

◎本报记者 陆成宽

科学家让泥芯“开口” 讲述青铜器产地故事

青铜器是中华民族文化的瑰宝，以其独特的器型、精美的纹饰、典雅的铭文揭示了中华民族的铸造工艺、文化水平和历史渊源。

长期以来，关于青铜器矿料来源的研究已经取得丰硕成果，但是青铜器铸造地的研究却进展缓慢。

1月9日，记者从中国科学院古脊椎动物与古人类研究所获悉，该所和中国科学院大学的研究人员，利用现代科技手段，在古代青铜器铸造地研究上取得重要进展。他们发现，古麇地即湖北省十堰市郧阳区乔家院墓地出土的青铜器，可能是楚国铸造的。相关研究成果在线发表于《考古学与人类学科学》杂志上。

残留泥芯可能包含青铜器“出生地”信息

铸造地与矿料来源是青铜器生产链条中非常重要的两个环节。铸造一件青铜器所用的金属原料，比如铜锭、锡锭及铅锭等，应当来自古代各金属矿山，而现已发现的铸铜作坊遗址多在古代城市遗址附近、远离古矿冶遗址。这说明青铜器的铸造地与矿源是不同的。

关于青铜器铸造地的研究，人们长期采用考古器型学的研究方法。也就是通过系统研究青铜器的器型、纹饰和铭文等，总结出不同地区的典型风格特征，并以此为标准，判断青铜器的产地。但是这种研究方法与研究人员的知识积累、经验等有着密切的关系，受研究人员的主观因素影响较大。且有时风格相同的器物也存在来自不同产地的可能。

近年来，铅同位素及微量元素分析方法在古代青铜器研究中备受关注，业已取得丰硕的研究成果。“然而，青铜器本身的铅同位素和微量元素数据，主要反映的是青铜器矿料来源的信息，而不是青铜器的加工铸造地信息。毋庸讳言，利用现代科技手段开展青铜器铸造地研究，至今仍然是科技考古学中的一个难题。”中国科学院大学人文学院考古学与人类学系副教授罗武干告诉科技日报记者。

和美索不达米亚、埃及等地以失蜡法

为主的铸造工艺不同，陶范法是夏商周三代青铜铸造技术的主流，它伴随着我国青铜文化的始终。采用陶范法铸造青铜器时，要经过制模、翻范、制芯、合范浇铸等工序，器物铸造完成后，泥芯常被封闭或半封闭在器物里，一般不再取出，从而残留于出土青铜器的耳、鬲、足等部位。

更重要的是，这种泥芯一般都是在铸造地就地选土。“因此，青铜器中残留的泥芯很可能包含着铸造地信息。”罗武干说，一件青铜器的出土地不一定是其铸造地，通过对古代青铜器内残存泥芯的科技分析，即可判断其铸造地。



郧县乔家院墓地出土的青铜器
受访者供图



我们判定乔家院墓地青铜器泥芯的原料很可能来自南方红土区域，且与盘龙城及左塚泥芯具有同源性。考虑到盘龙城及左塚所在地属于楚国中心区域，据此推测此批青铜器系在楚地铸造后输入古麇地，这从另一角度讲述了麇国为楚所灭的历史。

罗武干

中国科学院大学人文学院考古学与人类学系副教授

用科技手段破解青铜器铸造地研究难题

目前，现代科技手段在古代青铜器铸造地研究中已得到了广泛应用，破解了青铜器铸造地研究的难题。其中最常规的方法是利用X射线衍射分析、岩相分析等方法对古代青铜器内残存泥芯进行物相及微观结构分析。

同时，也可以利用波长色散X射线荧光光谱分析、原子发射光谱分析及中子活化分析等方法对泥芯的主量元素、微量元素组成及稀土元素特征进行分析。另外，更为巧妙的是，还可以利用植硅体分析技

术揭示古代泥芯中的植硅体种类及其组合特征。

比如，对泥芯中主量元素进行分析时，研究人员主要采用波长色散X射线荧光光谱分析法。“这种分析是利用X射线与物质产生的X射线荧光而进行的元素分析方法，采用探测器检测特征X射线荧光的能量和强度，从而实现定性和定量分析。”中国科学院古脊椎动物与古人类研究所博士生马丁说，X射线荧光光谱分析具有快速、多元素分析、制样简单、重现性好、准确度高、非破坏性和对环境无污染等特点。

目前，研究人员已初步建立了古代青铜器铸造地研究的方法，青铜器泥芯科技分析数据库也已初具规模。

青铜器泥芯科技分析数据库的建设，是古代青铜器铸造地研究非常重要而基础性的工作。“目前，我们分别建立了河南安阳殷墟商代铸铜遗址、安阳任家庄商代铸铜遗址、陕西扶风李家西周铸铜遗址及侯马铸铜遗址、郑韩故城遗址等地出土的古代陶范科技分析数据库。”罗武干说。

