

水泥厂生产流程中的节能降耗技术应用

高丽艳

河北省建筑材料工业设计研究院有限公司 河北石家庄 050000

摘要: 水泥行业作为我国国民经济支柱产业, 能耗大、污染严重始终是限制行业可持续发展的主要原因。在当前国家提倡节能减排和大力推进节能减排的大环境之下, 水泥厂生产流程节能降耗技术的运用就变得非常重要。这样既可以降低生产成本、增强企业竞争力、又可以减少环境污染、促进水泥行业的绿色发展。文章将对水泥厂生产流程节能降耗技术进行论述, 希望对行业节能减排工作有所帮助。

关键词: 水泥厂; 生产流程; 节能降耗; 技术应用

引言

伴随着中国经济的飞速发展, 水泥在基础设施建设中的需求量不断增加, 水泥行业产能不断扩张。但是水泥在生产中消耗的能量较大, 主要是煤炭和电力, 导致资源的极大浪费与环境的污染。据统计资料显示, 水泥产业的能源消耗大约是全国工业总能耗的10%, 而二氧化碳的排放则超过了全国工业总排放的15%。如何既能确保水泥产量与质量又能达到节能降耗的目的已成为业界迫切需要解决的课题。

一、水泥生产流程概述

1. 水泥生产基本原理

水泥生产是建立在石灰石高温煅烧反应基础上的, 它的基本原理中涉及到一系列错综复杂的物理和化学变化。原料主要由石灰石、粘土和铁矿石组成, 它们按照一定的配比混合, 经过粉碎、配料、磨制而成生料。这种生料经预热器加热后局部分解, 再进入回转窑, 经1450℃左右高温发生固相反应后, 主要形成硅酸钙和其他化合物, 称为熟料。这一工艺需要大量的热能, 一般要靠煤、天然气或者替代燃料来提供。熟料出炉后快速冷却, 使之结晶结构得到改善, 然后再和适量石膏一起粉磨成型为水硬性好的水泥成品。

工艺中热效率和物料流动的控制非常关键。如预分解技术的应用可以明显提高热效率和降低能耗; 而准确的原料配比及温度管理又直接关系到产品质量及产量。另外利用废气余热回收系统对生料进行发电或者预热也是一种有效的节能减排方式。整个生产链优化不仅取决于设备升级, 更需要先进的过程控制与能效管理系统来保证系统以最优能效比运行。所以掌握和运用这些原则

对于促进水泥生产经济性和环境友好性具有无法估量的作用。

2. 水泥生产主要工艺流程

水泥生产流程是从原料采集开始至最终产品包装出厂的一系列持续精密的环节。这个过程是在矿山开始的, 其中的原材料(例如石灰石和粘土等)被挖掘出来, 并通过皮带传输到原料堆放区。然后将这些材料仔细粉碎和筛分并按照精确配方进行搅拌得到生料粉。生料又经过干燥和粉磨后成为较细而均一的粉末以方便随后的反应。

其次, 粉状生料流入预热器系统中, 在此逐渐受到热气流加热而开始局部分解, 以备送入回转窑高温煅烧。回转窑内极高温驱动生料发生关键化学反应转化为含大量硅酸盐矿物熟料。熟料立即冷却后掺入适量石膏一起粉磨成细水泥粉体。

该水泥粉采用高效选粉机进行分级, 保证了产品满足粒度的要求。最后一个环节涉及到储存和包装, 成品水泥进入筒仓内进行贮存, 并按照市场的需求进行称量、装袋和密封, 最后运至各个地方的建筑工地或者其他使用者手中。全过程中渗透质量控制和环保措施以保证水泥性能的稳定, 并最大限度地减少生产活动的环境影响。

3. 能耗分布分析

水泥生产过程中能耗分布广, 结构复杂, 集中表现为原料制备, 熟料烧成和水泥粉磨3个主要环节。特别是在熟料烧成这一阶段, 它通常占据了总能源消耗的60%-70%。在这个阶段, 回转窑内需要进行高温加热, 这会消耗大量的燃料, 例如煤炭或天然气。每吨熟料的能量消耗可以达到300-400千克标煤, 这突显了提高热效率的重要性。

随后进行原料的制备和粉磨, 这两者加起来大约占

据了总能源消耗的30%–40%。在原料破碎和研磨的过程中，需要消耗大量的电力，特别是在水泥粉磨环节，电力消耗可能超过整个粉磨操作的70%，每吨水泥粉磨的电力消耗大概在30–50千瓦时之间。另外，还有辅助设备运行，物料输送以及厂房设施维护的间接能耗，虽然所占比例不大，却是能耗管理中一个不容忽视的环节。

