



# 赤泥治理 “中国策”

从世界难题到绿色富矿



# 全球赤泥综合利用发展趋势与展望

本文系统梳理全球赤泥综合利用的最新进展与发展趋势，深入分析当前面临的挑战与机遇，并对未来发展方向进行展望，为推动赤泥从“生态包袱”向“绿色资源”转变、实现全量化与高值化利用提供参考。

曾庆猛 | 文

当前，全球赤泥综合利用正在从“被动排放”向“主动治理”转型，在产业规模、政策支持、技术创新、产业生态等方面取得显著进展。本文系统梳理全球赤泥综合利用的最新进展与发展趋势，深入分析当前面临的挑战与机遇，并对未来发展方向进行展望，为推动赤泥从“生态包袱”向“绿色资源”转变、实现全量化与高值化利用提供参考。

## 赤泥综合利用进展和趋势

近年来，赤泥综合利用受到前所未有的关注，从“被动排放”转型为“主动治理”，从被动应对环保事故转变为主动引领产业升级。

1. 产业规模稳步增长，中国利用率遥遥领先

2024年，全球氧化铝产量为14 567万吨，赤泥产生量约为1.87亿吨，利用量约为1 630万吨、增幅25%，利用率约为8.7%、提高1.5个百分点，实现稳步增长。全球赤泥主要集中在铝土矿资源丰富或氧化铝产能集中地区，中国赤泥产生量持续增长，印度、东南亚等新兴氧化铝产区赤泥产量增速较大，欧洲、美洲氧化铝和赤泥产量相对稳定。据国际铝业协会数据，中国境外每年有220万~270万吨赤泥被利用，



中铝广西分公司赤泥基示范路

如印度铝业、韦丹塔公司销售赤泥给水泥厂用于水泥熟料；希腊梅特伦恩公司出售赤泥给水泥厂用于生料掺配，掺配比例为1.5%~2%；巴西铝业与水泥公司合作，用赤泥生产波特兰水泥，使用比例为60%~70%。此外，赤泥在提铁、提取稀土元素、阻燃添加剂、道路基层、建筑砖等方面有一定研究，但未商业化应用。

2024年，中国氧化铝产量为8 552万吨，赤泥产生量为1.15亿吨，赤泥利用量为1 380万吨、全球占比84.7%，领跑全球。中国有9省份产赤泥，其中8省开展了综合利用，山东、广西、河南、河北、山西等省利用量均超百万

吨，5省合计1 297万吨，全国占比达94%。2024年，利用赤泥回收氧化铁粉976万吨、生产胶凝材料168万吨、粉体材料116万吨、其他应用120万吨。2025年1~9月，中国赤泥利用量为1 380万吨、全年利用量预计超1 800万吨，利用率超14%，持续增长。

2. 产业政策持续发力，中国“国”字号方案出台

全球都在采取各种政策支持赤泥综合利用。欧盟在370万欧元资助“地平线2020”计划和1 150万欧元资助RemovAl研究项目基础上，2020年11月启动ReActiv项目，研究赤泥与水泥流程嵌套技术。迪拜将赤泥填埋成本从



中铝山东有限公司赤泥基干土材料示范流程



中铝山东有限公司赤泥基硅铁粉产品仓库示范流程

每次10迪拉姆提高到每吨100迪拉姆。印度成立中央公路研究所，研究赤泥在道路中的应用。

中国顶层设计成效显著，地方政府协同推进。2024年12月，工业和信息化部等六部门联合发布《赤泥综合利用行动方案》，这是党的十八大以来首个“国”字号赤泥专项文件，提出到2027年新增赤泥综合利用率达15%、2030年达25%的两阶段目标，提供了系统性解决方案。2025年3月，工业和信息化部等十部门联合发布《铝产业高质量发展实施方案（2025—2027年）》，提出到2027年新增赤泥综合利用率15%以上、新扩建氧化铝项目需有

