

序 言

铅是重要基础原材料、战略性金属矿产资源。我国是最大的铅生产国、消费国，也是最大的铅基固废产出国。铅基固废（不含铅尾矿）年产生量超千万吨，其处置既要考虑安全环保影响、建立绿色处理技术体系，又要兼顾经济效益考量，挑战众多、意义重大。

铅基固废品位低且均为无自热物料，现有技术热利用效率和资源综合回收率低，亟需构建多物料协同处理、多形态铅基固废和原生矿多金属耦合提取技术体系，减少能、质消耗。“复杂铅基多金属固废协同冶炼技术与大型化装备”项目是国家“十三五”重点研发计划“固废资源化”重点专项的重要组成，聚焦多形态铅基固废（含铅烟尘、铅玻璃等分散固废）、典型铅基固废（铅膏）、大宗铅基固废（选矿尾矿）和含锌铅基固废（锌浸出渣）等多源铅基固废的分类资源化协同处理开展研究。

“复杂铅基多金属固废协同冶炼技术与大型化装备”项目由中国恩菲工程技术有限公司牵头，联合河南豫光金铅股份有限公司、河南金利金铅集团有限公司、白银有色集团股份有限公司、中国科学院过程工程研究所、东北大学、中南大学、兰州大学、矿冶科技集团有限公司、浙江大学等单位共同进行技术攻关。中国恩菲拥有全国 90% 以上大型铅冶炼工程的设计经验，也是国内诸多铅冶炼技术的原创企业。项目的参与企业和院校在中国原生铅、再生铅领域具有很强的影响力，不论是生产实践、还是专业发展水平都保持着引领地位。

经过为期 3 年实施，项目在理论上与实践上均取得了显著成果：

理论研究层面，探索了复杂铅基多金属固废的资源环境属性，揭示了不同协同冶炼过程中多金属的迁移分配和逸出规律，研究了不同协同方式下复杂烟气的余热利用与深度净化技术、稀贵金属选择性分离与高效提取技术，实现了协同冶炼固态残余物的高值利用。这些研究解决了多金属固废协同冶炼中的共性瓶颈问题。

产业应用层面，紧密衔接科研成果与产业需求，完成“多形态铅基固废与原生矿协同强化冶炼”“典型及大宗铅基固废协同强化冶炼”“含锌铅基固废还原熔炼-连续烟化”等示范项目，涵盖主要铅基固废类型，实现了原生铅冶炼产业、再生铅回收与冶炼产业以及锌冶炼产业协同，形成了绿色技术体系与大型化装备。

智能控制层面，基于协同冶炼过程，融合冶金机理模型，结合生产大数据，建立起冶炼过程神经网络模型；搭配智能控制设备，开发自适应性的复杂体系协同熔炼过程在线智能控制系统；以实景模型为载体，精准匹配在线监测设备与手段，实现信号、场景及流程数字化与可视化，建立协同熔炼智能预警与高效控制系统；解析溯源复杂铅基多金属固废资源环境属性，为环境智能精准管控提供支撑，建立商业化创新推广模式。

项目的研究成果为铅基固废的处置提供了突破性的解决方案，解决了铅基固废资源化利用及安全处置技术开发过程中的共性科学问题和关键技术问题，也为相关产业的转型升级提供了有力支撑。这些成果具有重要的借鉴意义和推广价值，有助于盘活产业存量、推动产业向更加环保、高效的方向发展。

本专刊共 14 篇文章，全方位、深度凝练了“固废资源化”重点专项项目“复杂铅基多金属固废协同冶炼技术与大型化装备”项目成果，描绘了项目从研发到落地应用的全链条场景，对促进铅基多金属固废协同冶炼先进技术与在线智能优化控制装备的工程化转化和辐射推广具有重要意义。希望与广大行业同仁交流分享，为共同推动行业发展贡献力量。

中国工程院院士

2024 年 10 月 25 日