

# 再生混凝土结构技术标准

Technical standard for recycled concrete structures

2018 - 12 - 18 发布

2019 - 05 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

再生混凝土结构技术标准

Technical standard for recycled concrete structures

**JGJ/T 443 - 2018**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 9 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

**2018 北 京**

中华人民共和国行业标准  
**再生混凝土结构技术标准**

Technical standard for recycled concrete structures

**JGJ/T 443 - 2018**

\*

中国工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：2¼ 字数：59 千字

2019 年 3 月第一版 2019 年 3 月第一次印刷

定价：**16.00 元**

统一书号：15112 · 32444

**版权所有 翻印必究**

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2018 年 第 321 号

---

## 住房城乡建设部关于发布行业标准 《再生混凝土结构技术标准》的公告

现批准《再生混凝土结构技术标准》为行业标准，编号为 JGJ/T 443-2018，自 2019 年 5 月 1 日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（[www.mohurd.gov.cn](http://www.mohurd.gov.cn)）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 12 月 18 日



## 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2013〕169 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 再生混凝土配合比设计；5 承载能力极限状态计算；6 正常使用极限状态验算；7 多层和高层再生混凝土房屋；8 低层再生混凝土房屋；9 施工及质量验收。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由北京工业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，请寄送北京工业大学（地址：北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学建筑工程学院，邮编：100124）。

本标准主编单位：北京工业大学

安徽四建控股集团有限公司

本标准参编单位：同济大学

西安建筑科技大学

哈尔滨工业大学

华南理工大学

哈尔滨鸿盛房地产开发集团有限公司

北京建筑大学

青岛理工大学

合肥工业大学

中国建筑设计研究院有限公司

北京市建筑设计研究院有限公司

中国建筑科学研究院有限公司

沈阳建筑大学

广西大学

太原理工大学

深圳市华威环保建材有限公司

北京城建集团有限责任公司

首钢环境产业有限公司

许昌金科资源再生股份有限公司

本标准主要起草人员：曹万林 肖建庄 白国良 邹超英

董宏英 陈桂林 吴 波 林国海

张建伟 陈家珑 郑文忠 李秋义

王玉银 姜 玮 蒋欢军 柳炳康

霍文营 薛慧立 朱兴刚 何更新

周静海 查晓雄 刘 超 乔崎云

吴 徽 邓志恒 刘元珍 李文龙

武海鹏 彭其兵 马刚平 李福安

刘 璐 陈树志

本标准主要审查人员：刘树屯 娄 宇 钱稼茹 李清海

刘琼祥 蒋勤俭 朋改非 杨思忠

刘 航 余海群 张显来

## 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 .....	4
3.1	一般规定 .....	4
3.2	材料 .....	5
3.3	再生混凝土保护层 .....	7
3.4	伸缩缝 .....	8
3.5	结构构件 .....	8
4	再生混凝土配合比设计 .....	10
4.1	原材料 .....	10
4.2	配合比设计 .....	10
5	承载能力极限状态计算 .....	12
6	正常使用极限状态验算 .....	13
7	多层和高层再生混凝土房屋 .....	15
7.1	一般规定 .....	15
7.2	构造措施 .....	16
8	低层再生混凝土房屋 .....	19
8.1	一般规定 .....	19
8.2	基本构造要求 .....	20
8.3	单排配筋剪力墙 .....	20
8.4	装配式单排配筋剪力墙 .....	23
9	施工及质量验收 .....	25
9.1	制备和运输 .....	25

9.2 浇筑、振捣和养护 .....	26
9.3 质量控制及验收 .....	26
本标准用词说明 .....	27
引用标准名录 .....	28
附：条文说明 .....	31

## Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	4
3.1	General Requirements .....	4
3.2	Materials .....	5
3.3	Recycled Concrete Cover .....	7
3.4	Expansion Joint .....	8
3.5	Structural Members .....	8
4	Mix Proportion Design of Recycled Concrete .....	10
4.1	Raw Materials .....	10
4.2	Mix Proportion Design .....	10
5	Ultimate Limit States Design .....	12
6	Checking of Serviceability Limit States .....	13
7	Multi-story and Tall Recycled Concrete Buildings .....	15
7.1	General Requirements .....	15
7.2	Details for Structures .....	16
8	Low-rise Recycled Concrete Buildings .....	19
8.1	General Requirements .....	19
8.2	Fundamental Detailing Requirements .....	20
8.3	Shear Wall with Single Row of Steel Reinforcements .....	20
8.4	Prefabricated Shear Wall with Single Row of Steel Reinforcements .....	23
9	Construction and Quality Acceptance .....	25

9.1 Preparation and Transportation .....	25
9.2 Casting, Vibrating and Curing .....	26
9.3 Quality Control and Acceptance .....	26
Explanation of Wording in This Standard .....	27
List of Quoted Standards .....	28
Addition: Explanation of Provisions .....	31

## 1 总 则

**1.0.1** 为规范再生混凝土在建筑结构中的应用，保证再生混凝土结构安全，做到技术先进、安全可靠、经济合理、保证质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于再生混凝土房屋建筑结构的设计、施工及验收。

**1.0.3** 再生混凝土房屋建筑结构的设计、施工及验收，除应符合本标准外，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，本标准指仅掺用再生粗骨料配制而成的混凝土，简称再生混凝土。

#### 2.1.2 混凝土用再生粗骨料 recycled coarse aggregate for concrete

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

#### 2.1.3 再生混凝土结构 recycled concrete structure

以再生混凝土为主制成的结构，包括素再生混凝土结构、钢筋再生混凝土结构和预应力再生混凝土结构等。

#### 2.1.4 再生混凝土构件 recycled concrete member

以再生混凝土为主制成的构件。

#### 2.1.5 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。

#### 2.1.6 附加用水量 additional water content

混凝土用再生粗骨料饱和面干状态时所含水的质量。

#### 2.1.7 净用水量 net water content

不包括再生粗骨料饱和面干状态时所含水质量的再生混凝土拌合用水的质量。

#### 2.1.8 总用水量 total water content

净用水量与附加用水量之和。

#### 2.1.9 净水胶比 net water-binder ratio



净用水质量与胶凝材料质量之比。

### 2.1.10 总水胶比 total water-binder ratio

总用水质量与胶凝材料质量之比。

## 2.2 符 号

$E_c$  —— 再生混凝土弹性模量；

$f_{ck}$ 、 $f_c$  —— 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；

$G_c$  —— 再生混凝土剪切变形模量；

$r$  —— 再生粗骨料取代率；

$\nu_c$  —— 再生混凝土泊松比；

$\alpha_\sigma$  —— 再生混凝土强度折减系数；

$\alpha_\theta$  —— 荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数；

$\gamma_{RE}$  —— 承载力抗震调整系数。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 再生粗骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定。

**3.1.2** 再生混凝土的强度等级不应低于 C15，不宜高于 C50。

**3.1.3** 掺用Ⅰ类再生粗骨料的混凝土可用于预应力混凝土结构构件；掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的混凝土可用于跨度不大于 6m 的有粘结预应力混凝土楼板、屋面板和梁，不得用于其他预应力混凝土构件。

**3.1.4** 再生混凝土房屋的混凝土，Ⅰ类再生粗骨料取代率宜为 50%~100%，Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料取代率宜符合下列规定：

1 多层和高层再生混凝土房屋宜为 30%~50%；

2 低层再生混凝土房屋宜为 50%~100%。

**3.1.5** 房屋建筑中再生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同类混凝土；

3 同一楼层中同类再生混凝土构件，应采用同类再生粗骨料和相同配合比的再生混凝土。

**3.1.6** 混凝土再生粗骨料的应用，除应符合本标准的相关规定外，尚应符合现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的有关规定。

**3.1.7** 再生混凝土房屋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》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 及《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

**3.1.8** 再生混凝土房屋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》GB 50010 的有关规定。

**3.1.9** 再生混凝土房屋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》GB 50223 的有关规定。

**3.1.10** 再生混凝土房屋结构构件的设计，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 及《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。

## 3.2 材 料

**3.2.1** 钢筋混凝土结构的再生混凝土强度等级不应低于 C25；采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，再生混凝土强度等级不应低于 C30；预应力再生混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C35。

**3.2.2** 再生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** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土，其强度取值可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定执行。

**3.2.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土，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》GB 50010 取值并乘以再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$  后采用。

**3.2.5** 再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$  可按下列规定取用：

1 再生粗骨料取代率为 30% 时， $\alpha_s$  取 0.95；

2 再生粗骨料取代率为 100% 时， $\alpha_s$  取 0.85；

3 再生粗骨料取代率介于 30% 和 100% 之间时， $\alpha_s$  按线性内插法取用。

**3.2.6** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土,其弹性模量  $E_c$  可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用。掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土弹性模量  $E_c$  宜通过试验确定;缺乏试验资料时,再生粗骨料取代率为 30%、100% 的再生混凝土弹性模量可按表 3.2.6 采用,当再生粗骨料取代率介于 30% 和 100% 之间时,再生混凝土弹性模量可采用线性内插法确定。

