

DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2022.04.018

北京市预拌混凝土矿物掺合料应用问题分析 及解决问题的思路

Analysis of problems and solutions in application of mineral admixtures for ready-mixed concrete in Beijing

李彦昌¹, 刘斐², 齐文丽³, 刘洪波², 杨荣俊¹, 赵志明³

(1.北京市高强混凝土有限责任公司, 北京 100071; 2.北京市建筑节能与建筑材料管理办公室, 北京 101160; 3.北京市混凝土协会, 北京 100041)

LI Yanchang¹, LIU Fei², QI Wenli³, LIU Hongbo², YANG Rongjun¹, ZHAO Zhiming³

(1. Beijing Gaoqiang Concrete Co., Ltd., Beijing 100071; 2. Beijing Building Energy Conservation and Building Materials Management Office, Beijing 101160; 3. Beijing Concrete Association, Beijing 100041)

摘要: 通过实地调研、信息采集、问卷调查等方式, 调研了北京市矿物掺合料的生产、供应和使用情况, 对一些关键问题开展了试验研究, 从中发现了矿物掺合料多个环节存在的问题, 进行了原因分析, 提出了对策建议。

关键词: 矿物掺合料; 粉煤灰; 矿渣粉; 工程应用

Abstract: Through field investigation, information collection and questionnaire survey, the production, supply and use of mineral admixtures in Beijing are investigated, and experimental research on some key problems is carried out. The problems in many aspects of mineral admixtures and the causes are analyzed, and countermeasures and suggestions are put forward.

Key words: mineral admixture; fly ash; slag powder; engineering application

中图分类号: TU528 文献标志码: A 文章编号: 1003-8965(2022)04-0065-04

1 矿物掺合料应用概述

预拌混凝土是现代建筑工程结构中不可或缺的建筑材料。被称为预拌混凝土第六组分的矿物掺合料指以硅、铝、钙等一种或多种氧化物为主要成分, 具有规定细度, 掺入混凝土中能改善其性能的粉体材料。矿物掺合料广泛应用于预拌混凝土中, 产生了良好的社会 and 经济效益, 成为现代混凝土中不可替代的功能性材料。目前, 常用的矿物掺合料为粉煤灰、矿渣粉和硅灰等。

矿物掺合料在混凝土中的作用机理可通过四大效应来解释, 包括火山灰效应、形态效应、微集料效应和界面效应, 并通过四大效应提高混凝土后期强度, 改善混凝土耐久性。在混凝土中, 矿物掺合料的作用主要有: 1) 减少混凝土水化热, 降低混凝土开裂风险; 2) 改善混凝土工作性(和易性), 改善混凝土泵送性能, 便于混凝土浇筑; 3) 增强混凝土的密实度, 提高混凝土后期强度; 4) 提高混凝土的耐离子侵蚀能力, 抑制碱骨料反应, 改善混凝土结构的耐久性; 5) 消纳电力、钢铁等行业固体废弃物, 替代部分水泥, 降低成本, 助力循环经济发展。

目前, 我国预拌混凝土年产量达到20亿m³, 如果按每立方米预拌混凝土中矿物掺合料用量130kg计算, 矿物掺合料年用量高达2.4亿吨, 可节约石灰石矿2.4亿吨, 减少二氧化碳排放近1亿吨, 其节约资源、减少排放的效果十分

显著。

据统计, 近5年北京市预拌混凝土累计产量超过2.15亿m³, 矿物掺合料在混凝土中的掺量约为130kg/m³, 总用量达2800多万吨, 为北京市节约水泥2800万吨, 节约标煤24.57万吨, 减少二氧化碳排放约2000万吨。

按上述矿物掺合料的作用机理及其在混凝土中的实际作用和使用情况, 矿物掺合料已不仅仅是为了利用固废、降低成本和保护环境, 而已成为混凝土中不可或缺的功能材料, 其大量应用带来了巨大的环境效益和社会经济效益, 对预拌混凝土行业产生了重大贡献。

2 矿物掺合料应用问题分析

预拌混凝土矿物掺合料品种主要是粉煤灰和矿渣粉, 这两种矿物掺合料的比例超过90%, 在部分地区高达99%。因此, 本文仅针对粉煤灰和矿渣粉在预拌混凝土应用中存在的问题进行分析。

