

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.07.060

# 预制防撞墙后浇带超高性能混凝土配比研究

吴倩文, 张翼

(中交二航局第四工程有限公司, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** 随着经济和社会的发展, 工程项目构造向更高、更长、更加深入的角度深入发展, 这对混凝土的强度有了更高的规定, 超高性能混凝土(简称UHPC)应运而生, 与常用的水泥基混凝土材料相比, UHPC在抗拉强度、抗压强度、阻裂性、耐磨性、耐腐蚀性、抗冻性及抗渗性等方面具有更加优越的性能。结合上海S3公路(周邓公路—G1503公路两港大道立交)新建工程主线施工4标段(以下简称S3公路)预制防撞墙后浇带UHPC的配比试验, 通过不同配比的各龄期混凝土抗压强度进行对比, 确定最优配比方案, 并在S3公路预制防撞墙后浇带实施中得到了很好的应用, 为UHPC的深入研究和应用提供了有益参考。

**关键词:** UHPC; 配比试验; 抗压强度; 最优配比

**中图分类号:** U414

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2024)07-0249-05

## 0 引言

随着社会的发展, 中国基础设施项目的发展越来越快, 要求也越来越高, 因此对一般混凝土、高性能混凝土乃至是超高性能混凝土(UHPC)的需求量越来越大。可以说, 在可持续发展观发展战略下, 基建项目对混凝土的要求越来越高, 这也从侧面说明了超高性能混凝土(UHPC)的应用前景将会十分的广泛。

UHPC作为一种高新技术材料, 全寿命周期和节能环保方面比高强混凝土具有更高的应用价值。本文以S3公路预制防撞墙[1]后浇带的UHPC配置为例, 通过研究不同材料配比对UHPC强度的影响, 对于促进UHPC的深入研究具有推动作用。

## 1 UHPC组成原材料

原材料包括硅酸盐水泥、粉煤灰微珠、硅灰、S105矿粉、河砂、聚羧酸型高效减水剂、钢纤维<sup>[2-3]</sup>。

水泥采用P·II 52.5硅酸盐水泥, 细集料采用河砂, 含泥量1.0%, 含水率0.5%, 河砂的级配曲线见图1, 采用西卡540P聚羧酸高效减水剂作为高效减水剂<sup>[4]</sup>, 技术参数见表1, 钢纤维采用镀铜钢纤维, 钢纤维的抗拉强度2600 MPa, 长度为13 mm, 直径为0.2 mm, 长径比为65, 钢纤维的形状为端钩形纤维, 技术指标参数见表2。原材料化学组成见表3。

收稿日期: 2023-07-10

作者简介: 吴倩文(1994—), 男, 本科, 助理工程师, 从事桥梁施工工作。

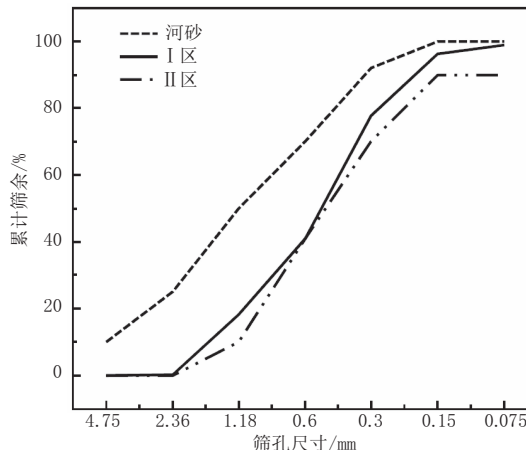


图1 河砂级配曲线图

表1 西卡540P聚羧酸型高效减水剂技术参数表

基体	改性聚羧酸盐
外观	白色粉末
比重	0.6 ± 0.1 g/cm <sup>3</sup> (堆积密度)
PH值	10.5 ± 0.5(23℃, 40%溶液)
总氯离子含量	≤0.1%
氯化钠含量	≤2.0%

表2 钢纤维技术参数

项目	标准值	
形状合格率/%	≥85	
长度	样本公差/%	±10
	均值公差/mm	±1.5
长径比	样本公差/%	±15
	均值公差/%	±7.5
直径	样本公差/mm	±0.02
	均值公差/mm	±0.015
形状	端钩	
抗拉强度/MPa	≥2800	
弯曲性能	90%试样不应断裂	

表3 原材料化学组成 单位:%

化学成分	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOSS
水泥	19.30	63.72	3.08	1.56	2.78	3.96	2.96
硅灰	97.63	0.10	0.06	0.22	0.87	0.23	2.61
粉煤灰	56.06	10.42	9.45	1.49	0.34	15.81	0.29

