

加强固废资源利用推动水泥减碳发展

张思思

天津建材工程设计院有限公司 天津 300400

摘要: 固废资源利用是当前推动水泥减碳发展的重要方式之一。固体废物是指生产、生活和环境综合利用过程中产生的各种废弃固体物质,包括煤渣、矿渣、废弃砖瓦、废弃混凝土等。这些固体废物如果得不到有效利用和处理,将会对环境造成严重危害,同时也会浪费大量资源。因此,加强固废资源利用,不仅能够有效减少固废对环境的影响,还可以为水泥行业实现减碳发展提供更多可能性。

关键词: 固废资源利用;水泥减碳;发展措施

1 低碳水泥的定义

低碳水泥是指通过替代硅酸盐水泥的方式减少能耗和碳排放,同时不会对现有体系造成影响并能大规模应用的水泥体系。

自2009年哥本哈根联合国气候变化会议召开以来,中国发布了《全国人大常委会关于积极应对气候变化的决议》(以下简称《决议》)。《决议》中指出,要立足国情发展绿色经济、低碳经济,紧紧抓住当今世界开始重视发展低碳经济的机遇,加快发展高碳能源低碳化利用和低碳产业。2021年,是中国“双碳”发展的元年,2021年10月26日,国务院发布了《2030年前碳达峰行动方案》(以下简称《行动方案》)。《行动方案》中指出,推动建材行业碳达峰,加快推进绿色建材产品认证和应用推广,加强新型胶凝材料、低碳混凝土、木竹建材等低碳建材产品研发应用的重点任务。这是我国首次提出“低碳混凝土”的概念,为建材行业发展提供了新的方向,而想要实现“低碳化”,就必然需要将优质低碳胶凝材料取代水泥制备混凝土,有效减少水泥用量。

“低碳”是指较低(更低)的温室气体(CO_2 为主)排放,除了钢铁和煤电行业外,水泥行业的碳排放量占整个工业制造中碳排放量的比例是最大的。在总碳排放量下,水泥生产所产生的碳排放量约占10%,熟料生产过程中的碳排放量约占水泥碳排放量的92%。因此全世界很多国家积极研究如何在生产水泥的同时减少碳排放量的问题,其中一个解决方案是扩大低碳水泥的影响力,以此替代传统水泥的生产。

2 加强固废资源利用推动水泥减碳发展

2.1 创新固废处置利用模式

我国作为工业大国,在原材料的开采和冶炼等加工过程中会产出大量的固体废弃物,每年新增的尾矿、粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣、炉渣、赤泥和脱硫石膏等大

宗工业固体废弃物等接近40亿t,累计堆存量超过600亿t。固废的长期堆放不仅侵占土地资源,并且易造成扬尘、土壤及地下水污染等环境问题。尽管近年来固废的综合利用水平稳步提升,但目前我国大宗工业固体废弃物的综合利用率仍不到45%,与《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》中提出的到2025年大宗固废综合利用率达到60%,还存在较大差距,尤其赤泥和煤气化渣等,利用率不足10%。目前,大宗工业固废的应用主要涉及以下几类。一是尾矿,二次选矿、制备建材、采空区充填、制作肥料、尾矿复垦等;二是冶金渣,用作水泥复合材、混凝土掺和料、道路材料、回填料、建材制品等;三是煤矸石,用于电力、建材、回填、化工材料等;四是粉煤灰,用于建材、有价金属提取、土壤改良剂和环保产品等;五是工业副产石膏,石膏板、石膏砌块、石膏基砂浆以及高强石膏产品等。可见,大宗工业固废的综合利用途径较为传统单一,无法形成规模化高值产业,潜在的铝硅酸盐资源还未被很好的开发和利用。一是因为大宗工业固废资源价值没有得到应有的重视,大宗工业固废既有污染属性,又有极强的资源替代属性;二是部分关键性技术还未得到有效的突破,如赤泥由于成分复杂、碱性高、水分大等因素导致预处理成本高,缺乏高效低成本处置利用技术;煤气化渣因含水率高、过燃碳和芳烃物质多等问题而始终缺乏大规模利用手段。大宗固废的处置利用模式还需进一步创新和提升,如制备碱激发胶凝材料等固废基低碳胶凝材料。

2.2 将废物转化处理为建筑材料

减碳固碳建筑材料的使用并不能默认其实现碳减排,碳减排取决于企业开发出有效、经济的应用程序,以达到双碳目标。用天然废料替代绝缘体来提高传统泥砖的节能潜力,认为将固体废物应用到泥砖中能够提高

泥砖的结构性能和空调成本节约潜力。多层墙中,稻壳泥砖墙表现出更高的时滞(11.11h)、更低的衰减因子(0.24)、更高的空调成本节约(1.74美元/m²)、更短的投资回收期(1.17年)、更高的年度碳减排量(33.35kg/kW·h)。屋顶中,黏土瓦屋顶表现出较高的时滞(0.73h)、较低的衰减因子(0.989)、较高的空调成本节约(2.58美元/m²)、较短的投资回收期(0.61年)、较高的年度碳减排量(21.73kg/kW·h)。墙壁和屋顶每年的空调成本节约及墙体和屋顶的年度碳减排量,即节省较多空调成本的材料碳减排量也较多,说明碳减排量在环境友好性方面起着重要作用。

