

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

JGJ/T 283-2012

备案号 J 1404-2012

P

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

2012-03-15 发布

2012-08-01 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

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

JGJ/T 283 - 2012

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2012年8月1日

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

现批准《自密实混凝土应用技术规程》为行业标准，编号为

JGJ/T 283-2012，自2012年8月1日起施行。

本规程由住房和城乡建设部归口管理，由住房和城乡建设部工程标准定额研究所归口管理。

住房和城乡建设部标准定额研究所 宣

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

中华人民共和国住房和城乡建设部

住房和城乡建设部标准定额研究所

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

中国建筑工业出版社

2012 北京

中华人民共和国行业标准

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

JGJ/T 283 - 2012

中华人民共和国行业标准

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

JGJ/T 283 - 2012

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

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：2³/₈ 字数：62 千字

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月第一次印刷

定价：12.00 元

统一书号：15112·21790

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

第 1330 号

关于发布行业标准《自密实混凝土 应用技术规程》的公告

现批准《自密实混凝土应用技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 283-2012，自 2012 年 8 月 1 日起实施。

本规程由我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

2012 年 3 月 15 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2010〕43号）的要求，规程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，编制本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 材料；4. 混凝土性能；5. 混凝土配合比设计；6. 混凝土制备与运输；7. 施工；8. 质量检验与验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。本规程执行过程中如有意见或建议，请寄送厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司（地址：厦门市湖滨南路62号，邮编：361004）。

本 规 程 主 编 单 位：厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司

福建六建集团有限公司

本 规 程 参 编 单 位：四川华西绿舍建材有限公司

中冶建工集团有限公司

厦门源昌城建集团有限公司

中国建筑第四工程局有限公司

辽宁省建设科学研究院

中南大学

重庆大学

湖南大学

同济大学

重庆建工住宅建设有限公司

云南省建筑科学研究院

厦门天润锦龙建材有限公司

福建科之杰新材料有限公司

厦门市工程检测中心有限公司

江苏山水建设集团有限公司

本规程主要起草人员：李晓斌 桂苗苗 王世杰 程志潮

曾冲盛 余志武 钱觉时 彭军芝

王德辉 龙广成 孙振平 王 元

杨善顺 张 明 王于益 邓 岗

周尚永 马 林 杨克红 林添兴

麻秀星 陈怡宏 陈 维 刘登贤

蒋亚清 吴方华 徐仁崇 钟怀武

本规范主要审查人员：阎培渝 路来军 马保国 樊粤明

李美利 王自强 文恒武 颜万军

刘忠群 李镇华 严捍东 蔡森林

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	材料	5
3.1	胶凝材料	5
3.2	骨料	5
3.3	外加剂	6
3.4	混凝土用水	7
3.5	其他	7
4	混凝土性能	8
4.1	混凝土拌合物性能	8
4.2	硬化混凝土的性能	9
5	混凝土配合比设计	10
5.1	一般规定	10
5.2	混凝土配合比设计	10
6	混凝土制备与运输	15
6.1	原材料检验与贮存	15
6.2	计量与搅拌	15
6.3	运输	16
7	施工	18
7.1	一般规定	18
7.2	模板施工	18
7.3	浇筑	19
7.4	养护	20

8 质量检验与验收.....	22
8.1 质量检验	22
8.2 检验评定	23
8.3 工程质量验收	23
附录 A 混凝土拌合物自密实性能试验方法	24
附录 B 自密实混凝土试件成型方法	30
本规程用词说明	31
引用标准名录	32
附: 条文说明	33

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Materials	5
3.1	Cementitious Materials	5
3.2	Aggregate	5
3.3	Admixture	6
3.4	Mixing Water	7
3.5	Others	7
4	Properties of Concrete	8
4.1	Mixture Properties	8
4.2	Hardened Concrete Properties	9
5	Calculation of Mix Proportion	10
5.1	General Requirements	10
5.2	Design Procedure of Mix Proportion	10
6	Preparation and Transportation of Concrete	15
6.1	Inspection and Storage of Raw Materials	15
6.2	Metering and mixing	15
6.3	Transportation	16
7	Construction	18
7.1	General Requirements	18
7.2	Formwork Construction	18
7.3	Pouring	19
7.4	Curing	20

8	Quality Inspection and Acceptance	22
8.1	Quality Inspect of Concrete	22
8.2	Evaluation of Concrete	23
8.3	Inspection and Acceptance of Construction	23
Appendix A	Testing Methods of Workability of	
	Self-compacting Concrete	24
Appendix B	Molding Methods of Self-compacting	
	Concrete	30
	Explanation of Wording in This Specification	31
	List of Quoted Standards	32
	Addition: Explanation of Provisions	33

1 总 则

1.0.1 为规范自密实混凝土的生产与应用,做到技术先进、经济合理、安全适用,确保工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于自密实混凝土的材料选择、配合比设计、制备与运输、施工及验收。

1.0.3 自密实混凝土的材料选择、配合比设计、制备与运输、施工及验收除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 自密实混凝土 self-compacting concrete

具有高流动性、均匀性和稳定性,浇筑时无需外力振捣,能够在自重作用下流动并充满模板空间的混凝土。

2.1.2 填充性 filling ability

自密实混凝土拌合物在无需振捣的情况下,能均匀密实成型的性能。

2.1.3 间隙通过性 passing ability

自密实混凝土拌合物均匀通过狭窄间隙的性能。

2.1.4 抗离析性 segregation resistance

自密实混凝土拌合物中各种组分保持均匀分散的性能。

2.1.5 坍落扩展度 slump-flow

自坍落度筒提起至混凝土拌合物停止流动后,测量坍落扩展面最大直径和与最大直径呈垂直方向的直径的平均值。

2.1.6 扩展时间(T_{500}) slump-flow time

用坍落度筒测量混凝土坍落扩展度时,自坍落度筒提起开始计时,至拌合物坍落扩展面直径达到 500mm 的时间。

2.1.7 J 环扩展度 J-Ring flow

J 环扩展度试验中,拌合物停止流动后,扩展面的最大直径和与最大直径呈垂直方向的直径的平均值。

2.1.8 离析率 segregation percent

标准法筛析试验中,拌合物静置规定时间后,流过公称直径为 5mm 的方孔筛的浆体质量与混凝土质量的比值。

2.2 符 号

2.2.1 自密实性能等级

f_m ——粗骨料振动离析率;

PA ——坍落扩展度与J环扩展度之差;

SF ——坍落扩展度;

SR ——离析率;

VS ——扩展时间 (T_{500})。

2.2.2 体积

V_a ——每立方米混凝土中引入的空气体积;

V_g ——每立方米混凝土中粗骨料的体积;

V_s ——每立方米混凝土中细骨料的体积;

V_m ——每立方米混凝土中砂浆的体积;

V_p ——每立方米混凝土中去除粗、细骨料后剩下的浆体体积;

V_w ——每立方米混凝土中水的体积。

2.2.3 质量

m_b ——每立方米混凝土中胶凝材料的质量;

m_{ca} ——每立方混凝土中外加剂的质量;

m_g ——每立方米混凝土中粗骨料的质量;

m_s ——每立方米混凝土中细骨料的质量;

m_m ——每立方米混凝土中矿物掺合料的质量;

m_w ——每立方米混凝土中用水的质量。

2.2.4 密度

ρ_b ——胶凝材料的表观密度;

ρ_c ——水泥表观密度;

ρ_g ——粗骨料的表观密度;

ρ_m ——矿物掺合料表观密度;

ρ_s ——细骨料的表观密度;

ρ_w ——拌合水的表观密度。

2.2.5 强度

$f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度值；

f_{ce} ——水泥的 28d 实测抗压强度。

2.2.6 其他

α ——每立方米混凝土中外加剂占胶凝材料总量的质量百分数；

β ——每立方米混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数；

H ——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度；

γ ——矿物掺合料胶凝系数；

γ_c ——混凝土的重力密度；

Φ_s ——单位体积砂浆中砂所占的体积分数。

3 材 料

3.1 胶 凝 材 料

3.1.1 配制自密实混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并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，其性能指标应符合国家现行相关标准的规定。

3.1.2 配制自密实混凝土可采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等矿物掺合料，且粉煤灰应符合国家现行标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定，粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定，硅灰应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 的规定。当采用其他矿物掺合料时，应通过充分试验进行验证，确定混凝土性能满足工程应用要求后再使用。

3.2 骨 料

3.2.1 粗骨料宜采用连续级配或 2 个及以上单粒径级配搭配使用，最大公称粒径不宜大于 20mm；对于结构紧密的竖向构件、复杂形状的结构以及有特殊要求的工程，粗骨料的公称粒径不宜大于 16mm。粗骨料的针片状颗粒含量、含泥量及泥块含量，应符合表 3.2.1 的规定，其他性能及试验方法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。

表 3.2.1 粗骨料的针片状颗粒含量、含泥量及泥块含量

项 目	针片状颗粒含量	含泥量	泥块含量
指标 (%)	≤8	≤1.0	≤0.5

3.2.2 轻粗骨料宜采用连续级配，性能指标应符合表 3.2.2 的规定，其他性能及试验方法应符合国家现行标准《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》GB/T 17431.1 和《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的规定。

表 3.2.2 轻粗骨料的性能指标

项目	密度等级	最大粒径	粒型系数	24h 吸水率
指标	≥ 700	$\leq 16\text{mm}$	≤ 2.0	$\leq 10\%$

3.2.3 细骨料宜采用级配Ⅱ区的中砂。天然砂的含泥量、泥块含量应符合表 3.2.3-1 的规定；人工砂的石粉含量应符合表 3.2.3-2 的规定。细骨料的其他性能及试验方法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。

表 3.2.3-1 天然砂的含泥量和泥块含量

项 目	含泥量	泥块含量
指标 (%)	≤ 3.0	≤ 1.0

表 3.2.3-2 人工砂的石粉含量

项 目		指 标		
		$\geq \text{C60}$	C55~C30	$\leq \text{C25}$
石粉含量 (%)	MB<1.4	≤ 5.0	≤ 7.0	≤ 10.0
	MB ≥ 1.4	≤ 2.0	≤ 3.0	≤ 5.0

3.3 外 加 剂

3.3.1 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定。

3.3.2 掺用增稠剂、絮凝剂等其他外加剂时，应通过充分试验进行验证，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

3.4 混凝土用水

3.4.1 自密实混凝土的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。

3.5 其 他

3.5.1 自密实混凝土加入钢纤维、合成纤维时，其性能应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

纤维名称	纤维长度	纤维直径	纤维间距	纤维分布
钢纤维	30~60mm	0.2~0.3mm	≤100mm	均匀分布
合成纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
碳纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
芳纶纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
玻璃纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
玄武岩纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
聚丙烯纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
聚乙烯纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
聚酯纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
尼龙纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布
其他纤维	30~60mm	0.1~0.2mm	≤100mm	均匀分布

4 混凝土性能

4.1 混凝土拌合物性能

4.1.1 自密实混凝土拌合物除应满足普通混凝土拌合物对凝结时间、黏聚性和保水性等的要求外，还应满足自密实性能的要求。

4.1.2 自密实混凝土拌合物的自密实性能及要求可按表 4.1.2 确定，试验方法应按本规程附录 A 执行。

表 4.1.2 自密实混凝土拌合物的自密实性能及要求

自密实性能	性能指标	性能等级	技术要求
填充性	坍落扩展度 (mm)	SF1	550~655
		SF2	660~755
		SF3	760~850
	扩展时间 T_{500} (s)	VS1	≥ 2
		VS2	< 2
间隙通过性	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	PA1	$25 < PA1 \leq 50$
		PA2	$0 \leq PA2 \leq 25$
抗离析性	离析率 (%)	SR1	≤ 20
		SR2	≤ 15
	粗骨料振动离析率 (%)	f_m	≤ 10