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

强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
再生粗骨料取代率 30%	1.98	2.30	2.52	2.70	2.84	2.93	3.02	3.11
再生粗骨料取代率 100%	1.76	2.04	2.24	2.40	2.52	2.60	2.68	2.76

**3.2.7** 再生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,再生混凝土泊松比  $\nu_c$  可按 0.2 采用。

**3.2.8** 再生混凝土的温度线膨胀系数、比热容和导热系数宜通过试验确定;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》GB 50010 和《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的有关规定采用。

**3.2.9** 再生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。

**3.2.10** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生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。

**3.2.11** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生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》GB 50010 的规定。

**3.2.12** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土房屋结构应用的环境应符合下列规定:

1 多层和高层再生混凝土房屋结构宜在一类、二类环境中应用,不宜在三类环境中应用,不得在四类、五类环境中应用;

2 低层再生混凝土房屋结构宜在一类、二类环境中应用，可在三类环境中应用，不得在四类、五类环境中应用。

3.2.13 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的结构用再生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 <sup>3</sup> )
一	0.60	C25	0.30	不限制
二	a	0.55	C30	0.20
	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 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。

3.2.14 再生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》GB 50010 的规定。

### 3.3 再生混凝土保护层

3.3.1 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土构件中普通钢筋及预应力筋的混凝土保护层厚度应与普通混凝土结构一致。

3.3.2 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土构件中普通钢筋及预应力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 年的再生混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度应符合表 3.3.2 的规定。



表 3.3.2 再生混凝土保护层最小厚度  $c$  (mm)

环境类别	板、墙、壳		梁、柱、杆	
	$r \leq 50\%$	$r > 50\%$	$r \leq 50\%$	$r > 50\%$
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

### 3.4 伸 缩 缝

**3.4.1** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的钢筋再生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。

**3.4.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生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，伸缩缝的最大间距宜比普通混凝土结构适当减小。

**3.4.3** 当设置伸缩缝时，再生混凝土框架、排架结构的双柱基础可不断开。

### 3.5 结 构 构 件

**3.5.1** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土结构构件的设计应与普通钢筋混凝土结构一致。

**3.5.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土构件受拉钢筋的锚固和连接要求，考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$  后可与普通钢筋混凝土构件相同。

**3.5.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生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。

**3.5.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土板、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

混凝土强度折减系数  $\alpha_c$  后可与普通钢筋混凝土构件相同。

**3.5.5** 有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁的设计，考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_c$  后可与普通有粘结预应力混凝土楼板、屋面板和梁相同。

**3.5.6** 装配式再生混凝土结构中，掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗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，考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_c$  后可与装配式普通混凝土结构相同。

## 4 再生混凝土配合比设计

### 4.1 原材料

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

**4.1.2** 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定，不同品种水泥不得混合使用。

**4.1.3** 拌合用水和养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定，不应使用海水拌制再生混凝土。

**4.1.4** 再生混凝土的制备可采用粉煤灰、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/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 和《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 等的规定。

**4.1.5** 再生混凝土的制备采用的外加剂应符合国家现行标准《混凝土外加剂》GB 8076、《砂浆、混凝土防水剂》JC/T 474、《混凝土防冻剂》JC/T 475、《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 等的规定。

### 4.2 配合比设计

**4.2.1** 再生混凝土的配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的相关规定。

**4.2.2** 再生混凝土配合比设计尚应符合下列规定：

- 1 再生混凝土应采用质量法进行配合比计算；
- 2 总用水量应为净用水量和附加用水量之和；
- 3 净用水量宜根据坍落度和粗骨料最大粒径按现行行业标



准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定，附加用水量应采用再生粗骨料饱和面干吸水量。

**4.2.3** 再生混凝土的强度可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中的相关公式计算，其中水胶比应为总水胶比。

## 5 承载能力极限状态计算

**5.0.1** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土构件的承载能力极限状态计算应与普通混凝土结构一致。

**5.0.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土结构构件采用应力表达式进行承载能力极限状态计算时，应符合下列规定：

1 应根据设计状况和构件性能设计目标确定再生混凝土和钢筋的强度设计值；

2 钢筋应力不应大于钢筋的强度取值；

3 再生混凝土应力不应大于再生混凝土强度取值乘以折减系数  $\alpha_s$ 。

**5.0.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土单轴应力-应变本构关系宜通过试验确定；缺乏试验资料时，按本标准确定再生混凝土的强度和弹性模量后，再生混凝土单轴应力-应变本构关系可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定确定。

**5.0.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ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  $\alpha_s$  后可与普通混凝土结构构件相同。

**5.0.5** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁的设计，除应根据设计状况进行承载力计算外，尚应对施工阶段进行验算；按本标准确定再生混凝土的强度和弹性模量后，其承载力计算和施工阶段验算可与普通有粘结预应力混凝土楼板、屋面板和梁相同。

## 6 正常使用极限状态验算

**6.0.1** 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。

**6.0.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土和预应力再生混凝土构件，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 $\alpha_s$ 和荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数 $\alpha_\theta$ 。

**6.0.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土和预应力再生混凝土构件，荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数 $\alpha_\theta$ 可按下列规定取用：

1 再生粗骨料取代率为30%时， $\alpha_\theta$ 可取1.03；

2 再生粗骨料取代率为100%时， $\alpha_\theta$ 可取1.10；

3 再生粗骨料取代率介于30%和100%之间时， $\alpha_\theta$ 可按线性内插法取用。

**6.0.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋混凝土和预应力混凝土构件，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和普通预应力混凝土构件一致，并应符合下列规定：

1 一级、二级裂缝控制等级时，裂缝控制验算应考虑再生混凝土强度折减系数 $\alpha_s$ ；

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 $\alpha_s$ ，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 $\alpha_\theta$ 。

**6.0.5** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土受拉、受弯和偏心受压构件及有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁，按荷载标准组合或准永久组合并考虑荷载长期作用影响的最

大裂缝宽度，考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_c$  后，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定计算，且裂缝宽度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  $\alpha_{fj}$ 。

**6.0.6** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土受弯构件和有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁的挠度，可依据最小刚度原则按照结构力学方法计算，且挠度限值应与普通钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件一致。

**6.0.7** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土受弯构件考虑荷载长期作用影响的刚度，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定计算，并应按本标准确定再生混凝土弹性模量，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乘以荷载长期作用下再生混凝土构件变形附加增大系数  $\alpha_{fj}$ 。

## 7 多层和高层再生混凝土房屋

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的现浇多层和高层再生混凝土房屋，适用的结构类型和最大高度应与现浇多层和高层普通混凝土房屋一致。

**7.1.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的现浇多层和高层再生混凝土房屋，其适用的结构类型和最大高度应符合表 7.1.2 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 7.1.2 现浇多层和高层再生混凝土房屋适用的结构类型和最大高度 (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。

**7.1.3** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的现浇多层和高层再生混凝土房屋的抗震等级应与现浇多层和高层普通混凝土房屋一致。

**7.1.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的丙类建筑现浇多层和高层再生混凝土房屋的抗震等级应按表 7.1.4 采用。

**表 7.1.4 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
框架-核心筒结构	框架	三		二			一			一	
	核心筒	二		二			一			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。

**7.1.5** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的多层和高层再生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  $\gamma_{RE}$  取值可与普通混凝土构件相同。

## 7.2 构造措施

**7.2.1** 仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的多层和高层再生混凝土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。



**7.2.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的多层和高层再生混凝土结构，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。

**7.2.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的多层和高层再生混凝土框架柱，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。

**7.2.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的多层和高层再生混凝土结构，再生混凝土柱轴压比限值应符合表 7.2.4 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 7.2.4 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
框架-核心筒结构	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  $\alpha_c$ ；

- 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。

**7.2.5** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的多层和高层建筑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 7.2.5 的限值；当再生粗骨料取代率介于 30% 和 50% 之间时，墙肢的轴压比限值可按线性内插法采用。

**表 7.2.5 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



## 8 低层再生混凝土房屋

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 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。

**8.1.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的低层再生混凝土房屋剪力墙厚度不大于 140mm 时，可采用单排配筋剪力墙。

**8.1.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的低层再生混凝土异形柱框架结构的异形柱，其截面肢厚不宜小于 140mm，截面肢高与肢厚比不宜小于 3。

**8.1.4** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的低层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，并应符合相应的计算和构造规定；丙类建筑低层再生混凝土房屋的抗震等级应按表 8.1.4 采用。

表 8.1.4 丙类建筑低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)	≤10	≤7	>7	≤7	>7	≤7	>7
	框架	四	四	三	三	二	三	二
框架-剪力墙结构	高度 (m)	≤10	≤7	>7	≤7	>7	≤7	>7
	框架	四	四	三	三	三	三	二
	剪力墙	四	四	四	四	四	四	三
剪力墙结构	高度 (m)	≤10	≤7	>7	≤7	>7	≤7	>7
	剪力墙	四	四	四	四	四	四	三

