

综合性陶器产地分析:方法和实践

陆青玉 王 芬 栾丰实

(山东大学历史文化学院 山东济南 250100)

内容提要:岩相学和化学成分分析是目前欧美考古学陶器产地分析中的常规性分析方法,在产地分析过程中均有各自的优势和弊端。两种方法相结合而形成的综合性陶器产地分析方法可以弥补单个分析方法的不足,但在分析问题的设置、标本选取等环节均有需要注意的地方。在有效规避单种分析方法弊端的前提下,综合性陶器产地分析方法能从微观技术、成分和宏观自然、考古背景相结合的角度为解读我国古代陶器手工业经济提供独特的研究范式。

关键词:陶器 岩相学分析 化学成分分析 功能 弊端 综合性产地分析

中图分类号:K854

文献标识码:A

陶器是考古学家面对的最为丰富的古代遗存,从技术、经济和社会学角度对古代陶器的生产、流通和消费问题进行探讨,是解读古代社会技术、经济、政治乃至信仰问题的良好途径,也是我国考古学研究重心转移后的一项重要研究方向。而从陶器角度解读古代社会生活,首先就要解决陶器的产地问题^[1]。之前有学者也曾从多种角度对此问题展开论述,而今随着各种新科技在考古学研究中的广泛应用,催生出大量陶器产地分析的研究案例^[2]。

当前国内外对陶器产地问题的研究,主要从陶器岩相学(XRD、SEM在识别陶器胎体矿物类型方面也有应用)和化学成分分析(包括XRF、ICP-MS、NAA等)两个角度展开^[3]。相关分析方法在陶器产地分析中的应用极大地增强了人们对科技解读古代社会的信心,也拓展了人们对陶器反映的古代社会的认识。但是在研究过程中也存在着诸多的问题,接下来就两类产地分析方法的优势和弊端进行阐述,同时提出一个较为合理的综合性陶器产地分析研究范式,并在实践中对其进行验证。

一、陶器岩相学分析方法的功能及存在的问题

(一)岩相学分析方法的功能

陶器产地研究中的岩相学分析方法,主要通过陶器胎体中的包含物属性进行鉴定,进而根据包含物的类型、颗粒特征等对陶器标本进行分组,并与那些具有明确产地的陶器,或陶器源地周边的地质学资料(地质学资料或黏土、砂子、石头等自然标本)进行对比分析,再进一步探讨陶器的大致产地。尤其是陶器中包含的那些具有明确区位指示性的包含物,能为准确地定位陶器产地提供直接证据。如大卫·皮科克(David Peacock)团队早期开展的经典性陶器产地分析案例^[4],他们在英国西南部发现一种广泛分布的史前陶器,通过对其包含物的岩相学分析并对比区域周边的地质学信息,发现此类陶器中含有一种仅在蜥蜴半岛(Lizard Peninsular)出露的辉长岩岩屑,从而找到了此类陶器的产地,证明了史前时期手制陶器也存在着长距离的流通,极大地冲击了当时人们对于普通日用陶器生产、流通问题的认识,提升了人们利用岩相学分析方法探讨陶器产地

收稿日期 2019-11-15

作者简介 陆青玉(1987—),男,山东大学历史文化学院博士后,主要研究方向:史前考古、陶瓷科技考古。

王 芬(1976—),女,山东大学历史文化学院教授,主要研究方向:史前考古、陶瓷科技考古。

栾丰实(1951—),男,山东大学历史文化学院教授,主要研究方向:史前考古、考古学理论。

基金项目 本研究获中国博士后科学基金资助项目(2020M672041)、山东大学青年交叉科学群体(2020QNQT018)和2020年度山东省博士后创新项目的资助。

All Rights Reserved. <http://dnwh.njmuseum.com/>

问题的信心。

另外,岩相学分析方法不仅能从包含物类型方面定位陶器的产地,还能从较为宏观的视角解读陶器的生产流程,进而从技术的角度追踪陶器的来源。如对于陶器原料的制备问题,可以通过对岩相切片中包含物颗粒的粒度、磨圆度、分选状况等特征的观察,来推断特定时期、特定人群对陶器原料的技术性选择,以及人们对陶器包含物的加工情况^[5]。再如对于陶器的成型技术问题,如果岩相切片中陶器包含物或条带状气孔的长轴或胎体的纹理呈环形分布,说明此类陶器可能采用了泥条盘筑成型^[6],而以上属性如果呈平行分布且与器壁保持一致,则说明此类陶器可能采用了快轮拉坯成型^[7]。而通过对陶器胎体颜色、旋光性以及特殊包含物烧制后的蚀变情况的观察,还能对陶器烧成气氛和烧成温度做出推测^[8]。不同时期、不同区域的人们对于技术的选择和应用具有倾向性,因此,岩相学分析揭示的陶器生产技术特征,同样可以为在大区域内判定陶器的产地提供证据。

(二)岩相学分析方法存在的问题

岩相学分析方法在涉及陶器产地和生产技术问题的研究中具有巨大的潜能,但同时也存在着诸多需要注意的问题。

首先,分析对象具有一定的倾向性。岩相学分析虽然也能通过对陶器的成型技术、烧制工艺等方面进行分析,进而为追踪陶器产地提供佐证,但此种方法最大的优势还是通过陶器胎体的包含物类型和结构特征来对其产地进行追踪。因此,单就陶器产地问题的研究而言,岩相学分析更适用于夹砂陶。对于颗粒粒度极小的泥质陶,以及夹砂陶中最具地域指示意义的黏土基质部分,岩相学就难以识别其各种颗粒的类型,从而对产地问题的分析也就无能为力了。

