

广东省建设工程绿色与装配式发展协会团体标准

T/GDCSDA 2—2022

# 超高性能混凝土(UHPC)预制楼梯

Ultra-high performance concrete (UHPC) precast stair

2022-09-01 发布

2022-09-15 实施

广东省建设工程绿色与装配式发展协会 发布

# 目 录

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 分类和标记.....	2
5 一般规定.....	4
6 要求.....	4
7 试验方法.....	6
8 检验规则.....	8
9 制作、标志、运输和贮存.....	10
附录 A（资料性附录）常用型号参考尺寸表及参考连接做法.....	12
附录 B（规范性附录）超高性能混凝土中钢纤维体积率的试验、检验方法.....	15
附录 C（规范性附录）纤维取向系数 K 试验、检验方法.....	17
附录 D（规范性附录）UHPC 预制楼梯结构性能检验方法.....	19

# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本标准由广东省建设工程绿色与装配式发展协会提出。

本标准由广东省建设工程绿色与装配式发展协会归口管理。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准发布机构不承担识别专利的责任。

本标准负责起草单位：中路上华建筑工程科技（广州）有限公司、华南理工大学建筑设计研究院有限公司、广州市设计院集团有限公司、广东省建科建筑设计院有限公司、中建科工集团有限公司、广州绿装协建设科技有限公司、华南理工大学、上华建筑科技（广州）有限公司、广州建筑股份有限公司、广州市市政工程机械施工有限公司、广州建筑产业开发有限公司、广州市番禺城市建筑设计院有限公司、广州城建开发设计院有限公司、佛山科学技术学院交通与土木建筑学院、广州瀚华建筑设计有限公司、广东省建筑机械厂有限公司、广东省机电建筑设计研究院有限公司、广州珠江外资建筑设计院有限公司、广州鼎兴土木科技有限公司、广州地铁设计研究院股份有限公司、中铁建工集团有限公司、中铁建工集团第五建设有限公司、广州莫伯治建筑师事务所有限公司。

本标准的主要起草人：徐其功、吴贞、冯云华、王帆、熊伟、范学明、毛志坚、舒浩、凌伟杰、伍时辉、吴瑞卿、刘世辉、李建明、王友祥、杨坚、苏建华、胡林、梅洁萍、刘军、汤毅、胡冬旸、林鹏、叶帆、魏陆顺、鲁志雄、谢震宇、钟开健、李春林、郭勇勇、向义、方军发、林盛用、卓泽豪、孙虎、张龙生、伍杰、伍永胜、郭远翔、张勇、钟志锋、马玉全、陈春华、周志恒、许佳波、胡鑫、杨传昌、黄鉴平、刘甲、植嘉生、黄柯柯、司有山、李隆彪、谭庆礼、黄海蔚、樊鹏、曹文周、冯东方。

本标准的主要审查人：李建新、毛永平、林东、胡智敏、何竞锋

# 超高性能混凝土(UHPC)预制楼梯

## 1 范围

本标准规定了工业与民用建筑中超高性能混凝土(UHPC)预制楼梯(以下简称 UHPC 预制楼梯)的术语和定义、分类和标记、一般规定、要求、试验方法、检验规则、制作、标志、运输和贮存。

本标准适用于一般工业与民用建筑中 UHPC 预制楼梯与主体采用一端固定较一端滑动较的简支连接等不参与主体抗震的情况。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50009 建筑结构荷载规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB 50352 民用建筑设计统一标准

GB 55001 工程结构通用规范

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条

GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要

求

GB/T 5780 六角头螺栓 C 级

GB/T 9978.1 建筑构件耐火试验方法 第 1 部分:通用要求

GB/T 9978.5 建筑构件耐火试验方法 第 5 部分:承重水平分隔构件的特殊要求

GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准

JGJ/T 441 建筑楼盖结构振动舒适度技术标准

T/CBMF 37 超高性能混凝土基本性能与试验方法

T/CBMF 96 超高性能混凝土预混料

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**超高性能混凝土** ultra-high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有超高力学性能、超高抗渗性能的高韧性水泥基复合材料，简称 UHPC。

