

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 164 – 2024

## 自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-  
compacting concrete

2024-04-17 发布

2024-08-01 实施

深圳市住房和建设局 发布

深圳市工程建设地方标准

自密实混凝土应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting concrete

**SJG 164 - 2024**

2024 深 圳

## 前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2021 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目（第一批）的通知》（深建标〔2021〕14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内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语与符号；3.基本规定；4.原材料；5.性能要求；6.配合比设计；7.生产与运输；8.施工与养护；9.质量检验与验收。

本规程由深圳市住房和建设局批准发布，由深圳市住房和建设局业务归口并组织深圳大学等编制单位负责技术内容的解释。本规程实施过程中如有意见或建议，请寄送深圳大学（地址：深圳市南山区南海大道 3688 号，邮编：518000），以供今后修订时参考。

本规程主编单位：深圳大学

深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心

本规程参编单位：东南大学

深圳市建筑工程质量安全监督总站

深圳市宝安区住房和建设事务中心

深圳市福田区建设工程质量安全中心

天津大学

天津城建大学

深圳市安托山混凝土有限公司

广东省滨海土木工程耐久性重点实验室（深圳大学）

深圳市东大洋水泥制品有限公司

深圳市天地宝创新材料有限公司

深圳市晋荣兴建材有限公司

深圳市深建混凝土有限公司

深圳市鸿力健混凝土有限公司

深圳市利建混凝土有限公司

深圳市富通混凝土有限公司

深圳市龙岗大工业区混凝土有限公司李朗分公司

深圳市晋荣创建混凝土有限公司

太科技术服务有限公司

云南建投绿色高性能混凝土股份有限公司

深圳市金鼎安全技术有限公司

中国建设基础设施有限公司

本规程主要起草人员：龙武剑 朱银洪 罗启灵 郑伟 钱春香  
周长标 谢麟 袁广州 李明超 荣辉  
梅柳 李利孝 张津瑞 李荣炜 张禹  
高芳胜 王险峰 冯甘霖 陈仓 黄梓鸿  
张磊 马伍平 李章建 张亮亮 徐轶昀  
王琦玮 尤立峰 曾中胜 黄荣涛 杨冬  
雷飞 刘亮 刘耀刚 李正平 杨建民  
刘龙

本规程主要审查人员：王新祥 王 莹 孙志东 钟志强 朱火明  
石柱铭 李翠玲  
本规程主要指导人员：宋 延 李伟雄 蔡淑雅 周隽涵

# 目 次

1	总则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	4
4	原材料	5
4.1	一般规定	5
4.2	水泥	5
4.3	矿物掺合料	5
4.4	外加剂	5
4.5	骨料	6
4.6	其他	6
5	性能要求	7
5.1	自密实混凝土拌合物性能	7
5.2	硬化混凝土性能	8
6	配合比设计	9
7	生产与运输	12
7.1	一般规定	12
7.2	原材料贮存	12
7.3	生产	12
7.4	运输	13
8	施工与养护	14
8.1	一般规定	14
8.2	浇筑	14
8.3	养护	15
9	质量检验与验收	16
9.1	原材料检验	16
9.2	混凝土性能检验	16
9.3	质量验收	17
附录 A	L形仪的试验方法	18
附录 B	视觉指数的评价方法	20
附录 C	智能化辅助设计方法	22
	本规程用词说明	25
	引用标准名录	26
	附：条文说明	28

# Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements	4
4	Raw Materials	5
4.1	Basic Requirement	5
4.2	Cement	5
4.3	Mineral Admixture	5
4.4	Admixture	5
4.5	Aggregate	6
4.6	Others	6
5	Performance Requirements	7
5.1	Self-Compacting Concrete Mixture Properties	7
5.2	Hardened Concrete Properties	8
6	Mix Design	9
7	Production and Transportation	12
7.1	Basic Requirement	12
7.2	Storage of Raw Materials	12
7.3	Production	12
7.4	Transportation	13
8	Construction and Maintenance	14
8.1	Basic Requirement	14
8.2	Pouring	14
8.3	Curing	15
9	Quality Inspection and Acceptance	16
9.1	Inspection of Raw Materials	16
9.2	Performance Inspection of Concrete	16
9.3	Quality Acceptance	17
Appendix A	L-box Test Method	18
Appendix B	Evaluation Method of The Visual Stability Index	20
Appendix C	Intelligent Design Methods	22
	Explanation of Wording in This Specification	25
	List of Quoted Standards	26
	Addition: Explanation of Provisions	28

# 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、绿色低碳、经济合理、安全适用，确保工程质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于深圳市自密实混凝土的原材料选择、性能要求、配合比设计、生产与运输、施工与养护、质量检验与验收。

**1.0.3** 自密实混凝土的应用除应符合本规程外，尚应符合国家、行业、地方现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 自密实混凝土 self-compacting concrete (SCC)

具有高流动性、间隙通过性、抗离析性和稳定性，浇筑时无需外力振捣，能够在自重作用下流动并均匀密实地充满限定空间的混凝土。

#### 2.1.2 坍落扩展度 slump-flow

自坍落度筒提起至混凝土拌合物扩展终止后，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。

#### 2.1.3 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。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 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。

#### 2.1.6 填充性 filling ability

自密实混凝土拌合物在无需振捣的情况下，能均匀密实地充满限定空间的性能。

#### 2.1.7 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。

#### 2.1.8 离析率 segregation percent

标准法筛析试验中，拌合物静置  $15\text{min}\pm 0.5\text{min}$  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例。

#### 2.1.9 L 形仪试验 L-box test

采用规定的 L 形仪，检测自密实混凝土拌合物间隙通过性，拌合物在 L 形仪内停止流动后，记录 L 形仪后槽末端混凝土高度 ( $H_2$ ) 和前槽混凝土高度 ( $H_1$ ) 的比值。

#### 2.1.10 视觉指数 visual stability index

通过观察拌合物坍落扩展面，判断自密实混凝土的泌水情况和骨料分布状态的指数。

#### 2.1.11 体积稳定性 volume stability

自密实混凝土硬化后在无荷载作用下保持其体积不变的能力。

#### 2.1.12 相容性 compatibility

高性能减水剂与胶凝材料、骨料、拌合用水、其他外加剂相匹配时，拌合物的流动性及其经时变化的变化程度，或通过调整高性能减水剂达到相同效果时高性能减水剂组分及用量的变化程度。

### 2.2 符 号

#### 2.2.1 自密实混凝土拌合物性能：

$SF$ ——坍落扩展度；

$T_{500}$ ——扩展时间；

$PA$ ——坍落度扩展度与 J 环扩展度差值；

$SR$ ——离析率；  
 $H_2/H_1$ ——L形仪试验值；  
 $VSI$ ——视觉指数。

#### 2.2.2 体积：

$V_a$ ——每立方米混凝土中总骨料体系的体积；  
 $V_b$ ——每立方米混凝土中胶凝材料体系的体积；  
 $V_g$ ——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；  
 $V_w$ ——每立方米混凝土中水的体积。

#### 2.2.3 质量：

$m_a$ ——每立方米混凝土中总骨料体系的质量；  
 $m_b$ ——每立方米混凝土中胶凝材料体系的质量；  
 $m_c$ ——每立方米混凝土中水泥的质量；  
 $m_m$ ——每立方米混凝土中矿物掺合料的质量；  
 $m_g$ ——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；  
 $m_w$ ——每立方米混凝土中水的质量；  
 $m_{ca}$ ——每立方米混凝土中外加剂的质量。

#### 2.2.4 密度：

$\rho_b$ ——胶凝材料的表观密度；  
 $\rho_c$ ——水泥的表观密度；  
 $\rho_g$ ——粗骨料的表观密度；  
 $\rho_m$ ——矿物掺合料的表观密度；  
 $\rho_s$ ——细骨料的表观密度；  
 $\rho_w$ ——拌合水的密度。

#### 2.2.5 强度：

$f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度值；  
 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；  
 $f_{ce}$ ——水泥的 28d 实测抗压强度。

#### 2.2.6 其他：

$\alpha$ ——每立方米混凝土中外加剂占胶凝材料的质量分数；  
 $\beta$ ——每立方米混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数；  
 $\gamma$ ——矿物掺合料胶凝系数；  
 $W/B$ ——水胶比；  
 $\phi_s$ ——单位体积砂浆中砂所占的体积分。

### 3 基本规定

**3.0.1** 自密实混凝土可适用于形体复杂、配筋密集等施工空间受限制的工程，以及对施工噪声有严格控制的工程和对设计有要求的混凝土工程。

**3.0.2** 自密实混凝土在原材料采购、运输、贮存，混凝土配合比设计，混凝土生产、运输等环节，应采取有效措施降低碳排放。

**3.0.3** 自密实混凝土产品应满足绿色建材要求，在原材料采购、生产、运输环节的碳排放量宜按现行深圳市地方标准《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 的有关规定进行计算，自密实混凝土出厂质量证明书应标识混凝土碳排放总量。

## 4 原材料

### 4.1 一般规定

4.1.1 自密实混凝土所用原材料除应符合本规程的规定外，还应符合现行广东省标准《混凝土技术规范》DBJ 15-109、《预拌砂浆、混凝土及制品企业试验室管理规范》DBJ 15-104 等相关标准的有关规定。

### 4.2 水 泥

4.2.1 自密实混凝土宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定，且应严格限制水泥中掺加的混合材、助磨剂的种类和数量。大体积自密实混凝土宜选用中热硅酸盐水泥或低热硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB 200 的有关规定。选用其它品种的水泥应经混凝土的自密实性能、力学性能和耐久性能试验确定，且其技术性能指标还应符合国家现行相关标准的要求。

4.2.2 水泥中的氯离子含量不应大于 0.06%。

### 4.3 矿物掺合料

4.3.1 配制自密实混凝土用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、石灰石粉等掺合料应符合相应的标准要求。当采用其它掺合料时，应通过试验验证，确定混凝土性能满足工程应用要求后，方可使用。

4.3.2 掺合料应符合下列规定：

1 粉煤灰的技术性能指标应满足现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定。配制强度等级不低于 C50 自密实混凝土的粉煤灰宜选用Ⅰ级粉煤灰，配制强度等级低于 C50 自密实混凝土的粉煤灰宜选用Ⅱ级以上（含Ⅱ级）的粉煤灰；

2 粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定；

3 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定；

4 石灰石粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164 的有关规定。

### 4.4 外加剂

4.4.1 自密实混凝土用减水剂应选用高性能减水剂，其质量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。

4.4.2 自密实混凝土外加剂应符合下列规定：

1 含有六价铬、亚硝酸盐和硫氰酸盐成分的混凝土外加剂，不应用于饮水工程中建成后与饮用水直接接触的混凝土；

2 含有强电解质无机盐的早强剂和防水剂，严禁用于下列混凝土结构：

- 1) 与镀锌钢材或铝材相接触部位的混凝土结构；
- 2) 有外露钢筋、预埋件而无防护措施的混凝土结构；
- 3) 使用直流电源的混凝土结构；
- 4) 距离高压直流电源 100m 以内的混凝土结构。

- 3 含有氯盐的早强剂、防水剂，不应用于预应力混凝土、钢筋混凝土和钢纤维混凝土结构；
  - 4 含有硝酸铵、碳酸铵的早强剂，不应用于民用建筑工程；
  - 5 含有亚硝酸盐、碳酸盐的早强剂和含有硝酸盐的阻锈剂，不应用于预应力混凝土结构。
- 4.4.3 自密实混凝土采用膨胀剂时，掺量应通过试验进行验证。膨胀剂性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定。

## 4.5 骨 料

4.5.1 骨料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂石质量标准及检验方法》JGJ 52 的有关规定。净化海砂应符合现行行业标准《海砂混凝土应用技术规范》JGJ 206 的有关规定；机制砂应符合现行广东省地方标准《预拌混凝土用机制砂应用技术规程》DBJ/T 15-119 的有关规定；再生骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177、《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 及现行行业标准《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的有关规定。

4.5.2 自密实混凝土用粗骨料应符合下列规定：

1 粗骨料应采用连续级配或 2 个及以上单粒径级配搭配成连续级配使用，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；

2 粗骨料的针片状颗粒含量不应大于 5%；

3 对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土，粗骨料中的含泥量和泥块含量分别不应大于 1.0%和 0.5%，坚固性指标不应大于 8%。

4.5.3 自密实混凝土用砂应符合下列规定：

1 细骨料宜采用级配Ⅱ区中砂，细度模数宜为 2.5~2.8；

2 对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土，砂的含泥量和泥块含量分别不应大于 3.0%和 1.0%，坚固性指标不应大于 8%；

3 钢筋混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.03%，预应力混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.01%。

