

建材情报资料

总第8003号

工程材料类

国内利用工业废渣生产 建筑材料概况

建材部技术情报标准研究所

一九七九年十二月



目 录

一、充分利用工业废渣生产建筑材料	(1)
二、利用粉煤灰生产建筑材料	(3)
(一) 生产水泥和作混凝土掺合料	(4)
(二) 生产蒸养粉煤灰砌块	(5)
(三) 生产蒸养或蒸压粉煤灰砖	(6)
(四) 生产烧结粉煤灰砖	(8)
(五) 生产加气混凝土	(9)
(六) 生产粉煤灰陶粒	(10)
三、利用煤矸石生产建筑材料	(12)
(一) 生产水泥	(12)
(二) 生产砖瓦	(16)
(三) 生产空心砌块	(17)
(四) 生产铸石	(19)
(五) 生产陶粒	(20)
四、利用石煤生产建筑材料	(22)
(一) 生产水泥	(22)
(二) 烧石灰	(24)
(三) 生产碳化石煤渣制品	(24)
(四) 生产砖瓦	(25)
五、利用钢铁渣生产建筑材料	(26)

(一) 生产钢渣水泥	(27)
(二) 生产钢渣砖和高炉矿渣砖	(28)
(三) 生产高炉矿渣轻骨料	(28)
(四) 利用钢铁渣碎石代替天然碎石作建筑材料	(29)

六、利用化工废渣和尾矿渣生产建筑材料 (30)

(一) 碱渣聚氯乙烯合成板	(30)
(二) 铬渣砖	(30)
(三) 磷渣水泥	(31)
(四) 硫酸渣水泥熟料	(32)
(五) 尾矿粉蒸压加气混凝土	(32)
(六) 绿页岩陶粒	(33)

附：国外利用工业废渣生产建筑材料的一些情况 (34)

(一) 生产水泥	(34)
(二) 作混凝土掺合料和生产加气混凝土	(35)
(三) 生产砖、陶瓷和耐火材料	(36)
(四) 生产轻骨料	(37)
(五) 生产铸石	(38)
(六) 生产微晶玻璃和矿棉	(38)
(七) 利用工业废渣筑路	(39)

编后语..... (40)

一、充分利用工业废渣生产建筑材料

(一)

综合利用工业废渣的重要性，是由综合利用工业废渣的优越性决定的。为什么要重视利用工业废渣生产建筑材料呢？理由主要有以下三点：

第一、随着工业的发展，工业废渣日益增多，而天然资源日益枯竭，因此势必要利用工业废渣代替部分天然资源。同时，因为能源缺乏，利用工业废渣也要同节约能源结合起来考虑。大部分工业废渣中还含有一定数量的炭，在利用过程中能发挥其潜在能力，可以节省能源。

第二、工业废渣的某些性能适于生产建筑材料，而建筑材料量大面广，是吃工业废渣潜力最大的部门之一。

第三、不搞综合利用不仅得不到益处，而且还会带来危害，如占用土地、造成污染等等。

大家知道，资源、能源，环境保护是现今工业发展迫切需要解决的三个重要问题。上面谈的三点理由，说明利用工业废渣生产建筑材料与这三个问题有密切的关系。这三点理由，也就是利用工业废渣生产建筑材料的三点优越性，概括起来就是：代替原料，节约燃料，化害为利。我们国内重视这项工作，积极开展这项工作，其理由主要的也就是这么三点。从各地、各单位的实践中，我们可以清楚地看到这些优越性。我们认为，充分认识工业废渣综合利用的优越性，是进一步搞好这项工作的一个重要的思想基础。因此，广泛地宣传这种优越性，不断地增强开展这项工作的自觉性，还是很有必要的。

(二)

建材工业综合利用工业废渣的特点是什么？

用量大、吃得多，是建材工业综合利用工业废渣的特点之一。为了说明这个问题，这里具体谈一谈利用煤矸石、石煤生产建筑材料的情况。我国建材工业利用煤矸石、石煤已有较长的历史了。早在第一个五年计划期间，唐山四二二水泥厂（当时叫启新水泥厂）就利用开滦煤矿的自燃煤矸石作混合材，生产四百号、五百号硅酸盐水泥。1966年辽宁黑山县砖厂开始用煤矸石代替好煤烧砖。二十多年来，唐山四二二水泥厂累计利用煤矸石二百七十多万吨，搬掉了两座矸石山，生产水泥一千三百万吨。黑山县砖厂已累计利用煤矸石七十二万吨，生产砖二亿四千万块。近十多年来，各地还利用煤矸石、石煤生产陶瓷、耐火材料、铸石、轻骨料。总之，用煤矸石、石煤生产的建材产品品种越来越多，利用煤矸石、石煤的数量也越来越大。据介绍，每生产一亿块内燃砖，可利用煤矸石或石煤五万至十万吨；每生产一亿吨混合水泥，可利用煤矸石或石煤二千五百吨；每生产一亿立方米空心砌块，可利用煤矸石或石煤一万二千万吨。以砖为例，全国县以上的企业年产砖约四亿万块，包括社队企业总计在一千亿块左右。如果有10%的砖用煤矸石或石煤作内燃掺料，每一亿块平均掺七万吨，一年就可利用煤矸石或石煤七百万吨。

建材工业综合利用工业废渣的另一个特点是，利用得彻底，能够“吃干用尽”。辽宁南票

矿务局煤矸石综合利用的情况，可以充分说明建材工业利用工业废渣生产建筑材料的这一特点。这个矿务局每年要排出四十多万吨煤矸石。过去，这些煤矸石白白丢掉，不仅每年要花排矸运费十几万元，而且占用大量土地，污染环境，危害人民健康。这个局在辽宁省煤研所的帮助下，从1977年起开始大搞煤矸石综合利用。他们首先从改炉节煤入手，用煤矸石代替好煤烧沸腾炉。锅炉改好了，大量的沸腾炉渣如果不利用起来，天长日久，也会堆积如山。为了解决这个问题，他们又由沸腾炉渣和工业副产品盐酸为主要原料，生产出结晶氯化铝和固体聚合铝等国家急需的化工产品。接着，他们又把生产化工产品的废渣利用起来，作水泥混合料，生产出五百号水泥。他们还利用过火矸石代替矿渣生产水泥，仅前年一年就生产了过火矸石作掺合料的火山灰水泥二万多吨。过去他们那里用黄土烧砖制瓦，每年要取土两万立方米，烧掉好煤三千多吨。现在他们利用自然矸石作含硅材料，制成了蒸制硅酸盐矸石砖和矸石瓦，前年生产砖九百万块、瓦三十万片。此外，他们利用煤矸石生产出造型粉、造型砂，改善了铸造工人的劳动条件。这些情况表明，南票矿务局不断扩大利用煤矸石的途径，不仅生产了大量的建筑材料，而且真正是“吃干用尽”了。