一定赤泥综合利用能力等，推动规模化利用。2025年9月，工业和信息化部等八部门联合发布《有色金属行业稳增长工作方案（2025—2026年）》，要求推进赤泥安全处置及资源化利用。地方上，山东省成立工作专班，以“统筹联动、政策带动、项目推动、创新驱动”推进赤泥综合利用；广西壮族自治区构建“政府推动、政策驱动、资金撬动”支持体系，在百色市、防城港市园区化协同推进。

3. 产业格局持续扩大，巨头引领与协同赋能并举

巨头企业领跑行业。中铝集团成立专门领导小组、出台利用方案，将赤泥

综合利用率纳入绩效考核；力拓集团自2000年开始赤泥堆场生态修复研究，法国蒙特大、圣西尔等堆场成功生态修复；国电投山西铝业采用首创技术实施国内最大湿库闭库项目，建成源头减量化技术工业实验线，引进赤泥选铁生产线；魏桥集团赤泥选铁规模居中国第一位，开展源头减量化工业试验，引进多家赤泥综合利用企业。中铝山东公司作为“中国氧化铝工业的摇篮”和最早开展赤泥综合利用的企业，2024年赤泥综合利用率达37.3%，正朝着单条氧化铝生产线实现赤泥“近零排放”的目标迈进。

越来越多的院校机构围绕赤泥“减量化、资源化、生态化”开展系统研究。国内，北京科技大学围绕赤泥全组分材料化利用提出“中钙体系”理论，开展赤泥与多固废协同制备建筑、胶凝材料等研究；中南大学围绕赤泥源头减量和矿物提取，牵头国家重点示范项目，降低矿耗和赤泥产率；中铝郑州研究院围绕提高赤泥选铁回收率、提取稀有金属等开展深入研究。国外，欧盟研究机构围绕全生命周期管理与跨行业合作，推动赤泥土壤修复试点，研究用赤泥制备低碳水泥和道路材料；德国马克斯普朗克研究院围绕赤泥金属资源回收，利用氢等离子体电弧炉还原赤泥中铁以提高回收率；澳大利亚昆士兰科技大学与陕西科技大学合作，围绕赤泥纳米材料改性，研究水热法提升吸附性能，探索赤泥在新能源材料中应用潜力。公开报道显示，美国得克萨斯州莱斯大学近期研发出快速清洁技术，据称60秒可让赤泥“点石成金”。

众多创新型企业涌入赤泥综合利用领域。云南九州晟环保科技集团年赤泥处理能力1500万吨，累计减排赤泥1000万吨，减排率为30%；在建的年赤泥处理能力220万吨的综合回收生产线，减排率可达80%。山西创泽环保



科技有限公司已建成年处理能力200万吨选铁生产线，正规划增资扩建，打造赤泥回收金属钛、高铝钙、高精度铁粉及水泥矫正剂、预制建材等综合利用项目。

行业协会积极引导并有力推动赤泥综合利用。中国有色金属工业协会和国际铝业协会联合，已连续3年组织赤泥综合利用国际论坛。国际铝业协会发布《技术路线图——在水泥中最大化利用铝土矿渣》，开发“水泥中赤泥工具”；欧洲铝业协会、澳大利亚铝业委员会与国际铝业协会等合作撰写《可持续铝土矿渣管理指南》；巴西铝业协会与国际机构合作研究赤泥在建筑材料中的潜在应用。中国有色金属工业协会组织政策研究和宣贯，开展跨界联合攻关，连续四年发布《赤泥综合利用发展报告》，2024年发布《赤泥绿色利用百色实践暨钢铁行业应用前景》白皮书，指导并推动行业发展。

