

# 煤矸石的资源化利用

张顺利<sup>1</sup>, 王泽南<sup>2</sup>, 贾懿曼<sup>1</sup>, 李成<sup>1</sup>, 薛浩<sup>1</sup>, 舒新前<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083;

2. 山西潞安环保能源开发股份有限公司 常村煤矿, 山西 长治 046000)

**摘要:**介绍了煤矸石的基本组成及对水体、土壤、大气等的危害。介绍了几种煤矸石利用的主要途径及新的利用途径,并进行了经济技术分析,提出煤矸石资源化利用的建议。

**关键词:**煤矸石;资源化利用;节能减排

中图分类号:TD849.5

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2011)04-0097-04

富煤贫油少气的能源赋存状况,决定了今后几十年中国煤炭开采洗选量仍将稳步提高。煤矸石的排放和堆存也将不断增加<sup>[1]</sup>。如何有效进行煤矸石的资源化利用,无疑是亟待解决的重要问题。笔者在简述煤矸石化学组分及危害的基础上,分析了其主要利用途径,对中国煤矸石资源化利用提出了建议。

## 1 煤矸石的化学组成

煤矸石是煤炭开采、洗选过程中的副产品,不同地区的煤矸石化学组成差别较大,如何资源化利

用煤矸石,对其化学组成的研究与分析是关键。煤矸石的化学成分主要是氧化物,如  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  等,部分地区煤矸石中还含有 Ge, Ga, U, Th 等元素,其主要的矿物组成是高岭石、石英、钾云母、长石等。中国煤矸石的化学组分见表 1。

## 2 煤矸石对环境的危害

### 2.1 对水体环境的危害

煤矸石对水体环境的危害主要体现在 2 个方面:一是物理污染,雨水冲刷矸石山中的许多细颗粒,

表 1 煤矸石中各物质的质量分数

化学成分	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	C
质量分数/%	30~60	15~40	2~10	1~4	1~3	1~2	1~2	20~30

随水流流入河道湖泊中,污染水资源;二是化学污染,煤矸石中除含有  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等常见氧化物外,还含有一些微量重金属元素,如 Pb, Sn, Hg, As, Cr 等,它们会通过雨水淋溶进入地表水域或渗入浅层地下水,污染水体<sup>[2]</sup>。

### 2.2 对土地资源的危害

据初步统计,中国堆存的煤矸石已超过 50 亿 t,其中规模较大的矸石山就有 2600 多座,按照煤矸石占地系数  $333.3 \text{ m}^2/\text{万 t}$  计算,占地约  $120 \text{ km}^2$ <sup>[3]</sup>。煤矸

石长期堆放还会破坏周围土地生态环境,甚至形成盐碱地。

### 2.3 对大气的危害

煤矸石长期堆放内部会持续升温甚至自燃,由于煤矸石中含有黄铁矿、有机硫等,自燃产生  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{NO}_x$  等有害气体,而且长期堆放的矸石山还会风化破碎、扬尘,污染大气环境。

### 2.4 引发安全隐患

中国矸石山多为自然堆放,当坡度较陡而且堆

收稿日期:2011-03-14

作者简介:张顺利(1987—),男,山东枣庄人,2009年毕业于山东科技大学,现为中国矿业大学(北京)在读硕士研究生。

积较高时,会由于重力及暴雨影响,诱发泥石流、山体滑坡和坍塌等地质灾害,对周边农田、河流及居民安全造成隐患。

### 3 煤矸石资源化利用的主要途径

美国、英国和德国等西方国家煤矸石的总体利用率相对较高,中国煤矸石的开发利用程度较低。煤矸石的主要利用途径如下:

#### 3.1 煤矸石发电

国内外学者对煤矸石及劣质煤作为炉用燃料的资源化利用进行了大量研究<sup>[4]</sup>。煤矸石发电主要是利用发热量在 4186.8 kJ/kg 以上的煤矸石,掺烧部分中煤、尾煤或者煤泥,通过循环流化床燃烧发电<sup>[5-6]</sup>。目前全国已建成煤矸石电厂将近 200 座,装机容量约 3000 万 kW,每年发电实际消耗煤矸石约 2000 万 t。