#### 3.2

**超高性能混凝土预制楼梯** ultra-high performance concrete precast stair

采用超高性能混凝土在工厂进行预制，现场安装的楼梯，简称 UHPC 预制楼梯。

#### 3.3

**纤维掺量** fiber volume fraction

超高性能混凝土中纤维的掺量，用纤维所占超高性能混凝土的体积百分比表示。

#### 3.4

**纤维取向系数** fiber orientation coefficient

超高性能混凝土结构中钢纤维实际沿某一特定方向分布的取值系数。

#### 3.5

**高温蒸汽养护** high temperature steam treating

超高性能混凝土构件在高温 80°C 以上蒸汽环境内进行的改善构件性能的养护过程。

### 4 分类和标记

#### 4.1 分类和代号

UHPC 预制楼梯按结构形式分类和代号见表 1。

表 1 UHPC 预制楼梯分类及代号

类别	代号
折板式楼梯	UZBT
肋板式楼梯	ULBT
梁式楼梯	ULLT

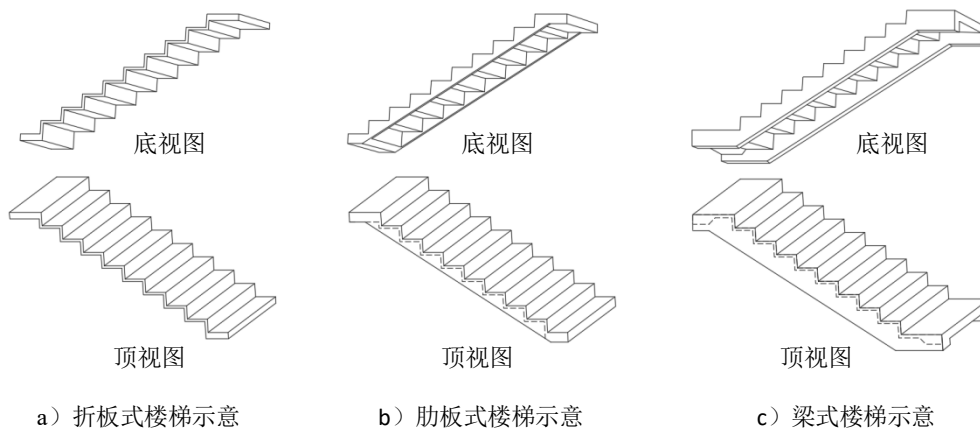


图 1 UHPC 预制楼梯分类示意图

## 4.2 产品标记

### 4.2.1 标记方法

UHPC 预制楼梯产品型号按图 2 所示标记。

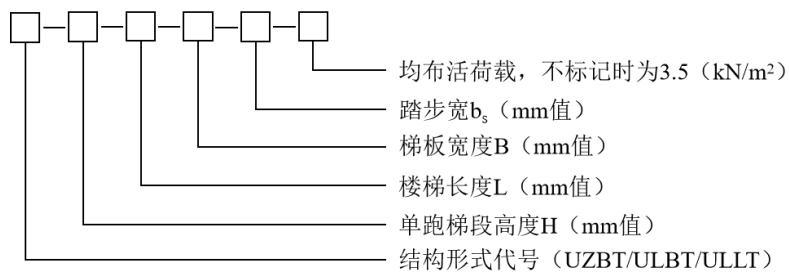


图 2 UHPC 预制楼梯产品标记图

### 4.2.2 标记示例

示例 1: 某户内楼梯, 结构形式为折板式, 单跑梯段高度  $1500\text{mm}$ , 楼梯长度  $3120\text{mm}$ , 梯板宽度  $1125\text{mm}$ , 踏步宽  $250\text{mm}$ , 使用活载  $2.0\text{kN/m}^2$ , 标记为:

UZBT-1500-3120-1125-250-2.0;

示例 2: 某住宅楼梯, 结构形式为肋板式, 单跑梯段高度  $1500\text{mm}$ , 楼梯长度  $3120\text{mm}$ , 梯板宽度  $1125\text{mm}$ , 踏步宽  $260\text{mm}$ , 使用活载  $3.5\text{kN/m}^2$ , 标记为:

ULBT-1500-3120-1125-260;

示例 3: 某中学楼梯, 结构形式为梁式, 单跑梯段高度  $1800\text{mm}$ , 楼梯长度  $3840\text{mm}$ , 梯板宽度  $1500\text{mm}$ , 踏步宽  $280\text{mm}$ , 使用活载  $3.5\text{kN/m}^2$ , 标记为:

ULLT-1800-3840-1500-280。

## 5 一般规定

- 5.1 UHPC 预制楼梯的尺寸应符合 GB50352 的相关要求。
- 5.2 UHPC 预制楼梯的设计活载应符合 GB55001、GB50009 的要求。
- 5.3 UHPC 预制楼梯的设计使用年限不应小于楼梯所属建筑的使用年限。
- 5.4 预制楼梯用 UHPC 应采用钢纤维，UHPC 原材料应符合 T/CBMF 96 的相关要求。
- 5.5 UHPC 预制楼梯的折板板厚不应小于 25mm，梯梁宽度不应小于 60mm，梯梁高度不应小于 200mm。
- 5.6 UHPC 预制楼梯脱模用吊环应采用 HPB300 级钢筋，吊环应符合 GB 50010 的相关要求。
- 5.7 UHPC 预制楼梯与主体结构连接采用销键连接时，可采用 C 级普通螺栓，所用螺栓应符合 GB/T 5780 要求。
- 5.8 UHPC 预制楼梯预埋件的锚板钢材应符合 GB/T 700 的要求；预埋件的锚筋应采用 HRB400 级钢筋，严禁采用冷加工钢筋。
- 5.9 UHPC 预制楼梯预埋件的锚板与钢筋焊接的焊条应符合 GB/T 5117 的要求，焊剂应符合 GB/T 5293 的要求。
- 5.10 UHPC 预制楼梯的吊装形式应由构件生产单位、施工单位与设计单位协商确定，并按国家现行有关标准进行相应的吊装设计。

## 6 要求

### 6.1 外观质量

UHPC 预制楼梯的外观质量应符合表 2 的规定。

表 2 外观要求

项目		质量要求
露筋		不应有
孔洞	任何部位	不宜有
蜂窝	任何部位	不宜有
裂缝	影响结构性能和使用	不应有
	不影响结构性能和使用	缝宽不大于 0.1mm，且不应为通缝
外形缺陷		影响安装及使用功能的不应有，其他不宜有
外表缺陷		影响安装及使用功能的不应有，其他不宜有
外表沾污		不宜有
预埋件松动		不应有

