

上海市工程建设规范

再生骨料混凝土应用技术标准

Technical standard on the application of recycled aggregate concrete

DG/TJ 08—2018—2020

J 10995—2020

主编单位：同济大学

上海市建筑科学研究院有限公司

上海市市政规划设计研究院

批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会

施行日期：2020 年 12 月 1 日

同济大学出版社

2020 上海

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2020〕333 号

上海市住房和城乡建设管理委员会 关于批准《再生骨料混凝土应用技术标准》 为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由同济大学、上海市建筑科学研究院有限公司、上海市市政规划设计研究院主编的《再生骨料混凝土应用技术标准》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为 DG/TJ 08—2018—2020，自 2020 年 12 月 1 日起实施。原《再生混凝土应用技术规程》DG/TJ 08—2018—2007 同时废止。

本规范由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，同济大学负责解释。

特此通知。

上海市住房和城乡建设管理委员会
二〇二〇年七月一日

前 言

根据上海市城乡建设和管理委员会《关于印发〈2015 年上海市工程建设规范编制计划〉的通知》(沪建管〔2014〕966 号)要求,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国内、外标准,并在广泛征求意见的基础上,对《再生混凝土应用技术规程》DG/TJ 08—2018—2007 进行修订。

本标准主要内容包括:总则、术语和符号、建筑工程用再生骨料混凝土、道路工程用再生骨料混凝土与半刚性基层结构、道路工程用再生骨料混凝土制品等。

本次修订的主要内容有:

1. 名称由《再生混凝土应用技术规程》更改为《再生骨料混凝土应用技术标准》。
2. 删除原规程中第 3 章“废混凝土”。
3. 删除原规程中第 4 章“再生粗集料”。
4. 合并原规程中第 5~7 章,更新为第 3 章“建筑工程用再生骨料混凝土”。
5. 简化了再生骨料混凝土配合比设计相关内容,衔接《再生骨料混凝土技术要求》DB31/T 1128—2019 中的相关规定。
6. 删除原规程中第 8 章“再生骨料混凝土空心砌块”。
7. 结合新版国家规范,更新了再生骨料混凝土梁的抗剪承载力计算公式。
8. 新增第 3 章“建筑工程用再生骨料混凝土”中“再生骨料混凝土建筑结构抗震”内容。
9. 新增第 4 章“道路工程用再生骨料混凝土与半刚性基层结构”中“道路用再生骨料”“水泥稳定再生骨料碎石混合料”“石灰

粉煤灰稳定再生骨料碎石混合物”“再生骨料混凝土基层”“再生骨料混凝土面层”等内容。

10. 更新再生骨料混凝土单轴受压本构关系。

11. 新增再生骨料混凝土碳化深度预测模型。

各单位及相关人员在执行本标准过程中,如有意见或建议,请反馈至同济大学(地址:上海市四平路 1239 号;邮编:200092;E-mail:jzx@tongji.edu.cn),或上海市建筑建材业市场管理总站(地址:上海市小木桥路 683 号;邮编:200032;E-mail:bzglk@zjw.sh.gov.cn),以供今后修订时参考。

主 编 单 位:同济大学

上海市建筑科学研究院有限公司

上海市市政规划设计研究院

参 编 单 位:上海建工材料工程有限公司

上海城建物资有限公司

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司

上海市浦东新区建设工程安全质量监督站

上海同瑾土木建筑有限公司

上海又宏环保科技有限公司

喜瑞阿(上海)新材料有限公司

上海建冶机器有限公司

上海申昆混凝土集团有限公司

昆山申昆联合混凝土有限公司

主 要 起 草 人:肖建庄 施钟毅 徐 斌 肖绪文 朱敏涛

郑振鹏 张 雄 徐亚玲 潘 平 刘佳颖

李 阳 何昌轩 张凯建 段珍华 丁 陶

陈道普 张绪国 卢家森 刘 琼 肖建修

方红平 杨晓斌 靳海燕 陆亚运

主要审查人:周质炎 王宝海 杨 健 陆文雄
栗 新 沈丽华 张国峰

上海市建筑建材业市场管理总站

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 建筑工程用再生骨料混凝土	5
3.1 一般规定	5
3.2 性能指标	5
3.3 制 备	8
3.4 设 计	9
3.5 施 工	15
3.6 质量验收	16
4 道路工程用再生骨料混凝土与半刚性基层结构	18
4.1 一般规定	18
4.2 道路用再生骨料	18
4.3 水泥稳定再生骨料碎石混合料	19
4.4 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料	19
4.5 再生骨料混凝土基层	21
4.6 再生骨料混凝土面层	21
4.7 施工与质量验收	21
5 道路工程用再生骨料混凝土制品	24
附录 A 再生骨料混凝土单轴受压本构关系	25
附录 B 再生骨料混凝土碳化深度预测模型	26
附录 C 混凝土块含量测试方法	28

