



## 煤矸石资源化利用途径及进展

孙春宝<sup>1,2</sup>,董红娟<sup>1</sup>,张金山<sup>1,2</sup>,曹 钊<sup>1</sup>,范文阳<sup>1</sup>,郭振坤<sup>1</sup>,周 姗<sup>1</sup>

(1. 内蒙古科技大学矿业工程研究院内蒙古自治区固体废弃物资源综合利用工程技术研究中心,  
内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古煤炭安全开采与利用工程技术研究中心,内蒙古 包头 014010)

**摘要:**概述了目前国内外煤矸石的产生、危害及利用。总结了煤矸石利用的技术和方法,从不同的角度对其进行了分类,可以按资源回收利用分类,也可以按工程利用方法分类。根据煤矸石利用的深度层次可分为直接利用型、提质加工型和综合利用型三大类。据此细致全面剖析煤矸石资源化综合利用途径,并对我国煤矸石深度开发前景进行了展望。

**关键词:**煤矸石;资源化;利用途径

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.06.001

中图分类号:TD989 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2016)06-0001-08

煤矸石是煤炭开采和洗选过程中排出的固体废弃物,是成煤过程中同煤层伴生的煤质沉积岩类矿物质,是世界也是我国排放量最大的工业废弃物之一<sup>[1]</sup>。煤矸石堆放占用大量土地和农田,而且产生粉尘和有害气体,还可能发生爆炸、崩塌与滑坡,危害人们的生命、安全和健康<sup>[2]</sup>。

目前,世界各国政府已出台政策或规划加强煤矸石的利用,许多国家、地区、企业等也对此做了大量试验研究,并有许多成果已运用到工业生产中。我国“十二五”规划到2015年<sup>[3]</sup>,全国煤矸石产生量8亿t,利用量可达6.1亿t,利用率在75%以上。其中煤矸石制建材利用1亿t,煤矸石井下充填筑路等利用2.1亿t以上。如今煤矸石利用方法和途径比较合理,技术和思路也相对成熟,方式和设备等初具规模,主要是需要将其利用途径的实效性,可操作性,综合可持续性,高科技化,大附加值化以及高度可循环产业链化。

### 1 煤矸石利用途径

#### 1.1 直接利用

##### (1) 埋坑填沟

煤矸石填充沟谷、采煤沉陷区及低洼区建筑工程用地,可用于充填潮湿甚至沼泽场地和积水塌陷坑,或用于回填煤矿采空区及废弃矿井,为解决三下压煤问题提供了良好途径<sup>[5]</sup>。煤矸石工程填筑是以获得高充填密实度,使煤矸石地基有高效的承载力,并有足够的稳定性。填充沉陷区时,可以直接向沉陷区或者山沟排放煤矸石,这种方法简单易行,同时又不增加排矸费用,在经济上也是可行的。

##### (2) 筑路修道

煤矸石作为筑路基料,具有很好的抗风雨侵蚀性能,其强度、冻稳性和抗温缩防裂性均能满足多种等级公路的规范要求,而且有些混合料的性能还优于常用的基层材料。尤其“红矸石”(燃烧过的煤矸石),可用于空地和公共广场表面装饰、铺路或用于

收稿日期:2015-11-17

基金项目:国家“863”重大项目(子课题)硅铁烟尘与高铝粉煤灰硅钙资源协同利用关键技术(2012AA06A118);煤系高岭岩制备石油催化剂技术和混凝土矿用外加剂及产业化示范(20120321);包头市重大科技发展项目(2013Z1016)

作者简介:孙春宝(1986-),男,硕士研究生,主要从事材料工程和矿业工程研究。

停车场,与铝土矿物混合起来,可以制成满意的防滑路面<sup>[6]</sup>。在路基、地基、坝基建设中,可以降低修筑成本,改善环境,减少所占土地面积,是大量处理、综合利用煤矸石的一条重要途径。

### (3) 造地复垦

煤矸石填海平湖为田(日本应用较多),用于露天矿坑、煤矸石山复垦造田,根据矸石山风化程度和粒度情况来选择复垦方式,采用全覆土、半覆土、薄覆土、或不覆土植被方式<sup>[7]</sup>。矸石山复垦地的肥力显著,可栽培多种植物。而且产量都不低。煤矸石经过粒度等技术处理,采用化学活化法,可配制成有机肥,施于田地可有效增强土壤肥力,改善土壤结构,使土壤疏松透气,进而起到一定的增产效果,对大多数土壤皆适用。

### (4) 农业肥料

煤矸石含有大量有机物质,丰富的植物生长所必须的B、Zn、Cu、Co、Mo、Mn等微量元素,比一般土壤中的含量高出2~10倍<sup>[8]</sup>,K、N、P含量也高于普通土壤,且有害元素和酸碱度一般也符合植被生长的要求。以经过合理处置的煤矸石和磷矿粉为原料基质,外加添加剂等可以制成煤矸石微生物肥料,无毒、无害、无污染、不减质、高肥效。

