

硅酸盐水泥熟料的易磨性及其影响因素探究

张 韩¹ 张 玢² 吴 雁¹

1. 嘉兴南洋职业技术学院 浙江嘉兴 314000

2. 华北理工大学研究生学院 河北唐山 063210

摘 要: 本文对硅酸盐水泥熟料的易磨性及其影响因素进行了探究。通过综合论述硅酸盐水泥熟料的微观结构对易磨性的影响以及助磨剂和工艺参数对易磨性的影响, 我们可以更好地理解硅酸盐水泥熟料的研磨特性。这对于优化熟料研磨工艺、提高水泥生产效率和质量具有重要的指导意义。

关键词: 硅酸盐水泥熟料; 易磨性; 影响因素

Study on grindability of Portland cement clinker and its influencing factors

Han Zhang¹, Di Zhang², Yan Wu¹

1. Jiaxing Nanyang Polytechnic Institute, Jiaxing 314000, Zhejiang, China;

2. College of Graduate, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, Hebei, China

Abstract: This paper explores the abrasibility and influencing factors of Portland cement clinker. By comprehensively discussing the influence of microstructure of Portland cement clinker on wear and the influence of abrasion and process parameters, we can better understand the grinding characteristics of Portland cement clinker. This has an important guiding significance for optimizing the clinker grinding process and improving the efficiency and quality of cement production.

Keywords: Portland cement clinker; Grindability; Influencing factors

一、硅酸盐水泥熟料的组成

三钙硅酸盐 (C_3S): 三钙硅酸盐是硅酸盐水泥熟料中最主要的成分之一, 占据了主要的比例。它的化学式为 $3CaO \cdot SiO_2$, 其含量通常在 50% 至 70% 之间。 C_3S 在水泥水化过程中起到主要的胶凝作用, 负责提供强度和硬化特性。

二钙硅酸盐 (C_2S): 二钙硅酸盐是硅酸盐水泥熟料中的另一个重要成分。它的化学式为 $2CaO \cdot SiO_2$, 其含量通常在 10% 至 30% 之间。 C_2S 在水泥中的硬化过程中会逐渐水化并贡献部分强度。

三钙含铝酸盐 (C_3A): 三钙含铝酸盐是硅酸盐水泥熟料的另一个主要成分, 化学式为 $3CaO \cdot Al_2O_3$, 其含量通常在 5% 至 10% 之间。 C_3A 在水泥中起到早期水化和快速硬化的作用, 并对水泥的初凝时间和抗硫酸盐侵蚀性能有影响。

四钙含铁酸盐 (C_4AF): 四钙含铁酸盐是硅酸盐水泥熟料的第四个主要成分, 化学式为 $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, 其含量通常在 5% 至 15% 之间。 C_4AF 在水泥中起到早期水化和能力增强的作用, 它可以提高水泥的强度和耐久性。

二、硅酸盐水泥熟料的易磨性表征方法

(一) 比表面积测量

比表面积是一个常用的硅酸盐水泥熟料易磨性表征方法之一。它用于量化熟料颗粒的细度和颗粒表面积, 从而间接反映了熟料的易磨性特征。比表面积的测量通常使用氮气吸附法 (BET法) 或气压试验法^[1]。

氮气吸附法基于固体颗粒表面吸附氮气的原理, 测量矿物颗粒的孔隙结构和表面积。该方法通过将熟料样品加入一个已知压力和温度下的封闭容器中, 用氮气吸附和脱附过程来计算熟料样品的比表面积。较大的比表面积意味着更多的活性表面和更多的孔隙结构, 从而会影响熟料的易磨性。

气压试验法是另一种衡量比表面积的方法, 它通过

课题名称: 浙江省教育厅科研项目 (Y202249310)

测量熟料样品在给定压力下吸附一定量气体所需要的时间和体积来计算比表面积。较短的吸附时间和较小的吸附体积意味着样品具有较大的比表面积和更好的易磨性特征。

比表面积的测量结果可以提供对硅酸盐水泥熟料颗粒大小、分布以及表面活性的信息,这些特性可以影响熟料的易磨性。较大的比表面积通常意味着更高的细度和更多的颗粒接触点,使得熟料更易于磨碎和分散,进而提高了水泥生产过程的效率和能耗。因此,比表面积的测量成为评估硅酸盐水泥熟料易磨性的重要手段之一。

