

# Application of crack control of UHPC in water engineering

Jiacheng Shan

Shanghai Urban Construction and Municipal Engineering (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

## Abstract

In the large-scale water engineering using prefabricated assembly technology, taking the Zhuyuan Sewage Treatment Plant Phase IV project (standard 1.3) as an example, the construction site is limited, the implementation degree of new technology is difficult, the post-cast UHPC volume is large, and the connection between prefabricated parts and between prefabricated and cast-in-place parts adopts UHPC. UHPC cracks are difficult to control, and measures such as controlling material ratio, applying new mixing pouring machine, controlling the continuity of UHPC pouring and improving the wet curing conditions of UHPC have been taken to reduce UHPC construction cracks, improve the overall quality of UHPC, and provide reference for similar projects in the future.

## Keywords

UHPC; crack control; prefabrication; large water project

# 水务工程中 UHPC 的裂缝控制应用

单佳成

上海城建市政工程(集团)有限公司, 中国·上海 200120

## 摘要

在采用预制拼装技术的大型水务工程中,以竹园污水处理厂四期工程(1.3标)为例,针对施工场地有限,新技术实施程度困难,后浇UHPC体量大,预制部分之间、预制与现浇之间的连接均采用UHPC。UHPC裂缝难以控制,采取了控制材料配比、应用新型搅拌浇筑一体机、控制UHPC浇筑连续性和改善UHPC湿养护条件等措施,减少了UHPC施工裂缝,提高了UHPC整体质量,为今后类似工程提供参考。

## 关键词

UHPC; 裂缝控制; 预制拼装; 大型水务工程

## 1 引言

竹园污水处理厂四期工程(1.3标)作为首次在水务领域大体量采用预制拼装施工技术的项目,各类预制构件的连接方式均采用后浇UHPC连接。UHPC裂缝控制,UHPC的施工质量对整体预制拼装部分拼装的质量控制有重大影响<sup>[1]</sup>。因此论文通过对预制拼装施工过程中超高性能混凝土UHPC的裂缝控制进行论述,为今后相似工程的施工提高参考。

## 2 工程概况

竹园污水处理厂四期1.3标,建设内容包括:主体结构是50万吨AAO生物反应池、平流式二沉池,附属结构包括1.3标工程范围内管道和箱涵、厂区雨污水泵房、碳源投加间等。

本项目预制结构在AAO生物反应池,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)。本工程预制拼装区域长约195米、宽约80米,共计2488块构件,单个构件最重为

31t,其中预制构件后浇湿接头连接皆采用超高性能混凝土(UHPC),总量约1100m<sup>3</sup>。以预制隔墙与现浇底板连接为例,其底部后浇UHPC厚500mm,高500mm,结构形式为如下图1所示。

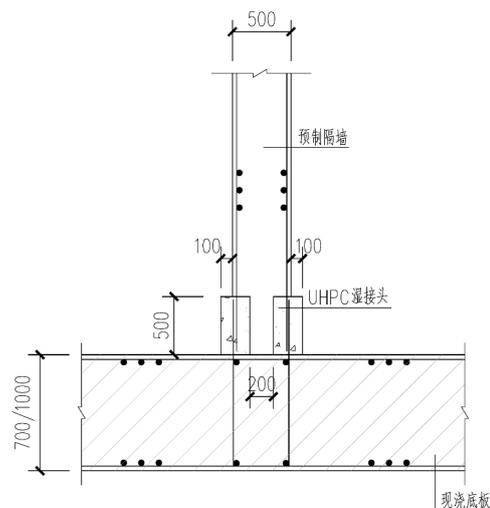


图1 预制隔墙与现浇底板 UHPC 连接图

本工程中超高性能混凝土(UHPC)性能详见下表。

【作者简介】单佳成(1995-),男,中国江苏苏州人,本科,工程师,从事市政工程研究。

表 1 超高性能混凝土 (UHPC) 性能表

序号	项目	指标	执行标准
1	坍落扩展度	不低于 SF2	JGJ/T 283
2	28d 抗弯 (折) 强度 (Mpa)	≥18	GB/T 50081、GB/T 31387
3	28d 弹性模量 (Gpa)	45~55	GB/T 50081、GB/T 31387
4	线膨胀系数 $\alpha$ (1/°C)	1.0 ~ 1.3 × 10 <sup>-5</sup> (常温养护)	DL/T 5150
5	总收缩应变 (%)	蒸养: ≤0.025	GB/T 50082
6	总徐变系数终极值	蒸养: ≤0.2	GB/T 50082
7	抗渗性能	UD02 级	T/CBMF37
8	抗拉性能	UT07 级	T/CBMF37
9	抗压性能	UC120 级	T/CBMF37

### 3 UHPC 裂缝产生机理和原因

超高性能混凝土 (UHPC) 产生裂缝的机理和原因主要有以下几个:

