

山东省工程建设标准

DB

DBXX/T XXXX—20XX

J XXXXX—XXXX

再生骨料混凝土结构
应用技术规程

Technical specification for application of
recycled aggregate concrete structures

（备案稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布

山东省工程建设标准

再生骨料混凝土结构应用技术规程

Technical specification for application of
recycled aggregate concrete structures

202X 济南

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〈2020 年山东省工程建设标准制修订计划〉的通知》（鲁建标字〔2019〕28 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，制订了本规程。

本标准的主要技术内容是：总则，术语和符号，基本规定，承载能力极限状态计算，正常使用极限状态验算，再生骨料混凝土的耐久性，低层再生骨料混凝土结构，多层和高层再生骨料混凝土结构，制备与运输，施工与验收。

本规程由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由同济大学和中建八局第二建设有限公司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，请寄送同济大学土木工程学院（地址：上海市杨浦区四平路 1239 号，邮编：200092；Email: jzx@tongji.edu.cn, 021-65982787）。

主 编 单 位：同济大学

中建八局第二建设有限公司

参 编 单 位：青岛农业大学

山东大学

山东省建筑科学研究院有限公司

山东省建筑设计研究院有限公司

山东高速铁建装备有限公司

临沂蓝泰环保科技有限公司

主要起草人员：肖建庄 潘玉珀

李秋义 葛 智 肖绪文 杨 彬

张维汇 刘 琼 于海平 张凯建

岳公冰 孙仁娟 樊文波 宋 杰

王 赶 黄兴启 房海波 宋晓光

王文飞

主要审查人员：曹力强 万成梅 谢 群 李秀领
林定权 董先锐 邢庆毅 范 涛
程始信

目次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	2
3	基本规定.....	4
3.1	一般规定.....	4
3.2	材料.....	5
3.3	设计.....	7
3.4	结构构件.....	9
4	承载能力极限状态计算.....	11
5	正常使用极限状态验算.....	14
6	再生骨料混凝土的耐久性.....	15
6.1	抗渗性.....	15
6.2	抗氯盐侵蚀性.....	15
6.3	抗冻融性.....	17
7	低层再生骨料混凝土混合结构.....	19
7.1	一般规定.....	19
7.2	构造措施.....	19
8	多层和高层再生骨料混凝土结构.....	20
8.1	一般规定.....	20
8.2	抗震措施.....	21
8.3	再生骨料混凝土保护层.....	23
9	制备与运输.....	24
9.1	一般规定.....	24
9.2	原材料.....	24
9.3	制备.....	25
9.4	运输.....	26

10 施工与验收.....	27
10.1 一般规定.....	27
10.2 质量控制.....	27
10.3 混凝土输送.....	28
10.4 施工.....	28
10.5 养护.....	28
10.6 质量检查.....	28
10.7 验收.....	29
本规程用词说明.....	30
引用标准名录.....	31
条文说明.....	33

1 总则

1.0.1 为规范再生骨料混凝土结构的应用，做到技术先进、安全可靠、经济合理、保证质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于再生骨料混凝土结构的设计、施工及验收。

1.0.3 再生骨料混凝土结构的设计、施工及验收，除应符合本规程外，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 再生骨料混凝土 recycled aggregate concrete

掺用再生骨料配制而成的混凝土，本标准指掺用再生粗骨料、再生细骨料配制而成的混凝土，简称再生骨料混凝土。

2.1.2 再生粗骨料 recycled coarse aggregate

由建（构）筑废弃物中的混凝土、砂浆、石、砖瓦加工而成，用于配制混凝土的、粒径大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.3 再生细骨料 recycled fine aggregate

由建（构）筑废弃物中的混凝土、砂浆、石、砖瓦加工而成，用于配制混凝土的、粒径不大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.4 再生骨料混凝土结构 recycled aggregate concrete structure

以再生骨料混凝土为主制成的结构，包括素再生骨料混凝土结构、钢筋再生骨料混凝土结构等。

2.1.5 再生骨料混凝土构件 recycled aggregate concrete member

以再生骨料混凝土为主制成的构件。

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

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

混凝土中再生细骨料用量占细骨料总用量的质量百分比。

2.2 符号

C —— 再生骨料混凝土比热容；

$C30$ —— 立方体抗压强度标准值为 30N/mm^2 的再生骨料混凝土强度等级；

E_c —— 再生骨料混凝土弹性模量；

f_{ck} 、 f_c	再生骨料混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；
f_{tk} 、 f_t	再生骨料混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；
G_c	再生骨料混凝土剪切变形模量；
r	再生骨料取代率；
ν_c	再生骨料混凝土泊松比；
α_c	再生骨料混凝土温度线膨胀系数；
α_σ	再生骨料混凝土强度折减系数；
α_0	荷载长期作用下再生骨料混凝土构件裂缝、变形附加增大系数；
γ_{RE}	承载力抗震调整系数；
λ	再生骨料混凝土导热系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 再生骨料混凝土所采用的粗、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、《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定。

3.1.2 仅掺加 I 类再生粗骨料，可制备各种强度等级的混凝土，再生混凝土结构的设计可参照普通混凝土结构的相关要求；掺加 II 类再生粗骨料的混凝土，强度等级不宜高于 C60；III 类再生粗骨料不宜用于制备主体结构再生混凝土。

3.1.3 对于多层和高层结构用再生骨料混凝土，II 类再生粗骨料取代率宜为 30%~50%；对于低层结构再生骨料混凝土，可采用取代率为 50%~100%的 II 类再生粗骨料。

3.1.4 再生细骨料仅可用于强度不大于 C40 的低层再生骨料混凝土结构。I 类再生细骨料取代率不应超过 30%，II 类再生细骨料取代率不应超过 15%，III 类再生细骨料不应用于制备结构再生混凝土。

3.1.5 同时掺用再生粗、细骨料时，制备的再生骨料混凝土仅可用于强度等级不大于 C40 的低层再生骨料混凝土结构，可采用取代率为 100%的 II 类再生粗骨料及取代率不超过 30%的 I 类再生细骨料；II 类再生细骨料不宜用于同时掺用粗、细骨料的再生骨料混凝土。

3.1.6 掺用 I 类再生粗骨料的混凝土可用于各类混凝土结构构件；掺用 II 类再生粗骨料的混凝土不宜用于跨度大于 7m 的混凝土楼板、屋面板和梁，不宜用于预应力混凝土构件。

3.1.7 掺用 I 类再生细骨料的混凝土可用于各类混凝土结构构件；掺用 II 类再生细骨料的混凝土不宜用于预应力混凝土构件。

3.1.8 再生骨料混凝土构件的应用应符合下列规定：

1 各楼层可全部采用再生骨料混凝土构件，也可下部楼层采用普通混凝土构件；

2 同一楼层中同类构件应采用相同配合比的再生混凝土；

3.2 材料

3.2.1 钢筋混凝土结构的再生骨料混凝土强度等级不应低于 C25；采用屈服强度标准值为 400MPa 及以上的钢筋时，再生骨料混凝土强度等级不应低于 C30。

3.2.2 再生骨料混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，其立方体抗压强度标准值的确定方法应与普通混凝土相同。

3.2.3 再生粗、细骨料的应用，除应符合本标准的相关规定外，还应符合山东省工程建设标准《再生混凝土配合比设计规程》DB37/T 5176、行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的有关规定。

3.2.4 再生骨料混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 、轴心抗压强度设计值 f_c 、轴心抗拉强度设计值 f_t ，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 取值并乘以再生骨料混凝土强度折减系数 α_g 后采用。