## 2 材料组成对UHPC抗压强度影响

### 2.1 试验配合比

本试验共设计了20组配合比来研究UHPC原料含量对UHPC性能的影响,并制配出满足项目应用要求的UHPC。

水胶比是指水与胶凝材料(水泥与硅灰、粉煤灰、矿粉)的质量之比,钢纤维掺量按照单位体积混凝土掺率2%进行掺加,其余各掺量均为其与水泥质量的比值。具体配合比信息见表4。

表4 试验配合比

试验编号	水泥	粉煤灰	硅灰	矿粉	石英粉	砂	钢纤维	水胶比
M1	1	0.1	0.2	0	0.2	1.1	2%	0.21
M2	1	0.1	0.2	0	0	1.1	2%	0.16
M3	1	0.2	0.1	0	0	1.1	2%	0.16
M4	1	0.15	0.15	0	0	1.1	2%	0.16
M5	1	0.1	0.1	0.1	0	1.1	2%	0.16
M6	1	0.2	0.1	0.1	0	1.1	2%	0.16
M7	1	0.1	0.2	0.1	0	1.1	2%	0.16
M8	1	0.2	0	0.1	0	1.1	2%	0.16
M9	1	0.3	0.1	0.1	0	1	2%	0.16
M10	1	0.3	0.1	0.1	0	1.1	2%	0.16
M11	1	0.1	0.1	0.2	0	1.1	2%	0.16
M12	1	0.3	0	0.1	0	1.1	2%	0.16
M13	1	0.3	0.1	0.1	0	1	2%	0.14
M14	1	0.3	0	0.1	0	1	2%	0.16
M15	1	0.2	0	0.1	0	1	2%	0.16
M16	1	0.3	0.1	0.1	0	1.1	2%	0.14
M17	1	0.2	0	0.2	0	1.1	2%	0.16
M18	1	0.3	0	0.2	0	1.1	2%	0.16
M19	1	0.2	0	0.3	0	1.1	2%	0.16
M20	1	0.1	0.3	0.1	0	1.1	2%	0.16

### 2.2 试验结果

本试验测试了各配合比下UHPC的工作性能以及不同龄期下的UHPC的力学性能,抗压强度按GB/T50081-2019<sup>[5]</sup>进行测定,流动度按照CECS13:2009<sup>[6]</sup>进行测定,测试结果见表5。

表5 各配比试验数据

编号	抗压强度 /MPa				流动度 /mm	
	3 d	7 d	14 d	28 d	初始	1 h后
M1	59.7	64.5		87.0	640	445
M2	92.2	97.4		117.8	525	450
M3	95.2	113.0	127.1	138.7	710	670
M4	94.6	106.8	119.7	140.7	700	660
M5	72.8	88.0	97.6	97.7	710	655
M6	76.5	89.2	92.4	115.5	785	700
M7	66.0	86.3	100.1	120.3	605	535
M8	80.1	88.8	100.4	117.8	710	655
M9	90.1	106.6	119.9	127.6	770	750
M10	101.7	117.7	124.8	156.0	705	655
M11	81.2	97.5	116.3	124.3	700	655
M12	93.3	99.0	107.4	130.0	820	790
M13	92.4	111.1	120.2	138.2	745	675
M14	88.1	106.4	107.9	110.1	830	785
M15	72.7	94.4	113.5	115.0	760	740
M16	104.7	109.1	113.7	146.2	700	655
M17	78.8	100.4	105.4	126.0	830	820
M18	90.4	107.5	129.6	125.0	790	730
M19	89.3	105.0	108.3	120.0	835	800
M20	60.4	83.6	98.6	130.7	600	505

### 2.3 矿物掺合料掺量对UHPC抗压强度的影响

矿物掺合料主要具有三大效应:火山灰活性、填充效应、形态效应,从而改善UHPC的性能。

当矿物掺合料掺量为水泥的0.3倍时,M3(3 d强度95.2 MPa,28 d强度138.7 MPa)、M4(3 d强度94.6 MPa,28 d强度140.7 MPa)表现较为优异,见图2。