4.5.4 自密实混凝土用再生骨料应符合下列规定：

1 再生粗骨料宜采用 I 类再生粗骨料，骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 的有关规定；

2 再生细骨料宜采用 I 类再生细骨料，骨料应符合现行国家标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 的有关规定；

3 自密实混凝土采用再生骨料时，混凝土强度等级和再生骨料取代率应经试验验证后确定。

## 4.6 其 他

4.6.1 自密实混凝土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 的有关规定。当混凝土用砂的氯离子含量大于 0.003%时，拌合用水的氯离子含量不应大于 250mg/L。

4.6.2 自密实混凝土可根据工程需要掺入钢纤维、合成纤维，其性能应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T 39147、《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 及现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 中的有关规定。

## 5 性能要求

### 5.1 自密实混凝土拌合物性能

5.1.1 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。

5.1.2 自密实混凝土拌合物的自密实性能及要求可按表 5.1.2 确定。

表 5.1.2 自密实混凝土拌合物自密实性能等级划分

自密实性能	性能指标	性能等级	技术要求	检测标准
填充性	坍落扩展度 (mm)	SF1	$500 \leq SF < 600$	GB/T 50080
		SF2	$600 \leq SF < 700$	
		SF3	$700 \leq SF < 800$	
	扩展时间 $T_{500}$ (s)	VS1	$3 \leq VS < 10$	
		VS2	$VS < 3$	
间隙通过性	L 形仪试验值	$H_2/H_1 \geq 0.8$		本规程附录 A
	坍落扩展度与 J 环扩展度差值 (mm)	PA1	$25 < PA1 \leq 50$	GB/T 50080
		PA2	$0 \leq PA2 \leq 25$	
抗离析性	离析率	SR1	$SR \leq 20\%$	
		SR2	$SR \leq 15\%$	
	粗骨料振动离析率	$f_m \leq 10\%$		JGJ/T 283
稳定性	视觉指数 VSI	VSI-1	1 级	本规程附录 B

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。

5.1.3 自密实混凝土拌合物性能应同时满足表 5.1.2 的控制指标和至少一项可选指标。其中，控制指标应包括：坍落扩展度、扩展时间  $T_{500}$ 、视觉指数 VSI；可选指标应包括：L 形仪试验值、坍落扩展度与 J 环扩展度差值、离析率、粗骨料振动离析率。

5.1.4 3h 坍落扩展度经时损失应符合表 5.1.4 的相关要求。

表 5.1.4 3h 坍落扩展度经时损失要求

混凝土强度等级	$\geq C50$	C30~C45
3h 扩展度经时损失 (mm)	$\leq 30$	$\leq 50$

5.1.5 不同性能等级自密实混凝土应用范围应按表 5.1.5 确定。

表 5.1.5 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
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
	SF2	适合一般的普通钢筋混凝土结构
	SF3	适用于钢筋密集的竖向构件、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，应严格混凝土配合比。
稳定性	VSI-1	适用于各类型自密实混凝土结构
间隙通过性	PA1	适用于钢筋净距 80mm~100mm
	PA2	适用于钢筋净距 60mm~80mm
抗离析性	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

续表 5.1.5

自密实性能	性能等级	应用范围
抗离析性	SR2	适用于流动距离超过 5m、钢筋净距大于 80mm 的竖向结构，或者流动距离小于 5m、钢筋净距小于 80mm 的竖向结构，但当流动距离超过 5m 时，应控制 SR 值小于 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。
- 3 自密实混凝土均需满足 VSI-1 的指标要求。

## 5.2 硬化混凝土性能

**5.2.1** 硬化混凝土的力学性能、长期性能和耐久性能应符合现行国家标准的规定和设计、施工要求。

**5.2.2** 自密实混凝土的 28d 干燥收缩率不宜超过 0.04%，早期抗裂试验的单位面积的总开裂面积不应大于 700mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>。试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 有关规定执行。

**5.2.3** 自密实混凝土氯离子含量、碱含量和三氧化硫含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定，水溶性六价铬应符合现行深圳市地方标准《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 的有关规定。

## 6 配合比设计

**6.0.1** 自密实混凝土的配合比设计应综合考虑工程结构、施工工艺和环境条件，并按混凝土自密实性能、力学性能、长期性能和耐久性能的要求，确定初始配合比。经试验室试配、调整后，应得到满足自密实性能的基准配合比。设计配合比应经强度、耐久性的复核结果确定。

**6.0.2** 自密实混凝土配合比设计宜采用绝对体积法，可采用附录 C 中的智能化方法辅助设计。

**6.0.3** 自密实混凝土水胶比宜小于 0.45，胶凝材料用量宜控制在  $380\text{kg/m}^3 \sim 600\text{kg/m}^3$ ，单方混凝土中粗骨料绝对体积用量宜按表 6.0.3 选用，砂浆中砂的体积分数宜取 0.42~0.45，对于非引气型的自密实混凝土，每立方米混凝土中引入空气的体积可取 10L。

表 6.0.3 单方混凝土中粗骨料绝对体积用量

等级	SF1	SF2	SF3
粗骨料绝对体积用量 ( $\text{m}^3$ )	0.32~0.35	0.30~0.33	0.28~0.30

**6.0.4** 对于有预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，混凝土中最大碱含量不应大于  $3.0\text{kg/m}^3$ ，并宜掺用适量粉煤灰等掺合料；对于掺合料碱含量，粉煤灰碱含量可取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量可取实测值的 1/2。

**6.0.5** 自密实混凝土配合比设计应根据本规程表 5.1.2 确定自密实性能设计要求。

**6.0.6** 自密实混凝土初始配合比设计宜符合下列规定：

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、胶凝材料中矿物掺合料的用量和胶凝材料用量；

2 粗骨料体积及质量的计算宜符合下列规定：

1) 单方混凝土中粗骨料绝对体积用量  $V_g$  宜按表 6.0.3 选用；

2) 粗骨料质量可根据粗骨料绝对体积  $V_g$  和表观密度  $\rho_g$ ，可按下式计算：

$$m_g = V_g \times \rho_g \quad (6.0.6-1)$$

式中： $m_g$ ——每立方米自密实混凝土中粗骨料的质量 ( $\text{kg}$ )；

$V_g$ ——每立方米自密实混凝土中粗骨料的绝对体积 ( $\text{m}^3$ )；

$\rho_g$ ——粗骨料的表观密度 ( $\text{kg/m}^3$ )。

3 砂浆体积  $V_{mo}$  可按下式计算：

$$V_{mo} = 1 - V_g \quad (6.0.6-2)$$

式中： $V_{mo}$ ——每立方米自密实混凝土中砂浆的体积 ( $\text{m}^3$ )。

4 每立方米自密实混凝土中砂的绝对体积  $V_s$  和砂质量  $m_s$ ，可根据砂浆体积  $V_{mo}$  及砂浆中砂的体积分数  $\phi_s$ 、砂的表观密度  $\rho_s$ ，应按下列公式计算：

$$V_s = V_{mo} \times \phi_s \quad (6.0.6-3)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \quad (6.0.6-4)$$

式中： $V_s$ ——每立方米自密实混凝土中砂的绝对体积 ( $\text{m}^3$ )；

$\phi_s$ ——砂浆中砂的体积分数；

$m_s$ ——每立方米自密实混凝土中砂的质量 ( $\text{kg}$ )；

$\rho_s$ ——砂的表观密度 ( $\text{kg/m}^3$ )。

5 浆体体积  $V_p$  可按下列公式计算：

$$V_p = V_{mo} - V_s \quad (6.0.6-5)$$

式中： $V_p$ ——每立方米自密实混凝土中浆体的体积 ( $\text{m}^3$ )。

6 胶凝材料的密度可根据矿物掺合料和水泥的相对含量及各自的密度，可按下式计算：

$$\rho_b = \frac{1}{\beta/\rho_m + (1-\beta)/\rho_c} \quad (6.0.6-6)$$

式中： $\rho_b$ ——胶凝材料的密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ）；

$\beta$ ——每立方米自密实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，以 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 表示，并进行相应计算；

$\rho_m$ ——矿物掺合料的密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ），当采用两种或两种以上矿物掺合料时，以 $\rho_{m1}$ 、 $\rho_{m2}$ 、 $\rho_{m3}$ 表示，并进行相应计算；

$\rho_c$ ——水泥的密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ）。

7 自密实混凝土配制强度 $f_{cu,0}$ ，可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定进行计算；

8 当自密实混凝土强度等级不大于 C60 时，水胶比 W/B 可按下列要求确定：

1) 根据工程所使用的原材料，应通过建立的水胶比与自密实混凝土抗压强度关系式计算得到水胶比；

2) 当不具备上述试验统计资料时，可按下式计算：

$$W/B = \frac{0.42f_{ce}(1-\beta+\beta\gamma)}{f_{cu,0}+1.2} \quad (6.0.6-7)$$

式中： $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度（MPa）；

$f_{ce}$ ——水泥的 28d 实测抗压强度（MPa）；当水泥 28d 胶砂强度无实测值时，可采用统计回归值或采用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代入上式；

$\beta$ ——每立方米自密实混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数，该值不宜小于 0.2；当采用两种及两种以上矿物掺合料时，以 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 表示；

$\gamma$ ——矿物掺合料的胶凝系数；石灰石粉的 $\beta$ 不大于 0.2、I 级或 II 级粉煤灰的 $\beta$ 不大于 0.3、S95 或 S105 级矿渣粉的 $\beta$ 不大于 0.4 时，建议分别取 0.2、0.6 和 0.9。

9 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 $V_p$ ，由胶凝材料的密度 $\rho_b$ 、水胶比 W/B 等参数，可按下式计算：

$$m_b = \frac{V_p - V_a}{1/\rho_b + (W/B)/\rho_w} \quad (6.0.6-8)$$

式中： $V_a$ ——每立方米混凝土中引入空气的体积（L）；

$\rho_w$ ——拌合水的密度，取  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

10 每立方米自密实混凝土中水的质量 $m_w$ 可根据每立方米自密实混凝土中胶凝材料用量 $m_b$ 以及水胶比 W/B，可按下式计算：

$$m_w = m_b \times (W/B) \quad (6.0.6-9)$$

11 每立方米自密实混凝土中水泥的质量 $m_c$ 和矿物掺合料的质量 $m_m$ ，可根据每立方米自密实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 $\beta$ ，可按下列公式计算：

$$m_m = m_b \times \beta \quad (6.0.6-10)$$

$$m_c = m_b - m_m \quad (6.0.6-11)$$

12 每立方米自密实混凝土中外加剂的质量 $m_{ca}$ 应按下列公式计算：

$$m_{ca} = m_b \times \alpha \quad (6.0.6-12)$$

式中： $m_{ca}$ ——每立方米自密实混凝土中外加剂的质量（kg）；

$\alpha$ ——每立方米自密实混凝土中外加剂掺量占胶凝材料的质量分数，由试验确定。

**6.0.7 配合比试配应符合下列规定：**

- 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** 根据本规程第 6.0.6 条确定的计算配合比进行混凝土试拌，当试拌的拌合物性能不能满足设计要求时，宜保持水胶比不变，合理调整胶凝材料用量、外加剂用量、砂的体积分数或更换原材料等，直到符合性能要求，确定出混凝土强度试验用的试拌配合比；
- 3** 在试拌配合比的基础上进行强度试验，应符合下列规定：
  - 1)** 应至少采用三个不同的配合比进行混凝土试配，其中一个应为本规程第 6.0.7 条第 2 款确定的试拌配合比，另外两个配合比的水胶比宜较试拌配合比分别增加和减少 0.03；砂的体积分数可分别增加和减少 1%~3%；胶凝材料用量和用水量分别根据式（6.0.6-8）和式（6.0.6-9）进行计算调整。三个不同配合比的拌合物性能应符合自密实混凝土要求；
  - 2)** 每个配合比至少应制作一组试件，标准养护 28d 或设计强度要求的龄期时试压；可同时制作几组试件，按现行行业标准《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，混凝土强度应满足标准养护 28d 或设计规定龄期的要求；如有耐久性要求时，尚应制作试件检测相应的耐久性指标；
  - 3)** 根据强度试验结果，宜绘制强度和胶水比的线性关系图或插值法确定大于配制强度对应的胶水比，再计算出相应的胶凝材料用量和用水量进行验证。

**6.0.8 配合比调整与确定应符合下列规定：**

- 1** 应根据本规程第 6.0.7 条得到的试配结果，确定混凝土设计配合比。实际生产时，应根据原材料的变化对设计配合比进行调整，拌合物和硬化混凝土性能均应满足相应规定；
- 2** 对于应用条件特殊的工程，可对确定的配合比进行模拟试验。

