神东矿区煤矸石综合利用研究

郭洋楠,李能考,何瑞敏
(神华神东煤炭集团有限责任公司 技术研究院,陕西 神木 719315)

摘 要: 针对煤矸石大量堆积占用大量土地且严重污染环境的问题,对神东矿区 12 个排矸场的煤矸石进行采样,在对煤矸石的化学成分、矿物组成、发热量等参数分析的基础上,对煤矸石进行分类综合利用。结果表明: 神东矿区煤矸石化学成分以 SiO_2、Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主,其中 SiO_2 含量大于 50% 的煤矸石适合开发硅系列化工产品; Al_2O_3 与 SiO_2 含量之和大于 70%,且 Al_2O_3 含量达到 20% 的煤矸石,可生产高附加值化工产品; 高岭石含量大于 50% 的煤矸石适合煅烧高岭土; 发热量达到 5 000 kJ/kg 以上的煤矸石,可以掺加煤泥、分选中煤后用于煤矸石发电。

关键词: 神东矿区; 煤矸石; 综合利用; 煤矸石发电
中图分类号: TD849 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2336(2014)06 - 0144 - 04

Study on Comprehensive Utilization of Coal Refuse in Shendong Mining Area

GUO Yang-nan, LI Neng-kao, HE Rui-min
(*Technology Research Institute, Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu* 719315, *China*)

Abstract: According to large lands occupied for amount of coal refuse piled up and the serious pollution environment problems, coal refuse samples were collected from 12 coal refuse dumping sites in Shendong Mining Area. Based on the analysis on the chemical composition, mineral composition, calorific value and other parameters of the coal refuse, a classified comprehensive utilization was conducted on the coal refuse. The results showed that the chemical composition of the coal refuse in Shendong Mining Area were SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 mainly. Among those chemical compositions, the coal refuse with SiO_2 content over 50% would be suitable to develop silicon series chemical products, the Al_2O_3 and SiO_2 contents were over 70% and the Al_2O_3 content would be 20%, the coal refuse could produce the chemical products with a high added value. The coal refuse with kaolinite content over 50% could be suitably applied to the calcination of kaoline. The coal refuse with a calorific value over 5 000 kJ/kg could be mixed with slime or middlings for the coal refuse - fired power generation.

Key words: Shendong Mining Area; coal refuse; comprehensive utilization; coal refuse - fired power generation

0 引 言

自 20 世纪 60 年代起,煤矸石综合利用就已经引起很多国家的重视,至 70 年代法国、德国等国家的煤矸石利用率已经达到了 30% ~50%,部分矿区煤矸石利用率甚至达到了 100%,同时各国也制定了一些保护性政策[1]。我国现有煤矸石山 1 500 多座,累计堆积量达 30×10^8 t 以上,占地约 1.2×10^4 hm^2,并且每年的排矸量还在 1.5×10^8 t 以上,是排放量最大的工业固体废弃物。近年来,许多国家大力发展煤矸石轻骨料。生产工艺主要有 2 种: 一是利用含碳量较高的煤矸石,采用烧结机生产轻骨料,原苏联、波兰、英国等国家都采用此种方法; 二是采用回转窑生产烧胀陶粒,法国、比利时等国家采用这种生产工艺[2-4]。我国对煤矸石的利用也越来越重视,《煤矸石综合利用技术政策要点》(国经贸资源[1999]1005 号) 指出,煤矸石综合利用以大宗量利用为重点,将煤矸石发电、煤矸石建材及制品、复垦回填及煤矸石山无害化处理等大宗量利用煤矸石技术作为主攻方向,发展高科技含量、高附加值的煤矸

收稿日期: 2014 - 04 - 11; **责任编辑:** 杨正凯 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2014.06.031
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划) 资助项目(2102AA062203)
作者简介: 郭洋楠(1985—),男,内蒙古乌兰察布人,工程师。Tel: 13847978275, E - mail: guoyangnan@163.com
引用格式: 郭洋楠,李能考,何瑞敏. 神东矿区煤矸石综合利用研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(6):144 - 147.
GUO Yang-nan, LI Neng-kao, HE Rui-min. Study on Comprehensive Utilization of Coal Refuse in Shendong Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 144 - 147.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

