

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.07.059

用于湿接缝连接的UHPC收缩控制研究

郭绍霖

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 污水处理厂生物反应池预制拼装施工复杂,超高性能混凝土(UHPC)湿接缝连接部位施工不当可能产生裂缝。结合工程实例,分析了UHPC收缩机理,通过研究不同分组对UHPC收缩的影响,提出采用粉煤灰和膨胀剂双掺的方法,有效控制UHPC的收缩变形,为现场UHPC施工的裂缝控制提供有力保障。

关键词: 超高性能混凝土;湿接缝;收缩;粉煤灰;膨胀剂;裂缝控制

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)07-0219-04

0 引言

随着城市化进程的加快、城市人口的增加和生活用水量的增加,产生的污水也在逐渐增加,我国污水处理厂进入大发展阶段,污水处理厂数量大幅增加,污水处理能力也日益提升。但在其上部结构建造过程中,仍存在着大量的现场钢筋焊接、绑扎以及混凝土现浇工作,施工效率和装配化程度有待进一步提高。

超高性能混凝土(UHPC)是一种具有超高力学性能和超高耐久性的新型水泥基材料。UHPC基于“最紧密堆积原理”设计原理,通过现代外加剂技术,将磨细石英砂、水泥、硅灰等各种超细颗粒原材料组成均匀致密的整体,并通过均匀分部的超细钢纤维,使其具备极佳的抗渗、耐腐蚀、抗冻融等耐久性,同时具备了拉伸应变强化和高延展性的特点。在国外,UHPC已广泛应用于预制构件的连接^[1]。国内关于UHPC湿接缝的受力有一定的研究^[2-4],但主要集中于装配式桥梁行业中,在水务工程中的应用研究较少。

本文结合上海竹园污水处理厂四期工程,分析UHPC收缩特性,以优化原材料配比为出发点,从源头上控制UHPC材料的收缩,确保UHPC湿接缝浇筑的施工质量,做到超长距离湿接缝浇筑的零裂缝。

1 工程概况

竹园污水处理厂四期工程是上海市重大工程项

收稿日期: 2022-04-25

作者简介: 郭绍霖(1988—),男,学士,工程师,从事工程项目管理工作。

目及苏州河环境综合整治四期工程的重要组成部分。工程位于浦东新区华东路以东、外高桥船厂西侧,建设内容包括新建规模120 m³/d的污水处理厂、规模120 ton(干基)/d的污泥处理中心以及总长约5 km的进出水总管等,工程建成后,竹园污水处理厂总处理规模将位列亚洲第一。本工程1.3标中的50万t AAO生物反应池部分结构为预制混凝土构件,包括缺氧区的隔墙、顶板梁(含局部电缆沟)、顶板、好氧区的部分隔墙(带空气渠道和除臭渠道)。采用预制装配式构件施工的区域共4个,单个区域长43.85 m,宽78.56 m,面积约3 445 m²,总面积约14 000 m²,见图1。其中预制隔墙与底板、预制隔墙与预制板、预制隔墙与预制梁之间采用UHPC湿接缝进行连接,总量约1 100 m³,预制墙板与底板的UHPC湿接缝连接见图2。

