

科技考古视野下的商文明

陈相龙

商文明的考古工作始于 1928 年。中华人民共和国成立后，随着殷墟、郑州商城、偃师商城、小双桥、洹北商城等商代重要遗址的发现与发掘，有关商文明聚落布局、丧葬习俗、祭祀礼仪、甲骨文字、经济技术等领域均取得一系列重要成果，其中科技考古发挥了不可或缺的作用。殷商文明科技考古工作发轫于 20 世纪 30 年代，彼时李济领衔的殷墟发掘团队十分重视动植物遗存、陶器、冶铸遗物等科技考古样品的收集，邀请德日进、杨钟健、秉志、刘屿霞等开展相关研究。近年来，随着自然科学技术和方法在考古调查、勘探、发掘及整理等研究的全过程中发挥着越来越大的作用，科技考古以考古学问题为指引，逐渐成为考古学研究的重要理念之一。本文拟对近年来商文明科技考古领域的主要进展进行简要总结及评述，以期抛砖引玉，为学界继续开展商文明科技考古提供参考。

一、年代学主要研究进展

年代学研究的目的是为商文明研究构建精确的时间框架，目前最具代表性的成果来自《夏商周断代工程报告》（科学出版社，2022 年）。夏商周断代工程课题组首次通过多学科结合的方法，综合历史学、天文学、考古学与碳十四年代学，对夏商周年代进行系统研究。结题之后，项目组成员又陆续开展了一些补充性的研究工作，最终公布了夏商西周时期碳十四测定的考古年代框架。其中，商王朝始年为公元前 1600 年左右，盘庚迁殷与武王克商分别为公元前 1300 年与公元前 1046 年左右。

郑州商城与偃师商城是早商二里冈文化时期的两个核心聚落，《夏商周

断代工程报告》中视之为“已知时代最早的商前期都邑遗址”（第 305 页）。然而，以往发表的碳十四数据显示，两个都邑的年代均略晚于公元前 1600 年。这一关键时间节点上，二里头遗址更具王都气象。绝对年代大约为公元前 1610—公元前 1520 年之时，即对应二里头文化三期与四期，二里头遗址仍然是中原地区的都邑性聚落（许宏、袁靖主编《二里头考古六十年》，中国社会科学出版社，2019 年）。最近基于关键遗迹生命史的碳十四年代学研究还显示，二里头遗址在公元前 1550 年之前并未发生宫殿建筑的大规模毁弃（陈相龙、赵海涛《二里头遗址聚落演变的考古年代学研究》，《考古》2026 年第 5 期）。也就是说，二里头文化四期早段之前二里头遗址聚落演变的过程是连续的，并未发生剧烈的聚落变迁。这对于理解二里头、郑州商城与偃师商城遗址的性质，乃至夏商更替的年代，提出了一系列问题。比如，二里头是夏都还是商都？郑州商城是否为商汤所建之颍都？公元前 1600 年是否可作为夏商分界？如何解决这些问题，今后还需要借助新的发掘资料、测年材料与年代学研究思路寻找办法。

殷墟遗址是商代后期都城所在，其核心区域位于安阳市区北郊洹河的南岸，绝对年代大约始于公元前 1320 年，终于公元前 1040 年。洹河北岸则是面积达 400 万平方米的洹北商城遗址。据目前所公布的碳十四数据可知，洹北商城的年代上限范围为公元前 1437 年至公元前 1373 年，年代下限范围为公元前 1396 年至公元前 1317 年。初步的研究结果显示，洹北商城应早于以小屯宫殿区、宗庙区、西北岗王陵区为代表的殷墟，但其性质是河亶甲所迁之相，还是盘庚所迁之殷，学术界尚存有一定争议。未来，有关洹北商城的年代还需要进一步细化，以便为确定遗址的性质，以及与二里冈、小双桥等商代早中期都邑遗址的关系提供年代学支撑。

