

绿色矿业

文章编号: 1004-4051(2024)07-0089-10

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240270

## 煤矸石综合利用技术现状与标准体系研究

潘 硕<sup>1,2</sup>, 胡雨晴<sup>1,3</sup>, 王海燕<sup>1,3</sup>, 于家琳<sup>1,3</sup>, 刘青松<sup>2</sup>

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012;

2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083;

3. 国家黄河流域生态保护和高质量发展联合研究中心, 北京 100012)

**摘要:** 煤矸石是煤炭开采和选煤过程中产生的主要废弃物,在我国西北地区产生量巨大。由于缺乏有效的综合利用,大量煤矸石无法消纳,只能就地堆存,占用了大量土地资源的同时也带来环境污染和生态破坏的风险,因此,探索建立煤矸石的综合利用技术体系,并配套完善的技术标准体系至关重要。本文对我国近十年来煤矸石产生和利用情况进行分析,并调研当前国内煤矸石综合利用技术现状和标准体系,分析总结出制约我国煤矸石综合利用技术发展存在的问题,包括无法支撑大规模消纳需求、缺乏技术标准体系支撑、技术区域特征明显、不利于复制推广等;针对技术推广过程中缺乏技术规范及标准的情况,总结当前煤矸石综合利用领域标准现状,提出当前标准体系中存在的问题,包括缺乏污染防控标准体系、缺乏综合利用技术规范等。通过上述分析,为煤矸石综合利用行业提出相应的建议,旨在为煤矸石综合利用技术体系的发展方向 and 标准体系的完善提供参考和借鉴,以实现煤矸石更加高效、安全和环保的综合利用。

**关键词:** 煤矸石; 环境管理; 综合利用; 政策法规; 环境标准

**中图分类号:** TD849.5; X752 **文献标识码:** A

## Research on comprehensive utilization technology and standard system of coal gangue

PAN Shuo<sup>1,2</sup>, HU Yuqing<sup>1,3</sup>, WANG Haiyan<sup>1,3</sup>, YU Jialin<sup>1,3</sup>, LIU Qingsong<sup>2</sup>

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

3. National Joint Research Center for Ecological Conservation and High Quality Development of the Yellow River Basin, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Coal gangue is a kind of significant byproduct during coal mining and coal preparation processes. Due to the lack of effective comprehensive utilization methods, a large amount of coal gangue cannot be effectively utilized and can only be stored on-site, especially in the northwest region of China. The storage on-site occupies lots of land resources, and also causes severe environmental pollution and ecological damage. Therefore, it is crucial to explore and establish a comprehensive

收稿日期: 2024-02-28 责任编辑: 聂虹

基金项目: “黄河流域生态保护和高质量发展联合研究”项目资助(编号: 2022-YRUC-01-0302)

第一作者简介: 潘硕(1999—),男,汉族,河北石家庄人,硕士,主要从事固体废物处理与处置等方面的研究工作, E-mail: 18332022015@163.com。

通讯作者简介: 于家琳(1983—),男,汉族,山东烟台人,博士,主要从事固体废物资源化利用技术开发与标准体系研究, E-mail: yujialin@craes.org.cn。

刘青松(1981—),男,汉族,河北吴桥人,博士,主要从事固体废物资源化利用和污水处理研究工作, E-mail: liuqs@cugb.edu.cn。

引用格式: 潘硕,胡雨晴,王海燕,等. 煤矸石综合利用技术现状与标准体系研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(7): 89-98.

PAN Shuo, HU Yuqing, WANG Haiyan, et al. Research on comprehensive utilization technology and standard system of coal gangue[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(7): 89-98.

utilization technology system for coal gangue, as well as to improve the corresponding technical standards system. This paper analyzes the production and utilization of coal gangue in China over the past decade and investigates the current domestic technology and standard systems for the comprehensive utilization of coal gangue, which summarizes the existing problems that hinder the comprehensive utilization technology system for coal gangue in China. These problems include the inability to satisfy large-scale disposal demands, the lack of support from a technical standards system and the significant regional technological characteristics. To address the current deficiencies of technical specifications and standards during the technology promotion process, this paper summarizes the current status of standards in the field of comprehensive utilization of coal gangue and identifies the problems within the existing standard system, which include the absence of a pollution prevention and control standards system, as well as the lack of comprehensive utilization technology specifications. This paper offers corresponding suggestions for the coal gangue comprehensive utilization industry. The objective is to provide reference and guidance for the development direction of the technology system and the improvement of the standard system for the comprehensive utilization of coal gangue, ultimately achieving a more efficient, safe, and environmental friendly utilization of coal gangue.

**Keywords:** coal gangue; environmental management; comprehensive utilization; policy and regulation; environmental standard

## 0 引言

煤矸石是煤炭开采和洗选过程中产生的工业固废,是煤炭成煤过程中与煤层伴生的一种黑灰色岩石,含碳量较低、比煤坚硬,其种类包括巷道掘进过程中的掘进矸石,采掘过程中从顶板、底板及夹层里采出的自然矸石,洗煤过程中分选出的选煤矸石。由于产生量巨大,无法及时规模化消纳,只能就地堆存,占用土地的同时给当地带来环境污染风险<sup>[1-3]</sup>。作为国内产量最大的工业固废之一,要实现其有效消纳,除了需要技术体系的不断更新拓展,还需要政策法规与标准体系的有力支持。因此,本文梳理了

煤矸石综合利用的技术现状、国家政策法规,以及配套的标准体系,在此基础上结合环境管理要求,提出了煤矸石综合利用行业发展方向,以及生态环境标准体系的完善建议,以期提升煤矸石的综合利用水平和环境风险防控能力。

## 1 煤矸石的产生、利用现状和成分

### 1.1 煤矸石的产生和利用现状

根据工业固废网 2023 年发布的《中国大宗工业固体废物综合利用产业发展报告》,煤矸石年产量在几类大宗工业固废中常年稳定居于前三位,我国近十年煤矸石的产生、利用和堆存情况如图 1 所示。