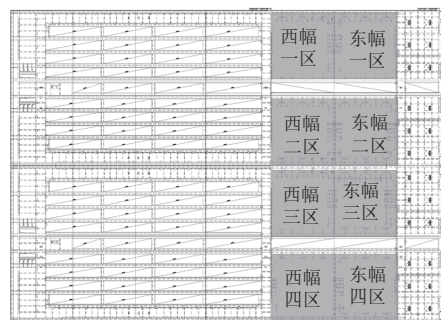


图1 生物反应池预制拼装区域示意图

2 UHPC收缩性能研究

2.1 UHPC收缩机理

混凝土的收缩变形包括干燥收缩、自收缩、化学减缩、温度下降引起的冷缩、塑性收缩以及因碳化而引起的碳化收缩。收缩是引起混凝土开裂的主要原因

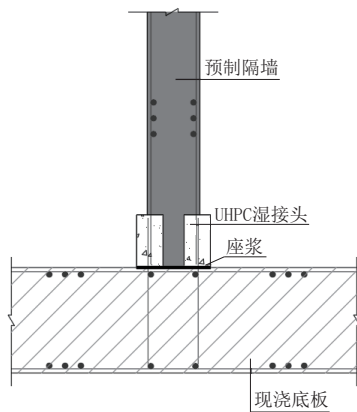


图2 预制隔墙与底板的UHPC湿接缝连接

之一,与普通和高性能混凝土相似,一般认为UHPC收缩主要由自收缩和干燥收缩组成。与普通混凝土和高性能混凝土不同的是,UHPC的自收缩占总收缩的比例较大,干燥收缩则较小,自收缩占总收缩的75%~90%之间。

由于UHPC具有非常低的水胶比(0.14~0.2)、胶凝材料用量多、矿物掺合料的掺量大、使用聚羧酸高效减水剂等特点,所以UHPC在凝结硬化过程中和凝结硬化后都会产生较大的收缩,从而使得UHPC早期开裂更加严重^[5]。掺入一定量的SAP^[6]或聚丙烯酸酯^[7],均能对UHPC的收缩性能起到一定的改善作用。纤维能有效的抑制UHPC的收缩变形。使用粉煤灰和矿粉等掺合料替代一定比例的硅粉,对UHPC早期收缩有一定的抑制作用^[8]。热养护能够提高UHPC的强度和减小其干燥收缩^[9]。

控制UHPC收缩变形的措施主要是通过降低收缩变形的产生、掺入产生膨胀性物质补偿收缩和限制收缩变形的发展。考虑到不同方法对UHPC收缩变形的控制效果及对宏观力学性能的影响,本文主要研究掺合料和膨胀剂对收缩变形的影响。

2.2 UHPC收缩变形控制试验

2.2.1 试验原材料

UHPC的主要组成材料包括:胶凝材料、骨料、拌合水、外加剂和钢纤维等。

(1)胶凝材料

水泥(PC)为安徽铜陵海螺水泥有限公司生产的P·II52.5硅酸盐水泥,比表面积为369 m²/kg。粉煤灰(FA)为I级粉煤灰,比表面积为450 m²/kg。矿粉(GGBS)为S95矿粉,比表面积为420 m²/kg。硅灰(SF)由上海艾肯公司提供,型号940,外形为灰色粉末,平均粒径为0.5 μm,比表面积为20 500 m²/kg。膨胀剂(EA)为唐山北极熊建材有限公司生产的

CSA 高效膨胀剂II型。

(2)骨料

骨料由上海博彤化工提供的优先石英砂(QS)。为了使得骨料体系的堆积密实度尽量接近于最大值,选用三种不同级配的石英砂进行复配,粗、中、细三种砂子粒径分别为20~40目、40~80目和80~120目,混合比例为3:5:2。

(3)外加剂

减水剂(SP)为巴斯夫Melflux 4930 F聚羧酸粉末减水剂。

(4)钢纤维

钢纤维(SRF)为上海真强纤维有限公司的端钩型镀铜钢纤维,长度14 mm,直径0.22 mm。

2.2.2 试验方法

早期自收缩变形测试参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)中的非接触式变形测量方法进行,每分钟采集一次数据,最后取三个试件的平均值作为结果,测试照片见图3。待试件测试24 h后记录数据,而后进行拆模,将试件放入混凝土干燥收缩测试装置中进行后续测试。通过该方法可以有效的评估在最不利的状况下UHPC从初凝到后期干燥的条件下所发生的所有变形。