3.2.5 II 类再生骨料混凝土强度折减系数 α_g 可按下列规定取用：

1 再生细骨料混凝土强度折减系数 α_g 取 0.95；

2 再生粗骨料混凝土强度折减系数及同时采用再生粗、细骨料混凝土强度折减系数 α_g 可按表 3.2.5 采用。

表3.2.5 再生骨料混凝土的强度折减系数

取代率	<30%	30%	50%	70%	100%
再生粗骨料混凝土	1	0.95	0.92	0.88	0.85
再生粗、细骨料混凝土	1	0.92	0.88	0.83	0.80

注：其他取代率可采用内插法确定。

3.2.6 再生骨料混凝土弹性模量 E_c 宜通过试验确定；缺乏试验资料时，可按表 3.2.6 选取，其他取代率可采用内插法确定。同时取代再生粗骨料和再生细骨料的情形，按照较小值取。

表3.2.6 再生骨料混凝土的弹性模量 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)

取代率	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
30%再生粗骨料取代率	2.52	2.70	2.84	2.93	3.02	3.11	3.20
100%再生粗骨料取代率	2.24	2.40	2.52	2.60	2.68	2.76	2.84
15%再生细骨料取代率	2.78	2.97	3.12	3.23	-	-	-
30%再生细骨料取代率	2.75	2.95	3.10	3.20	-	-	-

3.2.7 再生骨料混凝土的剪切变形模量 G_c 可按对应弹性模量值的 40% 采用；再生骨料混凝土泊松比 ν_c 可按 0.2 采用。

3.2.8 再生骨料混凝土的温度线膨胀系数、比热容和导热系数，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和《民用建筑热工设计规范》GB50176 有关规定采用。

3.2.9 再生骨料混凝土不均匀受压时极限压应变 ε_u 范围为 (3~3.3) $\times 10^{-3}$ 。当缺乏试验资料时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 有关规定采用。

3.2.10 再生骨料混凝土结构应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计。

3.2.11 仅掺用 I 类再生骨料的再生骨料混凝土结构的适用环境、设计使用年限和采取的措施可与普通混凝土结构一致，设计使用年限不应超过 50 年，采取的冻融环境、氯化物环境应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

3.2.12 再生骨料混凝土结构应用的环境应符合下列规定：

1 多层和高层再生骨料混凝土结构宜在一类、二类环境中应用，不宜在三类环境中应用，不应在四类、五类环境中应用；

2 低层再生骨料混凝土结构宜在一类、二类环境中应用，可在三类环境中应用，不应在四类、五类环境中应用。

3.2.13 再生骨料混凝土的耐久性基本要求宜符合表 3.2.13 的规定。

表3.2.13 结构用再生骨料混凝土耐久性基本要求

环境等级		最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量 (%)	最大碱含量 (kg/m ³)
一		0.60	C25	0.30	不限制
二	a	0.55	C30	0.20	3.0
	b	0.50 (0.55)	C35 (C30)	0.15	
三	a	0.45 (0.50)	C40 (C35)	0.15	
	b	0.40	C45	0.10	

注：1 氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比；

2 素再生骨料混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松；

3 处于严寒和寒冷地区二b、三a类环境中的再生骨料混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数；

4 当使用非碱活性骨料时，对再生骨料混凝土中的碱含量可不作限制。

3.2.15 再生骨料混凝土结构用钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

3.3 设计

3.3.1 再生骨料混凝土可用于框架结构、剪力墙结构和框架—剪力墙结构等结构形式中梁、板、柱和剪力墙等构件，也可用于砖混结构中的圈梁、构造柱等二次结构构件

3.3.2 再生骨料混凝土正截面受弯构件在设计计算时应满足下列基本假定：

1 截面平均应变应保持平面。

2 钢筋应力取钢筋应变与其弹性模量的乘积，且不应大于其强度设计值，受拉钢筋的极限拉应变应取 0.01。

3 再生骨料混凝土的抗拉强度不纳入计算。

3.3.3 材料选择设计应符合下列要求：

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定；当采用其他品种水泥时，其性能应符合国家现行有关标准的规定；不同品种水泥不得混合使用。

2 纵向受力钢筋的锚固长度与相同混凝土标号的普通混凝土钢筋锚固长度一致，可按照《混凝土结构设计规范》的要求进行计算。

3 纵向受力钢筋的配筋率，不应小于《混凝土结构设计规范》GB50010 规定的最小配筋率增加 0.05 的配筋百分率；箍筋的配箍率不应小于《混凝土结构设计规范》GB50010 规定的最小配箍率增加 0.05 的配筋百分率，最小配筋率和最小配箍率应满足可靠度的要求。

4 纵向受力普通钢筋可采用 CRB600、HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、RRB400、HPB300 钢筋。

5 箍筋宜采用 HRB400、HPB300 钢筋。

3.3.4 再生骨料混凝土结构抗震设计应符合下列要求：

1 再生骨料混凝土结构在多遇地震作用下的阻尼比取值应符合表 3.3.4-1 的要求。

表 3.3.4-1 再生粗骨料混凝土结构多遇地震作用下阻尼比

再生粗骨料取代率	<30%	30%	50%	100%
阻尼比	按普通混凝土取值	0.053	0.055	0.058

2 风荷载作用下，楼层位移验算和构件设计时阻尼比可取 0.050。

3 当高层结构中的剪力墙底部加强部位采用再生骨料混凝土时，约束边缘构件竖向钢筋最小配筋率或构造边缘构件竖向钢筋最小量箍筋或拉筋沿竖向最大间距，按抗震等级提高一级采用。

4 再生骨料混凝土结构构件抗震设计应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关要求。

5 再生骨料混凝土多层和高层房屋，再生骨料混凝土强度等级应符合下列规定：

1) 一级抗震等级的框架梁、柱及节点，不应低于 C35；

2) 其他各类结构构件，不应低于 C30。

6 再生骨料混凝土多层和高层框架柱，其截面尺寸应符合下列规定：

1) 矩形截面柱的边长，抗震等级为四级时不宜小于 350mm，抗

震等级一、二、三级时不宜小于 450mm;

2) 矩形截面柱长边与短边的比值不宜大于 3;

3) 圆形截面柱的直径, 抗震等级为四级时不宜小于 400mm, 抗震等级一、二、三级时不宜小于 500mm;

4) 剪跨比宜大于 2。

3.3.5 再生骨料混凝土结构伸缩缝设置应符合下列要求:

1 仅掺用I类再生骨料的钢筋再生骨料混凝土结构伸缩缝的最大间距, 可与普通钢筋混凝土结构相同。

2 掺用II类再生粗骨料的钢筋再生骨料混凝土结构伸缩缝的最大间距, 当再生粗骨料取代率不大于 50%时可与普通混凝土结构一致; 当再生粗骨料取代率大于 50%时伸缩缝的最大间距参考《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 9.1.1 条, 宜比普通混凝土结构适当减小。

3 当设置伸缩缝时, 再生骨料混凝土框架、排架结构的双柱基础可不断开。

3.3.6 再生骨料混凝土结构的作用及作用组合应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB50009、《建筑抗震设计规范》GB50011 及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 相关规定。

3.3.7 再生骨料混凝土的抗震设防类别和抗震设防标准, 应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 的有关规定。

3.3.8 再生骨料混凝土建筑的结构分析应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 及附录 A 有关规定。

3.4 结构构件

3.4.1 仅掺用I、II类再生骨料的再生骨料混凝土结构构件的设计应与普通钢筋混凝土结构一致。

3.4.2 掺用II类再生骨料的再生骨料混凝土结构构件中纵向受力钢筋的最小配筋率, 可与普通混凝土结构构件相同。

3.4.3 掺用II类再生粗骨料的再生骨料混凝土板、梁、柱、节点、牛腿、墙、叠合构件、预埋件及连接件的设计, 考虑再生骨料混凝土强

度折减系数 α_s 后可与普通钢筋混凝土构件相同。

3.4.4 装配式再生骨料混凝土结构中，掺用Ⅱ类再生骨料的各类预制构件及连接构造的设计，应按从生产、施工到使用过程中可能产生的不利工况进行验算，考虑再生骨料混凝土强度折减系数 α_s 后可与装配式普通混凝土结构相同。