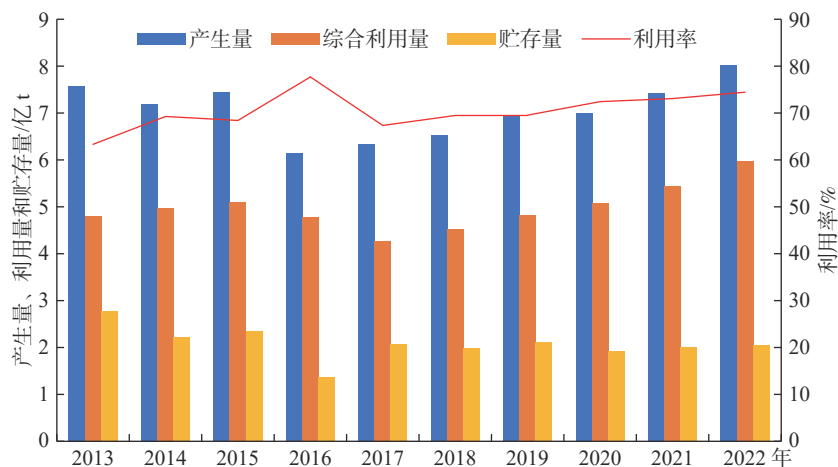


图 1 2013—2022 年我国煤矸石产生、利用和堆存情况

Fig. 1 Production, utilization and storage of coal gangue in China from 2013 to 2022

由图 1 可知,煤矸石产生量与煤炭市场密切相关。2016 年以前,国内煤炭产能持续高位,产能过剩,煤矸石年产近 7 亿 t;2016 年,煤炭市场发生波动,煤

炭行业产能过剩导致上半年煤炭企业大规模减产,煤炭价格也呈现“先抑后扬”的局面,煤矸石产生量也相应减少,约 6 亿 t;伴随着煤炭市场复苏,2016—

2022年煤矸石产生量逐年增加,平均年增长率为4.58%,2022年首次突破8亿t。综合利用量及利用率也呈现同样的变化趋势,但相对较为稳定。2016年,煤炭“去产能”导致煤矸石利用率提升至接近80%,随着市场复苏逐渐回归平衡,保持在65%~75%。贮存量与利用率相对应,“用的多”即“存的少”,2016年,煤矸石贮存量约1亿t,近五年都在2亿t/a左右,2013—2022年新产生的煤矸石总贮存量高达20.86亿t。

煤矸石堆存对环境的危害主要表现在以下几个方面:一是占用大量土地资源<sup>[9]</sup>;二是煤矸石经过长期的风化会形成粉尘,导致堆场周边粉尘颗粒物浓度增加,对当地大气环境造成污染;三是在雨水的淋溶作用下,煤矸石中可能存在的有害物质随雨水进入当地的水体系统,造成水环境污染<sup>[4-8]</sup>。煤矸石的堆存还存在一系列安全问题,例如,在干燥且气温过高的环境下,煤矸石中的有机物质可能因氧化反应而产生热量,导致堆存的煤矸石发生自燃<sup>[9-11]</sup>;在降雨量较大的情况下,伴随着雨水的冲刷,煤矸石山很可能发生塌方<sup>[12]</sup>,对排矸场工人或周边居民的生命和财产造成威胁。

## 1.2 煤矸石的化学成分和物相组成

相关研究表明,煤矸石的化学成分和物相组成与天然砂石材料相近,且成分较为稳定<sup>[13]</sup>。以甘肃省某地的煤矸石为例,对样品进行了XRF检测和XRD检测,以确定煤矸石的成分。XRF检测结果见表1。由表1可知,煤矸石主要化学成分为SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其中, SiO<sub>2</sub>含量最高,为48.54%;其次为Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,含量25.95%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量3.02%,以上几种成分含量合计达到77.51%。XRD图谱如图2所示。由图2可知,煤矸石的主要物相组成为石英(SiO<sub>2</sub>)、白云母((K,Na)(Al,Mg,Fe)<sub>2</sub>(Si<sub>3-1</sub>Al<sub>0.9</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>)、高岭石(Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>)。

## 2 煤矸石综合利用技术研究现状

国内外学者在多个领域对煤矸石的综合利用技

术进行了研究。在建材领域,用于制备砖、砌块、水泥以及筑路材料等<sup>[14-16]</sup>;在农业领域,用于生产有机肥料、土地改良剂等<sup>[17]</sup>;在化工领域,用于制备分子筛、提取稀有元素等<sup>[18-19]</sup>;在工程领域,充当填充材料用于矿区回填、复垦造地等<sup>[20-22]</sup>,以及掺烧用于发电等<sup>[23-24]</sup>。总体来看,煤矸石的综合利用途径主要有生态修复、燃烧利用、建筑材料、化工产品、有价元素回收,以及其他产品,共六类,如图3所示。各类综合利用途径的利用量占比极不平衡,主要集中在三个方向,即生态修复、燃烧利用、建筑材料,其他应用途径的消耗量较小<sup>[25]</sup>。

### 2.1 煤矸石综合利用现状

#### 2.1.1 生态修复

煤矸石在生态修复方面的应用目前主要有三方面:充填开采、塌陷区回填和土地修复。充填开采适用于矿井开采形成地下采空区的情况,采空区可能造成地面塌陷问题,利用煤矸石充填采空区可以有效减少上覆岩层沉降,避免地质灾害的发生<sup>[26]</sup>,目前有固体充填、膏体充填、浆体充填三种充填方式<sup>[27]</sup>;塌陷区回填指煤矸石回填煤炭开采后留下的塌陷区,之后可通过复垦造林、灌浆覆土等技术用于农业生产,或经过强夯法、灌浆法、振动压实法等处理后作为建设用地<sup>[28]</sup>;土地修复则用于修复煤矸石压占毁坏的土地,一般通过覆土、压实进行修复。煤矸石中含有丰富的微量元素、有机质,并且本身具有较大的孔隙比,其中,微量元素有利于植物生长,有机质可以通过促进土壤中团聚体的形成改善土壤的持水能力和入渗能力,以及土壤理化性质<sup>[29-30]</sup>,这些处理方式简单直接、消耗量大,在应用前需要开展环境风险评估。生态修复方向的综合利用可以消耗大量煤矸石,但考虑到运输成本问题,只适用于矿区及周边地区。

