

团 体 标 准

T/CSPSTC 91—2022

钢-UHPC 组合梁桥施工及评定规程

Code of practice for construction and evaluation of steel-UHPC composite
girder bridges

2022-06-09 发布

2022-07-08 实施

中国科技产业化促进会 发 布
中 国 标 准 出 版 社 出 版

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 符号 2

4 材料 3

 4.1 UHPC 原材料 3

 4.2 UHPC 性能指标 4

 4.3 钢材 7

 4.4 黏结层材料 7

 4.5 磨耗层材料 8

5 施工 8

 5.1 基本要求 8

 5.2 施工准备 8

 5.3 钢-UHPC 轻型组合桥面结构 8

 5.4 钢-UHPC 组合结构 12

6 质量检验与评定..... 13

 6.1 基本要求 13

 6.2 进场检验 13

 6.3 钢-UHPC 轻型组合桥面结构质量检验 14

 6.4 钢-UHPC 组合结构质量检验 16

 6.5 质量评定 21

附录 A（规范性） UHPC 用钢纤维性能检验方法 22

附录 B（资料性） UHPC 试件的制作及试验方法 24

附录 C（规范性） UHPC 轴心抗拉性能试验方法 25

附录 D（规范性） UHPC 纤维取向系数的确定方法及取值 29

附录 E（规范性） UHPC 抗压强度、抗弯拉强度、轴心抗拉强度及性能评定 31

参考文献 32

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黄河勘测规划设计研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司、湖南大学、中铁山桥集团有限公司、云南建投绿色高性能混凝土股份有限公司、湖北省城建设计院股份有限公司、湖南中路华程桥梁科技股份有限公司、中交路桥建设有限公司、湖北省路桥集团有限公司、中铁桥研科技有限公司、林同棧国际工程咨询(中国)有限公司、江苏省水利建设工程有限公司、中国建筑第五工程局有限公司、中铁大桥局集团有限公司、中国铁建大桥工程局集团有限公司、广东冠生土木工程技术有限公司、保利长大工程有限公司、中铁二十局集团第一工程有限公司、湖北交投建设集团有限公司、嘉兴市快速路建设发展有限公司、宁波路宝科技实业集团有限公司、安徽省公路桥梁工程有限公司、中铁一局集团桥梁工程有限公司、中交路桥华南工程有限公司、长沙市公路桥梁建设有限责任公司、中铁上海工程局集团第五工程有限公司、郑州市建设工程质量检测有限公司、创新联盟认证中心有限公司、标准联合咨询中心股份公司。

本文件主要起草人：景来红、杨纪、邵旭东、曹阳、怀臣子、曹君辉、邢扬、李章建、陈晓虎、孟杰、吴新印、卢冠楠、周乐木、何昌杰、周帅、陶亚成、曾玉昆、侍刚、贾海涛、吴建峰、赵健、梁国焱、徐青、秦定松、连祎、杨朝光、彭申凯、钱盈、张法、任自铭、徐斌、黎颀、陈刚、唐俊、高世强、钱云龙、杨磊、赵斌、李冲、王文成、余方亮、黄毅、张永江、高永吉、孙引浩、徐速、安路明、叶子健、侯劲松、柴飞、梁丽敏、李世华、张帆、崔健、杨洪武、郭乐、何鹏、陈露一、王衍、喻满、邵宗暄、赵海增、曾向往、宋银平、闵瑞、邱威溶、张建树、刘江军、沈理斌、牟芸、肖向荣、易代红、周志敏、卢成绪。

引 言

随着经济社会及城市化的发展,大跨桥梁的需求越来越多,钢-UHPC 组合梁作为新型梁式结构,桥梁跨径适应范围广。针对大跨预应力混凝土(prestressed concrete,PC)梁桥普遍存在的腹板开裂、梁体下挠等病害难题,以超高性能混凝土(ultra-high performance concrete,UHPC)为基础,提出了跨中采用钢-UHPC 组合梁段的新结构,包括钢-UHPC 轻型组合桥面结构、钢-UHPC 组合结构两类形式,以期降低梁体自重,缓解大跨预应力混凝土梁桥的上述两大病害难题,并显著提升桥面结构的耐久性。

本文件对钢-UHPC 组合梁桥的材料、施工、质量检验与评定做出规定,是相关国家标准、行业标准的补充。本文件规范钢-UHPC 组合梁桥的材料选用、施工过程、质量检验与评定,形成标准可控的施工方案和工序,并为钢-UHPC 组合梁桥施工各工序的验收提供有效可靠的检验内容、方法及要点,促进钢-UHPC 组合梁桥结构的发展。

钢-UHPC 组合梁桥施工及评定规程

1 范围

本文件规定了钢-UHPC 组合梁桥的材料、施工、质量检验与评定的内容要求。

本文件适用于大跨预应力混凝土梁桥跨中钢-UHPC 组合梁段的材料选用、施工、质量检验与评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB 8076 混凝土外加剂
GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 31387 活性粉末混凝土
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
JG/T 237 混凝土试模
JGJ/T 221 纤维混凝土应用技术规程
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
JTG F 40 公路沥青路面施工技术规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

超高性能混凝土 ultra-high performance concrete; UHPC

由水泥、矿物掺合料、集料、钢纤维和外加剂等材料或由上述材料制成的干混料加水拌和,经凝结硬化后形成的一种具有超高强度、超高韧性和超高耐久性的水泥基复合材料。

[来源:T/CCES 27—2021,2.1.1,有修改]

3.1.2

钢-UHPC 组合结构 steel-UHPC composite structure

由钢梁和 UHPC 层通过剪力连接件连接形成的组合结构。

3.1.3

钢-UHPC 轻型组合桥面结构 steel-UHPC lightweight composite deck structure

由正交异性钢桥面板和 UHPC 层通过剪力连接件形成的组合桥面结构。

注:包括铺设在其顶面的黏结层和磨耗层。

3.1.4

蒸汽养护 steam curing

浇筑的 UHPC 终凝后在蒸汽环境中持续养护后达到强度等级的养护过程。

3.1.5

抗弯拉强度 flexural strength

按标准方法制作、养护的棱柱体试件,在 28 d 或设计规定龄期以标准试验方法测得的抗弯拉强度值。

3.1.6

黏结层 bonding layer

介于 UHPC 层与磨耗层之间,起到黏结作用的薄层构造。

3.1.7

磨耗层 wearing surface

位于钢-UHPC 轻型组合桥面结构顶面的沥青混凝土铺装层。

3.1.8

干混料制备 dry mixes preparation

将各种固体原材料在工厂拌和均匀,经包装后运至使用现场,按一定比例加水和其他液体组分并搅拌均匀后,成为浇筑用 UHPC 的过程。

3.1.9

现场制备 on-site preparation

在使用现场,先按一定投料顺序加入固体原材料并搅拌均匀后,再加水和其他液体组分搅拌均匀后完成 UHPC 的制备的过程。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

UC120:边长 100 mm 的立方体抗压强度标准值为 120 MPa 的 UHPC

UC140:边长 100 mm 的立方体抗压强度标准值为 140 MPa 的 UHPC

UC160:边长 100 mm 的立方体抗压强度标准值为 160 MPa 的 UHPC

UC180:边长 100 mm 的立方体抗压强度标准值为 180 MPa 的 UHPC

UC200:边长 100 mm 的立方体抗压强度标准值为 200 MPa 的 UHPC

UF19:100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体抗弯拉强度标准值为 19 MPa 的 UHPC

UF22:100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体抗弯拉强度标准值为 22 MPa 的 UHPC

UF25:100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体抗弯拉强度标准值为 25 MPa 的 UHPC

UF28:100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体抗弯拉强度标准值为 28 MPa 的 UHPC

UHPC22:抗弯拉强度标准值为 22 MPa 的 UHPC

UHPC25:抗弯拉强度标准值为 25 MPa 的 UHPC

UHPC28:抗弯拉强度标准值为 28 MPa 的 UHPC

UT6:哑铃形试件轴心抗拉强度标准值为 6 MPa 的 UHPC

UT7:哑铃形试件轴心抗拉强度标准值为 7 MPa 的 UHPC

UT8:哑铃形试件轴心抗拉强度标准值为 8 MPa 的 UHPC

UT9:哑铃形试件轴心抗拉强度标准值为 9 MPa 的 UHPC

α_c :UHPC 的温度线膨胀系数

E_c :UHPC 的弹性模量

G_c :UHPC 的剪切变形模量

f_{cd} :UHPC 轴心抗压强度设计值

f_{ck} :UHPC 轴心抗压强度标准值

$f_{cu,k}$:UHPC 立方体抗压强度标准值(试件边长 100 mm)

