

粉煤灰的基本性质与综合利用现状及发展方向

高晓云, 陈萍

(安徽理工大学地球与环境学院 淮南 232001)

摘要: 本文从应用角度分析了粉煤灰的基本性质,总结了粉煤灰的各种综合利用技术,并介绍了粉煤灰可持续发展的方向。

关键词: 粉煤灰;基本性质;综合利用;可持续发展

中图分类号: X773

文献标识码: A

文章编号: 1006-8719(2012)-04-0005-03

THE BASIC PROPERTIES AND COMPREHENSIVE UTILIZATION OF FLY ASH STATUS

GAO Xiaoyun, Chen Ping

AnHui University of Science and Technology School of Earth & Environmental Sciences Huainan 232001)

Abstract: From the application point of view of the basic properties of fly ash, summed up a variety of comprehensive utilization of fly ash technology, and describes the direction of sustainable development of fly ash.

Keywords: fly ash; basic properties; comprehensive utilization; sustainable development

前言

燃煤发电是各国普遍采用的电力生产方式之一,燃煤所产生的大量粉煤灰、炉底渣的有效利用已成为世界性课题。据不完全统计,我国的发电厂每年产生的粉煤灰也在2亿吨左右。目前,发达国家(欧美等)的粉煤灰利用率已高达90%,而我国目前的粉煤灰利用率只达到45%左右。目前我国已有的20亿吨粉煤灰累积堆存量。大量的粉煤灰若不妥善处置,不仅会占用大片农田耕地,产生的扬尘严重污染大气,而且在堆放地也会由于淋滤作用浸污地下水系,其灰浆排放到江河湖泊,污染阻塞河道,直接影响到水生物的生长,破坏生态平衡。为了消除粉煤灰的环境污染,提高其资源性利用率,人们经过几十年的努力,已实现了粉煤灰在

诸多领域的综合利用。例如用粉煤灰作水泥添加材料、建筑材料、混凝土掺和材料以及铺路、回填等。随着世界人口的不断增长,资源日趋紧张,环境也不断恶化。工业废渣中排放量巨大的粉煤灰进行资源综合利用,对于实现可持续发展,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

1 粉煤灰的性质

1.1 化学性质

粉煤灰是一种火山灰质材料,来源于煤中无机组分,而煤中无机组分以粘土矿物为主,另外有少量黄铁矿、方解石、石英等矿物。因此粉煤灰化学成份以二氧化硅和三氧化二铝为主(二氧化硅含量在50%左右,三氧化二铝含量在27%左右),其它成分为三氧化二铁、氧化钙、氧化镁、氧化钾、氧化钠、三氧化硫及未燃尽有机质(烧失量)。不同来源的煤和不同燃烧条件下产生的粉煤灰,其化

学成分差别很大。表 1 为我国几十个大型火力发电厂粉煤灰的化学成分。

表 1 粉煤灰的化学成分^[1]

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	烧失量
变化范围	33.9~59.7	16.5~35.4	1.5~19.7	0.8~10.4	0.7~1.9	0.6~2.9	0.2~1.1	0~1.1	1.2~23.6
平均值	50.6	27.1	7.1	2.8	1.2	1.3	0.5	0.3	8.2

1.1 物理性质

煤粉在锅炉中燃烧时,其无机物经历了分解、烧结、熔融及冷却等过程,冷却后的粉煤灰颗粒主要由硅铝玻璃体和少量碳粒组成,玻璃体又以单珠、连珠体和海绵状不规则多孔体组成。粉煤灰的品质主要取决于这些粒径、形貌不一的各种颗粒

成分的组合比例。其中,粉煤灰的活化能力主要靠硅铝玻璃体,而在常温下硅铝玻璃体以多聚物组成为主,活化能力较低。因此,常温下粉煤灰是一种性质稳定的材料。粉煤灰的密度、堆积容量、曲度、比表面积和细度见表 2。

表 2 粉煤灰平均物理性质

密度 (g/cm ³)	堆积容量 (kg/m ³)	曲度	细度(%)			比表面积 (m ² /g)
			>80 m	45~80 m	<45 m	
2.1	780	0.35	22.9	35.9	59.8	0.8~7.4

