

优化水泥性能提高水泥与减水剂相容性的研究与应用

杨鹏宇 王小亮 赵磊 沈治国
焦作千业水泥有限责任公司 河南 焦作 454100

摘要：提高水泥与减水剂相容性技术，主要解决水泥与搅拌站使用的减水剂相容性较差，水泥净浆经时损失高，给混凝土施工过程造成很大的不利影响的问题。为了达到提高水泥与减水剂相容性的目的，千业水泥公司组织人员从水泥熟料矿物组成，烧成温度和烧成速度、冷却制度、石膏种类、水泥颗粒级配等方面对水泥与减水剂间相容性问题进行分析，最终改善了水泥与减水剂间相容性。

关键词：减水剂；相容性；掺和料；颗粒级配

引言

提高水泥与减水剂相容性技术，主要解决水泥与搅拌站使用的减水剂相容性较差，水泥净浆经时损失高，给混凝土施工过程造成很大的不利影响的问题。

为了达到提高水泥与减水剂相容性的目的，千业水泥公司组织人员从水泥熟料矿物组成，烧成温度和烧成速度、冷却制度、石膏种类、水泥颗粒级配等方面对水泥与减水剂间相容性问题进行分析，最终改善了水泥与减水剂间相容性，具体调整思路及方案如下。

1 熟料的矿物组成对减水剂的吸附关系

熟料的四种矿物对减水剂吸附量由大到小的顺序为 C3A > C4AF > C3S > C2S。其中C3A 的水化速度最快。C4AF、C3S 次之，C2S 最慢，C3A 的水化产物比面积大。所以含 C3A 多的水泥，与减水剂的相容性较差。高温烧成的熟料与低温烧成的熟料表现出的性能不同，高温快烧的熟料，硅酸盐矿物固熔较多其他组分(如 C3S 固熔 Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO 等形成 A 矿)，这增加了硅酸盐矿物的含量及性能，提高了水化活性，并使 C3A 与 C4AF 含量减少。其固熔量随温度的升高及烧成速度的加快而增大。故高温快烧的熟料，A 矿发育良好，尺寸适中，边棱清晰，水泥强度较高，与减水剂相容性好。低温烧成的熟料，硅酸盐矿物活性较差，水泥强度较低，并且由于 C2S 固熔 Al₂O₃、Fe₂O₃ 量减少，熟料矿物中 C3A 与 C4AF 较多，水泥水化快，水泥标准稠度用水量，与减水剂相容性差。

2 千业水泥熟料的岩相分析

为了更好的分析我公司生产熟料的矿物特征，我们特地对熟料进行了微观岩相分析，在电子光学显微镜下，观察熟料的矿物组成和晶体发育情况。通过分析，千业水泥生产的熟料存在一些问题，主要表现在晶型发育不好，A 矿和 B 矿分布不均匀，存在析晶现象等等，

从这些现象上可以得出结论，我公司在熟料煅烧过程中存在煅烧强度不够，有时出现急烧现象，物料在烧成带滞留时间短，熟料存在慢冷的现象等，这是造成晶体发育不好、析晶现象的主要原因，因此本项目也需着重对熟料热工制度和冷却制度进行改进。

3 调整配料方案，改善熟料化学成分

通过以上研究，我们决定有针对性的采取以下方案：将熟料三率值优化为：KH = 0.900±0.02、n = 2.70±0.1、p = 1.50±0.1。项目实施后千业水泥熟料化学成分见表 1。

表1 实施后千业水泥熟料化学成分分析

日期	化学成分%					率 值		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	KH	n	p
2022.1	21.74	4.89	3.15	64.24	3.75	0.905	2.70	1.56
2022.2	21.44	5.09	3.16	64.01	3.97	0.908	2.59	1.61
2022.3	21.47	4.97	3.09	63.61	4.61	0.904	2.66	1.61
2022.4	21.66	4.90	3.17	63.89	4.38	0.902	2.69	1.55
2022.5	21.56	4.92	3.16	63.97	4.17	0.907	2.67	1.56
2022.6	21.46	5.03	3.10	64.13	4.39	0.911	2.64	1.62
2022.7	21.52	4.98	3.17	63.99	3.94	0.907	2.64	1.57
2022.8	21.75	4.83	3.19	64.05	4.12	0.903	2.71	1.51
2022.9	21.73	4.78	3.23	63.77	4.20	0.900	2.71	1.48
2022.10	21.38	5.03	3.29	63.93	4.05	0.910	2.57	1.53
2022.11	21.53	4.95	3.42	63.91	3.90	0.905	2.57	1.45
2022.12	21.53	5.07	3.37	64.01	3.92	0.904	2.55	1.51