其次,分析过程具有一定的偶然性。岩相学分析的标本多为2、3平方厘米大小的陶器断面。如此小体量的标本,在陶器原料分布不均的情况下很可能造成胎体信息的遗失。尤其是在均质性较差的夹砂陶中,切片取样位置若错过了带有地域指示性的“指纹元素”,或者样品恰好取在某类包含物分布极其密集的区域,就会造成产地信息的丢失或对产地的误判。同样,在对地质环境相对复杂的遗址周边的黏土标本进行调查取样时,由于自然环境的沧海桑田和各种资源在水平和垂直层面上分布的不均衡性,很难实现对各种

黏土标本进行全面的采集。但是那些调查中错过的自然标本,很可能正是探讨陶器产地问题的关键,而这些标本的缺失,会使我们的研究结论大打折扣,甚至得出错误的结论。

另外,分析结果具有一定的主观性。如在使用岩相学方法对陶器包含物含量进行评估时,通常是对照地质学研究中常用的矿物比例参考图来估值^[9],这样得出的结果可能会因人而异、因时而变,从而造成不同的分析者或者同一分析者在不同时间得出不同的结论,进而影响到对陶器标本的归类。

最后,对分析者的知识背景和毅力有较高要求。岩相学属于自然科学,即便分析者能够准确得出有关陶器胎体中颗粒类型的的数据,但对于这些数据的解读,及其与特定地质环境之间的关联,都需要扎实的地质学背景知识。而相关知识的缺乏,会直接影响着分析结论的科学性和全面性。另外,常规的陶器岩相学定量分析,需要分析者对每个切片至少采集200个点的胎体信息^[10],而一个研究课题中多达数十、数百的分析标本,是对研究者时间和精力的极大考验。

总之,任何分析方法都不能做到尽善尽美,陶器产地的岩相学分析同样如此。在正视缺陷的同时,我们还要认识到,在目前众多的陶器产地分析方法中,岩相学是从陶器胎体结构和矿物构成方面探讨产地问题最为直观、成熟和有效的方法。

二、化学成分分析的功能及存在的问题

(一)化学成分分析的功能

陶器的化学成分分析,就是采用各种元素测量技术,对陶器标本的主、次和微量元素进行尽可能全面、精确的测量,进而通过各种统计分析方法对数据进行筛选和分析,最终获得各类陶器的化学元素构成特征,并对不同来源或技术特征的陶器进行分组和归类。

与岩相学分析通过包含物属性来推测陶器生产环境的方法相似,化学成分分析通常也能根据陶器的地球化学特征来预测其相应的产区。如高浓度的铬和钴元素表明原料地的铁镁质矿物含量丰富,而丰富的稀土元素则指示着陶器产地周边存在着酸性火成岩的分布环境^[11]。另外,通过化学成分分析去追踪陶器的具体产地时,还必须要有一定的参考样品。但值得注意的是,化学成分分析的结果反映出的多是相应元素含量高低的差别,而古代陶工在陶器生产过程中,可以

直接用于陶器生产的天然黏土极其有限,很多时候他们会对原料进行筛选、添加羼合料甚至混合不同类型的黏土原料,从而改变了天然黏土中各种化学元素的原始含量。因此,通过化学成分分析来追踪陶器产地的过程中,合适的参考样品并不是天然的黏土,而是加工后的泥料或具有明确产地的初成品,如陶器生产作坊内发现的泥料、陶坯等。但是这类遗存在古代遗址中发现有限,而相关的分析证明,陶器烧制前后胎体元素含量的变化是微不足道的^[12],因此,作坊内发现的陶器、残次品,以及其他具有明确产地的陶器产品同样可以作为适宜的参考样品。

结合参考标本,在对同一遗址或区域内的大量陶器进行成分检测之后,便可形成该遗址或区域内较为稳定的元素构成模式。尤其是在新石器时代中晚期及以后,随着陶器生产方式逐渐超越了自给自足的家庭生产,以交换为目的的规模化陶器生产日渐兴盛^[13]。为保持稳定的生产质量并有效规避技术波动带来的风险,陶工在陶器生产过程中较为注重对制陶原料的深加工,并在一定时期内会持续采用同一原料配方^[14],反映在陶器化学成分上,就形成了各个时期陶器中的元素配比模式波动不大的现象。根据这些稳定的陶器元素配比模式,我们就可以将同遗址或同区域的陶器划入各自的生产单位,进而探讨生产规模的历时性变化问题,还可以将不同区域的陶器还原到各自的生产地,进而探讨陶器的跨区域流通问题。

