

上海市工程建设规范

再生骨料混凝土应用技术规程

Technical code on the application of recycled aggregate concrete

DG/TJ08-2018-

上海

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《2017年上海市工程建设规范编制计划》（沪建标定[2016]1076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《再生骨料混凝土应用技术规程》DG/TJ08-2018-J进行修订。

本规程主要技术内容包括：总则、术语和符号、再生混凝土及其技术性能、再生混凝土建筑结构、再生混凝土道路、再生混凝土预制构件等。

本次修订的主要内容：

- 1、规程标题由《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规程》；
- 2、去掉原规程中第3章“废混凝土”章节；
- 3、去掉原规程中第4章“再生粗集料”章节，结合新版国家规范，将再生骨料技术指标要求放入附录A；
- 4、合并原规程中第5、6、7章，更新为第3章“再生混凝土及其技术性能”；
- 5、简化了再生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中的相关规定；
- 6、去掉原规程中第8章“再生混凝土空心砌块”章节；
- 7、结合新版国家规范，更新了再生混凝土梁的抗剪承载力计算公式；
- 8、新增第4章“再生混凝土建筑结构”中“再生混凝土建筑结构抗震”内容；
- 9、新增第5章再生混凝土道路中“道路用再生骨料”、“再生骨料路基改善层”、“水泥稳定再生骨料混合料”、“石灰粉煤灰稳定再生骨料混合料”、“面层”等内容；
- 10、新增第6章“再生混凝土预制构件”；
- 11、更新再生混凝土单轴受压本构关系；
- 12、新增再生混凝土碳化深度预测模型。

本规程由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，由同济大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送同济大学（上海市杨浦区四平路1239号，邮政编码：200092，jzx@tongji.edu.cn），或上海市建筑建材业市场管理总站（上海市小木桥路683号，邮编：200032，bzglk@shjjw.gov.cn），以供今后修订时参考。

主编单位：XXX

XXX

XXX

参编单位：XXX

主要起草人：XXX

上海市建筑建材业市场管理总站

XXX 年 XXX 月

目次

| | |
|---------------------------|----|
| 1 总则..... | 1 |
| 2 术语和符号..... | 2 |
| 2.1 术语..... | 2 |
| 2.2 主要符号..... | 3 |
| 3 再生混凝土及其技术性能..... | 5 |
| 3.1 一般规定..... | 5 |
| 3.2 配合比设计..... | 5 |
| 3.3 制备、施工及质量验收..... | 6 |
| 3.4 力学性能指标..... | 6 |
| 3.5 耐久性能指标..... | 7 |
| 4 再生混凝土建筑结构..... | 9 |
| 4.1 一般规定..... | 9 |
| 4.2 承载力极限状态..... | 9 |
| 4.3 正常使用极限状态..... | 11 |
| 4.4 再生混凝土建筑结构抗震..... | 11 |
| 4.5 浇筑和成型..... | 13 |
| 4.6 养护..... | 13 |
| 4.7 质量检验..... | 14 |
| 5 再生混凝土道路..... | 15 |
| 5.1 道路用再生骨料..... | 15 |
| 5.2 再生骨料路基改善层..... | 16 |
| 5.3 水泥稳定再生骨料混合料..... | 16 |
| 5.4 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机混合料..... | 17 |
| 5.5 面层..... | 18 |
| 5.6 施工与质量验收..... | 18 |
| 6 再生混凝土预制构件..... | 20 |

| | |
|--------------------------|----|
| 6.1 市政部件 | 20 |
| 6.2 再生板材 | 20 |
| 6.3 预制再生混凝土构件 | 20 |
| 附录 A 再生骨料技术指标 | 23 |
| 附录 B 再生混凝土单轴受压本构关系 | 25 |
| 附录 C 再生混凝土碳化深度预测模型 | 26 |
| 本规程用词说明 | 27 |
| 引用标准名录 | 28 |

1 总则

1.0.1 为了保护生态环境，实现废混凝土的高效回收和再生利用，促进建筑业可持续发展，推动再生混凝土在土木工程中的应用，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量，在吸收近些年围绕再生混凝土的优秀研究成果的基础上，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于再生混凝土及其制品的生产，以及多层房屋结构工程和道路工程中再生混凝土的设计和施工。

1.0.3 对于 I 类再生粗骨料，房屋结构工程用再生混凝土中，再生粗骨料取代率宜控制在 50%（含）；道路工程用再生混凝土中，再生粗骨料取代率宜控制在 100%（含）。对于 II 类再生粗骨料，房屋结构工程用再生混凝土中，再生粗骨料取代率宜控制在 30%（含）；道路工程用再生混凝土中，再生粗骨料取代率宜控制在 50%（含）。

1.0.4 再生骨料混凝土的应用，除应符合本规程外，尚应符合国家和上海市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 废混凝土 waste concrete

指由建（构）筑物拆除、路面翻修、混凝土生产、工程施工或其他状况下产生的废混凝土块。

2.1.2 普通混凝土 normal concrete

指以水泥，天然粗、细骨料，水以及必要时掺入的矿物掺加剂或化学外加剂组成，经过胶凝材料凝结硬化后，形成具有一定强度和耐久性的人造石。

2.1.3 再生骨料 recycled aggregate

废混凝土块经破碎、加工后，所得粒径在 40 mm 以下的骨料称为再生骨料。

2.1.4 再生粗骨料 recycled coarse aggregate

由建（构）筑废弃混凝土经机械破碎、筛分制成的，其粒径大于4.75mm的颗粒。

2.1.5 再生细骨料 recycled fine aggregate

由建（构）筑废弃混凝土经机械破碎、筛分制成的，其粒径不大于4.75mm的颗粒。

2.1.6 再生骨料混凝土 recycled aggregate concrete

由再生粗骨料配制而成的混凝土，其中再生粗骨料取代率不应低于15%。

2.1.7 再生粗骨料取代率 replacement percentage of recycled coarse aggregate by mass

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。

2.1.8 净用水量 net water content

不包括再生骨料 1h 吸水量在内的混凝土拌和用水量。

2.1.9 总用水量 total water content

包括再生骨料 1h 吸水量在内的混凝土拌和用水量。

2.1.10 净水灰（胶）比 net water-cement (binder) ratio

净用水量与水泥（胶凝材料）用量之比。

2.1.11 总水灰（胶）比 whole water-cement (binder) ratio

总用水量与水泥（胶凝材料）用量之比。

2.1.12 再生混凝土构件 recycled concrete element

用再生混凝土浇筑、压制的构件。

2.1.13 再生混凝土结构 recycled concrete structure

用再生混凝土建造的结构。

2.1.14 再生混凝土道路 recycled concrete pavement

用再生混凝土浇筑的道路。

2.1.15 再生骨料无机混合料 recycled aggregate inorganic mixture

在配制过程中掺用了再生骨料的无机混合料。

2.1.16 级配骨料 graded aggregate

再生骨料和天然骨料的统称。

2.1.17 再生级配骨料 recycled graded aggregate

掺用了再生骨料的级配骨料。

2.1.18 再生板材 recycled concreteslab

用再生混凝土制备的板材。

2.1.19 再生混凝土市政部件 recycled concrete municipal components

用再生混凝土制备的路缘石、隔离墙和防撞墙等。

2.2 主要符号

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 ——再生混凝土弹性模量；

$f_{cu,0}$ ——再生混凝土的试配抗压强度；

$f_{cu,k}$ ——再生混凝土立方体抗压强度标准值；

f_{ck} 、 f_c ——再生混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_t ——再生混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{rk} ——再生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；