建材工业综合利用工业废渣的第三个特点是，要实行“因地制宜，就地供应”的原则。这样做，有利于减少运输，降低产品成本。很明显，这是符合建材生产和使用的具体情况的，是符合经济发展规律的。建材企业在全国分布很广，其中靠近渣源的不少建材企业，在有关单位的配合下积极利用工业废渣，取得了很好的效果。这些企业应巩固成绩，在现有的基础上根据需求和可能扩大原料、燃料中的利用废渣的比例。对于有条件而没有使用废渣的企业，应积极掌握技术条件，搞好废渣的利用工作。

(三)

据不完全统计，我国目前每年从工业部门排出的废渣、废灰已达三亿吨左右，其中粉煤灰二千七百万吨，煤矸石七千万吨，高炉渣一千八百万吨，钢渣六百万吨，尾矿粉一亿吨，城市工业及民用炉渣五千万吨。

历年积累的各种废渣就更多，仅煤矸石一项就有十几亿吨，其它钢铁渣也有两亿多吨。

目前，国内工业废渣的利用率还不高。在这方面，同国外情况相比，我们的差距比较大。以粉煤灰为例，1974年芬兰的利用率为百分之八十四，法国为百分之六十九点七，英国为百分之四十八点九，西德为百分之三十三点三，波兰为百分之二十四点二。日本1965年粉煤灰利用率为百分之九十九，1975年几乎为百分之百。我国1977年粉煤灰利用率为百分之九，约二百三十六万吨。我国1977年煤矸石利用率为百分之十二，约八百五十万吨；高炉渣利用率为百分之七十。

随着我国工业的发展，工业废渣将迅速增加。根据我国工业发展规划，预计煤矸石1980年排出量将增加到八千四百万吨至一亿一千万吨，1985年将增加到一亿三千万吨至一亿八千万吨；粉煤灰1980年将增加到五千万吨至七千万吨，1985年将增加到一亿五千万吨；其它工业废渣的排出量也将大幅度增长。因此，不进一步搞好综合利用工作，废渣排出量大和利用率低之间的矛盾将越来越大。

上面谈到的是我国主要的几种工业废渣的年排出量、积存量、利用率和这些工业废渣将迅速增加的一些数字。这些数字告诉我们，必须采取有效措施，进一步充分利用工业废渣。在这方面，摆在我们建材工业面前的任务是十分迫切的。

(四)

为了进一步搞好利用工业废渣生产建筑材料的工作，根据国内的大量经验，参照国外的有关情况，我们谈以下几点意见：

1. 加强领导。工业废渣从排出到使用，涉及的面较广，不是一个部门所能统管起来的。目前，因各部门之间缺少统一规划和协调，有些项目基本空白，有些项目又有重复，都停留在一个水平上，难于深入下去。因此，对工业废渣的利用必须打破行业界限，统一规划，全面安排。要分别不同情况，采取不同方式加以利用：有的可以分散利用，由出渣单位就地消化；有的需要组织专业工厂，集中利用；有的需要几个部门共同配合，从多方面加以利用；特别集中而又量大的渣源，还需要组织地区协作，靠近渣源建设地方建筑材料生产基地，在合理运输半径内供应邻近地区的需要。电厂、钢铁基地等出渣单位建设新厂时，要事先考虑综合利用项目的安排，做到与主体项目同时设计、同时建设、同时投产。对于现有厂矿的废渣，应根据建材工业发展的需要，尽量设法使用。

2. 提高认识。要大力宣传工业废渣“弃之是害，用之为宝”的道理。应加强科学普及工作，转变“吃废渣”、“用废料”，“产品质量不保证”的习惯认识。要广泛开展国内外的学术活动和情报交流工作，积极推动这项工作的开展。

3. 搞好科研。综合利用工业废渣还有许多技术上的未知领域有待深入探索。例如：废渣性能的掌握，废渣的均化处理，有用矿物的富集，有害杂质的排除，有效组份的发挥，生成矿相的控制，以及水化反应的机理，热工参数的选择等，都需要根据工业废渣的特点，开展基础理论研究和应用技术研究，为扩大利用工业废渣奠定科学基础。同时，工业废渣与传统的天然矿物比较，有许多不同的特点，沿用习惯的生产工艺和设备、参数，难于取得最佳的技术经济效益，因此废渣的粉碎、磨细、煅烧、养护设备的选型，以及成型方法、养护制度和外加剂的效果等，都需要深入开展科学实验，以便为推广利用工业废渣创造技术条件。

4. 适当安排投资，加强专用设备的研究和制造工作。目前，利用工业废渣生产建筑材料的投资和设备不足。综合利用工业废渣是具有长远意义的重大问题，要下决心、下大力量抓好，因此在投资上要适当安排。为了适应工业废渣综合利用工作的开展，要搞好专用设备的研究和制造工作。这样，才能为综合利用工作的开展创造必要的条件。

(石景星编写)

二、利用粉煤灰生产建筑材料

我国以火力发电为主。火力发电中又以煤炭为主要燃料。在以煤炭为发电燃料时，先将煤炭磨细成一定细度的煤粉，然后喷入锅炉内燃烧。煤粉燃烧后产生煤灰渣从烟囱排出，这些烟囱灰称烟灰或粉煤灰(在国外称为飞灰)。为了减少空气污染程度，电厂采用各种方式搜集这些粉煤灰，并用水将它们冲入江、河、湖、海，或山沟、农田等。但这种排放方式严重污染水域，堵塞河床，影响生物生长，侵占农田。也有一些电厂采用干排方式。随着电力工业的发达，粉煤灰排出量日益增加，所以粉煤灰造成的污染也日益严重。因此，对于粉煤灰的利用越发受到人们的重视。