4 承载力极限状态计算

4.0.1 仅掺用I类再生骨料的再生骨料混凝土构件的承载力极限状态验算应与普通混凝土结构一致。

4.0.2 掺用II类再生粗骨料的再生骨料混凝土结构构件采用应力表达式进行承载力极限状态验算时,再生粗骨料混凝土应力不应大于再生粗骨料混凝土强度取值乘以折减系数 α_σ 。

4.0.3 掺用II类再生骨料的再生骨料混凝土单轴应力-应变本构关系宜通过试验确定;缺乏试验资料时,按本标准确定再生骨料混凝土的强度和弹性模量后,再生骨料混凝土单轴应力-应变本构关系可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 有关规定确定。

4.0.4 掺用II类再生粗骨料的再生混凝土结构构件正截面承载力、斜截面承载力、扭曲截面承载力、受冲切承载力、局部受压承载力的计算,考虑再生混凝土强度折减系数 α_σ 后可与普通混凝土结构构件相同

4.0.5 轴心受压、偏心受压、轴心受拉、偏心受拉、受剪、受扭、局部受压、受冲切等工况下可参照《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关公式进行计算。

4.0.6 地震作用下的再生骨料混凝土承载力极限状态设计,在极限承载力的基础上乘以折减系数 γ_{Re} 。系数的取值参见规范《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 的表 5.4.2。

4.0.7 承载力极限状态的设计应符合下列要求:

1 正截面受弯承载力可按下列公式计算

$$M \leq \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (3.4.4-1) \quad (1)$$

$$\alpha_1 f_c b x + f_y' A_s' = f_y A_s \quad (3.4.4-2) \quad (2)$$

式中: M — 弯矩设计值;

f_c —再生骨料混凝土轴心抗压强度设计值；

α_1 —再生骨料混凝土受压区矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；

x —再生骨料混凝土受压区高度， $x \leq \xi_b h_0$ ， ξ_b 为矩形应力图形的相对界限受压区高度， $\xi_b = \beta_1 / \left(1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}\right)$ ， β_1 为系数， E_s 为钢筋弹性模量， ε_{cu} 为再生骨料混凝土极限应变；

b ， h_0 —截面宽度和截面有效高度；

f_y ， A_s —纵向钢筋抗拉强度设计值和面积。

2 正截面轴心受压承载力可按下式计算

$$N \leq 0.9\varphi(0.95f_c A + f'_y A'_s) \quad (3.4.4-3) \quad (3)$$

式中： N —轴向压力设计值；

φ —钢筋混凝土构件的稳定系数；

f_c —再生骨料混凝土轴心抗压强度设计值；

A —构件截面面积；

f'_y —纵向钢筋抗压强度设计值，取值小于等于 400MPa；

A_s' —全部纵向钢筋的截面面积。

3 斜截面受剪承载力可按下式计算：

$$V \leq 0.9\alpha_{cv}f_tbh_0 + A_{sv}f_{yv}\frac{h_0}{s} \quad (3.4.4-4) \quad (4)$$

式中： V —剪力设计值；

α_{cv} —再生骨料混凝土斜截面受剪承载力系数，对于一般受弯构件取 0.7，对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的 75% 以上的情况）的独立梁，取 $\frac{1.75}{\lambda + 1}$ ， λ 为计算截面的剪跨比；

f_t —再生骨料混凝土抗拉强度设计值；

A_{sv} —配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；

$A_{sv} = nA_{sv1}$ ，此处， n 为在同一截面内箍筋的肢数， A_{sv1} 为单肢箍筋的截面面积；

s —沿构件长度方向的箍筋间距；

f_{yv} —箍筋抗拉强度设计值。

4 偏心受压、轴心受拉、偏心受拉、受扭、局部受压、受冲切等工况下可参照《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关公式进行计算。

5 正常使用极限状态验算

5.0.1 再生骨料混凝土抗裂验算可按《混凝土结构设计规范》GB50010的有关公式验算。

5.0.2 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土构件的正常使用极限状态验算应与普通混凝土构件一致。

5.0.3 掺用Ⅱ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土，正常使用极限状态验算中应考虑再生混凝土强度折减系数 α_s 和荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形增大系数 a 。

5.0.4 掺用Ⅱ类再生粗骨料的钢筋混凝土，应按裂缝控制等级进行受拉边缘应力或正截面裂缝宽度验算，裂缝控制等级和最大裂缝限值应与普通混凝土构件一致，并应符合下列规定：

1 一级、二级裂缝控等级时，裂缝控制验算应考虑再生混凝土强度折减系数 γ_{Re} ；

2 三级裂缝控制等级时，裂缝控制验算应考虑再生混凝土强度折减系数 α_s ，裂缝计算结果尚应乘以荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝附加增大系数 a 。

5.0.5 正常使用极限状态的设计应符合下列要求：

1 再生骨料混凝土抗裂验算可按《混凝土结构设计规范》GB50010的有关公式验算。

2 裂缝宽度验算可按《混凝土结构设计规范》GB50010相关公式验算，其中再生骨料混凝土强度指标根据本标准规定的数值取用，最后的裂缝宽度在按标准计算值的基础上，乘以增大系数 a ，当再生粗骨料取代率为15%-30%时，取 $a=1.03$ ，再生粗骨料取代率为50%时，取 $a=1.05$ ，取代率在30%~50%之间的，按线性插值计算增大系数 a 。

3 受弯构件挠度可按《混凝土结构设计规范》GB50010有关公式验算，包含初始挠度和荷载长期作用徐变挠度在内的总挠度计算结果尚应考虑荷载长期作用下再生骨料混凝土构件挠度附加增大系数，当再生粗骨料取代率在30%-50%时，挠度放大系数取1.2，当再生骨料取代率在50%-100%时，挠度放大系数取1.4。

6 再生骨料混凝土的耐久性

6.1 抗渗性

6.1.1 再生骨料混凝土抗渗等级分为 P4, P6, P8, P10, P12, 抗渗性能试验可参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB50082 进行。仅掺用 I 类再生粗骨料的再生骨料混凝土抗渗性试验压力加至 1.2MPa 持续 8 小时未出现渗水情况, 抗渗等级以 P12 表示。

6.1.2 再生骨料混凝土强度等级为 C30 及以上, 最大水灰比 P6 为 0.52, P8~P12 为 0.45, P12 以上为 0.40。

6.1.3 仅掺用 I 类再生粗骨料的再生骨料混凝土用于结构自防水时, 工程埋置深度应符合表 6.1.3 的规定; 掺用 II 类再生粗骨料的再生混凝土不宜用于结构自防水; 掺用再生细骨料的再生混凝土不宜用于超过 P6 抗渗等级结构主体防水。

表 6.1.3 再生粗骨料混凝土结构防水设计抗渗等级限值

再生骨料混凝土		埋置深度			
抗渗等级		P6	P8	P10	P12
再生骨料 取代率	30%	<10m	10~20m	30~40m	30~40m
	50%	<10m	<10m	10~20m	20~30m

6.2 抗氯盐侵蚀性

6.2.1 仅掺用 I 类再生骨料的再生骨料混凝土中取代率不高于 30%, 可按《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 的有关要求; 100% 取代率再生骨料混凝土氯离子渗透系数乘以调整系数 2.04。

6.2.2 混凝土氯离子扩散系数 D_{RCM} 应采用现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的 RCM 法。再生骨料混凝土氯离子渗透能力与电通量关系应符合表 6.2.2 的规定。

表6.2.2 再生骨料混凝土氯离子渗透能力与电通量关系

渗透能力	电通量/C				
	<100	100-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
	可忽略	很低	低	中等	高