研究人员还对湖北武汉盘龙城遗址、左塚楚墓、乔家院墓地、九连墩楚墓及河南南阳夏馆铺墓地等地出土的青铜器中的泥芯进行了系统分析。

青铜器“户口”可反映当时贸易文化情况

一般来说，不同地域的地质背景、土壤条件和植被状况或多或少都会有差异，而这些差异都隐藏在黏土、草木灰等制范原料中。比如，前人的分析结果就表明，北方黄土含有较高的钙、镁、钠等元素，而南方红土中钙、镁、钠等含量则非常低，两者在主量元素上的差别非常显著。

基于此，在罗武干的指导下，马丁系统分析了在古麇地即湖北省十堰市郧阳区乔家院墓地出土青铜器泥芯中的主量元素、微量元素及稀土元素特征。结果表明，乔家院墓地青铜器泥芯的元素特征与南方红土相似，而明显异于北方黄土的地球化学特征。

同时，在稀土元素地球化学特征上，乔家院墓地出土青铜器的泥芯与山西侯马出土的东周铸铜陶范、陕西省宝鸡市扶风县出土的西周铸铜陶范等差异较为明显，更接近楚国即湖北武汉盘龙城及荆门市左塚楚墓出土的泥芯。

“因此，我们判定乔家院墓地青铜器泥芯的原料很可能来自南方红土区域，且与盘龙城及左塚泥芯具有同源性。”罗武干说，考虑到盘龙城及左塚所在地属于楚国中心区域，推测此批青铜器系在楚地铸造后输入古麇地，从另一角度讲述了麇国为楚所灭的历史。

此前，罗武干课题组还与河南省南阳市文物考古研究所合作，分析了南阳夏馆铺鄂国墓地出土青铜器的产地，结果表明此批青铜器系在鄂国当地铸造而成，但其使用了来自其他区域的金属原料。相关成果发表在《微量化学杂志》。

或许有人会问，弄清青铜器的铸造地和原料来源有什么意义？

在罗武干看来，通过青铜器产地与矿源的研究，可以了解青铜时代人类贸易、迁徙和文化交流路线，以及对矿产资源的开发利用、再分配及不同文明的交流与互动等情况，在青铜时代历史研究中具有极其重要的学术价值。

在现代“发现”恐龙

——读《邢立达恐龙手记》

字里行间

◎林 颀

说起恐龙，我们马上能联想到电影《侏罗纪公园》。这部影片为何如此深入人心呢？

邢立达说，这是由于《侏罗纪公园》的原著作者迈克尔·克莱顿大胆地把故事构筑在当时最新的科研动态：古老琥珀样本中发现的史前动物、古遗传学、DNA(脱氧核糖核酸)拼接复原；导演斯皮尔伯格更是固化了数代人对于恐龙的想象——蜥蜴般的粗糙外皮和鳞片、从棕到绿的暗淡颜色、惊人的体型、可怕的破坏力……这部电影颠覆了恐龙愚蠢、缓慢、冷血的传统形象。

可见，《侏罗纪公园》的成功，最重要的原因就是在古生物学研究成果的基础上，进行了艺术的合理创造。恐龙的魅力超乎寻常，它们能勾起一些小朋友的好奇心，让他们从此萌发成为古生物学家的理想。邢立达就是其中一员，长大后，他成了一名专门追踪恐龙的“猎人”。

《邢立达恐龙手记》系列包括3部作品——足迹篇、琥珀篇和特别篇，是邢立达数十年研究生涯，一路成长、发现、探索的全记录。足迹篇和琥珀篇，讲述科研经历，行文晓畅，语言生动；特别篇，好似正剧番外，邢立达与宋小明合作创作的“萌萌哒”趣味故事，适合儿童阅读。

邢立达是狡黠的、聪明的。周游琥珀市场时，他能敏锐地做出判断，发现被当作一般品类的宝贝，不动声色地捡漏，仿佛古玩江湖的行家。有时候，他化身“大侦探”，围绕岩石上的恐龙足迹、痕迹、推导，千方百计弄清“死者”的身份，这个过程与福尔摩斯探案不遑多让。

邢立达是大胆的、勇敢的。为了一点点线索，赶赴世界各地，劳碌奔波，甚至遭遇生命危险，书中不乏惊心动魄的时刻。为了观察岩壁上的恐龙足迹，邢立达等人小心翼翼地悬挂在空中，但凡稍有疏忽或者防护失当，就可能由于大风等气候或其他因素导致意外发生。有一次，邢立达和向导深入缅甸野人山琥珀矿区，途中遇到少数民族地方武