粉煤灰的化学成分主要是二氧化硅、三氧化二铝、氧化铁、氧化钙和未燃烧的煤。国内外各电厂的粉煤灰的化学成分基本相近,其平均数值为: SiO_2 , 40~58%; Al_2O_3 , 21~29%; Fe_2O_3 , 4~18%; CaO , 4~7%; 烧失量, 4~10%。在光学显微镜下可以看到,粉煤灰是由结晶体、玻璃体以及少量有机质—未燃炭等组成。结晶体中,有石英、莫来石;玻璃体中,有球形的玻璃体粒子和相互粘连的组合粒子。从粉煤灰的化学成分、矿物组成以及形态看,粉煤灰是含硅铝为主的烧粘土质人工火山灰材料,是一种很好的生产建筑材料的原料。

目前,我国发电能力为3000万千瓦,每年排灰3000万吨。一般讲,发一万千瓦电,即排出一万吨粉煤灰。电厂单位发电能力的排灰量和煤质、锅炉燃烧条件及管理水平有关。当采用劣质煤时,排灰量将大大增加。随着我国电力工业的发展,排灰量将急速增长。目前,我国粉煤灰的利用率很低。1977年利用粉煤灰300万吨,只占总排灰量的10%左右。粉煤灰的利用成为我国当前迫切需要解决的问题之一。

我国五十年代后期就开始了粉煤灰综合利用的研究工作。早在1958年,就在水泥中掺入部分粉煤灰,用于三门峡、刘家峡等工程中。1960年,利用粉煤灰生产蒸养粉煤灰大、中型砌块,并开始建设上海硅酸盐砌块厂。后来,相继研究利用粉煤灰制造蒸养或蒸压粉煤灰砖,烧制粉煤灰陶粒等。现将我国粉煤灰在建筑材料工业中的应用概况,介绍如下。

(一) 生产水泥和作混凝土掺合料

1. 生产水泥

粉煤灰的化学成分和性能都适合于生产水泥,利用粉煤灰生产水泥主要有三种方式:

(1) 做水泥原料

从化学成分上来看,粉煤灰有形成熟料矿物所需要的组分,它可以代替粘土或部分石灰石作为生产水泥的原料。水泥工业采用粉煤灰还有另一个好处,即可利用其中的炭。如果粉煤灰中含有10%的未燃炭,每采用一百万吨粉煤灰,相当于节约十万吨燃料。另外,粉煤灰在锅炉中已预先进行了热处理,所以在进入窑后,在预热带不消耗大量热能就会很快生成液相,从而加速熟料矿物的形成过程,可以增加窑的产量。

(2) 做水泥混合材

用粉煤灰做水泥混合材时,粉煤灰掺入水泥的方式有两种:一是将粉煤灰预先磨细,然后再与波特兰水泥混合;二是将粉煤灰和水泥熟料一起加入磨机中共同磨细。从水泥均匀性、水泥性能、设备投资和成本等方面考虑,以采用一种掺入方式为宜。在混合磨细中,有三种加料方式:第一种:将熟料、石膏、粉煤灰一道加入,共同粉磨;第二种:将粉煤灰从磨机的细磨仓中喂入;第三种:在二级粉磨系统中喂入细磨的磨机中。许多研究表明,第三种方式较好。

(3) 生产特种水泥

对于有些化学组成比较特殊的粉煤灰(例如氧化钙含量比较高的粉煤灰),掺入水泥熟料共同磨细,可以生产性能类似矿渣硅酸盐水泥的500号水泥。

我国在利用粉煤灰制造水泥方面的时间不长,这项工作在七十年代初才开始,并逐步受到了人们的重视,不少单位开展了大量的研究和试制工作。上海水泥厂、永登水泥厂、北京高井烟灰制品厂先后研制成功并试生产了粉煤灰水泥,并已正式列入国家水泥品种系列。另

外，安徽淮南发电厂在综合利用粉煤灰的工作中，还研究了利用粉煤灰生产低温合成水泥，以简化利用粉煤灰的工艺，开辟粉煤灰利用新途径。在研究中还加25%的石灰和2%晶种在球磨机中磨细，然后与75%的湿粉煤灰混合搅拌，轮碾，成型，蒸养，再送入隧道窑低温煅烧。烧成的熟料加入5~8%二水石膏，在球磨机中磨细至4900孔/厘米²筛筛余小于15%，即成为低温合成水泥。这种水泥抗压强度可达400公斤/厘米²，抗拉强度与普通500号水泥相同，其凝结较快，安定性合格。

2. 作混凝土掺合料

粉煤灰是高度分散的硅铝玻璃体的球型颗粒，具有润滑减水作用和火山灰效应，经过磨细可以作为很好的混凝土掺合料。混凝土中掺加粉煤灰后，可以改善流动度，提高抗压强度、抗拉强度和抗折强度，降低水泥水化热，提高硬化后期的不透水性和耐久性，减少收缩，提高抗裂性，还可节约水泥。同时，有利于预拌混凝土、泵送混凝土、压力灌浆混凝土的施工，特别适合于地下工程施工。

我国在1958年就开始使用粉煤灰作混凝土的掺合料，但后来由于重视不够，研究工作不深入，进展缓慢。近几年来，才重新受到重视。1976年，北京市建筑材料研究所、石景山电厂和电力建设研究所等单位共同协作，对北京高井电站粉煤灰性能和在混凝土中的应用进行研究，并于1977年在高井烟灰制品厂内建成年产10万吨磨细粉煤灰车间，供应商品磨细粉煤灰作为混凝土掺合料，在混凝土工程中推广使用。同时，还出口以满足国际市场对于粉煤灰的需要。目前，已经试用于地下铁道混凝土工程和其它基本建设工程。我国出口的粉煤灰已用于香港地下铁道工程和东南亚港口工程。由于北京市磨细粉煤灰用作混凝土掺合料研究成功，为我国大量、有效地利用粉煤灰开辟了一个良好的途径，并引起了各有关部门和单位的重视，正在各地各部门加以推广。

