

The Risk and Identification Method of Steel Slag as Aggregate for Construction Engineering

Hui Xie Haile Shuai Yuan Yang

Guizhou Zhongjian Architectural Research and Design Institute Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550000, China

Abstract

This paper mainly studies the application risk and risk identification method of steel slag as aggregate for construction engineering. In the research process, the basic situation of the use of steel slag as construction engineering aggregate is first expounded, that is, steel slag is applied in the form of coarse aggregate and fine aggregate. Subsequently, the risk of steel slag as construction aggregate was studied in depth, and the steel slag was easy to cause problems such as expansion and structural cracking of concrete structures in construction projects due to its poor stability, thereby reducing the safety and stability of construction engineering structures. Finally, the identification method of steel slag as construction aggregate was summarized. It is hoped that this study will provide a reference for the application of steel slag as aggregate in construction engineering and improve the application efficiency of steel slag.

Keywords

steel slag; construction engineering; aggregate; risk; identification methods

钢渣作建筑工程骨料的风险和鉴别方法

谢辉 帅海乐 杨垣

贵州中建建筑科研设计院有限公司, 中国·贵州 贵阳 550000

摘要

论文主要对钢渣作为建筑工程骨料时的应用风险以及风险鉴别方法进行研究。在研究过程中首先阐述了钢渣作为建筑工程骨料使用的基本情况,即钢渣以粗骨料和细骨料的形式应用。随后对钢渣作为建筑工程骨料的风险情况进行深入研究,钢渣由于自身安定性较差,容易引发建筑工程混凝土结构膨胀以及结构开裂等问题发生,进而降低建筑工程结构的安全性与稳定性。最后总结归纳钢渣作为建筑工程骨料的鉴别方法。希望通过本次研究为建筑工程应用钢渣作为骨料提供一定参考借鉴,提高钢渣的应用效率。

关键词

钢渣; 建筑工程; 骨料; 风险; 鉴别方法

1 引言

将钢渣作为骨料应用到建筑工程中,不仅解决了建筑行业河砂短缺的问题,同时有利于废物利用与环境保护,能够显著提高资源综合应用效果。但是,钢渣具有较大的化学成分波动性与较差的易磨性,如果应用不当很容易引发建筑工程安全事故,所以有必要对钢渣作为建筑工程骨料应用的奉献与鉴别方法进行深入研究^[1]。

【课题项目】中国建筑土木工程材料重点实验室项目(项目编号:CSCEC-PT-002);中建股份科技项目(项目编号:CSCEC-2022-Z-32);中建四局科技项目(项目编号:CSCEC4B-2022-KTA-5)。

【作者简介】谢辉(1989-),男,中国贵州贵阳人,本科,副高级工程师,从事绿色建筑建材检验研究。

2 钢渣作建筑工程骨料概述

将钢渣作为建筑工程骨料使用的过程中,可将钢渣分成粗细两种类型的骨料,但是在现阶段的建筑工程结构混凝土相关管理规范中,均没有对钢渣粗细骨料的应用制定明确的规范标准。在《钢渣应用技术要求》中对钢渣的应用进行简单的描述,可将钢渣制作成粗骨料或细骨料,应用到沥青混合料、砂浆以及砖砌块中。《道路用钢渣》的国标规定了以矿渣为原料生产的粗集料。在中国现行的《外墙外保温抹面砂浆和粘结砂浆用钢渣砂》《水泥混凝土路面用钢渣砂应用技术规程》等国家标准中,均对使用矿渣作集料进行了规定。以上提到的以钢渣作建筑工程骨料的规范都对钢渣的安定性进行规定,一般以蒸压粉化率或者浸水膨胀率作为衡量指标^[1]。其中浸水膨胀率需要在90℃环境下进行水浴养护,在一段时间后将钢渣中存在的氧化钙以及氧化镁等成分消除,并进行了体积膨胀测试。蒸压粉化率是指在饱和蒸气压力达到2.0MPa的环境下,经过3h的蒸压处理与粉

