

问题探讨

山西省粉煤灰综合利用现状及前景分析

李晓姣¹, 王丽娟^{1,2}, 袁进¹, 惠晓梅¹

(1.山西省生态环境研究中心, 山西 太原 030009;

2.山西省环境科学研究院, 山西 太原, 030027)

摘要: 本文通过大量的基础数据调研, 对山西省粉煤灰的产生和综合利用现状及存在的问题进行了分析。结合山西省的产业发展特征和实际需求, 对粉煤灰综合利用的发展前景进行分析并提出了建议。

关键词: 山西省; 粉煤灰; 综合利用

中图分类号: X7

文献标识码: B

文章编号: 1006-8759(2015)05-0055-03

COMPREHENSIVE UTILIZATION STATUS AND PROSPECT ANALYSIS OF COAL FLY ASH IN SHANXI

LI Xiao-jiao¹, WANG Li-juan^{1,2}, YUAN Jin¹, HUI Xiao-mei¹

(1. Research center for eco-environmental sciences in Shanxi, Taiyuan 030009 China;

2. Shanxi academy of environmental research, Taiyuan 030027 China)

Abstract: Based on a large number of original data, the current status of emission and comprehensive utilization of coal fly ash in Shanxi was analyzed as well as the existing problems. The developing prospect of comprehensive utilization of coal fly ash was also forecasted and the related suggestions were proposed according to industry characteristics and actual demand in Shanxi.

Key words: Shanxi; coal fly ash; comprehensive utilization.

山西省是能源生产和输出大省, 进入 21 世纪以来, 伴随着煤电行业的快速发展, 粉煤灰的产生量急剧增加, 成为仅次于煤矸石的全省产生量第二大的工业固体废物。粉煤灰从产生之初, 即被作为“放错位置的资源”, 得到人们的关注并加以利用。但限于经济水平、市场条件、技术条件等因素制约, 目前山西省粉煤灰综合利用率仍然偏低, 综合利用效益普遍不高, 大量粉煤灰堆存所带来的环境污染问题也受到社会的广泛关注。拓展粉煤灰的综合利用途径, 提高粉煤灰的综合利用水平, 不仅是山西省实现资源经济转型、解决环境污染、推进绿色产业发展的需求, 也是解决环境污染、保

障人民群众生活健康的迫切需求。

1 山西省粉煤灰的产生现状

2000 年山西省火电装机容量为 1 290 万 kW, 至 2013 年增长了 3 倍, 达到 5 202 万 kW。全省发电量由 2000 年的 620 亿 kw 增长到 2013 年的 2527 亿 kw 粉煤灰也由 2000 年的 805 万吨增长到 2013 年的 4799 万吨 (约占全国粉煤灰总产生量的 8.4%)。

由于燃煤品质下降以及低热值煤发电项目的逐步实施, 燃料发热量低, 灰分普遍提高, 粉煤灰产生量年增长速度较发电量增长速度快。

2 山西省粉煤灰的基本性质

2.1 化学组成

粉煤灰主要源自煤中的灰分, 化学成分主要

收稿日期: 2014-08-16

第一作者简介: 李晓姣 (1984-), 女, 山西蒲县人, 毕业于太原理工大学, 硕士研究生, 工程师, 主要从事固体废物处理处置与资源化利用研究。

是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ，三者合计占 70 % 以上^[1]，除此之外，还有钙、镁、钾、钠等的氧化物。粉煤灰的化学组成很大程度上取决于原煤的无机物组成和

燃烧工况，因煤的产地、种类、燃烧炉型、排灰方式等因素而不同^[2]。山西省粉煤灰的化学组成范围见表 1。

表 1 山西省粉煤灰的化学组成范围

成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	烧失量	其他
含量/%	45~56	25~43	3~7	2.5~7	0.5~2.5	0.9~1.5	0~1.1	0~7	2~4

根据粉煤灰 CaO 含量的高低，可将粉煤灰分为高钙灰(>20 %)、中钙灰(10 %~20 %)和低钙灰(<10%)^[3]。从表 1 可看出，山西省粉煤灰 CaO 的含量普遍较低，基本属于低钙粉煤灰，自身水硬胶凝性小，但若以粉状存在或有水存在时，能与碱土金属氢氧化物在常温下，特别是水热处理条件下发生化学反应，生成具有水硬胶凝性的化合物^[4]。

相比国内其他省份，山西省粉煤灰 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较高^[5]。根据 Al_2O_3 含量可将粉煤灰分为高铝灰(>40 %)、中铝灰(30 %~40 %)和低铝灰(<30 %)。含铝量对粉煤灰的利用有很大影响，例如

