

水泥生产工艺优化控制技术研究

刘春海

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: 水泥作为现代建筑工程不可缺少的基础材料之一,在生产过程中涵盖了石灰石、黏土等原材料开采、粉磨、混合及高温煅烧等诸多步骤。伴随着中国经济的飞速发展,建筑业水泥需求越来越大。但是水泥生产具有高能耗和高排放等特点,如何降低能耗和减少排放而又能满足生产需要已成为水泥工业急需解决的课题。水泥生产工艺优化控制技术不仅可以提高生产效率、降低成本、而且可以减少对环境的污染,有着巨大的经济社会效益。所以研究水泥生产工艺优化控制技术有一定的现实意义与理论价值,文章就此展开了探讨。

关键词: 水泥生产; 工艺优化; 控制技术

引言

我国是水泥生产和消费第一大国,水泥产量已占世界总产量一半以上。尽管我国水泥工业在技术水平和生产能力上已经取得了长足的进步,但仍面临着能耗高、排放大、资源利用效率低等问题。依据现有的数据资料,水泥产业的能源消耗大约是全国工业总能耗的15%,与此同时,二氧化碳的排放也约占全国工业总排放的30%。所以对水泥生产工艺优化控制技术的研究不仅影响着水泥行业可持续发展也影响着我国节能减排战略目标。

一、水泥生产工艺流程与控制原理

1. 水泥生产工艺流程概述

水泥生产工艺流程包括原料准备、生料制备、熟料煅烧、熟料冷却、成品粉磨和包装储运等几个主要环节。首先,石灰石、黏土、铁矿石等原材料经过破碎和预均化处理,使其达到均匀的粒度和成分。然后,这些原料按照一定比例混合并磨成细粉,制成生料。在高温回转窑中,生料经过煅烧形成熟料,熟料温度达到1450摄氏度左右,化学反应生成硅酸盐矿物。随后,熟料通过冷却机迅速降温,以保持其矿物结构和活性。熟料冷却后与石膏及其他混合材一起进行粉磨,形成细腻的水泥成品。最后,水泥产品经过包装和储运,完成整个生产过程。这一系列步骤需要严格控制各个环节的工艺参数,确保水泥产品的质量和生产效率。

2. 各环节的主要工艺参数及其影响

水泥生产工艺各环节主要工艺参数及影响是关键,原料准备阶段原料粒度大小及均化程度对后续混合及煅

烧效果有直接影响。粒度太大,会造成混合不均而影响生料质量;均化程度不充分将引起成分波动而影响熟料质量。生料制备时生料细度及均匀性为关键参数。生料细度对生料反应速率及煅烧效果有影响,细度太粗将造成煅烧不足,过细将加大能耗。煅烧时回转窑温度及煅烧时间为核心参数。为了确保熟料的生成和完整的反应,维持大约1450摄氏度的温度是绝对必要的;煅烧时间太短会造成熟料质量的降低,太长又会加大能耗及设备的磨损。熟料冷却环节中,冷却速度对于熟料中矿物结构及活性具有显著影响,冷却速度太慢会使熟料中矿物晶粒变粗而影响水泥性能。成品粉磨阶段主要以水泥细度及颗粒级配水泥早期强度及活性有直接影响,而颗粒级配水泥密实度及后期强度有影响。在包装储运环节中,水泥包装密封性及存储环境至关重要,密封性不好及环境湿度过大都会造成水泥潮湿结块而影响使用性能。各个环节工艺参数之间互相联系、互相影响,必须进行全面优化与精确控制才能保证水泥产品稳定品质与高效生产。

3. 水泥生产工艺中的控制对象与控制目标

控制对象与控制目标是水泥生产工艺的关键。控制的对象有原料配比、生料细度、窑内温度、熟料冷却速度、成品细度和包装密封性。控制目标在于保证各个环节工艺参数的稳定性,使生产效率最优,产品质量最优。原料配比控制的目的在于保证化学成分的均一,以免比例不当而造成熟料质量出现问题。控制生料细度是为了使之反应性达到最优,细度过粗或过细均会对煅烧效果及能耗产生影响。在整个煅烧过程中,窑内的温度管理

是至关重要的，其主要目标是保持大约1450摄氏度的最优煨烧温度，以确保熟料具有最佳的矿物成分和物理特性。熟料冷却速度控制的目的在于迅速冷却，使之矿物活性得以维持，以免晶粒粗大化而对水泥性能造成影响。成品水泥细度控制以确保水泥活性与强度为目标，细度太大或者太小均会给水泥早期强度与后期稳定性带来不利影响。包装密封性控制的目的在于避免水泥受潮结块并确保水泥在贮存及运输时稳定可用。这些控制对象与控制目标是互相联系在一起的，它们共同决定着水泥生产效率与产品质量，对各参数进行精确控制与优化可显著地提高水泥生产效率，本实用新型降低了能耗及生产成本，保证了水泥产品优质一致。