熟料质量的好坏在于两个关键环节：高温煅烧和快速冷却。

高温煅烧是影响熟料质量的一个重要因素。高温快烧的熟料，硅酸盐矿物固熔较多其他组分(如 C₃S 固熔 Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO 等形成 A 矿)，这增加了硅酸盐矿物的含量及性能，提高了水化活性，并使 C₃A 与 C₄AF 含量减少。其固熔量随温度的升高及烧成速度的加快而增

大。故高温快烧的熟料，A 矿发育良好，尺寸适中，边棱清晰，水泥强度较高，与减水剂相容性好。我公司由于采用100%无烟煤煅烧，在生产过程中由于煤粉后燃及集中燃烧，使得窑内温度分布不理想，烧成带局部出现高温，容易导致熟料短焰急烧，矿物发育不好。通过项目实施人员分析，通过减少三次风管的通风量，降低煤粉细度，调整一次风用量，从而缓解煤粉后燃和爆燃现象，达到适当拉长烧成带长度，提高熟料在烧成带的滞留时间，达到增强煅烧效果的目的。

快速冷却也是影响熟料矿物组成及熟料质量的一个重要因素。熟料的快速冷却，有利于 A 矿保持良好的晶型，硅酸盐矿物活性较高，溶剂矿物多以玻璃体存在。由于大部分以玻璃体存在，所磨制的水泥仍与减水剂相容性好。为了提高熟料的冷却效果，我们将篦床料层厚度进行调整，从厚料层控制调整为薄料层控制，使得物料与冷风充分接触、换热，达到快速冷却的目的。通过工艺上的改进，项目实施后，经过和分厂工艺人员结合，坚持“薄料快烧”的原则，稳定产量，并在一定程度上限制最高产量，稳定热工制度，加强高温煅烧以及熟料急冷效果，提高二次风温，煅烧效果和冷却效果有了明显的提高，熟料烧成质量好，晶型发育也有很大的提升，熟料矿物组成明显得到改善，析晶现象大大缓解，并且矿物发育良好，晶型大小、尺寸适中，呈明显的六角板状，晶体表面和边棱光洁，毛刺现象大大减少。这些情况都为提高熟料质量，减少水泥对减水剂的吸附奠定了基础。

4 水泥掺合料种类及掺量对水泥相容性的影响

在水泥及混凝土的生产过程中，均掺有一定量的掺合料，如矿渣粉、粉煤灰，由于这些掺合料的品质及掺量的不同，对混凝土外加剂的作用效果也会产生一定的影响。随着掺量的增加混凝土流动性增加，与外加剂的相容性表现较好。另外由于粉煤灰中的碳会吸附较多的外加剂而使混凝土坍落度下降。因此，当粉煤灰掺量一定时，含碳量低的粉煤灰吸附量较小，对外加剂的相容性表现较好，而含碳量高的粉煤灰吸附量大，对外加剂的相容性表现就差。单掺矿渣粉对外加剂的相容性与粉煤灰相似但没有粉煤灰表现得这么明显，但由于“微集料效应”，矿粉的粒径比水泥小，填充了水泥颗粒间的空隙，使水泥颗粒间水分得到释放，提高了混凝土的流动性。当粉煤灰和矿渣粉以一定比例掺加到混凝土中去时，二者的作用可互相促进，试验表明，双掺40%，矿渣粉：粉煤灰 = 2:1时最佳，此时表现出的混凝土与外加剂的相容性最好。

5 水泥颗粒级配的改进

5.1 水泥粉磨工艺存在的问题以及对水泥相容性的影响

如果要提升粉磨系统的效率，无论采用何种更为先进的粉磨工艺，都必须要考虑该种工艺水泥的需求量是否合适。否则，就必须在粉磨效率、粉磨成本和相容性三者之间寻求平衡。我公司目前水泥粉磨采用两套CLF170-100辊压机带V型选粉机的预粉磨系统Φ4.2m×12.5m水泥磨带O-SepaN4000选粉机的组合式水泥粉磨系统。由于没有得到较好的工艺维护，水泥磨投产几年以来存在不少问题，包括磨内研磨体级配不佳，磨机台时产量低，磨内物流流速快，选粉机回料量大，选粉效率低，过粉磨现象严重等等，直接后果就是水泥颗粒级配不佳，水泥性能差，稳定性差，这也是造成我厂水泥与减水剂相容性差的一个因素。^[1]

5.2 水泥粉磨系统工艺的优化

提高水泥和减水剂的相容性，也要重视水泥粉磨中成品的颗粒级配和各级配所占的比例，水泥粉磨设备的生产效率的提高不单单是靠设备的性能，还应该从各个细节来提高水泥成品的性能指标。为改善水泥和减水剂的相容性，我们有意识增强水泥粉磨效率，提高水泥比表面积，增加水泥的颗粒分布宽度，重点在生产中有以下方案：

