

山东省工程建设标准

再生混凝土配合比设计规程

Specification for mix proportion design of
recycled concrete

DB37/T 5176 — 2021

住房和城乡建设部备案号: **J 15600—2021**

主编单位: 青 岛 农 业 大 学

山东省建筑科学研究院有限公司

批准部门: 山东省住房和城乡建设厅

山东省市场监督管理局

实施日期: 2 0 2 1 年 5 月 1 日

中国建材工业出版社

2021 北 京

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发〈2019 年山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》(鲁建标字〔2019〕11 号)的要求,编制组经广泛调查研究,认真总结工程经验,参考国内外相关标准,结合本省实际情况,并在广泛征求意见的基础上,制定了本规程。

本规程的主要技术内容是:总则,术语和符号,基本规定,再生骨料的技术要求、进场检验、运输和储存,再生混凝土配制强度的确定,再生粗骨料混凝土配合比计算,再生细骨料混凝土配合比计算,再生混凝土配合比的试配、调整与确定,有特殊要求的再生混凝土。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理,由青岛农业大学负责具体技术内容的解释。

各单位在规程执行过程中如有意见或建议,请寄送青岛农业大学建筑工程学院(地址:山东省青岛市城阳区长城路 700 号,邮编:266109,联系电话:0532-58957821,邮箱:guoyuanxin@qau.edu.cn)。

主 编 单 位:青岛农业大学

山东省建筑科学研究院有限公司

参 编 单 位:青岛绿帆再生建材有限公司

青岛北苑环保建材有限公司

中建八局第二建设有限公司

山东鲁桥建材有限公司

青岛市政集团砼业工程有限公司

济南四建(集团)有限责任公司

青岛青建蓝谷新型材料有限公司

主要起草人员：李秋义 崔洪涛 郭远新 蔡贵生 陈际洲
于 琦 娄德利 岳公冰 王 可 陈 勇
潘玉珀 王树福 肖建庄 李绍纯 唐兴滨
刘桂宾 孙 浩 房海波 张 冬 马 静
李青灿

主要审查人员：赵霄龙 兰明章 王 琦 万成梅 张维汇
王广洋 王 华 岳成山 张爱军

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	7
4	再生骨料的技术要求、进场检验、运输和储存	11
4.1	技术要求	11
4.2	进场检验	11
4.3	运输和储存	12
5	再生混凝土配制强度的确定	13
6	再生粗骨料混凝土配合比计算	15
6.1	用水量 and 外加剂用量	15
6.2	胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量	16
6.3	砂率	19
6.4	粗、细骨料用量	20
7	再生细骨料混凝土配合比计算	21
7.1	用水量 and 外加剂用量	21
7.2	胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量	22
7.3	砂率	24
7.4	粗、细骨料用量	24
8	再生混凝土配合比的试配、调整和确定	26
8.1	试配	26
8.2	配合比的调整与确定	27
9	有特殊要求的再生混凝土	32
9.1	抗渗再生混凝土	32

9.2 抗冻再生混凝土 33

9.3 大体积再生混凝土 34

本规程用词说明 36

引用标准名录 37

附：条文说明 39

1 总 则

1.0.1 为促进我省住建领域新旧动能转换和绿色城市健康发展，规范再生混凝土配合比设计方法，保证再生骨料在工程中的合理应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑与市政工程及一般构筑物所用的再生粗骨料混凝土及再生细骨料混凝土配合比设计。

1.0.3 再生混凝土配合比设计除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 再生粗骨料 recycled coarse aggregate

由建（构）筑废物中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，用于配制混凝土的粒径大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.2 再生细骨料 recycled fine aggregate

由建（构）筑废物中的混凝土、砂浆、石或砖瓦等加工而成，用于配制混凝土的粒径不大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.3 再生粗骨料混凝土 recycled coarse aggregate concrete

仅利用再生粗骨料部分或全部取代天然粗骨料配制而成的混凝土。

2.1.4 再生细骨料混凝土 recycled fine aggregate concrete

仅利用再生细骨料部分或全部取代天然细骨料配制而成的混凝土。

2.1.5 再生混凝土 recycled concrete

再生粗骨料混凝土和再生细骨料混凝土的总称。

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

再生混凝土中再生粗骨料用量占粗骨料总用量的质量百分比。

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

再生混凝土中再生细骨料用量占细骨料总用量的质量百分比。

2.1.8 矿物掺合料掺量 percentage of mineral admixture

再生混凝土中矿物掺合料用量占胶凝材料用量的质量百

分比。

2.1.9 配合比 mix proportion

再生混凝土中各组成材料数量之间的比例关系。

2.1.10 计算配合比 calculated mix proportion

按选用的原材料性能及对再生混凝土的技术要求，在进行初步配合比计算后得到的再生混凝土配合比。

2.1.11 调整配合比 adjusted mix proportion

基于再生混凝土的计算配合比，经实验室试拌，依次调整再生混凝土的工作性、表观密度和强度，得到的满足设计和生产要求的再生混凝土配合比。

2.1.12 干基配合比 mix proportion in dry state

选用干燥状态下的骨料，按其他原材料性能及对再生混凝土的技术要求，在进行初步配合比计算后得到的再生混凝土配合比。

2.1.13 生产配合比 mix proportion for production

根据生产现场存放和使用的粗、细骨料实际含水情况，将干基配合比修正后的再生混凝土配合比。

2.1.14 综合含泥量 synthetically content of dust

再生骨料和天然骨料按实际使用比例混合后公称粒径小于80 μm 颗粒的含量。

2.1.15 综合泥块含量 synthetically content of clay lump

再生骨料和天然骨料按实际使用比例混合后骨料泥块含量的加权平均值。

2.2 符 号

f_b ——胶凝材料28d胶砂抗压强度实测值（MPa）；

f_{ce} ——水泥28d胶砂抗压强度（MPa）；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值（MPa）；

f_R ——再生混凝土配制强度（MPa）；

f_{Rg} ——再生粗骨料混凝土配制强度（MPa）；

f_{Rs} ——再生细骨料混凝土配制强度 (MPa);
 $f_{cu,k}$ ——再生混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa);
 m_a ——调整配合比中每立方米再生混凝土的外加剂用量 (kg/m^3);
 m_{a0} ——再生混凝土计算配合比中外加剂用量 (kg/m^3);
 m_b ——调整配合比中每立方米再生混凝土的胶凝材料用量 (kg/m^3);
 m_{b0} ——再生混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3);
 m_c ——调整配合比中每立方米再生混凝土的水泥用量 (kg/m^3);
 m_{c0} ——再生混凝土计算配合比中水泥用量 (kg/m^3);
 m_{cp} ——每立方米再生混凝土拌合物的假定质量 (kg/m^3);
 m_f ——调整配合比中每立方米再生混凝土的矿物掺合料用量 (kg/m^3);
 m_{f0} ——再生混凝土计算配合比中矿物掺合料用量 (kg/m^3);
 m_G ——调整配合比中每立方米再生混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3);
 m_{Gg} ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3);
 m'_{Gg} ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3);
 m_{G0} ——再生混凝土计算配合比中粗骨料总用量 (kg/m^3);
 m_{g0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中再生粗骨料用量 (kg/m^3);
 m_g ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的再生粗骨料用量 (kg/m^3);
 m'_g ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的再生粗骨料用量 (kg/m^3);
 m'_{g0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中天然粗骨料用量

- (kg/m^3);
- m_s ——调整配合比中每立方米再生混凝土的细骨料总用量 (kg/m^3);
- m_{ss} ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的细骨料总用量 (kg/m^3);
- m'_{ss} ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的细骨料总用量 (kg/m^3);
- m_{s0} ——再生混凝土计算配合比中细骨料总用量 (kg/m^3);
- m_{s0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中再生细骨料用量 (kg/m^3);
- m_s ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的再生细骨料用量 (kg/m^3);
- m'_s ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的再生细骨料用量 (kg/m^3);
- m'_{s0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中天然细骨料用量 (kg/m^3);
- m_{w0} ——普通混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3);
- m'_{w0} ——未掺外加剂时推定的满足实际坍落度要求的普通混凝土用水量 (kg/m^3);
- m_{wR} ——调整配合比中每立方米再生混凝土的用水量 (kg/m^3);
- m_{wg0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3);
- m_{wg} ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的用水量 (kg/m^3);
- m'_{wg} ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的用水量 (kg/m^3);
- m_{ws0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3);
- m_{ws} ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的用水量 (kg/m^3);

- m'_{ws} ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的用水量 (kg/m^3);
- $(W/B)_{Rg}$ ——再生粗骨料混凝土计算配合比中的水胶比;
- $(W/B)_{Rs}$ ——再生细骨料混凝土计算配合比中的水胶比;
- α_a 、 α_b ——回归系数;
- β ——外加剂的减水率 (%);
- β_a ——外加剂的掺量 (%);
- β_f ——矿物掺合料的掺量 (%);
- β_s ——砂率 (%);
- β_w ——再生细骨料的再生胶砂需水量比;
- γ_c ——水泥强度等级值的富余系数;
- γ_f ——粉煤灰影响系数;
- γ_s ——粒化高炉矿渣影响系数;
- δ ——再生混凝土配合比校正系数;
- ω_a ——再生粗骨料的吸水率 (%);
- ω_{cg} ——再生粗骨料的含水率 (%);
- ω_{es} ——再生细骨料的含水率 (%);
- λ_g ——再生粗骨料取代率 (%);
- λ_s ——再生细骨料取代率 (%);
- $\rho_{c,c}$ ——调整配合比中再生混凝土拌合物表观密度计算值 (kg/m^3);
- $\rho_{c,t}$ ——调整配合比中再生混凝土拌合物表观密度实测值 (kg/m^3);
- σ ——再生混凝土强度标准差 (MPa)。