## 8.2 基本构造要求

### 8.2.1 低层再生混凝土框架梁截面尺寸应符合下列规定：

- 1 截面宽度不应小于 140mm；
- 2 截面高宽比不宜大于 4；
- 3 净跨与截面高度之比不宜小于 4。

### 8.2.2 低层再生混凝土框架柱的截面尺寸应符合下列规定：

- 1 矩形截面柱的边长，层数不超过 2 层时不宜小于 300mm，层数超过 2 层时不宜小于 350mm；
- 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，层数不超过 2 层时不宜小于 350mm，层数超过 2 层时不宜小于 400mm；
- 4 剪跨比宜大于 2。

### 8.2.3 异形柱设计尚应符合现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的规定。

### 8.2.4 低层再生混凝土结构剪力墙宜设置端柱或翼墙。

### 8.2.5 低层再生混凝土结构剪力墙厚度应符合下列规定：

- 1 框架-剪力墙结构剪力墙厚度不应小于 140mm 且不宜小于层高的  $1/25$ ，无端柱或翼墙时不宜小于层高的  $1/20$ ；
- 2 剪力墙结构剪力墙厚度，外墙不宜小于 140mm 且不宜小于层高的  $1/25$ ，无端柱或翼墙时不宜小于层高的  $1/20$ ；内墙不宜小于 120mm 且不宜小于层高的  $1/30$ ，无端柱或翼墙时不宜小于层高的  $1/25$ 。

## 8.3 单排配筋剪力墙

### 8.3.1 低层再生混凝土单排配筋剪力墙结构的外墙宜采用保温模块单排配筋再生混凝土剪力墙，内墙可采用保温模块单排配筋再生混凝土剪力墙或普通再生混凝土剪力墙。保温模块可采用聚苯保温模块。聚苯保温模块混凝土剪力墙的构造设计，应符合现行行业标准《聚苯模块保温墙体应用技术规程》JGJ/T 420 的

规定。

**8.3.2** 低层房屋保温模块单排配筋再生混凝土剪力墙的截面承载力验算，可不考虑保温模块及复合面层砂浆的作用。

**8.3.3** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙两端和洞口两侧宜设置竖向构造钢筋、三角形暗柱或矩形暗柱，并应符合下列规定：

1 剪力墙端部设置竖向构造钢筋时，宜采用 2 根直径不小于 12mm 的钢筋，且水平分布钢筋应弯折  $90^\circ$  向两侧交错布置并勾住竖向构造钢筋；也可采用 1 根直径不小于 16mm 的钢筋，且水平分布钢筋弯折勾住竖向构造钢筋；

2 剪力墙端部设置三角形暗柱时，暗柱应设置 3 根直径不宜小于 10mm 且不应小于 8mm 的纵筋，暗柱箍筋直径不应小于 4mm 且不宜大于 6mm，暗柱箍筋间距不宜大于 150mm，剪力墙水平分布钢筋应弯折  $90^\circ$  向两侧交错布置并勾住三角形暗柱纵筋；

3 剪力墙端部设置矩形暗柱时，暗柱应设置 4 根直径不宜小于 10mm 且不应小于 8mm 的纵筋，暗柱箍筋直径不应小于 4mm 且不宜大于 6mm，暗柱箍筋间距不宜大于 150mm，剪力墙水平分布钢筋应弯折  $90^\circ$  向两侧交错布置并勾住矩形暗柱纵筋。

**8.3.4** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与另一方向的单排配筋剪力墙相连时，节点位置应设置竖向构造钢筋，并应符合下列规定：

1 L 形节点竖向构造钢筋，可采用节点区域竖向分布钢筋替换的方法，替换后的竖向构造钢筋不应少于 7 根，且直径不应小于原竖向分布钢筋直径加 2mm 和 12mm 的较大值，采用 7 根时两墙肢单排钢筋相交位置布置 1 根，另 6 根沿两墙肢各 3 根均等布置，并应与水平分布钢筋绑扎或点焊；

2 T 形节点竖向构造钢筋，可采用节点区域竖向分布钢筋替换的方法，替换后的竖向构造钢筋不应少于 7 根，且直径不应小于原竖向分布钢筋直径加 2mm 和 12mm 的较大值，采用 7 根

时三墙肢单排钢筋相交位置布置 1 根,另 6 根沿三墙肢各 2 根均等布置,并应与水平分布钢筋绑扎或点焊;

3 十字形节点竖向构造钢筋,可采用节点区域竖向分布钢筋替换的方法,替换后的竖向构造钢筋不应少于 9 根,且直径不应小于原竖向分布钢筋直径加 2mm 和 12mm 的较大值,采用 9 根时四墙肢单排钢筋相交位置布置 1 根,另 8 根沿四墙肢各 2 根均等布置,并应与水平分布钢筋绑扎或点焊。

**8.3.5** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与楼板连接时,可采用增设竖向短钢筋的方法加强,短钢筋直径宜与剪力墙竖向分布钢筋相同,根数不宜少于该剪力墙竖向分布钢筋根数的 50%,伸入楼板上、下剪力墙的长度不宜小于 500mm。

**8.3.6** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与屋面板连接时,可采用增设弯折短钢筋的方法加强,弯折短钢筋直径宜与剪力墙竖向分布钢筋相同,根数不宜少于该剪力墙竖向分布钢筋根数的 50%,伸入屋面板以下剪力墙的长度不宜小于 500mm,伸入屋面板的长度不宜小于 300mm。

**8.3.7** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与另一方向的双排配筋剪力墙相连时,单排配筋剪力墙的水平分布钢筋应伸至双排配筋剪力墙远端分布钢筋位置,L 形节点时应弯折 90°且弯折段应勾住节点墙肢远端竖向构造钢筋,T 形节点时应交错向两侧弯折 90°且弯折段应勾住墙肢远端竖向构造钢筋。

**8.3.8** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与边框柱连接时,单排配筋剪力墙的水平分布钢筋应伸至边框柱远端箍筋位置,并应交错向两侧弯折 90°且弯折段不宜小于单排配筋剪力墙的厚度。

**8.3.9** 低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与边框梁的连接,应符合下列规定:

1 与非顶层边框梁的连接,单排配筋剪力墙的竖向分布钢筋可穿过边框梁;

2 与顶层带单侧屋面板边框梁的连接,单排配筋剪力墙的



竖向分布钢筋应伸至边框梁上端纵筋下面位置并应弯折  $90^\circ$  伸入屋面板，伸入屋面板的长度不宜小于 300mm；

3 与顶层带两侧屋面板边框梁的连接，单排配筋剪力墙的竖向分布钢筋应伸至边框梁上端纵筋下面位置并应交错向两侧屋面板弯折  $90^\circ$ ，弯折段伸入屋面板的长度不宜小于 300mm。

## 8.4 装配式单排配筋剪力墙

8.4.1 低层房屋采用装配式单排配筋再生混凝土剪力墙结构时，上下层预制剪力墙竖向钢筋的连接，除应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的规定外，尚应符合下列规定：

1 宜选用套筒灌浆连接、挤压套筒连接、金属波纹管浆锚搭接连接、构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接等连接方式；

2 宜根据受力和施工工艺等要求选用全部竖向钢筋连接或部分竖向钢筋连接；

3 采用部分竖向钢筋连接时，竖向连接钢筋可采用剪力墙增大直径的竖向钢筋或设置连接短钢筋，竖向连接钢筋间距不宜大于 600mm。

8.4.2 上下层预制单排配筋再生混凝土剪力墙的竖向钢筋采用构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接时，应符合下列规定：

1 上层预制剪力墙连接区域应设置构造钢筋约束预留圆孔，预留圆孔直径不应小于 40mm 且不宜大于 50mm，预留圆孔的高度不应小于下层剪力墙竖向受力钢筋灌浆锚固长度加 20mm；

2 上层预制剪力墙构造钢筋约束预留圆孔高度加 50mm 范围应为构造钢筋约束区；构造钢筋约束区的构造，可采用间距不大于 50mm、直径不小于 6mm 的双排分布钢筋替代单排水平分布钢筋并在预留圆孔两侧 15mm~25mm 位置用直径不小于 4mm 的箍筋拉结双排水平分布钢筋；

3 上层预制剪力墙构造钢筋约束区的预留圆孔的顶部至墙体一侧表面应设置弧形或水平灌浆圆孔，灌浆圆孔直径不应小于

20mm 且不宜大于 30mm;

**4** 下层预制剪力墙竖向受力钢筋宜插入上层剪力墙构造钢筋约束预留圆孔正中;

**5** 下层预制剪力墙竖向受力搭接钢筋宜墩头,墩头的直径不宜小于 1.5 倍钢筋直径,墩头的高度不宜小于 0.5 倍钢筋直径,当下层剪力墙竖向受力搭接钢筋采用带墩头钢筋时可适当减小竖向钢筋灌浆锚固长度;

**6** 下层预制剪力墙竖向受力钢筋插入上层剪力墙构造钢筋约束预留圆孔后,预留圆孔应采用灌浆料灌实,灌浆料的抗压强度不应低于再生混凝土抗压强度的 1.5 倍。

**8.4.3** 低层房屋装配式单排配筋再生混凝土剪力墙的上、下墙体混凝土结合面应处理成粗糙面或做成齿槽,灌浆缝高度宜为 15mm~20mm。

## 9 施工及质量验收

### 9.1 制备和运输

**9.1.1** 再生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》GB 50164、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。