注：当抗离析性试验结果有争议时，以离析率筛析法试验结果为准。

4.1.3 不同性能等级自密实混凝土的应用范围应按表 4.1.3 确定。

表 4.1.3 不同性能等级自密实混凝土的应用范围

自密实性能	性能等级	应用范围	重要性
填充性	SF1	1 从顶部浇筑的无配筋或配筋较少的混凝土结构物; 2 泵送浇筑施工的工程; 3 截面较小, 无需水平长距离流动的竖向结构物	控制指标
	SF2	适合一般的普通钢筋混凝土结构	
	SF3	适用于结构紧密的竖向构件、形状复杂的结构等 (粗骨料最大公称粒径宜小于 16mm)	
	VS1	适用于一般的普通钢筋混凝土结构	
	VS2	适用于配筋较多的结构或有较高混凝土外观性能要求的结构, 应严格控制	
间隙通过性 ¹	PA1	适用于钢筋净距 80mm~100mm	可选指标
	PA2	适用于钢筋净距 60mm~80mm	
抗离析性 ²	SR1	适用于流动距离小于 5m、钢筋净距大于 80mm 的薄板结构和竖向结构	可选指标
	SR2	适用于流动距离超过 5m、钢筋净距大于 80mm 的竖向结构。也适用于流动距离小于 5m、钢筋净距小于 80mm 的竖向结构, 当流动距离超过 5m, SR 值宜小于 10%	

注: 1 钢筋净距小于 60mm 时宜进行浇筑模拟试验; 对于钢筋净距大于 80mm 的薄板结构或钢筋净距大于 100mm 的其他结构可不作间隙通过性指标要求。

2 高填充性 (坍落扩展度指标为 SF2 或 SF3) 的自密实混凝土, 应有抗离析性要求。

4.2 硬化混凝土的性能

4.2.1 硬化混凝土力学性能、长期性能和耐久性能应满足设计要求和国家现行相关标准的规定。

5 混凝土配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 自密实混凝土应根据工程结构形式、施工工艺以及环境因素进行配合比设计,并应在综合考虑混凝土自密实性能、强度、耐久性以及其他性能要求的基础上,计算初始配合比,经试验室试配、调整得出满足自密实性能要求的基准配合比,经强度、耐久性复核得到设计配合比。

5.1.2 自密实混凝土配合比设计宜采用绝对体积法。自密实混凝土水胶比宜小于 0.45,胶凝材料用量宜控制在 $400\text{kg}/\text{m}^3 \sim 550\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.1.3 自密实混凝土宜采用通过增加粉体材料的方法适当增加浆体体积,也可通过添加外加剂的方法来改善浆体的黏聚性和流动性。

5.1.4 钢管自密实混凝土配合比设计时,应采取减少收缩的措施。

5.2 混凝土配合比设计

5.2.1 自密实混凝土初始配合比设计应符合下列规定:

1 配合比设计应确定拌合物中粗骨料体积、砂浆中砂的体积分数、水胶比、胶凝材料用量、矿物掺合料的比例等参数。

2 粗骨料体积及质量的计算应符合下列规定:

1) 每立方米混凝土中粗骨料的体积 (V_g) 可按表 5.2.1 选用;

表 5.2.1 每立方米混凝土中粗骨料的体积

填充性指标	SF1	SF2	SF3
每立方米混凝土中粗骨料的体积 (m^3)	0.32~0.35	0.30~0.33	0.28~0.30

2) 每立方米混凝土中粗骨料的质量 (m_g) 可按下式

计算:

$$m_g = V_g \cdot \rho_g \quad (5.2.1-1)$$

式中: ρ_g ——粗骨料的表观密度 (kg/m^3)。

3 砂浆体积 (V_m) 可按下式计算:

$$V_m = 1 - V_g \quad (5.2.1-2)$$

4 砂浆中砂的体积分数 (Φ_s) 可取 0.42~0.45。

5 每立方米混凝土中砂的体积 (V_s) 和质量 (m_s) 可按下列公式计算:

$$V_s = V_m \cdot \Phi_s \quad (5.2.1-3)$$

$$m_s = V_s \cdot \rho_s \quad (5.2.1-4)$$

式中: ρ_s ——砂的表观密度 (kg/m^3)。

6 浆体体积 (V_p) 可按下式计算:

$$V_p = V_m - V_s \quad (5.2.1-5)$$

7 胶凝材料表观密度 (ρ_b) 可根据矿物掺合料和水泥的相对含量及各自的表观密度确定, 并可按下式计算:

$$\rho_b = \frac{1}{\frac{\beta}{\rho_m} + \frac{(1-\beta)}{\rho_c}} \quad (5.2.1-6)$$

式中: ρ_m ——矿物掺合料的表观密度 (kg/m^3);

ρ_c ——水泥的表观密度 (kg/m^3);

β ——每立方米混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数 (%); 当采用两种或两种以上矿物掺合料时, 可以 β_1 、 β_2 、 β_3 表示, 并进行相应计算; 根据自密实混凝土工作性、耐久性、温升控制等要求, 合理选择胶凝材料中水泥、矿物掺合料类型, 矿物掺合料占胶凝材料用量的质量分数 β 不宜小于 0.2。

8 自密实混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$) 应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定进行计算。

9 水胶比 (m_w/m_b) 应符合下列规定:

1) 当具备试验统计资料时, 可根据工程所使用的原材料,

通过建立的水胶比与自密实混凝土抗压强度关系式来计算得到水胶比；

2) 当不具备上述试验统计资料时，水胶比可按下式计算：

$$m_w/m_b = \frac{0.42f_{ce}(1-\beta+\beta\cdot\gamma)}{f_{cu,0}+1.2} \quad (5.2.1-7)$$

式中： m_b ——每立方米混凝土中胶凝材料的质量 (kg)；

m_w ——每立方米混凝土中用水的质量 (kg)；

f_{ce} ——水泥的 28d 实测抗压强度 (MPa)；当水泥 28d 抗压强度未能进行实测时，可 adopt 水泥强度等级对应值乘以 1.1 得到的数值作为水泥抗压强度值；

γ ——矿物掺合料的胶凝系数；粉煤灰 ($\beta \leq 0.3$) 可取 0.4、矿渣粉 ($\beta \leq 0.4$) 可取 0.9。

10 每立方米自密实混凝土中胶凝材料的质量 (m_b) 可根据自密实混凝土中的浆体体积 (V_p)、胶凝材料的表观密度 (ρ_b)、水胶比 (m_w/m_b) 等参数确定，并可按下式计算：

$$m_b = \frac{(V_p - V_a)}{\left(\frac{1}{\rho_b} + \frac{m_w/m_b}{\rho_w}\right)} \quad (5.2.1-8)$$

式中： V_a ——每立方米混凝土中引入空气的体积 (L)，对于非引气型的自密实混凝土， V_a 可取 10L~20L；

ρ_w ——每立方米混凝土中拌合水的表观密度 (kg/m^3)，取 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

11 每立方米混凝土中用水的质量 (m_w) 应根据每立方米混凝土中胶凝材料质量 (m_b) 以及水胶比 (m_w/m_b) 确定，并可按下式计算：

$$m_w = m_b \cdot (m_w/m_b) \quad (5.2.1-9)$$

12 每立方米混凝土中水泥的质量 (m_c) 和矿物掺合料的质量 (m_m) 应根据每立方米混凝土中胶凝材料的质量 (m_b) 和胶凝材料中矿物掺合料的质量分数 (β) 确定，并可按下列公式计算：

$$m_m = m_b \cdot \beta \quad (5.2.1-10)$$

$$m_c = m_b - m_m \quad (5.2.1-11)$$

13 外加剂的品种和用量应根据试验确定,外加剂用量可按下式计算:

$$m_{ca} = m_b \cdot \alpha \quad (5.2.1-12)$$

式中: m_{ca} ——每立方米混凝土中外加剂的质量 (kg);

α ——每立方米混凝土中外加剂占胶凝材料总量的质量百分数 (%)。

5.2.2 自密实混凝土配合比的试配、调整与确定应符合下列规定:

1 混凝土试配时应采用工程实际使用的原材料,每盘混凝土的最小搅拌量不宜小于 25L。

2 试配时,首先应进行试拌,先检查拌合物自密实性能必控指标,再检查拌合物自密实性能可选指标。当试拌得出的拌合物自密实性能不能满足要求时,应在水胶比不变、胶凝材料用量和外加剂用量合理的原则下调整胶凝材料用量、外加剂用量或砂的体积分数等,直到符合要求为止。应根据试拌结果提出混凝土强度试验用的基准配合比。

3 混凝土强度试验时至少应采用三个不同的配合比。当采用不同的配合比时,其中一个应为本规程第 5.2.2 条中第 2 款确定的基准配合比,另外两个配合比的水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.02;用水量与基准配合比相同,砂的体积分数可分别增加或减少 1%。

4 制作混凝土强度试验试件时,应验证拌合物自密实性能是否达到设计要求,并以该结果代表相应配合比的混凝土拌合物性能指标。

5 混凝土强度试验时每种配合比至少应制作一组试件,标准养护到 28d 或设计要求的龄期时试压,也可同时多制作几组试件,按《早期推定混凝土强度试验方法标准》JGJ/T 15 早期推定混凝土强度,用于配合比调整,但最终应满足标准养护 28d 或

设计规定龄期的强度要求。如有耐久性要求时，还应检测相应的耐久性指标。

6 应根据试配结果对基准配合比进行调整，调整与确定应按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定执行，确定的配合比即为设计配合比。

7 对于应用条件特殊的工程，宜采用确定的配合比进行模拟试验，以检验所设计的配合比是否满足工程应用条件。

6 混凝土制备与运输

6.1 原材料检验与贮存

6.1.1 自密实混凝土原材料进场时,供方应按批次向需方提供质量证明文件。

6.1.2 原材料进场后,应进行质量检验,并应符合下列规定:

1 胶凝材料、外加剂的检验项目与批次应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定;

2 粗、细骨料的检验项目与批次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,其中人工砂检验项目还应包括亚甲蓝(MB)值;

3 其他原材料的检验项目和批次应按国家现行有关标准执行。

6.1.3 原材料贮存应符合下列规定:

1 水泥应按品种、强度等级及生产厂家分别贮存,并应防止受潮和污染;

2 掺合料应按品种、质量等级和产地分别贮存,并应防雨和防潮;

3 骨料宜采用仓储或带棚堆场贮存,不同品种、规格的骨料应分别贮存,堆料仓应设有分隔区域;

4 外加剂应按品种和生产厂家分别贮存,采取遮阳、防水等措施。粉状外加剂应防止受潮结块;液态外加剂应贮存在密闭容器内,并应防晒和防冻,使用前应搅拌均匀。

6.2 计量与搅拌

6.2.1 原材料的计量应按质量计,且计量允许偏差应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 原材料计量允许偏差 (%)

序号	原材料品种	胶凝材料	骨料	水	外加剂	掺合料
1	每盘计量允许偏差	±2	±3	±1	±1	±2
2	累计计量允许偏差	±1	±2	±1	±1	±1

注：1 现场搅拌时原材料计量允许偏差应满足每盘计量允许偏差要求；

2 累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量的偏差，该项指标仅适用于采用计算机控制计量的搅拌站。

6.2.2 自密实混凝土宜采用集中搅拌方式生产，生产过程应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。