本标准用词说明	29
引用标准名录	30
条文说明	33

Content

1	General principle	1
2	Terminology and symbols	2
2.1	Terminology	2
2.2	Symbols	3
3	Recycled aggregate concrete for building structures	5
3.1	General provisions	5
3.2	Property index	5
3.3	Fabrication	8
3.4	Design	9
3.5	Execution	15
3.6	Quality acceptance	16
4	Recycled aggregate concrete and semi-rigid base structure in pavement	18
4.1	General provisions	18
4.2	Recycled aggregate for pavement	18
4.3	Cement stabilized recycled aggregate gravel mixture	19
4.4	Lime-fly ash stabilized recycled aggregate gravel mixture	19
4.5	Recycled aggregate concrete base	21
4.6	Recycled aggregate concrete surface layer	21
4.7	Construction and quality testing	21
5	Recycled aggregate concrete products for pavement	24

Appendix A	Uniaxial compressive constitutive relationship for RAC	25
Appendix B	Prediction model of carbonation depth for RAC	26
Appendix C	Test method for concrete block content	28
Explanation of wording in this standard		29
List of cited standards		30
Explanation of this standard		33

1 总 则

1.0.1 为了保护生态环境,实现建筑废弃混凝土的再生利用,促进建筑业可持续发展,规范再生骨料混凝土在建设工程中的应用,做到安全适用、质量可靠、经济合理、技术先进,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑工程和道路工程用再生骨料混凝土及其制品的设计、施工和验收。

1.0.3 再生骨料混凝土应用除应符合本标准外,尚应符合国家、行业和本市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 recycled aggregate

由建(构)筑废弃物中的混凝土、砂浆、石、砖瓦加工而成,最大粒径在 40mm 以下的骨料称为再生骨料。

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,用于配制混凝土和砂浆的粒径不大于 4.75mm 的颗粒。

2.1.4 再生骨料混凝土 recycled aggregate concrete

由再生粗骨料取代普通混凝土中天然粗骨料后,配制而成的混凝土,其中再生粗骨料取代率不应低于 15%。

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

再生粗骨料占粗骨料总质量(再生粗骨料和天然粗骨料质量之和)的百分率。

2.1.6 再生骨料混凝土路面 recycled aggregate concrete pavement

以再生骨料混凝土为主要材料的路面。

2.1.7 再生级配骨料 recycled size graded aggregates

在级配骨料配制过程中用再生骨料取代天然骨料,取代率 15%及以上。

2.1.8 道路工程配套再生骨料混凝土制品 recycled aggregate-concrete components for pavement

用再生骨料混凝土制备的路缘石、隔离墩、混凝土路面砖、侧平石等市政部件,其中再生粗骨料取代率不应低于15%。

2.2 符 号

A_s ——受拉钢筋的面积;

A ——构件截面面积;

A'_s ——全部纵向钢筋的截面面积;

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积;

b ——截面宽度;

E_c ——再生骨料混凝土弹性模量;

$f_{cu,k}$ ——再生骨料混凝土立方体抗压强度标准值;

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;

f_{tk} ——再生骨料混凝土抗折强度标准值;

f_y, f'_y ——纵向钢筋抗拉、抗压强度设计值;

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值;

h_0 ——截面有效高度;

M ——弯矩设计值;

N ——轴向压力设计值;

s ——沿构件长度方向的箍筋间距;

V ——剪力设计值;

x ——再生骨料混凝土受压区高度;

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;

λ ——计算截面的剪跨比;

σ_c, ϵ_c ——再生骨料混凝土应力、应变;