**9.1.2** 再生混凝土所用运输车应符合下列规定：

1 运输车应能保持再生混凝土拌合物的均匀性，不应产生分层离析现象；

2 再生混凝土拌合物运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408 的规定；翻斗车仅限于运送坍落度小于 80mm 的再生混凝土拌合物；运送容器应不漏浆，内壁应光滑平整，并应具有覆盖设施。

**9.1.3** 再生混凝土生产时，应采用符合现行国家标准《混凝土搅拌机》GB/T 9142 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，每盘搅拌时间应比普通混凝土搅拌时间适当延长。

**9.1.4** 在下列条件下，应进行再生粗骨料的含水率、吸水率及堆积密度的测定；当再生粗骨料已经过预湿处理时，可不测定其吸水率，但应测定湿堆积密度：

1 在批量拌制再生混凝土前；

2 在批量生产过程中抽查；

3 当再生粗骨料含水率有显著变化时或发现拌合物坍落度、流动性反常时。

**9.1.5** 再生混凝土拌制前，应测定砂、石含水率，并应根据测试结果调整材料用量，提出施工配合比。

**9.1.6** 再生混凝土的运输应符合下列规定：

1 再生混凝土所采用的运输车应符合本标准第 9.1.2 条的规定；

2 严禁向运输车内的再生混凝土加水；

3 当采用搅拌运输车运送再生混凝土时，宜在 1h 内卸料；当采用翻斗车运送再生混凝土时，宜在 0.5h 内卸料；当延长运送时间时，则应采取相应的技术措施；

4 拌合物在运输中应采取措施减少坍落度损失并防止离析；当拌合物坍落度损失或离析现象较严重时，浇筑前应采用二次拌合，但严禁二次加水。

## 9.2 浇筑、振捣和养护

9.2.1 在浇筑过程中，应严格控制再生混凝土的均匀性和密实性。

9.2.2 散落的再生混凝土严禁用于结构构件的浇筑。

9.2.3 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。

9.2.4 再生混凝土拌合物应采用机械振捣成型。

9.2.5 再生混凝土浇筑成型后应采用保湿养护，保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。

9.2.6 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》GB 50666 的规定。

## 9.3 质量控制及验收

9.3.1 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》GB 50164 的规定。

9.3.2 再生混凝土施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。



## 本标准用词说明

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：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

## 引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 5 《民用建筑热工设计规范》GB 50176
- 6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 7 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 8 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 9 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 10 《混凝土外加剂》GB 8076
- 11 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 12 《混凝土搅拌机》GB/T 9142
- 13 《预拌混凝土》GB/T 14902
- 14 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 15 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
- 16 《混凝土膨胀剂》GB/T 23439
- 17 《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177
- 18 《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408
- 19 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 20 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 21 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 22 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 23 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 24 《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149
- 25 《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240

- 26 《聚苯模块保温墙体应用技术规程》 JGJ/T 420
- 27 《砂浆、混凝土防水剂》 JC/T 474
- 28 《混凝土防冻剂》 JC/T 475
- 29 《混凝土和砂浆用天然沸石粉》 JG/T 3048

中华人民共和国行业标准

再生混凝土结构技术标准

**JGJ/T 443 - 2018**

条文说明

## 编制说明

《再生混凝土结构技术标准》JGJ/T 443-2018，经住房和城乡建设部 2018 年 12 月 18 日以第 321 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，先后开展了材料基本力学性能、冻融性能、碳化性能、热工性能、钢筋与再生混凝土粘结-滑移性能，以及构件和结构的受力性能、抗震性能、抗火性能、氯离子侵蚀后性能、荷载长期作用下徐变性能试验、理论与关键技术等系列专题研究，并进行了工程实践。在此基础上，充分考虑了与国家现行标准关于混凝土房屋结构的设计、施工及验收规定的协调，根据再生粗骨料等级和取代率，综合分析给出了再生混凝土强度折减系数及荷载长期作用下再生混凝土裂缝、变形附加增大系数，使规定的再生混凝土结构设计方法与普通混凝土结构相统一。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《再生混凝土结构技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及在执行中需要注意的有关事项等进行了解释和说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

## 目 次

1	总则	34
2	术语和符号	35
2.1	术语	35
2.2	符号	36
3	基本规定	37
3.1	一般规定	37
3.2	材料	40
3.3	再生混凝土保护层	43
3.4	伸缩缝	44
3.5	结构构件	44
4	再生混凝土配合比设计	46
4.2	配合比设计	46
5	承载能力极限状态计算	47
6	正常使用极限状态验算	49
7	多层和高层再生混凝土房屋	50
7.1	一般规定	50
7.2	构造措施	50
8	低层再生混凝土房屋	53
8.1	一般规定	53
8.2	基本构造要求	54
8.3	单排配筋剪力墙	54
8.4	装配式单排配筋剪力墙	57
9	施工及质量验收	60
9.1	制备和运输	60
9.2	浇筑、振捣和养护	60

## 1 总 则

**1.0.1** 城乡建设的快速发展，需要大量的建筑材料，一方面大量的砂石骨料被不断开采，天然骨料资源日益枯竭；另一方面因城市规划需要和旧建筑的超龄，越来越多的房屋将被拆除，必须尽快解决建筑垃圾资源化问题。在拆除的混凝土结构房屋和其他结构房屋的建筑垃圾中，废旧混凝土占较大的比例。为加快废旧混凝土的利用并实现其资源化，亟须再生混凝土骨料在建筑结构混凝土构件中的应用技术。制定《再生混凝土结构技术标准》，对推进再生混凝土在房屋建筑结构中的应用，缓解大量天然砂石开采带来的环境恶化，促进建筑材料资源的可持续发展极其重要。

**1.0.2** 本标准仅适用于掺用再生粗骨料的再生混凝土房屋的设计、施工及验收。本标准规定的再生混凝土指配制过程中只掺用再生粗骨料的混凝土，一方面考虑了再生粗骨料质量相对再生细骨料易于控制，另一方面考虑了再生细骨料可用于制备再生砖、再生空心砌块和再生砂浆等，同样可达到废弃混凝土资源化利用的目的。



## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.1** 再生骨料混凝土，与现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的定义“掺用再生骨料配制而成的混凝土”一致，同时规定本标准指仅掺用再生粗骨料配制而成的混凝土，并简称再生混凝土。

**2.1.2** 混凝土用再生粗骨料，与现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的定义“由建（构）筑废弃物中的混凝土、砂浆、石、砖瓦等加工而成，用于配制混凝土的、粒径大于 4.75mm 的颗粒”相符合，但考虑砖瓦强度较低，本标准未包含建（构）筑废弃物中的砖瓦。

**2.1.3** 再生混凝土结构，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对混凝土结构的定义“以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等”相统一。

**2.1.4** 再生混凝土构件，与再生混凝土结构的定义相对应。

**2.1.5** 再生粗骨料取代率，与现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的定义“再生骨料混凝土中再生粗骨料用量占粗骨料总用量的质量百分比”相符合，其中“再生骨料混凝土”，改用本标准第 2.1.1 条的“再生混凝土”。

**2.1.6** 附加用水量，与现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 中“吸水率”的定义“混凝土用再生粗骨料饱和面干状态时所含水的质量占绝干状态质量的百分数”相符合，其中，再生粗骨料饱和面干状态时所含水的质量即为附加用水量。

## 2.2 符 号

符号主要是根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 给出的。定义了再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$ ， $\alpha_s$  取值由再生粗骨料取代率确定。试验分析表明，荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝附加增大系数和变形附加增大系数相差不大，故定义了荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数  $\alpha_l$ ，包括荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝附加增大系数  $\alpha_{l1}$ 、荷载长期作用下再生混凝土构件变形附加增大系数  $\alpha_{l2}$ 。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

**3.1.1** 再生混凝土与普通混凝土的主要区别在于混凝土部分或全部粗骨料用再生粗骨料取代，由于再生粗骨料界面特征与天然石子有明显差异，要保证混凝土的质量，首先要保证再生粗骨料的质量。规定再生粗骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的规定，对保证再生粗骨料的质量是非常必要的。

**3.1.2** I类再生粗骨料性能与天然石子基本一致，利用 I类再生粗骨料可制备现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的各种强度等级的混凝土。编制组利用 II类、III类再生粗骨料，粗骨料取代率为 30%~100%，制备了 C15~C70 的再生混凝土，本条规定再生混凝土的强度等级宜选用 C15，C20，C25，C30，C35，C40，C45，C50。现行国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 规定：合理采用高强建筑结构材料，其中混凝土结构中混凝土竖向承重结构采用强度等级不小于 C50 混凝土用量占竖向承重结构中混凝土总量的比例达到 50%时得 10 分（该项评价总分为 10 分）。编制组进行了系列的再生混凝土构件及结构的受力性能及抗震性能试验，以及再生混凝土梁、柱构件徐变性能试验，再生混凝土冻融及碳化性能试验，钢筋与再生混凝土粘结-滑移性能试验，氯离子侵蚀后钢筋与再生混凝土粘结-滑移性能试验，再生混凝土柱、筒体、板构件抗火性能试验等，这些试验的再生混凝土强度等级包括 C50~C70 的高强再生混凝土。

