

自密实混凝土 技术手册

厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司 编著

中国建筑工业出版社

自密实混凝土技术手册

厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自密实混凝土技术手册/厦门市建筑科学研究院集团股份有
限公司编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-112-16315-1

I. ① 自… II. ① 厦… III. ① 混凝土—技术手册
IV. ① TU528-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 012957 号

责任编辑: 李 阳

责任设计: 张 虹

责任校对: 姜小莲 刘 钰

自密实混凝土技术手册

厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司 编著

*

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

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 12 1/8 字数: 325 千字

2014 年 10 月第一版 2014 年 10 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-16315-1

(25060)

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)

本书编委会

主 编：李晓斌 曾冲盛 桂苗苗

编 委：麻秀星 黄快忠 陈 茜 刘尊玉

苏艺凡 刘光锐 王培新 江达宣

龚 俊 龚明子 徐仁崇 刘君秀

杨善顺 黄洪财

前 言

自密实混凝土，在国外叫 Self-Compacting Concrete 或 Self-Consolidating Concrete，简称 SCC。自密实混凝土作为一种绿色高性能混凝土，在施工方面具无可比拟的优越性，其研究与应用实践在世界范围内得到广泛开展。这种高性能混凝土起源于日本。在我国 20 世纪 90 年代初期，冯乃谦教授提出了流态混凝土概念，奠定了我国这一方面研究的基础。1996 年，北京城建集团构件厂研制出免振捣自密实混凝土。

随着我国土木工程不断向规模化、复杂化、高层化方向发展，结构配筋越来越复杂，施工难度很大，往往因混凝土振捣困难造成工程质量难以保证；同时，城市建筑施工因混凝土振捣引起的噪声也越来越成为需要解决的重要问题。因此，近十几年来自密实混凝土在房屋建筑、水利、桥梁等各领域逐渐得到广泛的应用。

厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司和福建六建集团有限公司承接住房和城乡建设部的行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283—2012 项目编制任务后，联合中南大学、湖南大学、重庆大学、中国建筑第四工程局有限公司、辽宁省建设科学研究院、云南省建筑科学研究院等广大高校、科研院所、建设及施工单位来共同编制标准条文。非常感谢余志武、史才军、龙广成、钱觉时、孙振平等教授在自密实混凝土配合比设计、性能研究等方面，提供了大量科研成果和试验数据。同时，感谢王世杰、路来军、张明、王元、刘登贤等高工提供了大量自密实混凝土工程案例。最后，对行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283—2012 项目组全体工作人员表示感谢！

本书是基于自密实混凝土生产、工程实践出发，结合行业标

准制订过程中收集大量工程案例和大量试验研究数据，以及国内外自密实混凝土最新研究成果编制而成的。

由于在特殊自密实混凝土的设计、生产与施工等方面知识不够全面，还需进一步补充，因此，本书也会存在差错与不足，热忱欢迎读者的批评与指正。

最后，希望本书能为从事自密实混凝土设计、生产及施工的技术人员提供参考与帮助，以便共同促进自密实混凝土技术在我国工程建设领域推广与应用。

目 录

第 1 章 自密实混凝土概述	1
1.1 自密实混凝土定义	1
1.2 自密实混凝土起源	2
1.3 国内研究现状	3
1.4 自密实混凝土的效益	4
1.5 国内、外自密实混凝土标准差异	8
第 2 章 自密实混凝土原材料	21
2.1 胶凝材料	21
2.1.1 水泥	21
2.1.2 粉煤灰	21
2.1.3 粒化高炉矿渣粉	22
2.1.4 沸石粉	23
2.1.5 硅灰	23
2.1.6 石灰石粉	24
2.2 骨料	26
2.2.1 天然粗骨料	26
2.2.2 轻骨料	28
2.2.3 天然细骨料	32
2.2.4 人工砂	32
2.3 外加剂	36
2.3.1 减水剂	36
2.3.2 其他外加剂	37
2.4 水	38
第 3 章 自密实混凝土配合比设计法	39
3.1 自密实混凝土的流动密实机理	39

