

固体废物—— 水泥工业的原燃材料

施德祥

(合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051)

“固体废物”的定义为“在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质, 以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。”如工业固体废物、生活垃圾、危险废弃物等。2006年全国工业固体废物产生量 151 541 万吨。上述废弃物的随意抛弃, 不仅浪费了资源, 还严重污染环境, 如何利用和处理固体废物是当今环境保护的重大课题。

水泥是国民经济建设的主要建筑材料, 其对资源和能源的消耗量很大, 如何提升水泥工业资源利用效率、寻找替代燃料和原料一直为水泥工作者探讨和实践。

以下介绍水泥工业利用和处理固体废弃物的成就, 期望在建设资源节约型、环境友好型社会的进程中, 水泥工业起到更大的作用。

水泥工业对资源的综合利用

水泥工业对资源的综合利用主要表现在利用低品位原燃料和工业废弃物及工业废渣方面。

矿石和煤炭是天然的不能再生的资源, 若低品位矿山和剥离出的矿石及选矿后的尾矿得不到利用, 是对天然资源的极大浪费。水泥工业能有效地利用冶金工业不能利用的低品位原燃料, 对石灰石中 CaO 含量的要求低于炼铁等行业对石灰石 CaO 含量的要求。对 CaO 含量低于 45% 的石灰石, 水泥工业也给予了充分重视。近年来随着水泥生产线的大型化和预均化, 生料均化技术的发展, 低品位石灰石也得到了合理的利用, 从而延长了石灰石矿山的使用年限。

页岩、砂岩是代替水泥生产所用黏土的原料, 从而节省大量的能用于农作物生长的土地。对于石灰石矿山剥离的覆盖土, 水泥厂根据其化学成分, 合理搭配后加以利用。如海螺集团的部分水泥厂对石灰石矿山全部利用, 不仅降低了矿山的剥离比, 而且节省了黏土资源。

劣质燃料的利用是水泥工业合理利用资源, 在循环经济中发挥作用的又一亮点。近几年我国重点水泥企业实际应用资料表明, 回转窑用煤低位热值 $> 21\ 736\text{kJ/kg}$ 即可, 其要求低于冶金和化工行业, 而且烧含硫较高的煤时, 其排出的 SO_2 远低于其它的燃煤行业。最近在水泥工业上开发的多通道燃烧器, 对于低位热值 $< 20\ 000\text{kJ/kg}$ 的煤也能用于水泥生产。通过煤的均化能把热值更低的煤与优质煤搭配使用。水泥生产中的烘干设备利用沸腾炉则能使用有一定发热量的煤矸石。

炼铁的高炉矿渣是最早被水泥工业用作混合材的废渣之一, 它的利用不仅使其本身变废为宝, 而且对水泥的安定性等品质起到明显的改进作用。现在高炉矿渣再也不是废弃物, 而是身价高昂的商品, 磨细矿渣粉单价超过了水泥。粉煤灰的利用是水泥工业继利用矿渣之后又一个取得显著成效的变废为宝的实绩。国家制定了《用于水泥混凝土中粉煤灰》的质量标准和《粉煤灰硅酸盐水泥》的产品标准。目前进行的大掺量粉煤灰水泥的研究, 将进一步提高粉煤灰在水泥中的掺加比例和相应的水泥性能。届时, 粉煤灰将和矿渣一样, 摘去“废弃物”的帽子, 成为一种宝贵的资源。目前可用于水泥的工业废渣有数十种, 如铁矿渣、化铁矿渣、钢渣、赤泥、粒化电炉磷渣、增钙流态渣、硫



酸渣、碱渣、矾泥、粉煤灰、煤矸石、沸腾炉渣、液态渣、煤渣、硅灰、废砖瓦、磷石膏、氟石膏、盐田石膏, 环保副产品石膏、电石渣、含钛矿渣、铜渣、硫铁尾矿石、铅锌尾矿石等。