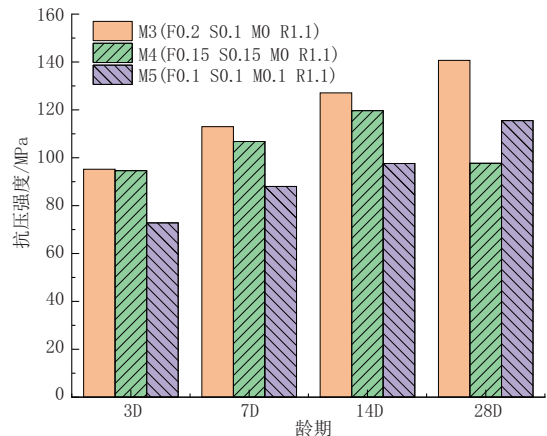


图2 C/M=1/0.3

当矿物掺合料掺量为水泥的0.4倍时,M11(3 d强度81.2 MPa,28 d强度124.3 MPa)、M12(3 d强度93.3 MPa,28 d强度130.0 MPa)表现较为优异,见图3。

当矿物掺合料掺量为水泥的0.5倍时,M10(3 d强度101.7 MPa,28 d强度156.0 MPa),M18(3 d强

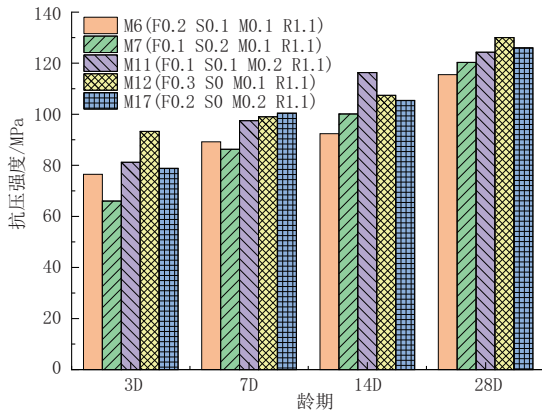


图3 C/M=1/0.4

度 90.4 MPa, 14 d 强度 129.6 MPa) 表现较为优异, 见图 4。

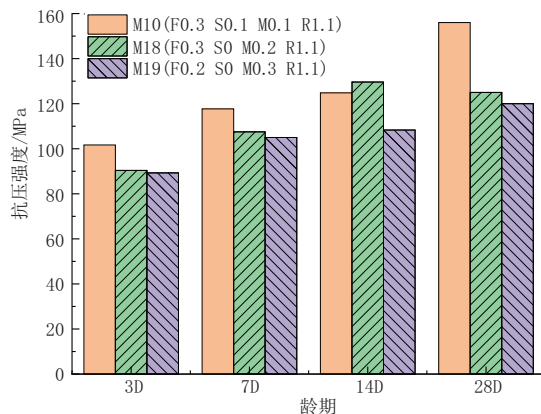


图4 C/M=1/0.5

## 2.4 粉煤灰掺量对 UHPC 抗压强度的影响

粉煤灰作为 UHPC 的矿物外加剂, 主要发挥形态效应和火山灰效应, 降低水胶比, 提高密实度, 改善工作性能<sup>[7]</sup>。粉煤灰的珠状颗粒具有形态效应<sup>[8]</sup>, 这种分散和润滑作用可以显著提高新混合 UHPC 的粘度。

通过 M5、M6、M10 对比可以发现, 随着粉煤灰掺量的提高, 抗压强度也逐步得到提高, 见图 5。

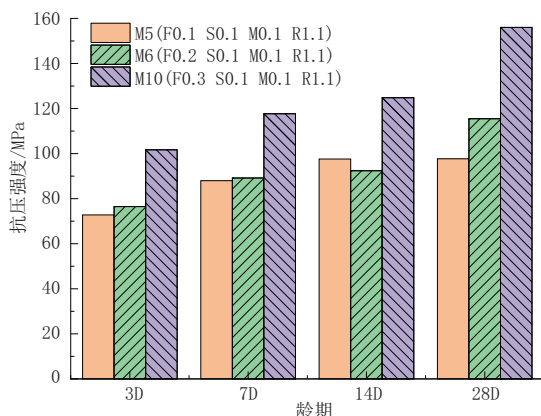


图5 粉煤灰掺量对抗压强度的影响

## 2.5 硅灰掺量对 UHPC 抗压强度的影响

硅灰作为一种高活性、颗粒粒径小, 比表面积极

大的超细矿物掺和料, 具有良好的微填充效果和火山灰效果, 掺入硅灰能够优化 UHPC 内部孔结构, 显著提高体系的密实度, 从而提高了 UHPC 的性能。

通过 M5 与 M7 对比可以发现, 当硅灰掺量由 0.1 提高到 0.2 后, 3 d 和 7 d 抗压强度出现了略微下降, 而 14 d 和 28 d 抗压强度均出现了增长, 见图 6。

