

中华人民共和国行业标准

# 水运工程自密实混凝土技术规范

**JTS/T 226—2021**

主编单位：中交四航工程研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2021年12月15日

人民交通出版社股份有限公司

2021 · 北京

# 交通运输部关于发布 《水运工程自密实混凝土技术规范》的公告

2021年第68号

现发布《水运工程自密实混凝土技术规范》(以下简称《规范》)。《规范》为水运工程建设推荐性行业标准，标准代码为JTS/T 226—2021,自2021年12月15日起施行。

《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释，实施过程中具体使用问题的咨询，由主编单位中交四航工程研究院有限公司答复。《规范》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏([mwtis.mot.gov.cn/syportal/syhz](http://mwtis.mot.gov.cn/syportal/syhz))查询和下载。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

2021年11月18日

集团有限公司

科洛自防水技术集团

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限

集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

## 制定说明

水运工程自密实混凝土具有高流动性、优良间隙通过性和填充能力，无需人工振捣即可填充模板形成密实的混凝土结构。对于水运工程中钢筋密集和难以振捣密实的混凝土结构，使用自密实混凝土不仅可保证混凝土浇筑过程填充密实，还可降低人工劳动强度、提高施工效率、减少施工噪声等方面优点。近年来自密实混凝土技术在我国水运工程建设领域已有较为广泛的应用，但水运工程自密实混凝土的分级、工作性能测试方法与控制指标、配合比设计方法等方面尚无统一标准。为进一步规范自密实混凝土在水运工程中的应用，统一水运工程自密实混凝土技术要求，保障工程建设质量安全，交通运输部水运局组织中交四航工程研究院有限公司等单位，总结我国各行业自密实混凝土工程应用实践经验，借鉴国内外相关标准，结合我国水运工程自密实混凝土技术特点和发展需要，通过深入调查研究、广泛征求意见、反复修改完善，制定完成本规范

本规范共8章3个附录，并附条文说明，主要包括原材料、自密实混凝土性能、自密实混凝土配合比设计、自密实混凝土施工、自密实混凝土质量检验等技术内容。

本规范第4.4.6条的黑体字部分为强制性条文，必须严格执行。

本规范主编单位为中交四航工程研究院有限公司，参编单位为中交天津港湾工程研究院有限公司、中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、中交上海三航科学研究院有限公司、南京水利科学研究院、中交水运规划设计院有限公司。编写人员分工如下：

- 1 总则：王胜年
- 2 术语：范志宏熊建波 曾俊杰
- 3 基本规定：王胜年 胡家顺 王成启 范志宏
- 4 原材料：熊建波 刘 松 苏 忠 纯 李 顺 曾俊杰
- 5 自密实混凝土性能：曾俊杰 范志宏 董桂洪
- 6 自密实混凝土配合比设计：王成启 范志宏 邓春林
- 7 自密实混凝土施工：黎鹏平刘 行 李 超 杨 虎 戈雪良
- 8 自密实混凝土质量检验：范志宏 黄君哲 曾俊杰

附录A:曾俊杰 范志宏

附录B: 范志宏 黄君哲

附录C: 王胜年

本规范于2020年12月3日通过部审，2021年11月18日发布，自2021年12月15日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:广东省广州市前进路157号,中交四航工程研究院有限公司,邮政编码:510230),以便修订时参考。

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(3)
4	原材料	(4)
4.1	一般规定	(4)
4.2	水泥	(4)
4.3	掺合料	(4)
4.4	骨料	(4)
4.5	外加剂与混凝土用水	(5)
5	自密实混凝土性能	(6)
5.1	混凝土拌合物性能	(6)
5.2	硬化混凝土性能	(7)
6	自密实混凝土配合比设计	(8)
6.1	一般规定	(8)
6.2	混凝土配合比设计	(8)
6.3	混凝土配合比试配与调整	(9)
7	自密实混凝土施工	(10)
7.1	一般规定	(10)
7.2	搅拌	(10)
7.3	运输	(11)
7.4	浇筑	(11)
7.5	养护	(12)
8	自密实混凝土质量检验	(13)
8.1	一般规定	(13)
8.2	原材料检验	(13)
8.3	混凝土拌合物质量检验	(13)
8.4	硬化混凝土质量检验	(14)
附录A	混凝土拌合物自密实性能试验方法	(15)
A.1	坍落扩展度和扩展时间 $T_3$ 试验方法	(15)
A.2	L形箱试验方法	(15)
A.3	离析率试验方法	(17)

A.4 V形漏斗通过时间试验方法.....	(18)
附录B 自密实混凝土试件成型方法 .....	(19)
附录C 本规范用词说明.....	(20)
引用标准名录.....	(21)
附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单.....	(22)
条文说明.....	(25)

# 1 总 则

1.01 为规范自密实混凝土在水运工程中的应用，做到技术先进、经济合理，提高工程质量，制定本规范。

1.02 本规范适用于水运工程自密实混凝土的设计、施工和质量检验

1.03 水运工程自密实混凝土设计、施工和质量检验除应执行本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 自密实混凝土 Self-compacting Concrete:

具有高流动性、均匀性和稳定性,浇注时无需外力振捣,能够在自重作用下流动密实的混凝土。

### 2.0.2 粉体 Powder

用于配制自密实混凝土的水泥、掺合料和骨料中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒

### 2.0.3 水粉比 Water to Powder Ratio

用于配制自密实混凝土的拌和水与粉体材料的体积比

### 2.0.4 填充性 Filling Ability

混凝土拌合物在自重作用下充满浇筑空间的性能

### 2.0.5 抗离析性 Segregation Resistance

混凝土拌合物中各组分保持均匀分散的性能

### 2.0.6 间隙通过性 Passing Ability

混凝土拌合物通过钢筋与钢筋、钢筋与模板等狭窄空间而不发生离析、堵塞的性能

### 2.0.7 坍落扩展度 Slump-flow

提起坍落度筒至混凝土拌合物停止流动时的扩展程度,扩展面最大直径和与最大直径垂直方向直径的平均值。

### 2.0.8 扩展时间 $T_{3u}$ Slump-flow Time $T_{3u}$

从提起坍落度筒开始计时,至拌合物坍落扩展面最大直径达到500mm的时间

### 2.0.9 L形箱试验 L-box Test

采用规定的L形箱,检测自密实混凝土拌合物间隙通过性,拌合物在L形箱内停止流动后,记录L形箱后槽末端混凝土高度和前槽混凝土高度的比值。

### 2.0.10 离析率 Segregation Rate

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。

## 3 基本规定

- 3.0.1 自密实混凝土宜用于浇注和振捣困难的薄壁、形状复杂、钢筋密集等结构，以及难以振捣的混凝土修补工程和对施工噪声有特殊要求的工程，不宜用于温控要求高的大体积混凝土结构。
- 3.0.2 自密实混凝土性能应按同时满足自密实性能、力学性能、耐久性和体积稳定性的要求确定。
- 3.0.3 应用自密实混凝土的构件截面几何形状宜平顺、减少棱角，构件内应避免存在难以排气的死角，必要时应采取设置透气孔等措施
- 3.0.4 自密实混凝土的工作性能应满足运输和浇筑要求。
- 3.0.5 自密实混凝土强度等级不宜低于C35,在不影响结构安全的情况下，大掺量矿物掺合料自密实混凝土强度评定可采用60d龄期
- 3.0.6 自密实混凝土结构的耐久性，应根据结构设计使用年限、所处环境，并考虑施工条件、维护便利和全寿命成本进行合理设计。
- 3.0.7 配制自密实混凝土应选用质量稳定的优质原材料，并应采取严格的混凝土质量控制措施

