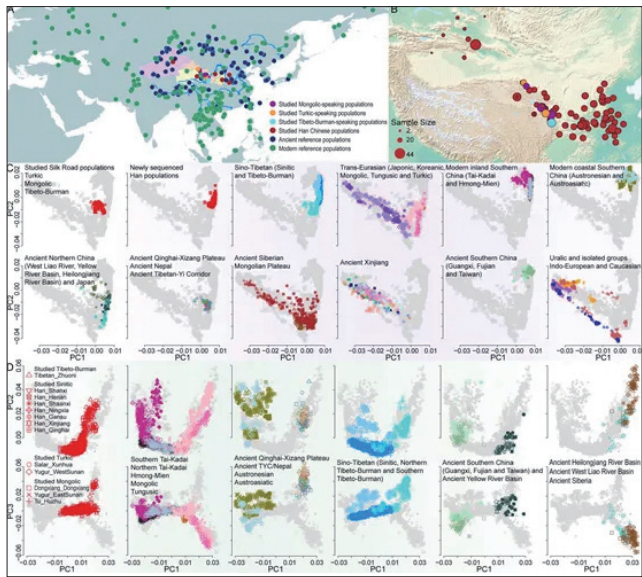
本研究精细的人群混合历史建模揭示四个主要的祖先成分对丝绸之路沿线中国少数民族群体的遗传结构产生了显著贡献，包括高海拔藏族、东亚南部人群、古东北亚人群和西欧亚人群相关祖先成分。qpAdm 建模分析揭示丝绸之路沿线少数民族人群可以模拟为新石器时代晚期的石刃遗址古代人群 (Shimao_LN: 87.2% 到 94.4%) 和安德罗诺沃文化游牧人群 (Andronovo, 5.6% 到 12.8%) 相关祖源的混合，进一步论证了历史时期丝绸之路沿线人群互动模式以文化扩散为主和人群扩散为辅。基于多序列马尔可夫溯祖 (MSMC2) 方法估计人群有效群体大小和复杂分歧时间，其结果揭示研究群体的有效群体大小自解剖结构现代人首次进入东亚以来经历了显著增长，但其在万年内存在显著的差异。研究发现东乡族、藏族和裕固族人群中存在显著的性别差异性混合，即更多的东欧亚女性和西欧亚男性对这些群体的基因池产生了差异性贡献。

在人类群体漫长的历史演化过程中，经历了复杂的自然选择压力。这些压力包括对复杂极端环境的适应、新石器时代农业创新时期饮食习惯的改变，以及原始部落和早期国家形

成时期病原暴露的加剧与适应。本研究基于全基因组测序数据和复杂的生物适应性检测策略，识别了七个基因 (PRIM2、NBPFs 9/20/25P、PDE4DIP、NOTCH2、DDAH1、GALNT2 和 MLIP) 在丝绸之路沿线人群中显示出强烈的自然选择信号。其中，PRIM2 和 PDE4DIP 与心血管疾病的发生密切相关。此外，NOTCH2 基因与血管、肾脏和肝脏的发育相关，在西北藏族和裕固族人群中显示出明显的选择性信号；DDAH1 基因与心血管系统疾病和肺动脉高压相关，在东乡族、西北藏族和裕固族人群中显示出适应性选择信号；GALNT2 基因主要在调节甘油三酯水平和 2 型糖尿病中发挥作用，在西北藏族人群中展现出较高的统计显著性；MLIP 基因与应激反应和心肌肥大的负向调控相关，在撒拉族和土族人群中被确定为显著的选择信号。