与自然相比,煤矸石发电有明显的环境效益,每燃烧 1000 万 t 煤矸石可少排放 SO<sub>2</sub> 24 万~38 万 t,少占地 0.2 km<sup>2</sup>,而且循环流化床采用低温(850~900 ℃)燃烧,可有效抑制 NO<sub>x</sub> 生成。与粉煤炉相比,NO<sub>x</sub> 排放的体积分数可从 0.3 × 10<sup>-3</sup>~0.4 × 10<sup>-3</sup> 降到 0.12 × 10<sup>-3</sup>~0.15 × 10<sup>-3</sup>,并且燃烧后产生的灰渣和粉煤灰还可用于生产建材或其它利用,是一种绿色循环的资源利用方式。

#### 3.2 从煤矸石中富集提取有用矿产

按煤矸石中物质的平均含量计算,即 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 28%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 5%,SiO<sub>2</sub> 为 55%,如果能把 50 亿 t 堆存煤矸石中的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 有效提取出来,可以生产 14 亿 t Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、2.5 亿 t Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以及 27.5 亿 t SiO<sub>2</sub>,缓解中国铁矿石、铝土矿等资源紧张、供应严重短缺的问题,极大满足国民经济快速发展对矿产资源的需求,在一定程度上保障国家的矿产资源安全。此外,煤矸石中还含有比较丰富的 Ge、Ga、V 等有用组分,也可以提取利用。

以提取铝为例,国内外煤矸石提铝主要采用石灰石烧结法、碱石灰烧结法和酸浸法<sup>[7]</sup>。在总结国内外提铝工艺的基础上,中国矿业大学(北京)清洁能源与环境工程研究所开发了利用煤矸石等含铝矿产通过改进的酸浸法高效提铝技术(MALEA)。对中国峰峰、阳泉、窑街、准格尔、霍州、晋城等矿区的煤矸石,开展了高效提取试验。结果表明,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的提取率达到 80% 以上。MALEA 提铝工艺过程简

单、容易操作,能耗和原料消耗较低,产品的综合效益较高。初步核算表明,建设一个年处理 10 万 t 的高效提铝装置,通过初选利用煤矸石提取 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,设备投资大约 8000 万元。每年大约生产 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2 万~2.5 万 t,同时生产 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3000 t, SiO<sub>2</sub> 3 万~4 万 t,回收中热值煤炭大约 1 万 t,年产值可达 1.2 亿元。

#### 3.3 煤矸石生产建材

生产建材是煤矸石利用最普遍的方法,主要是利用煤矸石生产水泥和制砖。

##### (1) 煤矸石生产水泥

一般先进行低温处理,形成活性矸石渣后,再与生石灰、晶种按比例配合入磨机粉磨。粉磨后的混合料经水热合成、低温焙烧形成水泥生料,然后加入一定量的石膏,制成低温合成煤矸石水泥<sup>[8]</sup>。煤矸石生产水泥可以替代一部分粘土,节省燃料,降低生产成本。据测算,一个年产 20 万 t 的水泥厂,用煤矸石代替粘土生产 525 号普通水泥,产生效益见表 2<sup>[9]</sup>。

表 2 煤矸石生产水泥效益

效益	项目	参数值	
经济	节约原料	/(元·t <sup>-1</sup> ) /(万元·a <sup>-1</sup> )	0.94 1.22
	节约煤炭	/(t·a <sup>-1</sup> ) /(万元·a <sup>-1</sup> )	669.96 40.2
	CO <sub>2</sub> 减排	/(t·a <sup>-1</sup> )	1607.9~1875.9
	SO <sub>2</sub> 减排	/(t·a <sup>-1</sup> )	6.7
环境	NO <sub>x</sub> 减排	/(t·a <sup>-1</sup> )	4.96

##### (2) 煤矸石制砖

煤矸石制砖多数采用隧道窑,近几年新建大型煤矸石烧结砖生产线的隧道窑宽一般为 4.6 m 和 6.9 m。煤矸石制砖可以利用自身热量,节约煤炭,降低成本,产生效益见表 3。

表 3 煤矸石制砖效益

效益	项目	参数值
经济	节约煤炭/(t·万块标准砖 <sup>-1</sup> )	1.12
环境	CO <sub>2</sub> 减排/(t·万块标准砖 <sup>-1</sup> )	2.688~3.024
	SO <sub>2</sub> 减排/(t·万块标准砖 <sup>-1</sup> )	0.0112
	NO <sub>x</sub> 减排/(t·万块标准砖 <sup>-1</sup> )	0.0083
	节约土地/(m <sup>2</sup> ·万块标准砖 <sup>-1</sup> )	9.333~14.000

