

煤矸石综合利用概述

高卫民, 朱巧红, 冉 景, 刘金光

中冶生态环保集团有限公司, 北京

收稿日期: 2021年12月6日; 录用日期: 2022年1月12日; 发布日期: 2022年1月19日

摘 要

本文概述了近些年煤矸石综合利用国家政策、需求和导向, 总结煤矸石在能源化利用、资源化利用和工程应用中的途径, 分析存在的问题, 并提出今后的发展建议。

关键词

煤矸石, 能源化, 资源化, 工程应用

Overview of Comprehensive Utilization of Coal Gangue

Weimin Gao, Qiaohong Zhu, Jing Ran, Jinguang Liu

MCC Ecological Environmental Protection Group Co., Ltd., Beijing

Received: Dec. 6th, 2021; accepted: Jan. 12th, 2022; published: Jan. 19th, 2022

Abstract

This paper summarizes the national policy, demand and orientation of comprehensive utilization of coal gangue in recent years, summarizes the ways of coal gangue in energy utilization, resource utilization and engineering application, analyzes the existing problems, and puts forward development suggestions in the future.

Keywords

Coal Gangue, Energy Utilization, Resource Utilization, Engineering Application

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

煤炭生产, 产生了大量的固体垃圾。目前我国煤炭年产量多达 35 亿吨, 生产过程产生的煤矸石 1.5 亿吨。全国煤矿积存煤矸石 20 亿吨, 占地面积 8 万亩。煤炭燃烧每年产生的灰渣为 7 亿吨, 煤炭生产和使用年产生的固体垃圾可达 8.5 亿吨, 比城市生活垃圾总量高出 70%。

改进采煤技术。长期以来, 我国煤炭生产都是采用放顶充填采空区的采煤法, 这就造成了矿区土地塌陷, 地下水资源遭到破坏。而抚顺煤矿长期实行的是水砂充填采煤法, 此种采煤法能避免塌陷的发生。如果煤矿推行这种采煤法, 把产生的煤矸石回填到采空区, 既能避免塌陷, 又做到了矸石不出井, 大量减少固体垃圾。

煤炭开发项目(包括选煤厂项目)的项目核准申请报告中资源开发及综合利用分析篇章中须包括煤矸石综合利用和治理方案, 明确煤矸石综合利用途径和处置方式。对未提供煤矸石综合利用方案的煤炭开发项目, 有关主管部门不得予以核准。煤矸石综合利用方案中涉及煤矸石产生单位自行建设的工程, 要与煤矿(选煤厂)工程同时设计、同时施工、同时投产使用; 涉及为其他单位提供煤矸石的工程, 煤矸石利用单位应当具备符合国家产业政策和环境保护要求的生产与处置能力。

煤炭生产企业要因地制宜, 采用合理的开采方式, 煤炭和耕地复合度高的地区应当采用煤矸石井下充填开采技术, 其他具备条件的地区也要优先和积极推广应用此项技术, 有效控制地面沉陷、损毁耕地, 减少煤矸石排放量。煤炭行业主管部门会同国土资源主管部门制订煤矸石井下充填开采技术标准体系, 编制煤矸石井下充填开采方案。

利用煤矸石进行土地复垦时, 应严格按照《土地复垦条例》和国土、环境保护等相关部门出台的有关规定执行, 遵守相关技术规范、质量控制标准和环保要求。

煤矸石发电项目应当按照国家有关部门低热值煤发电项目规定进行规划建设, 煤矸石使用量不低于入炉燃料的 60% (重量比), 且收到基低位发热量不低于 5020 千焦(1200 千卡)/千克, 应根据煤矸石资源量合理配备循环流化床锅炉及发电机组, 并在煤矸石的使用环节配备准确可靠的计量器具。鼓励能量梯级利用, 满足周边用户热(冷)负荷需要。对申报资源综合利用认定的发电项目(机组), 其入炉混合燃料收到基低位发热量应不高于 12,550 千焦(3000 千卡)/千克。

国家鼓励煤矸石大宗利用和高附加值利用: ① 煤矸石井下充填; ② 煤矸石循环流化床发电和热电联产; ③ 煤矸石生产建筑材料; ④ 从煤矸石中回收矿产品; ⑤ 煤矸石土地复垦及矸石山生态环境恢复; ⑥ 其他大宗、高附加值利用方式。