6.2.3 氯化物环境中的配筋再生粗骨料混凝土结构构件，其普通钢筋的保护层最小厚度及其相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表6.2.3 的规定。

表 6.2.3 氯化物环境中再生粗骨料混凝土与钢筋的保护层最小厚度 c(mm)

设计使用年限 环境作用等级		50 年			30 年		
		混凝土强度等级	最大水灰比	c	混凝土强度等级	最大水灰比	c
板、墙等面形构件	III-C, IV-C	C40	0.42	40	C40	0.42	35
	III-D, IV-D	C40	0.42	50	C40	0.42	45
		≥C45	0.40	45	≥C45	0.40	40
	III-E, IV-E	C45	0.40	55	C45	0.40	45
		≥C50	0.36	50	≥C50	0.36	40
	III-F	C50	0.36	60	C50	0.36	55
梁、柱等条形构件	III-D, IV-D	≥C55	0.36	55			
		C40	0.42	45	C40	0.42	40
		C40	0.42	55	C40	0.42	50
设计使用年限 环境作用等级	III-E, IV-E	≥C45	0.40	50	≥C45	0.40	40
		C45	0.40	60	C45	0.40	50
		≥C50	0.36	55	≥C50	0.36	45
		C50	0.36	65	C50	0.36	55
	III-F	≥C55	0.36	60			
		C50	0.36	60			

6.2.4 氯化物环境侵蚀再生粗、细骨料混凝土原材料的氯离子含量测定，水泥和矿物掺和料应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行，混凝土外加剂应按现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077 执行，砂应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 执行。混凝土拌合物和硬化混凝土氯离子含量测定方法可按现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 执行。

6.2.5 氯化环境侵蚀再生粗、细骨料混凝土原材料的氯离子含量测定，水泥和矿物掺和料应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行，混凝土外加剂应按现行国家标准《混凝土外加剂》GB/T8076 执行。

6.3 抗冻融性

6.3.1 长期与水体直接接触并会发生冻融循环的再生骨料混凝土结构的耐久性设计，应控制混凝土遭受长期冻融循环作用引起的损伤。

6.3.2 再生骨料混凝土构件在施工养护结束至初次受冻的时间不得少于一个月并避免与水接触。冬期施工中混凝土接触负温时的强度应满足《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104 中 6.1.1 条规定。

6.3.3 混凝土抗冻耐久性指数 DF 通过快速冻融试验测定，测试方法应采用国家现行标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的快冻法或《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的混凝土抗冻性试验方法。

6.3.4 仅掺用 I 类再生骨料的再生骨料混凝土的抗冻耐久性指数不应低于表 6.3.4 的规定；掺用 II 类再生粗、细骨料不宜用于制备抗冻混凝土。

表 6.3.4 再生骨料混凝土的抗冻耐久性指数 DF(%)

设计使用 年限	50 年	30 年
------------	------	------

环境条件	高度 饱水	中度 饱水	含盐环境 下冻融	高度 饱水	中度 饱水	含盐环境下 冻融
严寒地区	70	60	80	65	50	75
寒冷地区	60	50	70	60	45	65
微冻地区	50	45	60	50	40	55

注: 1 抗冻耐久性指数为混凝土试件经 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹性模量 E_1 与其初始值 E_0 的比值, $DF=100 \times E_1/E_0$; 在达到 300 次循环之前 E_1 已降至初始值的 60% 或试件重量损失已达到 5% 的试件, 以此时的循环次数 N 计算其 DF 值, $DF=0.6 \times N/300 \times 100$;

2 对于厚度小于 150mm 的薄壁混凝土构件, 其 DF 值宜增加 5%。

7 低层再生骨料混凝土混合结构

7.1 一般规定

7.1.1 低层再生骨料混凝土结构宜采用带圈梁和构造柱的混合砌体结构,圈梁和构造柱可采用再生细骨料取代率为 100%的再生骨料混凝土.

7.1.2 仅掺用I类再生粗骨料的带圈梁和构造柱的混合砌体结构,适用的结构类型应与普通混凝土结构一致。掺用 II 类再生粗骨料的低层混凝土结构取代率可采用 50%~100%。

7.2 构造措施

7.2.1 在墙中设置现浇钢筋混凝土圈梁应符合《砌体结构设计规范》(GB50003)规定。

1 圈梁宜连续地设在同一水平面上,并形成封闭状,当圈梁被门窗洞口截断时应在洞口上部增设相同截面的附加圈梁,附加圈梁与圈梁的搭接长度不应小于其中到中垂直间距的二倍,且不得小于 1m;

2 纵横墙交接处的圈梁应有可靠的连接;

3 圈梁兼作过梁时,过梁部分的钢筋应按计算用量另行增配。

7.2.2 外墙四角、楼(电)梯间四角、较大洞口两侧、大房间内外墙交接处设置构造柱。

8 多层和高层再生骨料混凝土结构

8.1 一般规定

8.1.1 仅掺用I类再生粗骨料的现浇多层和高层再生骨料混凝土结构，适用的结构类型抗震等级和最大高度应与现浇普通混凝土多层和高层结构一致。

8.1.2 掺用II类再生粗骨料的现浇多层和高层再生骨料混凝土结构，其适用的结构类型和最大高度应符合表 8.1.2 的规定；当再生粗骨料取代率介于 30%和 50%之间时，适用的最大高度可按线性内插法采用。

表 8.1.2 现浇多层和高层再生骨料混凝土结构适用的最大高度(m)

结构类型	再生粗骨料取代率	设防烈度				
		6	7	8(0.2g)	8(0.3g)	9
框架结构	30%	45	40	35	30	21
	50%	40	35	30	25	15
框架-剪力墙结构	30%	90	85	70	60	35
	50%	70	65	55	45	25
剪力墙结构	30%	100	85	70	60	45
	50%	80	70	60	50	35

注：1 结构高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2 表中框架包括层数不超过六层、高度不大于 18m 的异形柱框架，不包括其他异形柱框架；

3 超过表内高度的结构，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

4 再生骨料混凝土结构应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的普通混凝土房屋计算和构造措施要求。

8.1.3 掺用II类再生粗骨料的现浇多层和高层再生骨料混凝土结构丙类建筑的抗震等级应按表 8.1.3 采用。

表8.1.3 丙类建筑现浇多层和高层再生骨料混凝土建筑的抗震等级

结构类型		设防烈度									
		6		7			8			9	
框架结构	高度(m)	≤15	>15	≤15		>15	≤15		>15	≤15	
	框架	四	三	三		二	二		一	一	
框架-剪力墙结构	高度(m)	≤40	>40	≤15	15~40	>40	≤15	15~40	>40	≤15	15~36
	框架	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
	剪力墙	三		三	二		二	一		一	
剪力墙结构	高度(m)	≤50	>50	≤15	15~50	>50	≤15	15~50	>50	≤15	15~40
	剪力墙	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一

注：接近或等于高度分界时，应允许结合建筑不规则程度及场地、地基条件

确定抗震等级。

8.1.4 掺用Ⅱ类再生骨料的多层和高层再生骨料混凝土结构构件进行截面抗震验算时，其承载力抗震调整系数 γ_{RE} 取值可与普通混凝土构件相同。

8.1.5 再生骨料混凝土结构构件的设计，除应符合本标准要求外，尚应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011、《混凝土结构设计规范》GB50010、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 及《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的有关规定。

8.2 抗震措施

8.2.1 仅掺用I类再生粗骨料的再生骨料混凝土多层和高层结构构件的构造措施，应与普通混凝土多层和高层结构构件一致。

8.2.2 掺用II类再生粗骨料的再生骨料混凝土多层和高层结构，混凝土强度等级应不低于 C30；

8.2.3 掺用II类再生骨料的再生骨料混凝土多层和高层框架柱，其截面尺寸宜符合下列规定：

- 1 矩形截面柱的边长，抗震等级为四级时不宜小于 350mm，抗震等级一、二、三级时不宜小于 450mm；
- 2 矩形截面柱长边与短边的比值不宜大于 3；
- 3 圆形截面柱的直径，抗震等级为四级时不宜小于 400mm，抗震等级一、二、三级时不宜小于 500mm；
- 4 剪跨比宜大于 2。