二、环境与生业的主要研究进展

环境考古为理解商王朝的崛起与繁荣提供了重要参照。较好的自然环境是殷商时期华北地区农业经济繁荣发展的必要条件，也使得商王朝建都于该区域成为可能。

环境考古研究表明，商文明诞生之前的近五千年内，华北地区经历了全新世大暖期的最佳适宜期，植被为亚热带落叶阔叶和常绿阔叶混交林。进入公元前二千纪中后期，气候渐趋干冷化，但整体上仍比今天温暖湿

润。其中，豫中地区蒿/藜比值指示，在约公元前 1600 年以后，气候有变干趋势；豫北地区的孢粉组合则显示，大约公元前 1400 年之后乔木/草本花粉比重降低，喜干凉的蒿、藜花粉增多（李开封等《河南地区全新世环境考古研究进展及未来趋势》，《地理科学进展》2015 年第 7 期）。

考古学研究中，以环境指标推定古植被、古气候，进而将社会变迁的驱动因素归结于自然环境波动，这在一定程度上忽视人类社会的复杂性。除了气候干冷化的原因之外，垦田、冶炼、建筑等人类活动，也可以是林地面积减少、草本花粉比重降低的重要原因。比如，汪家店和茶店陂两个地点全新世自然剖面的孢粉分析结果显示，大约公元前 1400 年开始，乔木植物花粉急剧减少，而包括禾本科等农作物在内的草本植物花粉占比迅速升高。这与当时大规模的毁林开荒、农业耕地面积骤增以及森林植被破坏后水土流失加剧等人类活动耦合，反映了建都安阳之后商人日常生活对生态环境产生的强烈影响（许青海等《殷墟文化发生的环境背景及人类活动的影响》，《第四纪研究》2010 年第 2 期）。

以农业生产为主要内容的生业经济的繁荣是商文明的重要物质基础。植物考古结果显示，在郑州商城、偃师商城、小双桥、殷墟等都邑遗址出土的农作物遗存中，粟的出土概率与绝对数量始终居于首位，黍、大豆、水稻、小麦也是常见的几种农作物。这与殷商时期王城岗、南洼、东陶与古城寨等中原腹地中小聚落的情况大同小异。大辛庄、城西新村等山东地区植物考古的研究结果表明，在商文明扩张过程中，黄河中下游地区农业经济系统中粟作农业的支配地位得到了巩固与强化，而稻米与小麦的种植规模一直保持在较低的水平〔Xu Huiyu, et al., Millet dominance and rice resilience at the Shang's eastern frontier: Climate, cultural interaction, and agricultural adaptation (1300 – 1046 BCE), *Journal of Archaeological Science*, Vol. 178, 2025〕。

商代先民开发利用的动物以猪、狗、黄牛、绵羊（山羊）、马等家畜为主。其中，家猪是人们肉食消费的主要对象，但牛和羊的重要性也逐渐提升。晚商时期的殷墟孝民屯遗址，所见黄牛骨骼的比例甚至超过了猪而占主导地位。从年龄结构来看，大多数牛和羊宰杀于未成年阶段，基本符合以产肉为目的的屠宰模式。值得注意的是，殷墟等遗址一些黄牛的肢骨发现有与畜力开发相关的病理现象，望京楼遗址的研究还发现存在以羊毛开发为目的的养羊业，但整体而言，畜力、羊毛等次级产品开发的规模可能仍较有限（李志鹏等《晚商都城居民的动物消费：殷墟孝民屯遗址出土