2.3 固废基胶凝材料是替代选择

针对目前的水泥生产技术,水泥产业的碳减排路径任重道远,目前的能效提升技术将单位熟料综合能耗降到100kgce/tcl已是接近极限,而目前国内水泥窑燃料替代程度还十分有限,不足2%。原料替代技术受固废原料差异的影响,以及高硅酸三钙熟料体系组成的限制,取代程度有限,只有电石渣取得了良好的成效,但电石渣每年产量只有约3000万吨,钢渣、镁渣、磷渣等也被用于生料配料,代替石灰石和一部分铁质校正原料。一方面,几种废渣受原矿资源所限、地域分布不均;另一方面,废渣中氧化镁含量以及重金属含量需要严格控制,因此生料中的取代比例较低,仅可减少1%~2%的石灰石和4%~5%的煤耗。据测算,目前的能效提升技术、燃料替代技术、原料替代技术、低碳水泥技术也只能将水泥熟料的单位生产能耗降低至约0.44tCO₂/t的水平。因此,水泥行业要实现碳中和的目标,还必须借助CCUS技术(碳捕集、利用和封存技术),这势必进一步增加水泥的生产成本和消耗更多的能源资源。因此,水泥行业要实现深度减碳和节能减排,必须从根本上作出变革。尽管目前还没有非常成熟的胶凝材料体系能够取代硅酸盐水泥所占据的主导地位,但进一步深化免煅烧胶凝材料的研究和产业发展已经势在必行,这不仅关乎水泥及建材行业自身的长远发展,更关乎全球未来的可持续发展。水泥行业不同于钢铁、电力等行业中的材料具有不可替代性,目前以固废为主的低碳胶凝材料能够满足大部分的建材产品的制备要求。因此,以碱激发胶凝材料等固废基胶凝材料取代硅酸盐水泥完全具有可行性。

2.4 生产工艺变革

在生产工艺变革方面,目前水泥生产主要利用新型干法水泥窑技术,其技术的核心是水泥窑煅烧工艺,如果要实现低碳水泥的大规模生产,就必须从现有工艺上寻找突破点,改变原有生产方式。作为传热传质效率较

高的流态化水泥熟料煅烧是未来最有可能替代回转窑的生产工艺。相较于传统水泥窑,流态化煅烧的优点更为突出,它能够使物料在极短时间内迅速升温,减少燃煤使用的同时,进一步降低CO₂排放,减排量能够达到25%以上。国内外许多国家对流态化工艺进行了研究,但是都未进行实际应用。2022年7月,中科院项目组基于多年流化床研究经验开展了10t/d低碳水泥预煅烧-烧成工艺的中试试验,为低碳水泥生产工艺开创了先河。

2.5 利用低碳、零碳绿色建筑材料减少二氧化碳的排放量

生物质材料具有与传统建筑材料相似的机械、热学、声学等性能,可以用其生产低碳、零碳的建筑材料,替代传统的化石燃料建筑材料,并在建筑产品中储存碳,有利于碳减排,在生命周期内提供更好的环境性能。建筑材料的内含碳在建筑生命周期碳排放中占比越来越大,为了通过选择低碳建筑材料来减少二氧化碳排放,应建立适当的基准机制,选出不同碳排放水平的材料,使相关基准成为消费者购买低碳材料的标准。Gupta等分别比较了生物质炭、碳酸化生物质炭、硅灰对水泥复合材料的固碳作用。研究发现,添加生物质炭可以通过加速水化和提高总水化来使水泥基体致密。从对照结果来看,7天龄的碳氧化物扩散和碳酸盐矿化减少,而在碳化28天后,生物炭浆体中的净碳酸盐矿化与硅粉浆体相似,且生物炭水泥的二氧化碳捕获效率可达到36.13%。根据二氧化碳吸收和暴露时间的不同,添加木材生物炭可使二氧化碳当量减少5%~6.5%。由于净碳酸化的增加,暴露预制生物炭混凝土构件的表面可以提供更高的二氧化碳当量。如果通过在生物炭中预吸附二氧化碳来实现碳酸化,则需要与7天外部碳酸化和密封固化的结果进行对比,最终获得3%和6%的低二氧化碳当量。在7日龄和28日龄时,与碳酸生物炭水泥进行对比,发现添加硅灰可使二氧化碳当量减少4%~5%,这归因于硅灰水泥吸收二氧化碳的速度越来越快,可以有效实现快速的碳矿化,并在减少水泥消耗的情况下提供高强度的建筑构件。生物炭在制造低碳水泥建筑材料方面具有较大潜力,以前用作工业二氧化碳的废生物炭吸附剂可作为水泥基材料中的绿色外加剂。从硅灰和可利用的废弃生物质中制备生物炭对提高环境效益较为重要,能够促进碳汇交易发展。