3 基本规定

3.0.1 再生混凝土用原材料应符合下列规定：

1 被污染或腐蚀的建筑垃圾不得用于制备再生骨料，再生骨料及其制品的放射性应符合《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定，再生骨料的应用应符合国家有关安全和环保的规定。

2 天然粗骨料和天然细骨料应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。

3 水泥宜采用通用硅酸盐水泥，并应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定；当采用其他品种水泥或不同品种水泥混合使用时，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

4 拌合用水和养护用水应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5 矿物掺合料应符合《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、《混凝土和砂浆用天然沸石粉》JG/T 3048 等标准的规定。

6 外加剂应符合《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 等标准的规定。

3.0.2 再生混凝土配合比设计应满足再生混凝土配制强度及其他力学性能、长期性能和耐久性能的设计要求，并应符合下列规定：

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

2 I类再生细骨料可用于配制 C40 及以下强度等级的混凝土；II类再生细骨料宜用于配制 C25 及以下强度等级的混凝土；III类再生细骨料不宜用于配制结构混凝土。

3 再生混凝土拌合物性能、其他力学性能、长期性能和耐久性能的试验方法应分别符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080、《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

4 再生混凝土耐久性设计应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的相关规定。当再生混凝土用于设计使用年限为 50 年的混凝土结构时，其耐久性应符合《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的相关规定。

5 对于有抗冻、抗渗和大体积等特殊要求的再生混凝土，除了满足本规程的相关规定以外，还应在工程使用前进行试验验证。

3.0.3 再生混凝土的最小胶凝材料用量应符合表 3.0.3 的规定，配制 C15 及其以下强度等级的再生混凝土时可不受表 3.0.3 的限制。

表 3.0.3 再生混凝土的最小胶凝材料用量 (kg/m³)

最大水胶比	最小胶凝材料用量	
	素混凝土	钢筋混凝土
0.60	260	290
0.55	290	310
0.50	330	
≤0.45	340	

3.0.4 再生混凝土中矿物掺合料掺量应通过试验确定。当再生骨料应用于配制钢筋混凝土时，其矿物掺合料最大掺量宜符合表 3.0.4 的规定。

表 3.0.4 再生骨料配制钢筋混凝土时矿物掺合料最大掺量（%）

矿物掺合料种类	水胶比	矿物掺合料最大掺量	
		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	≤40	≤30
	>0.40	≤35	≤25
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	≤60	≤50
	>0.40	≤50	≤40
钢渣粉	—	≤25	≤15
磷渣粉	—	≤25	≤15
硅灰	—	≤5	≤5
复合掺合料	≤0.40	≤60	≤50
	>0.40	≤50	≤40

- 注：1 采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合材掺量超过《通用硅酸盐水泥》GB 175 限量的混合材量计入矿物掺合料；
- 2 复合掺合料中各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量；
- 3 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

3.0.5 再生混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合表 3.0.5 的要求。再生混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应按照《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中的测定方法进行测定。

表 3.0.5 再生混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量（%）

环境条件	水溶性氯离子最大含量	
	钢筋混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	1.00
潮湿但不含氯离子的环境	0.20	
潮湿而含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.10	
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06	

注：水溶性氯离子含量为水泥用量的质量百分比。

3.0.6 长期处于潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境以及盐冻环境的再生混凝土应掺用引气剂。引气剂掺量应根据再生混凝土含气量要求经试验确定；掺用引气剂的再生混凝土最小含气量应符合表 3.0.6 的规定，最大不宜超过 7.0%。

表 3.0.6 掺用引气剂的再生混凝土最小含气量（%）

粗骨料最大公称粒径 (mm)	最小含气量	
	潮湿或水位变动的寒冷和 严寒环境	盐冻环境
40.0	4.5	5.0
25.0	5.0	5.5
20.0	5.5	6.0

注：含气量为气体占再生混凝土体积的百分比。

3.0.7 对于有预防再生混凝土碱骨料反应设计要求的工程，再生混凝土中最大碱含量不应大于 3.0 kg/m³，并宜掺用适量粉煤灰等矿物掺合料；对于矿物掺合料碱含量，粉煤灰碱含量可取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量可取实测值的 1/2。

4 再生骨料的技术要求、进场检验、运输和储存

4.1 技术要求

4.1.1 配制混凝土用的再生粗骨料应符合《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定。

4.1.2 配制混凝土用的再生细骨料应符合《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的规定。

4.2 进场检验

4.2.1 再生骨料进场时，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。

4.2.2 再生骨料进场检验应符合下列规定：

1 配制混凝土的再生粗骨料，应对其微粉含量、泥块含量、吸水率、压碎指标和表观密度进行检验。

2 配制混凝土的再生细骨料，应对其微粉含量、泥块含量、再生胶砂需水量比和表观密度进行检验。

3 同一厂家、同一类别、同一规格的再生骨料，每 400m^3 或 600t 应作为一个检验批，不足 400m^3 或 600t 的应按一批计。

4 再生骨料进场检验结果应符合本规程 4.1 的规定。当有一项指标达不到要求时，可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，可判定该批产品为合格产品；复检结果不合格的，应判定该产品为不合格产品。

4.3 运输和储存

4.3.1 再生骨料运输时，应采取防止混入杂物和粉尘飞扬的措施。

4.3.2 再生骨料应按类别、规格分开堆放储存，且应采取防止混入杂物、人为碾压和污染的措施。

5 再生混凝土配制强度的确定

5.0.1 再生混凝土的配制强度应按下式计算：

$$f_R \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (5.0.1)$$

式中： f_R ——再生混凝土配制强度（MPa）；

$f_{cu,k}$ ——再生混凝土立方体抗压强度标准值，取再生混凝土的设计强度等级值（MPa）；

σ ——再生混凝土强度标准差（MPa）。

5.0.2 再生混凝土强度标准差的确定：

1 对于再生粗骨料混凝土，其 σ 的确定可按下列规定进行：

1) 当仅掺Ⅰ类再生粗骨料或Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率不大于30%时， σ 可符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定，按表5.0.2-1取值。

表 5.0.2-1 再生粗骨料混凝土强度标准差 σ (MPa)

强度等级	≤C20	C25 ~ C45	C50、C55
σ	4.0	5.0	6.0

2) 当Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率大于30%时， σ 可符合《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240的规定，按表5.0.2-2取值。

表 5.0.2-2 再生粗骨料混凝土强度标准差推荐值 σ (MPa)

强度等级	≤C20	C25、C30	C35、C40
σ	4.0	5.0	6.0

2 对于再生细骨料混凝土，其 σ 的确定可按下列规定进行：

- 1) 当 I 类再生细骨料取代率不大于 30% 时, σ 可符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定, 按表 5.0.2-1 取值。
- 2) 当 I 类再生细骨料取代率大于 30% 或掺用 II 类、III 类再生细骨料时, σ 可符合《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的规定, 按表 5.0.2-2 取值。

6 再生粗骨料混凝土配合比计算

6.1 用水量和外加剂用量

6.1.1 再生粗骨料混凝土配合比设计应采用工程实际使用的原材料，并应满足国家现行标准的有关要求。所采用的再生粗骨料应控制其含水率与吸水率之差在 $\pm 0.5\%$ 范围内的准饱和面干状态，天然粗骨料含水率应小于 0.2% 。此时，再生粗骨料混凝土的用水量应按下式确定：

$$m_{wg0} = m_{w0} \quad (6.1.1)$$

式中： m_{wg0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3)；

m_{w0} ——普通混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3)。

6.1.2 普通混凝土的用水量 (m_{w0}) 应符合下列规定：

1 干硬性或塑性混凝土水胶比在 $0.40 \sim 0.80$ 范围时，可按表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2 选取。

2 混凝土水胶比小于 0.40 时，可通过试验确定。

表 6.1.2-1 干硬性普通混凝土的用水量 (kg/m^3)

拌合物稠度		卵石最大公称粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
项目	指标	10.0	20.0	40.0	16.0	20.0	40.0
维勃稠度 (s)	16 ~ 20	175	160	145	180	170	155
	11 ~ 15	180	165	150	185	175	160
	5 ~ 10	185	170	155	190	180	165

表 6.1.2-2 塑性普通混凝土的用水量 (kg/m^3)

拌合物稠度		卵石最大粒径 (mm)				碎石最大粒径 (mm)			
项目	指标	10.0	20.0	31.5	40.0	16.0	20.0	31.5	40.0
坍落度 (mm)	10 ~ 30	190	170	160	150	200	185	175	165
	35 ~ 50	200	180	170	160	210	195	185	175
	55 ~ 70	210	190	180	170	220	205	195	185
	75 ~ 90	215	195	185	175	230	215	205	195

注：1 本表用水量系采用中砂时的取值。采用细砂时，每立方米混凝土用水量可增加 $5\text{kg} \sim 10\text{kg}$ ；采用粗砂时，可减少 $5\text{kg} \sim 10\text{kg}$ 。

2 掺用矿物掺合料和外加剂时，用水量应相应调整。

3 掺外加剂时，流动性或大流动性混凝土用水量可按下式计算：

$$m_{w0} = m'_{w0}(1 - \beta) \quad (6.1.2)$$

式中： m'_{w0} ——未掺外加剂时推定的满足实际坍落度要求的普通混凝土用水量 (kg/m^3)，以本规程表 6.1.2-2 中 90mm 坍落度的用水量为基础，按每增大 20mm 坍落度相应增加 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 用水量来计算，当坍落度增大到 180mm 以上时，随坍落度相应增加的用水量可减少；

β ——外加剂的减水率 (%)，应经混凝土试验确定。

6.1.3 再生粗骨料混凝土中外加剂用量应按下式计算：

$$m_{a0} = m_{b0} \beta_a \quad (6.1.3)$$

式中： m_{a0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中外加剂用量 (kg/m^3)；

m_{b0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3)，计算应符合本规程 6.2.1 的规定；

β_a ——外加剂掺量 (%)，应经混凝土试验确定。

6.2 胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量

6.2.1 再生粗骨料混凝土的胶凝材料用量 (m_{bo}) 应按下式

计算：

$$m_{b0} = m_{w0} \frac{f_{Rg} + \alpha_a \alpha_b f_b [1 - (7.607 \omega_a - 0.074) \lambda_g]}{\alpha_a f_b [1 - (7.607 \omega_a - 0.074) \lambda_g]} \quad (6.2.1)$$