## 7 生产与运输

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 自密实混凝土生产前应确定详细的生产方案，并进行技术交底。
- 7.1.2 自密实混凝土的生产与运输应保证施工的连续性和稳定性。
- 7.1.3 自密实混凝土的生产应满足现行行业标准《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》JGJ/T 328 及现行广东省标准《<预拌混凝土绿色生产及管理技术规范>广东省实施细则》DBJ/T 15-117 规定的三星级绿色生产评价的要求。

### 7.2 原材料贮存

- 7.2.1 原材料采购应综合考虑原材料碳排放因子、运输方式、运输距离等影响因素。
- 7.2.2 原材料进场时，供方应按批次向需方提供质量证明文件。
- 7.2.3 原材料贮存应符合下列规定：
- 1 各种原材料应分仓贮存，并应有明显的标识；
  - 2 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；
  - 3 掺合料应按品种、质量等级及生产厂家分别贮存，并应防止受潮和污染；
  - 4 骨料宜采用仓储或带棚堆场贮存，不同品种、规格及生产厂家的骨料应分别贮存，堆料仓应设有分隔区域；
  - 5 外加剂应按品种和生产厂家分别贮存，并应采取遮阳、防水等措施。粉状外加剂应防止受潮结块，如有结块现象，经性能检验合格的，应粉碎至全部通过 0.3mm 方孔筛；液态外加剂应储存在不会发生化学反应的密闭容器内，并应防晒和防冻，使用前应搅拌均匀。如有沉淀等异常现象，应检验合格后方可使用。

### 7.3 生产

- 7.3.1 计量设备应符合现行国家标准《建筑施工机械与设备混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171 的有关规定，原材料的计量应按质量计，且原材料计量允许偏差应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	掺和料
每盘计量允许偏差（%）	±2	±3	±1	±1	±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。

- 7.3.2 自密实混凝土生产过程应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。
- 7.3.3 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。
- 7.3.4 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骨料、水用量。
- 7.3.5 混凝土配合比使用过程中，应根据原材料的变化或混凝土质量动态信息及时进行调整，满足配合比设计和现场使用要求，配合比变更应经技术负责人批准。
- 7.3.6 在高温施工时，生产自密实混凝土原材料最高入机温度应符合表 7.3.6 的规定，必要时应对原材料采取温度控制措施。

表 7.3.6 原材料最高入机温度

原材料	最高入机温度（℃）
水泥	60

续表 7.3.6

原材料	最高入机温度 (°C)
骨料	30
水	30
掺合料	40

7.3.7 自密实混凝土生产应采用绿色环保、节能降耗、易维护、易保养的设施设备。

## 7.4 运 输

7.4.1 自密实混凝土的运输应事先根据浇筑量、生产能力、途中时间和浇筑能力制定合理的运输计划。

7.4.2 混凝土运输设备应符合下列要求：

1 混凝土搅拌运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408、《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定及政府相关管理规定，宜采用新能源运输车，并采取防晒、防雨等措施；

2 混凝土运输设备在运送混凝土时，应能保持混凝土拌合物的均匀性，不应产生离析、分层和前后不均匀现象。

7.4.3 运输车在接料前应将车内积水排尽，浇筑完毕后应将搅拌车罐内残留的混凝土清洗干净。

7.4.4 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 3r/min~5r/min，不应向罐内加水。

7.4.5 运输车从开始接料至卸料的时间不宜大于 120min，若需要延长卸料时间时，应对拌合物性能进行试验验证。

7.4.6 卸料前，搅拌运输车罐体应高速旋转 20s 以上。

## 8 施工与养护

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 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 的有关规定，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 的有关规定，大体积自密实混凝土施工应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的有关规定。

**8.1.2** 自密实混凝土施工前应根据工程特点、结构类型、工程量、施工工艺与条件、进度计划和交通情况等制定专项质量保证施工方案，并应对施工作业人员进行技术交底。

**8.1.3** 结构复杂、多空间钢结构腔体内浇筑自密实混凝土时，应进行实体模拟或其他可靠试验验证。

**8.1.4** 自密实混凝土施工时应安排专人对施工过程中混凝土性能、钢筋移位、模板变形、侧压力等情况进行监控，并应根据监控结果调整施工措施。

### 8.2 浇筑

**8.2.1** 模板及支架应根据施工过程中的各种控制工况进行设计，并应满足承载力、刚度和整体稳固性要求；应能可靠地承受浇筑混凝土的自重、侧压力（按液体压力计算）和施工过程中产生的荷载。

**8.2.2** 根据工程结构形式、荷载大小、地基土类别、施工程序、施工机具和材料供应等，应选择符合国家标准的模板及相关部件。

**8.2.3** 成型的模板应拼装紧密，不得漏浆，应保证构件尺寸，形状符合设计要求，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的混凝土时，应在模板上适当位置设置排气孔和浇筑观察口。

**8.2.4** 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，养护时间不得少于 14d。

**8.2.5** 自密实混凝土入模温度不宜超过 35℃，大体积结构混凝土入模温度不宜超过 30℃。

**8.2.6** 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而定，最大不宜超过 7m。布料点的间距应根据拌合物性能和工程特点选择，且不宜大于 6m；相邻布料点应均匀卸料；当构件钢筋最小净距小于 35mm 时，宜缩小布料点的间距，且布料点间距宜通过试验确定。竖向浇筑速度每 15 分钟不宜超过 1m。

**8.2.7** 柱、墙模板内的混凝土浇筑倾落高度不宜超过 5m，否则应加设串筒、溜管、溜槽等装置。

**8.2.8** 钢管自密实混凝土结构浇筑应符合下列规定：

1 按设计要求应在钢管内隔板等适当位置设置排气孔，排气孔孔径不宜小于 20mm；应采取施工措施防止混凝土倾落时堵塞排气孔；

2 混凝土浇筑不应抛落，应采用串筒、溜槽、溜管等辅助装置进行浇筑，混凝土下落处与混凝土面距离小于 30cm。

**8.2.9** 复杂、配筋密集的混凝土浇筑构件时，可在模板外侧进行敲击、振动，辅助密实。

**8.2.10** 混凝土浇筑过程应分层进行，分层厚度不宜大于 500mm，上层混凝土应在下层混凝土初凝前浇筑完毕。

**8.2.11** 自密实混凝土拌合物性能不符合现场施工要求时，不得调整使用。

### **8.3 养 护**

**8.3.1** 养护方案应根据自密实混凝土拌合物性能、现场条件、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素，综合确定。

**8.3.2** 自密实混凝土浇筑后应及时采用覆盖、蓄水、薄膜保湿、喷涂养护剂等养护措施，养护时间不应少于 14d。

**8.3.3** 对于平面结构构件，自密实混凝土浇筑收浆和抹压后，应及时采用塑料薄膜、土工布等覆盖，保持其内部有凝结水。

**8.3.4** 竖向结构构件拆模后，表面应进行保温、保湿养护。

**8.3.5** 采用蒸汽养护的预制构件，养护制度应通过试验确定。

## 9 质量检验与验收

### 9.1 原材料检验

9.1.1 原材料进厂质量检验应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902、《混凝土质量控制标准》GB 50164 及本规程第 4 章的有关规定，进场检验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 的有关规定。

### 9.2 混凝土性能检验

9.2.1 自密实混凝土检验，包括拌合物性能和硬化混凝土性能检验。其中拌合物性能主要检测参数及频次应符合表 9.2.1-1 的规定；硬化混凝土性能主要检测参数及频次应符合表 9.2.1-2 的规定。

表 9.2.1-1 自密实混凝土拌合物性能检验频次要求

检验类别	检验参数	检验频次
出厂检验	坍落扩展度、扩展时间 $T_{500}$ 、视觉指数	开盘前三车每车取样检测，连续生产后每 $100\text{m}^3$
	3h 扩展度经时损失、*离析率、*粗骨料振动离析率、*扩展度与 J 环扩展度差值、*L 形仪试验值、*含气量	相同配合比的混凝土至少应检验 1 次；当一个台班相同配合比的混凝土不足 $100\text{m}^3$ 时，检验不得少于 1 次
	水溶性氯离子含量	同一工程、同一配合比、同一批次砂不少于 1 次
交货检验	坍落扩展度、扩展时间 $T_{500}$ 、视觉指数	每车混凝土不少于 1 次
	水溶性氯离子含量	同一工程、同一配合比、同一批次砂不少于 1 次
验收检验	坍落扩展度、扩展时间 $T_{500}$ 、视觉指数	每车混凝土不少于 1 次

表 9.2.1-2 硬化混凝土性能检验及频次要求

检验类别	检验参数	检验频次
出厂检验	抗压强度	连续生产时，每 $100\text{m}^3$ 相同配合比的混凝土至少应检验 1 组；当一个台班相同配合比的混凝土不足 $100\text{m}^3$ 时，检验不得少于 1 组
	抗水渗透等级、早期抗裂试验、28d 干燥收缩率、氯离子含量、*碱含量、*三氧化硫含量、抗压强度	同一工程、同一配合比，为 1 个检验批，每个检验批，设计要求的检验参数，不少于 1 组。此类检测应由独立第三方实验室，在配合比验证阶段完成，当砂等主要原材料质量有明显波动时，应增加相关抽检 1 次。
验收检验	抗压强度	连续生产后每 $100\text{m}^3$ 相同配合比的混凝土至少应检验 1 组；当一个台班相同配合比的混凝土不足 $100\text{m}^3$ 时，检验不得少于 1 组
	抗水渗透等级	连续生产时，每 $500\text{m}^3$ 相同配合比的混凝土，至少应检验 1 组；当一个台班相同配合比的混凝土不足 $500\text{m}^3$ 时，检验不得少于 1 组； 同一工程、同一配合比、检验组数不少于 2 组

注：带“\*”的检验参数应根据表 5.1.5 中的应用范围进行补充。

**9.2.2** 自密实混凝土拌合物性能试验方法应符合表 5.1.2 的规定。

**9.2.3** 硬化混凝土的性能检验检测方法应符合下列规定：

1 氯离子含量检测应按现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 的有关规定执行；碱含量检测应制样，并按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的有关规定执行，检测应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 的有关规定执行；三氧化硫含量检测应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 的有关规定执行；

2 混凝土力学性能试验方法应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定执行；

3 长期性能和耐久性能试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定执行。

**9.2.4** 自密实混凝土的性能评定应符合下列规定：

1 拌合物性能、早期抗裂试验、28d 干燥收缩率应按本规程第 5 章规定进行评定，且应符合有关设计要求；

2 对掺有引气型外加剂的自密实混凝土应检验其含气量，自密实混凝土含气量与合同规定值之差不应超过 $\pm 1.0\%$ ；

3 氯离子含量、碱含量、三氧化硫含量应符合设计要求及现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的有关规定；

4 强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定，其他力学性能检验应符合设计要求和国家现行有关标准的规定；

5 长期性能和耐久性能检验评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的有关规定。

### 9.3 质量验收

**9.3.1** 自密实混凝土质量的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 的有关规定执行。

## 附录 A L形仪的试验方法

### A.1 仪器要求

**A.1.1** L形仪用硬质不吸水材料制成，由前槽（竖向）和后槽（水平）组成，具体外形尺寸见图 A.1.1。前槽与后槽之间有一活动门隔开。活动门前设有一垂直钢筋栅，钢筋栅由 3 根（或 2 根）长为 150mm 的  $\Phi 12$  光圆钢筋组成，钢筋净间距为 40mm 或 60mm。

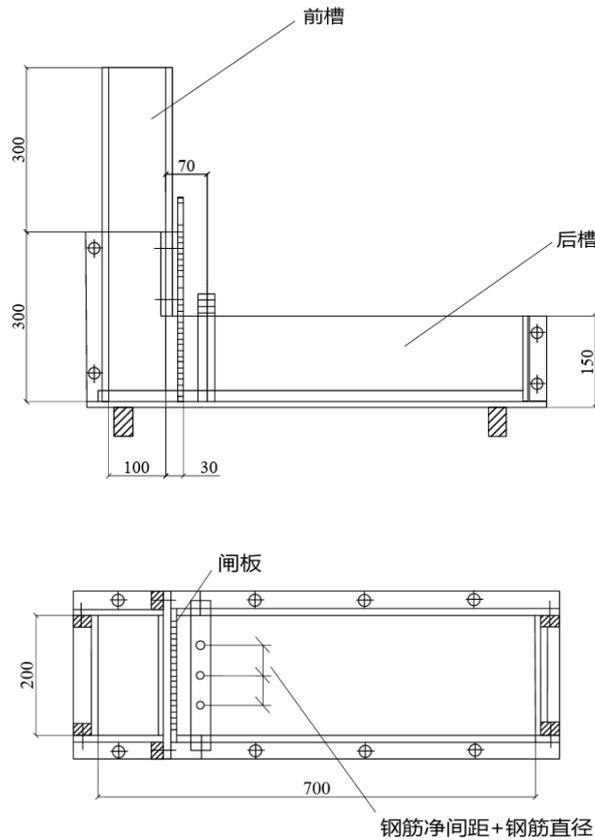


图 A.1.1 L形仪

**A.1.2** 工具：铲子、抹刀、秒表。

### A.2 试验步骤

- A.2.1** 将仪器水平放在地面上，保证活动门可以自由地开关。
- A.2.2** 润湿仪器内表面，清除多余的水。
- A.2.3** 用混凝土将 L 形仪前槽填满。
- A.2.4** 静置 1min 后，迅速提起活动门使混凝土拌合物物流进水平部分，见图 A.2.4。

