

关于熟料煅烧燃煤替代工艺方案的研究

王志超 孙广悦 李志伟 李弘扬

吉林市冀东发展盾石工程有限责任公司，吉林省吉林市，132000；

摘要：在绿色低碳发展战略与节能减排政策推动下，水泥行业作为高耗能领域，推进熟料煅烧燃煤替代成为实现“双碳”目标、降本增效的关键路径。本文从熟料煅烧燃煤替代的核心价值出发，分析行业发展背景与实施必要性，阐述工艺方案设计与关键技术要点，探讨技术推广与效益转化的路径，为水泥行业燃煤替代技术的规范化应用与规模化发展提供理论参考，助力行业向绿色、节能、环保的高质量发展转型，同时为相关工程技术服务企业拓展产业链价值提供方向。

关键词：熟料煅烧；燃煤替代；工艺方案；关键技术；绿色发展

DOI：10.64216/3080-1508.26.01.087

引言

现在，绿色、低碳发展已经成为各个行业转型的主要方向。国家出台了很多政策，明确要求高耗能行业提高能源利用效率，增加非化石能源的使用比例，推动产业从传统的高耗能模式，转向资源循环、清洁高效的模式。水泥行业是建材领域里的耗能大户，生产熟料时要烧大量的煤。这不仅让传统能源的消耗压力更大，还会产生很多碳排放，增加环保治理的难度，阻碍行业高质量发展。在这样的背景下，研究和开发“用其他燃料代替煤来烧熟料”的工艺，有很重要的意义：既符合国家节能减排和“双碳”的政策要求，也能帮水泥企业降低成本、优化能源结构，同时还能让做工程技术的企业拓展业务、延长产业链。把这些燃煤替代工艺系统地梳理清楚，明确工艺怎么设计、核心技术是什么、怎么推广，就能让替代技术从零散使用，变成规范、标准的应用，为整个行业优化能源结构、实现低碳转型提供支持。

1 熟料煅烧燃煤替代的行业背景与实施必要性

1.1 行业发展背景

从全球来看，水泥行业已经普遍把“用其他燃料代替煤烧熟料”当成低碳转型的关键做法，“把固废变成资源用”和“用好清洁能源”这两个技术方向，已经成为行业里的共识。具体就是把有热量的废弃物处理后，变成能代替煤的燃料，实现“变废为能”——既减少对煤的依赖，也把可能污染环境的废弃物，变成绿色资源。从政策方面说，国家明确要求高耗能行业要在规定时间内，把能源利用效率提高到国际先进水平，慢慢增加非化石能源的使用比例。

1.2 实施必要性

从水泥企业的角度来说，推进“燃煤替代”，是同时实现“降低成本、提高效率”和“达到环保标准”的重要方法。替代煤的燃料，大多来自工业固废、城市垃圾处理后的物料等，这些燃料的获取成本比煤低，而且企业还能享受固废处置相关的政策福利（比如补贴、税收优惠），既能减少能源采购成本，也能降低环保治理费用。随着水泥行业对“燃煤替代”的需求越来越大，那些有成熟工艺方案、能做好工程实施的企业，能靠自己的技术积累，承接整个“燃煤替代”项目——包括工艺设计、选设备、施工安装、调试和后期维护等，把产业链做长。同时，通过积累技术和经验，形成自己的竞争优势，为企业增加收入、创造效益开辟新路子。从社会和环境的价值来看，“燃煤替代”工艺的实施，能带来明显的生态效益和社会效益。一方面，用替代燃料代替煤，能减少煤燃烧产生的污染物，降低对空气的影响；同时，能让有热量的固废得到无害化处理，避免固废填埋、堆放造成土壤、水污染，真正实现“废弃物变资源”。另一方面，能减少煤炭这种不可再生能源的消耗，缓解能源供应的压力，帮国家优化能源结构，为建设绿色低碳社会提供支持。

2 熟料煅烧燃煤替代的工艺方案与关键技术

2.1 工艺方案设计逻辑

设计替代燃煤的工艺方案，要遵循“技术先进、环保节能、运行稳定、适配性强”的原则，结合水泥线原有布局，让替代燃料系统和原线一起顺畅运行，不干扰生产，同时保证燃料高效利用、生产安全。方案分三步

推进：前期筹备，先调研行业先进技术和企业需求，摸清区域内替代燃料的供应、品质、成本，再组建项目组，做好技术和物资准备；方案优化，联合专业单位定技术路线，设计燃料储存、输送、破碎、计量、投料全流程，按燃料特性算参数、选设备，再根据企业生产线情况调整细节；项目实施，按设计采购设备、施工，从人员、设备、材料、工艺、环境五方面管控，做好调试和问题整改，确保两套系统协同运行，实现替代目标。