人类复杂的演化与混合历史，以及复杂的生物适应性过程，显著影响了人类疾病的发生和发展。人类疾病的遗传调控基础均具有古老或近期的演化基础。如何将演化医学的发现和演化原则应用于精准医学时代，将加速人类对疾病与健康演化机制的理解，同时加速临床精准的健康促进、预防、诊断、治疗 and 康复等全过程。本研究以丝绸之路沿线人群的基因组多样性为研究窗口，探索了该地区人群的精细遗传结构、混合历史和局部适应性特征，并阐明了其对人类疾病与健康的影响。研究发现，丝绸之路沿线人群显示出与语言 / 民族相关的遗传分化。此外，还识别到了与寒冷、干旱等环境适应，以及重油重盐等饮食习惯相关的自然选择信号。

广东省毒品实验技术中心（国家毒品实验室广东分中心）刘超院士、四川大学考古科学中心 / 四川大学华西罕见病研究院何光林副研究员、重庆医科大学基础医学院法医学系王萌鸽副教授为该文章通讯作者，何光林副研究员为第一作者。本研究得到国家自然科学基金（82402203、82202078）、国家社会科学基金重大项目（23&ZD203）、法医遗传学公安部重点实验室开放课题（2022FGKFKT05、2024FGKFKT02）、四川大学考古科学中心（23SASA01）、四川大学华西医院学科卓越发展 1·3·5 工程基金（ZYJC20002）和四川省科技计划项目（2024NSFSC1518）的支持。



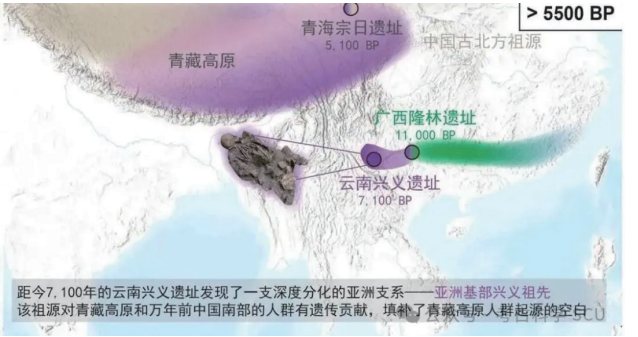
丝绸之路沿线人群及现代和古代欧亚参照人群的地理位置和遗传结构

19、青藏高原“幽灵祖先”与南亚语系族群的遗传起源 (Prehistoric genomes from Yunnan reveal ancestry related to Tibetans and Austroasiatic speakers)

我中心与中国科学院古脊椎动物与古人类研究所付巧妹团队等合作，系统研究了云南省 17 个遗址 127 例距今 7100 年以来的古人类基因组。该研究填补了该区域史前人群遗传数据的空白，首次从遗传学视角精准识别出青藏高原“幽灵祖先”成分，揭示出南亚语系人群遗传起源及云南作为多元人群交流枢纽的关键作用。相关成果以题为“Prehistoric genomes from Yunnan reveal ancestry related to Tibetans and Austroasiatic speakers”于 2025 年 5 月 30 日发表在国际学术期刊《科学》（Science）上，并作为研究亮点推介。



本研究的第一项突破是首次发现青藏高原“幽灵祖先”。青藏高原人群遗传结构一直备受学界关注。根据此前研究成果，距今 5100 年前至今，青藏高原人群遗传成分中约 80% 源自 9500-4000 年前的中国北方人群，其余 20% 来源不明，学界称之为“幽灵祖先”。这一成分来源一直未能确定，倍受学界关注。本研究通过基因捕获、测序，从云南兴义遗址一名距今 7100 年前的个体 (Xingyi_EN) 基因组中识别出一种新的、深度分化的亚洲遗传成分，研究团队判定其为“亚洲基部兴义祖先” (Basal Asian Xingyi Ancestry)。研究表明，这一遗传成分不仅对古代青藏高原人群有遗传贡献，也广泛存在于现代藏族人群基因组中，以 Xingyi_EN 为代表的古老人群正是学界关注但之前尚未精准定位的青藏高原“幽灵祖先”组成成分之一，为东亚人群迁徙、演化过程提供了新证据。



