

改性再生骨料混凝土力学性能试验研究

刘 翠

(山东鲁勘集团有限公司, 山东 济南 250104)

摘 要 随着建筑废弃物的持续增多, 借助再生骨料生产混凝土成为资源循环利用的关键途径, 再生骨料自身有着吸水率高、强度欠佳等缺陷, 对其在工程中的广泛应用形成限制, 本文探讨了改性再生骨料对混凝土力学性能产生的影响, 实施系统的试验检测, 审查不同改性手段对混凝土抗压、劈裂抗拉及抗折强度等性能的提升效果, 以期改性再生骨料混凝土的工程应用提供理论依据与技术支持。

关键词 再生骨料; 混凝土; 表面改性; 力学性能; 试验研究

中图分类号: TU528

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.18.003

0 引言

因建筑垃圾大量产生, 资源浪费和环境污染问题日益突显, 再生骨料的使用已成为解决此问题的有效手段, 但基于再生骨料性能较差, 直接添加到混凝土中会明显改变其力学性能^[1]。因此, 本文借助物理、化学等改性手段提高再生骨料混凝土性能, 通过实施系统的试验研究, 探求改性再生骨料混凝土力学性能提高的成效。

1 再生骨料及改性技术综述

1.1 再生骨料的来源与特性

建筑废弃物是再生骨料 (Recycled Aggregate) 的主要来源, 如拆除下来的混凝土结构、废弃的砖石、毁坏了的道路混凝土等, 经破碎、筛分、除杂等处理工艺后, 可把这些废弃材料加工为粒径达要求的骨料, 用以生产再生混凝土。再生骨料分为再生粗骨料 (粒径大于 4.75 mm) 以及再生细骨料 (粒径小于 4.75 mm) 两种类型^[2]。对比天然骨料, 再生骨料显现出以下特性: 其表面有着粗糙、多孔的现象, 孔隙率较高, 引起吸水率增大、密度减小; 其骨料表面往往附着残余的水泥浆, 表现出界面弱化地带, 影响与新拌水泥浆粘结性能的发挥; 再生骨料的强度及耐久性一般低于天然骨料, 这对其在高性能混凝土中的广泛应用造成了限制。

1.2 改性技术分类与发展现状

为推动再生骨料的性能优化, 优化其在混凝土中的应用效果, 研究人员探索出多种改性技术, 主要的改性技术可分为物理改性、化学改性和综合改性三大范畴。物理改性技术涉及热处理、机械搅拌、微波处

理等途径, 主要采用物理方法剥离骨料表面的剩余浆体、改良骨料表面形态。借助高温热处理可除去部分附着浆体, 增大骨料密实性; 机械搅拌或者采用摩擦滚筒处理可加大骨料表面粗糙度, 增强界面粘结强度, 但物理方法所消耗的能量较大, 处理成效欠佳, 化学改性技术主要依靠浸泡、喷涂等方式实现, 促使改性剂与骨料表面产生化学作用, 以此提高骨料的物理及化学性质。

1.3 改性再生骨料的适用性分析

尽管改性技术在实验室阶段取得了不错的成效, 但其工程应用的适用性仍需进一步分析, 不同改性途径对骨料性能提升的效果不同, 要结合实际工程需求、混凝土性能目标进行选取。普通结构混凝土可采用简单的化学浸泡办法, 高性能混凝土或预制构件则必须采用纳米复合改性等更有效的手段。改性工艺的经济特性和操作可实施性是推广应用的关键, 某些高效改性方法成本较大、处理流程繁杂, 无法有效应用于大规模施工现场。

2 试验设计与试件制备

2.1 试验材料与改性方法

本试验主要采用的材料有水泥、天然砂、改性再生粗骨料、水以及外加剂等, 选定 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥作为本次水泥, 具备良好的稳定性能及强度属性, 把天然砂当作细骨料, 其细度模数呈现为 2.6, 含泥量低于 1.5%, 符合《普通混凝土用砂》标准所提出的要求。再生粗骨料源自旧混凝土构件的拆除, 经筛分、消除杂质、清洗处理后得以运用, 其粒径大小是 5 ~ 20 mm, 质量符合《再生粗骨料》GB/T 25177—2010 的规定,

在本项研究中,采用硅烷偶联剂作为主要的化学改性剂,其特征是能在再生骨料表面形成一层致密的硅氧烷膜,极大地降低其吸水率并强化界面粘结性能。实现改性的工艺操作流程如下:首先对再生骨料进行预先清洗,之后自然风干24小时;然后把再生骨料浸泡在5%浓度的硅烷溶液中,浸泡时间设定成2小时;最后把骨料取出,进行24小时晾干,待骨料表面无明显游离液体后留用,除采用化学改性外,也可引入机械搅拌法当作对比处理方式^[3]。