#### 2.1.2 燃烧利用

煤矸石的碳含量较高,因此,燃烧利用也是可行的综合利用途径。煤矸石发电是利用煤矸石作为燃料,直接燃烧产生高温高压蒸汽来驱动发电机产生

表1 煤矸石试样XRF检测结果

Table 1 XRF test results of coal gangue samples

单位: %					
化学成分	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
含量	0.73	0.56	25.95	48.54	0.17
化学成分	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>
含量	0.44	0.017	2.37	1.12	0.95
化学成分	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	烧失量	
含量	0.014	0.07	3.02	15.93	

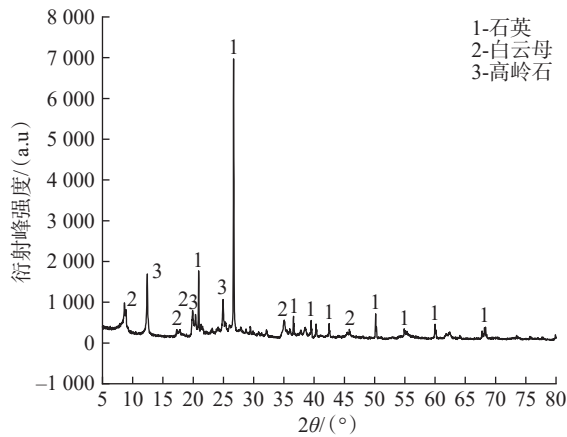


图2 煤矸石试样 XRD 图谱

Fig. 2 XRD of coal gangue samples

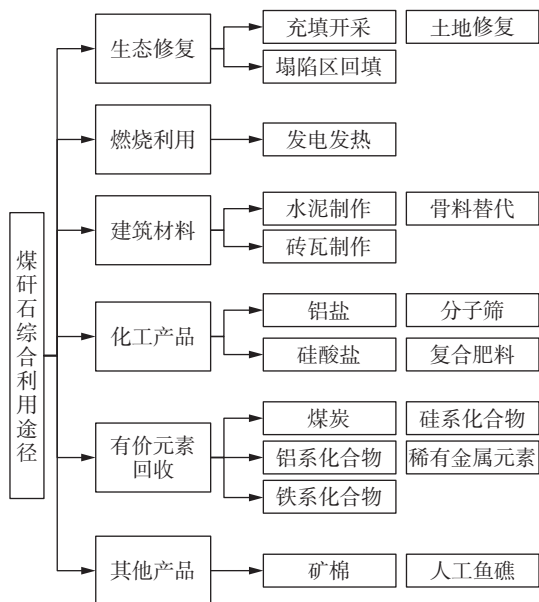


图3 煤矸石综合利用途径

Fig. 3 Ways of comprehensive utilization of coal gangue

电能,主要采用循环流化床(CFB)发电技术,投入锅炉中的煤矸石颗粒在气流的作用下增加与空气的接触面积,使得燃烧效率提高,其余热还可为周围地区冬季供暖<sup>[31]</sup>。燃烧可以有效利用煤矸石中的可燃物质,但燃烧后会产生二次固废,仍需考虑解决二次固废的污染问题。

### 2.1.3 建筑材料

煤矸石成分检测结果显示其化学成分和物相组成较为稳定,类似天然砂石,理论上可以直接代替天然砂石作为骨料应用。由于其作为骨料消纳用量大、用途广,是目前实现快速消纳的主要途径。煤矸石经高温煅烧后具有一定的火山灰活性,用碱性物质可以激发其潜在活性,可以用来制作大掺量煤矸石水泥,相关研究表明<sup>[32]</sup>在煤矸石掺量为60%时,依然可以达到425#水泥要求的需水量、凝结时间、安定性

等各种物理指标要求。煤矸石的主要矿物成分是黏土矿物,可作为砖块等建材的原材料<sup>[33]</sup>,有学者研究了铁尾矿-煤矸石-污泥复合烧结砖的制备<sup>[34]</sup>,发现不仅可以轻松满足烧结砖质量要求,而且固废内包含的重金属也因高温煅烧而得到了较好的固定,避免了在应用场景中环境污染问题的发生。建筑材料领域的应用技术成熟、产品种类多、应用范围广,相应的技术规范也比较完善,需综合考虑其经济效益,包括附加值、市场容量、运输半径等因素。

### 2.1.4 化工产品

煤矸石中富含硅铝元素,可用来制作铝盐、分子筛和复合肥料等化工产品。将煤矸石粉碎到一定程度,焙烧之后可以生产铝盐系列产品,这种利用途径具有成本低、产品质量高、品种多、经济效益好等优点,但要考虑新生成尾渣的处理处置;分子筛是一种具有均匀孔径的晶态硅铝酸盐水合物,其骨架是 $\text{SiO}_4$ 和 $\text{AlO}_4$ 四面体通过共享桥氧原子构成的规则孔道,而煤矸石富含 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,是分子筛天然原材料<sup>[35]</sup>;煤矸石含有大量有机质和无机营养元素,可将其制成肥料,如污泥煤矸石混合肥、粪便煤矸石混合肥、无机矿物煤矸石复合肥等;煤矸石中氧化硅质量分数一般在30%~65%,制备凝胶、水玻璃等硅系化合物也是煤矸石高值化利用的重要途径之一。煤矸石制造的化工产品具有较高的产品附加值,但工艺设备投入成本大,市场容量小,消纳量较小。

### 2.1.5 有价元素回收

从煤矸石中回收有价物质也是一种利用途径,回收物质包括煤炭、铝系化合物、铁系化合物、硅系化合物、稀有金属元素等。当煤矸石中的氧化铝质量分数超过35%时,便可考虑用来提取氧化铝,铁质量分数超过10%时也可达到提取价值;部分地区煤矸石中伴生多种微量稀有金属,如锂、镓、钛、稀土等,这些稀有元素是当代通讯、计算机、航空航天、军工等行业所需的新技术支撑材料<sup>[36]</sup>。这些回收利用技术消耗量较低,市场需求量有限,产量取决于生产工艺水平,对设备、技术等要求较为严格,有价元素回收后的固废还需考虑二次处置利用。

