

浅谈自密实混凝土配合比设计优化及管柱试验

Discussion on the Mix Proportion of Self-compacting Concrete Design Optimization and String Testing

戴东

Dong Dai

中国葛洲坝集团第二工程有限公司 中国·湖北宜昌 443002

China Gezhouba Group No.2 Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443002, China

摘要: 自密实混凝土 (self-compacting concrete, 简称 SCC), 是一种高流动性且具有适当粘度的混凝土, 它不离析, 能够通过钢筋填满模板内的任何空隙, 在重力作用下自行密实, 属于高性能混凝土的一种。论文对南水北调穿黄工程隧洞内衬仿真试验自密实混凝土配合比优化和管柱试验进行了探讨。

Abstract: Self-compacting concrete (SCC) is a type of high-performance concrete with high fluidity and appropriate viscosity, it does not segregate and can fill any gaps in the template with steel bars, under the action of gravity, it self compacts and belongs to a type of high-performance concrete. This paper explores the optimization of self-compacting concrete mix proportion and pipe column tests in the simulation test of the tunnel lining of the South to North Water Diversion Project crossing the Yellow River.

关键词: 自密实混凝土; 高流动性; 自行密实; 配合比优化; 管柱试验

Keywords: self-compacting concrete; high fluidity; self-compaction; mix ratio optimization; pipe string test

DOI: 10.12346/rb.v1i3.8391

1 概述

自密实混凝土是通过外加剂、胶结材料和粗、细骨料的选择和配合比设计, 使混凝土拌和物屈服值减小且又具有足够的塑性粘度, 粗骨料能悬浮于水泥浆体中不离析、不泌水。在不用或基本不用振捣的成型条件下, 能充分填充模板和钢筋之间空隙, 形成密实而均匀的混凝土结构^[1]。其突出特点是拌合物具有良好的工作性能, 即使在密集配筋和复杂形状的条件下, 仅依靠自重而无需振捣便能均匀密实填充成型, 为施工操作带来极大方便。同时, 兼有提高混凝土质量、改善施工环境、加快施工进度、提高劳动生产率、降低工程费用等技术经济效果, 被称为“最近几十年中混凝土技术最具革命性的发展”。目前对自密实混凝土的研究主要从配合比优化入手, 结合结构设计、生产质量控制、现场施工工艺、工程应用等方面展开^[2]。在配合比优化方面主要针对自密实混凝土对材料和配比的敏感性, 在大量正交试验的基础上, 分析外加剂、矿物掺合料、骨料质量和数量等因素对自密实

混凝土工作性能的影响, 建立定量关系^[3]。

2 试验背景

南水北调穿黄工程隧洞内衬混凝土拟采用自密实混凝土施工。在进行内衬仿真试验前依据设计提供的参考配合比和 CECS 203—2006《自密实混凝土应用技术规程》, 通过试验对自密实混凝土参考配合比进行优化调整, 并进行了管柱试验^[4]。

2.1 自密实混凝土技术指标

自密实混凝土技术指标见表 1。

表 1 混凝土技术指标

混凝土等级	强度等级	粉煤灰掺量 (%)	R28 极拉值 ($\times 10^{-6}$)	W、F
二	C40	20	≥ 0.9	W12、F200

2.2 自密实混凝土配合比设计要求

自密实混凝土配合比设计要求见表 2。

【作者简介】戴东 (1969-), 男, 中国江苏仪征人, 本科, 工程师, 从事工程混凝土研究。

表 2 自密实混凝土配合比设计要求表

塌落度 (mm)	扩散度 (mm)	T50 (s)	V 漏斗 通过时间 (s)	U 型箱试验 填充高度 (mm)	1H 流动 度保持值 (%)	含气量 (%)	水粉比 (体积比)	单位体积 粉体量 (m ³)	单位体积 浆体量 (m ³)	单位体积 粗骨料量 (m ³)	混凝土 总碱量 (kg/m ³)
250~270	650~50	3~20	7~25	> 320	≥ 90	4~6	0.80~1.15	0.16~0.23	0.32~0.40	0.30~0.33	2.5