近年来, 为了能更好地指导煤矸石综合利用产业发展, 国家层面出台了一系列相关政策。

2014 年, 国家发展改革委等 10 个部门以联合令的形式发布了《煤矸石综合利用管理办法(2014 年修订版)》(以下简称《管理办法》)。《管理办法》针对政策、法规、技术、市场等多方面的变化, 在更高的起点上对煤矸石综合利用进行顶层设计, 从而促进煤矸石综合利用良性发展。《管理办法》明确煤矸石综合利用应坚持减少排放和扩大利用相结合, 实行就近利用、分类利用、大宗利用、高附加值利用, 加强全过程管理, 提高煤矸石利用量和利用率的基本要求。这也为煤矸石的综合利用指明方向。为了能进一步将煤矸石利用符合低碳发展规划, 《管理办法》明确将控制煤矸石利用碳排放纳入当地控制温室气体排放总体工作方案。

2018年,国务院办公厅《关于印发“无废城市”建设试点工作方案的通知》,(以下简称《通知》),《通知》明确到2020年,试点城市的大中型矿山达到绿色矿山建设要求和标准,其中煤矸石、煤泥等固体废物实现全部利用。

2019年,国家发展改革委办公厅和工业和信息化部办公厅《关于推进大宗固体废弃物综合利用产业集聚发展的通知》(以下简称《通知》),《通知》指出煤矸石治理,因地制宜,注重煤矸石的整体规划与资源整合;加大采空区煤矸石回填、煤矸石充填和筑基修路的力度;合理推动煤矸石发电、生产建材、复垦绿化等规模化利用。开展煤矸石多元素、多组分梯级利用,推进煤矸石高值化利用,提取有用矿物元素,重点研发煤矸石生产农业肥料、净水材料、胶结充填专用胶凝材料等高附加值产品。

2021年,经国务院同意,国家发展改革委联合生态环境部、工业和信息化部、科技部、财政部、住房城乡建设部、交通运输部、农业农村部、商务部、市场监管总局印发《“十四五”全国清洁生产推行方案》(以下简称《方案》),《方案》提出2020年,煤矸石综合利用处置率为72.2%,比2015年分别提高8个百分点;土地复垦率达到57%左右,提高9个百分点;煤矸石及低热值综合利用发电装机达4200万千瓦,增加900千瓦,年利用煤矸石达到1.5亿吨,为煤矸石综合利用提出明确目标。煤矸石是一种可循环利用的资源,“十四五”期间,探索煤矸石综合处置利用的适宜技术,拓展政企协同解决方式,试点“规模化、集聚化、产业化”的煤矸石处置模式。建设清洁生产指导的大宗固废(煤矸石等)综合利用基地。

2021年,国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等十部门联合印发《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》(以下简称《意见》),《意见》明确到2025年,煤矸石、粉煤灰、尾矿(共伴生矿)、冶炼渣、工业副产石膏、建筑垃圾、农作物秸秆等大宗固废的综合利用能力显著提升,利用规模不断扩大,新增大宗固废综合利用率达到60%,存量大宗固废有序减少。《意见》指出持续提高煤矸石综合利用水平,推进煤矸石在工程建设、塌陷区治理、矿井充填以及盐碱地、沙漠化土地生态修复等领域的利用,有序引导利用煤矸石生产新型墙体材料、装饰装修材料等绿色建材,在风险可控前提下深入推动农业领域应用和有价组分提取,加强大掺量和高附加值产品应用推广。

2. 煤矸石利用途径

煤矸石的主要成分是 Al_2O_3 、 SiO_2 以及C等,是一种能源和资源。

2.1. 能源利用——煤矸石发电

煤矸石含有碳、氢、氧等成分,热值较高。利用煤矸石发电是煤矸石综合利用的一条重要途径。为了鼓励对煤矸石的利用,促进节能减排,国家专门针对煤矸石发电出台了一系列相关的政策,国内已经有一些电源项目直接使用煤矸石发电,产生了较好的经济效益和社会生态效益[1][2]。

据国家发展改革委发布的《中国资源综合利用年度报告(2012)》显示,高参数、高效率、大容量循环流化床锅炉燃烧技术广泛应用于煤矸石发电机组,我国煤矸石、煤泥发电装机容量已达2800万kW,年利用煤矸石1.4亿t,综合利用发电企业达400多家,主要分布在重要产煤区,年发电量1600亿kW·h,相当于减少原煤开采4200万t。目前我国发电能力最大的煤矸石电厂在吉林省白山市由华能吉林发电有限公司与通化矿业集团共同投资建设,在只运行一组机组的情况下,这座电厂每小时的发电量达到20万千瓦。煤矸石作为燃料发电和供热,一般要求发热量在1200 kJ/kg以上,分为两种:一是全煤矸石发电;二是煤矸石与煤泥混合发电。