MU ——砌块的强度等级；

N ——轴向压力设计值；

RAC——再生混凝土；

r ——再生粗骨料取代率；

s ——沿构件长度方向的箍筋间距；

V ——剪力设计值；

x ——再生混凝土受压区高度；

α_1 ——再生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；

α_M ——再生混凝土正截面受压承载力调整系数；

α_V ——再生混凝土斜截面受剪承载力调整系数；

λ ——计算截面的剪跨比；

σ ——再生混凝土抗压强度标准差；

σ_c ——再生混凝土应力；

ε_c ——再生混凝土应变；

ξ_b ——相对界限受压区高度；

φ ——钢筋再生混凝土构件的稳定系数。

3 再生混凝土及其技术性能

3.1 一般规定

3.1.1 再生混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。

3.1.2 再生混凝土立方体抗压强度的尺寸效应换算系数按普通混凝土取值。

3.1.3 再生混凝土的强度等级应划分为：C15，C20，C25，C30，C35，C40，C45，C50。

3.1.4 再生混凝土根据其用途可分为三大类，各类再生混凝土强度等级的合理范围列入表 3.1.4。

表 3.1.4 再生混凝土强度等级的合理范围

| 类别名称 | 混凝土强度等级的合理范围 | 用途 |
|--------------|--|----------|
| 道路用 再生混凝土 | C30 C35 C40 C45 C50 | 主要用于道路路面 |
| 结构用 再生混凝土 | C15 C20 C25 C30 C35 C40 C45 C50 | 主要用于承重构件 |

注：当设计更高强度等级再生混凝土时，须通过试验对其结果做出可行性评定。

3.2 配合比设计

3.2.1 再生混凝土的配合比设计应按照《再生骨料混凝土技术要求》DB31 中 6.1 节的相关规定执行。

3.2.2 配制不同强度等级的再生混凝土时，应根据不同强度等级的再生混凝土的强度标准差，按照试配强度公式进行设计。

3.2.3 再生混凝土配合比设计中，附加用水量应根据再生骨料的吸水率和含水率确定，添加附加用水后，再生骨料的状态应为饱和面干。

3.3 制备、施工及质量验收

3.3.1 再生混凝土的制备、施工及质量验收应按照《再生骨料混凝土技术要求》DB31 中 6.2 和 6.3 节的相关规定执行。

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

3.3.3 再生混凝土的净水灰比（或水泥用量）不宜大于（或小于）《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55 所规定的最大水灰比（或最少水泥用量）。当再生混凝土的净水灰比（或水泥用量）小于（或大于）《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55 所规定的最大水灰比（或最少水泥用量）时应按规定的最大水灰比（或最少水泥用量）取值。

3.3.4 再生骨料混凝土工作性能检验方法应符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定，力学性能的检验方法应符合《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《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。

3.4 力学性能指标

3.4.1 再生混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 应按表 3.4.1-1 的规定取值，设计值 f_c 、 f_t 应按照表 3.4.1-2 的规定取值。

表 3.4.1-1 再生混凝土的强度标准值(MPa)

| 强度 种类 | 再生混凝土强度等级 | | | | | | | |
|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 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 3.4.1-2 再生混凝土的强度设计值(MPa)

| 强度 种类 | 再生混凝土强度等级 | | | | | | | |
|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 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 |

3.4.2 再生混凝土的抗折强度标准值 f_{rk} 可按式 3.4.2 计算。

$$f_{rk} = 0.75\sqrt{f_{cu,k}} \quad (3.4.2)$$

式中， $f_{cu,k}$ —再生混凝土立方体抗压强度标准值（即强度等级）(MPa)。

3.4.3 再生混凝土的受压和受拉的弹性模量 E_c 应通过试验确定。在缺乏试验资料时,可按表 3.4.3 采用。

表 3.4.3 再生混凝土的弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 强度等级 | C15 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 |
| 弹性模量 | 1.94 | 2.14 | 2.31 | 2.43 | 2.55 | 2.64 | 2.72 | 2.78 |

3.4.4 再生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,可按附录 B 取用。

3.4.5 再生混凝土的收缩值高于普通混凝土,可在普通混凝土的基础上加以修正,修正系数取 1.0~1.5,再生粗骨料取代率为 30%时可取 1.0,再生粗骨料取代率为 100%时可取 1.5,中间可采用线性内插取值。

3.4.6 再生混凝土的徐变系数可按普通混凝土取值。

3.4.7 再生混凝土的泊松比可取为 0.2。

3.4.8 再生混凝土的温度线膨胀系数可按普通混凝土取值。

3.4.9 再生混凝土的导热系数和比热应通过试验确定,在缺乏试验资料时,可按表 3.4.9 取值。

表 3.4.9 再生混凝土的导热系数和比热

| | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 再生粗骨料取代率 (%) | 30 | 50 | 70 | 100 |
| 导热系数 ($W/m \cdot ^\circ C$) | 1.493 | 1.458 | 1.425 | 1.380 |
| 比热 ($J/kg \cdot ^\circ C$) | 905.5 | 914.2 | 922.5 | 935.0 |

3.5 耐久性能指标

3.5.1 再生混凝土结构的耐久性基本要求宜符合表 3.5.1 的规定

表 3.5.1 结构用再生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 | C30 | 0.20 | 3.0 |
| | b | C35 (C30) | 0.15 | |
| 三 | a | C40 (C35) | 0.15 | |
| | b | 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 预应力构件再生混凝土中的最大氯离子含量为 0.05%; 其最低再生混凝土强度等级宜按表中的规定提高一个等级;

3 素再生混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松;

- 4 处于严寒和寒冷地区二 b、三 a 类环境中的再生混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数；
5 当使用非碱活性骨料时，对再生混凝土中的碱含量可不作限制。

3.5.2 素再生混凝土结构的最低强度等级与最大水胶比应符合表 3.5.2 的要求。

表 3.5.2 素再生混凝土承重构件的再生混凝土最低强度等级和最大水胶比

| | | |
|--------|------|------|
| 设计使用年限 | 50 年 | 30 年 |
| 最低强度等级 | C25 | C20 |
| 最大水胶比 | 0.60 | 0.60 |

3.5.3 冻融环境，氯化物环境，化学腐蚀环境下的钢筋再生混凝土的强度等级，最大水胶比，保护层最小厚度应符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476 中的条文规定。

3.5.4 再生混凝土在不同使用条件下的抗冻性能应符合表 3.5.4 的要求。

表 3.5.4 不同使用条件的抗冻性能

| 使用条件 | 抗冻标号 |
|----------------|-------|
| 1. 非采暖地区 | F15 |
| 2. 采暖地区 | |
| 相对湿度 ≤ 50% | F25 |
| 相对湿度 > 50% | F35 |
| 干湿交替部位和水位变化的部位 | ≥ F50 |

注：1 非采暖地区系指最冷月份的平均气温高于 -5℃ 的地区；

2 采暖地区系指最冷月份的平均气温低于或等于 -5℃ 的地区。

3.5.5 再生混凝土的抗渗性能应满足工程设计抗渗等级和有关标准的要求。

3.5.6 再生混凝土的耐久性能，如抗渗性能、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试验方法应按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 的规定执行。

3.5.7 再生混凝土的碳化深度由碳化实验确定，若无实验数据时，可按附录 C 进行碳化深度的预测。

4 再生混凝土建筑结构

4.1 一般规定

4.1.1 再生混凝土构件和结构应主要包括再生混凝土梁、板、柱、剪力墙、框架结构、抗震墙结构和框架-抗震墙结构。

4.1.2 再生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::