4. 产业生态不断重塑，融合共赢形成共识

跨行业、跨部门、跨区域产业耦合新模式，是推进赤泥大规模大工业应用的有效途径。

“赤泥+钢铁”是赤泥资源化最具前景创新路径。2024年，我国赤泥选铁占总利用量的71%，2025年全年预计超1200万吨，未来预期规模达5000万吨。赤泥在钢铁行业应用主要有五大方向：高铁赤泥还原成海绵铁炼钢；赤泥氧化铁粉与铁矿石配矿作炼铁原料；低铁赤泥作炼钢溶剂，提高脱硫脱磷效率；赤泥与钢铁尘泥共还原，提高金属回收率和设备运转率；红土镍矿加赤泥生产不锈钢，降低成本提高渣利用率。河北文丰实业集团开创“赤泥+钢铁”范式，2025年1～9月，赤泥综合利用已超25%。

“赤泥+建材”是赤泥资源化最成熟路径之一。赤泥基免烧砖、烧结砖、

胶凝材料等广泛应用于市政、园林及海洋建筑等领域；赤泥陶粒因密度小、强度高、吸水性好、抗冻性强、耐酸碱腐蚀等特点，成功应用于建筑、园林、环保等领域；赤泥建筑模板、海工胶凝材料等也有推广应用。我国山东、山西等地区，围绕氧化铝布局了大量建材企业；欧盟ReActiv项目由全球领先的水泥公司牵头，联合7家重点氧化铝企业和12个国家的13个合作伙伴，研究改造氧化铝和水泥生产工艺，通过流程嵌套，稳定提高赤泥品性以更好用

于水泥生产，大幅减少赤泥和碳排放，实现两个行业的共赢。

园区化模式是赤泥大规模综合利用新模式。集聚相关企业，形成产业链上下游配套、能源互通等共生体系，实现赤泥在园区内“吃干榨尽”。广西百色市集聚氧化铝企业及利用企业，链接多领域产学研，开展了赤泥源头减量、矿物回收、生产建材等，探索赤泥全元素提取全量化利用，2025年1～9月赤泥利用率为17.25%。

中国发布了《赤泥利用污染控制



赤泥选铁生产现场



中铝山东有限公司赤泥回收硅铁粉示范流程

技术规范（征求意见稿）》《公路工程工业废渣应用技术规范（征求意见稿）》，势必将推动“赤泥+交通”融合发展，带动“赤泥+其他”创新发展。

5. 科技创新赋能高值化应用，“老五样”加“新三样”驱动赤泥产业蓬勃发展

科技创新推动赤泥从低附加值简单应用演变为高附加值深度利用，必将实现从“污染治理”走向“价值创造”。

“老五样”不断扩容增效。经大量调研，中国有色金属工业协会首次公开提出推动赤泥大规模低成本综合利用重点在五大领域：矿物提取、胶凝材料、建陶材料、路用材料、粉体材料。赤泥提铁技术升级，重选、磁选已产业化，焙烧、分级提取等开展工业化实验，多金属提取研究加速。赤泥胶凝材料、水泥铁质校正料等已成功开发。建陶材料生产技术成熟，可生产砖、瓦等多种产品。赤泥粉体填料已用于铝塑板、公园构件等。路用方面，赤泥已用作路基、路用构件等。截至2024年底，中国建成赤泥利用生产线47条，其中赤泥选铁22条、路用材料5条、胶凝材料3条、粉体材料2条，造渣剂等其他材料15条。

“新三样”驱动赤泥产业迸发蓬勃活力。一是赤泥基回填材料，北京科技大学与中国环境科学研究院、文丰集团联合开发的赤泥基复合水稳材料，已阶段性通过专家评审，较传统材料成本降低三分之一。二是赤泥基充填材料，北京科技大学在山西森泽试验的赤泥基地下矿山充填材料，已完成实验室研究，正在开展现场试验。三是土壤化技术，广西某企业与研究院合作开发的“赤泥快速土壤化”技术在稳步推进，中南大学联合广西壮族自治区环境保护科学研究院在赤泥堆场建立200平方米试验区、开展赤泥脱碱土壤化改良技术试验研究及环境风险评估，赤泥堆场能源作物种植也在开展联合攻关。