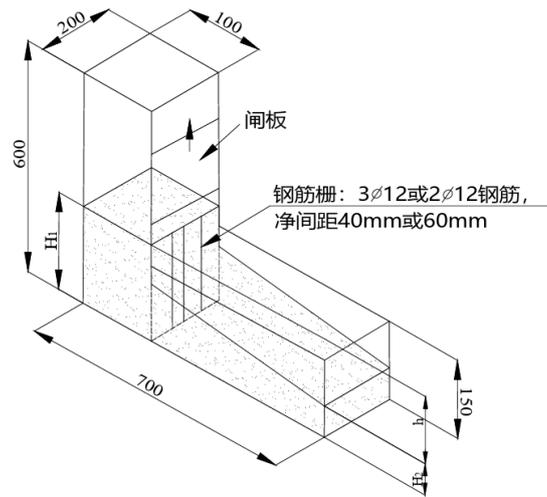


图 A. 2. 4 L 形仪试验

### A. 3 试验记录

A. 3. 1 混凝土拌合物停止流动后，测量并记录“ $H_1$ ”、“ $H_2$ ”。

A. 3. 2 整个试验在 5min 内完成。

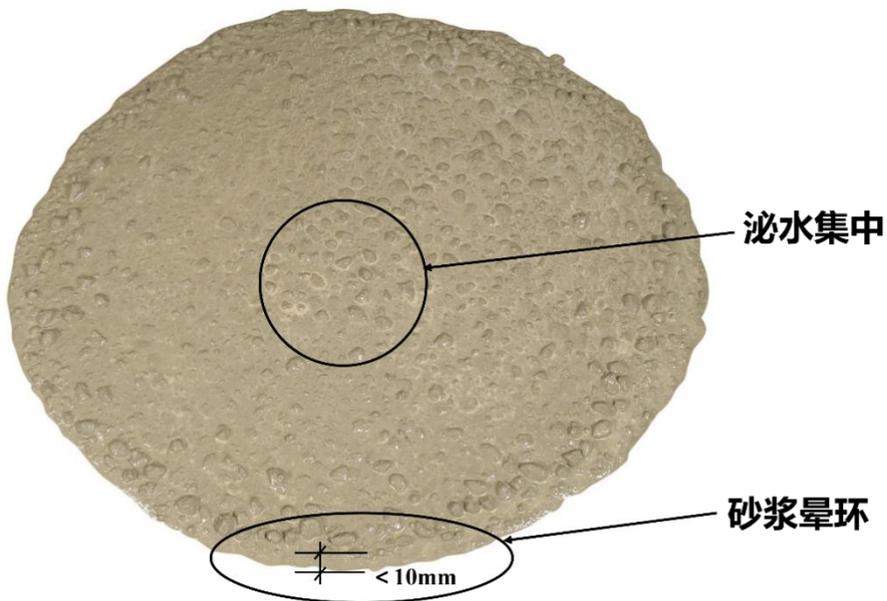
## 附录 B 视觉指数的评价方法

**B.0.1** 自密实混凝土拌合物的稳定性宜采用视觉指数进行评定。

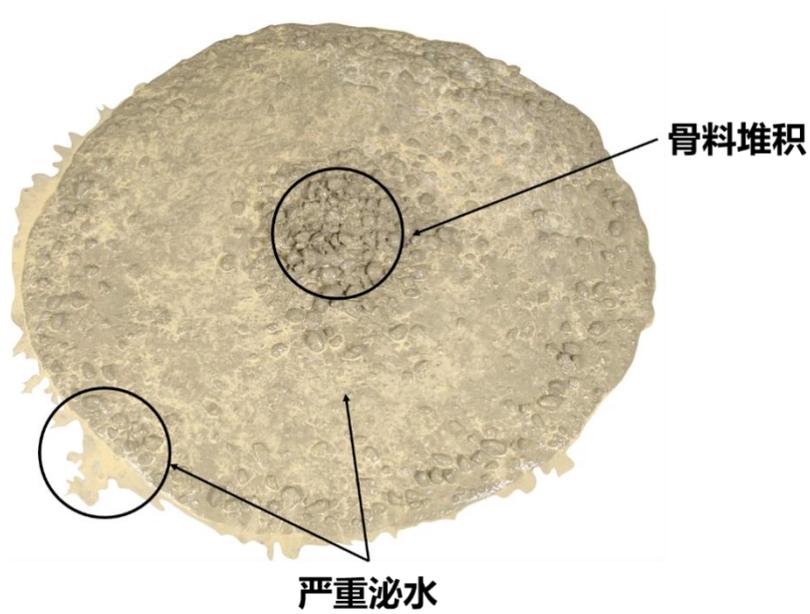
**B.0.2** 自密实混凝土拌合物的视觉指数应根据图 B.0.2 (a~c) 及表 B.0.2 确定取值，并评定混凝土拌合物的稳定性。



(a) VSI=1



(b) VSI=2



(c) VSI=3

图 B.0.2 视觉指数对应的混凝土拌合物现象

表 B.0.2 视觉指数评价标准

视觉稳定指数值 VSI	标准
1 = 稳定	无离析、泌水（如拌合物表面出现光泽）
2 = 不稳定	出现轻微的离析、泌水或骨料堆积现象（砂浆晕环 $\leq 10\text{mm}$ ）
3 = 高度不稳定	出现明显离析，骨料堆积程度严重（砂浆晕环 $> 10\text{mm}$ ）

注：VSI 等级为 1 表明 SCC 拌合物是稳定的，符合预期用途；VSI 等级为 2 或 3 表示可能存在离析的风险，应采取措施修改或调整配合比以确保稳定性。

## 附录 C 智能化辅助设计方法

C.0.1 本方法可用于自密实混凝土（SCC）的配合比设计。

C.0.2 自密实混凝土的配合比设计应根据图 C.0.2 所示的流程图进行，具体设计步骤如下：

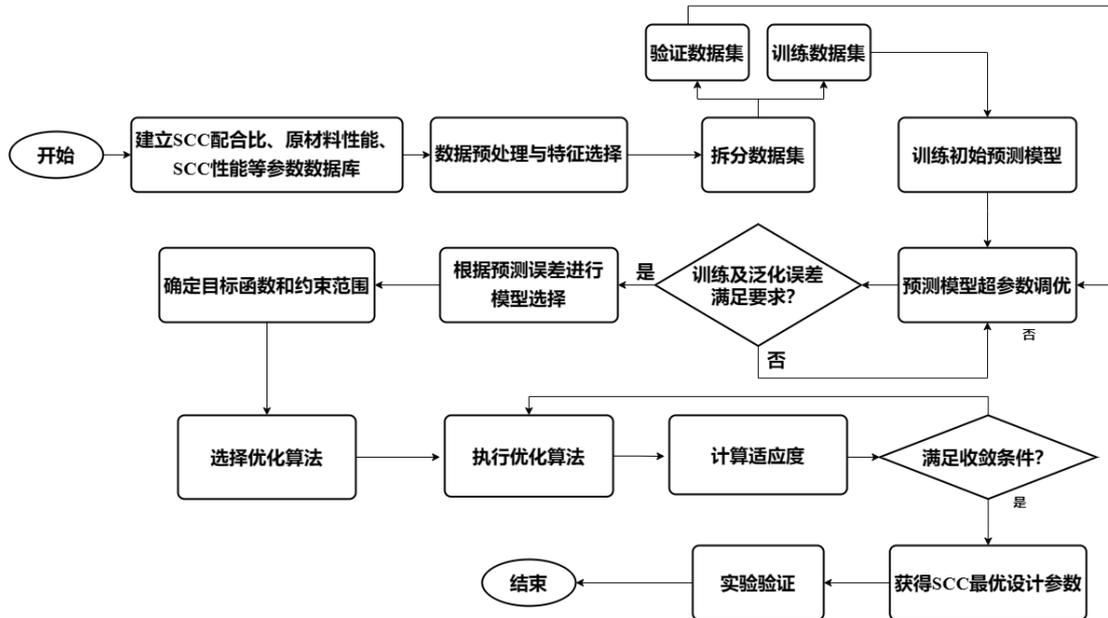


图 C.0.2 自密实混凝土配合比智能化设计流程

1 建立自密实混凝土配合比、原材料性能、SCC 性能等参数数据库；

自密实混凝土配合比参数应至少包括水泥、外加剂、粗骨料、细骨料、水胶比，可选配合比参数包括粉煤灰、石灰石粉、矿渣、水泥标号等；原材料性能参数可包括水泥强度等级、凝结时间、粉煤灰氧化钙含量等；SCC 性能参数应至少包括坍落扩展度、28 天抗压强度。数据量应大于 200 组且大于特征数量的 10 倍。

2 数据处理与特征选择；

应对数据库进行异常值检测、标准化处理、特征选择。异常值检测可采用四分位距法；标准化处理可采用 z-score 标准化方法；特征选择可采用递归特征消除法。

采用四分位距法进行异常检测时，应将大于上限值及小于下限值的数据点视为异常值，并进行剔除。上限值和下限值根据公式（C.0.2-1）和（C.0.2-2）计算：

$$L_u = Q_3 + k \times (Q_3 - Q_1) \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$L_l = Q_1 - k \times (Q_3 - Q_1) \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中： $L_u$ ——上限值；

$L_l$ ——下限值；

$Q_1$ ——下四分位；

$Q_3$ ——上四分位；

$k$ ——系数，宜取 1.1 至 1.6，具体根据实际情况而定。

采用 z-score 标准化方法进行标准化处理时，首先计算总体数据的均值、总体数据的标准差，并根据公式（C.0.2-3）进行计算：

$$X_i' = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (\text{C.0.2-3})$$

式中： $X_i'$ —— $x_i$  标准化后的值；

- $x_i$ ——个体的观测值；
- $\bar{x}$ ——总体数据的均值；
- $\sigma$ ——总体数据的标准差。

采用递归特征消除法进行特征选择时，应按以下步骤进行：

- 1) 将所有可用的特征纳入初始特征集；
- 2) 使用随机森林模型确定每个特征的重要性；
- 3) 从当前特征集中删除最不重要的特征，更新特征集；
- 4) 重复步骤 2 至 3，直到预测误差最小；
- 5) 选择预测误差最小时对应的特征子集作为最终特征集。

### 3 拆分数数据集；

将数据集随机拆分为训练数据集和验证数据集，验证数据集所占比例应在 10%至 40%之间，具体应根据数据集大小而定。训练数据集用于训练初始预测模型，得到预测模型训练误差，验证数据集用于验证模型的泛化能力，得到预测模型泛化误差，训练数据集与验证数据集共同用于模型超参数调优。

### 4 训练初始预测模型；

将训练数据集输入机器学习算法并训练自密实混凝土性能预测模型。机器学习算法可采用随机森林算法，常用机器学习算法还包括支持向量机、人工神经网络等。

### 5 预测模型超参数调优；

根据训练误差和泛化误差进行模型超参数调优，误差可采用均方根误差，根据公式(C.0.2-4)计算。具体超参数应根据不同算法而定。随机森林模型超参数包括 n\_estimators、Max\_depth、Max\_features，超参数取值范围可参考表 C.0.2-1；支持向量机模型超参数包括 kernel、C、 $\gamma$ ，超参数取值范围可参考表 C.0.2-2。可采用随机网格搜索交叉验证法进行超参数调优，具体操作方法如下：

- 1) 创建一个超参数网格；
- 2) 从网格中为每个超参数选择不同的值，并使用这些超参数的随机组合来评估模型；
- 3) 选择模型误差最低的超参数组合。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2}{n}} \quad (C.0.2-4)$$

式中：RMSE——均方根误差；

- $y'_i$ ——第 i 个样本的预测值；
- $y_i$ ——第 i 个样本的真实值；
- $n$ ——样本总数。

表 C. 0. 2-1 随机森林模型超参数推荐范围

超参数	n_estimators	Max_depth	Max_features
超参数含义	决策树的个数	每棵决策树的最大深度	每个决策树的特征子集大小
推荐范围	400 至 800	20 至 60	1 至 5