当然,以上只是化学成分分析方法在陶器产地分析研究中的理想情况,单纯采用此种方法追踪陶器产地,同样存在着诸多方面的问题。

(二)化学成分分析方法存在的问题

采用化学成分分析方法探讨陶器产地问题,最大的挑战在于找到适宜的参考分析标本,这在上文已经有所提及。但是考古遗址中能直接反映陶器原料类型的遗存,如陶窑中的陶器、残次品或者制备好的泥料等,数量有限且时空关系完美匹配者极少发现。而在缺乏此类参考样本的情况下,对遗址或区域内的出土陶器标本的成分检测,虽然也能获得一些稳定的陶器元素配比模式,但这些模式很难与特定的生产背景相关联,从而在对数据的解读方面受到种种限制,影响到对陶器产地及后续的生产方式、流通和消费等问题的系统解释。

分析结果,并影响对陶器产地问题探讨的重要因素。尤其是夹砂陶,由于有些用于成分检测的样品体量仅为十几克甚至是几十毫克,而陶器胎体中的包含物粒度和类型多样,同一陶器的不同位置也可能存在着包含物颗粒的富集或缺失。因此,如何尽可能地使所取样品能代表整个陶器,如何尽可能地减小同一生产单位生产的同期产品的标本误差,同样是化学成分分析方法研究陶器产地问题所面临的挑战。

分析元素数量和类型的选取,同样是制约陶器产地分析结果的关键。加曼·哈莫特(Garman Harbottle)曾对14 400个采用中子活化分析获得的陶器化学元素数据进行统计分析,发现当元素数量少于17个时,不同产地的陶器标本在统计结果上难以区分^[15]。目前各类化学元素分析技术所能检测的元素数量各不相同,但多数可以检测20个以上的有效元素含量。而对这些有效元素的取舍,将会直接影响到产地分析的结论。另外,由于陶器中包含物的密度差异,以及包含物中微量元素普遍较低的特征,在陶器产地分析过程中,微量元素分析要比主、次量元素分析更为有效^[16];由于土壤环境或地下水的差异,陶器废弃后的埋藏环境也会影响到胎体中磷和钙等元素的含量^[17]。当区域内地质环境较为一致,尤其是以粉砂质沉积环境为主时,区域内不同作坊陶器原料的差别可能只是体现在大粒的羼合料上,而这部分大颗粒羼合料的含量已被证明对陶器中的微量元素的含量影响甚微^[18],因此,微量元素对特定区域的陶器产地分析也并非永远有效。另外陶器中的磷和钙元素并非单单与埋藏地所在的人居环境有关,有时候人们为了改变黏土性能,会在陶器原料中添加草木灰和石灰石等羼合料^[19],从而人为地造成陶器中磷与钙元素的高含量。因此,在经过矿物学分析之前,轻易地剔除这些元素,很可能造成分析结果的偏差。

三、岩相和化学成分分析——一个综合性陶器产地分析模型

通过上文的阐述可以发现,岩相学和化学成分分析方法在探讨陶器产地问题上具有巨大的潜力,但是单独采用其中任何一种方法进行产地研究,都会存在各种不尽人意的效果。虽然很早就有人提出将不同的分析方法相结合进行“综合性”研究^[20],但是具体对于岩相学和化学成分分析这两种方法的对应和互补分析上,却很少有人进行过系统的阐述。故笔者结合近些年国内外的

另外,分析样品的选取同样是制约化学成分

研究实践,综合以上两种方法的优势,提出每一步研究中的注意细节,形成一套具有互补性的陶器产地分析模型,并以丁公遗址的陶器产地分析的实践对其进行验证。

(一)综合性陶器产地分析模型的内容及要点

本文所指的产地分析模型,特指系统性地探讨陶器产地问题的方法论框架,具体步骤及各环节需要注意的关键点由以下几部分构成。

1.提出合理的问题假设

一个产地分析课题要取得成功,很大程度上取决于对将要解决的问题的设置。如鲁中南的王因遗址中出土的榼螺是非常重要的^[21],因为它表明当时存在着内陆与海滨之间物品的交流。而对于沿海地区的青岛北阡遗址^[22]来说,探讨海生贝类遗存的产地的学术意义则比较一般,因为该遗址在大汶口文化时期距海不远,海生贝类等唾手可得。因此,在我们设置产地分析相关的研究问题时,有必要对研究区内部及周边地区的古今自然环境、考古背景进行深入的了解。以陶器产地分析为例,我们需要在准确把握区域地质概况、同时期的陶器生产技术、现有的陶器标本和可用的参考标本的基础上,找到其与期望解决的问题之间的平衡。同西方考古学中的“演绎”型的推导方式相似,我们可以就研究区内陶器的产地及其他相关问题作出合理的假设。当然这种假设也要建立在相关考古证据的基础上。

关于研究问题的细节。确定陶器为何处所生产是所有陶器产地分析研究的核心,其他拓展性的问题还包括,诸如陶器生产技术、组织的历时性变化情况,陶器在区域内外是否有流通,以及流通规模、线路和范围如何,等等。值得注意的是,最终的研究结论可能对部分问题给出“是”和“非”的二元性反馈,而对其他问题则有可能会给出多选项型的回答,因此在设置研究问题时,要对最终结论与原假设不一致的各种可能性做好心理预期。

另外,对产地范围的界定是设置研究问题的关键。对于研究区域、考古背景和研究深度不同的课题,人们对其产地范围的界定也有不同的要求。如进行文化区之间陶器流通问题的研究,则至少应以文化区的边界为限定定义陶器的生产单位;如探讨文化区内遗址间的陶器产地和流通问题,则最好以各个遗址为最小生产单位;如果发现陶器生产相关的直接证据,就要以这些不可

