

长沙市工程建设地方标准规程 DBCJ

DBCJ004-2019

建筑垃圾再生骨料混凝土 应用技术指南

2019-11-01 发布

2020-01-01 实施

长沙市住房和城乡建设局

前 言

本指南为长沙市推荐性技术文件。

为贯彻落实《长沙市建筑垃圾资源化利用管理办法》（长沙办发[2017]20号），树立绿色发展理念，加快推动“两型社会”和“品质长沙”建设，长沙市住房和城乡建设局委托中南大学编制本指南。编制组经深入调查与研究，认真总结相关科研与工程应用实践经验、结合国内外相关研究成果，并在广泛征求再生骨料混凝土使用意见的基础上，编制本指南。

本指南主要内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 再生粗骨料；5. 再生细骨料；6. 建筑垃圾再生骨料混凝土技术要求及配合比设计；7. 建筑垃圾再生骨料混凝土施工和质量验收。

本指南由长沙市住房和城乡建设局发布，中南大学负责具体内容的解释。请各单位在执行过程中，注意总结经验，积累资料，如有意见和建议，请将意见和资料寄送至中南大学（地址：长沙市韶山南路22号 中南大学 土木工程学院，邮编：410075，电话：0731-82656568，传真：0731-85571736，电子邮箱：makunlin@csu.edu.cn）。

指南主编单位：中南大学

指南参编单位：长沙市城市建设科学研究院

湖南云中再生科技股份有限公司

中铁城建集团有限公司

湖南建工集团有限公司

湖南建工环保有限公司

湖南望新建设集团股份有限公司

湖南人健混凝土有限公司

指南主要起草人员：马昆林 刘小明 刘婉婉 刘 剑

高尚荣 韩湘逸 刘自力 刘 凯

万 暑 孟凡威 毛向辉 王忠良

胡明文 徐 建 林 凌 曾晓辉

李双捷 陈维超 王其良 宋松树

宋路军 龙广成 魏子奇 杨 娟

戴建业 黄 倩

指南主要审查人员：杜运兴 彭琳娜 蒋建国

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
	2.1 术语.....	2
	2.2 符号.....	3
3	基本规定.....	5
4	再生粗骨料.....	7
	4.1 一般规定.....	7
	4.2 技术要求.....	7
	4.3 质量检验.....	9
	4.4 储存和运输.....	13
5	再生细骨料.....	14
	5.1 一般规定.....	14
	5.2 技术要求.....	14
	5.3 质量检验.....	17
	5.4 储存和运输.....	20
6	建筑垃圾再生骨料混凝土技术要求及配合比设计.....	21
	6.1 一般规定.....	21
	6.2 原材料及性能要求.....	23
	6.3 技术要求.....	24
	6.4 配合比设计.....	28
7	建筑垃圾再生骨料混凝土施工和质量验收.....	34
	7.1 制备和运输.....	34
	7.2 浇筑和养护.....	34

7.3 施工质量验收.....	34
本指南用词说明.....	35
引用标准名录.....	36

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家节约资源、保护环境的政策，实现资源循环利用，推动建筑垃圾再生骨料在混凝土及其制品中的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，特制定本指南。

1.0.2 本指南规定了长沙地区建筑垃圾加工生产的再生骨料混凝土技术要求、配合比设计方法、施工工艺、施工质量检测 and 验收标准。

1.0.3 建筑垃圾再生骨料混凝土适用于人行道、非机动车道、广场、停车场、道路垫层以及室内外地坪等中低强度等级混凝土。根据技术发展，亦可进一步应用于满足工作性、强度、耐久性以及经济性要求的高强度等级混凝土。

1.0.4 建筑垃圾再生骨料混凝土的设计、施工和检验除应符合本指南规定外，还应符合国家及行业现行相关标准、规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 建筑垃圾 construction and demolition waste

工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾等的总称。包括新建、扩建、改建和拆除各类建筑物、构筑物、管网等以及居民装饰装修房屋过程中所产生的弃土、弃料及其他废弃物，不包括经检验、鉴定为危险废物的建筑垃圾。

2.1.2 再生粗骨料 recycled coarse aggregate

由建筑垃圾中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，粒径大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.3 再生细骨料 recycled fine aggregate

由建筑垃圾中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，粒径不大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.4 再生骨料混凝土 recycled aggregate concrete

