

再生骨料来源差异对混凝土的力学性能影响研究

文加强 申锦洋 汤雨霞

广西建设职业技术学院

摘要：为揭示再生骨料来源差异对混凝土力学性能的影响规律，推动建筑固废精准资源化利用，选取建筑拆除、道路拆除、废弃制品、工业废弃四类再生骨料，以 60% 取代率制备混凝土试件，系统测试其坍落度、7d 与 28d 抗压强度，并结合微观结构分析影响机制。结果表明：再生骨料来源显著影响混凝土力学性能，废弃制品再生骨料所制混凝土综合性能最优；建筑拆除与工业废弃骨料性能较差。界面过渡区缺陷是性能差异的核心原因，废弃制品骨料界面过渡区厚度仅 22 μm ，而工业废弃骨料达 41 μm 。研究成果为再生骨料选用及混凝土配合比优化提供了技术支持。

关键词：再生骨料；来源差异；混凝土；过渡区；力学性能

引言

再生骨料混凝土（RAC）通过废弃混凝土破碎筛分制备再生骨料替代天然骨料，是建筑行业践行“双碳”目标的关键技术^[1]。但现有研究存在不足：多聚焦单一来源骨料，缺乏多来源系统对比；工程标准未充分考虑来源差异对性能的影响；高取代率（60% 及以上）相关研究较少，而高取代率是提升固废利用率的关键。本文选取四类典型来源再生骨料，以 60% 高取代率制备试件，研究其对混凝土坍落度、抗压强度的影响，揭示微观机制，为再生骨料分级应用及再生混凝土规模化推广提供支撑。

1 方案论证

1.1 设计原理

基于“来源分类 - 性能测试 - 机制揭示 - 应用优化”技术路线，建立“来源 - 性能 - 微观结构”关联机制。选取四类典型来源再生骨料，参照 GB/T 25177-2010 标准预处理并测试性能；以 60% 取代率制备试件，设置天然骨料基准组，测试工作性能与力学性能；通过 SEM 观察界面过渡区，揭示性能差异核心机制，为再生骨料分级选用提供理论支撑。

1.2 方案选择

针对再生骨料来源差异对混凝土性能影响的研究需求，现有三类方案对比如下：

（1）单一来源研究法缺乏横向对比，无法揭示来源差异规律；

（2）多来源简单对比法未结合微观分析，且低取代率研究难以满足高固废利用率需求；

（3）本方案选取代表性强的四类来源，采用 60% 高取代率，涵盖宏观与微观性能测试，形成“宏观 -

微观”联动分析体系，可系统揭示高取代率下来源差异的影响规律及机制。

2 实验过程

2.1 原材料性能

2.1.1 再生骨料

选取四类典型来源再生骨料，分别来自建筑拆除现场（多层住宅拆除）、道路维修工程（服役 15 年混凝土路面）、预制构件厂（废弃预应力空心板）、化工厂旧厂房拆除项目（耐酸混凝土结构），强度均为 C30。所有再生骨料经颚式破碎机破碎、振动筛筛分，选取 5-25mm 连续级配颗粒，经清洗、烘干处理后备用^[2]。参照《混凝土用再生粗骨料》（GB/T25177-2010）测试其物理力学性能，结果如表 1 所示。

由表 1 可知，四类再生骨料性能均低于天然骨料，其中 D 类（废弃制品）性能最优，E 类（工业废弃）性能最差，B、C 类介于两者之间^[3]。

2.1.2 其他原材料

水泥选用 P·O42.5R 普通硅酸盐水泥，3d 抗压强度 27.2MPa，28d 抗压强度 46.5MPa，符合《通用硅酸盐水泥》（GB175-2007）要求；细骨料采用天然中砂，细度模数 2.5，含泥量 1.8%，堆积密度 1580kg/m³；拌合水为自来水；减水剂为聚羧酸系高效减水剂，减水率 26%，固含量 32%。

2.2 混凝土配合比设计

以 C30 混凝土为基准，再生骨料取代率设定为 60%^[4]，配合比设计采用预湿 - 补水策略：将再生骨料提前 24h 浸泡，沥干至表面无游离水（控制含水率 3%-4%），根据骨料吸水率调整拌合水量。具体配合比如表 2 所示。