2.2. 资源利用——煤矸石产品化

1) 从煤矸石中提取化工产品

Al_2O_3 , SiO_2 是煤矸石中的含量最高两种成分。因此, 采用物理化学技术, 提取煤矸石中含有的硅、铝元素或者生产硅铝材料是煤矸石化工利用的主要途径。归纳起来主要有以下四种方式[3] [4] [5] [6]: a) 制造铝系产品。第一种铝产品是金属铝, 对煤矸石进行一定的分选, 从中提炼 Al_2O_3 , 进一步还原获得金属铝。通过电解煤矸石, 提炼金属铝, 提高了煤矿的经济效益; 第二种铝产品是利用煤矸石生产 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 既经济又环保, 而且生产出来的产品质量好, 可以达到国家一级品标准, 该技术已在山西、甘肃等多家煤矿得到应用, 效果非常好; 第三种是铝系水处理产品, 煤矸石粉碎后的颗粒有较大的比表面积, 具有很强的吸附能力, 可以作为一些酸性污水的处理材料。煤矸石中的 Al_2O_3 在遇到酸性污水时, 会发生反应产生 Al^{3+} 。在一定的 pH 条件下, Al^{3+} 会反应产生絮凝沉淀, 提高污水处理能力。b) 制造硅系产品。因为煤矸石中含有 50% 以上的 SiO_2 , 合理利用其中的硅元素, 制造出硅系列产品。c) 制备高岭土。将煤矸石粉碎到疏松的粉状之后, 在适当的焙烧与反应温度及 pH 值情况下制作, 确保高岭土的高纯度及少杂质。d) 利用煤矸石生产高值工业新材料也是提高煤矸石附加值的一种有效途径, 主要包括利用煤矸石制备白炭黑、分子筛等, 从而提高产品的附加值。

2) 煤矸石生产水泥

煤矸石在水泥中的主要应用途径为作原燃料生产水泥、作水泥混合材、生产煤矸石无熟料及少熟料水泥。采用煤矸石生产水泥, 要求煤矸石中的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 总含量达 80% 以上[7]。煤矸石可作为生料的粘土配料替代材料, 要求煤矸石化学成分相对稳定、热值较高、硬度较低、含砂岩较少而页岩较多。煤矸石中的 SiO_2 以非结晶状态存在, 容易与 CaO 结合, 改善生料的易烧性。且煤矸石具有较高的热值, 可替代 30%~40% 的燃料煤, 从而减少熟料烧成过程的燃煤需求, 降低水泥生产能耗。如河南义马煤业集团公司水泥厂用煤矸石代替粘土生产水泥, 原料中煤矸石用量占比达 30% 以上, 掺入煤矸石吨熟料生产燃煤消耗降低 20%, 每年节约燃煤 11,640 t。

用作水泥混合材的煤矸石, 要求是泥岩、砂岩和石灰岩, 选用燃烧活化的煤矸石, 其中含有活性 SiO_2 和 Al_2O_3 , 可与水泥熟料按比例混合生产普通硅酸盐水泥、火山灰质水泥和少熟料水泥, 还可以与石灰、石膏配比研磨, 制成无熟料水泥[8]。

3) 煤矸石生产建筑材料

近年来, 随着利用手段和设备的进步, 用煤矸石生产建筑材料技术发展的很快, 就目前的利用情况看, 技术比较成熟、利用量比较大的途径主要是用于制砖、空心砌块、制作轻骨料等诸多方面。

煤矸石在建筑材料中的应用必须考虑到它的含碳量、矿物组成、 Al_2O_3 含量和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值等参数。煤矸石自身所具有的理化性质在一定程度上限制了它在建筑材料领域的应用范围, 总的来说煤矸石制品发展方向是高孔洞率、高掺渣量、高强度和高保温性能[9] [10] [11]。

企业和社会通常希望参加固废量越多越好, 但实际情况应因时而定、因地制宜, 也要考虑到产品性能、技术和经济的可行性。目前来看, 煤矸石掺量可达到 100%, 但当煤矸石自身热值超过烧成所需时, 应该配取一定量的粘土和页岩, 以便更好的满足烧成条件。对于粉煤灰而言, 限于目前的工艺技术和装备水平, 最好不宜超过 50%。