表 C. 0. 2-2 支持向量机模型超参数推荐范围

超参数	kernel	C	$\gamma$
超参数含义	核函数	惩罚系数	核函数的系数
推荐范围	RBF	100 至 500	0.01 至 1

### 6 根据预测误差进行模型选择；

根据模型的训练误差和泛化误差选择预测误差最低的模型。

### 7 确定目标函数和约束范围；

目标函数可设置为混凝土原材料碳排放最小值，如公式（C.0.2-5）所示。根据自密实混凝土的设计需求确定约束范围，约束范围包括各设计参数范围约束、胶凝材料总量约束、骨料总量约束、砂率约束、绝对体积约束、各性能指标约束等。约束范围应符合本规程相关规定，且不出数据库中相应参数的范围。

$$f = \min \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (\text{C.0.2-5})$$

式中： $f$ ——目标函数；

$M_i$ ——第  $i$  个原材料质量（kg）；

$F_i$ ——第  $i$  个原材料碳排放因子（kg/kg）。

**8 选择优化算法；**

可采用属于启发式优化方法的遗传算法作为自密实混凝土设计的优化算法，常用优化算法包括启发式优化方法、梯度下降法、牛顿法和拟牛顿法、共轭梯度法等。

**9 执行优化算法；**

利用 Python 执行优化算法主程序，执行优化算法时，需要设定优化算法参数。遗传算法的参数设定可参考表 C.0.2-3，应根据实际情况进行调整。

**表 C.0.2-3 遗传算法参数推荐范围**

参数	种群数量	最大遗传代数	交叉概率	变异概率
推荐范围	100 至 1000	100 至 1000	0.5 至 1	0.01 至 0.1

**10 计算适应度；**

适应度函数是根据目标函数确定的用于区分群体中个体好坏的标准。

**11 获得 SCC 最优设计参数；**

选择适应度最高且满足约束范围的 SCC 设计参数作为最优设计参数。

**12 实验验证；**

应对本方法设计的自密实混凝土进行实验验证，具体实验方法应符合本规程相关规定。

## 本规程用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》 GB 200
- 3 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 5 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 6 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 8 《大体积混凝土施工标准》 GB 50496
- 9 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 10 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
- 11 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 12 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 13 《建筑施工机械与设备混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
- 14 《预拌混凝土》 GB/T 14902
- 15 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 16 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T 21120
- 17 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 18 《混凝土和砂浆用再生细骨料》 GB/T 25176
- 19 《混凝土用再生粗骨料》 GB/T 25177
- 20 《混凝土搅拌运输车》 GB/T 26408
- 21 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 22 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》 GB/T 35164
- 23 《混凝土用钢纤维》 GB/T 39147
- 24 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 25 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 26 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 27 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 28 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 29 《混凝土结构现场检测技术标准》 GB/T 50784
- 30 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 31 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 32 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 33 《海砂混凝土应用技术规范》 JGJ 206
- 34 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10
- 35 《早期推定混凝土强度试验方法标准》 JGJ/T 15
- 36 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
- 37 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221
- 38 《水运工程自密实混凝土技术规范》 JTS/T 226
- 39 《再生骨料应用技术规程》 JGJ/T 240

- 40 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283
- 41 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》 JGJ/T 322
- 42 《预拌混凝土绿色生产及管理技术规程》 JGJ/T 328
- 43 《水工自密实混凝土技术规程》 DL/T 5720
- 44 《核电厂自密实混凝土应用技术规程》 NB/T 20339
- 45 《自密实混凝土加固工程结构技术规程》 DBJ/T 13-150
- 46 《预拌砂浆、混凝土及制品企业试验室管理规范》 DBJ 15-104
- 47 《混凝土技术规范》 DBJ 15-109
- 48 《<预拌混凝土绿色生产及管理技术规范>广东省实施细则》 DBJ/T 15-117
- 49 《预拌混凝土用机制砂应用技术规程》 DBJ/T 15-119
- 50 《天津市自密实混凝土应用技术规程》 DB/T 29-197
- 51 《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》 SJG 59
- 52 《超高层建筑混凝土技术规程》 SJG 108

深圳市工程建设地方标准

自密实混凝土应用技术规程

**SJG 164 – 2024**

条文说明

## 目 次

1	总则	30
2	术语与符号	31
3	基本规定	32
4	原材料	33
4.1	一般规定	33
4.2	水泥	33
4.3	矿物掺合料	34
4.4	外加剂	34
4.5	骨料	35
4.6	其他	36
5	性能要求	37
5.1	自密实混凝土拌合物性能	37
5.2	硬化混凝土的性能	39
6	配合比设计	40
7	生产与运输	42
7.1	一般规定	42
7.2	原材料贮存	42
7.3	生产	42
7.4	运输	42
8	施工与养护	44
8.1	一般规定	44
8.2	浇筑	44
9	质量检验与验收	46
9.1	原材料检验	46
9.2	混凝土性能检验	46
附录 B	视觉指数的评价方法	47
附录 C	智能化辅助设计方法	48

## 1 总 则

**1.0.1** 根据当前国家的双碳政策，参考现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 1.0.1 条和《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 1.0.1 条，扩展了自密实混凝土的应用目标——绿色低碳。

**1.0.3** 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 1.0.3 条，制定本条文。自密实混凝土的应用，除满足本规程的基本规定外，还应满足国家、行业以及地方相关标准，特别是现行标准。

## 2 术语与符号

**2.1.1** 参考规程《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 2.1.1 条和《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 2.1.1 条，重新对自密实混凝土进行定义。

**2.1.8** 离析率试验是一种检测混凝土抗离析性能的方法，它的原理是通过测量拌合物静置后流过 5mm 方孔筛的浆体质量与混凝土质量的比例，来反映拌合物的稳定性。而拌合物静置时间是影响离析率的重要因素，如果静置时间过短或过长，都会导致测量结果不准确。因此，该条文参考规程《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 附录 A.3.3 第 1 条内容以及国内外相关试验研究成果，确定拌合物静置的合理时间范围为  $15\text{min}\pm 0.5\text{min}$ 。从而既能保证拌合物在静置过程中发生一定程度的离析，也能避免拌合物因水分蒸发或胶凝材料水化而导致黏度增大，影响筛分效果。

**2.1.10** 参考国外标准《Best Practices Guidelines for Self-Consolidating Concrete》中对自密实混凝土视觉指数 VSI 的定义，并引入本规程。当混凝土拌合物的扩展度流动测试完成后，根据拌合物扩展面的泌水和骨料堆积的情况，给定一个 VSI 值，用于评判自密实混凝土的稳定性。

**2.1.11** 参考规程《自密实混凝土加固工程结构技术规程》DBJ/T 13-150 第 2.1.17 条，补充自密实混凝土体积稳定性的定义。

**2.1.12** 参考规程《聚羧酸减水剂应用技术规程》DBJ/T 15-204 第 2.0.6 条，针对多种外加剂内掺的情况，补充相容性一词的定义。

### 3 基本规定

**3.0.1** 自密实混凝土技术是 20 世纪 80 年代后期由日本首先研究开发，并付诸应用的一项混凝土技术。近年来，自密实混凝土在我国发展迅速，应用领域也进一步的拓展，在各类型混凝土工程中得到应用，不再局限于复杂配筋、结构复杂的工程环境。因此，本条文在参考《水运工程自密实混凝土技术规范》JTS/T 226 第 3.0.1 条后，结合当前的应用背景，规定了自密实混凝土的适用范围和优势。并在条文中规定了一些自密实混凝土的典型应用领域，如形体复杂、配筋密集等施工空间受限制的工程，以及对施工噪声有严格控制的工程。这些工程都是普通混凝土难以施工或者效果不佳的情况，自密实混凝土能够克服这些困难，提高工程性能和耐久性。此外，本条文还指出，自密实混凝土不局限于特殊的结构和环境，还可应用于各类型混凝土工程，包括：薄壁、深井、钢管混凝土和水下浇筑的桩、地下连续墙、水下护坡等。

**3.0.2** 据相关研究数据可知，2018 年全球生产水泥达 4.1 亿吨，1kg 水泥的生产将带来 981kg 的二氧化碳排量，整个 2018 年产生了  $4.0221 \times 10^{15}$ kg 的二氧化碳排放量，对整个全球的碳排放造成极大压力。因此，为尽可能减少碳排放，应通过科学调节的方式降低混凝土所需原材料在生产运输环节产生的碳排放量。同时，对于混凝土在生产、运输等环节的碳排放，也应采取合理的方法进一步降低。

**3.0.3** 本条文说明了自密实混凝土在原材料采购、生产、运输过程中碳排放量的计算方式，具体计算可参照现行深圳市标准《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59。另外，为响应国家应对气候变化和节能减排的方针政策，引导深圳市自密实混凝土行业向绿色、低碳、环保方向可持续发展，本规程在参考《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 第 3.0.4 条后，引入了混凝土碳排放。同时，绿色认证是一种对自密实混凝土生产商的认可，它可以帮助自密实混凝土生产商提升品牌形象，增强市场竞争力，鼓励自密实混凝土生产商积极进行产品的绿色认证。

## 4 原材料

### 4.1 一般规定

**4.0.1** 本条文参考规程《自密实混凝土应用技术规程》DB62/T 3156 第 3.0.2 条和《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 第 4.1.4 条。明确了自密实混凝土所用原材料除应符合本规程相关规定外，还应满足广东省标准对混凝土原材料的要求。与《自密实混凝土应用技术规程》DB62/T 3156 和《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 中提及的条文不同。通过对比国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和广东省标准《混凝土技术规范》DBJ 15-109，发现后者更贴近深圳市的实情，而且在原材料的质量控制上更严格，大多集中在原材料放射性、机制砂使用要求、净化海砂使用要求等方面。

### 4.2 水 泥

**4.2.1** 本条文参考规程《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 4.2.1 条、《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 3.1.1 条及《水工自密实混凝土技术规程》DL/T 5720 第 3.1.1~3.1.3 条。整合三个规程的条文后，制定本规程对水泥的相关要求。其中，增添大体积自密实混凝土对水泥的选用标准，是因为自密实混凝土通常胶凝材料用量较大，致使其早期水化热和硬化混凝土收缩较大。为提高自密实混凝土的体积稳定性及耐久性，一般采用大掺量矿物掺合料的技术措施。但在面对大体积自密实混凝土时，水泥水化热造成的影响更加突出。随着水化温度过高，会导致混凝土坍落度损失过大、假凝等情况的产生，不利于混凝土施工质量的控制，更加不利于超高泵送。因此，在采用大量矿物掺合料替代水泥的同时，选用中热硅酸盐水泥或低热硅酸盐水泥，才能更好避免大体积自密实混凝土的限制。对此水泥的使用应符合现行国家标准《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB 200 中的有关规定。

此外，自密实混凝土是一种特殊工艺的混凝土，其质量的稳定性尤为重要。如果水泥中掺加的混合材、助磨剂的种类和数量不进行限制，会极大的影响混凝土拌合物的各项性能，为混凝土的配合比设计、配制及生产控制，带来极大不确定性，增加混凝土结构的施工质量风险。一般，水泥中掺入的混合材一般分为两大类：活性混合材和非活性混合材。活性混合材是指具有水硬性或火山灰性的矿物质材料，如粒化高炉矿渣、火山灰质混合材和粉煤灰等。非活性混合材是指在水泥中主要起填充作用而又不损害水泥性能的矿物质材料，如砂岩、石灰石、块状的高炉矿渣等。掺入混合材的目的主要是提高水泥的产量，降低生产成本，改善水泥的性能，综合利用工业废渣，实现水泥工业的节能减排和生态化。

助磨剂的种类可以根据其成分、作用机理等方面进行分类，常见的有以下几种：1.有机助磨剂：如三乙醇胺、三异丙醇胺、甘油、聚羧酸盐等，它们主要通过吸附在水泥颗粒表面，降低表面能，减少颗粒间的粘结力，从而提高水泥的磨细效率和强度。2.无机助磨剂：如硫酸钠、硫酸钙、氯化钙、氟化钙等，它们主要通过改变水泥的水化过程，促进水泥的早期强度，或者通过形成润滑层，减少水泥颗粒间的摩擦，从而提高水泥的磨细效率和强度。3.复合助磨剂：如有机无机复合助磨剂、有机矿物复合助磨剂等，它们是将两种或多种助磨剂按一定比例混合，以发挥各自的优势，达到协同效应。