## 4 原材料

### 4.1 一般规定

4.1.1 材料在运输与贮存过程中应按品种、规格分别堆放，不得混杂，不得接触海水，并应防止其他污染。材料因贮存不当导致质量不满足要求时不得继续使用

4.1.2 自密实混凝土加入纤维时应经试验验证，纤维性能应符合现行行业标准《公路工程水泥混凝土用纤维》(JT/T 524)的有关规定。

### 4.2 水 泥

4.2.1 自密实混凝土宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，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。采用其他水泥时，应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)和《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2)的有关规定

4.2.2 水泥出厂超过3个月后，应在使用前对其质量进行复查。

### 4.3 掺 合 料

4.3.1 自密实混凝土宜选用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、偏高岭土、石灰石粉等矿物掺合料。采用其他掺合料时，应通过试验进行验证。

4.3.2 粉煤灰应选用I级或II级粉煤灰，技术指标应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T1596)的有关规定。

4.3.3 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。

4.3.4 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

4.3.5 偏高岭土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)的有关规定。

4.3.6 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 骨 料

4.4.1 细骨料应选用级配良好、质地坚固、吸水率低、孔隙率小的河砂、机制砂或混合砂。

4.4.2 细骨料宜采用II区中砂，其颗粒级配和杂质含量限值应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)的有关规定。

4.4.3 采用机制砂或混合砂时，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)的有关规定。

4.4.4 粗骨料应选用粒形良好、质地坚固的洁净碎石、碎卵石或卵石。

4.4.5 粗骨料宜采用二级配或多级配骨料，最大粒径不宜大于25mm,针片状颗粒含量宜小于8%,紧密空隙率宜小于40% 颗粒级配与杂质含量限值应符合现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)的有关规定。

4.4.6 海水环境下严禁采用碱活性骨料。

4.4.7 淡水环境下不应使用具有碱-碳酸盐反应活性的骨料；当使用具有碱-硅酸反应活性的骨料时，应采用碱含量小于0.6%的水泥并采取其他抑制碱骨料反应措施，并应经试验验证。

### 4.5 外加剂与混凝土用水

4.5.1 减水剂应选用高性能减水剂，其性能指标应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)的有关规定。

4.5.2 掺用絮凝剂、膨胀剂等外加剂时，应通过试验进行验证，其性能应符合现行国家标准《水下不分散混凝土絮凝剂技术要求》(GB/T 37990)和《混凝土膨胀剂》(GB/T 23439)等的有关规定。

4.5.3 自密实混凝土的拌和用水和养护用水，应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

## 5 自密实混凝土性能

### 5.1 混凝土拌合物性能

5.1.1 自密实混凝土拌合物性能除应满足自密实性能要求外，尚应满足凝结时间、黏聚性和保水性等要求。

5.1.2 自密实混凝土拌合物的自密实性能可按表5.1.2划分等级，其中填充性、间隙通过性、抗离析性应按附录A进行试验。

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
填充性	坍落扩展度 (m)	SF <sup>1</sup>	550 ≤ SF < 650
		SF <sup>2</sup>	650 ≤ SF < 750
		SF <sup>3</sup>	750 ≤ SF ≤ 850
	扩展时间 T <sub>sx</sub> (s)	VS	2~10
间隙通过性	1. 形箱试验值	PA <sup>1</sup>	≥ 0.8 (钢筋净间距 60m)
		PA <sup>2</sup>	≥ 0.8 (钢筋净间距 40m)
抗离析性	离析率 (%)	SR <sup>1</sup>	15 < SR ≤ 20
		SR <sup>2</sup>	10 < SR ≤ 15
		SR <sup>3</sup>	≤ 10
	V形漏斗通过时间 (s)	VF	3~15

5.1.3 不同拌合物自密实性能等级的自密实混凝土应用范围宜按表5.1.3确定。

表5.1.3 不同拌合物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	SF <sup>1</sup> /VS	(1) 自上方浇筑的无配筋或较少配筋、拌合物流动过程中无障碍的结构； (2) 采用泵送施工的结构； (3) 截面较小、拌合物水平流动距离短的结构
	SF <sup>2</sup> /VS	一般配筋的普通钢筋混凝土结构
	SF <sup>3</sup> /VS	钢筋密集的竖向结构、形状复杂的结构、模板下方需要填充混凝土的结构等 (粗骨料最大公称粒径通常不大于 16mm)
间隙通过性	PA <sup>1</sup>	流动间隙大于 80mm 的结构
	PA <sup>2</sup>	流动间隙不大于 80mm 的结构
抗离析性	SR <sup>1</sup> /VF	水平流动距离不大于 5m 且流动间隙大于 80mm 的薄板结构和竖向结构
	SR <sup>2</sup> /VF	(1) 水平流动距离大于 5m、流动间隙大于 80mm 的结构； (2) 水平流动距离不大于 5m、流动间隙不大于 80mm 的结构
	SR <sup>3</sup> /VF	水平流动距离大于 5m、流动间隙不大于 80mm 的结构

5.1.4 有抗冻性要求的自密实混凝土，其拌合物含气量应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)的有关规定。

## 5.2 硬化混凝土性能

5.2.1 自密实混凝土的强度应满足设计要求。

5.2.2 自密实混凝土的耐久性应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)的有关规定。

5.2.3 自密实混凝土的弹性模量、收缩、徐变等性能应满足设计要求，并应符合现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定。

## 6 自密实混凝土配合比设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 自密实混凝土配合比设计应根据工程结构形式、施工工艺和环境因素，结合混凝土自密实性能、力学性能、耐久性等要求进行

6.1.2 自密实混凝土配合比设计宜采用绝对体积法。

6.1.3 自密实混凝土水胶比宜小于0.45，胶凝材料用量宜控制在 $400\text{kg}/\text{m}^3\sim 550\text{kg}/\text{m}^3$ 之间

6.1.4 当原材料和施工环境温度等变化导致混凝土自密实性能不满足要求时，应调整或重新设计配合比。

### 6.2 混凝土配合比设计

6.2.1 配合比设计应确定拌合物的粗骨料用量、用水量、水粉比、粉体用量、细骨料用量、水胶比、胶凝材料用量、外加剂掺量等参数

6.2.2 每立方米混凝土中粗骨料用量应根据粗骨料体积和密度确定，粗骨料体积宜按表6.2.2选用。

表6.2.2 每立方米混凝土中粗骨料体积

填充性等级	SF1	SF2	SF3
每立方米混凝土中粗骨料体积( $\text{m}^3$ )	0.32~0.35	0.30~0.33	0.28~0.30

6.2.3 每立方米混凝土中用水量应结合粉体的种类、性质和骨料品质确定，可按表6.2.3选择。

表6.2.3 混凝土用水量

粗骨料最大粒径(m)	10	25
用水量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	165~195	155~185

6.2.4 混凝土水粉比宜取0.80~1.15

6.2.5 每立方米混凝土中粉体用量应根据用水量和水粉比计算，宜为 $0.16\text{m}^3\sim 0.23\text{m}^3$ 。自密实混凝土单位体积浆体量宜为 $0.32\text{m}^3\sim 0.40\text{m}^3$

6.2.6 自密实混凝土的含气量应根据粗骨料最大粒径、混凝土强度、混凝土结构的环境条件等因素确定，宜为1.5%~4.0%。有抗冻要求的自密实混凝土，应根据混凝土抗冻等级确定新拌混凝土的含气量。