动物遗存的个案分析》，《中原文物》2023 年第 5 期）。

晚商时期，家马开始出现于以殷墟为代表的黄河中下游地区相关遗址，他们主要用于驾车和祭祀，只有极少数马的骨骼上发现了与肉食消费有关的切割痕迹。对山东菏泽青邱遗址马骨的病理分析发现，晚商时期中小聚落的马生前长期从事牵引等负重类劳役活动，这为研究都邑与低等级聚落用马策略、理解资源的跨区域流动提供了重要线索（Lei Yifei et al., Early horse traction in the lower Yellow River valley: pathological evidence from the Bronze Age rural site, Qingqiu, China, *Archaeological and Anthropological Sciences*, Vol. 17, 2025）。晚商遗址中，殷墟发现家马的数量最多。最近，考古发掘者在殷墟王陵区第五地点祭祀坑中发现了大量马牲，且每坑的数量均为偶数。除此之外，还发现人与猫科动物组合坑、3 人 1 象组合坑。一批中小型祭祀坑中还埋有圣水牛、鹿、獐、狍、狼、虎、豹、狐狸、鬣羚、野猪、豪猪，以及天鹅属、鹤属、雁属、隼属、雕属 5 个种属的鸟类。他们中的一部分在颈部挂有铜铃，应是商王等高级贵族苑囿饲养的宠物。这是中国迄今发现最早的人工饲养的野生动物群（中国社会科学院考古研究所安阳工作队《河南安阳市殷墟商王陵区第五地点 2023—2024 年发掘简报》，《考古》2025 年第 12 期）。

根据偃师商城、望京楼、小双桥、殷墟、小胡村、黄河路 109 号等遗址人骨的碳、氮稳定同位素结果可知，早商至殷墟时期，无论是都邑还是区域性中心聚落，粟类谷物以及用粟作农业产品饲养的家畜始终是商人食物结构的主体，稻米、小麦、大豆等农作物仅是粟作农业经济的补充。晚商时期，殷墟、小胡村等地墓葬等级较高的个体（如殷墟 M54 墓）， $\delta^{15}\text{N}$ 明显高于同遗址的其他个体，显示出他们日常食用了更多的动物性食物，这应是不同人群在食物资源分配上存在巨大差异的体现。发达的农业经济不仅为商王朝提供了粟、黍、稻米、大豆、小麦等谷物，也为家畜饲养业提供了大量的饲料（陈相龙《中原地区夏商时期社会变迁的生业经济基础》，《南方文物》2022 年第 6 期）。黄河中下游商人主要活动区域内动物骨骼的同位素分析表明，猪、狗、黄牛的食物主要来自粟、黍的秸秆和谷糠，马和羊的食物中亦有相当比例的粟黍类食物。

三、人群结构与健康的主要研究进展

人骨考古研究显示，商人是一个复杂化和多元化程度很高的人群集合体。偃师商城中小型墓出土头骨的种系特征主体可归入先秦两汉时期黄河

中下游的主体人群“古中原类型”，而晚商时期殷墟人群的构成则较为复杂。其中，殷墟中小型墓出土人骨虽属于“古中原类型”，但还见有少量先秦时期我国东北与华北北部常见的“古东北类型”；殷墟贵族墓葬部分人骨则呈现出以北亚蒙古人种为主、混有东亚蒙古人种因素的种系特征，可能与内蒙古东南部及其附近的古代人群有一定的亲缘关系。殷墟西北岗王陵区祭祀坑人骨的种系特征更加复杂，有许多与北方长城沿线、甘青地区古代人群体质特征近似的个体（王明辉《商族起源的人骨考古学探索》，《华夏考古》2015年第4期）。

种系研究的结论与殷墟人骨DNA、同位素分析得出的结果相吻合。大司空墓葬与灰坑出土6例人骨的线粒体DNA高可变I区检测出了可归入4个单倍体类群的6个单倍体型，表现出高度的遗传多样性。其中，5个单倍型可在现代东亚、北亚和中亚人群中找到共享（曾雯等《2004年殷墟大司空遗址出土人骨线粒体DNA研究报告》，《华夏考古》2018年第2期）。同位素研究结果同样显示，作为都城的殷墟与作为区域中心的望京楼遗址皆有相当数量来自其他区域的人群。其中，殷墟遗址的人殉与人牲中有一些可能来自北方和西北地区，古病理与同位素综合研究显示他们被处死之前曾在殷墟生存了一段时间，可能还从事了一定强度的体力劳动（Christina Cheung et al., Diets, social roles, and geographical origins of sacrificial victims at the royal cemetery at Yinxu, Shang China: New evidence from stable carbon, nitrogen, and sulfur isotope analysis, *Journal of Anthropological Archaeology*, Vol. 48, 2017）。望京楼遗址中有少数女性个体在迁入中原地区之前曾长期生活于稻作农业文化区（王宁等《商代前期中原地区多品种农作物种植制度的初探：以河南新郑望京楼遗址为例》，《人类学学报》2022年第1期）。这些研究为系统地理解商人构成，探讨商人社会组织与遗传多态性的时空特征提供了参考。

