

再生骨料混凝土用于民用建筑填充结构的力学特性及工程应用探究

罗 晨

湖南南庭投资有限公司 湖南 长沙 410000

摘 要：为解决建筑垃圾资源化利用难题，降低民用建筑填充结构建造成本与碳排放，本文以再生骨料混凝土为研究对象，聚焦其在非承重结构中的应用。采用三因素三水平正交试验，以骨料取代率、养护龄期、骨料级配为核心变量，探究不同变量组合下再生混凝土的抗压、抗拉、弹性模量等力学特性。结合极差与方差分析，明确各因素影响权重与变化规律。依托工程案例验证其适用性，提出配合比优化、骨料预处理等改良措施。研究表明，合理配比的再生骨料混凝土可满足民用建筑填充结构非承重要求，兼具环保与经济优势。

关键词：再生骨料混凝土；民用建筑；填充结构；力学特性；工程应用

引言：随着城镇化推进，建筑拆除垃圾年产量持续攀升，资源化利用成为行业绿色发展核心方向。再生骨料混凝土由废弃混凝土破碎筛分后制备，可有效实现固废循环利用。本文通过正交试验与工程实践结合，探究多因素耦合作用下再生混凝土力学变化规律，优化应用技术方案，推动其规模化推广。

1 再生骨料混凝土试验方案设计

1.1 试验原材料

本次试验原材料选用P·O 42.5普通硅酸盐水泥，各项指标符合通用水泥国家标准；再生粗骨料取自城市老旧民用建筑拆除混凝土构件，经破碎、筛分、清洗处理，剔除杂质与软弱颗粒，骨料粒径控制在5mm~25mm；天然粗骨料采用碎石，粒径匹配再生骨料规格；细骨料为洁净河砂，细度模数2.6；试验用水为普通自来水，不添加外加剂，保证试验数据的准确性。再生骨料相较于天然骨料，表面附着旧水泥砂浆，孔隙率更高、吸水率更大，这是其力学性能差异的核心诱因^[1]。

1.2 试验配合比与试件制备

结合民用建筑填充结构混凝土强度设计要求（C20、C25），采用三因素三水平正交试验设计，选取再生骨料取代率、养护龄期、骨料级配为试验影响因素。其中再生骨料取代率设置25%、50%、75%三个水平；养护龄期设置7d、14d、28d三个水平；骨料级配依据粒径连续程度，设置间断级配（5~10mm）、中级配（5~20mm）、连续级配（5~25mm）三个水平，同时设置0%取代率天然骨料混凝土为空白对照组。统一设定水灰比0.52、砂率35%，依据正交试验组合共制备9组试验试件及1组对照组试件，每组制备3组标准立方体试

件（150mm×150mm×150mm）与棱柱体试件（100mm×100mm×300mm），用于测试抗压强度、劈裂抗拉强度及弹性模量。试件浇筑完成后静置24h拆模，置于标准养护室养护，养护温度20℃±2℃、相对湿度≥95%，到达对应龄期后开展力学性能测试。

1.3 正交试验设计方案

本次正交试验核心探究三因素对再生骨料混凝土力学性能的影响，因素与水平设置清晰明确，正交试验方案如下表所示。

表1 正交试验因素与水平表

试验编号	A-再生骨料取代率（%）	B-养护龄期（d）	C-骨料级配类型
Z1	25	7	间断级配
Z2	25	14	中级配
Z3	25	28	连续级配
Z4	50	7	中级配
Z5	50	14	连续级配
Z6	50	28	间断级配
Z7	75	7	连续级配
Z8	75	14	间断级配
Z9	75	28	中级配

1.4 试验测试指标

本次试验核心测试指标包含不同工况下再生骨料混凝土的立方体抗压强度、劈裂抗拉强度、静力弹性模量，同时观测试件破坏形态、变形特征及应力应变变化规律。试验严格遵循《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T 50081-2019）操作，每组试件测试3次取平均值，剔除异常数据，保障试验结果精准可靠。

2 再生骨料混凝土力学特性试验结果与分析

2.1 正交试验结果与极差分析

通过正交试验测试，得到9组试件力学性能指标，结

合极差分析法分析各因素对力学性能的影响程度，正交试验结果及极差分析如下表所示。

表2 正交试验方案与结果

试验编号	取代率（%）	养护龄期（d）	骨料级配	28d抗压强度（MPa）	28d劈裂抗拉强度（MPa）	弹性模量（×10 ⁴ MPa）
Z1	25	7	间断级配	22.15	2.35	2.75
Z2	25	14	中级配	23.86	2.52	2.86
Z3	25	28	连续级配	25.72	2.71	2.98
Z4	50	7	中级配	20.12	2.18	2.62
Z5	50	14	连续级配	22.05	2.36	2.73
Z6	50	28	间断级配	23.96	2.53	2.81
Z7	75	7	连续级配	18.05	1.96	2.41
Z8	75	14	间断级配	19.92	2.15	2.52
Z9	75	28	中级配	21.83	2.32	2.65

