

干旱地区煤基固废资源化利用 + 矿区生态修复 + 光伏一体化技术研究

贾建忠 任旭 谢平伟 徐彦龙 高晶鄂

国家能源集团乌海能源有限责任公司, 中国·内蒙古 乌海 016000

摘要: 内蒙古立足风光资源和“沙戈荒矿”资源优势, 把建设中国北方重要生态安全屏障与建设国家重要能源和战略资源基地建设有机融合, 创新性提出实施防沙治沙、矿区生态和风电光伏一体化工程, 并将一体化工程列为自治区经济发展和民生改善六个工程之一。

关键词: 煤基固废; 资源利用; 生态修复

Research on Coal based Solid Waste Recycling in Arid Areas+Ecological Restoration in Mining Areas+Photovoltaic Integration Technology

Jianzhong Jia Xu Ren Pingwei Xie Yanlong Xu Jing'e Gao

National Energy Group Wuhai Energy Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

Abstract: Based on the advantages of scenery resources and “shage barren mine” resources, Inner Mongolia organically integrates the construction of an important ecological security barrier in northern China with the construction of a national important energy and strategic resource base, innovatively proposes to implement the integration project of sand prevention and control, mining area ecology and wind power PV, and lists the integration project as one of the six projects of economic development and livelihood improvement in the autonomous region.

Keywords: coal based solid waste; resource utilization; ecological restoration

1 研究背景和必要性

为落实习近平总书记“着力抓好乌海及周边地区等重点区域生态环境综合治理”指示, 内蒙古自治区立足煤炭和能源基地, 其原煤产量、火电装机容量始终位居全国前列, 与此同时也面临着煤矸石、粉煤灰等煤基固体废物存量巨大、增量难控、环境风险累积等一系列问题。随着黄河流域生态环境保护和内蒙古生态文明建设双双迈向高质量发展新阶段, 煤矸石、粉煤灰等煤基固体废物治理与生态环境保护之间的矛盾凸显, 必须以更高站位、更宽视野、更大力度来谋划和推进相关工作。

2024 年, 内蒙古连续发布 1 号、2 号总林长令, 印发《防沙治沙和风电光伏一体化工程推进方案》, 对一体化工程进行统一部署, 规划到 2030 年, 全区一体化工程新能源装机达到 1.19 亿千瓦。同时根据内政办发〔2024〕13 号关于持续推进绿色矿山标准绿色矿山建设的通知要求: 2030 年底前全部矿山达到国家或自治区绿色矿山标准, 达不到标准逐步退出。

一体化工程把防沙治沙、矿区生态和新能源建设合为一体, 不仅能促进生态治理, 还能多发绿电、扩大有效投资、增加农牧民收入, 实现增绿、增能、增收统筹推进, 成为“三北”工程的又一生动实践。

乌海能源公司利用渣堆治理平台等开展光伏发电项目建设, 建成“光伏+矿山”生态修复综合利用 2×100 兆瓦集中式光伏发电项目, 因此利用矿山排土场+光伏板下开展煤基固废再生土壤, 适应性植物选育和经济性的研究与示范项目, 具有十分重要的现实意义

另外, 乌海能源公司地处乌海地区, 乌海市地处大陆深处, 平均年降水量 159.8 毫米, 平均蒸发量 3289 毫米, 是典型的北方干旱地区, 而且水资源极为宝贵, 这对种植极为不利, 如果能够进一步通过技术手段减少蒸发的水分, 这对干旱半干旱地区矿山排土场、荒漠化土地改造也是一个巨大助益, 固废得到资源化利用, 生态实现修复、水资源大大节约、牧草可以增加收入、林草碳汇实现减排目标、调整了地方产业结构, 项目成功后, 不仅可为乌海能源公司矸石排土场利用和矸石山治理提供关键技术和模式示范, 而且对干旱半干旱地区所属资源型城市的生态修复和地区产业链高质量发展具有十分重要的现实意义。