$f_{cu,m}$:UHPC 立方体抗压强度的平均值

$f_{cu,min}$:UHPC 立方体抗压强度的最小值

f_{fd} :UHPC 抗弯拉强度设计值

f_{fk} :UHPC 抗弯拉强度标准值

$f_{f,m}$:UHPC 抗弯拉强度的平均值

$f_{f,min}$:UHPC 抗弯拉强度的最小值

f_{td} :UHPC 轴心抗拉强度设计值

f_{te} :UHPC 弹性极限抗拉强度

f_{tk} :UHPC 轴心抗拉强度标准值

f_{tu} :UHPC 极限抗拉强度

S_{fcu} :同一批 UHPC 抗压强度的标准差

μ_c :UHPC 的泊松比

$\epsilon_{crack,d}$:UHPC 的初裂应变设计值

ϵ_{td} :UHPC 的极限拉应变设计值(不考虑配筋)

ϵ_{tu} :UHPC 极限拉应变(不考虑配筋)

4 材料

4.1 UHPC 原材料

4.1.1 水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,并符合 GB 175 的规定。

4.1.2 矿物掺合料宜采用 I 级粉煤灰、S95 等级以上的粒化高炉矿渣粉、二氧化硅含量(质量分数)不低于 90% 的硅灰等材料,且应符合 GB/T 1596、GB/T 18046、GB/T 27690 的规定。当采用其他矿物掺合料时,应通过试验进行验证。

4.1.3 细集料宜为石英砂,性能指标应符合表 1 的规定。石英砂和石英粉的筛分试验和粒径应符合 GB/T 31387 的规定。

表 1 石英砂的性能指标

项目	技术指标 %
二氧化硅含量(质量分数)	≥ 97
氯离子含量(质量分数)	≤ 0.02
硫化物及硫酸盐含量(质量分数)	≤ 0.50
云母含量(质量分数)	≤ 0.50

4.1.4 本文件不包括含粗骨料的 UHPC。

4.1.5 减水剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定。宜选用高性能减水剂,减水剂的减水率宜大于 30%。

4.1.6 掺用改善拌和物和 UHPC 性能的其他外加剂时,其性能应符合 GB/T 31387 的规定,且应通过试验确定 UHPC 性能满足工程应用要求。

4.1.7 钢纤维应采用高强度钢纤维(可镀铜),其性能指标应符合表 2 的规定,其性能检验按照附录 A 的规定进行检验。

表 2 钢纤维的性能指标

项目	性能指标
轴心抗拉强度	$\geq 2\,000\text{ MPa}$
长度合格率(12 mm~14 mm 或 7 mm~8 mm 纤维比例) ^a	$\geq 96\%$
直径合格率(0.18 mm~0.22 mm 或 0.12 mm~0.14 mm 纤维比例) ^b	$\geq 90\%$
形状合格率	$\geq 96\%$
杂质含量(质量分数)	$\leq 1.0\%$
^a 50 根试样的长度平均值应在 12 mm~14 mm 或 7 mm~8 mm 范围内。	
^b 50 根试样的直径平均值应在 0.18 mm~0.22 mm 或 0.12 mm~0.14 mm 范围内。	

4.2 UHPC 性能指标

4.2.1 钢-UHPC 轻型组合桥面结构

4.2.1.1 UHPC 的抗弯拉强度、抗压强度标准值和设计值应符合表 3 的规定。

表 3 UHPC 强度等级

强度等级	抗弯拉强度 MPa		抗压强度 MPa		
	f_{fk}	f_{fd}	$f_{cu,k}$	f_{ck}	f_{cd}
UHPC22	22	15.2	120	77.4	53.4
UHPC25	25	17.2	140	90.3	62.3
UHPC28	28	19.3	160	103.2	71.2
注: UHPC 抗弯拉强度等级根据 100 mm×100 mm×400 mm 棱柱体抗弯强度标准值划分。测试抗压强度的试件尺寸为 100 mm×100 mm×100 mm。					

4.2.1.2 UHPC 具有轴心抗拉应变硬化特性。UHPC22、UHPC25、UHPC28 的 f_{td} 宜分别取 7 MPa、8 MPa、9 MPa， ϵ_{td} 宜取 2 000 $\mu\epsilon$ 。 $\epsilon_{crack,d}$ 应根据 f_{td} 和 4.2.1.3 规定的 E_c 计算确定，见图 1。

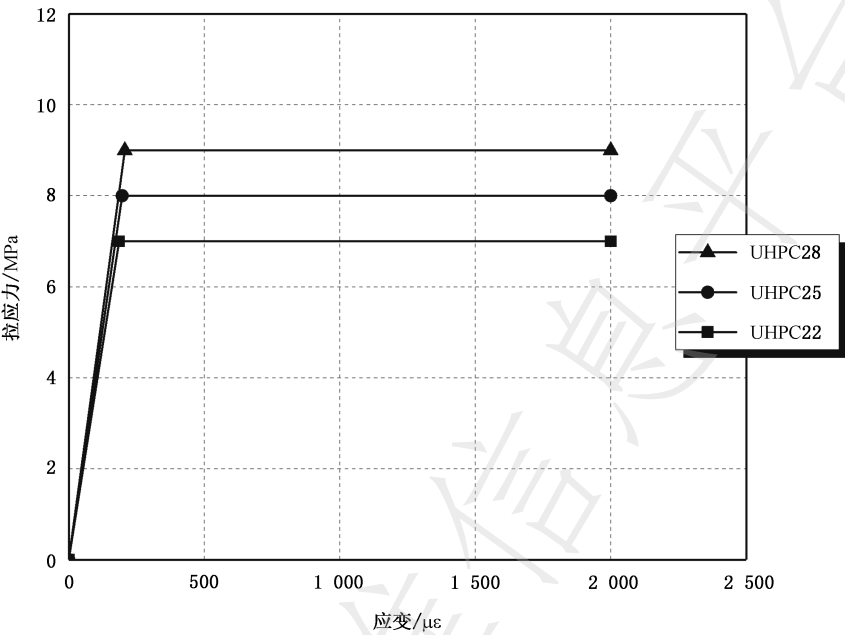


图 1 UHPC 轴心抗拉应力-应变曲线

4.2.1.3 E_c 应按照 GB/T 31387 的规定通过试验确定，当无相关试验资料时，可按照表 4 采用。

表 4 不同强度等级的 E_c

单位为吉帕

UHPC 强度等级	UHPC22	UHPC25	UHPC28
弹性模量	37.6	40.7	43.5

4.2.1.4 G_c 可按照表 4 中 E_c 值的 0.4 倍采用， μ_c 可取为 0.2。

4.2.1.5 α_c 可取为 $1.1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

4.2.1.6 UHPC 宜采用蒸汽养护，养护结束后，收缩应变和徐变系数终值可按照表 5 采用。

表 5 UHPC 的收缩应变和徐变系数终值

养护条件	收缩应变 $\mu\epsilon$	徐变系数
蒸汽养护	0	0.2

注：相关研究和工程经验表明，蒸汽养护能加速 UHPC 的水化过程，提高了材料的密实度，使得收缩基本完成且能降低徐变。为保证 UHPC 的性能，宜进行蒸汽养护，非蒸养的 UHPC 不在本文件中约定。

4.2.1.7 UHPC 的抗氯离子渗透性应不大于 100 C(电通量法)。

4.2.2 钢-UHPC 组合结构

4.2.2.1 UHPC 的抗压强度等级应根据 100 mm 立方体抗压强度标准值确定，强度等级划分为 UC120、UC140、UC160、UC180、UC200。

4.2.2.2 UHPC 的轴心抗拉强度等级应根据附录 C 规定的轴心抗拉试验的弹性性能极限抗拉强度标准值确定,强度等级划分为 UT6、UT7、UT8、UT9。

4.2.2.3 UHPC 的抗弯拉强度等级应根据 100 mm×100 mm×400 mm 棱柱体抗弯拉强度标准值确定,强度等级划分为 UF19、UF22、UF25、UF28。UHPC 的轴心抗拉强度与抗弯拉强度有一定相关性,在缺乏相关试验数据情况下,可参考表 6 选用 UHPC 抗弯拉强度等级。

表 6 UHPC 轴心抗拉强度等级与抗弯拉强度等级建议关系

轴心抗拉强度等级	UT6	UT7	UT8	UT9
抗弯拉强度等级	≥UF19	≥UF22	≥UF25	≥UF28

4.2.2.4 UHPC 应具有轴心抗拉应变硬化特性,并应符合表 7 的规定。

表 7 UHPC 轴心抗拉性能

轴心抗拉性能分类	f_{te}/f_{tk}	f_{tu}/f_{te}	f_{tu}/f_{tk}	ϵ_{tu}
应变硬化型	≥1.0	≥1.0	≥1.1	≥2 000 $\mu\epsilon$
注:轴心抗拉性能是 UHPC 的重要技术性能指标。用 f_{te} 、 f_{tk} 、 f_{tu} 和 ϵ_{tu} 四个参数表征,并用 f_{te}/f_{tk} 、 f_{tu}/f_{te} 、 f_{tu}/f_{tk} 来表征 UHPC 拉伸应变硬化指标要求。				