装士兵的临检，幸好他急中生智，冒充哑巴，逃过一劫。

这套手记真实有趣，除了科学家的经历之外，书里用图片直接展示的各类琥珀化石、恐龙足迹以及复原图，也很吸引人。

霸王龙、三角龙、小盗龙……我们耳熟能详的这些恐龙都亮相书中。此外，那些大众尚且陌生的、较新的发现，更让人新奇激动。比如，中华龙鸟。

中华龙鸟在1996年发现于中国辽西的早白垩纪地层，最初的发现者、中国地质博物馆馆长季强及其团队误认为其骨骼属于鸟类而将其命名为“中华龙鸟”。后来，经陈丕基、董枝明等学者细致研究后断定其骨骼属于美颌龙类。这只恐龙带有原始丝状羽毛，也就是说，恐龙长有羽毛，龙与鸟的界限一下子模糊起来。

长着羽毛的中华龙鸟为什么重要？因为这意味着这些恐龙正是鸟类的祖先类型。这个发现引发了恐龙学的新一轮复兴。还有一些动物实际上并不是恐龙却被习惯性地叫作“恐龙”。比如鱼龙是一种体型类似鱼和海豚的大型水生爬行动物；齿龙龙外形像蜥蜴，但属于类哺乳类爬行动物……

所以，研究恐龙，必须考察生物进化的各种表现，探究造成这些变化的原因、演化过程和条件等。研究恐龙并不只是局限于恐龙，更要着眼于生物进化的整体范畴。恐龙学，是一门重要的学科。



作者：邢立达
出版社：中信出版集团
出版时间：2020年10月

将数学运用于战争的“炮兵专员”

大师往事

◎武夷山

贝尔纳·福雷斯特·德·贝利多(Bernard Forest de Bélidor, 1698—1761年)是法国军事工程师和土木工程师，也是一部水力学经典著作的作者。人们公认贝利多在技术史上的地位较为重要，但其生平资料却十分稀缺。意大利佛罗伦萨大学人文系副教授路易吉·特拉埃塔(Luigi Traetta)花费大量心血爬梳资料，在《历史研究进展》季刊2020年第2期发表文章《贝尔纳·福雷斯特·德·贝利多：工程师、手册编制者和机械史学家》，给我们提供了关于贝利多的较多信息。

贝利多1698年生于西班牙的加泰罗尼亚，不到半岁的时候父母就去世了，也因此成了孤儿。其教父、炮兵军官德·佛西埃和妻子成了他的养父母，将他抚养长大。养母有个兄弟是工程师，他引导小贝利多喜欢上数学。长大后，贝利多参加了军，参与了攻打两个城市的军事行动，亲身感受到了数学与实践的关联——数学在炮兵运用、军事工程、堡垒构建、土地的地形表现等各方面有着广泛运用。

贝利多与法国天文学家暨制图师卡西尼三世等名流合作，参与了划定巴黎子午线的工作。由于这段经历，他与一些王公贵族逐渐熟悉了起来，于是贝利多被任命为法国贝利多炮兵学校的数学教授。在这里，他对弹道学进行了深入研究。

贝利多一生中撰写了好几部重要著作，涉及工程学、炮兵运用、弹道学、防御工事构建等。不过，他在科技界的名声主要来自1737—1753年他完成的四卷著作《水力建筑》(Architecture hydraulique)，该书涉及工程学、磨坊与水轮、水泵、港口、海事工程等主题。

1720年，贝利多发表了首部著作《军事、民用及水力建筑课程提要》。1725年，他发表了第一部影响较大的著作《数学新课程》。该书具有科普性质，旨在“使数学有趣”，尤其是应用于“工程和炮兵领域”的数学有趣，但也包含了一些超出人们一般认

识范围的数学内容，比如该书讨论了一些用于军事(比如堡垒构建、炮兵运用、武器弹药船运等)的复杂机器，还对水泵的发展史及工作原理进行了非常详细的描述。他认为，由于水力资源是当时除了人力畜力之外唯一可供利用的能源，那么将水泵的工作原理研究透彻，努力提高其工效就至关重要。该书在国内外给贝利多带来了巨大的名声，使他获得了“炮兵专员”的头衔。早在1726年11月，即28岁的时候，他就当选为英国皇家学会会员。

1729年，他发表了著作《工程师的科学》。该书继续了对军事建筑的探讨，也开拓了一些新主题，例如构筑堡垒工事时该如何选用合适的材料、用于确定付给参与各种工程建设任务的劳工之合适薪酬的数学模型。此外，贝利多还是第一个将积分学付诸实际应用的人。

