

UHPC 湿接缝浇筑在排水工程中的施工应用控制

许龙海

(上海城投水务工程项目管理有限公司,上海市 201103)

摘要: 预制拼装技术是水务结构施工工艺的重要发展趋势,接缝处理是当前预制拼装技术的关键技术难点。超高性能混凝土(UHPC)具有强度高、韧性大、耐久性好等技术优势,成为解决预制拼装结构接缝连接的有效途径。考虑到该技术在水务工程领域应用相对较少,根据实际工程开展了相关的研究。首先,针对 UHPC 湿接缝在排水结构的适用性问题、临时支撑的快速周转、高温与低温施工等难点进行了分析研究,通过全尺寸 UHPC 浇筑工艺试验,对施工参数进行了探索,并提出了高温与低温条件下浇筑策略。研究保证了 UHPC 湿接缝浇筑施工的顺利进行,有效提高了预制拼装施工效率,提升了湿接缝浇筑质量。

关键词: 超高性能混凝土;湿接缝;施工要素;效率;质量

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0215-04

0 引言

随着我国城市化进程的不断推进,城市居住人口快速增长,对于城市污水处理的需求不断提高,污水处理厂的建设迎来了快速发展阶段,目前城市污水处理规模和出水水质均得到了显著提高。然而,在当前污水处理厂构筑物的建造过程中,仍以现场浇筑施工为主,施工效率较低且对周边环境的影响较大。预拼装工艺能提高施工效率,并降低对施工现场和周边环境的影响。预拼装工艺的接缝处理对工程至关重要,水务工程中大型构筑物的接缝一次性浇筑量大,对接缝的施工处理工艺提出了更高的要求。

超高性能混凝土(Ultra-High Performance Concrete, 以下简称 UHPC)是一种性能优异的水泥基复合材料。该材料能够降低胶凝材料的孔隙率,改善微观结构,提高匀质性和韧性,从而使混凝土构件具备强度高、耐久性好、韧性大、抗冲击等优点^[1],已逐步应用于桥梁、建筑工程以及结构维修加固等方面,具备良好的市场推广和应用前景^[2-3]。

国外相关研究和应用表明 UHPC 材料具有良好的力学性能,因此将其用作预制构件的湿接缝连接,已有了较为成功的应用案例^[4]。国内该技术在装配式桥梁行业中的应用较多^[5-8],考虑到水务结构对于

接缝质量要求更加严格,亟待开展相关的研究工作。

本文围绕上海竹园污水处理厂四期工程项目,从工艺试验和现场关键施工要素控制的角度开展 UHPC 湿接缝浇筑的研究,保证了 UHPC 湿接缝浇筑的施工质量,提高了预制拼装施工效率。

1 工程概况

1.1 预制拼装概况

本工程 50 万 t AAO 生物反应池采用预制拼装施工,结构主体包括 4 个预制装配式构件施工区域,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。单个区域的预制构件包含:预制隔墙 194 块、预制梁 84 块、预制板 300 块、观察窗 6 块。预制构件之间采用 UHPC 湿接缝连接,UHPC 材料总量约 1 100 m³,其中隔墙与底板的连接形式如图 1 所示。

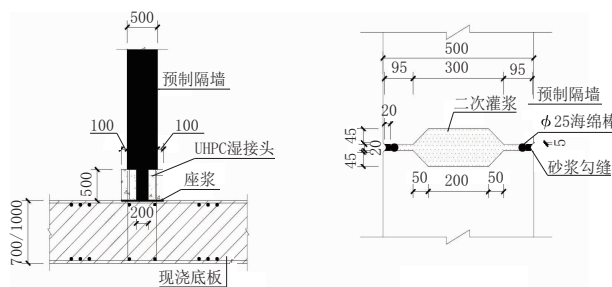


图1 预制隔墙与底板的 UHPC 湿接缝连接(单位:mm)

UHPC 的保护层厚度为 35 mm,搭接钢筋为 $\phi 25$ mm 直径 HRB400 型钢筋,搭接长度 440 mm,钢

收稿日期: 2024-03-06

作者简介: 许龙海(1978—),男,硕士,高级工程师,从事环境工程建设管理工作。

筋净距 50 mm。

预制拼装湿接缝连接所用的 UHPC 性能参数见表 1。

表 1 UHPC 性能参数		
序号	项目	指标
1	坍落扩展度/mm	SF2 级(660~755)
2	28 d 抗弯(折)强度/MPa	≥18
3	抗压性能	UC120