本研究的第二项重要发现是证实了云南可能是南亚语系族群早期分布的核心区域之一。

以佤族、布朗族等主要分布于中国西南、华南以及印度东北部、东南亚（如越南、柬埔寨、老挝等地部分民族）的南亚语系族群起源及扩散问题长期众讼不决，尤其是其起源地、扩散时间、扩散路径等问题争议很大。目前主流假设源于语言学模型，缺乏直接遗传学证据。本研究通过古人基因组捕获、测定、分析，在云南中部距今 5500 至 1400 年古人群中识别出一种新的独特东亚祖源，研究团队将其命名为“云南中部祖先人群” (Central Yunnan Ancestry)，分析表明这一祖源与当今南亚语系人群密切相关，否定了既往认为的南亚语系族群印度或东南亚起源说，提出了重新审视南亚语系族群形成、传播模式等一系列问题。

该研究由中国科学院古脊椎动物与古人类研究所付巧妹团队、四川大学、云南省文物考古研究所、兰州大学等机构历经 9 年合作完成。本文共同第一作者包括中国科学院古脊椎动物与古人类研究所博士研究生王恬怡（我校历史文化学院 2014 级本科生）、美国里士满大学助理教授 Melinda A.Yang、四川大学考古文博学院在读博士生朱忠华、兰州大学马敏敏教授，通讯作者为中国科学院古脊椎动物与古人类研究所付巧妹研究员，四川大学考古科学中心原海兵副教授等也参与了合作研究。

科研成果

RESEARCH PROGRESS

20、炎黄队列父系基因组资源解析东亚人群“弱分化-多祖源混合”演化框架 (YanHuang Paternal Genomic Resource Suggested a Weakly-Differentiated Multi-Source Admixture Model for the Formation of Han's Founding Ancestral Lineages)

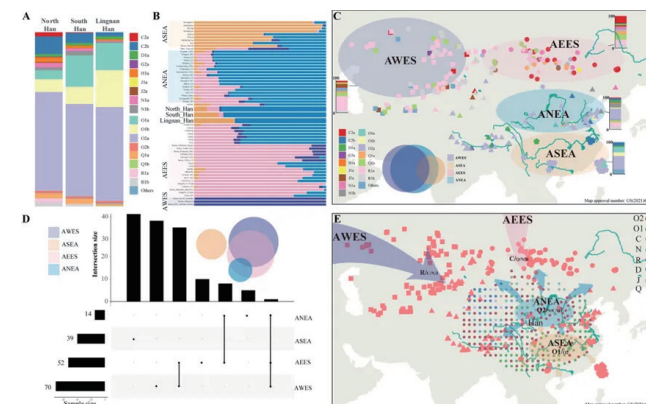
Genomics, Proteomics & Bioinformatics (GPB) 在线发表了广东省实验技术中心（国家毒品实验室广东分中心）刘超院士、昆明医科大学法学院聂胜洁教授、四川大学考古科学中心 / 四川大学华西罕见病研究院何光林副研究员、重庆医科大学基础医学院法医学系王萌副教授等多团队合作完成题为“YanHuang Paternal Genomic Resource Suggested a Weakly-Differentiated Multi-Source Admixture Model for the Formation of Han's Founding Ancestral Lineages”的研究论文。

人类 Y 染色体具有单倍型遗传与非重组的特性，这些特性使其成为解析人类演化历史、助力法医学父系生物地理溯源和复杂家系排查的独特分子遗传标记。受限于东亚古基因组数据的时空覆盖度不足，人类精细演化历史的重建仍面临挑战，而高质量 Y 染色体数据可有效弥补这一缺陷。然而，现有的高质量 Y 染色体基因组资源在全球人群中分布不均，这一现象在东亚人群中尤为突出。汉族作为全球人口数量最多的单一民族，拥有复杂多源融合的演化历史及独特的民族、文化特征，但针对该民族大规模系统性 Y 染色体研究仍显不足，对其父系精细遗传背景、演化驱动力解析及演化模型构建尤为欠缺。