2.1 粉煤灰生产、供应及应用问题分析

粉煤灰是早期大量应用的矿物掺合料之一。我国的粉煤灰应用从20世纪60年代大跃进开始, 当时主要用于大型砌块等墙体材料。20世纪80年代初, 同济大学黄土元首次提出粉煤灰的利用不能仅是生产墙体材料一条路径, 还应发展用于混合材、混凝土和道路工程等, 如此粉煤灰利用

第一作者: 李彦昌, 教授级高工, 从事混凝土行业发展和高性能混凝土研发与应用工作。

率才能大幅提高,电厂的粉煤灰处理和环保问题才有可能得到较好的解决^[1]。到20世纪90年代,粉煤灰在预拌混凝土中的应用开始全面推广。随着粉煤灰用量的不断增加,部分地区出现了供应紧张问题,加上粉煤灰在物流环节质量不受控,其质量问题开始凸显。

2.1.1 生产环节质量问题

粉煤灰是热电厂燃煤发电时,煤粉在1200~1300℃高温燃烧后的副产物,其高温煅烧过程中产生的液相体体积膨胀,形成玻化微珠。不同的煤质、炉型、燃烧温度、燃烧程度等对粉煤灰的性能会造成不同程度的影响,粉煤灰产生后的收集工艺、加工工艺对粉煤灰的性能也会造成一定影响。

据调研,电厂粉煤灰的收尘部分主要设置在脱硝工艺后端、脱硫工艺前端。粉煤灰经脱硝工艺处理后进入收尘装置,收尘后的烟气进一步进行脱硫工艺处理,因此,粉煤灰质量会受到脱硝工艺影响,而脱硫工艺基本不会对粉煤灰质量造成影响。

1) 脱硝工艺对粉煤灰性能的影响

电厂脱硝工艺大多选用选择性催化还原技术,还原剂主要为尿素和氨水。由于氨水储存过程存在一定安全隐患,多数电厂采用尿素作为还原剂。利用煤粉燃烧过程产生的氮基中间产物或往烟道中喷射氨气,在合适的温度、气氛或催化剂条件下将NO_x还原,这是燃煤锅炉控制NO_x排放的主要机理。脱硝过程中,部分铵离子会吸附或产生一定化学反应而残留于粉煤灰中,导致粉煤灰后期应用过程中在一定碱性和温湿度条件下产生挥发性氨气及异味。

2) 存储工艺对粉煤灰性能的影响

粉煤灰是电厂煤粉炉烟道气体中收集的粉末。通过调研京津冀地区电厂,其均采用电收尘和布袋收尘相结合的方式。由于收尘方式不同,收集的粉煤灰性状也有差异。电收尘效率高,但收集的粉煤灰颗粒较粗,通常称为“原状灰”;布袋收尘效率低,但收尘彻底,收集的粉煤灰颗粒较细,通常称为“细灰”。京津冀地区电厂收尘工艺普遍前端采用电收尘,后端采用布袋收尘,通过两种收尘方式的结合,提高收尘效率。

粉煤灰收尘完成后,进入存储环节。目前,电厂粉煤灰的存储方式差异较大。部分电厂设置了粉煤灰分选工艺,从电收尘得到的原状灰中分选出优质的I、II级粉煤灰同布袋收尘得到的细灰一起存储,分选后剩下的粗灰渣单独储存;无分选工艺的大部分电厂直接将电收尘得到的原状灰和布袋收尘得到的细灰一起存储,少部分将电收尘得到的原状灰磨细后进行存储。

经实地调研及与电厂粉煤灰收集处理人员座谈交流,结合搅拌站技术人员反映的日常问题,发现电厂销售的粉煤灰和搅拌站实际使用的粉煤灰一部分比较相似,而另一部分却存在较大差异,问题主要表现在以下方面:

1) 没有分选工艺的电厂将原状灰和细灰混合存储,影响了粉煤灰质量稳定性;

2) 由于粉煤灰利用途径很多,要求各不相同,电厂对出厂的粉煤灰质量不进行把关。

2.1.2 供应环节对粉煤灰性能的影响

根据实地及其他方式调研,环京地区共有电厂56家,粉煤灰产能产量巨大,年产能约1727万吨,满足北京市场供给不存在问题。但是,电厂分选的优质粉煤灰不足10%,缺口很大,搅拌站生产旺季粉煤灰整体供应紧张。