### 2.1.6 其他产品

根据《国家工业固体废物资源综合利用产品目录》<sup>[37]</sup>,煤矸石综合利用途径还有矿棉、人工鱼礁等产品的制备。

矿棉是将矿石高温煅烧至熔融状态,在鼓风机的作用下制备出的纤维,目前有喷吹法、离心法和离心吹制法等三种制作方法。喷吹法是利用高速气流将物料吹散成纤维,离心法是利用离心力将物料甩

制成纤维,离心吹制法是两种方法的结合<sup>[38]</sup>。煤矸石制成矿棉不仅可以解决工业固废引发的污染问题,还可以“变废为宝”。但目前我国还没有制定相关的技术规范,实际应用技术还不够成熟,其产品环境风险未知,难以大规模利用。

人工鱼礁是以煤矸石为主体,根据目标水体的鱼类和生态环境,设计并制作合适的鱼礁结构及形状后,通过改变海流流向、流速将海底营养物质传送到水体中,提高海域的动植物生产力,鱼礁体上的藻类还能净化水质,改善水体环境。相关研究表明,人工鱼礁中掺入锰离子等微量元素有利于海洋生物在人工鱼礁上附着,煤矸石中恰好含有多种微量元素,用于人工鱼礁前景较好<sup>[39]</sup>。目前,关于煤矸石鱼礁仍处于研究阶段,煤矸石在海水中的毒性、耐腐蚀性、抗渗性等有待明确。

## 2.2 煤矸石综合利用面临的问题

1)无法支撑大规模消纳需求。随着国家对固体废物综合利用鼓励政策的不断出台,煤矸石综合利用技术不断出现,极大丰富了综合利用技术体系,但从目前处置现状来看,仍无法支撑大规模消纳的需求<sup>[40]</sup>,主要体现在:一是建筑材料、矿山回填、燃烧发电等消纳量较大的行业,受地方经济现状和产业布局所限,“产废”的地区需求量少,需求量大的地区不“产废”;二是很多技术在应用过程中成本较高,技术可行,但受运输半径、市场容量等因素影响,经济性较差,不利于推广;三是有些利用技术理论上可行,但尚不够成熟,缺乏大型示范及实际应用的效果评估,仍需时间的考验。

2)技术地域性问题突出。我国煤炭产区主要位于山西省、内蒙古自治区、陕西省和新疆维吾尔自治区,全国煤矸石产生量的78.74%出自以上四省(区)<sup>[41]</sup>,而煤矸石的问题主要集中在西北地区。由于煤质的差异,不同地区所产煤矸石物化性质也略有不同,这些细小的差别在综合利用过程中可能产生明显的区别。一项技术的开发及推广需要具备可复制、适用性强的特征,煤矸石这种区域特征明显的固废,在一定程度上限制了综合利用技术的大规模推广。

3)缺乏技术标准体系支撑。与原生产品相比,固废原料的化学成分、微观结构和特性等不尽相同,综合利用产品质量参差不齐,在使用性能、成分组成及含量、使用场合等方面存在一定的差异,导致其在利用时存在一定的环境风险和质量风险,因此,固废综合利用产品受到与生俱来的“歧视”,在市场推广过程中因为缺乏相应的标准而经常被质疑其性能及安全

## 3 我国煤矸石相关标准体系

标准是在法律法规授权允许的条件下,基于一定的科学研究,同时综合考虑实施应用、监督执法等多方面因素而形成的统一要求。法律法规规定了不同责任主体的责任义务,而执行层面更多依靠标准规范来实现。根据应用对象的不同,标准的类别又可分为管理类标准、技术类标准、质量类标准。管理类标准主要应用于满足政府职能部门的监管需求,而技术类标准、质量类标准则更多是为了符合监管要求所建立的技术要求与质量要求。一项技术或一种产品的推广及应用离不开标准的支撑,特别是固废综合利用领域,技术产品的标准已成为制约其发展的关键环节。很多新技术、新产品在没有相应成熟的标准体系支撑的前提下,很难赢得市场或政府的认可。为了进一步完善煤矸石综合利用的标准体系,本文通过梳理现有的煤矸石综合利用相关的法律法规及标准,旨在结合技术现状梳理出煤矸石综合利用过程中缺乏的标准研究方向,明确标准体系优化的方向,为推动煤矸石综合利用技术的提高和产品的推广奠定基础。

### 3.1 煤矸石相关法规政策体系现状

早在1998年,原国家经济贸易委员会等部门就联合发布了《煤矸石综合利用管理办法》来引导煤矸石综合利用,并在2014年进行修订,进一步界定了煤矸石及其综合利用的概念,要求在综合利用煤矸石时,将减少排放和扩大利用相结合,具体做法包括就近利用、分类利用、大宗利用、高附加值利用。这意味着企业需要在产生地附近进行利用,对煤矸石进行分类,将其用于大规模的项目,并寻求高附加值的利用方式。这样可以更有效地利用资源,同时减少对环境的负面影响。此外,还提出了煤矸石综合管理的要求及鼓励扶持的重点,明确了相关主管部门的职责。

2018年,我国工业和信息化部为指导固废产生企业更加科学合理地开展资源化利用工作,先后发布了《工业固体废物资源综合利用评价管理暂行办法》(以下简称“《办法》”)和《国家工业固体废物资源综合利用产品目录》(以下简称“《目录》”)两项文件。《办法》旨在建立科学规范的工业固体废物资源综合利用评价机制,引导企业积极主动开展工业固体废物资源综合利用。《目录》中包含工业固体废物种类、综合利用产品、综合利用技术条件和要求三部分内容,并且明确规定煤矸石属于六类工业固体废物之一。

2020年,生态环境部印发《关于进一步加强煤炭

资源开发环境影响评价管理的通知》，目的是规范煤炭资源开发环评管理，其中也提到了煤矸石的处理办法，鼓励因地制宜选择合理的综合利用方式，还提出了对煤矸石堆放场地建设的要求。