化处理,粒径在 1.18mm 之下的钢渣颗粒的占比指标。将钢渣作为粗骨料应用到沥青混合物中的研究已经比较常见,且在实际工程项目中也存在应用案例。但是要注意的是,在建筑工程中将钢渣作为骨料是否会引发路面、沥青混合物以及砂浆砌块等工程质量的问题,还有待于更多的科研与长期观测^[2]。

3 钢渣作建筑工程骨料的风险

在冶炼过程中,钢渣中所含的游离氧化钙和游离氧化镁等物质会使其稳定性变差,同时,在冶炼过程中,钢渣中的游离氧化钙(如镁、铁等)溶解在钢液中,会使游离氧化钙的水合作用大大减弱,从而延缓了水化反应的速率,而烧结后的氧化镁则主要为方镁岩。水泥基材料由于其内部存在着大量的化学活性,一般称为“死烧状态”,并且在水泥中的活性分解速度很慢,一般被假设在 10~20 年内仍然处于水化过程,这段时间内会产生碳酸氢钠和氢氧化镁等物质,使得其固态体积增加一到三倍,导致部分区域的体积膨胀。由于钢渣中含有大量的矿渣,其内部会发生较大的溶胀,从而导致钢筋砼的强度降低,从而降低钢筋砼的强度和耐久性。

钢渣掺加到水泥砂浆中会带来一些现实问题,如某学校宿舍建筑结构中,在生产过程中加入了大量的矿渣,这些矿渣中的游离氧化钙和游离氧化镁在水泥砂浆中产生了大量的体积膨胀,从而导致了混凝土的开裂。陈化后的钢渣用于地基回填和路面基层时,由于钢渣的体积增大,导致结构产生裂缝,而基层也会因为膨胀而出现凸起,从而导致路面出现裂缝,从而导致路面出现裂缝^[2]。目前,关于钢渣在混凝土中的使用,其稳定度的准则还没有一个清晰的、一致的准则可供参照,并且每个钢厂的冶炼过程都不尽相同,其化学组成、物理性能和矿物质成分都存在着很大的差别,其稳定性也存在很大的差别。目前尚无相应的理论依据,无法将其应用到实际生产中^[3]。

目前关于钢渣中二价金属氧化物固溶体系的生成机理及反应机理还不清楚。当钢渣处于 1600℃ 时,由于钢渣中 FeO、MnO、MgO 等成分发生溶解,生成的过渡族元素会发生团聚。经降温处理,得到反渗透液固态熔融物。分析各种类型的钢渣中氟氧化钙、氟氧化镁的赋存形态对其体积稳定性(反渗透相)的作用,发现反渗透膜的固溶解形态比较稳定,并不能促进反渗透膜的形成;固化后的反渗透液对炉渣的体积稳定性没有影响。通过对低碱度钢渣的矿物成分、岩相特征及膨胀性能的研究,发现反渗透相在高温高压下不会导致钢渣发生肿胀,且无需任何前处理即可使用,说明在低碱性钢渣中反渗透相的固相处于相对稳定状态。不是造成钢渣膨胀的因素。此外,RO 相的水活化性与氧化镁和氧化铁物质的量比存在一定的关联情况,会随着量比增加而出现下降的变化。

钢渣在混凝土或者水泥混合物中的掺和量相对比较少,在一般情况下会控制在 30% 之内。而且钢渣粒径较小,不易发生非均匀膨胀。然而,钢渣颗粒在整体上会表现出大小不一的情况,各种矿物特别是 f-CaO 与方镁石在钢渣中的分散程度并不均匀,甚至同一批次的钢渣中个别颗粒形态与成分也大相径庭,有的疏松,有的致密,且在颜色上也存在一定的差异,如深黑色、红褐色浅黑色等。所以这些成分在不同的钢渣粉中所包含的各种矿物质成分的数量也会出现较大的起伏,并且各矿物质的结晶度也各不一样。由于受水蒸气影响,钢渣中 f-CaO 与方镁石在水蒸气作用下形成的体积膨胀内应力不均衡,从而导致了混凝土的干缩、裂缝等问题。