1 截面应变保持平面。

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

3 不考虑再生混凝土的抗拉强度。

4.1.3 再生混凝土结构计算还应符合国家和上海市现行的相应标准要求。

4.1.4 受力钢筋再生混凝土保护层最小厚度从钢筋的外边缘算起，且不应小于受力钢筋的直径。

板中分布钢筋的保护层厚度不应小于 10mm；梁、柱中箍筋和构造筋的保护层厚度不应小于 15mm。

4.1.5 再生混凝土构件中纵向受力钢筋的锚固长度可在普通混凝土的基础上加以修正，修正系数可取 0.9~1.0，再生粗骨料取代率较大时可取较小值。

4.1.6 再生混凝土构件中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，且应满足可靠度的要求。

4.1.7 纵向受力普通钢筋可采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400、HPB300 钢筋；梁、柱和斜撑构件的纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋。

4.1.8 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋。

4.2 承载力极限状态

4.2.1 正截面受弯承载力可按下列公式计算：

$$M \leq \alpha_1 f_c b (h_0 - \frac{x}{2}) \quad (4.2.1-1)$$

$$\alpha_1 f_c b x = f_y A_s \quad (4.2.1-2)$$

式中：M — 弯矩设计值；

f_c — 再生混凝土轴心抗压强度设计值；

α_1 — 再生混凝土强度系数，取 $\alpha_1 = 0.95$ ；

x — 再生混凝土受压区高度, $x \leq \xi_b h_0$;

b — 截面宽度;

h_0 — 截面有效高度;

f_y , A_s — 纵向钢筋抗拉强度设计值和面积。

4.2.2 正截面轴心受压承载力可按下式计算

$$N \leq 0.9\alpha_M\varphi(f_c A + f_y' A_s') \quad (4.2.2)$$

式中: N — 轴向压力设计值;

α_M — 再生混凝土正截面轴心受压承载力调整系数, 可取为 0.80;

φ — 钢筋混凝土构件的稳定系数;

f_c — 再生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;

A_s' — 全部纵向钢筋的截面面积。

4.2.3 斜截面受剪承载力可按下式计算

$$V \leq \alpha_v(0.7f_t b h_0 + A_{sv} f_{yv} \frac{h_0}{s}) \quad (4.2.3-1)$$

$$V \leq \alpha_v(\frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + A_{sv} f_{yv} \frac{h_0}{s}) \quad (4.2.3-2)$$

式中: V — 剪力设计值;

α_v — 再生混凝土斜截面受剪承载力调整系数, 可取为 0.85;

λ — 计算截面的剪跨比;

b — 截面宽度;

h_0 — 截面有效高度;

f_t — 再生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。

4.2.4 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。

4.3 正常使用极限状态

4.3.1 再生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。

4.3.2 裂缝宽度验算可按《混凝土结构设计规范》GB50010 相关公式验算，其中再生混凝土强度指标根据本规程规定的数值取用。

4.3.3 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混凝土构件挠度附加增大系数，当再生粗骨料取代率在 30%以上时，挠度放大系数应取 1.2。

4.4 再生混凝土建筑结构抗震

4.4.1 再生混凝土不宜应用于甲类建筑的主要受力构件。

4.4.2 在计算再生混凝土构件内力时，再生混凝土的弹性模量宜取实测值；当无可靠的再生混凝土弹性模量的实测数据时，宜按照本规程 3.4.3 中取值。

4.4.3 在进行多遇地震作用下抗震变形验算时，再生混凝土的弹性模量宜取实测值；当无可靠的再生混凝土弹性模量实测数据时，宜按照本规程 3.4.3 中取值。

4.4.4 现浇多层和高层钢筋再生混凝土房屋的结构类型和最大高度应符合表 4.4.4 的要求。

表 4.4.4 现浇多层和高层再生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) | 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 |
| 框架-核心筒结构 | 30% | 110 | 90 | 75 | 65 | 50 |
| | 50% | 90 | 75 | 65 | 55 | 40 |

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介于 30%和 50%之间时，适用的最大高度可按线性内插法采用。

4.4.5 钢筋再生混凝土房屋应根据设防类别、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应按表 4.4.5 确定。

表 4.4.5 丙类建筑现浇多层和高层再生混凝土房屋的抗震等级

| 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, 应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

4.4.6 再生混凝土多层和高层结构, 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。

4.4.7 再生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。

4.4.8 再生混凝土多层和高层结构, 再生混凝土柱轴压比限值应符合表 4.4.8 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4.4.8多层和高层再生混凝土结构再生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》GB50011 的有关规定。

4.4.9再生混凝土的多层和高层建筑，一、二、三级再生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4.4.9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4.4.9多层和高层再生混凝土结构再生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（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 |

4.4.10再生混凝土框架结构的其他抗震构造措施应满足《建筑抗震设计规范》GB50011中6.3节的要求。

4.4.11再生混凝土抗震墙结构的抗震构造措施应满足《建筑抗震设计规范》GB50011的要求。再生混凝土抗震墙的厚度、墙肢的轴压比、钢筋配置、抗震墙两端和洞口两侧边缘构件的设置等应满足《建筑抗震设计规范》GB50011中6.4节的要求。

4.4.12再生混凝土框架-抗震墙结构的抗震构造措施应满足《建筑抗震设计规范》GB50011的要求。再生混凝土抗震墙的厚度和边框设置、钢筋配置、楼面梁与抗震墙的连接等应满足《建筑抗震设计规范》GB50011中6.5节的要求。

4.5 浇筑和成型

4.5.1再生混凝土拌合物应在满足施工要求的前提下，尽可能采用较小的坍落度，泵送再生混凝土拌合物坍落度设计值不宜大于180mm。

4.5.2再生混凝土拌合物浇筑倾落的自由高度不应超过2m。当倾落高度大于2m时，应加串筒、斜槽或溜管等辅助工具。

4.5.3再生混凝土拌合物应采用机械振捣成型，振捣时间宜按拌合物稠度和振捣部位等不同情况，控制在10s-30s内。对流动性大的再生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。

4.5.4用于硬性再生混凝土拌合物浇筑构件，应采用振动台或表面加压成型。

4.5.5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。

4.5.6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。

4.5.7根据施工对象及拌合物性质应选择适当的振捣器，并确定振捣时间。

4.6 养护

4.6.1再生混凝土浇筑成型后应及时覆盖和洒水养护。

4.6.2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混凝土应延长到14d。再生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。再生混凝土的拆模时间应符合现行规范要求。

4.6.3再生混凝土构件采用蒸汽养护时，成型后静停时间不宜少于2h。

4.7 质量检验

4.7.1 首次使用的混凝土配合比应进行开盘鉴定，其工作性应满足设计配合比的要求。开始生产时应至少留置一组标准养护试件，作为验证配合比的依据。

4.7.2 混凝土拌制前，应测定天然砂、石含水率和再生粗集料的吸水率，并根据测试结果调整材料用量，提出施工配合比。

4.7.3 再生混凝土拌合物的检验应按照下列规定进行：

1 检验拌合物各组成材料的称量是否与配合比相符，每台班每一配合比不得少于一次；

2 检验拌合物的坍落度或稠度以及表观密度，每台班每一配合比不得少于一次。

4.7.4 再生混凝土强度的检验应按照下列规定进行，其检验评定方法应按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB50107进行。

4.7.5 当再生混凝土按**4.7.4**检验评定为强度不合格时，可采用非破损或局部破损的检测方法，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混凝土的抗压强度。

4.7.6 再生混凝土的浇筑、振捣和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。

5 再生混凝土道路

5.1 道路用再生骨料

5.1.1 道路用再生骨料按技术要求分为Ⅰ类和Ⅱ类。

5.1.2 Ⅰ类再生骨料可用于城市快速路、主干路及以下等级道路的基层及以下层位；Ⅱ类再生骨料可用于城市快速路、主干路的底基层及以下层位，次干路、支路及以下等级道路的基层及以下层位。