粉煤灰的物理性质中,细度是比较重要的项目。它直接影响着粉煤灰的其他性质,粉煤灰越细,细粉占的比重越大,其活性也越大。粉煤灰的细度影响早期水化反应,而化学成分影响后期的反应。

粉煤灰的综合利用,长期以来受到国家的高度重视,近年来也取得了较大成就。归纳起来,粉煤灰主要应用于建材、建工、筑路、回填、农业及资源回收等几方面。

1.2 其他特性

2.1 建筑制品方面的应用

(1) 形态效应^[2]。泛指粉煤灰颗粒形状、粒径大小、表面粗糙度、级配、内外结构等几何特征及色度、密度等特征在混凝土中产生的效应。粉煤灰的形态效应可以在混凝土材料中起到减水、引水、保水、释水、润滑、减阻、解絮、塑化、增浆、浓化、粘聚、增密、减气、堵孔、调凝、促硬等作用。

此类用灰量约占粉煤灰利用总量的 35% 左右,主要制品有:粉煤灰水泥、硅酸盐承重砌块和小型空心砌块、加气混凝土砌块及板、烧结陶粒、

(2) 活性效应(火山灰效应)。指低钙粉煤灰的玻璃体中活性氧化钙、氧化铝与氢氧化钙发生化学反应,生成胶凝性的水化铝硅酸钙,和高钙粉煤灰的自硬胶凝性的性能。

烧结砖、蒸压砖、蒸养砖、高强度双免浸泡砖、双免砖、钙硅板等。粉煤灰建筑制品可分为非烧制和烧制型,非烧制粉煤灰建筑制品的诸多产品中,最先得得到开发的是蒸养制品,在 60 年代,硅酸盐砌块、蒸养粉煤灰砖、大型硅酸盐墙板、蒸养粉煤灰加气混凝土等已出现,80 代后期以来,随着各种外加剂技术的发展,自然养护的产品有所发展。这类产品的特点是利用粉煤灰具有的火山灰活性,与含钙物质配合,在一定温、湿度条件下与之发生反应,生成水化产物而获得一定强度和它性能。这类制品生产工艺要求严格,设备比较复杂,对粉煤灰的品质要求及用量也不同,而且,不同产品的应用技术要求也各有特点。粉煤灰烧制型建筑制品主要是利用粉煤灰代替部分粘土制作烧结砖、空心砖、墙地砖以及粉煤灰烧结陶粒等,掺加粉煤灰生产陶质制品,是很有发展前途的新型建筑材料。

(3) 微集效应^[3]。粉煤灰微珠具有极高的强度,其填充在水泥颗粒间的空隙,既减少了毛细孔隙又起到了微骨架作用。随水化作用的不断进行,粉煤灰的水化产物与未水化的粉煤灰内核的粘结力不断提高,这也有利于提高粉煤灰的微集效应。

2.2 建设工程方面

除上述三个基本效应外,粉煤灰还有许多其它效应,如免疫效应(抑制碱集料反应效应、提高耐腐蚀性效应等)、减热效应(降温升效应)、泵送效应等,不过这些效应都离不开上述三个基本效应。

此类用灰量约占总用灰量的 10%,主要有:粉煤灰用于大体积混凝土,泵送混凝土,高低标号

2 粉煤灰的开发应用现状

混凝土,注浆材料等。粉煤灰混凝土应用面极广,在土木工程(包括水利工程)、建筑工程以及预制混凝土制品和构件等方面都可广泛使用。通过粉煤灰在混凝土中的性能研究、工程应用研究等,进一步认识到粉煤灰的“形态效应”、“活性效应”、“微集效应”等,必须在应用技术中充分注意,才能控制和保证粉煤灰混凝土的质量,同时也证实了粉煤灰在混凝土的应用中存在着一定的“负因素”和“变异性”。如何控制这些负因素和变异性使其符合各种工程质量要求是非常关键的。