基金项目：广西高校中青年教师（科研）基础能力提升项目《再生细骨料在制备混凝土砌块中的应用研究》（编号：2024KY1215）项目资助。

表 1 不同来源再生骨料物理力学性能指标

骨料类型	堆积密度 /(kg · m ⁻³)	吸水率 /%	压碎指标 /%	老旧砂浆附着量 /%	表观密度 /(kg · m ⁻³)
天然骨料（基准组）	1560	1.2	8.5	0	2730
建筑拆除骨料（B 类）	1420	5.2	17.5	18	2580
道路拆除骨料（C 类）	1480	3.8	14.2	12	2610
废弃制品骨料（D 类）	1520	3.1	11.8	8	2650
工业废弃骨料（E 类）	1380	6.5	21.3	15	2550

表 2 混凝土配合比（kg/m³）

组别	水泥	细骨料	天然粗骨料	再生骨料	水	减水剂	再生骨料类型
基准组	380	680	1120	0	180	4.5	天然骨料
B 组	380	680	448	672	195	4.5	建筑拆除骨料
C 组	380	680	448	672	188	4.5	道路拆除骨料
D 组	380	680	448	672	184	4.5	废弃制品骨料
E 组	380	680	448	672	202	4.5	工业废弃骨料

2.3 试件制备与养护

遵循 GB/T50081-2019 标准：干拌 2min 后湿拌 3min，拌合物分 3 层装入 150mm × 150mm × 150mm 试模，振捣至表面泛浆。室温静置 24h 拆模，标准养护室（20 ± 2℃，相对湿度 ≥ 95%）养护至 7d、28d 龄期，每组 3 个平行试件，取平均值（偏差超 15% 剔除异常值）。

2.4 测试方法

2.4.1 工作性能测试

工作性能：参照 GB/T50080-2016 测试坍落度；力学性能：YES-2000 型压力试验机测试抗压强度（加载速率 0.5mm/min）；微观结构：SEM 观察 28d 龄期试件界面过渡区，测量厚度并分析形貌。

3 结果分析

3.1 工作性能分析

不同来源再生骨料混凝土（60% 取代率）坍落度测试结果如表 3 所示。基准组（天然骨料）坍落度为

205mm，工作性能良好；掺入再生骨料后，坍落度均有所下降，且来源差异显著。

由表 3 可知，D 组坍落度最大（172mm），工作性能最优；E 组最小（105mm），工作性能最差。差异源于骨料吸水率、孔隙率及表面特性：E 组吸水率 6.5%，吸收大量拌合水，且表面粗糙、微裂缝多，颗粒间摩擦力大；D 组吸水率 3.1%，水分损失少，且棱角完整、表面光滑，流动性保持较好。

3.2 力学性能分析

不同来源再生骨料混凝土（60% 取代率）7d、28d 抗压强度测试结果如表 4 所示。基准组 28d 抗压强度为 39.1MPa，再生骨料混凝土各组强度均低于基准组，且来源差异显著。

由表 4 可知，D 组（废弃制品骨料）28d 抗压强度最高，达 32.6MPa，仅比基准组下降 16.8%，力学性能最优；E 组（工业废弃骨料）强度最低，为 23.8MPa，下降幅度达 39.1%；C 组与 B 组分别下降

表 3 混凝土坍落度测试结果

组别	基准组	B 组（建筑拆除）	C 组（道路拆除）	D 组（废弃制品）	E 组（工业废弃）
坍落度 /mm	205	118	145	172	105
较基准组下降幅度	——	↓ 42.4%	↓ 29.3%	↓ 16.1%	↓ 48.8%

表 4 混凝土抗压强度测试结果

组别	7d 龄期		28d 龄期	
	抗压强度 /MPa	较基准组下降幅 /%	抗压强度 /MPa	较基准组下降幅度 /%
基准组	27.6	—	39.1	—
B 组（建筑拆除）	18.2	↓ 34.1%	25.3	↓ 35.3%
C 组（道路拆除）	20.5	↓ 25.7%	28.7	↓ 26.6%
D 组（废弃制品）	23.8	↓ 13.8%	32.6	↓ 16.6%
E 组（工业废弃）	16.5	↓ 40.2%	23.8	↓ 39.1%