4.2.2.5 f_{ck} 和 f_{cd} 应按表 8 的规定采用, f_{tk} 和 f_{td} 应按表 9 的规定采用。

表 8 UHPC 轴心抗压强度

强度类型	强度等级				
	UC 120	UC 140	UC 160	UC 180	UC 200
$f_{cu,k}/\text{MPa}$	120	140	160	180	200
f_{ck}/MPa	84	98	112	126	140
f_{cd}/MPa	58	68	77	87	97

表 9 UHPC 轴心抗拉强度

强度类型	强度等级			
	UT 6	UT 7	UT 8	UT 9
f_{tk}/MPa	6	7	8	9
f_{td}/MPa	4.1/K	4.8/K	5.5/K	6.2/K
K 为 UHPC 纤维取向系数,按附录 D 的方法测定。若无实测数据,整体纤维取向系数(K_{global})宜取 1.25,局部纤维取向系数(K_{local})宜取 1.75。				

4.2.2.6 承载能力极限状态 UHPC 受压的应力与应变关系应按式(1)、式(2)、式(3)取用。

$$\begin{cases} \sigma_c = f_{cd} \times \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) & (\epsilon \leq \epsilon_0) \\ \sigma_c = f_{cd} & (\epsilon_0 \leq \epsilon \leq \epsilon_{cu}) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_0 = f_{cd}/E_c \dots\dots\dots (2)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.004\,2 - (f_{cu,k} - 120) \times 10^{-5} \dots\dots\dots (3)$$

- 式中：
- σ_c ——UHPC 受压应力；
 - ϵ ——UHPC 受压应变；
 - ϵ_0 ——UHPC 受压峰值应变；
 - ϵ_{cu} ——UHPC 受压极限应变。

4.2.2.7 E_c 宜根据 GB/T 31387 的规定进行测试。若无实测数据,可按表 10 取用。

表 10 UHPC 的弹性模量

单位为吉帕

强度等级	UC 120	UC 140	UC 160	UC 180	UC 200
E_c	43.4	45.7	47.5	49.1	50.4

4.2.2.8 其余 UHPC 性能指标见 4.2.1。

4.3 钢材

- 4.3.1 连接件的材料性能应符合 GB/T 10433 的规定。
- 4.3.2 UHPC 中的普通钢筋宜选用 HRB400 或 HRB500 钢筋,钢筋的材料性能指标应按照 JTG 3362 的规定取用。
- 4.3.3 钢材相关设计指标应按 JTG D64 的规定取用。

4.4 黏结层材料

黏结层材料宜采用高黏高弹沥青、环氧沥青黏结剂、改性环氧树脂黏结剂,主要性能指标及要求应符合表 11 的规定。

表 11 黏结层养护固化后主要性能指标及要求

序号	项目		技术要求	
			I 型 (高黏高弹沥青、环氧沥青黏结剂)	II 型 (改性环氧树脂黏结剂)
1	复合试件剪切强度/MPa	25 ℃	≥0.8	≥1.6
		60 ℃	≥0.4	≥0.8
2	附着力拉拔强度 (与 UHPC)/MPa	25 ℃	≥1.0	≥2.0
		60 ℃	≥0.3	≥0.8
3	抗冻性	—20 ℃~20 ℃冻融循环	20 次不开裂	
4	耐腐蚀性(20 ℃)	Ca(OH) ₂ 中浸泡 15 d	无异常	
		3% 盐水浸泡 15 d	无异常	
5	抗硌破	轮碾机碾压 30 次	不穿孔	
附着力拉拔强度由附着力拉拔试验测得,附着力拉拔试验可采用圆形拉拔头(直径 50 mm)或正方形拉拔头(边长 50 mm)。				

4.5 磨耗层材料

磨耗层材料性能应符合 JTG D50 的规定。

5 施工

5.1 基本要求

5.1.1 施工前,施工单位应根据项目结构特点、受力特性、环境条件等编制合理的专项施工方案和作业指导书,明确质量安全控制措施,确定施工质量的有效控制方法。

5.1.2 施工环境温度范围宜为 $0^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$,风力不宜大于 6 级,否则应采取特殊气候施工措施。

5.1.3 本文件未明确规定的施工事项应符合 JTG/T D64-01、JTG/T 3650 的相关规定。

5.2 施工准备

5.2.1 UHPC 混合料配合比应根据设计要求进行设计。

5.2.2 施工前应进行试验段施工,通过试验段施工确定 UHPC 的拌和设备、摊铺设备选型及工艺参数,确保拌和能力、摊铺能力满足施工强度需求,确保拌和料均匀稳定,不应出现粉团或钢纤维结团的情况。

5.2.3 原材料、袋装干混料储存应防潮、防雨,并应按照品种、批号分别堆放,不应混堆。应备足养护设备和材料。

5.3 钢-UHPC 轻型组合桥面结构

5.3.1 钢桥面处理遵守下列规定。

- a) 应对钢桥面进行联测,测定基面的纵向线型和横向线型。
- b) 新建 PC 梁跨中钢梁部分可保留钢面板车间底漆,直接在钢桥面板顶面进行 UHPC 施工。当桥面板锈蚀时应做除锈处理,并做好相应的涂装。
- c) 在役 PC 梁跨中钢梁部分 UHPC 施工前,基面处理工艺应符合下列规定:
 - 1) 应按照设计深度铣刨原桥面铺装层,不应损伤桥面钢板;
 - 2) 检查钢桥面板有无损伤及病害,清除桥面污垢,并按照设计要求做相应修补;
 - 3) 按 JT/T 722 的规定及设计要求喷砂除锈及防腐涂装。
- d) 连接件焊接前,应将焊接处的钢桥面板表面局部打磨平整、光滑。

5.3.2 钢-混结合段普通混凝土桥面搭接段处理遵守下列规定。

- a) 应对普通混凝土桥面进行联测,测定基面的纵向和横向线型。
- b) UHPC 施工前,应对普通混凝土桥面进行凿毛处理。
- c) UHPC 施工前,普通混凝土基面处理工艺应符合下列规定:
 - 1) 应按照设计深度凿毛,不应损伤纵横向钢筋及预应力筋;
 - 2) 清除凿毛面混凝土碎屑及松动混凝土;
 - 3) 普通混凝土桥面凿毛清理后铺设钢筋网;
 - 4) 浇筑 UHPC 之前,将普通混凝土桥面喷水润湿,但不应有积水。

5.3.3 连接件焊接应遵守下列规定。

- a) 在焊接工作之前,应对焊接材料进行焊接工艺评定。焊接工艺评定应按照 JTG/T 3650 执行。
- b) 焊接圆柱头焊钉时,应按照 JTG/T 3650 执行,并遵守下列规定:
 - 1) 在钢桥面板上划线定位焊钉的位置;
 - 2) 当焊钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时,应将焊钉一左一右顺序偏离焊缝边界 $2\text{ cm}\sim 3\text{ cm}$,不应将焊钉直接焊接在拼接焊缝处;

- 3) 应采用电弧螺柱焊机焊接焊钉;
- 4) 焊接完后应对连接件进行敲击检查;
- 5) 设置 UHPC 施工接缝时,应预留焊钉的焊接位置;
- 6) 焊接完焊钉后,应在钢桥面板四周 500 mm 宽区域内进行防腐涂装。

c) 焊接其他形式连接件时,应按照 JTG/T 3650 执行。

5.3.4 钢筋网铺设应根据设计图纸进行纵向、横向、竖向定位,钢筋直径、钢筋搭接长度、钢筋网高度及钢筋网间距应符合 6.3.4 的规定,钢筋应平直,扎丝头不应位于钢筋顶面。

5.3.5 UHPC 摊铺施工遵守下列规定。

a) UHPC 干混料制备满足下列要求:

- 1) UHPC 宜优先选用干混料制备,应采用专用设备,且应确保钢纤维分布均匀不结团;
- 2) UHPC 原材料生产的计量应采用电子计量系统,各采用的计量偏差应符合表 12 要求。