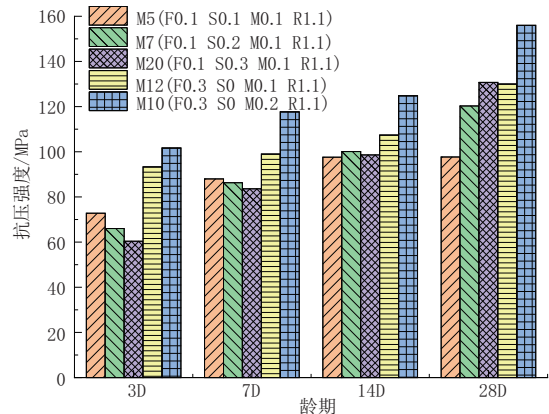


图6 硅灰掺量对抗压强度的影响

通过 M7 与 M20 对比可以发现, 当硅灰掺量由 0.2 提高到 0.3 后, 3、7、14 d 抗压强度出现了下降, 而 28 d 抗压强度均出现了增长, 见图 6。

通过 M12 与 M10 对比可以发现, 当硅灰掺量由 0 提高到 0.1 后, 3、7、14、28 d 抗压强度均出现了增长, 且硅灰掺量的提高对后期抗压强度的提升影响更大 (3 d 抗压强度提高 9%, 28 d 抗压强度提高 20%), 见图 6。

## 2.6 矿粉掺量对 UHPC 抗压强度的影响

矿粉由于具有火山灰效应、微骨料效应和密实填充效应三种作用, 能使混凝土具有优良的工作性能, 具有较好的体积稳定性, 并能提高混凝土界面区的结构和耐久性。

通过 M12 与 M18 对比可以发现, 当矿粉掺量由 0.1 提高到 0.2 后, 3 d 抗压强度出现了略微下降, 而 7 d 和 14 d 抗压强度均出现了增长, 见图 7。

通过 M5 与 M11 对比可以发现, 当矿粉掺量由 0.1 提高到 0.2 后, 3、7、14、28 d 抗压强度均出现了增长, 且矿粉掺量的提高对后期抗压强度的提升影响更大 (3 d 抗压强度提高 12%, 28 d 抗压强度提高 27%), 见图 7。

## 2.7 水胶比对 UHPC 抗压强度的影响

它与普通混凝土的规律大不相同, 水胶比的降低并不一定提高混凝土的强度, UHPC 一方面可以从水化中获得足够的强度, 另一方面取决于其自身的密实度<sup>[9]</sup>。在保证 UHPC 良好流动性的基础上, 降低