商代文字及遗物中常见人物跪坐的姿态，李济认为这种坐姿可能是商人长期供奉祖先、祭祀神灵时形成的（李济《跪坐蹲居与箕踞（殷墟石刻研究之一）》，《史语所集刊》第24本，1953年）。近年来古病理研究发现，二里冈文化时期偃师商城人群下肢普遍存在因长期跪坐而导致的病变，如跖趾关节变形、第一跖骨出现明显“跪踞面”以及髌骨的骨质增生（王明辉《偃师商城出土人骨初步分析》，《中原文物》2023年第5期）。类似的情况在殷墟大司空、新安庄、黑河路、孝民屯、花园庄等几个商代墓地中也较常见，由此推断，这可能与人们跪坐时跖趾关节长期承受压力

导致退行性病变有关。除王都之外，受商文化控制的济南刘家庄、大辛庄等遗址也发现了高比例与跪坐有关的病变现象，其中刘家庄人群跪踞面发生率接近 100%（赵永生等《商代人骨上跪踞面的观察与分析》，《考古》2020 年第 10 期）。也就是说，伴随着商王朝势力的扩张，跪坐作为一种礼仪，被商文明辐射的广大区域普遍接受。

四、手工业经济主要研究进展

商王朝建立之后，官营手工业迅速崛起，新石器时代发展起来的简单家庭式生产作坊则逐渐衰落。在郑州商城核心区发现有集铸铜、制骨作坊等为一体的复合型手工业区遗迹，这种手工业布局方式是对二里头文化手工业作坊集中式布局的继承与发展。殷墟遗址的洹河南北两岸形成了中、南、西、东四个“工业区”，每个“工业区”手工业的种类略有差别。其中，铸铜作坊与制骨作坊出现频率最高，但不同地点同类作坊的产品可能略有差异。以铸铜作坊为例，南、西工业区铸铜作坊的产品都以青铜礼器为主，工具与兵器为辅，而西工业区的孝民屯村西主要产品是工具和兵器，孝民屯村东与村南主要产品是青铜礼器。这种集中式布局出现的原因可能与王权对生产管理、技术传承、产品控制等流程的强化控制有关（何毓灵《论殷墟手工业布局及其源流》，《考古》2019 年第 6 期）。

（一）青铜器手工业

手工业是商文明的标志性成就之一，其中青铜制作无疑是最具代表性的手工业门类。商代的青铜器范铸工艺流程复杂，包括冶炼、制模、翻范、熔炼、浇铸、铸后加工等多个工序。就工艺来说，早商二里冈文化时期青铜器范铸技术的大体框架已经形成，各项工艺步骤初步确立，并吸收了长江流域流行的分铸法、金属芯撑等技术。殷墟时期铸型工艺更为规范，合金配比合理，范铸工艺基本走向成熟（刘煜《殷墟出土青铜礼器铸造工艺研究》，广东人民出版社，2019 年）。

郑州商城、殷墟等均发现了数个铸铜作坊区，在殷墟遗址核心区外的辛店村、任家庄南地等还发现了多个可能专门以青铜器生产为主的晚商聚落和社区。从出土陶范种类来看，郑州商城、殷墟等都邑遗址内多个铸铜作坊的产品存在一定差异，有的以铸造青铜礼器为主，有些作坊则主要生产武器、工具、车马器等。殷墟苗圃北地、洹北商城等区域还发现了成组

的随葬陶范、磨石的墓葬，其墓主可能与甲骨卜辞中的“工”“多工”“我工”“百工”等有关。不过，有关这些工匠的具体身份、与商王室的关系、是否存在家族传承等问题仍需要更多科技数据提供支撑。