表 12 UHPC 原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥	集料	水	外加剂	掺合料	钢纤维
每盘计量允许偏差/%	±2	±3	±1	±1	±2	±1
累计计量允许偏差/%	±1	±2	±1	±1	±1	±1
注:累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差。						

b) UHPC 干混料的储存遵守下列规定。

- 1) UHPC 干混料宜采用防潮包装袋包装,含有钢纤维时,包装袋应满足防钢纤维扎破的要求。
- 2) UHPC 干混料每袋净含量不应少于其标识质量的 99%。随机抽取 20 袋,总质量(含包装袋)应不少于标识质量的总和。
- 3) UHPC 干混料包装袋上宜标明产品名称、标记、商标、加水量范围、净含量、使用说明、储存条件及保质期、生产日期或批号、生产单位、地址和电话等信息。
- 4) UHPC 干混料在储存过程中不应受潮和混入杂物,不同品种、规格型号和批号的 UHPC 干混料应分别储存,不应混杂,且宜先存先用。
- 5) 袋装 UHPC 干混料应储存于干燥环境中,应有防雨、防潮、防扬尘措施。储存过程中,包装袋不应破损。
- 6) 袋装 UHPC 干混料的保质期自生产日期起为 3 个月。当存放时间超过 3 个月时,应复验合格后方可使用。

c) UHPC 干混料的运输应遵守下列规定:

- 1) UHPC 干混料运输时,应有防雨、防潮、防扬尘等措施;
- 2) 袋装 UHPC 干混料搬运时,应确保包装完好。

d) UHPC 的湿拌应采用强制式搅拌机,并遵守下列规定。

- 1) 采用预拌干混料方式时,干混料的容许计量偏差不应大于 2%,水的容许计量偏差不应大于 1%;拌和时置于同一包装件中的干混料应一次搅拌完成,不应分盘搅拌。
- 2) 采用现场集中拌和方式时,钢纤维与水的计量允许偏差应符合表 12 的要求。
- 3) 搅拌前,应检查搅拌设备状态,严格按施工配合比或干混料使用说明书进行拌和。应清理搅拌机,湿润搅拌缸,但不能有积水。
- 4) 应使用强制式搅拌设备,宜优选 UHPC 专用搅拌设备,搅拌设备的生产能力应保证 UHPC 的连续浇筑。

- 5) 搅拌时间应根据混合物的黏聚性、均质性及搅拌机类型,经试拌确定,且每盘混合料的净搅拌时间不宜少于 8 min,待 UHPC 流化之后继续搅拌 2 min,且同一包装的干混料应一次搅拌完成,不应分盘搅拌。
- 6) 搅拌应保证拌和物均匀,出料口拌和物中不应有粉团或钢纤维结团现象。
- 7) UHPC 的均质性除应符合 JTG/T 3650 的规定之外,尚应对每一工作班或单元结构物的 UHPC 中钢纤维含量随机进行检测,检测次数不应少于两次,且连续两次测值的相对误差不应大于 5%,检测方法应符合 JGJ/T 221 的规定。
- 8) 搅拌结束后,应及时清洗搅拌设备。
- 9) UHPC 搅拌完毕后,应检测 UHPC 的坍落扩展度,取样地点和频次应符合 JTG/T 3650 的规定。
- e) 应采用专用摊铺机进行 UHPC 摊铺施工,布料应均匀,振捣应充分,表面平整密实,并遵守下列规定。
 - 1) 浇筑前应检查模板、钢筋以及保护层厚度、预埋件位置、尺寸,确认无误后,方可进行浇筑。
 - 2) UHPC 拌合物应采用附着式振动器或模外振动器振捣成型。
 - 3) UHPC 拌合物的自由下落高度不应超过 1.5 m。当倾落高度大于 1.5 m 时,应加串筒、斜槽、溜管等辅助工具。
 - 4) UHPC 应由构件的一端开始均匀连续浇筑,自由流淌的水平距离不宜超过 3 m。
 - 5) 摊铺过程中应按照表 13 的规定进行混凝土总厚度及净保护层厚度检测。

表 13 UHPC 层摊铺施工实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率
1	混凝土总层厚	≤ 3 mm	摊铺过程中,将钢钎插入到 UHPC 的底部,以直尺测量钢钎的浸润深度,每 100 m ² 检测 1 处
2	净保护层厚度	≤ 2 mm	摊铺过程中,将钢钎插入到横向钢筋顶部,以直尺测量钢钎的浸润深度,每 100 m ² 检测 1 处

- f) UHPC 摊铺完成后,应立即覆盖养护薄膜进行保湿养护,并应遵守下列规定。
 - 1) 宜采用适宜的材料进行覆盖、保湿养护,养护薄膜应搭接铺设,搭接位置宜采用压板或砂粒覆盖,搭接宽度应大于 20 cm。
 - 2) 保湿养护过程中发现 UHPC 表面缺水变干时,应及时喷雾补水。
 - 3) 保湿养护时间不宜少于 24 h,并应控制养护水温与构件表面的温差不大于 15 ℃。
 - 4) UHPC 终凝后,应撤除养护薄膜,开始蒸汽养护。保湿养护与蒸汽养护时间间隔不宜大于 7 d,间隔期间应做好构件的防晒、防雨措施。
- g) UHPC 的蒸汽养护应满足下列要求。
 - 1) 应根据现场条件和养护要求编制蒸养方案,确定网架搭设、蒸汽发生器、管道布置。
 - 2) 对于钢-UHPC 组合桥面结构,蒸养温度在 90 ℃ 及以上时,蒸养时间不少于 48 h;或蒸养温度在 80 ℃~90 ℃ 时,蒸养时间不应少于 72 h;蒸养过程中蒸汽蒸养棚内的相对湿度不应低于 95%;对于钢-混结合段处普通混凝土-UHPC 组合桥面结构,蒸养温度在 50 ℃~58 ℃ 时,蒸养时间不少于 120 h;蒸养过程中蒸汽蒸养棚内的相对湿度不应低于 95%。
 - 3) 蒸汽养护时升温阶段,升温速度不应大于 12 ℃/h;养护结束后,降温速度不应大于 15 ℃/h。
 - 4) 对于 UHPC 分幅、分段施工,蒸汽养护棚覆盖范围至少应超过接缝 2 m。

5) 蒸汽养护应按照表 14 的规定进行温度及湿度监测。

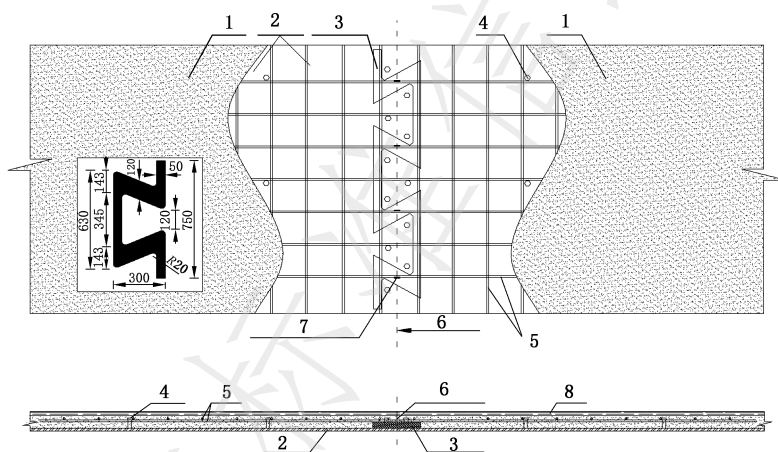
表 14 UHPC 层蒸汽养护实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	养护膜内温度	5℃	温度传感器,每小时检查2次
2	养护膜内相对湿度	5%	湿度传感器,每小时检查2次
3	养护时间	1h	计时器,每小时检查2次

5.3.6 UHPC 接缝面处理遵守下列规定。

a) UHPC 预制拼装或分段浇筑时,应设置施工接缝,宜采用 Z 型钢板接缝(见图 2),且应符合下列规定:

单位为毫米



标引序号说明:

- 1——STC 层;
2——钢板;
3——Z 型钢板;
4——焊钉;
5——钢筋;
6——STC 层接缝;
7——单面焊(长 50 mm);
8——磨耗层;
 R ——圆弧半径。

图 2 Z 型钢板接缝

- 1) Z 型钢板厚度宜为 10 mm、宽度宜为 300 mm;
 - 2) Z 型钢板通过间隔焊固定在钢面板上,焊接总长度不宜低于 Z 型钢板边缘总长度的 20%;
 - 3) Z 型钢板宜设置在相邻横隔板间的跨中位置。
- b) 钢-混结合段普通混凝土凿毛应符合下列规定:
- 1) 凿毛深度应满足设计要求,普通混凝土和 UHPC 层应保证有效连接;
 - 2) 凿毛后的普通混凝土桥面清理干净,无混凝土碎屑及松动混凝土;
 - 3) 凿毛过程未损害受力钢筋,普通混凝土未开裂;
 - 4) UHPC 分段施工界面应进行凿毛处理,凿毛深度 2 cm。

