

ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE

超高性能混凝土 (UHPC) 材料

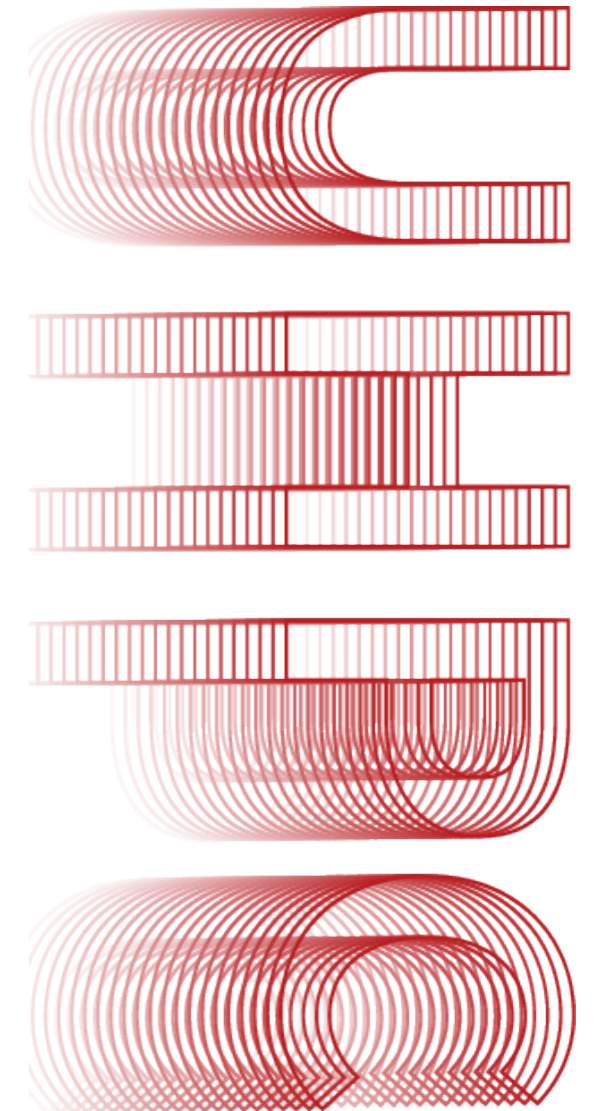
——在建筑幕墙中的应用

弗思特白皮书 4.0

FORCITIS

伦敦·上海·南京·杭州·北京·成都·深圳·武汉·西安·广州

电话: +86 17715265218 邮箱: sm@forcitis.com 网址: www.forcitis.com



共塑美好城市

A Better Future For Cities

APPLICATION OF UTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE
MATERIALS IN BUILDING CURTAIN WALLS

超高性能混凝土 (UHPC) 材料
在建筑幕墙中的应用

弗思特白皮书 4.0

本文版权归弗思特建筑科技有限公司所有，重印时有所增补修订。非经弗思特建筑科技有限公司书面同意，该文章的全部或部分均不得以任何方式再造、复制、抄袭、修改等。

如需转载，请致电 +86 17715265218

CONTENTS

目录

Background and introduction of UHPC

超高性能混凝土背景与简介 01

1.1 UHPC 材料的定义 006

1.2 UHPC 材料的发展历程 008

1.3 UHPC 的应用领域 012

1.3.1 UHPC 的应用场景 012

1.3.2 UHPC 做结构的案例实景 013

1.3.3 幕墙 UHPC 制品的应用 018

1.4 UHPC 的材料组成 022

1.5 UHPC 的性能优势 024

1.5.1 UHPC 基本性能的定量化要求 024

1.5.2 UHPC 应用在幕墙中的优势 025

1.6 UHPC 的相关规范 028

A BETTER FUTURE
FOR CITIES

共塑美好城市

UHPC 幕墙表皮案例研究

02

2.1 境外 UHPC 幕墙项目	033
2.1.1 马赛塔大厦	033
2.1.2 路易威登基金会纪念馆	040
2.1.3 欧洲和地中海文明博物馆	047
2.1.4 其他建成案例	051
2.2 中国 UHPC 幕墙项目	067
2.2.1 上音歌剧院	067
2.2.2 深汕科技生态园展示中心	069
2.2.3 深圳悦彩城	071
2.2.4 西安国际足球中心	073
2.2.5 其他建成案例	076

UHPC 幕墙设计与生产工艺管控

03

3.1 UHPC 挂接系统设计	086
3.1.1 UHPC 技术参数	086
3.1.2 背栓式安装	087

3.1.3 预埋套筒安装	087
3.1.4 自承重点爪式安装	088
3.1.5 UHPC 的标准板块转角形式	089
3.1.6 背负钢架的合理设置	089
3.2 UHPC 幕墙装饰板的生产流程	090
3.3 UHPC 生产工艺管控要点	091
3.4 UHPC 色差控制措施	098

UHPC 常见问题

04

4.1 UHPC 常见问题	102
后记	106
关于邦思特	107

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

共塑美好城市

A Better Future For Cities

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

Background and introduction of UHPC

超高性能混凝土背景与简介



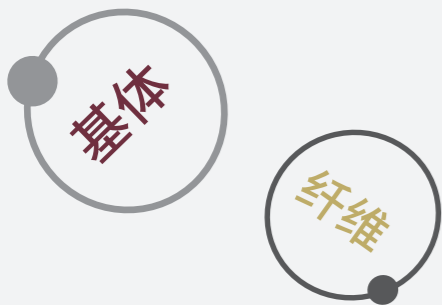
UHPC 材料的定义 Definition of UHPC Materials

1.1 // chapter 1

UHPC, 英文全称“Ultra-High Performance Concrete, 中文名为超高性能混凝土。

在第一个 UHPC 标准建材联合会和 CCPA 团体标准《超高性能混凝土基本性能与试验方法 T/CBMEF 37-2018 T/CCPA 7-2018》中, 定义超高性能混凝土 (以下简称 UHPC) 是指兼具超高性能与力学性能的纤维增强水泥基复合材料。

超高性能混凝土实际是纤维增强材料, 完整的英文名称缩写为 UHPFRC, 其中 FR 表示纤维增强, 但大家更偏爱使用 UHPC 的简称。

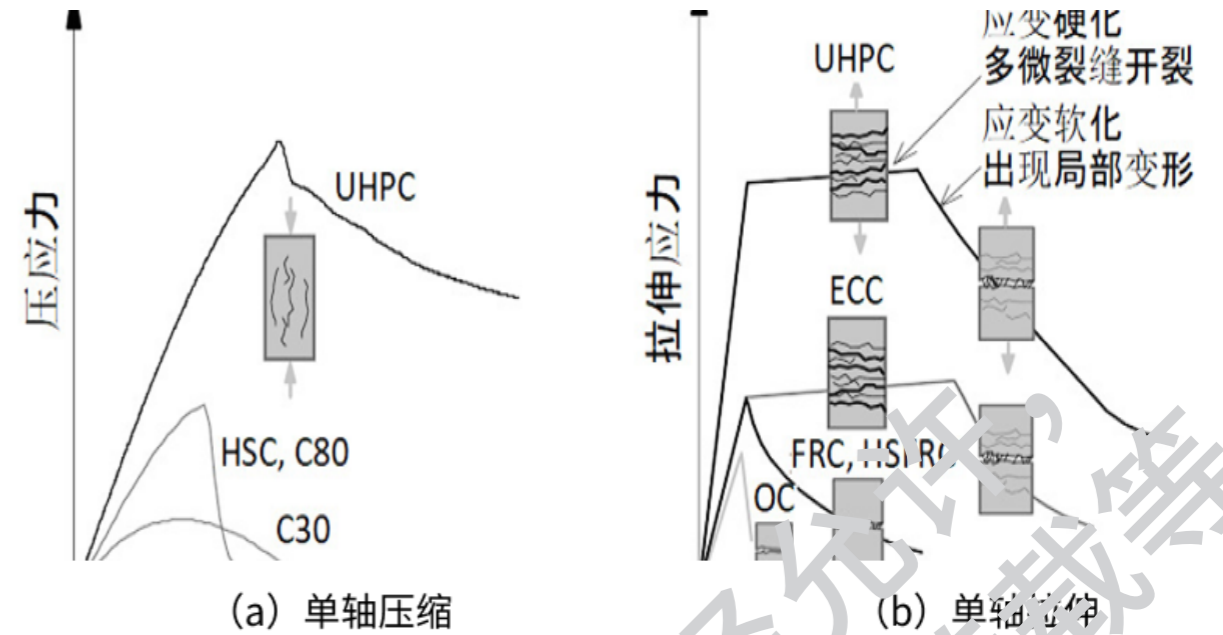


由规范定义可知, UHPC 有两个重要的基本特征: “超高耐久性” + “超高力学性能”。其中力学性能不仅是超高抗压强度, 更重要的是高抗拉性能。UHPC 是高韧性材料, 依靠纤维获得高抗拉性能和韧性, 也就是 UHPFRC 由纤维和基体两个部分组成。

基体是高强度、超高强砂浆或混凝土, 大部分 UHPC 的基体是超高强砂浆, 不含纤维的超高强砂浆和混凝土是高脆性材料, 并且强度越高脆性越大, 但加入合适的、足够量的纤维, 就能成为高抗拉、高韧性的材料。

规范《超高性能混凝土基本性能与试验方法 T/CBMEF 37-2018 T/CCPA 7-2018》中对 UHPC 基本性能提出量化要求, 即超高力学性能需满足: 抗压强度 ≥ 120 Mpa, 初裂抗拉强度 ≥ 5 Mpa。

它通过提高组织成分的细度与活性, 使材料内部的孔隙与微裂缝减到最少, 从而获得超高强度与耐久性。

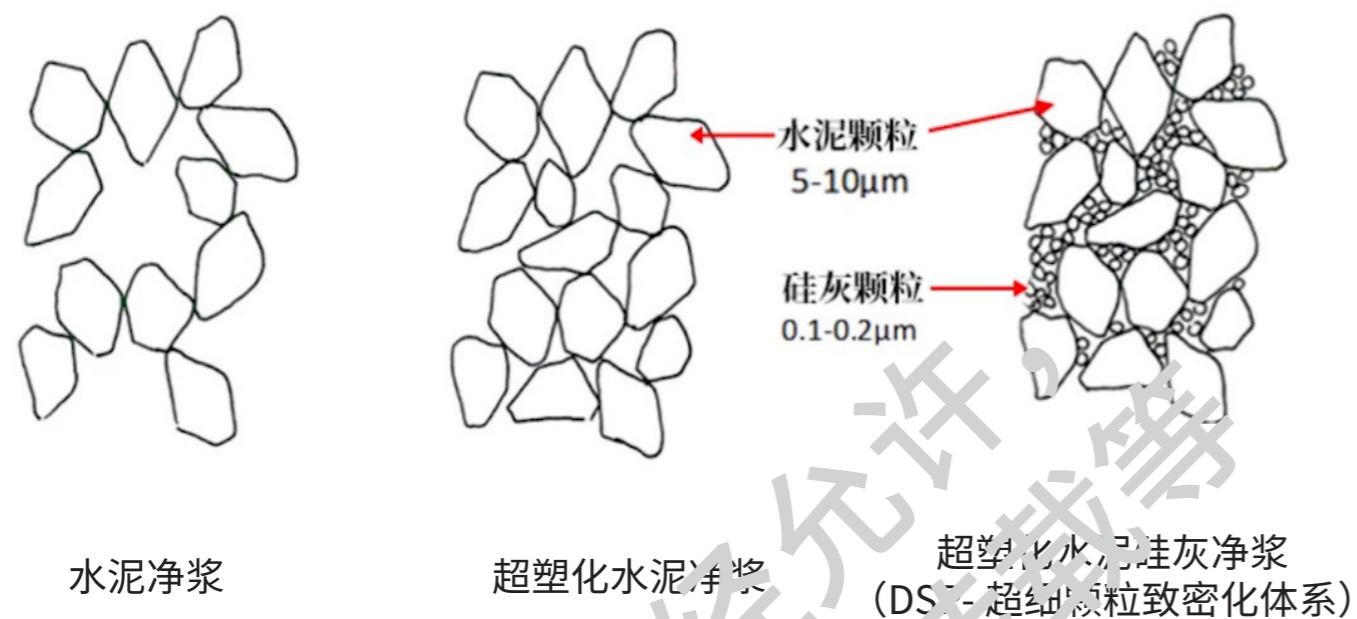


* 单轴拉伸和压缩 UHPC 的典型应力-应变特征与其它材料对比 (引自《超高性能混凝土 (UHPC) 的性能和应用简述》)



前面提到, UHPC 的高韧性是依靠加入短纤维来实现。早期使用直径 0.15~0.4 mm、长度 6~12 mm 的平直光圆钢筋纤维, 可将 UHPC 的抗拉强度提高到 30 Mpa, 断裂能可达 1,500~40,000 N/m。现在, 使用异形, 特别是 Z 形高强钢纤维, 可以进一步提高 UHPC 的抗拉强度、变形能力、韧性或断裂能。

UHPC 的设计理论为最大堆积密度理论 (densified particle packing), 其组成材料不同粒径颗粒以最佳分布形成最紧密堆积, 也就是说, 毫米级颗粒 (骨料) 堆积的间隙由微米级颗粒 (永泥、粉煤灰、矿粉) 填充, 微米级颗粒堆积的间隙由亚微米级颗粒 (硅灰) 填充, 用充分分散的超细颗粒 (硅灰) 填充在永泥颗粒堆积体系的空隙中, 实现颗粒堆积致密化。



*DSP 方法提高浆体密实度

- 上世纪九十年代，法国是 UHPC 研究发展最活跃的国家。在 DSP 胶凝系统的基础上，法国多个企业参加的“活性粉末混凝土”（Reactive Powder Concrete，简称 RPC）研究项目，发表了系列研究论文使 RPC 或 UHPC 在世界范围获得重视和研究发展。
- UHPC（超高性能混凝土）名称是 1994 年法国学者建议的，因能更好表达这种超高性能水泥基纤维增强材料的优越性能，逐渐被广泛接受和采用，在国际上通用。
- 我国早在上世纪九十年代初期，就开始跟踪丹麦的技术；在法国发展成功活性粉末混凝土 RPC，并在全世界推广后，也开展了大量的研究，并在我国的高速铁路中大量用于人行道挡墙、盖板，开始了 UHPC 在工程中的规模化应用。

UHPC 材料的发展历程 Development History of UHPC Materials

1.2 // chapter 1

丹麦 Aalborg Portland 水泥与混凝土试验室，是国际一流的水泥、混凝土研发机构。1979 年，丹麦 Aalborg Portland 试验室的 Hans Henrik Bache 先生申请第一个专利以及建立 DSP 理论：

DSP 模型（Densified Systems with Homogeneously Arranged Ultra-fine Particles，致密系统中均匀分布的超细颗粒）是一种理论模型，DSP 模型的关键在于利用超细颗粒材料填充水泥基体中的空隙，从而提高混凝土的密实度、力学性能和耐久性。

Aalborg Portland 试验室采用超细掺合料 - 硅灰填充水泥颗粒之间的间隙，利用高效减水剂减少拌合用水，制得抗压强度为 120~250 MPa 的水泥石。这是首次通过采用常规工艺制得 120 MPa 以上的水泥石。由于 DSP 胶凝系统采用高强水泥与超细掺合料 - 硅灰，按最紧密堆积原理确定相对比例而成。因此，称为均布超细致密体系 (DSP)。

最早的规模化应用是客运专线的电缆沟盖板（详见图 UHPC 发展国际国内大事年表），开端性的桥梁应用包括：2006 年建造迁曹铁路深石干渠大桥，2011 年重庆马房大桥，2015 年建造福州大学校园内 UHPC 拱桥（10 m 跨径）和京港澳高速吉安段 UHPC 箱梁公路桥，2016 年建造的长沙北辰虹桥和上海装配式高架桥 UHPC 湿接缝；之后桥梁和建筑创新应用呈明显增长势头。

UHPC 目前已经有 40 年的历史，但受限于混凝土技术、辅助材料技术的限制，真正进入发展的快车道，是在 2010 年之后。根据《2022 年中国超高性能混凝土 (UHPC) 技术与应用发展报告》，目前市场规模与产业发展相关数据为：2021 年 12 月 - 2022 年 12 月中国 UHPC 用量超过 8.2 万 m³，其中大部分使用 UHPC 预混料，约为 12.2 万吨。与 2021 年相比（月平均用量约 5800 m³），2022 年中国 UHPC 用量有增长，但增幅不大（不足 9%）。2022 年 UHPC 用量分布为：桥梁 48%，建筑 23%，其他（电力、市政、维修加固等）29%。在桥梁应用中，59% UHPC 用于钢-UHPC 组合梁或复合桥面，完成桥面面积超过 29.2 万 m²；22% 用于结构连接（湿接缝）；19% 用于预制构件。在建筑应用中，预制构件用量约 45%；幕墙用量约 55%，完成幕墙面积超过 31.7 万 m²。

UHPC 的应用领域 Application areas of UHPC

1.3// chapter 1

1.3.1 UHPC的应用场景 Application scenarios of UHPC

桥梁应用

- UHPC 预制装配式梁
- 钢-UHPC 组合桥面
- 桥梁组墩柱、薄梁板
- 桥面板
- 预制箱梁湿接缝
- 景观人行桥

建筑应用

- 建筑幕墙与外立面
- 建筑构件：建筑阳台、楼梯
- 预制墙体构件连接（湿接缝）

景观应用

- 雕塑
- 预制园林桌椅

市政应用

- 市政管道
- 市政道路

其他应用

- 结构维修加固，性能提升
- 铁路应用
- 军事应用
- 海上特殊环境应用

1.3.2 UHPC做结构的案例实景 Realistic Case Study of UHPC Structural Design

景观人行桥——苏州荷花池公园：景观桥、人行桥



该项目是国内首个超大板块 UHPC 园林改造项目，其荷花池景观桥设计出自全国勘察设计大师朱祥明。该项目为目前国内最大异形装饰结构一体化 UHPC 构件，单板尺寸超过 30 m²重量超过 8 吨。

项目设计是在种满荷花的水池上建造可供市民休闲、观赏、拍照的水上栈道与平台，边缘为荷花边造型的坐凳，既应景又兼具实用性。



一战纪念环——“追忆之环”

这个为了纪念第一次世界大战 100 周年而建造的环境位于国家墓地旁。在悲伤已经归于平伏的如今，建筑师希望给同胞建立一座艺术与自然的环体，表达对和平的向往与祝福。

“追忆之环”对于超高性能纤维增强混凝土材料的运用也可谓极致，让工程材料回归结构，紧密将材料与工程问题相结合，才能真正发挥材料的优势和价值。

这个巨大的环体以水平之姿恒立在大地上，就像是一个完美的无重力浮体，其与起伏的地形形成巨大的反差，为此，壮观的悬挑因而出现。

环体的 2/3 都扎根于土地中，其余部分在坡地开始变陡峭时离开了地面。环体在坡地上长距离的悬挑也仿佛在提醒人们，和平是脆弱的。

环体最大的悬挑距离达到了 60 m，如此艺术的效果是通过新型材料实现。建筑采用了超高性能的纤维增强混凝土，采用预应力结构，打造出这个无视时间，具有永恒效果般的悬挑环体。



桥梁——沾临黄河特大桥

沾临黄河特大桥总长 1530m，主桥采用 80 + 180 + 442 + 180 + 80 = 962m 双塔钢 - 超高性能混凝土 (UHPC) 组合梁斜拉桥，主桥预制桥面板采用了自主研制的 UHPC 材料，形成了一整套材料验收及 UHPC 桥面板工厂化施工标准。其主桥钢混组合梁精准就位，标志着国内桥梁领域首次带 UHPC 桥面板大吨位、长距离全断面顶推施工全部完成，实现了中国桥梁建设又一次全新跨越。

在当前的大环境下，我国对桥梁的需求已不仅是跨越障碍的刚需，而是对高性能化桥梁的需求。而超高性能混凝土 (UHPC) 具有超高的力学性能和超高的耐久性能，能满足桥梁高性能化的要求。

在近年来的大桥建设过程中，运用 UHPC 建筑装配式混凝土桥梁正在成为新的趋势。而装配式桥梁建设的灵魂就是混凝土的创新“集成”。



桥梁——广州鹤洞大桥

2021 年 5 月，广州鹤洞大桥的东西引桥开始进行中大修工程。当时现有检测报告显示梁体普遍存在裂缝，个别裂缝还出现了钢筋腐蚀和混凝土脱落。工程设计拆除旧线原上部现浇钢筋混凝土板式梁格结构，新建钢-UHPC 组合连续梁桥。

桥梁全长 465m，全宽 UHPC 桥面划分为预制板、纵向湿接缝、横向湿接缝、两侧现浇带及伸缩缝处现浇带五部分。UHPC 桥面板长度 6~7m，宽度约 2m，厚度均为 18cm。因长度、角度、弧线等各项参数的变化。