煤矸石制砖基本做到了“制砖不用土,烧砖不用煤”,保护耕地,节约能源,从而减少了温室气体及污染物排放,是一种绿色节能的煤矸石利用途径<sup>[10-11]</sup>。

### 3.4 煤矸石生产肥料

煤矸石中含有植物生长所必须的 B, Zn, Cu, Co, Mo, Mn 等微量元素,并且含有 15%~20% 的有机质,因此可以作为制备肥料的原料。辽宁南票矿务局与中国农科院合作开发生产了“金丰”牌微生物肥料,山东龙口、河南郑州矿务局与北京田力宝科研所开发生产了“田力宝”牌微生物肥料等<sup>[12]</sup>。

### 3.5 其它用途

煤矸石还可用来充填采空区、复垦造地和筑路。煤矸石回填技术包括采空区回填、低洼地充填、煤矿塌陷区复垦、路基充填等<sup>[13]</sup>。煤矸石回填不仅可以保护耕地,还可以大量利用煤矸石等固体废弃物,防治塌陷、保护矿区周边居民安全。据统计,中国回填用煤矸石约占其总利用量的 70%。矸石山复垦不但可以有效控制矸石山的酸性、减少酸雨形成,保护水资源和周边农田,还可以有效防止矸石山的自燃、风化破碎、扬尘,减少对大气的危害<sup>[14-15]</sup>。煤矸石筑路可以减少筑路取土对土地资源的破坏,并且消耗煤矸石,恢复土地。例如,205 国道张博段改建工程每千米可利用煤矸石约 4000 m<sup>3</sup>,节约资金 39280.5 元,由此恢复土地 195 m<sup>2</sup><sup>[16]</sup>。

## 4 煤矸石资源化利用新途径

### 4.1 煤矸石制取微晶玻璃

煤矸石可作为制备微晶玻璃的原料,微晶玻璃是利用玻璃或其他材料,在加热过程中通过晶化控制而得到的一种微晶体和玻璃相均匀分布的复合材料。微晶玻璃生产过程中不产生污染物,产品安全<sup>[17]</sup>。

### 4.2 煤矸石生产聚合氯化铝

聚合氯化铝是一种优质的高分子混凝剂,具有优良的凝结性能,广泛应用于造纸、制革、污水处理等许多领域。可以采用酸溶法,以煤矸石为原料制取聚合氯化铝<sup>[18]</sup>。

### 4.3 煤矸石加工煅烧高岭土

煤矸石经过煅烧、超细磨处理后,就能够达到造纸涂料级产品要求,与西方国家水洗高岭土相

比,具有白度高、质量好、成本低等特点,广泛应用于石化、医药、涂料、陶瓷、造纸和橡胶工业,市场前景良好。

## 5 煤矸石资源化利用建议

(1) 对全国的煤矸石资源和品质及加工利用方向进行系统调查,建立全国煤矸石资源数据库,进行数据共享。

(2) 成立煤矸石综合利用组织和协调机构,从实际出发编制中国煤矸石综合利用中长期发展规划。制订国家关于支持煤矸石综合利用的政策以及法规,颁布国家鼓励和支持煤矸石综合利用的产品和技术名录。

(3) 中国煤矸石综合利用的研究起步较晚,目前存在着技术装备落后、企业规模小、发展后劲不足,竞争能力弱的特点。建议国家加大对煤矸石综合利用研究的资金投入,设立专项资金,推进煤矸石综合利用关键技术的重大装备的研发,同时鼓励商业银行对煤矸石综合利用进行优惠贷款支持,促进煤矸石利用研发和利用水平的提高。