石综合利用技术和产品[5-7]。煤矸石的综合利用包括: 利用煤矸石发电、生产建筑材料、回收有益矿产品、制取化工产品、改良土壤、生产肥料、回填(包括建筑回填、填低洼地和荒地、充填矿井采空区、煤矿塌陷区复垦) 、筑路等。煤矸石中含有硫、磷等有毒有害元素[8-9],大量煤矸石当作废弃物直接处理掉,一方面会造成环境污染,另一方面也将占用了大量的土地资源[10]。煤矸石主要以生态复垦治理为主,综合利用率较低。近年来,神东煤炭集团公司每年煤矸石产量在都在 1 000 万 t 以上,2013 年的煤矸石量更是达到了 1 600 万 t,而井下利用量仅为 30 万 t 左右。神东煤炭集团公司覆盖晋陕蒙三省区,各矿所产的煤矸石性能、品位也有差别,为合理利用煤矸石,笔者对神东矿区煤矸石综合利用进行研究,以期指导神东矿区煤矸石的分类利用。

1　煤矸石利用现状及取样

神东煤炭集团公司共有 14 个矿井、11 个选煤厂,选煤厂和煤矿排出的煤矸石堆存在 12 个排矸场中。神东煤炭集团公司煤矸石产出量大,年排矸量约为 1 000 万 t。煤矿目前主要采取填埋的处理方式,矿区和排矸场附近有很多沟壑利用煤矸石填埋找平,可以解决露天堆放的污染问题,但利用率低,且随着排矸量增加,填埋场地有限,急需进一步的资源化利用。笔者分别从 12 个排矸场进行取样,其中在上榆泉排矸场采集 1 个样品,其余每个排矸场取 3 个样品,由于锦界排矸场垃圾较多,未取到样品,笔者共从 11 个排矸场采取了 31 个样品。所取煤矸石碎块状较多,颗粒直径为 0 ~ 30 cm,井下矸石块体较大,其中部分储存时间较长且裸露在外的煤矸石出现风化现象,呈片状或页状。依据取样顺序对煤矸石样品进行编号,见表 1。

2　煤矸石成分与发热量测定

煤矸石的主要成分是无机矿物质,其元素主要组成为氧、硅、铝、铁、钙、镁、钾、钠等,这 8 种元素占 98% 以上,碳、氢、氮、硫与氧常形成矸石中的有机质[11]。我国煤矸石中的含硫量大部分比较低,小于 1%,但也有少部分硫含量相当高,且以黄铁矿形式存在,因而是宝贵的硫磺资源。另外,有些矿区的煤矸石,其钛、钒、镓等稀有元素含量较高,具有提取的价值[12]。笔者从煤矸石样品的基础试验检测入手,包括化学成分、矿物组成和发热量分析。

表 1　煤矸石取样

排矸场	编号	矸石类别	存储时间/a	排矸场	编号	矸石类别	存储时间/a
韩家村	1 – 1	分选	0.5	大柳塔	6 – 1	井下	1.0
	1 – 2	分选	1.0		6 – 2	分选	0
	1 – 3	分选	0		6 – 3	分选	3.5
布尔台	2 – 1	分选	1.0	上湾	7 – 1	分选	—
	2 – 2	井下	0		7 – 2	分选	—
	2 – 3	分选	0		7 – 3	分选	—
乌兰木伦	3 – 1	井下	0.5	补连塔	8 – 1	分选	1.0
	3 – 2	分选	0		8 – 2	分选	0
	3 – 3	分选	1.5		8 – 3	分选	1.5
石圪台	4 – 1	混合	2.5	榆家梁	9 – 1	分选	0
	4 – 2	混合	2.5		9 – 2	分选	0.5
	4 – 3	混合	2.5		9 – 3	分选	1.0
哈拉沟	5 – 1	分选	4.0	保德	10 – 1	分选	0
	5 – 2	分选	1.5		10 – 2	分选	0
	5 – 3	分选	1.5		10 – 3	分选	0
上榆泉	11	分选	0				

2.1　煤矸石化学成分分析

煤矸石的化学组成相当复杂,它所包含的元素较多,常为无机物(岩石物质) 和有机物(含碳物) 组成的混合物,前者不能燃烧,含量达 80% 以上,后者可燃烧,含量一般在 10% ~20%[13]。对所取煤矸石样品依次用鄂式破碎机、对辊破碎机,破碎至 1 mm 以下。混均后取样,按 GB/T 1574—1995《煤的工业分析方法》进行化学分析,将每个排矸场所取样品进行等比例混合,混合矸石的化学成分见表 2。