5.3.7 UHPC 层抛丸糙化处理遵守下列规定。

a) UHPC 板表面糙化处理后,其层间抗剪强度和抗拉拔强度应满足设计要求。

b) 采用抛丸法糙化 UHPC 板表面时符合下列要求。

- 1) 抛丸施工前应通过试验确定 UHPC 板表面的粗糙度指标。
- 2) 抛丸施工前应清除 UHPC 表面的油渍、锈迹、杂物、积水等杂质,桥面应干燥、洁净。
- 3) 大面积抛丸施工前应通过抛丸工艺试验,确定最佳丸料规格、丸料流量,即最佳电机负载、抛丸设备行走速度等关键工艺参数。
- 4) 抛丸过程应连续作业,如因特殊原因造成抛丸停机,在下次重抛之前应将机器倒退 30 cm 左右,再重新开始抛丸,待机器行走过去后,应及时检查搭接区域抛丸质量,如有遗漏再进行补抛。
- 5) 抛丸施工时,抛丸设备两次施工行车道之间需搭接 1 cm~5 cm。
- 6) 抛丸后应清洗桥面,UHPC 板表面应具有良好的清洁度,无浮灰、浮浆、碎屑等杂物;并对桥面进行保护,避免二次污染桥面。

5.3.8 黏结层与磨耗层施工应遵守下列规定:

- a) UHPC 表面宜采用抛丸方式处理,抛丸后应注意 UHPC 表面防污染处理;
- b) 黏结层施工应按照 JTG F 40 执行;
- c) 磨耗层施工应按照 JTG F 40 执行。

5.4 钢-UHPC 组合结构

5.4.1 钢梁施工应遵守下列规定。

- a) 钢梁的制造、包装、存放、运输和安装应遵守 JTG/T 3650 和 JTG/T D64-01 的相关规定。
- b) 钢梁的表面清理和涂装除应遵守 JTG/T 3650 的相关规定之外,尚应遵守下列要求:
 - 1) 上翼缘板顶面和剪力连接件视情况进行除锈、防腐蚀处理;
 - 2) UHPC 桥面板蒸汽养护过程中,应对主梁钢结构采取必要的防护措施,减少蒸汽养护对钢结构表面涂装的影响;
 - 3) UHPC 桥面板蒸汽养护结束后,应对局部损伤的涂层按 JTG/T 3650 进行表面处理,并按原设计涂层补涂各层涂料。

5.4.2 模板施工遵守下列规定:

- a) 模板宜采用整体钢模;
- b) 模板应保证密封性;
- c) UHPC 构件采用带模蒸汽养护时,模板应能适应蒸汽养护条件,采用钢模板时表面尚应进行防腐防锈处理;
- d) 宜根据振动器的作用范围,在模板上交错布置附着式振动器;
- e) 钢筋网铺设应根据设计图纸进行纵向、横向、竖向定位,钢筋直径、搭接长度、钢筋网高度及间距应符合 6.3.4 的要求,钢筋应平直,扎丝头不应位于钢筋顶面。

5.4.3 UHPC 摊铺施工遵守下列规定:

- a) UHPC 摊铺施工也应遵守 5.3.5 的规定;
- b) UHPC 构件的脱模强度和吊装强度在设计未规定时,脱模强度不应低于 40 MPa,吊装强度不宜低于设计强度的 85%;
- c) 拆模后,应及时去除构件表面和棱角处露出的钢纤维。

5.4.4 钢-UHPC 组合梁预制安装遵守下列规定。

- a) 钢梁与 UHPC 桥面板的预制、存放场地、存放和运输应遵守 JTG/T 3650 的相关规定。
- b) UHPC 桥面板的预制安装施工除应遵守 JTG/T 3650 的相关规定之外,还应遵守下列要求:
 - 1) 桥面板预制所用的侧向模板宜采用定型模板,并应根据设计图中钢筋的位置在模板上设置相应槽口;
 - 2) 预制桥面板的存放时间应符合设计要求;

- 3) 预制桥面板的安装顺序应符合设计要求;
- 4) UHPC 桥面板预制拼装接缝采用环氧树脂胶时,其胶体的性能指标应符合设计要求。

5.4.5 UHPC 现浇湿接缝施工遵守下列规定。

- a) 施工前宜对接缝表面 UHPC 进行糙化处理,糙化深度宜为 8 mm~10 mm。
- b) 浇筑前,接缝表面应清洗干净,保持润湿,不应有积水。
- c) 湿接缝处的模板与梁(板)体的接触面应密贴并具有一定的搭接长度,各接缝应严密不漏浆。
- d) 湿接缝 UHPC 浇筑时机和浇筑顺序应符合设计要求。若设计未规定时,应在一天中气温适宜的时段浇筑,且一联中的全部湿接缝宜一次浇筑完成,浇筑过程中可采用人工插捣方式辅助密实。
- e) 湿接缝浇筑完毕后,应及时覆盖保湿,养护 7 d 以上。

5.4.6 钢-UHPC 组合结构中钢-混结合段普通混凝土桥面搭接段处理应遵守 5.3.2 的规定。

5.4.7 UHPC 层抛丸糙化处理应遵守 5.3.7 的规定。

5.4.8 黏结层与磨耗层施工应遵守下列规定:

- a) 黏结层施工应按照 JTG F 40 执行;
- b) 磨耗层施工应按照 JTG F 40 执行。

6 质量检验与评定

6.1 基本要求

- 6.1.1 分项工程应按基本原则、实测项目、外观质量和质量保证资料等检验项目分别检查。
- 6.1.2 分项工程基本原则检查、实测项目检验、检查项目合格判定、外观质量检验和质量保证资料要求应符合 JTG F80/1 的相关规定,检验项目评定为不合格的,应进行整修或返工处理直至合格。
- 6.1.3 工程质量等级分为合格与不合格,分项工程、分部工程、单位工程质量评定应符合 JTG F80/1 的相关规定,评定为不合格的分项工程、分部工程,应返工、加固、补强或调测,满足设计要求后,可重新进行质量检验与评定。

6.2 进场检验

- 6.2.1 原材料进场时,应按照规定批次查出厂检验报告或合格证等质量证明文件,外加剂产品应具有使用说明书。
- 6.2.2 材料进场检验的检验样品应随机抽取。
- 6.2.3 焊钉进场检验项目及要求按照 GB/T 10433 执行,同一工程、同一原材料来源的焊钉,检验批量不应大于 20 万个。
- 6.2.4 钢筋进场检验项目及要求按照 JTG/T 3650 执行,同一工程、同一原材料来源的钢筋,检验批量不应大于 60 t。
- 6.2.5 钢纤维同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产的钢纤维,检验批量不应大于 50 t。
- 6.2.6 UHPC 干混料进场时,按照表 20 的要求进行检验;不同批次或非连续供应的不足一个检验批量的 UHPC 干混料应作为一个检验批;同一生产厂家、同批号、同品种的干混料,检验批量不应大于 200 t。除应按照规定批次提供产品检验报告等质量证明文件外,还应进行外观检验和物理力学性能检验,并应符合下列规定:
 - a) 散装干混料应外观均匀,无结块、受潮现象;
 - b) 袋装干混料应包装完整,无破袋、受潮现象;
 - c) 抗弯拉强度应大于相应强度等级标准值的 1.05 倍。

6.2.7 UHPC 各原材料按照 4.1 的规定进行检验,同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产的

钢纤维,检验批量不应大于 50 t。

6.3 钢-UHPC 轻型组合桥面结构质量检验

6.3.1 UHPC 材料质量检验应符合下列规定。

- a) 通则:
 - 1) UHPC 原材料的质量应符合本文件的要求;
 - 2) UHPC 的配合比除应符合本文件的规定,尚宜符合厂家的使用说明。
- b) 实测项目应按照表 15 的规定进行检验。

表 15 UHPC 材料的实测项目

项次	检验项目	允许偏差	检验方法	检验频率
1	坍落扩展度	在合格标准内	按 JTG 3420	每 100 m ³ 检验 1 次、每个工班至少检验 1 次
2	抗压强度	在合格标准内	按附录 E	每 100 m ³ 检验 1 次、每个工班至少检验 1 次
3	抗弯拉强度	在合格标准内	按附录 E	每 50 m ³ 检验 1 次、每个工班至少检验 1 次
4	轴心抗拉强度	在合格标准内	按附录 E	每座桥涵不少于 1 次
5	轴心抗拉性能分级	在合格标准内	按附录 C	每座桥涵不少于 1 次

- c) 外观质量应符合下列规定:
 - 1) 养护结束后,UHPC 应均匀完好,且目视观测 UHPC 表面无收缩裂缝;
 - 2) 混凝土层边角处、不同浇筑时期接缝处等位置应衔接良好,无脱空、台阶现象;
 - 3) 接缝区域先浇段 UHPC 侧面凿毛处理后,表面粗糙,断面上有大量钢纤维裸露在外。