电厂处理粉煤灰的首要目的是保证电厂的正常运营,因此,粉煤灰的质量不受电厂太多关注,基本无质量管控,对粉煤灰生产管理不够重视,缺乏专门的质量管理体系,仅每年或每半年送样到检测机构进行型式检验,没有其他有效管控手段。尽管各类粉煤灰基本实现分类存储和销售,但质量管控薄弱。且搅拌站与电厂无直接合同关系,即使因粉煤灰质量造成工程事故,也无法追究电厂责任,导致粉煤灰生产企业质量管理意识不强。

2.1.3 应用过程的突出问题及原因

1) 质量稳定性差

①进场检测合格率较低。据调研数据统计分析,粉煤灰三项进场自检指标即细度、需水量比、烧失量的不合格率分别为10.8%、10.1%、3.8%,质量稳定性较差。

②进场检验和实际使用过程中发现劣质粉煤灰或假粉煤灰。劣质粉煤灰或假粉煤灰影响混凝土拌合物性能,会加速坍落度损失,影响混凝土正常浇筑,施工人员为了加快浇筑速度,私自大量加水,导致混凝土实体强度低于设计强度。

比如,某搅拌站生产中发生类似问题后,从螺旋输送机取样粉煤灰检测,细度60.2%,需水量比115%,确定是经销商采用夹层方式逃过搅拌站进场检验所致,搅拌站如处理不及时或调整不当,极易造成质量事故。

再如,2019年某地拆楼事件与粉煤灰质量存在必然联系,据参与调查的专家分析,因当地夏季大量采用水电,热电厂开工严重不足,粉煤灰成了紧俏商品,市场出现了粉煤灰造假,严重影响混凝土质量。

③使用以前处置的粉煤灰即“陈灰”的情况值得关注。由于陈灰在处置时会有数量不等的脱硫石膏等其他物质混入,如开挖直接磨细后作为粉煤灰使用,会对混凝土质量产生较大影响。

此外,因劣质粉煤灰或假粉煤灰造成混凝土拌合物严重离析或长时间不凝结而导致拆除部分结构的情况,在北京也有发生,但由于发现和过程较隐秘,不易发现,尚难掌握详情。

2) “浮黑灰”造成混凝土结构外观缺陷

某工程使用浮黑灰粉煤灰,混凝土拌合物表层出现黑色油状物,硬化后的混凝土表层产生不规则黑斑,构件外观产生缺陷。

对不同粉煤灰进行浸水试验发现,浮灰颜色深浅不一,其主要微观形貌为多孔大粒径微珠。对浮黑灰进行烧失量试验,其颜色明显变白。经能谱分析发现,浮黑灰的微珠表面及空洞内检测出一定量的碳元素。因此,粉煤灰中的浮黑灰主要为燃烧不充分的碳吸附在大粒径微珠表面,在浮力作用下上浮到拌合物表面富集而产生的。试验结果表明,浮黑灰粉煤灰对混凝土拌合物的强度、抗冻性能没有明显影响,但对凝结时间有一定的延迟作用,影响拌合的均匀性和表观效果。

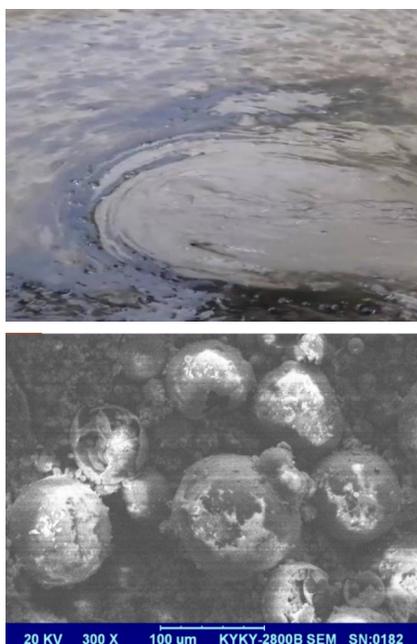


图1 粉煤灰混凝土浮灰现象及其微观形貌

Fig.1 Floating ash phenomenon and micro morphology of fly ash concrete

3) 混凝土浇筑后的“冒泡”现象

混凝土浇筑后冒出大量气泡,持续时间长,硬化后混凝土表面形成空鼓,出现体积膨胀现象,强度明显降低。



图2 混凝土冒泡和整体膨胀现象

Fig.2 Bubbling and overall expansion of concrete

脱硝工艺造成粉煤灰内残留铵离子,其在混凝土的强碱环境和高温作用下发生化学反应,释放氨气,释放速度有快有慢,初期释放速度非常缓慢,在高温下会加速释放,从而造成混凝土持续冒泡,造成严重质量事故。