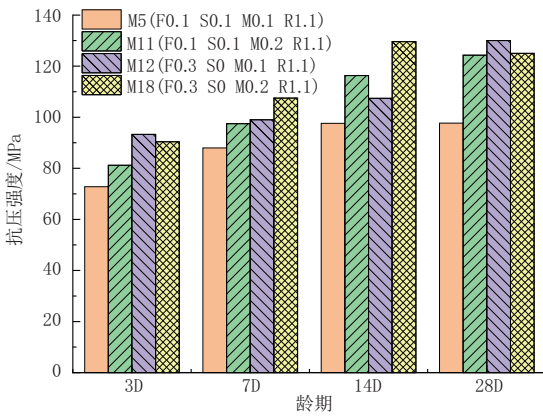


图7 矿粉掺量对抗压强度的影响

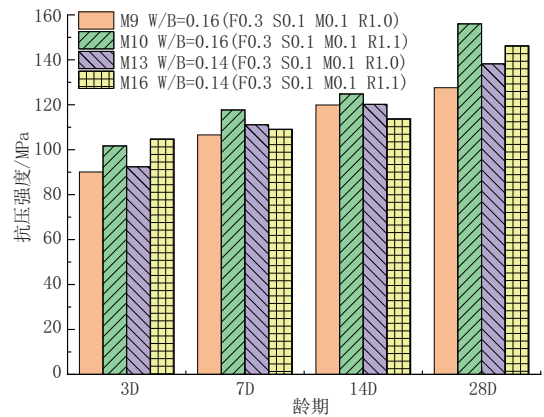


图9 砂灰比对抗压强度的影响

水胶比对提高UHPC抗压强度有有利影响。

通过M10与M16对比可以发现,当水胶比由0.16降到0.14后,3d抗压强度出现了略微上涨,而7d、14d和28d抗压强度均出现了下降,见图8。

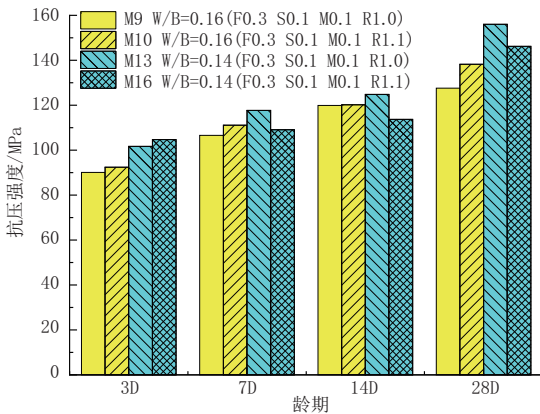


图8 水胶比对抗压强度的影响

通过M9与M13对比可以发现,当水胶比由0.16降到0.14后,3、7、14、28d抗压强度均出现了增长,3d抗压强度提高3%,28d抗压强度提高8%,见图8。

### 2.8 砂灰比对UHPC抗压强度的影响

与普通混凝土一样,UHPC是一种非均匀多孔体,其中UHPC体系中浆骨比例的差异以及两者力学性能的差异是导致UHPC结构均匀性差的主要原因之一。降低UHPC中最大粒径和骨料的比例可以平衡UHPC体系中浆骨两相的差异,从而提高UHPC的性能。

通过M13与M16对比可以发现,当砂灰比由1.0提高到1.1后,3d抗压强度和28d抗压强度均有所增长,而7d、14d抗压强度出现了下降,见图9。

通过M9与M10对比可以发现,当砂灰比由1.0提高到1.1后,3、7、14、28d抗压强度均出现了增长,3d抗压强度提高13%,28d抗压强度提高22%,见图9。

## 3 应用

根据试验所有配比中共有10个配比(M3、M4、M9、M10、M11、M12、M13、M16、M18、M19)满足“3d抗压强度不小于80MPa,28d抗压强度不小于120MPa,初始流动度不小于700mm,1h后流动度不小于650mm”性能要求,其中所得到的最优配合比为M10,配比为F:S:M:R(粉煤灰:硅灰:矿粉:砂)=0.3:0.1:0.1:1.1,W/B(水胶比)=0.16,其3d抗压强度为101.7MPa、28d抗压强度为156.0MPa、初始流动度为705mm、1h后流动度为655mm,均满足项目应用的性能要求。

S3公路预制防撞墙后浇带采用M10配比进行应用,在混凝土强度、外观等方面优势明显(见图10、图11)。



图10 预制防撞墙安装UHPC浇筑



图11 浇筑后成品外观

### 4 结 语

通过对采用不同配合比掺入相同类型、2%参量 /m<sup>3</sup> 的超高性能混凝土进行抗压性能试验,分析了不同配合比对超高性能混凝土抗压强度的影响,得到如下结论:

(1)在一定范围内增加矿物掺合料、粉煤灰、硅粉、矿粉可以提高 UHPC 的抗压强度,其中粉煤灰影响较为明显。

(2)水胶比的降低并不一定提高 UHPC 的强度,在保证 UHPC 良好流动性的基础上,适当降低水胶比,将对 UHPC 抗压强度的提高产生有利影响。

(3)减小 UHPC 中骨料的粒径和比例可以提高 UHPC 的性能。

(4)UHPC 在城市高架预制防撞墙后浇带施工上应用优势明显。

### 参考文献:

[1] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.上海 S3 公路(周邓公路—G1503 公路两港大道立交)新建工程主线施工 4 标段《施工图设计总说明及总体布置》[Z].2020.

[2] 南京兴佑交通科技有限公司,镇江兴佑新材料科技有限公司.一种抗车辙复合型路面专用灌浆料及其制备方法:中国,CN202211068193.5[P].2022-12-16.

[3] 范令.修补工程中超高性能混凝土收缩和界面应力研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

[4] 曹承,孔凡东,孙建军,等.三元复合修补砂浆的研究[J].福建质量管理,2019(24):208.

[5] GB/T 50081—2019,混凝土物理力学性能试验方法标准[S].

[6] CECS13:2009,纤维混凝土试验方法标准[S].

[7] 沈楚琦.工程化超高性能混凝土的制备与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2019.

[8] 朱志刚.铁尾矿制备活性粉末混凝土的研究[D].武汉:武汉理工大学,2013.

[9] 鲁亚.自密实超高性能混凝土(UHPC)的配制及性能研究[D].南昌:南昌大学,2015.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)