另外，赤泥原位生态修复、赤泥库光伏项目已有成功案例，赤泥脱硫剂、复合净水剂、土壤改良剂、催化剂、阻燃剂等试验和探索不断取得突破。2024年，中国赤泥综合利用直接相关授权专利新增101项，同比增长71.2%，必将推进赤泥高值化“价值创造”。

### 赤泥综合利用的挑战和机遇

全球赤泥综合利用尽管取得了一定进展，但综合利用率仍不足10%，仍面

临诸多挑战，同时也孕育着巨大机遇。

#### 1. 存在的主要问题和挑战

（1）氧化铝企业的主体责任意识仍需强化和提升

氧化铝企业既是问题的产生者也是解决方案的关键实施者。部分氧化铝企业受制于传统生产模式惯性、短期成本压力及技术风险规避的保守思维，赤泥利用方面的主动性不够，不能与利用企业形成利益共同体，长效激励机制落地执行不到位，还错失了通过创新驱动产业转型的良机。

（2）跨行业利用路径和应用场景需大幅拓展

赤泥产生于氧化铝行业，但综合利用于钢铁、交通、建材等行业。赤泥产品进入其他行业时，需突破经济性、标准规范、社会认可度等行业壁垒。在我国，目前赤泥利用主要在钢铁行业，利用路径单一；土壤化、充回填等新技术虽然得到社会认可，但还有大量工作要做。赤泥有价金属提取技术的环保性、经济性急需攻坚。

#### （3）配套政策和融资体系亟待完善

赤泥综合利用正处于从技术研发向大规模产业化过渡的关键阶段，未形成成熟的运作模式，资金和融资渠道受限，制约着行业成长与创新。欧盟资助、中国中央预算内财政资金等政策性支持的资金额度有限，政策性贷款、绿色基金、产业基金等融资渠道门槛较高；商业模式不成熟、标准规范不完善、社会认知度低等因素，导致产业资本吸引力不足。

#### 2. 面临的主要机遇

（1）全球“双碳”目标带来战略机遇

随着各国“双碳”承诺逼近，绿色低碳发展潮流将倒逼赤泥综合利用，带来氧化铝工艺创新、赤泥综合利用及产品应用领域、钢铁、化工、交通等相关产业的技术升级与装备更新等



中铝山东有限公司赤泥基干土材料示范流程



市场机遇。

## (2) 国际合作深化带来全球化机遇

国际合作深化加速了技术交流和市场拓展,为具备先进技术的企业提供了“走出去”机遇。共建“一带一路”国家市场潜力巨大,带来如印度、沙特阿拉伯以及未来印度尼西亚、几内亚等国家的需求机会。

## (3) 跨界融合带来产业升级机会

跨界融合正在打破传统行业边界,创造新的价值增长点。赤泥与钢铁、化工、建材等多行业协同发展,生态圈重构,带来产业转型升级机会。

## (4) 高值化技术进步与商业化突破带来的市场机会

技术突破正在显著改善赤泥产品经济性,推动产业化应用。比如赤泥选铁关键技术突破,赤泥土壤化、充填等。

## (5) 产业萌芽期的资本机会

赤泥综合利用产业仍处于萌芽期向成长期过渡阶段,蕴含着最大的资本机会,包括风险投资、产业投资、金融投资及公共资金等多方面的参与机会。

# 赤泥综合利用大有可为

赤泥综合利用正站在新的历史起点上,在全球绿色低碳发展的大背景下,其全量化、高值化利用已成为必然趋势,未来发展前景广阔。

行业转型升级必将推动赤泥综合利用继续大幅跃升。“全生命周期”管理理念驱动企业深刻变革。匈牙利赤泥堆场泄露事件罚款及处理费用近10亿美元、山西某企业赤泥库治理投入超亿元、贵州某企业堵漏工程耗资1亿元且每年维护费超千万元等典型案例,以及赤泥库约40元/吨的日常管理运营成本,氧化铝企业应兼顾经济性和社会责任,树立“全生命周期”经营理念,与赤泥综合利用企业形成共同体,