移动的生产遗存为最小生产单位来界定陶器产地;再如不同的研究区都不曾发现生产类遗存,但是在地理环境上可以截然分开,就可以把不同地理环境的研究区视为两个生产单位。当然,在通过陶器产地分析来深入探讨古代人群和物品流通问题时,生产单位的界定还要考虑到遗址或区域之间交流路线的畅通性以及其他相关产品的交流情况。如生产单位所在区域之间是否存在高山、大湖等古代难以逾越的障碍,相互之间是否存在明确来自对方的其他类型遗存等。综合考虑各种因素后界定出符合研究区历史实际的“产地”范围^[23],才能为后续的研究提供明确的空间框架。

2.根据问题搜集相关的证据

问题假设只是研究者根据现有证据对过往历史现象的推测,事实是否如此,则需要系统地搜集各种材料对其进行论证。以岩相学和化学成分分析为基础的综合陶器产地分析方法,需要研究者从以下几个方面尽可能全面地收集资料。

首先,准确界定陶器岩相学和化学成分分析的参考标本。其中,岩相学分析的参考标本相对宽泛,一类为陶窑内发现的陶器、窑址周边的陶器废品、残存的泥料、陶坯,以及其他一些具有明确产地背景信息的陶器。足够数量的此类标本可以形成本地陶器的岩相学成分构成标准,从而能够快速地对分析样品的归类 and 域外陶器的识别。另一类则为自然标本,如遗址或生产区周边的黏土、砂子和石块等。这类标本可以作为对第一类标本的补充,同时在第一类标本缺失或不足的情况下,为从岩相学特征上识别本地陶器提供依据。如某些黏土在古代可能被直接用于制陶,有些砂子或石块可能会被加工后作为麝合料用于陶器生产,因此通过这些参考标本的岩相学特征,我们大致可以对研究区内的陶器来源做出推测。化学成分分析的参考标本类型则相对有限,如本文第一部分所述,仅同于岩相学分析的第一类参考标本,在此就不再赘述。

其次,合理设置分析和参考标本的数量。一个原则是取样数量要足够大,但并不存在一个普适的标准。通常情况下,对于分析标本,研究者要结合可用标本的数量、器形、陶质陶色,以及研究区的规模和周边的地质概况等多种因素,以时间或空间为标尺进行等比例挑选。根据以往的经验,在理想情况下,化学成分分析的样品要尽量保证每个遗址各个时期的每种器形标本数量稳

定在15至20个之间^[24],而用岩相学分析数据去界定有效的陶器分组时,5至10个以上的同类标本才能说明问题^[25]。参考标本的选取,同样需要综合考虑遗址的规模、标本的位置及其与遗址的间距和连通性、区域地质环境的复杂性等因素。其中,对于河流周边参考标本的选取,通常下游标本数量要比上游多,以便更全面地了解整个流域内的地质概况。另外,尤其要注意对人工或自然形成的剖面位置的标本选取。

再次,要尽可能地掌握研究区及周边地区的地质和地理环境信息。黏土和黏土中的砂质包含物都是岩石风化、蚀变和沉积作用的产物,用其制作的陶器在低温烧制过程中并未抹去其附带的产地信息。因此,对研究区及周边地质环境数据的掌握,能为宏观地识别分析标本的可能性产地,进而探讨陶器流通问题提供依据。地理环境数据为陶器产地分析提供了有关研究区周边的植被、水文和人类活动范围等信息,从而为判定研究区内是否具备陶器生产所需的水源、燃料和贝类、稻壳等特殊原料,以及间接推断陶器生产规模和区域交流等问题提供支撑。

另外,陶器产地分析还要对研究区及周边的考古学背景具有深入的把握。产地分析所面对的是各种不会说话的标本,而探讨的却是生产、流通和使用这些标本的人和人类社会。因此所有的分析都应置于古代人类社会的大环境中,并做到分析的结果尽可能地与已知的古代社会现实相契合。要做到这点,需要研究者在分析之初就对所研究的区域在特定时期的政治、经济、文化状况有深入的理解,尤其是要理清研究区内各种考古学文化的时空分布关系、同时期遗址的等级和密度、陶器的类型和生产技术传统等。系统地梳理和掌握研究区相关的考古背景资料,是有效解读陶器产地分析数据的必备条件。

同样,采集标本的过程中,在问题意识的引导下对其所属遗迹单位的性质和数量进行准确把握,也是实现研究目标的关键。比如在标本的类型学特征不明确的情况下,灰坑中出土的标本通常要比来自地层的标本具有更强的共时性,因此在同等条件下要优先选择来自灰坑的标本;再如居址中保留的陶器更能有效地与其所属的居住者建立联系,因此在通过陶器分析来探讨不同类型居址的人群层级、消费习惯等社会问题时,最好同时选用居址中的标本进行分析。

够论证预设结论的材料的丰富性和有效性过于自信,但在分析的过程中又总能体会到证据的不足。因此,在获得有限的分析证据的基础上,可以对预先设置的假设性结论进行适当的调整,以便使现有的材料能充分地论证或推翻这个结论。