(二) 颗粒大小分析

常用的颗粒大小分析方法包括激光粒度分析、网孔筛分和显微镜观察等。激光粒度分析是一种先进的颗粒大小分析方法,通过使用激光束扫描熟料样品,通过粒度仪器测量和分析样品中的光散射情况来确定颗粒的尺寸。这种方法可以提供准确的颗粒尺寸分布数据,同时具有高效、快速和自动化的优点。网孔筛分是一种传统的颗粒大小分析方法,它使用一系列不同孔径大小的筛网,将熟料样品通过筛网进行筛分和分级,然后根据每个筛网上残留的颗粒量来计算颗粒尺寸分布。虽然这种方法相对简单,但可能存在一定的不精确性和误差。显微镜观察是一种直接观察颗粒的方法。通过使用显微镜对熟料样品进行观察和测量,可以确定颗粒的大小、形状和分布情况。这种方法具有直观性和可操作性好的特点,但可能受到操作者主观判断和样品制备的影响。通过颗粒大小分析,可以获得硅酸盐水泥熟料颗粒的尺寸分布特征,包括平均颗粒大小、颗粒粒径范围和颗粒形状等参数。这些参数与研究熟料的易磨性、水泥性能以及熟料在水泥生产过程中的操作和加工特性密切相关。

(三) 压实密度测量方法

压实密度是硅酸盐水泥熟料易磨性表征的一种方法。它通过测量熟料的体积和质量,计算出单位体积的质量来评估熟料的压实状态和颗粒填充程度。压实密度的测量可以反映熟料的粒间间隙和颗粒堆积情况,从而间接反映其易磨性特征。常用的压实密度测量方法包括气体置换法、水置换法和沉降体积法。

气体置换法是一种常用的压实密度测量方法。该方法通过在被测熟料样品中注入气体(例如氮气或氩气),将原有的空气从样品中排出,达到气体置换的目的。通过测量气体置换后样品的体积和质量,可以计算出压实密度。这种方法适用于不易溶于水的样品^[2]。

水置换法是另一种常见的压实密度测量方法。该方

法使用水替代样品中原有的空气。将熟料样品浸入水中,并通过测量水的位移来计算样品的体积。然后通过测量样品的质量,可以计算出压实密度。这种方法适用于可溶于水的样品。

沉降体积法是一种简单的压实密度测量方法。该方法通过将熟料样品直接放入一个容器中,并将其在重力作用下沉降。通过测量样品容器的内部体积和熟料样品的质量,可以计算出压实密度。这种方法适用于颗粒相对较大和不易溶于水的样品。

通过压实密度的测量,可以获得硅酸盐水泥熟料的颗粒堆积程度和填充状态,这对易磨性有着重要的影响。较高的压实密度通常意味着颗粒的紧密堆积和较少的孔隙空隙,表明较低的易磨性。相反,较低的压实密度则可能意味着颗粒堆积较松散和较多的孔隙空隙,表明较高的易磨性。

三、硅酸盐水泥熟料易磨性的影响因素

(一) 微观结构对硅酸盐水泥熟料易磨性的影响

首先,晶体结构对硅酸盐水泥熟料的易磨性具有重要影响。硅酸盐水泥熟料中的主要矿物相如三钙硅酸盐(C_3S)、二钙硅酸盐(C_2S)、三钙铝酸鱼子石(C_3A)和四钙硅酸钙石(C_4AF),其晶体结构和晶体粒度分布对熟料的易磨性产生显著影响。晶体结构的紧密程度和形态特征决定了颗粒之间的相互作用力,并直接影响颗粒的破碎和磨碎行为。其次,颗粒形状对硅酸盐水泥熟料的易磨性也有重要影响。不同形状的颗粒之间的堆积紧密度和摩擦特性不同,这会直接影响研磨过程中颗粒的碰撞和切削行为。例如,球状颗粒比长条形颗粒更易于堆积形成密实的颗粒排列,从而可能降低熟料的易磨性。此外,孔隙结构也是影响硅酸盐水泥熟料易磨性的关键因素。孔隙结构直接影响熟料颗粒之间的相互作用力、颗粒表面积和颗粒内部质量传递。熟料中的孔隙可以作为储存研磨介质和吸附润滑剂的场所,其密度、大小和分布将影响颗粒的破碎和磨削过程。