2.2 试验混凝土配合比设计

为系统性分析改性再生骨料对混凝土性能的影响,试验一共设计了四组混凝土配合比,分别对应采用天然骨料、未实施处理的再生骨料、由机械处理得到的再生骨料和由化学改性得到的再生骨料,各混凝土组均维持相同的水胶比与骨胶比,以保障变量调控的科学性。基础配合比设计按照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55—2011,把水胶比设为0.45,砂所占的比例为38%,水泥的投放用量为380 kg/m³,所用水的用量为171 kg/m³,细骨料(天然砂)约为700 kg/m³,粗骨料(无论是再生还是天然)为1 150 kg/m³。为提高工作效能,恰当添加(聚羧酸系)减水剂,掺量把控在水泥质量的0.8%,在再生骨料实施替代期间,在所有再生组试验里,均以100%的替代率替换天然粗骨料,为更清晰地体现其力学性能的变化走向,由于再生骨料表现出高吸水率,为达到混凝土拌合物有效水灰比的要求,试验开始前要对其进行预湿处理,避免因表面吸附水而造成影响^[4]。

2.3 试件成型与养护过程

为整体评价混凝土的力学性能,试验设计的试件为100×100×100 mm的立方体抗压强度试件、Φ100×200 mm的圆柱体劈裂抗拉试件以及100×100×400 mm的棱柱体抗折强度试件,每组混凝土各类别的试件均制作3个以上,提取其平均值进行对比剖析。混凝土的拌合采用强制式搅拌机完成,其搅拌顺序为:先投入干料搅拌30秒,再按次序添加水与外加剂,应将总搅拌时间控制在3分钟时长内,拌合物完成拌制以后,需于30分钟内完成入模事宜,入模时进行两层振捣,每层实施15秒的振捣操作,保障混凝土密实,不出现气泡。试件处于室温的条件下静置24小时,脱模后旋即转入标准养护室实施养护,养护所要求的温度为(20±2)℃,相对湿度超出95%,试件养护至7天、28天龄期之际,分别着手力学性能测试事宜,以审视再生骨料不同改性处理对混凝土各项性能指标的影响。

3 力学性能试验结果分析

3.1 抗压强度试验分析

抗压强度是衡量混凝土结构承载能力的首要指标,对其使用寿命与安全性起着决定性作用,本次试验于混凝土龄期为7天和28天的时候,实施不同类型试件的抗压强度测定,所采用试件规格是100×100×100 mm立方体,依照《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081—2019开展加载及记录工作。试验结果显示,未处理再生骨料混凝土抗压强度相较于天然骨料混凝土显著降低,7天和28天的强度分别出现约14.2%和17.6%的下降,这主要归结于再生骨料表面残留着旧浆体以及孔隙率偏大,使界面过渡区(ITZ)的密实性下降,相较于未处理组,机械处理组的抗压强度稍有增强^[5],提升范围大致是5%~7%,依靠转筒进行搅拌,有部分松散浆体被剥离掉,优化了骨料表面的结构,提高了新水泥浆体的粘结力度,化学改性组呈现出最佳表现,28天抗压强度大体接近天然骨料混凝土,强度增长幅度达到12%以上。

3.2 劈裂抗拉强度测试

评价混凝土抗裂能力及韧性的重要参数是其抗拉性能,劈裂抗拉试验可显示其在实际工程施工中抗拒裂缝扩展的能力,试验采用直径100 mm、高200 mm的圆柱体,遵照标准加载速率实施检测,相较于天然骨料混凝土,未处理再生骨料混凝土的劈裂抗拉强度降低约18%,反映出其抗裂性能较差,主要原因是界面过渡区结合不紧密,裂缝较易沿界面拓展,欠缺有效的力传导路径,机械处理组劈裂强度稍有改进,但增强的幅度不明显,表明仅靠清理表面不能显著提升界面的粘结力,界面微观结构依旧存在缺陷,化学改性组的抗拉强度呈现出明显的增强趋势,甚至略高于天然骨料混凝土的水平,尤其是到了28天龄期的时候,提升效果极为显著^[6]。

3.3 抗折强度性能研究

抗折强度呈现出混凝土抵抗弯曲荷载破坏的能力,尤其适用于评判板类、梁类构件的力学性能,此试验运用100×100×400 mm的棱柱体试件开展,开展三点的加载,记录试件的极限破坏荷载数值,实测结果显示,天然骨料混凝土的抗折强度达最高水平,未处理再生骨料组的抗折强度为最低,平均约降低20%。其断裂面多数沿着骨料和浆体的界面处产生损坏,体现出明显的脆性断裂表象,未处理组与机械处理组相比,后者提升约8%,改进的效果欠佳,但破坏形态稍显变化,