高速公路用赤泥基层施工现场

开展全过程系统性变革,推动赤泥综合利用。行业转型升级推动赤泥大比例综合利用。绿色发展是高质量企业发展的标志,头部企业应“领军前行”,势必以赤泥综合利用倒逼技术装备升级,推动企业高质量发展。随着关键技术突破、标准规范完善,赤泥“近零排放”将具备可行条件。

赤泥综合利用领域正孕育更大的投资机会。如赤泥高效分级、低能耗降碱、智能化利用等核心技术研发与装备制造,构建“技术研发—装备制造—工程应用”完整产业链投资机会;园区化模式消纳赤泥,构建“物料闭路循环+能源梯级利用”高效利用赤泥投资机会;高附加值有价金属回收,提高赤泥选铁回收率,探索赤泥提钪提镓及稀有元素等;智能化与数字化管理,“人工智能+赤泥”模式赋能赤泥全生命周期管理投资机会;绿色建材、生态修复等机会。

“大冶金”思维探索产业生态新范式。构建钢铁、有色金属、材料、化工、环境等“大冶金”融合发展模式。推动赤泥与厂区、园区内粉煤灰、脱硫石膏等固废协同利用,生产建筑材料等产品,再应用于厂区、园

区建设。在山东、山西、广西、河南等地区,将形成一批区域特色产业化示范项目,提供可复制推广经典范式,推动赤泥综合利用。

## 结语

赤泥综合利用是一项涉及多学科、多行业、跨区域的系统工程,既是破解铝工业生态环境约束的迫切需求,也是践行绿色发展理念、实现“双碳”目标的重要途径。当前,全球赤泥综合利用已迈入政策引导、技术驱动、产业协同的新阶段,尽管仍面临企业责任意识不足、跨行业壁垒、融资体系不完善等挑战,但在“双碳”目标、国际合作、跨界融合等多重机遇的推动下,发展潜力巨大。未来,随着核心技术的持续突破、产业生态的不断完善,赤泥必将彻底摆脱“生态包袱”的标签,成为兼具生态价值与经济价值的“绿色资源”。期待全球业界同仁秉持开放合作、创新共赢的理念,凝聚智慧与力量,共同推动赤泥综合利用产业高质量发展,为促进人类命运共同体建设作出更大贡献。■

(作者单位:中国有色金属工业协会赤泥综合利用推进办公室)

# 全球赤泥治理的技术突破、产业协同与中国引领

——2025 赤泥综合利用国际论坛全景解析

孟跃辉 李秀云 | 文

在全球工业绿色转型浪潮中，赤泥——氧化铝工业伴生的红色固废，其治理已从边缘课题演变为决定行业可持续发展的核心命题。2025 赤泥综合利用国际论坛的召开，标志着全球铝工业在此领域进入了系统性攻坚与深度协作的新阶段。本文系统整合论坛主旨报告、专题研讨与高端对话的核心成果，从认知转型、技术攻坚、产业融合、支撑体系四个维度，全景解析赤泥从“环境负担”向“战略资源”转型的最新进展与未来路径，尤其凸显中国在这一全球性变革中的引领作用与实践智慧。



## 共识凝聚：认知革命驱动全球协同治理新格局

本届论坛由中铝集团和力拓集团联合发起，中国有色金属工业协会与国际铝业协会（IAI）共同主办，汇聚了超过五百位产学研代表。其高规格与广泛代表性，昭示着一个明确的信号：赤泥问题已超越单一企业或国家的范畴，成为需要全球铝工业共同体共同应对的系统性挑战。中国有色金属工业协会党委书记、会长葛红林在致辞中表示，习近平总书记在《巴黎协定》十周年峰会致辞中强调“绿色发展是时代潮流”。本次论坛以“融合，聚能，共赢”为主题，在中国—东盟开放合