4) 煤矸石中回收矿产品

煤矸石中常伴有硫铁矿、镓及其他稀土金属元素。对于镓品位达到 60 g/t 的煤矸石, 其综合利用应以回收镓为中心, 煤矸石中镓的浸出主要有两种工艺: 一是高温煅烧浸出; 二是低温酸性浸出。基本原理是使煤矸石中的晶格镓或固相镓转入溶液, 有利于后续从浸出液中回收镓[12]。煤矸石中回收硫铁矿产品, 可采用跳汰, 旋流器, 摇床分选等工艺, 如江西丰城煤矿、四川南桐煤矿等均从煤矸石中回收硫铁矿[13]。

5) 煤矸石生产肥料[14]

a) 生产有机复合肥。煤矸石中含有 15%~20% 的有机质及高于土壤 2 倍~10 倍的植物生长所需的 Zn、Cu、Co、Mo 等微量元素。将煤矸石粉碎磨细后,按一定比例与过磷酸钙混合,再加入适量活化剂和水,使其充分搅匀后好氧发酵,即可制得新型化肥;

b) 生产微生物肥料。利用煤矸石制成的生物肥料中含有大量有机质及微量元素,起到明显增产的作用,提升农作物产量;

c) 改良土壤。煤矸石制作而成的有机复合肥在实际施用后会增强土壤腐植酸含量及生物活性,此外,因氮菌大量繁殖,将会增加土壤的固氮能力。

2.3. 工程应用——煤矸石用于矿区填充和土地复垦

1) 煤矸石用于矿区填充[15]

煤矸石井下回填就是将煤炭开采过程中产生的煤矸石就近排至联巷、排矸巷、施工巷及其他废弃的巷道内,解决建筑物下、道路下、水体下的煤柱回采,使煤矸石不升井就地消化,达到控制岩层运动及地表沉陷的目的。太原东山煤矿应用煤矸石充填技术,将井下采煤过程产生的煤矸石破碎后直接充填到采空巷道内,不仅治理了采空区,还提高了煤炭的回采率,实现煤矸石零排放,给煤矿带来良好的经济和环境效益。淮南矿区用于井下充填每年消耗煤矸石 180 万 t。

2) 煤矸石用于土地复垦[16]

充填复垦是以煤矸石等为采空区或坑洼地的填充物,其上铺一定厚度的土壤,使其恢复到可以复垦利用的状态。对处于开发早期,尚未形成大面积沉陷区或未终止沉降形成塌陷稳定区的矿区,可采用预排矸复垦;当煤矸石复垦土地用于建筑用地时,应采用分层回填,分层镇压方法充填矸石,以获得较高的地基承载能力和稳定性。进行复垦后可针对当地煤矸石的理化性质和有毒有害物质进行检测,然后再针对具体情况进行绿化种植,先以草灌植物为主,然后再种植乔木树种,一般选择抗旱、耐盐碱、耐贫瘠的树种。对表层已风化成土的煤矸石复垦后,可以直接植树造林或开垦为农田。目前,煤矸石充填复垦已在我国普遍应用,淮南矿区用于采煤沉陷区复土造地工程,消耗煤矸石 700 余万 t,复垦面积达 76.7 万 m²。潞安矿业集团和阳泉矿业集团利用煤矸石填埋造地、绿化复垦、发展生态农业、养殖业,大部分矿区已经达到 30%~40% 的植被覆盖率。

3) 煤矸石用于路基[17]

煤矸石可用于公路的路基填料、边坡防护、处理不良土质路段和桥背填土等。因为煤矸石种类、成分的不同,造成不同煤矸石强度存在很大差异,用于公路建设的煤矸石一般要求有机质含量和烧失量均小于 15%,作为路基填料时还应注意剔除或粉碎粒径特别大或粒径超过摊铺厚度的煤矸石块。选择吸水量大的煤矸石处理不良土质路段,可以达到更佳的处理效果。合理利用煤矸石做公路建筑材料可以降低建设成本。对于矿区周边的公路工程可优先考虑采用煤矸石作为路基的填料,节约资金、保护环境。

3. 问题和建议

煤矸石资源化利用过程中存在的问题: a) 需要较大的投入,例如从矸石中提炼铝时需要购买大量的设备,很多矿区不能承受这种投入; b) 获得的利益有限,矸石资源化处理不能为煤矿企业带来可观的经济效益,这是很多煤矿面临的最直接的问题; c) 缺少成熟的技术,很多煤矸石的处理还处于试验阶段,短期内很难进行商业化应用。