6.2.3 自密实混凝土在搅拌机中的搅拌时间不应少于 60s，并应比非自密实混凝土适当延长。

6.2.4 生产过程中，每台班应至少检测一次骨料含水率。当骨料含水率有显著变化时，应增加测定次数，并应依据检测结果及时调整材料用量。

6.2.5 高温施工时，生产自密实混凝土原材料最高入机温度应符合表 6.2.5 的规定，必要时应对原材料采取温度控制措施。

表 6.2.5 原材料最高入机温度

原材料	最高入机温度 (°C)
水泥	60
骨料	30
水	25
粉煤灰等掺合料	60

6.2.6 冬期施工时，宜对拌合水、骨料进行加热，但拌合水温度不宜超过 60°C、骨料不宜超过 40°C；水泥、外加剂、掺合料不得直接加热。

6.2.7 泵送自密实轻骨料混凝土所用的轻粗骨料在使用前，宜采用浸水、洒水或加压预湿等措施进行预湿处理。

6.3 运 输

6.3.1 自密实混凝土运输应采用混凝土搅拌运输车，并宜采取

防晒、防寒等措施。

6.3.2 运输车在接料前应将车内残留的混凝土清洗干净，并应将车内积水排尽。

6.3.3 自密实混凝土运输过程中，搅拌运输车的滚筒应保持匀速转动，速度应控制在 $3\text{r}/\text{min} \sim 5\text{r}/\text{min}$ ，并严禁向车内加水。

6.3.4 运输车从开始接料至卸料的时间不宜大于 120min 。

6.3.5 卸料前，搅拌运输车罐体宜高速旋转 20s 以上。

6.3.6 自密实混凝土的供应速度应保证施工的连续性。

7 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 自密实混凝土施工前应根据工程结构类型和特点、工程量、材料供应情况、施工条件和进度计划等确定施工方案，并对施工作业人员进行技术交底。

7.1.2 自密实混凝土施工应进行过程监控，并应根据监控结果调整施工措施。

7.1.3 自密实混凝土施工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。

7.2 模 板 施 工

7.2.1 模板及其支架设计应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。新浇筑混凝土对模板的最大侧压力应按下式计算：

$$F = \gamma_c H \quad (7.2.1)$$

式中： F ——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力（ kN/m^2 ）；

γ_c ——混凝土的重力密度（ kN/m^3 ）；

H ——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度（ m ）。

7.2.2 成型的模板应拼装紧密，不得漏浆，应保证构件尺寸、形状，并应符合下列规定：

- 1 斜坡面混凝土的外斜坡表面应支设模板；
- 2 混凝土上表面模板应有抗自密实混凝土浮力的措施；
- 3 浇筑形状复杂或封闭模板空间内混凝土时，应在模板上适当部位设置排气口和浇筑观察口。

7.2.3 模板及其支架拆除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，对薄壁、异形等构件宜延长拆模时间。

7.3 浇 筑

7.3.1 高温施工时，自密实混凝土入模温度不宜超过 35°C ；冬期施工时，自密实混凝土入模温度不宜低于 5°C 。在降雨、降雪期间，不宜在露天浇筑混凝土。

7.3.2 大体积自密实混凝土入模温度宜控制在 30°C 以下；混凝土在入模温度基础上的绝热温升值不宜大于 50°C ，混凝土的降温速率不宜大于 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

7.3.3 浇筑自密实混凝土时，应根据浇筑部位的结构特点及混凝土自密实性能选择机具与浇筑方法。

7.3.4 浇筑自密实混凝土时，现场应有专人进行监控，当混凝土自密实性能不能满足要求时，可加入适量的与原配合比相同成分的外加剂，外加剂掺入后搅拌运输车滚筒应快速旋转，外加剂掺量和旋转搅拌时间应通过试验验证。

7.3.5 自密实混凝土泵送施工应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的规定。

7.3.6 自密实混凝土泵送和浇筑过程应保持连续性。

7.3.7 大体积自密实混凝土采用整体分层连续浇筑或推移式连续浇筑时，应缩短间歇时间，并应在前层混凝土初凝之前浇筑次层混凝土，同时应减少分层浇筑的次数。

7.3.8 自密实混凝土浇筑最大水平流动距离应根据施工部位具体要求确定，且不宜超过 7m 。布料点应根据混凝土自密实性能确定，并通过试验确定混凝土布料点的间距。

7.3.9 柱、墙模板内的混凝土浇筑倾落高度不宜大于 5m ，当不能满足规定时，应加设串筒、溜管、溜槽等装置。

7.3.10 浇筑结构复杂、配筋密集的混凝土构件时，可在模板外侧进行辅助敲击。

7.3.11 型钢混凝土结构应均匀对称浇筑。

7.3.12 钢管自密实混凝土结构浇筑应符合下列规定：

1 应按设计要求在钢管适当位置设置排气孔，排气孔孔径宜为 20mm。

2 混凝土最大倾落高度不宜大于 9m，倾落高度大于 9m 时，应采用串筒、溜槽、溜管等辅助装置进行浇筑。

3 混凝土从管底顶升浇筑时应符合下列规定：

1) 应在钢管底部设置进料管，进料管应设止流阀门，止流阀门可在顶升浇筑的混凝土达到终凝后拆除；

2) 应合理选择顶升浇筑设备，控制混凝土顶升速度，钢管直径不宜小于泵管直径的 2 倍；

3) 浇筑完毕 30min 后，应观察管顶混凝土的回落下沉情况，出现下沉时，应人工补浇管顶混凝土。

7.3.13 自密实混凝土宜避开高温时段浇筑。当水分蒸发速率过快时，应在施工作业面采取挡风、遮阳等措施。

7.4 养 护

7.4.1 制定养护方案时，应综合考虑自密实混凝土性能、现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素。

7.4.2 自密实混凝土浇筑完毕，应及时采用覆盖、蓄水、薄膜保湿、喷涂或涂刷养护剂等养护措施，养护时间不得少于 14d。

7.4.3 大体积自密实混凝土养护措施应符合设计要求，当设计无具体要求时，应符合现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的有关规定。对裂缝有严格要求的部位应适当延长养护时间。

7.4.4 对于平面结构构件，混凝土初凝后，应及时采用塑料薄膜覆盖，并保持塑料薄膜内有凝结水。混凝土强度达到 1.2N/mm^2 后，应覆盖保湿养护，条件许可时宜蓄水养护。

7.4.5 垂直结构构件拆模后，表面宜覆盖保湿养护，也可涂刷养护剂。

7.4.6 冬期施工时,不得向裸露部位的自密实混凝土直接浇水养护,应用保温材料和塑料薄膜进行保温、保湿养护,保温材料的厚度应经热工计算确定。

7.4.7 采用蒸汽养护的预制构件,养护制度应通过试验确定。

8 质量检验与验收

8.1 质量检验

8.1.1 自密实混凝土拌合物检验项目除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 的规定外,还应检验自密实性能,并应符合下列规定:

1 混凝土自密实性能指标检验应包括坍落扩展度和扩展时间;

2 出厂检验时,坍落扩展度和扩展时间应每 100m^3 相同配合比的混凝土至少检验 1 次;当一个台班相同配合比的混凝土不足 100m^3 时,检验不得少于 1 次;

3 交货时坍落扩展度和扩展时间检验批次应与强度检验批次一致;

4 实测坍落扩展度应符合设计要求,混凝土拌合物不得出现外沿泌浆和中心骨料堆积现象。

8.1.2 对掺引气型外加剂的自密实混凝土拌合物应检验其含气量,含气量应符合国家现行相关标准的规定。

8.1.3 自密实混凝土强度应满足设计要求,检验的试件应符合下列规定:

1 出厂检验试件留置方法和数量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定;

2 交货检验试件留置方法和数量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。

8.1.4 对有耐久性设计要求的自密实混凝土,还应检验耐久性项目,其试件留置方法和数量应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

8.1.5 混凝土拌合物自密实性能的试验方法应按本规程附录 A

执行,混凝土试件成型方法应按本规程附录 B 执行。混凝土拌合物的其他性能试验方法应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定执行。自密实混凝土的力学性能、长期性能和耐久性能试验方法应分别按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定执行。

8.2 检验评定

8.2.1 自密实混凝土强度应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定进行检验评定。

8.2.2 自密实混凝土耐久性能应按现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定进行检验评定。

8.3 工程质量验收

8.3.1 自密实混凝土工程质量验收应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。



附录 A 混凝土拌合物自密实性能试验方法

A.1 坍落扩展度和扩展时间试验方法

A.1.1 本方法用于测试自密实混凝土拌合物的填充性。

A.1.2 自密实混凝土的坍落扩展度和扩展时间试验应采用下列仪器设备：

1 混凝土坍落度筒，应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248 的规定；

2 底板应为硬质不吸水的光滑正方形平板，边长应为 1000mm，最大挠度不得超过 3mm，并应在平板表面标出坍落度筒的中心位置和直径分别为 200mm、300mm、500mm、600mm、700mm、800mm 及 900mm 的同心圆（图 A.1.2）。

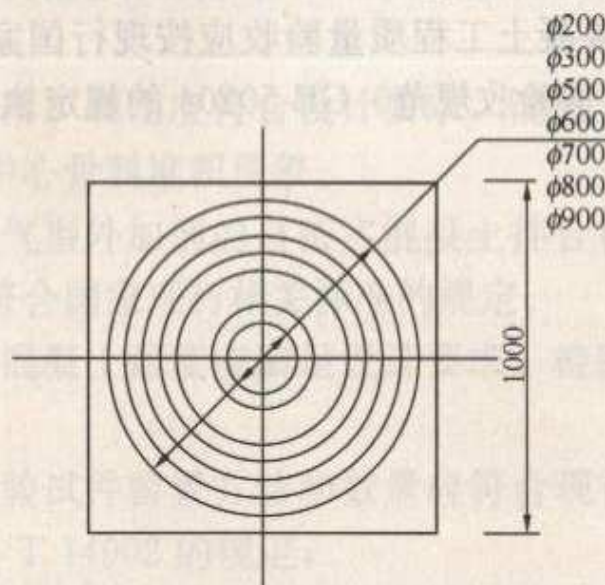


图 A.1.2 底板

A.1.3 混凝土拌合物的填充性能试验应按下列步骤进行：

1 应先润湿底板和坍落度筒，坍落度筒内壁和底板上应无明水；底板应放置在坚实的水平面上，并把筒放在底板中心，然后用脚踩住两边的脚踏板，坍落度筒在装料时应保持在固定的

位置。

2 应在混凝土拌合物不产生离析的状态下,利用盛料容器一次性使混凝土拌合物均匀填满坍落度筒,且不得捣实或振动。

3 应采用刮刀刮除坍落度筒顶部及周边混凝土余料,使混凝土与坍落度筒的上缘齐平后,随即将坍落度筒沿铅直方向匀速地向上快速提起 300mm 左右的高度,提起时间宜控制在 2s。待混凝土停止流动后,应测量展开圆形的最大直径,以及与最大直径呈垂直方向的直径。自开始入料至填充结束应在 1.5min 内完成,坍落度筒提起至测量拌合物扩展直径结束应控制在 40s 之内完成。

4 测定扩展度达 500mm 的时间 (T_{500}) 时,应自坍落度筒提起离开地面时开始,至扩展开的混凝土外缘初触平板上所绘直径 500mm 的圆周为止,应采用秒表测定时间,精确至 0.1s。

A.1.4 混凝土的扩展度应为混凝土拌合物坍落扩展终止后扩展面相互垂直的两个直径的平均值,测量精确应至 1mm,结果修约至 5mm。

A.1.5 应观察最终坍落后的混凝土状况,当粗骨料在中央堆积或最终扩展后的混凝土边缘有水泥浆析出时,可判定混凝土拌合物抗离析性不合格,应予记录。

A.2 J 环扩展度试验方法

A.2.1 本方法适用于测试自密实混凝土拌合物的间隙通过性。

A.2.2 自密实混凝土 J 环扩展度试验应采用下列仪器设备:

1 J 环,应采用钢或不锈钢,圆环中心直径和厚度应分别为 300mm、25mm,并用螺母和垫圈将 16 根 $\phi 16\text{mm} \times 100\text{mm}$ 圆钢锁在圆环上,圆钢中心间距应为 58.9 mm (图 A.2.2)。