北京市建筑材料研究所、北京石景山电厂、水电部电力建筑研究所、基建工程兵北京指挥部的研究成果指出，水泥砂浆中掺入磨细粉煤灰，得到缓凝减水的混合物。只要掺量适当，可以降低水泥早期强度，改善水泥的性能。在水泥厂生产水泥时掺加10%粉煤灰，使水泥标号不变，并提高磨机效率，增加水泥产量。此外，根据各种混凝土工程的要求，可以掺加不同数量的粉煤灰：对于地下铁道混凝土工程的加强层，可掺加20~30%；对于结构层，掺加2%。混凝土中掺加磨细粉煤灰，改善了混凝土和易性，在保持坍落度不变时，降低了用水量，而且振动时容易出浆，降低了水化热。掺加30%粉煤灰时，3天水化热减小22%，7天水化热减小13%，干燥收缩也相应降低。当掺加40%粉煤灰时，180天收缩值为0.03535%，如果不加粉煤灰则达0.04947%。同时，抗渗性能、耐久性能都相应有所提高和改善。

在我国，利用粉煤灰生产水泥和混凝土掺合料仅仅是开始，还要继续加强科学研究工作，并大力推广应用。

(二) 生产蒸养粉煤灰砌块

1958年我国利用粉煤灰和煤渣等工业废料研制成功粉煤灰密实砌块。1963年经过全国技术鉴定，进一步得到了发展和推广，并陆续建成了一批粉煤灰砌块厂，其中有，上海硅酸盐制品厂、济南硅酸盐砌块厂、青岛砌块厂、常州硅酸盐厂、山西硅酸盐厂、广州市建材一厂、福建省建一公司预制厂等。品种除密实砌块外，还发展了多排孔砌块。生产方式除平模振动

成型带模养护外，又发展了成型机脱模成型不带模干热养护。砌块的规格，各不相同，大的为 $1185 \times 385 \times 200$ 毫米，小的有 $185 \times 385 \times 200$ 毫米。

粉煤灰砌块的生产方法比较简单，所需机械设备也不复杂。它是将经过磨细的石灰、石膏、破碎的煤渣和经过脱水的湿粉煤灰，按照石灰为10~12%、石膏2%、粉煤灰为31~33%、煤渣55%的比例进行计量，并加入33~35%的水，投入强制式或鼓筒自由落体式搅拌机中搅拌；然后注入模型内加以振动捣实；再移入普通蒸汽养护池养护。其力学性能列于表1。从表1看出，砌块的自然容重低于粘土砖。但各厂生产水平不同，其制品的抗压强度不一样，相应的力学性能也不同。各厂砌块的抗压强度列于表2。其中只有上海硅酸盐制品厂十多年来砌块标号一直稳定在100号以上；砌块的导热系数为0.4~0.5千卡/米·小时，略低于粘土砖；在室内自然条件下长期存放，收缩值在0.7毫米/米，高于普通混凝土；人工碳化系数一般为0.6左右。

粉煤灰砌块的力学性能

表 1

项 目	单 位	指 标		备 注
		以煤渣为骨料	以砂、石为骨料	
容 重	公斤/米 ³	1300~1550 1500~1750	1900 2100	干燥状态 蒸养后一天
抗压强度(R)	公斤/厘米 ²	100~200	100~200	劈裂法
棱柱体强度	公斤/厘米 ²	0.8~0.95R	0.64R	
抗折强度	公斤/厘米 ²	0.167~0.25R	—	
抗拉强度	公斤/厘米 ²	0.063~0.1R	0.091R	
抗剪强度	公斤/厘米 ²	0.12~0.17R	—	
弹特模量	公斤/厘米 ²	$1.0 \times 10^5 \sim 1.2 \times 10^5$	1.97×10^5	

几个厂的粉煤灰砌块的抗压强度

表 2

生 产 厂 名	生 产 日 期	平均抗压强度 (公斤/厘米 ²)	最高抗压强度 (公斤/厘米 ²)	最低抗压强度 (公斤/厘米 ²)	低于75号的试件 (%)
上海硅酸盐制品厂	1974年1~5月	157	196	124	0
福建省一建公司预制厂	1974年	115	162	63	2.92
常州硅酸盐厂	1973~1974年	147	215	100	0
广州市建材一厂	1974年	135	201	53	0.053
济南硅酸盐砌块厂	1973年3~5月	131	166	97	0
青岛砌块厂	1972~1974年	124	194	63	4

目前，粉煤灰砌块已被大量用于居住建筑。以上海为例，上海已有70%的新建住宅建筑采用了粉煤灰砌块。至1979年，已用此种砌块建造了五百多万平方米五至六层住宅建筑。

一个年产10万立方米的中等规模的粉煤灰砌块厂，一年可以利用粉煤灰、煤渣等十五万吨以上，其中粉煤灰为4.8万吨。十多年来，上海已利用废渣二百万吨以上。这样，既减少了污染，又保护了环境。另外，生产10万立方米砌块相当于七千万块粘土砖，每年可以节约制砖用地七十多亩。不仅如或，还可以节约大量堆灰用地（通常情况下，每二千吨粉煤灰占地一亩左右）。

(三) 生产蒸养或蒸压粉煤灰砖

利用粉煤灰生产蒸汽养护粉煤灰砖或蒸养粉煤灰砌块，在国外比较少。蒸养粉煤灰砖在我国是1958年研制成功并逐步发展起来的，至今已有二十年历史。1961年首先在北京市水泥瓦厂建立了试验车间，1963年建立了北京云岗烟灰砖厂和武汉第五砖厂。现在，全国十多个省市已建和正在建设的粉煤灰砖厂（或车间）共有60多个，其中年产1000万块砖以上的厂（或车间）有33个。这些厂全部建成后，将形成年产16亿块粉煤灰砖的生产能力，每年可利用废渣200多万吨，其中利用粉煤灰120~140万吨。按生产100万块砖大约节省一百亩地计算，一年可省地16万亩。目前，这些厂中生产比较正常，并已达到或超过设计能力的有九个，其中产量最高的为北京高井烟灰制品厂，其1979年年产量将达7700万块。成品合格率以及一级品率最高为北京炉渣砖厂。云岗砖厂的劳动效率最高达到19.3万块/年·人。江苏吴县粉煤灰砖厂成本及电耗最低，只有22.9元/万块。成本在30元以下的有三个厂，耗电107度/万块。砖的标号达到150号以上的仅有二个厂，100号以上的有十五个厂。