再生骨料部分或全部代替天然骨料配制而成的混凝土。

2.1.5 再生粗骨料取代率 replacement ratio of recycled coarse aggregate

再生骨料混凝土中再生粗骨料用量占粗骨料总用量的质量百分比。

2.1.6 再生细骨料取代率 replacement ratio of recycled fine aggregate

再生骨料混凝土中再生细骨料用量占细骨料总用量的质量百分比。

2.1.7 再生骨料胶砂需水量比 water demand ratio of recycled aggregate mortar

再生骨料胶砂需水量与基准胶砂需水量之比。

2.1.8 再生骨料胶砂强度比 compressive strength ratio of recycled aggregate mortar

再生骨料胶砂的抗压强度与基准胶砂的抗压强度之比。

2.1.9 净用水量 net water consumption

不包括再生骨料吸水量在内的混凝土拌和用水量。

2.1.10 附加用水量 additional water consumption

再生骨料吸水至饱和面干状态所需的水量。

2.1.11 总用水量 total water consumption

包括再生骨料吸水量在内的混凝土拌和用水量。

2.1.12 净水胶比 net water-binder ratio

净用水量与胶凝材料用量的质量比。

2.1.13 总水胶比 total water-binder ratio

总用水量与胶凝材料用量的质量比。

2.2 符 号

M_x ——再生细骨料的细度模数；

δ_g ——再生粗骨料取代率；

δ_s ——再生细骨料取代率；

f_{ck} 、 f_{tk} ——再生骨料混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值；

f_c 、 f_t ——再生骨料混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度设计值；

f_{rk} ——再生骨料混凝土的抗折强度标准值；

$f_{cu,k}$ ——再生骨料混凝土立方体抗压强度标准值；

f_c^f 、 f_t^f ——再生骨料混凝土轴心抗压、轴心抗拉疲劳强度标准值；

G_c ——剪切变形模量；

ν_c ——泊松比；

E_c ——受拉、受压弹性模量；

$f_{cu,0}$ ——再生骨料混凝土配制强度；

σ ——再生骨料混凝土强度标准差；

$f_{cu,i}$ ——第 i 组试件的立方体抗压强度值；

$m_{f_{cu}}$ —— n 组试件的立方体抗压强度平均值；

n ——试件组数；

m_{wa} ——单位附加用水量；

m_g ——每立方米再生骨料混凝土所用粗骨料的计算用量；

W_{wg} ——再生粗骨料的吸水率。

3 基本规定

3.0.1 建筑垃圾再生骨料混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，其中，立方体抗压强度的尺寸效应换算系数按照普通混凝土取值。

3.0.2 建筑垃圾再生骨料混凝土强度等级可划分为：C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45 和 C50 等强度等级。

条文说明：经广泛的实际调研及室内试验测试，目前长沙市建筑垃圾来源主要以砖瓦结构的旧建筑拆除为主，再生骨料中含有大量砖和瓦，品质不稳定，因此，虽已有研究表明建筑垃圾再生骨料混凝土的强度可达 C50，但在目前再生骨料的来源及生产技术条件下，本指南建议现阶段长沙市再生骨料混凝土适用于 C25 及以下强度等级的混凝土工程中。

3.0.3 建筑垃圾再生骨料及其制品的放射性应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定，但下列情况的建筑垃圾不能用于制备再生骨料：

- 1 建筑垃圾来自于轻骨料混凝土或加气混凝土砌块；
- 2 含有大量不易分离的木屑、污泥、沥青等杂质的建筑垃圾；
- 3 受环境腐蚀严重（如被硫酸盐侵蚀、被氯盐侵蚀、受重金属污染、受有机物污染、存在碱骨料反应、碳化严重等）或有特殊用途（如医院放射室）的建筑垃圾。

3.0.4 所采用的建筑垃圾再生骨料应能满足所制备的混凝土性能要求。

3.0.5 再生骨料的应用应符合国家有关安全和环保的规定，再生骨料混凝土的生产应减少对环境造成的二次污染。

4 再生粗骨料

4.1 一般规定

4.1.1 制备再生骨料混凝土所用的再生粗骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定。

4.1.2 再生粗骨料按性能要求可分为 I 类、II 类和 III 类。

条文说明：经广泛的实际调研及室内试验测试，目前长沙市建筑垃圾生产的再生粗骨料中含有大量砖、瓦，导致含水率和压碎指标偏大，其性能仅能达到 III 类或 III 类以下水平，但本指南亦列出 I 类、II 类供参考。

4.2 技术要求

4.2.1 再生粗骨料按粒径尺寸分为连续粒级和单粒级。连续粒级分为 5mm~16mm、5mm~20mm、5mm~25mm、5mm~31.5mm 四种规格，单粒级分为 5mm~10mm、10mm~20mm 和 16~31.5mm 三种规格。

4.2.2 再生粗骨料的颗粒级配应符合表 4.2.2 的要求。

4.2.3 制备再生骨料混凝土所用的再生粗骨料的技术指标应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.2 再生粗骨料颗粒级配

公称粒径 (mm)		累计筛余 (%)							
		方孔筛筛孔边长 (mm)							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
连续级配	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0			
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	0~10	0		
	5~25	95~100	90~00	—	30~70	—	0~5	0	
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0
单粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0				
	10~20		95~100	85~00		0~15	0		
	16~31.5		95~00		85~100			0~10	0

表 4.2.3 再生粗骨料技术要求

序号	试验项目	指标要求		
		I类	II类	III类
1	微粉含量 (按质量计) (%)	<1.0	<2.0	<3.0
2	泥块含量 (按质量计) (%)	<0.5	<0.7	<1.0
3	吸水率 (按质量计) (%)	<3.0	<5.0	<8.0
4	针片状颗粒 (按质量计) (%)	<10		
5	有机物含量 (比色法)	合格		
6	硫化物与硫酸盐含量 (%)	<2.0		