## 6.2 尺寸偏差

UHPC 预制楼梯的尺寸偏差应符合表 3 的规定。

表 3 允许尺寸偏差

项目		允许偏差/mm
长度		±5
梁高度、板宽度		±3
板厚度	折板梯、肋板梯	-1, +3
梁宽度	折梁梯	±3
侧向弯曲		L/750 且 ≤10
翘曲		L/750
表面平整度		3
对角线差		6
踏步高		±2, 且相邻两个踏步高度差应不大于 4
踏步宽		±2
预埋件	中心位置偏移	5
	外露尺寸	±3
预留孔洞	中心位置偏移	5
	规格尺寸	+3, 0

## 6.3 材料

6.3.1 UHPC 预制楼梯用超高性能混凝土强度等级及其纤维掺量应符合配合比要求。超高性能混凝土抗压强度等级可选用 UC120—UC150 级，抗拉强度等级可选用 UT05、UT07、UT10 级。

6.3.2 楼梯用 UHPC 中钢纤维的均匀性应符合以下要求：整体纤维取向系数不应大于 1.25，局部纤维取向系数不应大于 1.75。

## 6.4 结构性能

6.4.1 承载力检验应满足以下要求：

- 1) 受弯检测时，承载力检验荷载实测值不应小于楼梯荷载设计值（含自重）的 1.35 倍；
- 2) 受剪检测时，承载力检验荷载实测值不应小于楼梯荷载设计值（含自重）的 1.55 倍。

6.4.2 UHPC 预制楼梯在使用荷载标准组合作用下的挠度实测值不应大于表 4 的限值；在使用活荷载标准值作用下的挠度实测值不应大于表 5 的限值。



表 4 荷载标准组合下楼梯挠度限值

楼梯水平投影长度	挠度限值
$l_0 \leq 7\text{m}$	$l_0/400$
$7\text{m} < l_0 \leq 9\text{m}$	$l_0/500$
$l_0 > 9\text{m}$	$l_0/600$

注： $l_0$ 可取楼梯两端支承中心的水平距离。

表 5 活荷载标准值下楼梯挠度限值

楼梯水平投影长度	挠度限值
$l_0 \leq 7\text{m}$	$l_0/500$
$7\text{m} < l_0 \leq 9\text{m}$	$l_0/600$
$l_0 > 9\text{m}$	$l_0/800$

注： $l_0$ 可取楼梯两端支承中心的水平距离。

6.4.3 UHPC 预制楼梯在使用荷载标准组合作用下的裂缝宽度实测值不应大于表 6 的限值。

表 6 楼梯裂缝宽度限值

楼梯构件类型	环境类别	裂缝宽度限值 (mm)
无纵向受拉钢筋	所有类别	0.05
有纵向受拉钢筋	一类	0.2
	其他	0.15

## 6.5 舒适度

UHPC 预制楼梯的第一阶竖向自振频率不宜小于 4Hz。

## 6.6 耐火性能

UHPC 预制楼梯及拼缝材料的耐火性能应符合 GB50016 的要求。

## 7 试验方法

### 7.1 外观质量的检验方法

外观质量检验方法见表 7。

表 7 外观质量检验方法

项目		检验方法
露筋		观察
孔洞	任何部位	观察
蜂窝	任何部位	观察
裂缝	影响结构性能和使用	观察
	不影响结构性能和使用	观察，刻度放大镜量测
外形缺陷		观察
外表缺陷		观察
外表沾污		观察
预埋件松动		观察，摇动

## 7.2 尺寸偏差的检验方法

尺寸偏差检验方法见表 8。

表 8 尺寸偏差检验方法

项目		检验方法
长度		钢尺量两端及中部，取其中偏差绝对值较大处
梁高度、板宽度		
梁宽度、板厚度		
侧向弯曲		拉线，用钢尺量侧向弯曲最大处
翘曲		调平尺在板两端
表面平整度		将靠尺安放在构件表面，用楔形塞尺量测靠尺和构件表面之间的最大缝隙
对角线差		钢尺量两个对角线，取其绝对值的差值
踏步高		钢尺量两端及中部，取其中偏差绝对值较大处
踏步宽		
预埋件	中心位置偏移	用钢尺量纵横两个方向中心线位置，取其中较大值
	外露尺寸	钢尺量
预留孔洞	中心位置偏移	用钢尺量纵横两个方向中心线位置，取其中较大值
	规格尺寸	用钢尺量纵横两个方向尺寸，取偏差较大者

## 7.3 UHPC 材料

7.3.1 UHPC 材料的抗压及抗拉强度检测应采用同条件养护的标准试件，试验方法应符合 T/CBMF 37 的规定；纤维掺量检测按本标准附录 B 的规定进行。

7.3.2 UHPC 材料中纤维的取向系数检测按附录 C 的规定进行。

## 7.4 结构性能

结构性能试验应按附录 D 的规定进行。

## 7.5 舒适度

舒适度检验应按现行行业标准 JGJ/T 441 的规定进行。

## 7.6 耐火性能

UHPC 预制楼梯的耐火极限应根据试验确定，耐火试验应按现行国家标准 GB/T 9978.1 和 GB/T 9978.5 的规定进行。

# 8 检验规则

## 8.1 检验分类

UHPC 预制楼梯检验分为出厂检验和型式检验。出厂检验和型式检验项目见表 9。

表 9 UHPC 预制楼梯检验项目

检验项目	外观质量	尺寸	UHPC 抗压和抗拉强度等级	纤维掺量和取向系数	结构性能	标准荷载承载	耐火性能	舒适度
出厂检验	●	☆	☆	☆	○	☆	○	○
型式检验	☆	☆	☆	☆	☆	○	☆	☆