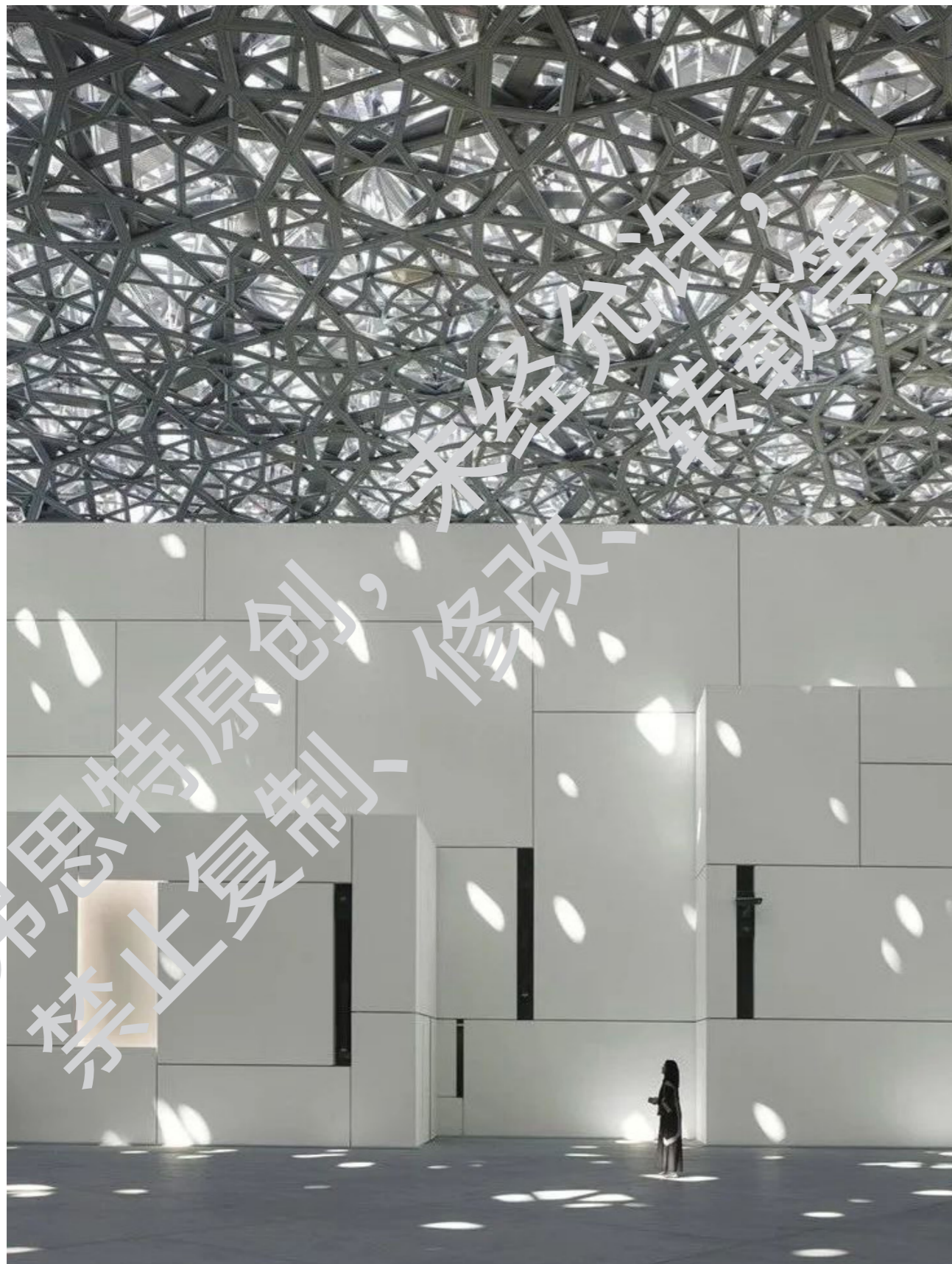
该工程 UHPC 预制桥面板规格类型约 400 多种，共计约 880 块。此外，该桥 E 线、W 线引桥 T 梁桥面铺装 UHPC。该工程预制构件和现浇施工共计使用近 4,000 m³ UHPC。

1.3.3
幕墙UHPC制品的应用
Application of UHPC
products for curtain walls

镂空板（例：杭州运河中央公园二期）



大跨度透光屋面（例：阿布扎比卢浮宫）



UHPC 的材料组成

Definition of UHPC Materials

1.4// chapter 1

水泥 波特兰水泥 阿尔博水泥	UHPC 中通常使用高强度的硅酸盐水泥作为胶结材料，水泥质量的高低对 UHPC 的性能具有重要影响。
超细颗粒材料	如硅灰 (SiO ₂) 和微粉。这些超细颗粒材料有助于填充水泥基体中的空隙，从而提高混凝土的密实度和力学性能。同时，超细颗粒材料与水泥发生二次水化反应，形成新的胶结相，进一步提高 UHPC 的性能。
骨料	UHPC 通常使用细骨料（如石英砂），而不使用粗骨料，细骨料可以提高颗粒堆积的密实度，降低混凝土中的孔隙率。
纤维	UHPC 通常包含钢纤维或者其他性能纤维（如聚合物纤维），以提高混凝土的抗拉强度和韧性，纤维的加入有助于防止裂缝扩展，提高抗裂性能。
水	UHPC 的水胶比通常很低（约 0.15-0.25），这有助于获得高密实度和高强度的混凝土结构，低水胶比可以降低孔隙率，提高力学性能和耐久性。
添加剂	UHPC 中常使用各种化学添加剂，如减水剂、速凝剂、缓凝剂等，以改善混凝土的工作性能和硬化性能。减水剂可以降低混凝土的水量，从而提高密实度和强度；速凝剂和缓凝剂可以调节混凝土的凝结时间，以满足不同的施工要求。

此外，还有一些名称是 UHPC 的品牌，直接使用各企业品牌名称。

Densit——最早 UHPC 产品品牌，丹麦 Aalborg Portland 公司 1983 年注册的品牌

Dural——法国拉法基豪瑞公司的品牌

DUCON——德国

DURA——马来西亚

Cor-Tuf——美国

泰耐克、宝斯博——中国

超高性能混凝土 (UHPC) 干混料或预混料是基于超高性能混凝土应用研究开发的产品。那么，超高性能混凝土在工程中使用，为什么要采用干混料或预混料的形式供应和使用，而不是像普通混凝土那样在搅拌前，按配合比称取各种原材料投入搅拌机中搅拌呢？

这主要是由于以下几方面的原因：

01

胶凝材料体系中各组成粉体的比例需要按最紧密堆积原理确定。然而，当材料发生变化时，其组成粉体的比例需要调整，特别是水泥的组成变化，如混合材料的变化可能严重影响超高性能混凝土的性能。这要求对胶凝材料的各组成粉体和制备的超高性能混凝土经常检测，并及时进行调整。而一般工地现场或预拌混凝土公司难以做好。

02

超高性能混凝土采用的是粒径较小的高强骨料，混凝土的抗压强度与骨料的强度相近。当生产超高性能混凝土时，骨料强度是关键的控制因素之一，高强度等级的超高性能混凝土（如 180 MPa 以上），更是如此，采用天然岩石生产的骨料时，由于天然岩石的抗压强度波动较大，导致骨料强度也有较大波动，而引起实际生产的超高性能混凝土抗压强度波动大。例如，法国某核电工程维修采用超高性能混凝土，工程抽取了 155 组抗压强度试件，抗压强度在 190 MPa~210 MPa 之间大范围波动。因此，对于骨料，要严格控制，精心挑选；而采用干混料或预混料的形式，便于品质控制，发现问题及时调整。

03

为了保证在较低水胶比下的工作性，超高性能混凝土采用了高性能减水剂，与所有混凝土外加剂一样，高性能减水剂也存在与水泥的相容性问题，相容性问题至今仍是影响因素众多的复杂问题。这也要求在超高性能混凝土使用前做好试验工作。

04

超高性能混凝土是纤维增强水泥基材料，为保证工程结构的性能，在生产制作时，要求施工过程连续，不允许出现施工冷缝；这就要求在生产前要充分掌握超高性能混凝土的性能，尽可能减小性能的波动，并精心组织施工。同时也要求将超高性能混凝土制成干混料或预混料，以方便生产，保证质量。

05

为保证胶凝体系达到最紧密堆积状态，通常超高性能混凝土的搅拌时间较长，导致搅拌是控制施工速度的重要工序。采用干混料或预混料，可以大幅度减少超高性能混凝土的搅拌时间，提高施工效率，尤其适用于用量较大的工程。

综合考虑以上众多因素，为保证工程质量，目前超高性能混凝土的应用，绝大部分是采用干混料或预混料的形式。

UHPC 的性能优势

Performance advantages of UHPC

1.5// chapter 1

1.5.1 UHPC基本性能的量化要求

Quantitative requirements for basic performance of UHPC

在《超高性能混凝土基本性能与试验方法》标准中，UHPC 基本性能的量化要求包括抗渗性、抗压强度、抗拉性能，其中最低性能要求是 UHPC 的性能门槛。

UHPC 抗压强度要求 ≥ 120 Mpa，这是为了保证 UHPC 具备高密实度、实现高耐久性、同时能够有效发挥纤维的作用，实现高抗拉性能。

UHPC 抗拉性能入门等级是 C105，强度要求 ≥ 10 Mpa，是拉伸应变硬化型，但不是脆性材料。

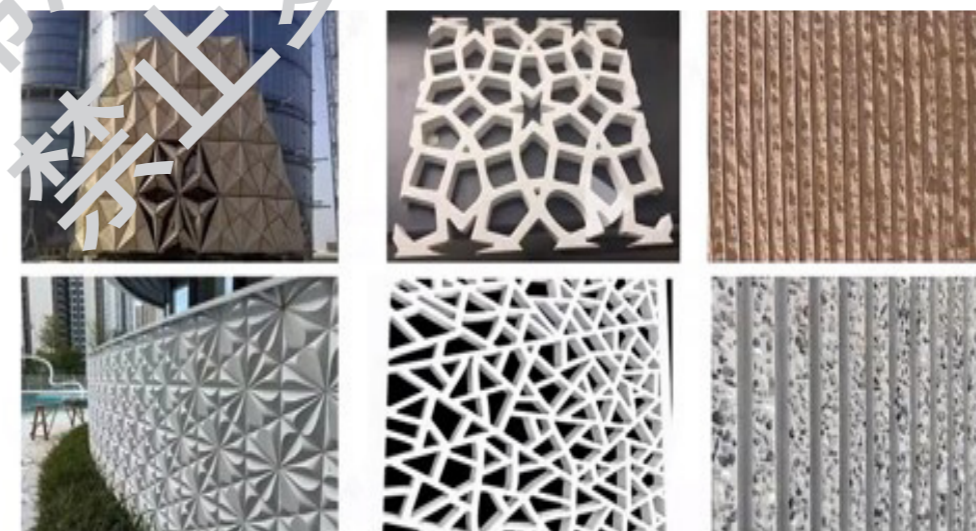
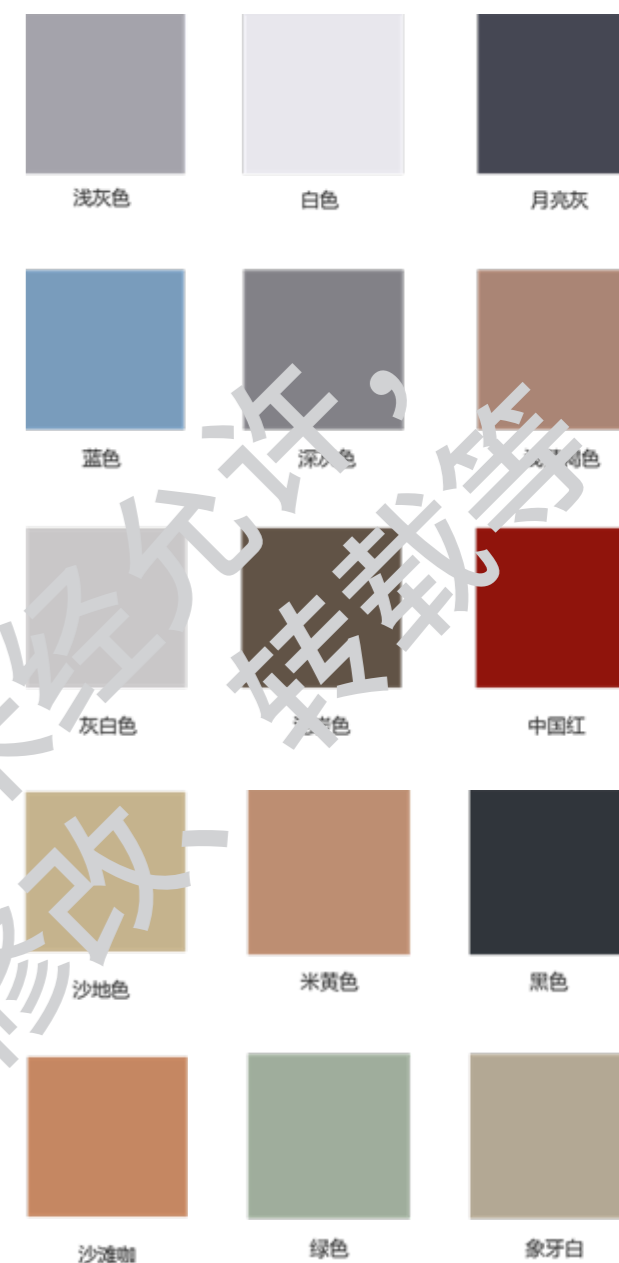
指标类别	普通混凝土 (NC)	高性能混凝土 (HPC)	超高性能混凝土 (UHPC)	UHPC/NC
抗压强度 (MPa)	20-50	60-100	> 120	约 3 倍
抗拉强度 (MPa)	1.54-2.04	2-4	> 7	约 4 倍
弯折强度 (MPa)	2-5	6-10	> 20	约 6 倍
氯离子扩散系数 ($10^{-12} m^2/s$)	4-8	1-4	0.05-0.1	约 80 倍
质量损失 (g/cm^2)	> 1000	900	7	约 150 倍
吸水特性 (kg/m^3)	> 3	1.5-3	< 0.2	约 15 倍
磨耗指标 (mm)	0.8-1.0	0.5-0.8	< 0.03	约 33 倍

1.5.2 UHPC应用在幕墙中的优势

The advantages of UHPC application in curtain walls

可定制项目所需颜色，可根据具体项目需求定制；根据色卡打样。表面色彩是采用矿物质原料色粉与粉料搅拌同色混合，表面永久性强。设计样板阶段需要提供色卡号。

UHPC 可塑性强：各种肌理造型的实现，实现想象，超越期待（可依据具体项目需求定制）。



- 立体
- 镂空
- 仿石
- 曲面
- 异型





UHPC 表面处理多样, 可根据具体项目需求定制。常用的表面处理: 清水面、水磨面、纹理面、喷砂面、酸蚀面、混搭面、卵石面、黏土面、亚光面、喷涂面等。

UHPC 材料致密, 可实现本体刚性防水及荷叶自洁(表面处理)效果。超疏水表面防护技术: 利用渗透型小分子有机硅材料, 在 UHPC 表面形成微纳结构单向有机膜, 在满足水泥基材呼吸性能的同时, 阻止液体水进入水泥基材, 并允许水蒸气自由出入, 实现防水自洁效果。

高耐久性: UHPC 在冻融循环、海洋环境、硫酸盐侵蚀、弱酸侵蚀和碳化下, 能够耐受各种有害物质渗透到基体内部, 同时具有自愈能力, 防水效果非常好。此外, UHPC 中的钢筋不容易被腐蚀: UHPC 中的孔隙率很低, 孔径在纳米及以下, 孔隙连通性非常差, 这就相当于在钢筋表面覆盖了一层厚厚的能隔绝氧和水汽的涂层, 钢筋腐蚀速率极其缓慢。

性能对比 | GRC/UHPC 与其他材料性能对比表

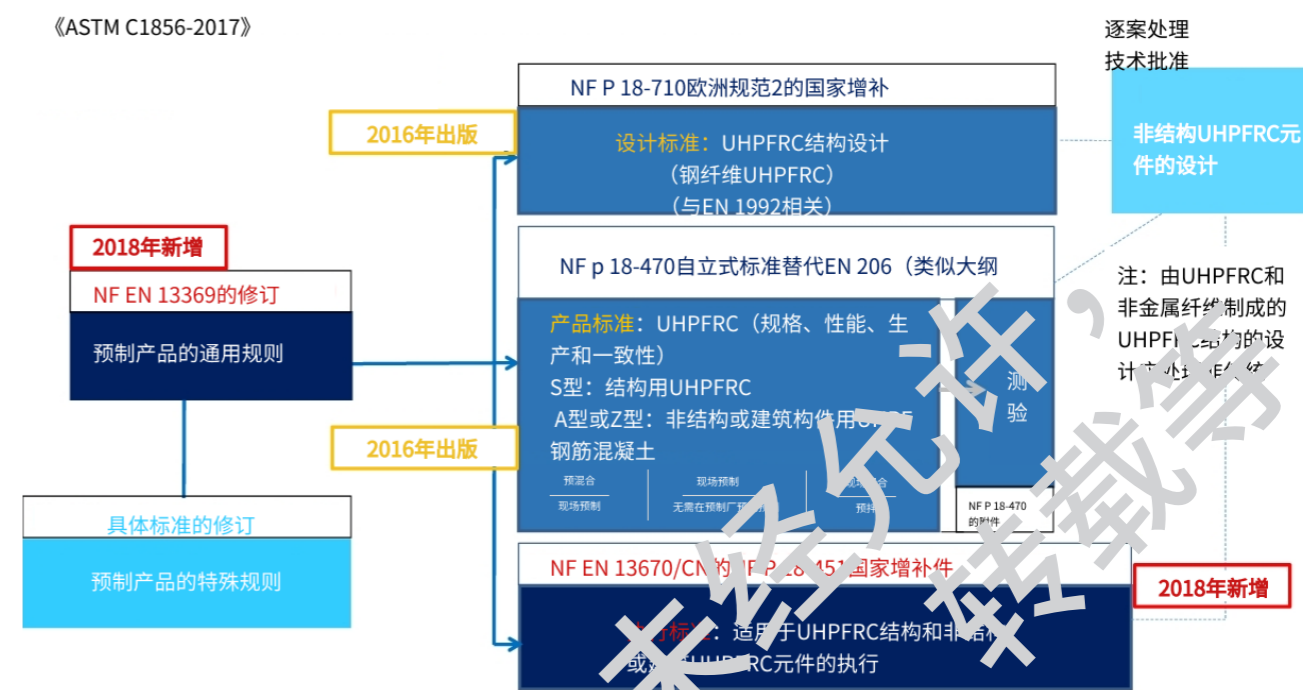
类别	石材	铝板	陶板	瓷板	GRC	UHPC	PC
重量	60-100kg/m ²	10-15kg/m ²	30-60kg/m ²	30-60kg/m ²	30-70kg/m ³	35-60kg/m ³	256kg/m ³
板块尺寸	尺寸偏小, 单块面积一般 < 1m ²	尺寸中等, 单块面积 < 2m ²	尺寸偏小, 单块面积一般 < 1m ²	尺寸偏小, 单块面积一般 < 1m ²	尺寸较大, 单块面积可达到 40m ² 以上	尺寸较大, 单块面积可达到 80m ² 以上	尺寸中等, 单块面积 < 10m ²
表面效果	天然质感	金属质感	烧结质感	烧结质感	质感、颜色丰富	质感、颜色丰富	表面单一, 装饰效果差
环保性能	对环境破坏大, 资源不可再生	生产加工能耗高, 有污染	生产加工能耗高, 有污染	生产加工能耗高, 有污染	生产加工能耗低, 无污染	生产加工能耗低, 无污染	生产加工能耗低, 无污染
安全性 (破坏形态)	易碎裂, 脆性破坏无预兆	易变形, 延性破坏, 有预兆	易碎裂, 脆性破坏无预兆	易碎裂, 脆性破坏无预兆	韧性好, 不易变形, 延性破坏, 有预兆	韧性好, 不易变形, 延性破坏, 有预兆	脆性破坏
使用寿命	易褪色, 易风化, 寿命 50 年	25 年质保	易风化, 寿命 50 年	易风化, 寿命 50 年	性能稳定, 寿命 50 年	性能稳定, 强度与韧性兼有, 寿命 100 年	性能稳定, 寿命 50 年
固定方式	干挂或背栓	铆接/粘	干挂或背栓	干挂或背栓	干挂/背栓/背负钢架单元板	干挂/背栓/背负钢架单元板	干挂
防火性能	A 级, 不燃体, 熔点 1000 多度, 钢结构不需要做防火涂装	A 级, 不燃体, 熔点 600 多度, 钢结构需要做防火涂装	A 级, 不燃体, 熔点 1000 多度, 钢结构不需要做防火涂装	A 级, 不燃体, 熔点 1000 多度, 钢结构不需要做防火涂装	A 级, 不燃体, 熔点 1000 多度, 钢结构不需要做防火涂装	A 级, 不燃体, 熔点 1000 多度, 钢结构不需要做防火涂装	A 级, 不燃体
泊松比	0.125	0.33	0.13	0.13	0.2	0.2	0.2
强度 (Mpa)	80-150	/	50-70	60-80	60-80	120-150	40-60
曲面成型	难度较大, 费用特高	难度较大, 费用高	难度较大, 费用特高	难度较大, 费用特高	难度适中, 能满足多重要求的曲面异形	难度适中, 可实现曲面造型效果	难度较大, 费用特高
颜色	受自然成因, 有明显色差	金属质感, 缺乏艺术气息	受自然成因, 成品颜色不稳定, 有色差	受自然成因, 成品颜色不稳定, 有色差	色彩品种丰富	色彩品种丰富	受自然成因, 成品颜色不稳定, 有色差
造型	小平板拼接	板块规格有局限	小平板拼接	小平板拼接	造型丰富, 可做异形曲面造型	造型丰富, 可做异形曲面, 并可实现曲面造型	小平板拼接, 规格有局限
吸水率	天然石材吸水率高, 易渗水	不吸水	6-10%	3-10%	5-10%	2-3%	10-15%
表面自洁	一般 (表面需做防水处理)	一般 (国产氯磺酸); 好 (进口预涂层), 有静电易吸附灰尘	一般 (表面需做防水处理)	一般 (表面需做防水处理), 防水率比陶板略低	好 (表面做催化三位一体自洁), 防水率比陶板略低	好 (表面做催化三位一体自洁), 防水率比陶板略低	一般 (表面需做防水处理)
用途	内墙、外墙、地面	内墙、外墙	内墙、外墙、地面	内墙、外墙、地面	内墙、外墙	内墙、外墙	外墙及内部承重墙