作前沿窗口广西南宁举办，体现了我们推动赤泥综合利用的坚定决心，彰显了全球同仁携手应对挑战、共创绿色未来的共同愿景。

共识的起点源于对赤泥属性的根本性重新定义。IAI 铝土矿和氧化铝可持续发展经理卡尔·费曼（Carl Firman）在报告中明确指出：“赤泥是全球铝工业面临的最大的环境挑战，但趋势显示，它正从传统的废弃物向‘可再利用率’的副产品转化。”这一从“废弃物管理”到“资源价值挖掘”的认知革命，是驱动全产业链从被动合规转向主动创新的底层逻辑。论坛形成的“技术共享、标准共建、市场共拓”核

心行动纲领，正是基于这一共识，呼吁全球同业摒弃技术壁垒，携手建立公平、透明的市场规则与应用标准。

在这一全球协同的宏大叙事中，中国以其规模空前的产业实践与系统性的政策创新，提供了一个极具研究价值的完整范本。中国有色金属工业协会的数据勾勒出令人瞩目的“中国速度”：2024 年，中国赤泥综合利用量占全球利用总量的 84.7%；综合利用率从 2021 年的约 5% 快速攀升至 2025 年的 14%。这一成就的背后，是一套被称为“中国方案”的复合型治理体系在高效运转。2024 年底出台的《赤泥综合利用行动方案》作为国家级顶层设计，



设定了2027年新增赤泥综合利用率达15%、2030年达25%的清晰目标。中铝集团、魏桥创业集团等龙头企业不仅将赤泥综合利用率纳入关键绩效指标，更探索出“销研产用”一体化的市场化模式。中国有色金属工业协会赤泥综合利用推进办公室常务副主任曾庆猛在论坛上总结道：“中国已形成政策驱动、地方协同、企业主体、市场牵引的推进体系，为全球赤泥治理提供了系统性解决方案。”这种将国家意志、市场活力与工程能力深度结合的路径，充分展示了在应对复杂工业固废难题时，“有为政府”与“有效市场”协同发力的强大效能。

### 技术创新：全链条、多元化技术矩阵取得系统性突破

技术进步是梦想照进现实的桥梁。论坛展示的成果表明，全球研发力量已构建起一个覆盖“源头减量—过程提质—末端消纳”全生命周期的、多元化且相互衔接的技术解决方案矩阵。

源头治理理念实现了从“末端处置”到“过程预防”的战略前移。中南大学教授周秋生展示了由其团队主导的铝土矿拜耳法溶出源头减量技术的大规模示范成果。该技术通过精密的物相调控，在保证氧化铝回收率的前提下，成功实现源头赤泥减排20%以上。周秋生指出：“我们的技术核心在于资源综合利用和残渣便于处理。从源头实现了减污降碳与资源增效的协同。”

高值化提取技术呈现“多点突破、多路并行”的繁荣景象，目标是挖掘赤泥中蕴含的“城市矿产”。一方面，以磁选法为代表的成熟工艺正通过装备大型化、控制智能化及针对不同地域赤泥特性的精细化分选策略持续优化。另一方面，一系列颠覆性前沿技术正加速从实验室迈向工程示范。海德鲁公司高级化学顾问马塞洛·蒙蒂尼博士(Dr.