6.3.2 圆柱头焊钉焊接质量检验应符合下列要求。

- a) 通则:圆柱头焊钉的规格、技术性能应符合 GB/T 10433 的规定和设计要求。
- b) 实测项目应按照表 16 的规定进行检测。

表 16 焊钉焊接实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率	要求
1	圆柱头焊钉高度	±3 mm	钢尺测量,每 100 m ² 检测 1 处	按照设计图纸
2	圆柱头焊钉间距	±10 mm	钢尺测量,每 100 m ² 检测 1 处	按照设计图纸
3	焊缝可靠性	≤5%	重锤平击钉帽,每 100 m ² 检测 1 处	符合 GB/T 10433 的要求

- c) 外观质量应符合下列规定:
 - 1) 圆柱头焊钉无锈蚀,位置准确,磁环应干燥;
 - 2) 圆柱头焊钉保持竖直,无倾角;
 - 3) 焊缝外形应饱满,无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。

6.3.3 加强钢板焊接质量检验应符合下列规定。

- a) 通则:加强钢板的规格、技术性能应符合 JTG D64 的规定和设计要求。
- b) 实测项目应按照表 17 的规定进行检测。

表 17 加强钢板焊接实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率
1	焊缝高度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 加强板检测 1 处
2	焊缝宽度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 加强板检测 1 处
3	焊缝长度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 加强板检测 1 处

c) 外观质量应符合下列规定:

- 1) 接缝处加强钢板的摆放平齐无偏差,各加强板块间相互紧靠;
- 2) 间断焊缝外形应饱满,无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。

6.3.4 钢筋网铺设质量检验应遵守下列规定。

- a) 通则:钢筋、焊条等的品种、规格和技术性能应符合 JTG 3362 的规定和设计要求;钢筋的冷拉调直、加工、弯制等操作应符合 JTG/T 3650 的规定。
- b) 实测项目应按照表 18 的规定进行检测。

表 18 钢筋网铺设实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率
1	钢筋直径	$\leq 0.2 \text{ mm}$	游标卡尺测量,每 100 m ² 检测 1 处
2	钢筋搭接长度	$\leq 10 \text{ mm}$	钢尺测量,每 100 m ² 检测 1 处
3	钢筋网高度	$\leq 3 \text{ mm}$	钢尺测量,每 100 m ² 检测 1 处
4	钢筋网间距	$\leq 10 \text{ mm}$	钢尺或游标卡尺测量,每 100 m ² 检测 1 处

c) 外观质量应符合下列规定:

- 1) 垫块的布置应能保证钢筋网位置准确;
- 2) 钢筋网纵、横桥向间距均匀;
- 3) 钢筋搭接布置合理,位置错开,搭接长度满足要求,搭接绑扎应牢固。

6.3.5 UHPC 与边界的连接钢筋焊接质量检验应符合下列规定。

- a) 通则:连接钢筋的规格、技术性能应符合 JTG 3362 的规定和设计要求;连接钢筋的布置位置应准确。
- b) 实测项目应按照表 19 的规定进行检测。

表 19 UHPC 与边界的连接钢筋焊接实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率
1	焊缝高度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 连接钢筋检测 1 处
2	焊缝宽度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 连接钢筋检测 1 处
3	焊缝长度	$\leq 1 \text{ mm}$	钢尺测量,每 5 m 连接钢筋检测 1 处

c) 外观质量应符合下列规定:

- 1) 连接钢筋应与 UHPC 中的受力钢筋在同一水平面上无偏差;
- 2) 连接钢筋焊缝外形应饱满,无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。

6.3.6 UHPC 层摊铺施工质量检验应符合下列规定。

a) 通则:

- 1) UHPC 所用的水泥、石英砂、掺合料、钢纤维、水等材料的质量和规格应符合 GB/T 31387 的要求;
- 2) 材料配合比应满足本文件的要求,按照规定的配合比施工;
- 3) 接缝的位置、规格及尺寸的设置应满足设计要求;
- 4) 模板高度和安装位置应满足设计的结构尺寸和现状要求;
- 5) 施工完后,及时养护。

b) 实测项目应按照表 20、表 21、表 22 的规定进行检测。

表 20 UHPC 性能实测项目

项次	检测项目	检测方法和频率	性能要求
1	抗压强度	100 mm×100 mm×100 mm 立方体试件抗压试验,每 100 m ³ 检测 1 组	$f_{cu,m} - 1.1S_{fcu} \geq f_{cu,k}$ $f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k}$
2	抗弯拉强度	100 mm×100 mm×400 mm 棱柱体试件抗弯拉试验,每 100 m ³ 检测 1 组	$f_{t,m} \geq 1.05f_{tk}$ $f_{t,min} \geq 0.95f_{tk}$
3	弹性模量	100 mm×100 mm×300 mm 棱柱体试件轴压试验,每 100 m ³ 检测 1 组	按照设计要求
4	坍落扩展度	水泥混凝土坍落扩展度试验标准方法,每 100 m ³ 检测 1 次	450 mm~750 mm

表 21 UHPC 层摊铺施工实测项目

项次	检测项目	允许偏差	检测方法和频率
1	UHPC 表面纵坡、横坡	$\leq 0.2\%$	水准仪、塔尺、钢卷尺测量,每 100 m ² 检测 1 处
2	平整度	≤ 5 mm	3 m 靠尺,每 100 m ² 检测 1 处

表 22 UHPC 耐久性实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检测方法和频率
1	抗氯离子渗透性	$Q \leq 100$ C	电量法,当 UHPC 的耐久性设计需要实测指标时进行检测,每座桥不超过 1 次
采用电量法测试 UHPC 的抗氯离子渗透性时,试件不应掺入钢纤维等电介质。			
注: Q 为采用电量法测试 UHPC 的抗氯离子渗透性时,通过 UHPC 试件的总电通量。			

c) 外观质量应符合下列要求:

- 1) 养护结束后,UHPC 层应均匀完好,且 UHPC 表面无收缩裂缝;
- 2) UHPC 层的边角处、接缝处等位置应衔接良好,无脱空、错台现象。

6.3.7 磨损层铺筑应符合 JTG F80/1 的要求。

6.4 钢-UHPC 组合结构质量检验

6.4.1 UHPC 材料质量检验应符合 6.3.1 的规定。

6.4.2 焊接圆柱头焊钉质量检验应符合 6.3.2 的规定。

6.4.3 模板、支架制作与安装质量检验应符合下列要求。

- a) 通则：
- 1) 应符合施工设计图(施工方案)的规定；
 - 2) 模板、支架应稳固牢靠,接缝严密,不应漏浆；
 - 3) 模板与混凝土接触面应清理干净并涂刷隔离剂；
 - 4) 立柱基础有支撑面和排水、防冻融措施。
- b) 实测项目应按照表 23、表 24 的规定进行检测。

表 23 模板、支架制作实测项目

项次	检测项目		允许偏差 mm	检测方法和频率
1	外形尺寸	长和高	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -1 \end{smallmatrix}$	钢尺测量,每个构件长、宽、高各检测 1 处
		肋高	± 5	
2	面板端偏斜		0.5	钢尺测量,每个构件检测 2 处
3	连接配件 孔眼位置	孔中心与板面的间距	± 0.3	钢尺测量,每个配件检测 1 处
		板端中心与板端的间距	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$	
		沿板长、宽方向的孔	± 0.6	
4	板面局部不平		1	2 m 直尺和塞尺测量,每个构件检测 4 处
5	板面和板侧挠度		± 1	水准仪和拉线测量,每个构件检测 1 处

表 24 模板、支架安装实测项目

项次	检测项目		允许偏差 mm	检测方法和频率
1	模板高程		± 5	水准仪测量,每个构件检测 1 处
2	模板尺寸		$\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	钢尺测量,每个构件长、宽、高各检测 1 处
3	支承面高程		$\begin{smallmatrix} +2 \\ -5 \end{smallmatrix}$	水准仪测量,每个支承面检测 1 处
4	轴线偏位	梁	5	经纬仪测量,每个构件纵、横向检测 1 处
		悬浇各梁段	5	
		横隔梁	3	
5	相邻两板表面高低差		2	钢尺和塞尺测量,测相邻梁、板高差最大处
6	表面平整度		3	2 m 直尺测量,梁长方向每 10 m 测 1 处 $\times 2$ 次
7	垂直度		$H/1\ 000$,且 ≤ 3	经纬仪或垂线测量,每个节段检测 1 处
8	支座板、锚垫板、 连接板等	位置	5	钢尺测量,每个预埋件检测 1 处
		平面高差	2	水准仪测量,每个预埋件检测 1 处
9	螺栓、锚筋等	位置	3	钢尺测量,每个预埋件检测 1 处
		外露长度	± 5	

表 24 模板、支架安装实测项目 (续)