6.2.7 每立方米混凝土中细骨料用量应根据细骨料的体积和密度确定，其中细骨料体积宜为骨料总体积的45%~55%

6.2.8 水胶比应根据配制强度和耐久性要求确定。

6.2.8.1 自密实混凝土配制强度应按现行行业标准《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)和《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2)的有关规定计算。

6.2.8.2 水下自密实混凝土配制强度应比设计强度提高一个强度等级，或按下式估算：

$$f_n = \alpha f_{nk} + 1.645\sigma \quad (6.2.8)$$

式中  $f_n$ ——混凝土施工配制强度(MPa)；

$\alpha$ ——混凝土水陆强度比的倒数，条件允许的情况下通过试验取得，如无经验参照1.15~1.20取值；

$f_{nk}$ ——设计要求的混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)；

$\sigma$ ——工地实际统计的混凝土立方体抗压强度标准差(MPa)，缺少近期混凝土强度统计资料时，可按表6.2.8选取；开工后应尽快积累统计资料，对标准差进行修正。

表 6.2.8 混凝土强度标准差  $\sigma$ 。

强度等级	(35~40)	(40以上)
$\sigma$ : (MPa)	5.0	6.0

6.2.9 胶凝材料用量应符合下列规定，

6.2.9.1 胶凝材料的用量应根据水胶比和单位体积用水量确定

6.2.9.2 水泥用量、矿物掺合料的掺量应根据水泥和矿物掺合料的品种、混凝土配制强度和耐久性确定，并应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)的有关规定。

6.2.10 减水剂和其他外加剂的用量应根据自密实混凝土性能要求通过试验确定

### 6.3 混凝土配合比试配与调整

6.3.1 自密实混凝土试配应符合下列规定。

6.3.1.1 混凝土试配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

6.3.1.2 混凝土强度和耐久性试验时至少应采用三个不同配合比，其中一个应采用计算水胶比作为基准配合比，另外两个配合比的水胶比宜较计算水胶比分别增加和减少0.02，用水量不变，砂的体积分数可分别增加或减少1%

6.3.1.3 制作混凝土试件前，应验证拌合物自密实性能是否达到设计要求。

6.3.1.4 每种配合比在混凝土强度和耐久性试验时，应至少分别制作一组试件，标准养护到28d或设计要求的龄期时试验，根据混凝土强度、耐久性与水胶比关系确定施工水胶比

6.3.2 当混凝土性能不符合要求时，应调整材料和配合比，重新进行试拌和性能试验。

6.3.3 对于应用条件特殊的工程，宜开展模拟试验检验设计配合比的符合性。

## 7 自密实混凝土施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 自密实混凝土施工应根据设计和施工条件、环境等因素，制定施工技术方案。

7.1.2 自密实混凝土的模板应进行专门设计、制作、安装和拆除。

7.1.3 自密实混凝土施工前宜结合现场实际情况进行现场验证试验，根据现场验证情况调整优化自密实混凝土的施工配合比，完善施工技术方案。

7.1.4 自密实混凝土施工应加强过程控制，并应根据现场实施情况对施工方案进行必要调整。

### 7.2 搅拌

7.2.1 自密实混凝土应采用强制式搅拌机集中搅拌，搅拌时间比普通混凝土延长不宜小于60s。宜采用先以骨料、胶凝材料干拌，再加入拌和用水与外加剂的加料顺序。混凝土搅拌时间，每一工作班应至少检查2次。

7.2.2 各种衡器每年均应至少进行一次计量检定，使用期间每周应至少进行一次校核，每次使用前应检查零点示值。

7.2.3 混凝土配料称量应按照质量计，各种原材料称量允许偏差应符合表7.2.3的规定。

表7.2.3 原材料称量允许偏差(%)

原材料名称	水上拌制	陆上拌制	
		单罐计量允许偏差	累计计量允许偏差
水泥、掺合料	±2	±2	±1
粗、细骨料	±3	±3	±2
水	±1	±1	±1
外加剂	±1	±1	±1

注：累计计量允许偏差是指每一运输车各盘混凝土每种原材料称量和的偏差，该指标仅适用于采用计算机控制计量的搅拌站。

7.2.4 混凝土生产过程中应及时检测骨料含水率，每工作班应至少检测2次，当含水率有显著变化时，应加密检测频率，并应根据检测结果及时调整用水量和骨料用量。

7.2.5 对于有控温、控裂要求的自密实混凝土，宜使用检验合格的地下水、制冷水或冰水等低温水搅拌混凝土，也可使用碎冰替代部分拌和用水搅拌混凝土。

7.2.6 冬期施工时应宜对拌和用水、骨料进行加热，拌和用水温度不宜高于60℃、骨料温

度不宜高于40℃;胶凝材料、外加剂不得直接加热

### 7.3 运 输

7.3.1 自密实混凝土运输应采用具备搅拌功能的运输设备,并宜采取防晒、防寒等措施。混凝土搅拌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,不产生离析、分层和前后不均匀的现象。

7.3.2 运输车在接料前应将罐内残留物清洗干净,并应将罐内积水排尽

7.3.3 自密实混凝土运输过程中,运输车的罐体应保持匀速转动,速度宜控制在 $3\text{r}/\text{min} \sim 5\text{r}/\text{min}$ 之间,并不得向罐内加水。

7.3.4 自密实混凝土的运输应针对自密实混凝土的生产速度、运输时间和浇筑速度,制定合理的运输计划,并确保自密实混凝土拌合物的输送与浇筑在其工作性保持期内完成

7.3.5 卸料前运输车罐体宜高速旋转30s以上。

7.3.6 运输车从开始接料至卸料完成的时间不宜大于120min

### 7.4 浇 筑

7.4.1 浇筑自密实混凝土时,应根据浇筑部位的结构特点和混凝土自密实性能,合理选择机具与浇筑方法

7.4.2 自密实混凝土泵送和浇筑过程应保持连续性,并根据施工条件和模拟试验结果确定浇筑速度。

7.4.3 自密实混凝土浇筑前,应对底面进行润湿处理,但不应有明显积水。

7.4.4 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,且不宜大于7m。布料点的设置应根据混凝土自密实性能确定,并宜通过试验确定混凝土布料点的间距

7.4.5 自密实混凝土最大倾落高度不宜大于2m,条件不具备时,应加设串筒、溜管、溜槽等装置。

7.4.6 密闭空间或半封闭空间的自密实混凝土结构浇筑,应在适当位置设置排气孔,排气孔孔径宜为20mm

7.4.7 高温施工时,自密实混凝土的入模温度不宜高于35℃;冬期施工时,自密实混凝土的入模温度不宜低于5℃。在降雨、降雪期间,不宜露天浇筑混凝土。

7.4.8 混凝土浇筑至顶部时,宜采用二次抹面,并应刮去顶部多余的浮浆

7.4.9 水下自密实混凝土施工除应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定外,尚应符合下列规定。

7.4.9.1 混凝土宜使用导管、混凝土泵、开底容器或模袋法浇筑。采用其他方法浇筑时,应确保混凝土质量满足要求,并应减少施工对周围水质的污染

7.4.9.2 自密实混凝土应填充到模板内各个角落,浇筑结束后表面应平整;当水下自密实混凝土需要抹平时,应待混凝土流动终止后进行。

7.4.9.3 水下浇筑自密实混凝土表面露出水面后,需继续浇筑普通混凝土时,应将露出水面的顶部混凝土劣质层清除。

7.4.9.4 在动水条件下,应做好水下混凝土表面保护

## 7.5 养 护

7.5.1 自密实混凝土浇筑完毕,应及时养护。养护方法应结合自密实混凝土性能、环境温湿度、构件特点、技术要求、施工操作等因素选定,宜采用洒水、土工布覆盖浇水、包裹塑料薄膜、喷涂养护液等方法