3.2 自密实混凝土配合比计算方法	41
3.2.1 固定砂石体积含量法	43
3.2.2 改进的全算法	46
3.2.3 析因法	48
3.2.4 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283—2012 规定的 配合比计算方法	50
3.3 自密实混凝土配制思路	54
3.4 自密实性能调整方法	58
第4章 自密实混凝土的工作性能	61
4.1 流变学特性	61
4.2 自密实性	63
4.2.1 填充性	63
4.2.2 间隙通过性	64
4.2.3 抗离析性	66
4.3 自密实混凝土的分级与应用	66
4.3.1 填充性等级	68
4.3.2 黏聚性等级	69
4.3.3 钢筋通过性能等级	70
4.3.4 抗离析性	70
4.3.5 综合应用	71
4.4 自密实混凝土工作性能测试方法	74
4.4.1 各国采用的性能测试方法	74
4.4.2 评价方法	76
4.4.3 坍落扩展度及 T_{500}	79
4.4.4 V形漏斗测试	81
4.4.5 L形仪测试	84
4.4.6 U形仪测试	86
4.4.7 Orimet 试验	88
4.4.8 J形环试验	91
4.4.9 箱型试验	92

4.4.10 筛析法	94
4.4.11 拌合物稳定性跳桌试验方法	95
4.5 自密实混凝土工作性能的影响因素	97
4.5.1 砂率对自密实混凝土工作性影响	97
4.5.2 胶凝材料用量对自密实混凝土工作性影响	98
4.5.3 外加剂对自密实混凝土工作性影响	99
第5章 自密实混凝土的力学性能与耐久性能	101
5.1 自密实混凝土基本力学性能	101
5.1.1 自密实混凝土的抗压强度	101
5.1.2 自密实混凝土的抗拉性能	109
5.1.3 自密实混凝土的抗折性能	111
5.1.4 自密实混凝土的弹性模量	112
5.1.5 自密实混凝土的应力-应变关系	124
5.1.6 自密实混凝土的耐火性能	126
5.1.7 高温下自密实混凝土力学性能	130
5.1.8 自密实轻骨料混凝土的力学性能	136
5.2 自密实混凝土的耐久性能	139
5.2.1 自密实混凝土的抗冻融性能	139
5.2.2 自密实混凝土抗氯离子渗透性能	142
5.2.3 自密实混凝土抗碳化性能	144
5.2.4 自密实混凝土抗硫酸盐侵蚀	146
5.2.5 自密实混凝土的开裂性能	152
5.2.6 自密实混凝土的收缩徐变	161
第6章 自密实混凝土生产与制备	171
6.1 原材料检验与贮存	171
6.1.1 原材料进场前质量控制	171
6.1.2 原材料进场后质量检验与选择	172
6.1.3 原材料的贮存与堆放	175
6.2 生产与制备	176
6.2.1 自密实混凝土的生产	176

6.2.2	自密实混凝土的制备	179
6.2.3	自密实混凝土的质量控制	180
6.2.4	常见生产问题	181
6.3	特殊自密实混凝土的生产	192
6.3.1	人工砂自密实混凝土	192
6.3.2	高强自密实混凝土	194
6.3.3	自密实轻骨料混凝土	197
6.3.4	纤维自密实混凝土	200
6.3.5	再生大骨料自密实混凝土	202
6.4	工程案例分析	204
6.5	运输	207
第7章	自密实混凝土施工关键技术	209
7.1	模板侧压力	209
7.1.1	模板侧向压力下降机理的研究	210
7.1.2	模板侧向压力的影响因素	212
7.2	模板安装施工	216
7.3	泵送浇筑施工工艺	217
7.3.1	泵送浇筑施工工艺	218
7.3.2	高抛浇筑施工	225
7.3.3	顶升浇筑施工	230
第8章	自密实混凝土在土木工程中的应用	234
8.1	自密实混凝土在加固工程中的应用	235
8.1.1	自密实混凝土在加固工程中的施工	235
8.1.2	加固工程实例	236
8.2	钢管自密实混凝土的应用	241
8.2.1	钢管自密实混凝土设计	242
8.2.2	钢管自密实混凝土的施工	246
8.3	纤维自密实混凝土的应用	260
8.3.1	纤维自密实混凝土的配制	261
8.3.2	混凝土工程常用纤维的种类和技术参数	262