2 混凝土坍落度筒,应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248 的规定。

3 底板应采用硬质不吸水的光滑正方形平板,边长应为 1000mm,最大挠度不得超过 3mm。

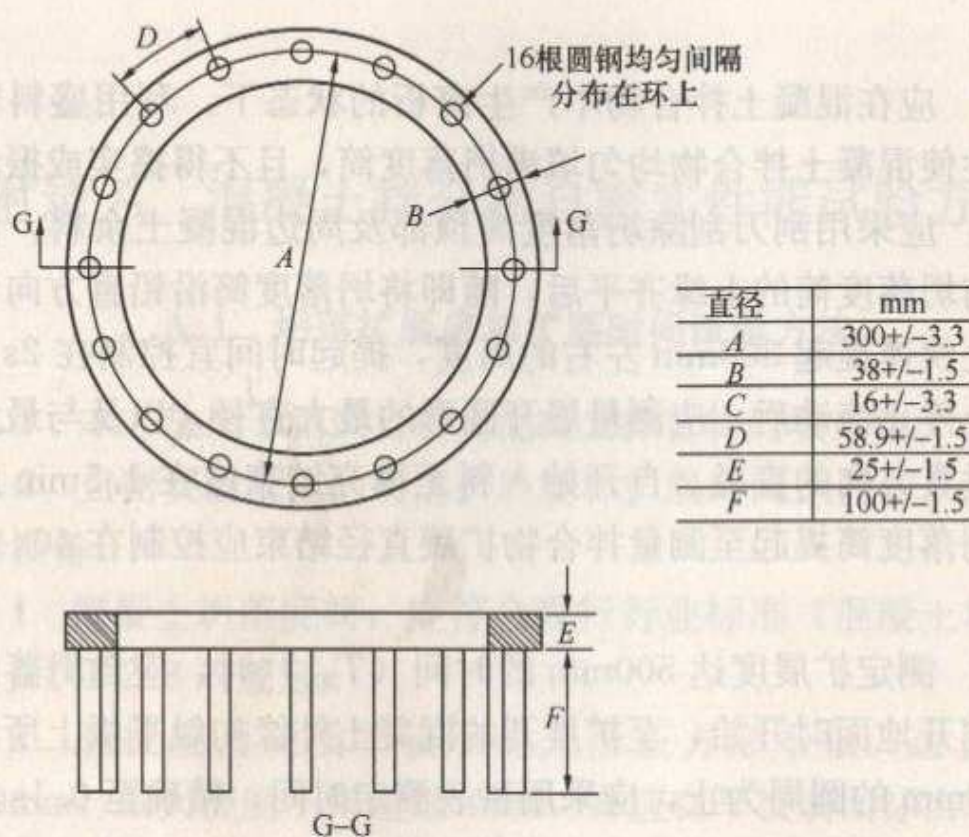


图 A. 2. 2 J 环的形状和尺寸

A. 2. 3 自密实混凝土拌合物的间隙通过性试验应按下列步骤进行:

1 应先润湿底板、J 环和坍落度筒, 坍落度筒内壁和底板上应无明水。底板应放置在坚实的水平面上, J 环应放在底板中心。

2 应将坍落度筒倒置在底板中心, 并应与 J 环同心。然后将混凝土一次性填充至满。

3 应采用刮刀刮除坍落度筒顶部及周边混凝土余料, 随即 将坍落度筒沿垂直方向连续地向上提起 300mm, 提起时间宜为 2s。待混凝土停止流动后, 测量展开扩展面的最大直径以及 与最大直径呈垂直方向的直径。自开始入料至提起坍落度筒应在 1.5min 内完成。

4 J 环扩展度应为混凝土拌合物坍落扩展终止后扩展面相互垂直的两个直径的平均值, 测量应精确至 1mm, 结果修约至 5mm。

5 自密实混凝土间隙通过性性能指标 (PA) 结果应为测得混凝土坍落扩展度与 J 环扩展度的差值。

6 应目视检查 J 环圆钢附近是否有骨料堵塞, 当粗骨料在 J 环圆钢附近出现堵塞时, 可判定混凝土拌合物间隙通过性不合格, 应予记录。

A.3 离析率筛析试验方法

A.3.1 本方法适用于测试自密实混凝土拌合物的抗离析性。

A.3.2 自密实混凝土离析率筛析试验应采用下列仪器设备和工具:

1 天平, 应选用称量 10kg、感量 5g 的电子天平。

2 试验筛, 应选用公称直径为 5mm 的方孔筛, 且应符合现行国家标准《金属穿孔板试验筛》GB/T 6003.2 的规定。

3 盛料器, 应采用钢或不锈钢, 内径为 208mm, 上节高度为 60mm, 下节带底净高为 234mm, 在上、下层连接处需加宽 3mm~5mm, 并设有橡胶垫圈 (图 A.3.2)。

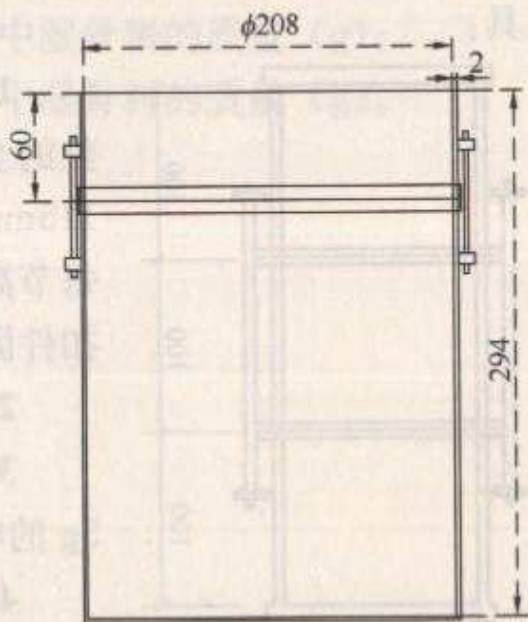


图 A.3.2 盛料器形状和尺寸

A.3.3 自密实混凝土拌合物的抗离析性筛析试验应按下列步骤进行:

1 应先取 $10\text{L} \pm 0.5\text{L}$ 混凝土置于盛料器中, 放置在水平位置上, 静置 $15\text{min} \pm 0.5\text{min}$ 。

2 将方孔筛固定在托盘上, 然后将盛料器上节混凝土移出, 倒入方孔筛; 用天平称量其 m_0 , 精确到 1g。

3 倒入方孔筛, 静置 $120\text{s} \pm 5\text{s}$ 后, 先把筛及筛上的混凝土移走, 用天平称量筛孔流到托盘上的浆体质量 m_1 , 精确到 1g。

A.3.4 混凝土拌合物离析率 (SR) 应按下式计算:

$$SR = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (\text{A.3.4})$$

式中: SR——混凝土拌合物离析率 (%), 精确到 0.1%;

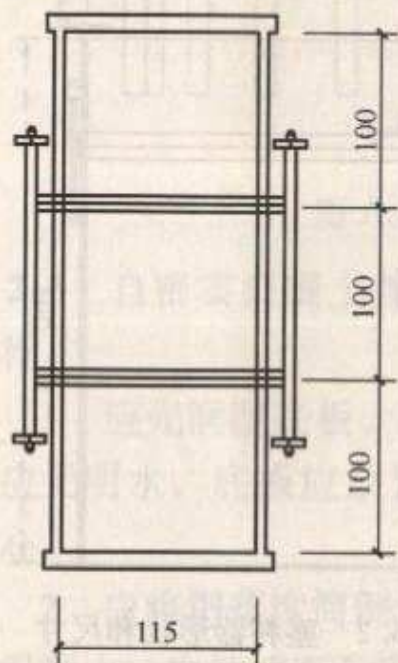
m_1 ——通过标准筛的砂浆质量 (g);

m_0 ——倒入标准筛混凝土的质量 (g)。

A.4 粗骨料振动离析率跳桌试验方法

A.4.1 本方法适用于测试自密实混凝土拌合物的抗离析性能。

A.4.2 粗骨料振动离析率跳桌试验应采用下列仪器设备和工具:



1 检测筒应采用硬质、光滑、平整的金属板制成, 检测筒内径应为 115mm, 外径应为 135mm, 分三节, 每节高度均应为 100mm, 并应用活动扣件固定 (图 A.4.2)。

2 跳桌振幅应为 $25\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

3 天平, 应选用称量 10kg、感量 5g 的电子天平。

4 试验筛, 应选用公称直径为 5mm 的方孔筛, 其性能指标应符合现行国家标准《金属穿孔板试验筛》GB/T 6003.2 的规定。

图 A.4.2 检测筒尺寸

A.4.3 自密实混凝土拌合物的抗离析性跳桌试验应按下列步骤进行:

1 应将自密实混凝土拌合物用料斗装入稳定性检测筒内, 平至料斗口, 垂直移走料斗, 静置 1min, 用抹刀将多余的拌合物除去并抹平, 且不得压抹。

2 应将检测筒放置在跳桌上, 每秒转动一次摇柄, 使跳桌跳动 25 次;

3 应分节拆除检测筒，并将每节筒内拌合物装入孔径为5mm的圆孔筛子中，用清水冲洗拌合物，筛除浆体和细骨料，将剩余的粗骨料用海绵拭干表面的水分，用天平称其质量，精确到1g，分别得到上、中、下三段拌合物中粗骨料的湿重 m_1 、 m_2 和 m_3 。

A.4.4 粗骨料振动离析率应按下式计算：

$$f_m = \frac{m_3 - m_1}{\bar{m}} \times 100\% \quad (\text{A. 4. 4})$$

式中： f_m ——粗骨料振动离析率（%），精确到0.1%；

$\bar{m}$ ——三段混凝土拌合物中湿骨料质量的平均值（g）；

m_1 ——上段混凝土拌合物中湿骨料的质量（g）；

m_3 ——下段混凝土拌合物中湿骨料的质量（g）。

拌合量	试筒长	水	拌料	拌料	拌料
0.05	3.0±	2.0±	1±	2.0±	拌料

附录 B 自密实混凝土试件成型方法

B.0.1 本方法适用于自密实混凝土试件的成型。

B.0.2 自密实混凝土试件成型应采用下列设备和工具：

- 1 试模，应符合国家现行有关标准的规定。
- 2 盛料容器。
- 3 铲子、抹刀、橡胶手套等。

B.0.3 混凝土试件的制作应符合下列规定：

- 1 成型前，应检查试模尺寸，并对试模表面涂一薄层矿物油或其他不与混凝土发生反应的隔离剂。
- 2 在试验室拌制混凝土时，其材料用量应以质量计，且计量允许偏差应符合表 B.0.3 的规定。

表 B.0.3 原材料计量允许偏差 (%)

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	掺合料
计量允许偏差	±0.5	±1	±0.5	±0.5	±0.5

B.0.4 取样应按现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 中的规定执行。

B.0.5 试样成型应符合下列规定：

- 1 取样或试验室拌制的自密实混凝土在拌制后，应尽快成型，不宜超过 15min。
- 2 取样或拌制好的混凝土拌合物应至少拌三次，再装入盛料器。
- 3 应分两次将混凝土拌合物装入试模，每层的装料厚度宜相等，中间间隔 10s，混凝土拌合物应高出试模口，不应使用振动台或插捣方法成型。
- 4 试模上口多余的混凝土应刮除，并用抹刀抹平。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 2 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 3 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 4 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 5 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 7 《大体积混凝土施工规范》GB 50496
- 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 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 11 《金属穿孔板试验筛》GB/T 6003.2
- 12 《混凝土外加剂》GB 8076
- 13 《预拌混凝土》GB/T 14902
- 14 《轻集料及其试验方法 第1部分:轻集料》GB/T 17431.1
- 15 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 16 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
- 17 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10
- 18 《早期推定混凝土强度试验方法标准》JGJ/T 15
- 19 《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51
- 20 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 21 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 22 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 23 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 24 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 25 《混凝土坍落度仪》JG/T 248