近年来，越来越多的学者从操作链的角度对殷商时期铜矿开采、冶炼、铸造等青铜工业生产体系及组织管理等问题进行讨论。根据现有的材料可知，商王朝统治者构建了一个以青铜礼器、兵器为主要产品的产业链：金属原料由矿区开采、冶炼后运往都城的铸铜作坊用于青铜器的生产，王室通过青铜礼器与兵器的生产、使用并利用赏赐等手段，建立和巩固政治经济网络、强化等级关系与统治秩序。终商一朝，中原地区各区域金属物料的产地变化过程几乎同步且高度一致，这反映了商王朝可能对金属物料的转运流通与青铜铸造工业有着严格的管控（陈建立等《中国冶金考古研究五十年：回顾与展望》，《有色金属（冶炼部分）》2024年第11期）。其中，早商时期的商王朝在继承二里头文化时期对晋南中条山地区采矿和冶炼产业控制的同时，一度将青铜工业的资源互动网络向南拓展至长江中游铜矿带，阜南台家寺、黄陂盘龙城与郭元咀等可能曾作为商王朝金属物料流通的源头或中转站。

有关三星堆遗址青铜文明的起源问题，尤其是三星堆遗址出土的大量不同造型、不同风格的青铜制品与中原商王朝青铜工业的关系一直备受学界关注。研究表明，三星堆青铜器的器型、纹饰风格、生产技术、合金配比、矿料来源等多个层面均显示出古蜀文明与中原地区的殷墟、长江中游的宁乡与新干等青铜文化之间存在着密切复杂的资源流通与文化互动。

三星堆青铜器造型多样，以尊、罍等为代表的青铜容器是受商文明的影响而出现，神树、人面像则是蜀地特色器。综合器物造型、铸造工艺、合金成分与铅同位素数据可知，三星堆青铜器可能存在多个铸造地和物料来源。其中，以神树、人面像为代表的铜神器可能是同时同地铸造（肖红艳等《“工”与“匠”的多元性重建：三星堆祭祀坑青铜器铸造工艺再观察》，《四川文物》2023年第5期）。有学者认为部分铜器可能是在殷墟定做的产品（黎海超等《三星堆一、二号祭祀坑出土铜器产地问题初论》，《四川文物》2023年第1期），或者是殷墟等地的工匠携带原料来三星堆铸造的（崔剑锋、吴小红《三星堆遗址祭祀坑中出土部分青铜器的金属学和铅同位素比值再分析——对三星堆青铜文化的一些新认识》，《南方民族考古》第9辑，2013年）。三星堆青铜器内泥芯的岩相与元素分析结果显示，神树、面具等非容器可能是本地铸造，

而尊等铜容器则可能铸造于长江中下游地区 (Lian Huiru et al, Deciphering the origins of Sanxingdui bronzes through petrographic and elemental analysis of casting cores, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 178, 2025)。

就铸造工艺而言,三星堆普遍使用分铸法是其不同于商王朝青铜铸造技术的最大特点,其青铜器连接方式包括“锁扣连接”“插接”“铆接”“包接”“销杆连接”“改型连接”和“铜绳连接”七种形式,这些制作技术少见或不见于长江中游与中原地区(郭建波等《三星堆青铜器分铸连接工艺辨析》,《铸造》2025 年第 2 期)。对三号祭祀坑铜顶尊跪坐人像的金相、能谱、铅同位素等综合分析表明,尊体、人像是在不同时间、不同地点分别制成后,在三星堆采用套接等连接方式完成拼合的。其中,尊体上的龙首、牛首等附件亦是铸造成型后改制而成的。拼合过程中,工匠还对尊的圈足进行了改制以便连接跪坐人像。这些发现印证了三星堆青铜器有外来铸造的可能性,也反映了三星堆文化在祭祀礼仪、制作技术与艺术观念层面同其他区域文化之间的交流与融合(郭建波等《三星堆祭祀坑出土铜顶尊跪坐人像科技分析及相关问题》,《考古》2026 年第 1 期)。由此可知,三星堆是殷商时代具有高度区域特点的地方文化,但其与商文明之间的紧密关系也是毋庸置疑的。