### (5) 回收煤炭

含煤15%以上的煤矸石,可以发电、炼铁、烧锅炉、烧石灰等。回收煤矸石中的煤炭资源,是煤矸石能源利用和其他资源化再生利用必需的预处理工作。目前,回收煤炭的洗选工艺主要有水力旋流器分选和重介质分选<sup>[9]</sup>。国内外从矸石中回收煤炭方法之一是建立简易选煤厂,采用淘洗选煤方法回收,其商品煤灰也不高,一般作为动力燃料;方法之二采用斜槽分选机,其分选效率高于浮选槽,而且煤矸石还可以作为很好的造煤添加剂。

### (6) 分离岩矿

煤矸石在没有烧尽的情况下同泥炭藓和肥料混合经过适当加工,可制成良好的无土培养基,供温室工作人员和盆栽植物培养者使用。煤矸石中的岩石,可以破碎筛分,其块、粒、粉均可作为混凝土拌料、掺和料,生产建材预制件、免烧砖,石灰岩也可用来烧制石灰。还可分离硫铁矿、皂土等其他矿物成分,李瑜<sup>[10]</sup>对晋城矿区煤层矸石与黄铁矿进行了分离研究。而回收的硫铁矿又可以处理酸性含铬(VI)废水,实现了以废治废。

### (7) 火力发电

我国用煤矸石火力发电发展较早而且迅速,现已突破超低热值大容量煤矸石循环床燃烧综合利用关键技术,煤矸石低热值燃料发电得到了长足进步<sup>[11]</sup>。煤矸石发电后产生的灰、渣不会融化,具有一定活性,可作为建材、化工及农业原料加以利用,做到了灰渣零排放和煤矸石的洁净燃烧。

## 1.2 提质利用

### (1) 制铝系产品

煤矸石一般含有较多氧化铝,首先可提取氧化铝,接着制铝。其次是制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlCl}_3$ 等铝盐。活化煤矸石可制取铝矾土和硫酸产品,再根据实际需要调整铝盐及工序,然后进行不同铝盐制备或者直接提铝<sup>[12]</sup>。制备的氢氧化铝可作为一种塑性剂合成树脂和合成橡胶等高分子材料的阻燃剂,可用作人造大理石、玛瑙、牙膏生产的填料,可制明矾、水化氯化铝、聚铁铝硅、聚硅酸铝盐、聚合氯化铝溶液;还可生产抗胃酸药片等,其市场十分广阔。

### (2) 制硅铝合金

制取硅铝铁合金的两个技术关键是 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的浸取和结晶,以及结晶物的热解,对于 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量较高的煤矸石可以采用直流矿热炉冶炼硅铝铁合金<sup>[13]</sup>。泉沟煤矿自行调装的国内第一台400kVA直流矿热炉,标志着我国用煤矸石冶炼高科技产品硅铝铁合金获得了圆满成功,在一定条件下还可以制备硅铝合金耐磨材料。

### (3) 制微晶玻璃

借鉴西班牙经验利用针铁矿废料生产微晶玻璃<sup>[14]</sup>,矿渣微晶玻璃主要是用煤矸石、矿渣或高炉渣等矿物原料和化工原料,经过配制、熔融、成型、切割与抛光后形成一种高档和工业用材料。目前矿渣微晶玻璃基于 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 共晶组合物体系,晶相以硅灰石为主,可能还有石英、钙长石、黄长石、屑石等,使用煤矸石和试剂级氧化钙可制得玻璃陶瓷即微晶玻璃<sup>[15]</sup>。

### (4) 制 Sialon 材料

高岭石矿物含量较高的煤矸石,可用来合成 Sialon 材料,通常采用碳热还原氮化法。将煤矸石去除有机质后,用符合化学计量配比的炭黑和煤矸石,并辅以适量催化剂 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,在 $1400^\circ\text{C}$ 下可以合成 $\beta$ -Sialon 材料<sup>[16]</sup>。该材料在光电磁化学生物等方面具有卓越的功能,其强度硬度高,耐腐蚀、耐高温、

耐氧化以及抗热震性能良好,被广泛用于冶金电子机械化工医药光电航空等行业。

#### (5) 制备水玻璃

由于煤矸石的主要成分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$ , 如果将其按照煤矸石制备铝盐的主要工艺流程进行, 那么滤液中的氧化铝经过处理, 就可制成聚合氧化铝, 改变条件一定工艺下也先可制得膨润土, 滤渣中的二氧化硅与氢氧化钠反应就可制成水玻璃<sup>[17]</sup>。水玻璃和硫酸为原料, 在一定条件下进行化学反应, 经过洗涤、干燥即可制得是一种工业填料白炭白, 可作为塑料填充剂, 具有广泛的市场用途。

#### (6) 制备白炭黑

利用上述煤矸石生产铝盐所剩尾渣可制备橡胶增强剂和塑料填充剂—白炭黑、硅胶, 由于尾渣主要成分为  $\text{SiO}_2$ , 其他无机化合物极少, 一种简便而有效的方法就是用含不同功能团化合物活化剂对尾渣进行改性即表面活化处理<sup>[18]</sup>。从而可在无机与有机之间形成一种分子桥, 使两种既不相容又无作用力的物质, 如尾渣等和有机高分子聚合物形成有机复合体。这种复合体所产生的协同效应可显著优化煤矸石所制白炭黑。

