

优化水泥生料配比提升熟料强度的实践研究

邹春林

江西于都南方万年青水泥有限公司，江西省赣州市，342306；

摘要：本文主要针对优化水泥生料配比来提升熟料强度这个关键问题展开实践研究，经过对水泥生料各种成分影响到熟料强度的深入剖析，采用科学试验办法以及数据分析手段，找出合适的生料调配比例方案，在此过程中得出结论：改良后的生料搭配可明显加强熟料强度，给水泥生产企业改进产品品质并削减生产开支给予有力的技术支撑和实际操作参照。

关键词：水泥生料；配比优化；熟料强度；实践研究

DOI：10.69979/3041-0673.26.03.048

引言

水泥属于建筑行业中的基础材料，其质量直接关联着建筑工程的安全性与耐久度。熟料强度乃是评判水泥品质的关键指标之一，而水泥生料配比则是影响熟料强度的主要要素，恰当的生料配比可以推动熟料矿物得以生成，从而改善熟料的质量及强度水平，在如今这个建筑行业发展日益注重水泥质量的年代里，要想让水泥达到较高的强度标准并获得良好的使用效果，就必须从优化水泥生料配比入手展开相关研究工作，并通过实际操作加以探索，进而改进水泥生料配比问题上的不足之处，提升整体工程项目的质量和性能表现情况等等。

1 水泥生料成分对熟料强度的影响

1.1 碳酸钙的作用

碳酸钙属于水泥生料的关键成分之一，在高温煅烧过程中会分解成氧化钙和二氧化碳，氧化钙是熟料矿物形成的主要原料，它的含量与活性会影响熟料的质量以及强度，一定量的碳酸钙可以给予足够多的氧化钙来推动熟料矿物的产生，但若碳酸钙含量过多，则会使煅烧过程中的能耗增多，并且还可能致使熟料中游离出的氧化钙数量上升，从而影响到熟料的安定情况。所以对于生料配比而言，要合理地把控碳酸钙的数量以便保证熟料质量及强度。

1.2 二氧化硅的影响

二氧化硅是熟料中硅酸钙矿物的主要来源，对于提高熟料的强度有着重要的作用。适量的二氧化硅可以促进硅酸三钙和硅酸二钙的生成，使熟料具有较高的早期和后期强度。但是过多的二氧化硅会导致煅烧困难，在熟料中存在未反应的二氧化硅，导致熟料的强度下降。而且二氧化硅结晶形态、细度的不同都会影响到其反应

活性从而影响到熟料质量，所以在生料配比时要考虑到二氧化硅的含量及晶形与细度等要素。

1.3 氧化铝和氧化铁的作用

氧化铝和氧化铁在熟料中会形成铝酸三钙、铁铝酸四钙等矿物。铝酸三钙早期强度高，但后期增长缓慢；而铁铝酸四钙抗冲击性好，抗硫酸盐侵蚀性强。适当增加氧化铝和氧化铁含量可以调节熟料的矿物组成并改善熟料性能，但是当氧化铝和氧化铁过多时会导致熟料凝结时间变短甚至产生快凝现象从而影响到水泥施工性能，在生料配比过程中要合理控制氧化铝与氧化铁的比例以获得良好的熟料质量。

2 生料配比优化的试验方法

2.1 正交试验设计

正交试验设计属于生料配比改良时高效又系统的主干试验手段，它的主要优点就是能在多因素、多水平的复杂体系当中，经由科学地挑选出有代表性的试验组合，从而用远少于全面试验次数的方法找到关键规律，在实际操作的时候，要依照生料煅烧特性来筛选核心影响要素，一般把碳酸钙，二氧化硅，氧化铝，氧化铁这些重要组分当作试验因素，还要按照原料特点，生产经验和质量目标给每个因素指定恰当的梯度水平。

试验前先要依照因素数与水平数选取合适的正交试验表，再确定每个试验组的原料配比情形。做试验期间按照配方精准地制作生料试样，在烘干成型后放入高温炉里模仿工业煅烧方法执行灼烧过程，而后对烧成熟的熟料实施全方面的性能检查工作，除了核心的抗压试验指标以外还要着重查看安定性、游离氧化钙含量等体现成熟度品质稳定的状况关键参数情况，到处理收集来的试验数据这个环节时，则依靠极差分析法明确各因子对成品表现的影响程度幅度问题，并利用方差比较找出

影响是否重要不同之处的关键所在部分信息内容,最终得出一个因素主次排定结果并选出最初较优组合比例形式设定值^[1]。

2.2 单因素试验验证

正交试验得到的初步最优方案要借助单因素试验加以精确验证并修正,此方法利用控制变量法排除交互作用干扰,专门针对某个单一因素展开独立影响规律探究,在验证时以正交试验得出的最佳配比作为参照标准,逐个把各个主要因素当作自变量来操作,并且在原先水平区间范围内进一步细化梯度设置,其他各项要素维持不变状态,接着分组开展多轮平行煅烧实验。