1731年，贝利多发表了《弗朗索瓦炮手》一书，该书后来成为法国所有炮兵学校的正式操作手册。

1733年，法国战争部长任命贝利多起草法国外交政策指南的秘密委员会成员。1737年，贝利多发表了《水力建筑》第一卷(1750和1753年分别发表了第二卷和第三卷)。在此期间，他与炮兵大团长就弹药最优装填量的计算方法产生了争执。传统理论认为，火药装填量越大，射程越远。贝利多发现，射程并非与火药装填量成正比，传统理论是错误的。炮兵大团长对这个结论勃然大怒，结果贝利多被解除了所有相关职务。很多国家闻讯后，都争相聘用这位在法国失势的人才，但他忠于法国，拒绝了所有邀请。1742年，他才被重新启用。

1756年3月31日，他成为巴黎科学院院士。1758年，他成为皇家巴黎兵工厂督察(这个职务他一直担任到去世)。1759年，他成为法国皇家工兵军团总督察。也是在1759年，在他61岁的时候，或许是为了表达对养父母一家的感激，他迎娶了养父母的女儿为妻，这样他的可观资产将使妻子在未来受益。由于遭受了一次中风的打击，加之工兵军团总督察的工作很劳累，贝利多于1761年9月8日病逝于巴黎。



视觉中国供图

皇家书库的防火之道

博览会

◎周 乾

紫禁城文华殿区域的北侧，有一座二层楼的皇家书库，名为文渊阁。文渊阁建于清乾隆四十一年(1776年)，是藏储第一份告成《四库全书》的场所。乾隆帝对防火极其重视，下令模仿从未遭受火患的宁波范氏天一阁来建造文渊阁。建成后的文渊阁是古代防火文化与古代防火科学的集中体现。

文渊阁的建筑布局与防火理念密切相关。从外部看，文渊阁开间数量为阴数(双数)六；从内部看，文渊阁二层为贯通的一字形大空间。需要说明的是，开间是指沿着古建筑长度方向上的两根立柱之间的空间。南宋文人丁易东所撰《周易象义》卷十四载有“天一生水，地六成之”，即认为天数为一，地数为六。乾隆帝认为，文渊阁的建筑布局包括数字一、六，因而可以防火。

此外，我国古代宫殿建筑一般以正中的开间作为皇帝的宝座位置，以突出皇帝核心地位。紫禁城古建筑的开间数量一般都是阳数(单数)，匾额所在的开间处于正中位置，匾额两侧的建筑开间数量及总尺寸完全相同。作为紫禁城古建筑的特例，文渊阁的开间数量为阴数，匾额两侧的建筑开间数量无法相等。为满足“皇权至上”的建筑需求，聪明的古代工匠采用了“五奇

六偶”的布局方式，即文渊阁匾额所处开间仍处于建筑正中，匾额两侧的建筑开间数量不相等，东侧为两间，西侧为三间，但紧靠西墙的开间尺寸很小，为上下二层的楼梯通道。这样一来，匾额两侧的建筑开间总尺寸相同，皇帝的宝座仍位于建筑的正中间位置。

文渊阁采用了黑色的瓦顶，以用于“克火”。古人认为物体表面被刷成黑色时，可以防止火灾发生，其理论基础即五行相克。“水克火”即为五行相克的表现形式之一。

文渊阁不仅在名称上有包含水的“渊”，其建筑纹饰与水也有着密切的关系，可反映乾隆帝希望通过“水”达到“克火”的意愿。如文渊阁建筑外檐的彩画内容包含“游龙负书”及“海马负书”。其中，“游龙负书”绘制的是祥云之上蜿蜒前行的游龙，龙身驮有卷帙。“海马负书”绘制的是一头在汹涌波涛大海中奔腾的马，马背上驮有书匣。马之所以在水中奔腾，其目的就是为了防火。此外，文渊阁顶棚、额枋等位置还绘制了以荷花、水草为图案主题的金莲水草纹饰。这些水生植物被古人认为是“克火”的镇物。

从科学角度分析，我国古建筑防火的有效做法主要是远离火源，或者在建筑表面涂有阻燃材料。文渊阁采用“特殊数字”的建筑布局，专饰“黑色”的瓦顶及建筑构件表面与“水”相关图纹，以及使用含“水”的匾额名称，均缺乏防火的科学依据，因而并无实际

应用价值，仅仅是一种象征手法。

当然，文渊阁的防火措施也有科学的内容。如乾隆帝下令建造文渊阁时，特地选址在文华殿区域的内金水河河北岸。这种建筑布局方式有利于防火。由于文渊阁北部为开阔的空间场地(无火源隐患)，南部与文华殿隔着内金水河，因此若文华殿区域发生火患，由于内金水河的阻隔，火势无法蔓延到文渊阁，因而保证了文渊阁的安全。不仅如此，内金水河还提供了丰富的水源，一旦文渊阁遭受火患时，救火人员可以就近取水灭火。事实上，在紫禁城建成的600年间，内



文渊阁全景

故宫博物院供图