8.3.3	纤维自密实混凝土的施工要点	265
8.3.4	纤维自密实混凝土的应用	265
8.4	轻骨料自密实混凝土的应用	268
8.4.1	轻骨料自密实混凝土配合比设计	269
8.4.2	轻骨料自密实混凝土施工技术	270
8.4.3	轻骨料自密实混凝土应用	271
8.5	堆石自密实混凝土的应用	274
8.5.1	堆石混凝土性能要求	275
8.5.2	堆石混凝土专用自密实混凝土配合比设计	276
8.5.3	堆石混凝土的施工流程	277
8.5.4	堆石混凝土应用	278
8.6	自密实道面混凝土的应用	283
8.6.1	自密实道面混凝土的配合比设计	283
8.6.2	自密实道面混凝土的工作性能和耐久性	284
8.6.3	自密实道面混凝土的应用	285
8.7	石灰石粉自密实混凝土的应用	291
8.7.1	石灰石粉自密实混凝土工作性能	292
8.7.2	石灰石粉自密实混凝土力学性能	295
8.7.3	石灰石粉自密实混凝土的自收缩	297
8.7.4	石灰石粉对低强度自密实混凝土耐久性影响	298
8.7.5	石灰石粉自密实混凝土工程应用	304
第9章	钢管自密实混凝土密实性检测	305
9.1	常规混凝土密实性检测方法	305
9.2	利用压电智能骨料的钢管混凝土柱密实性检测	306
9.2.1	设计原理	307
9.2.2	工程实体	308
9.2.3	传感器与测试系统	310
第10章	自密实混凝土应用技术规程	
	JGJ/T 283-2012	318
第11章	自密实混凝土专项施工方案	356

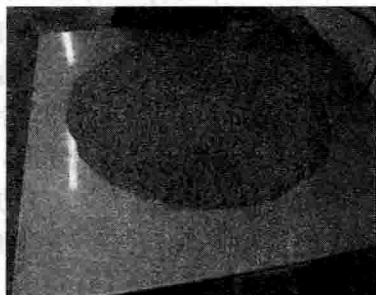
11.1	自密实混凝土专项施工方案制作	356
11.2	专项施工方案示例	356
11.3	现场交货检验要求	367
参考文献		368

第 1 章 自密实混凝土概述

1.1 自密实混凝土定义

什么是自密实混凝土？它与流态混凝土有何区别？从流动性上讲，自密实混凝土属于流态混凝土的一种。但是它又不完全等同于流态混凝土，自密实混凝土在拌合物性能上除了要有较高的流动性、均匀性和稳定性，最主要要能够实现在自重作用下无需振捣便能均匀密实成型。因此，自密实混凝土在原材料、配合比设计、混凝土性能、施工等方面均与大流动混凝土有着较大的区别。

近年来，从国内现有研究文献或协会标准中对自密实混凝土定义不尽相同。例如，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》CECS 203：2006 将自密实混凝土定义为具有高流动度、不离析、均匀性和稳定性，浇筑时依靠其自重流动，无需振捣而达到密实的混凝土。而中国土木工程学会标准《自密实混凝土设计与施工指南》CCES 02-2004 将自密实混凝土定义为混凝土拌合物具有良好的工作性，即使在密集配筋条件下仅靠混凝土自重作用而无需振捣便能均匀密实成型的高性能混凝土。从定义当中，可看出不同标准对自密实混凝土性能的侧重点，不尽相同。