试验时要牢牢把控煅烧温度、升温速率、保温时间以及冷却方式这些工艺参数的一致性,保证检测数据的可比性,性能检测除了延续强度和安定性等主要指标外,还可以按照需要增添矿物成分分析、岩相结构观测之类的深层检测项目,全面追踪单一要素变动对熟料微观构造与宏观机能的影响规律,凭借单因素试验细致化的验证进程,既可以检验正交实验结果是否可信,又可以找出潜藏的交互作用盲点,针对最优配比关键数值做出微调修正,加强方案稳定度^[2]。

2.3 工业性试验

实验室试验得到的改良方案要经由工业性试验把理论变成实际,这是检验改良方案能否工业化的重要环节,试验之前要完成生产系统的前期准备,确定原料预处理标准,校对计量设备,调整煅烧系统参数等,保证改良后的配比可以精确落实到生产当中,试验过程中须创建全流程监测体系,一方面即时追踪生料制作阶段的混合均匀程度,细度之类的数据,另一方面不断监视煅烧进程中的热工数据,还要定时搜集熟料样品检查强度,安定性这些品质指标。

数据对比分析要以优化前的稳定生产数据作为参照,从熟料质量稳定性、生产能耗以及设备运行状态等多方面来评判方案的效果,在工业场景中经常会遇到原料成分波动、设备适应性差别等问题,需要创建一种动态调节机制:对于原料波动可以实行即时成分检测微调配比,并且针对设备适配问题可对煅烧参数加以改进。

3 优化生料配比提升熟料强度的实践效果

3.1 熟料强度的提高

生料配比优化是提升熟料性能的关键技术手段,使熟料强度取得突破性提高,在实验室阶段,通过对钙质原料、硅铝质原料和铁质校正原料的配比比例进行系统

的调整,并且结合矿物组成的调控以及率值的调节,使得熟料在早起与后期的强度均呈现出显著的增长趋势。经过多次平行试验的结果显示,该优化后的熟料其3天抗压强度和28天抗压强度相较于基准配比均有大幅增长的趋势,而且强度指标稳定性也得到了有效的改善。当进入到工业性的试验阶段时,在现有的生产线设备条件之下,采用此种优化过的配料方案成功实施落地,批量生产出来的熟料强度始终稳定于目标区间之内,完全符合高标号水泥生产对于核心原材料所需的强度标准要求,为企业开拓高端水泥市场提供了一定的支持作用,不仅提高了产品的市场认可度还形成了质量上的竞争优势^[3]。

3.2 生产成本的降低

熟料强度提升直接带来的是显著的成本优化效益,形成“质量提升-成本下降”的良性循环。一方面依靠更高熟料强度,在水泥粉磨环节可以大幅减少对熟料的掺加比例,相应提高粒化高炉矿渣、粉煤灰等工业废渣混合材的掺量。这些混合材料不仅采购价格远远低于熟料,更重要的是实现了工业固废资源化利用,契合绿色生产的理念;另一方面优化后的生料配比更加合理易烧,煅烧过程中液相生成更稳定,火焰温度分布更均匀,回转窑热耗和煤粉消耗都得以有效降低,燃料成本随之下降。同时,由于生料均化效果更好,使得煅烧时出现异常的概率进一步降低,能源浪费现象也大大减少,综合测算下来全生产链条的成本较之前都有所下降,企业的盈利能力以及市场上的定价权得到明显增强。

3.3 生产稳定性的增强

科学的生料配比给生产系统稳定运行赋予了基本保证,从原料到成品实现了全程质量可控的局面,优化之后,生料化学成分波动范围明显缩小,出磨生料三率值稳定性得到很大改善,为煅烧环节创造了一个稳定的物料基础,根据实际生产的数据显示,熟料游离氧化钙含量的波动幅度有所下降,安定性合格率一直保持在百分之百的状态,产品质量稳定性迈上了新的台阶,而且由于有稳定的煅烧工况存在,回转窑结圈、预热器堵塞之类的异常状况被大大降低,设备运转负荷更加均衡化,在这种情况下故障停机的时间也同比减少下来,对于维护成本来说就是一种节省措施。生产稳定性的提升让整体生产效率得以提高,并且降低了操作难度和管理成本,企业要想实现规模化以及标准化的发展并且走向可持续发展的道路就必须建立在此基础上才行^[4]。