二、优化控制技术概述

将优化控制技术运用到水泥生产工艺过程中，目的是通过对各工艺参数进行精确控制与实时调整，最大限度地提高生产效率与产品质量。优化控制技术涉及到常规PID控制、模糊控制、神经网络控制及高级专家系统与大数据分析。PID控制以调整比例、积分及微分参数来保持系统稳定及响应速度，常被用来精确控制窑内温度及压力。模糊控制采用模糊逻辑来处理不确定性、非线性等问题，对于生料配比、熟料冷却等工艺有明显的优越性。神经网络控制具有自学习、自适应能力强等特点，能对复杂环境进行有效控制，适合窑内复杂化学反应过程动态调节。专家系统以专业知识与经验规则为依据，实现生产过程异常情况的迅速诊断与处理，从而提高生产过程可靠性与稳定性。大数据分析对生产过程海量数据进行实时获取与分析，确定关键影响因素与优化路径，加强各个环节参数联动控制与整体优化。综合运用多种优化控制技术，使水泥生产在各种运行条件下都能维持最佳生产状态，从而达到提高生产效率、降低能耗、减少排放的目的，最终达到绿色生产与可持续发展的目的。这些工艺的运用不但促进了水泥生产自动化水平的提高，而且使产品质量稳定一致得到显著提高。

三、水泥生产工艺优化控制技术

1. 经典控制理论在水泥生产中的应用

(1) PID控制

PID控制作为经典工业控制方法被广泛应用于水泥生产中。PID控制器对系统的输出进行了三个参数的整定，即比例(P)、积分(I)、微分(D)、从而达到了准确控制系统输出的目的。在比例参数控制系统中当前误差通过调节控制变量大小使得系统响应迅速却不过度调

节。积分参数专门用于修正累积误差，以消除系统在稳态下的误差，从而确保系统在长期内能够准确地输出到预定的数值。微分参数则是通过对误差变化趋势的预测来提前调整系统以提高响应速度与稳定性。在水泥生产过程中，窑内的温度、压力、进料量等主要参数可采用PID控制器进行调节。以窑内温度控制为例，PID控制器能够根据窑内实时温度偏离设定值来动态地调节燃料供应量及通风量以维持窑内温度稳定，从而保证生料能够以最优的温度完成煨烧。生料磨制时，PID控制器调节磨机转速及进料量来保持生料细度及均匀性以确保后续煨烧效率。通过实时调整各参数，PID控制器可以有效地减小系统波动性，促进生产过程稳定及产品质量。它具有简便易行、响应快等优点，使PID控制已成为水泥生产中必不可少的一种控制手段，对提高生产效率、降低能耗，确保产品质量等都起着至关重要的作用。

(2) 模糊控制

模糊控制是建立在模糊逻辑基础上的控制，尤其适合水泥生产中的不确定性与非线性。模糊控制系统将常规控制参数变换成模糊集合并运用模糊规则推理决策以达到精确控制复杂工艺参数目的。水泥生产过程中的模糊控制能够有效地处理原料成分的波动和环境条件的改变等不确定性因素。在进行生料配比时，模糊控制系统能够根据原料实时检测数据对各种成分进行动态调节，确保生料成分稳定。该模糊控制器在熟料煨烧过程中，采用模糊规则全面调整窑内温度，压力及进料量几个参数，以保证煨烧过程处于最优状态，从而避免了由于温度波动而造成熟料质量出现的问题。将模糊控制运用于冷却环节中，可通过模糊调整冷却风量及冷却速度来优化熟料冷却过程并维持熟料活性及矿物结构。另外，模糊控制还对成品粉磨及质量检测起到了至关重要的作用，它通过对磨机操作参数进行实时调节来确保水泥细度及颗粒级配稳定，促进了产品一致性及强度。模糊控制系统具有灵活性强，鲁棒性好等特点，使得该系统能对复杂多变的生产环境进行有效控制，明显提高水泥生产自动化水平以及产品质量稳定性，对水泥行业智能化，精细化管理起到强大支撑作用。