5.1.3 再生骨料的颗粒级配应符合表 5.1.3-1、5.1.3-2、5.1.3-3 的规定。

表5.1.3-1 水泥稳定的再生骨料颗粒组成

| 项目 | | 通过质量百分率 (%) | |
|--------------|-------|-------------|--------|
| | | 底基层 | 基层 |
| 筛孔尺寸 (mm) | 37.5 | 100 | - |
| | 31.5 | - | 100 |
| | 26.5 | - | 90-100 |
| | 19.0 | - | 72-89 |
| | 9.5 | - | 47-67 |
| | 4.75 | 50-100 | 29-49 |
| | 2.36 | - | 17-36 |
| | 0.6 | 17-100 | 8-22 |
| | 0.075 | 0-30 | 0-7 |

表 5.1.3-2 石灰粉煤灰稳定的再生骨料颗粒组成

| 项目 | | 通过质量百分率 (%) | |
|--------------|------|-------------|-------|
| | | 底基层 | 基层 |
| 筛孔尺寸 (mm) | 37.5 | 100 | - |
| | 31.5 | 90-100 | 100 |
| | 26.5 | 72-90 | 81-98 |
| | 19.0 | 48-68 | 52-70 |
| | 9.5 | 30-50 | 30-50 |
| | 4.75 | 18-38 | 18-38 |
| | 2.36 | 10-27 | 10-27 |
| | 1.18 | 6-20 | 8-20 |
| | 0.6 | 0-7 | 0-7 |

表 5.1.3-3 再生混凝土功能改善层骨料颗粒组成

| 筛孔尺寸 (mm) | 通过质量百分率 (%) |
|-----------|-------------|
| 31.5 | 100 |
| 19.0 | 90-100 |
| 4.75 | 30-50 |
| 0.6 | 8-25 |
| 0.075 | 0-5 |

5.2 再生骨料路基改善层

5.2.1 路基改善层填筑用料可选用 I 类或 II 类再生骨料。

5.2.2 各级道路的排水路基改善层应与边缘排水系统相连接，路基改善层宽度应铺筑到路基边缘或与边沟下的渗沟相连接。

5.2.3 路基改善层厚度一般宜大于或等于 150mm。

5.2.4 路基改善层压实度应符合下列规定：

1 公路工程再生骨料路基改善层填筑压实度质量要求应符合表 5.2.4-1 的规定。

表5.2.4-1公路工程再生骨料路基改善层填筑压实度质量要求

| 试验项目 | 公路等级 | | |
|---------|-----------|------|--------|
| | 高速公路和一级公路 | 二级公路 | 三、四级公路 |
| 压实度 (%) | ≥97 | ≥96 | ≥96 |

2 城镇道路再生骨料路基改善层填筑压实度质量要求应符合表 5.2.4-2 的规定。

表5.2.4-2城镇道路再生骨料路基改善层填筑压实度质量要求

| 试验项目 | 城市道路等级 | | | |
|---------|--------|-----------------|----------------|-----|
| | 快速路 | 主干路及承受重交通荷载的次干路 | 次干路及承受中交通荷载的支路 | 支路 |
| 压实度 (%) | ≥97 | ≥96 | ≥95 | ≥93 |

5.3 水泥稳定再生骨料混合料

5.3.1 水泥稳定再生骨料无机混合料应满足表 5.3.1 的强度要求，根据试验确定骨料的级配、水泥掺量、混合料的最佳含水率和最大干密度。

表5.3.1水泥稳定再生骨料混合料7d抗压强度

| 道路等级 | 快速路 | 主干路 | | 其他等级道路 | |
|------|-----|-----|-----|--------|-----|
| 结构部位 | 底基层 | 基层 | 底基层 | 基层 | 底基层 |

| | | | | | |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 7d 无侧限抗压强度 (MPa) | 2.5-3.0 | 3.0-4.0 | 1.5-2.5 | 2.5-3.0 | 1.5-2.0 |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|

5.3.2 混合料设计应符合下列规定:

1 试配时水泥掺量宜按表 5.3.2 选取。

表5.3.2 水泥稳定再生骨料无机混合料试配水泥掺量

| 骨料类型 | 结构部位 | 水泥掺量 (%) | | | |
|------|------|----------|---|---|---|
| | | | | | |
| I 类 | 基层 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 底基层 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| II 类 | 基层 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 底基层 | 3 | 4 | 5 | 6 |

2 应采用重型击实试验方法确定不同水泥掺量、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《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 有关要求。

5.4 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机混合料

5.4.1 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机混合料应满足表 5.4.1 的强度标准, 根据试验确定骨料的级配、石灰掺量、混合料的最佳含水率和最大干密度。

表5.4.1 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机混合料7d抗压强度

| 道路等级 | 快速路 | 主干路 | | 其他等级道路 | |
|------------------|------|------|------|--------|------|
| 结构部位 | 底基层 | 基层 | 底基层 | 基层 | 底基层 |
| 7d 无侧限抗压强度 (MPa) | ≥0.6 | ≥0.8 | ≥0.6 | ≥0.8 | ≥0.5 |

5.4.2 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机混合料, 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应为 15:85~22:78。

5.4.3 混合料设计应符合下列规定:

1 试配时石灰掺量宜按表 5.4.3 选取。

表 5.4.3 石灰粉煤灰稳定再生骨料无机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 应采用重型击实试验方法确定不同石灰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《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 有关要求。

4 根据抗压强度试验结果，选定石灰掺量，石灰最小掺量应不小于 3%；当采用 II 类再生骨料时，石灰最小掺量不宜小于 4%。

5.5 面层

5.5.1 再生骨料应满足本规程附录表 A.0.2 的规定，再生骨料掺量不得超过 30%。

5.5.2 水泥、掺合料、细集料和水应满足行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 的规定。

5.5.3 再生骨料水泥混凝土路面的结构组合、接缝设计、配筋设计应满足行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 的规定。

5.5.4 再生骨料水泥混凝土配合比设计应满足本规范 3.2 的规定。

5.6 施工与质量验收

5.6.1 基层和底基层混合料的拌合应符合下列规定：

1 再生骨料应存放应有防雨措施。

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、混合料配合比及 R7 强度标准值。

4 混合料运输应覆盖，不得遗撒、扬尘。

5.6.2 基层和底基层混合料的摊铺应符合下列规定：

1 施工前应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 1.20~1.35；石灰粉煤灰稳定再生骨料混合料宜为 1.20~1.45。

2 混合料每层最大压实厚度不宜大于 200mm，且不宜小于 150mm。

3 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自搅拌至摊铺完成不应超过 3h。

4 摊铺中发生粗、细骨料离析时，应及时翻拌均匀。

5 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。

5.6.3 基层和底基层混合料的碾压应符合下列规定：

1 摊铺好的混合料应当天碾压完成；

2 应在混合料的含水率与最佳含水率之差处于允许范围（-1.0%~+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应在初凝前碾压完成。

5.6.4 基层和底基层混合料的接茬、养护应符合《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1 的规定。

5.6.5 路基改善层施工应满足压实度要求。

5.6.6 水泥混凝土路面施工应满足《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30。

5.6.7 质量验收应按照《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1、《城市道路桥梁工程施工质量验收规范》DG/TJ08-2152、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 及《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ08-87 中的规定进行。

6 再生混凝土预制构件

6.1 市政部件

6.1.1 再生混凝土可用于制备路缘石、隔离墙、防撞墙等市政部件。

6.1.2 原材料要求应符合下列要求：

- 1 水泥应符合国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的相关规定。
- 2 再生混凝土集料应符合本规范 5.1.4 I 类再生骨料要求。
- 3 粉煤灰应符合国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596。
- 4 外加剂应符合国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。
- 5 水应符合行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。
- 6 颜料应符合行业标准《混凝土和砂浆用颜料及其试验方法》JC/T 539 的规定。