#### (7) 制备分子絮凝剂

崔莉等<sup>[19]</sup>提出了煤矸石制备聚氯化铝、聚氯硅酸铝、聚氯硫酸铝等絮凝剂工艺流程。无机高分子絮凝剂主要组成元素是硅、铝、铁, 其生产原料可以是化学试剂, 也可以是矿物质和工业废弃物等。煤矸石富含制备无机高分子絮凝剂的主要成分, 是制备无机高分子絮凝剂的天然原料。目前用煤矸石制备絮凝剂的较成熟的工艺是用煤矸石制备聚合氯化铝(PAC)。

#### (8) 制备活性炭材料

充分利用煤矸石中的三种主要化学成分(氧化硅、氧化铝和碳)可以制备出具有活性炭的复合材料, 该复合材料具有多孔的结构特征, 具备4A沸石的亲水和活性炭的亲油吸附特征。可以制备吸附剂、除臭剂以及应用到气体分离、净化与废水处理行业。Hu ZhongHua等<sup>[20]</sup>提出利用煤矸石制备活性炭/沸石复合物思路, 不仅能充分利用煤矸石中有效成分, 而且还研制了一种新型复合材料。

#### (9) 制备石油催化剂

利用煤矸石制备分子筛, 煤矸石中主体化学成分氧化硅、氧化铝和碳都能得到利用。先由煤矸石

结合一定化学试剂制得导向剂, 再生成分子筛, 而且制得的材料同时具有微孔和中孔的结构特征, 具备亲水和亲油吸附特征。利用煤矸石制备分子筛也可用于净水行业, 保护生态环境, 更重要的是用于石油行业做石油催化剂<sup>[21]</sup>, 节能减排, 提高石油潜在利用价值。

#### (10) 制备橡胶补强剂

江苏省煤矸石综合利用研究所开发了煤矸石橡胶新型补强性填料硅铝炭黑(SAC), 其可代替白炭黑在胶辊领域应用。选用含羰基化学处理剂对矸石粉表面改性, 通过涂敷工艺制得橡胶补强剂。张镭等<sup>[22]</sup>精选烟煤、煤矸石为原料, 制成 NRF901 新型橡胶补强助剂。赵鸣等<sup>[23]</sup>通过超细处理、去杂改性和添加助剂等手段, 将煤矸石用作天然橡胶 NR 和环氧化橡胶(ENR)补强填充剂, 可完全取代陶土粉, 或部分取代炭黑作天然橡胶的补强填充剂。

#### (11) 制备其他化合物

肖秋国等<sup>[24]</sup>以煤矸石、玻璃粉为主原料, 添加适量发泡剂和稳定剂研制吸声泡沫玻璃。李瑞等<sup>[25]</sup>将鹤壁洗矸石干馏活化, 然后添加分散剂制取无机-有机复合材料硅铝炭黑, 其制品具有延迟硫化作用。煤矸石还可制铝系、硅系、碳系、 $\text{V}_2\text{O}_5$ 、岩棉以及含铁化合物。富镓煤矸石可提取稀有金属元素镓, 富钛煤矸石可制取钛白粉, 作为生产电焊条、海绵钛和钛合金等的加工原料, 还可用作涂料、陶瓷、塑料、玻璃等工业的着色颜料及填充剂。

### 1.3 综合利用

#### (1) 生产煤气

煤矸石煤气炉造气原理与一般煤气发生炉基本相同。矸石造气的特点是燃料不需破碎, 能减少烟尘, 改善环境, 且构造简单, 投资不大。制作容易, 一次投矸, 一次清渣。但存在的问题是结渣严重, 气化效率低, 不能连续地、稳定地进行造气, 这也是由于技术有限, 有待工程性改善<sup>[2]</sup>。煤矸石可以制取甲烷、煤气或水煤气, 作为窑炉的热源或者供给企业单位使用。还可以制取高温干馏煤气, 其副产品可作橡胶补强剂或油墨等行业的原料。

#### (2) 制备砖瓦

苏联建工研究所介绍, 利用煤矸石制砖瓦, 减少燃料消耗, 降低产品成本。吕一波等<sup>[26]</sup>分析了利用煤矸石制空心砖的可行性, 实现了制砖不用粘土, 烧砖不用燃料。煤矸石制砖充分利用其粘土矿物和热

量,煤矸石制砖工艺技术已经成熟,能够100%煤矸石做原料,不额外投加任何燃料制取空心砖。同时采用先进制砖技术和设备,可生产煤矸石承重多孔砖、非承重空心砖及外承重装饰砖、免烧砖、广场砖、道路砖等,是利用煤矸石的重要途径。

### (3) 制备型砂

泥质岩石类煤矸石中高岭石含量在40%以上时,可以作为生产铸造型砂或者铸石的原料,泥岩类煤矸石主要是通过人工手拣的方法从泥岩含量相对较多的洗煤矸石、煤巷矸石获得<sup>[13]</sup>。煅烧是生产铸造型砂的技术关键,主要在于煅烧温度和时间的合理控制,以及入窑前矸石的处理和出窑后降温的工艺,煅烧窑炉通常采用立窑或倒焰窑。