式中： m_{b0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3)；

m_{w0} ——普通混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3)；

α_a 、 α_b ——回归系数，按本规程 6.2.2 的规定取值；

f_b ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度 (MPa)，可按照《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671 实测；也可按本规程 6.2.3 确定选取；

f_{Rg} ——再生粗骨料混凝土的配制强度 (MPa)；

ω_a ——再生粗骨料的吸水率，以小数计；

λ_g ——再生粗骨料取代率，以小数计。

6.2.2 α_a 、 α_b 应按下列规定确定：

1 根据工程所使用的原材料，通过试验建立的水胶比与普通混凝土强度关系式来确定。

2 当不具备上述试验统计资料时，可按表 6.2.2 选用。

表 6.2.2 回归系数 (α_a 、 α_b) 取值表

系数	粗骨料品种	
	碎石	卵石
α_a	0.53	0.49
α_b	0.20	0.13

6.2.3 f_b 应按下列规定确定：

1 按照矿物掺合料的掺量，通过《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671 实测确定。

2 当无实测值时，可按式计算：

$$f_b = \gamma_f \gamma_s f_{ce} \quad (6.2.3)$$

式中： γ_f 、 γ_s ——粉煤灰影响系数和粒化高炉矿渣粉影响系数，

可按表 6.2.3 选用；

f_{ce} ——水泥 28d 胶砂抗压强度（MPa），可实测，也可按本规程 6.2.4 确定。

表 6.2.3 粉煤灰影响系数（ γ_f ）和粒化高炉矿渣粉影响系数（ γ_s ）

种类 \ 掺量（%）	粉煤灰影响系数 γ_f	粒化高炉矿渣粉影响系数 γ_s
0	1.00	1.00
10	0.85 ~ 0.95	1.00
20	0.75 ~ 0.85	0.95 ~ 1.00
30	0.65 ~ 0.75	0.90 ~ 1.00
40	0.55 ~ 0.65	0.80 ~ 0.90
50	—	0.70 ~ 0.85

注：1 采用Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰宜取上限值；

2 采用 S75 级粒化高炉矿渣粉宜取下限值，采用 S95 级粒化高炉矿渣粉宜取上限值，采用 S105 级粒化高炉矿渣粉可取上限值加 0.05；

3 当超出表中的掺量时，粉煤灰和粒化高炉矿渣粉影响系数应经试验确定。

6.2.4 当水泥 28d 胶砂抗压强度（ f_{ce} ）无实测值时，可按下式计算：

$$f_{ce} = \gamma_c f_{ce,g} \quad (6.2.4)$$

式中： γ_c ——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定；当缺乏实际统计资料时，也可按表 6.2.4 选用；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值（MPa）。

表 6.2.4 水泥强度等级值的富余系数（ γ_c ）

水泥强度等级值	32.5	42.5	52.5
富余系数	1.12	1.16	1.10

6.2.5 再生粗骨料混凝土的矿物掺合料用量（ m_{f0} ）应按下式计算：

$$m_{f0} = m_{f0} \beta_f \quad (6.2.5)$$

式中： m_{f0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中矿物掺合料用量（ kg/m^3 ）；

m_{b0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3)；

β_f ——矿物掺合料掺量 (%)，可按本规程 3.0.4 的规定确定。

6.2.6 再生粗骨料混凝土的水泥用量 (m_{c0}) 应按下式计算：

$$m_{c0} = m_{b0} - m_{f0} \quad (6.2.6)$$

式中： m_{c0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中水泥用量 (kg/m^3)。

6.3 砂 率

6.3.1 再生粗骨料混凝土的砂率 (β_s) 可参照普通混凝土砂率，根据骨料的技术指标、再生粗骨料混凝土拌合物性能和施工要求，参考既有历史资料确定。

6.3.2 当缺乏砂率的历史资料时，再生粗骨料混凝土砂率的确定应符合下列规定：

1 坍落度小于 10mm 的再生粗骨料混凝土，其砂率应经试验确定。

2 坍落度为 10mm ~ 60mm 的再生粗骨料混凝土，其砂率可根据粗骨料类别、最大公称粒径及水胶比按表 6.3.2 选取。

3 坍落度大于 60mm 的再生粗骨料混凝土，其砂率可经试验确定，也可在表 6.3.2 的基础上，按坍落度每增大 20mm 砂率增大 1% 的幅度予以调整。

表 6.3.2 再生粗骨料混凝土的砂率 (%)

水胶比	卵石最大公称粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
	10.0	20.0	40.0	16.0	20.0	40.0
0.40	26 ~ 32	25 ~ 31	24 ~ 30	30 ~ 35	29 ~ 34	27 ~ 32
0.50	30 ~ 35	29 ~ 34	28 ~ 33	33 ~ 38	32 ~ 37	30 ~ 35
0.60	33 ~ 38	32 ~ 37	31 ~ 36	36 ~ 41	35 ~ 40	33 ~ 38
0.70	36 ~ 41	35 ~ 40	34 ~ 39	39 ~ 44	38 ~ 43	36 ~ 41

注：1 本表数值系中砂的选用砂率，对细砂或粗砂，可相应地减少或增大砂率；

2 只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时，砂率应适当增大。

6.4 粗、细骨料用量

6.4.1 再生粗骨料混凝土的配合比计算可采用质量法，粗、细骨料用量应按式（6.4.1-1）计算；砂率应按式（6.4.1-2）计算。

$$m_{f0} + m_{c0} + m_{G0} + m_{S0} + m_{wg0} = m_{cp} \quad (6.4.1-1)$$

$$\beta_s = \frac{m_{S0}}{m_{G0} + m_{S0}} \times 100\% \quad (6.4.1-2)$$

式中： m_{G0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中粗骨料总用量（ kg/m^3 ）；

m_{S0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中细骨料总用量（ kg/m^3 ）；

m_{wg0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中用水量（ kg/m^3 ）；

β_s ——砂率（%）；

m_{cp} ——再生粗骨料混凝土拌合物的假定质量（ kg/m^3 ），可取 $2300\text{kg}/\text{m}^3 \sim 2400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

6.4.2 再生粗骨料的用量应按下式计算：

$$m_{g0} = m_{G0} \lambda_g \quad (6.4.2)$$

式中： m_{g0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中再生粗骨料用量（ kg/m^3 ）；

m_{G0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中粗骨料总用量（ kg/m^3 ）；

λ_g ——再生粗骨料取代率，以小数计。

6.4.3 天然粗骨料的用量应按下式计算：

$$m'_{g0} = m_{G0} - m_{g0} \quad (6.4.3)$$

式中： m'_{g0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中天然粗骨料用量（ kg/m^3 ）。

7 再生细骨料混凝土配合比计算

7.1 用水量和外加剂用量

7.1.1 再生细骨料混凝土配合比设计应采用工程实际使用的原材料，并应满足国家现行标准的有关要求，所采用的再生细骨料应在试配前做预湿处理，控制其含水率应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 再生细骨料配制混凝土时含水率控制范围（%）

再生细骨料 类别	规格		
	细	中	粗
I 类	$(2.5 \sim 2.6)\beta_w$	$(2.2 \sim 2.3)\beta_w$	$(2.0 \sim 2.1)\beta_w$
II 类	$(3.7 \sim 3.8)\beta_w$	$(3.3 \sim 3.4)\beta_w$	$(2.9 \sim 3.0)\beta_w$
III 类	$(4.9 \sim 5.0)\beta_w$	$(4.7 \sim 4.8)\beta_w$	$(4.5 \sim 4.6)\beta_w$

注：1 表中 β_w 为再生细骨料的再生胶砂需水量比，无量纲；

2 对再生细骨料进行预湿处理时的加水量包含自然状态下再生细骨料的含水量。

此时，再生细骨料混凝土的用水量应按下式确定：

$$m_{ws0} = m_{w0} \quad (7.1.1)$$

式中： m_{ws0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中用水量（ kg/m^3 ）；

m_{w0} ——普通混凝土计算配合比中用水量（ kg/m^3 ）。

7.1.2 普通混凝土的用水量（ m_{w0} ）应符合下列规定：

1 干硬性或塑性混凝土水胶比在 0.40 ~ 0.80 范围时，可按本规程表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2 选取。

2 混凝土水胶比小于 0.40 时，可通过试验确定。

3 掺外加剂时，流动性或大流动性混凝土用水量可按式（7.1.2）计算，泵送施工的再生细骨料混凝土宜使用缓释型减水剂。

$$m_{w0} = m'_{w0}(1 - \beta) \quad (7.1.2)$$

式中： m'_{w0} ——未掺外加剂时推定的满足实际坍落度要求的普通混凝土用水量 (kg/m^3)，以本规程表 6.1.2-2 中 90mm 坍落度的用水量为基准，按每增大 20mm 坍落度相应增加 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 用水量来计算，当坍落度增大到 180mm 以上时，随坍落度相应增加的用水量可减少；

β ——外加剂的减水率 (%)，应经混凝土试验确定。

7.1.3 再生细骨料混凝土中外加剂用量应按下式计算：

$$m_{a0} = m_{b0}\beta_a \quad (7.1.3)$$

式中： m_{a0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中外加剂用量(kg/m^3)；

m_{b0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3)，计算应符合本规程 7.2.1 的规定；

β_a ——外加剂掺量 (%)，应经混凝土试验确定。

7.2 胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量

7.2.1 再生细骨料混凝土的胶凝材料用量 (m_{b0}) 应按下式计算：

$$m_{b0} = m_{w0} \frac{f_{Rs} + \alpha_a \alpha_b f_b [1 - (1.829\beta_w - 2.218)\lambda_s]}{\alpha_a f_b [1 - (1.829\beta_w - 2.218)\lambda_s]} \quad (7.2.1)$$