* 资料来源: 南京倍立力

性能特性	铝板	石材	GRC	UHPC
密度 (kg/cm ³)	2.7	2.7	1.9-2.0	2.2-2.3
常见厚度 (mm)	15-30	≥ 25	≥ 15	20-30
造型能力	适合于平板及圆弧形面, 难以实现异形造型及双曲面	主要为平板, 异形及曲面加工难度大、费用高昂	可以实现各种复杂造型及双曲面	可以实现各种复杂造型及双曲面
板块尺寸	尺寸中等, 单块面积一般 < 2 m ²	尺寸偏小, 单块面积一般 < 1 m ²	尺寸较大, 单块面积可达到 10 m ² 以上	尺寸较大, 单块面积可达到 10 m ² 以上
表面效果	金属质感或喷漆	天然质感与纹理	质感、颜色丰富	质感、颜色、造型丰富
吸水率	低	较低 (≤ 1.0%)	较高 (约 8%)	低 (≤ 2.0%)
耐久性	一般	好	≤ 10 年	与主体结构同寿命
破坏形式	撕裂或变形	脆断、降落	韧性好 力学性能衰减	韧性好 结构安全

	超高性能混凝土	仿陶铝板	陶土板
模块尺寸	不影响运输吊装可随意尺寸	板宽 2100mm (max) 超大板幅度只能焊接实现	板宽 900 mm (max) 板长 2700 mm (max)
光泽度	光泽度低	可通过表面仿陶喷涂降低光泽度	光泽度低
色彩种类及颜色变化	通过调色剂与基材搅拌进行调色, 色彩度丰富, 艳丽色彩存在褪色风险	通过氟碳漆调色, 几乎可满足所有色彩需求且可通过技术手段增强表面肌理效果, 不褪色	由不同颜色陶土配比而成, 高温烧制而成, 颜色可选性有限, 不褪色
吸水率	2%	/	6-10 %
防坠性能	良好	无坠落风险	脆性材料, 防坠性能差
幕墙系统自重	1.4 Kpa	0.6 KPA	0.96 Kpa
耐污性	良好 可擦洗	良好 可擦洗	一般
表面处理	可定制	可定制	自然面、砂面、波纹面、小槽面
加工工艺	模具浇筑	铝单板 + 龙骨 / 蜂窝	高温烧成
防火等级	A	A	A
曲面模块加工难度	可实现单曲、双曲, 板块尺寸同平板曲面板造价取决于曲面类型数量	可实现单曲、双曲, 板块尺寸同平板, 但双曲造价较高 (最终造价取决于双曲类型数量)	可实现单曲, 但板幅受限, 且造价远超平板
供应商 - 国内	倍立达 E Grow	余达漏油 高1	瑞高 新嘉里
供应商 - 国际	拉法基 (原料)		NBK、富陶科、雅阁博陶

UHPC 法国标准架构 (与欧洲混凝土标准兼容)



UHPC 的相关规范 UHPC related specifications

1.6 // chapter 1

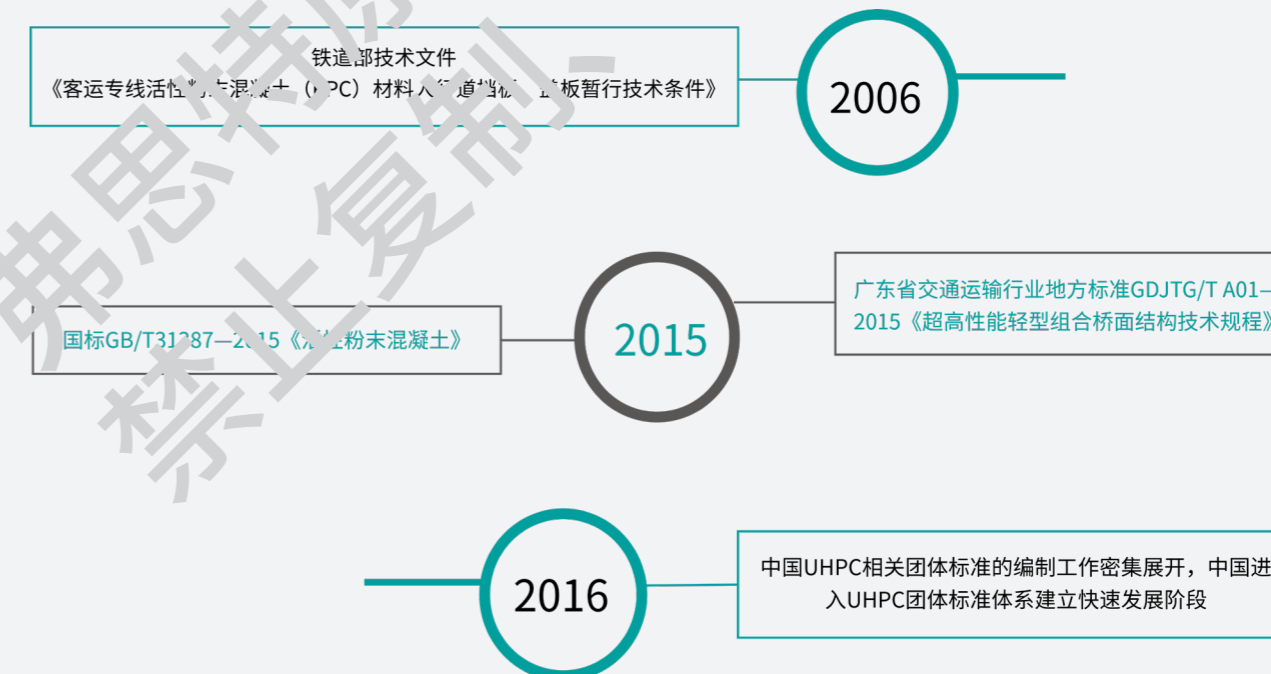
法国率先启动了UHPC的标准化工作, 并在2018年发布了全套UHPC材料、设计和施工标准。这些标准基于欧洲混凝土结构标准体系, 针对UHPC特性进行了扩展和调整。因此, 在结构设计与施工方面, 法国UHPC标准沿用了传统混凝土标准的大部分框架, 但对部分内容进行了特定修改; 而对于材料标准, 则进行了全面重编以适应UHPC的独特属性。

自20世纪90年代末开始, 法国土木工程学会便着手制定UHPC的相关指南和规范。

2002年, 他们发布了首部UHPC应用指南, 并在2013年根据多年的使用经验和研究成果对其进行了修订, 加入了关于可持续发展的相关内容。最终, 在先前版本的基础上, 分别于2016年和2018年制定了NF P18-470、NF P18-710及NF P18-451等标准, 这些标准被广泛应用于国内项目中, 国内有非常多的项目是参照这三本规范来的:

- 2016年 NF P18-470 《混凝土 - 超高性能纤维增强混凝土 - 规格、性能、生产和验收》
- 2016年 NF P18-710 《欧洲规范 2- 混凝土结构设计的国家附件: 超高性能纤维增强混凝土 (UHPC) 特殊规定》
- 2018年 NF P18-451 《混凝土 - 混凝土结构施工 - 超高性能纤维增强混凝土特殊规定》

UHPC 的标准化工作正在中国全面展开, 进入标准体系的建立阶段
中国UHPC (或RPC) 标准化概况



规范类型	发布时间	规范名称
材料标准	2015年	《活性粉末混凝土》(GB/T 31387-2015 正式版)
结构标准	2017年	《活性粉末混凝土结构技术规程》(DBJ 43/T 325-2017 湖南地标)
实验方法	2018年	《超高性能混凝土基本性能与试验方法》(T/CBMF 37/T/CCPA7--2018)
材料标准	2019年	《超高性能混凝土制备与工程应用技术规程》(DB 13/T 2940-2019 河北地标)
产品标准	2020年	《超高性能混凝土预混料》(T/CBMF 96/TCCPA 20-2020)
材料标准	2020年	《超高性能混凝土(UHPC)技术要求》(T/CECS 10107-2020)
施工标准	2021年	《超高性能混凝土预制构件生产规程》(T/CBMF 127/T/CCPA 12-2021)
施工标准	2021年	《超高性能混凝土现场浇筑施工规程》(T/CBMF 128/T/CCPA 23-2021)
材料标准	2021年	《超高性能混凝土制备技术规程》
结构标准	2022年	《超高性能混凝土结构设计技术规程》(T/CBMF 185-2022/T/CCPA)
材料标准	2022年	《超高性能混凝土应用技术规范》(广西省地方标准标志启动)
外墙标准	2022年	《超高性能混凝土(UHPC)外墙板 TCBMF 171-2022》
外墙标准	2022年	《超高性能混凝土(UHPC)装饰板 TCBMF 172-2022》
实验方法	2021年	《超高性能混凝土试验方法标准 T/CECS 864-2021》
外墙标准	2021年	《超高性能混凝土外墙(UHPC)围护和装饰板应用技术标准》T/ZS0203-2021

UHPC目前在立项、编制、报批中的标准：

规范类型	目前状态	规范名称
结构标准	报批中	超高性能混凝土结构设计技术规程 CECSxxx-2020
外墙标准	编制中	超高性能混凝土(UHPC)预制建筑外墙应用技术规程
外墙标准	编制中	超高性能混凝土(UHPC)非承重构件应用技术规范



弗思特原创，修改，禁止复制、转载等

共塑美好城市
A Better Future For Cities

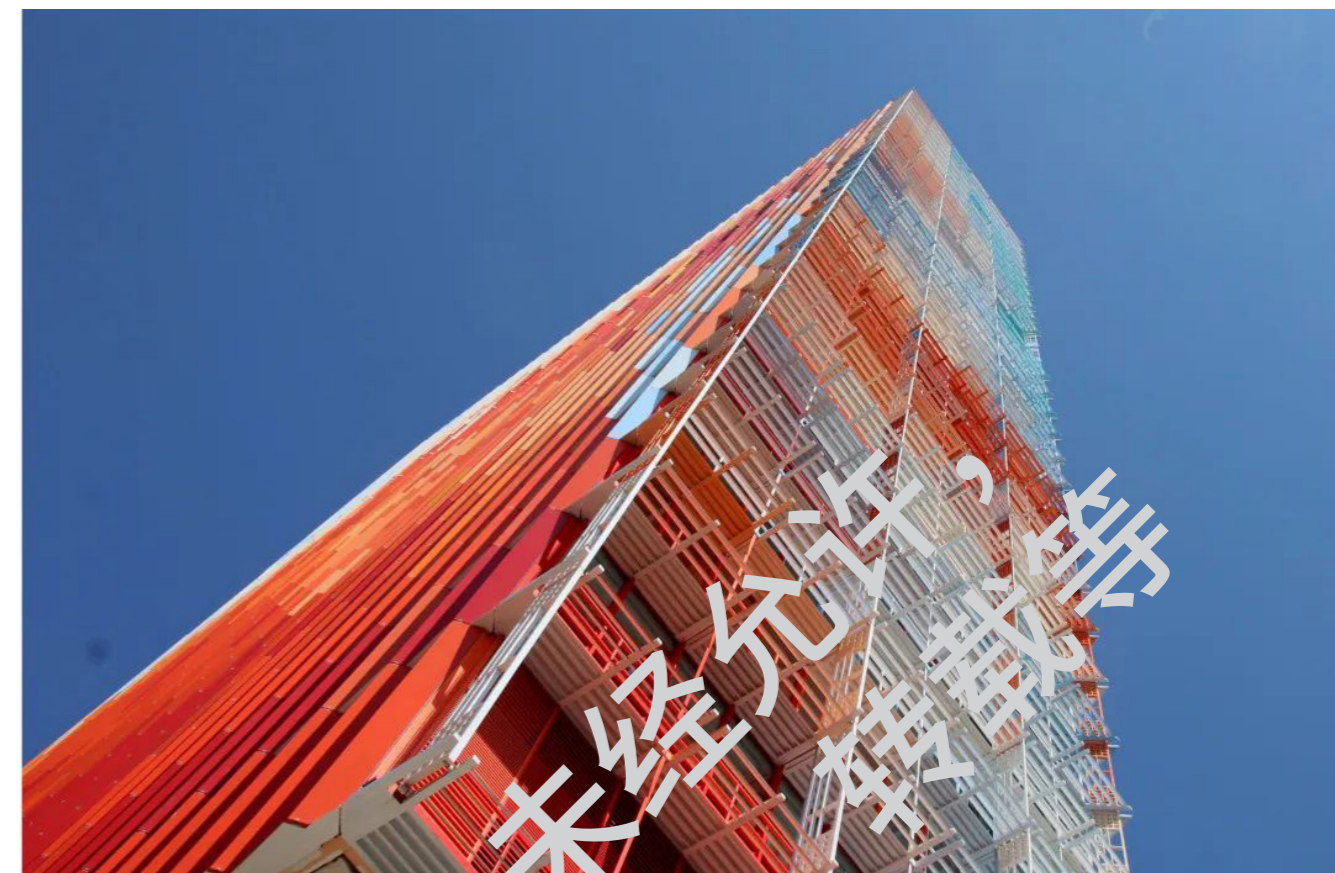
弗思特原创，未经许可，禁止复制、修改、转载等

2

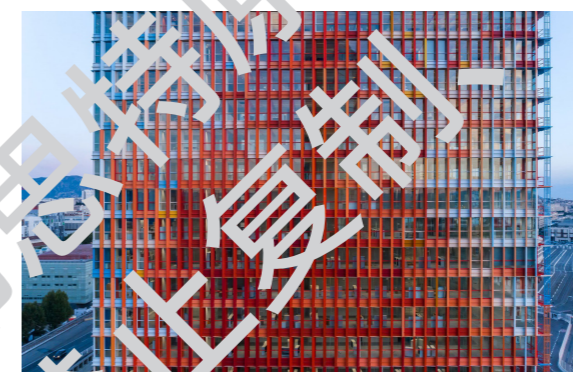
+

UHPC curtain wall skin case study

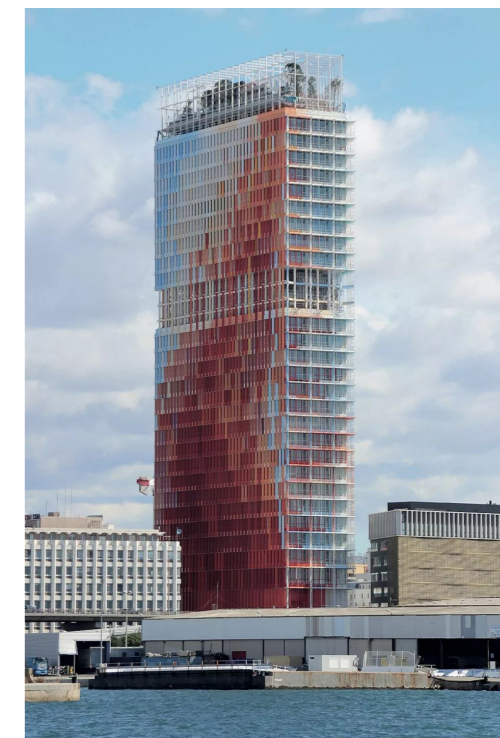
UHPC 幕墙表皮案例研究



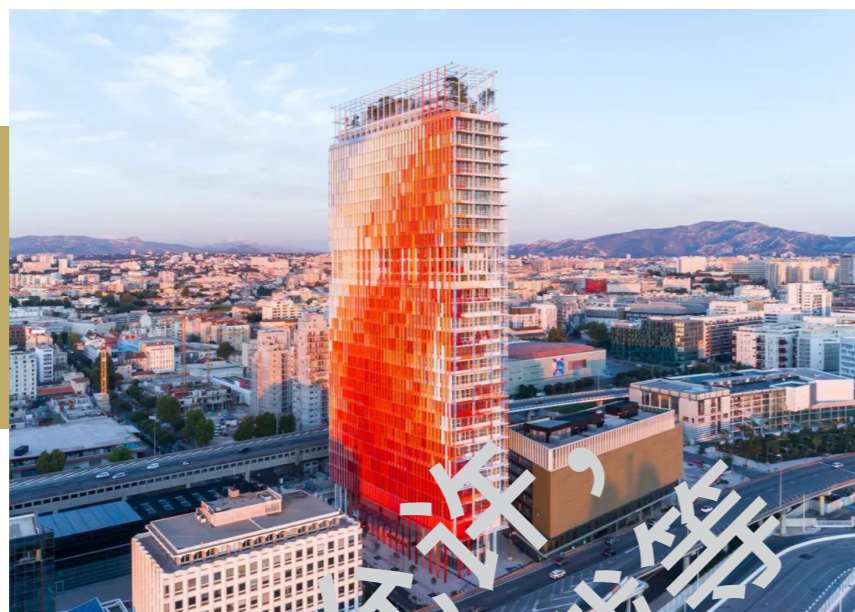
境外 UHPC 幕墙项目
Overseas UHPC Curtain Wall Project
2.1 // chapter 2



项目名称：马赛曲大厦
项目地址：法国马赛
项目类型：办公楼
建筑设计：Jean Nouvel (让·努维尔)
建筑面积：39560 m²
建筑高度：135m
建成时间：2018 年
绿建等级：LEED Gold BD+C:Core and Shell



2.1.1
马赛塔大厦
Tour La Marseillaise

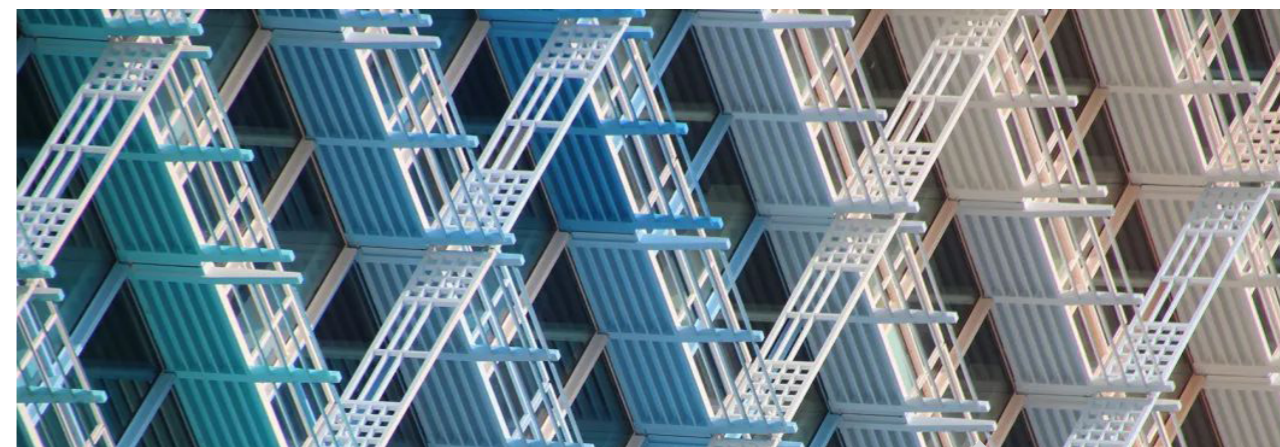


La Marseillaise 办公大楼是一座可以代表法国的特色建筑，坐落于法国马赛的 Arc 码头。由著名法国建筑大师让·努维尔（Jean Nouvel）设计。

从颜色上来看，这栋大楼的外墙表皮以红、白、蓝为主调。

朝向海边的一面主要是蓝色和白色，白天的时候，建筑完全融入海天一色中。

另一面则是以红色和白色为主，夕阳西下，建筑将海面与天空融为一体。



La Marseillaise 大楼高 135 m，立面外侧采用了 UHPC 超高性能混凝土彩色预制构件作为遮阳构件，整个立面共 3850 个 UHPC 遮阳格栅。

这些格栅可以起到很好的遮阳作用，避免了南法的阳光直射进办公室造成光污染。

由于靠近地中海，UHPC 材质还提供了持久的抗盐
水喷洒能力，增强了外立面的耐久性。

UHPC 单块板尺寸不大，镂空率较大。所有的格栅
板全部靠结构对外悬挂，板与板之间独立连接。



UHPC（超高性能混凝土）面板越来越多地用于外墙。这种新材料扩大了建筑覆层的可能性和新颜色方面有很多选择。

Fixinox 提供专为纤维混凝土（UHPC\GRC）设计的锚固系统。

自 2013 年以来，对重型面板的需求不断增加。Fixinox 为每种类型的窗格玻璃（不同厚度，所有类型的恒载从 40 公斤到 11 吨）提供了一种新的密封系统，该系统结合了易于制造和快速现场安装。