晋北地区的高铝粉煤灰具有提取氧化铝、生产铝硅合金等的高附加利用价值，晋中地区的中铝粉煤灰是潜在工业高附加值粉煤灰产品的后备资源，而晋南和晋东南地区的低铝粉煤灰主要用于附加值较低的建材、道路、工程填筑等大宗综合利用途径。

2.2 矿物组成

粉煤灰的矿物组成关系到其资源化综合利用的方向和程度，山西省粉煤灰的一般矿物组成如表 2 所示。

表 2 山西省粉煤灰的矿物组成

矿物名称	石英	莫来石	高铁玻璃体	低铁玻璃体	玻璃态 SiO_2	玻璃态 Al_2O_3
含量范围/%	1.1~15.9	11.3~29.2	0~21.1	42.2~70.1	26.3~45.7	4.8~21.5
平均值/%	6.4	20.4	5.2	59.8	38.5	12.4

粉煤灰主要由无定形相和结晶相两大类矿物组成。无定形相主要为玻璃体，约占 50 %~80 %^[6]，在有水分存在条件下，能与氢氧化钙等发生化学反应，生成具有水硬胶凝性能的化合物，是粉煤灰火山灰活性的主要来源；结晶相主要有莫来石、石英、碳酸盐等，莫来石是硅铝酸盐矿物在极高温度下形成的产物，可广泛应用于耐火材料或陶瓷产品^[7]；石英化学性质较稳定，不会对粉煤灰制品产生不利影响；碳酸盐类矿物含量较低，对粉煤灰制品性能的影响有限。

3 山西省粉煤灰综合利用现状

3.1 粉煤灰综合利用量

山西省在发展煤电行业的同时，也通过加快技术创新，积极努力地推进粉煤灰综合利用产业的发展，使得粉煤灰综合利用率稳步增长，利用领域逐渐拓宽，技术水平不断提升。全省粉煤灰综合利用量及利用率历年情况如图 1 所示。

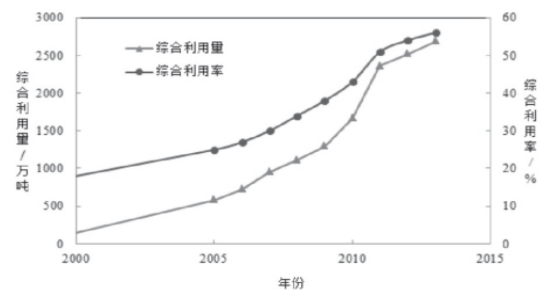


图 1 山西省历年粉煤灰综合利用情况

从图 1 可知，近年来山西省粉煤灰利用量呈持续上升趋势，从 2000 年的 145 万 t 增加到 2013 年的 2 687 万 t，综合利用率从 18 % 增加到 56 %，但仍低于全国 68 % 的平均水平 12 个百分点。此外，由于全省缺乏具有较强市场竞争力的跨区域大集团，企业资源整合能力差，无法对全省的粉煤灰资源进行合理调配。加之受地域资源、经济发展水平和城市建设规模等因素的影响，全省各地市粉煤灰综合利用情况差异较大。

3.2 粉煤灰综合利用途径

2013 年, 山西省粉煤灰综合利用总量为 2 687 万吨, 其中, 生产水泥、混凝土、墙体材料等建筑材料为主要综合利用途径, 约占粉煤灰综合利用总量的 75.4%; 粉煤灰用于路面基层、坡体修护、堤坝修筑等工程填筑量约占总利用量的 13.3%; 煤矿采空区及沉陷区生态填充消纳粉煤灰量约占总利用量的 10.2%; 粉煤灰制取陶瓷纤维制品、微晶玻璃等精细利用量所占比例不足 1.1%。2013 年各利用途径用灰情况见图 2。

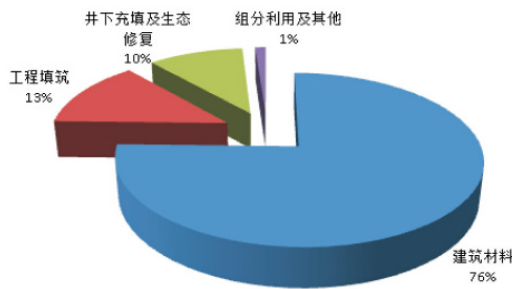


图 2 2013 年山西省粉煤灰各利用途径用灰量

3.3 粉煤灰综合利用产业发展现状

据调查, 近几年山西省投产的粉煤灰综合利用项目日益增多, 全省用灰企业 2 000 余家, 全年总产值超过 100 亿元, 粉煤灰综合利用产业在全省经济总量中已经占有一席之地。