1) SiO_2 含量 34.52% ~56.44%。1—5、8 号煤矸石的含量大于 45%,其中大于 50% 的有 1、2、5 和 8 号,10、11 号煤矸石中 SiO_2 含量较少,小于 40%。

2) Al_2O_3 含量为 11.22% ~27.73%,11、12 号煤矸石中 Al_2O_3 含量较大,均大于 25%,属于中铝煤矸石,其他均属于低铝煤矸石。

3) Fe_2O_3 主要影响烧结制品的颜色和烧成温度,试验矸石中 Fe_2O_3 含量为 2.45% ~9.85%,属于少铁或中铁煤矸石,其中,4、7 号煤矸石中 Fe_2O_3 含量均大于 8%。其他均小于 8%,尤其是 10、11 号煤矸石中 Fe_2O_3 含量为 2.5% 左右。

4) SO_3 是有害成分,SO_3 含量越少越有利于煤矸石的使用。试验矸石中 SO_3 含量为 0.16% ~1.76%,属于低硫或少硫煤矸石。其中 6、7 号煤矸

中国煤炭期刊网 www.chinacaimei.net

石 SO_3 含量较高，大于 1%，其他均小于 1%。

表 2　混合矸石的化学成分

排矸场	编号	烧失量/%	质量分数/%						
			SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	TiO_2
韩家村	1	18.63	52.18	5.48	15.32	1.59	1.19	0.72	0.82
布尔台	2	11.98	56.44	6.14	15.47	2.50	1.41	0.60	0.81
乌兰木伦	3	26.29	45.75	5.10	13.01	3.69	1.06	0.76	0.66
石圪台	4	22.41	45.14	8.27	14.17	2.06	1.21	0.85	0.66
哈拉沟	5	15.09	55.02	4.37	16.09	2.59	1.13	0.47	0.82
上榆泉	6	30.86	41.01	5.94	11.22	3.57	0.63	1.31	0.47
大柳塔	7	27.91	39.98	9.85	13.50	3.75	0.62	1.76	0.63
上海	8	17.46	51.46	6.01	15.67	1.78	1.04	0.64	0.79
补连塔	9	24.55	47.35	4.68	15.79	1.06	0.93	0.38	0.79
榆家梁	10	30.60	34.52	2.52	27.73	0.52	0.36	0.27	1.00
保德	11	29.48	36.95	2.45	27.25	0.59	0.18	0.16	0.83

5) CaO 含量为 0.52% ~3.75%，6、7 号含量较大，10、11 号含量小于 1%。

6) MgO 含量为 0.18% ~1.41%，TiO_2 含量为 0.47% ~1.00%，均较低。

7) 11 种煤矸石样品中，烧失量为 11.98% ~30.86%，差别较大，煤矸石烧失量与其燃烧完全程度密切相关，表征原料加热分解的气态产物和有机质的含量，从而可以判断原料在使用时是否需要预先对其进行煅烧，使原料体积稳定。

根据化学成分检测结果，笔者研究的煤矸石化学成分以 SiO_2、Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主，其中 1、2、5 和 8 号煤矸石 SiO_2 含量大于 50%，可以用来开发硅系列化工产品。Al_2O_3 含量均小于 35%，不适宜直接提取铝元素和铝系产品，TiO_2 含量均较低，不宜生产钛系产品。2、5 号煤矸石中 Al_2O_3 与 SiO_2 含量之和达到 70%，10、11 号煤矸石中 Al_2O_3 含量达到 20%，可利用 C—JSTK 技术生产高附加值化工产品。用煤矸石代替黏土烧制水泥熟料，要求煤矸石中 SiO_2 含量为 58% ~68%，Al_2O_3 含量为 14% ~21%，Fe_2O_3 含量为 5% ~9%，本次试验的煤矸石均不适宜。

煤矸石烧结砖要求 SiO_2 含量 45% ~70%，Al_2O_3 含量 10% ~25%，Fe_2O_3 含量 3% ~10%，CaO 含量不大于 10%，MgO 含量不大于 3%，SO_3 含量不大于 1%，除 6、7、10、11 号外，其余煤矸石均适宜制砖。

2.2　煤矸石的矿物组成

煤矸石中所含主要矿物成分为石英、伊利石、高岭石和绿泥石，除此之外还有少量方解石、钾长石等矿物，10、11 号煤矸石中高岭石含量较高。其中 12 号煤矸石矿物组成较简单，高岭石含量达到 81%，除石英、伊利石和勃姆石之外，其他矿物质含量可以忽略不计。具体情况如下:

1) 煤矸石中含量最多的一般是石英，石英主要起着一种稳定成分的作用，但是石英具有低温与高温的晶型转变的特性。其中 10 号和 11 号石英较少，小于 15%，其他均大于 30%。

2) 黏土质矿物主要有伊利石、高岭石和蒙脱石，伊利石是一种风化程度较低的黏土矿物。煤矸石中几乎均含有这 3 种矿物，其中伊利石含量基本在 10% 以下，高岭石含量基本在 10% ~20%，10、11 号高岭石含量比较高，尤其是 12 号高岭石含量高达 81%，蒙脱石的含量较少，仅几个样品中含有。

3) 绿泥石含量在 2% ~15%，12 号煤矸石中没有绿泥石。方解石含量为 1.0% ~13.5%，钾长石和斜长石含量也较高。10、11 号煤矸石中含有其他煤矸石中没有的勃姆石。

4) 1、3、12 号煤矸石不含有菱铁矿，其他煤矸石中含量在 0.5% ~16.3%。另外 9—11 号之外的煤矸石中均含有黄铁矿，含量在 0.4% ~9.3%。

综上所述，煤矸石中矿物成分差异较大，和同一个排矸场中的煤矸石来自不同的选煤厂有关。本次试验的煤矸石以黏土矿物为主，黄铁矿含量较低，无回收价值。10、11 号煤矸石高岭石含量较高，大于 50%，可用来煅烧高岭土。

2.3　煤矸石的发热量

在煤矸石的综合利用中，决定煤矸石用途的除化学成分、矿物组分之外，发热量也很重要。采用氧弹法热量仪测定煤矸石发热量，把一定量的试样在充氧的弹筒内燃烧。1—11 号混合煤矸石发热量分别为 1 963.9、1 950.97、5 811.25、3 943.68、2 101.62、7 454.00、5 769.24、2 697.74、4 572.33、5 972.18、4 757.34 kJ/kg。由此可知，在同一个排矸场所取的样品，发热量也不同。1、2、5 号属于低发热量矸石; 4、8 号属于中发热量煤矸石; 3、6、7、10 号属于高发热量矸石。同一个排矸场中煤矸石来自不同的选煤厂和煤矿，堆存时可能分布不均，会造成同一个排矸场的煤矸石发热量差异较大。

根据发热量测定结果，3、6、7、10 号发热量比较高，可以掺加煤泥、分选中煤后用于煤矸石发电。1、2、5 号可用于生产全煤矸石砖能充分利用其热值，其余煤矸石用于烧砖需要添加其他适宜原料以降低发热量。生产非烧的建材产品，煤矸石需要先进行

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

脱碳处理以保证产品质量稳定。经过脱碳工艺后煤矸石失去热值,其性能发生变化并具有一定的活性。

3　煤矸石综合利用效益分析

1) 煤矸石生产建材。煤矸石生产烧结墙材属于低利润行业,通常对经济效益影响最大的因素是产品售价,其次是经营成本,当产品售价高于 0.30 元/块时,财务内部收益率常高于建材行业基准收益率(10%)。利用工业废弃物煤矸石生产新型墙材,能享受国家的相应的减免税优惠政策,原材料、燃料无需外购,大幅降低经营成本,提高利润率,预计投资回收期 3 ~ 6 年。

在近期目标完成的基础上,依据市场需求和资源状况,建设 1 条年处理能力为 50 万 t 的煤矸石脱碳处理生产线,同时配套建设 1 条年生产能力为 20 万 t 的骨料处理线、1 条年产 30 万 t 微细粉生产线,建设 1 条年产 12 000 万块烧结砖的生产线,煤矸石年利用量约为 77 万 t。

2) 煤矸石发电。据有关部门估计,我国每年新增煤矿矸石 1.0 亿 ~ 1.2 亿 t,占地约 400 hm^2[14]。煤矸石堆存量和占地面积可用经验模型表示: 占地面积 = 排矸量或累计排矸量 × 占地系数(占地系数取 0.04),据此计算,煤矸石电厂每年节约土地 4 800 m^2。神东煤炭集团公司已建设若干个煤矸石发电厂,但随着煤炭资源的枯竭,用电量反而越来越大,故需建设新的煤矸石发电厂,以补充电力资源不足。充分考虑资金和市场因素,建设 1 个 2 × 135 MW 的煤矸石发电厂,煤矸石年利用量可达 135 万 t。