### (4) 制备陶粒

煤矸石在高温煅烧时具有发气膨胀特性,可生产陶粒轻骨料,质轻、强度高、保温、抗震性能好,被广泛应用于高层超高层建筑及大跨度建筑工程,而且制备工艺简单、设备投资较小,是一种新型建筑材料<sup>[27]</sup>。煤矸石陶粒的制粒工艺分为干法和粉磨成球法两种。陶粒的热加工工艺一般包括烘干、预热和焙烧及冷却三个工序。快速预热,软化膨胀,然后通过一定冷却工艺制得陶粒。冷却工艺对陶粒质量影响很大。

### (5) 制备陶瓷

煤矸石主要成分 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 接近陶瓷材料,可制备陶管、卫生瓷、包装陶瓷、高级日用瓷等一般陶瓷制品<sup>[28]</sup>,而硅质煤矸石是制备具有优良特性陶瓷材料 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ 优质原料, $\text{SiC}$ 在地球上几乎不存在,仅在陨石中有所发现,在结构陶瓷领域有着广泛用途。采用碳热还原氮化煤矸石技术,可合成 $\beta$ -Sialon<sup>[29]</sup>,O-Sialon和X相混合物。吴信才等<sup>[30]</sup>研究提出利用煤矸石可以制备多孔陶瓷材料。

### (6) 制轻细集料

煤矸石轻质集料可分为煅烧轻集料和自然轻集料。煤矸石的化学成分及含量符合制煅烧轻集料的要求,煤矸石是良好的煅烧轻集料原料。煤矸石轻集料是由碳质泥岩和泥岩类煅烧而成<sup>[15]</sup>。自燃煤矸石轻集料是过火的煤矸石经筛分而得到轻集料,具体的生产工艺按JCPT 541-94标准的要求进行。

### (7) 制保温材料

煤矸石含有各种金属氧化物及碳酸钙和硫铁矿等,在高温下能分解溢出气体使物料在塑性阶段产

生膨胀,形成孔隙结构。煤矸石通过烧结机或回转窑可以煅烧成不定型保温轻质骨料,其具有容重轻、强度高、吸水率小等特点,可代替砂石、配制轻质混凝土,尤其是近几年墙改工程,用作保温隔音墙体,而且保温吸湿效果好<sup>[31]</sup>。

### (8) 制纤维石棉

煤矸石棉是利用煤矸石和石灰为原料,经高温融化,喷吹而成的一种建筑材料。其原料配比为:煤矸石60%、石灰石40%,或再加萤石6%~10%。煤矸石的熔化设备可采用以焦炭为燃料的冲天炉。焦炭与原料的配比为1:2.3~5。煤矸石高端化利用方面硅酸铝纤维棉矿纤维<sup>[32]</sup>的研究已取得较好的实验成果,并在关键技术上取得一定突破,进一步可生产矿渣棉和工程塑料等建材建筑材料。

### (9) 制耐火材料

煤矸石可制取优质耐火材料莫来石和堇青石,杨正中等<sup>[33]</sup>利用高铝矾土和煤矸石为原料,采用合式的工艺制成了人造宝石或刚玉和莫来石、精细瓷器和其它新功能材料。倪文等<sup>[34]</sup>将煤矸石和 $\alpha$ -氧化铝在1650℃条件下煅烧,制得纯度95%以上的莫来石,他们利用高岭石含量高的煤矸石和菱镁矿为主要原料获得堇青石活性粉料。闫国进等<sup>[35]</sup>以煤矸石为主要材料,加入少量氧化铝和氧化镁得到多孔堇青石质玻璃陶瓷。

### (10) 制胶凝材料

近年来,煤矸石研究利用的焦点,是制取新型材料和化工产品,李化建等<sup>[36]</sup>以煅烧煤矸石为主体原料,附以改性硅酸钠溶液为成岩剂,研制煤矸石质硅铝基胶凝材料;利用煤矸石与矿渣、粉煤灰之间的协同效应在常规条件下制备出强度持续增长、施工性能良好的胶凝材料。利用自燃煤矸石为掺合料代替石灰,配制出性能良好的建筑砂浆并用于工程中。试验发现煤矸石的加入明显改善了砂浆的强度、和易性和抗冻性。

### (11) 制水泥原料

用煤矸石低温煅烧合成水泥熟料<sup>[37]</sup>,不仅适用于立窑,也适用于回转窑,和粘土生产水泥工艺基本相同。采用高铝煤矸石高饱和比加复合矿化剂,可配制出速凝早强,达到双快特效水泥的技术性能指标<sup>[38]</sup>,还可制备混凝土膨胀剂,可代替矾土。蔡丰礼<sup>[39]</sup>利用高铝煤矸石和盐石膏等工业废渣,低温烧制的阿利特·硫铝酸盐水泥熟料,不仅使水泥具有

凝结硬化快、早后期强度高,而且具有微膨胀和抗蚀性强的特性。

#### (12) 制备混凝土

黄爱悦等<sup>[40]</sup>研究煤矸石水泥混合煤矸石轻集料配制混凝土,物理力学性能均能达到使用要求。杨果林等<sup>[41]</sup>提出了一种新型加筋土挡土结构:钢筋(煤矸石)混凝土网格加筋土挡土结构,可合理应用于工程实际。锻烧和自燃煤矸石,混合石膏和石灰粉,可制成硅酸盐混凝土,加铝粉可制成加气混凝土<sup>[2]</sup>,还可制得空心、泡沫、喷射混凝土,以及制备植生型生态混凝土用于护坡,在强度、pH值、孔隙率等方面可满足植物生长的需要<sup>[42]</sup>。