5.2.1 选粉机的结构及技术参数优化

选粉机的关键技术是“分散”、“分级”和“收集”。“分散”是指进入选粉机的物料要尽可能地抛撒开来，物料颗粒之间要形成一定的空间距离。因此，撒料盘的结构、转速、撒料空间大小、物料水分及物流流速都直接影响着布料的分散率；“分级”是指物料分散后，在选粉室停留的有限时间内，要充分利用气流各种形式的分选功能，把物料的粗、细颗粒尽可能地分开，并送至各自的出口。因此，气体流量、气流速度、气流方式、气固交汇点和流场分布以及选粉室数量、结构等对分级效率影响很大；“收集”是捕捉粗粉和细粉的能力，这与收集方式和收集部件的结构形式有关。

我公司目前采用的选粉机为O-SepaN4000的高效选粉机，它不仅保留了旋风选粉机外循环的优点，而且采用笼型转子平面螺旋气流选粉原理，从而大幅度提高了选粉效率。高效笼式选粉机、高效袋式除尘器和球磨机组成的水泥粉磨系统，其循环负荷由离心式200%~300%下降到100%~200%，磨制水泥时，3~30μm颗粒级配的重量超过65%，因而具备选粉效率高、电耗低、产量高及颗粒级配合理等优点。^[2]

5.2.2 强化磨内通风

加强磨内通风对产质量有明显影响,通风好,不仅可将细粉及时排出磨机,以免形成过粉磨,而且还可以带走粉磨热量,降低磨内温度,减少石膏脱水和磨内糊球、堵篦缝的机率。可减少磨内缓冲垫层现象,有利于加快磨内物料流速,可起到提高磨机产量;另一方面可达到收集细粉尘的目的,因提高产量相应地降低了磨机电耗,但通风量过大将使收尘颗粒增大,从而影响水泥产品细度,对质量不利,当通风量增大到一定程度时,会使粉磨单位产品电耗增加,实践证明磨机最大产量与粉磨系统最小电耗范围内存在一最佳通风量。一般圈流磨内风速为 0.8-1.0m/s,而开流磨由于磨内温度高,风速要比圈流磨的高些。有些厂的球磨机,在结构上存在风路不畅的问题,可以通过在进料口处开通风口、下料溜子作成阶梯形、放大隔仓板和出料篦板的中心孔以及卸料口加强锁风等措施加以改进,不仅可解决堵料现象,而且还能加大通风面积。

5.2.3 改变检测手段,稳定水泥性能,提高水泥和减水剂相容性

本项目实施以后,实施人员通过对水泥性能影响因素的分析,确定了改变检测手段(由细度筛余单一监测转变为细度筛余监测+测定比表面积双检测),从而稳定水泥性能,提高水泥和减水剂的相容性。我公司之前水泥检验采用细度筛余的方法,这种方法优势在于方便快捷,细度检测准确,缺点在于不能真实反映水泥水化速率和对减水剂吸附的性能。而对水泥比表面积的测定虽然步骤繁琐,但是能够真实反映水泥的一些基本性能,表征水泥的颗粒级配情况,从而可以根据检测结果适时调整生产参数,生产出满足需要的水泥。通过这种检测

手段的改变,大大提高了我厂水泥性能的稳定程度,为提高水泥和减水剂相容性起到了重要作用。

6 有益效果

通过优化水泥性能提高水泥与减水剂相容性的研究与应用,水泥经时损失平均 15%左右,最高也未达到 30%,较之前有了突破性的进展,水泥和外加剂相容性大大好转,并且通过和搅拌站相关人员技术交流,目前反映我厂水泥和外加剂相容性差的声音越来越少,为提高我厂水泥的市场占有率奠定了基础。另外,随着和外加剂相容性的好转,我厂熟料配比具备下调条件,炉渣掺量提高 2%,熟料配比下降到 75%以下,水泥成本大量下降。^[3]

结束语

提高水泥与减水剂相容性技术,能够降低混凝土使用过程中产生的不利影响。本文从水泥熟料矿物组成,烧成温度和烧成速度、冷却制度、石膏种类、水泥颗粒级配等方面对水泥与减水剂间相容性问题分析,最终改善了水泥与减水剂间相容性。

参考文献

- [1] 蒋亚清,徐锋澄.混凝土外加剂应用中的若干关键问题[J].混凝土.2002,(9).DOI:10.3969/j.issn.1002-3550.2002.09.005.
- [2] 何廷树,詹美洲,宋学锋,等.复合使用高效减水剂控制大流动性混凝土坍落度损失[J].混凝土.2001,(11).DOI:10.3969/j.issn.1002-3550.2001.11.011.
- [3] 李志莉,陈克强,陈永芬,等.ACS新型高效减水剂的研究(1)-减水剂的合成和其在水泥颗粒表面的吸附[J].四川大学学报(工程科学版).2000,(5).DOI:10.3969/j.issn.1009-3087.2000.05.015.