项次	检测项目		允许偏差 mm	检测方法和频率
10	预应力筋孔道位置(梁端)		5	钢尺测量,每个孔洞检测 1 处
	其他预留孔洞	位置	8	
			孔径	+10 0
11	梁底模拱度		+5 -2	钢尺测量,沿底模全长拉线
12	侧向弯曲	板	$L/1\ 500$	钢尺测量,沿底模全长拉线
		梁	$L/2\ 000$, 且不大于 10	钢尺测量,沿侧模全长拉线
13	支架纵轴线平面偏位		$L/2\ 000$,且 不大于 30	经纬仪测量,每片梁测量 1 次
注: L 为计算长度,单位为毫米(mm);支承面高程指模板底模上表面支撑混凝土面的高程; H 为节段高度,单位为毫米(mm)。				

c) 外观质量应符合下列规定:

- 1) 混凝土浇筑前,模板内无积水和杂物;
- 2) 模板与混凝土的接触面应平整、清洁;
- 3) 固定在模板上的预埋件、预留孔和预留洞不应遗漏,且应安装牢固。

6.4.4 钢筋安装与钢筋网铺设质量检验应符合下列要求:

- a) 通则:钢筋安装与钢筋网铺设应符合 JTG F80/1 的相关规定;
- b) 实测项目应按照表 25、表 26 的规定进行检测;

表 25 钢筋安装实测项目

项次	检测项目			允许偏差 mm	检测方法和频率
1	受力钢筋间距	两排以上排距		±5	钢尺测量:长度小于或等于 20 m 时,每个构件检测 2 个断面;长度大于 20 m 时,每个构件检测 3 个断面
		同排	梁	±10	
			板	±5	
2	横向水平钢筋间距			±10	钢尺测量,每个构件检测 10 处
3	钢筋骨架尺寸	长		±10	钢尺测量,每个骨架检测 30%
		宽、高或直径		±5	
	弯起钢筋位置			±20	
4	保护层厚度	梁		±4	钢尺测量,每个构件各立模板面每 3 m ² 检查 1 处,且每侧面不少于 5 处
		板		±3	

表 26 钢筋网铺设实测项目

项次	检测项目		允许偏差 mm	检测方法和频率
1	钢筋网长、宽		±10	钢尺测量,逐边测量
2	网眼尺寸		±10	钢尺测量,测量 5 个网眼
3	网眼对角线差		±15	钢尺测量,测量 5 个网眼
4	钢筋网 安装位置	平面内	±15	钢尺测量,测量每网边线中点
		平面外	±3	

c) 外观质量应符合 JTG F80/1 的相关规定。

6.4.5 钢-UHPC 组合梁预制安装应符合下列规定:

- a) 通则:钢-UHPC 组合梁预制安装应符合 JTG F80/1 的相关规定;
b) 实测项目应按照表 27、表 28、表 29 的规定进行检测;

表 27 UHPC 梁、板或梁段的预制实测项目

项次	检测项目		允许偏差	检测方法和频率	
1	UHPC 性能		在合格标准内	应符合附录 E 的规定	
2	梁(板)长度/mm	总长度	$\begin{smallmatrix} +5 \\ -10 \end{smallmatrix}$	钢尺测量,每梁顶面中线、底面两侧测量 1 次	
		梁段长度	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -2 \end{smallmatrix}$		
3	截面宽度/mm	箱梁	顶宽	$\pm 20(\pm 5)$	钢尺测量,每片梁检测 3 个断面,每片板检测 2 个断面
		箱梁	底宽	$\pm 10(\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix})$	
		其他梁、板	干接缝(梁翼缘、板)	± 10	
			湿接缝(梁翼缘、板)	± 20	
	截面高度/mm	箱梁	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -5 \end{smallmatrix}$		
		其他梁、板	± 5		
	顶板、底板、腹板或梁肋厚/mm		$\begin{smallmatrix} +3 \\ 0 \end{smallmatrix}$		
4	平整度/mm		≤ 5	2 m 直尺测量,沿梁长方向每侧面每 10 m 梁长测 1 处×2 次	
5	横系梁及预埋件位置/mm		≤ 4	钢尺测量,每个预埋件测量 1 次	
6	横坡/%		± 0.15	水准仪测量,每片梁检测 3 个断面,每片板检测 2 个断面	
注:括号中的数字适用于节段拼装梁段的预制。					

表 28 UHPC 梁、板的安装实测项目

项次	检测项目		允许偏差 mm	检查方法和频率
1	支承中心 偏位	梁	≤ 5	钢尺测量,每跨检测 6 个支承处,不足全测
		板	≤ 10	

表 28 UHPC 梁、板的安装实测项目 (续)

项次	检测项目	允许偏差 mm	检查方法和频率
2	梁、板顶面高程	≤ 8	水准仪测量,每跨检测 5 处,跨中、桥墩(台)处应布测点
3	相邻梁、板顶面高差	$L \leq 40$ m	钢尺测量,检测每相邻梁、板高差最大处
		$L > 40$ m	
4	轴线偏位	≤ 5	全站仪测量,每跨检测 3 处
注: L 为计算长度。			

表 29 UHPC 梁、板的安装实测项目

项次	检测项目	允许偏差 mm	检测方法和频率
1	UHPC 性能	在合格标准内	应符合附录 E 的规定
2	板长度	$\pm 3(0.1\%)$	钢尺测量,每片板检测顶面中线、底面两侧
3	宽度	$\pm 3(0.1\%)$	钢尺测量,每片板检测 3 个断面
4	厚度	$+3$ 0	钢尺测量,每片板检测 3 个断面
5	连接钢筋预埋位置	± 4	钢尺测量,每片板检测 3 个断面
6	平整度	≤ 2	2 m 直尺测量,沿板长方向每侧面每 2 m 长检测 1 处 $\times$ 2 次
7	安装偏位	± 5	钢尺测量,检测 30%预制板
8	相邻两板错开量	≤ 3	钢尺测量,检测相邻预制板高差最大处

c) 外观质量应符合 JTG F80/1 的相关规定。

6.4.6 钢-UHPC 现浇湿接缝应符合下列规定。

a) 通则:

- 1) 湿接缝凿毛断面应有大量钢纤维裸露在外,凿毛断面上应保持洁净;
- 2) 湿接缝处的模板应具有足够的强度和刚度;
- 3) 连接钢筋的设置应符合设计要求。

b) 实测项目应按照表 30 的规定进行检测。

表 30 UHPC 现浇湿接缝实测项目

项次	检测项目	允许偏差 mm	检测方法和频率
1	湿接缝的长度和宽度	≤ 5	钢尺测量,每处湿接缝检测 3 处
2	相邻两板表面高低差	≤ 3	钢尺测量,每处湿接缝检测 3 处
3	湿接缝高度	≤ 5	浇筑过程中,将直钢丝插入到 UHPC 的底部,钢尺测量钢丝的浸润深度,每处湿接缝检测 3 处
4	湿接缝净保护层厚度	≤ 4	浇筑过程中,将直钢丝插入到钢筋表面,钢尺测量钢丝的浸润深度,每处湿接缝检测 3 处
5	湿接缝平整度	≤ 5	3 m 钢尺测量,每处湿接缝检测 3 处

- c) 外观质量应符合下列规定：
 - 1) 湿接缝形状与设计一致、无明显高差；
 - 2) 新、老 UHPC 无界面裂缝。

6.5 质量评定

6.5.1 质量评定工作应遵守下列规定：

- a) 使用的原材料、半成品、成品及施工工艺应符合 6.3 和 6.4 中通则的规定；
- b) 无外观缺陷,且质量保证资料真实齐全。

6.5.2 质量保证资料应包括下列内容：

- a) 所用原材料、半成品和成品的质量检验报告；
- b) 施工配合比、重要工序交接检查、栓钉施工检查、钢筋网施工检查、UHPC 施工检查记录；
- c) 各项质量控制指标的试验数据和质量检验资料；
- d) 施工过程中遇到的非正常情况记录及其对工程质量影响分析报告；
- e) 施工过程中如发生质量事故,经处理补救后,达到设计要求的认可证明文件。

6.5.3 对工程质量评定不合格的,应进行缺陷修补或返工,并重新进行质量检验和质量评定。

附 录 A
(规范性)
UHPC 用钢纤维性能检验方法

A.1 钢纤维形状与尺寸检验

A.1.1 钢纤维形状合格率检验应遵守下列规定。

- a) 每批次钢纤维中用感量 0.1 g 的天平称取 1 000 g 钢纤维,从中随机取 50 根钢纤维,目视逐根检查其形状。记录钢纤维形状呈弯曲和其他形状的纤维根数(N_f)。
- b) 钢纤维形状合格率按照式(A.1)计算,计算结果精确至 0.1%。

$$P_f = \frac{50 - N_f}{50} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

P_f ——形状合格率;