2.2 核心工艺环节设计

核心环节围绕“储存-输送-破碎-计量-投料”展开，兼顾效率、安全、环保。储存：建全封闭大棚，按燃料种类分区，根据日用量定大小，配通风、防潮设备，防燃料变质、污染。输送与破碎：颗粒小的直接用封闭皮带送；颗粒大的先破碎，再共用皮带送，设备全封闭防粉尘和异味。计量与投料：缓存仓装搅拌装置防结块，下装精准计量设备，用风机气力送料入窑，防漏风、保稳定。

2.3 关键技术与创新要点

熟料煅烧燃煤替代的关键技术，围绕“稳定投料、高效输送、安全环保”展开，解决传统工艺波动、污染、隐患问题，提升可靠性与实用性。精准计量与稳定投料技术：燃料经缓存仓下计量设备精准计量后，用风机气力送进分解炉，通过电动、气动多级阀门调用量，保证投料均匀，解决传统较刀波动问题；出现气流正压等异常，阀门快速关闭，断燃料、防风险，还能防漏风、提效率。智能物料转移与密封输送技术：用智能抓斗自动转料，按存量和需求调路径、抓量，减人工、提效率；皮带输送全封闭，防粉尘洒落和刺激性气体扩散，兼顾效率与环保。协同运行技术：分析原线工况，优化替代燃料参数，保燃烧效率，不影响熟料产质量；设备选型、布局结合原线，少改造、降成本，实现两套系统无缝衔接。

3 熟料煅烧燃煤替代技术的推广与效益转化

3.1 技术推广路径

推广熟料煅烧燃煤替代技术，要靠技术沉淀和经验积累，走“技术标准化-内部共享-外部拓展”的步骤，让技术快速落地，形成规模效应。技术标准化：打基础，固优势。技术标准化是推广的根基，要把研究和实践里形成的东西，系统整理好、定成标准。一方面，把工艺

方案、设计参数、选设备的标准、施工规范、调试和运维流程，都分类梳理，编出统一的技术手册和操作手册，说清技术要点和管控标准，不让因为参数不统一、操作不规范，导致不同项目效果差太多；另一方面，把技术变成自己的知识产权，发表专业文章、申请专利，把技术优势固定下来，既给推广找理论和法律依据，也提高技术的可信度和竞争力，让客户更认可。内部共享：先在集团里推，做示范。内部共享是推广的第一步，重点在企业集团和下属子公司之间，建技术交流和共享的机制，靠“做示范-学经验-复制推”，让技术在集团里大规模用起来，也为后续对外推广攒经验。一是开技术交流会，定期组织沟通会、经验会、培训班，让已经做完项目的团队，分享从调研、设计、施工，到调试、运维的全流程经验，还针对没推广单位的疑问（比如高含水燃料怎么适配、两套系统怎么协同调试），现场解答，让大家都懂技术要点；二是组织看示范项目，选集团里建完、运行稳定的生产线（比如日产5000吨熟料的线），邀请下属单位的人去现场看，直观感受技术效果，比如燃料燃烧好不好、生产线稳不稳、成本降了多少，打消大家的顾虑；三是建技术支持团队，找集团里的技术骨干、老项目人员组队，给内部单位提供全流程帮忙，从前期设计咨询、施工时现场指导，到运维时解决故障，帮大家快速推进项目，在集团里形成“示范带大家、经验传下去、快速都用上”的好局面。外部拓展：找外面客户，扩应用范围。外部拓展是让技术价值最大化的关键，要跟着政策走、盯着市场需求，找对客户、拓宽应用场景，让更多行业外的企业用上这项技术。一方面，瞄准水泥行业客户，聚焦水泥产能多的区域（比如华北、华东），先调研当地水泥企业的情况：比如靠煤多不多、“双碳”要完成多少目标、成本压力大不大，再针对性地推技术方案，不搞一刀切；还提供“一站式服务”，从前期调研、设计方案，到买设备、施工、后期运维，全流程帮客户做，满足客户的个性化需求，提高客户认可度，慢慢把水泥行业的客户做起来。另一方面，拓宽应用场景，靠企业在固废处置、环保工程领域的资源，和地方政府、环保部门合作，参与当地循环经济项目（比如城市固废处理、工业固废再利用项目），把燃煤替代技术和这些项目结合，把当地的工业固废、垃圾衍生燃料，变成水泥窑的燃料，既解决当地固废处理难题，又给水泥企业找燃料，实现多方共赢，也打破只给水泥企业用的限制，让技术用在更多地方。