2 国内外研究现状和发展趋势

2.1 煤基固废处置利用技术现状及发展趋势

煤矸石、粉煤灰是典型的大宗煤基固废。根据有关资料, 中国 2020 年煤矸石累计堆存量超过 60 亿吨, 每年新增 5 亿~8 亿吨、每年增量仍有 2 亿吨左右无法利用, 粉煤

灰作为燃煤后产出的主要固体废弃物, 每年产量达 8 亿~9 亿吨, 除部分以二次资源利用, 2021 年中国粉煤灰的累计堆存量达 31 亿吨, 内蒙古地区是中国煤炭大省, 每年产生的煤矸石在 1 亿吨以上, 粉煤灰总量约为 7000 多万吨。这些粉煤灰主要由煤电企业在生产过程中产生, 占用大量土地并可能对环境造成影响。据称目前煤矸石的综合利用大约为 60%~70%, 但其中也有一部分是处于堆存状态, 并未真正有效发挥利用的效用。因此, 虽然经过长期努力, 其消纳治理特别是综合利用的压力依然巨大。

煤基固废的综合利用和处置问题是中国煤矿企业长期面临的并一直致力于解决的问题。根据文献追踪, 目前国内发展了几十种处置利用方法, 具体细分的技术不止于上百种。常见的方法包括生产陶粒、水泥、制成肥料、土壤调理剂、无土栽培基质、铺路应用、采煤沉陷区治理、地下采矿充填、提取价金属、制作岩棉以及其他高附加值产品等。这些众多的技术选项中, 有的已经发挥了重要作用, 有的依然在发挥作用, 有的在某些应用场景下发挥作用。因此, 国家和产业界都在大力鼓励因地制宜开展综合利用的发展方向。应该说这些技术在综合利用大宗煤基固废方面起到了非常积极作用, 是目前 60%~70% 综合利用率的贡献者。这些技术有不同的贡献度, 有的规模更大, 有的贡献更快但可持续性未必很强, 因此不光是维持现有的综合利用率需要不断开拓新的技术方案, 而且剩余的 30%~40% 的煤矸石仍然是一个很大规模, 也需要开拓新的处置利用的技术才。在已经处置利用的份额中, 大量还只是处于简单堆存和充填状态, 真正发挥高附加值效益利用的占比不高。简单堆存这种处置利用方式的可持续性目前正在面临挑战, 一个重要原因是国家生态保护日益严格, 许多地方逐渐收紧了堆场用地审批, 这对矿山企业持续生产形成了很大压力。

对于现有技术及其组合使用目前面临的问题是: 第一, 无论单一或者多种技术组合对这些大宗固废的消纳量与存量和增量的规模相比仍然十分有限, 难以进一步实现“大规模”; 第二, 堆放等大规模处置方案不仅对生态环境造成威胁, 而且还强烈依赖客土覆盖, 在环境生态保护大背景下, 土壤成为稀缺资源, 这越来越难以满足; 第三, 现有许多高值化利用技术面临“经济性”的问题, 产品要么成本过高, 要么市场容量有限, 要么市场竞争力不足, 反过来影响对矸石的消纳利用。因此, 现有技术还不能从根本上解决煤矸石大宗固废的处置利用难题。

2.2 利用煤基固废人工造土壤技术研究现状及发展趋势

如前所述, 煤基固废人工造土造地技术就是一种能够兼顾“大规模”“低成本”且符合“生态环保”理念的技术路线, 尽管这种技术路线还可以因地制宜进行不断地改进提高。该技术目前正在引发一些学者关注和跟进研究。利用煤矸石造田的理念和实践已经开展了多年, 特别是在中国内

蒙、山西等北方煤炭产区。但其技术理念同传统的复垦、沉陷区治理的理念是一致的, 因为它们都需要在表层覆盖天然土壤, 没有把煤基固废利用和生态产业相结合, 也没有延伸到产业高质量发展和林草碳汇相结合。总体上, 目前尚未在北方干旱地区开展现场大规模和生态产业相结合的试验研究。对于作物种植用途的人造土壤, 水具有特别重要的作用, 但北方旱区也通常是缺水地区, 水是宝贵的资源。此外, 向高值化种植的方向发展也是一个重要方向, 这一方面会对人造土本身提出质量的要求, 促进其技术进步; 另一方面也会促进与之相关的种植业、养殖业产业的发展, 最终向形成延长生态产业链的方向发展, 实现生态产业化、产业生态化。