粉煤灰综合利用项目主要集中在建材利用方向, 包括商品粉煤灰、粉煤灰水泥、粉煤灰混凝土、混凝土砂浆、加气混凝土砌块、粉煤灰砖等。水泥厂利用粉煤灰生产矿渣粉煤灰硅酸盐水泥等各类水泥, 年利用粉煤灰约 600 万 t; 加气混凝土砌块生产企业 40 余家, 年利用粉煤灰约 360 万 t; 年生产粉煤灰烧结砖、蒸压砖达到 30 亿块, 年利用粉煤灰约 580 万 t; 混凝土、干混砂浆等消纳粉煤灰量也将近 500 万 t。在新型建材领域也开展了有益探索, 粉煤灰生产新型轻质复合墙板、装饰板、保温板等项目已取得初步成功及市场应用。

利用粉煤灰进行路基及工程填筑、填沟造地、沉陷区治理等生态修复工程也已有成功的范例。如运城市风陵渡开发区通过设置拦渣坝、排水井、防渗等设施将粉煤灰应用于填沟造地百余亩; 太原东山煤矿采用以粉煤灰为主的浆料填充压实矸石空隙的方法, 将粉煤灰输送到井下, 填充到采空区, 从而减少地面沉降。

山西省在粉煤灰精细利用方向也在不断探

索, 针对晋北一带的高铝粉煤灰, 依托朔州市工业固废综合利用园区, 提取氧化铝、白炭黑的技术研发成功并在逐步进行产业化的推进示范。粉煤灰生产陶瓷纤维无机耐火材料、碳金家具、微晶玻璃等其他精细利用方向也有一定程度的突破。该园区建成以来, 聚集了一大批科研机构, 技术开发和示范取得了突破, 与亚洲粉煤灰协会共同举办的亚洲粉煤灰综合利用技术大会在国内外已具有一定的影响力。

4 粉煤灰综合利用前景分析

现阶段, 山西省粉煤灰综合利用尚处于发展探索期, 现有利用途径消纳量有限, 行业整体实力不强。而且, 根据山西省经济和社会发展趋势, 考虑“十三五”期间低热值煤电项目的建设, 预计 2020 年粉煤灰产生量将达到 12 000 万 t, 巨大的粉煤灰产生量也给综合利用带来了极大的压力。从根本上解决这一问题, 要结合山西省粉煤灰的特点和实际情况, 按照“优先保证规模消纳、稳步推进高端利用、切实保障环境安全”的原则, 拓展粉煤灰综合利用途径, 发展规模化消纳技术, 实施粉煤灰综合利用优惠政策, 推动粉煤灰综合利用产业健康发展, 提高粉煤灰产业综合效益, 提升粉煤灰综合利用水平。综合利用途径可划分为三大类, 分别是建材利用、填充利用和精细利用。

4.1 粉煤灰建材利用

粉煤灰是一种火山灰质材料, 具有极好的活性及形态效应, 可作为原材料用于生产水泥、混凝土、墙体材料、干混砂浆、陶粒等建筑材料^[10]。根据山西省水泥现有产能及市场需求状况, 预计 2020 年水泥生产可消纳粉煤灰 2 800 万 t。根据山西省人口数量及混凝土需求情况, 预计 2020 年混凝土生产可消纳粉煤灰 1 800 万 t。根据山西省历年房屋竣工面积增速及新型墙体材料需求量增长趋势, 预计 2020 年墙体材料生产可消纳粉煤灰 770 万 t, 干混砂浆生产可消纳粉煤灰 90 万 t。粉煤灰陶粒作为一种新型轻质建筑材料, 预计 2020 年可消纳粉煤灰 170 万 t。

4.2 粉煤灰填充利用

山西省是采煤大省, 煤炭开采形成大量的采空区和沉陷区。研究表明, 每从地下采出 1 万吨

(下转第 7 页)

报, 2008, 28(1): 21-23.

[23] Arnlj, M.. Aquatic macrophytes as tools for lake management[J]. *Eydrohiologia*, 1999, 395/396: 181-190.

[24] 吴玉树. 根生沉水植物菹草对滇池水体的净化作用 [J]. *环境科学学报*, 1991, 11 (4) : 411-416.

[25] 包先明, 陈开宁, 范成新. 种植沉水植物对富营养化水体沉积物中磷形态的影响[J]. *土壤通报*, 2006, 37(4): 710-715.