**3.1.3** 本条对预应力再生混凝土构件做了规定。规定 I类再生粗骨料可用于任何预应力混凝土结构构件。规定 II类、III类再生

粗骨料可用于跨度不大于 6m 的有粘结预应力混凝土楼板、屋面板和梁，不得用于其他预应力混凝土构件，主要考虑了相关研究的成熟程度。目前，预制装配式预应力楼板和屋面板、预制装配式预应力叠合楼板和屋面板的应用已较为普遍，再生混凝土装配式预制楼板和屋面板的推广应用，量大面广，且工厂生产易于保证质量。

**3.1.4** 本标准规定的房屋结构，除与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的“多层和高层混凝土房屋”相应的“多层和高层再生混凝土房屋”外，还规定了“低层再生混凝土房屋”，村镇建筑大多数为低层建筑，村镇建筑量大面广，将再生混凝土用于村镇建筑可较大程度地推进建筑垃圾废弃混凝土的资源化。在确保再生混凝土结构安全的前提下，本标准按照多层和高层房屋、低层房屋，有区别地采用再生粗骨料取代率。规定再生粗骨料取代率不低于 30% 与现行国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 相关规定有关。编制组进行了试验研究，表明采用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨且再生粗骨料取代率为 30%~100% 的再生混凝土基本构件工作性能和相同强度等级的普通混凝土构件接近。基于此，多层及高层再生混凝土房屋采用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料时其取代率宜为 30%~50%，低层再生混凝土房屋再生粗骨料取代率宜为 50%~100%。同时规定了所有再生混凝土房屋采用Ⅰ类再生粗骨料时其取代率宜为 50%~100%。

**3.1.5** 编制组的试验表明，再生混凝土构件的徐变比普通混凝土构件略大，再生粗骨料取代率是影响再生混凝土构件徐变的关键因素，设计中应综合考虑荷载长期作用下同一楼层同类构件变形的均匀性和承载力需求，施工中应考虑同一楼层同类构件采用同类混凝土便于施工。本条规定要求：（1）各楼层可全部采用再生混凝土构件，也可下部楼层采用普通混凝土构件、上部楼层采用再生混凝土构件，各楼层可根据实际需要选择采用普通混凝土或再生混凝土；（2）区分水平构件板、水平构件梁、竖向构件



柱、竖向构件剪力墙四类构件，规定同一楼层同类构件应采用同类混凝土，主要考虑：水平构件与竖向构件受力状态不同；水平构件板多数为工厂预制的楼板和屋面板，限于水平构件板的厚度，所掺用粗骨料最大粒径通常小于梁，水平构件板采用的混凝土强度等级也可以与梁不同，所以水平构件区分了板和梁；竖向构件柱、竖向构件剪力墙，虽同是竖向构件，但墙与柱的轴向应力不同，应允许采用不同的再生粗骨料取代率；（3）同一楼层中同类再生混凝土构件，应采用同类再生粗骨料和相同配合比的再生混凝土，便于施工。

**3.1.6** 现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 有关再生粗骨料的技术要求适用于本标准，但规定的采用Ⅱ类再生粗骨料可配置的再生混凝土强度等级限值为 C40 不适用本标准。编制组采用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料制备了 C50~C70 的高强再生混凝土，并开展了材料和构件的受力性能试验，为本标准规定采用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料可配置不宜高于 C50 的再生混凝土提供了依据。C50 及以下再生混凝土的应用，既可满足现行国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378 对绿色建筑评价的要求，又可满足绝大多数房屋结构的设计需要。

**3.1.7** 本条规定将再生混凝土房屋结构和普通混凝土房屋结构的荷载取值、荷载标准值计算依据、结构的作用及作用组合相统一，均应符合国家现行标准的相关规定。

**3.1.8** 在本标准第 3.1.7 条规定的基础上，本条进一步将再生混凝土房屋和普通混凝土房屋建筑的结构分析方法相统一，便于设计应用。

**3.1.9** 本条规定将再生混凝土房屋抗震设防的分类与标准与普通混凝土房屋相统一。

**3.1.10** 本条规定将再生混凝土房屋设计应遵循的主要标准规范与普通混凝土房屋设计的主要标准规范相统一，包括现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定。在国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高层建筑混凝土

结构技术规程》JGJ 3 规定中，没有涉及低层再生混凝土房屋的设计要求，本标准则作为重点提出相关规定。

## 3.2 材 料

**3.2.1** 现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定：钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25；预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。编制组试验研究表明，在合理的再生粗骨料取代率下，钢筋与再生混凝土的粘结性能和钢筋与普通混凝土的粘结性能接近。偏于安全考虑，为确保钢筋与再生混凝土共同工作性能，本条规定的钢筋再生混凝土结构的再生混凝土强度等级和预应力再生混凝土的混凝土强度等级要求有所提高。

**3.2.2** 编制组进行了再生混凝土材料制备及性能试验，表明再生混凝土强度等级的确定方法与普通混凝土强度等级的确定方法及标准可相统一，也便于应用。

**3.2.3** 由于Ⅰ类再生粗骨料与天然粗骨料的各项性能指标基本相同，本条规定了仅掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土强度可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定取值，且构件受力和变形计算中再生混凝土强度不折减。

**3.2.4** 研究和设计实践表明，再生混凝土构件承载力计算方法与公式宜与普通混凝土构件承载力计算方法与公式相统一。本条规定将再生混凝土构件承载力计算方法与公式和普通混凝土相统一，并规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料再生混凝土的轴心抗压强度标准值、轴心抗拉强度标准值、轴心抗压强度设计值、轴心抗拉强度设计值的确定方法，即采用按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值乘以再生混凝土强度折减系数  $\alpha_c$  的方法。编制组的原型试件试验表明，不同再生粗骨料取代率和不同受力条件下，各类再生混凝土构件的承载力与相同强度等级的普通混凝土构件承载力基本相同，影响的关键因素也主要是再生



粗骨料取代率。

**3.2.5** 根据试验和分析,本条规定对于掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料制备的再生混凝土,当再生粗骨料取代率为30%时 $\alpha_s$ 取0.95,当再生粗骨料取代率为100%时 $\alpha_s$ 取0.85,当再生粗骨料取代率介于30%和100%之间时可用线性内插法确定 $\alpha_s$ 的取值。这里,考虑了再生粗骨料取代率为0时 $\alpha_s$ 应为1.0,同时综合分析确定了再生粗骨料取代率为100%时 $\alpha_s$ 为0.85,线性插值得到再生粗骨料取代率为30%时 $\alpha_s$ 为0.955,近似取 $\alpha_s$ 为0.95。再生混凝土构件承载能力极限状态计算时,将再生混凝土强度的标准值和设计值按规定乘以折减系数 $\alpha_s$ 之后,可直接用普通混凝土构件的承载力计算方法与公式进行计算,简化了再生混凝土结构构件的设计,便于工程设计人员应用。

**3.2.6** 编制组较系统地进行了再生混凝土基本力学性能试验。综合分析编制组试验和国内外相关试验研究,规定了再生混凝土弹性模量的确定方法。由于Ⅰ类再生粗骨料与天然粗骨料性能基本一致,本条规定了掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土,其受压和受拉弹性模量 $E_c$ 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010采用。同时规定,掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土的受压和受拉弹性模量 $E_c$ 宜通过试验确定;当缺乏试验资料时,给出了再生粗骨料取代率为30%、100%时再生混凝土弹性模量值,表3.2.6中数据是综合分析并简化后给出的。表3.2.6中,再生粗骨料取代率为30%时再生混凝土弹性模量为相应普通混凝土的0.90倍,再生粗骨料取代率为50%时再生混凝土弹性模量为相应普通混凝土的0.87倍,再生粗骨料取代率为100%时再生混凝土弹性模量为相应普通混凝土的0.80倍。按照本标准第3.1.4条的规定,多层和高层再生混凝土房屋的再生粗骨料取代率宜为30%~50%,再生混凝土弹性模量为相应普通混凝土的0.90倍~0.87倍;低层再生混凝土房屋的再生粗骨料取代率宜为50%~100%,再生混凝土弹性模量约为相应普通混凝土的0.87倍~0.80倍。

**3.2.7** 试验表明,再生混凝土的剪切变形模量和弹性模量的量值关系与普通混凝土接近,泊松比也接近。故规定了再生混凝土的剪切变形模量  $G_c$  可按相应弹性模量值的 40% 采用,再生混凝土泊松比  $\nu_c$  可按 0.2 采用。

**3.2.8** 研究表明,再生粗骨料混凝土在温度作用下的性能与普通混凝土差异不大。故规定了再生混凝土的温度线膨胀系数、比热容和导热系数宜通过试验确定。当缺乏试验条件或技术资料时,可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《民用建筑热工设计规范》GB 50176 取值。

**3.2.9** 本条规定,将再生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的内容与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定相统一。

