

# 青铜器铅料考古研究： 或揭示战国时期东北亚地区金属贸易网络

文化中国行  
科技赋能典型案例

◎本报记者 张盖伦

高放射性成因铅是一种在我国古代青铜器中发现的特殊同位素特征。如今,它成为揭开千年迷雾、重绘战国时期东北亚地区金属贸易网络的关键。

近日,中国人民大学历史学院、中国科学技术大学科技考古实验室、山东省济南市考古研究院等5家单位联合在《考古科学杂志》上发表论文,创新性提出日韩早期青铜器中的高放射性成因铅或来自我国山东。

而此前几十年,学界主流观点均认为,这批铅料来自韩国东南部。一批在山东新发现的青铜器,11个采集的方铅矿石,成为挑战这一观点的关键证据。

铅有四种稳定同位素,分别为<sup>204</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb和<sup>208</sup>Pb。其中,<sup>206</sup>Pb自地球形成以来就没有变化,其他三种同位素则由铀、钍等同位素衰变而来。根据后三种同位素与<sup>206</sup>Pb的比值高低,可将地球上的铅划分为高放射性成因铅和普通铅。

上世纪80年代,我国学者金正耀发现,殷墟青铜器中大量存在高放射性

成因铅,这也意味着铅同位素考古在我国诞生。

这种铅大量存在于商代的青铜器和冶炼遗物中。随后,它们又神秘地消失了,似乎只是商代青铜器的一个特有标志。

2019年,中国人民大学历史学院吴晓桐博士团队和山东省济南市考古研究院合作,对济南梁二村战国中期贵族墓葬出土青铜器开展研究。

他们测量了这批青铜器的铅同位素。“我们马上发现,<sup>206</sup>Pb和<sup>207</sup>Pb的比值很特殊,它太高了。”吴晓桐还特意找测试团队确认,怕“弄错了”。

结果,40余件青铜器中,近一半都具有曾在商代青铜器中发现的特征——存在高放射性成因铅!

这让团队兴奋了起来。

随后,团队又对山东临淄、平度、邹城等地的战国青铜器和冶炼遗物进行了系统采样和分析。他们发现,该地战国早期青铜器的铅同位素特征与同时期中原地区青铜器并无明显差异,但已经零星出现高放射性成因铅铜器。到了战国中期,高放射性成因铅铜器数量显著增多,且这种变化并不见于山东以外地区。

团队推测,这些特殊矿料应该就在山东本地。

地质学家对山东铅矿的研究并不多。和山东地质研究院沟通后,团队得

知,在山东沂蒙山区,确实有人发现过一些不明年代的古老矿洞。

老矿洞,藏着揭开高放射性成因铅身世之谜的密码。

2022—2024年,研究团队5次赴山东五莲、沂水、淄川、安丘和莱芜等地调查铜铅矿。

2023年,研究团队在山东省沂水县高庄镇西良村走访时,找到了2个已经废弃封填的古老矿洞。他们在洞口采集到剩余的矿石,利用随身携带的手持式X射线荧光光谱仪,现场测试为方铅矿,并采集了11件铅矿作为样本。

“我们只想带着回去,再一步步研究。”吴晓桐说,但结果令人惊喜——这一批样本呈现出了高放射性成因铅特征!

这是首次在山东发现高放射性成因铅铜矿。

进一步的数据分析表明,样本铅同位素比值与山东高放射性成因铅铜器在铅同位素图上存在22.9亿年的等时线关系,表明青铜器中的铅和铅矿是“同源”的,这些放射性成因铅源区年龄为公元前(距今约25亿年到距今16亿年期间)早期。

山东这批战国时期青铜器中高放射性铅的来源,基本得以确定。

然后,团队开始重新思考日韩青铜器中高放射性成因铅究竟从何而来。

青铜业在东北亚和东南亚的建立和发展在不同程度上均受到中国的影

响。日本学者早已发现,该国公元前4世纪至公元前2世纪的细形铜器中普遍含有高放射性成因铅。他们认为,这批铅料应该来源于朝鲜半岛铅矿。此前,我国环渤海地区长期缺乏战国中晚期至西汉早期的青铜器铅同位素数据,学者也否定了青铜器铅料从中国而来的可能性。“这是80年代以来持续40余年的主流学界观点。”吴晓桐说。