本研究旨在通过构建汉族高覆盖度 Y 染色体靶向捕获测序基因组数据库（炎黄基因组资源），完善中国人群父系演化框架。基于自主研发的高分辨率 SNP 分型体系（YHseqY3000），对来自中国 29 个省份的 5,020 例汉族男性个体进行了 Y 染色体靶向捕获测序。随后，整合主成分分析、系统发育树和群体遗传结构建模等多维度群体遗传学分析方法，系统评估了汉族群体的遗传多样性分布模式、空间遗传结构特征及历史演化动态。同时，精细化解析了古今东亚人群的 Y 染色体支系频率，并结合遗传多样性和分化指数等量

化指标，揭示了汉族人群的父系遗传多样性模式及其形成的演化机制。

本研究基于炎黄基因组资源，构建了包含 1899 种单倍型和 1766 个末端单倍群的精细化谱系数据库。从基因组角度系统地证实了汉族存在北方、南方与岭南三大父系遗传亚群，其地理分界与秦岭-淮河线、南岭山脉等自然屏障呈现显著的空间对应关系。Fisher 精确检验和 Mantel 相关性检验显示，单倍群 O1a、O1b、C2a 以及 C2b 的频率梯度变异是亚群分化的关键遗传基础。通过整合常染色体基因组多样性、东亚人群精细遗传背景与古 DNA 父系特征，并在常染色体和 Y 染色体层面联合建模，本研究提出了汉族人群父系遗传结构形成的“弱分化-多祖源混合”模型：新石器时代晚期，多个遗传分化较弱但具有地域特异性的祖先群体在不同地区发生了差异性的混合，进而塑造了各地汉族人群之间不同的遗传多样性模式。该研究阐明了不同地区汉族与周边人群的遗传互动，揭示了汉族群体历史演化动态，为东亚人群遗传多样性研究提供了关键数据和演化模型，也为人类迁徙与混合历史提供新的见解。



汉族人群父系遗传结构形成的演化模式图

本研究基于全国范围的大规模 Y 染色体捕获测序数据，首次系统解析了地理隔离与人群混合对汉族父系遗传结构形成的协同演化效应，提出了“弱分化-多祖源混合”模型。结果表明汉族起源于若干彼此遗传关联但分化程度较低的奠基者群体。这一遗传模式与黄河、长江流域新石器时代粟作、稻作农业扩散的考古学证据高度吻合，揭示了粟作与稻作两大农业区奠基者群体对现代汉族 Y 染色体库的差异化贡献。谱系地理分析进一步识别出具有人类学指示意义的北亚 / 中亚单倍群，其时空分布与历史文献记载的蒙古高原狩猎采集人群南迁、跨欧亚大陆的文化交流及丝绸之路商贸互动等事件呈现显著相关性。混合模型分析表明，汉族群体间遗传分化指数显著低于地理隔离模型的预期值，强调了持续性基因

21、基因组学和泛基因组学时代高质量单倍型参考面板的现状、挑战与前景 (High-quality Population-specific Haplotype-resolved Reference Panel in the Genomic and Pangenomic Eras)

Genomics, Proteomics & Bioinformatics (GPB) 在线发表了四川大学华西医院罕见病研究院 / 四川大学考古科学中心何光林课题组题为“High-quality Population-specific Haplotype-resolved Reference Panel in the Genomic and Pangenomic Eras”的综述文章。

在基因组学和泛基因组学迅速发展的背景下，大规模国际性和区域性的人类基因组及泛基因组资源的涌现，为解析人类演化历史及复杂性状和疾病的遗传基础提供了重要见解，并衍生出大量单倍型参考面板（Haplotype Reference Panels, HRP）的构建与应用。尽管近年来 HRP 相关研究取得了显著进展，但在定相（Phasing）工具的优化、不同 HRP 的整合、填补（Imputation）方法的开发，以及数据的多维应用与共享方面，仍面临诸多挑战。本综述系统总结了全球及特定群体中已构建的 56 个 HRP，深入探讨了 HRP 在当代人类基因组学研究中的研究进展、应用局限性和未来发展方向，同时提供定相、填补软件及 HRP 选择的策略建议。我们强调，高质量 HRP 的构建对于全面捕获全球代表性人群中的各种遗传变异类型与遗传多样性至关重要，不仅有助于