ξ_b ——相对界限受压区高度；

φ ——钢筋再生骨料混凝土构件的稳定系数；

α ——裂缝宽度增大系数。

3 建筑工程用再生骨料混凝土

3.1 一般规定

3.1.1 本章适用于下列情况的建筑工程用再生骨料混凝土：

1 采用Ⅰ、Ⅱ类再生粗骨料配制 C40～C50 强度等级的再生骨料混凝土，再生粗骨料取代率应为 15%～30%。

2 采用Ⅰ、Ⅱ类再生粗骨料配制 C35 及以下强度等级的再生骨料混凝土，再生粗骨料取代率应为 30%～50%。

3 采用Ⅲ类再生粗骨料配制 C25 以下强度等级的再生骨料混凝土，再生粗骨料取代率应为 30%～50%。

3.1.2 采用Ⅲ类再生粗骨料配制的再生骨料混凝土，不应用于建筑工程的承重结构。

3.1.3 当设计 C50 以上强度等级再生骨料混凝土时，或再生粗骨料取代率超过 50%时，应通过试验对其结果作出可行性评定，并应经专项技术论证。

3.1.4 当采用Ⅰ类再生粗骨料配制再生骨料混凝土用于建筑工程时，其性能指标、制备、设计、施工与质量验收按普通混凝土规定执行。当采用Ⅱ、Ⅲ类再生粗骨料配制再生骨料混凝土用于建筑工程时，其性能指标、制备、设计、施工与质量验收按本标准规定执行。

3.2 性能指标

3.2.1 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} 按表 3.2.1-1 的规定取值，设计值 f_c 、 f_t 按表 3.2.1-2 的规定取值。

表 3.2.1-1 再生骨料混凝土的强度标准值(MPa)

强度 种类	再生骨料混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
f_{ik}	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 3.2.1-2 再生骨料混凝土的强度设计值(MPa)

强度 类	再生骨料混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
f_c	6.90	9.24	11.52	13.86	16.14	18.48	20.41	22.34
f_t	0.88	1.06	1.23	1.39	1.52	1.65	1.73	1.82

3.2.2 再生骨料混凝土的抗折强度标准值 f_{tk} 可按式(3.2.2)计算。

$$f_{tk} = 0.75 \sqrt{f_{cu,k}} \quad (3.2.2)$$

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)(MPa)。

3.2.3 再生骨料混凝土的受压和受拉的弹性模量 E_c 宜通过试验确定。在缺乏试验资料时,可按表 3.2.3 采用。

表 3.2.3 再生骨料混凝土的弹性模量($\times 10^4$ MPa)

强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
再生粗骨料取代率 30%	2.09	2.42	2.66	2.85	2.99	3.09	3.18	3.28
再生粗骨料取代率 50%	1.98	2.30	2.52	2.70	2.84	2.93	3.02	3.11

3.2.4 再生骨料混凝土的单轴受压应力-应变曲线通过试验确定;若无试验数据时,可按本标准附录 A 取用。

3.2.5 再生骨料混凝土的收缩值高于普通混凝土时,可在普通混凝土的基础上加以修正,修正系数取 1.00~1.14。再生粗骨料取代率为 30%时,可取 1.00;再生粗骨料取代率为 50%时,可取 1.14;中间可采用线性内插取值。当再生粗骨料取代率为 15%~30%时,可不作修正。

3.2.6 再生骨料混凝土的徐变值高于普通混凝土时,可在普通混凝土的基础上加以修正,修正系数取 1.00~1.12。再生粗骨料取代率为 30%时,可取 1.00;再生粗骨料取代率为 50%时,可取 1.12;中间可采用线性内插取值。当再生粗骨料取代率为 15%~30%时,可不作修正。

3.2.7 再生骨料混凝土的泊松比可取为 0.2。

3.2.8 再生骨料混凝土的温度线膨胀系数可按普通混凝土取值。

3.2.9 再生骨料混凝土的导热系数和比热宜通过试验确定,在缺乏试验资料时,可按表 3.2.9 取值;再生粗骨料取代率介于 30%~50%时,采用线性内插取值。当再生粗骨料取代率为 15%~30%时,可不作修正。

表 3.2.9 再生骨料混凝土的导热系数和比热

再生粗骨料取代率(%)	30	50
导热系数[W/(m·℃)]	1.493	1.458
比热[J/(kg·℃)]	905.5	914.2

3.2.10 再生骨料混凝土结构的耐久性基本要求应符合表 3.2.10 的规定。

表 3.2.10 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
	B	0.50	C35	0.15
三	A	0.45	C40	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 环境等级一、二、三类及 A、B 的划分参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010。

3.2.11 再生骨料混凝土的抗渗性能、抗冻性能、抗侵蚀性能、抗碳化性能以及抑制碱骨料反应的性能等耐久性能的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 的规定执行。