所有类型的特征

纤维质量【金属、有机】

纤维含量

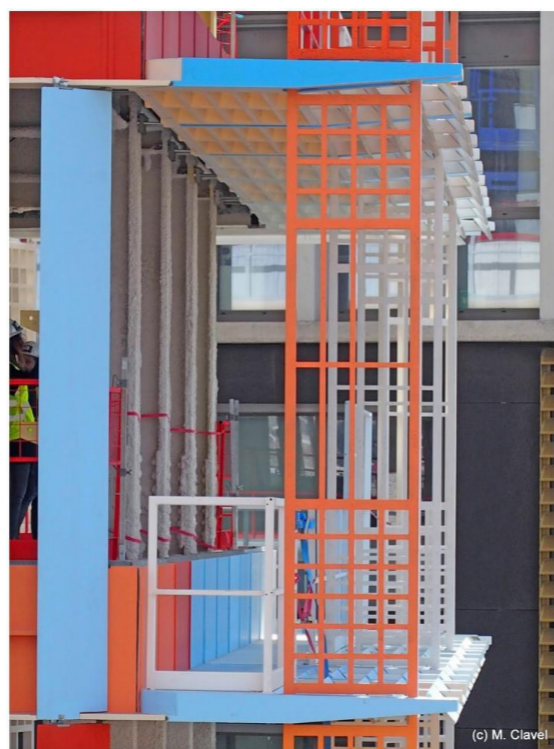
水泥成分

不同厚度

薄板：20-30 mm

中面板：40-50 mm

厚面板：60-80 mm



UHPC 面板锚固系统

自 2009 年以来，Fixinox 根据具体情况开发了覆层固定件，以应对新的安装挑战。与预制公司和建筑承包商进行讨论和反思，以设计支架的嵌入式插入件和可调节的紧固连接器。Fixinox 使用 3D 数值模拟和内部拉拔测试来检查解决方案的有效性。

由于其在静态和热计算方面的技能，结合内部制造，Fixinox 减少了中间环节的数量，从而促进了建筑工地工作的顺利进行。

* 重载面板连接件（来自 Fixinox 官网）

UHPC 连接面板插入槽及销钉

插入物在连接这些新材料方面起着至关重要的作用，它们是这些混凝土和将它们连接到承重结构的锚之间的连接。

UHPC 的力学性能与普通混凝土有很大不同。

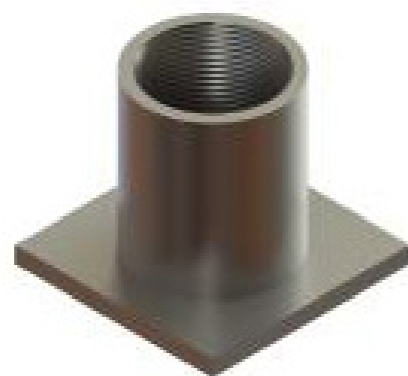
根据项目的不同，外墙的厚度可以从 2 cm 到 8 cm 不等，然后根据 UHPC 与纤维的组成（纤维质量、百分比……），混凝土基质和机械特性也不同。对于这些 UHPC，通常没有加固，因此有必要开发新的插件。



* 连接面板插入槽 (来自 Fixinox 官网)

在客户使用之前，每种类型的插件都会在我们的车间进行测试，以确保其可靠性。

此外，对于某些用途，还需要完成额外的独立实验室测试。在某些情况下，需要使用锚定通道来进一步提高可调节性。



* 连接面板销钉 (来自 Fixinox 官网)

UHPC 表面处理方案

UHPC 构件为白色构件，全部采用后期涂装上色项目法国 Guard Industrie（法国嘉德）为项目创建了 26 种蓝色、白色和红色的自定义颜色，本项目选用 ProtectGuard® Color AntiGraffiti 为项目的 UHPC 着色并提供长久保护。

ProtectGuard，一种产品，两种功能：

1、永久防水、防油、防涂鸦：提供持久保护，防止灰尘、各种污渍、大气污染、油污、渗透等；

ProtectGuard " 彩色防涂鸦剂可提供永久的防涂鸦保护，它由新一代树脂配制而成，可抵御数十次清洁（使用 Decap'Graf Guard" 2010 防涂鸦清洁剂），涂鸦清除后无需重新涂抹。

2、颜料染色

ProtectGuard®Color AntiGraffiti 是一种半透明的涂料，可以为混凝土着色，同时尊重其矿物质含量。

颜料有 42 种颜色可供选择，具有不同的表面效果和不同透明度，还可以定制颜色。



2.1.2

路易威登基金会纪念馆
Louis Vuitton Foundation Memorial Hall

路易威登基金会纪念馆 2014 年 10 月在法国巴黎落成。

由随机几何形状组成的 9000 m²立面通过 19000 块 UHPC 超高性能混凝土面板实现，其中 16000 块面板具有不同弧度，面板厚度降低到 25 mm，最大程度减少了幕墙的重量。

如果 19000 多块弧形不同的板块开 19000 多块模具，那成本和时间花费巨大。拉法基豪瑞为项目研发出 MSV 真空成型工艺，该工艺使用独特的柔性模具，可适用于任何弯曲弧度。所需的几何形状经过 CNC 加工模板与真空装置组合，将变形模具定位在模板上。

柔性硅胶模具可确保表面质感如天鹅绒般光滑柔软，并赋予每个面板拥有独特的弧度曲线，同时减少模具数量，这也是控制制造成本的一个关键环节。



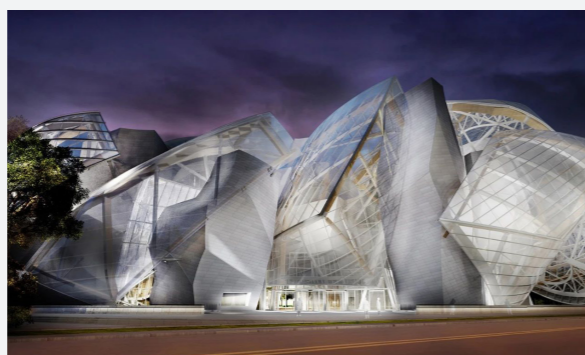
项目名称：路易威登基金会纪念馆
项目地址：法国巴黎
项目类型：纪念馆
建筑设计：Frank Owen Gehry（弗兰克·盖里）
建筑面积：11,700 m²
建成时间：2014 年





UHPC 的应用

玻璃帆簇拥下升起“山峰”部分，花了六年时间做工程研究。经历千多方案，测试，结构计算以及研究如何制作模具和生产工艺，最终采用了 Ductal 的超高性能混凝土面板。它能承受重力应力，通过有机纤维的添加让其具备天然物质感之外可以将面板厚度减低至 25mm。



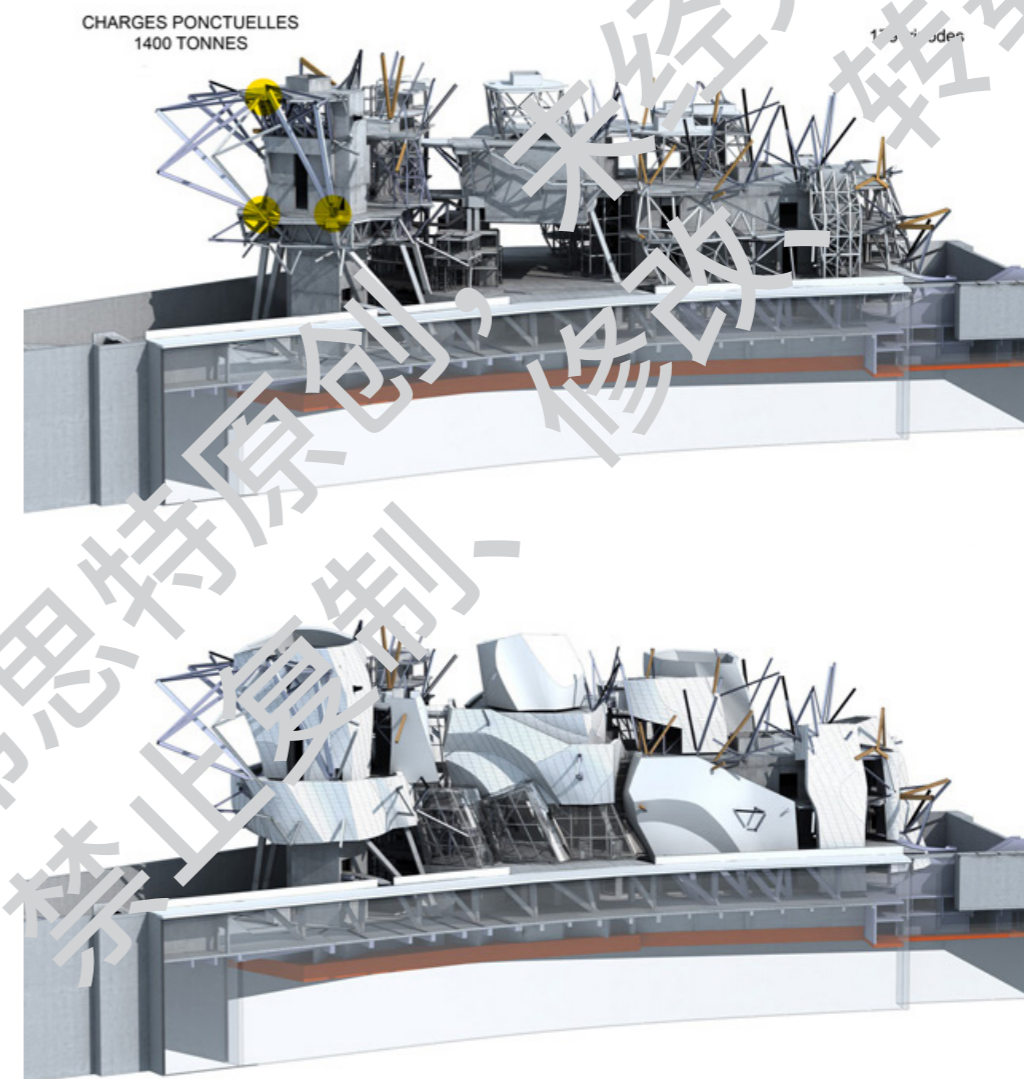


板块的制造工艺

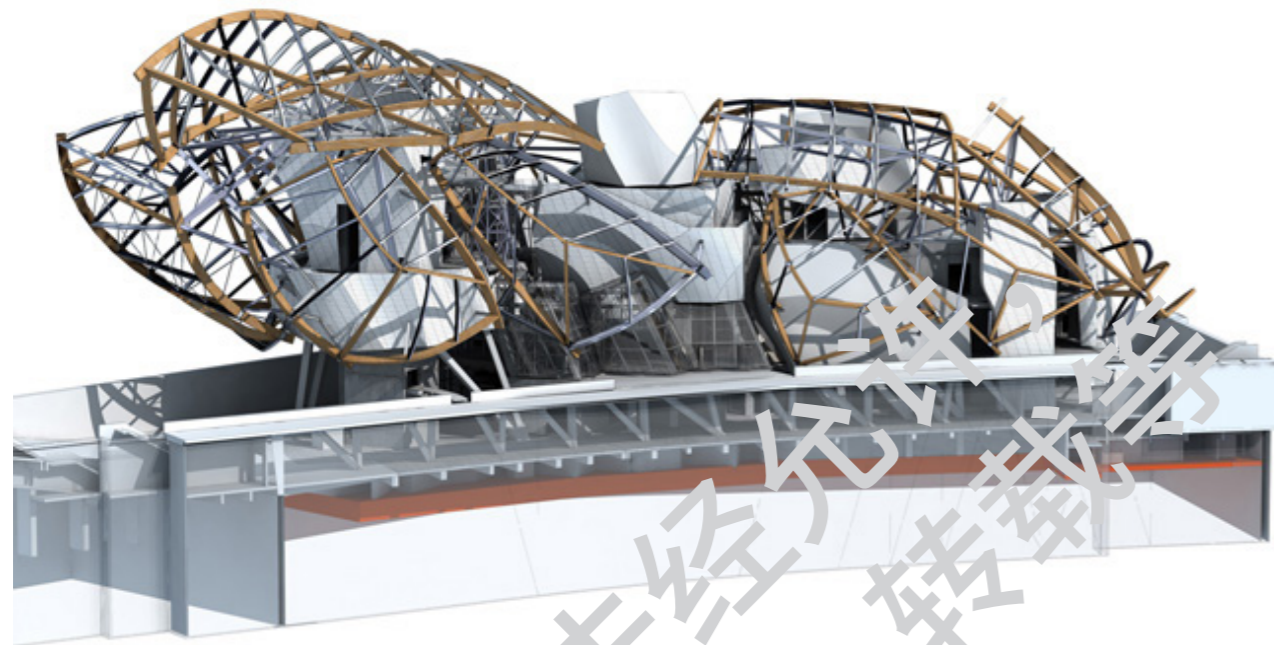
19000 块 Ductal 超高性能混凝土面板，其中 16000 块面板都具有不同的弧度。

如果 19000 多块弧形不同的板块开 19000 多块模具，那成本和时间花费巨大。拉法基豪瑞为此研发出 MSV 真空成型工艺，该工艺使用独特的柔性模具，可适用于任何弯曲弧度。所需的几何形状经过 CNN 加工模板与真空装置组合，将变形模具定位在模板上。

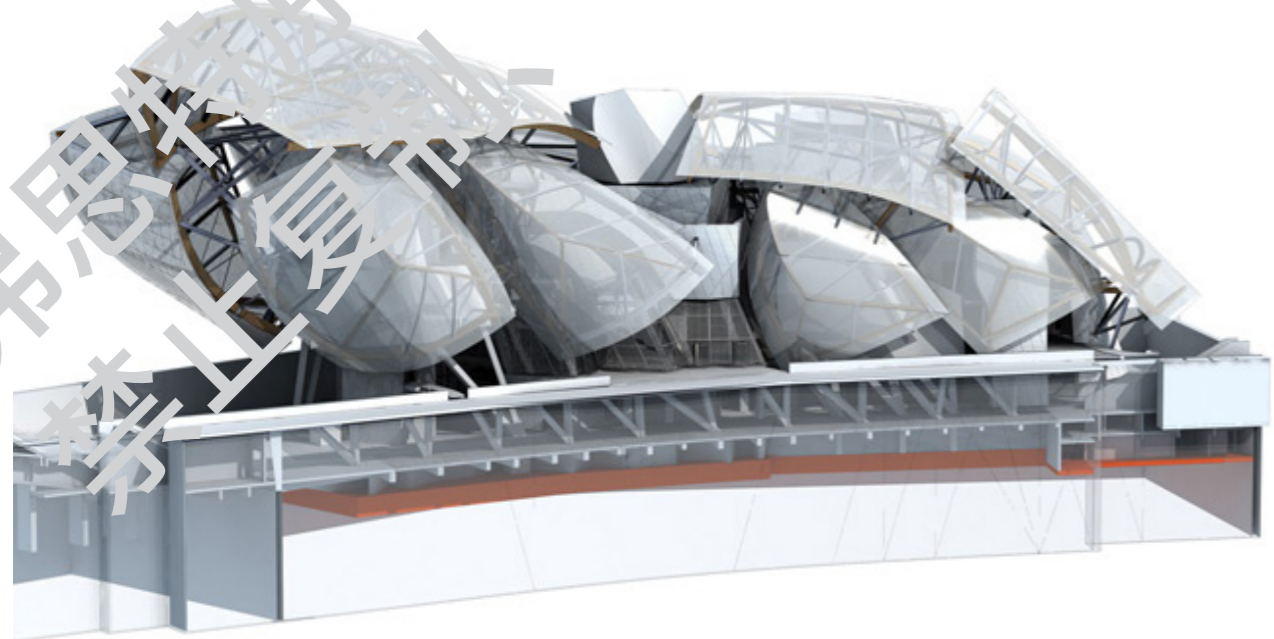
柔性硅胶模具可确保表面质感如天鹅绒般光滑柔软，并赋予每个面板拥有独特的弧度曲线，同时减少模具数量。这也是控制制造成本的一个关键环节。



PAROIS VITRES



STRUCTURES VERRIERES



2.1.3
 欧洲和地中海文明博物馆
 Museum of European and Mediterranean
 Civilisations





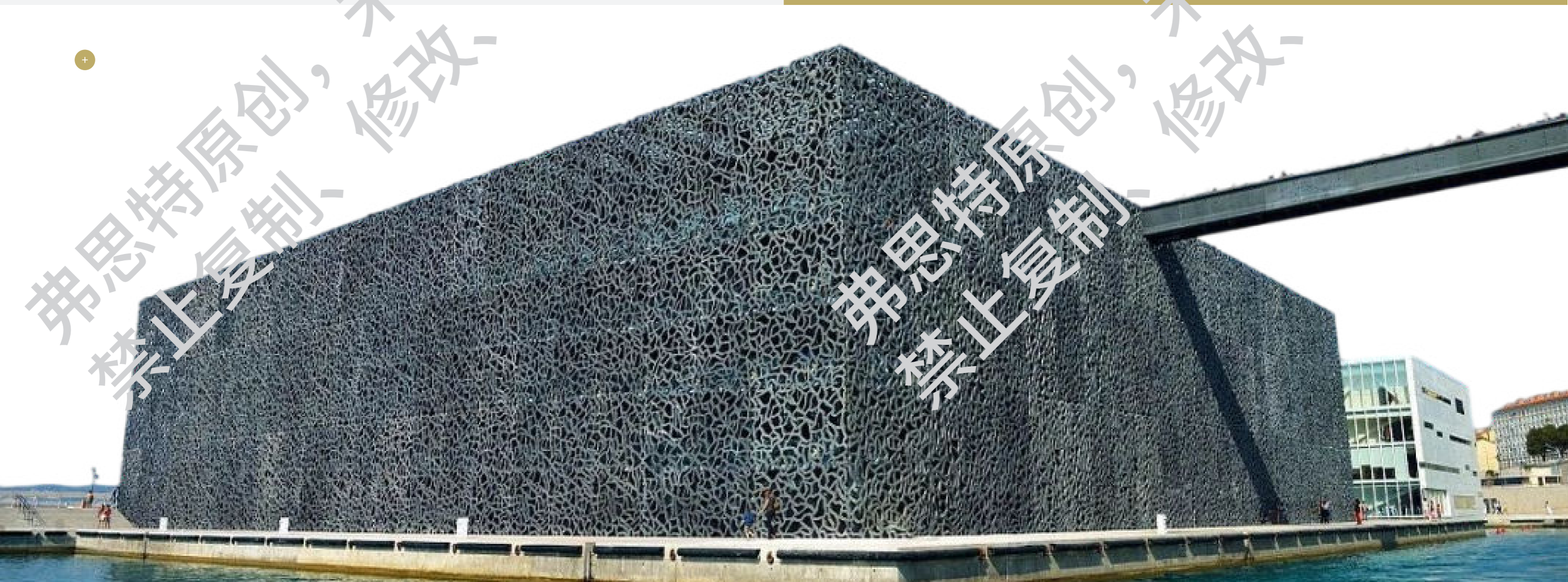
欧洲和地中海文明博物馆是一座以地中海文明为主题的博物馆，也是法国有史以来一座位于首都巴黎以外的“国家博物馆”，藏品近 100 万件。建立于 2013 年，已成为马赛城市新地标。

项目地址：法国马赛
项目类型：文体建筑
建筑设计：鲁迪·里乔蒂 (Rudy Ricciotti)
建筑面积：40,000 m²
建成时间：2013 年

欧洲和地中海文明博物馆最外部的表皮是由自承重的 UHPC 构件以镂空板形式制成，单块产品超过 50% 镂空率。6*3 m。通透的建筑维护，由 384 个自承重的遮阳模块构成，标准板块尺寸为 3*5.8 m，蕾丝的横截面仅为 80*70 mm。

连接圣让堡和博物馆的人行桥由 25 块预制板组合而成，每个单元长 4.6 m，预制板厚度 4 cm，总长 (不含桥面回路为 135 米)，建筑误差在 0.3 mm 到 0.4 mm 之间。

308 根的支撑柱和 I 型、Y 型、N 型三种的柱子内部使用钢筋加强，形成 30 种不同组合，外立面喷涂涂料，光滑度较好。其造价成本要低于钢结构，钢结构要算上防火、防腐、防水及维护成本。I 型柱子、N 型柱子也是，存在气孔、合模缝也是存在的。



镂空板预制构件

最外部的表皮是由自承重的 UHPC 构件以镂空板形式制成。标准模板尺寸为 3*5.8 m。

在建筑的转角，需要使用定制模板，因为中缝很窄，3 种不同类型的板块组合成不断变化的形式。不同的构件只能从近距离才看得出来。

最下面的板块下口搁在地上，上口用斜拉杆与结构连接，斜拉杆从玻璃幕墙的立柱穿过走廊，连接到镂空板，使得镂空板能够承受水平荷载。通过点爪连接竖向的两块板，以及边缘的镂空板。每一个标准构件都由 4 点支撑。

内部柔性构造消除了材料因风荷载或者温度变化引起的收缩或膨胀产生的集中应力。屋顶上的水平板块安装在 T 型 UHPC 立柱上，立柱上口采用了钢支座和聚氨酯相结合的柔性构造。



* 资料来源：南京倍立达

2.1.4 其他建成案例 Other Built Cases

01. 卡塔尔国家博物馆



卡塔尔国家博物馆位于卡塔尔多哈的国家博物馆，建筑于 2019 年 9 月 2 日向公众开放，取代了之前于 1975 年开放的建筑。建筑灵感来自沙漠玫瑰，是卡塔尔标志性建筑之一。11 个展馆相互连通，贯穿卡塔尔的古与今，纵享穿越时空之旅。





项目类型：文体建筑
建筑设计：Jean Nouvel（让·努维尔）
建筑面积：52,167 m²
建成时间：2019 年
绿建等级：第一个获得 LEED 金级认证和全球可持续发展评估体系四星级可持续发展评级