图3 早期自收缩及干燥收缩测试

2.3 试验结果与讨论

试验配合比见表1,各组分对UHPC收缩变形的影响规律见图4。

2.3.1 膨胀剂对UHPC收缩的影响

10%的膨胀剂取代水泥可以使UHPC的收缩变形量降低40%。这是由于所用膨胀剂属于钙矾石类,膨胀是由于钙矾石的晶体长大而产生晶体压力所致的。水胶比越大,矿物掺和料越多,材料内部孔隙越粗大,钙矾石晶体尺寸就越大。大量针棒状钙矾石晶体杂乱地填充在孔隙中,对硬化浆体的膨胀贡献不大;相反,水胶比越低,材料内部结构越致密,钙矾石结晶尺寸就越小,多为凝胶颗粒状,它们的吸水膨胀是低水胶比条件下补偿收缩胶凝材料的主要膨胀

表1 UHPC 试验配合比

编号	组分 / (kg·m ⁻³)										水胶比
	C	SF	FA	EA	GGBS	QS	W	SP	DF	SRF	
基准	850	200				1 059	190	10	1	180	0.181
10FA	765	200	85			1 059	190	10	1	180	0.181
10EA	765	200		85		1 059	190	10	1	180	0.181
10GGBS	765	200			85	1 059	190	10	1	180	0.181
15FA	765	160	125			1 059	190	10	1	180	0.181

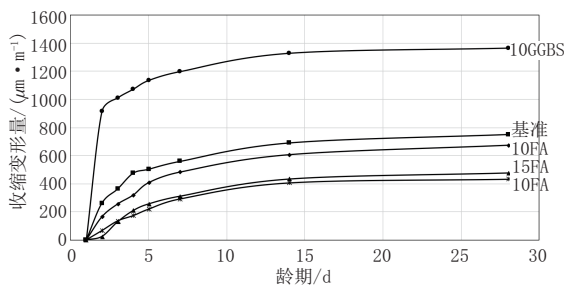


图4 矿物掺合料对 UHPC 收缩变形的影响(单位:μm/m)

驱动力。因此,膨胀剂对 UHPC 的收缩起到了一定的补偿作用。

2.3.2 矿粉对 UHPC 收缩的影响

10%的矿粉替代水泥,会导致 UHPC 的收缩变形量显著增长。这是由于矿粉发生水化反应的化学收缩大于水泥水化反应的化学收缩,同时由于矿粉火山灰活性和水化程度要大于粉煤灰,这大大加快了密封条件下水分消耗的速度,加快了内部干燥过程,提高了毛细管临界半径降低的速度,促进了毛细管负压的增长和作用面积系数的加大,从而加剧了胶凝体系的自干燥及自干燥引起的自收缩。

2.3.3 粉煤灰对 UHPC 收缩的影响

10%的粉煤灰取代水泥可以使 UHPC 的收缩变形量降低 12%。这是由于粉煤灰参与水化反应的速度和程度远低于水泥,其火山灰活性需要水泥的水化产物才能激发,在早期粉煤灰使胶凝体系的水化发展变得相对缓慢,UHPC 内部的自干燥现象将会被缓解,从而抑制了 UHPC 的自收缩变形。考虑到粉煤灰颗粒的弹性模量高于水泥颗粒,在水泥浆体内起着限制浆体收缩的作用,这将促使粉煤灰减少混凝土的收缩变形。

15%的粉煤灰取代 10%的水泥和 5%的硅灰可以使 UHPC 的收缩变形降低 36%。这是因为,硅灰对 UHPC 的早期自收缩发展有着极为显著的影响,随着硅灰掺量增加自干燥现象加剧,UHPC 的自收缩变形量将会大幅增加。而粉煤灰取代部分硅灰,UHPC 中

的硅灰掺量降低,故其收缩变形量显著降低。其改善效果与膨胀剂基本相同。

综合上述结果,在 UHPC 中掺入一定的粉煤灰和膨胀剂可以有效降低其收缩开裂的风险。因此,本文选择采用粉煤灰和膨胀剂双掺控制收缩。

最终优化配比见表 2。优化后 UHPC 的体积变形发展规律见图 5。测试时间为拆模后至干燥空气中 28 d。

表2 优化 UHPC 配合比

组分 / (kg·m ⁻³)										水胶比
C	SF	FA	EA	QS	W	SP	DF	SRF		
700	180	100	70	1 059	190	10	1	180	0.181	