粉煤灰砖主要采用粉煤灰和石灰，另外掺加部分粗骨料煤渣以及少量石膏。粉煤灰砖生产过程一般包括原材料处理、搅拌、消化、轮碾、成型、养护和成品堆放等工序。粉煤灰砖的原料处理包括湿排粉煤灰筛分、脱水；煤渣磁选、破碎；生石灰、石膏破碎磨细等。经过加工处理的原料按表8的配方进行计量配料，加入双轴搅拌机加水搅拌，搅拌后的混合料送入消化仓消化，再经过轮碾，由压砖机加压成型，人工码坯，最后送进普通蒸汽养护室养护，养护后便成成品。

粉 煤 砖 原 料 配 比

表 3

产 品 名 称	原 材 料 配 合 比 (%)				混合料中有 效CaO含量 (%)	成 型 水 分 (%)	备 注
	粉 煤 灰	煤 渣	石 灰				
			生 石 灰	电 石 渣			
常压粉煤灰砖	60~70	13~25	13~15	15~20	9~11	19~27	16孔圆盘压砖机
常压粉煤灰砖	55~65	13~28			9~12	19~27	
蒸压粉煤灰砖	65~75	13~20	12~15		8~11	19~23	

粉煤灰砖的主要原材料是粉煤灰。由于粉煤灰颗粒细，并呈多孔状，颗粒尺寸相近，容重轻，级配不好，在这种情况下使混合料中空气含量高。因此，在压砖机上加压成型时，由于混合料中空气弹性膨胀，使砖坯在加压后容易产生层裂，直接影响砖的物理—力学性能，特别是其抗冻性能差。为了避免层裂，必须降低压力机极限成型压力。但是，降低极限成型压力后，砖坯密实度减小，容重降低，又影响了砖的一系列物理—力学性能指标。为了解决这一问题，必须在配料中加入一定数量的粗骨料（如煤渣、矿渣、碎石屑等），以调整、改善混合料级配，保证砖机极限成型压力。

在粉煤灰的生产工艺过程中，混合料的消化、轮碾和加压成型，是三个重要的关键工序。现分述如下：

1. 消化

在采用生石灰配料时，需要在砖坯成型时，使配料中的石灰消化完全，以免在蒸制时由

于生石灰的继续消化引起体积膨胀，使砖炸裂。当采用电石渣或消石灰配料时，虽不需消化，但搅拌后的混合料需经一段时间堆放，以提高其塑性，有利于成型和改善制品性能。混合料经过一定时间的消化处理或陈化处理，可以使氢氧化钙溶液有足够的时间分布到粉煤灰及骨料表面，并渗透到多孔颗粒的内部，使二者充分接触，加快水化合成反应。

2. 轮碾

轮碾是粉煤灰砖生产过程中不同于其它制品生产的独特的一道工序。轮碾使混合料压实、活化和搅拌更加均匀，这对改善和提高砖的成型性能和物理—力学性能有着极为重要的作用。等压实作用而言，经过轮碾的混料松散容重一般比未经轮碾的混合料提高30~60%，成型后砖的容重提高10~25%。

轮碾机按其作业方式，可分为连续式和间隙式两种轮碾机；按其传动方式，可分为轮转式和盘转式两种；按其材质，可分为铁碾和石碾两种。

3. 压力成型

粉煤灰砖的成型加压方式，一般有一次加压，两次加压或多次加压；单面加压，双面加压。我国目前用来生产粉煤灰砖的成型机有夹板锤成型机、杠杆式压砖机（有YZ280-4型、YZ425-4型、YZ425-6型等型号）和盘式压砖机（8孔PZ60-8、PZ60-8A、BK-60-8型和16孔PZ120-16、YZ120-16型）三种型式。

到1979年止，我国粉煤灰砖的年产量已达5.2亿块。这些砖的应用已有十几年历史，并已积累了部分使用经验。在长江以南的武汉、株州、苏州等城市，粉煤灰砖已广泛地用于住宅、厂房、医院、学校、办公楼等工程的内外墙体。在某些人防工程、建筑物基础等部分也有使用。粉煤灰砖的抗压强度目前一般在75~100公斤/厘米²之间，与普通粘土砖基本相同。但由于粉煤灰含有未燃炭和在成型中形成层裂，其抗冻性能比粘土砖差，干燥收缩值大（见表4）。因而，粉煤灰砖的使用范围受到了一定的限制，特别是在寒冷的北方地区，容易被冻融破坏，其推广使用不如南方。所以，在粉煤灰砖的生产和应用方面还要进一步加强研究试验工作，努力提高其物理—力学性能。

几个厂的粉煤灰砖收缩情况 表 4

生 产 厂	养 护 方 式	干 燥 收 缩	碳 化 收 缩	自 然 收 缩
武汉市第五砖瓦厂	蒸压养护	0.88~1.10	2.20~2.31	0.59
北京市烟灰制品厂	常压养护	1.76~1.87	2.24	0.64~0.90
黄石市粉煤灰砖厂	常压养护	2.07	1.52	2.27

注：自然收缩值中，黄石和武汉二厂是18个月数据；北京厂是8个月数据。

(四) 生产烧结粉煤灰砖

烧结粉煤灰砖是以粉煤灰、粘土及其它工业废渣为原料，经过成型、干燥、焙烧而成的一种砖。粉煤灰在粉煤燃烧时失去化学结合水，且颗粒较粘土粗，多孔，可塑性极低。为了生产烧结粉煤灰砖，必须在粉煤灰中掺加粘合剂。一般采用粘土做粘合剂，把粉煤灰粘结在一起，以便成型。粘合剂的掺加量取决于粘合剂本身的塑性。以粘土为例，当所用的粘土的塑性指数大于15时，可掺入60%的粉煤灰；当粘土的塑性指数为8-15时，可掺入30~50%

粉煤灰。塑性指数小于7的粘土，不宜掺入粉煤灰。为了大量掺入粉煤灰，必须设法提高粘土的可塑性，故使用前可使粘土经过风化、冻融、困料或机械处理，以增加粘土可塑性，并能使混合料均匀一致。