续表 4.2.3

序号	试验项目	指标要求		
		I 类	II 类	III 类
7	氯化物含量 (%)	<0.06		
8	钢筋、塑料、玻璃、木屑等杂物含量 (按质量计) (%)	<1.0		
9	坚固性 (质量损失) (%)	<5.0	<10.0	<15.0
10	压碎指标 (%)	<12	<20	<30
11	表观密度 (kg/m ³)	>2450	>2350	>2250
12	空隙率 (%)	<47	<50	<53
13	碱骨料反应	经碱骨料反应试验后, 由再生粗骨料制备的试件无裂缝、酥裂或胶体外溢等现象, 膨胀率应小于 0.10%。		

4.3 质量检验

4.3.1 表 4.2.3 中项目检验方法及取样方法应按现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 执行。单项试验的最小取样数量应符合表 4.3.1 的规定, 进行多项试验时, 如能确保试样经一项试验后不致影响另一项试验的结果, 可用同一试样进行不同的试验。

表 4.3.1 再生粗骨料单项试验取样数量 (kg)

序号	试验项目	各最大粒径 (mm) 下的最小取样数量				
		9.5	16.0	19.0	26.5	31.5
1	颗粒级配	10	16	19	25	32
2	微粉含量	8	8	24	24	40
3	泥块含量	8	8	24	24	40
4	吸水率	8	8	24	24	40
5	针片状颗粒含量	8	8	16	16	20
6	有机物含量	按照试验要求的粒级和数量取样				
7	硫化物与硫酸盐含量					
8	氯化物含量					
9	杂物含量	15	15	30	30	50
10	坚固性	按照试验要求的粒级和数量取样				
11	压碎指标					
12	表观密度	8	8	8	8	12
13	空隙率	40	40	40	40	80
14	碱骨料反应	20	20	20	20	20

4.3.2 再生粗骨料的检验项目应符合下列规定：

1 型式检验项目包括本指南中表 4.2.3 的所有项目，其中碱骨料反应可根据需要进行；

2 出厂检验项目包括颗粒级配、微粉含量、泥块含量、吸水率、压碎指标、表观密度、空隙率；

3 进场检验项目包括泥块含量、吸水率、压碎指标和

表观密度。

4.3.3 再生粗骨料的检验组批规则应符合下列规定：

1 型式检验和出厂检验应按类别、规格及日产量确定批次：日产量在 2000t 及 2000t 以下，每 600t 为一批，不足 600t 亦为一批；日产量超过 2000t 且不超过 5000t，每 1000t 为一批，不足 1000t 亦为一批；日产量超过 5000t，每 2000t 为一批，不足 2000t 亦为一批；对于建筑垃圾来源相同的再生骨料，日产量不足 600t，应以连续生产不超过 3 天且不大于 600t 为一批；

2 进场检验应按同一厂家、同一类别、同一规格、同一批次，每 400m³或 600t 作为一个检验批，不足 400m³或 600t 的亦为一批。

4.3.4 再生粗骨料的检验结果评定标准应符合下列规定：

1 检验（含复检）后，各项指标都符合本指南的相应类别规定时，可判为合格品；

2 若有一项性能指标不符合本指南表 4.2.3 的要求时，则应从同一批产品中加倍取样，对不符合要求的项目进行复检，复检结果合格的，则判定该产品为合格品；复检结果不合格的，则判定该产品为不合格品；

3 对于性能指标不满足本指南表 4.2.3 的再生粗骨料，但经过试验验证能够满足所制备混凝土产品的性能要求时，可用于强度等级 C25 及以下的非结构混凝土及小型混凝土预制构件。

条文说明：基于长沙市目前的再生骨料来源和加工水平，

通常再生粗骨料的吸水率和压碎指标偏大，但经过试验和现场应用表明，性能指标不满足表 4.2.3 的再生粗骨料经试验试配，所制备的混凝土及其制品的相关性能满足使用要求并检验合格后，仍可用于强度等级 C25 及以下的非结构混凝土（如道路垫层）或小型混凝土预制构件（如路缘石）。

4.3.5 生产再生粗骨料的过程中，有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 1 新产品投产时；
- 2 生产工艺发生变化时；
- 3 原材料发生重大变化时；
- 4 正常生产时，每年一次；
- 5 国家质量监督机构要求检验时。

4.3.6 出厂的再生粗骨料应提供产品质量合格证，内容包括：

- 1 再生骨料的名称、类别、规格和生产厂信息（厂名、地址和电话等）；
- 2 批量编号及供货数量；
- 3 检验结果、日期、执行标准；
- 4 合格证编号及发放日期；
- 5 检验部门及检验人员签章；
- 6 注意事项等。