中华人民共和国行业标准

自密实混凝土应用技术规程

JGJ/T 283 - 2012

条文说明

1.2 硬化混凝土的收缩	1
5 混凝土配合比设计	3
5.1 一般规定	3
5.2 混凝土配合比设计	3
6 混凝土制备与运输	5
6.1 原材料制备与贮存	5
6.2 计量与搅拌	5
6.3 运输	5
7 施工	6
7.1 一般规定	6
7.2 模板施工	6
7.3 浇筑	6
7.4 养护	6
附录B 自密实混凝土试件成型方法	6

制 订 说 明

《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283-2012, 经住房和城乡建设部 2012 年 3 月 15 日以第 1330 号公告批准、发布。

本规程制订过程中, 编制组进行了广泛而深入的调查研究, 总结了我国工程建设中自密实混凝土工程应用的实践经验, 同时参考了国外技术标准, 通过试验取得了自密实混凝土应用的重要技术参数。

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

- 13 《自密实混凝土》JGJ/T 283-2012
- 14 《混凝土及其试验方法 第 1 部分: 原材料》GB/T 17431.1
- 15 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 16 《高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
- 17 《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 19
- 18 《早期推定混凝土强度试验方法标准》JGJ/T 15
- 19 《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 28
- 20 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 21 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 22 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 23 《混凝土耐久性能试验标准》JGJ/T 193
- 24 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 25 《混凝土坍落度仪》JG/T 243

目 次

1 总则	36
2 术语和符号	37
2.1 术语	37
3 材料	38
3.1 胶凝材料	38
3.2 骨料	38
3.3 外加剂	46
3.4 混凝土用水	46
3.5 其他	46
4 混凝土性能	47
4.1 混凝土拌合物性能	47
4.2 硬化混凝土的性能	52
5 混凝土配合比设计	53
5.1 一般规定	53
5.2 混凝土配合比设计	54
6 混凝土制备与运输	59
6.1 原材料检验与贮存	59
6.2 计量与搅拌	59
6.3 运输	60
7 施工	61
7.1 一般规定	61
7.2 模板施工	61
7.3 浇筑	62
7.4 养护	63
附录 B 自密实混凝土试件成型方法	64

1 总 则

1.0.1 近年来自密实混凝土在工程中的应用越来越多,但尚无专门的自密实混凝土应用技术的行业标准或者国家标准指导自密实混凝土的生产和应用,无法为自密实混凝土在建筑工程中的广泛应用提供技术依据。因此,有必要制定本规程。

1.0.2 本条明确了规程的适用范围。自密实混凝土适用于现场浇筑的自密实混凝土工程和生产预制自密实混凝土构件,尤其适用于浇筑量大、振捣困难的结构以及对施工进度、噪声有特殊要求的工程。本规程对自密实混凝土生产与应用所涉及的各环节作出规定。

1.0.3 本条规定了本规程与其他标准、规范的关系。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.4 强调自密实混凝土的特点。

2.1.5 本条对坍落扩展度进行定义,以区别《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2002 第 3.1.3 条所定义的普通混凝土坍落扩展度。

2.1.6 本条对扩展时间(T_{500})进行定义。

2.1.7 本条根据美国 ASTM 标准《Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring》C1621/C1621M-09b 对 J 环扩展度进行定义。

2.1.8 本条根据欧洲自密实混凝土指南《The European Guidelines for Self-Compacting Concrete—Specification, Production and Use》对离析率进行定义。

3 材 料

3.1 胶 凝 材 料

3.1.1 本条规定了自密实混凝土所用的水泥品种。当有特殊要求时,可根据设计、施工要求以及工程所处环境确定。自密实混凝土宜选用通用硅酸盐水泥,不宜采用铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等凝结时间短、流动性经时损失大的水泥。

3.1.2 自密实混凝土可掺入粉煤灰、磨细矿渣粉、硅粉等矿物掺合料,并应符合相关矿物掺合料应用技术规范以及相关标准的要求。不同的矿物掺合料对混凝土工作性和物理力学性能、耐久性所产生的作用既有共性,又不完全相同。因此,应依据混凝土所处环境、设计要求、施工工艺要求等因素,经试验确定矿物掺合料种类及用量。当使用磨细矿化碳酸钙、石英粉等其他掺合料时,应考虑掺合料的粒径分布、形状和需水量,减少对混凝土拌合物需水量或敏感度的影响,并通过试验验证,方可使用。

3.2 骨 料

3.2.1 在满足自密实混凝土性能的前提下,可根据优质、经济、就地取材的原则选择天然骨料、人工骨料或两者混合使用来制备自密实混凝土。粗骨料最大粒径对自密实混凝土工作性能影响较大,根据国内外标准相关规定和工程实际经验,粗骨料最大粒径不宜超过 20mm。欧洲自密实混凝土指南《The European Guidelines for Self-Compacting Concrete—Specification, Production and Use》中对配筋密集、形状复杂的结构或有特殊要求的工程,要求自密实混凝土坍落扩展度在 760mm~850mm 或 850mm 以上,粗骨料的粒径不宜大于 16mm。

粗骨料中针片状颗粒含量对自密实混凝土间隙通过性影响较

大, 将增加拌合物的流动阻力, 同时, 对混凝土强度等性能也存在不利影响。《自密实混凝土应用技术规程》CECS203: 2006 规定粗骨料中针、片状含量不宜超过 8%; 而《自密实混凝土设计与施工指南》CCES 02-2004 规定粗骨料中针、片状含量不宜超过 10%。因此, 编制组开展了关于针片状颗粒对自密实混凝土自密实性能相关性的试验, 主要试验研究结果见表 1 和表 2。从表 1 可看出, 本次验证试验混凝土配合比中矿物掺合料掺量超过总胶凝材料用量 40%, 因此, 设计采用混凝土 60d 龄期强度。

表 1 验证试验混凝土基准配合比

系列	强度等级	每立方米混凝土材料用量 (kg/m ³)						
		水	水泥	矿粉	粉煤灰	砂子	石子	外加剂
BZA	C60	163	316	132	79	805	880	1.24%
BZB	C60	164	318	106	106	817	853	1.22%
BZC	C30	166	207	46	207	805	880	0.9%

表 2 验证试验自密实混凝土测试结果

编号	石子针片状含量 (%)	坍落扩展度 (mm)	J 环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	扩展时间 T ₅₀₀ (s)	离析率 (%)	7d 抗压强度 (MPa)	28d 抗压强度 (MPa)	60d 抗压强度 (MPa)	拌合物中粗骨料堆积现象
BZA-1	6	760	760	0	1.8	17.9	36.3	50.8	67.5	轻微
BZA-2	7	755	745	10	2.1	12.7	40.3	56.0	72.3	
BZA-3	8	755	750	5	1.8	18.1	38.5	52.3	70.6	
BZA-4	9	760	750	10	2.3	16.4	42.6	57.5	74.1	
BZA-5	10	770	735	35	1.9	20.1	45.3	55.8	72.8	轻微
BZB-1	6	670	665	5	3.6	6.6	43.7	54.0	71.2	
BZB-2	7	660	655	5	2.8	5.2	46.4	60.5	76.5	
BZB-3	8	650	640	10	4.4	4.8	40.1	53.7	72.9	
BZB-4	9	700	625	65	2.1	13.6	41.3	55.6	75.8	严重

续表 2

编号	石子针片状含量 (%)	坍落扩展度 (mm)	J 环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	扩展时间 T_{500} (s)	离析率 (%)	7d 抗压强度 (MPa)	28d 抗压强度 (MPa)	60d 抗压强度 (MPa)	拌合物中粗骨料堆积现象
BZB-5	10	665	630	35	3.9	2.1	39.0	51.9	70.1	轻微
BZC-1	5	655	650	5	3.4	3.5	21.6	31.7	42.4	
BZC-2	6	650	640	10	2.9	4.4	22.9	32.5	45.5	
BZC-3	7	680	670	10	3.9	8.1	26.6	37.5	48.9	
BZC-4	8	725	690	35	2.5	15.6	20.2	30.1	41.7	轻微
BZC-5	9	660	645	25	3.5	5.9	29.4	44.0	46.6	

由表 1 和表 2 可看出, 当胶凝材料用量较多时, 粗骨料的针、片状颗粒含量控制在 8% 以下, 混凝土拌合物性能易满足相关要求; 当胶凝材料用量较低时, 粗骨料的针、片状颗粒含量过高, 易造成拌合物粗骨料堆积, 混凝土拌合物间隙通过性下降。结合试验验证结果, 本规程确定粗骨料针、片状颗粒含量上限值为 8%。

粗骨料含泥量、泥块含量等性能指标对自密实混凝土性能也有较大影响, 本规程按《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52-2006 相关要求严格取值, 规定含泥量、泥块含量应分别小于 1.0%、0.5%。

3.2.2 轻粗骨料吸水率的大小, 不仅影响轻骨料混凝土的性能, 还将影响正常泵送施工。根据国内相关研究情况, 编制组开展了关于轻骨料吸水率对自密实混凝土自密实性能相关性试验, 研究结果见表 3、表 4 和表 5。

表 3 试验采用轻粗骨料性能指标

种类	密度等级	最大粒径 (mm)	筒压强度 (MPa)	24h 吸水率 (%)
圆形海泥陶粒	1000	≤ 16	6.733	11.31

续表 3

种类	密度等级	最大粒径 (mm)	筒压强度 (MPa)	24h 吸水率 (%)
椭圆形陶粒	900	≤ 20	6.421	12.22
圆形淤泥陶粒	1100	≤ 16	7.653	18.90
碎石形页岩陶粒	900	≤ 20	9.460	7.38

表 4 试验混凝土基准配合比

种 类	编 号	每立方米混凝土材料用量 (kg/m ³)							陶粒预 湿时间 (h)
		水	水泥	粉煤灰	矿粉	砂子	陶粒	外加剂	
圆形淤泥陶粒	LSCC-1	241	338	145	0	793	560	6.88	0
圆形淤泥陶粒	LSCC-2	174	338	145	0	793	560	5.55	0.5
圆形淤泥陶粒	LSCC-3	174	338	145	0	793	560	5.55	1
圆形淤泥陶粒	LSCC-4	175	360	103	51	805	543	6.20	2
椭圆形陶粒	LSCC-5	189	330	167	0	796	593	7.72	0
椭圆形陶粒	LSCC-6	174	330	167	0	796	593	6.45	0.5
椭圆形陶粒	LSCC-7	186	510	22	0	796	593	6.12	1
椭圆形陶粒	LSCC-8	179	410	103	0	796	593	5.90	2
圆形海泥陶粒	LSCC-9	175	360	103	51	805	504	9.71	0
圆形海泥陶粒	LSCC-10	175	360	103	51	805	504	5.45	1
圆形海泥陶粒	LSCC-11	170	349	100	50	781	592	6.00	0.5
圆形海泥陶粒	LSCC-12	158	296	182	0	769	551	6.20	2
碎石形页岩陶粒	LSCC-13	175	360	103	51	805	557	5.45	0.5

表 5 试验测试结果

编号	坍落 扩展度 (mm)	J 环 扩展度 (mm)	扩展 时间 T_{500} (s)	离析率 (%)	1h 扩 展度 (mm)	1h 扩展 度损失 百分比 (%)
LSCC-1	690	660	2.1	3.9	455	34.1
LSCC-2	630	640	2.9	15.0	485	31.8
LSCC-3	670	660	2.3	16.4	465	30.6
LSCC-4	680	680	3.2	13.3	505	26.5
LSCC-5	690	685	3.1	1.1	545	21.9
LSCC-6	635	605	3.9	1.2	535	20.5
LSCC-7	675	685	4.9	4.4	565	15.0
LSCC-8	660	650	4.1	2.20	590	10.6
LSCC-9	620	615	7.0	2.9	565	15.7
LSCC-10	640	635	2.3	7.6	605	10.9
LSCC-11	600	605	4.3	2.9	550	8.3
LSCC-12	630	630	5.1	2.9	630	4.8
LSCC-13	590	570	3.8	0.2	565	4.3