2021年，自然资源部、生态环境部等多个部门联合发布了《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》分析了“十三五”以来我国大宗固废综合利用现状和面临的形势，并提出了到2025年全面提升各种大宗固废的综合利用水平，扩大利用规模，提高利用率，逐步减少大宗工业固废贮存量的目标。此外，《意见》还针对不同种类大宗固废提出了相应的建议利用途径，比如，有序推进煤矸石在工程建设、塌陷区治理、矿井充填，以及盐碱地、沙漠化土地修复等不同领域的应用，引导利用煤矸石生产绿色建材，在风险可控的前提下推动农业领域应用和有价值组分提取，加大煤矸石产品的推广力度。

2021年，生态环境部发布的《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》中以固废源头减量、资源化利用、最终处置作为“无废城市”建设体系的一级指标。通过建设无废矿区、无废园区、无废工厂，加强工业固废综合利用，规范工业固废贮存和处置来降低工业固体废物处置压力是其中七项主要任务之一。

2023年，中共中央发布的《国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》中提出强化固体废物和新污染物治理，加快“无废城市”建设等具体要求，并计划在2027年“无废城市”建设比例达到60%，2035年“无废城市”建设实现全覆盖。

### 3.2 煤矸石相关标准体系现状

与煤矸石相关的国家标准、行业标准和地方标准共计51项，其中，国家标准15项(表2)、行业标准10项(表3)、地方标准14项(表4)、团体标准12项(不完全统计)(表5)。

表2 煤矸石相关国家标准汇总

Table 2 Summary of national standards of coal gangue

序号	标准编号	标准名称	领域
1	GB/T 5101—2017	《烧结普通砖》	建材或道路材料
2	GB/T 26538—2011	《烧结保温砖和保温砌块》	建材或道路材料
3	GB/T 26001—2010	《烧结路面砖》	建材或道路材料
4	GB/T 13545—2014	《烧结空心砖和空心砌块》	建材或道路材料
5	GB/T 13544—2011	《烧结多孔砖和多孔砌块》	建材或道路材料
6	GB 15562.2—1995	《环境保护图形标志 固体废物贮存(处置)场》	生态环境保护
7	GB 18599—2020	《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》	生态环境保护
8	GB 34330—2017	《固体废物鉴别标准 通则》	生态环境保护
9	GB/T 29163—2012	《煤矸石利用技术导则》	综合利用
10	GB/T 29162—2012	《煤矸石分类》	其他
11	GB/T 35057—2018	《煤矸石烧结砖隧道窑余热利用技术规范》	其他
12	GB/T 27974—2011	《建材用粉煤灰及煤矸石化学分析方法》	分析方法
13	GB/T 33687—2017	《煤矸石检验通则》	分析方法
14	GB/T 34230—2017	《煤和煤矸石淋溶试验方法》	分析方法
15	GB/T 35986—2018	《煤矸石烧失量的测定》	分析方法

由表2可知，15项国家标准中，强制性国家标准共3项，均属于生态环境保护领域，是对固废鉴别和贮存的通用型规定；推荐性国家标准共12项，包括综合利用产品对应的质量验收标准5项、分析方法标准4项、建材利用技术规范1项、废物分类标准1项、综合利用技术导则1项。既包括《烧结普通砖》(GB/T 5101—2017)、《烧结保温砖和保温砌块》(GB/T 26538—2011)、《烧结路面砖》(GB/T 26001—2010)、《烧结多孔砖和多孔砌块》(GB/T 13544—2011)等大宗产品中涉及到煤矸石产品的通用型产

品质量标准，也包括《煤矸石利用技术导则》(GB/T 29163—2012)、《煤矸石分类》(GB/T 29162—2012)、《煤矸石烧结砖隧道窑余热利用技术规范》(GB/T 35057—2018)等专用型煤矸石技术标准，还包括《建材用粉煤灰及煤矸石化学分析方法》(GB/T 27974—2011)、《煤矸石检验通则》(GB/T 33687—2017)等专用型检验检测类方法标准。

由表3可知，在10项行业标准中有3项生态环境保护相关标准，涉及煤矸石采样、处置和利用的环境保护管理要求；《煤矸石回收再利用方法》(HG/T

表3 煤矸石相关行业标准汇总

Table 3 Summary of industry standard of coal gangue

序号	标准编号	标准名称	领域
1	HG/T 5968—2021	《煤矸石回收再利用方法》	综合利用
2	MT/T 574—1996	《煤矸石生物肥料技术条件》	农业利用
3	HJ 2035—2013	《固体废物处理处置工程技术导则》	生态环境保护
4	HJ 1091—2020	《固体废物再生利用污染防治技术导则》	生态环境保护
5	HJ/T 20—1998	《工业固体废物采样制样技术规范》	生态环境保护
6	MT/T 1016—2006	《煤和煤矸石浸出试验方法》	分析方法
7	MT/T 109—1996	《煤和矸石泥化试验方法》	分析方法
8	LY/T 2991—2018	《煤矸石山生态修复综合技术规范》	生态修复
9	CJJ 1—2008	《城镇道路工程施工与质量验收规范》	建材或道路材料
10	DL/T 1281—2013	《燃煤电厂固体废物贮存处置场污染控制技术规范》	燃烧发电

表4 煤矸石相关地方标准汇总

Table 4 Summary of local standard of coal gangue

序号	标准编号	标准名称	领域
1	DB14/T 1755—2018	《煤矸石堆场生态恢复治理技术规范》	生态修复
2	DB14/T 1114—2015	《煤矸石填埋造田技术规程》	生态修复
3	DB14/T 1217—2016	《粉煤灰与煤矸石混合生态填充技术规范》	生态修复
4	DB14/T 707—2012	《煤矸石场植被建设技术规程》	生态修复
5	DB61/T 1730—2023	《公路路面煤矸石基层施工技术规范》	建材或道路材料
6	DB15/T 3122—2023	《公路路面煤矸石基层应用技术规范》	建材或道路材料
7	DB41/T 2390—2023	《公路水泥稳定掘进煤矸石基层施工技术规范》	建材或道路材料
8	DB3709/T 013—2022	《公路工程煤矸石路基施工技术规范》	建材或道路材料
9	DB13/T 5054—2019	《高速公路煤矸石填筑路基施工技术规程》	建材或道路材料
10	DB13/T 1382—2011	《公路路基煤矸石填筑应用技术指南》	建材或道路材料
11	DB34/T 2376—2015	《公路煤矸石路堤设计与施工指南》	建材或道路材料
12	DB22/T 2062—2014	《寒区公路工程煤矸石应用技术指南》	建材或道路材料
13	DBJ/T 13—195—2022	《烧结煤矸石实心砖和多孔砖(砌块)应用技术标准》	建材或道路材料
14	DB21/T 1521—2007	《自燃煤矸石混凝土结构技术规程》	建材或道路材料