注：单位体积粉体量含骨料中 < 0.075mm 含量。

3 自密实混凝土的特有性能及检验方法

与常规混凝土相比，自密实混凝土除与常规混凝土性能要求类似的强度、耐久性、抗渗性、抗裂性和保护钢筋的性能符合设计要求和相关标准以外，对于自密实混凝土而言，特有的要求为自密实性能^[5]。

①高流动性：保证混凝土有足够的流动能力绕过障碍物，到达模型内任何地方。可采用塌落扩展度试验检测。

②抗离析性：保证混凝土质量均匀一致，即不泌水，骨料不离析。可采用 V 型漏斗试验和 T50 试验检测。

③间隙通过性：保证混凝土穿越钢筋间隙时不发生堵塞。可通过 U 形箱试验检测。

4 原材料要求

①水泥：宜采用 C3A 含量低和标准稠度用水量低的水泥，不宜采用凝结速度较快的水泥。一般水泥用量为 350~450kg/m³。水泥用量超过 500kg/m³ 会增大收缩；低于 350kg/m³ 则必须同时掺加其他粉料，如微硅粉、粉煤灰等。

②矿物掺合料：粉煤灰是自密实混凝土最常用的矿物掺合料，宜采用 II 级及以上粉煤灰^[5]。品质优良的粉煤灰可以改善混凝土的工作性能，降低混凝土拌和物流动性的经时损

失率，并且可以提高混凝土的后期强度和耐久性。

③骨料：宜采用中砂，粗骨料的粒径当使用卵石时为 25mm，使用碎石时为 20mm。

④外加剂：自密实混凝土的高流动性、高稳定性、间隙通过能力和填充性都需要以外加剂的手段来实现，宜选用聚羧酸系高性能减水剂，有抗冻要求的复合掺加引气剂。

5 自密实混凝土配合比优化试验

自密实混凝土配合比的确定是各种材料组分的比例和混凝土强度、耐久性、施工性、体积稳定性(硬化前的抗离析性、硬化后的弹性模量、收缩徐变)等诸性质间的矛盾的统一^[6]。对于自密实混凝土，首先要保证的是自密实性能，对强度只需要最终校核，在配合比设计上对于每方混凝土中砂、石、粉体和水的体积比控制非常严。综合影响自密实混凝土自密实性能的单位体积粗骨料用量、水粉比、单位体积粉体量、单位体积浆体量等因素，对南水北调穿黄工程隧洞内衬仿真试验自密实混凝土进行了外加剂优选，设计配合比进行了优化并试拌，优化后的自密实混凝土配合比参数及拌和物检测成果见表 3，相关参数见表 4。极限拉伸、抗冻、抗渗等性能也满足设计要求。

表 3 优化后混凝土配合比参数及拌和物性能检测成果表

水胶比	砂率 (%)	粉煤灰 掺量 (%)	外加剂掺量 (%)		塌落度 (mm)		扩散度 (mm)		T50 (s)		V 漏斗 通过时间 (s)	U 形箱 填充高度 (mm)	含气量 (%)	强度 (MPa)	
			减水剂	引气剂	0h	1h	0h	1h	0h	1h				7d	28d
0.36	49	20	1.1	0.02	265	259	685	667	4.9	7.0	15.7	335	5.8	37.5	54.2

表 4 优化后的自密实混凝土配合比相关参数计算表

参数	水粉比 (体积比)	单位体积粉体量 (m ³)	单位体积浆体量 (m ³)	单位体积粗骨料量 (m ³)	混凝土总碱量 (kg/m ³)
实际值	0.84	0.20	0.37	0.32	2.38 (不含外加剂碱)