26.6% 和 35.3%。建筑拆除骨料混凝土强度较低，主要因其成分复杂，含较多软弱颗粒与杂质，且拆除过程中机械损伤导致骨料内部微裂缝发育^[5]；工业废弃骨料受化学物质侵蚀，内部结构疏松，骨料本身强度较低，进而影响混凝土整体抗压性能^[6]；道路拆除骨料长期承受荷载与自然侵蚀，表面砂浆附着量较少，但内部孔隙率较高，强度表现中等；废弃制品骨料生

产工艺标准化，性能稳定，表面砂浆附着均匀，与新水泥浆体黏结良好，因此强度表现最优^[7]。

3.3 微观结构分析

不同来源再生骨料混凝土界面过渡区 SEM 观察结果如表 5 所示。基准组界面过渡区厚度仅 15 μm，结构致密，无明显孔隙与裂缝；再生骨料混凝土界面过渡区厚度均大于基准组，且来源差异显著。

表 5 混凝土界面过渡区微观分析结果

组别	界面过渡区厚度 / μm	微观形貌特征
基准组	15	结构致密，水化产物均匀分布，无明显孔隙
B 组（建筑拆除）	35	存在少量孔隙与微裂缝，水化产物排列较松散
C 组（道路拆除）	28	孔隙较少，水化产物分布较均匀
D 组（废弃制品）	22	结构较致密，水化产物连续，孔隙率低
E 组（工业废弃）	41	大量孔隙与微裂缝，水化产物不连续，存在明显缺陷

界面过渡区是混凝土薄弱环节^[8]，由表 5 可知：D 组骨料表面旧砂浆附着均匀、强度高，与新水泥浆体结合紧密，界面过渡区最薄（22 μm）；E 组骨料受化学侵蚀，旧砂浆与骨料本体结合薄弱，新水泥浆体水化不充分，界面过渡区最厚（41 μm），缺陷多，导致宏观性能最差。

4 结论

以 60% 再生骨料取代率为核心，探究建筑拆除、道路拆除、废弃制品、工业废弃四类骨料对混凝土性能的影响。结果显示：其一，骨料来源显著影响工作性能，废弃制品骨料混凝土坍落度降幅仅 16.1%，工业废弃骨料降幅达 48.8%，差异源于骨料吸水率、孔隙率与表面特性。其二，力学性能离散性大，废弃制品骨料混凝土性能最优，工业废弃骨料最差。其三，界面过渡区微观结构是核心机制，前者界面致密（厚度 22 μm），后者孔隙、微裂缝多（厚度 41 μm）、黏结弱。因此，废弃制品骨料（Ⅰ级）可用于中低强度承重结构；道路拆除骨料（Ⅱ级）可用于非承重结构；建筑拆除骨料（Ⅲ级）需经表面强化处理后用于次要结构；工业废弃骨料（Ⅳ级）需通过改性处理提升性能，仅推荐用于垫层等非结构部位。

参考文献：

[1] 陈丽呈. 再生骨料取代率对植生混凝土性能的影响研究 [J]. 福建建材, 2025, (10): 7-10.

[2] 陈勇烽. 建筑废弃物再生骨料制备高性能混凝土技术 [J]. 佛山陶瓷, 2025, 35(09): 84-86.

[3] 陈苗苗, 王杰, 冯春花. 包裹强化再生细骨料的强化效果及砂浆性能研究 [J]. 安徽建筑, 2025, 32(10): 135-138.

[4] 赵红霞, 郭桂芬, 代金秋, 等. 再生粗骨料混凝土配合比优化 [J]. 砖瓦, 2025, (10): 51-54+58.

[5] 周炼坤. 再生骨料来源差异对混凝土性能影响研究 [J]. 广东建材, 2025, 41(11): 17-20.

[6] 郑礼群. 再生骨料对混凝土性能的影响研究 [J]. 四川水泥, 2025, (10): 209-211.

[7] 何浩祥, 诸葛福金, 王成龙, 等. 钢纤维橡胶改性再生混凝土力学性能试验及参数影响分析 [J/OL]. 北京工业大学学报, 1-12[2025-11-30]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2286.T.20251014.1506.002>.

[8] 郝全琴, 罗铭涌, 赵玉涵, 等. 骨料粒径和水灰比对再生混凝土界面过渡区的影响 [J]. 兰州工业学院学报, 2025, 32(05): 101-106.