厦门市建筑科学研究院

图 1.1-1 自密实混凝土

集团股份有限公司和福建六建集团有限公司根据住房和城乡建设部发布的《关于印发〈2010 年工程建设标准制订、修订计划〉的通知》(建标 [2010] 43 号) 文件的要求, 编制《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283—2012 时, 经编制组讨论及专家审查, 将自密实混凝土定义为: 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。

1.2 自密实混凝土起源

自密实混凝土的出现源于 1983 年后, 日本遇到的混凝土结构耐久性以及因技术工人数量的减少而引起混凝土的质量下降等问题。1986 年, 东京大学的学者提出了发展自密实混凝土 (SCC) 的必要性。1988 年, 东京大学第一次用普通材料配制出了自密实混凝土。次年, 在东京举行了自密实混凝土的公开浇筑试验, 会后许多大建筑公司开始了自密实混凝土的开发。日本建筑协会于 1992~1995 年对自密实混凝土的质量标准、材料、配合比、施工、质量管理等有关内容进行了研究, 并于 1997 年 1 月制定了《高流动性混凝土材料、配比、制造、施工方针》, 大大推动了自密实混凝土的应用。1992 年出席日本混凝土学会关于自密实混凝土年会的单位增至 30 家。至 1994 年底, 日本已有 28 个建筑公司掌握了自密实混凝土的技术, 可见其发展速度非常快。法国于 1995 年开始研制免振捣自密实混凝土, 瑞典、德国、新加坡、瑞士等国家也相继研制成功并获得应用, 荷兰自 1999 年开始已将自密实混凝土用于预制建筑构件的生产。在此期间, 欧洲也出资 300 万欧元资助由多国建筑商、混凝土专家、外加剂生产厂、钢纤维生产厂联合攻关的开发项目, 旨在开发普通自密实混凝土以及高质量饰面纤维增强自密实混凝土。

1.3 国内研究现状

国内对自密实混凝土的研究与应用开始于 20 世纪 90 年代初期。实际上,国内学者早在 1987 年就提出了流态混凝土概念,奠定了这一研究的基础。1993 年,北京城建集团构件厂在研制出 C60~C80 大流动性高强度混凝土的基础上开始着手于免振捣自密实混凝土的研制,于 1996 年获得了免振捣自密实混凝土的国家专利。之后,中建一局、中国铁道建筑总公司及深圳、济南、天津、宁夏等地陆续有了自密实混凝土应用于工程实践的报道。2003 年广州西卡建筑材料公司天津分公司先后在天津和北京举办“高性能混凝土、自密实混凝土研讨会”,推动了津京地区自密实高性能混凝土的发展。此外,清华大学、武汉理工大学、哈尔滨工业大学、福州大学、中南大学、山东建工学院等对自密实混凝土做了大量研究工作,促进了我国自密实混凝土的发展。

目前,自密实混凝土已广泛应用于各类工业民用建筑、道路、桥梁、隧道及水下工程、预制构件中,国内也已有自密实混凝土用于特殊结构施工报道,如大型爆炸洞、水工建筑物、窄径深孔井桩、钢管混凝土等。对自密实混凝土的理论研究工作已从最初的配制方法、施工技术和质量控制方面转向更深层次的新拌混凝土性能及硬化后的力学和耐久性能研究、开发新型外加剂及掺合料、配合比设计、经济性研究等方面。在实际应用中,自密实混凝土的应用范围也在不断扩大,从早期的高强自密实混凝土扩展到中、低强度等级和超高强自密实混凝土。加拿大、英国有报道通过高掺量粉煤灰生产出 28d 强度为 28~46MPa 和 30~35MPa 的自密实混凝土,国内也有 C30、C40 自密实混凝土的研究和应用。

对于高强自密实混凝土,继 2002 年 C100 高性能混凝土在北京率先成功应用于国家大剧院工程后,2004 年 4 月沈阳远吉

大厦钢管混凝土柱采用自密实混凝土浇灌，28d 强度等级达到 C100。另外，随着减水剂制备技术的进步，各种新型外加剂如氨基磺酸系、聚羧酸系高效减水剂也逐渐在实际自密实混凝土工程中得到广泛应用。例如，近年来，最具有代表性的上海环球金融中心、广州西塔工程以及深圳京基金融中心等工程均采用了聚羧酸系高效减水剂来配制自密实混凝土。