8.2.4 掺用II类再生粗骨料的再生骨料混凝土多层和高层结构，再生骨料混凝土柱轴压比限值应符合表9.2.4的规定；当再生粗骨料取代率介于30%和50%之间时，柱轴压比限值可按线性内插法采用；建造于IV类场地的高层建筑，柱轴压比限值宜降低0.05采用；当为异形柱框架时，框架柱的轴压比限值应降低0.05采用。

表8.2.4 多层和高层再生粗骨料混凝土结构柱轴压比限值

结构类型	再生骨料 取代率	抗震等级			
		一	二	三	四
框架结构	30%	0.60	0.70	0.80	0.85
	50%	0.55	0.65	0.75	0.80
框架-剪力墙结构	30%	0.70	0.80	0.85	0.90
	50%	0.65	0.75	0.80	0.85

注：1 轴压比指柱组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值，计算时混凝土轴心抗压强度设计值应乘以强度折减系数 γ_{Rc} ；

2 有关柱轴压比限值的其他要求，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定。

8.2.5 掺用Ⅱ类再生粗骨料的多层和高层建筑一、二、三级再生骨料混凝土剪力墙在重力荷载代表值作用下墙肢的轴压比不宜超过表8.2.5的限值；当再生粗骨料取代率介于30%与50%之间时，墙肢的轴压比限值可按线性内插法采用。

表8.2.5 多层和高层再生骨料混凝土结构剪力墙轴压比限值

再生粗骨料取代率	抗震等级		
	一级（9 度）	一级（7、8 度）	二级、三级
30%	0.35	0.45	0.55
50%	0.30	0.40	0.50

8.3 再生骨料混凝土保护层

8.3.1 仅掺用Ⅰ类再生骨料的再生骨料混凝土构件中普通钢筋混凝土保护层厚度应与普通混凝土结构一致。

8.3.2 掺用Ⅱ类再生粗骨料的再生骨料混凝土构件中普通钢筋的混凝土保护层厚度应符合下列规定：

- 1 构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的公称直径；
- 2 设计使用年限为 50 年的再生骨料混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 再生骨料混凝土保护层最小厚度 c（mm）

环境类别	板、墙、壳		梁、柱、杆	
	<i>r</i> 不大于 50%	<i>r</i> 大于 50%	<i>r</i> 不大于 50%	<i>r</i> 大于 50%
一	15	15	20	20
二 a	20	20	25	25
二 b	25	25	35	35
三 a	30	35	40	45
三 b	40	45	50	50

9 制备与运输

9.1 一般规定

9.1.1 再生骨料混凝土制备应符合下列规定：

1 再生骨料混凝土应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T14902的有关规定。

2 再生骨料混凝土原材料的存储和计量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164、《混凝土结构工程施工规范》GB50666、《预拌混凝土》GB/T14902的规定。

3 再生骨料混凝土生产时，应采用符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T9142规定的固定式搅拌机进行搅拌，并应严格按设备说明书的规定使用。

9.1.2 再生骨料混凝土运输应符合下列规定：

1 再生骨料混凝土拌合物运输车应符合现行行业标准《混凝土搅拌运输车》JG/T5094的规定。

2 运输车应能保持再生骨料混凝土拌合物的均匀性，不应产生分层离析现象。

3 应采取保证连续供应的措施，并应满足现场施工的需要。

9.2 原材料

9.2.1 再生骨料混凝土所用水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的规定，水泥等级不宜低于42.5级。

9.2.2 再生骨料混凝土所采用的粗、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、《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的规定。

9.2.3 再生骨料混凝土所用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》JGJ63的规定，未经处理的海水严禁用于再生骨料

混凝土拌制和养护。

9.2.4 再生骨料混凝土可采用粉煤灰、矿渣粉、天然沸石粉等矿物掺合料，矿物掺合料应分别符合国家现行标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T1596、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046、《混凝土和砂浆用天然沸石粉》JG/T3048 和《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T18736 等的规定。矿物掺合料的品种和等级应根据设计、施工要求及工程所处环境条件确定，掺量应通过试验确定。

9.2.5 再生骨料混凝土宜采用聚羧酸系外加剂，并应符合国家现行标准《混凝土外加剂》GB/T8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的规定，使用前应进行混凝土外加剂的相容性检验。

9.2.6 再生骨料混凝土原材料除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

9.3 制备

9.3.1 再生混凝土配合比设计应符合山东省工程建设标准《再生混凝土配合比设计规程》DB37/T 5175 和行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的有关规定，并应经试验确定。试配所用的原材料应与施工实际使用的原材料一致。

9.3.2 再生骨料混凝土的工作性，应根据结构形式、运输方式和距离、泵送高度、浇筑和振捣方式以及工程所处环境条件等确定。

9.3.3 再生骨料混凝土拌合物在满足施工要求的前提下，尽可能采用较小的坍落度，泵送再生骨料混凝土拌合物坍落度不宜大于 200mm。

9.3.4 再生骨料混凝土拌制前，应测定砂、石含水率，并应根据测试结果调整材料用量。

9.3.5 在下列条件下，应进行再生骨料的含水率、吸水率及堆积密度的测定。当再生骨料已经过预湿处理时，可不测其吸水率，但应测定湿堆积密度。

1 在批量拌制再生骨料混凝土前；

- 2 在批量生产过程中抽查；
- 3 当再生骨料含水率有显著变化或混凝土拌合物坍落度或流动度有较大波动时。

9.3.6 再生骨料混凝土每盘搅拌时间应比普通混凝土搅拌时间适当延长。

9.3.7 再生骨料混凝土制备后应检测其坍落度、坍落扩展度、凝结时间等技术指标，确保拌合物工作性能满足相关标准、设计和施工要求。

9.4 运输

9.4.1 再生骨料混凝土的运输应符合下列规定：

1 当采用搅拌运输车运送再生骨料混凝土时，宜在 1h 内卸料。如需延长运送时间，则应采取相应的技术措施。

2 混凝土拌合物应采取措施减少坍落度损失和防止离析。当因运距过远、交通或现场等问题造成坍落度损失较大而卸料困难时，应采取经验证过的有效措施，严禁二次加水。

9.4.2 再生骨料混凝土运输途中及等候卸料时，应保持罐体正常转速，不得停转。卸料前应快速旋转搅拌 20s 以上再卸料。

10 施工与验收

10.1 一般规定

10.1.1 再生骨料混凝土浇筑前应检查送料单，核对混凝土配合比，确认混凝土强度等级，检查混凝土运输时间，测定混凝土坍落度，在确认无误后再进行混凝土浇筑。

10.1.2 再生骨料混凝土入泵时坍落度不宜低于 160mm。

10.1.3 再生骨料混凝土入模时温度不应低于 5℃，不应高于 35℃。

10.2 质量控制

10.2.1 再生骨料混凝土进场时，应对混凝土工作性能、力学性能和耐久性能进行试验，检验项目、检验批划分及试件留置方法和数量应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的有关规定执行。

10.2.2 采用再生骨料混凝土时，供方应提供混凝土配合比通知单、混凝土抗压强度报告、混凝土质量合格证、混凝土运输单、使用说明书和再生骨料检验报告。当需要其他资料时，供需双方应在合同中明确约定。

10.2.3 再生骨料混凝土拌合物工作性能应检验其坍落度或维勃稠度，检验方法应符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定，对于坍落度大于 220mm 的混凝土，应测定其坍落扩展度，扩展度的允许偏差为±30mm。