1.2 施工技术难点

该项目是首次在水务工程预制拼装中采用 UHPC 进行湿接缝连接,预制隔墙单个构件的高度超过 9 m,最大重量达到 31 t,较大的起吊重量和构件尺寸对构件的转运、安装和固定都带来了一定的挑战。为提高施工效率,在进行预制隔墙拼装施工时,尽可能采取单个拼装单元(如圆弧段和直线段)一次性吊装和固定到位,然后再进行 UHPC 湿接缝的浇筑。在进行 UHPC 浇筑施工时,存在如下难点。

(1)UHPC 湿接缝应用在排水结构的适用性问题。由于是水务工程领域首次采用 UHPC 湿接缝进行预制拼装施工,缺少相关的工程经验和参考。水务工程浇筑体量大,对浇筑各环节的施工参数和施工工艺(如模板支护、UHPC 搅拌设备选型、搅拌时间、输送方式、浇筑顺序、养护方式和养护时间等)都缺少相关的技术标准。同时,如何评估湿接缝施工效率和施工质量仍需进一步的探索和研究。为保证项目的顺利实施,需要通过相关的工艺试验,确定适合的施工参数与技术方案,确保实际施工质量。

(2)临时固定支撑的快速周转。如图 2 所示,预制隔墙吊装至拼装指定位置后,在进行湿接缝浇筑前,需采用钢支撑进行临时固定。单幅预制隔墙底部垫有两块 100 mm×100 mm×20 mm 的钢板,每侧采用 2 道钢支撑进行临时固定,待 UHPC 湿接缝完成浇筑且抗压强度达到 80 MPa 时,方可拆除。由于预制隔墙数量较多,而钢支撑为临时固定的一次性耗材,导致整体成本较高。早强型的 UHPC 将能有效缩短钢支撑的使用周期,提升钢支撑的周转使用效率,从而提高预制拼装的施工效率、降低施工成本。

(3)高温和低温施工策略。根据工程进度计划,预制拼装工作自 2021 年 7 月开始,至 2022 年 2 月结束。湿接缝施工经历夏季高温和冬季低温环境,由于 UHPC 水胶比在 0.18 左右,用水量比常规混凝土低很多,严极端的温度环境对 UHPC 的现场浇筑带来了困难:高温下 UHPC 易迅速失去流动性而导致

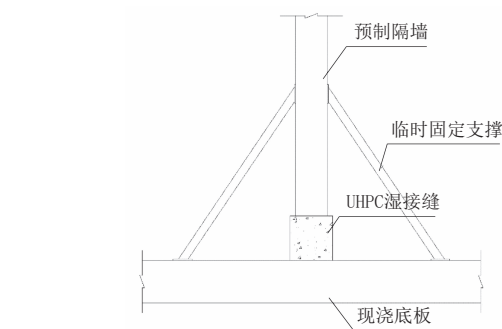


图 2 预制隔墙的临时固定

输送和浇筑困难同时 UHPC 也易因表面快速失水而导致局部开裂;低温时 UHPC 因水化反应速度减缓、强度发展缓慢而影响施工效率,或因 UHPC 浇筑体内外温差过大而产生开裂。高温和低温环境施工,对 UHPC 的养护也提出了更高的要求。

2 UHPC 湿接缝浇筑工艺试验

2.1 UHPC 材料的优选

提高临时固定支撑的周转效率有利于降低施工成本和提高预制拼装整体施工效率。在标准养护条件下,早强型的 UHPC 材料能减少临时固定支撑的使用时间,因此试验对用于湿接缝浇筑的 UHPC 材料进行了优选。结合拼装和浇筑施工效率评估,确定浇筑后第 3 d 拆除钢支撑,保证 2 套(共计 24 根)钢支撑可实现预制拼装和湿接缝浇筑的无缝衔接和顺畅周转。结合拆除钢支撑时的 UHPC 应满足的强度标准,试验要求标准养护 3 dUHPC 抗压强度超过 80 MPa。经试验,优选的 UHPC 材料的抗压强度如图 3 所示。

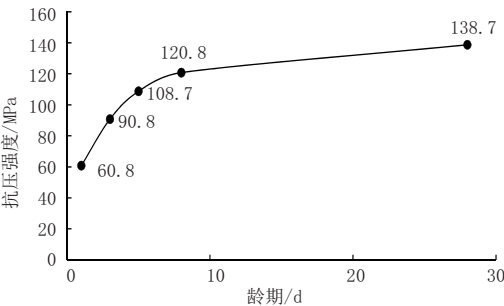


图 3 UHPC 材料强度发展

由图 4 可知,UHPC 湿接缝 3 d 抗压强度为 90.8 MPa,能够满足拆除钢支撑的强度要求。

2.2 湿接缝浇筑准备

为保证正式施工中的湿连接施工工艺参数的科学与合理,项目参照实际工程施工实施工况,进行了全尺寸浇筑试验。试验事先制作预制隔墙试验块的实体模型,试验块的长度和宽度与实际预制隔墙相同,长 2 490 mm,宽 800 mm,高 1 000 mm。预制隔墙竖直