7.5.2 采用自密实混凝土的钢筋混凝土和预应力混凝土构件不得采用海水养护。

7.5.3 混凝土养护应记录环境的日最高温度、最低温度和天气变化情况,并应形成养护记录

7.5.4 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,应采用保温材料和塑料薄膜进行保温、保湿养护。

7.5.5 采用塑料薄膜或养护剂进行养护时,应覆盖严密,并应经常检查塑料薄膜或养护液薄膜的完整情况和混凝土的保湿效果,有损坏时应及时修补。

7.5.6 自密实混凝土潮湿养护时间不应少于14d

## 8 自密实混凝土质量检验

### 8.1 一般规定

8.1.1 自密实混凝土质量检验应包括原材料检验、拌合物性能检验和硬化混凝土性能检验。

8.1.2 混凝土搅拌、运输、浇筑和养护情况，每工作班应至少检查2次。

8.1.3 自密实混凝土工程施工质量检验应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。

### 8.2 原材料检验

8.2.1 自密实混凝土所用的原材料进场应附有检验报告等质量证明文件，并按现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定进行产品质量检验。

8.2.2 施工过程中的原材料检验应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

### 8.3 混凝土拌合物质量检验

8.3.1 混凝土拌合物自密实性能的试验方法应符合附录A的有关规定。

8.3.2 混凝土拌合物应在浇筑地点取样检测，当混凝土拌合物从搅拌机出料至浇筑入模的时间不超过15min时，可在拌制地点取样检测。

8.3.3 有抗冻性要求的混凝土，每一工作班应至少测定1次混凝土含气量。

8.3.4 混凝土拌合物自密实性能检验应符合下列规定。

8.3.4.1 在生产开始阶段宜逐盘检验自密实性能，直至质量达到稳定。

8.3.4.2 自密实混凝土出机后应检验坍落扩展度和扩展时间 $T_s$ ，每100m<sup>3</sup>连续浇筑相同配合比的混凝土应至少检验1次，当一个台班相同配合比的混凝土不足100m<sup>3</sup>时应至少检验1次。

8.3.4.3 自密实混凝土浇筑前应检验坍落扩展度、扩展时间 $T^5$ 、L形箱试验值和V形漏斗通过时间，对连续浇筑相同配合比的混凝土每100m<sup>3</sup>应至少检验1次。

8.3.4.4 自密实混凝土拌合物的离析率宜作为抽检项目，对拌合物抗离析性能有疑问时应进行离析率检验。

8.3.4.5 实测自密实混凝土拌合物性能应符合设计要求，且不得出现外沿泌浆和中心骨料堆积现象。

## 8.4 硬化混凝土质量检验

8.4.1 自密实混凝土试件成型方法应符合附录B的规定。

8.4.2 自密实混凝土的力学性能检验方法和频率应符合下列规定。

8.4.2.1 检验方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定。

8.4.2.2 同一配合比连续浇筑时,每100m<sup>3</sup>混凝土留置试件不应少于1组,不足100m<sup>3</sup>的应留置1组试件。

8.4.3 自密实混凝土的长期性能和耐久性能检验方法和频率应符合下列规定。

8.4.3.1 检验方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定。

8.4.3.2 检验评定应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)和《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。

## 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 $T_s$ 试验方法

A.1.1 试验设备应满足下列要求:

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

(2) 底板采用硬质不吸水的光滑正方形平板, 平板边长为1000mm, 最大挠度不大于3mm, 并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和900mm的同心圆;

(3) 配备铲子、抹刀、精度1mm的钢尺、秒表等其他工具。

A.1.2 试验应按下列步骤进行:

(1) 先润湿底板和坍落度筒, 且底板上和坍落度筒内壁无明水; 底板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, 坍落度筒在装料时保持在固定的位置;

(2) 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, 且不捣实或振动;

(3) 采用抹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平齐, 随即将坍落度筒沿垂直方向匀速向上快速提起300mm左右的高度, 提起时间控制在2s; 待混凝土停止流动后, 测量扩展面最大的直径, 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在90s内完成, 坍落度筒提起至测量结束在40s内完成;

(4) 测定扩展度达500mm的扩展时间  $T_3$  时, 自坍落度筒提起离开底板时开始, 至扩展开的混凝土外缘初触底板上所绘直径500mm的圆周为止, 采用秒表测定时间, 精确至0.1s

A.1.3 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, 测量应精确至1mm, 结果应修约至5mm

A.1.4 观察混凝土最终状况, 当粗骨料在中央堆积或扩展后的混凝土边缘有水析出时, 应判定混凝土拌合物抗离析性存疑, 并应记录。

### A.2 L形箱试验方法

A.2.1 试验设备应满足下列要求:

(1) L形箱, 采用不吸水材料制成, 由前槽和后槽组成, 尺寸见图A.2.1。前槽和后槽之间设置活动闸板隔开, 闸板后设有垂直钢筋栅, 钢筋栅由长150mm的 $\phi 12$ 光圆钢筋组成, 采用3根钢筋时净间距为40mm, 采用2根钢筋时净间距为60mm;

(2) 配备铲子、抹刀、秒表等其他工具

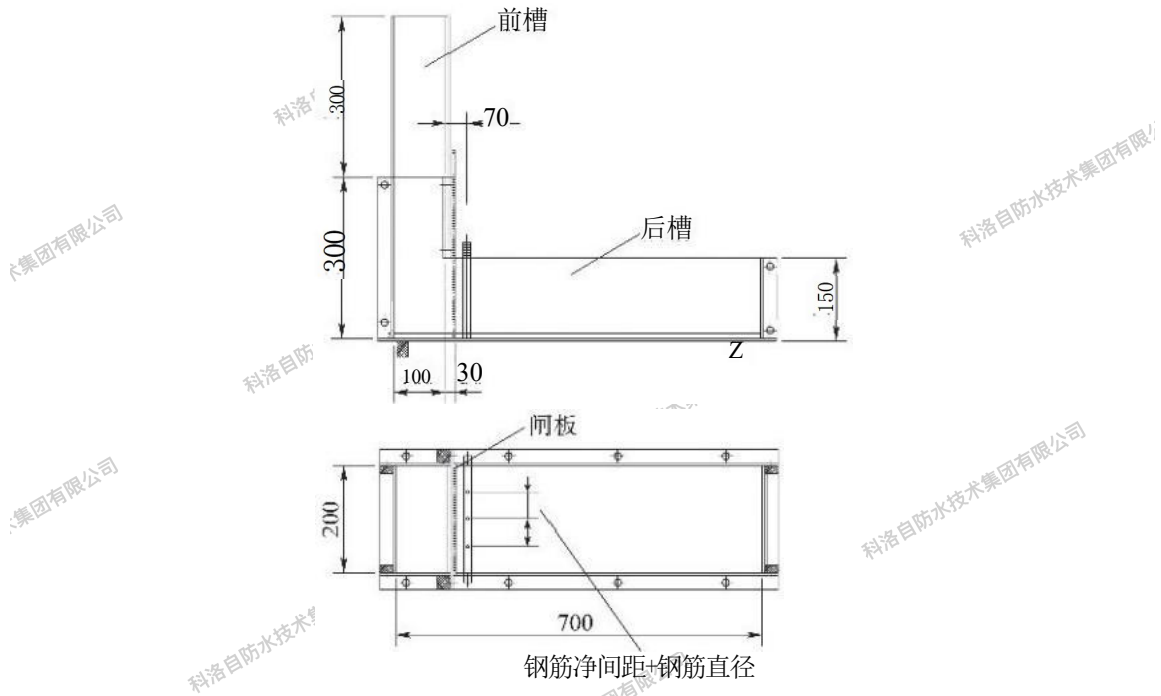


图 A.2.1 L形箱 (尺寸单位: m)