3 研究内容

①对路天煤矿周边排土场周边井工煤矿、洗煤厂煤矸石进行系统的矿物岩石学和化学成分分析, 对矿区可用造土配套材料(如粉煤灰、荒漠沙等)进行系统调研, 对当地气候状况、各种可用水资源进行分析研究, 对企业矸石洗选系统进行调查评估, 为评价矸石造土可行性、开展微生物保水以及种植经济作物提供必要、可靠的数据资料。

②在 1# 渣台光伏板下种植土配方设计, 并开展试配研究, 对配制人造土壤进行测试分析。在不影响光伏发电和生产安全前提下, 组织好光伏板下种植前土壤置换。

③结合以前试验数据和经验, 有针对性的选择适合光伏板下植物群落, 并搭配合理, 符合生物特性。

④在路天矿炸药库周边和 5#、6# 老排土场开展利用原位生态修复技术, 进行排土场生态治理

⑤监测、检测项目实施后对地下水及周边环境有无影响

⑥监测植物生物量和耗水量、土壤有机质、微生物数量及土壤有害物指标等数据和各相关关系。

⑦检测植物重金属等有害物质含量、刈割次数、养殖规模相关数据。

⑧形成排土场原位生态修复技术体系和排土场光伏板下种养一体化企业技术标准。

⑨工作总结与结题验收。

基于以上的研究内容, 在路天矿 1# 排土场光伏板下和炸药矿周边, 5#、6# 排土场开展现场工程应用研究与示范, 示范面积近 45 万平方米, 利用原位生态修复技术亩消耗固废近 300 吨、总计消耗 20 万吨左右, 可节约处置费 200 万元。

4 预期目标和成果

①适合路天矿排土场和 1# 排土场光伏板下的煤矸石排土场煤基固废造土建施工方案。

②在路天矿老排土场、5#、6# 排土场 1# 排土场光伏板下开展现场应用研究与示范。

③干旱半干旱区土壤微生物菌群和土壤营养、水分、植物生长报告一份。

- ④科技查新报告一份。
- ⑤排土场种植植物重金属等有害物检测报告，养殖畜牧业肉质检测报告共二份。
- ⑥发表论文一篇，申报实用新型专利三项。
- ⑦编制乌海能源公司排土场治理 + 光伏 + 生态养殖技术规范一套。

5 创新点

- ①研发基于煤矸石等煤基固废的生土组配方法及熟化提质材料，达到富含有机质的种植土。
- ②研发煤基固废如何利用微生物保水技术与工艺，达到植物成活后少浇水甚至不浇水目的。
- ③首次在北方干旱地区煤矸石排土场光伏板上种植高蛋白经济作物，且宿根、生长周期 30 年以上。
- ④首次把煤矸石排土场上种植高蛋白经济作物与养殖业相结合、为生态治理形成良性循环。
- ⑤首次尝试把排土场生态治理与固废资源化利用、新能源产业、水资源节约、产业结构优化、种养结合、林草碳汇作为生态产业链进行研究和探索。
- ⑥形成排土场生态治理 + 光伏新能源 + 煤基固废资源化 + 种养殖业新型生态产业链并形成企业标准
- ⑦检测植物重金属等有害物质含量、刈割次数、养殖规模相关数据。
- ⑧形成排土场原位生态修复技术体系和排土场光伏板下种养一体化企业技术标准。
- ⑨工作总结与结题验收。

基于以上的研究内容，在路天矿 1# 排土场光伏板下和炸药矿周边，5#、6# 排土场开展现场工程应用研究与示范，示范面积近 45 万平方米，利用原位生态修复技术亩消耗固废近 300 吨、总计消耗 20 万吨左右，可节约处置费 200 万元。