所以优化热工过程，使用高效粉磨技术，并实行余热回收利用对降低整体能耗和促进能源使用效率具有十分重要的意义。

二、水泥厂节能降耗关键技术

1. 热能回收利用技术

热能回收利用技术对于水泥生产节能减排起着至关重要的作用，其主要是将生产中所产生的巨大余热进行捕捉和回用，将其转化为电能或者直接为生产工艺服务，从而有效地减少对外部能源依赖程度。典型热能回收场景有预热器与冷却机热交换系统和余热发电系统等。

预热器是利用高温废气和生料之间的热交换使生料预热，而废气的温度则随之下降，这一过程服从能量守恒的原理，其热交换量可近似地用式 $Q = mc\Delta T$ 表示，式中 Q 是热交换量； m 是物料的质量； c 是比热容； ΔT 是温差。通过使用高效预热器，入窑生料可以被预热到800–900℃的温度范围内，这大大减少了后续烧制过程中的能量消耗。

余热发电又是一种重要的用途，它是用窑头、窑尾排出的高温气体来推动蒸汽轮机或者燃气轮机产生电能。根据卡诺效率计算公式 $\eta = 1 - T_c / T_h$ 进行估算，式中 η 是热效率； T_c 是冷凝温度； T_h 是热源温度，可以将高品位余热资源转换成高效率电能产出。通常情况下，每吨熟料的可回收发电量大约在30–60千瓦时之间，这显著提高了能源的整体使用效率。

总之，热能回收技术以其高效热交换和能量转换机制有效减少水泥生产过程中直接能耗和碳排放，对于提高产业整体能效和环境绩效意义重大。

2. 优化燃烧技术

优化燃烧技术作为水泥生产中节能降耗的一项核心战略，其目的在于通过提高燃料使用效率，降低能耗和减少污染物排放等措施来实现生产过程绿色转型。其中包括选择低品位燃料，探讨使用替代燃料和推行高效燃烧控制系统。

从燃料的选择来看，煤矸石和石油焦等低品位燃料虽然热值不高，但其成本优势显著，合理使用可以有效地降低成本和降低优质化石燃料的消耗量。与此同时，

替代性燃料技术，例如废弃物衍生燃料（WDF），涵盖了轮胎和塑料等，都在经过适当的处理后，可以被应用于水泥窑的燃烧过程中，这种方法不仅处理了废物，还降低了对化石燃料的需求，每吨熟料的替代燃料使用率可以达到10–30%，从而显著减少了碳的排放。

高效燃烧控制系统的引入，利用先进的传感器、控制算法及模型预测技术，精确控制燃烧气氛与温度，确保燃料充分燃烧，减少不完全燃烧损失。这样在提高热效率的同时也可以有效地控制NO_x、SO_x和其他有害气体的排放量。通过对窑内工况进行实时监测，对燃料供给、空气配比和燃烧速率等参数进行自动调整，以达到燃烧过程最优化。

另外，预分解窑的广泛使用使得生料能够在进入主燃烧区之前完成绝大部分分解反应，主燃烧区热负荷下降，燃料消耗降低。结合多级燃烧技术对燃烧气氛进行分段控制，热效率和燃烧稳定性得到进一步的提高。

总之，优化燃烧技术在燃料结构调整，燃烧效率提升和先进技术应用等方面不仅推动了水泥生产节能减排工作，而且为产业可持续发展开辟了一条新途径，反映出技术进步在取得环境和经济效益共赢方面所发挥的巨大作用。

3. 粉尘回收与再利用技术

粉尘回收再利用技术对水泥生产起着至关重要的作用，其目的是捕集生产中大量微细颗粒物，不仅缓解环境污染而且使资源得到回收。该技术覆盖了粉尘收集、分离、贮存至再加工等整个过程，在促进生产效率与环境保护方面兼具价值。

水泥生产线上，特别是破碎、粉磨和输送环节都有大量的含尘气体产生。利用如高效布袋除尘器、静电除尘器和旋风分离器等先进设备，我们能够高效地捕获这些粉尘，其收集效率往往能够超越99%，从而确保其排放满足标准要求。收集到的粉尘，在经过一系列适当的预处理步骤，如均化和陈化后，可以再次作为生产流程的一部分，特别是在生料配料方面，既减少外购原料依赖又降低废弃物处置成本。

粉尘再利用既节省原材料又提高水泥的性能。微小粉尘颗粒对改善水泥细度及活性、促进水泥水化反应很有帮助，因而有可能促进水泥产品强度及工作性能的提高。另外，该工艺降低原料开采量有利于保护自然环境、维护生态平衡、体现循环经济思想。

4. 对生产废渣进行资源化处理

在水泥行业可持续发展战略中，对生产废渣进行资

源化处理至关重要，其目的在于在开辟原料新来源的同时，把生产中所产生的各种废弃物转化为宝贵资源，降低对环境的污染。该工艺涉及废渣收集、分类、处理和再利用等环节，工艺种类繁多，涉及物理、化学和生物多种手段。