(4) 转变思想,树立煤矸石是资源,是可供长期使用的资源的观念,选择市场状况较好、技术可行的项目,逐渐进行煤矸石的综合利用。

### 参考文献:

- [1] 叶吉文,沈国栋,路露.煤矸石的危害与综合利用[J].中国资源综合利用,2010,28(5):32-34.
- [2] 臧龙,张盛祥,张志义,等.浅谈煤矸石对环境的影响及其资源化利用[J].煤,2010,19(2):24-28.
- [3] 蒋翠蓉,刘瑞芹.浅谈煤矸石的综合利用[J].煤质技术,2009(S1):54-58.
- [4] G. Domazetis, P. Barilla, B. D. James, et al. Treatments of low rank coals for improved power generation and reduction in Greenhouse gas emissions [J]. Fuel Processing Technology, 2008, 89(1): 68-76.
- [5] Folgueras, M. Belen, María Díaz, R, et al. Sulphur retention during co-combustion of coal and sewage sludge [J]. Fuel, 2004, 83(10): 1315-1322.
- [6] 黄志芳.煤矸石综合开发利用可行性分析[J].海峡科学,2009(8):56-59.
- [7] 任根宽,张克俭.煤矸石提取氧化铝工艺研究[J].无机盐工业,2010,42(8):54-56.

- [8] 杨凤玲,严生. 低温合成煤矸石水泥的研究[J]. 水泥工程 2006(6): 16-18.
- [9] 赵洪东,王君. 煤矸石代替粘土配料生产高标号水泥的实践[J]. 山东建材,1997(3): 36-37.
- [10] 吴凡. 煤矸石的综合利用[J]. 上海建材,2010(3): 23-25.
- [11] 李文秀. 利用煤矸石制砖的环境影响分析[J]. 洁净煤技术 2008,14(3): 93-95.
- [12] 刘瑞芹. 煤矸石的综合利用分析[J]. 现代矿业 2009(7): 140-142.
- [13] 边炳鑫,解强,赵由才. 煤系固体废弃物资源化技术[M]. 北京: 化学工业出版社 2005.
- [14] 杨秀敏,胡桂娟,李宁,等. 煤矸石山的污染治理与复垦技术[J]. 中国矿业 2008,17(6): 34-36.
- [15] 裴高峰. 浅析古书院矿煤矸石治理工艺[J]. 洁净煤技术 2005,11(3): 53-54.
- [16] 贾致荣. 用煤矸石筑路的初步研究[J]. 矿产保护与利用 2000(1): 52-54.
- [17] 郭飞,陈新勇,丁银龙,等. 煤矸石的利用途径及存在问题分析[J]. 能源及环境 2009(2): 18-19.
- [18] 李超,徐燕. 煤矸石深加工新技术的探讨[J]. 矿业快报 2008(8): 92-93,109.

### Study on resource utilization of coal gangue

ZHANG Shun-li<sup>1</sup>, WANG Ze-nan<sup>2</sup>, JIA Yi-man<sup>1</sup>, LI Cheng<sup>1</sup>, XUE Hao<sup>1</sup>, SHU Xin-qian<sup>1</sup>

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;  
2. Changcun Coal Mine Lu'an Environmental Protection and Energy Development Co., Ltd., Changzhi 046000, China)

**Abstract:** Introduce the basic composition of coal gangue and its damage to water, soil and atmosphere. Some kinds of main utilization methods, especially new ones are introduced. Also analyze the feasibility of those methods from the aspects of economy and technology, provide some suggestions on recycling coal gangue.

**Key words:** coal gangue; resource utilization; energy saving and consumption reduction

(上接第 84 页)

(4) 炼焦生产中,应充分利用化产品产率与变质程度关系,在保证焦炭质量的前提下,适当增加高化产品产率的煤种,以获得更大的经济效益。

参考文献:

- [1] 杨金和,陈文敏,段云龙. 煤炭化验手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社 2004.
- [2] 白俊仁,刘凤岐,姚星一,等. 煤质技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社,1982.
- [3] 张丽珊. 煤炭化验操作问答[M]. 北京: 煤炭工业出版社,1985.
- [4] 水恒福,张德祥,张超群. 煤焦油分离与精制[M]. 北京: 化学工业出版社 2008.

### Influence of metamorphic grade of coking coal on pyrolysis products yield

WANG Bin

(Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Pyrolyze four kinds of different metamorphic grade of coking coal in 1 kg experimental apparatus, which can pyrolyze coal and retrieve co-products. Analyze the influence of metamorphic grade of coking coal on products (coke, coal tar, gas, hydrogen and methane) yield.

**Key words:** coking coal; co-product; metamorphic grade; coal tar