3.2.12 再生骨料混凝土的碳化深度宜由碳化实验确定；当无实验数据时，可按本标准附录 B 进行碳化深度的预测。

3.2.13 混凝土最小保护层厚度根据构件类别、环境类别以及再生骨料取代率等情况确定，可按现行行业标准《再生混凝土结构技术标准》JGJ/T 443 进行取值。

3.2.14 对丙类建筑，再生骨料混凝土的设计使用年限为 50 年。对于其他情况，再生骨料混凝土的设计使用年限应根据具体工程要求及相关标准规定确定。

3.3 制 备

3.3.1 再生骨料混凝土胶水比 C/W_{Rk} 的简易计算方法可按下式计算：

$$C/W_{Rk} = f_{Rk} / (\lambda f_{cs}) + B \quad (3.3.1)$$

式中： C ——再生骨料混凝土拌合物的胶凝材料用量 (kg/m^3)；

W_{Rk} ——再生骨料混凝土的净用水量 (kg/m^3)；

f_{Rk} ——再生骨料混凝土的配制强度 (MPa)；

f_{cs} ——胶凝材料的实测 28d 抗压强度 (MPa)；

A, B ——线性回归系数，无量纲。

3.3.2 当再生骨料混凝土的胶水比大于现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 所规定的最大胶水比时，按规定的最大胶水比取值；或者当再生骨料混凝土的胶凝材料用量小于现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 所规定的最小胶凝材料用量时，按规定的最小胶凝材料用量取值。

3.3.3 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设计值不宜大于 180mm。

3.3.4 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设计和施工要求。

3.3.5 再生骨料混凝土的制备除应符合本标准的相关规定外,尚应符合现行上海市地方标准《再生骨料混凝土技术要求》DB31/T 1128及相关国家标准要求。

3.4 设计

3.4.1 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。

3.4.2 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 不考虑再生骨料混凝土的抗拉强度。

3.4.3 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》GB 175 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普通混凝土中的一致。

3 纵向受力钢筋的配筋率不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最小配筋率;箍筋的配箍率不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最小配箍率。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 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400、HPB300 钢筋。

5 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335、HPB300 钢筋。

3.4.4 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式计算：

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

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

式中： M ——弯矩设计值；

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；

f_c ——再生骨料混凝土轴心抗压强度设计值；

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， $\xi_b = \beta_1 / \left(1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_{cu}} \right)$ ， 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：

$$N \leq 0.9 \varphi (0.95 f_c A + f_y' A_s') \quad (3.4.4-3)$$

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:

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

式中: V ——剪力设计值;

a_{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 $1.75/(\lambda+1)$, 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; $A_{sv} = n A_{sv1}$, 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现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关公式进行计算。

5 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一个折减系数。系数的取值参见国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的表 5.4.2。

3.4.5 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现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关公式验算。

2 裂缝宽度验算可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 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 。当再生骨料取代率为 15%~30% 时,取 $a=1.03$;再生骨料取代率为 50% 时,取 $a=1.05$;再生骨料取代率为

30%~50%时,按线性插值计算增大系数 α 。

3 受弯构件挠度可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 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为30%~50%时,挠度放大系数取1.2。

3.4.6 再生骨料混凝土结构抗震设计应符合下列要求:

1 在计算再生骨料混凝土构件内力时,再生骨料混凝土的弹性模量宜取实测值;当无可靠的再生骨料混凝土弹性模量的实测数据时,宜按照本标准表3.2.3取值。

2 在进行多遇地震作用下抗震变形验算时,再生骨料混凝土的弹性模量宜取实测值;当无可靠的再生骨料混凝土弹性模量实测数据时,宜按照本标准表3.2.3取值。

3 再生骨料混凝土结构在多遇地震作用下的阻尼比在再生骨料取代率为30%时,取5.30%;在再生骨料取代率为50%时,取5.50%;取代率为30%~50%时,按线性内插法采用;当取代率小于30%时,按普通混凝土取值。风荷载作用下,楼层位移验算和构件设计时阻尼比可取5.00%。

4 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。

5 再生骨料混凝土结构构件抗震设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关要求。

6 现浇多层和高层钢筋再生骨料混凝土房屋的结构类型和最大高度应符合表3.4.6-1的要求。

表 3.4.6-1 现浇多层和高层再生骨料混凝土房屋适用的最大高度 (m)