烧结粉煤灰砖的生产工艺过程以及生产设备，与生产粘土砖的工艺设备基本相近。

我国于1964年研制成功并在吉林市砖瓦厂成批试生产烧结粉煤灰砖，1965年正式投产。随后，上海、天津、江西、黑龙江、辽宁、吉林等省市相继推广生产粉煤灰烧结砖，仅吉林省的吉林地区1977年的年产量就达到二亿六千万块。

采用粉煤灰生产烧结砖可以大量节省粘土，按掺粉煤灰60%计算，生产一亿块砖可少用粘土八万多立方米，少占地四十亩。由于粉煤灰中含有一定数量的未燃炭，如采用粉煤灰内然烧结砖工艺，可基本上不用煤。按一亿块砖计算可省标准煤炭5000吨。烧结粉煤灰砖干燥、焙烧周期比粘土砖短，人工干燥周期为8~10小时，是粘土砖的二分之一左右。同时，砖的损失率低，生产效率高，生产成本比人工干燥粘土砖低10~15%。烧结粉煤灰砖的平均重量为2.0公斤(每块砖比粘土砖轻0.5公斤)，容重为1300~1400公斤/米³，导热系数为0.37~0.5大卡/米·时·度，远远小于粘土砖。这就减少了运输重量，提高了运输效率，减轻了整个建筑物重量。

近几年来，除了做普通实心砖以外，还研制生产了大块空心砖、普通空心砖、拱壳砖和挤出瓦等。这些产品在工业厂房、烟囱、水塔、住宅、剧院等建筑中使用，效果良好。

(五) 生产加气混凝土

用粉煤灰作为加气混凝土的原材料，是利用粉煤灰的又一有效途径。

我国于1956年就开始着手研究利用粉煤灰制造泡沫和加气混凝土，并建了几个试点工程，1965年由原建工部建筑科学研究院建材室和北京市建筑设计院、北京市建材研究所共同协作在北京矽酸盐制品厂开展了粉煤灰加气混凝土中间试验，并在几幢试验性建筑中使用，效果良好，1972年来各地重新重视利用粉煤灰做加气混凝土的试验研究工作，并取得了相应的成果，1975年建材工业部决定在全国范围内大力发展加气混凝土生产，相继投资建设近三十个加气混凝土厂，在这些加气混凝土厂中将近有三分之二以上的工厂均采用电厂粉煤灰作为生产加气混凝土的原材料，这些工厂的规模，大的年产二十万立方米，小的年产五万立方米！目前，已经开始生产的有天津硅酸盐制品厂、哈尔滨硅酸盐制品厂、上海硅酸盐制品厂、武汉第五砖瓦厂、石家庄硅酸盐厂、上海扬浦煤渣砖厂、沈阳建材厂等；正在建设的有唐山加气混凝土厂、兰州省建二公司预制厂、乌鲁木齐加气混凝土厂、太原加气混凝土厂、齐齐哈尔加气混凝土厂、杭州加气混凝土厂、北京市烟灰制品厂等。这些工厂建成后，将形成年产近200万立方米的粉煤灰加气混凝土生产能力，按目前的配方生产容重为500~700公斤/米³加气混凝土计算，每年可利用70~100万吨粉煤灰。

现在国外各个使用粉煤灰的加气混凝土厂一般都采用下列配方：

水泥.....	15%
石灰.....	15%
粉煤灰.....	70%
石膏(外掺).....	3%
铝粉(外掺).....	6~7

使用粉煤灰生产加气混凝土一般希望采用干排灰，这对原材料运输贮存都比较有利，而且配料调节比较方便。但是国内电厂大多数都采用湿排，这样在生产中就要增加粉煤灰脱水设备，由于粉煤灰从电厂排出时水与灰比太大，一般达三十分之一，湿排灰到加气厂后一次脱水仍达不到使用要求，常常要二次脱水，故增加了工艺上的复杂性。

利用粉煤灰生产加气混凝土一般要经过粉煤灰脱水，生石灰、石膏磨细，铝粉脱脂，配料，搅拌浇注，静停切割，蒸压养护和成品加工等工序。

在加气混凝土的生产过程中，配方的选择、浇注料浆在发气膨胀过程中的稳定性能，对整个生产过程好坏有极大影响。而料浆浇注稳定性的好坏，取决于所用生石灰的性能。采用水泥—石灰配料时，要求石灰有效氧化钙含量在70%以上。石灰应该是在较高温度上烧成的硬烧（又称过烧）中速石灰，石灰的消解时间要求在10分钟以上，否则在浇注过程中料浆容易冒泡、收缩、下沉，严重者“沸腾”塌模，或者坯体产生水平层裂，降低制品性能，增加生产成本。

目前我国各厂生产的粉煤灰加气混凝土，有容重500公斤/米³、700公斤/米³二种。产品有砌块、屋面板、内外墙板等。产品规格比较灵活，能满足建筑工程的多种要求。板材最长可达600厘米，用作工业房屋屋面及外墙板。板材宽度为60厘米，厚度从7.5厘米按2.5厘米模数递增，可生产10、12.5、15、17.5、20厘米等规格。砌块长度为60厘米，宽25厘米，厚度可与板材厚度一样变化。粉煤灰加气混凝土的性能见表5。

粉煤灰加气混凝土的性能

表 5

容 重	500公斤/米 ³
抗压强度(气干含水6%)	44公斤/厘米 ²
抗折强度	13公斤/厘米 ²
抗拉强度	4公斤/厘米 ²
剪切强度	12公斤/厘米 ²
弹性模量	1.5×10^4 公斤/厘米 ²
干燥收缩	0.63毫米/米
导热系数	0.1037大卡/米·时°C

、从这些性能看，其收缩值偏高，超过了规定的小于0.5毫米/米的要求。

(六) 生产粉煤灰陶粒

粉煤灰陶粒是以粉煤灰作主要原料，掺加少量粘结剂（如粘土）和固体燃料（如煤粉），经混合、成球、高温焙烧（1200°C~1300°C）而制得的人造轻骨料。它可以用来配制各种标号和用途的轻质混凝土，还可根据需要配制不同标号的无砂大孔陶粒混凝土、素混凝土、钢筋陶粒混凝土和预应力陶粒混凝土。可用预制或现浇、滑升等方法建造工业与民用建筑的围护、承重结构的构件、桥梁、水泥船等，用途广泛。