4.3.7 再生粗骨料进场时，应按规定批次检查型式检验报告、出厂检验报告及合格证等质量证明文件。

4.4 储存和运输

4.4.1 存储时，再生粗骨料应按照类别、规格分别堆放，防止人为碾压和产品污染。

4.4.2 运输时，应认真清扫车船等运输设备，并采取措施防止混入杂物，防止粉尘飞扬。

5 再生细骨料

5.1 一般规定

5.1.1 制备再生骨料混凝土所用的再生细骨料应符合现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的规定。

5.1.2 再生细骨料按性能要求可分为 I 类、II 类和 III 类。

条文说明：经广泛的实际调研及室内试验测试，目前长沙市建筑垃圾生产的再生细骨料仅能达到 III 类或 III 类以下水平，但本指南亦列出 I 类、II 类供参考。

5.1.3 再生细骨料按细度模数分为粗、中、细三种规格，其细度模数 M_x 分别为：

粗： $M_x=3.7\sim 3.1$

中： $M_x=3.0\sim 2.3$

细： $M_x=2.2\sim 1.6$

5.2 技术要求

5.2.1 再生细骨料的颗粒级配应符合表 5.2.1 的要求。

表 5.2.1 再生细骨料颗粒级配

方孔筛筛孔边长	累计筛余 (%)		
	1 级配区	2 级配区	3 级配区
9.50 mm	0	0	0

续表 5.2.1

方孔筛筛孔边长	累计筛余 (%)		
	1 级配区	2 级配区	3 级配区
4.75 mm	10~0	10~0	10~0
2.36 mm	35~5	25~0	15~0
1.18 mm	65~35	50~10	25~0
600 μm	85~71	70~41	40~16
300 μm	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~85	100~80	100~75

注：根据现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 规定，除 4.75 mm 和 600 μm 筛档外，再生细骨料的实际颗粒级配与表中数字相比可以略有超出，但是超出总量应小于 5%。

5.2.2 制备再生骨料混凝土所用的再生细骨料的技术指标应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 再生细骨料技术要求

序号	试验项目		指标要求		
			I 类	II 类	III 类
1	微粉含量 (%)	亚甲蓝值 < 1.4 或合格	< 5.0	< 7.0	< 10.0
		亚甲蓝值 \geq 1.4 或不合格	< 1.0	< 3.0	< 5.0
2	泥块含量 (按质量计) (%)		< 1.0	< 2.0	< 3.0
3	云母含量 (按质量计) (%)		< 2.0		

续表 5.2.2

序号	试验项目	指标要求								
		I 类			II 类			III 类		
4	轻物质含量 (按质量计)(%)	<1.0								
5	有机物含量(比色法)	合格								
6	硫化物及硫酸盐含量 (%)	<2.0								
7	氯化物含量 (%)	<0.06								
8	坚固性 (质量损失)(%)	<8.0			<10.0			<12.0		
9	单级最大压碎 指标 (%)	<20			<25			<30		
10	再生骨料胶砂 需水量比 (%)	细	中	粗	细	中	粗	细	中	粗
		<1.35	<1.30	<1.20	<1.55	<1.45	<1.35	<1.80	<1.70	<1.50
11	再生骨料胶砂 强度比 (%)	细	中	粗	细	中	粗	细	中	粗
		>0.80	>0.90	>1.00	>0.70	>0.85	>0.95	>0.60	>0.75	>0.90
12	表观密度 (kg/m ³)	>2450			>2350			>2250		
13	堆积密度 (kg/m ³)	>1350			>1300			>1200		
14	空隙率 (%)	<46			<48			<52		
15	碱骨料反应	经碱骨料反应试验后, 由再生细骨料制备的试件无裂缝、酥裂或胶体外溢等现象, 膨胀率应小于 0.10%。								

5.3 质量检验

5.3.1 表 5.2.2 中项目的检验方法及取样方法应按现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 执行。单项试验的最小取样数量应符合表 5.3.1 的规定，进行多项试验时，如能确保试样经一项试验后不致影响另一项试验的结果，可用同一试样进行不同的试验。

表 5.3.1 再生细骨料单项试验取样数量 (kg)

序号	试验项目	最小取样数量
1	颗粒级配	5
2	微粉含量	5
3	泥块含量	20
4	云母含量	1
5	轻物质含量	4
6	有机物含量	2
7	硫化物与硫酸盐含量	1
8	氯化物含量	5
9	坚固性	20
10	压碎指标	30
11	再生骨料胶砂需水量比	20
12	再生骨料胶砂强度比	20
13	表观密度	3
14	堆积密度与空隙率	5
15	碱骨料反应	20