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

注:1 房屋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 表中框架不包括异形柱框架。

3 超过表内高度的房屋,应进行专门研究和论证,采取有效的加强措施。

4 当再生粗骨料取代率为 30%~50%时,适用的最大高度可按线性内插法采用。

7 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。丙类建筑的抗震等级按表 3.4.6-2 确定。

表 3.4.6-2 丙类建筑现浇多层和高层再生骨料混凝土房屋的抗震等级

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

注:接近或等于高度分界时,应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

8 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。

9 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,抗震等级为一、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,抗震等级为一、二、三级时不宜小于 500mm;
- 4) 剪跨比宜大于 2。

10 再生骨料混凝土多层和高层结构,其再生骨料混凝土柱轴压比限值应符合表 3.4.6-3 的规定;当再生粗骨料取代率为 30%~50%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。

表 3.4.6-3 多层和高层再生骨料混凝土
结构再生骨料混凝土柱轴压比限值

结构类型	再生粗骨料 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。

- 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》GB 50011 的有关规定。

11 再生骨料混凝土的多层和高层建筑,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 3.4.6-4 的限值;当再生粗骨料取代率为 30%~50%时,墙肢的轴压比限值可按线性内插法采用。

**表 3.4.6-4 多层和高层再生骨料混凝土
结构再生骨料混凝土剪力墙轴压比限值**

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

12 再生骨料混凝土框架结构的其他抗震构造措施应符合国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 中第 6.3 节的要求。

13 再生骨料混凝土剪力墙结构的抗震构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求。再生骨料混凝土剪力墙的厚度、墙肢的轴压比、钢筋配置、剪力墙两端和洞口两侧边缘构件的设置等应符合国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 中第 6.4 节的要求。

14 再生骨料混凝土框架-剪力墙结构的抗震构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求。再生骨料混凝土剪力墙的厚度和边框设置、钢筋配置、楼面梁与剪力墙的连接等应符合国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 中第 6.5 节的要求。

3.5 施 工

3.5.1 再生骨料混凝土振捣应能使模板内各个部位的混凝土密实、均匀,不应漏振、欠振、过振。

3.5.2 再生骨料混凝土的浇筑与施工应符合下列要求：

1 再生骨料混凝土拌合物浇筑倾落的自由高度不宜超过 2m。当倾落高度大于 2m 时，应加串筒、斜槽或溜管等辅助工具。

2 再生骨料混凝土拌合物采用机械振捣成型，振捣时间宜按拌合物和易性和振捣部位等不同情况，控制在 10s~30s 内。对流动性大的再生骨料混凝土塑性拌合物以及用于非承重结构的拌合物，可采用插捣成型。

3.5.3 再生骨料混凝土的工地现场施工应符合下列要求：

1 用干硬性再生骨料混凝土拌合物浇筑构件，采用振动台或表面加压成型。

2 浇筑上表面积较大的构件，当厚度小于或等于 200mm 时，宜采用表面振动成型；当厚度大于 200mm 时，宜先用插入式振捣棒振捣密实后，再表面振捣。

3 用插入式振捣棒振捣时，插入间距不应大于振捣棒振捣作用半径的一倍。连续多层浇筑时，插入式振捣棒应插入下层拌合物约 50mm。

4 根据施工对象及拌合物性质选择适当的振捣器，并确定振捣时间。

5 再生骨料混凝土浇筑成型后应及时覆盖和洒水养护。

6 采用自然养护时，湿养护时间不应少于 7d，对于添加缓凝剂的再生骨料混凝土延长到 14d。再生骨料混凝土构件用塑料薄膜覆盖养护时，全部表面应覆盖严密，保持膜内有凝结水。再生骨料混凝土的拆模时间应符合现行规范要求。

7 雨天、雪天不宜进行再生混凝土施工。

3.6 质量验收

3.6.1 再生骨料混凝土工作性能检验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定，力

学性能的检验方法应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定,耐久性能的检验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

3.6.2 再生骨料混凝土强度的检验评定方法按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB 50107 进行。

3.6.3 当再生骨料混凝土检验评定为强度不合格时,可采用非破损检测方法,按国家现行有关标准的规定对结构构件中的混凝土强度进行推定,并作为处理的依据。当采用回弹法测试再生骨料混凝土抗压强度时,可先将回弹值乘以 1.25 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。