混合材和助磨剂的数量对于混凝土的影响主要取决于它们的种类、性质、配比和使用条件，一般来说，适量的添加可以提高混凝土的性能，过量的添加则可能导致混凝土的性能下降，甚至出现质量问题。因此，本条文特别说明了混合材、助磨剂的种类和数量。并强调选择和使用混合材和助磨剂时，应根据具体的工程要求，进行试验和优化，以达到最佳的效果。

最后，选用其它品种的水泥应经混凝土的自密实性能、力学性能和耐久性能试验确定，且其技术性能指标还应符合国家现行相关标准的要求。这是为了保证选用其他品种的水泥不会导致自密实混凝土的质量下降或安全隐患。

**4.2.2** 由于深圳是一个滨海城市，有着高盐、高湿、高温的工程环境，建筑结构时常受到氯离子侵蚀的影响，极大影响结构的耐久性。因此，本条文在参考规范《混凝土结构通用规范》GB 55008 第 3.1.2 条和《核电厂自密实混凝土应用技术规程》NB/T 20339 第 5.1.3 条后，结合深圳市的工程环境特点，对混凝土所用水泥制定严格的氯离子含量要求。

### 4.3 矿物掺合料

**4.3.2** 本条文参考规程《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 3.1.2 条、《自密实混凝土加固工程结构技术规程》DBJ/T 13-150 第 3.3.2 条及《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 第 4.3.2 条，在综合考虑三个规程对矿物掺合料的标准后，制定本条文。为了满足自密实混凝土工作性能要求，并降低水泥用量，应在自密实混凝土中掺入矿物掺合料。由于粉煤灰的活性效应、形态效应、微集料效应对自密实混凝土拌合物的工作性能、硬化混凝土的力学性能都具有较好的作用，因此优先使用粉煤灰作为自密实混凝土的矿物掺合料。

此外，由于自密实混凝土是在低水胶比情况下配制的，用于配制自密实混凝土的粉煤灰的含碳量越低越好，粉煤灰的需水量比越小对自密实混凝土的工作性能越有利。

### 4.4 外加剂

**4.4.1** 本条文在《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的基础上，参考《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 第 4.5.1 条和《超高层建筑混凝土技术规程》SJG 108 第 4.5.2 条，细化了外加剂条文。自密实混凝土要求具有较好的和易性和自密实性能，使得高性能减水剂成为了自密实混凝土必不可少的成分，并以聚羧酸减水剂为主。这是因为聚羧酸减水剂的减水率高，一般可达 25%以上，远高于其他类型的减水剂，如萘系减水剂、磺酸盐减水剂等。此外，其适应性更强，可以与各种水泥和混合材配合使用，不受水泥品种、掺量、矿物组成等因素的影响，也不会产生沉淀、分层、凝胶化等不良现象。再次，它可以提高混凝土的早期和后期强度，降低混凝土的收缩和开裂倾向，提高混凝土的耐久性和抗渗性。

**4.4.2** 参考现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 第 3.1.4 条，引入了自密实混凝土外加剂的一般规定。同时，考虑到当前自密实混凝土所用减水剂均是聚羧酸系高性能减水剂，为避免冲突。本条文删除了原规程中“早强型普通减水剂”的相关规定。

**4.4.3** 本条文参考《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 3.3.2 条、《自密实混凝土应用技术规程》DB62/T 3156 第 4.4.4 条及国外标准《BS EN 206:2013 Concrete – Specification, performance, production and conformity》第 5.2.6 条后，明确了混凝土在使用不同外加剂时，应确保外加剂之间存在良好的相容性。这是因为不同的外加剂在混合使用时可能会产生相互作用或干扰彼此的性能。此外，外加剂可能与其他化学物质发生反应，产生有害物质或导致副作用。因此，应通过充分试验验证不同外加剂之间的相容性和效果，确保产品质量、工艺控制、安全性和经济性的要求得到满足。

**4.4.4** 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 3.3.2 条和《自密实混凝土应用技术规程》DB62/T 3156 第 4.4.3 条，制定本条文。为了减少自密实混凝土中因大量水泥引起的高水化热，可在混凝土中掺入大量矿物掺合料替代水泥。但大量的矿物掺合料会造成混凝土收缩率较大。对此，自密实混凝土补偿收缩性能可通过添加膨胀剂等外加剂实现。

## 4.5 骨 料

**4.5.1** 该条文除了要求骨料满足基本的现行行业标准《普通混凝土用砂石质量标准及检验方法》JGJ 52 以外，还应结合深圳市的骨料市场需求和高盐、高湿、高热的滨海工程环境，补充净化海砂、机制砂、再生骨料的相关标准。其中隶属于机制砂的岩石尾矿砂需特别注意，岩石尾矿砂虽然颗粒级配较差，但在与天然砂、机制砂混合使用时，可有效改善净化海砂的级配，提高拌合物的和易性和可泵性，应推广机制砂与净化海砂在深圳地区的使用。

**4.5.2** 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。粗骨料的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。

此外，骨料形貌也会影响自密实混凝土的性能，如：和易性、流动性等。其与生产工艺息息相关，一般生产工艺包括以下几个步骤：1.采矿：从自然界或人工场所采集原料，如砂石、碎石、矿渣、废弃混凝土等。2.破碎：将原料通过破碎机进行破碎，使其达到一定的粒度要求。3.筛分：将破碎后的骨料通过筛分机进行筛分，按照不同的粒径分级，以满足不同的用途。4.洗涤：将筛分后的骨料通过洗涤机进行洗涤，去除其中的泥土、粉尘、杂质等，提高骨料的质量。

骨料的形貌主要指其外观的特征，如形状、表面纹理、颜色等，它们会影响骨料的物理性能与水泥浆体的粘结性能。其中针片状骨料是指其长宽比或厚度比大于一定值的骨料，它的形状不规则，表面粗糙，与水泥浆体的粘结性差，容易造成混凝土的分层、开裂、强度降低、耐久性下降等不利影响。尤其是面对密集配筋、复杂结构的工程，针片状颗粒的增多会进一步影响混凝土的流动性，导致自密实混凝土填充性不足，难以实现工程复杂结构的内部自填充。同时，对混凝土强度等性能也存在不利影响。通过对比近年国内自密实混凝土标准，发现 2012 年修订的《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 规定了粗骨料中针片状颗粒含量不宜超过 8%；而在 2021 年新修订的《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 则是分别考虑了试配混凝土的强度。常规的 C30~C55 的混凝土要求不宜超过 10%，而对超过 C60 的高强混凝土而言，针片状颗粒含量要求更为严格，要求不宜超过 5%。因此，编制组通过深圳市各搅拌站的实地调研及数据收集，确定制备自密实混凝土的粗骨料针片状颗粒含量不宜超过 5%。

而粗骨料在有特殊要求的混凝土的坚固性指标则应参考国家现行标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的相关规定，其坚固性指标不应大于 8%。

**4.5.3** 由于深圳市骨料资源稀缺，多数骨料依赖外省调运，这无疑增加了原材料成本和材料运输环节的碳排放量。因此，为贴合深圳市实际情况，降低原材料市场压力，在细骨料的种类上补充机制砂和海砂；另有试验表明，使用级配 II 区中砂更容易满足自密实混凝土的工作性能要求，细骨料的细度模数不宜小于 2.5；根据深圳地区多个混凝土搅拌站配制经验，将细骨料的细度模数范围进一步缩减为 2.5~2.8，更有利于混凝土的超高距离、超高压泵送。而在具有特殊要求的混凝土下，对细骨料的要求则需参考现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的有关规定，要求砂的含泥量和泥块含量分别不应大于 3.0% 和 1.0%，坚固性指标不应大于 8%；同时，鉴于深圳市高盐、高湿、高热的沿海环境，应对混凝土结构的耐久性做严格要求，严格规定钢筋混凝土用砂的氯离子含量要求。

**4.5.4** 本条文综合参考了《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177、《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176 及《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 中对再生骨料的要求。但由于再生骨料有着吸水率过大的缺陷，对自密实混凝土的流动性存在限制，而且对其力学性能和耐久性存在影响。

因此，再生骨料的选用应尽量选择 I 类再生骨料，除了再生骨料的质量应符合相应标准以外，对于再生骨料取代率应根据试验验证后，自行判断。

## 4.6 其 他

**4.6.1** 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 3.4.1 条和《混凝土结构通用规范》GB 55008 第 3.1.6 条，制定本条文。考虑到水是制备混凝土的重要一环，拌合用水中的 pH 值、硫酸根离子含量、氯离子含量等会影响混凝土各方面性能；水中不溶物和可溶物含量也对混凝土的主要性能有显著影响。同时，考虑到深圳是一个沿海城市，应严格注意当地高盐、高湿、高热的工程环境。所以拌合用水应做严格要求，除《混凝土用水标准》JGJ 63 中涉及的相关指标外，参考现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008，考虑混凝土用砂的氯离子含量的条件下拌合用水的要求。

**4.6.2** 综合考虑《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 3.5.1、3.5.2 条和《天津市自密实混凝土应用技术规程》DB/T 29-197 第 4.6.1 条，制定本条文。其中，由于纤维在自密实混凝土和普通混凝土中的作用相同，其性能指标除应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T 39147、《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的有关规定外，还应满足现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 中的有关规定。但纤维的加入会降低拌合物的流动性，具体掺量需要通过试验确定。

## 5 性能要求

### 5.1 自密实混凝土拌合物性能

5.1.1 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 4.1.2 条、《自密实混凝土设计与施工指南》CCES 02 第 3.2.1~3.2.4 条，并结合国外标准，制定本条文。自密实混凝土拌合物性能指标是保证浇筑时混凝土具有充足的填充性、间隙通过性、抗离析性及稳定性而制定的。因此，本条文明确了评价自密实性能的相关指标。

5.1.2 编制组收集了国内外制定的标准规范，各标准中规定的指标及相应的测试方法见表 1~3。

表 1 国内外自密实混凝土标准汇编

标准名称	编制时间	发布机构
ISO 1920-13-2018 混凝土测试-Part13: 新拌自密实混凝土的性能	2018	国际化标准组织
自密实混凝土最佳实践指南	2009	安大略省预拌混凝土协会
ACI 237R-07 自密实混凝土	2007	美国混凝土协会
ASTM C1610/C 1610M-17 用柱技术测定自密实混凝土静态离析的标准试验方法	2017	美国试验与材料协会
ASTM C 1611/C 1611M-46 自密实混凝土坍落扩展度的标准试验方法	2017	美国试验与材料协会
ASTM C1621/C1621M 用 J 环测定自密实混凝土通过性的标准试验方法	2017	美国试验与材料协会
JSCE-D101 高流动化混凝土施工指南	1997	日本土木学会
高流动（自填充）混凝土制造手册	1997	日本预拌混凝土联合会
J ASS 5T-402 流动化混凝土指南	2004	日本建筑学会
BS EN206: 2013 混凝土规格、性能、生产及合格性	2013	英国标准学会
欧洲自密实混凝土应用指南	2005	EFNARC、BIBM、ERMCO、EFCA、CEMBUREAU
欧洲自密实混凝土规程	2002	EFNARC
T/CECS 203-2021 自密实混凝土应用技术规程	2021	中国工程建设标准化协会
JGJ/T 283-2012 自密实混凝土应用技术规程	2012	住房和城乡建设部
DB/T 29-197-2017 天津市自密实混凝土应用技术规程	2017	天津市城乡建设委员会
Q/CR 596-2017 高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土	2017	中国铁路总公司
NB/T 20339-2015 核电厂自密实混凝土应用技术规程	2015	国家能源局
DBJ/T13-150-2012 自密实混凝土加固工程结构技术规程	2012	福建省住房和城乡建设厅
DB62/T 3156-2018 自密实混凝土应用技术规程	2018	甘肃省住房和城乡建设厅
CCES 02-2004 自密实混凝土设计与施工指南	2004	中国土木学会
DL/T 5720-2015 水工自密实混凝土技术规程	2015	国家经济贸易委员会
JTS/T 226-2021 水运工程自密实混凝土技术规范	2021	中华人民共和国行业标准
JGJ/T 296-2013 高抛免振捣混凝土应用技术规程	2013	住房和城乡建设部
CECS 203:2006 自密实混凝土应用技术规程	2006	中国工程建设标准化协会
DBJ 13-55-2004 自密实高性能混凝土技术规程	2006	福建省住房和城乡建设厅
DBJ 04-254-2007 高流态自密实混凝土应用技术规程	2007	山西省住房和城乡建设厅
CNS 14840 A3398 自充填混凝土障碍通过性试验法（U 形或箱形法）	1993	中国台湾地区标准
CNS 14841 A3399 自充填混凝土落下性试验法（漏斗法）	1993	中国台湾地区标准
CNS 14842 A3400 高流动性混凝土坍落度试验法	1993	中国台湾地区标准
CNS 03315 自充填混凝土	2010	中国台湾地区标准