10.2.4 再生骨料混凝土应进行抗压强度试验，检验方法应符合《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定。对有抗冻、抗渗等耐久性要求的混凝土，还应进行耐久性能试验，检验方法应符合《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。

10.3 混凝土输送

10.3.1 再生骨料混凝土输送宜采用泵送方式。

10.3.2 再生骨料混凝土输送设备的选择及布置应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的相关规定。

10.4 施工

10.4.1 柱、墙模板内的再生混凝土浇筑倾落高度应符合表 10.4.1 的规定；当不能满足表 10.4.1 的要求时，应加设串筒、溜管、溜槽等装置。

表 10.4.1 柱、墙模板内混凝土浇筑倾落高度限值(m)

条件	浇筑倾落高度限值
粗骨料粒径大于 25mm	≤3
粗骨料粒径小于等于 25mm	≤6

注：当有可靠措施能保证混凝土不产生离析时，混凝土倾落高度可不受本表限制。

10.4.2 再生混凝土入模后应及时抹面覆膜养护，时间间隔不宜超过 30min。

10.4.3 再生骨料混凝土的施工除应符合本标准外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定。

10.5 养护

10.5.1 再生混凝土浇筑后应及时进行保湿养护，保湿养护可采用洒水、覆盖、喷涂养护剂等方式。选择养护方式应考虑现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素。

10.5.2 再生骨料混凝土的养护除应符合本标准外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定。

10.6 质量检查

10.6.1 再生骨料混凝土结构施工质量检查可分为过程控制检查和拆模后的实体质量检查。过程控制检查应在混凝土施工全过程中，按施工段划分和工序安排及时进行；拆模后的实体质量检查应在混凝土表面未做处理和装饰前进行。

10.6.2 再生骨料混凝土结构质量的检查，应符合下列规定：

1 检查的频率、时间、方法和参加检查的人员，应当根据质量控制的需要确定；

2 施工单位应对完成施工的部位或成果的质量进行自检，自检应全数检查；

3 再生骨料混凝土结构质量检查应做出记录；

4 再生骨料混凝土结构质量检查中，对于已经隐蔽、不可直接观察和量测的内容，可检查隐蔽工程验收记录。

10.6.3 再生骨料混凝土的质量检查除应符合本标准外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666的规定。

10.7 验收

10.7.1 采用回弹法测试再生骨料混凝土抗压强度时，可将回弹值折算成普通混凝土回弹值查表后进行评定，并作为处理的依据。

10.7.2 再生混凝土质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164的规定。

10.7.3 再生混凝土施工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》GB50204的规定。

本规程用词说明

1 为了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，在正常情况下均应这样做的用词：
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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《混凝土膨胀剂》 GB 23439
- 3 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 5 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 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 《民用建筑热工设计规范》 GB 50176
- 9 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223
- 10 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 11 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB50300
- 12 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 13 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 14 《混凝土外加剂》 GB/T 8076
- 15 《混凝土搅拌机》 GB/T 9142
- 16 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 17 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 18 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 19 《混凝土用再生骨料》 GB/T 25177
- 20 《绿色建筑评价标准》 GB/T 50378
- 21 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 22 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ1
- 23 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ3
- 24 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 25 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 26 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 27 《混凝土异形柱结构技术规程》 JGJ149

- 28 《再生骨料应用技术规程》 JGJ/T 240
- 29 《高强混凝土应用技术规程》 JGJ/T 281
- 30 《聚苯模块保温墙体应用技术规程》 JGJ/T 420
- 31 《混凝土和砂浆用天然沸石粉》 JG/T 3048
- 32 《混凝土搅拌运输车》 JG/T 5094
- 33 《混凝土泵送剂》 JC 473
- 34 《砂浆、混凝土防水剂》 JC 474
- 35 《混凝土防冻剂》 JC 47

山东省工程建设规范

再生骨料混凝土结构应用技术规程

DBXX/T XXXX—20XX

条文说明

制 定 说 明

《再生骨料混凝土结构应用技术规程》DB XX/T XXXX—20XX, 经山东省住房和城乡建设厅、山东省市场监督管理局于 2020 年 XX 月 XX 日以鲁建标字〔20XX〕XX 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<2020 年山东省工程建设标准制修订计划>的通知》（鲁建标字〔2019〕28 号）的要求制定。本规程编制过程中，编制组进行了广泛地调查研究，总结了我国工程建设中再生骨料混凝土结构的应用经验，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骨料混凝土结构应用的重要技术参数。

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，《再生骨料混凝土结构应用技术规程》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.....	36
3	基本规定.....	37
3.1	一般规定.....	37
3.2	材料.....	37
3.3	设计.....	39
3.4	结构构件.....	40
4	承载能力极限状态计算.....	42
5	正常使用极限状态验算.....	45
6	再生骨料混凝土的耐久性.....	46
7	低层再生骨料混凝土结构.....	47
8	多层和高层再生骨料混凝土结构.....	48
9	制备与运输.....	49
9.3	制备.....	49
9.4	运输.....	49
10	施工与验收.....	50
10.1	一般规定 s.....	50
10.4	施工.....	50
10.7	验收.....	50
附录 A	再生骨料混凝土单轴受压本构关系.....	51

1 总则

1.0.1 本规程参照国家颁布实施的《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 和现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等技术规程，结合山东省实际制定的，其目的是规范和加强再生骨料混凝土在结构中的推广应用，确保结构实体质量安全。

1.0.2 本规程中的再生骨料混凝土的制备可分别采用再生粗骨料和再生细骨料，若同时使用，应通过具有法定资质的第三方检测机构进行检测，并经专家 。

1.0.3 废旧混凝土块的回收、加工处理符合山东省的相关规定。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 规定了本规程的适用范围，再生粗骨料的等级按照《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 确定。根据再生骨料混凝土强度等级和再生粗骨料取代率划分了三种情况。再生骨料混凝土结构的作用及作用组合应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB50009、《建筑抗震设计规范》GB50011 及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 相关规定。

再生骨料混凝土结构构件的设计，除应符合本标准要求外，尚应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011、《混凝土结构设计规范》GB50010、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 及《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的有关规定。

各楼层可全部采用再生骨料混凝土构件，也可下部楼层采用普通混凝土构件；同一楼层中同类构件应采用同类混凝土；同一楼层中同类再生骨料混凝土构件，应采用同类再生骨料和相同配合比的再生骨料混凝土。

3.1.2 再生骨料混凝土的强度等级不应低于 C20，不宜高于 C60。

3.2 材料

3.2.1 本条文规定了仅掺用Ⅰ类再生骨料的再生骨料混凝土，其强度取值可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 规定执行；掺用Ⅱ类再生骨料的再生骨料混凝土，其轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 、轴心抗压强度设计值 f_c 、轴心抗拉强度设计值 f_t ，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 取值并乘以再生骨料混凝土强度折减系数 γ_{Re} 后采用。其中再生骨料取代率为 30% 时， α_σ 取 0.95；再生骨料取代率为 100% 时， α_σ 取 0.85；再生骨料取代率介于 30% 和 100% 之间时， α_σ 按线性内插法取用。

3.2.2 《规程》中再生骨料混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准

值确定，其立方体抗压强度标准值的确定方法应与普通混凝土相同。

3.2.3 《规程》中仅掺用Ⅰ类再生粗、细骨料的混凝土，其弹性模量 E_c 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 采用。

3.2.6 掺用Ⅱ类再生粗、细骨料的混凝土弹性模量 E_c 宜通过试验确定；缺乏试验资料时，再生骨料取代率为 30%、100% 的再生骨料混凝土弹性模量可按表 3.2.6 采用，当再生骨料取代率介于 30% 和 100% 之间时，再生骨料混凝土弹性模量可采用线性插值方法确定。

表3.2.6 再生骨料混凝土的弹性模量 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)