6 管柱试验

为研究自密实混凝土外观质量,试验选用内径为 $\Phi 300\text{mm}$ PVC 塑料管两根,每根长 200cm ,其中一根为直立柱,另一根管柱与地面成 40° 角进行自密实混凝土管柱试验。混凝土浇灌从管顶中部下料,成型后2天折模检查。

①直立柱主要缺陷表现为气泡,上部 50cm 气泡小而少,而下部气泡多而大。一般在 $3\sim 5\text{mm}$ 居多,个别达 10mm ,分析其原因,是混凝土浇灌速度过快,管柱内光洁度不够,管壁没有涂脱模剂,在上部混凝土自重压力下,使混凝土带入的空气和混凝土本身水气不能沿管壁上升排除^[7]。

②斜管柱上 $1/4$ 圆弧气泡密集而成麻面,下部 $3/4$ 圆弧表面光滑,基本上无气泡。经分析,混凝土在管内压力较小,导致气泡从下圆弧上升至上圆弧,而上圆弧无排气口所致^[8-9]。

7 结语

①通过优化,自密实混凝土性能满足要求,但在混凝土外观质量上存在缺陷,主要表现为气泡、水波纹、分层、花斑水印等。应用中混凝土配合比和施工工艺还有待进一步优化^[10]。

②自密实混凝土的配制会因为材料的差异而对配合比产生较大的影响,应用中,应严格控制原材料的质量,掌握材料性质,及时调整自密实混凝土配合比^[11]。

③外加剂最佳掺量是保证混凝土施工性能的关键,外加剂过量会导致混凝土流动度大,离析严重,相反会导致流动性低,填充性差。

④自密实混凝土浇注工艺对表观质量至关重要。下料口与浇筑面应尽量接近,以免混凝土浇筑过程夹带更多空气。建议采用分层间隙浇筑,以利混凝土气泡排出,在内衬腰线

以下反弧段气泡易积聚,不易排出,建议模板外安装附着式振捣器,在浇筑间隙过程分两次振动。

⑤模板表面应光洁,无漏浆,模板表面应涂刷一层模板漆或优质脱模剂。

参考文献

- [1] 王辉,马嘉均,吕森,等.珠江三角洲水资源配置工程自密实混凝土配合比优化设计试验研究[J].水电能源科学,2021,39(4):125-128.
- [2] 刘小洁,余志武.自密实混凝土的研究与应用综述[J].铁道科学与工程学院学报,2006(2):6-10.
- [3] 乔稳超,李元,朱鹏举,等.超大截面巨柱高抛自密实混凝土配合比及性能研究[J].建筑技术,2021,52(12):1442-1445.
- [4] 郭杨,魏天酬,张颜科.自密实混凝土在装配式叠合板中的应用研究[J].四川水泥,2023(3):97-99.
- [5] 彭红.自密实混凝土原材料及其配合比的选择与优化[J].湖北理工学院学报,2022,38(6):39-43.
- [6] 赵向东.基于正交试验优化自密实混凝土配合比设计[J].工程建设,2019,51(5):57-62.
- [7] 厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司.自密实混凝土技术手册[M].北京:中国建筑工业出版社出版,2014.
- [8] 黎晓辉,李丽娟,李彦龙,等.混掺纤维增强橡胶混凝土的力学性能研究[J/OL].工业建筑:1-13[2023-07-27].
- [9] 李汪洋,程磊科,刘慧慧,等.石灰石粉作为矿物掺合料对机制砂混凝土力学性能及耐久性的影响[J/OL].混凝土:1-8[2023-07-27].
- [10] 夏锴伦,陈宇宁,刘超,等.混凝土3D打印建造的低碳性研究进展[J/OL].建筑结构学报:1-21[2023-07-27].
- [11] 刘浩,周宏元,王小娟,等.泡沫混凝土填充旋转薄壁多胞方管负泊松比结构面内压缩性能[J/OL].复合材料学报:1-18[2023-07-27].