3.6.4 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。

3.6.5 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。

4 道路工程用再生骨料混凝土与半刚性基层结构

4.1 一般规定

4.1.1 再生骨料混合料应采用集中厂拌进行生产。

4.1.2 再生骨料混合料施工时,应严格控制碾压含水率。

4.2 道路用再生骨料

4.2.1 路面半刚性基层、底基层用再生骨料组成应符合现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 中集料规格 G2、G8 和 G11 的规定。

4.2.2 路面半刚性基层、底基层用再生骨料技术要求应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 路面半刚性基层、底基层用再生骨料技术要求

项目	路面结构 层位	交通荷载等级		试验方法
		极重、特重、重	中、轻	
杂物含量 (%)	基层	≤ 0.15	≤ 0.3	按照《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 中规定的杂物含量试验方法执行
	底基层			
混凝土块含量 (%)	基层	≥ 50	≥ 40	按照本标准附录 C 执行
	底基层	≥ 40	≥ 30	
压碎值 (%)	基层	≤ 22	≤ 26	按照《公路路面基层施工技术细则》JTG E42 中规定的压碎指标试验方法执行
	底基层	≤ 26	≤ 30	
针片状含量 (%)	基层	≤ 18		按照《公路路面基层施工技术细则》JTG E42 中规定的针片状颗粒含量试验方法执行
	底基层			

4.2.3 水泥混凝土面层、基层用再生骨料混凝土应符合本标准第3章的相关规定。

4.3 水泥稳定再生骨料碎石混合料

4.3.1 水泥稳定再生骨料碎石混合料应符合表4.3.1的强度要求。

表 4.3.1 水泥稳定再生骨料碎石混合料 7d 抗压强度 (MPa)

结构层	道路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	快速路、城市主干路、 高速公路、一级公路	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0
	其他等级公路 及城市道路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	快速路、城市主干路、 高速公路、一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	其他等级公路 及城市道路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

4.3.2 混合料设计应符合下列规定：

- 1 试配时水泥掺量可按照3%、4%、5%、6%选择。
- 2 根据试验确定水泥掺量、混合料的最佳含水率和最大干密度。
- 3 试件养护和抗压强度测定应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE51的有关要求。

4.4 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料

4.4.1 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料应符合表4.4.1的强度标准。

表 4.4.1 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料 7d 抗压强度 (MPa)

结构层	道路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	快速路、城市主干路、 高速公路、一级公路	≥ 1.1	≥ 1.0	≥ 0.9
	其他等级公路 及城市道路	≥ 0.9	≥ 0.8	≥ 0.7
底基层	快速路、城市主干路、 高速公路、一级公路	≥ 0.8	≥ 0.7	≥ 0.6
	其他等级公路 及城市道路	≥ 0.7	≥ 0.6	≥ 0.5

4.4.2 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料,石灰与粉煤灰的质量比例宜为 1 : 1.5~1 : 3,石灰粉煤灰与骨料的质量比例宜为 15 : 85~22 : 78。

4.4.3 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料设计应符合下列规定:

- 1 试配时石灰掺量宜按表 4.4.3 选取。

表 4.4.3 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料试配石灰掺量

结构部位	石灰掺量 (%)			
基层	4	5	6	7
底基层	3	4	5	6

- 2 根据试验确定混合料的石灰掺量、最佳含水率和最大干密度。

- 3 试件养护和抗压强度测定应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE51 的有关要求。

- 4 根据抗压强度试验结果,选定石灰掺量,石灰最小掺量不宜小于 3%。

4.5 再生骨料混凝土基层

4.5.1 再生骨料混凝土配合比设计应符合本标准第 3.4 节的规定。

4.5.2 再生骨料混凝土用于道路基层应采用碾压成型的方式。

4.5.3 再生骨料混凝土用于道路基层应符合下列规定：

1 7d 龄期无侧限抗压强度应不低于 7MPa，且宜不高于 10MPa。

2 水泥剂量宜不大于混合料总质量的 13%。

3 需要提高材料强度时，应优化混合料级配，并验证收缩性能、弯拉强度等指标。

4.6 再生骨料混凝土面层

4.6.1 再生骨料混凝土面层不可采用再生细骨料。

4.6.2 再生骨料混凝土面层适用于城市支路或者三、四级公路面层。

4.6.3 再生骨料混凝土配合比设计应符合本标准第 3.3.1 条的规定。

4.6.4 再生骨料混凝土路面的结构组合、接缝设计、配筋设计应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 的规定。