#### (13) 制备膨胀剂

煤矸石混凝土膨胀剂可用于制备补偿收缩混凝土和自应力混凝土,用量最大的是水化硫铝酸钙系的膨胀剂,典型产品有UEA、CSA和ZY等。煅烧高铝煤矸石是活性铝质材料,可以作为膨胀剂的原料使用<sup>[43]</sup>,其好处是烧制成本低(与铝酸盐熟料、硫铝酸盐熟料比较),碱含量低(与煅烧明矾石比较)。用煅烧煤矸石制成的膨胀剂用于混凝土,使混凝土坍落度损失小,后期强度高,不存在碱骨料反应问题,已经得到了广泛的应用。

#### (14) 制备粉煤灰

以煤矸石为原料制一级粉煤灰,不仅符合环保要求,而且具有较好经济效益<sup>[44]</sup>,还可利用所产粉煤灰和工业废渣磷石膏来做混凝土膨胀剂。利用粉煤灰中活性 $Al_2O_3$ 作铝质原料,磷石膏中 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 作硫质原料,制成硫铝酸钙类混凝土膨胀剂。充分利用工业废渣变废为宝,而且工艺简单生产成本低。

#### (15) 作为矿物掺合料

煅烧煤矸石活性较好,加CaO可增加其活性,从而提高矿物掺合料的活性。磨细自燃或锻烧煤矸石作水泥混合材能改善混凝土流动性,增强其抗硫酸盐侵蚀能力,加适量减水剂可作高性能混凝土优质矿物质掺和料。徐得龙院士<sup>[45]</sup>报告采用沸腾炉煅烧煤矸石作掺和料的技术和工程实践,中国矿业大学混凝土与环境材料研究所将煤矸石破碎作为沥青混凝土集料和制造掺合料结合起来,充分利用了资源能源,避免了二次污染。

#### (16) 制偏高岭土

煤质高岭岩系列煤矸石的矿物组成主要是粗晶

高岭岩夹带小隐晶硬质高岭土,可以先制备工业优质填料高岭土,再通过煅烧其中高岭土组分在一定温度下发生脱水和分解,生成偏高岭土和无定形二氧化硅及氧化铝<sup>[46]</sup>。偏高岭土是人工火山灰中烧黏土材料,而具有许多特性优点<sup>[47]</sup>,其将会用于好多特殊领域,从而改善结构提高产品性能,而不会产生新的环境问题。

#### (17) 制造纸涂料

以煤矸石为原料生产涂料级煅烧高岭土<sup>[23]</sup>,利用浸出除杂、湿法超细磨、煅烧除碳增白联合方法处理煤矸石,可获得合格的涂料级煅烧高岭土产品,其产品性能符合国家铜版纸造纸涂料级标准。煤矸石可广泛用于造纸工业、涂料行业,具有矸石利用量大、利用彻底的特点,为煤矸石的资源化利用开辟了一条新途径。

#### (18) 制彩釉材料

煤矸石生产墙体材料近年来革新步入新阶段。包头二十二冶金建筑研究所等全国多地研制出煤矸石釉面砖,西南师大环化研究所与四川北碚陶瓷厂共同研制煤矸石彩釉马赛克<sup>[48]</sup>。牟国栋等<sup>[49]</sup>研究硅质煤矸石物质成分和微观结构,查明了其纳米结构特点,并用硅质煤矸石配料烧成硅酸锌结晶釉。陕西轻工业科学研究所<sup>[50]</sup>根据煤矸石结构特征、制瓷性能,成功研制具有地方特色的结晶釉陈设瓷,此技术的研发无疑将煤矸石利用推向了艺术等高端化的方向。

## 2 前景展望

煤矸石特性决定了它的多重应用性,然而其可利用途径也远不止以上这些,还有待开发。从煤炭开采来看,中国每生产1亿t煤炭,排放矸石0.14亿t左右;从煤炭洗选加工来看,每洗选1亿t炼焦煤,排放矸石量0.2亿t,每洗1亿t动力煤排放矸石量0.15亿t,这导致目前我国煤矸石的堆积量在以每年2亿t左右速度增长,煤矸石危害日益严重。

“十一五”期间我国煤炭工业大力发展循环经济,按照减量化、再利用、再循环的原则,重点治理和利用煤矸石、矿井水和粉煤灰。根据国家工信部发布工业节能“十二五”规划,提出“重点行业节能途径与措施”,推广煤矸石烧结砖隧道窑技术和烧结砖内燃工艺,替代黏土实心砖。针对粉煤灰煤矸石等煤炭大宗废物综合利用,推动利用方式由传统建

工建材利用为主向多组分协同提取、制备复合材料、控制污染与生态利用等技术方向发展,重点突破废物中铝硅镓等多种组分梯级提取与高值利用以及建材中规模化消纳关键技术,废物多产业循环利用技术模式。