南京市综合利用粉煤灰办公室会同江宁区发改局对南京建通官塘水泥有限公司 2005~2007 年粉煤灰等资源综合利用情况进行了核定, 该厂使用的工业废渣有: 粉煤灰、炉底渣、煤矸石、钢渣、磷石膏、铜尾矿、采石碎屑、污水厂污泥、淤泥、高炉水渣、复合材料, 三年工业废渣利用占生产总投料的比例分别为 85.06%、85.71%、82.85%。

水泥生产利用可燃废弃物的研究开始于 70 年代初期。那时由于能源危机, 燃料价格上涨, 美国、日本、法国等国家研究用可燃废弃物替代燃料用于水泥生产, 以降低水泥生产成本。目前世界上至少有 100 多家水泥厂用可燃废弃物替代燃料。现在法国拉法基公司 (Lafarge) 利用可燃废弃物代替矿物质燃料的替代率达 55% 左右; 瑞士豪瑞 (HOLCIM) 在比利时的湿法水泥厂中替代率达 80%, 使该厂的燃料成本降为 -2% 左右; 设在德国的 Lengfurt Cement Plant 2000 年替代率达到 40% 左右, 另一家的立波尔窑生产线替代率达 60%。丹麦史密斯公司 (FLS) 成立了专门把工业副产品和城市废弃物加工成适合水泥工业代替

燃料的加工厂, 2001 年生产 3 万吨替代燃料, 全部供给了史密斯公司阿尔堡水泥厂。根据有关方面对近年欧洲部分水泥厂的调查, 实施二次燃料利用的水泥厂其燃料替代率通常在 20%~40% 之间。目前中欧及北欧的德国、法国、瑞士、比利时、瑞典、奥地利等国家, 其按全国熟料热耗计, 二次燃料的替代率已达到了 30%~40%, 荷兰在 1999 年就达到了 72%。近年来, 这种替代率进一步上升。日本水泥工业对二次燃料的利用也相当活跃, 而且具有面广、量多的特点。美国的水泥工业利用二次燃料的工作也有很大进展。

水泥生产利用废弃物替代燃料的技术难度远大于替代原料, 我国在利用替代燃料生产水泥方面与欧美国家相比存在很大差距。起步晚, 至少要落后 20 年, 替代率微不足道, 在法规和政策等宏观环境方面亟待完善。

水泥工业处理危险废弃物

焚烧是目前国际上最有效的处置危险废弃物方法, 其投资和技术均高于其它处理方法, 我国用水泥窑处理危险废弃物的研究和实践开始于 20 世纪 90 年代, 上海万安企业总公司 1996 年开始该项工作, 曾处理过二十多家企业产生的危险废弃物, 2000 年处理危险废弃物 4 000 吨, 2001 年达到 5 500 吨。燃

烧后产生的废气经上海市环境监测中心测试,完全达到国家标准。燃烧危险废弃物对于产品无不良影响。北京水泥厂从1999年5月开始用水泥回转窑试烧废油墨渣、树脂渣,油漆渣、有机废液,经北京环保中心对废气排放进行监测,排出废气中有害物质及重金属的排放浓度和排放量远远低于允许排放标准。为处理工业危险废弃物,北京水泥厂于2005年8月成立北京金隅红树林环保技术有限责任公司,拥有全国首条专业处置城市工业废弃物示范线,能对《国家危险废物名录》中列出的28类危险废弃物的收集、运输、贮存和处置,如:废酸碱、废化学试剂、废有机溶剂等工业危险废弃物和医药废弃物等。现有职工150余人,工业废弃物处置能力为每年 $8\sim 10$ 万吨,是北京市最大的工业危险废弃物专业处置单位。