2.3 用于道路工程

这部分用灰量大概占总用灰量的 20%,主要有:粉煤灰、石灰石砂稳定路面基层,粉煤灰沥青混凝土,粉煤灰用于护坡、护堤工程和粉煤灰修筑水库大坝等。

2.4 农业应用

这部分用灰量约占总用灰量的 10%,主要用于:改良土壤,制作磁化肥,微生物复合肥,农药等。粉煤灰颗粒组成主要是粗颗粒(0.25~0.01 mm)和细颗粒(0.005~0.001 mm)。根据卡庆斯基土壤质地分类制标准^[4],按照颗粒组成,粉煤灰相当于紫砂土、砂壤土和轻壤土,持水特性与类似质地土壤相一致。保持水分除靠颗粒之间的毛细管孔隙外还在颗粒破碎球体的洞穴和蜂窝状孔隙内蓄水。粉煤灰的颗粒结构决定了与土壤水分相比,粉煤灰水分更易被植物利用。上述特性在农业应用中得到了充分肯定。此外粉煤灰在改良土壤、育秧、覆盖越冬作物,用粉煤灰制作硅钙肥、磁化粉煤灰、与腐植酸混合的堆积肥,灰场覆土造田,用粉煤灰回填坑洼地和矿区塌陷区复垦造地等方面收效显著。

2.5 作为填筑材料

粉煤灰在工程中作为填筑材料使用,是大用量、直接利用的一种重要途径。填筑用灰量占总用灰量的 15%,主要有:粉煤灰综合回填,矿井回填,水坝和码头等的填筑等。粉煤灰填筑工程的特点,首先是投资少、操作简单、用灰量大,其次,对灰的质量要就不像使用在水泥、混凝土中那样严格,不论是干灰、湿灰都可使用。

2.6 粉煤灰的精细利用

粉煤灰是包含多种元素的重要资源,可以通过一定的化学或物理方法从中分选或提取出有用的物质如:粉煤灰中漂珠的分选利用、粉煤灰中碳粒的分选利用、粉煤灰中富铁玻璃微珠的分选利

用、粉煤灰中铝的提取等。漂珠是粉煤灰中微态轻质、中空、表面光滑,能漂在灰水面上的珠状颗粒。从湿排灰中分选漂珠,可直接在灰场中人工捞取或用溢流法选取,干排灰则可采用风选法选取漂珠。漂珠具有耐磨、耐高温、导热系数小、电绝缘性好、强度高、无毒无味的特征,可做多种产品如^[2]:漂珠保温、耐火制品、耐磨制品(刹车片等)、塑料、橡胶制品填充料、建筑材料、涂料等。碳粒是粉煤灰中的未燃尽碳分,含量可用烧失量衡量,一般为 1%~30%不等。碳粒可做砖瓦厂的燃料、碳素制品的原料、冶金用料等,从湿排灰中分选碳粒可用浮选法,干排灰则可采用静电场法分选碳粒。从粉煤灰中分选富铁玻璃微珠,可以补充铁矿来源,改善我国铁矿储量低、品位低的状况,因此,分选价值较高。一般采用磁选法进行分选,选出的富铁玻璃微珠可作为炼铁原料和水泥原料。粉煤灰还含有多种金属元素,可以用碱法、酸浸法、酸碱联合法等提取铝、钒、稼等金属或金属氧化物。粉煤灰的精细利用范围广、价值高,值得进一步深入开发研究。

2.7 在环保方面的应用

(1) 在废水处理中的应用

粉煤灰含有大量的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 和未燃尽碳,这些物质具有多孔性和较大比表面积,是很好的吸附材料,在某些情况下,粉煤灰可代替活性炭、活性 Al_2O_3 ,等专用吸附剂。粉煤灰处理废水的机理有三个方面的:吸附作用(物理吸附和化学吸附)、凝聚作用和沉淀作用。用粉煤灰去除废水中的金属离子、阴离子、有机废水脱色、去除部分 COD 和 BOD 等的成功例子在国内外均有报道。

(2) 粉煤灰在烟气脱硫中的应用

近几年来,国内外都开展利用粉煤灰制高级脱硫剂的研究。粉煤灰中主要成分 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 CaO 。在常温有水存在的条件下,细粉末状的粉煤灰能与碱金属和碱土金属发生“凝硬反应”的特性^[5],被认为是粉煤灰循环利用过程中提高钙基吸收剂利用率的原因所在。试验证明,用粉煤灰制成脱硫剂的脱硫效率要高于纯的石灰脱硫剂,这是因为气-固反应中吸收剂比表面积的大小是反应速率快慢的主要决定因素。在适当的灰/石灰比和反应温度时,脱硫率可达到 90%以上。