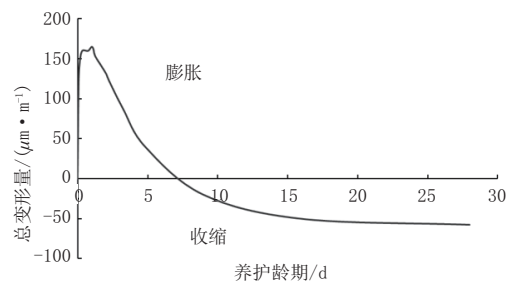


图5 优化后的 UHPC 收缩变形

由图 5 可以看出,优化后的 UHPC 具有优良的体积稳定性。这是由于胶凝材料中含有一定量的膨胀剂,在早期水化过程中生成一定量具有膨胀特性的钙矾石,故而在早期 UHPC 呈现膨胀,膨胀量在 165 μm/m 左右。随着水化的进行,水被大量消耗,产生较大的自干燥现象,从而引起一定的自收缩发生。由于是暴露在干燥环境中,水分蒸发也会造成一定的干缩变形。自收缩和干缩的叠加,导致随后的 UHPC 的体积变形呈现收缩的态势,UHPC 总收缩变形量小于 60 μm/m。UHPC 优良的体积稳定性,能显著降低收缩开裂的风险。

3 结语

针对竹园污水处理厂四期工程 AAO 生物反应

池预制拼装首次采用 UHPC 进行湿接缝连接,研究了各组成材料对 UHPC 收缩性能的影响,并通过粉煤灰和膨胀剂双掺,有效降低的 UHPC 的收缩变形,所得结论如下:

(1)10%的膨胀剂取代水泥可以使 UHPC 的收缩变形量降低 40%;

(2)矿粉的加入,会显著增加 UHPC 的收缩变形;

(3)10%的粉煤灰取代水泥可以使 UHPC 的收缩变形量降低 12%,15%的粉煤灰取代 10%的水泥和 5%的硅灰可以使 UHPC 的收缩变形降低 36%;

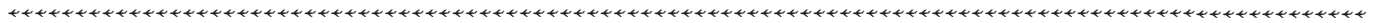
(4)粉煤灰和膨胀剂双掺时,通过两者的协同作用,UHPC 能够获得优良的体积稳定性。

因此,在现场施工中,采用优化后的 UHPC 配合比,同时结合合适的装备和施工工艺,显著降低收缩开裂的风险,提高预制隔墙与底板的 UHPC 湿接缝连接质量,极大地促进了项目质量管理工作整体

水平。

参考文献:

- [1] 陈宝春,季韬,黄卿维,等.超高性能混凝土研究综述[J].建筑科学与工程学报,2014,31(3):1-24.
- [2] 刘超,黄钰豪,陆元春.新老桥间超高性能混凝土拼接接缝性能试验[J].同济大学学报(自然科学版),2019,47(3):322-330.
- [3] 李昭,赵华,朱平,马鹏飞,等 UHPC-NC 组合结构抗弯性能试验及有限元分析[J].公路工程,2019,44(2):194-200.
- [4] 张永涛,田飞.预制桥面板 UHPC-U 形钢筋湿接缝受力性能试验研究[J].桥梁建设,2018,48(5):48-52.
- [5] 张云升,张国荣,李司晨.超高性能水泥基复合材料早期自收缩特性研究[J].建筑材料学报,2014,17(1):19-23.
- [6] 黄政宇,王嘉.高吸水性树脂对超高性能混凝土性能的影响[J].硅酸盐通报,2012,31(3):539-544.
- [7] 谭衡光,刘迪祥.活性粉末混凝土干缩性能研究[J].中外公路,2008,28(4):237-239.
- [8] 韩松,涂亚秋,安明喆,等.活性粉末混凝土早期收缩规律及其控制方法[J].中国铁道科学,2015,36(1):40-47.
- [9] 黄政宇,胡功球.热养护过程中超高性能混凝土的收缩性能研究[J].材料导报,2016,30(4):115-120.



《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