注：●为逐件检验；○为不检验；☆为随机抽样方法抽样检验。

## 8.2 出厂检验

8.2.1 产品出厂前应对 UHPC 预制楼梯进行标准荷载承载检验，检验方法按附录 D 的规定，检验要求在荷载标准组合下楼梯不出现裂缝，且挠度应满足表 4 和表 5 的要求。不出现裂缝通过荷载标准组合下楼梯处于应力应变曲线的直线上升段判定。

### 8.2.2 出厂检验抽样

(1) 按同一类型、同一工艺正常生产的 UHPC 预制楼梯，不超过 100 个为一批。同一类型指结构形式相同且侧梁高、折板厚度均相同。同一类型中应选用跨度最大、设计荷载最大的 1 个楼梯进行标准荷载承载检验。

(2) 每批应全数检验外观质量；每批应抽查构件数量的 5%，且不少于 3 个，进行尺寸偏差检验。

(3) 纤维掺量、取向系数、UHPC 强度等级的同条件养护试件的取样数量应符合 GB/T

50107 的规定。

### 8.2.3 出厂检验判定规则

所有项目全部合格判定该批构件检验合格。当外观质量、尺寸偏差、保护层厚度和标准荷载承载检验项目中部分检验结果不符合要求时，可进行复检，检验数量加倍，所检项目全部合格判定检验合格，否则判定检验不合格。

## 8.3 型式检验

### 8.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- (1) 新产品进行试制定型鉴定时；
- (2) 产品的结构、材料、配方、工艺等有重大改变，可能影响产品性能时；
- (3) 产品停产半年以上，恢复生产时；
- (4) 连续生产时，每 2 年进行 1 次型式检验；
- (5) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- (6) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

### 8.3.2 型式检验抽样

(1) 不同结构形式的楼梯应分别进行型式检验；不同侧梁高和折板厚度的楼梯应分别进行型式检验；相同侧梁高和折板厚度的楼梯应选用跨度最大、梯板宽度最大、设计荷载最大的楼梯进行型式检验。

(2) 混凝土强度等级的检验应采用标准尺寸的同条件养护试件，试件尺寸、检验评定方法应符合 T/CBMF 37 的规定。每次型式检验的同条件养护试件不应少于 3 组。

(3) 进行结构性能检验的构件不少于 1 件，进行舒适度检验的构件不少于 1 件。

(4) 相同结构形式的楼梯可按折板厚度最小、侧梁尺寸最小、混凝土强度最低的楼梯进行防火性能检验，检验构件不少于 1 件。

(5) 进行其他检验的构件不少于 3 件。

### 8.3.3 型式检验判定规则

所有项目全部合格判定检验合格。当混凝土抗压和抗拉强度、结构性能检验不符合要求时，判定为型式检验不合格。其他项不符合要求时，可进行复检，检验数量加倍，每个检验构件所检项目全部合格判定检验合格，否则判定型式检验不合格。

## 9 制作、标志、运输和贮存

### 9.1 制作

9.1.1 UHPC 预制楼梯加工制作前，应仔细核对深化图纸，并进行相关技术交底。

9.1.2 UHPC 抗压强度达到设计强度的 40%时，方可脱模，脱模后楼梯应进行高温蒸汽养护。

### 9.2 标志与出厂合格证

#### 9.2.1 标志

出厂产品应在梯板背面设置规范、清晰、完整的标志和楼梯安装的上下端标识，标志应包括以下内容：

- (1) 企业名称；
- (2) 楼梯标记编号；
- (3) 生产日期；
- (4) 规格型号尺寸；
- (5) 工程项目信息；
- (6) 材料强度；

#### 9.2.2 出厂合格证

经检验合格的准许出厂产品，应填写出厂合格证，其内容包括：

- (1) 产品名称、生产许可证号、商标；
- (2) 产品采用标准或标准图、设计图纸编号；
- (3) 生产厂名称、详细地址；
- (4) 产品规格、型号、主要技术参数（含材料强度、附加恒荷载限值、活荷载限值、防火要求、适用区域、使用年限等）；
- (5) 产品检验报告中应有检验人员代号、检验部门印章。