**3.2.10** I 类再生粗骨料与天然粗骨料性能基本一致,本条规定了掺用 I 类再生粗骨料的再生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。

**3.2.11、3.2.12** 规定了掺用 II 类、III 类再生粗骨料的再生混凝土结构适宜的环境类别及设计使用年限;规定再生混凝土结构及构件设计使用年限不应超过 50 年,这与目前房屋结构设计使用年限一致;强调再生混凝土结构宜在一类、二类环境中应用,不得在四类、五类环境中应用;编制组试验表明,140mm 厚的再生混凝土剪力墙抗震性能比 240mm 厚的传统砖墙承载力、延性和抗震耗能能力均大幅度提高,因此,对于主要用于村镇住宅的低层再生混凝土房屋结构,规定其可用于三类环境。同时规定,再生混凝土结构及构件应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》GB 50010 的规定。

**3.2.13** 规定掺用 II 类、III 类再生粗骨料的再生混凝土,其再生混凝土材料的耐久性基本要求宜符合表 3.2.13 规定。表 3.2.13 的规定与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2010 (2015 年版) 对应的表 3.5.3 的规定相比仅是最低混凝土强度等级大了一级,有利于提高再生混凝土结构的耐久性。

表 3.2.13 注的第 2 款规定“预应力构件最低再生混凝土强度等级宜按表中的规定提高一个等级”，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 年版）对应的表 3.5.3 注的第二款规定的“预应力构件最低混凝土强度等级宜按表中的规定提高两个等级”相比，考虑了本标准再生混凝土最大强度等级为 C50。

**3.2.14** 编制组试验研究表明，再生粗骨料混凝土构件的钢筋与再生混凝土共同工作性能与普通混凝土构件基本相同；本条对再生混凝土结构用钢筋作了规定，并将再生混凝土结构对钢筋性能的要求与普通混凝土结构对钢筋性能的要求相统一。

### 3.3 再生混凝土保护层

**3.3.1** 由于Ⅰ类再生粗骨料与天然粗骨料的各项性能指标基本相同，本条规定了掺用Ⅰ类再生粗骨料的再生混凝土构件中混凝土保护层厚度应与普通混凝土结构一致。

**3.3.2** 规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土构件钢筋保护层最小厚度，并遵循了与普通混凝土构件混凝土最小保护层厚度相等或略有增大的原则，以保证再生混凝土构件与普通混凝土构件同时应用时二者配筋构造设计协调，并且通过提升再生混凝土品质的方法保证耐久性的要求。本条第 1 款的规定与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定一致。本条第 2 款规定，设计使用年限为 50 年的再生混凝土结构，当再生粗骨料取代率不大于 50% 时最外层钢筋的保护层厚度与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定一致；当再生粗骨料取代率大于 50% 时最外层钢筋的保护层厚度，对于一类、二类环境与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定一致，对于三类环境比现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定增加 5mm 且保护层不超过 50mm，以防止混凝土开裂。本标准规定多层和高层混凝土房屋再生粗骨料取代率宜为 30%~50%，低层混凝土房屋再生粗骨



料取代率宜为 50%~100%。低层房屋主要为单排配筋再生混凝土剪力墙住宅结构,而单排配筋剪力墙钢筋的保护层厚度较大,所以设计中绝大多数的再生混凝土构件钢筋保护层最小厚度要求与普通混凝土一致。表 3.3.2 中环境类别与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定一致。

### 3.4 伸 缩 缝

**3.4.2** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土结构,虽再生混凝土比普通混凝土收缩变形略大,但在粗骨料取代率不大于 50%的情况下,对结构伸缩缝最大间距的要求宜与普通混凝土结构一致。本标准规定了多层和高层再生混凝土房屋再生粗骨料取代率宜为 30%~50%,这种情况下多层和高层钢筋再生混凝土结构伸缩缝的最大间距要求与普通混凝土结构一致;同时,考虑今后发展,规定了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。

### 3.5 结 构 构 件

**3.5.2** 编制组进行了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的不同再生粗骨料取代率的钢筋与再生混凝土粘结-滑移性能试验,结果表明:采用再生粗骨料混凝土且再生粗骨料取代率分别为 33%、66%、100%的试件,其粘结强度与普通混凝土没有明显差异,没有必要将再生混凝土构件钢筋的锚固长度加长,此外不同再生粗骨料取代率的再生混凝土强度设计值乘以折减系数  $\alpha_s$  后锚固钢筋长度也略有加长。本条规定将再生混凝土构件和普通混凝土构件受拉钢筋的锚固构造要求及锚固长度计算方法相统一,均应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。再生混凝土构件的钢筋连接方式,关系钢筋自身受力的可靠性,编制组研究表明,再生混凝土构件和普通混凝土构件钢筋的连接方式可以相同,本条将再生混凝土结构中受力钢筋的连接与普通混凝土结构相统一。

**3.5.3** 研究表明,再生混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋率要求可与普通混凝土构件要求相同,均应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定。

**3.5.4** 编制组进行了各类再生混凝土构件受力性能试验,以此为基础并参考国内外再生混凝土构件受力性能研究资料,规定了再生混凝土板、梁、柱、梁柱节点、牛腿、墙、叠合构件、预埋件及连接件的设计,可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定执行,同时设计计算中应考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$ 。本条规定将再生混凝土构件与普通混凝土构件的设计方法相统一,便于推广应用。

**3.5.5** 混凝土预应力楼板、屋面板和梁在房屋结构中应用较为广泛。本条规定了有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁的设计方法,考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$  后,与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定相统一。

**3.5.6** 编制组试验表明,混凝土强度等级相同的再生混凝土构件与普通混凝土构件的受力性能非常接近,钢筋与再生混凝土的粘结强度和钢筋与普通混凝土的粘结强度也很接近,再生混凝土构件在工厂预制更有利于保证质量。本条规定了装配式、装配整体式再生混凝土结构中各类预制构件及连接构造的设计、生产与施工要求,考虑再生混凝土强度折减系数  $\alpha_s$  后,与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相关规定相统一,有利于装配式再生混凝土结构与装配式普通混凝土结构的协同发展。

## 4 再生混凝土配合比设计

### 4.2 配合比设计

**4.2.2** 本条规定了再生混凝土配合比设计尚应符合的其他规定，包括：再生混凝土应采用质量法进行配合比计算，总用水量应为净用水量和附加用水量之和，净用水量宜根据坍落度和粗骨料最大粒径按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定。附加用水量应采用再生粗骨料饱和面干吸水量，再生混凝土的总用水量中当再生粗骨料采用预湿处理后可不考虑附加用水量。附加用水量蕴藏在再生粗骨料内部，对再生混凝土的工作性能不起作用，净用水量才是影响再生混凝土的最主要因素。净用水量的确定，宜先根据坍落度和粗骨料最大粒径按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定单位体积混凝土参考用水量，在此基础上适当调整。进行再生混凝土配合比计算时应以饱和面干骨料为基准，如需以自然含水状态骨料为基准进行计算时则应进行相应的修正，这些规定经过了大量试配研究。

**4.2.3** 编制组研究结果表明，在胶凝材料固定条件下，再生粗骨料吸水率越大、取代率越高，再生混凝土的强度越低，如果采用净水胶比计算再生混凝土的强度，其误差可高达 35%；如果采用总水胶比计算再生混凝土强度，其试配误差一般小于 10%，可见附加水胶比（总水胶比减净水胶比）可以很好地折减再生骨料品质缺陷对混凝土强度的影响。再生粗骨料的品质划分的主要依据之一是再生粗骨料的吸水率，吸水率可以反映出再生骨料表面粘附老砂浆的多少和老界面的情况。采用总水胶比计算再生混凝土的强度，实现了与现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 相关计算方法相统一。



## 5 承载能力极限状态计算

**5.0.2** 本条规定为基本规定，并与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015年版）第6.1.3条规定的“应根据设计状况和构件性能设计目标确定混凝土和钢筋的强度取值；钢筋应力不应大于钢筋的强度取值；混凝土应力不应大于混凝土强度取值”相统一。同时规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土结构构件承载能力极限状态计算时“再生混凝土应力不应大于再生混凝土强度取值乘以折减系数 $\alpha_s$ ”。

**5.0.3** 编制组试验表明，再生混凝土应力-应变全曲线形态与普通混凝土接近。本条规定了再生混凝土单轴应力-应变本构关系确定方法。规定掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的再生混凝土单轴应力-应变本构关系宜通过试验确定；缺乏试验资料时，可近似按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010相关条文确定再生混凝土单轴应力-应变本构关系，但弹性模量、强度需要按本标准规定的方法折减。

**5.0.4** 综合分析国内外相关研究，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、局部受压承载力计算，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010相关规定执行，但相应计算公式中再生混凝土强度应乘以折减系数 $\alpha_s$ 。考虑再生混凝土强度折减后，本条规定将再生混凝土结构构件承载力计算方法与普通混凝土结构构件相统一。

**5.0.5** 本条规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的有粘结预应力再生混凝土楼板、屋面板和梁的设计，应进行承载力计算，并应对施工阶段进行验算，考虑对再生混凝土的强度和弹性模量折减

后，其承载力计算和施工阶段验算方法与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的有粘结预应力普通混凝土楼板、屋面板和梁相统一。