但是朝鲜半岛南部的高放射性成因铅与日韩细形铜器的铅同位素相关数值并不能完全对上。

拿到新的、来自山东的数据后,团队将其与日韩同时期青铜器进行了对比——日韩青铜器和山东青铜器及西良铅矿的铅同位素和铅同位素比值都处于同一直线上!这表明了它们的同源性,而且,这种同源性比韩国南部铅矿的更高——它们“本是同根生”。

在考古学家的一步步求索下,在铅同位素沉默却有力的验证下,一幅拼图终于完整呈现。团队可以更为自信地给出这个挑战主流观点的结论——日本和韩国发现的公元前4世纪至公元前2世纪的高放射性成因铅并非来自于朝鲜半岛,更可能来自于中国山东。这一结论,对当年中日韩的金属贸易网络提供了一个新的独特视角。

“同位素考古可以讲出许多故事,我们还要进一步破译这些故事。”吴晓桐说。



## 湖北黄石1000千伏 特高压变电站建设正酣

科技日报讯(记者吴纯新 通讯员祝科 李季)8月22日,在湖北黄石市阳新县1000千伏特高压变电站及配套线路工程施工现场,500余名施工人员顶着39摄氏度的高温天气,正紧张有序地开展主变压器高压套管安装和导线展放工作,力争在10月建成投运该工程,以提升湖北电网供电能力。该变电站于2023年6月正式开工,是武汉—南昌特高压工程的重要组成部分,也是华中“日”字形特高压交流环网工程的收官站。

图为施工现场。受访单位供图

## “八桂大地展新颜”集中采访活动启动

铸牢共同体 中华一家亲

科技日报讯(徐庆群 记者刘昊 李林旭 周思同)8月24日,“铸牢共同体 中华一家亲”主题宣传“八桂大地展新颜”集中采访活动在广西民族博物馆拉开帷幕。

广西是我国少数民族人口最多

的自治区,全区总人口5700多万,其中少数民族人口2200万,有壮、汉、瑶、苗、侗、仫佬、毛南、回、京、彝、水、仡佬等12个世居民族和其他44个民族,以及12个自治县、3个享受自治县待遇县和59个民族乡。在漫长的历史发展过程中,广西各族人民

深度交往交流交融,“同顶一片天、同耕一垌田、同饮一江水、同建

一家园”,守望相助、亲如一家,民族关系十分融洽。

在为期6天的集中采访中,由30家中央和地方主要新闻媒体、行业媒体的120多名编辑记者组成的采访团,将分为南北两条路线,深入挖掘广西贯彻民族区域自治制度,建设中华民族共有精神家园,共同富裕幸福家园、守望相助和谐家园、宜居康寿美丽

## “市场准入十条”出台

# 完善准入制度 激发市场活力

◎本报记者 刘园园

日前,由中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于完善市场准入制度的意见》(以下简称《意见》)正式发布。这是中央层面首次专门就完善市场准入制度出台的政策文件,被称为“市场准入十条”。

《意见》释放了哪些重要信号?国家发展改革委经济研究所副所长郭丽岩认为,其重要时代特征,就是完善与

新质生产力更相适应的公平准入制度体系。

### 优化新业态新领域市场准入环境

新一轮科技革命与产业变革深刻交织,传统的市场准入规则、准入体系、监管方式难以直接应用于新业态新领域,迫切需要进一步创新体制机制,促

进新业态新领域更好更快发展。

《意见》提出,优化新业态新领域市场准入环境。聚焦深海、航天、航空、生命健康、新型能源、人工智能、自主可信计算、信息安全、智慧轨道交通、现代种业等新业态新领域,按照标准引领、场景开放、市场推动、产业聚集、体系升级的原则和路径,分领域制定优化市场环境实施方案,推动生产要素创新性配置,提高准入效率。

“完善市场准入制度,是推动有效市场和有为政府更好结合的关键。”郭丽岩表示,优化新业态新领域市场准入环境,有利于充分释放经营主体活力,推动加快发展新质生产力。

### 加速推动创新资源向现实生产力转化

一直以来,如何使超大规模市场资源加速转变为现实生产力,是科技创新和产业发展面临的痛点和难点。郭丽

岩分析,以加快形成新质生产力为导向,完善市场准入制度,正是瞄准这一痛点的务实举措。

《意见》明确,用好先进技术应用推进中心和各类科技成果转化等创新平台,畅通产业体系、创新资源、资本要素、应用场景、制度政策等,因地制宜加快发展新质生产力。实施前沿技术领域创新成果应用转化市场准入环境建设行动,率先推动海陆空空间智能无人体系应用和标准建设,加快构建绿色能源等领域准入政策体系,积极扩大数字产品市场准入。选取电子信息、计算科学、深海、航空航天、新能源、新材料、生物医药、量子科技、现代种业等领域,推动重点企业、研究机构等创新单元和有关单位建立相关领域全球前沿科学研究协同模式,积极参与国际市场准入规则和标准制定,推动重点领域创新成果便捷高效应用。

