

再生混凝土基本力学性能试验研究

徐翔宇* 任玉龙 谢宇豪 朱志远 潘光磊 陈 昕 陈凯峰
武昌首义学院 湖北 武汉 430064

摘要: 随着社会的发展,建筑垃圾越来越多。正确处置和利用建筑垃圾引起了学者们的关注。循环利用再生混凝土建筑垃圾,建筑垃圾造成的环境压力大大减轻。本文分析了混凝土再生主要力学试验。

关键词: 再生混凝土;基本力学性能;试验研究

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5588-0301-15>

能够循环再生使用的废弃混凝土,用废弃混凝土再生骨料取代天然骨料不仅可以解决大量废弃混凝土的管理和生态退化问题,还可以降低建筑成本建筑业消耗天然集料,减少了天然集料的开采,缓解了天然集料日益短缺的压力,减少了大规模开采造成的生态损害。

1 概况

随着建筑业的快速发展,许多建筑废旧混凝土和被拆除构筑物,大量废弃混凝土产生。常规的混凝土废弃物处理方法不合理使用,也污染环境。对废弃混凝土块进行处理、破碎和分选后,再生骨料按比例混合,可以部分或全部替代天然材料(主要是原材料)的重混凝土被称为再生混凝土。加工混凝土可以促进高效的废弃混凝土回收利用,对环境保护、资源节约和生态系统发展十分重要。近年来,国内在这方面的一系列研究取得了许多成果。近几年来,人口增长,城市规模扩大,社会经济快速发展,建设项目显著加快。但是,建筑的发展也是社会环境的重大负担。另一方面,我们每年建造许多新建筑,以不断消耗自然资源和材料,以应对社会的要求和发展,而我们的建筑在寿命的设计年限,面临着拆除的建筑,产生建筑垃圾多。国内外学者对如何回收垃圾,最大限度地利用垃圾,降低环境负担。再生混凝土是主要在拆除现有建筑、桥梁、桥梁、道路废弃混凝土块,废弃混凝土块过滤、清洗和处理,以此替代再生集料或全部自然资源,减少自然材料的使用、自然资源的消耗和相关的废物问题。但是,混凝土的质量低于天然骨的质量,再生混凝土在混凝土生产中的使用,是因为与之一起使用的建筑材料附着很难清洗。比如木屑、陶瓷、砖块和钢筋。因此,利用力学性能研究再生混凝土尤为重要^[1-2]。

2 再生混凝土力学性能研究

再生混凝土的物理特性尤其重要,各种再生骨料的比例是影响其性能的重要因素。总的来说,再生骨料随着其抗压强度和使用性能的增加而降低,因为被再生骨料取代了其中百分之25到30的天然骨料。从12降至25%抗压强度。再生骨料的替代提高了混凝土的孔隙率,这在很大程度上解释了再生骨料抗压强度下降的原因。同时,再生集料不同类型也能引起抗压强度不同。换句话说,当再生集料的水灰比为0.7时,再生石英岩制造的混凝土的抗压强度比花岗岩和硅质砂岩混凝土分别高15和35%。当水灰比为0.4~0.7时,为再生集料石英配制的混凝土最高抗压强度;

3 再生混凝土耐久性研究

从再生混凝土细骨料的抗碳化强度研究,如水灰比和细骨料取代率,发现再生混凝土碳化水灰比是细骨料的主要因素,粉煤灰取代率次之、再生细骨料。碳化深度再生混凝土骨料随时间增加,粉煤灰取代率、再生细骨料均有所改善。再生骨料混凝土取代率的碳化深度与骨料呈正相关关系,抗碳化性混凝土再生细骨料的优于简单破碎混凝土,天然混凝土低于普通的抗碳化强度。此外,通过对再生混凝土骨料尺寸与碳强度关系的研究,再生混凝土骨料尺寸对混凝土的抗碳强度有显著影响,提高混凝土力学强度是使用减水剂,对建筑垃圾处理的力学强度和稳定性的研究也大大