#### 3.1 UHPC 裂缝产生的机理

**拉伸应力:** 当 UHPC 材料因外力拉伸时, 会在拉伸方向上产生应力。当应力超过了材料的极限承受能力时, 就会在拉伸方向上出现裂缝。

**压缩应力:** 当 UHPC 材料因外力压缩时, 也会在压缩方向上产生应力。当该材料压缩应力超过一定极限时, 就会在压缩方向上出现裂缝。

**弯曲应力:** 当 UHPC 材料受到弯曲或曲率变化较大时, 也会在内部产生剪切应力和张拉应力。当应力达到了材料的极限承受能力时, 就会在弯曲方向上出现裂缝<sup>[2]</sup>。

**疲劳作用:** UHPC 材料长期处于重复荷载或振动作用下, 会引起材料疲劳破坏, 从而产生裂缝。

以上几种力学原理都会对 UHPC 材料产生影响, 从而引起裂缝产生。因此, UHPC 结构时, 需要综合考虑各种外力因素, 并进行合理的结构设计和材料选择, 以减少裂缝的产生和影响。

#### 3.2 UHPC 裂缝产生的原因

##### 3.2.1 UHPC 施工时搅拌或浇筑措施不当

(1) UHPC 混合料搅拌时间不足, 钢纤维与 UHPC 粉料未充分拌合, 无钢纤维处的 UHPC 表现出更大的脆性, 极易导致裂缝的产生。

(2) 普通人工搅拌机出料速度相对较慢, 两次出料时间间隔过大, 且由于 UHPC 具有黏稠性, UHPC 易粘结在搅拌机上, 每次浇筑时的配比和坍落扩展度难以控制, 此原因也会导致裂缝的产生。

##### 3.2.2 UHPC 养护条件

与普通混凝土相比, UHPC 养护对外部环境有着更高的要求。当出现气温高于 35°C 或低于 5°C、大风、雨雪天气等特殊天气时, 超高性能混凝土 (UHPC) 的胶凝物质会发生塑性收缩开裂。

##### 3.2.3 UHPC 不均匀收缩

本工程 UHPC 混合料由胶结材料 (特质硅酸盐 PI 62.5

水泥)、端钩型钢纤维、磨细石英砂、外加剂 (减水剂和膨胀剂) 和水组成。因不同的材料元素成分的不同, 所以各材料产生的收缩也存在很大差异, 从而导致 UHPC 凝固过程中出现裂缝。

### 4 UHPC 裂缝控制的难点

#### 4.1 在水务领域中 UHPC 技术新颖, 相关施工规程较少

本项目在水务工程领域首次采用大规模预制拼装技术和后浇 UHPC, 超高性能混凝土 (UHPC) 目前在我国公路和水利工程已经得到广泛使用, 但是在水务工程领域并没有得到推广。因此相关规范和标准较少, UHPC 相关施工工艺新颖, 技术人员操作水平有限, 与此同时 UHPC 裂缝控制措施也未得到完善。

#### 4.2 UHPC 与普通混凝土裂缝存在差异

UHPC 裂缝和普通混凝土裂缝在裂缝深度和宽度上存在较大差异。

UHPC 裂缝深度较小, 宽度较窄, 仅为 0.2-0.3mm, 而普通混凝土裂缝深度一般在 0.5-1mm, 宽度一般为 1-3mm。

UHPC 裂缝表面比较光滑, 且有较少的空隙, 而普通混凝土裂缝表面比较粗糙, 空隙比较多。

UHPC 裂缝的发育速度比普通混凝土裂缝快得多, 可以在短时间内发育出较多的裂缝。

UHPC 抗渗透性相对较弱, 容易吸收水分, 体积容易变化, 促使裂缝产生。

因此, UHPC 的裂缝, 在实际施工过程中更加难以控制, 对技术和环境要求均高于普通混凝土。

### 5 UHPC 裂缝控制措施

#### 5.1 控制材料配比

UHPC 施工配合比, 应根据设计的混凝土强度等级和质量检验以及 UHPC 施工的要求确定, 并应该符合合理使用材料和经济的原则。

1、控制搅拌顺序, 控制配合比, 严格控制每个步骤的操作, 确保按照要求进行作业。

本工程 UHPC 搅拌材料顺序是: 启动搅拌机→投入粉

料→加水→搅拌 120s →投入钢纤维→搅拌 120s →出料。根据粉料和钢纤维的包装大小可分为两种配比（重量比）；

（1）采用 200Kg 包装时，搅拌配合比，粉料：水：钢纤维 =200（1包）：18±0.5：17.1；

（2）采用 25Kg 包装时，配合比为粉料：水：钢纤维 =125（5包）：11.3±0.3：10.7

2、每次搅拌机拌合后，各材料重量应在搅拌机旁挂牌公布，便于施工和检查。

3、严格按照配合比添加水，除特殊天气条件和试验人员同意外，不得随意改变水量，减小因水量导致 UHPC 裂缝的可能性。

4、搅拌过程中，每小时对搅拌机出料 UHPC 的扩展度检测不少于一次，一旦发现扩展度检测不符合要求，该批材料严禁进行浇筑。

### 5.2 应用新型搅拌浇筑一体机

本工程采用了 UHPC 搅拌泵送一体化智能车对 UHPC 进行搅拌和浇筑。该新型搅拌机与普通搅拌机存在很大的不同。该 UHPC 搅拌泵送一体化智能车主要由车架、动力系统、搅拌机构、泵送机构、水计量系统、高压清洗系统、行走转向机构、液压系统、吊机及覆盖等。该设备为多功能集成设备，体积小，功能多——行走、多功能转向、搅拌、输送、起吊、冲洗、遥控操作。对比普通搅拌机，在裂缝产生方面存在以下优势：