(二) 助磨剂对硅酸盐水泥熟料易磨性的影响

首先,助磨剂可以改变硅酸盐水泥熟料的物理和化学特性,从而对其易磨性产生影响。助磨剂可以改变熟料颗粒的表面特性,减少颗粒间的摩擦力和粘附力,从而降低了熟料的粘结能力和粉化抗力,提高了熟料的易磨性。其次,助磨剂能够增加研磨过程中的界面活性剂效应。助磨剂在研磨过程中与水泥颗粒表面发生相互作用,形成均匀的润滑膜,减少了颗粒之间的摩擦力,从而促进了颗粒的破碎和磨碎。此外,助磨剂还可以改变

水泥颗粒表面电荷状态, 增加其分散性, 进一步促进颗粒的破碎和磨碎。另外, 助磨剂还可以影响熟料的粒度分布。它能够通过改变研磨过程中的粉体流动性和颗粒堆积状态, 影响颗粒的分散程度和堆积紧密度, 从而影响熟料的粒度分布和颗粒尺寸。适当的助磨剂可以使熟料颗粒分布更加均匀, 减少颗粒的聚集现象, 从而提高熟料的易磨性。

(三) 工艺参数对硅酸盐水泥熟料易磨性的影响

首先, 磨磨设备的类型和参数对硅酸盐水泥熟料的易磨性影响显著。不同类型的磨磨设备具有不同的工作原理和研磨能力, 这会直接影响熟料的破碎和磨碎。例如, 球磨机、辊压机和立磨等具有不同的研磨机理和处理能力, 对熟料的磨碎效果有所不同。其次, 磨磨介质的性质和用量也会影响硅酸盐水泥熟料的易磨性。磨磨介质可以是钢球、磨料或锤石等。介质的粒径、硬度和形状等特性将直接影响熟料颗粒的碰撞和破碎行为。此外, 磨磨介质的用量对熟料的研磨效果和能耗也有一定影响, 过高或过低的磨磨介质用量都可能影响熟料的易磨性。磨磨时间是另一个重要的工艺参数。适当的磨磨时间可以使颗粒得到更充分的破碎和更细的磨磨。然而, 过长的磨磨时间可能引起过度研磨和颗粒过细, 从而影响水泥的性能和熟料的易磨性^[3]。

(四) 硅酸盐水泥熟料易磨性在水泥生产中的应用

水泥生产过程优化: 通过研究和了解硅酸盐水泥熟料的易磨性, 可以为水泥生产过程提供重要指导。在熟料磨矿阶段, 了解熟料的易磨性可以帮助优化磨矿工艺和机械设备, 以降低能耗、提高产量和维持所需的水泥品质。

水泥品质控制: 易磨性是影响水泥品质的重要因素之一。通过控制硅酸盐水泥熟料的易磨性, 可以调整水泥的细度和颗粒分布, 以获得所需的物理和工艺性能。例如, 在某些应用中, 需要获得更高的细度水泥, 以提供更好的强度、流动性和早期强度发展。

新型水泥材料开发: 对硅酸盐水泥熟料易磨性的研究还可为开发新型水泥材料提供指导。通过了解不同熟料成分和特性对易磨性的影响, 可以设计出更具优势和特殊性质的水泥材料。例如, 通过调整熟料组合和添加剂, 可以开发出更环保、高性能的水泥、耐磨材料等。

混凝土工程施工: 易磨性也可以对混凝土工程施工过程产生影响。控制硅酸盐水泥熟料的易磨性可以调整混凝土的流动性和工作性能, 确保施工过程顺利进行。不同施工要求下, 易磨性的调控可以使混凝土的坍落度、凝结时间和强度发展适应不同的工程要求。

四、结语

综上所述, 硅酸盐水泥熟料的易磨性受多种因素的影响。通过了解硅酸盐水泥熟料的微观结构、助磨剂和工艺参数对易磨性的影响, 我们可以优化熟料研磨工艺, 降低能耗, 提高水泥生产效率和质量。这对于水泥工业的可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 穆学智, 罗晔. 浅议硅酸盐水泥熟料性能对水泥性能的影响[J]. 河南建材, 2018(03): 349-350.
- [2] 蔡晓波, 焦敬玺. 硅酸盐水泥熟料易磨性控制方法[J]. 中国水泥, 2017(08): 112-113.
- [3] 张文生, 郭随华, 王宏霞等. 硅酸盐水泥熟料的易磨性及其影响因素[J]. 水泥工程, 2004(01): 11-14+18.