对处理工业危险废弃物生产出的水泥熟料和回灰做重金属浸出试验,其浸出量低于地表水二级标准。对熟料的质量分析表明:主要化学成分没有变化,主要有害成分Cl和 Na_2O 的含量低于焚烧前, K_2O 的含量稍高于焚烧前,但在正常范围之内,这说明处理工业危险废弃物对水泥的产品质量无影响。

开发水泥工业利用和处置城市生活垃圾和污泥的功能

城市生活垃圾含有一定的热量,先进国家十分重视通过垃圾焚烧的方式来回收垃圾中热量。垃圾焚烧发电是常见的热量回收方法,它存在吨投资费用和运行费用高,热能利用率,灰渣要另行处理,废气中有害气体含量高,处理系统复杂等缺陷。与垃圾焚烧发电相比,水泥工业处理城市生活垃圾具有明显的优势。

水泥工业处理城市垃圾一般有两种方式。其一是把城市生活垃圾经专用的垃圾焚烧炉焚烧后,再把焚烧灰渣和飞灰作为水泥原料或混合材。其二是把城市生活垃圾作为水泥烧成的燃料。一般认为生活垃圾在水泥窑中焚烧后对水泥窑的运行、产量、产品质量无不良影响,无灰渣处理之忧。笔者认为这两种方法各有优缺点,前者处理量大,对垃圾含水量和热值要求低;后者两套焚烧设备合一,可以省去大量基建投资,垃圾中有害物质在更高的温度下分解得更彻底,重金属离子固熔于熟料之中,焚烧热能的利用率高,但对高水分、低热值的城市生活垃圾应先经过预处理,制

成衍生燃料然后用于煅烧水泥,也需要不少的投资和运行费用,减低了垃圾的利用效益。若把垃圾焚烧炉放进水泥厂中,用冷却熟料的热空气作为垃圾焚烧的燃烧空气,将能克服高水分、低热值的城市生活垃圾的缺陷,对城市生活垃圾的处理效果优于单独专用生活垃圾焚烧炉处理。合肥水泥研究设计院把自行研制的回转垃圾焚烧炉建在四川广旺集团天台水泥厂,不需外加燃料处理原生城市生活垃圾,一次点火成功。深入这方面的研究不仅能实现水泥工业节能,而且将有助于低成本解决垃圾污染问题。

同济大学对城市生活垃圾焚烧灰渣胶凝性和用城市垃圾焚烧灰煅烧水泥熟料进行了研究,胶凝性试验的结论为:城市生活垃圾焚烧灰渣均具有一定的胶凝活性,飞灰中的重金属可通过物理包容和化学固化于水泥水化产物中,大大降低硬化浆体内重金属的渗出。煅烧水泥熟料的结论为:随着垃圾焚烧灰掺量的增大,水泥生料的易烧性得到明显改善,重金属会固溶或置换进入水泥熟料矿物中。北京工业大学在北京水泥厂焚烧固体废弃物的试验也得出废弃物中的重金属对水泥熟料烧成无不良影响。制成的混凝土重金属浸出实验表明在饮用水要求的范围之内。

污泥是指城市污水处理系统的产物。污泥脱水后为褐色或黑色,具有异臭味,低位热值(干基)约为 $14\ 000\text{kJ/kg}$ 左右,无机成分类似于黏土,有机成分与污泥的来源有关。日本用污泥生产生态水泥,我国也进行了类似的试验,得出利用污泥生产的水泥熟料与普通水泥熟料没有本质上的差别,污泥中的有机物可以在高温下分解,污泥中的重金属离子大部分可以结合在熟料晶格中,不会对人体和环境产生危害,也不会对混凝土的性能产生影响。





我国主要城市生活垃圾热值示于表 1。

表1 我国主要城市生活垃圾热值(kJ/kg)