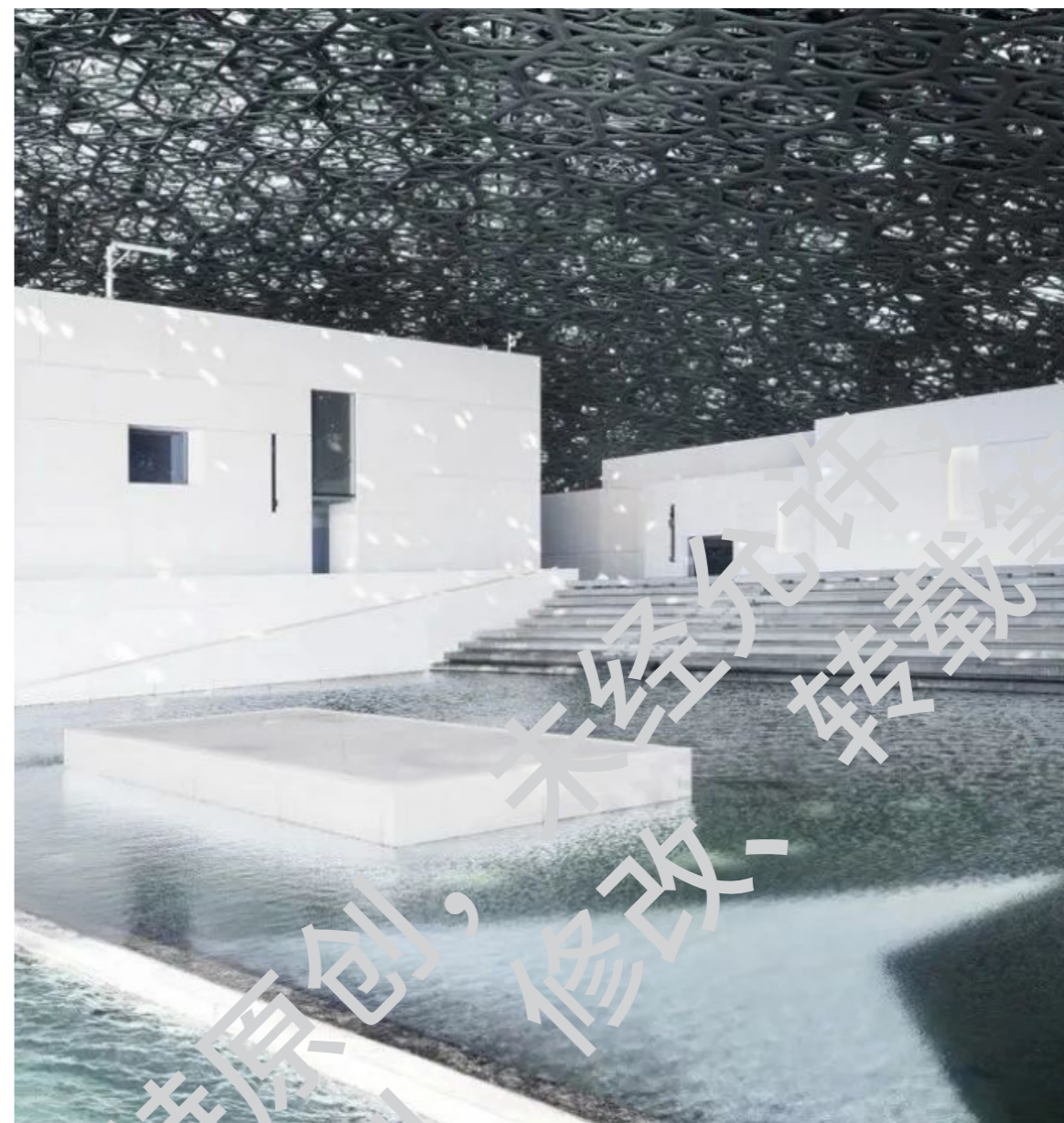
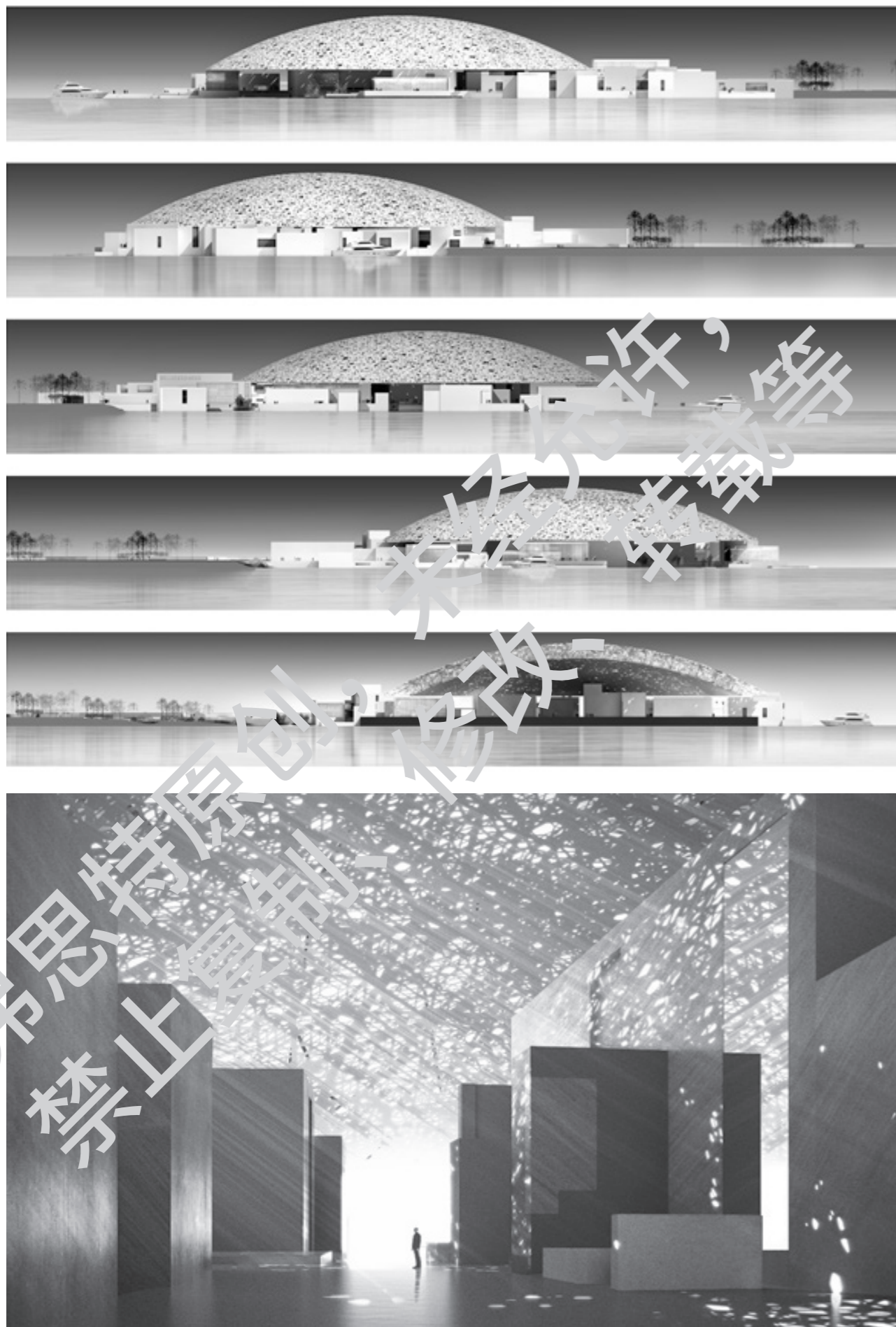
02. 阿布扎比卢浮宫



为了提高自己在艺术领域的地位，盛产石油的阿联酋希望能在本国阿布扎比“复制”一个卢浮宫，阿联酋支付 4 亿欧元购买卢浮宫 30.5 年的品牌使用权，与法国合建“阿布扎比卢浮宫”。

项目建筑占地 2.45 万 m²，包括六千 m² 的永久展厅和二千平方米的临时展厅，这是阿拉伯世界的第一座国际博物馆。





基于传统的阿拉伯建筑文化，普利兹克奖得主让·努维尔为阿布扎比卢浮宫找到了其独有的内涵。

通过对场地语境的考量，努维尔将其打造成了一座海洋中的“博物馆之城”。一系列鲜明的白色体量源于麦地那及阿拉伯地势低洼的房屋。这座“城市”共计有 55 栋独立建筑，其中包含了 23 间画廊。建筑群的立面由 3900 块高性能纤维混凝土（UHPC）构成。



04. 香奈儿高级手工坊



项目地址：加拿大多伦多
项目类型：文体建筑
建筑设计：槇文彦 (Fumihiko Maki)
建筑面积：11,600 m²
建成时间：2013 年



03. 阿迦汗中心

阿迦汗中心为欧美地区第一个展示伊斯兰文化的博物馆，阿迦汗中心是一个集教育、文化交流和深入了解穆斯林文明的九层高的建筑，也是阿迦汗基金会的新家，建筑旨在代表开放、对话和尊重多元主义观点的价值观。

- 建筑的大特色是其六个花园，庭院和露台，其灵感来自西班牙，北非和中东以及中亚和南亚的伊斯兰景观设计。在教育中心内屋顶，露台和庭院的花园空间，镂空的设计结合了纯天然遮阳的实用主义用途和来自世界各地阿拉伯社区文化的灵感，采用 UHPC 这种超高性能混凝土预制而成的栅格板块作为护栏，塑造了一个精致的“光明花园”室外空间。



项目地址：法国巴黎
项目类型：商业
建筑设计：Rudy Ricciotti
建筑面积：25,500 m²
建成时间：2019 年



项目地址：美国佛罗里达州
 项目类型：商业
 建筑设计：Touzet Studio
 建筑面积：879 m² (占地面积)
 建成时间：2017 年



香奈儿高级手工坊功能规划围绕时尚创作需求出发，采用垂直型布局，将香奈儿旗下高级手工坊集中在一起的同时，又能保持每个工坊的独立自主性，令各个工作空间的布局严谨而不失灵活。

整栋大楼采用挖削式构造，运用 UHPC 材料打造简洁悦目的外部框架结构，呼应织物面料的优雅质感。通过 UHPC 打造优雅精致的立面装饰，如同纺织品的世界的细丝纬线，结合超高性能混凝土的美学工艺与技术的可行性，将建筑物的落地完成度达到无与伦比的水平。



01. 迈阿密耐克旗舰店

在纽约 SOHO 开设全新旗舰店后，Nike 日前再次将店铺带到南海岸度假胜地 - 迈阿密。迈阿密是美国东南部的滨海城市，UHPC 的优异的耐候性能让地处海边盐雾环境及热带气候的 Nike 旗舰店立面装饰效果始终保持它亮丽的外表和坚硬的质地。

店铺占地面积高达 31,000 平方英尺，并分为两层空间。旗舰店南立面和西立面幕墙，取自 Nike Windrunner 的经典设计，以此向 NSW 的悠久历史致敬。其建筑表层纹理由超高性能混凝土镂空面板拼接而成，且包含了 Nike 的经典图案和 logo 形状。

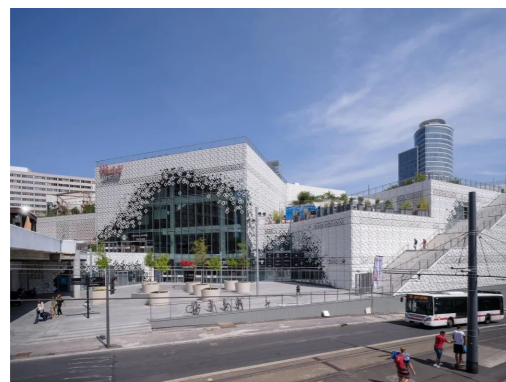


06. 南丹麦大学

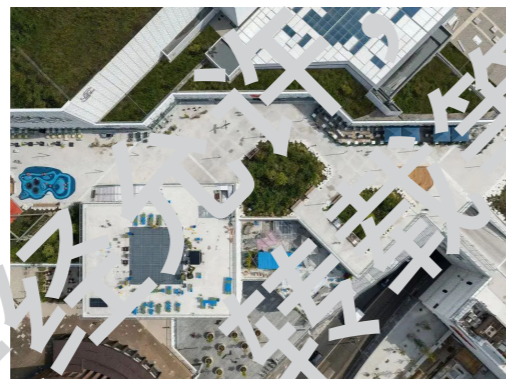
位于南丹麦大学的南丹麦大学技术学院，由丹麦著名的 C.F. Møller 建筑事务所设计。整体采用 UHPC 幕墙作为装饰板，外观设计采用大小不规则的圈诠释建筑之美，幕墙镂空设计风格比较大胆。

整个建筑物中的超高性能混凝土幕墙板由 7 种不同尺寸规格的板块组成，每种规格板块上的开孔的数量大小和分布都经过了优化，从而使遮阳和防眩目效果得到最好的平衡值，在减少了 50% 的阳光直射同时，也保证了从室内瞭望周边的环境仍具有良好的视线。

项目地址：丹麦 欧登塞
项目类型：文化建筑
建筑设计：C.F. Møller 建筑事务所
建成时间：1966 年



项目地址：法国里昂
 项目类型：商业
 建筑设计：MVRDV Architectes
 建筑面积：166,000 m²
 建成时间：2022 年



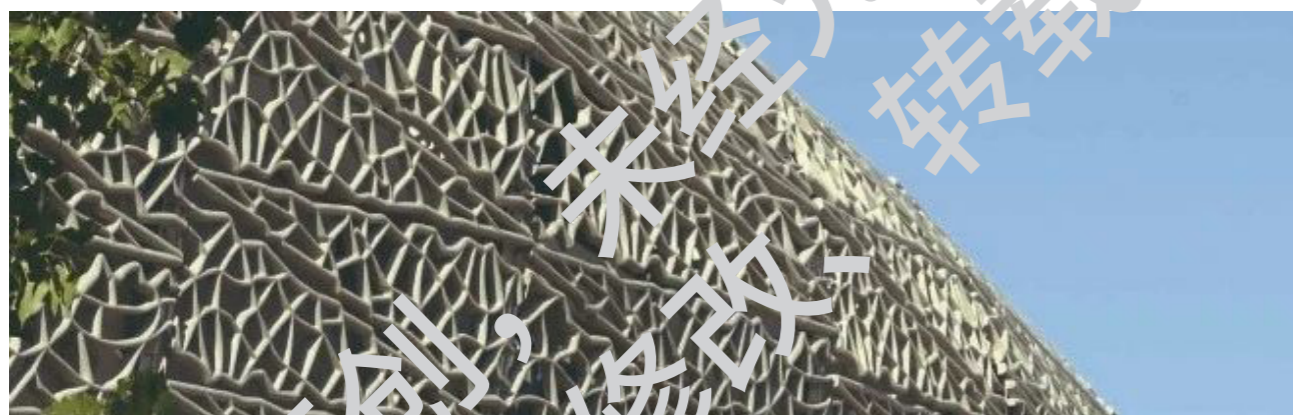
07. 法国里昂 Part-Dieu 购物中心

法国里昂 Part-Dieu 购物中心是欧洲最大的城市购物中心，建于 1975 年。

为了升级现有过时的综合体，设计团队对现有立面的进行当代更新。更新后的法国里昂的 Part-Dieu 购物中心，建筑渗透消融的双层幕墙设计采用了 UHPC 与玻璃两种材料，UHPC 面板图案遵循 70 年代原始交织矩形图案的设计，采用不透明半开孔、全镂空、单个格子三种形式，使购物中心的立面从混凝土微妙且自然地过渡到玻璃上，形成一种瓦解“蒸发”的感觉。

08. 巴黎 Jean Bouin 体育馆





项目位于法国里昂王子公园前，体育场采用了 23000 m² 的 UHPC 超高性能混凝土材料做外立面。

在这个项目中 UHPC 主要应用于立面、屋面，以及两者面之间交界处的镂空面板。整个项目采用了 300 块长三角形面板，1500 块嵌入玻璃的屋面面板，通过三个固定点与主框架连接，其镂空率高达 50%，使得整个场馆轻盈明亮又通透。环绕整个球场蜿蜒弯曲的 UHPFRC 网络设计和不但能为观众提供遮风挡雨的顶棚，还能缓和球场建筑的视觉冲击。

项目地址：法国里昂
项目类型：商业
建筑设计：MVRDV Architectes
建筑面积：166,000 m²
建成时间：2022 年

中国 UHPC 幕墙项目 China UHPC Curtain Wall Project

2.2// chapter 2

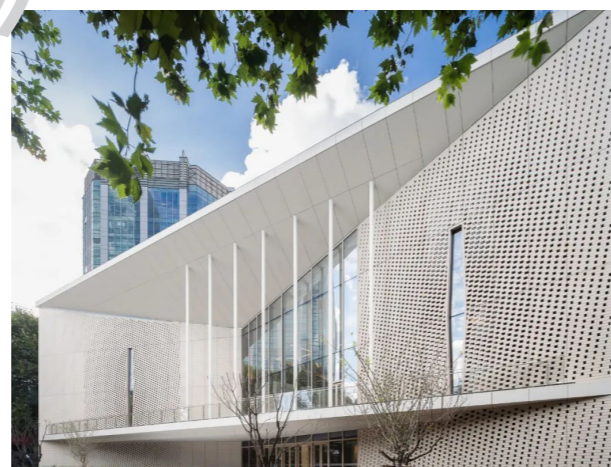
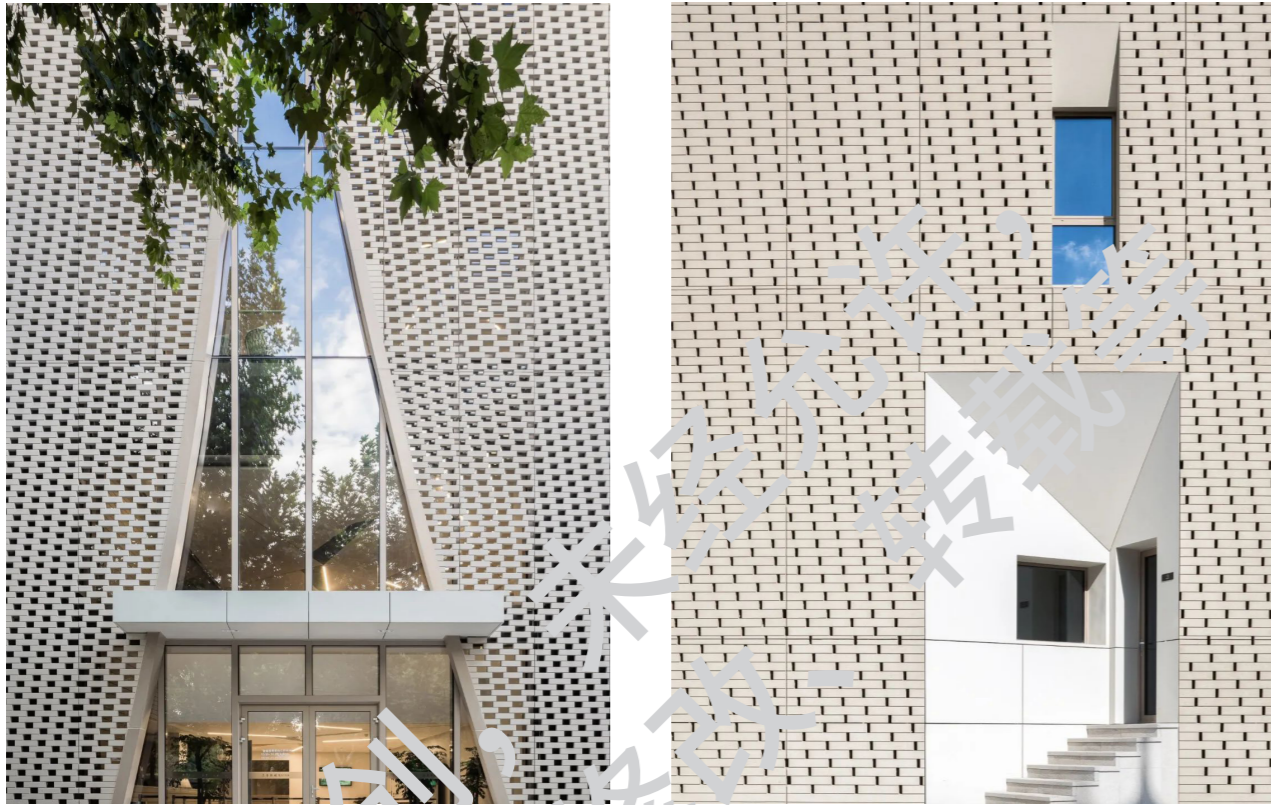


2.2.1 上音歌剧院 Shangyin Opera House

地处衡山路-复兴路历史文化保护街区内的上音歌剧院，由法国包赞巴克建筑事务所、同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司、法国徐氏声学、英国剧院设计咨询公司等中外团队联合设计的国内首个采用整体隔墙技术建造的全浮结构歌剧院。



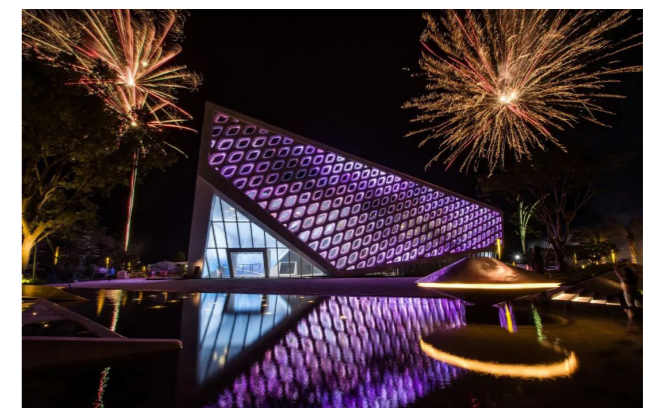
建筑立面材料采用 GRC 板和 UHPC 挂板，色调和尺度与周围历史街区建筑呼应。细节上局部墙面用 UHPC 镂空挂板，后面为玻璃幕墙，这种镂空的手法也是中国传统建筑元素窗棂的体现，通过虚实对比使立面更为丰富，旁边的两个立面上，UHPC 挂板像舞台的幕布一样打开，既和歌剧厅的建筑性质相呼应，又给大家带来无限遐想，希望看到幕后的室内空间。