强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
30%再生粗 骨料取代率	2.30	2.52	2.70	2.84	2.93	3.02	3.11	3.20
100%再生粗 骨料取代率	2.04	2.24	2.40	2.52	2.60	2.68	2.76	2.84
100%再生细 骨料取代率	2.32	2.54	2.69	2.81	2.89			

3.2.7 《规程》中再生骨料混凝土的剪切变形模量 G_c 可按对应弹性模量值的 40% 采用；再生骨料混凝土泊松比 ν_c 可按 0.2 采用。

3.2.8 《规程》中再生骨料混凝土的温度线膨胀系数 α_c 范围为 $(8 \sim 12) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、比热容 c 为 $0.97 \text{kJ/kg}\cdot\text{k}$ 和导热系数 λ 为 $1.28 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ 。当缺乏试验资料时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和《民用建筑热工设计规范》GB50176 有关规定采用。

3.2.10 《规程》中再生骨料混凝土结构应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计。

3.2.11 仅掺用Ⅰ类再生骨料的再生骨料混凝土结构的适用环境、设计使用年限和采取的措施可与普通混凝土结构一致。掺用Ⅱ类再生粗骨料的再生骨料混凝土结构及构件设计使用年限不应超过 50 年，采取的耐久性措施应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的

规定。

3.2.13 《规程》中掺用Ⅱ类再生骨料的结构用再生骨料混凝土的耐久性基本要求宜符合表 3.2.13 的规定。

表3.2.13 结构用再生骨料混凝土耐久性基本要求

环境等级		最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量 (%)	最大碱含量 (kg/m³)
一		0.60	C25	0.30	不限制
二	a	0.55	C30	0.20	3.0
	b	0.50 (0.55)	C35 (C30)	0.15	
三	a	0.45 (0.50)	C40 (C35)	0.15	
	b	0.40	C45	0.10	

- 注：1 氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比；
2 素再生骨料混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松；
3 处于严寒和寒冷地区二b、三a类环境中的再生骨料混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数；
4 当使用非碱活性骨料时，对再生骨料混凝土中的碱含量可不作限制。

3.3 设计

3.3.3 材料选择设计应符合下列要求

3 再生骨料混凝土构件中纵向受力钢筋的配筋率和箍筋的最小配箍率应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 最小配箍率提升 0.05 配筋百分率的要求，同济大学以此为依据设计的构件进行实验，结果表明，再生骨料混凝土构件与普通混凝土构件有相似的受力阶段和破坏特征。再生骨料混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋率和箍筋的最小配箍率，应基于可靠度的要求计算确定，同济大学的计算结果表明，对于再生骨料混凝土梁，正截面受弯时的纵向钢筋的最小配筋率有微小提高，相比较普通混凝土梁提高 0.1%。正截面受剪时箍筋的最小配箍率提高明显，相比较普通混凝土梁提高 32.0%。

4~5 在再生骨料混凝土结构的设计中，有关各种钢筋的选用规定，以及各类钢筋强度标准值、钢筋强度设计值和钢筋弹性模量的取

值原则和具体数值的规定，即按照《混凝土结构设计规范》GB50010。

3.3.4 再生细骨料考虑不应用于高层及低层房屋，主要应用于低层房屋。

3.3.5

1 《规程》中仅掺用I类再生粗骨料的钢筋再生骨料混凝土结构伸缩缝的最大间距，可与普通钢筋混凝土结构相同。

2 《规程》中掺用II类再生粗骨料的钢筋再生骨料混凝土结构伸缩缝的最大间距，当再生骨料取代率不大于 50%时可与普通混凝土结构一致；当再生粗骨料取代率大于 50%时伸缩缝的最大间距宜比普通混凝土结构适当减小。

3 当设置伸缩缝时，再生骨料混凝土框架、排架结构的双柱基础可不断开。

3.4 结构构件

3.4.1 本条规定了再生骨料混凝土结构构件在建筑工程中的应用要求，现阶段再生骨料混凝土在其它领域内的研究较少，故本标准尚未考虑在其他结构构件中使用再生骨料混凝土。再生骨料混凝土主要应用于丙类建筑，不宜用于乙类建筑，不应用于甲类建筑。若在乙类建筑内应用，相关抗震设计参数应按照现行规范调整。同时，由于再生骨料混凝土的收缩和徐变较大，故本标准也不考虑将再生骨料混凝土应用于预应力构件。

3.4.2 仅掺用I类再生骨料的再生骨料混凝土结构构件设计应与普通钢筋混凝土结构一致。掺用II类再生骨料的钢筋再生骨料混凝土构件设计按表 3.2.5 中再生骨料混凝土强度折减系数 γ_{Rc} 折减后与普通钢筋混凝土构件相同。

3.4.3 再生骨料混凝土受弯构件在设计计算时的基本假定应按下列要

求执行：

2 再生骨料混凝土正截面承载力计算的基本假定与普通混凝土大致相同。

3 再生骨料混凝土构件的计算应符合国家相应标准。

4 承载能力极限状态计算

4.0.1 承载力极限状态的设计应符合下列要求：

1 同济大学根据《混凝土结构设计规范》GB50010 设计的构件试验，结果表明，再生骨料混凝土与普通混凝土受弯构件有相似的受力阶段和破坏特征。本规范采用等效矩形压力图形，采用《混凝土结构设计规范》（GB 50010）的计算方法，对再生骨料混凝土，取 $n=2$ ， $\varepsilon_0=0.002$ ， $\varepsilon_{cu}=0.003$ ，计算得再生骨料混凝土的 $\alpha_1=0.969$ ， $\beta_1=0.824$ 。为简化计算，取 $\alpha_1=1$ ， $\beta_1=0.78$ 。再生混凝土中配有受压钢筋的情况下，可按照《混凝土结构设计规范》中的公式进行计算，同时应考虑上述系数的折减。

2 再生骨料混凝土轴心受压构件的计算公式在《混凝土结构设计规范》GB50010 基础上结合最新的研究成果进行了更新，考虑了再生骨料混凝土的轴心受压承载力调整系数 0.95。

3 再生骨料混凝土斜截面受剪承载力的计算公式在《混凝土结构设计规范》GB50010 基础上结合最新的研究成果进行了更新，考虑了再生骨料混凝土的受剪承载力调整系数 0.9。

4 偏心受压、局部受压、轴心受拉、偏心受拉、受扭、受抗冲切等工况下可参照《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关公式进行计算，局部受压、受抗冲切等情况下可参照本规程的受压和受剪进行适当调整。

5 根据同济大学进行的再生骨料混凝土框架结构振动台实验研究，发现再生骨料混凝土结构的抗震性能与普通混凝土抗震性能相当。

4.0.6 再生骨料混凝土结构抗震设计应符合下列要求：

1~2 再生骨料混凝土构件内力和变形验算时，应采用再生骨料混凝土的实测弹性模量进行计算，当无实测数据时，按照本标准中给定的弹性模量取值。

3 以上海市五角场再生骨料混凝土办公楼工程为分析对象,根据同济大学研究成果确定的取值。

4 考虑到再生骨料混凝土结构相对于普通混凝土结构在地震作用下侧移较大,提高剪力墙底部加强部位配筋构造,增加其延性。

5 主要参照了《混凝土结构设计规范》GB50010 中的规定,对不同再生骨料混凝土结构类型在不同设防烈度下的最大高度进行了规定,相比较普通混凝土结构,再生骨料混凝土结构高度最大值降低。本条规定与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 相关条文相比,多层和高层再生骨料混凝土房屋适用的结构类型不包括大跨度框架结构、部分框支剪力墙结构、筒中筒结构、板柱-剪力墙结构。规定的多层和高层再生骨料混凝土房屋适用的最大高度约为相同结构类型普通混凝土房屋适用的最大高度的 2/3。