### 9.3 运输

UHPC 预制楼梯运输宜侧立搬运。长距离运输应采用绳索绞紧，支撑合理，轻吊轻落，避免撞击造成破损。

### 9.4 贮存

9.4.1 产品应在常温常湿条件下贮存，贮存环境应保持干燥通风。露天贮存时应采取措施防止侵蚀和沾污。

9.4.2 UHPC 预制楼梯应按型号、规格分类贮存，场地应平整便于搬运。楼梯宜侧立堆放，当采用水平层叠放时不应超过 6 层，下部及层间应设置方木垫块。

附录 A  
(资料性附录)  
常用型号参考尺寸表及参考连接做法

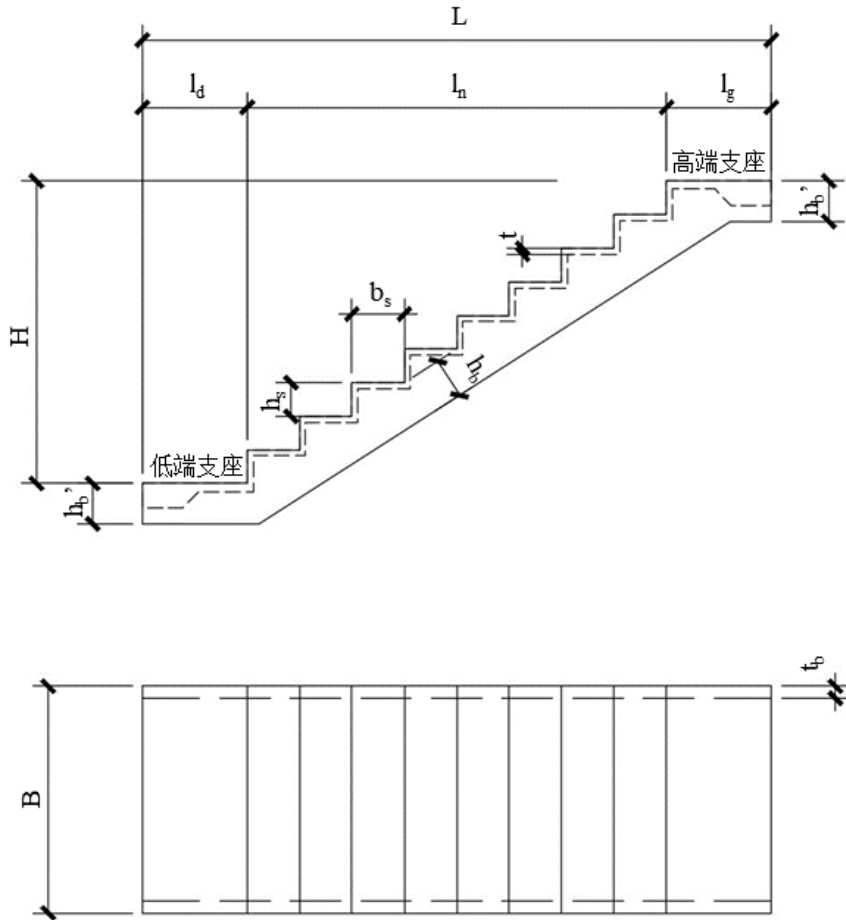


图 A.1 UHPC 预制楼梯平剖面示意图

表 A.1 UHPC 预制楼梯标志尺寸说明

标志尺寸代号	标志尺寸说明	备注
H	单跑梯段高度	宜按 50mm 递增
$h_b$	梁式楼梯的侧梁高度或肋板高度	用于侧梁时宜按 50mm 递增， 用于肋板时宜按 10mm 递增
t	楼梯折板厚度	宜按 5mm 递增
$t_b$	楼梯的侧梁宽度或肋板厚度	宜按 5mm 递增
B	预制楼梯宽度	--
$b_s$	踏步宽度	--
$h_s$	踏步高度	--
L	梯板水平投影长度	--
$h_b'$	侧梁水平段高度	--
$l_n$	踏步水平投影长度	--
$l_d(l_g)$	低(高)端平台段长度	--

表 A.2 常用型号参考尺寸表

常用梁式楼梯							
型号	H (mm)	L (mm)	B (mm)	踏步数	h <sub>s</sub> (mm)	b <sub>s</sub> (mm)	l <sub>g</sub> , l <sub>d</sub> (mm)
ULLT-1500-3120-1125-260	1500	3120	1125	9	166.7	260	≥450
ULLT-1650-3580-1125-260	1650	3580	1125	10	165.0	260	
ULLT-1800-3840-1125-260	1800	3840	1125	11	163.6	260	
ULLT-1950-4160-1125-260	1950	4160	1125	12	162.5	260	
ULLT-2100-4160-1125-260	2100	4160	1125	12	175.0	260	
ULLT-2250-4420-1125-260	2250	4420	1125	13	173.1	260	
ULLT-3000-5920-1125-260	3000	5920	1125	18	166.7	260	