Marcelo Montini) 分享“用WAVE工艺从赤泥中提取生铁”的“零堆存”技术。该技术将赤泥与碳质还原剂混合造粒后，通过微波能量传输(MET)，将氧化铁还原为符合电炉炼钢标准的生铁(铁回收率大于90%)，同时生成类霞石建材原料，实现赤泥全量利用。相较于传统电炉，该技术通过直接能量耦合替代热交换，节能30%以上且无燃烧废气排放，但目前面临微波反应器造价高、赤泥成分波动影响回收率等挑战。海德鲁正在建设年处理5万吨赤泥的示范线，预计2026年建成，有望推动该技术规模化应用。中铝股份赤泥综合利用中心主任助理、正高级工程师董红军介绍了“高铁赤泥电解还原金属铁技术”。该技术通过绿电直连电解槽技术，可大幅提升技术经济性，为赤泥清洁化提取提供了新路径。力拓工业废物综合利用总监洛朗·比里博士(Dr. Laurent Birry)与Geomera资源公司总裁兼首席执行官基里尔·穆杰尔曼先生(Mr. Kiril Mugerma)联合分享了BR2R项目成果。该项目致力于直接生产还原铁和稀土等价值产品，实现赤泥近零排放。

规模化消纳技术的成熟，为巨量赤泥找到了通往主流工业体系的通道。在建材领域，赤泥正从低附加值填料升级为高性能低碳胶凝材料。欧盟“ReActiv”项目成功将改性赤泥转化为可替代高达30%水泥熟料的辅助胶凝材料(SCM)。雅典国立技术大学助理教授、高级顾问蒂米斯·巴洛梅诺斯先生介绍：“该项目生产的SCM性能符合EN197-1标准，部分指标优于传统水泥。”在中国，山东大学李召峰教授分享了“多源固废协同制备赤泥基土木功能材料关键技术与实践”。该技术“首次实现了在高速公路基层建设中100%替代水泥，并成功应用于滨海岩溶水害治理等复杂工程场景”。在交

通基建领域，规模化消纳的通道已获政策与技术双重认证。交通运输部公路科学研究院研究员刘怡林详细解读了《公路工程工业废渣利用技术规范》，明确赤泥可作为路基填料应用于各等级公路的路堤和下路床，“未来五年，仅公路交通领域预计可消纳赤泥等工业废渣3000万吨以上。”印度铝业公司库穆德·亚达夫女士分享的成功试点经验，进一步验证了该技术路径的国际普适性。

### 产业融合：“赤泥+”跨界生态与成功路径的深度思辨

先进技术需要适配的产业生态才能实现价值。论坛清晰地指出，赤泥资源化的根本出路在于构建以“赤泥+”为核心的跨界循环经济生态圈，而“成功”的内涵与路径亦在思想碰撞中得以深化。

“赤泥+钢铁”是目前产业化程度最高、消纳规模最大的支柱路径。2024年，中国约有71%的赤泥利用量通过此路径进入钢铁行业，主要产品包括用于烧结的氧化铁粉、用于电炉的海绵铁以及作为冶金辅料的化渣剂。河北文丰等企业的实践，验证了构建区域性产业闭环的可行性，通过物料短距离协同，实现了显著的经济与环境效益。与此同时，“园区化”模式成为优化产业生态的空间载体。在广西百色、山东滨州等赤泥集中产区，由政府引导、企业主导形成的循环经济产业园，通过系统设计实现了能源梯级利用、水资源循环和固废协同处置，将线性经济下的“废物”转变为园区内循环的“原料”，极大提升了资源整体效率。

在论坛的高端对话环节，全球产业领袖围绕“何为成功？如何成功？”展开了极具深度的思辨。中铝山东有限公司执行董事张占明提出了一个务实的三维框架：“赤泥综合利用的成功，必须同时满足政策有依、技术可靠、经





济可行三大核心条件。”美铝集团技术专家兰斯（Lance）从全球视角补充道：“真正的技术成功绝非止步于实验室，它必须在工业化规模上实现稳定性、经济性、环境效益与社会接受度的统一，这是高质量可持续发展的要义。”北京科技大学刘晓明教授则描绘了一幅更具象的成功图景：“当‘赤泥硅酸盐水泥’被纳入国家产品标准，当赤泥粉成为水泥厂竞相采购的常规原料时，才意味着这项事业真正融入了国家产业循环。”