## 6 正常使用极限状态验算

**6.0.2** 编制组研制了梁徐变性能试验的二次杠杆加载装置,进行了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料且再生粗骨料取代率分别为33%、66%、100%的截面高300mm、截面宽200mm、净跨3000mm的再生混凝土梁和普通混凝土梁荷载长期作用下的受弯性能比较试验;编制组还进行了再生混凝土梁的徐变性能试验,试验表明,再生混凝土梁的徐变挠度增大系数与普通混凝土梁的徐变挠度增大系数比值小于1.1,相应正截面裂缝的宽度也近似与挠度成比例变化。研究表明,荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝附加增大系数和荷载长期作用下再生混凝土构件变形附加增大系数是相关的、接近的,但不一定相等,为了简化计算分析,本标准定义了荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数 $\alpha_0$ ,这一定义将荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数统一化,并统一用 $\alpha_0$ 表示, $\alpha_0$ 取值的确定方法也一致。

**6.0.3** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的混凝土受弯构件,再生粗骨料取代率为0时 $\alpha_0$ 应为1.00,再生粗骨料取代率为30%时 $\alpha_0$ 取1.03,再生粗骨料取代率为100%时 $\alpha_0$ 取1.10,三者符合线性变化规律,再生粗骨料取代率介于30%和100%之间时 $\alpha_0$ 取值可按线性内插法取用。

**6.0.4~6.0.7** 掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的钢筋再生混凝土和预应力再生混凝土构件,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及受弯构件考虑荷载长期作用影响的挠度验算,考虑再生混凝土强度折减系数 $\alpha_s$ 和荷载长期作用下再生混凝土构件裂缝、变形附加增大系数 $\alpha_0$ 后,验算方法与普通钢筋混凝土和预应力混凝土构件相统一。

## 7 多层和高层再生混凝土房屋

### 7.1 一般规定

**7.1.2** 本条规定与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 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  $2/3$ 。

**7.1.4** 本条规定与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 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本标准第 7.1.2 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  $2/3$ ，这与本标准表 7.1.2 规定协调。

**7.1.5** 抗震试验研究明，再生混凝土柱、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结构接近，本条将再生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。

### 7.2 构造措施

**7.2.2** 考虑结构构件受力要求，钢筋与再生混凝土必须有良好的粘结性能。规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的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》GB



50010-2010 (2015 年版) 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, 以及与本标准第 3.2.1 条规定的钢筋再生混凝土结构混凝土强度等级不应低于 C25、采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时不应低于 C30 的要求相比, 对再生混凝土强度等级的要求有所提高。本标准第 3.2.1 条规定的“预应力再生混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40, 且不应低于 C35”仍适用。

**7.2.3** 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》GB 50011 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。

**7.2.4** 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。规定了掺用Ⅱ类、Ⅲ类再生粗骨料的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》GB 50011-2010 (2016 年版) 表 6.3.6 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。同时规定, 建造于Ⅳ类场地的高层建筑, 柱轴压比限值应适当减小。当为异形柱框架时, 框架柱的轴压比限值应降低 0.05 采用。

**7.2.5** 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限值, 与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 (2016 年版) 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。



## 8 低层再生混凝土房屋

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 编制组进行了再生粗骨料取代率为 50%~100% 的再生混凝土框架、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。低层再生混凝土结构中,增大再生粗骨料的取代率,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。

**8.1.2** 编制组进行了单排配筋混凝土剪力墙抗震性能试验研究,表明单排配筋再生混凝土剪力墙结构非常适于建造村镇低层住宅。试验表明,140mm 厚的再生粗骨料取代率为 50%~100% 的再生混凝土剪力墙比传统 240mm 厚的砖墙抗震性能大幅度提高。本条规定了低层再生混凝土房屋剪力墙结构可采用单排配筋剪力墙结构。村镇建筑多数为三层及三层以下的低层住宅,量大面广。低层剪力墙住宅结构的墙体较薄,相同建筑面积下使用面积增大,较薄的混凝土墙体采用单排配筋比双排配筋施工简便且抗震性能良好。

**8.1.3** 编制组进行过钢筋混凝土多层异形柱框架结构及异形柱的抗震性能试验研究,异形柱截面肢厚 150mm,肢高与肢厚比为 4,经合理设计可满足 8 度烈度区异形柱结构设计要求。规定掺用 II 类、III 类再生粗骨料的低层再生混凝土异形柱框架结构异形柱截面肢厚不宜小于 140mm、肢高与肢厚比不宜小于 3,可满足抗震要求。

**8.1.4** 本条规定了低层再生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,应符合相应的计算和构造规定,并规定了低层再生混凝土房

屋丙类建筑的抗震等级应按表 8.1.4 采用。与本标准的表 7.1.4 丙类建筑多层和高层再生混凝土房屋的抗震等级相比,表 8.1.4 没有框架-核心筒结构且抗震等级没有一级。

## 8.2 基本构造要求

**8.2.1** 低层住宅单排配筋剪力墙厚度为 140mm 时,剪力墙连梁截面宽度也为 140mm;同样,考虑梁截面宽度与剪力墙厚度相等时,便于建筑设计中室内不出楞,同时考虑建筑设计和结构设计要求,规定了梁的截面宽度不宜小于 140mm。为防止梁剪切破坏,规定了梁的净跨与截面高度之比不宜小于 4。

**8.2.2、8.2.3** 与本标准对多层和高层再生混凝土框架柱截面尺寸相比,低层再生混凝土框架柱截面的尺寸减小;再生混凝土异形柱框架适宜低层住宅设计,规定了异形柱截面尺寸要求,并规定异形柱设计应符合《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的规定;无论是矩形柱还是异形柱,规定柱剪跨比宜大于 2,目的是防止柱剪切破坏。

**8.2.4、8.2.5** 本条规定低层再生混凝土结构剪力墙宜设置端柱或翼墙,并且规定低层再生混凝土剪力墙厚度构造要求,以防止剪力墙平面外破坏,同时可提高剪力墙的抗震性能。

## 8.3 单排配筋剪力墙

**8.3.1** 编制组进行了空腔聚苯模块单排配筋再生混凝土剪力墙原型试件抗震性能试验研究,试件混凝土剪力墙厚度 130mm,空腔聚苯模块两侧壁厚各 60mm,每侧抹灰各 20mm,复合墙体总厚 290mm。结构表明,复合剪力墙具有良好的抗震性能,单排配筋剪力墙聚苯模块和面层砂浆的存在可显著提高剪力墙的抗震能力。按照本条规定,外墙宜采用外侧保温的板式模块或内外两侧保温的空腔式模块单排配筋再生混凝土剪力墙,内墙为户内墙体对保温性能要求低于外墙,内墙可采用普通单排配筋再生混凝土剪力墙。目前用得较多的保温模块是板式聚苯保温模块和聚

苯保温空腔模块。住房和城乡建设部 2017 年 5 月发布了《聚苯模块保温墙体应用技术规程》JGJ/T 420。本条规定了聚苯保温模块或聚苯保温空腔模块再生混凝土墙体的保温构造设计，可参照现行行业标准《聚苯模块保温墙体应用技术规程》JGJ/T 420 执行。

**8.3.2** 根据编制组完成的聚苯空腔模块单排配筋再生混凝土剪力墙抗震性能试验，本应考虑聚苯模块和面层砂浆对承载力和抗震能力的贡献。规定聚苯模块单排配筋再生混凝土剪力墙在抗震承载力验算时可不考虑聚苯模块及其面层砂浆复合层的作用，仍按低层单排配筋再生混凝土剪力墙自身进行抗震验算，而将聚苯模块及其面层砂浆复合层的抗震能力作为安全储备，是偏于安全的。本条规定主要基于两方面考虑：一方面，低层住宅单排配筋再生混凝土剪力墙比传统砖房抗震承载力、延性和抗震耗能能力大幅度提高，自身就有足够的承载力，从满足抗震设计的角度没有必要再考虑聚苯模块和面层砂浆的贡献；另一方面，影响面层砂浆施工质量的因素较多。

**8.3.3** 编制组进行了不同类型边缘构件的单排配筋剪力墙抗震性能比较试验，边缘构件包括竖向构造钢筋、三角形暗柱、矩形暗柱等，基于试验和分析，遵循安全、简单、实用得原则，提出了低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙端部和洞口两侧构造措施，与多层和高层再生混凝土房屋相关要求相比，简化了构造，方便了施工，其构造的可靠性和安全性均已得到了相应抗震性能试验的验证。低层房屋单排配筋剪力墙两端和门窗洞口两侧构造边缘构件示意图 1。