式中： m_{b0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3)；

m_{w0} ——普通混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3)；

α_a 、 α_b ——回归系数，按本规程 7.2.2 的规定取值；

f_b ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度 (MPa)，可按照《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671 实测；也可按本规程 7.2.3 确定选取；

f_{Rs} ——再生细骨料混凝土的配制强度 (MPa)；

β_w ——再生细骨料的再生胶砂需水量比；

λ_s ——再生细骨料取代率，以小数计。

7.2.2 α_a 、 α_b 应按下列规定确定：

1 根据工程所使用的原材料，通过试验建立的水胶比与普通混凝土强度关系式来确定；

2 当不具备上述试验统计资料时，可按本规程表 6.2.2 选用。

7.2.3 f_b 应按下列规定确定：

1 按照矿物掺合料的掺量，通过《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 实测确定。

2 当无实测值时，可按下式计算：

$$f_b = \gamma_f \gamma_s f_{ce} \quad (7.2.3)$$

式中： γ_f 、 γ_s ——粉煤灰影响系数和粒化高炉矿渣粉影响系数，可按本规程表 6.2.3 选用；

f_{ce} ——水泥 28d 胶砂抗压强度（MPa），可实测，也可按本规程 7.2.4 确定。

7.2.4 当水泥 28d 胶砂抗压强度（ f_{ce} ）无实测值时，可按下式计算：

$$f_{ce} = \gamma_c f_{ce,g} \quad (7.2.4)$$

式中： γ_c ——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定；当缺乏实际统计资料时，也可按本规程表 6.2.4 选用；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值（MPa）。

7.2.5 再生细骨料混凝土的矿物掺合料用量（ m_0 ）应按下式计算：

$$m_0 = m_{b0} \beta_f \quad (7.2.5)$$

式中： m_0 ——再生细骨料混凝土计算配合比中矿物掺合料用量（ kg/m^3 ）；

m_{b0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中胶凝材料用量 (kg/m^3) ;

β_f ——矿物掺合料掺量 (%) , 可按本规程 3.0.4 的规定确定。

7.2.6 再生细骨料混凝土的水泥用量 (m_{c0}) 应按下式计算:

$$m_{c0} = m_{b0} - m_{f0} \quad (7.2.6)$$

式中: m_{c0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中水泥用量 (kg/m^3) 。

7.3 砂 率

7.3.1 再生细骨料混凝土的砂率 (β_s) 可参照普通混凝土砂率, 根据骨料的技术指标、再生细骨料混凝土拌合物性能和施工要求, 参考既有历史资料确定。

7.3.2 当缺乏砂率的历史资料时, 再生细骨料混凝土砂率的确定应符合下列规定:

1 坍落度小于 10mm 的再生细骨料混凝土, 其砂率应经试验确定。

2 坍落度为 10mm ~ 60mm 的再生细骨料混凝土, 其砂率可根据粗骨料类别、最大公称粒径及水胶比按本规程表 6.3.2 选取。

3 坍落度大于 60mm 的再生细骨料混凝土, 其砂率可经试验确定, 也可在本规程表 6.3.2 的基础上, 按坍落度每增大 20mm 砂率增大 1% 的幅度予以调整。

7.4 粗、细骨料用量

7.4.1 再生细骨料混凝土的配合比计算可采用质量法, 粗、细骨料用量应按式 (7.4.1-1) 计算; 砂率应按式 (7.4.1-2) 计算。

$$m_{f0} + m_{c0} + m_{G0} + m_{S0} + m_{ws0} = m_{cp} \quad (7.4.1-1)$$

$$\beta_s = \frac{m_{S0}}{m_{G0} + m_{S0}} \times 100\% \quad (7.4.1-2)$$

式中： m_{G0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中粗骨料总用量
(kg/m^3)；

m_{S0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中细骨料总用量
(kg/m^3)；

m_{ws0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中用水量 (kg/m^3)；

β_s ——砂率 (%)；

m_{cp} ——再生细骨料混凝土拌合物的假定质量 (kg/m^3)，
可取 $2300\text{kg}/\text{m}^3 \sim 2400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

7.4.2 再生细骨料的用量应按下式计算：

$$m_{s0} = m_{S0} \lambda_s \quad (7.4.2)$$

式中： m_{s0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中再生细骨料用量
(kg/m^3)；

m_{S0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中细骨料总用量
(kg/m^3)；

λ_s ——再生细骨料取代率，以小数计。

7.4.3 天然细骨料的用量应按下式计算：

$$m'_{s0} = m_{S0} - m_{s0} \quad (7.4.3)$$

式中： m'_{s0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中天然细骨料用量
(kg/m^3)。

8 再生混凝土配合比的试配、调整与确定

8.1 试 配

8.1.1 再生混凝土试配应采用强制式搅拌机进行搅拌，并应符合《混凝土试验用搅拌机》JG 244 的规定，搅拌方法宜与施工采用的方法相同。

8.1.2 试验室成型条件应符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

8.1.3 每盘再生混凝土试配的最小搅拌量应符合表 8.1.3 的规定，并不应小于搅拌机额定搅拌量的 1/4 且不应大于搅拌机公称容量。

表 8.1.3 再生混凝土试配的最小搅拌量 (L)

粗骨料最大公称粒径 (mm)	最小搅拌的拌合物量
≤31.5	20
40.0	25

8.1.4 在计算配合比的基础上应进行试拌。根据本规程 6.1、6.2 计算出的再生粗骨料混凝土用水量和胶凝材料用量，按式 (8.1.4-1) 计算出再生粗骨料混凝土配合比中的水胶比 $(W/B)_{Rg}$ ；根据本规程 7.1、7.2 计算出的再生细骨料混凝土用水量和胶凝材料用量，按式 (8.1.4-2) 计算出再生细骨料混凝土配合比中的水胶比 $(W/B)_{Rs}$ 。在试拌时，再生混凝土拌合物搅拌均匀后应测定坍落度，并检查其黏聚性和保水性能的好坏，如坍落度不满足要求或黏聚性、保水性不好，应保持配合比中的水胶比不变，通过调整配合比中的用水量或砂率使再生混凝土拌合物性能符合设计和施工要求，然后修正计算配合比，提出试拌配合比。

$$(W/B)_{Rg} = \frac{m_{wg0}}{m_{b0}} \quad (8.1.4-1)$$

$$(W/B)_{Rs} = \frac{m_{ws0}}{m_{b0}} \quad (8.1.4-2)$$

式中： $(W/B)_{Rg}$ ——再生粗骨料混凝土计算配合比中的水胶比；

$(W/B)_{Rs}$ ——再生细骨料混凝土计算配合比中的水胶比；

m_{wg0} ——再生粗骨料混凝土计算配合比中用水量(kg/m^3)；

m_{ws0} ——再生细骨料混凝土计算配合比中用水量(kg/m^3)；

m_{b0} ——再生混凝土计算配合比中胶凝材料用量(kg/m^3)。

8.1.5 在试拌配合比的基础上应进行再生混凝土强度试验，并应符合下列规定：

1 应至少采用五个不同的配合比，其中一个应为本规程 8.1.4 确定的试拌配合比，另外四个配合比的水胶比宜较试拌配合比分别增加和减少 0.03、0.06，用水量应与试拌配合比相同，砂率可分别增加和减少 0.5%、1%；

2 进行再生混凝土强度试验时，拌合物性能应符合设计和施工要求；

3 进行再生混凝土强度试验时，每个配合比应至少制作一组试件，并应标准养护到 28d 或设计规定龄期时试压。

8.2 配合比的调整与确定

8.2.1 配合比调整应符合下述规定：

1 根据本规程 8.1.5 再生混凝土强度试验结果，绘制强度和胶水比的线性关系图或插值法确定略大于配制强度对应的胶水比；

2 在试拌配合比的基础上，再生混凝土用水量(m_{wR})和外加剂用量(m_a)应根据确定的水胶比作调整；

3 胶凝材料用量(m_b)应以再生混凝土用水量乘以确定的胶水比计算得出；

4 粗骨料和细骨料总用量(m_G 和 m_S)应根据用水量和胶凝

材料用量进行调整。

8.2.2 再生混凝土拌合物表观密度和配合比校正系数的计算应符合下列规定：

1 配合比调整后的再生混凝土拌合物的表观密度应按下式计算：

$$\rho_{c,c} = m_c + m_f + m_G + m_S + m_{wR} \quad (8.2.2-1)$$

式中： $\rho_{c,c}$ ——调整配合比中再生混凝土拌合物的表观密度计算值 (kg/m^3)；

m_c ——调整配合比中每立方米再生混凝土的水泥用量 (kg/m^3)；

m_f ——调整配合比中每立方米再生混凝土的矿物掺合料用量 (kg/m^3)；

m_G ——调整配合比中每立方米再生混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3)；

m_S ——调整配合比中每立方米再生混凝土的细骨料总用量 (kg/m^3)；

m_{wR} ——调整配合比中每立方米再生混凝土的用水量 (kg/m^3)。

2 再生混凝土配合比校正系数应按下式计算：

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad (8.2.2-2)$$

式中： δ ——再生混凝土配合比校正系数；

$\rho_{c,t}$ ——调整配合比中再生混凝土拌合物的表观密度实测值 (kg/m^3)；

$\rho_{c,c}$ ——调整配合比中再生混凝土拌合物的表观密度计算值 (kg/m^3)。

8.2.3 当再生混凝土拌合物表观密度实测值与计算值之差的绝对值不超过计算值的2%时，按本规程8.2.1调整的配合比可维持不变；当二者之差超过2%时，应将配合比中每项材料用量均乘以校正系数 δ 。

