

# 再生混凝土耐久性研究

赵 斐

包头铁道职业技术学院 包头 014060

**【摘要】**为探讨不同再生粗骨料掺量及胶凝材料类型如何影响再生混凝土耐久性能，本文在阐释再生混凝土的动弹性模量、碳化深度的相关理论基础，测试与分析了氯离子迁移系数指标，通过试验发现，再生粗骨料掺量增大会降低混凝土抗冻性能，而加入矿物掺合料却能提升混凝土抗氯离子渗透性能。因此，建筑工程在掺量再生粗骨料之前，应根据实际应用环境进行综合考虑。

**【关键词】**再生混凝土；耐久性；再生骨料

**【基金课题】**本文为内蒙古自治区教育厅高等学校科学技术研究项目《基于高寒地区再生混凝土耐久性能研究》（项目编号NJZY22042）的阶段性研究成果。

混凝土的力学性能良好，有较强的可塑性，故而在建筑、水利、道路、市政等基础设施建设领域得到广泛的应用，这些设施多数处于比较复杂的环境中，经常要经受冻融、碳化、氯盐侵蚀等作用<sup>[1]</sup>。另一方面，我国的基础设施建设正处于高峰期，每年大量的砂石材料会被消耗。同时，随着新的大规模混凝土建筑物的建造，以及废旧建筑物的拆除，这些过程会产生大量的建筑垃圾<sup>[2]</sup>。在具体解决方案中，工地若将建筑垃圾制备的再生骨料进行重新整备，并将其应用于混凝土，既能够降低天然砂石材料消耗规模，且可最大化减少建筑垃圾消纳难题，对于社会效益与生态效益协同发展意义重大。目前从学术界研究来看，有关再生混凝土的工作性能与力学性能的研究较多且形成一定成果<sup>[3]</sup>，但未能察探再生混凝土耐久性的内容。是以，本文立足再生粗骨料掺量与胶凝材料两大视角，进一步利用自然试验法探讨二者对再生混凝土耐久性能的影响。经过试验研究，了解再生混凝土的抗冻性能、抗碳化性能与抗氯盐侵蚀性能变化特征，为赋能现有研究结论提供经验证据。

## 1 试验介绍

### 1.1 试验材料及配合比

本次试验材料主要分为三类，水泥（型号为P·O 42.5R）、粉煤灰（F类I级）与炉矿渣粉（S95型）。梳理已有研究发现，这些试验材料的基本参数契合了相关标准，可进行下一步试验工作。这一过程中，将2.3的天然河砂作为细骨料对象，其吸水率与表观密度的参数分别为5.2%和2655kg/m<sup>3</sup>。同时，选取5-25mm之间的人工碎石作为此次试验的粗骨料，该材料的粒径范围为5~25 mm，其表观密度为2573 kg/m<sup>3</sup>，压碎指标值为18.26%，吸水率为4.93%。

立足以上研究，将再生粗骨料掺量、胶凝材料类型作为此次研究对象，选出5类再生混凝土，并将选出的内容分别标号为M1、M2、M3、M4、M5，此类材料配比详见表1。在室内分别进行快速冻融循环、快速碳化、快速氯离子渗透试验，通过测试动弹性模量、碳化深度与氯离子迁移系数等指标来评价再生混凝土的耐久性能。为使拌制的混凝土坍落度控制在100-120mm范围内，在水灰比不变的前提下，调整减水剂用量使其满足要求。

表1 再生混凝土配合比及性能

编号	再生粗骨料取代率/%	材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )						坍落度/mm	抗压强度/Mpa			
		水	粉煤灰	矿粉	砂	碎石	再生粗骨料		水	7d	28d	56d
M1	0	400	0	0	687	1171	0	192	116	43	54.4	57.5
M2	50	400	0	0	687	586	586	192	108	44.4	54.3	57.4
M3	100	400	0	0	687	0	1171	192	102	44.9	50.8	51.5
M4	100	340	60	0	687	0	1171	192	106	37.5	48.1	50.6
M5	100	280	60	60	687	0	1171	192	112	33.1	42.7	48.7