[26] 刘兵钦, 王万贤, 宋春雷, 等. 菹草对湖泊沉积物磷状态的影

响[J]. *武汉植物学研究*, 2004. 22(5): 394-399.

[27] 范成新, 刘元波, 陈荷生. 太湖底泥蓄积量估算及分布特征探讨[J]. *上海环境科学*, 2000, 19(2): 72-75.

[28] Emilry, D. N. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment [J]. *Water Research*, 2000, 34 (7): 2037-2042 .

[29] 尹大强, 吴重华, 王晓蓉, 等. 太湖湖水及沉积物磷释放对藻类生长潜力研究 [J]. *南京大学学报*, 1996, 32 (2) : 253-260.

(上接第 57 页)

煤, 约使 0.2 公顷的土地遭受不同程度的塌陷。粉煤灰作为填筑材料使用, 是规模化消纳粉煤灰的一个重要途径^[1], 也是结合山西省煤矿开采的实际, 因地制宜, 进行采空区和沉陷区生态修复的重要举措。山西省共有采空区约 5 000 km², 沉陷区约 2 000 km², 可消纳全省 5-10 年的粉煤灰。

另外, 道路路堤, 建筑物及广场地基, 护坡、护堤工程, 地貌改造等工程填筑也是粉煤灰填充利用的一个主要方向, 是保证山西省粉煤灰规模化消纳的有效补充。

4.3 粉煤灰精细利用

根据山西省粉煤灰区域分布特点, 晋北朔州一带粉煤灰铝、硅含量较高, 可探索发展从粉煤灰中提取氧化铝和白炭黑、生产硅铝合金等产业。除进行组分提取外, 可通过示范项目先行先试, 将粉煤灰用于生产水处理絮凝剂、无机耐火材料、防水材料、吸声材料、微晶玻璃, 合成沸石等, 探索发展粉煤灰的精细利用产业。

5 结论

本文在大量数据调查的基础上, 对山西省粉煤灰综合利用的现状进行了分析, 并对该领域未来几年内的发展趋势进行了预测。山西省电厂多、灰量大, 巨大的静态存量和动态增量为粉煤灰的综合利用带来了巨大压力; 同时, 也面临着

粉煤灰应用技术突飞猛进、粉煤灰及其制品的市场不断发育成熟的历史性机遇, 压力与机遇并存。在未来 5 年内, 将结合山西省粉煤灰的特点和实际需求, 大力发展生态填充, 以建材利用和填充利用的规模化消纳为主, 同时探索粉煤灰价值组分提取和各类功能材料生产等精细利用, 为山西省粉煤灰综合利用寻求出路。

参考文献

[1] 刘桂芝. 浅谈粉煤灰综合利用及发展建议 [J]. *甘肃科技*, 2006, 22(6): 123-124.

[2] 姚志通. 固体废弃物粉煤灰的资源化利用[D]. 浙江大学, 2010.

[3] 刘关宇. 粉煤灰综合利用现状及前景 [J]. *科技情报开发与经济*, 2010, 20(19): 167-170.

[4] 王莺歌. 谈大型电站粉煤灰的综合利用[J]. *电力技术*, 2010, 19(8): 5-10.

[5] 蒋家超, 赵由才. 粉煤灰提铝技术的研究现状[J]. *有色冶金设计与研究*, 2008, 29(2): 40-43.

[6] 韩桂泉, 李京伟, 杜博, 等. 粉煤灰的综合利用现状与展望[J]. *中国资源综合利用*, 2006, 24(7): 12-14.

[7] 陈云霞, 苏小丽, 曾涛, 等. 粉煤灰固体废弃物制备瓷质砖的实验研究[J]. *中国陶瓷*, 2013, 49(3): 48-51.

[8] 杨秀红, 胡振琪, 张学礼. 粉煤灰充填复垦土地风险评价及稳定化修复技术[J]. *科技导报*, 2006, 24(3): 33-35.

[9] 杨权成, 马淑花, 谢华, 等. 高铝粉煤灰提取氧化铝的研究进展[J]. *矿产综合利用*, 2012, 3: 3-6.

[10] 黄谦. 国内外粉煤灰综合利用现状及发展前景分析 [J]. *中国井矿盐*, 2011, 42(4): 41-43.

[11] 张磊, 吕宪俊, 金子桥. 粉煤灰在矿山胶结充填中应用的研究现状[J]. *矿业研究与开发*, 2011, 31(4): 22-25.