8.2.4 配合比调整后，对耐久性有设计要求的再生混凝土应进

行相关耐久性试验验证，同时测定拌合物水溶性氯离子含量，试验结果应符合本规程 3.0.5 的规定。

8.2.5 再生粗骨料混凝土配合比设计时，当再生粗骨料、天然粗骨料和天然细骨料均为干燥状态时，再生粗骨料混凝土的用水量应按下式计算：

$$m'_{wg} = m_{wg} + m_g \frac{\omega_{cg}}{1 + \omega_{cg}} \quad (8.2.5-1)$$

式中： m'_{wg} ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的用水量 (kg/m^3)；

m_{wg} ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的用水量 (kg/m^3)；

m_g ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的再生粗骨料用量 (kg/m^3)；

ω_{cg} ——再生粗骨料的含水率，以小数计。

再生粗骨料混凝土干基配合比中的粗骨料总用量按下式计算：

$$m'_{Gg} = m_{Gg} - m_g \frac{\omega_{cg}}{1 + \omega_{cg}} \quad (8.2.5-2)$$

式中： m'_{Gg} ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3)；

m_{Gg} ——调整配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的粗骨料总用量 (kg/m^3)。

再生粗骨料混凝土干基配合比中的再生粗骨料用量按下式计算：

$$m'_g = m_g \frac{1}{1 + \omega_{cg}} \quad (8.2.5-3)$$

式中： m'_g ——干基配合比中每立方米再生粗骨料混凝土的再生粗骨料用量 (kg/m^3)。

再生粗骨料混凝土干基配合比中的水泥用量、矿物掺合料用量、天然粗骨料用量和天然细骨料用量与调整配合比中的用量相

一致。

8.2.6 再生细骨料混凝土配合比设计时，当再生细骨料、天然细骨料和天然粗骨料均为干燥状态时，再生细骨料混凝土的用水量应按下式计算：

$$m'_{ws} = m_{ws} + m_s \frac{\omega_{cs}}{1 + \omega_{cs}} \quad (8.2.6-1)$$

式中： m'_{ws} ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的用水量（ kg/m^3 ）；

m_{ws} ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的用水量（ kg/m^3 ）；

m_s ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的再生细骨料用量（ kg/m^3 ）；

ω_{cs} ——再生细骨料的含水率，以小数计。

再生细骨料混凝土干基配合比中的细骨料总用量按下式计算：

$$m'_{gs} = m_{gs} - m_s \frac{\omega_{cs}}{1 + \omega_{cs}} \quad (8.2.6-2)$$

式中： m'_{gs} ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的细骨料总用量（ kg/m^3 ）；

m_{gs} ——调整配合比中每立方米再生细骨料混凝土的细骨料总用量（ kg/m^3 ）。

再生细骨料混凝土干基配合比中的再生细骨料用量按下式计算：

$$m'_s = m_s \frac{1}{1 + \omega_{cs}} \quad (8.2.6-3)$$

式中： m'_s ——干基配合比中每立方米再生细骨料混凝土的再生细骨料用量（ kg/m^3 ）。

再生细骨料混凝土干基配合比中的水泥用量、矿物掺合料用量、天然细骨料用量和天然粗骨料用量与调整配合比中的用量相一致。

8.2.7 生产单位可根据常用材料设计出常用的再生混凝土配合比备用，现场材料的实际称量应按堆放场地中粗骨料、细骨料的实际含水情况进行修正，得到生产配合比，并在使用过程中予以验证或调整。如遇有下列情况之一时，应重新进行配合比设计：

1 对再生混凝土性能有特殊要求时；

2 再生骨料、天然骨料、水泥、外加剂或矿物掺合料等原材料品种、质量有显著变化时。

9 有特殊要求的再生混凝土

9.1 抗渗再生混凝土

9.1.1 抗渗再生混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 水泥宜采用普通硅酸盐水泥；
- 2 粗骨料应满足连续级配要求，其最大公称粒径不宜大于 31.5mm，再生粗骨料和天然粗骨料的综合含泥量不得大于 1.0%，综合泥块含量不得大于 0.5%；
- 3 细骨料宜采用中砂，再生细骨料和天然细骨料的综合含泥量不得大于 3.0%，综合泥块含量不得大于 1.0%；
- 4 抗渗再生混凝土宜掺用外加剂和矿物掺合料，粉煤灰建议采用 F 类，等级应为 I 级或 II 级。

9.1.2 抗渗再生混凝土配合比应符合下列规定：

- 1 最大水胶比应符合表 9.1.2 的规定；
- 2 每立方米再生混凝土中的胶凝材料用量不宜小于 320kg；
- 3 砂率宜为 35% ~ 45%。

表 9.1.2 抗渗再生混凝土最大水胶比

设计抗渗等级	最大水胶比	
	C20 ~ C30	C30 ~ C40
P6	0.55	0.50
P8 ~ P12	0.50	0.45
> P12	0.45	0.40

9.1.3 配合比设计中再生混凝土抗渗技术要求应符合下列规定：

- 1 配制抗渗再生混凝土要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2MPa。

2 抗渗试验结果应符合下式要求:

$$P_t \geq \frac{P}{10} + 0.2 \quad (9.1.3)$$

式中: P_t ——6 个试件中不少于 4 个未出现渗水时的最大水压值 (MPa);

P ——设计要求的抗渗等级值。

9.1.4 掺用引气剂的抗渗再生混凝土应进行含气量试验, 含气量宜控制在 3.0% ~ 5.0%。

9.2 抗冻再生混凝土

9.2.1 抗冻再生混凝土的原材料应符合下列规定:

1 水泥应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

2 粗骨料应满足连续级配要求, 其综合含泥量不得大于 1.0%, 综合泥块含量不得大于 0.5%。

3 细骨料的综合含泥量不得大于 3.0%, 综合泥块含量不得大于 1.0%。

4 粗、细骨料均应进行坚固性试验, 天然骨料应符合《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定; 再生粗骨料应符合《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定, 再生细骨料应符合《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的规定。

5 抗冻等级不小于 F100 的抗冻再生混凝土宜掺用引气剂。

6 在钢筋再生混凝土中不得掺用含有氯盐的防冻剂。

9.2.2 抗冻再生混凝土配合比应符合下列规定:

1 最大水胶比和最小胶凝材料用量应符合表 9.2.2-1 的规定;

2 复合矿物掺合料掺量应符合表 9.2.2-2 的规定; 其他矿物掺合料掺量应符合本规程表 3.0.4 的规定;

3 掺用引气剂的再生混凝土最小含气量应符合本规程 3.0.6 的规定。

表 9.2.2-1 最大水胶比和最小胶凝材料用量

设计抗冻等级	最大水胶比		最小胶凝材料用量 (kg/m ³)
	无引气剂时	掺引气剂时	
F50	0.50	0.55	300
F100	0.45	0.50	320
不低于 F150	—	0.45	350

表 9.2.2-2 复合矿物掺合料最大掺量 (%)

水胶比	最大掺量	
	采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时
≤0.40	60	50
>0.40	50	40

注：1 采用其他通用硅酸盐水泥时，可将水泥混合材掺量 20% 以上的混合材量计入矿物掺合料；

2 复合矿物掺合料中各矿物掺合料组分的掺量不宜超过表 3.0.4 中单掺时的限量。

9.3 大体积再生混凝土

9.3.1 大体积再生混凝土所用的原材料应符合下列规定：

1 水泥宜采用中、低热硅酸盐水泥，水泥的 3d 和 7d 水化热应符合《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 的规定。当采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，应掺加矿物掺合料，胶凝材料的 3d 和 7d 水化热分别不宜大于 240kJ/kg 和 270kJ/kg。水化热试验方法应按《水泥水化热测定方法》GB/T 12959 执行。

2 粗骨料应满足连续级配要求，最大公称粒径不宜小于 31.5mm，综合含泥量不应大于 1.0%。

3 细骨料宜采用中砂，综合含泥量不应大于 3.0%。

4 宜掺用矿物掺合料和缓凝型减水剂。

9.3.2 当采用再生混凝土 60d 或 90d 龄期强度时，宜采用标准

试件进行抗压强度试验。

9.3.3 大体积再生混凝土配合比应符合下列规定：

1 当采用再生混凝土 60d 或 90d 强度验收指标时，应将其作为再生混凝土配合比的设计依据；

2 混凝土拌合物的坍落度不宜大于 180mm；

3 拌合用水量不宜大于 175kg/m^3 ；

4 粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料用量的 50%，粒化高炉矿渣粉掺量不宜大于胶凝材料用量的 40%；粉煤灰和粒化高炉矿渣粉掺量总和不宜大于胶凝材料用量的 50%；

5 水胶比不宜大于 0.45；

6 砂率宜为 38% ~ 45%。

9.3.4 在配合比试配和调整时，控制再生混凝土绝热温升不宜大于 50℃。

9.3.5 大体积再生混凝土配合比应满足施工对混凝土凝结时间的要求。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

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，在条件许可时首先应这样做的用词：

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用词，采用“可”。

2 标准中指明按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》 GB/T 200
- 3 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 4 《建筑材料放射性核素限量》 GB 6566
- 5 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 6 《水泥水化热测定方法》 GB/T 12959
- 7 《建设用砂》 GB/T 14684
- 8 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 9 《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》 GB/T 17671
- 10 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》
GB/T 18046
- 11 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 12 《混凝土和砂浆用再生细骨料》 GB/T 25176
- 13 《混凝土用再生粗骨料》 GB/T 25177
- 14 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 15 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 16 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 17 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》
GB/T 50082
- 18 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 19 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 20 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 21 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 22 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 23 《再生骨料应用技术规程》 JGJ/T 240

- 24 《混凝土试验用搅拌机》 JG 244
- 25 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》 JGJ/T 322
- 26 《混凝土和砂浆用天然沸石粉》 JG/T 3048

山东省工程建设标准

再生混凝土配合比设计规程

DB37/T 5176—2021

条 文 说 明

制定说明

《再生混凝土配合比设计规程》DB37/T 5176—2021，经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局于2021年1月26日以鲁建标字〔2021〕5号通知批准、发布。