6.1.3 再生混凝土路缘石的外观、尺寸、物理及力学性能要求应满足行业标准《混凝土路缘石》JC/T 899 的要求。

6.1.4 隔离墙和防撞墙等预制构件的外观、尺寸、物理及力学性能要求应满足国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的要求。

6.2 再生板材

6.2.1 再生板材的生产与检验应符合《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 的要求。

6.2.2 再生板材生产时，再生细骨料宜与炉渣、陶砂等轻集料复配使用，轻集料应符合《轻集料及其试验方法》GB/T 17431.1 的要求。

6.2.3 再生细骨料的质量宜占骨料总质量的 30%-40%。

6.2.4 再生板材的生产宜采用挤出成型工艺。

6.2.5 再生板材宜采用空心板的构造形式。

6.2.6 再生板材的技术要求应符合《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 中“混凝土条板”的规定。

6.2.7 再生板材的施工安装应符合《建筑轻质条板隔墙技术规程》JGJ/T 157 的要求。

6.3 预制再生混凝土构件

6.3.1 预制再生混凝土构件应符合下列要求：

1 再生混凝土预制构件的制作与成品质量检验应执行《装配整体式混凝土结构预制构件制作与质量检验规程》DGJ 08-2069。

2 再生混凝土预制构件的施工与质量验收应执行《装配整体式混凝土结构施工及质量验收规范》DGJ 08-2117。

3 再生混凝土预制构件企业的生产质量管理应执行《预拌混凝土和预制混凝土构件生产

质量质量管理规程》DG/TJ08-2034。

4 再生混凝土预制构件宜采用 I 类再生粗骨料，再生粗骨料取代率宜不大于 30%。

5 再生混凝土预制构件采用的混凝土强度等级不宜高于 C50。

6.3.2 制作准备应符合下列规定：

1 预制构件模具应满足承载力、刚度和整体稳定性的要求。

2 应满足预制构件质量、生产工艺、模具组装与拆卸、周转次数等的要求。

3 预制构件模具应满足预制构件预留孔洞、插筋、预埋件的安装定位要求。

4 预制构件的模具应根据设计要求预设返拱。

5 应选用不影响构件结构性能和装饰工程施工的隔离剂。

6 预制构件模具尺寸的允许偏差和检验方法应按照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的规定执行。

7 预埋件加工的允许偏差应按照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的规定执行。

8 固定在模具上的预埋件、预留孔洞中心位置的允许偏差应按照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的规定执行。

6.3.3 制作应符合下列规定：

1 在混凝土浇筑前应进行预制构件的隐蔽工程检查，包括钢筋、预埋件、预留孔洞、灌浆套筒等的检查。

2 应根据混凝土的品种、工作性、预制构件的规格形状等因素，制定合理的振捣成型操作规程。再生混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，并宜采用机械振捣。

3 预制再生混凝土构件采用洒水、覆盖等方式进行常温养护时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的要求。

预制再生混凝土构件采用加热养护时，应制定养护制度对静停、升温、恒温和降温时间进行控制，宜在常温下静停 2h~6h，升温、降温速度不应超过 20℃/h，最高养护温度不超过 70℃，预制构件出池的表面温度与环境温度的差值不宜超过 25℃。

4 脱模起吊时，预制构件的混凝土立方体抗压强度应满足设计要求，且不应小于 15N/mm²。

6.3.4 检验应符合下列规定：

1 预制再生混凝土构件的外观质量不应有严重缺陷，且不宜有一般缺陷。对已出现的一般缺陷，应按技术方案进行处理，并应重新检验。

2 预制构件的允许尺寸偏差及检验方法应按照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的规定执行。

3 预制再生混凝土构件应按设计要求和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规

范》GB 50204 的有关规定进行结构性能检验。

4 预制再生混凝土构件检查合格后，应在构件上设置表面标识，标识内容宜包括构件编号、制作日期、合格状态、生产单位等信息。

6.3.5 运输与堆放应符合下列规定：

1 应制定预制再生混凝土构件的运输与堆放方案。对于超高、超宽、形状特殊的大型构件的运输和堆放应有专门的质量安全保证措施。

2 预制再生混凝土构件的运输车辆应满足构件尺寸和载重要求，装卸构件时应保证车体的平衡，运输构件时，应采取固定措施，防止构件移动、倾倒、变形等，应采取防止构件损坏的措施，对构件边角部或铁链接触处的混凝土，宜设置保护衬垫。

3 预制再生混凝土构件的堆放场地应平整、坚实，并应有排水措施，预埋吊件应朝上，标识宜朝向堆垛间的通道，构件支垫应坚实，垫块在构件下的位置宜与脱模、吊装时的起吊位置一致。

4 重叠堆放构件时，每层构件间的垫块应上下对齐，堆垛层数应根据构件、垫块的承载力确定，并应根据需要采取防止堆垛倾覆的措施。

5 墙板的运输与堆放应符合下列规定：

a) 当采用靠放架堆放或运输构件时，靠放架应具有足够的承载力和刚度，与地面倾斜角度宜大于 80° ，墙板宜对称靠放且外饰面朝外，构件上部宜采用木垫块隔离；运输时构件应采取固定措施。

b) 当采用插放架直立堆放或运输构件时，宜采取直立运输方式；插放架应有足够的承载力和刚度，并应支垫稳固。

c) 采用叠层平放的方式堆放或运输构件时，应采取防止构件产生裂缝的措施。

附录 A 再生骨料技术指标

A.0.1 建筑结构用再生粗骨料按微粉含量、泥块含量、吸水率、针片状颗粒含量、有害物质含量、杂物含量、坚固性指标、压碎指标、表观密度和空隙率的性能要求分为 I 类、II 类、III 类，并应符合表 A.0.1 的规定。

表A.0.1再生粗骨料各项指标

| 项目 | | I 类 | II 类 | III 类 | 试验方法 |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|
| 微粉含量（按质量计）/% | | <1.0 | <3.0 | <5.0 | 按照 GB/T 14685 中规定的含泥量试验方法执行 |
| 泥块含量（按质量计）/% | | <0.5 | <0.7 | <1.0 | 按照 GB/T 14685 中规定的泥块含量试验方法执行 |
| 吸水率（按质量计）/% | | <3.0 | <5.0 | <8.0 | 按照 GB/T 17431.2 中规定的吸水率试验方法执行 |
| 针片状颗粒含量 （按质量计）/% | | <10 | | | 按照 GB/T 14685 中规定的针片状颗粒含量试验方法执行 |
| 有机物含量 | | 合格 | | | 按照 GB/T 14685 中规定的有机物含量试验方法执行 |
| 硫化物及硫酸盐 （折算成 SO ₃ 按质量计）/% | | <2.0 | | | 按照 GB/T 14685 中规定的硫化物及硫酸盐含量试验方法执行 |
| 氯化物（以氯离子质量计）/% | | <0.06 | | | 按照 GB/T 14684 中规定的氯化物含量试验方法执行 |
| 杂 物 | 杂物总量（按质量计）/% | <1.0 | | | 按照 GB/T 25177 中规定的杂物含量试验方法执行 |
| | 钢筋杂物（按质量计）/% | <0.1 | <0.2 | <0.3 | |
| | 钢筋断头长度/cm | <3.0 | | | |
| | 木屑杂物（按质量计）/% | <0.02 | <0.04 | <0.06 | |
| 坚固性质量损失/% | | <5.0 | <10.0 | <15.0 | 按照 GB/T 14685 中规定的坚固性试验方法执行 |
| 压碎指标/% | | <10 | <18 | <26 | 按照 GB/T 14685 中规定的压碎指标试验方法执行 |
| 表观密度/（kg/m ³ ） | | > 2450 | > 2350 | > 2250 | 按照 GB/T 14685 中规定的表观密度试验方法执行 |
| 空隙率/% | | <47 | <50 | <53 | 按照 GB/T 14685 中规定的空隙率试验方法执行 |