注：本表格中尺寸仅为建筑参考尺寸，生产前应根据结构设计图纸并按本标准进行型式检验确定可靠结构尺寸后方可加工。生产产品应符合本标准出厂检验的要求。

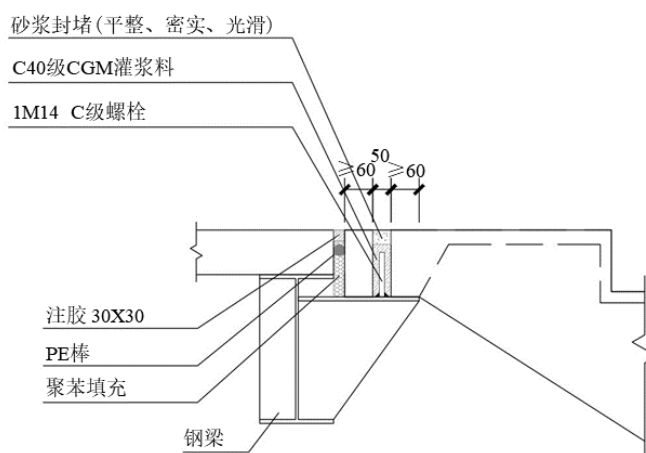


图 A.2 UHPC 楼梯上端与钢结构连接做法

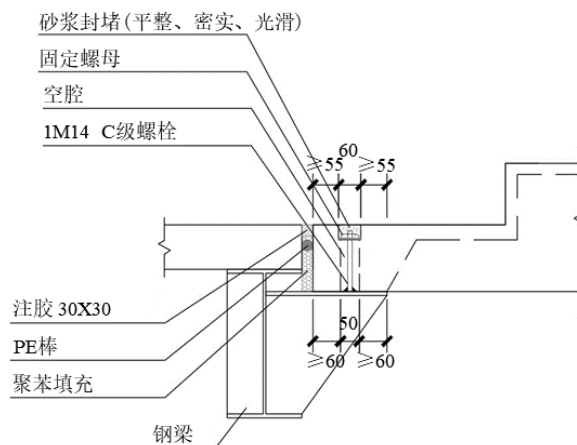


图 A.3 UHPC 楼梯下端与钢结构连接做法



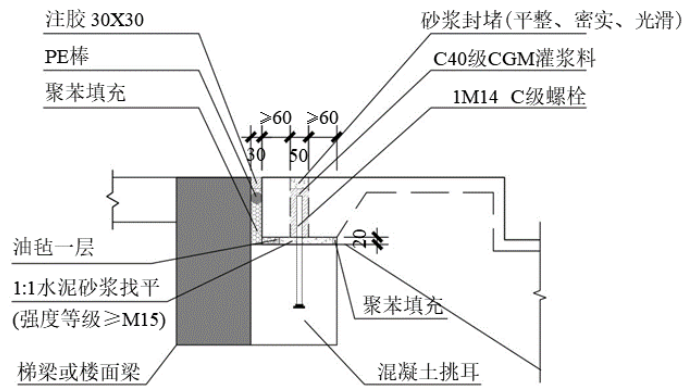


图 A.4 UHPC 楼梯上端与混凝土结构连接做法

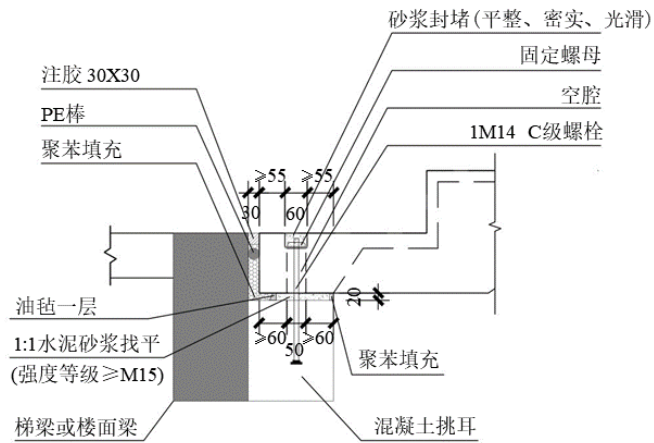


图 A.5 UHPC 楼梯下端与混凝土结构连接做法

附录 B  
(规范性附录)

超高性能混凝土中钢纤维体积率的试验、检验方法

B.1 试验设备

试验仪器设备应符合下列规定：

- (1) 电子天平：称重 1kg，精度不应低于 1g；
- (2) 容量筒：钢制容积 5L；直径和筒高均为 186mm±2mm，壁厚 3mm；
- (3) 振动台：频率宜为 50Hz±3Hz，空载时振幅宜为 0.5mm±0.1mm；
- (4) 不锈钢丝筛网：网孔尺寸应为 2.5mm×2.5mm；
- (5) 其他：振槌、铁铲、容器和磁铁等。

B.2 检验步骤

检验应遵循以下步骤进行：

- (1) 应把容量筒内外擦拭干净；
- (2) 应一次性将拌合物灌倒高出容量筒口，并利用振动台或振槌进行振实。振动过程中如拌合物沉落低于筒口，应随时添加，直至表面出浆；
- (3) 刮去多余的拌合物，并填平表面凹陷部分；
- (4) 将拌合物倒入不小于 10 倍拌合物体积的大容器中，加水搅拌，用磁铁收集水中的钢纤维，并仔细洗净粘附在钢纤维上的异物；
- (5) 将收集的钢纤维在 105°C±5°C 的温度下烘干至恒重，烘干时间应不少于 4 小时，然后每隔 1 小时称重一次，直至连续两次称量之差小于较小值的 0.5% 时为止。冷却至室温后称其质量，精确至 1 g。

B.3 结果处理

B.3.1 钢纤维体积率按式 (B.3.1) 计算

$$V_{sf} = \frac{M_{sf}}{\rho_{sf}V} \times 100 \dots \dots \dots (B.3.1)$$

式中：

$V_{sf}$  —— 钢纤维体积率 (%)；

$M_{sf}$  —— 容量筒中钢纤维质量 (g)；

$V$  —— 容量筒容积 (L)；

$\rho_{sf}$  —— 钢纤维密度 (kg/m<sup>3</sup>)。

### B.3.2 试验结果处理

试验应分两次进行，两次测定的偏差应小于两次测量平均值的 5%，否则结果无效，应重新检测；取两次测定值的平均值作为钢纤维含量试验结果。

附录 C  
(规范性附录)  
纤维取向系数 K 试验、检验方法

C.1 试验目的

为了考虑纤维取向对超高性能混凝土抗拉性能的影响,引入纤维取向系数 K 对超高性能混凝土抗拉性能指标进行修正。

C.2 试验原理

试验采用光学图像识别原理,通过软件识别对比不同试件不同方向的纤维数量来确定纤维取向系数 K。

C.3 试验设备

试验所需仪器设备应符合下列规定:

- (1) 拍摄宜选用工业级摄像头;
- (2) 拍摄宜用补光灯辅助拍摄;
- (3) 试验宜采用固定摄像头和补光灯;
- (4) 试件切割面应与摄像成像平面平行;
- (5) 摄像区域应包含完整试件剖面;
- (6) 识别软件对试件切割面图像中的纤维数量识别准确率不应小于 95%。

C.4 试件制作

为获取纤维取向系数 K,需要通过对以下两种类型试件进行检测:

(1) 从实际结构中进行取芯,标准取芯形状为直径 50mm 的圆柱体。切割后获得具有 6 个切割面的边长 35mm 的立方体试件。薄板结构可切割为对面为边长 35mm 正方形的具有 4 个切割面的长方体。实际结构取芯试件的切割面总数量记为 m;

(2) 采用与结构浇筑同批次的材料制作的立方体试件,模具现浇试件为边长 70mm 的立方体。切割后获得具有 6 个切割面的边长 35mm 的立方体试件。每种类型的试件数量为 1 个。

C.5 试验步骤

纤维取向系数 K 的试验步骤为:

- (1) 对每个试件所有切割面进行摄像,获得各切割面的图像;
- (2) 对切割面图像进行纤维识别处理。确定各切割面纤维的数量,分别记为实际结构取芯试件各切割面的纤维数量  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_m$  和模具现浇试件各切割面的纤维数量

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_6$ 。

## C.6 数据处理

纤维取向系数  $K$  的计算公式为：

$$\bar{N}_i = \frac{N_i}{A_i} (i = 1, 2, 3, \dots, m) \dots\dots\dots (C.6-1)$$

$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{a_i} (i = 1, 2, 3, \dots, 6) \dots\dots\dots (C.6-2)$$

$$K_{global} = \frac{\sum_{i=1}^6 \bar{n}_i / 6}{\sum_{i=1}^m \bar{N}_i / m} \dots\dots\dots (C.6-3)$$

$$K_{local} = \frac{\sum_{i=1}^6 \bar{n}_i / 6}{\min(\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{N}_3, \dots, \bar{N}_m)} \dots\dots\dots (C.6-4)$$

其中：

$\bar{N}_i$  为实际结构取芯试件第  $i$  个切割面上单位面积的纤维数量；

$A_i$  为实际结构取芯试件第  $i$  个切割面的面积；

$\bar{n}_i$  为模具现浇试件第  $i$  个切割面上单位面积的纤维数量；

$a_i$  为模具现浇试件第  $i$  个切割面的面积；

$K_{global}$  为整体纤维取向系数，一般情况下  $1.0 \leq K_{global} \leq 2.0$ ；

$K_{local}$  为局部纤维取向系数，一般情况下  $1.0 \leq K_{local} \leq 2.0$ 。

## C.7 结果判定

将试件转动  $90^\circ$  后再次拍摄，可视为独立试验。

(1) 本检测应进行两次试验，两次试验值的偏差应小于两次试验平均值的 5%，否则结果无效，应重新检测；

(2) 取两次纤维取向系数试验值的平均值作为最终检测结果。

附录 D  
(规范性附录)  
UHPC 预制楼梯结构性能检验方法

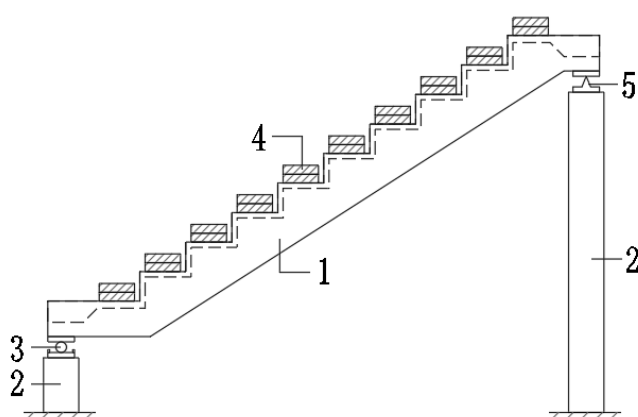
D.1 试件

D.1.1 蒸汽养护后的试件应在冷却至常温后进行试验。

D.1.2 试件的混凝土强度应达到设计强度的 100%以上。

D.2 支承方式

D.2.1 试件踏步面应平行于地面，预制楼梯结构性能试验支承方式见图 D.1。



说明:

- 1——UHPC 预制楼梯;
- 2——支墩或支架 (支撑点位置应保证楼梯跨度同实际产品吊装后跨度);
- 3——滑动铰支座;
- 4——荷重块;
- 5——固定铰支座。