郭丽岩表示,《意见》能够为科技成

家、边疆稳定平安家园等“五个家园”,开展新时代兴边富民行动;在聚焦广西民族团结之美、社会和谐之美的同时,还将展示新时代广西改革开放、特色产业、乡村振兴、文旅经济等高质量发展新形象。

“希望通过这次采访,大家对广西的悠久历史与辉煌文化以及广西各民族共同团结奋斗、共同繁荣发展的伟大成就,有一个比较全面系统的了解,共同讲好广西加快推进铸牢中华民族共同体意识示范区建设的生动故事。”广西民族大学民族研究中心主任李富强表示。

果转化最大限度地松绑解缚,从而有助于新技术新产品加快研发、最终闯过“死亡之谷”,并在全过程汇聚和吸引更多耐心资本。

### 加大放宽市场准入试点力度

《意见》鼓励锐意创新、先行先试,着力推进制度创新,使准入规则更加科学合理、管理模式更加规范统一。

《意见》提出,加大放宽市场准入试点力度。围绕战略性新兴产业、未来产业重点领域和重大生产力布局,以法规政策、技术标准、检测认证、数据体系为抓手,更好促进新技术新产品应用,选择重点地区开展放宽市场准入试点,分批制定和推出放宽市场准入特别措施。抓好已部署的放宽市场准入特别措施落地实施,做好政策评估。

郭丽岩认为,我国已经分批制定和推出了针对若干重大战略区域放宽市场准入的特别措施,这些特别措施具有先行先试、改革探索的特色,要抓好已出台措施落实和效果评估,具备推广复制条件的,加快在全国更大范围推广应用,从而为进一步放宽和规范市场准入提供有力支撑。

◎本报记者 刘垠

国家税务总局最新增值税发票数据显示,在国家鼓励、地方政府支持等多因素带动下,4月至7月,全国企业设备更新稳步推进,工业企业设备更新增速提升,新质生产力领域投入力度加大;消费品以旧换新政策效果显现,汽车、家电、家装厨卫、智能产品等消费形势总体较好。

从3月国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》,到7月国家发展改革委、财政部联合发布《关于加力支持大规模设备更新和消费品以旧换新的若干措施》,支持“两新”的政策措施不断扩围加力,政策红利逐步释放。

### 大规模设备更新效果显现

增值税发票数据显示,4月至7月,全国企业采购机械设备类金额同比增长6.4%。

值得关注的是,工业企业设备更新增速提升,信息、科技行业设备更新投入力度加大,交通、教育、文体娱乐行业设备更新进度较前期加快。4月至7月,信息传输软件和信息技术服务业、科学研究和技术服务业采购机械设备类金额同比分别增长17.5%和20.4%,增速较3月份分别提升15.8%和11个百分点,反映了新质生产力领域投入力度加大。

“此次大规模设备更新为推动企业技术变革和产业升级创造了条件。今年我们已安排3.8亿元资金,用于购置新的智能化、绿色化高端设备。”中国一重集团有限公司战略规划与投资部总经理李志杰表示,企业智能化改造后,产品不良品率明显下降,减少了生产过程中的能耗和浪费,整体产能提升10%。

在位于重庆市潼南区的重庆民丰化工有限责任公司车间内,从钢铁厂中提取铬盐的生产线正有序作业。“今年上半年,我们投入5000万元购进转底炉等设备,投入使用后预计铬利用率将从60%提升到90%。”该公司财务负责人杨利娟表示,7月,公司享受上半年研发费用加计扣除额1860余万元,减轻了资金压力。

### 以旧换新有效释放消费潜力

随着一系列推动消费品以旧换新政策的落地实施,居民消费意愿不断增强,消费潜力逐步释放。

在新能源汽车销售增长明显、二手车销量提速的同时,家电产品销售明显好转,家具、装修材料等家居产品销售整体向好,带动相关制造业销售增长。与此同时,智能消费产品延续较好增长态势。

增值税发票数据显示,4月至7月,可穿戴智能设备、智能车载设备制造业销售收入同比分别增长35.2%和3.4%,扫地机器人等服务消费机器人制造业销售收入同比增长15.1%。