***通讯作者:** 徐翔宇,男,汉,1981.06.16,山东临沂,硕士研究生,副教授单位:武昌首义学院,硕士研究生,研究方向:固废高性能化与高值化利用研究、结构运维智能化。

减轻了生态环境的负担。然而，混凝土自身的再生限制了其发展，因为其机械性能和耐久性略低于正常混凝土。提高回收材料性能的可能性，如矿物掺加的掺和料纤维等，也是今后研究的优先事项。

4 试验设计

(1) 材料测试。水泥32.5 R，表面密度3100千克/立方米。砂是普通的黄沙，而细模数是2.75。天然粗骨料是连续粒径为31.5或更小的碎石。再生粗骨料基于检测到的钻孔岩心样品强度，抗压强度为37至45MPa废弃混凝土，自来水是拌和水^[1]。

(2) 使用配合比混凝土。分为10组，通常是混凝土编号NC，再生混凝土编号RC，然后是相应的普通混凝土强度等级（C20-C40）。有关更多信息，请参见表1。

表1 混凝土的配合比

编号	单位体积材料用量(kg/ m ³)					坍落度 (mm)
	水泥	砂	碎石	再生粗骨料	水	
NC- 20	337	647	1053	-	185	48
RC- 20	337	647	-	1053	185	35
NC- 25	390	558	1301	0	185	51
RC- 25	390	558	-	1301	185	34
NC- 30	430	555	1295	-	185	46
RC- 30	430	555	-	1295	185	32
NC- 35	462	504	1069	-	185	44
RC- 35	462	504	-	1069	185	28
NC- 40	526	762	1356	-	185	46
RC- 40	526	762	-	1356	185	39

(3) 浇注与养护试件。所有混凝土都是搅拌机50L。投料顺序是先放入黄沙和水泥，然后粗骨料放入，最后水放入，搅拌3-5分钟，然后坍落度测量。坍落度试验完成后，将混凝土混合物注入钢模，24小时后取出模具，保持至28d正常，取出并测试。所有实验都在同一浇注批次中进行。

(4) 测试。采用混凝土力学性能通用方法（GB/t 50081）进行立方体抗压、棱柱体抗压、峰值应变和弹性模量，试验尺寸分别为立方体150×150×150mm棱柱体150×150×450mm。破裂能量RII测试。EM 1985 TC50—FM09三点弯曲梁法，缺口梁试验梁，梁截面高度x 100x 100mm，梁长1200截面深度40mm。

5 试验结果与讨论

5.1 坍落度

各混凝土组情况见表1。每组再生混凝土的坍落度均低于比例相同的普通混凝土。原因是吸水率高再生粗骨料，混凝土搅拌过程中吸收了一定的水，造成了变差工作性。这与之前的大量测试结果相对应。

5.2 立方体抗压强度

根据压力试验，粗颗粒替代率再生混凝土的破坏特性基本相同，但一些再生混凝土试验存在一定的脆性，这在棱柱体压力试验中更为明显。立方体28d中抗压强度（FCU）是根据每组混凝土的平均块立方体3块150×150×150mm的平均值抗压强度试验的。当混凝土设计强度低(灰系数高)时，再生混凝土立方体的压力强度不一定高于普通混凝土。主要原因是再生粗粒吸水速率相对较高，水泥浆中的实际用量减少，低强度混凝土易受水泥浆配比变化的影响，当再生混凝土的立方压力在混凝土设计强度中较高时（水灰比较低），再生混凝土的立方压力抗压强度往往由再生粗粒的低强度决定。需要进一步研究再生混凝土抗压强度在微观经济方面没有得到有效改善的具体原因。

5.3 棱柱体抗压

每组混凝土棱柱28d抗压强度（fc）。再生混凝土立方体和棱柱体强度变化的趋势基本上与立方体抗压强度变化的趋势相似。棱柱体抗压强度与再生混凝土立方抗压强度的比率高于普通混凝土，随着强度的增加而增加。这主要是因为再生混凝土材料疏质脆。在轴向载荷下，再生混凝土立方体试验的横向应力效应低于普通混凝土，这意味着再生混