放置在混凝土地面,底部垫两块 100 mm×100 mm×20 mm 的钢板。模板采用木模板,侧模长 2 490 mm,高 545 mm,端模长 740 mm,高 545 mm,模板上留预埋螺栓孔。如图 4 所示,三角支架与模板用螺栓紧固连接,利用膨胀螺栓将其与混凝土底板进行固定。模板与底板混凝土之间采用三角支架固定连接。UHPC 浇筑后,随着混凝土的进一步密实,UHPC 浇筑体表面高度最终会有所下降。为确保湿接缝对搭接钢筋的完全包裹,模板高度高出预制隔墙的侧墙倒角线 100 mm,UHPC 浇筑至模板上部边缘持平。

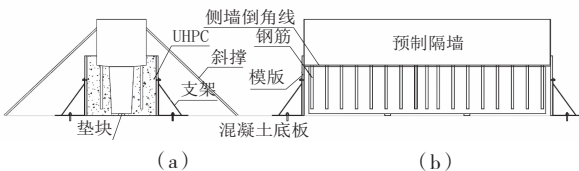


图 4 UHPC 湿接缝浇筑工艺试验

与普通模板浇筑施工步骤相同,浇筑前,应对浇筑区域内预制墙表面、模板、钢筋和预埋件进行检查,并将预制隔墙表面清洗干净和润湿。

2.3 浇注工艺流程

采用强制式搅拌机进行拌料,并用混凝土输送泵进行连续泵送浇筑。浇筑流程如图 5 所示。

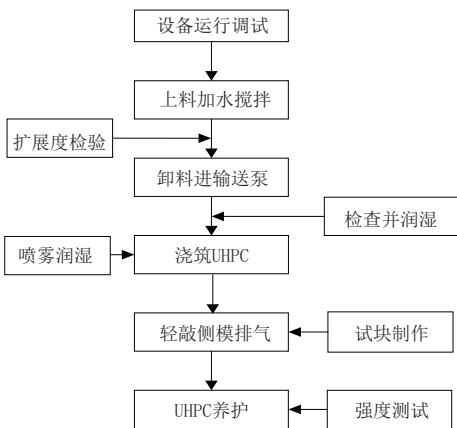


图 5 UHPC 湿接缝浇筑流程图浇筑过程

UHPC 湿接缝浇筑流程按如下步骤进行。

(1)UHPC 搅拌。投料顺序和搅拌时间控制:启动搅拌机、投入粉料、加水、搅拌 120 s、钢纤维、搅拌 120 s、出料。如图 6 所示,搅拌好后浇筑前应测试塌落扩展度,扩展度满足要求方可卸料。

(2)UHPC 泵送浇筑。UHPC 拌合物卸入混凝土输送泵进料斗,开启输送泵进行泵送浇筑。浇筑时采用分侧浇筑,从浇筑区域最远处开始由远及近,循序施作,保证 UHPC 出料连续,不间断一次性浇筑至模板顶部。如图 7 和图 8 所示。同时采用橡皮锤敲击模板侧面,使气泡更易排出。浇筑过程中,同时成型试



图 6 UHPC 搅拌

块,并进行同条件养护。



图 7 UHPC 卸入泵车



图 8 UHPC 泵送浇筑

(3)UHPC 养护。UHPC 浇筑完成后,立即对表面进行喷雾增湿并覆膜养护。养护膜完全覆盖 UHPC,并且搭接长度超过 100 mm。在 UHPC 初凝 1 h 内,揭开养护膜,对表面进行喷雾和二次抹压。二次抹压能将早期水化反应产生的塑性收缩清零,降低 UH-PC 开裂风险。在 UHPC 终凝后 2 h 内,进行膜下灌水保湿养护。48 h 脱模后,立即覆盖土工布并洒水养护,并在土工布上覆盖养护膜。随后的 7 d 时间里,不定期进行洒水,确保 UHPC 保湿养护。