3. 样品制作和标本检测

为了尽量避免出现主观性和偶然性结论,综合性陶器产地分析在样品制作和标本检测环节,需要做到以下几个方面。

首先,要确保分析标本在所有同类陶器中的代表性。这一点主要是针对那些原料掺和不均的夹砂陶,在上文关于岩相学和化学成分分析中存在的问题部分已有所阐述。对此需要在标本选取环节强化对不同陶器的分类,还可以采用放大镜或体视显微镜尽可能多地观察标本断面,定性判断陶器包含物分布的均质性,同时也可以选取同一标本的不同位置并检测其元素含量的误差范围,从而使待分析的标本能尽可能大地反映同类器物的微观特征。

其次,制样过程中的细节同样影响最终的分析结果。如陶器使用过程中内壁附着的钙质沉淀物,会严重影响陶器的化学成分构成,因此,在制样之前需要对陶器内外壁进行彻底清理;岩相切片的切割方向会影响到对陶器成型工艺的判断,而与器体垂直方向呈45°夹角进行切割,或者每个标本在水平和垂直方向各制作一个切片,则能兼顾对不同陶器成型方式的探讨;黏土类参考标本在制作切片之前,通常要揉合均匀并在大致与同时期陶器烧成温度相当的环境中烧结,这样制得的参考标本切片与陶器切片更具可比性。

另外,正式制样与检测之前,需要进行尝试性制样和检测。古人的某些特殊生产行为可能会对最终的分析结果造成干扰。例如在一个地质环境较为复杂的区域,具有采用岩相学方法追踪陶器砂质包含物产地的良好条件,但是如果古代陶工采用骨头、陶渣或者稻壳等地域指向性不强的原料制作陶器,那么岩相学方法追踪陶器产地的效果就会大打折扣。同样,对于地质环境复杂,但陶器包含物属性特征一致的区域或不同区域的陶器,我们也只能通过尝试性分析得出的结论,进一步的调整或扩大化学成分分析的标本量,从而利用化学成分分析数据对标本进行区分。因此在正式的样品制样和分析之前,最好针对每个遗址、每个时期的每类陶器分别抽取一定比例进行尝试性分析。这样形成对研究区陶器特

征的初步结论和宏观把握,从而能在后续的分析中做到有的放矢。此外,根据尝试性的分析结果,还有机会在主体标本制样之前,对标本结构和数量进行调整,以此避免时间、精力和资金的浪费。

4.数据筛选和统计分析

综合性陶器产地分析最终获得的是两类可以对比验证的定性和定量化数据。其中定性数据主要来自于岩相学分析,包括对陶器胎体包含物、黏土基质、气孔的比例概述,包含物粒度、朝向、磨圆度、分选状况的说明,气孔形制和长轴朝向、胎体颜色和旋光性的描述等^[26]。这些特征不仅可以作为岩相学定量分析的参考,也能从生产技术层面对陶器的分组情况进行验证,更能直观地对比参考标本和分析标本。岩相学分析也可生成定量化数据,如对陶器包含物的点统计(Point-counting)^[27],具体包括各类包含物的比例、粒度分布,有时还要对胎体基质、气孔等组成部分的特征进行定量或半定量的统计分析。化学成分分析获得的主、次量和微量元素含量都是定量化的数据,但是不同的检测设备的精度不同,所能检测的元素数量也各有不同^[28]。以当前比较常用的X射线荧光光谱仪(XRF)为例,可以检测包括所有主元素在内的15~20种元素的含量,但是微量元素含量的检测下限仅在10~20ppm。电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)作为当前陶瓷成分分析最为精确的仪器之一,可以有效检测的元素类型高达30多种,检测精度可达1ppm,但是这种检测方法的样品制备过程相对复杂,检测成本也相对较高。

综合性陶器产地分析所获得的定量化数据种类繁多,但并非所有数据均适用于最终的陶器产地分析。根据前期研究经验,在岩相学分析数据中,陶器包含物粒度和分选特征相似的情况下,通常岩浆岩类包含物要比砂岩、泥岩等沉积岩类包含物更具有地域指向性;在同等条件下,岩屑颗粒要比单纯的矿物颗粒更能说明问题。对于化学元素分析数据,通常是根据检测设备和陶器的胎体特征确定分析的元素种类。如对于泥质陶和胎体包含物岩相特征较为一致的夹砂陶,在精确获得微量元素含量的条件下,微量元素表现出的地域指示性要比主次量元素都要强;而在陶器胎体岩相学特征异质性较强的情况下,对硅、铝、钙等主次量元素进行分析,并对比岩相学分析结果,则能得出更加可信的产地分析结论。此外,由于分析标本在制作、使用和埋藏过程中会

吸附或析出部分磷、钙等元素^[29],如生产过程中添加蚌壳等钙质龋合料,或者出土于古代厕所等磷元素富集的环境等情况下。因此在数据分析之初,最好对此类元素进行方差分析,同时结合出土环境和标本的岩相学特征确认其元素波动的原因,适当情况下,可以在分析过程中将这些元素剔除。

至于统计方法,同样采用常规的因子分析、聚类分析、判别分析和对应分析等^[30],在此不再详述。统计的内容,则要在预设问题的引导下,从时间和空间维度上对同时期同区域、同时期不同区域、同区域不同时期的陶器岩相和成分特征进行统计分析。同时,这些分析还可分为单纯的陶器标本分析,以及分析标本和参考标本的混合分析,单纯的岩相学或化学成分分析,岩相学和化学成分分析的混合分析^[31],等等。