A.2.2 试验应在5min内完成, 并按下列步骤进行:

- (1) 将设备水平放置在地面上, 保证活动门可以自由开关;
- (2) 润湿设备内表面, 清除明水;
- (3) 用混凝土拌合物将设备前槽一次性填满, 采用抹刀刮除前槽顶部混凝土余料, 使混凝土表面与前槽上缘平齐;
- (4) 静置 $60s \pm 10s$ 后, 迅速提起活动门, 使混凝土拌合物流进后槽, 见图A.2.2;
- (5) 混凝土拌合物停止流动后, 测量并记录 $H_1$ 、 $H_2$ 精确至1mm

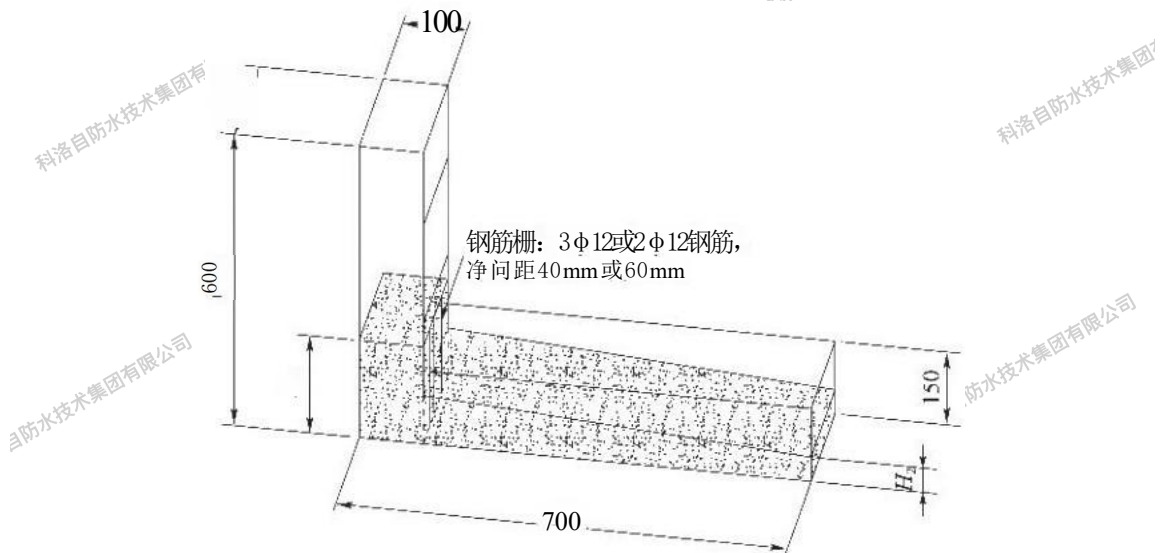


图 A.2.2 L形箱试验 (尺寸单位: m)

A.2.3 混凝土拌合物间隙通过性应按式(2)计算:

$$PA = \frac{H_2}{H_1} \quad (\text{A.2.3})$$

式中 PA——混凝土间隙通过性,精确至0.01;

$H_1$ ——混凝土拌合物停止流动后前槽内靠近活动门处混凝土的高度(mm);

$H_2$ ——混凝土拌合物停止流动后后槽内末端混凝土的高度(mm)。

### A.3 离析率试验方法

A.3.1 试验设备应满足下列要求:

(1)称量10kg、感量5g的电子天平;

(2)公称直径为5mm的方孔筛,符合现行国家标准《试验筛 技术要求和检验 第2部分:金属穿孔板试验筛》(GB/T 6003.2)的规定;

(3)采用钢或不锈钢制作的盛料器,内径为208mm,壁厚2mm,上节高度60mm,下节带底净高234mm,在上、下层连接处加宽3mm~5mm,并设橡胶垫圈,见图A.3.1;

(4)配备铲子、抹刀等其他工具。

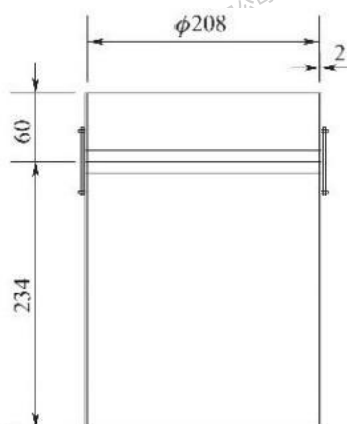


图 A.3.1 盛料器形状和尺寸(尺寸单位: m)

A.3.2 试验应按下列步骤进行:

(1)先取 $10L \pm 0.5L$ 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;用天平称量质量 $m$ ,精确至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 $m$ ,精确至1g

A.3.3 混凝土拌合物离析率应按式(3)计算:

$$SR = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (\text{A.3.3})$$

式中 SR——混凝土拌合物离析率,精确至0.1%;

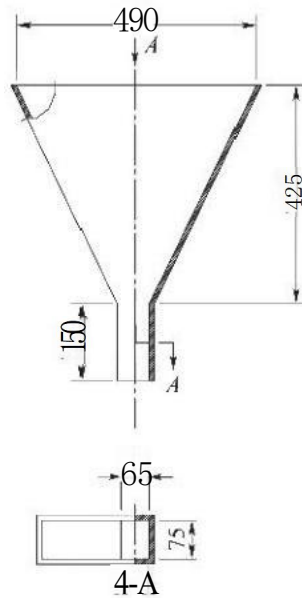
$m_1$ ——通过方孔筛的砂浆质量(g);

$m_0$ ——倒入方孔筛的混凝土质量(g)。

#### A.4 V形漏斗通过时间试验方法

##### A.4.1 试验设备应满足下列要求:

- (1) 钢制漏斗内表面平整光滑,壁厚不小于2mm,容积为10L,形状和尺寸见图A.4.1;
- (2) 可拆卸式漏斗支架;
- (3) 漏斗卸料口设有即时开放的水密性阀门;
- (4) 测量精度不大于0.1s的秒表;
- (5) 配备铲子、抹刀等其他工具



图A.4.1 V形漏斗尺寸示意图(尺寸单位: mm)

##### A.4.2 试验应按下列步骤进行:

- (1) 将漏斗垂直放置于漏斗支架上,调整漏斗至顶面水平,用湿布擦拭漏斗内表面;
- (2) 将卸料容器放置在漏斗卸料口下方,关闭漏斗卸料口阀门;
- (3) 将混凝土试样一次性倒入至填满漏斗,抹平混凝土表面;
- (4) 混凝土抹平后,在10s内打开阀门,用秒表测量从阀门打开至混凝土完全流出漏斗所用的时间,记录精确至0.1s,同时观察和记录拌合物流动及阻塞情况;
- (5) 按照上述步骤,在5min内使用不同试样进行3次漏斗流出时间测定。

##### A.4.3 测试结果应取3次测定值的算术平均值,精确到0.1s

## 附录B 自密实混凝土试件成型方法

B.0.1 试验工具应满足下列要求:

(1)符合现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)规定的混凝土试模;

(2)配备盛料容器、铲子、抹刀等其他工具。

B.0.2 试件的制作应满足下列要求:

(1)成型前检查试模尺寸,并在试模内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,其材料用量以质量计,且计量允许偏差符合表B.0.2 的规定。

表 B.0 .2 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.0.3 取样应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)的有关规定。

B.0.4 试件成型应满足下列要求:

(1)混凝土拌合物从取样到成型不超过15min;

(2)混凝土拌合物至少人工拌制三次,再装入盛料容器;

(3)混凝土拌合物一次性装入试模,控制装料速度,避免引入气泡,不使用振动台或插捣方法成型;

(4)刮除试模上口多余的混凝土,并用抹刀抹平。

## 附录C 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，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)表示允许选择，在一定条件下可以这样做的采用“可”。

## 引用标准名录

1. 《通用硅酸盐水泥》(GB 175)
2. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596)
3. 《试验筛 技术要求和检验 第2部分: 金属穿孔板试验筛》(GB/T 6003.2)
4. 《混凝土外加剂》(GB 8076)
5. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)
6. 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)
7. 《砂浆和混凝土用硅灰》(GB/T 27690)
8. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》(GB/T 35164)
9. 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)
10. 《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081)
11. 《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)
12. 《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)
13. 《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2)
14. 《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)
15. 《水运工程质量检验标准》(JTS 257)
16. 《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2)
17. 《公路工程水泥混凝土用纤维》(JT/T 524)
18. 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52)
19. 《混凝土坍落度仪》(JG/T 248)

## 附加说明

# 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、 主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主编单位：中交四航工程研究院有限公司

参编单位：中交天津港湾工程研究院有限公司

中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

中交上海三航科学研究院有限公司

南京水利科学研究院

中交水运规划设计院有限公司

主要起草人：王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

范志宏(中交四航工程研究院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王成启(中交上海三航科学研究院有限公司)

戈雪良(南京水利科学研究院)

邓春林(中交四航工程研究院有限公司)

刘行(中交四航工程研究院有限公司)

刘松(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

苏忠纯(中交天津港湾工程研究院有限公司)

李顺(中交四航工程研究院有限公司)

李超(中交四航工程研究院有限公司)

杨虎(南京水利科学研究院)

胡家顺(中交水运规划设计院有限公司)

黄君哲(中交四航工程研究院有限公司)

董桂洪(中交四航工程研究院有限公司)

曾俊杰(中交四航工程研究院有限公司)

熊建波(中交四航工程研究院有限公司)

黎鹏平(中交四航工程研究院有限公司)

主要审查人：解曼莹

(以下按姓氏笔画为序)

李元青、李宗哲、冷发光、宓宝勇、赵尚传、郝挺宇、阎培渝、

曾晓辉、滕爱国、魏宏大

总校人员：刘国辉、李荣庆、刘连生、董方、檀会春、王胜年、范志宏、熊建波、黄君哲、于方

管理组人员：熊建波(中交四航工程研究院有限公司)

范志宏(中交四航工程研究院有限公司)

黎鹏平(中交四航工程研究院有限公司)

张夏虹(中交四航工程研究院有限公司)

集团有限公司

科洛自防水技术集团

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限

集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

中华人民共和国行业标准

# 水运工程自密实混凝土技术规范

JTS/T 226—2021

条文说明

集团有限公司

科洛自防水技术集团

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限

集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

自防水技术集团有限公司

限公司

## 目次

1	总则	(29)
3	基本规定	(30)
4	原材料	(31)
4.1	一般规定	(31)
4.2	水泥	(31)
4.3	掺合料	(31)
4.4	骨料	(31)
4.5	外加剂与混凝土用水	(32)
5	自密实混凝土性能	(33)
5.1	混凝土拌合物性能	(33)
5.2	硬化混凝土性能	(35)
6	自密实混凝土配合比设计	(36)
6.1	一般规定	(36)
6.2	混凝土配合比设计	(36)
6.3	混凝土配合比试配与调整	(37)
7	自密实混凝土施工	(38)
7.1	一般规定	(38)
7.2	搅拌	(38)
7.4	浇筑	(38)
8	自密实混凝土质量检验	(39)
8.3	混凝土拌合物质量检验	(39)

集团有限公司

科洛自防水技术集团

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限

集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团

自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

科洛自防水技术集团有限公司

自防水技术集团有限公司

限公司

# 1 总 则

1.0.1 自密实混凝土无需振捣，能够提高劳动生产效率和节省机械费用，避免人工振捣可能出现漏振过振问题，保证混凝土的施工质量，并且降低噪声污染、改善施工环境。自密实混凝土已经在世界范围内得到广泛应用，对于水运工程领域的水下环境、狭窄空间等难以实施振捣的工程构件施工具有显著技术优势。

### 3 基本规定

3.0.1 自密实混凝土能够根据其自身特点应用于振捣困难的现浇混凝土结构，如灌注桩、桩帽、纵横梁节点，以及存在较大水平尺寸预埋件的现浇混凝土结构。此外混凝土修补施工面临空间狭小、振捣困难等问题，采用自密实混凝土有利于保证工程质量。由于自密实混凝土胶凝材料用量相对较多，混凝土的水化反应发热量大，使用自密实混凝土对于有温度控制要求的大体积混凝土不利

3.0.2 水运工程混凝土结构所处环境严酷，港口码头、船坞、通航建筑物等各类工程对混凝土的力学性能、耐久性能和体积稳定性都有相应的技术要求。自密实混凝土配制的关键在于混凝土具备高流动性、抗离析性和间隙通过性，从而满足混凝土施工要求。因此，自密实混凝土需要同时满足水运工程混凝土的硬化性能指标要求和自密实混凝土的拌合物性能指标要求。

3.0.5 自密实混凝土配制需要较高的胶凝材料用量和适宜的水胶比，同时考虑自密实混凝土在水运工程中应用不同部位有相应的技术要求，《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153—2015)对混凝土耐久性规定了最低强度等级要求。当自密实混凝土采用大掺量的粉煤灰和矿渣粉等矿物掺合料时，混凝土早期强度发展较慢，后期强度尚有较大幅度增长，在不影响结构安全的前提下，采用60d龄期的抗压强度进行强度评定，有利于充分利用混凝土后期强度增长的优势。

## 4 原材料

### 4.1 一般规定

4.1.2 自密实混凝土中掺加纤维能够提高混凝土力学性能和抗裂能力，但是会降低混凝土工作性能，其中纤维品种、类型和性能指标对自密实混凝土拌合物和硬化混凝土性能都有影响，因此纤维指标需要满足现行行业标准《公路工程水泥混凝土用纤维》(JT/T 524)的有关规定，并且使用纤维后的混凝土需要通过试验证明能够满足自密实混凝土的性能要求。

### 4.2 水 泥

4.2.1 《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2—2012)规定：高性能混凝土宜选用标准稠度用水量低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥；《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2—2011)规定：水运工程混凝土宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，但是有抗冻要求的混凝土宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，严禁使用烧黏土质的火山灰硅酸盐水泥。条文中采用其他水泥时需要符合以上规定。

### 4.3 掺 合 料

4.3.1 自密实混凝土需要综合考虑混凝土的工作性能、力学性能和耐久性能等，在掺合料选择时，除一般自密实混凝土大量应用的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉外，为满足混凝土的力学指标和耐久性要求，有时需要掺加硅灰或偏高岭土等活性矿物掺合料；此外，为进一步改善混凝土工作性能，混凝土中也可以掺加石灰石粉等惰性矿物掺合料，以提高粉体用量。当采用其他掺合料时，由于掺合料的粒径分布、形状和需水量对混凝土拌合物需水量或工作性能敏感度有影响，因此需要通过试验验证，满足要求后使用。