参照GB 18588-2001《混凝土外加剂中释放氨的限量》中氨含量的测定方法,测定粉煤灰中氨(NH₃)的质量分数,发现随着煮沸时间的延长,氨气收集量有增加的趋势,氨

含量随着时间延长而逐渐释放,且释放量远大于早期释放量。后期缓释的氨对混凝土拌合物有明显影响,会造成混凝土拌合物冒泡多孔,而这些缓释的氨含量已超出该试验方法的时间范围。

已有文献指出,因粉煤灰中有单质铝的存在,金属铝在一定条件下与强碱发生化学反应,生成氢气,并放出热量。

2.2 矿渣粉生产、供应及应用问题分析

2.2.1 生产环节质量问题

我国关于矿渣粉的生产与应用起始于1996年,曾在湖南、广东的一些建筑工程上得到应用^[2]。目前,北京市矿渣粉年用量约250万吨。京津冀区域矿渣粉产能主要集中在唐山,达到5000万吨,实际产量在2700万吨左右,每年约有700万吨矿渣粉供应京津冀混凝土企业,约1000万吨矿渣粉供应唐山本地水泥企业,还有1000万吨矿渣粉海运至南方市场。

从矿渣粉生产来看,尽管其首要目的是处理炼铁企业的固体废弃物,但生产过程并不像粉煤灰那样简单。矿渣粉的生产需较大的初期投入,需较先进的生产设备、较完整的生产和技术质量管理体系,有工艺过程控制和出厂检验。因此,矿渣粉生产与粉煤灰相比要先进和规范,更具产品属性,质量稳定性较高。

矿渣粉企业是钢铁产业链的下游,钢厂钢渣尾渣的堆存或填埋已无法满足环保要求,处置难度很大,钢渣磨细成本高、活性低、安定性差,应用和销售困难,因此,会加入部分钢渣与矿渣联合粉磨制备成钢铁渣粉销售。在利益驱使下,某些无水渣的矿渣粉企业,为降低产品成本,在生产过程中存在掺假。在京津冀地区,有钢铁企业实际生产钢铁渣粉(70%矿渣粉+30%钢渣粉),但却以矿渣粉产品进行销售。无水渣来源的独立矿粉企业缺乏原料保障,加之水渣价格高昂,在生产中掺入钢渣尾渣、脱硫灰、粗灰、炉灰、石粉等物料,同样以矿渣粉产品对外销售。上述产品显然不符合GB/T 18046-2017《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》,其以矿渣粉名义进行销售和使用的行为给混凝土及其制品的质量造成了巨大风险。

2.2.2 供应环节质量问题

2003年矿渣粉刚在北京推广应用时,矿渣粉生产厂家直接向搅拌站销售矿渣粉,没有中间商转销模式,但后来很多中间商借鉴粉煤灰销售模式,从中赚取高额利润。总体来说,矿渣粉生产厂家直供搅拌站的模式目前仍占主要地位。中间商模式最初以抵账方式出现,中间商通过为搅拌站找货源销售矿渣粉,从中获利。随着中间商供应矿渣粉的现象有逐渐扩大的趋势,由此带来的质量隐患不容忽视。

2.2.3 应用环节的突出问题

1) 混凝土表面存在明显色差

部分矿渣粉混凝土浇筑成型后局部发绿,色差较明显,影响构件表观质量。

2) 假矿渣粉需水量大造成工程质量事故

从全国范围看,因矿渣粉质量问题造成的质量事故并不少见。据了解,某市一座24层写字楼于2016年2月发现中部层区部分钢管混凝土柱开裂,从裂缝处喷出湿浆体,后从个别柱子中放出数百公斤水,混凝土强度不足,质量

问题严重。经检测,所用掺合料为假矿渣粉,造成C60钢管混凝土变得异常粘稠,施工人员为便于施工大量加水,水被封闭在钢管柱内,酿成事故。

3 解决矿物掺合料应用问题的基本思路

3.1 出台矿物掺合料使用指导意见

政府相关部门应联合出台矿物掺合料使用指导意见,要求预拌混凝土企业进一步加强掺合料进场检测力度,增加检测频次。加强合格证、型式检验报告等质量证明文件管理。鼓励混凝土企业与矿物掺合料生产企业联动监管模式,对于矿物掺合料生产、运输和使用全流程加强管控,持续对违规、违法行为采取高压手段,加大惩戒力度,大幅提高违规、违法成本,对矿物掺合料的使用起到规范和引导作用。