表 2 不同标准中规定的自密实混凝土拌合物性能

标准	拌合物性能
国际标准	填充性、间隙通过性、黏聚性、抗离析性、流动性
美国标准	填充性、间隙通过性、抗离析性、流动性、黏聚性、稳定性
加拿大标准	填充性、间隙通过性、抗离析性、流动性、稳定性
英国标准	坍落扩展度、间隙通过性、黏聚性、抗离析性
日本标准	U 形槽填充高度、流动性、抗离析性
欧洲指南	流动性、填充性、间隙通过性、抗离析性、黏聚性
欧洲规程	填充性、间隙通过性、抗离析性
住建部行业标准	填充性、间隙通过性、抗离析性
能源局行业标准	填充性、间隙通过性、抗离析性
中国工程建设标准化协会标准	填充性、流动性、抗离析性
中国土木学会指南	填充性、间隙通过性、抗离析性
中国台湾地区标准	U 形槽填充高度、流动性、抗离析性

表 3 不同标准自密实混凝土拌合物性能指标测试方法

标准	测试方法
国际标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、V 漏斗、J 环、L 形仪、U 形仪、筛析法
加拿大标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、视觉指数、V 漏斗、J 环、L 形仪
英国标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、V 漏斗、J 环、L 形仪、筛析法
美国标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、J 环、L 形仪、静态沉降柱、视觉指数
日本标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、U 形仪、V 漏斗
欧洲指南	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、方筒箱、V 漏斗、J 环、O 型漏斗、Orimet 漏斗、L 形仪、U 形仪、筛析法、针入度、静态沉降柱等
欧洲规程	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、V 漏斗、J 环、Orimet 漏斗、L 形仪、U 形仪、填充箱、GMT 法
住建部行业标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、L 形仪、U 形仪、拌合物跳桌实验
能源局行业标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、J 环高差、筛析仪
中国铁路企业标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、J 环高差、L 形仪
中国工程建设标准化协会标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、U 形仪、V 漏斗
中国土木学会指南	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、L 形仪、U 形仪、拌合物跳桌实验
中国台湾地区标准	坍落扩展度、T <sub>500</sub> 、U 形仪、V 漏斗

由表 2 可看出，自密实混凝土拌合物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。如表 3 所示，拌合物性能指标的测试方法主要以坍落扩展度、T<sub>500</sub>、J 环、L 形仪、U 形仪、V 漏斗、筛析法和拌合物跳桌实验为主。

在参考国内外文献、相关标准、试验验证及工程调研的基础上，结合测试方法的可操作性和准确性，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、抗离析性和稳定性。混凝土填充性通过坍落扩展度试验和 T<sub>500</sub> 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，稳定性通过观感取 VSI 值确定。

根据试验及工程实践证明，自密实混凝土扩展度下限应规定为 500mm，用于针对低胶凝材料用量的情况。而上限值进一步调整为 800mm，用于避免出现离析的情况。结合国内外标准及文献检索分析情况，本规程根据坍落扩展度将自密实混凝土分为三个等级，即 SF1：500mm~600mm，SF2：600mm~700mm，SF3：700mm~800mm（600mm 属于 SF2 等级、700mm 属于 SF3 等级）。

**5.1.3** 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。自密实混凝土拌合物性能应满足三个控制指标的同时至少满足一个限选指标，若能同时满足多个限选指标证明自密实性能越好。

**5.1.4** 自密实混凝土在经过超高压、超长距泵送的过程中，混凝土的工作性能损失比普通泵送损失大。因此，增加 3h 扩展度经时损失指标，提高自密实混凝土的抗离析率、坍落扩展度与 J 环扩展度差值的要求。

**5.1.5** 填充性、稳定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。参考国内外标准对各自密实性能指标使用范围的规定，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。与现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 不同的是，本条文取消了“重要性”的说法，所有的指标均是控制指标。只不过针对表 5.1.5 的不同场景，需特别满足填充性、稳定性、间隙通过性和抗离析性在不同性能等级下的性能指标要求。

坍落扩展度值描述非限制状态下混凝土拌合物的填充性和流动性，是检验自密实混凝土拌合物性能重要指标之一。一般情况下，SF1 宜用于无配筋或配筋较少的混凝土结构；SF2 宜用于一般的普通钢筋混凝土结构；SF3 宜用于配筋密集或形状复杂的结构，自密实混凝土性能等级的选取主要与结构条件和施工条件有关，结构条件包括结构断面形状和尺寸、配筋状况等。施工条件包括模板形状、浇筑时间、泵送距离、自由落下高度和最大流动距离等。具体选取宜结合实际情况确定。

T<sub>500</sub> 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。VSI 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 3s~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现性能，一般适合于配筋密集的结构或要求流动性有良好表现的混凝土，但是该等级自密实混凝土拌合物易泌水和离析。

视觉指数 VSI 是自密实混凝土稳定性的检验指标，可通过观感判断拌合物的状态进行取值。当取 VSI-1 时，拌合物状态稳定，无离析、泌水（如拌合物表面出现光泽），此时的混凝土拌合物可以接受。其对于自密实混凝土的影响主要有以下几点：1.能够充分充填模板内的空间，不需要振捣或压实，降低施工难度和成本。2.可以保持自密实混凝土的稳定性，使其在流动过程中不出现明显的分离或沉降，保证其成分的均匀分布，提高其强度和耐久性。3.改善自密实混凝土的外观，使其表面光滑、细腻、无缝，满足高质量和高美观性的要求。

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。

## 5.2 硬化混凝土的性能

**5.2.2** 由于自密实混凝土含大量的矿物掺合料，易发生自收缩的现象，特别当大体积混凝土施工采用自密实混凝土时，除矿物掺合料带来的收缩，外加剂的使用也会对硬化混凝土的收缩产生很大影响。所以对于自密实混凝土的使用，应将其收缩值作为一项重要指标加以控制，并在查询相关标准以后，给出基本的收缩要求。国内标准中，《高性能混凝土应用技术标准》DBJ 50/T-389-2021 对高性能混凝土的 180d 干燥收缩率要求不超过 0.045%。《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 中掺膨胀剂的补偿收缩混凝土的 28d 限制膨胀率大于等于 0.03%。同时考虑到本规程将自密实混凝土的胶凝材料用量上限提升至  $600\text{kg}/\text{cm}^3$ ，会极大影响混凝土的干燥收缩。因此，本条文对自密实混凝土的 28d 干燥收缩率做了相关规定。此外，随着自密实混凝土的收缩，混凝土的早期开裂风险也会提升。因此，参考《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281 的条文 5.3.2，制订自密实混凝土的抗裂性能指标。

**5.2.3** 参考《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 附录 A，制定本条文。由于原材料中有毒有害物质包括了水泥中的水溶性铬，掺合料和骨料的放射性，不同种类外加剂可能含有的六价铬盐、亚硝酸盐、硫氰酸盐、硝酸铵、碳酸铵、尿素等。因此，对于自密实混凝土有害物质的概括，除氯离子含量、碱含量和三氧化硫含量外，还应包含水溶性六价铬。此外，本条文针对混凝土中的有害物质，还补充了相关规定。

## 6 配合比设计

**6.0.1** 本条文参考《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 5.1.1 条，规定了自密实混凝土配合比设计的基本要求。

**6.0.2** 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。同时随着人工智能的不断发展，利用人工智能中的机器学习模型预测混凝土性能，优化混凝土的配合比设计逐渐得到落实。对此，本条文在绝对体积法的基础上，补充了智能化辅助设计方法，并在附录 B 中进一步解释。

**6.0.3** 经编制组大量的试验数据证明（表 4），基于可压缩堆积模型可以有效优化骨料级配，确保骨料实现最紧密堆积，拥有最大密实度，进一步降低胶凝材料用量。并在保证工程质量的前提下，降低对强度要求较低的自密实混凝土胶凝含量，推动绿色经济发展。表 1 中的试块具有优异的工作性能和力学性能，胶凝材料用量范围均在  $400 \text{ kg/m}^3$  以下。实验中可实现的最低胶凝材料用量能达到  $347 \text{ kg/m}^3$ ，并具有 675mm 的坍落扩展度和 38.2MPa 的 28d 抗压强度。在低胶凝材料用量的基础上兼具良好的工作性能和力学性能。

此外，对比了国内外自密实混凝土的胶凝材料用量，其结果见表 5，国外标准的胶凝材料用量上限值为  $600 \text{ kg/m}^3$ ，下限值为  $380 \text{ kg/m}^3$ 。而国内标准的胶凝材料用量上限值为  $600 \text{ kg/m}^3$ ，下限值则为  $400 \text{ kg/m}^3$ 。经编制组慎重考虑，结合工程实践中自密实混凝土的胶凝材料用量统计数据，将国内自密实混凝土的胶凝材料用量下限值定为  $380 \text{ kg/m}^3$ 。同时，经大量工程实践证明，配制满足高强度要求的混凝土，胶凝材料的用量可在原有基础上将上限扩大至  $600 \text{ kg/m}^3$ ，使得高强自密实混凝土具有良好的工作性能和优异的硬化后的性能。因此，在《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 基础上，分别扩大胶凝材料用量上限值和下限值，其范围宜控制在  $380 \text{ kg/m}^3 \sim 600 \text{ kg/m}^3$ 。

另外，混凝土配合比设计，应优先保证自密实混凝土具有良好的施工性能和优异的硬化性能，水胶比一般不宜大于 0.45。

表 4 低胶凝材料用量自密实混凝土试验配合比

编号	胶凝材料	粗骨料	细骨料	水	外加剂	扩展度	7d 强度	28d 强度
01	400	933	850	155	2.7%	585mm	32.4 MPa	46.7 MPa
02	400	933	850	155	2.8%	630mm	34.0 MPa	48.0 MPa
03	400	933	850	155	3%	705mm	34.9 MPa	47.4 MPa
04	400	950	814	154	2.8%	655mm	39.8 MPa	57.7 MPa
05	400	925	839	154	2.9%	680mm	38.9 MPa	56.3 MPa
06	395	900	900	185	2.2%	660mm	32.3MPa	40.4MPa
07	395	900	900	185	2.2%	550mm	38.5MPa	44.1MPa
08	395	900	890	170	2.2%	720mm	31.5MPa	40.8MPa
09	395	900	890	170	2.2%	655mm	32.3MPa	42.6MPa
10	395	900	890	166	2.2%	545mm	38.5MPa	43.9MPa
11	350	980	803	155	2.8%	585mm	36.5MPa	53.4MPa
12	350	950	833	154	2.85%	625mm	35.9MPa	53.8MPa
13	330	1020	774	156	2.6%	525mm	29.1MPa	46.1MPa

14	330	990	714	156	2.7%	535mm	28.5MPa	54.3MPa
----	-----	-----	-----	-----	------	-------	---------	---------

续表 4

编号	胶凝材料	粗骨料	细骨料	水	外加剂	扩展度	7d 强度	28d 强度
15	373	1023	836	168	3.5%	705mm	14.6MPa	43.7MPa
16	359	1034	846	162	3.5%	690mm	12.3MPa	40.9MPa
17	347	1043	854	156	3.5%	675mm	15.7MPa	38.2MPa

表 5 国内外自密实混凝土标准胶凝材料用量

标准名称	胶凝材料用量
欧洲《The European Guidelines for Self-compacting Concrete》	380~600kg/m <sup>3</sup>
美国《ACI PRC-237-07 Self-Consolidating Concrete (Reapproved 2019)》	386~475kg/m <sup>3</sup>
英国《Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete》	400~600kg/m <sup>3</sup>
《CCES 02-2004 自密实混凝土设计与施工指南》	450~550kg/m <sup>3</sup>
《DB62T-3156-2018 自密实混凝土应用技术规程》	400~550kg/m <sup>3</sup>
《DBJT13-150-2012 自密实混凝土加固工程结构技术规程》	450~550kg/m <sup>3</sup>
《DLT 5720-2015 水工自密实混凝土技术规程》	≤500kg/m <sup>3</sup>
《T/CECS 203-2021 自密实混凝土应用技术规程》	≤600kg/m <sup>3</sup>
《JGJ/T 283-2012 自密实混凝土应用技术规程》	400~550kg/m <sup>3</sup>
《Q/CR 596-2017 高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土》	<580kg/m <sup>3</sup>
《JTS/T 226-2021 水运工程自密实混凝土技术规范》	400~550kg/m <sup>3</sup>