5.解读数据,验证结论

对分析数据的解读,是陶器产地分析的关键一环,需要关注以下几点。

首先,分析标本检测数据(化学成分和岩相数据)的聚集是否指示着同一产地。在没有其他附加条件的情况下,任何单方面的证据都不是十分地充分。因为资源与环境相似的遗址或区域之间,在存在技术、文化交流的前提下,古人可能会采用相同的陶器原料配方和成型技术等^[32],从而使分析标本的微观成分呈现出汇聚的情况。但是在具备特殊的参考标本或区域内环境差异悬殊的前提下,以上分析标本的汇聚就有了同一产地的指示意义,如我们就曾根据鲁北地区特殊的地质环境,从岩相学视角对一类贵重陶器产地进行过科学的解读^[33]。

其次,参考标本与分析标本的汇聚是否表明产地的一致性。这一点同样包括两方面的内容,一是分析标本的岩相与成分数据都与具有明确产地的陶器类参考标本聚集;二是分析标本的岩相与成分数据相对应,且包含物岩相学特征与遗址或区域周边的地质环境标本(黏土、砂、石等)一致。其中前者成立的附加条件是,确保参考标本产地的唯一性,因为在生产原料和技术传统相似的区域,来自特定生产单位的参考标本实际上反映着周边区域内多个生产单位的产品信息,因此即便分析标本与参考标本的特征一致,也只是笼统地圈定了分析标本的大致来源,但不能指明其具体产地。至于后者,除非在分析标本和地质学参考标本中发现了区域指向性极强的“指纹信

息”,如陶片标本和地质学参考标本中均发现了在研究区内仅有一处出露点的辉长岩^[34],才能指明陶器标本的确切产地。否则,研究区内广泛存在的地质学参考标本与陶器分析标本的对应,也只能说明存在着陶器在区域内生产的可能性。

最后,值得注意的是,陶器是人类社会与自然资源融合的产物,其制作技术、器形、纹饰和功能等属性蕴含着特定时期人群的技术水平、经济形态和文化信仰等^[35]。这些属性特征在时空分布上的稳定性在一定程度上反映着其所承载的社会涵义的稳定性的。但是陶器属性和空间分布变化的原因却可能是多种社会、自然因素综合作用的结果。以由产地问题派生出的史前社会陶器的流通问题为例,以互惠、再分配、交换或远程贸易为代表的纯政治、经济行为,或者规模性人群迁移、持续性的跨区域人群流动等行为附带的陶器空间位置的变动,在考古遗存中均能呈现出陶器的流通现象。因此,在缺乏对陶器流通规模、区域互动相关的其他遗存、人群交流的性质等社会背景信息全面把握的前提下,要避免对陶器流通现象的性质进行简单化的解读。

(二)综合性陶器产地分析的实践

由岩相学和化学成分分析结合、互补而形成的综合性陶器产地分析方法,在实践中具有很强的可操作性,且在对丁公和周边遗址龙山文化陶器的产地分析研究中取得了良好的效果^[36]。

丁公和桐林、城子崖等遗址均以发现龙山文化城址而著名,且均处于历史上鲁北地区重要的交通要道一线^[37],丁公遗址本身还发现数座龙山文化陶窑^[38],周边遗址也均有大量各类陶器出土。制陶业作为史前重要的手工业分支,对其陶器产地及其与周边遗址的流通现象进行分析,对从社会经济层面反观古代社会复杂化进程问题具有重要意义。基于此,以丁公遗址为中心,在广泛搜集区域内制陶遗存及鲁北地区自然环境信息的基础上,我们提出了对研究问题的假设:丁公遗址龙山文化陶器为本地生产,且存在着日用陶器的大规模生产和交换。

接下来,基于问题的假设,以丁公遗址为重点,根据遗址规模、主要发展阶段、可用标本数量等因素,针对性地选取了桐林^[39]、城子崖^[40]、前埠和鲍家^[41]等不同等级遗址的陶器标本。而后等比例地抽取部分标本进行化学成分分析和岩相学分析标本的科学制样、试分析。试分析的结果表明化学成分分析和岩相学分析结果具有一致性,

并且在缺乏合适的参考样品的条件下仍有可能对研究的问题做出推测。于是对所有标本进行系统的岩相学和化学成分分析,并根据元素含量的有效性、岩相成分的地域指示性等因素对获得的数据进行筛选和统计。在经过对多种成分组合进行尝试性分析后,确定砂岩、火山岩、正长岩、碳酸盐颗粒,以及铝、硅元素含量与各遗址不同时期的陶器分组情况有较强的相关性。