粉煤灰陶粒一般是圆球形，表面粗糙而坚硬，呈淡灰黄色，内部有细微气孔，呈灰黑色，其容重轻、强度高、导热系数低、耐火度高、化学稳定性好。它的某些方面的性能，能超过天然石料。

每生产一吨粉煤灰陶粒，需用粉煤灰800~850公斤（湿粉煤灰1100~1200公斤）。一个年

粉煤灰陶粒性能指标

表 6

干燥状态下松散容重	650~700公斤/米 ³
容器强度	
压入4厘米	>70公斤/厘米 ²
压入4.5厘米	>80公斤/厘米 ²
压入5厘米	>120公斤/厘米 ²
粒径5~15毫米的陶粒级配	
<5	≤5%
8~12	>65%
12~15	25
>15	≤5%
干燥状态下吸水率	
1小时	16~17%
24小时	20~21%
抗冻性(25次冻融循环后)	抗压强度损失≤25%,重量损失≤5%

产10万吨的粉煤灰陶粒厂, 每年可处理干粉煤灰6万吨左右(湿粉煤灰10万吨左右), 可节约排灰用地60亩。粉煤灰陶粒的容重仅为天然碎石、卵石的一半左右。用它配制200号陶粒混凝土, 可比普通混凝土减轻自重25%; 使用陶粒混凝土的建筑, 其自重可以相应减轻。粉煤灰陶粒性能指标, 见表6。

粉煤灰陶粒的生产, 一般包括原材料处理、配料及混合、生料球制备、焙烧、成品等工艺过程。

生料球制备是生产粉煤灰陶粒的重要一环, 焙烧是生产粉煤灰陶粒的关键。

制备粉煤灰陶粒生料球的设备比较多, 主要有挤压成球机、成球筒、对辊压球机、成球盘等。生料球制备工艺分湿灰成球、半干灰成球和干灰成球三种。粉煤灰含水率为30~35%时, 用湿法成球; 含水率为15~25%时, 用半干灰成球; 含水率小于5%时, 用干灰成球。这三者各有优缺点: 湿灰成球, 粉煤灰处理简单, 工艺和设备简化, 电耗低, 卫生条件好; 但湿粉煤灰下料难, 成球产量低, 用工大, 受气候条件限制, 不宜大规模常年连续生产。干灰成球, 粉煤灰处理比湿灰更简单, 机械化程度高, 生产成本低; 但粗灰处理困难, 粉尘大, 卫生条件差。半干灰成球, 产量大, 生产稳定可靠, 卫生条件较好, 适应大规模连续生产; 但工艺复杂, 电耗大, 生产成本低。

粉煤灰陶粒是生料成球在焙烧过程中产生膨胀而成陶粒的。目前, 不少人在对粉煤灰陶粒的膨胀机理进行探讨。有人认为, 粉煤灰陶粒的膨胀主要取决于原料中 Fe_2O_3 和C含量。从化学反应式计算C/Fe的理论克分子比为0.04。经过实验, 粉煤灰中C/Fe的比例在0.02~0.4都可膨胀。

国内焙烧粉煤灰陶粒的设备主要有焙烧机、回转窑、机械化立窑和普通立窑等。其中烧结机生产陶粒是新技术, 它的生产量大, 产品质量好, 生产控制方便灵活, 对原材料要求不太苛刻; 但设备笨重, 加工复杂, 用钢多, 燃料消耗大, 耗电量大, 而表层陶粒质量也不易控制。

粉煤灰陶粒主要在天津生产, 辽宁、上海等地也有成批生产。这是大有发展前途的一种人造轻骨料, 现已广泛地受到人们的重视。

(陶有生编写)

三、利用煤矸石生产建筑材料

我国煤炭工业生产中，每年排出煤矸石约7000万吨，历年来已积存煤矸石达10亿吨左右。综合利用煤矸石，既可保护环境，又可变废为宝，达到广开能源、节省资源的目的。

综合利用煤矸石数量最多的是建材工业。用煤矸石可以生产砖瓦、水泥、空心砌块、铸石、陶粒、卫生陶瓷等。据不完全统计，1978年全国共利用煤矸石约1200多万吨，其中850万吨用于生产建筑材料。生产的主要建筑材料有砖瓦36.2亿吨、水泥520万吨、石灰200万吨、混凝土空心砌块及其它混凝土制品10万立方米。

(一) 生产水泥

各地煤矸石虽因地质条件不同而矿物组成和化学成份有所差异，但基本上是一致的，都以高岭石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)或多水高岭石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)为主要成份的粘土质矿物。从理论上讲，煤矸石是可以代替粘土或矾土生产水泥的。几年来的生产实践也证明了煤矸石生产水泥在工艺上是可行的。我国水泥工业中利用煤矸石主要有如下三种方式：

1. 代替粘土或矾土原料

煤矸石含 Al_2O_3 量不一，可分为低铝(Al_2O_3 为 $20 \pm 5\%$)、中铝(Al_2O_3 为 $30 \pm 5\%$)、高铝(Al_2O_3 为 $40 \pm 5\%$)三类。第一类可代替粘土生产普通水泥；第二类、第三类可采用高硅质配料生产普通水泥，还可配制特种水泥(如南票的双块、喷射水泥和河南的早强水泥等)。

辽宁铤子水泥厂从1966年开始用煤矸石配料，到1977年底共生产400号水泥116万多吨，利用煤矸石13万吨，节约好煤48000多吨、石膏14000吨、粘土17万多吨、石灰石近10万吨，节约各种原、燃料费189万多元。

安徽省宿县地区水泥厂自1971年5月采用煤矸石配料后，八年来生产了快硬水泥、矿渣水泥计33.5万多吨，利用煤矸石5.5万吨，节约工业用煤0.5万吨，节约农田12.5亩。宿县地区水泥厂利用煤矸石代替粘土配料生产快硬水泥和矿渣水泥的有关情况简介如下：

▲ (1) 原料化学成份见表1-1。

表1-1

名 称	烧 失 量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Σ
煤 矸 石	12.75	57.24	25.14	1.86	0.92	0.53	98.44
石 灰 石	41.68	3.82	0.39	0.35	53.25	0.53	100.02
铁 粉	2.04	18.96	11.24	62.18	1.94	1.89	98.25