5.3.2 再生细骨料的检验项目应符合下列规定：

1 型式检验项目包括本指南中表 5.2.2 的所有项目，其中碱骨料反应可根据需要进行；

2 出厂检验项目包括颗粒级配、细度模数、微粉含量、泥块含量、再生骨料胶砂需水量比、表观密度、堆积密度和空隙率；

3 进场检验项目包括泥块含量、再生骨料胶砂需水量比和表观密度。

5.3.3 再生细骨料的检验组批规则应符合下列规定：

1 型式检验和出厂检验应按同分类、同规格，每 600t 为一批，不足 600t 亦为一批；

2 进场检验应按同一厂家、同一类别、同一规格、同一批次，每 400m³或 600t 作为一个检验批，不足 400m³或 600t 的亦为一批。

5.3.4 再生细骨料的检验结果评定标准应符合下列规定：

1 检验（含复检）后，各项指标都符合本指南的相应类别规定时，可判为合格品；

2 若有一项性能指标不符合本指南表 5.2.2 的要求时，则应从同一批产品中加倍取样，对不符合要求的项目进行复检，复检结果合格的，则判定该产品为合格品；复检结果不合格的，则判定该产品为不合格品；

3 对于性能指标不满足本指南表 5.2.2 的再生细骨料，但经过试验验证能够满足所制备混凝土产品的性能要求时，可用于强度等级 C25 及以下的非结构混凝土及小型混凝土预

制构件。

条文说明：基于长沙市目前的再生骨料来源和加工水平，通常再生细骨料的单级最大压碎指标和再生骨料胶砂需水量比偏大，但经过试验和现场应用表明，性能指标不满足表 5.2.2 的再生细骨料经试验试配，所制备的混凝土及其制品的相关性能满足使用要求并检验合格后，仍可用于强度等级 C25 及以下的非结构混凝土（如道路垫层）或小型混凝土预制构件（如路缘石）。

5.3.5 生产再生细骨料的过程中，有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 1 新产品投产时；
- 2 生产工艺发生变化时；
- 3 原材料发生重大变化时；
- 4 正常生产时，每年一次；
- 5 国家质量监督机构要求检验时。

5.3.6 出厂的再生细骨料应提供产品质量合格证，内容包括：

- 1 再生骨料的名称、类别、规格和生产厂信息（厂名、地址和电话等）；
- 2 批量编号及供货数量；
- 3 检验结果、日期、执行标准；
- 4 合格证编号及发放日期；
- 5 检验部门及检验人员签章；
- 6 注意事项等。

5.3.7 再生细骨料进场时，应按规定批次检查型式检验报告、出厂检验报告及合格证等质量证明文件。

5.4 储存和运输

5.4.1 存储时，再生细骨料应按照类别、规格分别堆放，防止人为碾压和产品污染。

5.4.2 运输时，应认真清扫车船等运输设备，并采取措施防止混入杂物，防止粉尘飞扬。

6 建筑垃圾再生骨料混凝土

技术要求及配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 I类再生粗骨料可用于配制各种强度等级的再生骨料混凝土；II类再生粗骨料可用于配制C40及以下强度等级的再生骨料混凝土；III类再生粗骨料用于配制C25及以下强度等级的再生骨料混凝土，不宜用于配制有抗冻性要求的混凝土。

条文说明：由于I类再生粗骨料品质已基本达到常用天然粗骨料的品质，所以其应用不受强度等级限制；为充分保证结构安全，达到II类产品指标要求的再生粗骨料可以用于配制不高于C40的再生骨料混凝土；III类再生粗骨料由于品质相对较差，可能对较高强度的再生骨料混凝土性能带来不利影响，所以其仅可用于C25以下的再生骨料混凝土，且由于吸水率等指标相对较高，因此不宜用于有抗冻要求的混凝土。

目前长沙地区的建筑垃圾尚不能制备出大量I类和II类再生粗骨料，但本指南亦列出I类、II类再生粗骨料可以配制的再生骨料混凝土强度等级，仅供参考。

6.1.2 I类再生细骨料可用于配制C40及以下强度等级的再生骨料混凝土；II类再生细骨料可用于配制C25及以下强

度等级的再生骨料混凝土；III类再生细骨料不宜用于配制混凝土。

条文说明：尽管I类再生细骨料主要技术性能已经基本达到常用天然砂的品质，但是由于再生细骨料中往往含有水泥石颗粒或粉末，而且目前采用再生细骨料配制混凝土的应用实践相对较少，所以对再生细骨料在混凝土中的应用比再生粗骨料限制严格一些。III类再生细骨料由于品质较差，不宜用于混凝土。

目前长沙地区的建筑垃圾尚不能制备出大量I类和II类再生细骨料，但本指南亦列出I类、II类再生细骨料可以配制的再生骨料混凝土强度等级，仅供参考。

6.1.3 再生骨料混凝土不得用于严酷环境下使用的混凝土（如氯盐、硫酸盐侵蚀环境等）、预应力混凝土、具有防水要求的地下结构混凝土。

条文说明：再生骨料往往会增大混凝土的收缩，由此可能增大预应力损失，所以本指南从严规定再生骨料混凝土不得用于预应力混凝土；再生骨料混凝土吸水率等指标相对较高，不宜用于具有防水要求的地下结构混凝土。