对于如何抵达成功，对话嘉宾们形成了鲜明的“双轮驱动”共识。面对兼具技术复杂性和外部性的系统课题，“有效市场”与“有为政府”缺一不可。在政府层面，建立标准体系被视为最紧迫的任务。刘晓明急切呼吁：“当前，最紧迫的是建立赤泥产品的国家标准体系，标准是打开下游市场的钥匙。”卡尔·费曼也表示，IAI正在推动制定全球性的最佳实践指南。在市场层面，企业是创新的绝对主体。云南九州昊成环保科技集团董事长徐昊以企业十五年攻坚历程为例，深刻阐释了“商业成功必须基于技术成功，而真正的技术成功本身必然蕴含着经得起市场检验的商业逻辑”。中铝山东有限公司探

索的“销研产用”一体化模式，则是以终端市场需求为导向，反向定制研发与生产计划，确保了从技术成果到市场商品的顺畅转化。

**基石构筑：标准、安全与金融支撑产业行稳致远**

一个新兴产业的成熟与壮大，离不开坚实支撑体系的奠基与护航。论坛对标准规范、环境安全与金融资本这三大基石进行了深入探讨，形成了关乎行业长远健康发展的关键共识。

首先，标准规范体系是产业有序发展的“交通规则”与“质量护照”。当前，赤泥产品难以大规模进入市场，核心瓶颈之一在于标准的缺失、滞后或互不承认。无论是作为水泥掺合料还是路基材料，缺乏国家或行业层面统一、权威的产品标准和应用技术规范，下游用户便无法放心采购与设计。因此，加快构建覆盖各类赤泥产品的标准体系，并与建材、交通等下游行业标准有机衔接，已成为打开市场空间的当务之急。同时，由生态环境部正在主导研究“赤泥利用污染控制”标准，将为整个产业划定了明确的环保红线，是产业可持续发展的“安全底线”。

其次，全生命周期的环境风险管控

是产业不可逾越的“生命线”。赤泥的强碱性、可溶盐及潜在特征污染物，是其资源化利用过程中必须科学评估与严格管控的风险点。中国环境科学研究院研究员朱雪梅强调：“必须对任何赤泥利用技术路线开展‘从摇篮到坟墓’的全生命周期环境风险评价，尤其要关注在长期自然条件下，污染物的迁移转化规律及其生态效应。”牙买加铝土矿研究所的香蒂·佩尔绍德（Shanti Persaud）也从国际经验出发，强调了严格环境监管与闭环管理的重要性：“必须确保企业履行从运营到闭库的全周期环境责任，这对保护社区与生态环境至关重要。”

展望未来，2025年论坛所凝聚的智慧与展示的方向，为我们描绘了一幅清晰的行动蓝图。全球赤泥治理正步入一个以“系统思维引领、价值链整合驱动、全球协作共进”为特征的新纪元。中国的系统性实践雄辩地证明，通过坚定的政治意愿、科学的政策设计、活跃的市场机制与强大的工程转化能力，完全可以将严峻的环境压力转化为驱动产业升级、培育循环经济新动能的强大引擎。最终，赤泥治理的成功，将不仅仅以“综合利用率”的百分比来简单衡量，而将取决于我们是否成功构建起一个“技术经济上内生可行、生态环境上绝对安全、商业模式上持续盈利、社会价值上广泛共享”的产业生态系统。这条道路虽然道阻且长，但方向已然指明，共识已经凝聚，合作的基础空前牢固。全球铝工业同仁唯有以此次论坛为崭新起点，秉持开放包容、互利共赢的精神，深化技术交流与产业协作，方能共同将这片曾象征工业发展环境代价的“红色印记”，彻底转化为滋养全球绿色低碳未来的“资源沃土”与“希望绿洲”。■

（作者单位：中国有色金属工业协会赤泥综合利用推进办公室）