(二) 制骨手工业

目前所见商代手工业作坊中以制骨作坊数量最多、规模最大。郑州商城与偃师商城的制骨作坊皆位于靠近宫殿建筑的核心区,有的面积达 5000 多平方米。洹北商城至殷墟时期,制骨作坊的面积明显增加,多个作坊面积达 1 万至数万平方米。商代骨器以笄、镞为主,也有少量锥、匕、铲、筒、牌形器等。其中,骨笄数量最多,如妇好墓中就发现有 499 个骨笄。相关遗迹遗物显示,商代制骨手工业规模庞大,仅铁三路制骨作坊出土骨骼就有 36 吨之巨,绝大部分为骨料,其中见有大量坯料、成品、半成品、废料等,其生产能力超过王室、贵族的需求,应以商品性生产为主。商代最主要的制骨原料是牛骨,也发现了水牛、猪、羊、鹿等动物的骨骼。郑州商城紫荆山北出土了较多人的头骨和肢骨等制骨原料,可能属于一处特殊的制骨作坊。

商代制骨手工业在坯料预制、粗坯成形、成品完工或精加工等环节皆表现出了高度的专业化。值得一提的是,洹北商城时期还一度发展出了“剥片式”取料方式,取料对象既包括形状规则的掌骨和跖骨,也包括形状不规则的肱骨、股骨等骨骼部位,反映出当时的坯料预制环节已经具备了高超的专业水平

(何毓灵、李志鹏《洹北商城制骨作坊发掘方法的探索及收获》，《中原文物》2022年第2期)。青铜锯、磨石等生产工具的推广，对于提升骨制品的标准化与专业化程度具有重要意义。青铜锯的发现虽然不多，但从骨骼上的切割痕迹来看，当时已经在骨器生产的各个环节广泛使用，成为提升生产效率与标准化水平、助力生产规模扩大的关键。郑州商城紫荆山北、殷墟孝民屯、刘家庄北地以及洹北商城等地点的制骨作坊内出土的带沟槽砺石、石钻陀、石或陶纺轮形器等遗物，很可能与制作过程中的打磨、钻孔有关（何毓灵、李志鹏《殷墟出土之钻陀及相关问题》，《南方文物》2017年第4期）。

有关制骨作坊生产管理的研究相对薄弱，但目前也有一些线索可循。研究人员以铁三路殷墟制骨作坊为例，综合生产经营链相关遗存以及同时期房址、墓葬、祭祀坑等相关遗迹，认为殷墟时期的手工业生产可能以“家族”为基本单位，商王通过派遣官员或直接掌控手工业作坊等方式进行管理（中国社会科学院考古研究所安阳工作队《河南安阳市铁三路殷墟文化时期制骨作坊遗址》，《考古》2015年第8期）。

（三）陶器与原始瓷

陶器是商代遗址出土数量最多的一类文化遗存。商代都邑遗址中均发现有专门的制陶作坊区，相关遗存包括陶窑、陶泥、未入炉的陶坯、残次品和陶拍、陶垫、印模等制陶工具，还发现有水井、水渠等附属设施以及可能与陶工有关的房址和墓地。陶器的岩相和成分分析显示，几个都邑的日用陶器大多为就地取土、本地烧造，不过殷墟等遗址白陶的制作原料以及部分低粉砂陶土烧制的陶器则可能是外来的。同时，也发现有一些其他考古学文化风格的陶器被掌握相关制陶技术的工匠用当地陶土烧制的情况，郑州小双桥遗址出土的山东岳石文化风格陶器便是如此。

商代多处遗址还出土有原始瓷、印纹硬陶，学术界对其产地的认识争议较大。商代早中期原始瓷多出土于高等级墓葬中，器型以酒器为主，印纹硬陶则多出于居址，以实用器居多。晚商时期的商文化高等级墓葬中所见随葬印纹硬陶增多，器型以水器为主，罕见原始瓷器。有学者认为，商王朝黄河流域出土的印纹硬陶和原始瓷器皆来自南方，但不同时期来源可能有些差异（牛世山《殷墟出土的硬陶、原始瓷和釉陶——附论中原和北方地区商代原始瓷的来源》，《考古》2016年第8期）。其中，商代早中期印纹硬陶和原始瓷器主要源自盘龙城、吴城、池湖等地，商代晚期的来源