项目位置 | 徐汇区，上海
 建设单位 | 上海音乐学院
 方案设计 | 2Portzamparc
 建筑设计 | 同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司
 建筑面积 | 31926 m²
 UHPC 面积 | 10000 m²
 建筑高度 | 54m
 项目年份 | 2019 年

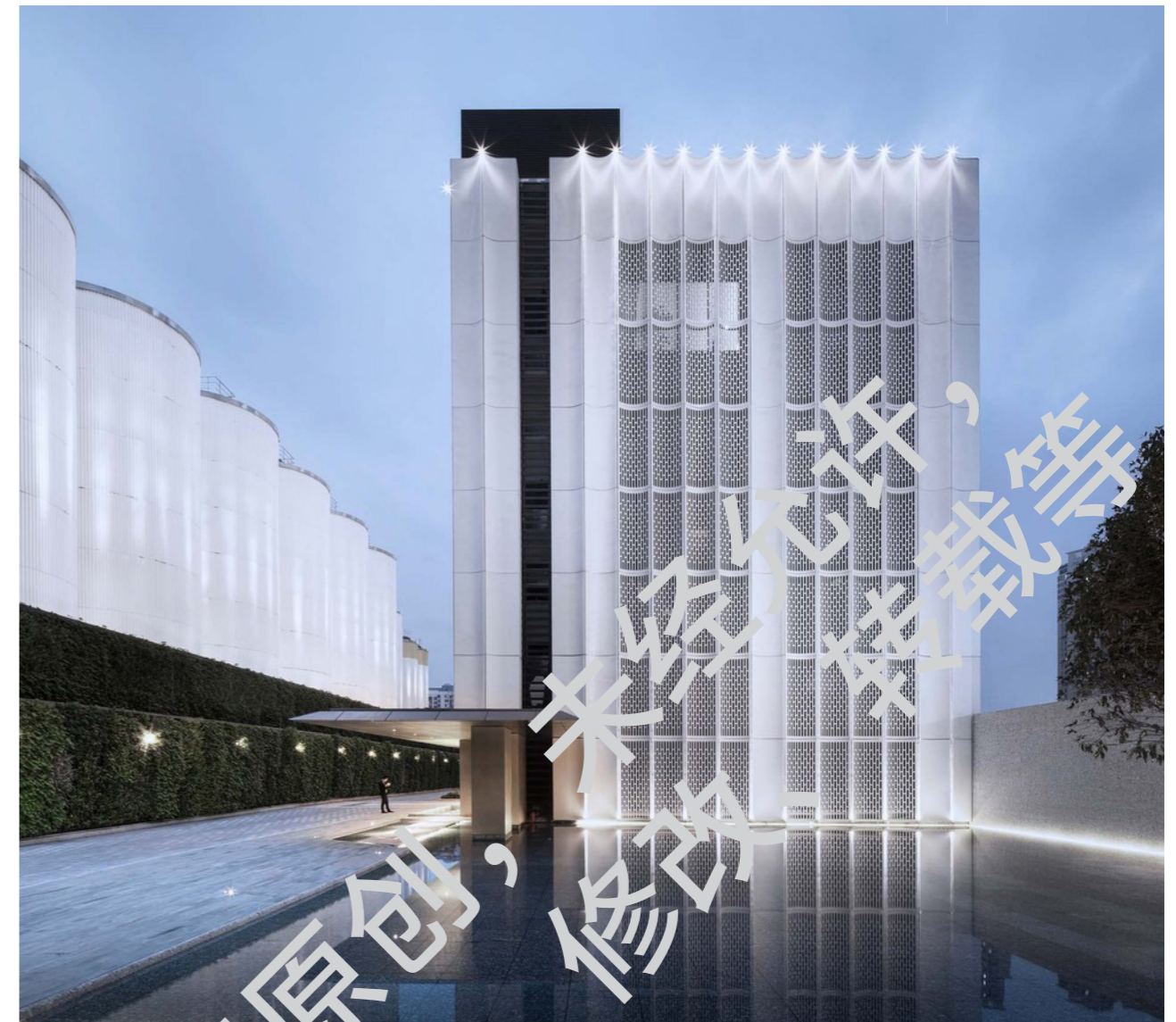
2.2.2

深汕科技生态园展示中心
 Shenzhen Shantou Science and
 Technology Ecological Park
 Exhibition Center



深汕科技生态园展示中心的蜂巢状格栅幕墙外立面创意理念似同布洛德博物馆的“面纱和穹顶”，利用“面纱和穹顶”这一概念，融合了展示、办公等多种功能。

项目位置 | 深圳，广东
 建设单位 | 深圳市投资控股有限公司
 方案设计 | 华阳国际
 建筑面积 | 7605 m²
 项目年份 | 2020 年

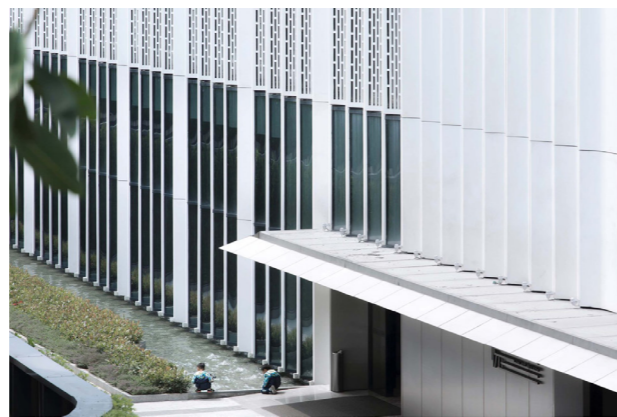


建筑立面包裹的“面纱”，采用多孔的如同蜂巢般的 UHPC 单元式构件组成，菱形的孔洞如一只只漂亮的眼睛，既可装饰着展示中心的建筑立面，亦可以过滤阳光直射的影响。

整个建筑物 UHPC 蜂巢幕墙面积达 8000 多平方米，单体构件通过在工厂预制成型，完成养护再运输到现场完成安装，是 UHPC 在建筑立面装饰的又一典型的应用。

位于深圳罗湖区的原金威啤酒厂列入工业遗产更新计划，旨在成为深圳最具文化氛围的综合体之一。

该项目通过工匠精湛的曲面造型工艺，体现出 UHPC 材料本色工艺与美学设计的完美融合，曲面镂空工艺与设计美学紧密关联。曲面造型工艺，体现出 UHPC 材料本色工艺与美学设计的完美融合；产品生产中要求工艺师具备最卓越的专业知识，生动诠释出设计师所追求的工业化美感。



项目位置 | 深圳, 广东
 建设单位 | 粤海集团
 方案设计 | BLACKhome
 建筑设计 | 深圳瑞和建筑装饰设计研究院
 建筑面积 | 4472 m²
 项目年份 | 2018 年

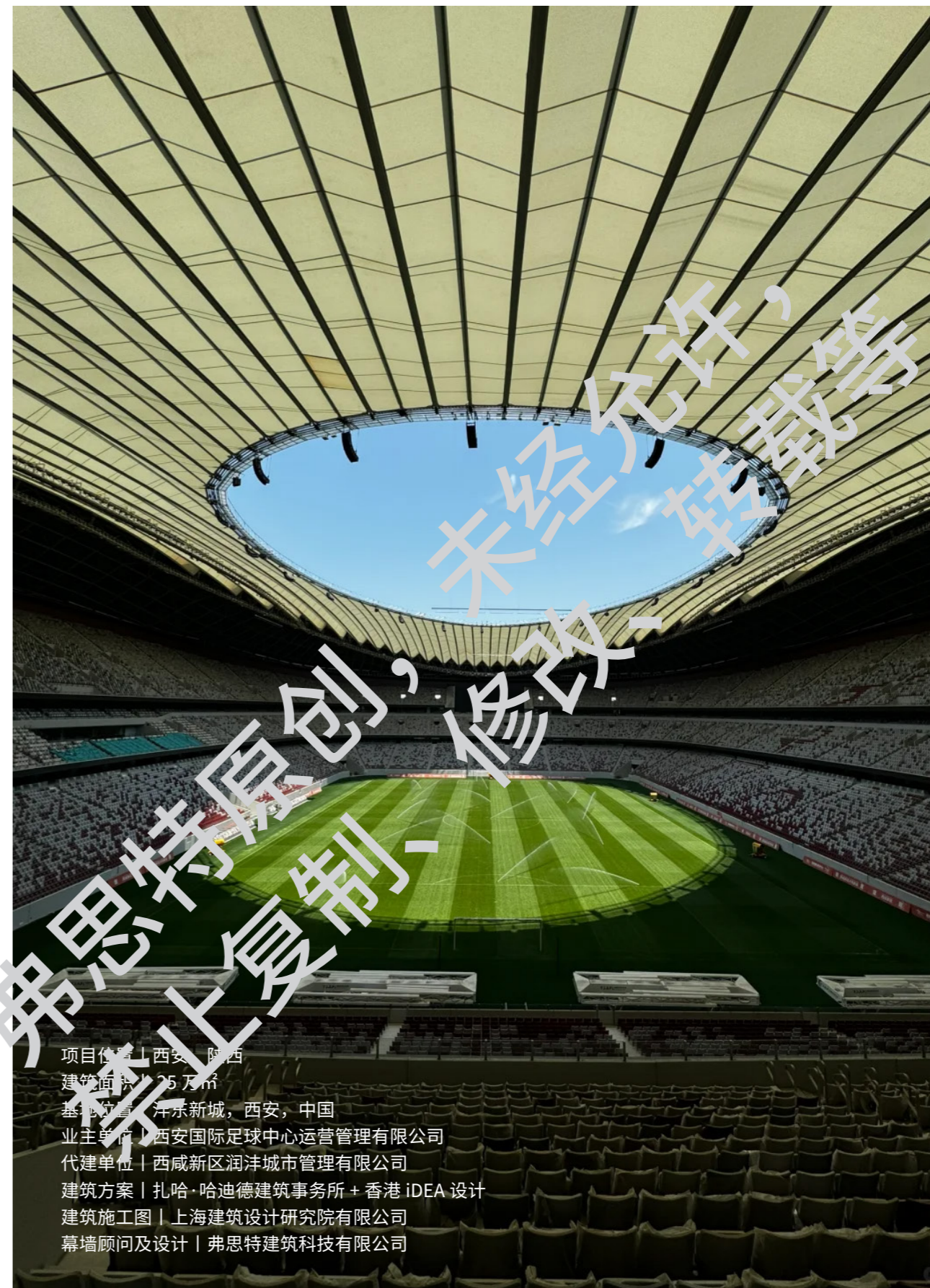
2.2.4 西安国际足球中心 Xi'an International Football Center

由 Patrik 领导的英国扎哈·哈迪德建筑事务所与高岩领衔的香港 iDEA 设计联合体联袂打造的西安国际足球中心，巧妙融合了西安“周秦汉”高台建筑的特色，通过大跨度屋檐与通高立柱的设计，将古城的文化底蕴深深镌刻于建筑之中，塑造了一座极具地域特色与历史韵味的文化地标。体育场的渐进式曲线设计勾勒出优美几何形态，选材上则深受西安传统兵马俑与砖块的启发，选用赤陶板作为主立面材料，彰显古都风韵。

面对立面面板的挑战，设计团队创新采用防陶 UHPC 板，覆盖 1 至 4 层中庭及室外吊顶，UHPC 面板分格精细，吊顶和端头线条造型遵循原分缝逻辑，适当合并分格，确保整体线条流畅。局部区域根据需要在折线位置进行合理分割，特别注意超过 5 米处增设分缝，避免居中，保持分缝连贯性。

在整个项目进程中，弗思特 (FORCITIS) 作为全过程幕墙顾问，深度参与，从方案设计到幕墙施工，全面剖析项目难点，针对性提出标准化、便捷化及工期优化建议，最终助力西安国际足球中心圆满竣工，成为融合历史与现代、传统与创新的建筑杰作。





项目位置 | 西安，陕西
 建筑面积 | 25 万㎡
 基地位置 | 沣东新城，西安，中国
 业主单位 | 西安国际足球中心运营管理有限公司
 代建单位 | 西咸新区润沣城市管理有限公司
 建筑方案 | 扎哈·哈迪德建筑事务所 + 香港 IDEA 设计
 建筑施工图 | 上海建筑设计研究院有限公司
 幕墙顾问及设计 | 弗思特建筑科技有限公司

弗思特原创，未经允许，禁止复制、修改、转载等

弗思特原创，未经允许，禁止复制、修改、转载等



2.2.5
其他建成案例
Other Built Cases

01. 上海恒基·旭辉天地



恒基·旭辉天地是让·努维尔在中国的首秀作品，也是中国首个光影建筑作品。

建筑内部大胆运用大面积炸裂的红色，2500个由UHPC制作而成的花钵载满花草、灌木和绿树，形成垂直绿化带，阳光和风自然地流淌进来感受着红绿交替的热烈与生机。



项目位置 | 黄浦区，上海
建设单位 | 旭辉集团、恒基兆业地产集团
建筑设计 | Ateliers Jean Nouvel
建筑面积 | 44481 m²
项目年份 | 2021 年



项目位置 | 南京, 江苏
 业主单位 | 南京园博园
 建筑设计 | 中国建筑设计院
 室内设计 | CCD
 项目年份 | 2021 年



02 南京园博园悦榕庄酒店

- 南京悦榕庄酒店是江苏首家悦榕品牌酒店，也是国内第二家深坑酒店。悦榕庄酒店在设计上结合矿区的天然地理特性和工业历史遗存，采用钢结构将建筑凌空高筑于矿谷云雾之上。场地中留存了自然崖壁肌理，以及呈现切割状态的台地地貌。主体建筑位于矿谷东侧，凿壁而建，依势蜿蜒，壮丽的雾瀑景观自峭壁顶部倾泻而下，将汤山本地废弃石灰岩矿坑的光、石、林、雨等元素解构重塑，构造出一处非常壮观的“矿谷秘境”。

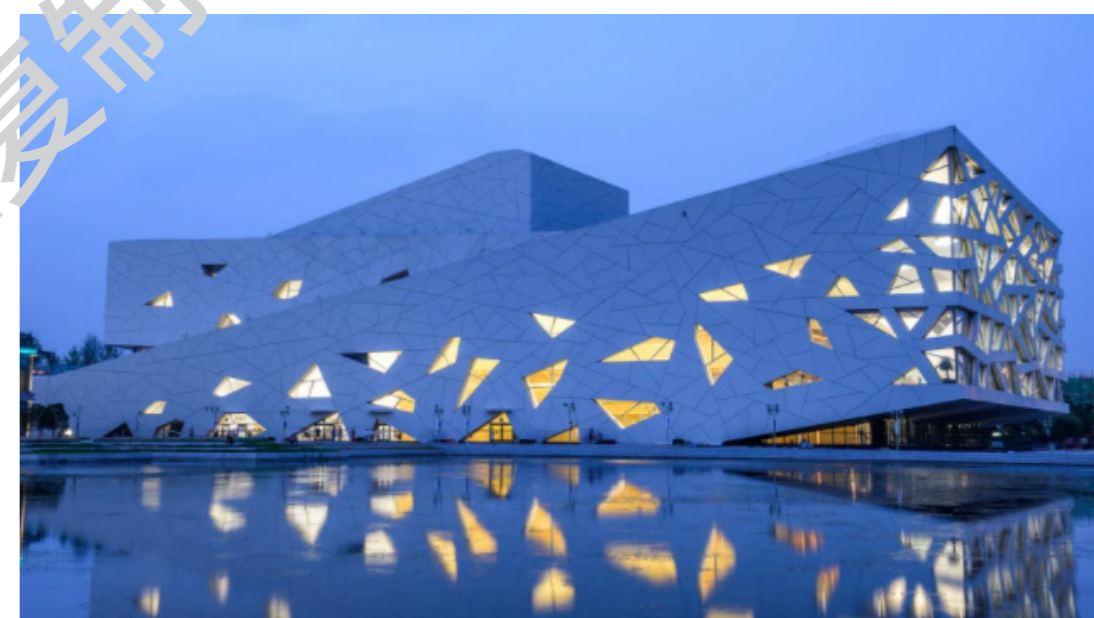
酒店外幕墙的 UHPC 产品为此设定了负向缓凝工艺来模拟自然的碎石石壁效果，在缓凝工艺下冲洗表面方便精确控制，露石装饰效果自然，且对混凝土其他部位没有任何伤害，不会影响幕墙构件的结构和安全性。

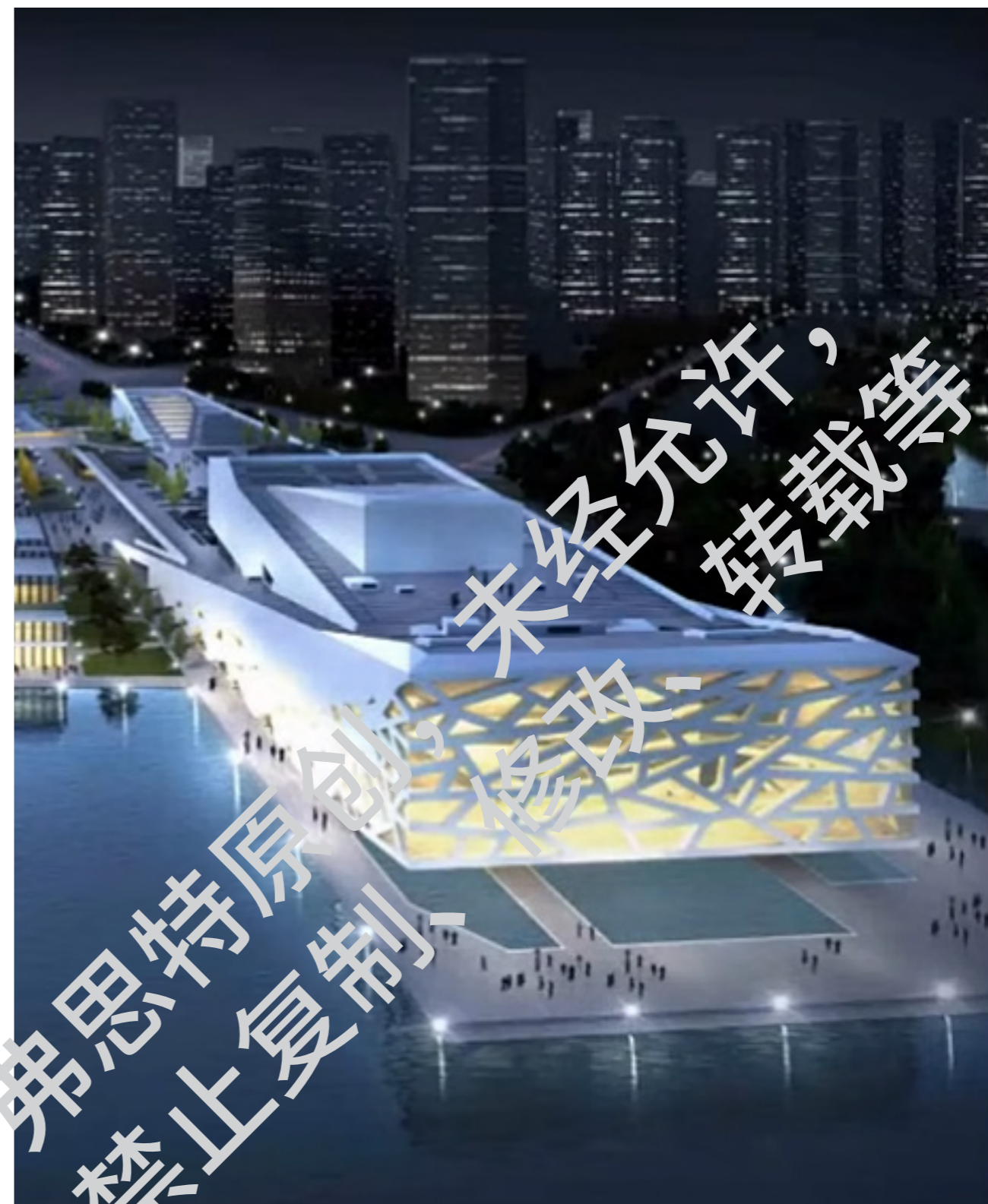




03. 杭州余杭大剧院

项目位置 | 杭州 浙江
建设单位 | 杭州余杭城市建设集团有限公司
方案设计 | Henning Larsen Architects
建筑设计 | 杭州市建筑设计研究院有限公司
建筑面积 | 52,46 m²
UHPG 面积 | 20000 + m²
建筑高度 | 39.6m
项目年份 | 2019 年





杭州余杭大剧院是我国建筑中对 UHPC 应用的首例，建筑整体采用“框剪+型钢混凝土”的结构形式，建筑立面则采用 UHPC 平板材包覆，不规则的白色几何形状，巧妙地拼接成冰面裂开时的纹路，完美实现建筑师的设计立意。这座总面积七万平米的余杭大剧院，UHPC 平板材的用量达两万多平方米，作为建筑立面应用项目来说，在全球范围也是屈指可数的。