4.7 施工与质量验收

4.7.1 基层和底基层混合料的拌和应符合下列规定：

1 再生骨料存放应有防雨措施。

2 混合料组成应符合要求，计量准确；含水率应符合施工要

求,搅拌均匀。

3 搅拌厂应向现场提供产品合格证及水泥用量、石灰活性氧化物含量、粒料等级、粒料级配、混合料配合比和 R7 强度标准值。

4 混合料运输应覆盖,不得遗撒、扬尘。

4.7.2 基层和底基层混合料的摊铺应符合下列规定:

1 施工前通过试验确定压实系数。水泥稳定再生骨料混合料压实系数宜为 1.30~1.35;石灰粉煤灰稳定再生骨料混合料宜为 1.20~1.45。

2 施工压实标准应符合现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 中第 5.1.8 条和第 5.1.9 条的规定。

3 混合料每层最大压实厚度不宜大于 200mm,且不宜小于 150mm。

4 混合料宜采用机械摊铺,每次摊铺长度宜为一个碾压段,应按当班施工长度计算用料量。水泥稳定再生骨料混合料从搅拌到摊铺完成不应超过 3h。

5 摊铺中发生粗、细骨料离析时,应及时翻拌均匀。

6 石灰粉煤灰稳定再生骨料混合料分层摊铺时,应在下层养护 7d 后,方可摊铺上层材料。

4.7.3 基层和底基层混合料的碾压应符合下列规定:

1 石灰粉煤灰稳定再生骨料碎石混合料摊铺后应在 4h 内完成碾压,水泥稳定再生骨料碎石混合料摊铺后应在初凝前完成碾压。

2 在混合料的含水率与最佳含水率之差处于允许范围($-1.0\% \sim +0.5\%$)内进行碾压。

3 初压时,碾速宜为(20~30)m/min,混合料基层初步稳定后,碾速宜为(30~40)m/min。

4 水泥稳定再生骨料混合料在初凝前碾压完成。

4.7.4 基层和底基层混合料的接茬、养护应符合现行行业标准

《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

4.7.5 水泥混凝土路面施工应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 的要求。

4.7.6 质量验收按照现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1、现行上海市工程建设规范《城市道路桥梁工程施工质量验收规范》DG/TJ 08—2152 及《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ 08—87 中的规定执行。

5 道路工程用再生骨料混凝土制品

5.0.1 道路工程用再生骨料混凝土制品生产时,再生粗骨料宜与碎石、石屑、机制砂、中砂等骨料复合使用,再生粗骨料取代率宜为 15%~50%,当超过 50%时,应通过试验确定具体的取代率。

5.0.2 道路工程用再生骨料混凝土制品的品质应符合以下要求:

1 路缘石应符合现行行业标准《混凝土路缘石》JC/T 899 的要求。

2 混凝土路面砖应符合现行国家标准《混凝土路面砖》GB 28635 的要求。

3 人行道板、井盖应符合现行上海市工程建设规范《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ 08-87 的要求。

5.0.3 道路工程用再生骨料混凝土制品的施工和验收符合现行上海市工程建设规范《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ 08-87 的规定。

5.0.4 用再生骨料混凝土制备路缘石、隔离墩、混凝土路面砖、侧平石等道路工程用再生骨料混凝土制品时,应采用符合本标准的Ⅱ类及Ⅱ类以上再生骨料。

5.0.5 隔离墙、防撞墙宜采用粒径不超过 31.5mm 的再生粗骨料;混凝土路面砖、人行道板宜采用粒径不超过 16.0mm 的再生粗骨料。

附录 A 再生骨料混凝土单轴受压本构关系

A.0.1 再生骨料混凝土的单轴受压本构关系可按式(A.0.1-1)确定,单轴受压损伤演化参数 d_c 按式(A.0.1-2)确定。

$$\sigma_c = (1 - d_c) E_c \epsilon_c \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$d_c = \begin{cases} 1 - \frac{\rho_c m}{m - 1 + \eta^m}, & 0 \leq \eta < 1 \\ 1 - \frac{\rho_c}{\alpha_c (\eta - 1)^2 + \eta}, & \eta > 1 \end{cases} \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$\rho_c = \frac{\sigma_{cp}}{E_c \epsilon_{cp}} \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$m = \frac{E_c \epsilon_{cp}}{E_c \epsilon_{cp} - \sigma_{cp}} \quad (\text{A.0.1-4})$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cp}} \quad (\text{A.0.1-5})$$

