

粒度检测与控制技术的应用对水泥工业节能的贡献

张福根* 曾学敏**

* 珠海欧美克科技有限公司, 广东 519085, <http://www.omec-tech.com>

** 中国水泥协会

摘 要

在水泥生产行业, 说起节能降耗, 大家都非常重视新型干法窑的推广应用, 重视节能磨机的选用, 重视低温余热发电的建设。对水泥(熟料)的粒度控制在节约能源、降低原料消耗以及增加混合材掺量等方面的重要作用, 只有少数企业有较深的认识, 绝大多数企业还没提上议事日。其实, 通过改善水泥的粒度, 节能降耗的潜力是巨大的。

水泥是一种粉体产品, 由不同大小的颗粒按一定比例构成。在我国, 目前用来表示水泥颗粒大小的最流行的参数仍然是细度和比表面积, 而全面表示一种粉体产品颗粒大小的参数(组)应该是粒度分布, 即各个粒径范围的颗粒数量占颗粒总数的百分比。我国于 2006 年 5 月发布了建材行业推荐性标准《水泥颗粒级配测定方法激光法》, 说明粒度测试在我国水泥行业的较高层次上已引起一定的重视。但是目前粒度仪器在水泥生产企业的普及率只达到 2%左右, 而国家的强制性标准只对细度作了规定, 这说明广大的水泥生产企业及行业主管部门, 对粒度测试还不够重视。为了说明水泥粒度分布(颗粒级配), 对水泥强度、混凝土性能的影响及其带来的方方面面的效益, 本文根据实测获得的大量的水泥粒度数据以及水泥的水化理论和粉碎的表面能理论, 说明水泥的粒度检测与控制技术对水泥生产的重要作用。

本文的理论依据及分析方法如下:

(1) 水泥颗粒只有与水发生反应, 才有胶凝作用, 没有被水化的部分只起骨架作用。Meric 及国内其他学者的研究表明, 小于 $1\ \mu\text{m}$ 的颗粒在与水的拌和过程中就完全水化, 对混凝土浇筑体的强度没有贡献。28 天后, 水化深度为 $5.48\ \mu\text{m}$, 即大于 $11\ \mu\text{m}$ 粗的颗粒均不能被完全水化, 未被水化的内核对混凝土的 28 天强度没有贡献。

(2) 在相同条件下, 粉磨能耗与颗粒的表面积成正比。因此, 颗粒越小, 单位重量所消耗的粉磨能量越多。

(3) 根据水泥样品的实际粒度分布, 可以计算 28 天的水化率 (见下文定义), 以及消耗在 $1\mu\text{m}$ 以下的 (熟料) 粉磨能耗占总能耗的比例 (过磨率)。没有被水化的部分, 就是熟料的浪费部分; 颗粒被磨到 $1\mu\text{m}$ 以下的部分, 熟料和粉磨能都被浪费了。为了定量地说明粒度检测与控制技术对水泥节能的贡献, 欧美克公司对 10 多个省的多家水泥厂的水泥产品进行了巡回检测。本文先选用一个省的数据进行分析。通过比较各种样品, 从中发现节能降耗潜力巨大。

以下是该省多家水泥企业的综合分析结果:

为便于叙述, 先定义几个名词。

水化率—水泥 (熟料) 颗粒被水化的体积与总体积之比, 称为水化率。

未化率—未化率等于 1 减水化率。

过细粒——小于 $1\mu\text{m}$ 的颗粒。

过磨率——过细粒消耗的粉磨能量占 (熟料) 粉磨总能量的比例。

表 1 列出了该省一家优质企业生产的粒度分布最佳的水泥样品的主要粒度参数以及据此计算的未化率和过磨率, 以及该省其他产品相应参数的平均值、最差产品的相应参数。

表 1 水泥样品的主要粒度参数及相应的延伸参数

参数 样品 (%)	$<1\mu\text{m}$ 含量	$<3\mu\text{m}$ 含量	$>65\mu\text{m}$ 含量	未化率	过磨率
最好样品	5.02	14.87	0.52	10.92	23.3
平均结果	5.40	14.44	7.55	18.81	33.0
最差样品	6.65	11.93	19.57	27.94	36.0

将该省水泥的平均参数和最好水泥的参数对比可以看出, 如果全省水泥的粉磨技术都能达到优质企业的水平, 那么熟料的未化率就可降低近 8%, 粉磨能耗降低 10%。熟料的未化率降低, 相当于节约了熟料, 意味着节约了原燃材料。如果全国水泥的平均未化率都以此比例下降, 仅此一项, 节能降耗潜力就非常大。

以 2006 年为例, 年产水泥 12.4 亿吨, 混合材和石膏的平均掺加量为 35%, 熟料掺加量为 65%, 熟料未化率降低值取 8%, 由此可计算出年节约熟料量为 6448 万吨。以 1 吨熟料消耗 1.3 吨石灰石, 平均消耗 145 公斤标煤进行计算, 年节约石灰石 8382 万吨, 节约标煤 1215 万吨, 减排二氧化碳 6400 万吨, 可见控制水泥粒度分布带来了巨大的经济效益及节约资源、保护环境的效益。

由熟料过磨率减少 10% 带来的粉磨能耗降低的绝对量，由于手头数据不足，暂不能给出，但可以肯定这个节能量也是个巨大的数字。

需要说明的是，上述分析是假设被分析省份水泥生产的平均粉磨技术达到该省最好样品的粉磨水平的前提下作的。实际上这里的最好样品的粒度分布还没有达到最理想的水平，还有较大的优化余地。此外，本文作为分析对象的省份水泥的平均粉磨水平在全国属于中上，一半以上的省份改进的余地更大。目前混合材的添加量也远未达到理想的水平。进一步增加添加量的途径是混合材的粒度分布要更加合理（比如让混合材颗粒与熟料颗粒形成最佳堆积）。可见在粉磨过程中，利用颗粒检测与控制技术，优化颗粒级配在节能降耗中还有巨大的潜力可以挖掘。

因此建议：

（1）水泥行业的高层决策者应把改善粉磨技术，实现水泥粒度的优化作为行业节能降耗，实现可持续发展的重要途径。

（2）水泥与混凝土的研究单位、生产单位和使用单位都应重视水泥和混合材的粒度分布，深入、全面研究它们的粒度分布与混凝土性能之间的关系。用先进的激光粒度分析仪器作为研究和生产过程控制的日常手段。

（3）水泥设计单位和粉碎系统的生产单位，应更多地吸收和采用行业以外的新知识、新技术和新设备，比如在线粒度检测仪器、风力选粉设备等，使粉磨系统的技术水平有更大的提高。