北京	天津	上海	沈阳	大连	深圳	广州	鞍山
6 413	6 413	4 389	5 080	6 420	4 605	4 418	4 400

上述各城市垃圾平均热值为 5 242kJ/kg, 全国每年产生 1.5 亿吨垃圾, 其含有的热量相当于 2 683 万吨标准煤, 接近全国水泥烧成用煤的 30%。由于垃圾的再生性, 其是一宗庞大的能量来源, 开发利用和处置城市生活垃圾及污水厂污泥在循环经济中具有十分重大的意义。

水泥工业是生态工业园建设的重要一环

在生态工业园区建设中, 往往把水泥工业包含进去联产水泥, 消纳其它工业的废弃物或副产品, 比较典型的有以下几种方式。

煤碳、电力、水泥联产 煤矿开采煤炭, 煤炭用于发电和烧水泥, 电厂的电力供给水泥厂使用, 煤矸石、炉渣和粉煤灰可作为生产水泥的原料, 水泥用于煤矿和电厂建设。我国大部分煤矿都以多种经营的方式,

建立了自己的水泥厂。

冶金、水泥联产 主要是钢铁企业和铝厂建水泥厂, 将冶炼渣给水泥厂制作水泥。大型炼铁厂一般都建有水泥厂; 山东铝厂、郑州铝厂等也有自己的水泥厂。

硫酸、磷肥、水泥联产 “硫酸厂 - 磷肥厂 - 水泥厂”生态产业链即把硫酸厂的硫酸用于磷肥厂生产磷肥, 副产品石膏经过加热分解成二氧化硫与生石灰, 生石灰用于水泥厂生产水泥; 而二氧化硫送硫酸厂生产硫酸。既解决了大量石膏堆弃污染问题, 又使硫元素得到循环利用。这种模式深层次地实现了物质循环利用。

油母页岩、炼油或发电、水泥联产 油母页岩作为煤炭生产的剥离物, 如果舍弃, 由于自燃会造成大气污染; 如果利用可用作炼制页岩油和发电的原料和燃料, 炼油、发电产生的废渣可用于生产水泥、制砖等。抚顺矿业集团公司以此思路建设生态工业园区。

许多产业已不是单为生产水泥建水泥厂, 而是为了消化本行业副产品而建水泥厂, 不同行业的联产, 实行零污染排放已在更广泛的范围内进行。□

“水泥节能环保国家工程研究中心”在京论证

本刊讯 记者王艺璇报道 7月11日受国家发改委委托, 中国水泥协会在北京召开“水泥节能环保国家工程研究中心项目”专家论证会。会议由国家发改委产业司副司长刘艳荣、处长阮高峰主持, 中国建筑材料联合会副会长、中国水泥协会副会长徐永模、中国水泥协会副会长兼秘书长孔祥忠、中国建材联合会科技部主任周清浩、中国建材研究总院副院长隋同波、国家建材工业水泥能效环保评价检验检测中心副主任余学飞、北京工业大学材料学院副院长崔素萍、唐山冀东水泥集团副总经理刘臣、天津市发展改革委高技术产业处刘明敏及天津水泥工业设计研究院院长于敏敏等人到会。

与会专家听取申报单位天津院、中天仕名科技集团有限公司的项目申请报告, 经质询讨论, 认为组建“水泥节能环保国家工程研究中心”对于推动我国水泥行业的节能环保, 实施可持续发展非常必要; 对于攻克我国水泥工业发展的共性关键技术难题和加速行业科技创新、成果转化, 引领我国水泥行业科技进步具有重要意义; 申报单位业已具备了建设国家级工程中心的基础条件。专家组一致同意推荐申报单位组建“水泥节能环保国家工程研究中心”。



链接: 水泥节能环保国家工程研究中心

围绕缓解我国水泥工业生产的高能耗、高污染问题, 建立水泥节能环保技术的研发、系统集成和工程化实验平台, 重点开展水泥窑炉和粉磨节能、石灰石矿产资源综合利用、水泥生产工艺系统优化、污染物减排、过程智能化控制等关键技术装备的研发, 推进制定相关技术标准, 加快水泥工业的技术进步。