6 主要参照了《混凝土结构设计规范》GB50010 中的规定,对不同再生骨料混凝土结构的抗震等级进行了规定,相比较普通混凝土结构,相同抗震等级下,再生骨料混凝土结构高度最大值降低。

7 规定了再生骨料混凝土多层和高层结构的混凝土最低强度等级,对于一级抗震等级的框架梁、柱及节点的混凝土强度等级不应低于 C35,其他各类结构构件不应低于 C30;与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的第 11.2.1 条规定的一级抗震等级的框架梁、柱及节点的混凝土强度等级不应低于 C30,其他各类结构构件不应低于 C20 相比,对再生骨料混凝土强度等级的要求有所提高。

8 对多层和高层再生骨料混凝土框架结构中再生骨料混凝土柱截面尺寸构造做了规定。与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 对普通混凝土柱截面尺寸构造相比,总体略严。主要考虑再生骨料混凝土柱轴压比的限值比普通混凝土柱有所减小,相同设计条件下相应柱的截面尺寸应有所增大,但再生骨料混凝土柱的剪跨比及

矩形截面柱长边与短边的比值要求与普通混凝土柱要求一致。

9 再生骨料混凝土柱为关键竖向构件,设计中有效控制再生骨料混凝土轴压比是保证结构抗震延性的关键。规定了再生骨料混凝土多层和高层结构柱的轴压比限值,该轴压比限值比现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的表6.3.5柱轴压比限值有所减小,再生粗骨料取代率30%时一、二、三、四级结构柱轴压比限值小0.05,再生粗骨料取代率50%时的一、二、三、四级结构柱轴压比限值小0.10;当再生粗骨料取代率介于30%和50%之间时,柱轴压比限值可按线性内插法取值。

10 再生骨料混凝土剪力墙为关键竖向构件,设计中有效控制再生骨料混凝土剪力墙墙肢的轴压比是保证结构抗震延性的关键。规定了多层和高层再生骨料混凝土结构,一、二、三级再生骨料混凝土剪力墙在重力荷载代表值作用下墙肢的轴压比的限值,与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的第6.4.2条对一、二、三级混凝土剪力墙墙肢轴压比限值相比,再生粗骨料取代率30%时轴压比限值小0.05,再生粗骨料取代率50%时轴压比限值小0.10,再生粗骨料取代率介于30%和50%之间时轴压比限值按线性内插法采用。由于本标准规定的再生骨料混凝土房屋最大高度限值约为普通混凝土房屋最大高度的2/3,通常实际工程中再生骨料混凝土剪力墙墙肢的轴压比能够符合设计要求。

5 正常使用极限状态验算

5.0.1 正常使用极限状态的设计应符合下列要求：

1 根据国内外研究表明,再生骨料混凝土的极限拉应变相比普通混凝土略大,粘结强度略高,因此可以偏安全的采用《混凝土结构设计规范》GB50010 的计算公式。

2 根据国内外研究表明,再生骨料混凝土构件的裂缝宽度与普通混凝土相当,但是再生骨料混凝土开裂后的耐久性与普通混凝土相比,优劣存在较大争议,原因是再生骨料的来源复杂。在计算过程中,再生骨料混凝土强度指标根据本标准规定的数值取用。

3 根据国内外试验研究结果表明,再生骨料混凝土构件的挠度比普通混凝土大,且随着时间的增长这种趋势愈加明显,因此为了满足实际工程要求,在再生粗骨料取代率在 30%-50%时,根据同济大学试验结果取挠度放大系数 1.2。

6 再生骨料混凝土的耐久性

6.0.1 为保持规范的一致性，本部分用“耐久性试验”表述，其意思同道路工程中“面层耐久性试验方法”一词。可按《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 的有关要求，测试方法应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 有关要求。

7 低层再生骨料混凝土结构

7.1.1 同济大学进行了再生骨料取代率为 30%-100%的再生粗骨料混凝土框架、框架剪力墙、剪力墙的抗震性能试验研究，表明其抗震性能良好。低层再生粗、细骨料混凝土结构中，增大再生粗、细骨料的取代率，有利于废弃混凝土的再生利用。本条规定了低层再生混凝土房屋的层数不应超过 3 层，层高不宜超过 4m，高度不宜超过 10m。

7.1.2 掺用 II 类再生粗、细骨料的低层再生骨料混凝土异形柱框架结构异形柱界面肢厚不宜小于 140mm、肢高与肢厚比不宜小于 3，可满足抗震要求。

8 多层和高层再生骨料混凝土结构

8.1.1 多层和高层再生骨料混凝土房屋使用的结构类型不包括大跨度框架结构、部分框支剪力墙结构、筒中筒结构、板柱-剪力墙结构。规定的多层和高层再生混凝土结构房屋适用的最大高度不大于 90m。

8.1.2 再生骨料混凝土柱、框架、剪力墙、框架剪力墙的承载力和抗震性能与普通混凝土接近，本条将再生骨料混凝土结构构件的抗震承载力验算方法与普通混凝土结构构件相统一。

8.1.3 本条规定了低层再生骨料混凝土房屋结构构件的抗震设计应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级。

9 制备与运输

9.3 制备

9.3.3 经施工验证，再生混凝土坍落度超过 200mm 时，混凝土和易性开始发生变化，匀质性逐渐变差，要保持和易性不变，则需要采取一定的技术措施。因此对于普通泵送的再生混凝土，为保证混凝土和易性稳定，建议坍落度不宜超过 200mm。

9.3.5 由于再生骨料吸水率较普通骨料大，且 1h 和 24h 吸水率有一定的差距。经试验验证，再生骨料 24h 吸水率基本达到饱和状态，因此再生骨料预湿时间不宜低于 24h。

9.4 运输

9.4.1 由于再生骨料具有一定的吸水性，实际生产前往往预湿时间不充分，从而导致再生混凝土在运输过程中会产生一定的坍落度损失，时间越长损失越大。经实际施工验证，运输时间控制在 1h 内时，混凝土拌合物性能影响较小，但超过 1h 后，混凝土拌合物需采取特殊措施才能保证拌合物的工作性能。

10 施工与验收

10.1 一般规定

10.1.2 经大量试验数据积累分析,再生骨料混凝土经泵送挤压后混凝土坍落度损失在 20mm-30mm 左右,因此为确保施工性能,再生骨料混凝土入泵坍落度不宜小于 160mm。

10.4 施工

10.4.1 经大量工程实践证明,再生混凝土浇筑时,倾落高度高度在标准中规定范围内,混凝土和易性仍满足施工要求,未产生离散、和易性变差的现象。

10.4.2 经大量数据收集分析,再生骨料混凝土泵送至施工部位后,混凝土表面失水较快,基本在 30min 左右出现收面困难,因此应及时收面覆膜。

10.7 验收

10.7.1 再生骨料混凝土回弹值折算系数可按 1.10,将回弹值乘以折算系数后查对应的普通混凝土回弹表格得到再生骨料混凝土的抗压强度。

附录 A 再生骨料混凝土单轴受压本构关系

A.0.1 再生粗、细骨料混凝土的单轴受压本构关系则是在再生骨料混凝土基本力学性能专题研究成果的基础之上得到的。

参照《混凝土结构设计规范》GB50010 中关于普通混凝土本构关系的形式，通过文献中的再生骨料混凝土本构试验数据，基于统计结果，修正特征值之间的定量关系后，得到再生骨料混凝土单轴受压本构关系。

$$\varepsilon_{cp} = m \cdot \sqrt{\sigma_{cp}} + n \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\alpha_c = u \cdot \sigma_{cp}^{0.785} - v \quad (\text{A.0.1-2})$$

参数取值如表 A.0.1 所示：

表 A.0.1 参数取值

拟合系数	下限	拟合值	上限
m	0.1215	0.1842	0.2469
n	0.6790	1.0315	1.3840
u	0.1004	0.1511	0.2018
v	-0.8482	-0.1818	0.4846