流在维持遗传同质性中的核心作用。这些发现为中华民族“多元一体”理论提供了分子遗传学证据，阐明汉族在保留区域性遗传特征的同时，通过多向基因交流形成了紧密的遗传网络。本研究构建的遗传学框架，为解析东亚农业扩散、语言演化及跨欧亚文化交流提供了新视角，特别是揭示了史前生计方式转型与历史时期人口迁移在塑造东亚遗传格局中的级联效应。此外，研究为东亚人群的迁徙史建立分子人类学新范式，为法医学溯源、考古学及“多元一体”民族理论奠定遗传学基础。未来研究亟需通过整合大规模 Y 染色体全基因组测序数据、中国人群特异性 T2T-Y 参考基因组及泛基因组资源，并结合高时空分辨率的古 DNA 数据，将有望更精确地重建东亚现代人遗传历史的连续性与动态演化过程。

现代和古代基因组学研究，也进一步促进人类精准医学的发展。

高深度全基因组测序（Whole Genome Sequencing, WGS）作为检测单核苷酸多态性（Single Nucleotide Polymorphisms, SNPs）和短片段插入 / 缺失（Insertions and Deletions, InDels）的金标准，在结构变异（Structural Variations, SVs）的初步筛查中也具有重要应用价值。然而，高昂的成本限制了其在大规模群体研究中的广泛应用。目前，基因组学研究主要依赖于基因芯片或低深度测序等经济型技术，尽管这些方法成本较低，但能够捕获的遗传信息有限。这一局限性在古 DNA 研究中尤为突出，由于样本降解和外源污染导致的数据覆盖度不足，严重影响遗传信息的完整解析。根据溯祖理论（Coalescent Theory），遗传背

科研成果

景相近的个体通常拥有从共同祖先继承的群体特异性单倍型片段。因此，群体特异性 HRP 由具有连锁不平衡 (Linkage Disequilibrium, LD) 特征的 DNA 序列组成，可用于推断和填补未被直接基因型的常见、低频和罕见遗传变异，或在古 DNA 检测中缺失的变异信息。通过基因型填补，更多高质量的变异位点得以被利用，显著增强了全基因组关联研究 (Genome Wide Association Study, GWAS) 的统计效力，并为多基因风险评估、遗传谱系重建和人口统计学历史推断等分析提供了经济有效的解决方案。

现有的填补算法多基于隐马尔可夫模型，依赖群体特异性 LD 模式推断缺失基因型。然而，不同群体因突变率、重组率以及所经历的演化事件（如奠基者效应、基因渐渗、选择清除）的差异，其等位基因频谱与 LD 衰减特征呈现显著

RESEARCH PROGRESS

差异 (图 1A)。此外，HRP 效能受多维因素调控：样本量、填补算法、目标位点频率、测序深度及群体遗传多样性等 (图 1B)。因此，构建一个能够全面涵盖全球人群遗传多样性的高质量整合 HRP，并开发群体异质性的填补框架，已成为该领域的核心挑战。

本文系统综述了大规模基因组计划驱动的 HRP 开发与应用，重点探讨：（1）全球基因组计划驱动下的 HRP 构建策略及其地理 - 祖先代表性偏差；（2）定相和填补算法性能差异和组合使用策略；（3）公开可用的 HRP 的效能评估和高质量 HRP 整合的必要性 (图 1C)；（4）填补数据在人类遗传学、基因组科学、基因组医学和法医学中的突破性应用；（5）端粒到端粒 (Telomere-to-Telomere, T2T) 参考基因组与泛基因组时代下，HRP 应用的挑战和未来方向。