## 1.2 试验方法与评价指标

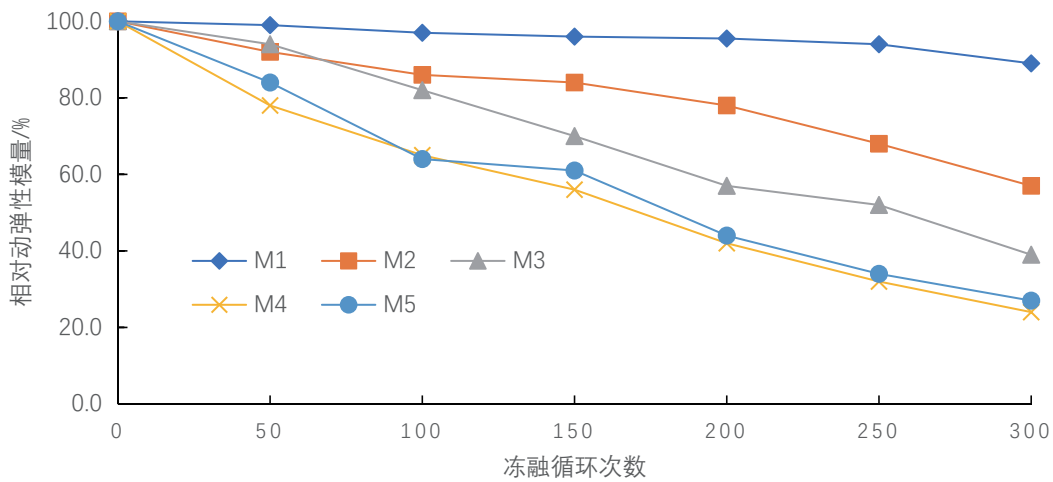
在对再生混凝土的抗冻、抗碳化、抗氯离子侵蚀等性能展开测试之前，需要先对其试件进行养护，养护试件为56天。进一步对再生混凝土的动弹模量进行测试时，设置了50次冻融循环及总冻融循环次数为300次的內容；设定7d/次碳化深度，碳化时间累计时间为42d。在做好前述基础工作上，运用RCM法对再生混凝土氯离子的渗透性能，以及氯离子迁移系数展开了测度。值得一提的是，以上试验均参照国家标准进行，也就是《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准（GB/T 50082—2009）》。

本试验按照再生粗骨料取代率的不同，以及混凝土中矿物掺合料的不同，对5个试验组的再生混凝土抗冻性能进行测定。将试件养护至56d时从养护室取出，在常温水中浸泡4d后，擦去试件表面水并测量初始动弹弹性模量；进一步

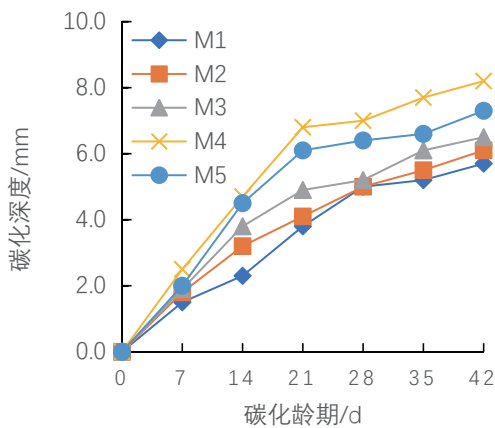
在试件盒中加入适量的水，将冻融循环次数分别设置为50次、100次、150次、200次、250次、300次进行动弹弹性模量测度。

抗碳化性作为衡量混凝土耐久性的重要指标，需要对其再生混凝土进行抗碳化性能测度。针对于此，根据国家标准规范，执行业内通用流程，测定了再生混凝土的抗碳化能力。本试验按照再生粗骨料取代率的不同，以及混凝土中矿物掺合料的不同，分为5个试验组，分别测定再生混凝土试件养护到56天后的碳化深度。碳化时间分别为7d、14d、21d、28d、35d、42d，得出各试件的碳化深度。

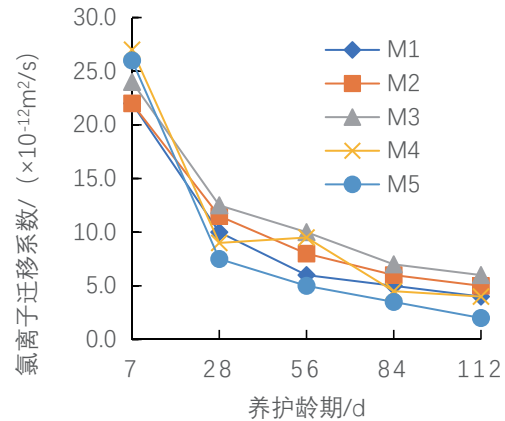
此外，为评价混凝土抵抗氯离子迁移能力，本文选用混凝土氯离子迁移系数进行衡量。因而，参照国家标准规范，分析并测度了再生混凝土的氯离子迁移系数，



a) 相对动弹弹性模量



b) 碳化深度



c) 氯离子迁移系数

图1 再生混凝土耐久性试验结果

并由这一结果获得相关结论，为评估再生混凝土结构耐久性以及使用寿命，以及进行质量检验评定提供重要依据。本试验对5个再生混凝土试验组，分别测定试件在7d、28d、56d、84d、112d的氯离子迁移系数。