不仅是智能制造业销售走高,传统家具、家电制造业也向高端化、智能化迈进。4月至7月,家具制造业、电视及音响视听设备制造业购进智能设备同比分别增长32.4%和66.7%。

深圳市冠旭电子股份有限公司是一家专注于智能耳机、智能音箱等终端产品的高新技术企业。今年前7个月,该公司销售额同比增长约19.52%。“得益于以旧换新政策推动,我们的智能耳机受到了越来越多人的青睐。”冠旭电子销售总监耿锡年说,“只有不断地创新,才能进一步拓展市场,税收优惠政策增强了我们的创新动力。”

国家税务总局税收科学研究所副所长李平表示,推动大规模设备更新和消费品以旧换新,是加快构建新发展格局、推动高质量发展的重要举措。税务部门发布的数据表明,国家推出的支持大规模设备更新和消费品以旧换新的政策措施正在逐步释放,企业设备更新力度不断加大,消费品以旧换新进展积极,相关行业销售持续增长,有效促进了先进设备生产应用,推动先进产能比重持续提升,推动高质量耐用消费品更多进入居民生活。

## 竹材“变身”高强度、耐水、可降解塑料

科技日报北京8月25日电(记者马爱平)记者25日从国家林业和草原局竹子研究开发中心(以下简称“竹子中心”)获悉,该中心以竹代塑创新团队利用竹材细胞壁定向活化与高压技术,成功将竹材直接加工成高强度、耐水以及可降解的全竹热固性塑料异形产品。相关研究成果日前发表在《美国化学学会纳米》上。

竹子因其生长快速、可再生、可生物降解及环境友好的特性,被视为有潜力替代石油基塑料的材料。然而,竹材自身的结合能力较弱,往往需要与胶粘剂或其他材料复合使用,这可能会带来空气污染的风险。此外,与石油基塑料相比,竹材的天然可塑性较差,在成型过程中需要依赖水热处

理进行软化和定型,这在一定程度上限制了其应用范围。

“本研究采用了一种创新策略,通过结合亚氯酸钠和醋酸的选择性作用,实现了对竹材中部分木质素的有效去除。同时,利用高碘酸钠对糖单元进行定向醛基化处理,成功地对竹材细胞壁的结构与组分进行了定向重构。这一重构过程不仅显著增强了竹材单元的反应活性,还大幅提升了其可塑性。”论文第一作者、竹子中心助理研究员郭登康告诉科技日报记者,在此基础上,通过热压致密化工艺,团队成功地将处理后的竹材直接转化为热固性塑料产品。这种创新的全竹热固性塑料展现出了与聚苯乙烯、酚醛树脂和聚氯乙烯等硬质塑料相媲美的卓越力学性能。

## 我国新型储能累计装机超100吉瓦时

科技日报苏州8月25日电(记者吴叶凡)25日,记者从中关村储能产业技术联盟召开的CNESA DataLink 2024上半年储能数据发布会上获悉,据该机构统计,截至2024年6月底,中国已投运电力储能项目累计装机首次超过百吉瓦,达到103.3吉瓦,同比增长47%;其中新型储能累计装机首次超过百吉瓦时,达到48.18吉瓦/107.86吉瓦时,功率规模同比增长129%,能量规模同比增长142%。

中关村储能产业技术联盟理事长陈海生介绍,从规模等级上看,新增新型储能项目中,百兆瓦级项目数量增速明显,50余个百兆瓦级项目相继投运,同比增长30%。规划和建设中的百兆瓦级项目数量已超过去年全年水

平,以100—500兆瓦项目数最多。从技术分布上看,磷酸铁锂仍是主流,非锂电储能技术应用逐渐增多,非锂电储能技术产业化进程加速。例如,首个百兆瓦时级钠电储能项目并网、最大规模混合储能项目并网、300兆瓦级压缩空气储能项目并网、百兆瓦时级重力储能项目首套充放电单元测试成功、工商业用户侧长时液流电池项目投入使用等。

从应用分布上看,新增投运新型储能项目应用仍以源网侧应用为主,合计占比92%;用户侧占比较去年同期提升6个百分点,装机规模同比增长650%;支持可再生能源并网、大容量能源服务、用户能源管理服务是各应用领域最主要的服务。

全国企业设备更新稳步推进、居民消费意愿不断增强

# 「两新」政策红利逐步释放