**6.0.4** 本条文参考《自密实混凝土加固工程结构技术规程》DBJ/T13-150 第 4.1.6 条，将混凝土中碱含量控制在 3.0kg/m<sup>3</sup> 以内，并掺加适量粉煤灰和粒化高炉矿渣等矿物掺合料，对预防混凝土碱骨料反应具有重要意义。混凝土中碱含量是测定混凝土各原材料碱含量计算之和，而实测的粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料碱含量并不是参与碱骨料反应的有效碱含量，对于矿物掺合料中有效碱含量，粉煤灰碱含量取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量取实测值的 1/2，已经被混凝土工程界采纳。

**6.0.5** 配合比设计前，应根据工程环境、结构特点确定所需自密实混凝土应满足的性能要求，保证所设计的混凝土配合比满足工程应用。

## 7 生产与运输

### 7.1 一般规定

**7.1.3** 为制定适合深圳市特殊地理环境和双区建设发展要求的自密实混凝土的生产与应用规范，应要求自密实混凝土的绿色生产满足相关标准，做到绿色环保、节能减排、经济合理、安全使用，从而寻求自密实混凝土性能与低碳环保之间的平衡。

### 7.2 原材料贮存

**7.2.1** 在深圳地区的自密实混凝土碳排放计算系统边界中，原材料生产、原材料运输、混凝土生产、混凝土运输四个环节产生的碳排放量表明，原材料生产与运输产生的碳排放量占比达到90%以上。因此，在原材料的选择和采购上，鼓励生产企业在保证产品质量的前提下，原材料的选择综合考虑原材料碳排放因子、运输方式、运输距离等影响因素，保证整体碳排放量的降低。

**7.2.3** 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 6.2.2 条及《预拌混凝土》GB/T 14902 第 7.2.2 条，制定本条文。其中，原材料通过分仓贮存，不仅可提高仓库的存储效率，方便管理和查找，还可降低原材料的损坏率，避免不同种类的原材料混杂在一起，减少原材料之间的污染。同时，对原材料添加标识，无疑会对管理人员提供较大帮助，方便管理人员进行原材料的盘点、调拨和出库等操作。

### 7.3 生产

**7.3.5** 本条文是参考《天津市自密实混凝土应用技术规程》DB/T 29-197 第 7.3.6 条制定。由于多数混凝土搅拌站露天堆放骨料，随着降雨时节的到来，骨料的含水量随时在变化。因此，对于给定配合比的混凝土的制备宜根据现场原材料的质量，在合理范围内动态调整。

**7.3.6** 由于深圳地区的整个夏秋季，自来水温度都可能超出 25℃，基本上都必须采取降温措施，能耗和成本较高。因此，对于自密实混凝土中拌合水的入机温度应不超过 30℃，掺合料的入机温度不应超过 40℃。其中，不超过 40℃是为了保证掺合料的质量，避免高温导致掺合料的水分蒸发，造成掺合料的干燥、粉化、结块等现象，影响掺合料的均匀性和活性。

**7.3.7** 在混凝土生产设施方面应选择绿色环保、节能降耗的生产线设备，进一步降低能量损耗和整体的碳排放量，实现混凝土的绿色生产。而采用易维护、易保养的生产设施则可降低人员维护成本、提高设施使用寿命，间接降低混凝土生产的碳排放量。

### 7.4 运输

**7.4.1** 由于自密实混凝土在浇筑的过程中没有振捣，仅靠自重成型，因此必须保证其在入模之前，仍具有优异的工作性能，否则将影响混凝土工程质量，甚至造成严重的工程事故。缩短自密实混凝土从出机到入模的时间非常必要，在施工中务必作好施工组织工作，制定合理的施工计划，保证运输、施工过程的连续。

**7.4.2** 参考《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203 第 6.4.1 条、《绿色预拌混凝土和预拌砂浆技术规程》SJG 59 第 6.3.1 条、《预拌混凝土》GB/T 14902 第 7.5.1 条后，制定本条文。对于混凝土搅拌运输车的选择，除应满足国家现行标准以外，还应考虑混凝土运输环节带来的高碳排放量。因此，考虑使用新能源运输车，从而促进混凝土行业的低碳发展。以三一重工股份有限公司的搅拌车为例，新能源运输车的整个动力源，来源于大容量锂电池或氢燃料电池。与传统燃油搅

拌运输车相比，没有燃油发动机，不烧油，零排放，实现低能耗，绿色环保。同时，考虑到深圳市属亚热带季风气候，温润宜人，降水丰富，在施工过程中，除考虑给搅拌运输车做防晒措施外，还应考虑防雨措施。

## 8 施工与养护

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 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、《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 相关规定，还应充分考虑其流动性大、侧压力大等特点，满足本章的相关规定。但是在大体积自密实混凝土的施工中，由于水泥、粉煤灰等胶凝材料细度的提高，各种外加剂的掺入，用水量的减少，使其在施工过程中因水泥水化热产生的温度应力或由于混凝土干燥收缩而产生的收缩应力的变化引起混凝土体积变形而产生裂缝的防控问题更为突出。对此，大体积自密实混凝土的施工更应参考《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的相关规定。

**8.1.3** 本条文参考《水运工程自密实混凝土技术规范》JTS/T226 第 8.1.3 条进行制定。对于结构复杂、多空间的钢结构腔体而言，一次浇筑难以确保结构是否完全填充。因此，应事先按比例制造缩尺模型进行模拟浇筑实验，并在模型成型后进行结构检测，根据试验结果必要时调整混凝土配合比或施工工艺。

**8.1.4** 参考《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 7.1.2 条、《自密实混凝土应用技术规程》DB62 T-3156 第 8.1.4 条，制定本条文。其中，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。

### 8.2 浇筑

**8.2.1** 参考《混凝土结构通用规范》GB 55008 第 5.2.1 条及《天津市自密实混凝土应用技术规程》DB/T 29-197 第 8.2.2 条，制定本条文。其中，模板及支架是施工过程中的临时结构，应根据结构形式、荷载大小等结合施工过程的安装、使用和拆除等控制工况进行设计，保证其承载力和刚度，既能满足施工安全，也能满足混凝土结构成型质量要求。模板及支架的整体稳固性系指在遭遇偶然事件时，不因构造不合理或局部支撑杆件缺失造成整体性坍塌。本条直接影响模板及支架的安全，并与混凝土结构施工质量密切相关。模板及支架设计应满足要求，其安装、使用和拆除等也应满足上述要求。

**8.2.2** 参考《天津市自密实混凝土应用技术规程》DB/T 29-197 第 8.2.1 条，制定本条文。虽然自密实混凝土的施工对模板的材质没有特殊要求，但是自密实混凝土的性能与普通混凝土有较大的不同，应特别注重模板的刚度及密闭性。

**8.2.4** 深圳的年平均气温在 23.3℃，高温大多集中在夏季，7 月为全年最热月，平均最高气温 32.2℃。因此，参考《混凝土技术规范》DBJ 15-109 第 8.3.20 条，制定本条文。自密实混凝土宜避开高温时段浇筑，以防止水分蒸发过快导致混凝土开裂、强度降低或收缩变形。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，以保持混凝土的水分含量和温度稳定。同时，应及时对浇筑后的混凝土进行养护，以防止水泥水化不充分或表面干燥。

**8.2.5** 参考《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 第 7.3.1~7.3.2 条及《自密实混凝土应用技术规程》TCECS 203 第 7.3.1 条，制定本条文。其中，规定了高温施工混凝土入模温度的上限值。此外，由于深圳属亚热带季风气候，有着长夏短冬、日照充足、雨量充沛的特点，年平均气温在 23.3℃。因此，本条文仅考虑高温施工的情况。

**8.2.6** 自密实混凝土的竖向浇筑速度每 15 分钟不宜超过 1 米。这是为了保证自密实混凝土的稳定性和均匀性，避免因浇筑速度过快而导致的混凝土离析、分层、空洞等缺陷。其次是为了保证

自密实混凝土的填充性和间隙通过性，避免因浇筑速度过快而造成的混凝土流动阻力增大、填充不充分、钢筋间隙堵塞等现象。再次是为保证施工安全，避免因浇筑速度过快而导致的模板变形、支撑失稳、混凝土溢出等事故。

**8.2.7** 参考《混凝土技术规范》DBJ 15-109 第 8.3.21 条，制定本条文。本条文的目的是为了防止混凝土在高处倾落时产生离析、不均匀或对模板和钢筋造成冲击等质量问题。因此，加设串筒、溜槽、溜管等辅助装置进行浇筑，保证垂直输送混凝土过程中混凝土不会产生离析现象，并具备良好的均匀性和密实度。

**8.2.8** 钢管自密实混凝土浇筑时不应抛落，应采用串筒、溜槽、溜管等辅助装置进行浇筑。这是因为抛落浇筑会导致混凝土拌合物的分离和离析，影响混凝土的自密实性和均匀性。而采用辅助装置浇筑可以保证混凝土拌合物的完整性和一致性，提高混凝土的质量。此外，混凝土下落处与混凝土面距离小于 30cm。这是为了防止混凝土拌合物在下落过程中受到空气阻力和冲击力的影响，造成分层、空鼓或裂缝等缺陷。

**8.2.11** 本条对混凝土的施工做了严格要求，即当混凝土拌合物不符合现场施工要求时，应立即弃用，不能私自进行二次调配，有效保障结构施工安全性。

## 9 质量检验与验收

### 9.1 原材料检验

**9.1.1** 本条文规定了原材料进厂质量检验应符合的相关标准，其中主要是参考现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902、《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204。

### 9.2 混凝土性能检验

**9.2.1** 参考《超高层建筑混凝土技术规程》SJG 108 第 10.2.2 条，结合本规程表 5.1.2 的相关指标，制定本条文。混凝土拌合物性能出厂检验参数中的控制指标应包括坍落扩展度、扩展时间  $T_{500}$ 、视觉指数、3h 扩展度经时损失以及水溶性氯离子含量，有效保障自密实混凝土的填充性、流动性以及耐久性等性能。而可选指标可根据混凝土配合比设计要求、实际施工浇筑情况等选取，满足的可选指标越多代表其自密实性能越好。

**9.2.3** 硬化混凝土的氯离子含量、碱含量和三氧化硫含量检测应按照相应的国家标准执行，这些指标反映了混凝土的化学稳定性和耐腐蚀性。硬化混凝土的力学性能试验方法应按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 执行，这些指标反映了混凝土的强度、刚度和变形能力。力学性能试验包括抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、弹性模量、泊松比等。硬化混凝土的长期性能和耐久性能试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行，这些指标反映了混凝土在长时间内受到各种环境因素影响的变化和损伤。长期性能和耐久性能试验包括干燥收缩、徐变、抗冻融、抗碳化、抗氯离子渗透、抗硫酸盐侵蚀等。

**9.2.4** 本条文是参考《自密实混凝土加固工程结构技术规程》DBJ/T13-150 第 6.4.2 条而制定。其中，考虑到自密实混凝土胶凝材料用量较大、水胶比较低的特点，自密实混凝土的自生收缩值较普通混凝土大，占总收缩的比例亦较普通混凝土大。所以当结构对自密实混凝土的收缩要求较高时，宜同时检测自密实混凝土的自生收缩值与干燥收缩值。混凝土的自生收缩主要发生在早龄期，早龄期混凝土的自生收缩用接触式方法，人为误差较大，难以实现准确测量，应采用非接触式的方法进行测量。此外，掺有引气型外加剂的自密实混凝土应检验其含气量，在通过绝对体积法计算胶凝材料质量时，应将含气量计算在内。

## 附录 B 视觉指数的评价方法

本附录对评定自密实混凝土拌合物稳定性的指标——视觉指数 VSI 做了详细的图文解释，帮助施工人员直观了解视觉指数的评价标准。

## 附录 C 智能化辅助设计方法

**C.0.2** 智能化辅助设计方法与传统配合比设计方法相比具有以下优势：

**1 数据支撑：**智能化辅助设计方法可以科学利用搅拌站及施工企业多年的配合比设计数据，并以数据库的形式存在。这使得设计过程更加可靠和高效。

**2 机器学习模型：**智能化辅助设计方法结合了机器学习模型，可以根据施工特点、原材料性能、混凝土性能等要求对配合比进行优化。通过分析大量历史数据，该方法能够预测出不同变量之间的相关性，从而更加准确地设计出理想的配合比。

**3 减少试验频次和成本：**相对于传统方法需要较长时间和成本进行试验和调整，智能化辅助设计方法可以大幅减少试验的频次和成本。利用机器学习模型进行计算，可以迅速处理大量数据和复杂变量，从而提高配合比设计效率。

**4 精度和稳定性：**智能化辅助设计方法在处理数据和变量时具有更高的精度和稳定性。通过合理的数据支撑和算法支持，该方法能够更加准确地预测混凝土的力学、耐久性及工作性能指标，从而设计出更合理的配合比。