6.1.4 再生骨料混凝土中的再生骨料取代率宜通过已有技术资料和混凝土性能要求确定。当缺乏技术资料时，再生骨料取代率应符合下列规定：

- 1 I类再生粗骨料取代率可不受限制；
- 2 再生细骨料以及II类、III类再生粗骨料取代率不应

大于50%；

3 当再生骨料混凝土中已掺用Ⅲ类再生粗骨料时，不宜再掺入再生细骨料。

条文说明：Ⅰ类再生粗骨料品质较好，可以按照常用天然骨料来使用，所以其取代率可不受限制；对于再生细骨料以及Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料，为了控制和易性和保证强度，在缺乏技术资料时，再生细骨料以及Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率不应大于50%；Ⅲ类再生粗骨料和再生细骨料的品质都相对较差，因此当再生骨料混凝土中已掺用Ⅲ类再生粗骨料时，不宜再掺入再生细骨料。

6.2 原材料及性能要求

6.2.1 天然粗骨料和天然细骨料应分别符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 和《建设用砂》GB/T 14684 的规定。

6.2.2 再生粗骨料和再生细骨料应符合本指南第4、5章的规定。

6.2.3 水泥宜采用通用硅酸盐水泥，应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定；当采用其它品种水泥时，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

6.2.4 拌合用水和养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

6.2.5 用于再生骨料混凝土中的矿物掺合料可包括粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、沸石粉、钢渣粉等；可采用两种或

两种以上的矿物掺合料按一定比例混合使用。矿物掺合料应分别符合相关现行国家标准和现行行业标准,《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690、《混凝土和砂浆用天然沸石粉》JG/T 3048 和《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491 的规定以及相关标准的规定。

6.2.6 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

6.3 技术要求

6.3.1 再生骨料混凝土的拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能、强度检验评定及耐久性检验评定等,应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定。

条文说明: 再生骨料混凝土拌合物性能试验方法按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 执行;力学性能试验方法及试件尺寸换算系数按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 执行;长期性能和耐久性能试验方法按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行;质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定;强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定;耐久性的检验评定

应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

6.3.2 再生骨料混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} ，轴心抗压、轴心抗拉强度设计值 f_c 、 f_t 应分别按照表 6.3.2-1、表 6.3.2-2 取值。

表 6.3.2-1 再生骨料混凝土的轴心强度标准值 (N/mm²)

强度	再生骨料混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64

表 6.3.2-2 再生骨料混凝土的轴心强度设计值 (N/mm²)

强度	再生骨料混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89

6.3.3 再生骨料混凝土的抗折强度标准值可按式 6.3.3 计算。

$$f_{rk} = 0.75\sqrt{f_{cu,k}} \quad (6.3.3)$$

式中： $f_{cu,k}$ ——再生骨料混凝土立方体抗压强度标准值（即强度等级）(N/mm²)。

条文说明：再生骨料混凝土的抗折强度与抗压强度之间

的关系式参考了上海市地方标准《再生混凝土应用技术规程》DG/TJ08-2018-2007中的公式，是上海地标编制组基于国内外具有代表性的528组再生骨料混凝土试验数据的统计回归分析基础之上得出的。

6.3.4 再生骨料混凝土的轴心抗压、轴心抗拉疲劳强度标准值 f_c^f 、 f_t^f ，剪切变形模量 G_c ，泊松比 ν_c 均可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定取值。

6.3.5 仅掺用I类再生粗骨料配制的再生骨料混凝土，其受拉、受压的弹性模量 E_c 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定取值。其它情况下配制的再生骨料混凝土，其弹性模量宜通过试验确定；在缺乏试验条件或技术资料时，可按表6.3.5的规定取值。

表 6.3.5 再生骨料混凝土的弹性模量（ 10^4 N/mm²）

强度	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
E_c	1.83	2.08	2.27	2.42	3.15	3.25	3.35	3.45

条文说明：表6.3.5参考了上海市地方标准《再生混凝土应用技术规程》DG/TJ08-2018-2007中的数据，该数据是上海地标编制组基于国内外具有代表性的528组再生骨料混凝土实验数据统计回归分析后得到的。表6.3.5的取值相比于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的取值都相应有所折减，这是考虑到再生骨料对混凝土力学性能的影响，基于试验验证而给出的数据。

6.3.6 再生骨料混凝土的耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 和现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的相关规定，当再生骨料混凝土设计使用年限分别为 30 年或 50 年时，其耐久性宜符合表 6.3.6 所示。

表 6.3.6 再生骨料混凝土耐久性基本要求

环境类别	设计使用年限				最大氯离子含量 (%)	最大碱含量 (kg/m ³)
	50 年		30 年			
	最低强度等级	最大水胶比	最低强度等级	最大水胶比		
I -A	C25	0.55	C25	0.55	0.2	3.0
I -B	C30	0.50	C25	0.55	0.15	3.0
I -C	C35	0.45	C30	0.50	0.15	3.0

注：1 氯离子含量是指氯离子占胶凝材料总量的百分比；
2 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不作限制。