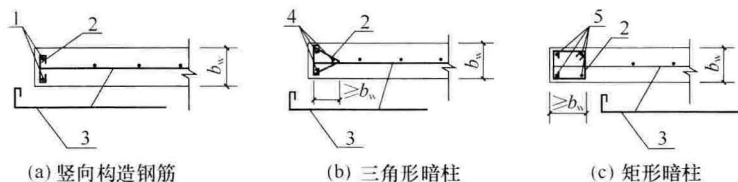


图 1 单排配筋剪力墙两端和门窗洞口两侧的构造边缘构件

1— $2\phi 12$ ；2— $\phi 6@150$ ；3—水平钢筋分别向两侧弯折交错布置；4— $3\phi 10$ ；5— $4\phi 10$



**8.3.4** 编制组进行了系列单排配筋剪力墙与另一方向的单排配筋剪力墙节点构造可靠性的抗震性能试验,包括 L 形连接节点构造、T 形连接节点构造、十字形连接节点构造的剪力墙试件,每种连接节点构造试件又分为工程轴方向、与工程轴呈  $45^\circ$  方向施加低周反复荷载两种加载方向,较好反映了不同方向地震作用下对剪力墙节点构造的抗震需求。试件节点设计仅采用了简单的构造钢筋方式,节点位置均未设置暗柱,试验表明,所有试件均未发生节点破坏,而是发生了墙体的损伤破坏。本条规定,大大简化了低层房屋单排配筋剪力墙 L 形节点、T 形节点、十字形节点的连接构造,其构造的可靠性和安全性得到了相应抗震性能试验的验证。

**8.3.5** 多数情况下低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与楼板连接时,对剪力墙的配筋不需要加强。设计中不需要加强时可不加强,需要加强时可按本条规定采用增设竖向短钢筋的方法加强,该加强构造措施比采用双排配筋加强的构造对较薄墙体容易实施。

**8.3.6** 多数情况下低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与屋面板连接时,对剪力墙的配筋不需要加强。当需要加强时,可按本条规定采用增设弯折短钢筋的方法加强。规定弯折短钢筋伸入剪力墙及屋面板的长度要求,目的是加强它们共同工作的性能。

**8.3.7** 工程中单排配筋剪力墙和双排配筋剪力墙可以根据受力需要灵活采用,低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与另一方向的双排配筋剪力墙相连时,二者的连接节点应有简便可靠的构造,本条规定了单排配筋剪力墙水平分布钢筋与双排配筋剪力墙连接的构造要求。

**8.3.8** 工程中有时会遇到单排配筋再生混凝土剪力墙与边框柱连接的情况,其节点连接应采取简便可靠的构造,本条规定了低层房屋单排配筋再生混凝土剪力墙与边框柱连接的构造要求,连接构造示意图 2。

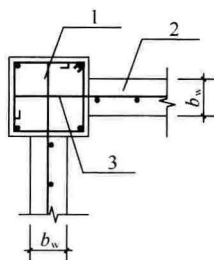


图2 单排配筋剪力墙与边框柱的连接构造

1—边框柱；2—剪力墙；3—剪力墙钢筋深入柱内锚固

**8.3.9** 针对工程中常遇到的单排配筋再生混凝土剪力墙与非顶层边框梁的连接、与顶层带单侧屋面板边框梁的连接、与顶层带两侧屋面板边框梁的连接特点，区分情况规定了连接节点的构造要求，其中单排配筋剪力墙与顶部单侧楼板边框梁的连接构造示意图3。

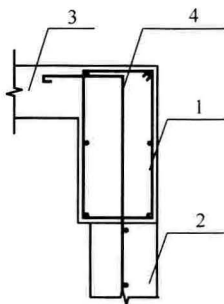


图3 单排配筋剪力墙与顶部单侧楼板边框梁的连接构造

1—边框梁；2—剪力墙；3—楼板；4—水平钢筋向内侧弯折

## 8.4 装配式单排配筋剪力墙

**8.4.1~8.4.3** 编制组进行了28个工字形截面140mm墙厚不同连接构造的装配式与现浇式单排配筋再生混凝土剪力墙抗震性能比较试验，以及系列不同设计参数的钢筋与剪力墙构造钢筋约束

预留圆孔浆锚连接试件的工作性能试验。预制剪力墙装配连接构造分为两种：第一种是上下层预制剪力墙节点连接全部采用构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接，同层预制剪力墙节点连接全部装配；第二种是上下层预制剪力墙节点连接全部采用构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接，同层预制剪力墙节点连接在  $140\text{mm} \times 140\text{mm}$  节点区域设置构造柱现浇连接。装配式单排配筋剪力墙试件的连接构造：上下层预制剪力墙水平和竖向单排钢筋直径相等，钢筋直径分 8mm、10mm、12mm 三种；上下层预制剪力墙竖向分布钢筋错位布置，错位距离为竖向分布钢筋间距的 0.5 倍，即上层剪力墙预留圆孔位置在竖向分布钢筋之间；上层剪力墙连接区域预留圆孔直径为 50mm，预留圆孔的高度比墙体厚度 140mm 高 25mm，即下层剪力墙竖向钢筋伸入上层剪力墙预留圆孔的高度为 165mm；下层剪力墙竖向连接钢筋采用了墩头钢筋，墩头直径为 1.5 倍钢筋直径，墩头高度为 0.5 倍钢筋直径；上层预制剪力墙预留圆孔高度范围加 50mm 为预留圆孔构造钢筋约束区，构造钢筋约束区采用间距 50mm、直径 6mm 的双排分布钢筋代替了单排水平分布钢筋，在预留圆孔两侧 20mm 用直径 4mm 的箍筋约束双排水平分布钢筋；上下层预制剪力墙装配时，接缝处采用 20mm 的灌浆料坐浆，下层预制剪力墙竖向受力墩头钢筋插入上层剪力墙预留圆孔后用灌浆锚固。系列试验表明：由于所采用的灌浆料的强度明显大于剪力墙混凝土强度，墩头钢筋与预留圆孔内的灌浆料圆柱可牢靠地连接在一起；灌浆料形成的圆柱周边与预留圆孔接触的粘结面积远远大于墩头钢筋与灌浆料圆柱接触的面积，故灌浆料圆柱与预留圆孔粘结力显著大于钢筋与灌浆料圆柱粘结力；墩头钢筋锚固长度仅为墙体厚度加 25mm 的条件下，墩头钢筋与灌浆料圆柱锚固性能试件的拉拔试验结果为墩头钢筋拉断破坏；上下预制剪力墙连接区域可有效地传递水平剪力且竖向受力钢筋连接性能可靠。本标准规定的装配式单排配筋再生混凝土剪力墙构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接构造简便，受力可靠，并得到了系列试验验证。上下预制



剪力墙构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接构造示意图 4。

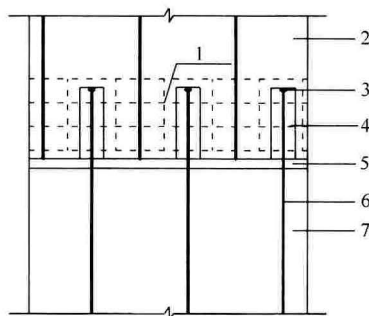


图 4 上下预制剪力墙构造钢筋约束预留圆孔浆锚搭接连接构造

1—钢筋笼；2—上层墙体；3—钢筋墩头；4—预留孔灌浆；

5—坐浆层；6—竖向钢筋；7—下层墙体

试验研究表明：装配式单排配筋再生混凝土剪力墙与同条件下现浇单排配筋再生混凝土剪力墙相比，承载力为现浇剪力墙的 90% 以上，同层预制剪力墙节点连接在  $140\text{mm} \times 140\text{mm}$  节点区域设置构造柱现浇的装配式剪力墙抗震延性好于同条件下的现浇剪力墙。实际工程中，低层单排配筋剪力墙结构的承载力显著高于传统的砖房结构，抗震承载力容易满足设计要求。

## 9 施工及质量验收

### 9.1 制备和运输

**9.1.1、9.1.2** 研究和工程实践表明，再生混凝土的制备对综合技术要求较高，鉴于其在搅拌、运输等环节上与天然骨料混凝土要求相同，宜采用预拌方式生产，因此对再生混凝土的制备和运输要求满足现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 中规定即可。

**9.1.3、9.1.4** 研究和工程实践表明，再生混凝土的搅拌设备与普通混凝土搅拌设备相同。由于再生粗骨料表面粗糙，棱角较多且吸水率较高，适当延长搅拌时间可增强和易性。

**9.1.5、9.1.6** 为了保证再生混凝土的质量，规定了再生混凝土拌制前，应测定砂、石含水率并根据测试结果调整材料用量，提出施工配合比，规定了再生混凝土运输要求。

### 9.2 浇筑、振捣和养护

**9.2.1、9.2.2** 规定了在浇筑过程中，应严格控制再生混凝土的均匀性和密实性，散落的再生混凝土严禁用于结构构件的浇筑，这是保证再生混凝土质量的关键。

**9.2.3** 试验表明，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。

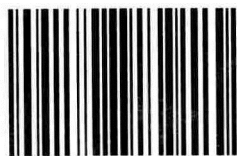
**9.2.4** 再生混凝土拌合物的内摩擦力比普通混凝土的大，为保证拌合物的密实性，本条规定应采用机械振捣成型。

**9.2.5** 编制组研究表明，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，导致表面裂缝。再生混凝土干燥收缩变形较天然骨料混凝土略大，

为防止再生混凝土早期收缩开裂，应特别加强对再生混凝土早期养护。规定了再生混凝土浇筑成型后应加强养护，并根据环境和天气情况采取适宜的养护方法。

<http://xuejiunet.com>

学究网



1 5 1 1 2 3 2 4 4 4

统一书号：15112 · 32444  
定 价： 16.00 元