地可能包括长江中游的对门山—费家河类遗存和长江下游的南山窑址等（郑建明《北方地区出土先秦时期原始瓷产地再论——从装烧工艺的角度》，《考古与文物》2022 年第 3 期）。也有学者根据岩相和工艺分析认为，殷墟的原始瓷至少部分产品系本地生产（李文静等《安阳殷墟出土原始瓷的产地与工艺》，《华夏考古》2021 年第 3 期）。当时流行的升焰式馒头形竖穴窑的窑内温度可达 1000℃ 以上，足以用来烧制这些火候较高的陶瓷产品，遗址中发现的烧坏的废品也暗示当时部分原始瓷或为当地烧制的。

殷墟文化四期晚段，大司空村、苗圃北地、八里庄东、郭家庄、刘家庄北地等多个地点墓葬的随葬品中出现了一种外表有涂层的仿铜陶礼器，器类多是鼎、簋、甗、盃、罍、鬲、爵、尊、觥、卣等酒器和食器，其形态、纹饰、组合均与铜礼器相同或相近。这类仿铜陶礼器的涂层只见于外壁，颜色常见灰白、黑褐等，有些器物局部有片状脱落的现象，与常见的普通陶衣不同。通过对这些涂层元素成分、物相与结构的分析检测可知，涂层的成分主要是锡石和黑锡矿两种锡的氧化物以及少量铜锡 η 相颗粒，应是施于器表的锡箔层氧化之后的产物（郭梦等《殷墟锡衣仿铜陶礼器的发现与研究》，《考古学报》2020 年第 2 期）。

（四）玉器手工业

商王朝核心区域的优质玉矿资源较为匮乏。受此限制，偃师商城所见玉器在用料上以大理岩、蛇纹岩、紫色砂岩或云母玉等常见矿物为主，只有少量优质闪石玉料被用来制作玉笄等相对精致的玉器。早商时期，玉器开料、减地、打磨和钻孔等工艺延续了中原地区长期以来的技术传统。玉工根据玉料的材质使用锯片切割和打制技术进行加工。殷墟玉器多为透闪石软玉，也见有少量蛇纹石、石英岩、大理岩、绿松石和天河石等。对于其玉料的准确来源目前仍在探索中，有学者根据玉器的色泽、质地以及伴生矿推定透闪石玉的产地不止一个，附近的太行山地区、洛阳南部的伏牛山腹地可能是潜在的来源地。不过，玉料来源是学术界一大难题，在对玉石器进行材质鉴定的基础上，综合主量元素和微量元素，或许可为讨论这一问题提供线索（中国社会科学院考古研究所编著《安阳殷墟花园庄东地商代墓葬》，科学出版社，2007 年，第 345—390 页）。

殷墟玉器设计、制作流程简洁明确；器物造型、母题和纹饰呈现出较高的标准化。这一时期玉器开片以锯片切割为主，但加工技术方面已经出

现旋转砣具、解玉砂及“线锯”等关键性技术变革。携带解玉砂的旋转砣具普遍用于阴刻工艺，解玉砂硬度高、颗粒小而均匀。以实心钻技术和浅钻小圆坑的方式来减地这一创造性应用，对圆雕玉器的制作起到了重要作用，刃部可达 0.25 毫米左右的某种金属“线锯”配合解玉砂的切割技术用于减地、透雕等二次加工，是殷墟时期圆雕玉器工艺重要的技术创新。这些技术的创新与推广，对后世产生了极为深远的影响（叶晓红《妇好墓圆雕玉器工艺研究》，《中原文物》2018 年第 2 期）。未来有关商代玉器制作工艺的研究，仍需要结合器物的材质、形制、年代、功能等信息有针对性地开展对比分析与综合研究。

五、反思与前瞻

殷商是中华文明早期发展进程中的关键阶段，商文明的形成与发展巩固了以中原为主导的历史趋势，拓展了早期中华文明的文化影响力。自 20 世纪 30 年代德日进、杨钟健等参与殷墟动物考古研究，科技考古便成了商文明考古学研究的重要组成部分。