(下转第 58 页)

表 1 水功能区考核关键指标表

属性层	指标	水功能区类型										
		保护区	保留区	缓冲区	开发利用区	饮用水源区	工业用水区	农业用水区	渔业用水区	景观娱乐用水区	过渡区	排污控制区
资源	水文											
	生态基流	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
环境	敏感生态需水	B			B	B				B		
	水质达标率	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
生态	污染物入河控制量	B	B		B	B	B	B	B	B	B	B
	鱼类物种多样性	B			B				B			
社会	珍稀水生生物存活状况	B										
	水源地安全达标状况				B	B						
环境	水资源开发利用率		B	B	B	B	B	B	B			

参考文献

[1] 水利部, 国家发展改革委, 环境保护部等. 全国重要江河湖泊水功能区划(2011-2030), 2011.

[2] 中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定 [J]. 中国水利, 2011(4).

[3] 洪一平. 严守长江纳污红线促进水资源可持续利用. 人民长江报, 2011年5月28日 第5版.

[4] 彭文启. 水功能区限制纳污红线指标体系. 中国水利 [J], 2012(7): 19-22.

(上接第7页)

3 粉煤灰应用技术的发展方向

扩大粉煤灰综合利用是当前我国确定的资源综合利用的突破口之一,已列入《中国 21 世纪议程》内容。粉煤灰综合利用技术政策总原则是:把大批量用灰技术作为重点,把提高粉煤灰综合利用的经济效益和社会效益有机结合作为主攻方向;巩固已有的技术成果,逐步完善比较成熟的利用技术,大力推广成熟的粉煤灰综合利用技术,积极采用国际先进技术和装备,不断提高我国的粉煤灰利用技术水平。简单概括今后重点开发研究的方向有以下几个方面:

(1)大掺量利用。重点发展砖系列产品,无论从节约能源、保护环境,还是从节约土地、降低成本来说,大掺量粉煤灰制品都将是下一步发展的趋势。

(2)粉煤灰陶粒。粉煤灰陶粒是一种性能良好的人造轻质集料。我国虽然也进行了一部分粉煤灰烧结粒的实验,但尚未实现工业化生产。粉煤灰陶粒产品性能朝着颗粒强度大、堆积密度小、粒径小、孔隙率低和吸水率小的方向发展。

(3)粉煤灰在注浆材料中的应用。在注浆过程

中掺加适量的优质粉煤灰,不但能降低成本,而且能使浆液的许多重要性能得到明显的改善,例如浆液的可注性和稳定性增强、浆液胶结体的耐久性和耐磨性都有所提高^[3]。所以,今后粉煤灰在注浆材料中的应用将越来越受到重视。

(4)高附加值利用。高附加值型产品的开发是今后粉煤灰综合利用的一个主要方向,如空心微珠应用于制造轻质保温耐火材料和提高航天器聚合物抗原子氧的剥蚀^[6]。

综上所述,粉煤灰科学利用是一项综合性、边缘性科学技术。其技术的可持续发展,依赖于其它学科的不断发 展。若能合理利用,则既能够用来化解粉煤灰所带来的环境问题,又能够将其作为一个新兴的资源以发展多种实用性产品。

参考文献:

[1] 王福元,吴正严.粉煤灰利用手册(第二版)[M].中国电力出版社,2004.

[2] 马悦红.粉煤灰特性及综合利用[J].西北电力技术,2004(3).

[3] 王书云.粉煤灰混凝土配合比研究[D].济南:山东大学,2005.

[4] 孙向阳.土壤学[M].中国林业出版社,2005.

[5] 刘桂芝.浅谈粉煤灰综合利用及发展建议 [J]. 甘肃科技,2006(6).

[6] 沈志刚,李策镭,王明珠等.粉煤灰空心微珠及其应用[M].国防工业出版社,2008.