2.4 工艺试验效果

在浇筑养护 7 d 后,UHPC 湿接缝浇筑体表面平整光洁,且无任何裂缝,如图 9 所示。

同条件养护下,UHPC 试件的 3 d 抗压强度达到了 92.7 MPa,达到了拆除临时支撑的强度。

工艺试验表明,确定了 UHPC 湿接缝浇筑搅拌



图9 UHPC湿接缝浇筑效果

与泵送设备选型、搅拌过程、泵送浇筑与养护制度等工艺参数能满足现场实际工程的需要。

3 高温与低温环境条件下浇筑策略

3.1 高温环境条件下 UHPC 浇筑控制措施

高温环境加速了 UHPC 材料的水分流失,极易导致 UHPC 流动性快速丧失而难以浇筑。UHPC 拌合物因温度高而水化速度加快,极易产生施工冷缝。为解决上述难题,在浇筑过程中采取相关措施如下。

(1)当现场气温高于 35℃时,避开中午施工,选择在早晨、傍晚或夜间施工;

(2)拌合水采用冰水,搅拌开始前 1 h,在拌合水中加入冰块,冰和水的重量比为 1:4,待冰块完全溶解后开始拌料,有效控制 UHPC 拌合物的料温;

(3)在搅拌机和输送泵料斗上部加盖遮阳棚,并对料斗中的 UHPC 进行喷雾增湿,达到降温 and 保湿的目的;

(4)UHPC 浇筑的同时,及时对 UHPC 表面喷雾增湿,防止表面因高温水分蒸发过快引起开裂;

(5)UHPC 浇筑完成后,立即进行喷雾并进行覆膜养护。

3.2 低温环境下 UHPC 浇筑控制措施

低温会降低水泥的水化反应速度,从而使其强度发展缓慢,不利于施工质量与施工效率。同时,构件内部的 UHPC 水化反应加速时会产生大量热量,与外部的低温环境形成温度差。研究表明,当混凝土

内外温差超过 25℃时,混凝土极易产生温差裂缝。针对上述难题,在浇筑过程中采取相应措施如下。

(1)尽量在冬季中午气温较高时段进行施工,避免早、晚低温时间;

(2)UHPC 粉料和钢纤维存放于室内,室温保存。使用前运至现场,且覆盖土工布保温;

(3)拌合水使用热水,水温在 50~60℃。确保 UHPC 拌合物的出机温度在 20℃左右;

(4)浇筑完成后,在养护膜上方加盖保温层;

(5)在终凝后 2 h 进行膜下灌水养护时,使用与 UHPC 浇筑体稳定相同的温水进行养护。

4 结 语

在排水工程中将 UHPC 作为预制拼装构件的湿接缝连接材料,通过 UHPC 湿接缝浇筑工艺试验,确定了搅拌和泵送设备选型、优选了 UHPC 材料、制定了 UHPC 拌制、浇筑与养护制度。同时针对高温和低温气候条件,明确各项施工关键控制措施,确保了 UHPC 湿接缝浇筑质量,提高了施工效率,并在一定程度上降低了施工成本。

参考文献:

- [1] LI J Q, WU Z M, SHI C J, et al. Durability of ultra-high performance concrete: a review[J]. Construction and Building Materials, 2020(255): 119296.
- [2] 2021 年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(上)[J]. 混凝土世界, 2022(2): 24-33.
- [3] 2021 年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(下)[J]. 混凝土世界, 2022(3): 32-38.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 张兴志,方明山,刘佳玲,等.叠合梁斜拉桥桥面板超高性能混凝土湿接缝应用研究[J].施工技术, 2021, 50(6): 27-30.
- [8] 郭绍霖.用于湿接缝连接的 UHPC 收缩控制研究[J].城市道桥与防洪, 2022(7): 219-222.

(上接第 214 页)

- 中的应用[J].科学与信息化, 2022(14): 112-114.
- [7] CJJ 181—2012, 城镇排水管道检测与评估技术规程[S].
 - [8] 周杨军,蒋仕兰,解铭,等.非开挖修复技术在城市排水管道维护中的应用[J].中国给水排水, 2020, 36(20): 58-62.
 - [9] 王雪.垫衬法修复管道承载性状研究[D].北京:中国地质大学, 2019.
 - [10] 张盈秋,王丰,杨万航.螺旋缠绕法用于超大口径排水管道非开挖

- 修复[J].中国给水排水, 2022, 38(6): 5-9.
- [11] 居朝荣.排水管道非开挖修复技术研究进展与工程应用[J].城市道桥与防洪, 2021(9): 119-121.
 - [12] 王新妍.不锈钢双胀圈局部修复技术在排水管道中的应用[J].市政技术, 2020(3): 189-192.
 - [13] CJJ/T 210—2014, 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S].