通过极差计算分析可得各因素影响权重：再生骨料取代率极差最大，其次为养护龄期，骨料级配影响权重最小。具体规律为：再生骨料取代率是影响混凝土强度与变形性能的核心因素，取代率升高会显著降低各项力学指标；养护龄期越长，再生混凝土水化反应越充分，强度与弹性模量持续提升，28d龄期性能远优于7d早期龄期；骨料级配中，连续级配骨料填充密实度更高，界面缺陷更少，力学性能最优，中级配次之，间断级配最差。

2.2 抗压强度特性分析

再生骨料混凝土抗压强度随取代率升高而下降。取代率25%、50%、75%、100%时，28d强度较天然混凝土分别下降4.2%、10.8%、18.7%、26.7%。原因在于再生骨料表面附着老旧砂浆，存在微裂缝，界面黏结弱，易应力集中^[2]。再生混凝土早期强度增长更快，7d强度达28d的72%~78%。取代率≤50%时，28d强度≥23.96MPa，可满足C20、C25填充结构要求。

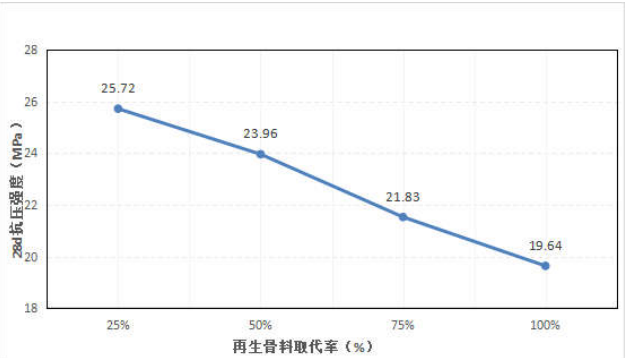


图1 不同再生骨料取代率下混凝土抗压强度变化曲线

2.3 劈裂抗拉强度特性、应力应变规律与裂缝扩展分析

劈裂抗拉强度随取代率升高而降低，100%取代率时

较天然混凝土下降26.6%。原因在于再生骨料界面黏结密实度不足，受拉时易率先开裂。应力-应变曲线显示：低应变阶段呈线性弹性，取代率越低刚度越高；高应变阶段进入塑性，取代率越高极限应变越大；峰值后应力缓慢下降，无突然断裂，再生混凝土受拉韧性更优，可有效抵御填充结构温度变形与沉降裂缝。为进一步量化再生骨料混凝土在受拉过程中的裂缝演化规律，基于断裂力学理论，优化裂缝扩展计算公式，规避易混淆字符，明确参数取值依据。恒定拉应力作用下，裂缝扩展长度

计算公式为：
$$l = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma} \cdot Y \right)^2$$

式中： l 为裂缝扩展长度（mm）； K 为混凝土断裂韧度（MPa·m^{1/2}）； σ 为名义拉应力（MPa）； Y 为几何修正因子。

参数取值依据：断裂韧度 K 取值参考《混凝土断裂试验标准》及同类再生混凝土试验研究成果，结合本次试验骨料取代率梯度确定：0%天然骨料混凝土取0.85 MPa·m^{1/2}，25%取代率取0.76 MPa·m^{1/2}，50%取代率取0.68 MPa·m^{1/2}，75%取代率取0.60 MPa·m^{1/2}，100%取代率取0.52 MPa·m^{1/2}，随再生骨料缺陷占比提升线性衰减。几何修正因子 Y 取值1.12，依据为：本次试验试件为标准棱柱体试件，裂缝为单边贯穿型裂缝，符合规范中单边裂缝试件几何修正系数取值标准，是混凝土断裂力学试验通用取值，适配本次试件尺寸与受力形式。

公式规律表明：裂缝扩展长度与断裂韧度的平方成正比，与名义拉应力、几何修正因子的平方成反比。再生骨料取代率越高，混凝土断裂韧度越小，相同拉应力作用下，裂缝扩展速度更快、扩展长度更长，结构抗裂性能持续弱化^[3]。

2.4 弹性模量变形特性分析

弹性模量测试采用棱柱体试件（100mm×100mm×300mm），在压力试验机上分级加载，测量纵向变形取平均值计算。试验结果显示，再生骨料混凝土弹性模量随取代率提升持续减小。100%取代率试件弹性模量较天然混凝土下降22.1%。再生骨料孔隙率大、刚度低，使混凝土整体刚度降低、变形增大。