在混凝土浆液中加入不同颗粒大小的钢渣骨料,其性能也有很大差异。如果将细小的钢渣砂加入混凝土中,则会与其中的水泥形成一个细小钢渣砂的净浆,同时钢渣砂的比表面积更大,与水蒸气发生更多的接触,从而导致了更大的体积膨胀裂缝,具体体现为:在混凝土中形成松散、无粘结的砂浆。如果将大粒径的钢渣粗集料加入混凝土中,则因为混凝土为悬浊液,而且整个集料的比表面积很小,与水蒸气接触的 f-CaO、方镁石含量很低,部分钢渣粗集料会冲破混凝土的束缚,导致混凝土开裂、脱落。可以看出,钢渣集料对混凝土的损伤较大。

4 钢渣作建筑工程骨料的风险成因

钢渣是在高炉氧气熔炼脱碳、硅、磷过程中所生成的废渣,其中掺入的生石灰、轻烧白云石、镁球等原料尚未发生充分的化学反应,导致大量的 f-CaO、方镁石(游离状态的 MgO)和 RO 相(MgO、FeO、Mn)的存在,是导致钢渣发生膨胀现象的重要因素。由于 f-CaO 在液相、高温(1600℃)条件下长期稳定地存在,使得 f-CaO 在高温下(1600℃)生成的大尺寸、致密的晶体结构,并且具有更多的 Fe、Mg 等离子,导致其水化性能明显下降。为了防止高 FeO 对转炉炉衬的腐蚀,在转炉生产过程中添加的镁球、轻烧白云石等也会在炉渣中引入少量 MgO,其含量在 3%~14%。方镁石中含有大量不充分的氧化镁,其水化速度较慢,且在水合过程中生成氢氧化镁,且体积增大 148%。此外,钢渣中还含有 MgO、MnO、FeO 等二价氧化物形成的固溶-反渗透相,针对反渗透相能否对钢渣的体积稳定性产生影响这一问题,一些学者提出 RO 相不是完全惰性的,而是在 MgO 含量超过一定限值时;在高压蒸汽状态下表现出活跃状态,将导致毁灭性的肿胀。镁粉在限制范围之内时,由于镁粉的体积膨胀可以补偿产品的收缩,有利于产品的使用寿命。由此可以得出,造成钢渣热膨胀的根本因素是掺入了 f-CaO 和方镁石。各钢厂在各阶段生产的钢渣中含有的 f-CaO、方镁石的数量各不一样,再加上存放的时间也各不一样,导致了钢渣的体积变化很大,这对下游客户来说是一个很大的隐患。

5 钢渣作建筑工程骨料的风险鉴别方法

5.1 f-CaO 含量的测定

钢渣中存在的 f-CaO 是影响钢渣体积安定性的主要因素,其含量能直接反映钢渣膨胀率的大小,故对其进行有效的测定是评判钢渣体积安定性的有效方法之一。测定钢渣中 f-CaO 含量的方法居多,主要是通过化学试剂对 f-CaO 进行浸取,不同的浸取方法区别在于选取不同的萃取剂,目前国内主要萃取剂有硝酸铈-乙二醇、甘油-乙二醇和乙酸乙酯等。乙二醇-EDTA 法选择乙二醇溶液浸取钢渣中的 f-CaO,用 EDTA 络合滴定法测定其含量,此方法的缺点在于测试的结果为 f-CaO 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的总量,近几年大多数钢厂会对产出的钢渣进行热泼、水淬、风淬和热焖等冷却措施,这导致 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 会在钢渣中生成,此方法误差较大,并不适宜于这类钢渣。乙二醇-EDTA-TG 差热分析法,在乙二醇-EDTA 法基础上,根据 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在高温条件下会受热分解为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 H_2O ,通过热重分析仪测定脱水的质量,计算出钢渣中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的含量,两者之差为钢渣中 f-CaO 的含量,由于其精度高、测试方法简单,是测定钢渣中 f-CaO 的主要方法。采用 J 值法测定钢渣中的 f-CaO 含量,根据 X 射线物相定量对钢渣中的 f-CaO 进行分析^[1]。结果表明,此方法准确度高于乙二醇 EDTA-TG 差热分析法,但此方法操作复杂,没有合适的方法进行对照,还需要对其中的数学处理方法进一步改进。与此同时,可利用硝酸铈-乙二醇浸取钢渣中的 f-CaO,浸取后用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定钢渣中 f-CaO 的含量,所得测定值的相对标准偏差较低,与标准方法的测定值、标准样品的认定值基本一致,此方法简单、快速,准确度和精密度均较好,但设备要求较高。此外,还可以通过分光光度计测定乙二醇钙的吸光度,建立浓度与吸光度的关系曲线,从而测定水泥中 f-CaO 的含量,结果表明,此方法产生的误差大约为乙二醇 EDTA-TG 法的 1/2,工作效率为乙二醇 EDTA-TG 法的 17~21 倍,有更高的准确性,降低了检测成本,但此方法操作难度较大。