2.6 多方联动推动节能降碳

从大宗固废的发展格局看,利用粉煤灰、脱硫石膏、冶金渣、尾矿等大宗工业固体废弃物制备固废基胶凝材料、碱激发材料以及地聚物等,在工程混凝土及制

品方面都有了很好的示范应用,技术从工艺设备、产品和标准方面不断完善,将在道路工程材料、水利工程材料、生态修复工程、地下管廊工程、海绵城市建设工程、园区和企业基础设施建设工程等领域率先得以广泛应用。随着技术成熟度的不断加深,以固废利用为主的低碳的胶凝材料及产品将成为市场主流,推动水泥及建材行业达成深度节能减碳目标。目前,针对利废产品的应用还缺乏有力政策支持,如产废企业的以渣定产等政策尚未得到国家、地方管理部门和跨行业应用部门的有效充分支持。技术所处的发展阶段、水平和适用性存在较大差别,技术与资源和区域市场适配性差、对从业人员的专业技术要求较高,系统的低碳水泥专业技术人员、产品销售人员、工程设计人员较少等问题,固废基低碳胶凝材料技术还未能打开市场。重大技术突破和重要产业的紧密联动是推动行业节能降耗的重要方式。碱激发胶凝材料等固废低碳胶凝材料的突破,不仅将带动上游固废排放产业实现绿色转型,缓解资源环境对经济社会发展约束,还可带动下游建材产品的低碳化创新和变革。

3 低碳技术发展趋势

美国波特兰水泥协会于2021年发布“碳中和”路线图,其中列出了到2050年美国整个水泥和混凝土价值链的净零计划,价值链涉及制造熟料、水泥的生产与运输、混凝土制造、建筑环境建造和碳清除。美国低碳规划指出,为了最低量的生命周期排放,使用回收材料替代原材料,使用低碳水泥和混凝土并优化设计,中期利用可再生能源更多地替代熟料;远期进行碳捕捉,研制新型水泥和混凝土。英国发布了混凝土行业的“超净零排放路线图”,在碳化吸收环境下,CO₂约占12%;根据混凝土的2个特性,即蓄热、储能,可节省约14%的电能,等同于水泥混凝土行业44%的碳排放。要利用40年时间将1t水泥碳排放减少311kg,到2030年实现碳减排40%。中国的“双碳”目标分四步,第一步,2020-2030年即达峰期;第二步,2030-2035年即平台期;第三步,2035-2050年即下降期;第四步,2050-2060年即中和期。根据国际数据,碳达峰至碳中和阶段,欧盟花了60年,

美国用了45年,而中国将力争30年完成。目前只有拥有全产业链、全生命周期的CO₂减排路径,才能如期实现这一宏伟目标。

水泥行业是我国工业生产的基础,需求多、投资高、总量大,相对应的是耗材高、排放大、资源占用率多,生产绿色水泥将作为未来保持行业经济增长、调整产业结构、转变发展方式的重要方针。海螺集团通过绿色水泥得到快速发展,并成为中国水泥的标兵。北京金隅集团高度重视绿色低碳发展战略,将生产的废弃物变为再生资源,通过对物质和资源再循环、再利用的方式,使生产资料及加工资源被充分合理的应用于加工过程中,并节约生产成本,实现了经济效益与社会效益最大化的目标。在可以预见的下一个十年里,所有工业企业都需要依赖“双碳”的效力,减碳手段越优秀,产业链发展越大,影响力和竞争力将处于世界前列。现如今,积极推动低碳发展已成为国际潮流和历史任务,低碳经济将成为未来迈向绿色时代的重要里程碑。

结论

综上所述,加强固废资源利用推动水泥减碳发展是当前水泥工业转型升级的必由之路。只有将固废资源有效利用,实现循环利用,才能最大限度地减少水泥生产过程中的碳排放量,推动水泥行业向着更加环保、可持续发展的方向发展。希望在政府、企业和社会各方的共同努力下,水泥行业能够实现碳减排目标,为构建绿色低碳的社会环境做出积极贡献。

参考文献

- [1]覃维祖.混凝土材料与结构在低碳经济新形势下的发展方向[J].混凝土世界,2011(7):30-31.
- [2]吴文贵.转型创新绿色低碳——中国混凝土与水泥制品行业的“十年答卷”[J].混凝土世界,2022(11):5-8.
- [3]吴文贵,张红,师海霞.“十四五”对“低碳混凝土”呼唤与期待[J].混凝土世界,2022(1):19-24.
- [4]冯洋,陈恩义.低碳混凝土及其碳足迹评测[J].混凝土世界,2011(3):61-64.
- [5]席鸿定.水泥行业污染控制及低碳环保发展分析[J].资源节约与环保,2023(2):124-127.