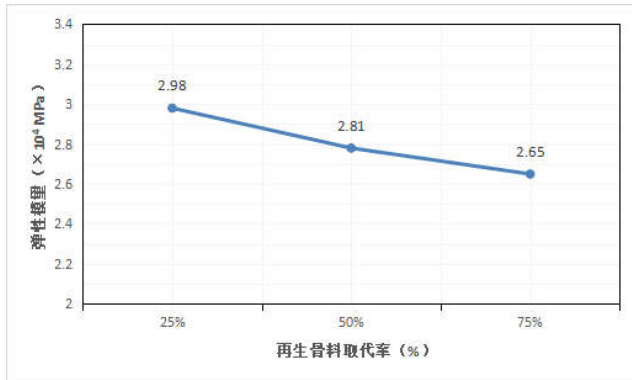


图2 不同再生骨料取代率下混凝土弹性模量变化曲线

3 工程应用实践与技术要点

3.1 工程概况

某民用住宅建筑项目，总建筑面积12600m²，地上18层，框架结构，填充结构包含内墙填充墙、卫生间垫层、楼板后浇带回填等非承重构件。项目秉持绿色施工理念，采用再生骨料混凝土替代传统天然混凝土进行填充结构施工，选用50%再生粗骨料取代率，设计强度等级C20，适配所有填充围护构件受力需求，同时实现建筑垃圾就地资源化利用，降低施工成本^[4]。

3.2 施工工艺要点

一是骨料预处理，对拆除建筑垃圾进行破碎、筛分、清洗，剔除泥土、杂物、软弱骨料，控制骨料粒径均匀，降低骨料吸水率；二是配合比优化，在基准配合比基础上适当增加3%~5%的水泥用量，弥补再生骨料强度缺陷，提升砂浆密实度；三是拌合施工，延长拌合时间30s，保障骨料与砂浆拌合均匀，避免局部孔隙集中；四是浇筑养护，填充墙分层浇筑、分层振捣，杜绝空鼓、蜂窝缺陷，浇筑完成后及时覆膜保湿养护，养护周期不少于7d。

3.3 工程应用效果

项目施工完成后，对填充结构进行全面质量检

测，结果显示再生骨料混凝土填充墙强度、密实度、平整度均符合设计及规范要求，28d实体回弹强度均值23.5MPa，满足C20强度标准。墙体无明显开裂、空鼓、变形等病害，结构稳定性良好^[5]。经济效益方面，再生骨料替代天然骨料，材料成本降低18%左右，同时减少建筑垃圾清运与填埋费用，整体工程造价节约5.2%；环保效益显著，项目累计消纳建筑垃圾860t，有效减少固废污染，契合绿色建筑发展要求。

3.4 应用局限性与优化措施

工程实践发现，再生骨料混凝土存在干缩变形略大、高湿度环境下耐久性偏弱等问题，不适用于潮湿承重结构与高精度承重构件。针对上述问题，可通过添加适量粉煤灰、硅灰等矿物掺合料优化配合比，填充混凝土内部孔隙，降低干缩变形；严格控制骨料取代率，民用建筑填充结构优先采用25%~50%取代率；做好防水防潮处理，潮湿区域填充结构增设防水保护层，提升结构耐久性。

结束语

本文通过正交试验与工程实践相结合，系统探究了再生骨料取代率、养护龄期、骨料级配三因素耦合作用下，再生骨料混凝土在民用建筑填充结构中的力学特性与应用价值。工程实例证实，优化配合比、规范骨料预处理与养护施工后，再生混凝土填充结构质量稳定，经济环保效益显著，适配民用建筑非承重场景。后续需深入研究改性材料对性能的提升效果，优化配合比体系，完善施工规范，推动其在绿色建筑中的规模化应用。

参考文献

- [1]程凯. 再生骨料混凝土抗压强度预测模型研究[J]. 建筑结构, 2026, 56(8):154-160.
- [2]黄文琬. 基于正交设计的花岗岩再生骨料混凝土优化配合比试验研究[J]. 混凝土, 2025(2):172-175, 179.
- [3]刘超, 郝宏媛, 刘立熙, 等. 预浸碳化再生骨料混凝土的动态力学性能研究[J]. 振动与冲击, 2024, 43(19):117-125, 193.
- [4]张海燕, 张磊, 范锦. 复合掺和料下建筑水泥混凝土力学特性试验检测及增强机理研究[J]. 水泥, 2026(6):90-92.
- [5]侯应强, 刘清, 韩风霞, 等. 风积砂再生骨料自密实混凝土自收缩性能及预测模型研究[J]. 混凝土, 2025(4):177-182.