煤矸石在当今已成为一个国家乃至世界环保与发展的难题,为此近些年各国颁布政策大力支持煤矸石的开发利用,公布利用煤矸石生产建筑材料可免收增值税。可见加大对煤矸石综合利用开发和推广应用,是促进煤炭工业健康发展和国民经济可持续发展的有效措施。我国目前煤矸石综合利用的技术及开发利用前景十分广泛。

### 3 结 语

(1)煤矸石是工业废弃物,但也是重要工业资源(二次资源)。加强煤矸石组分、结构与特性等深度研究,根据性能和实际需要,开发综合处理方法,对煤矸石和其他废物进行协同处理。不但能部分恢复其原有使用价值,还可开发出许多新的利用途径。

(2)目前,为存在最大的问题就是平衡以下几点:才能彻底实现煤矸石从“以堆存为主”转向“以利用为主”,从资源优势转变为经济优势的大目标。

①综合利用水平比较低。企业规模小,品种单一,竞争力弱,技术装备落后,难应市场需要,产品附加值低,发展后劲不足。目前我国煤矸石综合利用技术装备不到国际20世纪末先进水平的20%。

②地区之间发展不平衡。中国煤炭资源主要集中在山西、陕西、内蒙古,但这些地区整体观念落后,煤矸石综合利用发展较慢。在能源相对短缺的东部沿海和南方城市、华东西南地区,煤矸石综合利用却发展较快,利用率也比较高。

③优惠政策落实比较难。煤矸石发电,在上网、电价及调峰等方面涉及到电力企业利益,项目审批难、并网发电难、政策落实难,资金渠道少。再加上煤炭行业整体的低迷走势,对于煤矸石综合处理经济上支持更加少之又少。

(3)煤矸石利用应以大宗量为重点,遵循因地制宜原则,发展高科技含量、高附加值综合利用技术。制取含铝产品是高附加值利用的一个重要途径,尤其是在制无机絮凝剂方面,目前发展趋势是制备超细粉体。但是如今研究工作许多仍不完善, $\text{SiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 是矸石中含量最多的两种物质,同时回

收或联合利用的研究较少。

(4)全面推进煤矸石的综合利用,在大型产煤基地建立以煤炭工业为基础的大型产业链,工业集群的发电厂利用大型煤矿工业废弃物煤矸石进行发电,其产生的高炉矿渣作水泥熟料,多余煤矸石生产高性能轻集料和保温砖。充分利用工业废物,节省矿物资源,减少运输成本,达到资源利用最大化,产出利益最高化,实现建设资源节约型环境友好型社会发展循环经济。

(5)综上所述,加快煤矸石综合利用研究,首先,转变企业经营观念,强化管理体制,把可循环发展放在首位。其次,加长综合利用产业链,积极开发高技术、宽附加值、大宗量利用途径。同时加大政府扶持力度,建立市场引导。最后,加强国际、社会、行业、企业、高校间的沟通与合作,逐步建立经验借鉴、技术引进、培养高才、自主创新机制,建立健全的煤矸石综合利用数据、方法、决策库,合理规划、资源整合、全面布局,拓宽资金人才渠道,采用先进设备技术,将煤矸石化废为益,促使煤炭行业走出新路,走向可持续发展道路。

### 参考文献:

- [1]刘开莲,金会心.煤矸石的综合利用现状的研究[J].贵州科学,2012,30(3):80-83.
- [2]周翠红,常欣.煤矸石综合利用技术综述[J].选煤技术,2007(4):61-65.
- [3]颜勇航.资兴矿业集团煤矸石发电项目投资风险研究[D].长沙:湖南大学,20081.
- [4]Investment Advisor,2014-2018 China Coal Industry Investment Analysis and Forecast Report[EB].<http://www.dragonraja.com.cn/20078/12007820268.html>,2014(8).
- [5]安磊.煤矸石充填采煤技术在花园煤矿的应用研究[J].煤矿现代化,2013,113(2):9-11.
- [6]王栋民,范德科.锻烧煤矸石制备矿物掺合料的研究进展与思考[R].北京:混凝土与环境材料研究所,2006.
- [7]段永红,白中科,赵景逵.阳泉煤矸石山浅层矸石风化物水分特性初探[J].煤炭学报,1999,24(5):533-537.
- [8]刘瑞芹.煤矸石的综合利用分析[J].现代矿业,2009(7):140-142.
- [9]崔智勇,郭成豪,煤矸石综合利用专题研究[J].山西煤炭,1999(12):59-61.
- [10]李瑜.煤矸石制橡胶填料和回收硫铁矿[J].煤炭加工与综合利用,1997(1):27-29.
- [11]Matthias Achternbosch, Klaus-Rainer Brautigam, Nicola