式中, σ_c 为受压应力; σ_{cp} 为峰值应力; ϵ_c 为受压应变; ϵ_{cp} 为峰值应变; E_c 为弹性模量; α_c 为下降段形状系数。

附录 B 再生骨料混凝土碳化深度预测模型

B.0.1 再生骨料混凝土碳化深度可按下列模型 a 和模型 b 进行预测。

[模型 a]

$$d(t) = K_{\text{CO}_2} \cdot K_{\text{kl}} \cdot K_{\text{kt}} \cdot K_{\text{ks}} \cdot T^{0.25} \cdot RH^{1.5} \cdot (1 - RH) \cdot \left(\frac{230}{f_{\text{cu}}^{\text{RC}}} + 2.5 \right) \cdot \sqrt{t} \quad (\text{B.0.1-1})$$

式中: $d(t)$ ——时间 t 时的碳化深度(mm), t 单位为 d;

K_{CO_2} —— CO_2 浓度系数, $K_{\text{CO}_2} = \sqrt{\frac{n_0}{0.2}}$;

n_0 —— CO_2 的体积浓度(%);

K_{kl} ——位置影响系数, 构件角区取 1.4, 非角区取 1.0;

K_{kt} ——养护浇筑影响系数, 取 1.2;

K_{ks} ——工作应力影响系数, 受压时取 1.0, 受拉时取 1.1;

T ——环境温度($^{\circ}\text{C}$);

RH ——周围环境相对湿度(%);

$f_{\text{cu}}^{\text{RC}}$ ——再生骨料混凝土立方体抗压强度平均值(MPa)。

[模型 b]

$$d(t) = 839 \cdot g_{\text{RC}} (1 - RH)^{1.1} \sqrt{\frac{W/(\gamma_c C) - 0.34}{\gamma_{\text{HD}} \gamma_c C} n_0} \cdot \sqrt{t} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中: g_{RC} ——再生骨料取代率影响系数(对于普通混凝土, g_{RC} 等于 1; 对于 100% 取代率的再生骨料混凝土, g_{RC} 等于 1.5; 对于其他取代率, g_{RC} 采用线性插值计算得到);

RH ——周围环境相对湿度(大于 55%);

W, C ——单位体积混凝土的用水量和水泥用量(kg/m^3)；

γ_{HD} ——水泥水化程度修正系数，超过 90d 养护取 1，28d 养护取 0.85，中间养护龄期按线性插入法取值；

γ_c ——水泥品种修正系数，硅酸盐水泥取 1，其他品种水泥取 $\gamma_c = 1 - \text{掺合料含量}$ 。

附录 C 混凝土块含量测试方法

C.0.1 试验应采用以下仪器和材料：

- 1) 干燥箱；
- 2) 电子天平：称量 20.0kg，精度 0.1g；
- 3) 方孔筛：孔径 4.75mm 筛 1 只；
- 4) 铁铲、搪瓷盘、毛刷。

C.0.2 按照现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的规定取样，最小取样量应符合表 C.0.2 的要求。

表 C.0.2 试验取样量

最大粒径(mm)	9.5	19.0	31.5
最少取样量(kg)	20.0	40.0	60.0
最少试样量(kg)	4.0	8.0	15.0

C.0.3 试验步骤：

- 1) 称量试样质量 m_1 ，准确值至 0.1g；
- 2) 选出试样中的混凝土块，并称量其质量 m_2 ，准确至 0.1g，其中混凝土块是指混凝土及石块；
- 3) 计算结果，混凝土块含量 $Q = m_2 / m_1 \times 100\%$ 。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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) 对表示允许稍有选择,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 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 2 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
- 3 《混凝土路面砖》GB 28635
- 4 《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177
- 5 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 6 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 7 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 8 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 9 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 10 《混凝土强度检验评定标准》GB 50107
- 11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 12 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23
- 13 《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51
- 14 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 15 《再生混凝土结构技术标准》JGJ/T 443
- 16 《混凝土路缘石》JC/T 899
- 17 《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40
- 18 《公路工程集料试验规程》JTG E42
- 19 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51
- 20 《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20
- 21 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30
- 22 《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1
- 23 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1

- 24 《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ 08—87
- 25 《城市道路桥梁工程施工质量验收规范》DG/TJ 08—2152
- 26 《再生骨料混凝土技术要求》DB31/T 1128