（1）所有施工程序，包括搅拌、泵送、清洗等流程均可通过无线遥控器进行操作，能够智能化施工，减少劳动力消耗。

（2）通过无线遥控器控制 UHPC 粉料、水、钢纤维重量，比人工称重更为精准。同时搅拌料更为均匀，很大程度上避免了因 UHPC 混合料分布不均产生的裂缝。

（3）该一体化智能车，更能满足施工速度要求，减少了施工工序之间的等待时间，弥补了因供料不及时导致产生裂缝的情形。

根据多次搅拌统计得出：普通搅拌机一次最多搅拌 200Kg 的粉料，出料时间为 8-10 分钟。该一体化智能车一次能搅拌 400-500Kg，出料时间为 4-5 分钟，一次出料量约是普通搅拌机的 2-2.5 倍，同时出料时间仅为普通搅拌机的 1/2。

### 5.3 控制 UHPC 一次浇筑连续性

本项目预制区域后浇 UHPC 湿接缝一共两种形式，一种是直线段，长度为 29.000m/31.300m；另一种为异形段，是内径为 3.000m 的半圆弧和 2.500m 的直线段组成。

为避免不同时段外界环境对 UHPC 质量的影响，某一段的 UHPC 应在同一时间完成。

对于直线段的 UHPC 湿接缝应尽量一次浇筑完成，减少施工缝，至多分两次浇筑完成；如有施工缝，应按照普通混凝土施工缝的处理方式进行处理，目的是降低施工缝处产生裂缝的可能性<sup>[3]</sup>。

对于异形段 UHPC，应做到一次浇筑完成，严禁分次

完成。

### 5.4 改善 UHPC 湿养护条件

养护是避免混凝土裂缝产生的关键一步。由于 UHPC 对环境要求比普通混凝土更高，结合项目环境特点，于是采取以下养护方式减少裂缝的产生：

#### 1、双层覆膜养护

在 UHPC 浇筑完成后，立即对表面进行喷雾覆膜养护，养护膜采用一般混凝土养护膜，覆盖层数为 2 层。薄膜需要压盖严实，防止水分流失。

#### 2、土工布覆盖保湿

待浇筑后的 UHPC 48 小时且具足够强度后，方可拆除模板。在双层薄膜表面覆盖一层土工布进行保湿，并将土工布进行喷水湿润，喷水频率为 3h/次，当高温、干燥时，可增加喷水频率，确保 UHPC 表面潮湿。

## 6 UHPC 产生裂缝的事后修补措施

介于以上 UHPC 裂缝产生原因和措施分析，浇筑养护后仍存在裂缝时，方可采用以下方式进行修补：

修补材料选用与 UHPC 搅拌料高一强度等级的水泥粉料，并按照 UHPC 配比加入水，充分搅拌均匀。修补材料颜色与原 UHPC 保持一致。

2、清理裂缝处的灰尘、UHPC 碎渣等杂物，并用水冲洗湿润。

3、初次涂抹：在裂缝及其周围 200mm 均匀涂抹，达到肉眼看不出裂缝为止。

4、二次涂抹：初次涂抹完成后，在裂缝及其周围 300-400mm 处进行二次涂抹，对裂缝的二层保护。

5、整个修补工作确保在 15min 内完成，以免修补材料硬化，影响修补裂缝的效果。修补完成后，标记裂缝位置，专人观测裂缝处修补情况变化，持续 2-3h；待 24h 后，再次检测原裂缝处及周围 UHPC 强度。

## 7 结论

本工程所有预制构件之间及预制构件和现浇结构之间均采用 UHPC 湿接缝形式，因此 UHPC 裂缝控制对整体施工具有重要影响和作用<sup>[4]</sup>。通过控制 UHPC 裂缝的产生，能够提高施工效率和结构外观美观性，能提高了 UHPC 的施工质量和结构强度，并增强预制板块整体连接稳定性和结构安全性。同时还有减少后期维护保养成本。

### 参考文献

- [1] 超高性能混凝土（UHPC）动态损伤机理综述[J]. 吴永魁;姚一鸣.混凝土与水泥制品,2021(04)
- [2] 超高性能混凝土（UHPC）研究综述[J]. 陆立宇;文学;包佳宝;张驰;张晗.中国住宅设施,2022(09)
- [3] 基于最紧密堆积密度下白云石砂在UHPC中的应用研究[J]. 胡泊;揭晓东;郭远.江西建材,2020(12)
- [4] 钢纤维对UHPC拉伸性能及其拔出行为的影响[J]. 赵一鹤;孙振平;穆帆远;庞敏;李飞.建筑材料学报,2021(02)