表5 煤矸石相关团体标准汇总

Table 5 Summary of group standard of coal gangue

序号	标准编号	标准名称	领域
1	T/CECS G: D22—03—2023	《公路煤矸石路基技术规程》	建材或道路材料
2	T/CECS 1469—2023	《矿区专用铁路路基煤矸石填筑施工标准》	建材或道路材料
3	T/CIC 411—2023	《煤矸石集料在路面基层中应用技术指南》	建材或道路材料
4	T/HJC 011—2022	《煤矸石机制砂建筑砂浆及应用技术规范》	建材或道路材料
5	T/HJC 010—2022	《煤矸石机制砂》	建材或道路材料
6	T/CBCA 006—2020	《掘进煤矸石路面基层材料应用技术规程》	建材或道路材料
7	T/NAIA 0214—2023	《煤矸石中主量元素的测定 粉末压片-X射线荧光光谱法》	分析方法
8	T/QGCML 618—2023	《煤矸石排放与治理方法》	生态环境保护
9	T/NXCL 018—2022	《宁东能源化工基地采煤塌陷区煤矸石回填复垦技术规范》	生态修复
10	T/HAEPCI 056—2020	《有机复合肥用煤矸石污染物控制标准》	生态修复
11	T/QGCML 315—2022	《煤田煤矸石的热能快速降温灭火方法及热能利用装置》	热能利用
12	T/SXSFS 004—2021	《煤矸石堆场潜层注浆灭火工程技术规范》	其他

5968—2021)是回收利用综合标准,《煤矸石生物肥料技术条件》(MT/T 574—1996)是生物肥料相关的质量标准,《煤和煤矸石浸出试验方法》(MT/T 1016—2006)

和《煤和矸石泥化试验方法》(MT/T 109—1996)属于分析方法标准,《煤矸石山生态修复综合技术规范》(LY/T 2991—2018)是生态环境修复相关的方法标准,

《城镇道路工程施工与质量验收规范》(CJJ 1—2008)是用于道路施工的标准,《燃煤电厂固体废物贮存处置场污染控制技术规范》(DL/T 1281—2013)是用于煤矸石燃烧发电场的污染控制标准,分别由住房和城乡建设部、工业和信息化部、国家能源局、国家发展和改革委员会、国家林业和草原局等不同部门结合自身管理需求而提出。

由表4可知,地方标准的提出主要集中在煤炭产地的各省份。在14项地方标准中,山西省出台4项煤矸石相关标准,涉及矿山修复、填充、植被建设等领域。其余省份的地方标准大多集中于煤矸石在制砖、路基、路堤、混凝土等建材方面的应用。

由表5可知,团体标准适用范围主要集中在建材或道路材料领域,包括6项标准,其余综合利用相关标准分别涉及生态修复和热能利用。考虑到团体标准为市场行为的标准,尽管在行业中公信力较弱,但其更侧重于新技术新产品的转化应用,因此,团体标准更能直观体现当前行业的技术方向与特点。

### 3.3 煤矸石标准体系存在的问题

根据我国《固体废物分类与代码目录》,煤矸石属于一般工业固体废物。当前我国对于煤矸石的相关研究已经比较成熟,煤矸石综合利用及管理标准体系已经初步建立,主要存在以下问题。

1)缺乏全过程污染防控标准体系。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称“《固废法》”)第36条提出“产生工业废物的单位应当建立健全工业固体废物产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染环境防治责任制度”,对照现行标准体系的整理结果来看,当前标准体系并未覆盖煤矸石从产生到处置利用的全过程,现行标准涉及煤矸石的贮存、处置以及部分综合利用途径的技术规范,缺乏产生、收集、运输过程的相关标准。因此,煤矸石有可能在环境管理较为薄弱的环节对生态环境造成危害,亟需完善煤矸石环境污染防治标准体系。

2)缺乏综合利用技术规范体系。将标准体系与综合利用技术对比发现,能够大量消耗煤矸石的途径大都是标准体系比较完善的利用途径,例如生态修复、燃烧利用和建筑材料三种途径<sup>[29]</sup>。很多新的利用技术例如铝盐和分子筛等化工产品的制备、有价元素的回收以及人工鱼礁等产品的制备,在推广过程中都被标准缺失的问题所困扰。

《固废法》第15条规定“综合利用固体废物应当遵守生态环境法律法规,符合固体废物污染环境防治技术标准。使用固体废物综合利用产物应当符合

国家规定的用途、标准”。煤矸石的综合利用途径多样,应用范围非常全面,而在当前现行的煤矸石综合利用标准中,包括建材或道路材料相关标准22项、生态修复相关标准7项、燃烧发电相关标准1项。其余煤矸石综合利用途径,除个别领域如生物肥料制备、热能利用等已发布相关标准外,绝大部分应用领域均未建立相应的标准。特别是新技术、新产品方向,缺乏相应的标准,严重限制了煤矸石的再利用。为了更好地拓展煤矸石以及相应大宗工业固废的应用领域,因地制宜选择合适应用途径,有必要针对当下较成熟的煤矸石应用技术制定相关的综合利用标准,更加全面的综合利用途径有利于解决我国当下面临的煤矸石大量堆存及环境污染问题。

## 4 结论与建议

1)煤矸石综合利用技术种类较多,充分利用其在组成、性质等方面的特点,对于规模化消纳煤矸石具有积极推动作用。未来仍需要不断拓展新技术、新领域、新产品的研究方向,丰富技术体系。

2)相对于综合利用技术,与煤矸石相关的标准体系不够完善,缺少关键环节(产生、收集、运输)的污染控制标准,环境监管过程中还存在薄弱环节,建议环境主管部门从环境管理角度加强污染风险防控标准体系的完善。