在获得有关陶器的微观成分组合之后,如何对其进行合理的解释,是产地分析的重点和难点。从日用夹砂陶的岩相构成来看,鲁北地区多个遗址的标本中均包含一种颗粒圆润的碳酸盐岩类包含物,尤其是在丁公遗址,比例高达90%以上,且遗址周边存在此类包含物的源地。另外从生产技术层面来看,这类陶器中此类包含物在粒度、分选和含量等方面也表现一致。结合丁公遗址发现的集中分布的陶窑、海岱地区龙山文化时期手工业生产的专业化趋势、聚落分化特征,以及欧美国家盛行的古代手工业生产的政治经济学解释模式,我们很容易像前期问题假设的那样,认为丁公遗址是该区域一类陶器的生产中心,区域内存在此类陶器的规模化生产和流通现象。但这个假设很快被化学成分分析的结果所推翻。通过对夹砂陶中Al、Si、Ca以及数百个泥质陶标本中Rb、Sr、Nb等微量元素含量的对比分析,发现各个遗址的标本主体部分均相互独立汇聚,仅有少量标本存在遗址间的交叉分布,可见各个遗址存在着独自进行陶器生产的可能性。而鲁北地区的地质环境研究表明,泰沂山北麓广泛分布的石灰岩地质能为河流下游沿岸遗址的陶器生产提供此类原料。在龙山时代技术交流的推动下,不同遗址的陶工生产的陶器在包含物比例、类型甚至产品规格方面完全可以表现出相似的特征,此时各个遗址间陶器的差异只能通过黏土原料的化学成分进行区分。

而对于那些在化学元素上表现为遗址间交叉共存的夹砂陶标本,岩相学分析则能为追踪其具体产地提供有力的证据。它们在岩相学特征上表现为胎体包含物以中基性岩屑和铁镁质矿物为主,尤其是正长岩岩屑,作为追踪其产地的“指纹信息”,其在鲁北地区有限的出露点,将以其为包含物的陶器产地明确地指向了桐林遗址西南区域,而此类陶器在自桐林至丁公遗址一线的存在,表明了龙山文化时期该区域东西向的文化交流线路。此观点同样被该区域的白陶产地分析结

果所证明^[42]。另外,对于岩相学分析无能为力的泥质陶,其中在化学成分上表现为各个遗址的主体陶器标本集中分布,同时存在少部分遗址间标本交叉分布的情况。根据标本所属的遗址类型,可知当时此类陶器同样存在着各自独立生产、部分流通的现象,而且这种陶器的流通在高、低级聚落之间的方向并不单一。

总之,陶器是自然和人类社会各种因素融合的复杂产物,目前任何单一途径对其产地问题的探讨都有失偏颇。岩相和化学成分结合的综合性陶器产地分析方法,则能在很大程度上弥补单一分析方法的不足,同时能从微观技术、成分和宏观自然、考古背景相结合的角度为解读我国古代陶器手工业经济提供独特的研究范式。

- [1] Cathy L. Costin. The Use of Ethnoarchaeology for the Archaeological Study of Ceramic Production. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2000, 7(4):377-403.
- [2] a. 陆青玉、王芬、栾丰实等:《丁公及周边遗址龙山文化白陶的岩相和化学成分分析》,《考古》2019年第10期; b. 郁永彬、吴小红、崔剑锋等:《甘肃张掖西城驿遗址陶器的科技分析与研究》,《考古》2017年第7期; c. 邱平、王昌燧、张居中:《贾湖遗址出土古陶产地的初步研究》,《东南文化》2000年第11期。
- [3] Michael S. Tite. Pottery Production, Distribution, and Consumption— The Contribution of the Physical Sciences. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 1999, 6(3): 181-233.
- [4] David P. S. Peacock. Neolithic Pottery Production in Cornwall. *Antiquity*, 1969, 43(170):145-149.
- [5] Owen S. Rye. Pottery Technology: Principles and Reconstruction. Washington, DC: Taraxacum, 1981:52.
- [6] Isabelle C. Druc, Anne P. Underhill, Wang Fen, et al. A Preliminary Assessment of the Organization of Ceramic Production at Liangchengzhen, Rizhao, Shandong: Perspectives from Petrography. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2018, 18:222-238.
- [7] Marie-Agnes Courty, Valentine Roux. Identification of Wheel Throwing on the Basis of Ceramic Surface Features and Microfabrics. *Journal of Archaeological Science*, 1995, 22(1):17-50.
- [8] Michael S. Tite, Yannis Maniatis. Examination of Ancient Pottery Using the Scanning Electron Microscope. *Nature*, 1975, 257(5522):122-123.
- [9] Robert L. Folk. A Comparison Chart for Visual Percentage Estimation. *Journal of Sedimentary Research*, 1951, 21(1):32-33.
- [10] James B. Stoltman. A Quantitative Approach to the Petrographic Analysis of Ceramic Thin Sections. *American Antiquity*, 1989, 54(1):147-160.
- [11] James M. Blackman, Sophie Mery & Rita P. Wright. Production and Exchange of Ceramics on the Oman Peninsula from the Perspective of Hili. *Journal of Field Archaeology*, 1989, 16(1): 61-77.
- [12] James Cogswell. Hector Neff & Michael Glascock. The Effect of Firing Temperature on the Elemental Characterization of Pottery. *Journal of Archaeological Science*, 1996, 23(2):283-287.
- [13] Anne P. Underhill. *Craft Production and Social Change in Northern China*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002:36.
- [14] Hans Mommsen. Short Note: Provenancing of Pottery— The Need for an Integrated Approach? *Archaeometry*, 2004, 46(2):267-271.
- [15] Garman Harbottle. The Efficiencies and Error-rates of Euclidian and Mahalanobis Searches in Hypergeometries of Archaeological Ceramic Composition. In: E. Pernicka and G. A. Wagner (eds.), *Archaeometry' 90*, Berlin: Birkhäuser Verlag, 1991:413-424.
- [16] Hans Mommsen. Provenance Determination of Pottery by Trace Element Analysis: Problems, Solutions and Applications. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2001, 247(3):657-662.
- [17] a. Ian C. Freestone, Nigel D. Meeks & Andrew P. Middleton. Retention of Phosphate in Buried Ceramics: An Electron Microbeam Approach. *Archaeometry*, 1985, 27(2):161-77.
b. Alexander Schwedt, Hans Mommsen & Nikolaos Zacharias. Post-depositional Elemental Alterations in Pottery: Neutron Activation Analyses of Surface and Core Samples. *Archaeometry*, 2004, 46(1):85-101.
- [18] Hector Neff, Ronald L. Bishop & Edward V. Sayre. A Simulation Approach to the Problem of Tempering in Compositional Studies of Archaeological Ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 1988, 15(2):159-172.
- [19] a. 王芬、陈淑卿:《北阡遗址史前陶器化学成分和物性特征分析》,《东方考古》(第10集),科学出版社2013年; b. Robert J. Hoard, Michael J. O'Brien, Mohammad Ghazavy Khorasgany, et al. A Materials-Science Approach to Understanding Limestone-Tempered Pottery from the Midwestern United States. *Journal of Archaeological Science*, 1995, 22(6):823-832.
- [20] Ronald L. Bishop, Veleeta Canouts & Suzanne P. De Atley, et al. The Formation of Ceramic Analytical Groups:

- Hopi Pottery Production and Exchange, A.C. 1300–1600. *Journal of Field Archaeology*, 1988, 15(3): 317–337.
- [21]中国社会科学院考古研究所:《山东王因——新石器时代遗址发掘报告》,科学出版社2000年,第415页。
- [22]宋艳波:《北阡遗址2009、2011年度出土动物遗存初步分析》,《东方考古》(第10集),科学出版社2013年。
- [23]Isabelle C. Druc. What is Local? Looking at Ceramic Production in the Peruvian Highlands and Beyond. *Journal of Anthropological Research*, 2013, 69:485–513.
- [24]同[3]。
- [25]Andrew Middleton. Ceramic Petrography. *Revista Do Museu De Arqueologia E Etnologia*, 1997, 2:73–79.
- [26]陆青玉:《陶器岩相学分析方法及其在考古学研究中的应用》,《江汉考古》待刊。
- [27]同[10]。
- [28]同[3]。
- [29]同[17]b。
- [30]Robert D. Drennan. *Statistics for Archaeologists: A Common Sense Approach (2nd ed.)*. New York: Springer, 2010.
- [31]Mike J. Baxter, Christian C. Beardah & Ioulia Papageorgiou, et al. On Statistical Approaches to the Study of Ceramic Artefacts Using Geochemical and Petrographic Data. *Archaeometry*, 2010, 50(1):142–157.
- [32]Isabelle C. Druc. Ceramic Production in San Marcos Acateopan, Puebla, Mexico. *Ancient Mesoamerica*, 2000, 11(1):77–89.
- [33]同[2]a。
- [34]同[4]。
- [35]赵辉:《当今考古学的陶器研究》,《南方文物》2019年第1期。
- [36]a.同[2]a;b.陆青玉:《鲁北地区大汶口中晚期——龙山文化时期陶器的生产、流通和社会复杂化》,山东大学博士学位论文,2019年。
- [37]山东省文物考古研究所、北京大学考古文博学院:《临淄桐林遗址聚落形态研究考古报告》,《海岱考古》第5辑,科学出版社2012年。
- [38]a. 栾丰实、许宏、方辉:《山东邹平丁公遗址第二、三次发掘简报》,《考古》1992年第6期;b. 栾丰实、方辉、许宏:《山东邹平丁公遗址第四、五次发掘简报》,《考古》1993年第4期。
- [39]同[37]。
- [40]山东省文物考古研究院、北京大学考古文博学院:《济南市章丘区城子崖遗址2013–2015年发掘简报》,《考古》2019年第4期。
- [41]燕生东、魏成敏、党浩等:《桓台西南部龙山、晚商时期的聚落》,《东方考古》(第2集),科学出版社2006年。
- [42]同[2]a。

Comprehensive Provenance Analysis of Pottery: Methods and Practices

LU Qingyu WANG Fen LUAN Feng-shi

(School of History and Culture of Shandong University, Jinan, Shandong, 250100)

Abstract: Petrography and chemical composition analysis are the conventional methods for analyzing the provenance of archaeological pottery in Europe and America, each having its advantages and disadvantages. The comprehensive method combining the two methods can make up for the drawbacks of each single method. Special attention, however, is required in questions setting and specimen selection of the comprehensive analysis process. The comprehensive analysis, which combines micro examination of the technology and composition and macro investigation of the natural, archaeological backgrounds, provides a unique research paradigm for studying the pottery industry in ancient China.

Key words: pottery; petrographic analysis; chemical composition analysis; function; disadvantage; comprehensive provenance analysis

(责任编辑:黄苑;校对:朱国平)