商文明的年代学研究需要新的视角。目前，商文明的年代学研究以解决基于考古类型学构建的文化编年的绝对年代为主要思路，这种文化历史考古范式的年代学研究在解决夏商更替、商王迁都等重要政治事件的年代等关键问题上遭遇了瓶颈。未来的研究，还可以尝试以可能与政治变迁相关的核心遗址群的兴废为切入点，重点围绕重要遗址关键建筑的营建、使用与废弃等问题，讨论以商汤建国、商人迁都等重大事件为节点的商王朝社会发展过程的年代框架。具体而言，二里头遗址宫殿建筑的废弃年代与偃师商城、郑州商城两个都邑最早一批宫殿建筑的营建年代可为厘清夏商更替的时间提供线索，而郑州商城、洹北商城与殷墟等都邑内宫殿、道路、城墙等关键建筑的始建与废弃年代则可能指示商王朝迁都的时间。

商王朝的社会组织结构研究亟须开展包括体质人类学、古 DNA 与多同位素在内的综合分析。商人是复杂和多元的人群集合体，对于殷商社会人群流动、社群结构、社会组织等具体问题仍需要开展针对性的研究。以殷墟遗址为例，都邑内既有中小型贵族、普通居民集中埋葬的墓地，又有专业化很强的铸铜工匠、制陶工匠、贞人等特殊群体的葬区，还有大量人殉和人祭的祭祀坑。今后还需要从个体考古学的角度，综合形态学、同位素、线

粒体 DNA、Y 染色体、常染色体等群体遗传学研究结果，构建贵族、平民、工匠、贞人、殉人等不同群体人群的遗传特征。这不仅可为研究工匠、贞人等特定社会群体的血缘关系、组织结构、社群规模、社会等级等提供科学证据，也将为讨论鬼方、羌方等周边方国及其与商王朝关系问题提供线索。

商文明的生业经济研究仍需继续探索。繁荣的农业经济为商文明的发展提供了稳固的生业基础和坚实的物质支撑。目前，在开展单个遗址生业经济重建的同时，还需要综合各遗址的等级、规模、功能区划系统开展对比研究，分析商代农作物、畜产结构，构建商代主要农作物、家养动物等生业资源供应、物资流通网络，考察商代都邑的家养与野生动物牺牲饲养管理与相关的礼仪经济，追溯马、牛等重要动物资源的供给。

将手工业作为一个产业系统，结合政治、经济和文化等背景展开综合研究，是理解商代手工业空间分布、产业布局、管理模式、资源供给与产品流向等问题的关键。目前有关郑州商城、殷墟等商代都邑手工业生产技术、专业化程度、产业布局与组织、产品分配等手工业考古核心问题的研究已初见成效。晚商时期商王朝直接控制的地域缩小，但各类资源获取范围却有扩展之势，如何透过青铜、玉器等手工业生产体系构建商王朝政治与经济层面的经营策略仍需要深化认识。另外，近年来研究表明三星堆、台家寺、盘龙城、吴城、寨沟等大邑商周边地区其他核心遗址手工业生产，尤其是青铜工业，呈现出跨区域的技术交流、物料流通、产品交换乃至铸造工匠迁徙等现象。考虑到这些手工业多为贵族阶层控制，手工业产业链反映的多元互动与政治经济体系同样需要开展跨区域的对比研究。

商文明科技考古研究的关键意义在于科学化、多维度地揭示商王朝的文明图景与商文明的历史内涵。在推进年代、人群、生业、手工业等多个层面的研究进程中，科技考古始终发挥着不可替代的作用。若要取得更深入、更系统的成果，仍需要从具体的考古学问题入手，开展科技考古的整合研究。

本文系中国社会科学院青年人才“培远计划”项目“史前食物全球化与早期中国的生业经济研究”阶段性成果

〔作者陈相龙，1983 年生，中国社会科学院科技考古与文化遗产保护重点实验室副研究员〕

（责任编辑：任会斌）