- Hartlieb, et al. Impact of the use of waste on trace element concentrations in cement and concrete [J]. Waste Manage Re. 2005, 23: 328-337.
- [12] Xiaoming Liu, Na Zhang, Yuan Yao, Henghu Sun, Huan Feng. Micro-structural characterization of the hydration products of bauxite-calcination-method red mud-coal gangue based cementitious materials [J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, 262: (2013) 428-438.
- [13] 方荣利, 吕淑珍, 阳勇福. 用高效分散剂碳化从煤矸石中制备超细氢氧化铝粉体 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006(3): 138-143.
- [14] Maximina Romero and Jwsius Ma. Rincon. Surface and Bulk Crystallization of Glass-Ceramic in the  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{ZnO}-\text{PbO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  System Derived from a Goe-thite Waste [J]. J. Am. Ceram. Soc. 1999, 82(5): 1313-1317.
- [15] Mei Yang, Zhixing Guo, Yinsheng Deng, et al. Preparation of  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  glass ceramics from coal gangue [J]. International Journal of Mineral Processing, 2012, 102-103: 112-115.
- [16] Zhang Haijun. Preparation and pattern recognition of O-sialon by reduction-nitridation from coal gangue [J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 385: 325-331.
- [17] 李玉凤. 利用煤矸石制取造纸涂料的研究 [D]. 河北理工学院, 2002. 2(28).
- [18] 冯诗庆. 煤矸石制铝盐和白炭黑 [J]. 无机盐工业, 1995(4): 22-24.
- [19] 崔莉, 杨凤玲, 程芳琴. 煤矸石综合利用制取絮凝剂的研究 [J]. 科技情报与开发, 2005, 18(15): 177-178.
- [20] Hu ZhongHua, Vansant E. F.. Chemical Activation of Elutrilithe Producing Carbon-Aluminosilicate Composite Adsorbent [J]. Carbon, 1995, 33(9): 1293-1300.
- [21] 谭建冬. 由煤矸石和沥青为原料制备 FAU 沸石/活性炭复合材料 [D]. 山西: 太原理工大学, 2010. 6.
- [22] 张镛, 王芳林. 新型橡塑 NRF901 补强性能的研究 [J]. 化学研究. 2000, 11(3): 62-64.
- [23] 赵鸣, 曲剑舞. 煤矸石粉作环氧化橡胶补强填充剂的研究 [J]. 煤炭学报. 1999, 24(6): 648-651.
- [24] 肖秋国, 付勇坚, 董振华, 等. 煤矸石吸声泡沫玻璃的工艺研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 1999(2): 19-21.
- [25] 李瑞, 陈亚飞. 煤矸石活化制取硅铝炭黑的研究 [R]. 北京: 煤炭科学研究总院北京煤化所, 1993.
- [26] 吕一波, 等. 利用煤矸石制造空心砖 [J]. 选煤技术, 1999(4): 11-12.
- [27] Chao LI, Jianhua Wan, Henghu Sun. Investigation on the activation of coal gangue by a new compound method [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, (179): 515-520.
- [28] Sun JL, Luo XY, Qu DL, et al. Meehanism of synthesis of  $\beta$ -Sialon from coal gangue [J]. Key Engineering Materials, 2002: 224-226, 281-286.
- [29] Bingqiang Han, Nan Li. Preparation of  $\beta$ -SiC? Al203 Composite from Kaolinite Gangue by Carbothermal Reduction [J]. Ceramics International. 2005(31): 227-231.
- [30] 吴兴才, 胡多朝, 鲁德忠. 利用煤矸石制备微米级多孔陶瓷 [J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(3): 22-24.
- [31] 刘小波, 傅勇坚, 刘建华, 肖利国. 煤矸石制造保温材料的研究 [J]. 环境科学报, 1995(1): 122-127.
- [32] 刘翠玲, 范文虎, 王瑞萍. 山西省煤矸石资源化利用现状及发展建议 [J]. 节能, 2012, 11: 4-7.
- [33] 杨中正, 叶方保, 钟香崇. 以矾土和煤矸石烧结合成刚玉和莫来石 [J]. 耐火材料, 2006, 40(4): 276-279.
- [34] 倪文, 刘凤梅. 煤矸石菱镁矿合成堇青石熟料研究 [J]. 矿物岩石, 1999, 19(3): 16-19.
- [35] 闫国进, 王春华. 煤矸石制备堇青石质多孔玻璃陶瓷的研究 [J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(6): 31-33.
- [36] 李化建, 孙恒虎, 肖雪军. 煤矸石质硅铝基胶凝材料的试验研究 [J]. 煤炭学报, 2005, 30(6): 778-782.
- [37] M. Frías, M. I. Sanchez de Rojas, R. García, A. Juan Valdés, C. Medina. Effect of activated coal mining wastes on the properties of blended cement [J]. Cement&Concrete Composites, 2012, 34: 678-683.
- [38] Guohua Qiu, Weiqiang Zeng, Zhenglun Shi, et al. Recycling Coal Gangue as Raw Material for Portland Cement Production in Dry Rotary Kiln. 2010 International Conference on Digital Manufacturing&Automation. 141-144.
- [39] 蔡丰礼. 利用高铝煤矸石和盐石膏低温烧制阿利特一硫铝酸盐水泥熟料的研究 [J]. 水泥, 2001(6): 4-8.
- [40] 黄爱悦, 郭爱民. 煤矸石混凝土的研制及应用 [J]. 建井技术, 2000, 21(6): 28-30.
- [41] 杨果林, 王永和. 钢筋(煤矸石)混凝土网格式加筋土挡土结构强度特性与试验研究 [J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 534-539.
- [42] 徐荣进, 刘荣桂, 薛冬杰, 等. 煤矸石植生生态混凝土的制备和性能研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 2013, (5): 81-84.
- [43] 王栋民. 高性能膨胀混凝土 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [44] 杨旭鸿, 黄斌, 舒建成, 等. 国内煤矸石的资源化利用现状及展望 [J]. 云南化工, 2011(4): 37-40.
- [45] 张长森, 蔡树元, 张伟, 等. 自然煤矸石作活性掺和料配制高强混凝土的试验研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 2004(6): 10-12.