### 4.4 骨 料

4.4.4 与普通振捣混凝土相比，自密实混凝土要求具有高流动性和优良的间隙通过性及填充能力，其所用骨料的粒形、粒径和颗粒级配对混凝土工作性影响很大。粒形不良的针片状颗粒将增加拌合物的流动阻力，降低混凝土自密实性能。粒形良好是指颗粒形状接近球体或者正多面体。

## 4.5 外加剂与混凝土用水

4.5.2 根据不同工程要求，自密实混凝土可以使用絮凝剂、膨胀剂等外加剂来调整混凝土的性能，相关外加剂性能指标应符合现行有关标准的规定，并且使用前需要开展验证试验，证明采用上述外加剂后自密实混凝土的拌合物性能满足要求。

## 5 自密实混凝土性能

### 5.1 混凝土拌合物性能

5.1.2 自密实混凝土既要有较好的流动性、填充性，同时又要要有较高的抗离析性能。从现有研究成果看，目前还难以采用某种单一的试验方法同时准确地测量这三方面的性能。《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283—2012)、《水工自密实混凝土技术规程》(DL/T 5720—2015)、中国工程建设标准化协会标准《自密实混凝土应用技术规程》(CECE 203: 2006)、日本土木学会《自密实混凝土推荐标准》、欧洲 EFNARC《自密实混凝土应用指南》等国内外标准推荐采用坍落扩展度、扩展时间 $T$ 、V形漏斗通过时间、L形箱、U形箱、J形环、离析率、振动筛析率等来综合判别自密实混凝土的工作性能。本规范参考上述标准，对不同试验方法进行了试验对比，表5.1~表5.4分别是不同时期的室内试验和工程现场试验结果。结果表明，坍落扩展度试验方法简单、快速，能够较好反映自密实混凝土的流动性和填充能力，但不能反映混凝土拌合物离析情况；V形漏斗通过时间可在一定程度上反映混凝土拌合物的填充能力和抗离析性能，如混凝土黏性过低或过高，则混凝土都不能有较理想的填充性能，此时V形漏斗通过时间过短或过长；L形箱可较准确判断自密实混凝土的间隙通过性能，同时便于现场快速测试；离析率试验作为抽检指标，能够反映混凝土坍落扩展后的粗骨料聚集或者泌水情况。

因此，综合测试结果的全面性、准确性和现场可操作性，选择坍落扩展度、扩展时间 $T_{su}$ 、L形箱、V形漏斗通过时间和离析率作为自密实混凝土拌合物的自密实性能检测方法。其对应不同等级的技术指标是在参考国内外有关标准取值，结合水运工程特点，并参考自密实混凝土拌合物性能测试数据的基础上提出。

表 5.1 室内试验条件下混凝土自密实性能测试结果

测试方法	M1-1	M1-2	M2-1	M2-2	M3-1	M3-2
扩展时间 $T_{su}$ (s)	4.2	3.9	3.6	3.9	4.4	4.6
坍落度(m)	270	275	275	285	265	270
坍落扩展度(mm)	640	635	645	655	630	625
1.形箱 $H_2/H_1$	0.66	0.64	0.95	0.93	0.82	0.84
U形箱 $\Delta h$ (mm)	55	60	15	20	35	40

表5.2 室内试验条件下不同配合比的混凝土自密实性能测试结果

序号	拌合物状态	坍落扩展度 (mm)	扩展时间 $T$ , (s)	J形环扩展 度差 (m)	1.形箱 $H_2/H_1$	V形漏斗 通过时间(s)	1形箱 $\Delta h$ (mm)	离析率 (%)
1	黏稠	555	-	35	0.43	19	-	0

续表5.2

序号	拌合物状态	坍落扩展度 (u)	扩展时间 Tsu (s)	J形环扩展度差 (m)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	形漏斗通过时间 (s)	11形箱 Δh (mm)	离析率 (%)
2	和易性好	595	7.5	15	0.77	14.1	2	2.30
3	和易性好	680	3.5	40	0.82	8.6	45	—
4	轻微离析	745	4	35	0.90	7.3	225	4.94

表5.3 南方某工程自密实混凝土室内试验测试结果

编号	坍落扩展度 (mm)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	U形箱Δh (m)	V形漏斗通过时间 (s)	状态观察
F20	648	0.68	25	36	流动性不足, 略有离析
CF <sup>1</sup>	680	1	9	17	流动性较好, 略黏, 包裹性较好
CF2	695	1	8	16	流动性较好, 略黏, 包裹性较好
CFP1	630	1	18	18	流动性较好, 略黏, 包裹性较好
CFP2	650	0.95	16	19	流动性较好, 略黏, 包裹性较好
CFP3	687	0.9	12	19	流动性较好, 略黏, 包裹性较好
FC1	630	0.81	55	38	流动性不足, 较黏, 流动速度较慢
FC2	670	1	0	17	流动性较好, 包裹性好, 略黏
FC3	660	1	0	14	流动性、包裹性、填充性均较好
FC4	680	1	0	13	流动性较好, 略有离析和余浆
FCP	660	0.98	0	16	流动性、包裹性、填充性均较好
FCI	684	1	0	18	流动性、包裹性、填充性均较好
FS	650	0.88	12	25	包裹性、填充性均较好, 略黏
FM	640	0.85	12	28	包裹性、填充性均较好, 略黏
S70	700	1	0	17	包裹性、填充性均较好, 略黏

表5.4 南方某工程现场浇筑自密实混凝土测试结果

泵送距离 (m)	出机后				入仓前			
	扩展时间 Tsx (s)	坍落扩展度 (ma)	V形漏斗通过时间 (s)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	扩展时间 Tsm (s)	坍落扩展度 ()	V形漏斗通过时间 (s)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>
57	3.7	650	8.9	0.85	2.3	680	6.3	0.85
57	3.6	665	10.7	0.87	3.1	655	7.9	0.85
75.5	3.1	700	10.9	0.86	2.2	690	6.4	0.94
75.5	2.9	720	8.3	0.83	2.6	675	7.7	0.86
75.5	3.8	660	11.9	0.81	2.3	695	7.0	0.91
75.5	2.6	710	8.2	0.91	2.3	685	6.2	0.84
90	3.7	670	11.6	0.87	2.4	655	6.9	0.85
90	3.3	635	10.2	0.87	3.2	635	6.7	0.87
93	3.4	700	8.7	0.93	2.3	700	7.0	0.89

续表5.4

泵送距离 (m)	出机后				入仓前			
	扩展时间 Tsu(s)	坍落扩展度 (m)	V形漏斗 通过时间 (s)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	扩展时间 Tsu(s)	坍落扩展度 (m)	V形漏斗 通过时间 (s)	1.形箱 H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>
93	3.1	695	10.2	0.88	2.4	640	6.3	0.87
93	3.0	695	9.9	0.87	2.8	610	8.4	0.83
98	3.9	685	11.2	0.87	2.3	670	6.5	0.87
98	3.2	700	8.3	0.89	2.4	675	6.6	0.87
103	2.7	690	10.0	0.85	2.8	680	7.2	0.87
110	3.4	700	9.3	0.92	2.4	700	6.5	0.87
110	3.2	710	11.4	0.90	2.3	700	6.3	0.89