A.0.2 道路用再生级配粗骨料（4.75mm 以上）按再生混凝土含量，压碎指标，杂物含量，针片状颗粒含量等分为 I 类和 II 类，并应符合表 A.0.2 的规定。

表A.0.2道路用再生级配骨料（4.75mm以上）性能指标要求

| 类型 | I 类 | II 类 |
|--------------|------|------|
| 再生混凝土颗粒含量（%） | ≥90 | - |
| 压碎指标（%） | ≤30 | ≤45 |
| 杂物含量（%） | ≤0.5 | ≤1.0 |
| 针片状颗粒含量（%） | ≤20 | |

附录 B 再生混凝土单轴受压本构关系

B.0.1 再生混凝土的单轴受压本构关系可按式 B.0.1-1 式确定，单轴受压损伤演化参数 d_c 按式 B.0.1-2 式确定。

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

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

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，

$$\rho_c = \frac{\sigma_{cp}}{E_c \varepsilon_{cp}}, \quad m = \frac{E_c \varepsilon_{cp}}{E_c \varepsilon_{cp} - \sigma_{cp}}, \quad \eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cp}}, \quad \alpha_c \text{ 为下降段形状系数。}$$

附录 C 再生混凝土碳化深度预测模型

C.0.1 再生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

$$d(t) = K_{CO_2} \cdot K_{kl} \cdot K_{ks} \cdot T^{0.25} \cdot RH^{1.5} \cdot (1 - RH) \cdot \left(\frac{230}{f_{cu}^{RC}} + 2.5 \right) \cdot \sqrt{t} \quad (C.0.1-1)$$

式中,

$d(t)$ 时间 t 时的碳化深度 (mm)

K_{CO_2} CO_2 浓度系数, $K_{CO_2} = \sqrt{\frac{n_0}{0.2}}$

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 ($^{\circ}C$)

RH 周围环境相对湿度 (%)

f_{cu}^{RC} 再生混凝土立方体抗压强度平均值 (MPa)

模型 b

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

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 and 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 $\gamma_c = 1 - \text{掺合料含量}$

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作的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

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”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行的写法为“可参照……”。

引用标准名录

- 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
《轻集料及其试验方法》GB/T 17431.1
《轻集料及其试验方法》GB/T 17431.2
《通用硅酸盐水泥》GB 175
《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177
《混凝土结构设计规范》GB50010
《建筑抗震设计规范》GB50011
《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082
《混凝土强度检验评定标准》GB50107
《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476
《混凝土结构工程施工规范》GB50666
《混凝土外加剂》GB 8076
《混凝土和砂浆用颜料及其试验方法》JC/T 539
《混凝土路缘石》JC/T 899
《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169
《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1
《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51
《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55
《混凝土用水标准》JGJ 63
《建筑轻质条板隔墙技术规程》JGJ/T 157
《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23
《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40
《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51
《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30
《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1
《再生骨料混凝土技术要求》DB31
《道路、排水管道成品与半成品施工及验收规程》DG/TJ08-87
《装配整体式混凝土结构预制构件制作与质量检验规程》DGJ 08-2069
《装配整体式混凝土结构施工及质量验收规范》DGJ 08-2117
《预拌混凝土和预制混凝土构件生产质量管理规程》DG/TJ08-2034
《城市道路桥梁工程施工质量验收规范》DG/TJ08-2152
《混凝土结构耐久性评定标准》CECS220
《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1

上海市工程建设规范

再生骨料混凝土应用技术规程

Technical code on the application of recycled aggregate concrete

DG/TJ08-2018

J

条文说明

XX 上海

目次

| | |
|-------------------------|----|
| 1 总则..... | 31 |
| 3 再生混凝土及其技术性能..... | 31 |
| 3.1 一般规定 | 31 |
| 3.2 配合比设计 | 31 |
| 3.3 制备、施工及质量验收 | 31 |
| 3.4 力学性能指标 | 31 |
| 3.5 耐久性能指标 | 32 |
| 4 再生混凝土建筑结构..... | 32 |
| 4.1 一般规定 | 32 |
| 4.2 承载力极限状态 | 33 |
| 4.3 正常使用极限状态 | 33 |
| 4.4 再生混凝土建筑结构抗震 | 34 |
| 4.5 浇筑和成型 | 35 |
| 4.6 养护 | 35 |
| 4.7 质量检验 | 36 |
| 5 再生混凝土道路..... | 36 |
| 5.1 道路用再生骨料 | 36 |
| 5.3 水泥稳定再生骨料混合料 | 36 |
| 5.6 施工与质量验收 | 36 |
| 6 再生混凝土制品..... | 37 |
| 6.2 再生板材 | 37 |
| 6.3 预制再生混凝土构件 | 37 |
| 附录 A 再生骨料技术指标..... | 38 |
| 附录 B 再生混凝土本构关系..... | 38 |
| 附录 C 再生混凝土碳化深度预测模型..... | 38 |

1 总则

1.0.3 在原有规程的基础上，结合近十年的相关试验研究和工程案例，确定了房屋结构工程用和道路工程用再生混凝土中再生粗骨料的取代率限值。

3 再生混凝土及其技术性能

3.1 一般规定

3.1.2 采用边长 200mm 和 100mm 的立方体试件测得的强度转换为边长 150mm 的立方体标准试件时，应分别乘以 1.05 和 0.95。

3.1.3~3.1.4 根据国内外同类型标准和规程的经验，主要规定了再生混凝土强度等级的定义及其划分原则。按用途将再生混凝土划分为砌块、道路和结构用再生混凝土三大类，分别规定了各类混凝土的强度等级和合理使用范围，将再生混凝土强度等级符号统一为 C××。

3.2 配合比设计

3.2.1 再生混凝土的配合比设计主要参照了《再生骨料混凝土技术要求》DB31 中 6.1 节的内容。

3.2.2 再生混凝土的配合比设计应按照不同强度等级下的试配强度和标准差来确定。

3.2.3 引入再生骨料后，由再生骨料的吸水率和含水率确定附加用水量。

3.3 制备、施工及质量验收

3.3.1 再生混凝土的制备、施工及质量验收主要参照了《再生骨料混凝土技术要求》DB31 中 6.2 节和 6.3 节的内容。

3.3.2 再生混凝土制备时，随着再生骨料含量增加，搅拌时间应当适当增长。

3.3.3 再生混凝土出厂检验和交货检验时，应该形成检验报告，便于后期的检查。

3.4 力学性能指标

3.4.1 本条文规定了再生混凝土的轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 以及设计值 f_c 、 f_t ，再生混凝土的强度取值与普通混凝土一致。

3.4.2 《规程》中再生混凝土的抗折强度（弯拉强度）与抗压强度之间的关系式，是基于国内外具有代表性的 528 组再生混凝土试验数据的统计回归分析之上得出的。

3.4.3 《规程》中再生混凝土的弹性模量是基于国内外具有代表性的再生混凝土试验数据的

统计回归分析得出的。
$$E_c = \frac{10^5}{2.63 + \frac{42.19}{f_{cm}}}$$
 f_{cm} 为轴心抗压强度平均值，计算过程中再生