随着自密实混凝土技术进步，出现了自密实混凝土与其他新型混凝土技术（如纤维增强混凝土、钢管混凝土、活性粉末混凝土等）相结合使用的趋势，如，钢管自密实混凝土，已在大量的工程中得到应用。

1.4 自密实混凝土的效益

20 世纪 80 年代后期，日本学者首先提出自密实混凝土的概念，当时所面临的情况是混凝土耐久性在日本受到高度重视，但由于缺乏熟练工人进行混凝土浇筑施工，不能保证混凝土完全密实成为导致耐久性不良的重要原因之一，因此就需要一种非常容易实现密实的混凝土——自密实混凝土。“自密实”概念形成后，研究与应用迅速展开，很快成为一种实用的、施工性能非常优良的混凝土。自密实混凝土被称为“近几十年中混凝土建筑技术最具革命性的发展”，因为自密实混凝土拥有众多优点：

1. 保证混凝土良好的密实性。
2. 提高生产效率。由于不需要振捣，混凝土浇筑需要的时间大幅度缩短，工人劳动强度大幅度降低，需要工人数量减少。
3. 改善工作环境和安全性。没有振捣噪声，避免工人长时间手持振动器导致的“手臂振动综合症”。
4. 改善混凝土的表面质量。不会出现表面气泡或蜂窝麻面，不需要进行表面修补；能够逼真呈现模板表面的纹理或造型。
5. 增加了结构设计的自由度。不需要振捣，可以浇筑成形状复杂、薄壁和密集配筋的结构。在此之前，这类结构往往因为

混凝土浇筑施工的困难而限制采用。

6. 避免了振捣对模板产生的磨损。

7. 减少混凝土对搅拌机的磨损。

8. 可能降低工程整体造价。从提高施工速度、环境对噪声限制、减少人工和保证质量等诸多方面降低成本。

例如, 1995 年, 日本首次将自密实混凝土应用于明石海峡大桥, 2 个锚碇分别用了 24 万 m^3 和 15 万 m^3 的 C25 自密实混凝土, 从而缩短工期 20%。SCC 在 Osakacas Company 的大型贮气罐池壁中的应用不仅成功地保证了工程质量, 而且使工期缩短 18%, 混凝土施工人数从 150 人减少到 50 人。

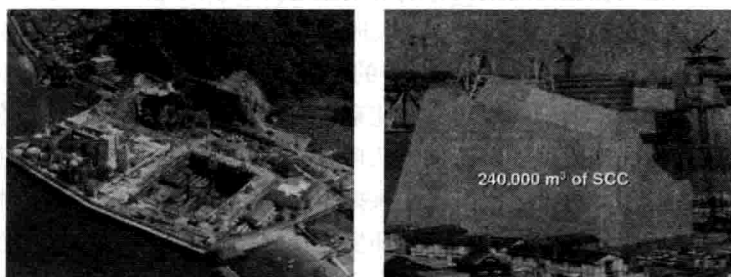


图 1.4-1 明石海峡大桥

自密实混凝土在日本得到广泛应用, 其中一个重要的原因是日本人力成本较高, 采用自密实混凝土省出的人力成本可以抵消原材料增加部分的费用。而在中国, 人力成本相对便宜, 采用自密实混凝土相对普通混凝土成本有所增加。因此, 自密实混凝土在中国普遍用于过于密集配筋、薄壁、复杂形体等振捣困难的工程, 例如, 用得最多的钢管自密实混凝土。

随着混凝土技术的不断进步, 尤其高性能减水剂的出现, 使得混凝土成本不断降低, 对于中高强度等级的泵送混凝土, 其成本已经与自密实混凝土接近, 这也是近来自密实混凝土在我国得到不断推广的原因之一。

自密实混凝土的技术经济分析, 应从定性和定量的角度全面