6 研究工作

- ①开展路天矿 1# 排土场光伏板下、炸药库周边老排土场、5#、6# 排土场原位生态修复煤基固废土壤适宜性测试化验分析与评价研究，得出不同比例和确定实施方案。
- ②现场结合排土场光伏板坐标及物理空间，确定科学、安全、环保施工方案。
- ③研究已知条件下煤基固废土壤利用微生物保水的菌种类别、数量与掺混工艺。
- ④植物与土壤有机质、微量元素、含水量、风力大小、阳面、阴面适配性研究和类比。
- ⑤植物生物量与蛋白质、刈割次数、自然降雨量、养殖规模的各种相关关系研究和比较。
- ⑥植物种植密度、生物量和土壤有机质、林草碳汇各项参数比较。

7 项目实施方式

在前期调研论证基础上，提供原位生态修复煤基固废制作土壤换填技术方案、种植方案、养护方案、施工方案等技术支撑和现场施工工作，制作煤基固废土壤需提供适合原料、铲车、初期浇水水车等基础工作，科研过程也是排土场治理施工过程，煤基固废土壤摊铺完成后、种植过程和后期养护、检测、田间管理工作主要由项目承担单位完成，初期 5~7 次浇水由路天矿协助，成本价提供，以后除非极度干旱年份、偶尔需要补充浇水，由路天矿提供水源配合完成。该科研项目周期 2 年，结题验收后可跟踪深入研究生态链上其他项目。

8 项目实施进度计划和阶段目标

项目实施进度计划和阶段目标见表 1。

表 1 项目实施进度计划和阶段目标

时间	目标
第 1 月	原位生态修复前期需地质微生物学文献追踪调研，现场煤矸石、混合物的采集、化验分析；路天矿排土场条件综合调查，土壤适宜性评估、配制比例方案；植物生长立体条件深度调研。
第 2~3 月	生土配制，生土熟化与提质研究并形成施工方案；微生物数量、种类、投放顺序、时间工艺研究并形成技术方案；种植密度从生物多样性考虑品种选择、种植实施过程及注意事项并形成种植守则。
第 3~4 月	和路天矿做好对接，成立项目小组，在不影响光伏发电和安全生产为前提，按照已确定好的施工方案，有计划准备各种原料进场，即可进行分离、掺混、分批次菌剂投放、养护，做好种植前各种准备工作。
第 5 月	根据气候特点和制定的种植方案，安排人开始种植，并及时做好栽种初期 3~5 遍水的浇灌和其他精细田间管理。
第 6~10 月	实时跟踪植物、土壤、微生物的各项参数及变化情况并分析与研究，形成报告；进行中期验收。
第 10~12 月	长期观测植物生长量、生物量，植物蛋白质含量、重金属等有害、土壤有机质、重金属及有害物、土壤含水量变化情况，做好田间管理与维护、并形成论文、专利等。
第 12~24 个月	开始有计划刈割、不同时间段植物生物量变化情况和动物饲用后生长状态变化，并形成企业标准一套；结合林草碳汇各项指标、形成对比报告；结题验收。

9 项目组织实施保障措施

为了本项目研究工作顺利开展，特制订以下组织实施保障措施。

项目根据进度安排，建立保证体系组织机构，以乌海能源公司路天矿牵头新型研发机构设立项目攻关组，全面负

责保证项目的顺利实施，建立健全自上而下、层层落实的项目保证组织机构。

项目攻关组设置专人专门负责进度管理，落实各项工作任务管理措施和办法，调查了解影响项目进展的各项因素，提高项目管理的适时性，便于项目负责人及时掌握项目进度，提高项目管理效率。

参考文献：

[1] 杨科,于祥,何祥,等.煤矿开采用多层位立体空间煤基固废充填方法及应用[J/OL].煤炭科学技术,1-19[2025-06-18].

[2] 原志敏,卓锦德,董阳,等.煤基固废在采煤沉陷区回填利用现状及相关研究探讨[J].中国煤炭,2024,50(11):133-141.

[3] 王富平,谢平伟.煤基固废在矿山治理恢复过程中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(2):127-129.

作者简介：贾建忠（1976-），男，中国内蒙古包头人，研究生，高级，从事企业改革发展、项目管理、工商管理、矿山地质环境治理等研究。