凝土立方体的抗压强度略高于棱柱体，这意味着再生混凝土的 f_c/f_{cu} 值高于普通混凝土^[4-5]。

5.4 应变峰值

每组混凝土的应变峰值(ϵ_0)是从单轴受压应力-应变曲线棱柱体。再生混凝土的应变峰值比普通混凝土增加了约20%。再生混凝土最大应变峰值增加的主要原因是再生骨料弹性模量较低，从而提高了混凝土变形性能。从试验数据的回归分析出发，再生混凝土应变峰值计算公式如下：

$$\epsilon_0 = (840 + 185 \sqrt{f_{cu}}) \times 10^{-6} \tag{1}$$

5.5 弹性模量

从试验中获得的每组混凝土的弹性模量试验结果见表2，再生混凝土的弹性模量配合比相同的普通混凝土约低20%。再生混凝土弹性模量减少的主要原因是再生骨料弹性模量低，再生混凝土孔隙率高。

表2 每组混凝土的弹性模量试验结果

编号	弹性模量	(2)式 计算值	(3)式 计算值	(4)式 计算值	(5)式 计算值
NC- 20	31200	31289	-	-	-
RC- 20	25562	31963	22942	22942	18297
NC- 25	32900	33136	-	-	-
RC- 25	27380	34245	24950	25791	21207
NC- 30	35280	35213	-	-	-
RC- 30	27680	34533	25235	26235	21661
NC- 35	35790	35885	-	-	-
RC- 35	28168	35213	25941	27382	22833
NC- 40	36000	36924	-	-	-
RC- 40	28200	35213	25941	27382	22833

混凝土弹性模量在当前设计规范中计算如下：

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu}}} \tag{2}$$

式中弹性模量 E_c ，M Pa； f_{cu} 立方体抗压强度，MPa。表2比较了混凝土弹性模量的计算结果和公式2试验结果。结果表明，公式（2）高估了再生混凝土的弹性模量，不能用于再生混凝土。在以前的研究中，描述了再生粗骨料的100%取代率时混凝土弹性模量与抗压强度之间的关系，如式3~5所示。

$$E_c = 7.77 \times 10^3 \times f_{cu}^{0.33} \tag{3}$$

$$E_c = 13100 + 370f_{cu} \tag{4}$$

$$E_c = 378f_{cu} + 8242 \tag{5}$$

以上公式的计算结果与表2中的试验结果进行了比较。公式（4）与试验结果吻合。

5.6 断裂能

试验得出了每组混凝土的断裂能。试验结果，再生混凝土的断裂能。略低于普通混凝土，约减少10%。同时，再生混凝土断裂能可以随着混凝土强度的提高而增大，这与普通混凝土断裂能更加一致。CEB-FIP mc90欧洲模型规范使用以下公式计算混凝土断裂能：

$$G_F = \alpha \left(\frac{f_c}{10} \right)^{0.7} \tag{6}$$

对不同强度等级再生混凝土的力学能进行了研究，包括立方体和棱柱体压力强度、应变峰值、弹性模量和断裂能，并将其与强度比例相同的普通混凝土进行了比较。同时，普通混凝土基本力学性能与再生混凝土基本力学性能之间关系的适用性，为再生混凝土的力学性能得出了重要结论，从而为再生混凝土的进一步研究和应用奠定了基础。

参考文献:

- [1]杜惠国.再生混凝土的研究现状和存在问题[J].建筑技术,2020(2):133-134.
- [2]李初予.再生骨料混凝土破坏机理与改性研究综述[J].建筑科学与工程学报,2019,33(6):60-72.
- [3]肖佳平.再生混凝土的抗压强度研究[J].同济大学学报(自然科学版),2020(12):1558-1561.
- [4]邱雄文.改善再生混凝土工作性能的研究[J].武汉理工大学学报,2020(12):34-37.
- [5]杜瑞.再生骨料混凝土力学性能与盐冻耐久性研究[D].武汉:华中科技大学,2019.