煤矸石为淮北烈山矿无烟煤煤矸石，热值为1019大卡/公斤左右。

石灰石为该厂矿山自产，高钙低镁质量较好。

铁粉为硫酸工业的废料。

烧成用煤为淮北烈山无烟煤。

生料的配比和化学成份见表1-2。

表1-2

生料配比(%)			细 度 4900孔筛 筛余(%)	T CaCO_3	化 学 成 份 (%)							饱 和 系 数
石灰石	煤矸石	铁 粉			烧失量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	总合	
80.17	14.75	5.08	6.2	77.00	35.80	12.50	3.72	3.80	42.92	0.86	99.60	1.01

(2) 生产工艺

①煤矸石的贮存和均化。煤矸石运到堆场平铺分层逐步堆高贮存,使用时沿边贴地平取,煤矸石的贮量越多,均化效果愈好,本厂贮量一般为500~1000吨。

②粉磨生料。煤矸石、石灰石经破碎与铁粉配料混合,加入3%的助磨煤,用 $\varnothing 1.83 \times 6.1$ 米两仓磨粉磨。

③成球。中料每100公斤生料配煤5-6斤,边料配10-11斤煤(包括助磨煤),煤粉粒度在3毫米以下。

④浅暗火差热煅烧。湿料层厚度控制在30~40公分,烧成带最高温度为1400—1450℃。

⑤磨制水泥。熟料出窑后,人工分离大块,并与碎粒分别贮存。大块熟料破碎时加5%的石膏,用 $\varnothing 1.83 \times 6.1$ 米二仓磨粉磨,4900孔筛筛余在5%以下,磨出快硬水泥。将碎粒熟料或出窑的混合熟料掺30~40%的矿渣和4%的石膏,用 $\varnothing 1.83 \times 6.1$ 米磨粉磨即成400号矿渣水泥。

(3) 水泥物理性能

快硬水泥及矿渣水泥的物理性能如表1-3。

表1-3

名 称	细 度 4900孔筛 筛余(%)	稠 度 (%)	凝结时间(时:分)		安定性	抗拉强度(公斤/厘米 ²)			抗压强度(公斤/厘米 ²)			三 氧 化 硫
			初 凝	终 凝		8 天	7天	28 天	3 天	7天	28 天	
快硬水泥	<5	22.75	1:14	2:16	合格	28.1 (1天24.9)	28.9	32.5	476 (1天313)	581	721	2.66
矿渣水泥	6.8	26.00	2:44	4:01	合格	未测	19.4	28.5	未 测	273	431	2.00

上述情况使我们看到:

①利用煤矸石配料,用普通立窑能够生产出快硬水泥,3天强度可达400号,硬化速度比普通水泥快10倍。

②矿渣水泥的早期强度和同标号普通水泥相近,大大改善了矿渣水泥早期强度低的缺陷。

③用煤矸石代替粘土配料,节省了大量粘土。同时,节煤可多达15%。

④生料成球性略差,加水量需适当放大。

2. 生产无熟料水泥

自燃煤矸石或经1000℃左右煅烧过的煤矸石是一种活性混合材,它与石膏、石灰以适当

配比混合可磨制无熟料水泥。煤矸石无熟料水泥生产工艺简单，在我国已有较广泛的生产，成本较低。

江西萍乡高坑煤矿建材厂早在1970年就建成生产能力为1.5万吨的煤矸石无熟料水泥生产线；湖南省株洲市石料厂于1975年开始利用煤矸石砖的废渣生产煤矸石无熟料水泥；山东淄博、枣庄从1975年开始以煅烧煤矸石生产无熟料水泥；东北阜新、南票、宁夏回族自治区、北京等地，都有煤矸石无熟料水泥的生产和使用。

下面简单介绍焦作市硅酸盐制品厂无熟料水泥的生产工艺：

(1)原材料及配合比。以人工煅烧煤矸石或自燃煤矸石为主要原料，掺少量石灰，石膏磨制成无熟料水泥，其原料化学成份见表1-5。

煤矸石的烧结温度对胶结料活性影响较大，见表1-4。

表1-4

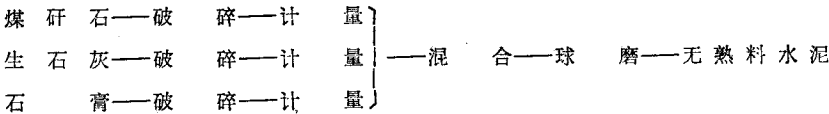
编 号	煤矸石煅烧温度 (°C)	胶结料配合比 矸石:石灰:石膏	水 料 比	容 重 (克/厘米³)	强 度 (公斤/厘米²)	备 注
T-1	700	70 : 25 : 5	0.305	1.960	322.7	2×2×20Cm
T-2	900	70 : 25 : 5	0.300	1.938	421.0	净浆试块
T-3	1000	70 : 25 : 5	0.280	1.921	595.0	净浆试块
T-4	1050	70 : 25 : 5	0.280	1.935	633.4	净浆试块
T-5	1100	70 : 25 : 5	0.265	1.932	731.5	净浆试块
T-6	1200	70 : 25 : 5	0.265	1.917	691.7	净浆试块

表1-5

原 料 名 称	烧 失 量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
自燃煤矸石	2.68	62.90	23.28	6.00	2.31	0.80	
煅烧煤矸石	0.89	61.16	21.22	9.91	2.01	1.52	
石 灰	不溶物 1.34		1.18	0.55	83.84	6.57	
石 膏	总晶水 19.67		0.20	0.13	33.50	0.89	42.74

生石灰消化温度为67℃，消化时间为17分39秒，石灰掺量在15~25%范围内较适宜。石膏掺量以5%左右为宜。

(2)生产工艺。工艺流程图如下：



粉磨细度控制在4900孔筛筛余小于10%。储存期应控制在一个月以内。

3. 作水泥混合材

唐山四二二水泥厂、陕西耀县水泥厂、河南洛阳水泥厂以及贵州安顺地区等小水泥厂，在利用煤矸石作水泥混合材方面做了不少工作，积累了许多经验。他们认为：

①煤矸石的石灰胶砂强度大大超过《技术条件103-56用于胶凝材料中火山灰质混合材》的