本规程是根据山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局《关于印发〈2019年山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2019〕11号）的要求制定。本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设中再生混凝土的配制经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，并且结合本省实际工程应用情况，通过实验室和工程现场试验，取得了再生混凝土配合比设计的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《再生混凝土配合比设计规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	42
2	术语和符号	43
2.1	术语	43
3	基本规定	45
4	再生骨料的技术要求、进场检验、运输和储存	48
4.2	进场检验	48
4.3	运输和储存	48
5	再生混凝土配制强度的确定	49
6	再生粗骨料混凝土配合比计算	50
6.1	用水量 and 外加剂用量	50
6.2	胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量	50
6.3	砂率	52
6.4	粗、细骨料用量	52
7	再生细骨料混凝土配合比计算	53
7.1	用水量 and 外加剂用量	53
7.2	胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量	54
7.3	砂率	55
7.4	粗、细骨料用量	55
8	再生混凝土配合比的试配、调整 and 确定	57
8.1	试配	57
8.2	配合比的调整与确定	57
9	有特殊要求的再生混凝土	59
9.1	抗渗再生混凝土	59
9.2	抗冻再生混凝土	59
9.3	大体积再生混凝土	60

1 总 则

1.0.1 推广使用再生骨料可减轻建筑垃圾对环境的不良影响，实现建筑垃圾的资源化利用，节约天然资源，促进建筑业的节能减排和可持续发展，符合我省住建领域新旧动能转换和绿色城市健康发展的新理念，也符合国家节约资源、保护环境的大政策。但是，由于再生骨料的性能有别于天然骨料，用其配制再生混凝土时也存在一定的特殊性。所以，为了保证再生混凝土的质量，并且推动再生混凝土在工程中的应用发展，需要制定专门的规程。

1.0.2 建筑垃圾的产生量日益增多，再生骨料及再生混凝土的工程应用也在大量推广与快速发展，故而再生混凝土配合比设计的适用范围也很广泛，建筑与市政工程及一般构筑物所用的再生混凝土均可以采用本规程。本规程中的再生混凝土配合比设计包括再生粗骨料混凝土和再生细骨料混凝土两部分，没有涵盖同时利用再生粗骨料和再生细骨料部分或全部取代天然骨料配制而成的双掺再生骨料混凝土，主要是考虑到同时掺加再生粗骨料和再生细骨料显著降低了混凝土的性能，并且在配制过程中很难掌控混凝土拌合物的状态，因此本规程不建议使用双掺再生骨料混凝土。

1.0.3 与本规程有关的、难以详尽的技术要求，应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.3 ~ 2.1.6 在采用再生骨料配制再生混凝土时，与再生骨料的品质多样性（再生粗骨料分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类，再生细骨料分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类）和使用的复杂性（部分取代、全部取代、单一取代、复合取代等）密切相关。其中，比较常见的是仅利用再生粗骨料部分或全部取代天然粗骨料配制而成的再生粗骨料混凝土；也有仅利用再生细骨料部分或全部取代天然细骨料配制而成的再生细骨料混凝土；另外还有较少见的是同时利用再生粗骨料和再生细骨料部分或全部取代天然骨料配制而成的双掺再生骨料混凝土。因此，根据工程需要和再生骨料的品质不同，再生骨料取代天然骨料的比例范围很宽泛。一般情况下，再生骨料取代天然骨料的质量百分比不低于30%，甚至可以达到100%，目前国内的技术水平已经完全可以达到这样的能力。所以，鼓励行业内充分利用现有技术提高再生骨料的取代比例，将有利于促进再生混凝土的技术进步，可以逐步提高建筑垃圾的再生利用率，有助于节能减排。另一方面，如果再生骨料取代率过低，配制技术实际上就与普通混凝土无区别，不能体现再生混凝土的技术内涵。

2.1.10 ~ 2.1.14 相比普通混凝土，再生混凝土的原材料种类更多、影响因素更为复杂，基于再生混凝土中各组成材料数量之间的比例关系，本规程给出了再生混凝土“计算配合比”的术语及定义。然而，再生混凝土计算配合比中得到的各原材料用量是借助于一些经验公式和数据计算出来的，或是利用经验资料查到的，不一定能够符合实际情况，故而在再生混凝土计算配合比确定后需进行试拌，在此过程中依次调整其工作性、表观密度和强

度等指标以满足设计和生产要求，然后提出再生混凝土的“调整配合比”。另外，根据再生骨料的实际使用状态，本规程中又给出了再生混凝土的“干基配合比”和“生产配合比”的术语及定义，便于各生产单位根据现场情况对再生混凝土配合比的确定进行精准调控。

2.1.15、2.1.16 骨料含泥量、泥块含量是影响混凝土和易性、力学性能、抗冻性、抗渗性等性能指标的重要因素之一，而再生骨料的含泥量、泥块含量又远高于天然骨料，当用其配制再生混凝土时，必然会对再生混凝土的性能产生不利影响。因此，本规程中给出了“综合含泥量”和“综合泥块含量”的术语及定义，用于限定配制再生混凝土时所用再生骨料和天然骨料按比例混合后的含泥量和泥块含量。

3 基本规定

3.0.1 配制再生混凝土所用原材料包括再生骨料、天然骨料、水泥、水、矿物掺合料和外加剂等，与普通混凝土相比，其复杂性体现在再生骨料的掺加。

1 原则上，有害杂质含量不足以影响再生混凝土使用性能的建筑垃圾均能用来生产再生骨料，但下列情况下的建筑垃圾不宜用于生产再生骨料：

① 建筑垃圾来自于有特殊使用场合的混凝土（如核电站、医院放射室等）；

② 建筑垃圾中硫化物含量高于 600mg/L；

③ 建筑垃圾已受重金属或有机物污染；

④ 建筑垃圾已受硫酸盐或氯盐等腐蚀介质严重侵蚀；

⑤ 原混凝土已发生严重的碱骨料反应。

《建筑垃圾处理技术规范》CJJ/T 134—2019 中对“建筑垃圾”定义为：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。

本规程所说的建筑垃圾是指建筑物或构筑物拆除过程中产生的建筑垃圾，以及预拌混凝土或混凝土预制构件等生产企业在生产过程中产生的、混凝土现场浇筑施工过程中产生的废弃硬化混凝土等，不包含对废弃的、尚处于拌合物状态的混凝土进行回收利用，因为这种情况的回收利用一般只是对拌合物进行冲洗等工序，分离出清洗干净的骨料进行重新利用，这与本规程所说的再生骨料不是一个概念。

3.0.2 再生混凝土配合比设计时应满足配制强度的要求，与普

通混凝土有所不同的是配制过程中所使用的再生骨料品质要差于天然骨料，这就导致品质较低的再生骨料不适宜配制高强度等级的再生混凝土，而Ⅰ类再生粗骨料的品质已经基本达到常用天然粗骨料的品质，所以其应用时不受强度等级的限制。因此，本规程根据再生骨料的类别分别限定了配制再生混凝土的强度等级。在此基础上，再生混凝土配合比设计还应满足施工性能、其他力学性能、长期性能和耐久性能的要求。

3.0.3 表 3.0.3 中最小胶凝材料用量是满足再生混凝土施工性能和掺加矿物掺合料后满足再生混凝土耐久性能的胶凝材料用量下限。

3.0.4 规定矿物掺合料最大掺量主要是为了保证再生混凝土的耐久性能。矿物掺合料在再生混凝土中的实际掺量是通过试验确定的，在本规程配合比调整和确定步骤中规定了耐久性试验验证，以确保满足工程设计提出的再生混凝土耐久性要求。当采用超过表 3.0.4 给出的矿物掺合料最大掺量时，全盘否定不妥，通过对再生混凝土性能进行全面试验验证，证明结构再生混凝土安全性和耐久性可以满足设计要求后，还是能够采用的。

3.0.5 本规程按环境条件影响氯离子引起钢锈的程度简明地分为四类，并规定了各类环境条件下的再生混凝土中氯离子最大含量。本规程采用测定再生混凝土拌合物中氯离子的方法，与测试硬化后再生混凝土中氯离子的方法相比，时间大大缩短，有利于配合比设计和控制。表 3.0.5 中的氯离子含量是相对再生混凝土中水泥用量的百分比，与控制氯离子相对再生混凝土中胶凝材料用量的百分比相比，偏于安全。

3.0.6 掺加适量引气剂有利于再生混凝土的耐久性，尤其对于有较高抗冻要求的再生混凝土，掺加引气剂可以明显提高再生混凝土的抗冻性能。引气剂掺量要适当，引气量太少作用不够，引气量太多再生混凝土强度损失较大。

3.0.7 将再生混凝土中碱含量控制在 3.0kg/m^3 以内，并掺加适量粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料，对预防再生混凝土碱

骨料反应具有重要意义。再生混凝土中的碱含量是测定的再生混凝土各原材料碱含量计算之和，而实测的粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料的碱含量并不是参与碱骨料反应的有效碱含量，对于矿物掺合料中有效碱含量，粉煤灰碱含量取实测值的 $1/6$ ，粒化高炉矿渣粉碱含量取实测值的 $1/2$ 。

4 再生骨料的技术要求、进场检验、 运输和储存

4.2 进场检验

4.2.1 由于再生骨料的来源较复杂，为了保证来货的性能质量和进行质量追溯，再生骨料进场手续检验应更加严格，应验收质量证明文件，包括型式检验报告、出厂检验报告及合格证等；质量证明文件中要体现生产信息、合格证编号、再生骨料类别、批号及出厂日期、再生骨料数量等内容。用于混凝土的再生骨料的型式检验、出厂检验按照《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177和《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 来执行。

4.2.2 再生骨料的进场检验是按照用户最关心且便于检验指标的原则来确定所选项目的。

4.3 运输和储存

4.3.2 为了避免使用时出现误用等差错，用户在储存原材料时，应在堆场或料库等储存地点设置明显的标志或专门标识，例如“混凝土用再生粗骨料”“混凝土用再生细骨料”等。

