

# 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22μm，而工业废弃骨料达41μm。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撑。

**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<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。

#### 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/m<sup>3</sup>；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%<sup>[4]</sup>，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 <sup>-3</sup> )	吸水率 / %	压碎指标 / %	老旧砂浆附着量 / %	表观密度 / (kg · m <sup>-3</sup> )
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/m<sup>3</sup>)

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<sup>[5]</sup>; 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<sup>[6]</sup>; 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<sup>[7]</sup>。

### 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  $\mu\text{m}$ , 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 / $\mu\text{m}$	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<sup>[8]</sup>, 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  $\mu\text{m}$ ) ; 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  $\mu\text{m}$ ), 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  $\mu\text{m}$ ), 后者孔隙、微裂缝多 (厚度 41  $\mu\text{m}$ ) 、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] 陈勇峰. 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.