2. 先进控制技术在水泥生产中的应用

(1) 专家系统

专家系统作为人工智能技术之一，它通过对专家知识与经验进行编码形成规则库并建立推理机制来处理复杂的问题，被广泛应用于水泥生产中。专家系统可以模

拟人类专家决策的过程，实时监测并调整生产关键工艺参数，从而提高生产效率与产品质量。在水泥生产过程中，专家系统能够将大量的专业知识与生产经验整合在一起，实现不同工艺环节的优化控制。以生料配比阶段为例，专家系统能根据原材料成分分析自动调节各种成分比例，保证生料化学成分稳定性。熟料煅烧时专家系统可对窑内温度，燃料供应及通风量进行监测，并根据规则库内优化方案对操作条件进行实时调节，以确保煅烧效果及熟料质量。在冷却环节，专家系统可根据熟料温度、冷却速度等参数动态调整冷却风量以维持熟料活性及矿物结构。在成品粉磨环节，专家系统实时调节磨机操作参数以保证水泥细度与颗粒级配一致，促进制品一致性与性能。专家系统的使用不仅使水泥生产自动化水平得到提高，而且降低了对操作人员的经验依赖性，生产过程稳定可控。它的快速响应与精准调控能力使得水泥企业在面对复杂多样的生产环境时，可以对资源进行优化配置，降低能耗与生产成本，从而最终达到高效、绿色的生产目的。

(2) 大数据分析与控制

水泥生产过程中，大数据分析与控制起关键作用，它通过实时收集、储存及分析海量生产数据来达到工艺流程优化控制的目的。大数据技术可以对大量生产数据进行处理，并从这些生产数据中挖掘出宝贵的信息与规律，从而为生产决策的制定提供科学依据。水泥生产的每一个环节都能用到大数据分析。在生料制备阶段对原材料成分、粒度及水分进行数据分析，优选配比方案以改善生料均匀稳定。煅烧时，利用大数据技术对窑内温度、压力及气体成分进行监控，并将历史数据与工艺模型相结合，动态调整以保证煅烧的稳定高效。熟料冷却环节通过对熟料温度及冷却速度进行实时监测，并采用大数据分析对冷却风量及冷却时间进行优化，以确保熟料矿物结构及活性。在成品粉磨过程中，利用大数据技术可将磨机运行参数与水泥细度及颗粒级配进行数据分析，实现磨机优化运行，改善水泥质量一致性。大数据分析也可以对生产过程异常情况进行识别、及时报警、采取措施进行整改，缩短了故障停运时间、增强了生产连续性。大数据技术在数据驱动优化控制下，既提高水泥生产效率与产品质量，又减少能耗与生产成本，对企业智能化生产与绿色发展具有有力支撑。

(3) 物联网和智能化控制

物联网与智能化控制对水泥生产起到了至关重要的作用，它通过连接设备、传感器与系统来实现对实时数据的采集、传输与分析，进而对生产流程进行优化。物联网技术可以对各环节的温度、压力、流量、组分等工艺参数进行实时监测，保证生产过程平稳高效地进行。智能化控制系统使用这些数据并与先进算法及模型相结合实现生产设备的精确控制及动态调整。以生料制备为例，物联网传感器可对生料中各组分及湿度进行监控，智能控制系统依据这些数据对配比进行实时调节以保证生料品质。煅烧时物联网设备对窑内温度、燃料供应及气体排放等进行监测，智能化控制系统依据这些信息对燃烧器及通风设备进行调节，以维持最佳煅烧条件及提高熟料品质与产量。在熟料冷却环节中，利用物联网技术对熟料温度及冷却速度进行监控，智能控制系统依据实时数据对冷却风量及冷却时间进行优化，保证熟料矿物结构及活性。在成品粉磨过程中，通过物联网传感器对磨机运行状况及水泥细度进行监控，智能控制系统依据该数据对磨机运行进行优化，改善了产品一致性及性能。

结束语

综上所述，水泥生产工艺优化控制技术研究和应用是个漫长而又动态的发展过程，必须通过政府、企业和科研机构的共同努力才能形成产学研用密切结合的创新系统。希望在不断探索和实践过程中，助力资源节约型和环境友好型社会建设，携手谱写水泥工业高质量发展新篇章。

参考文献

- [1] 涂顺祖，罗立群，张增吉，等. 水泥工厂智能优化控制系统的研究与应用[J]. 水泥工程，2023.
- [2] 谢克平. 谈水泥生产线智能优化控制系统的开发[J]. 水泥，2022(007): 000.
- [3] 陈月红，张伟. 基于自动化实验室的水泥质量控制系统的研究[J]. 四川水泥，2022(001): 000.
- [4] 张文静，薛俊杰，张伟伟，等. 新型干法水泥窑协同处置生活垃圾焚烧飞灰技术应用研究[J]. 河南建材，2022(10): 37-39.
- [5] 徐生双，杨桥材，赵海军，等. 浅谈水泥生产工艺中节能技术的应用[J]. 中国水泥，2023(3): 86-87.