3)针对煤矸石综合利用的产品类标准虽然数量较多,但综合利用方向较为单一,很多比较成熟的综合利用途径尚未转化成相应的技术规范和产品质量标准,对于煤矸石综合利用技术的提高与产品的推广极为不利,建议加快制定煤矸石综合利用产品类的标准。

## 参考文献(References):

- [1] LIANG Y C, LIANG H D, ZHU S Q. Mercury emission from spontaneously ignited coal gangue hill in Wuda Coalfield, Inner Mongolia[J]. Fuel, 2016, 182(15): 525-530.
- [2] 冯朝朝,韩志婷,张志义,等.煤矿固体废物-煤矸石的资源化利用[J].煤炭技术, 2010, 29(8): 5-7.  
FENG Zhaozhao, HAN Zhiting, ZHANG Zhiyi, et al. Mine solid waste-utilization of coal gangue[J]. Coal Technology, 2010, 29(8): 5-7.
- [3] ZHOU L, ZHOU H J, HU Y X, et al. Adsorption removal of cationic dyes from aqueous solutions using ceramic adsorbents prepared from industrial waste coal gangue[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 234: 245-252.
- [4] 张明亮,王海霞.煤矿区矸石山周边土壤重金属污染特征与规律[J].水土保持学报, 2007, 21(4): 189-192.  
ZHANG Mingliang, WANG Haixia. Characteristics on soil heavy metal pollution around coal mine waste piles[J]. Journal of Soil and

- Water Conservation, 2007, 21(4): 189-192.
- [ 5 ] 马骏, 郁钟铭, 舒仕海, 等. 煤矸石对矿区的环境危害及治理措施[J]. 煤炭工程, 2015, 47(10): 70-73.  
MA Jun, YU Zhongming, SHU Shihai, et al. Environmental hazards of coal gangue and the control measures[J]. Coal Engineering, 2015, 47(10): 70-73.
- [ 6 ] 张铨, 韩国才, 陈慧, 等. 黄土高原煤矿区煤矸石中重金属对土壤污染的研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(10): 1141-1146.  
ZHANG Li, HAN Guocai, CHEN Hui, et al. Study on heavy metal contaminants in soil come from coal mining spoil in the Loess Plateau[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(10): 1141-1146.
- [ 7 ] 刘政, 赵文廷, 王爱军. 孟县煤矿区及其周边农田土壤重金属溯源分析[J]. 煤炭学报, 2018, 43(S2): 532-545.  
LIU Zheng, ZHAO Wenting, WANG Aijun. Tracing analysis of heavy metals in farmland soils of Yu County, Yangquan[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(S2): 532-545.
- [ 8 ] 王心义, 杨建, 郭慧霞. 矿区煤矸石堆放引起土壤重金属污染研究[J]. 煤炭学报, 2006, 31(6): 808-812.  
WANG Xinyi, YANG Jian, GUO Huixia. Study on heavy metals in soil contaminated by coal waste rock pile[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(6): 808-812.
- [ 9 ] 胡振琪, 巩玉玲, 吴媛婧, 等. 自燃煤矸石山隔离层空气阻隔性对时间的响应[J]. 中国矿业, 2019, 28(5): 77-81, 124.  
HU Zhenqi, GONG Yuling, WU Yuanjing, et al. The response of air barrier property to time of the isolation layers of coal gangue piles with spontaneous combustion[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(5): 77-81, 124.
- [ 10 ] CONG X Y, LU S, YAO Y, et al. Fabrication and characterization of self-ignition coal gangue autoclaved aerated concrete[J]. Materials & Design, 2016, 97(5): 155-162.
- [ 11 ] WANG S B, LUO K L, WANG X, et al. Estimate of sulfur, arsenic, mercury, fluorine emissions due to spontaneous combustion of coal gangue: an important part of Chinese emission inventories[J]. Environmental Pollution, 2016, 209(2): 107-113.
- [ 12 ] 李雅阁, 章力. 基于有效降雨量的排矸场边坡稳定性分析[J]. 中国矿业, 2021, 30(9): 67-72.  
LI Yage, ZHANG Li. Stability analysis of gangue field slope based on effective rainfall[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(9): 67-72.
- [ 13 ] 于乐乐, 王爱国, 仲小凡, 等. 煤矸石骨料混凝土力学和耐久性研究进展[J/OL]. 材料导报: 1-19[2024-02-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1078.TB.20231227.1740.010.html>.  
YU Lele, WANG Aiguo, ZHONG Xiaofan, et al. Research progress on mechanics and durability of coal gangue aggregate concrete [J/OL]. Materials Review: 1-19[2024-02-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1078.TB.20231227.1740.010.html>.
- [ 14 ] ESCALANTE J I, MENDOZA G, MANCHA H, et al. Pozzolanic properties of a geothermal silica waste material[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(4): 623-625.
- [ 15 ] LAVRINENKO A A, SVECHNIKOVA N Y, KONOVNITSYNA N S, et al. Utilization of bituminous coal flotation wastes in the manufacture of ceramic brick[J]. Solid Fuel Chemistry, 2018, 52(6): 406-410.
- [ 16 ] PANE I, HANSEN W. Investigation of blended cement hydration by isothermal calorimetry and thermal analysis[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(6): 1155-1164.
- [ 17 ] DU T, WANG D M, BAI Y J, et al. Optimizing the formulation of coal gangue planting substrate using wastes: the sustainability of coal mine ecological restoration[J]. Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology, 2020, 143(1): 105669.
- [ 18 ] HAN J F, HA Y, GUO M Y, et al. Synthesis of zeolite SSZ-13 from coal gangue via ultrasonic pretreatment combined with hydrothermal growth method[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 59: 104703.
- [ 19 ] ZHOU J M, ZHENG F, LI H L, et al. Optimization of post-treatment variables to produce hierarchical porous zeolites from coal gangue to enhance adsorption performance[J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 381: 122698.
- [ 20 ] 徐良骥, 黄璨, 章如芹, 等. 煤矸石充填复垦地理化特性与重金属分布特征[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 211-219.  
XU Liangji, HUANG Can, ZHANG Ruqin, et al. Physical and chemical properties and distribution characteristics of heavy metals in reclaimed land filled with coal gangue[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(5): 211-219.
- [ 21 ] 董霁红, 王莹. 煤矿塌陷区废碴充填复垦土壤理化性质研究[J]. 矿业研究与开发, 2008, 28(1): 68-70, 88.  
DONG Jihong, WANG Ying. Study on the physical and chemical properties of reclaimed soil filled with waste residue in mine subsidence area[J]. Mining Research and Development, 2008, 28(1): 68-70, 88.
- [ 22 ] ZHANG X G, LIN J, LIU J X, et al. Investigation of hydraulic-mechanical properties of paste backfill containing coal gangue-fly ash and its application in an underground coal mine[J]. Energies, 2017, 10(9): 1-19.
- [ 23 ] 程勇, 袁峰, 谢承卫. 煤矸石中炭的浮选及煤矸石活化的研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2010, 24(1): 34-37.  
CHENG Yong, YUAN Feng, XIE Chengwei. The research on the flotation of the carbon in coal gangue and the activation of coal gangue[J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2010, 24(1): 34-37.
- [ 24 ] 张旭波, 李延锋, 张多文, 等. 煤矸石浮选脱碳的工艺研究[J]. 中国煤炭, 2014, 40(7): 90-94.  
ZAHNG Xubo, LI Yanfeng, ZHANG Duowen, et al. Research on the decarbonization process in flotation of coal gangue[J]. China Coal, 2014, 40(7): 90-94.
- [ 25 ] LI J, WANG J. Comprehensive utilization and environmental risks of coal gangue: a review[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 239: 117946.
- [ 26 ] 郭亚奔, 张晓, 史久林, 等. 煤柱-充填体联合控制地表变形规律研究[J]. 中国矿业, 2022, 31(12): 138-145.  
GUO Yaben, ZHANG Xiao, SHI Jiulin, et al. Study on surface deformation law of coal pillar-filling combined control[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(12): 138-145.
- [ 27 ] 乔龙腾. 基于煤矸石的采空区充填膏体材料研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2023.
- [ 28 ] 罗建, 胡水明. 采煤塌陷区煤矸石回填复垦技术[J]. 中国高新技术企业, 2016(19): 148-149.  
LUO Jian, HU Shuiming. Coal gangue backfilling reclamation technology in coal mining subsidence area[J]. China High-tech Enterprises, 2016(19): 148-149.