5.2 f-MgO 含量的测定

f-MgO 与 f-CaO 相比之下具有较慢的水化速度,是影响钢渣使用安定性的一个重要原因,因此需要对 f-CaO 进行定量检测。主要用乙二醇作为浸取剂进行鉴别分析。例如,可采用正交试验法,以氯化铵作催化剂,采用正交试验法从钢渣中萃取出 f-MgO,实验证明 f-MgO 的回收率达到 97%

以上,且该技术在钢铁企业生产的钢渣实验中应用,其鉴别的测量精度误差能够达到 2.2% 以内,但是整个测量操作过程相对比较复杂繁琐。可采用硝酸酒精萃取钢渣中 f-MgO,经正交实验筛选出较优工艺参数,其与上述方法具有一定的相似度,准确度较高,但是同样存在操作复杂的问题。可采用碳酸盐法测试钢渣中 f-MgO 的含量,经过实践能够发现 CO_2 与 MgO 的反应度达到 97%,且其测量值与原始炉渣中 MgO 的测量值维持一致,其测量精度误差控制在 1% 以内,该方法具有操作简单、操作简便、操作简便等优点。可在无水乙醇条件下,以乙二醇为溶剂从炉渣中提取 f-MgO,并利用 EDTA 滴定法进行了 f-MgO 的含量测量,得到了以掺入纯 MgO 为指标的炉渣中 f-MgO 的平均回收率为 96.5%,而相对误差为 1.3% (试验 5 组资料),该方法具有精度高、易掌握等优点,是当前最广泛使用的一种检测技术。当前,在影响钢渣质量不稳定的主要原因方面,诸如 f-CaO、f-MgO 等,已经取得了很好的发展,但其测量方式比较繁琐,尚无通用的测量方法。目前,针对钢渣反渗透相及铁系矿物的测试尚无精确的手段,原因在于我国相关研究工作尚处于起步阶段,而 RO 相与 Fe 矿物组成较为复杂,测试难度较大。通过对不同鉴别方法的比较分析,能够对不同方法的优势与劣势进行总结与规划,以此确定不同方法的实际应用情况。

6 结语

通过本次研究能够得出结论,将钢渣作为建筑工程中的骨料应用会存在一定的风险问题,由于钢渣自身安定性较差,容易导致建筑结构在后续应用期间出现开裂的问题,对建筑工程的安全性及稳定性造成一定的影响。因此,在应用钢渣作为骨料时需要对其风险情况以及相关鉴别方法进行深入研究,并结合建筑工程实际情况制定行之有效的方法,才能够保证钢渣在建筑工程中的应用效果,实现废物利用的同时,进一步提高建筑工程项目成本效益,并为建筑行业的创新发展提供新的思路。

参考文献

- [1] 曾凡波,刘喜华,张亮亮.钢渣作建筑工程骨料的风险和鉴别方法[J].冶金标准化与质量,2023,61(3):37-39.
- [2] 郭盼盼,刘巧玲,秦浩,等.混凝土中钢渣骨料的鉴定与分析[J].新型建筑材料,2023,50(3):37-41.
- [3] 刘玉涛,何骏伟,陈万里.不良钢渣骨料混凝土快速检测识别技术[J].建筑施工,2023,45(3):584-588.