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

共塑美好城市

A Better Future For Cities

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

3

UHP curtain wall design and production process control

UHPC 幕墙设计与生产工艺管控



UHPC 挂接系统设计 Design of UHPC Hanging System

3.1 // chapter 3

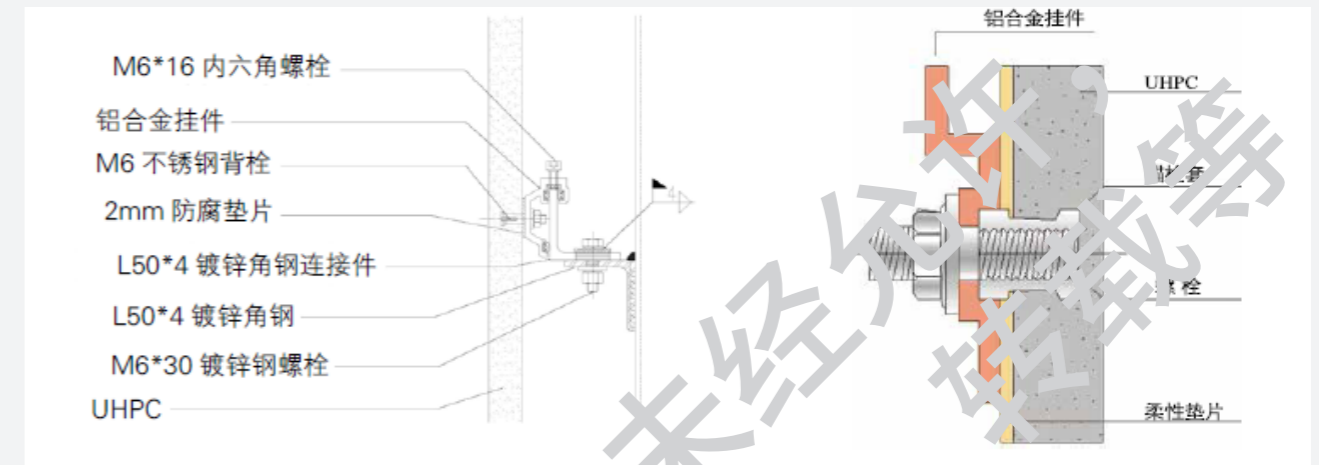
3.1.1 UHPC技术参数 UHPC Technical Parameters

性能及要求 (仅针对外墙挂板)

性能指标	指标		
	碳纤维	有机纤维	玻璃纤维
28 天抗压强度 (MPa)	≥ 150	≥ 120	≥ 150
28 天抗折强度 (MPa)	> 20	> 15	> 20
28 天抗拉强度 (MPa)	≥ 7.0	≥ 6.7	≥ 7.0
容量 (kg/m ³)	≥ 2400	≥ 2300	≥ 2400
氯离子扩散系数 (x10 ⁻¹⁴ m ²)	2~20*10 ⁻¹⁴	2~20*10 ⁻¹⁴	2~20*10 ⁻¹⁴
流动性 (mm)	初始值		
	30 分钟保留值		
吸水率 (% (28 天))	< 5%	< 3%	< 7%
弹性模量 (Gpa)	≥ 50	≥ 41	≥ 40
收缩 (x10 ⁻³)	7 天	未做过测试, 数据无法保证	
	28 天	未做过测试, 数据无法保证	
最大骨料粒径 (mm)	< 1.18	< 1.18	< 1.18
耐磨度 (mm)	未做过测试, 数据无法保证		
莫式硬度	未做过测试, 数据无法保证		
耐污染性	耐污染总和	未做过测试, 数据无法保证	
	最大污迹深度 (mm)	未做过测试, 数据无法保证	
表面防护	采用全融浸瓷材料防护效果最佳, 保证 50 年		

3.1.2 背栓式安装 Back bolt installation

背栓式挂接仍然是固定成品 UHPC 板材的选择。

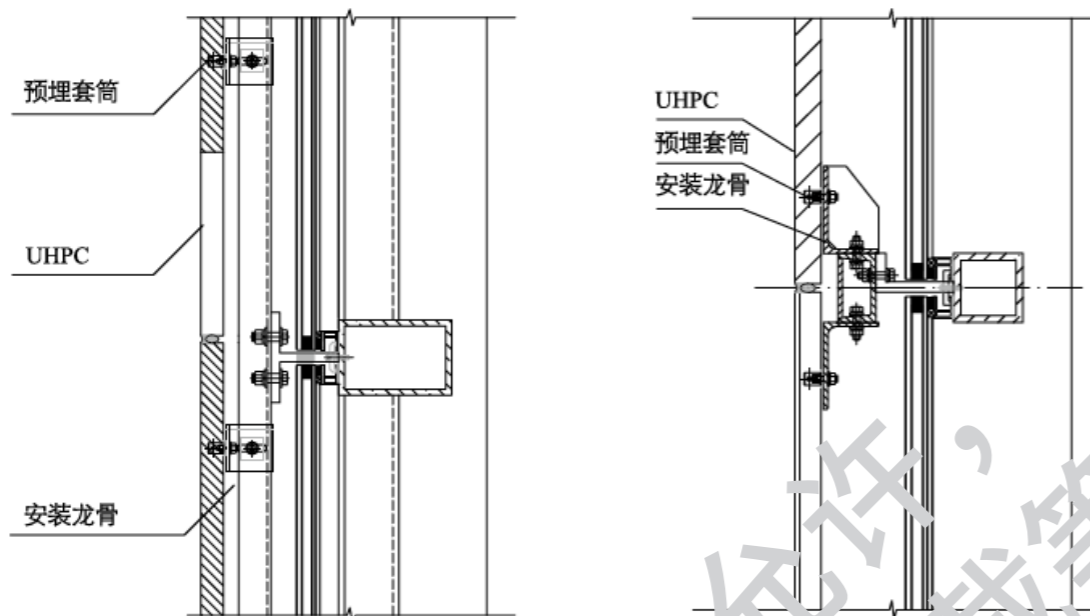


3.1.3 预埋套筒安装 Pre embedded sleeve installation

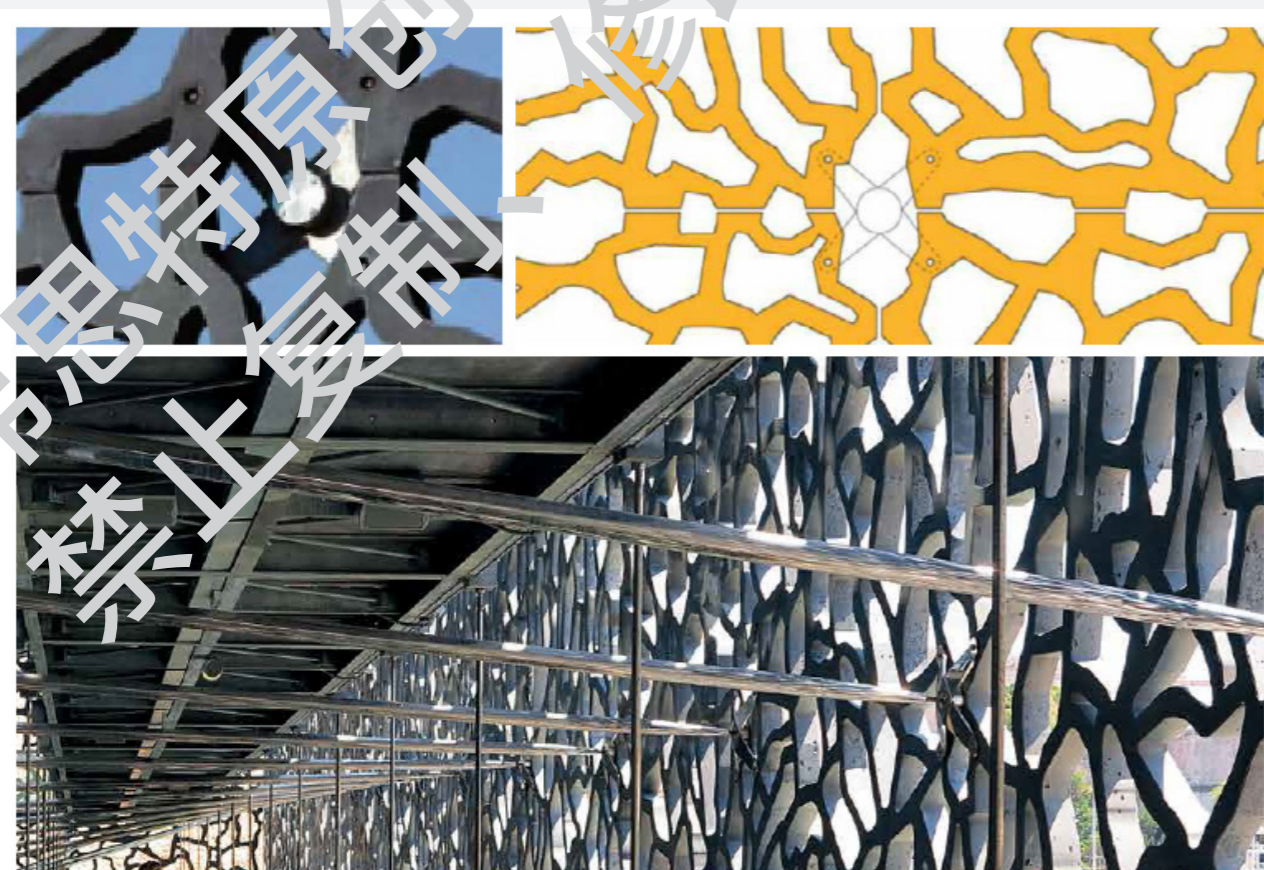
以锚栓预埋于板块中, 锚栓套筒埋入板块中的可靠性是关键。



* 预埋套筒

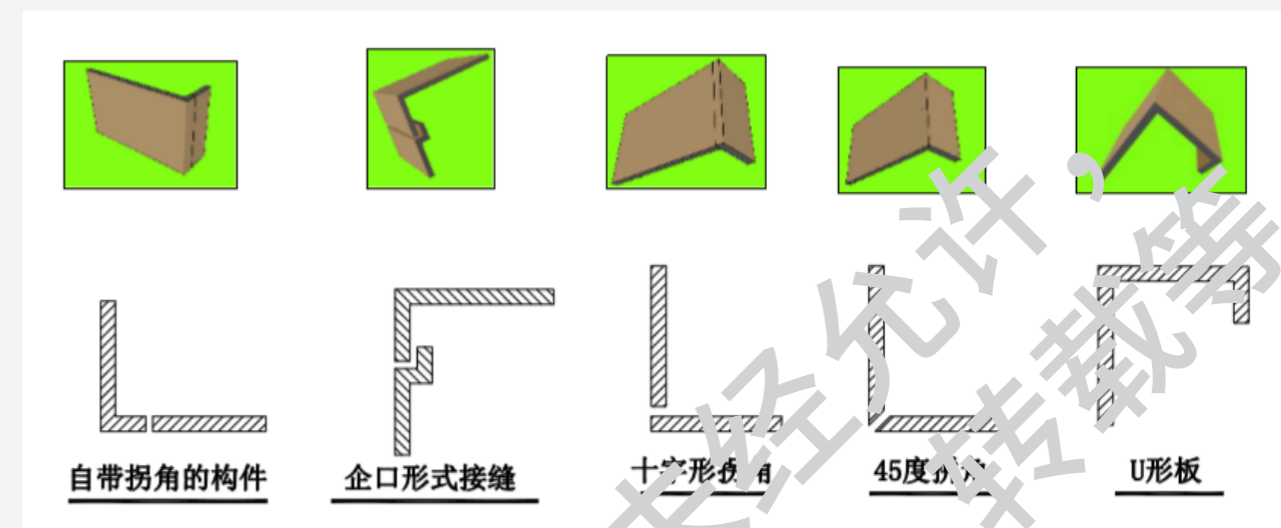


3.1.4
自承重点爪式安装
Self supporting key clasp installation



3.1.5
UHPC的标准板块转角形式
The standard plate corner form of UHPC

一切板块的转角形式，都是根据建筑师对建筑的整体思想理解，按照适合建筑文化观规划的。



3.1.6
背负钢架的合理设置
Reasonable setting of carrying steel frame

UHPC板块在转运、吊装、安装环节存在应力集中，这个时候我们使用钢架，能解决两个问题

- 1、缓解在制作环节对面板体的损伤，跟结构合理的去安装、去匹配。
- 2、背负钢架主选择的时候考虑：受力安全、构造合理。

* 注明：1、在板块的设计计算过程中，不能只考虑安装后的静力分析，异型板要考虑吊装、翻转等特殊工况下的动态受力安全。2、在进行节点设计的时候，需要综合考虑板块的受力需求、安装空间、以及是否需要局部加厚。在进行曲面板块设计时，不一味追求板块大小，综合考虑制作难度、成本等因素。

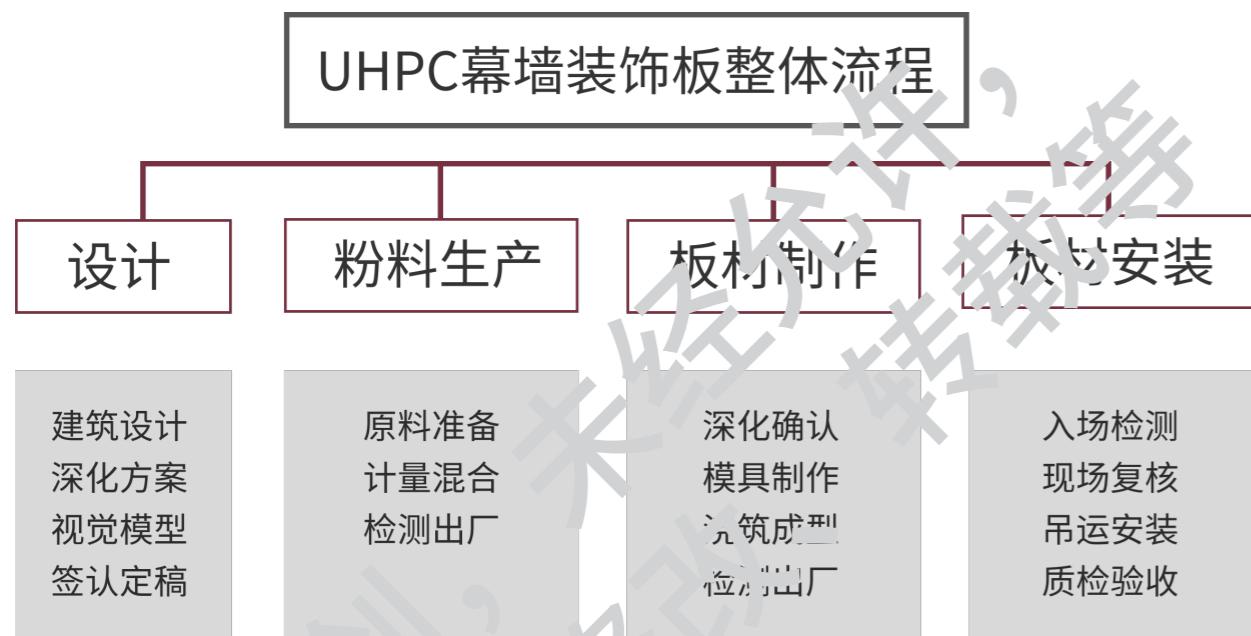




UHPC 幕墙装饰板的生产流程

Production process of UHPC curtain wall decorative panel

3.2 // chapter 3



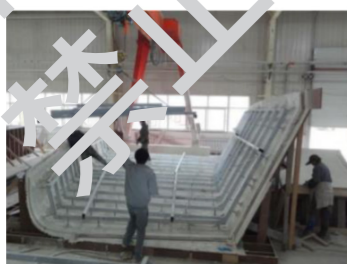
1. 模具制作



2. 模具成型



3. 产品喷射



4. 钢架定位



5. 起吊翻转



6. 转运养护

超高性能混凝土对原材料的品质要求高，其配制受众多因素影响，制备技术还是一种高技术，需要专业人员优选原材料和配比，需要以干混料供应，才能保证工程质量。

本篇章生产工艺及管控要点相关资料来源于：西安国际足球中心项目 UHPC 供应商汇辽集团

UHPC 生产工艺管控要点

Key points of UHPC production process control

3.3 // chapter 3

01. UHPC 原材料质量控制：

UHPC 原材料的质量检测报告

UHPC 原材料的原产地证书，进口证明文件

UHPC 原材料厂家提供的材料力学演算报告

UHPC 原材料成熟可靠，全球范围建筑装饰应用超 10 年，建造 5000 m² 的大型公共项目案例超 10 个

UHPC 第三方工程顾问（结构工程师资质，同时具备大型 UHPC 工程经验超 10 年）的安全演算报告

02. UHPC 预制生产工厂要求：

通过 UHPC 原材料厂家审查、具备授权加工资质，具有 UHPC 原材料厂家的授权确认书

具备 UHPC 生产必要的设备、场地

生产加工的工人班组具备 UHPC 生产经验

03. UHPC 产品标准：

表面颜色和质感（哑光、镜面、纹理等），由业主与建筑师在批量生产前通过小样形式确认

板材厚度：UHPC 构件厚度由设计院编制的计算书决定，这个厚度要能够满足各种荷载作用，并同时满足操作荷载（安装，运输，更换）。在以上条件下力争轻薄，以便简化处理
经建筑师同意后，UHPC 构件的最终形状应由设计院经过结构及施工计算后确定

表面防护：需采用原材料配套的渗透型防护剂，以应对外界环境的污染和侵蚀

04. 原材料搅拌工序管控要点：

使用前，应检查外加剂是否有沉淀物

如果已有固体物析出，应通过每天使用气管吹气使其保持均匀性和粘稠度

颜料按配比，使用高精度电子秤称量（精度 0.1 g）

严格按配比进行打料搅拌

先称好水倒入打料桶内，并倒入外加剂和颜料，然后缓慢均匀的倒入 UHPC 粉料，
打料时间不得少于 3 min，确保浆料搅拌均匀

每天首桶搅拌完成后，质检检查浆料的流动性（流动度 2-3.5 环（9.5—12.5 cm）

每天打料完成后要将打料桶、打料机、工作区域清理干净

05. 生产前准备工作管控要点：

提前准备好当日需要生产的图纸

制作前班组自查模具是否标示清晰，编号明确且有品质盖章确认

模具内干净整洁、没有料渣，挡边顺直、无变形、无破损才可生产

待生产模具均匀的喷好脱模剂

准备好当日生产的钢架

准备好设备和工具：搅拌机、喷射机正常运转，毛刷、灰刀、滚筒、预埋件

面积大的构件搭设好脚手板，不准人员进入模具内踩踏操作

操作空间流畅

06. 喷射工序管控要点：

喷射必须由有经验的喷枪手进行操作，喷射之前确认气压是否稳定、喷射机是否能正常运转，
确认合格后才可开始作业

面层喷射过程中，注意使用吹尘枪将积砂吹走，拐角处的积砂使用手将积砂的浆料取出，重新填入砂浆

面层喷射完成后，面层晾浆表干后喷射结构层，防止出现滑浆、干透等不良现象
(晾浆时间：夏季≤ 30 min，冬季≤ 60 min)

结构料喷射之前进行纤维含量测试

面层喷射 2-3 mm，结构层每次喷涂 4-5 mm，每次结构层喷射必须交叉喷射，确保纤维均匀分布，
喷射完成后使用滚筒滚压密实，达到图纸规定的厚度，避免局部过厚或过薄

最后一层结构层喷完后，20min 之内将钢架放好调整位置，30min 内将预埋包做好，
防止最后一层干透后出现预埋包分层

生产班组根据人员数量和工作熟练度合理的安排最后一层一次性的喷射数量，
防止来不及摆放钢架制作预埋包

使用手将预埋包的砂浆完全将预埋件与结构层压实粘牢，确保无漏压分层等现象

预埋包与结构层交接处过渡自然、密实，无分层感
严禁一次性将砂浆放在预埋件上，无压实就将预埋包做好，导致预埋包和结构层、
预埋件粘结不牢，有脱落风险

产品制作完成后，使用彩条布将产品背面盖住，防止产品失水过快导致开裂、预埋包分层等不良现象

工人撤离回指定区域，并清理好工作现场卫生

07. 脱模工序管控要点：

可以在 18-24 小时后（根据天气状况）对 UHPC 产品进行拆卸脱模

脱模之前质检检查产品背面有无异常，再次确认钢架的焊接和螺栓是否全部连接到位

需要使用行吊和脱模吊带，模具挡边必须完全解除，以确保 UHPC 产品的安全脱模

预先清理好摆放产品的场地和准备好运输设施

脱模时严禁用力砸敲模具

只能用橡胶锤准确地敲击模具使之与产品脱离，而不是用力砸敲，不能总在一个点敲击

脱模后要检查产品有没有受损。有没有裂缝，要检查细微裂缝

脱模后须马上清洁模具，避免灰浆硬化粘在模具上不好清理，下次组模时形成缝隙

08. 养护及后处理工序管控要点：

产品在养护期间不能承受超负荷（摆放方式考虑），以免产生永久的损害

大型产品，两点支撑就会塌腰，形成弯曲挠度

养护期间要避免污染，防止托架上的铁锈、不干净的灰等

养护过程中要防止边角磕碰

09. 修补后处理工序管控要点：

首先清理干净产品四周的纤维毛刺

清理干净破损处的水泥块和杂质

用清水冲洗干净待修补区域表面的浮灰

干燥后使用界面剂刷在待修补区域

采用工厂专用的同色修补材料，对局部进行修补

干燥养护 6h 后可以进行下道表面防护喷涂工序

10. 喷涂拉色工序交底要点：

拉色材料由研发部专人配置，使用高精度电子秤计量色浆（精度 0.01 g）每次配的量可喷涂 2000 m²以上，最大限度的减少由批次不同而造成的色差，使用前将拉色防护充分搅拌均匀再次使用