- [ 29 ] 杨智涛, 黄健华. 煤矸石充填沟壑土地复垦生态修复工程的探索与实践[J]. 煤炭加工与综合利用, 2023(4): 84-87, 92.  
YANG Zhitao, HUANG Jianhua. Exploration and practice of ecological restoration project of coal gangue filling and gully land reclamation[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2023(4): 84-87, 92.
- [ 30 ] 宋慧平, 安全, 申午艳, 等. 固废基土壤调理剂的制备及其矿区生态修复效果[J]. 环境工程, 2022, 40(12): 187-195, 230.  
SONG Huiping, AN Quan, SHEN Wuyan, et al. Preparation of solid waste-based soil conditioners and their ecological remediation effects on the mining area[J]. Environmental Engineering, 2022, 40(12): 187-195, 230.
- [ 31 ] 袁春玉, 王浩. 山西沁源地区煤矸石综合利用现状及展望[J]. 煤炭加工与综合利用, 2020(2): 71-74.  
YUAN Chunyu, WANG Hao. Status and prospect of comprehensive utilization of coal gangue in Qinyuan Area of Shanxi Province[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2020(2): 71-74.
- [ 32 ] 徐彬, 张天石, 邓国柱, 等. 大掺量煤矸石水泥研究[J]. 环境科学, 1997(6): 62-63, 66, 96.  
XU Bin, ZHANG Tianshi, DENG Guozhu, et al. Research of large gangue content cement[J]. Environmental Science, 1997(6): 62-63, 66, 96.
- [ 33 ] 李振, 雪佳, 朱张磊, 等. 煤矸石综合利用研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(6): 165-178.  
LI Zhen, XUE Jia, ZHU Zhanglei, et al. Research progress of comprehensive utilization of coal gangue[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41(6): 165-178.
- [ 34 ] 罗立群, 王召, 魏金明, 等. 铁尾矿-煤矸石-污泥复合烧结砖的制备与特性[J]. 中国矿业, 2018, 27(3): 127-131, 137.  
LUO Liqun, WANG Zhao, WEI Jinming, et al. Preparation and characteristics of composite sintered brick by iron ore tailing, coal gangue and sewage sludge[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(3): 127-131, 137.
- [ 35 ] 张博超, 张洲朋, 赵文豪, 等. 利用煤矸石合成沸石分子筛的应用进展[J]. 煤炭技术, 2023, 42(11): 252-255.  
ZHANG Bochao, ZHANG Zhoupeng, ZHAO Wenhao, et al. Progress of application of zeolite molecular sieve synthesized from coal gangue[J]. Coal Technology, 2023, 42(11): 252-255.
- [ 36 ] 王丽萍, 李超, 常宁, 等. 煤矸石中有价元素回收技术研究进展[J]. 无机盐工业, 2023, 55(7): 10-17.  
WANG Liping, LI Chao, CHANG Ning, et al. Research progress of recovery technology of valuable elements from coal gangue[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2023, 55(7): 10-17.
- [ 37 ] 中华人民共和国工业和信息化部. 国家工业固体废物资源综合利用产品目录[R]. 2018.
- [ 38 ] 王皓. 高温下多种工业固体废弃物复配纤维化热熔特性研究[D]. 太原: 山西大学, 2018.
- [ 39 ] 李冠成. 人工渔礁工程中几个技术问题探讨[J]. 海洋工程, 2007, 25(4): 107-111.  
LI Guancheng. Several technical problems of artificial fishing reef engineering[J]. The Ocean Engineering, 2007, 25(4): 107-111.
- [ 40 ] 马淑杰. 新征程下大宗固废综合利用产业发展研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(6): 10-18.  
MA Shujie. Research on the development of comprehensive utilization industry of bulk solid waste in the new journey[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(6): 10-18.
- [ 41 ] 刘洵文, 赵景文. 煤矸石综合利用现状分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(19): 25-27.  
LIU Xunwen, ZHAO Jingwen. Analysis on the status quo of comprehensive utilization of coal gangue[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2023(19): 25-27.