5 再生混凝土配制强度的确定

5.0.1 再生混凝土配制强度对生产施工的再生混凝土强度具有充分的保证率，经实践证明这一要求与普通混凝土相一致。

5.0.2 再生混凝土强度标准差的确定应根据所采用再生骨料的种类、类别和再生骨料取代率加以区分，并且参照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55、《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 分别给出了表 5.0.2-1 和表 5.0.2-2 的强度标准差取值，这些取值的确定是基于再生混凝土的使用安全性和再生骨料最大资源化利用来考虑的。

6 再生粗骨料混凝土配合比计算

6.1 用水量和外加剂用量

6.1.1 与普通混凝土相比，再生粗骨料混凝土拌合物的用水量增大主要在于再生粗骨料掺加所引起的大量吸水，所以采用再生粗骨料配制再生粗骨料混凝土时，再生粗骨料的性能对再生粗骨料混凝土拌合物的用水量影响较大，且易导致混凝土产生较大的坍落度损失。因此，为了尽量去除再生粗骨料掺加所带来的复杂性，应控制再生粗骨料的含水率与吸水率之差在 $\pm 0.5\%$ 范围内，即选用准饱和面干状态下的再生粗骨料配制再生粗骨料混凝土，此时再生粗骨料混凝土拌合物的用水量即等于普通混凝土的用水量，以此为基准的再生粗骨料混凝土配合比设计具有可操作性且应用情况良好。

6.1.2 表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2 是未掺加外加剂的干硬性或塑性普通混凝土的用水量，经多年应用证明基本符合实际。干硬性或塑性普通混凝土也可以掺加外加剂，掺加外加剂后的用水量可在表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2 的基础上通过试验进行调整。本节中的外加剂特指具有减水功能的外加剂，并且在实际工作中，有经验的专业技术人员通常将满足再生粗骨料混凝土性能和节约成本作为目标，结合经验并经试验来确定流动性或大流动性再生粗骨料混凝土的外加剂用量和用水量。

6.1.3 本条对于再生粗骨料混凝土的配合比设计具有一定的指导性作用，尤其对于缺乏经验和试验资料者更为重要。

6.2 胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量

6.2.1 对于同一强度等级的再生粗骨料混凝土，胶凝材料用量与再生粗骨料的品质和取代率直接相关，即再生粗骨料的品质和

取代率是影响再生粗骨料混凝土强度的重要因素。故而，可以将再生粗骨料混凝土视为一种复合材料，其中普通混凝土为基相，再生粗骨料为负增强相，引入再生粗骨料强度影响因子 α_g 来反映再生粗骨料的掺加对再生粗骨料混凝土力学性能的影响。根据复合材料理论，青岛农业大学的李秋义教授团队提出再生粗骨料混凝土的强度计算公式，如式（1）所示。

$$f_{Rg} = f_0(1 - \alpha_g \lambda_g) = \alpha_a f_b \left(\frac{B}{W} - \alpha_b \right) (1 - \alpha_g \lambda_g) \quad (1)$$

式中： f_{Rg} ——再生粗骨料混凝土的配制强度（MPa）；

f_0 ——普通混凝土的强度（MPa）；

α_g ——再生粗骨料强度影响因子，无量纲；

λ_g ——再生粗骨料取代率，以小数计；

α_a 、 α_b ——回归系数，无量纲；

f_b ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度（MPa）；

B ——胶凝材料用量（kg/m³）；

W ——普通混凝土的用水量（kg/m³）。

基于实验室大量的再生粗骨料混凝土力学性能试验数据，在式（1）中，当再生粗骨料的取代率 λ_g 为 0 时即为普通混凝土，根据其强度和胶水比的线性关系可以计算出回归系数 α_a 、 α_b ；当再生粗骨料的取代率 λ_g 一定时，再生粗骨料混凝土的强度 f_{Rg} 和普通混凝土的强度 f_0 均已知，可以计算出不同试验配合比下的再生粗骨料强度影响因子 α_g ，考虑到再生粗骨料的品质波动性导致试验数据离散性大，对计算出的同品质再生粗骨料影响因子 α_g 进行算术平均处理，得到的计算结果随再生粗骨料品质的提升而逐渐减小。在此以再生粗骨料的吸水率、表观密度和压碎指标等主要性能指标来表示其影响因子 α_g ，最终选取相关性最大的吸水率 ω_a 来表示再生粗骨料的影响因子 α_g ，代入式（1）中即得到再生粗骨料混凝土的强度计算公式，如式（2）所示。

$$f_{Rg} = \alpha_a f_b \left(\frac{B}{W} - \alpha_b \right) [1 - (7.607 \omega_a - 0.074) \lambda_g] \quad (2)$$

式中： ω_a ——再生粗骨料的吸水率，以小数计。

因此，公式（6.2.1）中胶凝材料用量 B 的计算同时考虑了再生粗骨料的吸水率 ω_a 和取代率 λ_g 。另外，公式（6.2.1）计算结果仅仅为初算的胶凝材料用量，还需经过试拌选取一个满足拌合物性能要求的、较节约的胶凝材料用量。

6.2.2 ~ 6.2.4 为了使再生粗骨料混凝土胶凝材料用量计算公式更符合实际情况以及普遍掺加粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料的技术发展情况，参照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 给出了表 6.2.2 的回归系数（ α_a 、 α_b ）、表 6.2.3 的粉煤灰影响系数（ γ_f ）和粒化高炉矿渣粉影响系数（ γ_s ）以及表 6.2.4 的水泥强度等级值的富余系数（ γ_c ）。

6.2.5、6.2.6 计算矿物掺合料用量所采用的矿物掺合料掺量是选用不同掺量经过比较后确定的。计算得出的胶凝材料、矿物掺合料和水泥的用量还要在试配过程中调整验证。

6.3 砂 率

6.3.1、6.3.2 本节对砂率的取值具有指导性，经实际应用，证明基本符合实际。在实际工作中，也可以根据经验和历史资料初选砂率。砂率对再生粗骨料混凝土拌合物性能影响较大，可调整范围略宽，也关系到材料成本，因此，按本节选取的砂率仅是初步的，需要在试配过程中调整后确定合理的砂率。

6.4 粗、细骨料用量

6.4.1 ~ 6.4.3 在实际工程应用时，再生粗骨料混凝土的配合比设计可采用质量法，这主要是考虑再生粗骨料混凝土中所使用的骨料种类要多于普通混凝土，其中粗骨料包括天然粗骨料和再生粗骨料，采用质量法计量可以快速进行配合比设计。这里需要注意的是，在计算再生粗骨料混凝土的砂率时，以准饱和面干状态下的再生粗骨料用量代入公式（6.4.1-2）进行计算，天然粗骨料和天然细骨料应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定。

7 再生细骨料混凝土配合比计算

7.1 用水量和外加剂用量

7.1.1 与普通混凝土相比，再生细骨料混凝土拌合物的用水量增大主要在于再生细骨料掺加所引起的需水量增大，所以采用再生细骨料配制再生细骨料混凝土时，再生细骨料的性能对再生细骨料混凝土拌合物的用水量影响较大，且易导致混凝土坍落度损失加快。因此，在综合考虑再生细骨料掺加所带来的复杂性后，使用再生细骨料配制再生混凝土时应提前进行预湿处理，且通过实测所用再生细骨料的再生胶砂需水量比判定骨料类别标准，同时根据再生细骨料的规格按照表 7.1.1 中规定的取值范围控制其含水率，其中表 7.1.1 中所限制的再生细骨料含水率已通过大量试验数据证明具有代表性。此时，再生细骨料混凝土拌合物的用水量即等于普通混凝土的用水量，以此为基准的再生细骨料混凝土配合比设计具有可操作性且应用情况良好。

7.1.2 未掺加外加剂的干硬性或塑性普通混凝土的用水量参照表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2，经多年应用证明基本符合实际。干硬性或塑性普通混凝土也可以掺加外加剂，掺加外加剂后的用水量可在表 6.1.2-1 和表 6.1.2-2 的基础上通过试验进行调整。本节中的外加剂特指具有减水功能的外加剂，并且在实际工作中，有经验的专业人员通常将满足再生细骨料混凝土性能和节约成本作为目标，结合经验并经试验来确定流动性或大流动性再生细骨料混凝土的外加剂用量和用水量，而考虑到再生细骨料混凝土的坍落度经时损失值大，泵送施工时可以使用缓释型减水剂来改善这一问题。

7.1.3 本条对再生细骨料混凝土的配合比设计具有一定的指导性作用，尤其对缺乏经验和试验资料者更为重要。

7.2 胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量

7.2.1 对于同一强度等级的再生细骨料混凝土，胶凝材料用量与再生细骨料的品质和取代率直接相关，即再生细骨料的品质和取代率是影响再生细骨料混凝土强度的重要因素。故而，可以将再生细骨料混凝土视为一种复合材料，其中普通混凝土为基相，再生细骨料为负增强相，引入再生细骨料强度影响因子 α_s 来反映再生细骨料的掺加对再生细骨料混凝土力学性能的影响。根据复合材料理论，青岛农业大学的李秋义教授团队提出再生细骨料混凝土的强度计算公式，如式（3）所示。

$$f_{Rs} = f_0(1 - \alpha_s \lambda_s) = \alpha_a f_b \left(\frac{B}{W} - \alpha_b \right) (1 - \alpha_s \lambda_s) \quad (3)$$