混凝土变异系数取为普通混凝土的 1.05 倍。

3.4.5 《规程》中再生混凝土的收缩值是借鉴国内外已有的再生混凝土规程（表 3.4.4）而确定的。

表 3.4.5 再生混凝土的收缩值修正系数

| 国家或组织 | 再生粗骨料取代率 | |
|-------|-----------|------|
| | 100% | 30% |
| 比利时 | 1.50 | 1.00 |
| RILEM | 1.50 | 1.00 |
| 荷兰 | 1.35~1.55 | 1.00 |

3.4.8 《规程》中再生混凝土的导热系数和比热是通过再生混凝土温度性能专题研究成果计算得到的。

3.5 耐久性能指标

3.5.1 主要参照《混凝土结构设计规范》GB50010 的一般性规定，对再生混凝土的最低强度等级进行了提高。

3.5.2 主要参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476 的一般性规定。鉴于缺乏相应的工程实践经验，暂时不考虑再生混凝土在除冰盐环境和滨海室外环境中的情况。

3.5.4 再生混凝土的抗冻指标主要参照《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的一般性规定。

4 再生混凝土建筑结构

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了再生混凝土在建筑结构工程中的应用范围，现阶段再生混凝土在其它领域内的研究较少，故本规程尚未考虑在其他结构构件中使用再生混凝土。由于再生混凝土的收缩和徐变较大，故本规程也不考虑将再生混凝土运用于预应力构件。

4.1.2 再生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。

4.1.3 再生混凝土构件的计算应符合国家和上海市相应标准。

4.1.4 保护层厚度的规定是为了满足结构构件的耐久性要求和对受力钢筋有效锚固的要求。同济大学的试验研究表明，相同强度等级的再生混凝土与普通混凝土相比，具有较好的抗碳化、抗冻融和粘结性能，国内外的其他专家学者的研究也有相似的结论。因此本条文再生混凝土的保护层厚度偏安全的取值，即按照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476。

4.1.5 同济大学的试验研究表明，相同强度等级的再生混凝土与普通混凝土相比，具有较高的粘结性能，并且随着时间的推移在一定范围有所增长，国内外的其他专家学者的研究也有相似的结论，因此本条文对钢筋在再生混凝土中的锚固长度进行了修正。

4.1.6 再生混凝土构件中纵向受力钢筋的配筋率应满足《混凝土结构设计规范》GB50010 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。再生混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋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%。

4.1.7~4.1.8 在再生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。

4.2 承载力极限状态

4.2.1 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，相同等级的再生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，因此根据已有数据和可靠度分析，考虑调整系数为 0.95。

4.2.2 再生混凝土轴心受压构件的计算公式也与《混凝土结构设计规范》GB50010 类似，但试验研究表明再生混凝土轴心受压构件承载力低于普通混凝土，因此根据已有数据和可靠度分析，考虑调整系数为 0.8。

4.2.3 公式（4.2.3-2）适用于集中荷载对支座截面所产生的剪力值占总剪力值的 75%以上的情况。根据国内外实验研究结果表明，再生混凝土斜截面受剪承载力低于普通混凝土，考虑调整系数为 0.85。

4.2.4 偏心受压、局部受压、轴心受拉、偏心受拉、受扭、受抗冲切等工况下参照可《混凝土结构设计规范》GB50010 的相关公式进行计算。

4.3 正常使用极限状态

4.3.1 根据国内外研究结果表明，再生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。

4.3.2 根据国内外研究结果表明，再生混凝土构件的裂缝宽度与普通混凝土相当，但是再生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，再生混凝土强度指标根据本规程规定的数值取用。

4.3.3 根据国内外试验研究结果表明，再生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%以上时，根据同济大学试验结果取挠度放大系数 1.2。

4.4 再生混凝土建筑结构抗震

4.4.2~4.4.3 再生混凝土构件内力和变形验算时，应采用再生混凝土的实测弹性模量进行计算，当无实测数据时，按照本规程中给定的弹性模量取值。

4.4.4 主要参照了《混凝土结构设计规范》GB50010 中的规定，对不同再生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。

4.4.5 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 和《混凝土结构设计规范》GB50010 相关条文相比，多层和高层再生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，规定的适应结构类型与第 4.4.4 条一致。不同设防烈度下抗震等级对应的结构分区高度约为相同条件下普通混凝土房屋结构分区高度的 2/3，这与表 4.4.4 规定协调。

4.4.6 规定了再生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，对再生混凝土强度等级的要求有所提高。

4.4.7 对多层和高层再生混凝土框架结构中再生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。

4.4.8 再生混凝土柱为关键竖向构件，设计中有效控制再生混凝土轴压比是保证结构抗震延性的关键。规定了再生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。

4.4.9 再生混凝土剪力墙为关键竖向构件，设计中有效控制再生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混凝土结构，一、二、三级再生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混凝土剪力墙墙肢的轴压比能够满足设计要求。

4.5 浇筑和成型

4.5.2 为了避免离析，对再生混凝土拌合物浇筑时倾落的自由高度做出规定，当超出后，应采用有效措施防止离析。

4.5.3 再生混凝土拌合物的内摩擦力比普通混凝土的大。为保证拌合物的密实性，本条规定应采用机械振捣成型。只有对流动性大、不振捣和硬化后的混凝土强度能满足要求的塑性拌合物，以及对强度没有要求的非承重类的再生混凝土拌合物，可以采用插捣成型。

4.5.4 本条文规定了干硬性再生混凝土构件的成型应采用振动台或表面振动加压成型，以保证振捣密实。

4.5.5 本条文规定了浇筑大面积水平构件时的振动方法。厚度小于 200mm 或大于 200mm 时，可采用不同的振捣方式。但最终是要保证混凝土的密实性。

4.5.6 本条文根据《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51，规定了采用插入式振捣器的振捣深度和距离，以及多层浇筑插捣的注意事项。强调连续多层浇筑时，插入式振捣器应插入下层拌合物 50mm。

4.5.7 本条文规定了拌合物成型时的振捣时间（含振动台，表面振动器和插入式振捣器）。振捣时间的长短不仅影响混凝土的密度和强度，而且还影响拌合物中轻质骨料的上浮，表面气泡的大小和分布，以及蜂窝麻面等表面质量问题。应根据拌合物稠度、振捣部位、配筋和操作工技术水平等具体情况，在本条规定的振捣时间范围（10~30s）内，利用经验和试振捣确定。

4.6 养护

4.6.1 再生混凝土成型后，应比普通混凝土更为注意防止表面失水，否则可能因为内外湿差引起收缩应力，导致表面混凝土裂缝。

4.6.2 本条文规定了再生混凝土自然养护应注意的事项及拆模时间，并符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

4.6.3 蒸汽养护时，成型后应有一定的静停时间，强调升温、降温都不宜太快，以保证通汽升温时不发生温度裂缝。

4.7 质量检验

4.7.1 实际生产时，对首次使用的混凝土配合比应进行开盘鉴定，并至少留置一组 28d 标准养护试件，以验证混凝土的实际质量与设计要求的一致性。施工单位应注意积累相关资料，以利于提高配合比设计水平。

4.7.2 混凝土生产时，砂、石的实际含水率可能与配合比设计时存在差异，故规定应测定实际含水率并相应地调整材料用量。

4.7.3 本条文规定了再生混凝土拌合物检验的项目和次数。应注意，与普通混凝土拌合物不同的是，除强度与坍落度外，每次还必须检验拌合物的表观密度。

4.7.4 本条文规定了再生混凝土强度的检验次数和评定方法。和普通混凝土强度一样，应按 GBJ107 的规定进行。

4.7.5 本条文对混凝土试件强度评定不合格时的检测方法做出规定，应严格按照国家现行规范和标准进行处理。根据同济大学的试验数据，建议采用回弹法检测再生混凝土强度，并应符合《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23 之规定，推荐采用研究成果推算得出再生混凝土的强度。