断面呈现出部分贯穿骨料本体的断裂征兆,说明界面粘结的稳固性有所增强,化学改性组抗折强度提升效果明显,28 天强度提升幅度高达 15%,部分试件破坏呈现出塑性弯曲的走向,显示出不错的变形协调性以及后期承载能力,这说明硅烷类改性材料切实增强了界面结合强度,加大了整体结构的抗弯能力与韧性。

4 改性机理与工程应用探讨

4.1 改性机制分析

再生骨料表面附着旧的水泥浆体与微裂缝,造成吸水率上升、孔隙率扩展,界面过渡区(ITZ)结构疏松、强度欠佳,是引起混凝土性能下降的主要成因,改性处理的目的是优化骨料表面结构,强化其与浆体的界面粘结功效,以硅烷偶联剂为例,其在骨料表面

水解,最终形成硅氧网状结构,封堵孔隙、强化亲附性,对水泥产物沉积及形成牢固联结有利,同时具有疏水特性,可降低水分的流失,有部分改性材料,如纳米 SiO_2 以及聚合物乳液,还能渗透进微裂缝,与水泥进行化学反应生成水化硅酸钙,进一步增加骨料强度及界面致密性^[7]。

4.2 力学性能提升的本质原因

力学性能的提升并非仅靠改性材料的“覆盖”效应,更关键的是改性后界面过渡区域的微结构优化,引起了混凝土中微裂缝传播路径及载荷传递机制的变化,试验结果表明,进行化学改性后的再生骨料混凝土,其抗压、抗拉及抗折强度均出现明显提高,以 28 天龄期所对应的强度为例,如表 1 所示。

由表 1 中的相关情况可看出,经化学改性手段处

表 1 几组试件性能对比

试件类型	抗压强度 (MPa)	劈裂抗拉强度 (MPa)	抗折强度 (MPa)
天然骨料混凝土	46.5	3.90	5.20
未处理再生骨料混凝土	38.3	3.20	4.15
机械处理再生骨料混凝土	40.7	3.38	4.48
化学改性再生骨料混凝土	44.2	3.78	4.92

理的再生骨料混凝土,其部分力学性能接近天然骨料组标准,原因主要有以下几个方面:

1. 改性后界面区域的孔隙率大幅降低。
2. 骨料和水泥浆之间的粘结强度得以强化。
3. 裂缝延伸的轨迹产生变化,由界面裂开转变为穿透骨料本体,提高了整体承载水平,尤其针对抗折性能方面,经改性处理的混凝土韧性增强,破坏模式由脆性断裂向塑性弯曲过渡,体现出较强的能量吸纳能力及裂缝延展能力。

4.3 工程实际应用建议

虽然改性技术在试验当中显示出良好效果,但在实际推广中仍要结合经济性、施工适应性以及环境因素全面考虑。从经济层面考量,化学改性成本比机械处理的成本高,但它显著增强了混凝土的性能,适用于对结构安全质量要求较高的区域。而针对非承重部位与道路基层等次要结构,可优先采用基础物理处理方式以降低费用,按照施工适应性,推荐在施工现场设置简易改性处理系统,实现再生骨料“即改即可用”。

5 结束语

本文通过对改性再生骨料混凝土实施系统试验展开研究,显示了不同改性技术对混凝土力学性能的积极意义,恰当的改性技术能有效提升其抗压、抗拉、

抗折等性能,切实改善界面过渡区质量,未来要进一步优化改性技术,提高其工程适用水准和经济收益水平,为建筑固废的资源化利用提供更可靠的技术支撑。

参考文献:

- [1] 司政,张露,杜晓奇,等.微生物改性再生骨料混凝土力学性能与本构模型[J].实验力学,2024,39(06):797-809.
- [2] 何奕欣.改性剂种类及溶度对再生粗骨料混凝土力学性能影响研究[J].江西建材,2024(07):34-36.
- [3] 陈昊.强化骨料-钢纤维地聚物再生混凝土力学性能及井壁模型试验研究[D].南昌:东华理工大学,2023.
- [4] 耿世博,邢振贤,孙培钊.改性再生骨料对混凝土基本力学性能的影响[J].四川建材,2020,46(04):1-2,4.
- [5] 司政,司智博,黄灵芝,等.改性再生混凝土力学性能的试验研究[J].建筑科学,2022,38(11):82-89.
- [6] 黄卓杰,陈建国,周靖靖,等.改性再生大骨料混凝土力学性能及本构关系研究[J].混凝土,2022(02):80-84,89.
- [7] 魏金欧.改性再生粗骨料混凝土力学性能试验与细观结构分析[D].信阳:信阳师范学院,2023.