式中： f_{Rs} ——再生细骨料混凝土的配制强度（MPa）；

f_0 ——普通混凝土的强度（MPa）；

α_s ——再生细骨料强度影响因子，无量纲；

λ_s ——再生细骨料取代率，以小数计；

α_a 、 α_b ——回归系数，无量纲；

f_b ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度（MPa）；

B ——胶凝材料用量（ kg/m^3 ）；

W ——普通混凝土的用水量（ kg/m^3 ）。

基于实验室大量的再生细骨料混凝土力学性能试验数据，在式（3）中，当再生细骨料的取代率 λ_s 为 0 时即为普通混凝土，根据其强度和胶水比的线性关系可以计算出回归系数 α_a 、 α_b ；当再生细骨料的取代率 λ_s 一定时，再生细骨料混凝土的强度 f_{Rs} 和普通混凝土的强度 f_0 均已知，可以计算出不同试验配合比下的再生细骨料强度影响因子 α_s ，考虑到再生细骨料的品质波动性导致试验数据离散性大，对计算出的同品质再生细骨料影响因子 α_s 进行算术平均处理，得到的计算结果随再生细骨料品质的提升而逐渐减小。在此以再生细骨料的再生胶砂需水量比、表观密度和再生胶砂强度比等主要性能指标来表示其影响因子 α_s ，最终

选取相关性最大的再生胶砂需水量比 β_w 来表示再生细骨料的影响因子 α_s ，代入式 (3) 中即得到再生细骨料混凝土的强度计算公式，如式 (4) 所示。

$$f_{Rs} = \alpha_a f_b \left(\frac{B}{W} - \alpha_b \right) [1 - (1.829 \beta_w - 2.218) \lambda_s] \quad (4)$$

式中： β_w ——再生细骨料的再生胶砂需水量比。

因此，公式 (7.2.1) 中胶凝材料用量 B 的计算同时考虑了再生细骨料的再生胶砂需水量比 β_w 和取代率 λ_s 。另外，公式 (7.2.1) 计算结果仅仅为初算的胶凝材料用量，还需经过试拌选取一个满足拌合物性能要求的、较节约的胶凝材料用量。

7.2.2 ~ 7.2.4 为了使再生细骨料混凝土胶凝材料用量计算公式更符合实际情况以及普遍掺加粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料的技术发展情况，再生细骨料混凝土的回归系数 (α_a 、 α_b)、粉煤灰影响系数 (γ_f)、粒化高炉矿渣粉影响系数 (γ_s) 以及水泥强度等级值的富余系数 (γ_c) 取值均参照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中的规定。

7.2.5、7.2.6 计算矿物掺合料用量所采用的矿物掺合料掺量是在选用不同掺量经过比较后确定的。计算得出的胶凝材料、矿物掺合料和水泥的用量还要在试配过程中调整验证。

7.3 砂 率

7.3.1、7.3.2 本节对砂率的取值具有指导性，经实际应用，证明基本符合实际。在实际工作中，也可以根据经验和历史资料初选砂率。砂率对再生细骨料混凝土拌合物性能影响较大，可调整范围略宽，也关系到材料成本，因此，按本节选取的砂率仅是初步的，需要在试配过程中调整后确定合理的砂率。

7.4 粗、细骨料用量

7.4.1 ~ 7.4.3 在实际工程应用时，再生细骨料混凝土的配合比设计可采用质量法，这主要是考虑再生细骨料混凝土中所使用的

骨料种类要多于普通混凝土，其中细骨料包括天然细骨料和再生细骨料，采用质量法计量可以快速进行配合比设计。这里需要注意的是，在计算再生细骨料混凝土的砂率时，以预湿处理后且含水率符合本规程表 7.1.1 规定的再生细骨料用量代入公式 (7.4.1-2) 进行计算，天然细骨料和天然粗骨料应符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定。

8 再生混凝土配合比的试配、调整与确定

8.1 试 配

8.1.5 调整好再生混凝土拌合物的工作性并形成试拌配合比后,即开始再生混凝土强度试验。无论是计算配合比还是试拌配合比,都不能保证再生混凝土配制强度是否满足要求,再生混凝土强度试验的目的是通过五个不同水胶比的配合比的比较,取得能够满足配制强度要求的、胶凝材料用量经济合理的配合比。在这里需要注意的是,选取五个不同水胶比进行再生混凝土的强度试验,主要考虑到影响再生混凝土强度的因素较多,且其试验数据离散性要大于普通混凝土,故在此增加了再生混凝土强度试验的配合比数量。

由于再生混凝土强度试验是在混凝土拌合物调整适宜后进行的,所以强度试验采用五个不同水胶比的配合比的混凝土拌合物性能应维持不变,即维持用水量不变,增加和减少胶凝材料用量,并相应减少和增加砂率,外加剂掺量也做减少和增加的微调。

在没有特殊规定的情况下,再生混凝土强度试件在 28d 龄期进行抗压试验;当设计规定采用 60d 或 90d 等其他龄期强度时,再生混凝土强度试件在相应的龄期进行抗压试验。

8.2 配合比的调整与确定

8.2.1 通过绘制强度和胶水比关系图,或采用插值法,选用略大于配制强度的强度对应的胶水比做进一步配合比调整偏于安全。也可以直接采用前述至少三个水胶比再生混凝土强度试验中一个满足配制强度的胶水比做进一步配合比调整,虽然相对比较简明,但有时可能强度富余较多,经济代价略大。

8.2.2、8.2.3 再生混凝土配合比是指每立方米再生混凝土中各种材料的用量。在配合比计算、再生混凝土试配和配合比调整过程中，每立方米再生混凝土的各种材料混成的混凝土可能不足或超过 1m^3 ，即通常所说的亏方或盈方，通过配合比校正，可使依据配合比计算的再生混凝土生产方量更为准确。

8.2.4 在确定设计配合比前，应对设计规定的再生混凝土耐久性能进行试验验证，并对再生混凝土氯离子含量进行试验验证。例如设计规定的抗水渗透、抗氯离子渗透、抗冻、抗碳化和抗硫酸盐侵蚀等耐久性能要求，以保证再生混凝土质量满足设计规定的性能要求。

8.2.5、8.2.6 本规程所提出的再生粗骨料混凝土设计配合比以准饱和面干状态的再生粗骨料、干燥状态的天然骨料为基准；再生细骨料混凝土设计配合比以预湿处理的再生细骨料、干燥状态的天然骨料为基准。

基于再生混凝土调整配合比所提出的再生粗骨料混凝土和再生细骨料混凝土干基配合比，对于再生混凝土的生产具有指导意义，也便于不同生产单位之间参考使用。

8.2.7 生产过程中，启用备用的再生混凝土配合比时，即便是条件类同，进行配合比验证试验是不可省略的。生产配合比应考虑到现场存放和使用的粗、细骨料的实际含水情况，并进行修正。

原材料质量显著变化是指诸如再生骨料品质、水泥胶砂强度、外加剂减水率和矿物掺合料细度等发生明显变化。

9 有特殊要求的再生混凝土

9.1 抗渗再生混凝土

9.1.1 原材料的选用和质量控制对抗渗再生混凝土非常重要。大量抗渗再生混凝土用于地下工程，为了提高抗渗性能和适合地下环境特点，掺加外加剂和矿物掺合料十分有利，也是普遍的做法。在以胶凝材料最小用量作为控制指标的情况下，采用普通硅酸盐水泥有利于再生混凝土耐久性能和进行质量控制。骨料粒径太大和含泥（包括泥块）较多都对再生混凝土抗渗性能不利。

9.1.2 采用较小的水胶比可提高再生混凝土的密实性，从而使其有较好和抗渗性，因此，控制最大水胶比是抗渗再生混凝土配合比设计的重要法则。另外，胶凝材料和细骨料用量太少也对再生混凝土抗渗性能不利。

9.1.3 抗渗再生混凝土的配制抗渗等级比设计值要求高，有利于确保实际工程再生混凝土抗渗性能满足设计要求。

9.1.4 在再生混凝土中掺用引气剂适量引气，有利于提高再生混凝土的抗渗性能。

9.2 抗渗再生混凝土

9.2.1 采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制抗冻再生混凝土是一个基本做法，目前寒冷或严寒地区一般都这样做。骨料含泥（包括泥块）较多和骨料坚固性差都对再生混凝土抗冻性能不利。一些再生混凝土防冻剂中掺用氯盐，如果采用会引起再生混凝土中钢筋锈蚀，导致严重的结构混凝土耐久性问题。

9.2.2 再生混凝土水胶比大则密实性差，对抗冻性能不利，因此要控制再生混凝土最大水胶比。在通常水胶比情况下，再生混凝土中掺入过量矿物掺合料也对再生混凝土抗冻性能不利。再生

混凝土中掺用引气剂是提高再生混凝土抗冻性能的有效方法之一。

9.3 大体积再生混凝土

9.3.1 采用低水化热的胶凝材料，有利于限制大体积再生混凝土由温度应力引起的裂缝。粗骨料粒径太小则限制再生混凝土变形作用较小。掺用缓凝型减水剂有利于缓解温升，起到温控作用。

9.3.2 由于采用低水化热的胶凝材料有利于限制大体积再生混凝土由温度应力引起的裂缝，所以大体积再生混凝土中胶凝材料中往往掺用大量粉煤灰等矿物掺合料，使再生混凝土强度发展较慢，设计采用再生混凝土 60d 或 90d 龄期强度也是合理的。当标准养护时间和标准试件未能两全时，维持标准试件比较合理。

9.3.3 水胶比大，用水量多对限制裂缝不利。再生混凝土中粗骨料较多有利于限制胶凝材料硬化体的变形作用。因为水泥水化热相对较高，所以大体积再生混凝土中往往掺用大量粉煤灰或粒化高炉矿渣粉，减少胶凝材料中的水泥用量，以达到降低水化热的目的。

9.3.4 可在配合比试配和调整时通过再生混凝土绝热温升测试设备测定再生混凝土的绝热温升，或通过计算求出再生混凝土的绝热温升，从而在配合比设计过程中控制再生混凝土绝热温升。

9.3.5 延迟再生混凝土的凝结时间对大体积再生混凝土施工操作和温度控制有利，大体积再生混凝土配合比设计应重视再生混凝土的凝结时间。