条文说明：根据《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定，一般环境（I 类环境）是指无冻融、无氯化物和其它化学腐蚀物质作用的环境，主要破坏是由于保护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀导致的。其中 I -A、I -B、I -C 分别指轻微一般环境（室内干燥环境、永久的静水浸没环境）、轻度一般环境（非干湿交替的室内潮湿环境、非干湿交替的露天环境、长期湿润环境）、中度一般环境（干湿交替环境）。

长沙市范围内的环境对配筋混凝土结构的作用程度属于一般环境。因此本指南仅规定了Ⅰ类环境下再生骨料混凝土耐久性的基本要求。由于长沙市建筑垃圾中含有大量碎砖瓦，制备的再生骨料吸水率、压碎指标等指标较天然骨料大，这些指标可能影响混凝土耐久性或长期性能。所以，为了确保安全，本规程参照《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476，对最低强度等级、最大水胶比、最大氯离子含量、最大碱含量等指标的要求相对于《混凝土结构设计规范》GB 50010中的相关规定均相应提高了一级要求。

6.4 配合比设计

6.4.1 再生骨料混凝土配合比设计应经济合理，且应满足混凝土强度及其它力学性能、拌合物性能、长期性能和耐久性能的要求。

6.4.2 再生骨料混凝土配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定。

6.4.3 再生骨料混凝土的用水量可分为净用水量和附加用水量两部分。再生骨料采用预湿处理时，可不考虑附加用水量，用水量应直接按净用水量确定。

条文说明：再生骨料的吸水率较大，因此在进行配合比设计时必须要考虑附加用水量。但是预湿处理后的再生骨料已经处于饱和面干状态，因此不用重复考虑其吸水情况。

6.4.4 再生骨料混凝土配合比设计宜采用绝对体积法进行。在不使用引气型外加剂时，含气量可取 1%。

条文说明：再生骨料混凝土宜采用体积法进行配合比计算，而不宜采用质量法，这主要基于不同等级、不同取代率的再生粗骨料配制的再生骨料混凝土，其表观密度可在较大范围内变动考虑的。

6.4.5 再生骨料混凝土配合比设计可按下列步骤进行：

1 根据已有技术资料 and 混凝土性能要求，确定再生粗骨料取代率 (δ_g) 和再生细骨料取代率 (δ_s)，其中 δ_g 和 δ_s 应满足本指南 6.1.4 的要求；

2 确定再生骨料混凝土的配制强度，按下式确定：

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (6.4.5-1)$$

式中： $f_{cu,o}$ ——再生骨料混凝土配制强度 (N/mm²)；

$f_{cu,k}$ ——再生骨料混凝土立方体抗压强度标准值，这里取混凝土的设计强度等级值 (N/mm²)；

σ ——再生骨料混凝土强度标准差 (N/mm²)。

3 确定再生骨料混凝土强度标准差 (σ)，按下列规定确定：

1) 对于不掺再生细骨料的混凝土，当仅掺 I 类再生粗骨料或 II 类、III 类再生粗骨料取代率 (δ_g) 小于 30% 时， σ 可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定取值。

2) 对于不掺用再生细骨料的混凝土，当 II 类、III 类再

生粗骨料取代率 (δ_g) 不低于 30% 时, σ 值应根据相同再生粗骨料掺量和同强度等级的同品种再生骨料混凝土统计资料计算确定, 计算公式如式 6.4.5-2。计算时, 强度试件组数不应小于 30 组。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{fcu}^2}{n-1}} \quad (6.4.5-2)$$

式中: σ ——混凝土强度标准差 (N/mm²);

$f_{cu,i}$ ——第 i 组试件的立方体抗压强度值 (N/mm²);

m_{fcu} —— n 组试件的立方体抗压强度平均值 (N/mm²);

n ——试件组数。

对于强度等级不大于 C20 的再生骨料混凝土, 当 σ 计算值不小于 3.0 N/mm² 时, 应按计算结果取值; 当 σ 计算值小于 3.0 N/mm² 时, σ 应取 3.0 N/mm²。

对于强度等级大于 C20 且不大于 C50 的再生骨料混凝土, 当 σ 计算值不小于 4.0 N/mm² 时, 应按计算结果取值; 当 σ 计算值小于 4.0 N/mm² 时, σ 应取 4.0 N/mm²。

3) 当无统计资料时, 对于仅掺再生粗骨料的再生骨料混凝土, 其 σ 值可按表 6.4.5 的规定取值。

表 6.4.5 再生骨料混凝土抗压强度标准差推荐值

强度等级	≤C20	C25、C30	C35-C50
σ (N/mm ²)	4.0	5.0	6.0

4) 掺用再生细骨料的再生骨料混凝土，也应根据相同再生骨料掺量和同强度等级的同品种再生骨料混凝土统计资料计算确定 σ 值。计算时，强度试件组数不应小于30组。对于各强度等级的再生骨料混凝土，当 σ 计算值小于表6.4.5中对应值时，应取表6.4.5中对应值。当无统计资料时， σ 值也可按表6.4.5选取。