5 再生混凝土道路

5.1 道路用再生骨料

5.1.4 通过试验验证，再生级配骨料的混凝土石含量、压碎值、杂物含量是影响再生骨料混合料的重要技术指标。按照上述指标将再生级配骨料划分为两类。

5.3 水泥稳定再生骨料混合料

5.3.1 通过试验验证，使用 32.5 级水泥与再生级配骨料配制混合料不易达到强度要求，且 42.5 级水泥成本提升有限，故建议选用 42.5 级以上水泥。

5.3.2 II 类再生级配骨料中砖瓦类组份较多，骨料表面多孔，对胶结材料有一定吸附作用，当胶结材料用量较少时易导致混合料中胶结材料分散不均匀，当选用 II 级再生级配骨料配制混合料时水泥剂量不宜小于 4%。

5.6 施工与质量验收

5.6.3 由于再生骨料吸水率大，石灰粉煤灰稳定再生混合料最佳含水率在 10%~16% 范围内（普通混合料最佳含水率约为 5%~8%），明显高于普通混合料。振动碾压过程中，骨料中吸附的大量水分会部分析出，导致碾压出水或不易压实，所以在碾压过程中应严格控制碾压含水率，不宜超过最佳含水率，以最佳含水率或略低于最佳含水率 1.5% 以内为宜。

6 再生混凝土制品

6.2 再生板材

6.2.2 由于再生细骨料的密度较大，为了使再生板材的面密度符合《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 的要求，本标准规定再生细骨料宜与炉渣、陶砂等轻集料复配使用。

6.2.3 再生细骨料的强度高于炉渣，吸水率低于炉渣。生产实践表明，当再生细骨料的质量占骨料总质量的 30%-40%时，再生板材的强度较高，收缩较小。

6.2.4 《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 涵盖了水泥条板、石膏条板、复合板、混凝土条板等四种类型的条板。前三种条板采用浇筑工艺成型，第四种条板采用挤出工艺成型。采用挤出工艺成型，可降低用水量，提高条板的强度，减少收缩值。故本标准提出“再生板材的生产宜采用挤出成型工艺”。

6.2.5 《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 提出了再生板材的断面构造形式分为实心板、空心板。由于再生细骨料的密度较大，实心条板的自重大，施工安装难度较高。同时由于空心板节省材料、再生板材的强度较高等因素，故本标准提出“再生板材宜采用空心板的构造形式”。

6.2.6 《建筑隔墙用轻质条板通用技术要求》JG/T 169 涵盖了水泥条板、石膏条板、复合板、混凝土条板等四种类型的条板。根据本市再生板材的技术特点及生产应用情况，本标准提出再生板材的技术要求参照 JG/T 169 中“混凝土条板”执行。

6.3 预制再生混凝土构件

6.3.14 预制构件生产时，由于脱模的需要，对混凝土早期强度的要求较高。再生粗骨料由于吸水率高于碎石，故会提高混凝土用水量，降低强度。故本标准规定“宜采用 I 类再生粗骨料，再生粗骨料取代率宜控制在 30%（含）”。

6.3.15 试验表明，在相同胶凝材料用量、相同水灰比、相同坍落度的条件下，当再生混凝土强度低于 C50（含）时，普通混凝土与再生混凝土的强度差别不大；但是当强度等级高于 C50 时，再生混凝土的强度明显低于普通混凝土，这是由于再生骨料的压碎值高于碎石。故本标准规定“再生混凝土预制构件采用的混凝土强度等级不宜高于 C50”。

附录 A 再生骨料技术指标

A.0.1 对 I 类、II 类、III 类再生粗骨料的各项指标进行了规定。包括微粉含量、泥块含量、吸水率、针片状颗粒含量、有害物质含量、杂物含量、坚固性指标、压碎指标、表观密度和空隙率等，上述指标应满足《混凝土用再生粗骨料》GB/T25177 和《再生骨料混凝土技术要求》DB31 中的要求。

A.0.2 为区分建筑结构用再生骨料与道路用再生骨料，将道路用再生骨料的技术指标列入表 A.0.2 中，并根据技术指标分为 I 类和 II 类再生骨料。

附录 B 再生混凝土单轴受压本构关系

B.0.1 再生混凝土的单轴受压本构关系则是在再生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，得到再生混凝土单轴受压本构关系。

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

$$E_c = \frac{10}{p + \frac{q}{\sigma_{cp}}} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\alpha_c = u \cdot \sigma_{cp}^{0.785} - v \quad (\text{B.0.1-3})$$

参数取值如表 B.0.1 所示：

表 B.0.1 参数取值

| 拟合系数 | 下限 | 拟合值 | 上限 | R ² |
|----------|---------|---------|---------|----------------|
| <i>m</i> | 0.1215 | 0.1842 | 0.2469 | 0.1964 |
| <i>n</i> | 0.6790 | 1.0315 | 1.3840 | |
| <i>p</i> | 1.9372 | 2.6340 | 3.3308 | 0.3210 |
| <i>q</i> | 23.0373 | 42.1862 | 61.3351 | |
| <i>u</i> | 0.1004 | 0.1511 | 0.2018 | 0.1298 |
| <i>v</i> | -0.8482 | -0.1818 | 0.4846 | |

附录 C 再生混凝土碳化深度预测模型

C.0.1 根据同济大学的理论和试验研究，给出了再生混凝土的碳化深度预测模型。模型 a 和模型 b 在普通混凝土碳化深度预测模型的基础上引入了再生骨料取代率参数，即模型 a 中的 f_{cu}^{RC} 和模型 b 中 g_{RC} 。

普通混凝土碳化深度预测模型分别为《混凝土结构耐久性评定标准》CECS220 中的模型，以及张誉和蒋利学模型（蒋利学，张誉，刘亚芹，等. 混凝土碳化深度的计算与试验研究[J]. 混凝土. 1996(04): 12-17.）

同济大学考虑再生骨料吸水率后，基于现有数据的统计分析，提出了新的预测模型：

$$d(t) = 104 \cdot k_A \cdot \sqrt[4]{T} \cdot k_e \cdot \sqrt{\frac{k_c \cdot w}{f_c^3 \cdot c}} \cdot k_{CO_2} \cdot \sqrt{t} \quad (C.0.1-1)$$

式中， $k_A = e^{-0.07 A_{wa}}$ ，为再生骨料权重吸水率参数， A_{wa} 为骨料权重吸水率； $k_e = RH^{1.5}(1 - RH)$ ；

$k_c = (t_c / 7)^{b_c}$ ，其中， b_c 为回归的指数值，其平均值为 -0.567， t_c 为养护时间（天）；

$$K_{CO_2} = \sqrt{\frac{n_0}{0.03}}。$$

骨料权重吸水率定义如下：

$$A_{wa} = \frac{C_{NCA} \cdot WA_{NCA} + C_{NFA} \cdot WA_{NFA} + C_{RCA} \cdot WA_{RCA} + C_{RFA} \cdot WA_{RFA}}{C_{NCA} + C_{NFA} + C_{RCA} + C_{RFA}} \quad (C.0.1-2)$$

式中， C_{NCA} ， C_{NFA} ， C_{RCA} 和 C_{RFA} 分别为配合比中天然粗骨料，天然细骨料，再生粗骨料和再生细骨料的含量，单位为 kg； WA_{NCA} ， WA_{NFA} ， WA_{RCA} 和 WA_{RFA} 分别为对应的骨料的吸水率，单位为 %。

式 (C.0.1-1) 所示模型可以作为模型 a 和模型 b 的补充，用于预测再生混凝土的碳化深度。