水泥生产过程中产生的普通废渣如煤渣、粉煤灰、电石渣和钢渣中含有丰富的硅、铝和钙，有可能作为水泥原料或者混凝土掺合料。采用科学的原料和处理方法，例如研磨、激活或与其他添加物结合，可以显著增强废渣的反应能力和物理特性，使其在水泥熟料中得到替代、水泥混合材或者其他道路建设材料中被广泛使用。

如粉煤灰由于具有较好的火山灰活性而经常被用作水泥混合材，既可以减少石灰石采出程度，又可以提高水泥后期强度；由于电石渣具有高度的碱性，它特别适用于调整生料的化学构成，从而提高水泥的质量。另外废渣再利用涉及作为土地改良剂、提高土壤保水保肥能力、促进植被生长等生态恢复工程。

三、节能降耗技术的经济效益和环境效益分析

1. 节能降耗技术对生产成本的影响

节能降耗技术对于水泥厂的生产成本有着显著影响，采用系列技术能够大大降低能源消耗进而降低生产成本。例如，通过使用高效的破碎设备和创新的干法工艺技术，可以将原料制备和生料制备环节的能源消耗降低20%~30%，这不仅可以减少电力的消耗，还可以降低设备的磨损成本。在熟料的烧制过程中，通过对窑炉系统进行节能改进和采用低热值燃料，可以将热效率提升至超过75%，这与传统的工艺方法相比，节能效果更为显著。另外，余热发电技术的运用可以将熟料烧制过程中产生的废热转化为电能，据统计，这种技术可以为水泥厂提供总电力需求的20%~30%，从而进一步降低了电力采购的成本。在水泥的粉磨过程中，加入了高效的粉磨工具并对粉磨系统进行了优化，这有助于提升粉磨的效率并降低10%~15%的电力消耗，同时，混合材的合理使用也是关键，既改善水泥性能又减少熟料用量及相应能源消耗。通过综合运用这些节能降耗的先进技术，水泥厂的总体能源消耗有望减少超过30%，同时生产成本也有了明显的降低，从而带来了显著的经济效益。与此同时，节能降耗技术也促使资源得到有效利用、降低废弃物排放、提高企业环保竞争力、进一步强化水泥厂市场地位。

2. 节能降耗技术对环境保护的贡献

将节能降耗技术应用于水泥生产，对于环境保护有明显的促进作用，通过采用高效破碎设备及新型干法工艺技术，降低原料制备及生料制备时粉尘及废气排放量，有利于大气质量的提高。在熟料烧成部分，对窑炉系统进行节能改造，采用低热值燃料，既提高热效率又降低二氧化碳等有害气体排放。更具体地说，当窑炉的热效率提升至75%或更高时，其二氧化碳的排放可以降低大约20%。余热发电技术的运用能够将熟料烧制过程中产生的废热转换为电能，这不仅实现了能源的节约，还显著减少了电力生产过程中产生的温室气体排放，据估算，该技术有望降低总电力需求的20%~30%。水泥粉磨环节采用高效粉磨设备及优化粉磨系统，提高粉磨效率、降低电耗、间接减少对电力生产的污染。另外，混合材的合理利用在改善水泥产品性能的同时也减少熟料用量，从而减少熟料在生产过程中能源消耗及污染物排放量。通过综合运用这些节能降耗的先进技术，水泥厂的总体能源消耗已经降低了超过30%，同时明显地削减了二氧化碳、氮氧化物以及粉尘等多种污染物的排放量，它在环境保护方面发挥着积极的作用，促进绿色可持续发展。

结束语

综上所述，在水泥厂生产流程当中应用节能降耗技术，不但可以有效地降低生产成本，而且可以减少环境污染和增强企业市场竞争力。国家大力倡导绿色发展，水泥企业要积极应用节能降耗先进技术，持续优化生产流程和促进生产效率。水泥行业经过不断地技术创新与管理优化，一定会走可持续发展之路，对我国经济与社会健康发展起到更大的促进作用。

参考文献

- [1] 薛之军, 李晨星. 浅谈智能化水泥工厂建设系统的应用[J]. 水泥工程, 2022(4): 60-62.
- [2] 寇得领, 梅黎峰, 张傲雪. 磁悬浮离心鼓风机在水泥厂节能降耗中的应用[J]. 水泥工程, 2020(1): 3.
- [3] 李乐意. 水泥熟料线烧成系统节能降耗技术的研究与应用[J]. 建材发展导向, 2021(8): 12-13.
- [4] 李珊珊. 智能制造在水泥工厂数字化转型过程中的应用价值分析[J]. 新型工业化, 2022, 12(12): 277-279.