条文说明：由于Ⅰ类再生粗骨料品质已经相当于天然骨料，所以对于仅掺Ⅰ类再生粗骨料的再生骨料混凝土可以视其为常规混凝土；如果掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料，但是取代率小于30%，由于再生骨料掺量较小，对混凝土性能影响有限，此时也可以视为常规混凝土，所以对于仅掺Ⅰ类再生粗骨料或Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率(δ_g)小于30%时，抗压强度标准差 σ 可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定。当再生粗骨料掺量较大，例如当Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率(δ_g)不小于30%时，由于建筑垃圾来源的复杂性、再生粗骨料品质的离散性导致其对混凝土性能的影响相应增大，这种情况下，根据统计资料计算时，为了更好地保证统计数据的代表性，本指南规定强度试件组数提高到不小于30组(《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55要求是不小于25组)，为了保证再生骨料混凝土强度具有良好的富余度，进一步降低再生骨料离散性带来的影响，本规程对 σ 计算值的最低限值做出了相应的下限要求。

当无统计资料时，对于仅掺再生粗骨料的再生骨料混凝土，其 σ 值可按表6.4.5确定。表6.4.5取值比上述计算值最

低限相应增大，目的是保证无统计资料时的配制强度富余度足够。

掺用再生细骨料或同时掺用再生细骨料和再生粗骨料的再生骨料混凝土，混凝土强度的影响因素往往更复杂，此时，也应根据统计资料计算确定 σ 值。计算时，强度试件组数同样提到30组， σ 要取计算值和表6.4.5中对应值中的大者，取值要求更高；当无统计资料时，抗压强度标准差 σ 也按表6.4.5取值。此处规定偏严格的目的是为了充分保证再生细骨料复杂影响情况下的配制强度。

4 按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定再生骨料混凝土的水胶比和单位用水量作为其净水胶比和单位净用水量，并通过试验确定外加剂的品种和掺量；

5 参考现行行业标准《普通混凝土配合比设计流程》JGJ 55 的方法，由净水胶比和单位净用水量计算出每立方再生骨料混凝土的胶凝材料用量，并通过试验确定掺合料的品种和掺量，进而确定每立方再生骨料混凝土的水泥用量；

6 按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定再生骨料混凝土砂率的取值，确定基准混凝土配合比中的粗、细骨料用量，并以此为基础，根据已确定的再生粗骨料取代率(δ_g)和再生细骨料取代率(δ_s)，计算再生骨料用量；

7 根据再生粗骨料的用量及其吸水率计算出单位附加用水量，计算公式如下：

$$m_{wa} = \delta_g m_g W_{wg} \quad (6.4.5-3)$$

式中： m_{wa} ——单位附加用水量（kg）；

m_g ——每立方米再生骨料混凝土所用粗骨料的计算用量（kg）；

W_{wg} ——再生粗骨料的吸水率（%）。

8 通过试配及调整，确定再生骨料混凝土最终配合比，配制时，应根据工程具体要求采取控制拌合物坍落度损失的相应措施。

条文说明：进行再生骨料混凝土试配时，应观察坍落度在 1h 和 2h 的损失情况，并根据坍损情况进行外加剂和混凝土配合比的调整，确保满足施工性能的需要。

6.4.6 再生骨料混凝土配合比的试配和调整应参照现行行业标准《普通混凝土配合比设计流程》JGJ 55 的规定进行。

6.4.7 对耐久性有设计要求的再生骨料混凝土应进行相关耐久性试验验证。

7 建筑垃圾再生骨料混凝土施工和质量验收

7.1 制备和运输

7.1.1 建筑垃圾再生骨料混凝土原材料的储存和计量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。

7.1.2 建筑垃圾再生骨料混凝土的搅拌和运输应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《预拌混凝土》GB/T 14902 的相关规定。

7.2 浇筑和养护

7.2.1 建筑垃圾再生骨料混凝土的浇筑和养护应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。

7.3 施工质量验收

7.3.1 建筑垃圾再生骨料混凝土的施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

本指南用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在此条件许可时，首先应这样做的：
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 2 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 3 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 4 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》
GB/T 50082
- 5 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 6 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 7 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 8 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 9 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 10 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 11 《工程施工废弃物再生利用技术规范》 GB/T 50743
- 12 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 13 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 14 《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566
- 15 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 16 《建设用砂》 GB/T 14684
- 17 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 18 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 19 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》
GB/T 18046
- 20 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》 GB/T 20491

- 21 《混凝土和砂浆用再生细骨料》 GB/T 25176
- 22 《混凝土用再生粗骨料》 GB/T 25177
- 23 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 24 《混凝土和砂浆用天然沸石粉》 JG/T 3048
- 25 《普通混凝土配合比设计流程》 JGJ 55
- 26 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 27 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
- 28 《再生骨料应用技术规程》 JGJ/T 240
- 29 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》 JTG/T 3310
- 30 《建筑垃圾处理技术标准》 CJJ/T 134
- 31 《再生混凝土应用技术规程》 DG/TJ 08