矸石山复垦绿化存在问题: 周期比较长,一般在几年以上,通常需要分为几期工程。可以有效减少矸石山对周围环境的污染,改善矿区周边的环境。但这种做法还存在一些问题: a) 不能从根本上解决矸

石山的污染, 矸石中的有毒有害物质仍然会随着雨水流入地下水中; b) 复垦后的矸石山仍存在不稳定性, 在雨水的作用下仍存在滑坡的危险; c) 后期还需要较大的维护投入, 主要是植被的种植, 在种植时不能保证种植的植被一次性全部存活, 需要补种。

需要针对不同化学组成的煤矸石, 努力形成一条上下游的利用产业链, 涉及煤矸石发电、提炼化工产品、制造建筑材料以及充填路基等各个方面, 从而使煤矸石的价值得到最大的利用, 也能够减少或者避免单一途径利用产生的二次污染等问题。

多数煤矸石同时满足发电、生产建材、提取铝及硅产品的要求, 但目前煤矸石利用多局限于某一种途径, 未对其自身价值进行充分利用。而通过在煤炭生产和洗选区域就近布局, 建设“煤矸石发电-粉煤灰或陶粒-建材或铝系、硅系产品”等循环经济产业链, 实现煤矸石的高效资源化。

对于煤矿区已存在的煤矸石山, 发展“填埋造地-生态农业-生态旅游”等具区域特色的生态经济模式, 实现煤矸石的减量化、无害化。

参考文献

- [1] 陆军. 煤矸石发电是扩大煤矸石综合利用的有效途径[J]. 中国煤炭, 2001, 27(7): 36-37.
- [2] 许泽胜, 陈佳蕊, 王森彪, 李晓东, 舒元锋, 李军, 等. 煤矸石分级分质加工与利用的研究[J]. 中国煤炭, 2021, 47(11): 61-68.
- [3] 杨越. 我国煤矸石堆存现状及其大宗量综合利用途径[J]. 中国资源综合利用, 2014, 32(6): 18-22.
- [4] 张长森. 煤矸石资源再生利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 郭振坤, 范雯阳, 周珊, 邹东雪. 利用煤矸石制备 4A 分子筛及吸附性能的研究[J]. 无机盐工业, 2017, 49(2): 78-81.
- [6] 梁丽萍, 高飞, 王亚珂, 朱保顺, 力国民. 回收利用煤矸石低成本制备 Ni/C/CG 复合型吸波材料[J/OL]. 燃料化学学报. <https://doi.org/10.19906/j.cnki.JFCT.2021066>
- [7] 聂宝建, 徐志超. 利用煤矸石配料煅烧水泥熟料[J]. 水泥, 2021(9): 44-45.
- [8] 李永峰, 王万绪, 杨效益. 煤矸石热活化及相变分析[J]. 硅酸盐学报, 2007, 35(9): 1258-1263+1269.
- [9] 祁非, 张长森, 陈景华. 利用城市污泥/煤矸石制备多孔陶粒的研究[J]. 陶瓷学报, 2015, 36(1): 58-63.
- [10] 金彪, 赵亮, 汪潇, 等. 利用煤矸石、页岩、污泥制备烧结砖的研究[J]. 非金属矿, 2021, 44(5): 39-41.
- [11] 张三明, 陈湛, 余其康, 吴承恩. 利用废弃煤矸石生产保温砖及其在自保温墙体中的应用[J]. 新型建筑材料, 2009, 36(9): 22-26.
- [12] 刘广义, 戴塔根. 富镓煤矸石的综合利用[J]. 中国资源综合利用, 2000(12): 16-19.
- [13] 张晋霞, 邹玄, 张晓亮. 从煤矸石中回收黄铁矿的选矿工艺研究[J]. 煤炭技术, 2015, 34(11): 312-314+315.
- [14] 郎朗, 程丽娅, 尹春淼, 宋贺, 董召荣, 朱江, 等. 煤矸石在复垦土壤中的利用方式对水稻重金属含量的影响[J]. 地球与环境, 2017, 45(3): 314-321.
- [15] 康禄荣, 于晓军, 马强. 矿山地质环境恢复治理模式探析[J]. 中国锰业, 2020, 38(3): 135-137.
- [16] 吕永建. 煤矸石的利用和矸石山绿化概述[J]. 煤, 2012, 21(1): 72-74.
- [17] 边建民, 黄前龙. 煤矸石作路基填料在一级公路中的应用技术探究[J]. 中国公路, 2021(11): 144-145.