由表 4 和表 5 试验结果可看出, 陶粒的吸水率过大, 导致拌合物坍落扩展度损失过快, 影响到自密实混凝土自密实性能。结合《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51-2002 相关规定以及国内相关研究文献, 因此, 本规程规定轻粗骨料 24h 吸水率宜不大于 10%。当 24h 吸水率大于 10% 时, 应通过试验验证, 确保满足可泵送施工要求。

当采用密度等级过低的轻骨料配制自密实混凝土时, 混凝土拌合物易产生离析, 因此, 本规程规定轻粗骨料密度等级不宜低于 700 级。轻骨料最大粒径、粒型系数按行业标准《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51-2002 相关要求严格取值, 规定最大粒径不大于 16mm、粒型系数不大于 2.0。

3.2.3 本条规定自密实混凝土所用细骨料宜选用中砂。砂的含

泥量、泥块含量对自密实混凝土自密实性能影响较大,故本规程规定天然砂的含泥量、泥块含量分别不大于3.0%、1.0%。

人工砂中含有适量石粉能改善混凝土的工作性,但过量的石粉会因吸附更多的水分,导致混凝土工作性变差,编制组以胶凝材料用量、石粉含量、人工砂MB值为主要影响因素,开展人工砂石粉、MB值对自密实混凝土自密实性能影响试验,试验方案见表6、表7和表8。

表6 人工砂的MB测试结果

编 号	人工砂	石粉 (%)	亚甲基蓝 (mL)	MB 值
1	未洗	2	20	1
2	未洗	3	20	1
3	未洗	5	25	1.25
4	洗过	7	10	0.5
5	洗过	12	15	0.75
6	洗过	15	15	0.75

从表6人工砂MB值测试结果可看出,当采用未洗过的人工砂,石粉含量 $\geq 2\%$ 时,人工砂MB值均 ≥ 1 ;当采用洗过的人工砂,石粉含量 $\leq 15\%$ 时,人工砂MB值均 ≤ 1 。因此,编制组通过清洗人工砂、人工添加石粉含量来控制人工砂MB值。

表7 人工砂自密实混凝土验证试验基准配合比

强度	每立方米混凝土材料用量 (kg/m ³)						
	水	水泥	矿粉	粉煤灰	人工砂	石子	外加剂
C60	166	305	107	123	798	853	1.25%
C55	168	280	50	170	818	854	1.23%
C25	179	192	48	240	830	880	0.92%

验证试验混凝土配合比中矿物掺合料掺量超过总胶凝材料用量40%,因此,设计采用混凝土60d龄期强度。

表 8 人工砂自密实混凝土验证试验方案

编号	强度等级	人工砂石粉含量 (%)	人工砂 MB 值	编号	强度等级	人工砂石粉含量 (%)	人工砂 MB 值
BZYA-1	C25	10	<1	BZYP-1	C25	4	≥1
BZYA-2	C25	12	<1	BZYP-2	C25	5	≥1
BZYA-3	C25	15	<1	BZYP-3	C25	6	≥1
BZYA-4	C55	8	<1	BZYP-4	C55	2	≥1
BZYA-5	C55	10	<1	BZYP-5	C55	3	≥1
BZYA-6	C55	12	<1	BZYP-6	C55	4	≥1
BZYA-7	C60	6	<1	BZYP-7	C60	1	≥1
BZYA-8	C60	7	<1	BZYP-8	C60	2	≥1
BZYA-9	C60	8	<1	BZYP-9	C60	3	≥1

表 9 洗过人工砂的自密实混凝土验证试验结果

编号	石粉含量 (%)	坍落扩展度 (mm)	J 环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	扩展时间 T_{500} (s)	7d 抗压强度 (MPa)	28d 抗压强度 (MPa)	60d 抗压强度 (MPa)	和易性
BZYA-1	10	675	670	5	2.9	22.9	32.2	43.3	良好
BZYA-2	12	660	650	10	2.7	25.0	37.8	42.8	良好
BZYA-3	15	675	665	10	2.9	19.3	30.9	41.9	良好
BZYA-4	8	605	605	0	2.0	35.4	50.9	65.5	良好
BZYA-5	10	645	635	10	5.0	36.8	49.6	66.7	稍黏
BZYA-6	12	645	635	10	8.8	39.9	51.3	68.0	较黏
BZYA-7	6	705	705	0	2.4	40.2	57.1	75.2	良好
BZYA-8	7	680	670	10	4.6	42.6	52.2	74.3	良好
BZYA-9	8	660	650	10	6.7	50.2	57.8	76.4	稍黏

由表 8 和表 9 可知, 当人工砂 $MB < 1$, 配制 C60、C55、C25 人工砂自密实混凝土时, 人工砂中石粉含量可分别控制在

7%、10%、15%以内，混凝土具有良好的和易性。

表 10 未洗过人工砂的自密实混凝土验证试验结果

编号	石粉含量 (%)	坍落扩展度 (mm)	J 环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	扩展时间 T_{500} (s)	7d 抗压强度 (MPa)	28d 抗压强度 (MPa)	60d 抗压强度 (MPa)	和易性
BZYB-1	4	660	650	10	3.1	25.8	34.9	41.5	良好
BZYB-2	5	650	640	10	2.7	22.7	31.2	39.2	良好
BZYB-3	6	620	620	0	4.9	24.6	33.8	42.9	稍黏
BZYB-4	2	605	605	0	2.8	33.3	47.8	63.3	良好
BZYB-5	3	645	635	10	3.2	38.2	49.7	65.9	良好
BZYB-6	4	640	635	5	4.5	38.3	48.6	65.8	稍黏
BZYB-7	1	685	685	0	3.6	45.4	57.7	73.7	良好
BZYB-8	2	690	680	10	3.3	42.4	55.1	71.5	良好
BZYB-9	3	690	680	10	5.8	49.7	56.0	72.3	稍黏

由表 8 和表 10 可知，在人工砂 MB 值 ≥ 1.0 时，石粉含量对自密实混凝土拌合物黏聚性影响较明显，石粉用量过大将会使混凝土拌合物过黏，混凝土流动性降低，影响到自密实混凝土自密实性能。

结合试验结果及现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52-2006 的相关规定，本规程规定配制 C25 及以下、C30~C55、C60 以上的人工砂自密实混凝土，当 MB 值 < 1.4 时，人工砂中石粉含量宜分别控制在 5%、7%、10% 以内；当 MB 值 ≥ 1.4 时，人工砂中石粉含量宜控制在 2%、3%、5% 以内。根据人工砂 MB 值和石粉含量的相关性试验以及相关研究表明：若将 MB 值降低至 1.0 时，石粉中以粉为主，含泥量低，即使石粉含量达到 15%，人工砂的含泥量仍控制在现行行业标准规定的限额内。当人工砂 $MB \leq 1.0$ 时，配制 C25 及以下混凝土时，经试验验证能确保混凝土质量后，其石粉含量可放宽

到 15%。

3.3 外加剂

3.3.1 本条规定制备自密实混凝土所用外加剂的种类。为获得外加剂最佳的性能,需考虑胶凝材料的物理与化学特性,如细度、碳含量、碱含量和 C_3A 等因素对外加剂产生的影响。聚羧酸系高性能减水剂具有掺量低、减水率高、混凝土强度增长快、混凝土拌合物坍落度损失小、拌合物黏滞阻力小等优点,而且相比于其他类型的高效减水剂,聚羧酸系高性能减水剂还具有引气功能,可以明显改善混凝土的收缩性能,并在一定程度上弥补自密实混凝土收缩较大的缺陷。所以,聚羧酸系高性能减水剂适用于配制自密实混凝土,尤其是在配制高强自密实混凝土方面表现出更加明显的性能优势。

3.3.2 为了使拌合物在高流动性条件下获得良好的黏聚性而不离析,配制低强度等级自密实混凝土及水下自密实混凝土时,可用增稠剂、絮凝剂等其他外加剂,改善混凝土拌合物的和易性,但需通过试验进行验证。

3.4 混凝土用水

3.4.1 本条规定自密实混凝土的拌合用水和养护用水与普通混凝土一样,应按现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定执行。

3.5 其他

3.5.1 纤维在自密实混凝土和普通混凝土中的作用相同,其性能指标应符合行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 中的相关规定。加入纤维一般会降低拌合物的流动性,具体掺量需要通过试验确定。

4 混凝土性能

4.1 混凝土拌合物性能

4.1.1 与普通混凝土相比,自密实混凝土特有的性能要求为自密实性能,其他性能参照普通混凝土的相关标准要求。

4.1.2 编制组收集了日本、英国、欧洲、美国等国家制定的标准规范,各标准自密实性能指标及相应的测试方法见表 11~表 13。

表 11 国内外自密实混凝土标准汇编

标 准 名 称	编制时间	编制机构
JSCE-D101 高流動化コンクリート施工指針	1997	日本土木学会
JASS 5T-402 流動化コンクリート指針	2004	日本建筑学会
高流動(自己充填)コンクリート製造マニュアル	1997	日本预拌混凝土行业协会
Specification and Guidelines For Self-Compacting Concrete 欧洲自密实混凝土规程	2002	EFNARC
European Self-Compacting Concrete Guidelines 欧洲自密实混凝土应用指南	2005	EFNARC、BIBM、ERMCO、EFCA、CEM-BUREAU
ASTM C 1610/C1610Ma-2006 Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique	2006	美国试验与材料协会

续表 11

标 准 名 称	编制时间	编制机构
ASTM C1621/C1621M-09b Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring	2009	美国试验与材料协会
ASTM C 1611/C 1611M - 05 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete	2005	美国试验与材料协会
BS EN206-9-2010 Additional Rules for Self-Compacting Concrete (SCC)	2010	英国标准学会
CCES 02-2004 自密实混凝土设计与施工指南	2004	中国土木学会
CECS203-2006 自密实混凝土应用技术规程	2006	中国工程建设标准化协会
DBJ13-55-2004 自密实高性能混凝土技术规程	2004	福建省建设厅
DB29-197-2010 自密实混凝土应用技术规程	2008	天津市建设厅
DBJ04-254-2007 高流态自密实混凝土应用技术规程	2007	山西省建设厅
CNS 14840 A3398 自充填混凝土障碍通过性试验法(U形或箱形法)	1993	中国台湾标准
CNS 14841 A3399 自充填混凝土流下性试验法(漏斗法)	1993	中国台湾标准
CNS 14842 A3400 高流动性混凝土坍流度试验法	1993	中国台湾标准

表 12 不同标准自密实性能指标

英国标准	日本标准	欧洲指南	欧洲规程	中国标准化协会标准	中国土木学会指南	中国台湾标准
坍落扩展度	U形槽填充高度	流动性/填充性	填充性	填充性	填充性	U形槽填充高度
黏聚性	流动性	黏聚性	间隙通过性	流动性	间隙通过性	流动性
间隙通过性	抗离析性	间隙通过性	抗离析性	抗离析性	抗离析性	抗离析性
抗离析性		抗离析性				

表 13 不同标准自密实混凝土自密实性能测试方法

标 准	测 试 方 法
英国标准	坍落扩展度、 T_{50} 、V形漏斗、L形仪、J环、筛析法
日本标准	坍落扩展度、U形仪、V形漏斗、 T_{500}
欧洲规程	坍落扩展度、 T_{50} 、V形漏斗、J环、Orimet漏斗、L形仪、U形仪、填充箱、GMT法
欧洲指南	坍落扩展度、方筒箱、 T_{500} 、V形漏斗、O形漏斗、Orimet漏斗、L形仪、U形仪、J环、筛析法、针入度、静态沉降柱等
美国标准	坍落扩展度、 T_{500} 、J环、静态沉降柱
中国标准化协会标准	坍落扩展度、U形仪、V形漏斗、 T_{50}
中国土木学会指南	坍落扩展度、 T_{500} 、L形仪、U形仪、拌合物跳桌试验
中国台湾标准	坍落扩展度、U形仪、V形漏斗、 T_{50}