4 影响生料配比优化效果的因素及应对措施

4.1 原料质量波动

原料质量波动是生料配比优化效果的决定性因素，因产地分布、开采层位变化、运输存储条件不同等诸多原因导致，使硅、铝、铁、钙等化学组分含量及粒度分布、易磨性等物理性质存在不规则波动，从而造成实际配料时各组分参加量与设计配比发生偏差，破坏了生料成分平衡状态，并影响到熟料矿物相合理形成过程，致使熟料强度下降且质量稳定性变差。要应对原料质量波动就要创建全流程质量管控体系，形成原料进场“批批检验”制度，用快速检测技术对每一批次原料展开化学成分和物理性能分析，创建起原料质量数据库以做到动态追踪，针对不同来源的原料开展分堆存放并加以分类管理，防止出现混堆造成质量均化现象，还要创建起配比动态调整机制，按照原料检测结果随时微调各组分比例，必要时使用均化设施对原料预先均化处理，从而从源头上保障生料成分稳定。

4.2 煅烧工艺条件

煅烧工艺条件是生料配比优化效果落地的重要保障，生料在煅烧过程中煅烧温度高低、保温时长长短、窑内通风量多少以及气流分布是否均匀这些参数直接影响到硅酸三钙、硅酸二钙等熟料核心矿物的形成速率与发育完整度，如果煅烧温度过低或者保温不够充分就会导致生料反应不彻底而产生大量游离氧化钙，并且通风不良容易造成还原气氛进而影响矿物活性，即使生料配比很准确但糟糕的煅烧条件也会使得最终产出的熟料不合格。要想提升煅烧工艺稳定度，就得加强设备运维以及参数调节力度，制订煅烧设备定时巡查并维保方案，着重查看窑体砌筑情况，燃烧器性能状况，测温元件精确程度这些关键部位，尽早解决设备存在的隐患问题。利用智能化监测系统持续搜集煅烧温度，烟气成分等信息，依靠大数据分析创建起工艺参数同熟料品质之间的联系模型，按照生料易烧性指标数值来变动煅烧温度，转速和通风量大小，做到“按料调烧”，让矿物彻底形成起来。

4.3 设备适应性

生产设备的适配能力关乎着配比优化方案执行的效果，不同比例生料在粒度、湿度、流动性等方面有所差别，这就会使对破碎、粉磨以及输送等设备的需求发生改变，倘若没有达到设备适配的要求，就可能会出现粉磨系统的产量降低现象，并且还会存在物料运送受阻的情况发生，设备磨损情况加重也有可能随之而来，这

些状况都会影响到生产的整体效率，甚至因为处理不合格而间接地破坏了原本制定好的生料配比。提升设备适应性要进行有针对性的改进并做好人员培训工作。结合优化后的生料特性来评价设备，对于粉磨设备的研磨体级配、筛分设备的筛网规格等重要部件进行改造升级，增强其对各种物料的处理能力。创建设备运作账本，并记录下不同配比情况下的设备运作数据，找出最佳运作区间，还要加强对操作人员的培训力度^[5]。

5 结论与展望

经由此次实践研究，弄清了水泥生料各类成分对熟料强度的影响规律，用正交试验设计法、单因素试验验证法以及工业性试验等办法，把水泥生料的调配加以改善，改良之后的生料配比明显提升了熟料强度并缩减生产开支，而且加强了生产的稳定性，剖析了影响生料调配优化成效的因素，并给出了相应的解决办法。研究成果显示，改进水泥生料调配是增进熟料强度的有效手段，给水泥生产企业给予了可行的技术计划。

尽管此次研究取得了不错的成果，不过仍旧有一些问题要继续去探究并解决，比如说环保需求持续上升的时候，怎样既改善生料配比又削减水泥制造过程中的污染物排放量；怎么让生料配比改良变得更智能一些，做到生产流程的自动化调控和改良等等，在以后的研究当中就可以针对这些问题展开探讨，不停地探寻新的技术和办法，给水泥行业可持续发展给予更多助力。

参考文献

- [1]黄亚宁,马保录.金矿废渣-水泥生料配比优化及熟料制备工业验证[J].中国水泥,2025,(S1):14-16.
- [2]马恒超,刘钊,李凡军,等.水泥生料预分解过程热效率优化控制研究进展[J].济南大学学报(自然科学版),2023,37(02):127-136.
- [3]李岩峰.水泥生料配料系统在某水泥厂的应用[J].中国新技术新产品,2021,(17):73-75.
- [4]许磊.基于多目标优化的水泥生料配料系统研究[D].济南大学,2020.
- [5]赵国材,赵树国,徐平,等.水泥生料配比的综合最优方法[J].阜新矿业学院学报(自然科学版),1994,(03):81-83.

作者简介：邹春林（1987-），汉族，男，江西，兴国，本科，研究方向：水泥工艺。