3.2 效益转化方向

熟料煅烧燃煤替代技术的效益,分经济、社会、环境三个方面,用了这项技术,能让这三方面效益一起实现,既帮企业发展,也促进行业进步,具体体现在以下几点。经济效益:降成本、增收入,推技术更有动力。经济效益是推广技术的核心动力,不管是用水泥企业,还是推技术的工程企业,都能受益,主要体现在降成本和增收入上。对水泥企业来说,重点是降成本:一是能源成本降了,替代燃料比煤便宜30%-50%,还能拿政府的固废处置补贴(比如每吨补80-150元),直接少花买煤的钱;二是环保成本降了,不用花太多钱处理固废(比如填埋每吨省50-80元),燃料烧得干净,污染物少,环保设备运行费、药剂费也少了;三是碳排放支出降了,少烧煤就少排碳,能完成“双碳”考核,不用交罚款,也不用买太多碳排放配额,综合下来利润变多了。对工程技术企业来说,重点是增收入:一是接工程赚钱,靠成熟的技术方案,接水泥企业的整个替代项目(设计、买设备、施工、调试),成了新的收入来源,做的项目多了,经验足了,利润还能再提5%-10%;二是靠技术赚钱,把专利、技术手册、经验,通过转让专利、做技术咨询、开培训班的方式变现,多了一笔收入,形成“接工程+做服务”一起赚钱的模式。社会效益:促行业转型,帮资源再利用。这项技术的社会效益,主要是帮水泥行业转型,还能让废弃物再利用,好处不光在水泥行业,还能影响更多领域。从行业转型来看,一是帮水泥行业变绿色,少靠煤、多用替代燃料,能源结构更丰富,能源利用效率也高了(比传统系统高3%-5%),能完成“双碳”目标,摆脱高耗能、高排放的老路子;二是给其他行业做榜样,水泥行业的经验(比如怎么适配工艺、怎么控成本),能给钢铁、化工、陶瓷等耗能多的行业参考,带动整个工业领域变绿色,帮国家建绿色工业体系。从资源利用来看,解决了两个难题:一是固废处理难,工业固废、垃圾、废轮胎这些废弃物,不用再填埋、堆放(每吨固废少占0.5平方米土地),也不会污染土壤、水;二是能源紧张,这些废弃物变成燃料,少烧煤,缓解了能源供应压力,保障国家能源安全,还能推动“资源-产品-废弃物-再生资源”的循环,让资源用得久。环境效益:少污染、少排碳,护生态环境。环境效益是这项技术的重要价值,用替代燃料代替煤,能少排污染物和碳,改善环境,帮国家实

现绿色发展。一方面,少排大气污染物,替代燃料的硫、氮含量比煤低,烧的时候二氧化硫、氮氧化物能少排20%-40%,再配上粉尘收集设备,颗粒物排放也能控制得更低(比如每立方米不超过10毫克),空气变干净,帮着打赢蓝天保卫战;还能少排固废污染,不用填埋固废,就不会有渗滤液污染土壤和地下水,也不会有恶臭气体,整体生态环境变好了。另一方面,少排碳,生物质燃料烧完的碳,能靠植物光合作用循环,算“碳中和”,煤矸石这些固废烧了,也能少用煤,每吨替代燃料能少排0.8-1.2吨碳,帮水泥企业完成碳排放考核,不用罚款;企业还能把多余的碳排放配额卖掉,把环境效益再变成经济效益,推动行业从“高碳”向“低碳”转型,为国家绿色生态建设出力。

4 结语

熟料煅烧燃煤替代工艺的研究与应用,是水泥行业响应绿色低碳发展战略、破解传统生产困境的关键举措,兼具政策适配性、企业实用性与社会价值性。未来,随着政策引导的持续强化与行业需求的不断增长,熟料煅烧燃煤替代工艺需进一步迭代优化,聚焦替代燃料种类拓展、工艺效率提升、智能化水平升级等方向,不断提升技术的适配性与竞争力,同时加强行业内技术交流与合作,推动技术标准统一与资源共享,助力水泥行业全面迈向绿色、循环、低碳的高质量发展新阶段,为国家能源结构优化与“双碳”目标实现提供坚实支撑。

参考文献

- [1]陈建南,赵乃仁.1000 t/d流态化床煅烧水泥熟料烧成系统运行稳定性不良的原因探索[J].水泥,2023,(12):40-43.
- [2]朱文娟,张乐涛,刘晨星,等.基于新疆粉煤灰成分调控的贝利特水泥熟料煅烧制备工艺研究[J].应用化工,2022,51(S2):22-26+31.
- [3]刘鹏飞,王亚丽,王图强,等.评价方法及若干因素对水泥生料易烧性的影响[J].建筑材料学报,2021,24(05):1117-1122.
- [4]石珍明,顾快,楼美善,等.萤石尾矿作矿化剂在水泥熟料煅烧中的应用研究[J].水泥,2020,(12):23-24.
- [5]殷素红,李燕梅,丁伟敏,段百涛,李双喜.硫铁尾矿矿化剂对水泥熟料煅烧及性能的影响[J].华南理工大学学报(自然科学版),2023,51(11):74-81.