将修补区域打磨平滑，无明显缺陷，如果还有较大缺陷，返回修补工作流程重新修补

将打磨的灰尘等异物用毛刷或气管清理干净

再次检查构件表面是否干燥、有无缺陷；满足要求后方可进行下一步施工

将气压调整到 0.35~0.45 MPa 之间，使用口径 1.5 mm 的喷枪喷涂表面防护剂，要求厚薄均匀无遗漏部位并且无流挂现象

待防护剂渗透并干燥后，对照样板检查完成面的观感、颜色是否符合要求，如有问题应返工处理，合格则可进行其他区域的喷涂作业

作业时要做好周边的成品保护，谨防污染

作业后立即清洗喷涂工具 / 设备，剩余的防护剂可倒回原容器内

11. 成品验收交底要点：

出厂检验项目包括外观、尺寸偏差

外观检验：在距产品 2m 处观察产品整体无明显外观异常

使用封样小样板与产品进行比对无明显色差，也可采用色差仪进行比对，色差仪色差范围为 $\Delta E \leq 2$

使用校准后的卷尺、直角尺等工具对产品的外型尺寸，背附钢架尺寸再次进行检验

以上检验都合格后，检验人员贴蓝色标签，并盖章标识

具体验收标准参考成品验收规范

12. 成品养护要点：

成型——超高性能混凝土试件的成型应符合下列规定：

超高性能混凝土拌合物宜从试模的一侧开始浇筑，一次浇筑完毕，浇筑后可用橡胶锤轻敲侧模排除气泡

对于扩展度小于 650 mm 的超高性能混凝土拌合物，浇筑完成后，可根据需要将试模置于振动台上振动以排除气泡，振动时间宜为 10 s-15 s

成型过程中不得进行插捣

干燥养护 6 h 后可以進行下道表面防护喷涂工序

养护 —— 超高性能混凝土试件的养护应符合下列规定：

试件成型后，应立即在试模表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失

自然养护类超高性能混凝土试件应按 GB/T 50081 的规定进行标准养护

热养护类超高性能混凝土试件应进行标准蒸汽养护

试验方法 —— 试验龄期

试件若采用自然保护，龄期不应小于 28 d，试件若采用蒸汽养护，龄期不应小于 7 d

试验方法 —— 检验项目：性能检测与验收（国标、美标）

型式检验、出厂检验和交货检验的检验项目应符合表 10 的规定

* 表 10 超高性能混凝土检验项目

项目	型式检验	出厂检验	型式检验
扩展度	√	√	√
扩展度经时损失	√	×	○
扩展时间	√	×	○
抗压强度	√	√	√
抗渗性能	√	×	√
弹性模量	√	×	○
抗弯强度	√	√	○

T/CECS 10107---2020

* 表 10 超高性能混凝土检验项目（续）

项目	型式检验	出厂检验	交货检验
氯离子扩散系统	√	√	○
干燥收缩	√	×	○
早期自收缩	√	×	○

注：“√”为必检项目，“×”为无需检验项目，“○”为可检验项目，由设计单位或供需双方协商确定

13. 包装运输工序要点交底：

生产管理人员与现场进行沟通，使产品的打包顺序与安装顺序相符，减少搬运次数

打包之前确认产品侧面有无质检盖章，正面背面无明显外观异常

确认合格后的产品用塑料薄膜缠绕，并使用气泡膜缠绕外层，确保产品在运输过程中不被污染

打包装架时，应避免产品直接落在钢架上，支撑点应为背附钢架的位置，应尽可能避免产品在打包过程中出现缺口、开裂等不良

两个产品需要叠放时，接触位置一定要放置缓冲材料。所有包装、缓冲和支撑材料不能对产品造成污染

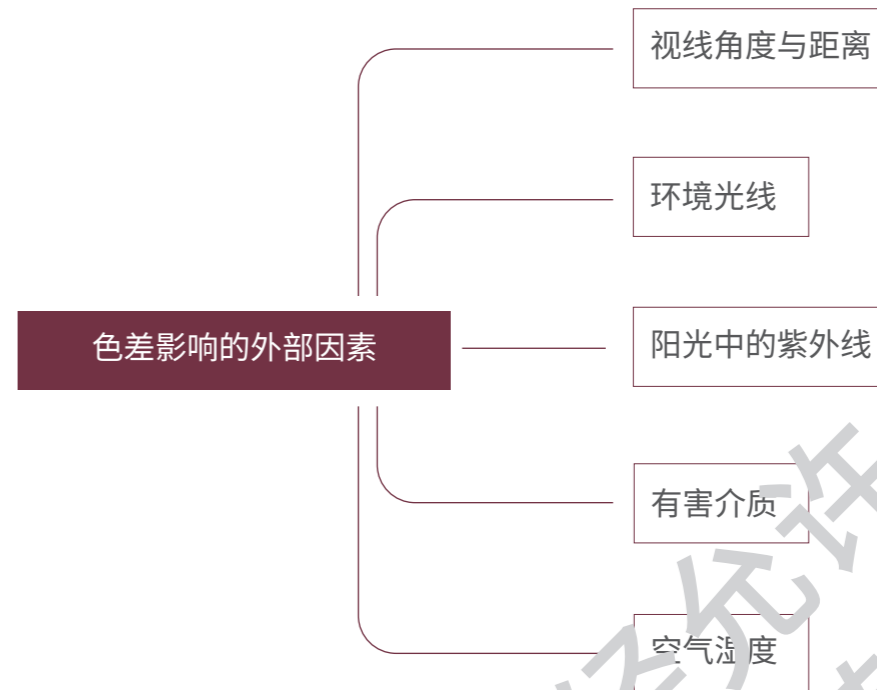
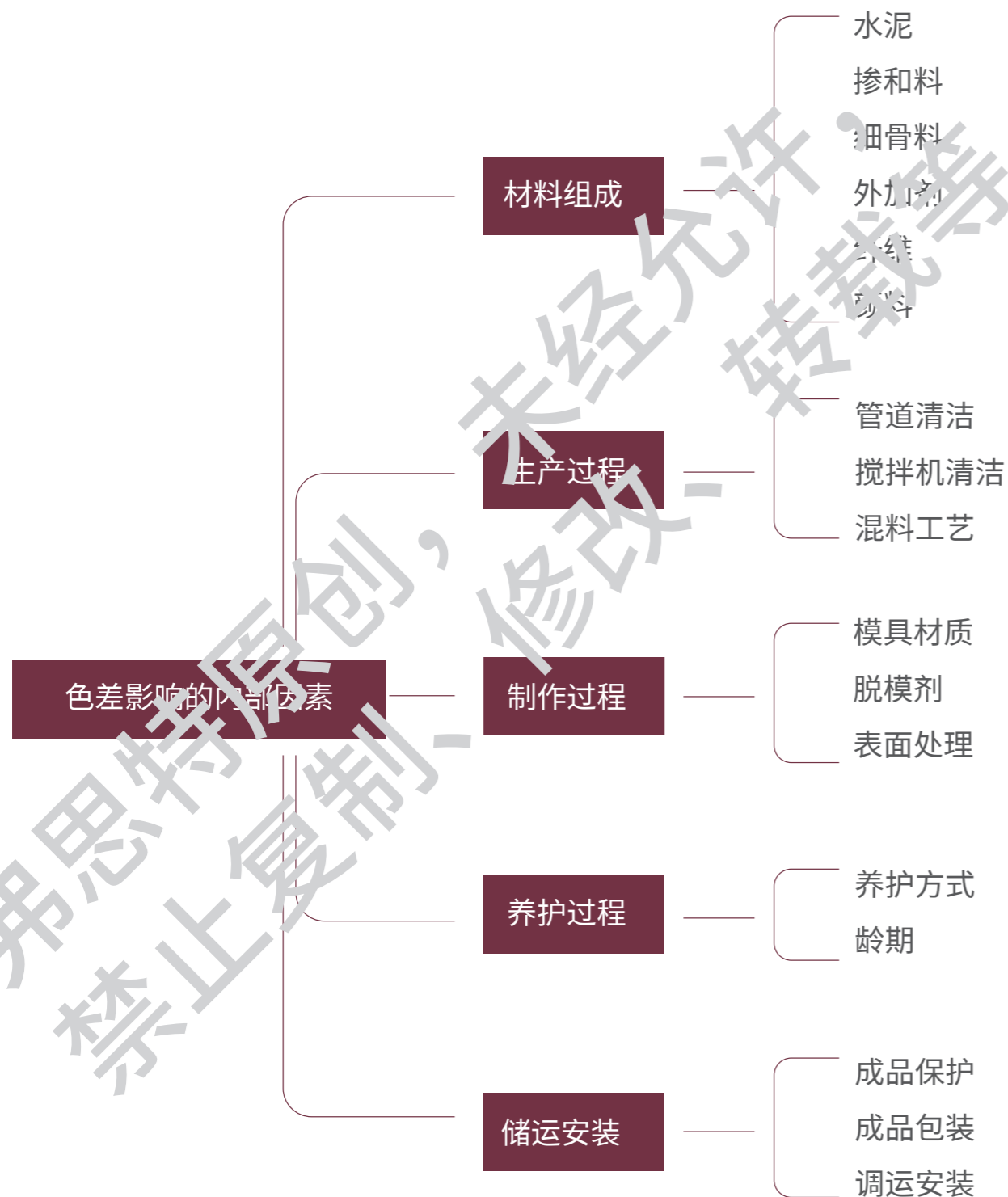
在捆扎带和产品之间添置缓冲物，减小磨损，捆扎带最好用尼龙产品，应避免捆扎过紧以免导致板的开裂和永久性变形

装架好的产品，质检再次确认打包的方式和缓冲物是否已经全部放置到位，确认合格后的货架贴上绿色标签并悬挂清单卡

UHPC 色差控制措施

UHPC color difference control measures

3.4 // chapter 3



更多影响因素:

1、从材料上

对水泥和掺合料，做入厂白度检测。同一工程的或同一批量的制品，选用同一品种、同一品牌号水泥，用相同原料制造的同标号水密，最好是同一批号。

2、外加剂需洁净无杂质

3、避免选择镀锌纤维

4、颜色

选择知名品牌

5、成品保护与运输

珍珠棉或气泡膜全方位覆盖保护；
 保持运输车辆或船运集装箱干燥整洁，避免其他物质污染粉料成品；
 长途运输车辆配备防雨篷布，避免运输过程中淋雨受潮；
 成品堆放通风干燥处，避免淋雨；
 安装过程及验收后其他工序交叉施工，避免污损。

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

共塑美好城市

A Better Future For Cities

弗思特原创，未经允许，
禁止复制、修改、转载等

4

+

Common problems about UHPC

UHPC 常见问题



UHPC 常见问题

UHPC UHPC Common Problems

4.0 // chapter 4

01 UHPC 项目表面耐脏吗？

UHPC 是一种致密性非常高的材料，其渗透性极低，因此污渍不易侵入构件内部，大多只会停留在表面。对于 UHPC 表面的脏污，如果使用了高质量的保护剂，并且定期用水枪进行冲洗，通常可以保持较好的清洁状态。

由于其致密性很好，一旦污渍深入则较难处理。但如果选用优质的产品并配合良好的保护剂，UHPC 表面的抗脏污性能会远优于其他同类产品。因此，在选择 UHPC 材料及其保护剂时，建议选择品质较高的产品。

02 为了实现零气泡、零瑕疵的技术手段或代价，是否值得？

实现 UHPC 构件的零气泡、零瑕疵通常需要采用精密的生产工艺和严格的控制措施。

这可能包括使用真空脱气、高压振捣等技术来确保混凝土内部无气泡，以及对原材料的质量严格把控来避免瑕疵产生。

这些技术和工艺可能会增加生产成本，但从长远来看，它们能够提高产品的质量和耐久性，减少维护和修复的成本。因此，对于追求高品质和长寿命应用的项目而言，这样的投入往往是值得的。

03 UHPC 材料致密，本体刚性防水可以满足工程需求。

荷叶效果能持续多久？

荷叶效果：UHPC 材料通过表面处理可以达到类似荷叶的超疏水效果，这种效果可以使表面不易沾染灰尘和污渍。荷叶效果的持续时间取决于表面处理的质量以及使用环境。在理想情况下，良好的处理方法可以使荷叶效果持续多年。

防护材料的耐老化、粘附能力如何？

- 防护材料：UHPC 表面使用的防护材料应当具有良好的耐老化性和较强的粘附力，以保证长期保护效果。耐老化性能好的防护材料可以有效延长荷叶效果的持续时间。

重复涂刷的频次与成本如何？

重复涂刷：重复涂刷防护材料的频次取决于实际使用条件和防护材料的性能。一般而言，每隔几年可能需要重新涂刷一次，具体间隔时间应参考防护材料制造商的推荐。重复涂刷的成本主要取决于材料价格、人工费用以及涂刷面积。

04 GRC 和 UHPC 有什么区别？

GRC (Glass Fiber Reinforced Concrete, 玻璃纤维增强混凝土) 和 UHPC 虽然都是高性能的复合材料，但 UHPC 被认为是 GRC 的一种升级版本。

吸水率：UHPC 的吸水率通常低于 2%，远低于普通混凝土和大多数 GRC 材料。这意味着它具有更好的防水性能和更低的维护要求。

耐久性和耐污性能：UHPC 因其独特的微观结构而展现出更佳耐久性和耐污性能。

生产过程：UHPC 的原材料通常是按照特定配方预先配比好的，到达工厂后只需加入适量的水即可进行搅拌，这减少了人工操作导致的不稳定因素，提高了成品的一致性和质量。

UHPC 与 GRC 物理性能对比

性能参数	UHPC	GRC	检测方法	备注
体积密度	2.3-2.4	1.9-2.0	实验测试	主要区别，可现场选材
吸水率	9%	3%	实验测试	主要区别，可现场选材
抗压强度	结构构件 ≥ 120 MPa 非结构构件 ≥ 100 MPa	≥ 40 MPa	实验测试	材料体系及致密性
冲击强度	≥ 24 (碳纤维) ≥ 15 (合成纤维)	≥ 8	实验测试	纤维种类，长度及掺量是影响冲击效果的主要因素
抗拉强度	≥ 9 MPa (钢纤维) ≥ 7 MPa (合成纤维)	\geq MPa	实验测试	基体强度差异较大 CECS/T 10107 测试标准
抗弯强度	≥ 18 MPa (钢纤维) ≥ 15 MPa (合成纤维)	≥ 7 MPa	实验测试	GB/T50081 混凝土尺寸的试件
抗冻性	1000 次	25 次	实验测试	UHPC 基本冻融不损伤
弹性模量	40-50 GPa	20	实验测试	

05 套筒是否有标准？套筒部分安评同意吗？

套筒在建筑行业中有相关的设计和制造标准，这些标准通常由相关的国家或国际组织制定，例如 ASTM（美国材料与试验协会）、EN（欧洲标准）等。具体到 UHPC 或 GRC 项目中的套筒使用，需要遵循相应的国家标准或行业规范。

关于套筒部分的安评（安全评估），这通常需要由专业的结构工程师或第三方机构根据项目的具体情况来进行。

安全评估会考虑多种因素，包括但不限于套筒的尺寸、材质、连接方式以及所处的结构位置等。只有在评估结果表明套筒设计符合安全标准之后，才能得到相关部门的同意。

06 每平方米成本多少？

UHPC 或 GRC 项目的每平方米成本会受到多种因素的影响，包括但不限于板块大小、荷载要求、表面处理、是否采用特殊造型（如硅胶模具、凹凸造型等）、标准化程度以及订单量等。

因此，很难给出一个确切的价格。一般情况下，成本可能从几百元到几千元人民币不等。为了获得准确报价，建议咨询具体的供应商或制造商。

07 UHPC 最大板块尺寸？

根据运输规定，UHPC 和 GRC 构件的最大尺寸主要受制于运输车辆的限制。通常宽度不超过 2.4 米或低平板车的 3 米，高度不超过 3 m（高度超过 3 m 时成本会显著增加，建议不超过 3.5 m），长度则没有明确限制。如果项目需求超出这些尺寸限制，则需要特别定制运输方案，这将显著增加成本。

08 GRC/UHPC 使用最高案例？

目前最高的 GRC 或 UHPC 使用案例包括：

迈阿密项目，高度 216 m；

土耳其项目，高度 210 m；

国内唐山第三空间项目，高度 108 m；

上海船厂项目，高度 106 m；

澳门永利项目，高度 120 m。

09 生产周期需要多久？

以 10000 平方米为例，一般的生产周期大约为 2-3 个月。这个周期与模具成本也有直接关联。在生产过程中，通常可以分批交货，以便项目现场能够及时安装。在出厂前，UHPC 或 GRC 构件需要养护至少 7-14 天。

此外，还需要预留出设计深化的时间（通常 15-25 天）以及开模初期的时间（大约 7-15 天）。在生产完成 40 % 左右时，可以进行首次交付。

10 厚度一般多少？

平板厚度通常为 20-30 mm；

带肋板厚度约为 15-20 mm；

带背负钢架板的厚度也是 15-20 mm。

具体厚度需要根据当地的风压等级、建筑高度以及使用区域等因素来确定。

后记

随着《超高性能混凝土 (UHPC) 材料在建筑幕墙中的应用》白皮书的完成，我们不仅回顾了 UHPC 材料在幕墙领域的应用现状，也展望了其未来的发展趋势。弗思特作为幕墙行业参与者，一直致力于推动新材料、新技术在建筑领域的应用，以提升建筑的性能和美学价值。

1. UHPC 材料的持续创新

UHPC 材料以其卓越的性能优势，如高强度、高耐久性、高抗裂性等，为建筑幕墙提供了前所未有的设计自由度。随着材料科学的不断进步，我们有理由相信，未来的 UHPC 材料将更加环保、经济，并且能够满足更加严苛的工程要求。弗思特将持续关注并推动 UHPC 材料的研发，以期为建筑幕墙行业带来更多的可能性。

2. 设计与施工技术的融合

UHPC 幕墙的设计与生产工艺是白皮书的重点内容之一。通过案例研究，我们看到 UHPC 幕墙在设计上的创新和施工技术的成熟。未来，随着 BIM 技术、数字化制造等先进技术的普及，UHPC 幕墙的设计与施工将更加高效、精准，为建筑师和工程师提供更多的设计灵感和实现手段。

3. 环境可持续性

在追求建筑美学和性能的同时，弗思特也始终关注建筑的环境可持续性。UHPC 材料在幕墙中的应用，不仅能够提升建筑的耐久性和维护性，减少后期维护成本，还能够通过其轻质、高强度的特性，减少建筑结构的材料使用量，从而降低碳排放。未来，我们将继续探索 UHPC 材料在绿色建筑中的应用，为实现建筑行业的可持续发展贡献力量。

4. 行业标准与规范的完善

随着 UHPC 材料在幕墙领域的广泛应用，行业标准与规范的完善显得尤为重要。白皮书对 UHPC 的相关规范进行了梳理，但随着技术的不断进步，标准与规范也需要不断更新和完善。弗思特将积极参与行业标准的制定与推广，为 UHPC 幕墙的健康发展提供有力支持。

结语

《超高性能混凝土 (UHPC) 材料在建筑幕墙中的应用》白皮书的完成，标志着弗思特在幕墙行业创新道路上的又一重要里程碑。我们相信，通过不断的技术创新和行业合作，UHPC 材料将在建筑幕墙领域发挥更大的作用，为建筑行业带来更多的可能性和机遇。弗思特将一如既往地走在行业前沿，为推动建筑幕墙行业的进步而不懈努力。

关于弗思特

弗思特建筑科技有限公司 (FORCITIS)，始创于 2006 年，总部位于上海，2021 年于英国伦敦设立海外总部，是国内建筑幕墙顾问细分领域的开拓者之一。目前已发展成为国内经验丰富的建筑外环境工程顾问公司，拥有上海、伦敦、南京、杭州、北京、成都、深圳、武汉、西安和广州十间办公室，三百多名专业顾问团队。4000+ 的项目经验沉淀，为企业客户、房地产客户、政府公共事业单位，提供优质专业的设计、工程管理和专项咨询服务。

“可持续 + 一体化设计”的理念

FORCITIS 秉承“可持续”和“一体化设计”理念，为各类客户提供外墙、照明、景观等建筑外环境设计服务，同时还提供工程管理、第三方评估、专项咨询等多专业顾问服务。服务范围贯穿外环境设计、材料采购、施工、运营全过程。FORCITIS 团队灵活运用跨学科的整合思维，践行“超客户所想”的服务宗旨，统筹兼顾并追求最佳的解决方案，全力以赴完成客户的每一次委托与挑战。

FORCITIS 深耕中国 17 年

FORCITIS 深耕中国 17 年，顾问经验积淀丰富，积极参与多个行业规范的编写，发布多本行业白皮书。多年来与百强房地产达成深度战略合作，在外墙、照明、景观、工程管理、第三方评估以及专项咨询领域积累了丰富经验，累计服务项目覆盖全国 50+ 城市，正为推进国家城市化进程贡献蓬勃力量。

共塑安全、低碳、美好的城市与社区

FORCITIS 顺应国家“一带一路”战略，追随客户全球化步伐，致力于成为“迈向卓越的全球弗思特”。弗思特人坚持“互信砥砺”、“开放包容”、“追求卓越”、“永续共荣”的价值观，始终立足于客户需求，提供以价值为导向的最优解决方案，确保每一项项目实施多赢，并重视人类福祉，与万千业主共塑安全、低碳、美好的城市与社区。

城市，让生活更美好，我们正以饱满的热情，与万千业主共建美好生活，与弗思特一起共塑美好城市。



官网



视频号



微信公众号

更多优质资讯，欢迎扫码关注！