由表 12 可看出,混凝土自密实性能主要可通过流动性、填充性、间隙通过性、抗离析性来表征。自密实性能指标相应测试方法也主要以坍落扩展度、 T_{500} 、J环、L形仪、U形仪、筛析法和拌合物跳桌试验为主。

根据国内相关研究情况,编制组选择坍落扩展度、 T_{500} 、J

环、U形仪、V形漏斗、筛析法、静态沉降柱等测试方法对自密实混凝土自密实性能进行验证试验，试验基准配合比及结果见表14、表15和表16。

表 14 自密实混凝土验证试验基准配合比

编 号	设计 强度	单方混凝土材料用量(kg/m ³)							胶凝材料用量 (kg/m ³)
		水	水泥	矿粉	粉煤灰	砂	石子	外加剂	
BZP-TR-2	60	175	310	137	110	784	798	4.38	548
BZP-TR-3	60	163	316	132	79	805	880	4.22	527
BZP-TR-4	60	159	308	128	77	752	908	5.39	513
BZP-TR-5	30	176	203	101	201	833	770	4.08	503
BZP-TR-6	30	171	203	45	203	786	880	3.83	451
BZP-TR-7	30	166	196	44	196	764	935	3.71	436
BZP-TR-8	60	163	316	132	79	805	880	5.66	529
BZP-TR-9	60	164	307	127	77	793	908	5.12	512
BZP-TR-10	60	167	313	130	78	775	908	5.47	521

表 15 不同测试方法的测试结果

编 号	强度	坍落扩展度 (mm)	J环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J环扩展度 差值 (mm)	U形槽 填充高度 (mm)	V形漏 斗时间 (s)	T ₅₀₀ 时间 (s)	静态沉 降柱 (%)	自密 实性 能
BZP-TR-1	C60	750	750	0	330	16	2.6	14.9	合格
BZP-TR-2	C60	720	705	15	335	12	2.1	12.7	合格
BZP-TR-3	C60	650	645	5	320	47	7.0	27.0	不合格
BZP-TR-4	C30	720	710	10	335	11	3.9	14.4	合格
BZP-TR-5	C30	695	635	50	315	18	4.5	4.7	不合格
BZP-TR-6	C30	605	565	40	310	32	7.7	1.6	不合格

由表 15 可看出, 与我国协会标准《自密实混凝土应用技术规程》CECS203: 2006 相比较, 采用美国标准规定坍落扩展度、 T_{500} 、J 环扩展度、静态沉降柱法均可准确表征自密实混凝土自密实性能。但从实验可操作性来看, 静态沉降柱体积较大, 操作起来极为不便。因此, 为进一步优化测试方案, 引入英国标准《Additional Rules for Self-Compacting Concrete》BS EN206-9: 2010 规定的自密实混凝土拌合物抗离析性测试方法, 即筛析法。

表 16 不同测试方法的测试结果

编 号	强度	坍落扩展度 (mm)	J 环扩展度 (mm)	坍落扩展度与 J 环扩展度之差 (mm)	U 形槽填充高度 (mm)	V 形漏斗时间 (s)	T_{500} 时间 (s)	筛析法 (%)	自密实性能
BZP-TR-7	60	710	655	55	305	43	2.8	20.6	不合格
BZP-TR-8	60	620	620	0	325	56	8.3	8.8	不合格
BZP-TR-9	60	580	570	10	330	20	3.9	4.3	合格

由表 16 可看出, 采用坍落扩展度、J 环、 T_{500} 、筛析法这四种组合测试方法可准确表征自密实混凝土拌合物性能, 同时更具有可操作性和实用性, 容易在自密实混凝土工程实践中应用。

在参考国内外文献、相关标准及试验验证的基础上, 结合考虑测试方法可操作性和准确性, 本规程规定自密实混凝土自密实性能包括填充性、间隙通过性和抗离析。混凝土填充性通过坍落扩展度试验和 T_{500} 试验共同测试, 间隙通过性通过 J 环扩展试验进行测试, 抗离析性通过筛析试验或跳桌试验测试。

4.1.3 自密实混凝土应根据工程应用特点着重对其中一项或者几项指标作为主要要求, 一般不需要每个指标都达到最高要求。填充性是自密实混凝土的必控指标, 间隙通过性和抗离析性可根据建(构)筑物的结构特点和施工要求进行选择。参考欧洲标准《European Self-Compacting Concrete Guidelines》对各自实性能指标适用范围的规定, 本规程规定了自密实混凝土自密实性能的

性能等级及适用范围。

坍落扩展度值描述非限制状态下新拌混凝土的流动性,是检验新拌混凝土自密实性能的主要指标之一。 T_{500} 时间是自密实混凝土的抗离析性和填充性综合指标,同时,可以用来评估流动速率。 $VS1$ 的流动时间较长,表现出良好的触变性能,有利于减轻模板压力或提高抗离析性,但容易使混凝土表面形成孔洞,堵塞,阻碍连续泵送,建议控制在 $2s\sim 8s$ 范围内使用; $VS2$ 具有良好的填充性能和自流平的性能,使混凝土能获得良好的表观性能,一般适合于配筋密集的结构或要求流动性有良好表观的混凝土,但是该等级自密实混凝土拌合物易泌水和离析。

间隙通过性用来描述新拌混凝土流过具有狭口的有限空间(比如密集有加筋区),而不会出现分离、失去黏性或者堵塞的情况。因此,在定义间隙通过性的时候,应考虑加筋的几何形状、密度、混凝土填充性、骨料最大粒径。自密实混凝土可以连续填满模板的最小间隔为限定尺寸,这个间隔常和加筋间隔有关。除非配筋非常紧密,否则,通常不会把配筋和模板之间的空间考虑在内。

抗离析性是保证自密实混凝土均匀性和质量的基本性能。对于高层或者薄板结构来说,浇筑后产生的离析有很大的危害性,它可导致表面开裂等质量问题。

4.2 硬化混凝土的性能

4.2.1 自密实混凝土硬化后的其他性能和普通混凝土的要求一样,可以参照普通混凝土的检验方法进行。

5 混凝土配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了自密实混凝土配合比设计的基本要求。

5.1.2 混凝土的配合比一般可采用假定表观密度法和绝对体积法进行设计。目前,国内外自密实混凝土相关标准主要采用绝对体积法进行设计,同时,采用绝对体积法可避免因胶凝组分密度不同引起的计算误差,因此,本规程规定自密实混凝土配合比设计宜采用绝对体积法。大量工程实践表明,为使自密实混凝土具有良好的施工性能和优异的硬化后的性能,自密实混凝土的水胶比选择不宜过大,一般不宜大于 0.45;胶凝材料用量宜控制在 $400\text{ kg/m}^3 \sim 550\text{ kg/m}^3$ 。

5.1.3 增加粉体材料用量和选用高性能减水剂有利于浆体充分包裹粗细骨料颗粒,使骨料悬浮于浆体中,达到自密实性能。对于低强度等级的混凝土,由于其水胶比较大,浆体黏度较小,仅靠增加单位体积浆体量不能满足工作性要求,特别是难以满足抗离析性能要求,可通过掺加增黏剂予以改善,但增黏剂的使用应通过试验确定。

5.1.4 钢管自密实混凝土结构要求浇筑硬化后的自密实混凝土与钢管壁之间结合紧密,以便共同工作,因此,要求必须采取降低自密实混凝土收缩变形的措施。例如,可通过以下几方面减少钢管自密实混凝土收缩:掺入优质矿物掺合料取代部分水泥,减少水泥化学收缩;掺入膨胀剂来补偿混凝土收缩,但膨胀剂掺量需通过试验确定;混凝土浇筑完后,采用蓄水养护,减少混凝土早期塑性收缩。

5.2 混凝土配合比设计

5.2.1 初始配合比设计应符合下列要求：

1 确定了拌合物中的粗骨料体积、砂浆中砂的体积、水胶比、胶凝材料中矿物掺合料用量，也就确定了混凝土中各种原材料的用量。鉴于骨料对自密实混凝土自密实性的重要影响，因此在配合比设计中特别给出粗细骨料参数；尽管国外在自密实混凝土配合比设计中给出了水粉比参数，但考虑我国传统混凝土配合比设计常采用水胶比参数；同时，已有标准中给出的水粉比范围较窄（如欧洲自密实规程为水粉体积比 0.85~1.10），而且还需根据不同胶凝材料的表观密度进行换算。故此考虑实用性和有效性，本规程沿用水胶比的概念，并给出了水胶比的上限值 0.45。

2 在其他条件一定的情况下，粗骨料的体积是影响拌合物和易性的重要因素。大量研究结果表明， 1m^3 混凝土中粗骨料体积宜控制在 $0.28\text{m}^3 \sim 0.35\text{m}^3$ 。过小则混凝土弹性模量等力学性能显著降低，过大则拌合物的工作性显著降低，不能满足自密实性能的要求。

3 粗骨料和砂浆共同组成了自密实混凝土，因此确定了粗骨料体积就可得到单方自密实混凝土中的砂浆体积。

4 砂浆中砂的体积分数显著影响砂浆的稠度，从而影响自密实混凝土拌合物的和易性。大量试验研究表明，自密实混凝土的砂浆中砂的体积分数在 0.42~0.45 之间较为适宜，过大则混凝土的工作性和强度降低，过小则混凝土收缩较大，体积稳定性不良。使用其他类型的砂，其最佳砂率应由试验确定。

7 为改善混凝土自密实性能、水化温升特性、强度及收缩等性能，须掺入适当比例的矿物掺合料，实践表明其总质量掺量不宜少于 20% 的总胶凝材料用量。

8 自密实混凝土与普通混凝土相同，其配制强度对生产施工的混凝土强度应具有充分的保证率。自密实混凝土的强度确定仍采用与普通混凝土相似的方法。

9 为使混凝土水胶比计算公式更符合普遍掺加矿物掺合料的技术应用情况,结合大量的国内外实践经验和试验验证,采用矿物掺合料胶凝系数和相应的混凝土强度进行统计分析,充分考虑矿物掺合料对体系的强度贡献,从而计算出水胶比。实践表明,该公式适用于水胶比在 0.25~0.45 之间。由于本规程水胶比计算公式与《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 有所不同,因此,粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料的胶凝系数,应按表 17 进行取值。

表 17 矿物掺合料胶凝系数

种 类	掺量 (%)	掺合料胶凝系数
I 级或 II 级粉煤灰	≤ 30	0.4
矿渣粉	≤ 40	0.9

11 根据单方自密实混凝土中胶凝材料用量以及确定的水胶比,即可计算得到单方用水量,一般而言自密实混凝土的用水量不宜超过 $190\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.2.2 试配、调整与确定。

1 在试配过程中,为减少试配与实际生产配合比误差,进行试配时应采用实际使用的原材料。如果搅拌量太小,由于混凝土拌合物浆体粘锅的因素影响和体量不足等原因,拌合物的代表性不足。

2、3 初始配合比进行试配时,首先应测试拌合物自密实性能的控制指标,再检查拌合物自密实性能可选指标。当混凝土拌合物自密实性能满足要求后,即开始混凝土强度试验。混凝土强度试验的目的是通过三个不同水胶比的配合比的比较,取得能够满足配制强度要求、胶凝材料用量经济合理的配合比。由于混凝土强度试验是在混凝土拌合物性能调整合格后进行的,所以强度试验采用三个不同水胶比的配合比的混凝土拌合物性能应维持不变,同时维持用水量不变,增加和减少胶凝材料用量,并相应减少和增加砂的体积分数,外加剂掺量也作微调。在没有特殊规定

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

5 高耐久性是高性能混凝土的一个重要特征,如果实际工程对混凝土耐久性有具体要求,则需要对自密实混凝土相应的耐久性指标进行检测,并据此调整混凝土配合比直至满足耐久性要求。