3.2 从供给端入手规范矿物掺合料供应行为

1) 制定《矿物掺合料采购合同》示范文本

规定具体的质量控制指标和验收标准,进一步明确双方的权利和义务。

2) 开展预拌混凝土粉煤灰供应商市场供应行为分级管理

依据粉煤灰生产和销售企业供应行为,进行分级管理。动态掌握北京市粉煤灰供应的生产企业和经销企业的数量、规模、生产量、供应量、保证能力、供应产品质量等情况。依据供应行为对供应企业进行分级,并进行社会公示。监管部门及预拌混凝土搅拌站对公示信息进行采信,共同做好矿物掺合料使用风险防控。

3) 进一步发挥“采购信息填报平台”作用

依据北京市建委发布的《关于开展建设工程材料采购信息填报有关事项的通知》(京建法〔2018〕19号),除各站点采购信息填报外,进一步做好掺合料生产和供应商信息填报,实现采购来源、采购过程的可追溯,定期进行总结和信息公开。

4) 中长期来看,探索建立全流程信息管理与查询平台

矿物掺合料管理必须进行信息化和智能化升级,以提高管理效率。作为中长期目标,建议以市场为主导,由相关行业协会、第三方检测机构、生产企业、终端用户及智能化服务提供商等共同打造集成“智能制造+物流运输+终端客户”的全流程信息管理与查询平台。通过平台,可随时查询每辆运输车的全程轨迹及时间节点,对流通环节实施精准监管。

3.3 从使用端入手规范矿物掺合料使用行为

对DB11/T 1029-2013《混凝土矿物掺合料应用技术规程》进行修订,主要涉及:

1) 增加快速检测项目,包括采用600倍以上放大镜观察矿物掺合料颗粒形貌以快速鉴定真伪,采用半坍落度试验方法快速测定掺合料对混凝土性能的影响等。

2) 根据需要增加矿物掺合料进场检测频次。

3) 为确保掺合料混凝土氯离子含量不超标,规定对不同掺合料用量的混凝土拌合物进行水溶性氯离子含量检测,并根据需要确定检验频次。

4) 根据调研结果,增加白云岩石粉作为掺合料品种,并规范其技术要求。支持相关协会制定白云岩石粉在预拌混凝土中的应用技术规程团体标准,为进一步提升混凝土矿物掺合料使用和质量管控水平提供指导和依据。

5) 降低混凝土中粉煤灰最大掺量,提高混凝土质量稳定性。

6) 充分试验粉煤灰氮含量检测方法,通过氮含量检测,有效规避粉煤灰冒泡问题。

3.4 加强省市之间、市级部门之间沟通协同

各部门立足自身职能,在“放管服”框架内充分发挥管理优势,加大使用监管,约束销售行为。建立联席会议制度,在“京津冀一体化”背景下,与属地生产管理部门联动,提高矿物掺合料生产和供应质量。

3.5 加强使用监督管理和指导服务工作

依据相关政策标准,加大矿物掺合料采购使用情况检查和质量状况抽检力度,进一步规范使用行为。开展相关培训,进行经验交流,提升行业认识和应用技术水平。

4 结语

1) 矿物掺合料在预拌混凝土中的应用并不局限于降低成本和消纳工业固废,其规范应用可有效改善预拌混凝土性能,已成为预拌混凝土的重要功能组分之一。因此,开展矿物掺合料的应用研究,掌握矿物掺合料的相关规律,建立全流程质量管控措施,具有重要意义。

2) 由于矿物掺合料属于固体废弃物,质量稳定性存在天然缺陷,且生产、销售与供应环节监管困难,给应用过程造成巨大压力,产品质量问题频发,工程质量隐患凸显,如何解决矿物掺合料生产、销售、供应与使用过程中的突出问题迫在眉睫。

3) 北京市建筑节能与建筑材料管理办公室委托北京市混凝土协会开展矿物掺合料应用管理研究,旨在调查矿物掺合料应用过程中存在的问题,摸清矿物掺合料应用现状,在此基础上,依靠各方力量找出可靠解决办法,提高矿物掺合料的应用与管理水平,降低工程质量隐患。

参考文献

[1] 黄士元. 从西方国家的“粉煤灰热”谈我国粉煤灰的利用[J]. 硅酸盐建筑制品,1982(02):4-9.

[2] 蒋家奋. 矿渣微粉在水泥混凝土中应用的概述[J]. 混凝土与水泥制品,2002(3):3-6.