图 D.1 UHPC 预制楼梯结构性能试验支承方式示意图

D.2.2 试件上端设置固定铰支座，下端设置滑动铰支座；铰支座长度应同预制楼梯宽度。

D.2.3 试件与支座支承面应紧密接触。

D.3 荷载布置

D.3.1 荷重块应重量均匀一致，形状规则，荷重块宽度不应大于踏步宽度。

D.3.2 不宜采用有吸水性的加载物。

D.3.3 加载物重量应满足加载分级的要求，单块重量宜不超过 250N。

D.3.4 试验前应对加载物称重，求得其平均重量。

D.3.5 对预制楼梯加载，荷载布置采用均布加载方式，垛与垛之间间隙宜不小于 50mm。

D.4 加载方式

D.4.1 应分级加载，当荷载小于荷载标准值时，每级荷载不应大于荷载标准值的 20%，当

荷载大于荷载标准值时，每级荷载不应大于荷载标准值的 10%，当荷载接近抗裂检验荷载值时，每级荷载不应大于荷载标准值的 5%，当荷载接近承载力检验荷载值时，每级荷载不应大于承载力检验荷载设计值的 5%，作用在 UHPC 预制楼梯的试验设备重量及构件自重应作为第一次加载的一部分。（注：预制楼梯在试验前宜进行预压，以检查试验装置的工作是否正常，但应防止构件因预压而产生裂缝。）

D.4.2 每级加载完成后应持续 10min~15min，在荷载标准值作用下应持续 30min，在持续时间内，应观察裂缝的出现和开展，以及钢筋有无滑移等，在持续时间结束时，应观察并记录各项读数。

### D.5 承载力测量

进行承载力检验时，当在规定的荷载持续时间内，出现表 D.1 所列的检验标志之一时，应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为其承载力检验荷载实测值，当在规定的荷载持续时间结束后，出现表 D.1 所列的检验标志之一时，应取本级荷载值作为承载力检验荷载实测值。

表 D.1 承载力极限状态检验标志

受力情况		达到承载能力极限状态的检验标志
受弯	无受拉钢筋	受拉一侧最大裂缝宽度达到 0.3mm
	有受拉钢筋	受拉主筋处的最大裂缝宽度达到 1.5mm；或挠度达到跨度的 1/50
		受压混凝土破坏
		受拉主筋拉断
受弯构件受剪		腹部斜裂缝达到 1.5mm，或斜裂缝末端受压混凝土剪压破坏 沿斜截面混凝土斜压、斜拉破坏；受拉主筋在端部滑脱或其他锚固破坏

### D.6 挠度测量

D.6.1 进行挠度试验时，可用百分表、位移传感器等进行观测，应在使用状态试验荷载值下持荷结束时量测试件的变形。

D.6.2 试验时应量测构件跨中位移和支座沉陷，构件应在每一量测截面的两边布置测点，并取其量测结果的平均值作为该处的位移。

D.6.3 试验荷载竖直向下作用时，对水平放置的试件在各级荷载下的跨中挠度实测值，应按式 (D.6.3-1) ~ (D.6.3-3) 计算：

$$a_t^0 = a_q^0 + a_g^0 \quad \dots\dots\dots (D.6.3-1)$$

$$a_q^0 = v_m^0 - \frac{1}{2}(v_1^0 + v_t^0) \quad \dots\dots\dots (D.6.3-2)$$

$$a_g^0 = \frac{M_g}{M_b} a_b^0 \dots\dots\dots (D.6.3-3)$$

式中：

$a_t^0$ ——全部荷载作用下构件跨中的挠度实测值，单位为毫米（mm）；

$a_q^0$ ——外加试验荷载作用下构件跨中的挠度实测值，单位为毫米（mm）；

$a_g^0$ ——构件自重及加荷设备重产生的跨中挠度实测值，单位为毫米（mm）；

$v_m^0$ ——外加试验荷载作用下构件跨中的位移实测值，单位为毫米（mm）；

$v_1^0$ 、 $v_t^0$ ——外加试验荷载作用下构件左、右端支座沉陷实测值，单位为毫米（mm）；

$M_g$ ——构件自重及加荷设备重产生的跨中弯矩值，单位为千牛米（kN·m）；

$M_b$ ——从外加试验荷载开始至构件出现裂缝的前一级荷载为止的外加荷载产生的跨中弯矩值，单位为千牛米（kN·m）；

$a_b^0$ ——从外加试验荷载开始至构件出现裂缝的前一级荷载为止的外加荷载产生的跨中挠度，单位为毫米（mm）。

## D.7 裂缝观测

D.7.1 观察裂缝出现可采用放大镜，若实验中未能及时观察到裂缝的出现，可取荷载挠度曲线上的转折点（曲线第一弯转段两端点切线的交点）的荷载值作为构件的开裂荷载实测值。

D.7.2 UHPC 预制楼梯抗裂检验中，当在规定的荷载持续时间内出现裂缝时，应取本级荷载值与前一级荷载值的平均值作为其开裂荷载实测值，当在规定的荷载持续时间结束后出现裂缝时，应取本级荷载值作为其开裂荷载实测值。

D.7.3 裂缝宽度可采用精度为 0.05mm 的刻度放大镜等仪器进行观测。

D.7.4 对裂缝应量测最大裂缝宽度。

## D.8 安全事项

D.8.1 试验的支墩应有足够的承载力安全储备。

D.8.2 试验过程中应注意人身和仪表安全，为了防止构件破坏时试验设备及构件坍塌，应采取在试验构件下面设置防护支承等安全措施。

## D.9 试验报告

D.9.1 试验报告应包括试验背景、试验方案、试验记录、检验结论等内容，不得漏项缺检。

D.9.2 试验报告中的原始数据和观察记录应真实准确，不得任意涂抹篡改。



D.9.3 试验报告宜在试验现场完成，并应及时审核、签字、盖章、登记归档。