5.1.3 自密实混凝土的工作性能无法采用单一指标评价，需要根据工程应用特点选择一项或者几项指标作为主要要求。参考欧洲标准和国内相关标准，结合工程试验数据，规定了不同拌合物性能等级的自密实混凝土的应用范围。

## 5.2 硬化混凝土性能

5.2.3 与同强度等级的普通混凝土相比，自密实混凝土胶凝材料用量高、粉体含量大，将导致混凝土收缩增大、弹性模量降低，并且徐变发展规律也与普通混凝土有一定差异。因此，规定自密实混凝土的弹性模量、收缩、徐变等性能应满足设计要求，并应符合现行行业标准的有关规定。

## 6 自密实混凝土配合比设计

### 6.1 一般规定

6.1.2 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，能够避免因胶凝组分密度不同引起的计算误差。部分研究成果也提出采用包裹层厚度法进行自密实混凝土配合比设计，按照砂浆包裹骨料和填充其中空隙，净浆包裹砂子的表面及填充其空隙，在获得石子和砂子的空隙和表面积的基础上设定一定的包裹层厚度。本规范结合工程实践，考虑现场操作性，规定自密实混凝土配合比设计采用绝对体积法。

6.1.3 大量工程实践表明，自密实混凝土的水胶比小于0.45，胶凝材料用量控制范围为 $400\text{kg}/\text{m}^3\sim 550\text{kg}/\text{m}^3$ 时能够使自密实混凝土具有良好的施工性能和优异的硬化性能

6.1.4 要达到混凝土自密实性能，要求混凝土拌合物屈服值小且具有足够的塑性黏度，骨料能够悬浮于浆体中而不离析、不泌水，同时保持足够高的流动性能，因此混凝土拌合物的状态对材料体系和外部环境温度等因素较为敏感，生产过程中需要严格控制原材料质量波动和保持浇筑条件稳定，如果发现混凝土拌合物状态出现较大变化，不能满足自密实性能，需要根据现有生产条件调整或重新设计配合比。

### 6.2 混凝土配合比设计

6.2.2 从保证自密实混凝土良好的钢筋间隙通过性能和狭窄空间的填充性能出发，较少的粗骨料用量更有利。而为了提高硬化后混凝土的耐久性以及防止弹性模量的降低，则尽可能采用较多的粗骨料；粗骨料含量超过一定限值，通过钢筋间隙时骨料颗粒相互接触的几率会大幅度增加，导致自密实混凝土堵塞的危险性增加，影响自密实混凝土间隙通过性能。考虑这些因素，根据自密实混凝土等级不同，参考国内外标准，本条给出了每立方米混凝土中粗骨料选用参考范围

6.2.3 每立方米混凝土用水量是影响自密实混凝土的自密实性能的重要因素。单位体积用水量过大将会影响自密实混凝土的流动性和抗离析性能，单位体积用水量过小将会影响自密实混凝土的填充性、间隙通过性。参考国内外已有的相关标准和研究成果，本条给出了配制自密实混凝土常用的用水量选择范围

6.2.4 自密实混凝土的流动性能和抗离析性能与所选用的粉体颗粒大小、级配构成以及水粉比有着密切关系。水粉比是用来衡量浆体流动性的指标之一，是影响混凝土自密实性能的重要因素。水粉比过大将会导致自密实混凝土的流动性过大、抗离析性能不佳，水粉比过小将会导致自密实混凝土的流动性不足、过于黏稠。参考国内外已有的研究成果和相关规范，本条给出了配制自密实混凝土常用的水粉比选择范围

6.2.6 混凝土含气量不仅影响混凝土强度，而且影响混凝土抗冻性，含气量增大，抗冻性提高，混凝土强度下降。本条提出了一般情况下用于混凝土配合比设计的含气量范围

6.2.7 通过每立方米混凝土中粗骨料体积、用水量和粉体用量、含气量以及骨料中包含的粒径小于0.075mm的粉体比率，可以计算所需的细骨料体积，总体范围在45%~55%之间

6.2.8.2 《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)第5.2.7.2款规定：水下混凝土的施工配制强度比设计强度标准值提高40%~50%；《高速铁路桥涵工程施工技术规范》(Q/CR 9603—2015)第7.3.21条规定：水下混凝土应按较设计强度提高15%配制。以C30混凝土为例，按水运标准提高40%的配制强度为42MPa,按铁路标准配制强度为42.7MPa,按正常普通混凝土配制强度为38.2MPa,综合现在的施工水平，认为水下混凝土的配制强度比设计强度提高一个强度等级是合理的

6.2.10 减水剂等外加剂掺量与水粉比、粉体用量、粉体的构成、骨料特性、新拌混凝土性能要求、含气量、混凝土生产条件以及环境条件等多种因素有关。因此，外加剂掺量需在考虑多种因素情况下通过试验确定。

### 6.3 混凝土配合比试配与调整

6.3.1 设计的自密实混凝土配合比需要采用工程现场材料进行试配，对混凝土拌合物和硬化混凝土性能进行验证，以满足设计和施工要求。为保证试验效果需要控制混凝土最小搅拌量。

6.3.3 条件特殊的工程是指形状复杂结构、钢筋密集结构、存在较大水平尺寸预埋件的现浇混凝土结构，水下浇筑混凝土等浇筑难度大的工程；模拟试验是指根据构件尺寸和施工条件，开展的足尺或者缩尺模型浇筑试验。

## 7 自密实混凝土施工

### 7.1 一般规定

7.1.4 与普通混凝土相比，自密实混凝土拌合物的自密实性能敏感性高，易受外部因素变动的影 响。需要加强施工过程的控制，尽量控制环境温度、现场等待时间、泵送距离等对混凝土拌合物自密实性能的不利影响，以保证混凝土浇筑质量

### 7.2 搅 拌

7.2.1 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。为确保自密实混凝土拌合物的匀质性，自密实混凝土比普通混凝土需要搅拌更长时间

### 7.4 浇 筑

7.4.4 本条引自《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283—2012)“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”

## 8 自密实混凝土质量检验

### 8.3 混凝土拌合物质量检验

8.3.4 《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283—2012)规定“出厂检验时,坍落扩展度和扩展时间应每 $100\text{m}^3$ 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 $100\text{m}^3$ 时,检验不得少于1次”;《自密实混凝土应用技术规程》(CECS 203:2006)规定“预拌混凝土到达施工现场后应逐车检测坍落度、扩展度、T,不得发生外沿泌浆和中心骨料堆积现象,也可增加全量检查装置的检查”;《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)规定“对同一配合比混凝土,混凝土拌合物稠度取样应符合下列规定:1.每拌制100盘且不超过 $100\text{m}^3$ 时取样不得少于一次;2.每工作班拌制不足100盘时,取样不得少于一次;3.连续浇筑超过 $1000\text{m}^3$ 时,每 $200\text{m}^3$ 取样不得少于一次”。日本标准规定自密实能力的检验通过使用填充装置的通过能力试验来完成,至少每 $50\text{m}^3$ 混凝土取样一次,质量测试频率要根据自密实混凝土的类型和性质、施工等级和施工的难度等情况预先确定。欧洲标准规定新拌混凝土的质量在生产开始阶段会有波动,所以在这一阶段进行测试的时间间隔要短,直到质量稳定下来。

新拌混凝土质量在生产开始阶段波动很大,所以要逐盘检验直到质量达到稳定。参考国内外标准规定和结合工程实践,检验频率按每 $100\text{m}^3$ 至少检验一次。