(下转 12 页)

- [28] Yuan J, Wang E, Chen Y, et al. Doping mode, band structure and photocatalytic mechanism of B-N-codoped TiO<sub>2</sub> [J]. Applied Surface Science, 2011, 257 (16): 7335-7342.
- [29] Wang P, Yap P, Lim T. C-N-S tri-doped TiO<sub>2</sub> for photocatalytic degradation of tetracycline under visible-light irradiation [J]. Applied Catalysis A-General, 2011, 339 (1-2): 252-261.
- [30] 魏凤玉, 倪良锁, 彭书传. TiO<sub>2</sub>-BS 光催化剂的制备及性能研究 [J]. 太阳能学报, 2007, 28(6): 621-625.
- [31] Bakhshayesh A M, Bakhshayesh N. Enhanced performance of dye-sensitized solar cells aided by Sr, Cr co-doped TiO<sub>2</sub> xerogel films made of uniform spheres [J]. Journal of colloid and interface science, 2015, 460: 18-28. [32] Huang L H, Sun C, Liu Y L, Pt/N-codoped TiO<sub>2</sub> nanotubes and its photocatalytic activity under visible light [J]. Applied Surface Science, 2007, 253: 7029-7035.
- [33] 官长伟, 王家恒, 付现凯, 等. Ag-N 共掺锐钛矿 TiO<sub>2</sub> 电子结构和光学质的第一原理研究 [J]. 人工晶体学报, 2015, 44(1): 178-180.

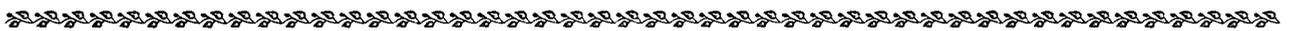
## Research Progress of Nano TiO<sub>2</sub> Loaded Diatomite and Modification

Bai Chunhua, Xu Zhiyong, Li Guanghui, Fan Xuemin, Fan Wenyang

(Institute of Mining, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Nano-TiO<sub>2</sub> photocatalyst has become the most promising photocatalyst in environmental field due to its high catalytic activity, stable chemical properties, low cost, non-toxicity etc. In the catalytic process, there are these problems of low catalytic efficiency, poor visible absorption rate, and difficult to recycle. This paper reviews the method of diatomite loaded and doped nano-TiO<sub>2</sub>. The research prospect and some existing problems of nano-TiO<sub>2</sub> Photocatalyst were discussed.

**Keywords:** Nano-TiO<sub>2</sub>; Diatomite load; Dope; Photocatalysis



(上接 7 页)

- [46] 赵鸿胜, 张雄, 张永娟, 等. 影响煤矸石热活的因素分析 [J]. 四川水泥, 2003(6): 10-12.
- [47] 王智宇. 偏高岭土的制备及其在混凝土中的应用 [J]. 建材技术与应用, 2006(5): 6-8.
- [48] 卜景龙. 煤矸石在建材工业中的综合利用 [J]. 中国物资再生, 1994(2): 15-16.
- [49] 牟国栋, 马喆生, 施倪承, 等. 煤矸石的纳米结构研究及用其烧制结晶釉的试验 [J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 95-98.
- [50] 罗秋良. 我国煤矸石综合利用现状、存在问题及其对策 [R]. 北京: 地矿部矿管局, 1992(2): 41-43.

## Resource Utilization Ways of Coal Gangue and its Development

Sun Chunbao<sup>1,2</sup>, Zhang Jinshan<sup>1,2</sup>, Cao Zhao<sup>1,2</sup>,

Fan Wenyang<sup>1</sup>, Guo Zhenkun<sup>1</sup>, Zhou Shan<sup>1</sup>

(1. Mining Engineering Institute of Inner Mongolia Science and Technology University, Inner Mongolia Autonomous Region Engineering Technology Research Center of Solid Waste Resources Comprehensive Utilization, Baotou, Inner Mongolia, China; 2. Inner Mongolia Engineering Technology Research Center of Coal Safety Mining and Use, Baotou, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Overviewing on the current domestic and abroad source, harm, use of gangue, the different classification methods from different perspective in the techniques and methods of gangue use are summarized. It could be classified according to resource recycling, or according to the method of the project use. Focusing on the use of coal gangue according to the depth level classification, it can be divided into direct use of type, quality and processing and comprehensive utilization of three categories. Accordingly comprehensive and detailed analysis on available ways of comprehensive utilization of resources of coal gangue were roundly dissected, and prospected the depth of development of domestic coal gangue.

**Keywords:** Coal gangue; Resources; Comprehensive utilization; Exploration and research