7 有些工程的施工条件特殊,采用试验室的测试方法并不能准确评价混凝土拌合物的施工性能是否满足实际要求,可根据需要进行足尺试验,以便直观准确地判断拌合物的工作性能是否适宜。

自密实混凝土的工作性对原材料的波动较为敏感,工程施工时,其原材料应与试配时采用的原材料一致。当原材料发生显著变化时,应对配合比重新进行试配调整。

当混凝土配合比需要调整时,可按表 18 进行调整。

表 18 各因素措施对自密实混凝土拌合物性能的影响

采取措施		影 响 性 能					
		填充性	间隙通过性	抗离析性	强度	收缩	徐变
1	黏性太高						
1.1	增大用水量	+	+	-	-	-	-
1.2	增大浆体体积	+	+	+	+	-	-
1.3	增加外加剂用量	+	+	-	+	0	0
2	黏性太低						
2.1	减少用水量	-	-	+	+	+	+
2.2	减少浆体体积	-	-	-	-	+	+
2.3	减少外加剂用量	-	-	+	-	0	0
2.4	添加增稠剂	-	-	+	0	0	0
2.5	采用细粉	+	+	+	0	-	-
2.6	采用细砂	+	+	+	0	-	0

续表 18

采取措施		影 响 性 能					
		填充性	间隙通过性	抗离析性	强度	收缩	徐变
3	屈服值太高						
3.1	增大外加剂用量	+	+	-	+	0	0
3.2	增大浆体体积	+	+	+	+	-	-
3.3	增大灰体积	+	+	+	+	-	-
4	离析						
4.1	增大浆体体积	+	+	+	+	-	-
4.2	增大灰体积	+	+	+	+	-	-
4.3	减少用水量	-	-	+	+	+	+
4.4	采用细粉	+	+	+	0	-	-
5	工作性损失过快						
5.1	采用慢反应型水泥	0	0	-	-	0	0
5.2	增大惰性物掺量	0	0	-	-	0	0
5.3	用不同类型外加剂	※	※	※	※	※	※
5.4	采用矿物掺合料	※	※	※	※	※	※
6	堵塞						
6.1	降低最大粒径	+	+	+	-	-	-
6.2	增大浆体体积	+	+	+	+	-	-
6.3	增大灰体积	+	+	+	+	-	-
说 明		+			具有好的效果		
		-			具有较差的效果		
		0			没有显著效果		
		※			结果发展趋势不确定		

自密实混凝土配合比表示方法可按表 19 进行表示。

表 19 自密实混凝土配合比表示方法

自密实等级			
设计强度等级			
使用环境条件/耐久性要求			
拌合物性能目标值	坍落扩展度 (mm)		
	T_{500} (s)		
	...		
	...		
1m ³ 自密实混凝土材料用量		体积用量 (L)	质量用量 (kg)
粗骨料			
砂			
水			
水泥			
矿物掺合料 A			
矿物掺合料 B			
高效减水剂			
其他外加剂			

6 混凝土制备与运输

6.1 原材料检验与贮存

6.1.1、6.1.2 本条规定了原材料进场检验项目和复检的规则。原材料性能除应符合国家现行相关标准，还应根据本规程对原材料特殊要求，按本规程相关规定对原材料进行进场检验。

6.1.3 规定本条第3款是因为混凝土自密实性能对用水量比较敏感，为减少骨料含水率变化导致混凝土质量波动，建议对骨料采取仓储和加屋顶遮盖处置。在春、夏多雨季节，应严格控制砂、石的含水率，稳定混凝土质量；在夏季高温季节，挡雨棚能够避免太阳直射骨料，降低骨料温度，进而降低混凝土拌合物温度。

本条第4款规定外加剂贮存要求。不同类型的外加剂间的相容性较差，如聚羧酸系减水剂与萘系减水剂不相容，相混时容易出现混凝土流动性变差、用水量急增、坍落度损失严重等现象，因此，使用不同类型的化学外加剂时，必须严格分类贮存避免相混。

6.2 计量与搅拌

6.2.2 采用集中搅拌方式生产有利于控制自密实混凝土质量的稳定性，其生产过程与预拌混凝土相同。

6.2.3 自密实混凝土所用胶凝材料较多，混凝土拌合物要求具有较高的流变性能。为确保新拌自密实混凝土的匀质性，自密实混凝土在搅拌机中的搅拌时间（从全部材料投完算起）不应少于60s，并应比非自密实混凝土适当延长搅拌时间，具体时间应根据现场试验确定。

6.2.4 自密实混凝土性能对用水量较为敏感，必须严格根据骨

料含水率调整拌合用水量。

6.2.5 根据工程调研结果和国内相关标准规定,高温施工时,混凝土搅拌首先宜对机具设备采取遮阳措施;当对混凝土搅拌温度进行估算,达不到规定要求温度时,对原材料采取直接降温措施;采取对原材料进行直接降温时,对水、骨料进行降温最方便和有效;混凝土加冰屑拌合时,冰屑的重量不宜超过剩余水的50%,以便于冰的融化。

6.2.6 当采用热水拌制混凝土,特别是60℃以上的热水,若水泥直接与热水接触,易造成急凝、速凝或假凝现象;同时,也会对混凝土的工作性造成影响,坍落度损失加大,因此,当采用60℃以上的热水时,应先投入骨料和水或者是2/3的水进行预拌,待水温降低后,再投入胶凝材料与外加剂进行搅拌,搅拌时间应较常温条件下延长30s~60s。

6.2.7 泵送轻骨料自密实混凝土时,轻骨料孔隙率和吸水率比普通骨料大,在泵送压力下,轻骨料会急剧吸收拌合物中的水分,使泵送管道内的拌合物坍落度明显下降,和易性变差,影响泵送,甚至发生堵泵现象。当压力消失后,轻骨料内部吸收的水分又会释放出来,影响轻骨料混凝土的凝结和硬化后的性能。《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51-2002附录B中的第B.1.2条规定:泵送轻骨料混凝土采用的轻粗骨料在使用前,宜浸水或洒水进行预湿处理,预湿后的吸水率不应少于24h吸水率。因此,泵送轻骨料自密实混凝土所用的轻骨料,宜采用浸水、洒水或加压预湿等措施进行预湿处理,以保证轻骨料自密实混凝土性能。

6.3 运 输

6.3.3 在运输过程中,搅拌车的滚筒保持匀速转动有利于减少自密实混凝土拌合物流动性损失。搅拌车内加水将严重影响自密实混凝土的自密实性能,必须严格控制。

6.3.5 卸料前快速旋转的目的是提高混凝土的均匀性。

7 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 自密实混凝土的施工质量对各种因素变化比较敏感,因此应由具有一定经验的技术人员编制专项施工方案(必要时可请配合比设计人员参与编制)并应对参与施工人员事先进行适当的培训和技术交底。

7.1.2 由于自密实混凝土流动性大、侧压力大等特点,在施工过程中应加强对结构复杂、施工环境条件特殊的混凝土结构模板的施工过程监控,并根据检测情况及时调整施工措施。

7.1.3 自密实混凝土自密实性能直接影响到工程施工质量,因此,自密实混凝土施工时,除应符合《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 相关规定,尚应充分考虑其流动性大、侧压力大等特点,符合本章的相关规定。

7.2 模 板 施 工

7.2.1 由于自密实混凝土流动性大,模板的侧压力标准值应按 $F = \gamma_c \cdot H$ (液体压力) 计算。与普通混凝土相比,自密实混凝土屈服值较低,几乎没有支撑自重的能力,浇筑的过程中下部模板所承受的侧向压力会随浇筑高度增长而线性增加,这样就要求模板具有更高的刚度和坚固程度。然而由于自密实混凝土具有触变性,在浇筑流动到位静置较短时间后,其屈服值就会快速增长,支撑自重的能力同步增大,对模板作用的侧向压力则会相应减少。因此,设计时应以混凝土自重传递的液压力大小为作用压力,同时考虑分隔板、配筋状况、浇筑速度、温度影响,提高安全系数。

7.2.2 自密实混凝土流动性大,模板间的微小缝隙会造成跑浆、

漏浆等现象,影响自密实混凝土均匀性和强度发展。《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2002 第 4.2.4 条要求为“模板的接缝不应漏浆”,《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162-2008 第 6.1.3 条要求“防止漏浆”,考虑自密实混凝土流动性大,按 GB 50204-2002 要求,不得漏浆。对上部封闭的空间部位的浇筑,应在上部留有排气孔,否则会造成混凝土的空洞。

7.2.3 模板及其支架拆除的顺序及相应的施工安全措施对避免重大工程事故非常重要,在制定施工技术方案时应考虑周全。模板及其支架拆除时,混凝土结构可能尚未形成设计要求的受力体系,必要时应加设临时支撑。后浇带模板的拆除及支顶易被忽视而造成结构缺陷,应特别注意。

7.3 浇 筑

7.3.1 本条规定了高温施工、冬期施工混凝土入模温度的上下限值要求。降雨、雪或模板内积水均会对自密实混凝土自密实性能产生较大影响,甚至导致混凝土离析,因此,在降雨、雪时,不宜直接在露天浇筑混凝土。在采取相应挡雨、雪措施后方可使用。

7.3.4 根据工程实践经验,当减水剂的加入量受控时,对混凝土的其他性能无明显影响。本条对此作出明确规定,要求采取该种做法时,应事先批准、作出记录,外加剂掺量和搅拌时间应经试验确定。因此,当运抵现场的混凝土坍落扩展度低于设计要求下限值时,可采取调整外加剂用量等方法来改善自密实混凝土拌合物性能。

7.3.6 自密实混凝土的浇筑效果主要取决于混凝土的工作性能。因此,保持混凝土浇筑的连续性是其关键,如停泵时间过长,自密实混凝土自密实性能变差,必须对泵管内的混凝土进行处理。

7.3.8 在浇筑过程中为了保证混凝土质量,控制混凝土流淌距离,应选择适宜的布料点并控制间距。

7.3.9 混凝土浇筑离析现象的产生,主要与混凝土下料方式、

最大粗骨料粒径以及混凝土倾落高度有关。《混凝土结构工程施工规范》GB 50666-2011 中规定当骨料粒径小于或等于 25mm, 倾落高度宜在 6m 以内。而自密实混凝土所用粗骨料最大粒径小于 20mm, 骨料是悬浮在浆体中, 为避免因混凝土下落产生的冲击力过大造成自密实混凝土中骨料下沉产生离析, 本规程从严考虑, 规定混凝土浇筑倾落高度应在 5m 以下。

7.3.11 混凝土均衡上升可以避免混凝土流动不均匀造成的缺陷, 有利于排除混凝土内部气孔。同时均匀、对称浇筑, 可防止高差过大造成模板变形或其他质量、安全隐患。

7.3.12 本条第 3 款是指在具备相应浇筑设备的条件下, 从管底顶升浇筑混凝土也是可以采取的施工方法。在钢管底部设置的进料管应能与混凝土输送管道进行可靠的连接, 止流阀门是为了在混凝土浇筑后及时关闭, 以便拆除混凝土输送管。

7.4 养 护

7.4.3 自密实混凝土每立方米胶凝材料用量一般都在 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 以上, 水化温升较大。因此, 采用大体积自密实混凝土的结构部位应采取有效的温控和养护措施。

7.4.4 由于楼板和底板等平面结构构件, 相对面积较大, 又较薄, 容易失水, 所以应采用塑料薄膜覆盖, 防止表面水分蒸发, 但在夏季施工时应注意避免阳光直射塑料薄膜以防混凝土温升过高。当脚踩上去混凝土板表面没有脚印时, 混凝土强度接近 $1.2\text{N}/\text{mm}^2$, 应及时进行覆盖保温养护或蓄水养护。

附录 B 自密实混凝土试件成型方法

本附录对自密实混凝土拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能试件的成型方法进行规定。



统一书号: 15112 · 21790
定 价: 12.00 元