3) 煤矸石提取高附加值产品。煤矸石提取化工产品和煅烧高岭土对煤矸石的化学成分要求较高,因此目前相关技术还在探索之中,争取可以最大化利用煤矸石生产出高附加值的产品,建设 1 条年处理 10 万 t 煤矸石生产线,提取硅系产品,如水玻璃和白炭黑等; 建设 1 条年处理 10 万 t 煤矸石生产线,提取 $A1_2O_3$ 和 SiO_2,2 条生产线煤矸石年利用量约为 20 万 t。

4) 煤矸石生产肥料。煤矸石生物复合肥不仅可高效利用煤矸石,每吨煤矸石可售 20 ~ 50 元,还可利用基肥辅料(鸡粪、秸秆等)。随着煤矸石生物有机肥利用日益广泛和技术成熟,以及农业对肥料的需求和要求越来越大,建设 1 条年产 10 万 t 有机肥料生产线,煤矸石年利用量约为 14 万 t。

5) 煤矸石充填。煤矸石充填主要用在充填开采、填充沟壑、复垦等方面,从长远和环境利益来看,经济效益和社会效益不可估量[15]。

4　结　　语

从国外和国内煤矸石研究现状来看,目前在煤矸石综合利用效益较高的途径主要有: 煤矸石的能源利用、建材利用和化工利用等方式。经过试验研究分析,神东煤炭集团公司煤矸石的综合利用主要方向有: 利用煤矸石生产烧结砖等墙体材料、利用煤矸石作为部分原料生产水泥、作为辅料生产陶粒、利用煤矸石发电、煤矸石煅烧高岭土、煤矸石生产高附加值产品、煤矸石生产肥料。对于煤矸石的综合利用方案来看,这些项目的实施不仅利用了固体废弃物、节约资源、保护环境,同时可以给当地群众提供就业机会,缓解当前就业压力,变废为宝,也增加了企业经济效益。

参考文献:

[1] 吴海军,曾凡宇,姚海飞,等. 矸石山自燃危险性评价及治理技术[J]. 煤炭科学技术,2013,41(4):119 - 123.

[2] 李建平,郑克洪,杜长龙. 煤和矸石的冲击破碎粒度分布特性[J]. 煤炭学报,2013,38(S0):54 - 58.

[3] 巨　峰,张吉雄. 复杂地质条件矿井矸石零排放处理技术与应用[J]. 煤炭科学技术,2011,39(8):19 - 22.

[4] 常艳娜,孙　宇,张洪祯. 绿色开采下矸石再利用技术分析[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版,2011,30(S0):53 - 56.

[5] 李苏龙,牛永胜,孟　杰,等. 煤矸石制砖余热循环利用系统及应用[J]. 煤炭科学技术,2012,40(5):116 - 119.

[6] 朱留生. 煤矿矸石山灭火治理与自燃预警技术研究[J]. 煤炭科学技术,2012,40(8):111 - 114.

[7] 刘钦甫,郑丽华,张金山,等. 煤矸石中氮溶出的动态淋滤实验[J]. 煤炭学报,2010,35(6):1009 - 1014.

[8] 连增增,谭志祥,李培现,等. 老矿区煤矸石山的综合治理与利用研究[J]. 煤炭工程,2010(8):86 - 88.

[9] 梁爱琴,匡少华,丁　华. 煤矸石的综合利用探讨[J]. 中国资源综合利用,2004(2):11 - 14.

[10] 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 - 42.

[11] 邬立国. 矿山废石堆空气污染的控制和预防 - 煤矸石堆燃烧问题综述[J]. 煤炭转化,1991,14(4):74 - 79.

[12] 邓丁海,岑文龙. 煤矸石堆放区的环境效应研究[J]. 中国矿业,1999,8(6):88 - 91.

[13] 王金民. 煤矸石排放对环境的影响及损失的定量化探讨[J]. 煤炭技术,2004,23(8):58 - 60.

[14] 李　敏,徐玉艳. 煤矸石发电厂炉渣的开发应用[J]. 新型建筑材料,2002(4):15 - 16.

[15] 许泽胜,杨巧文,王新国,等. 煤矸石的分类及其综合利用[J]. 中国环保产业,2001(S1):24 - 26.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net