## 2 结果与分析

再生混凝土耐久性试验结果见图1。

从图1a)发现，伴随冻融循环次数的增加，再生混凝土的相对动弹模量迅速下降。冻融300次时，M1、M2、M3相对动弹性模量分别为89%、57%、39%，即再生粗骨料掺量越大，冻融损伤越显著。《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准GB/T 50082—2009》界定了混凝土冻融失效基准，即以相对动弹性模量下降至60%为标准。分析可以看出，除了M1外，其余再生混凝土均在冻融300次之前破坏失效。M2在冻融300次时的相对动弹性模量略低于60%，因此对于有抗冻性要求的区域，再生粗骨料掺量不宜大于50%。与M3相比，M4、M5在冻融300次时的相对动弹性模量分别降低了26.1%、21.3%，相对动弹性模量下降较快，M4的抗冻性比M5差，即双掺比单掺更有利于再生粗骨料混凝土的抗冻性能。

从图1b)结果可知，伴随龄期不断增加，再生混凝土的碳化深度随之持续加深，且面临早期碳化深度增速较快，后期增速较慢的现象。与M1相比，M2与M3在碳化42d时的碳化深度分别增大了7.7%、16.5%，即再生混凝土的抗碳化性能随再生粗骨料含量的增加而降低。同时可以看出，M4、M5碳化深度增长速度比M3更加迅速，这是因为掺加粉煤灰与矿粉后等量取代了部分水泥，加之矿物掺合料二次水化与水泥进行反应并生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，显著降低再生混凝土内部碱含量。此外，较单掺粉煤灰的再生粗骨料混凝土的抗碳化性能相比，掺粉煤灰和矿粉的再生粗骨料混凝土的性能更强。

从图1c)可以看出，不同类型再生混凝土的氯离子迁移系数均随养护龄期的延长而降低，且养护至7~28 d时，这种降低幅度较大，之后相对较小。在同一龄期场景下，标号M1的氯离子迁移系数要远低于M2、M3。由此可

知，在再生粗骨料掺量持续增加背景下，再生混凝土抗氯离子渗透性能亦会随之大幅度降低。养护至112 d时，M4、M5氯离子迁移系数显著低于M3，甚至低于M1，即掺加矿物掺合料能显著增强再生混凝土抗氯离子渗透作用，可弥补再生粗骨料掺量增大的削减效果，特别是双掺粉煤灰与矿粉的效果更加明显。因此，当再生粗骨料混凝土应用于含盐环境、盐渍土环境中时，宜通过双掺的方法来提升其抗渗性能。

## 3 结论

1) 再生粗骨料含量的增加，较大程度上对再生混凝土的抗冻性、抗碳化和氯离子渗透性产生削弱效应。在这一过程中，再生粗骨料含量小于50%时，其基本性能可以满足混凝土的抗冻性要求。从这一维度来说，我国北方寒冷地区在展开建筑工作时，应对再生粗骨料混凝土进行抗冻性能测试。

2) 在特定情况下，采用延长养护时间和掺加矿物掺合料两大方法，可以较好地降低再生粗骨料对再生混凝土抗氯离子渗透性能的负面效应。

3) 掺加矿物掺合料能的方法，虽然一定程度上提高再生混凝土的抗氯离子渗透性能，但这削弱其抗碳化性能与抗冻性能。因此可以说，建筑工程在进行再生混凝土使用和测试时，要根据使用环境来考虑。

## 参考文献：

- [1] 张金喜, 冉晋, 马宝成等. 碳化对混凝土抗冻性的影响及机理[J]. 建筑材料学报, 2017, 20(1): 12-17.
- [2] 李昱秀, 杨玉杰, 李振东等. 建筑垃圾再生骨料在海绵城市建设中应用的探讨[J]. 市政技术, 2020, 38(5): 279-282.
- [3] 袁继峰, 火亮, 肖德鑫等. 矿物掺合料改性再生混凝土性能试验研究[J]. 市政技术, 2020, 38(3): 272-276.

## 作者简介：

赵斐(1987—)，男，汉族，内蒙古乌兰察布市人，硕士，包头铁道职业技术学院副教授，主要研究方向：混凝土耐久性，建筑工程施工。