N_f ——形状呈弯曲和其他形状的纤维根数,单位为根。

A.1.2 钢纤维长度和直径合格率检验应遵守下列规定。

- a) 每批次钢纤维中用感量 0.1 g 的天平称取 1 000 g 钢纤维,从中随机取 50 根钢纤维,用游标卡尺(分辨率 0.01 mm)逐根测量其长度,用千分尺(分辨率 0.001 mm)测量其直径。记录长度不在 12 mm~14 mm 或 7 mm~8 mm 范围内的钢纤维根数和直径不在 0.12 mm~0.14 mm 范围内的钢纤维根数。
- b) 钢纤维长度和直径合格率按照式(A.2)和式(A.3)计算,计算结果精确至 0.1%。

$$P_l = \frac{50 - N_l}{50} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$P_d = \frac{50 - N_d}{50} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

P_l ——长度合格率;

N_l ——长度不在 12 mm~14 mm 或 7 mm~8 mm 范围内的钢纤维根数,单位为根;

P_d ——直径合格率;

N_d ——直径不在 0.18 mm~0.22 mm 或 0.12 mm~0.14 mm 范围内的钢纤维根数,单位为根。

A.2 杂质含量检验

每批次钢纤维中用感量 0.01 g 的天平称取 500 g 钢纤维两份,分别对每份样品用目视观察钢纤维的表面是否污染。用人工挑拣出杂质(包括粘连的钢纤维束、锈蚀钢纤维及其他杂质等),并用感量 0.01 g 的天平称重。杂质含量按照式(A.4)计算,计算结果精确至 0.1%。两次结果的平均值作为评定结果。

$$w = \frac{m}{500} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

w ——杂质含量(质量分数);

m ——杂质质量,单位为克(g)。

A.3 轴心抗拉强度试验

A.3.1 钢纤维轴心抗拉强度采用母材大试样进行试验。每批次钢纤维随机取 600 mm 长的母材试样 5 根。

A.3.2 采用分辨率为 0.001 mm 千分尺,在试样的断面相互垂直方向测量试样的截面直径,取平均值计算圆形钢纤维截面面积(A),计算时应保留到小数点后四位。

A.3.3 采用量程为 100 N~200 N 的电子拉力试验机,加载速度(1±0.2)mm/min,测得钢纤维极限拉伸荷载($P_{\max}$)。

A.3.4 钢纤维的轴心抗拉强度按照式(A.5)计算。

$$f_u = \frac{P_{\max}}{A} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

f_u ——钢纤维轴心抗拉强度,单位为兆帕(MPa);

$P_{\max}$ ——钢纤维极限拉伸荷载,单位为牛(N);

A ——圆形钢纤维截面面积,单位为平方毫米(mm²)。

A.3.5 以五根试样轴心抗拉强度测定值的算术平均值作为评定结果,精确至 0.1 MPa。如 5 个测定值中有一个超出平均值的±10%,应剔除该值,再以剩下 4 个测定值的平均值作为轴心抗拉强度评定结果。如果这 4 个测定值中再有超过其平均值±10%的,则该组试验结果作废。单根试样的轴心抗拉强度不应低于 2 000 MPa。

附 录 B

(资料性)

UHPC 试件的制作及试验方法

- B.1** UHPC 拌和物的取样应符合 GB 50204 的相关规定。
- B.2** 现场取样应从同一次搅拌或同一车运送的 UHPC 中取出,取样量不应小于试样需要量的 1.5 倍,且不宜小于 20 L。
- B.3** UHPC 试件制作所用试模应符合 JG/T 237 的相关规定。试件制作时,应将拌和物一次性装入试模,并略高出试模上口;振捣时振动器应在振动台上振动 30 s 或持续到 UHPC 表面出浆为止,振捣密实后刮去多余的拌和物并抹平。振动台应无磁性,防止钢纤维排向和下沉,棱柱体试件应采用卧式成型。
- B.4** 试件与实际施工时的桥面同条件进行蒸汽养护。
- B.5** 在试件进行抗压试验前,应检验试件表面平整度。试件表面平整度应小于 0.04%。
- B.6** UHPC 的力学性能试验应符合 GB/T 31387 的规定。
- B.7** 抗压强度与抗弯拉强度试验值均不应乘以尺寸换算系数。

附录 C
(规范性)
UHPC 轴心抗拉性能试验方法

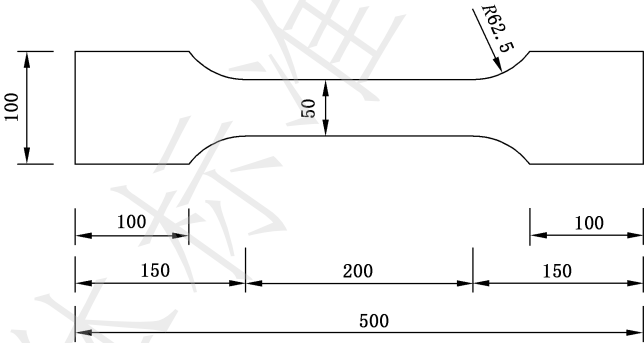
C.1 概述

本方法用于测定 UHPC 在单轴拉伸试验条件下的弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、极限抗拉强度、极限拉应变。

C.2 试件尺寸和数量

C.2.1 轴心抗拉试件平面尺寸如图 C.1 所示,厚度可采用 50 mm 或 100 mm。设计单位或供需双方可根据需要选择轴心抗拉试件的厚度。当 UHPC 中钢纤维长度不大于 16 mm 时,宜采用厚度为 50 mm 的试件;当 UHPC 中钢纤维长度大于 16 mm 时,宜采用厚度为 100 mm 的试件。不同厚度试件的测试结果在进行合格评定时可不考虑尺寸效应。

单位为毫米



标引序号说明:
R——圆弧半径。

图 C.1 轴心抗拉试件的平面尺寸

C.2.2 每组试件数量为 6 个。

C.3 试件制作

C.3.1 试件的浇筑和成型应符合附录 B 的有关规定。

C.3.2 宜在试件变截面段侧面粘贴碳纤维布或铝片,亦可采取其他可靠措施强化变截面段受力,且碳纤维布或铝片宜伸入等截面段 15 mm。

C.3.3 UHPC 轴心抗拉试件的养护方式应采取标准蒸汽养护方式。

C.4 试验仪器设备

C.4.1 拉力试验机的性能要求除应符合 GB/T 50081 的相关规定外,还可按位移控制模式进行加载。

C.4.2 用于微变形测量的仪器装置符合下列规定。

- a) 用于微变形测量的仪器宜采用位移传感器,也可采用千分表、激光测长仪、引伸仪等。采用位移传感器或千分表时应备有微变形测量固定架,试件的变形通过微变形测量固定架传递到位

移传感器或千分表。采用位移传感器或千分表测量试件变形时,应具备有数据自动采集系统;条件许可时,可采用荷载和位移数据同步采集系统。

- b) 当采用位移传感器或千分表时,其测量精度应为 $\pm 0.001\text{ mm}$;当采用激光测长仪或引伸仪时,其测量精度应为 $\pm 0.001\%$ 。
- c) 微变形测量仪的标距宜为 150 mm 。

C.5 试验步骤

C.5.1 到达试验龄期前,将试件在规定试验环境中自然干燥 1 d 后,量测试件等截面区的截面尺寸。试件厚度应取试件不同位置的 6 个数值的平均值,沿长轴方向每边等间距选取 3 个位置量测。当实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1 mm 时,可按公称尺寸进行计算。试件承压面的不平整度误差不应超过边长的 0.05% ,承压面域相邻面的不垂直度不应超过 $\pm 5^\circ$ 。

C.5.2 将试件放置于试验机上下夹具中,上下夹具连接件应与混凝土试件的中轴线一致并对中。在试件弧形段与夹具接触部位宜放置 $0.5\text{ mm}\sim 1\text{ mm}$ 厚的橡胶垫片或铝垫片。将试件上端与试验机上夹头固定,升降拉力试验机至合适高度,调整试件方向,将试件下端固定。

C.5.3 当采用位移传感器或千分表测量变形时,应将位移传感器或千分表固定在变形测量架,并由标距定位杆进行定位,然后将变形测量架通过紧固螺钉固定在试件中部。

C.5.4 开动试验机进行预拉,预拉荷载相当于弹性极限荷载的 $15\%\sim 20\%$ 。预拉时,应测读应变值,计算偏心率,计算方法应符合 GB/T 50081 的轴向拉伸试验方法。当试件偏心率大于 15% 时,应对试件重新进行对中调整。

C.5.5 预拉完毕后,应重新调整测量仪器,进行正式测试。拉伸试验时,对试件进行连续、均匀加荷,宜采用位移控制加荷,加荷速率宜取 0.2 mm/min 。当采用位移传感器测量变形时,试件测量标距内的变形应由数据采集系统自动记录,绘制荷载-变形曲线。试件初裂前,数据采集频率不宜小于 2 Hz ;试件初裂后,数据采集频率不宜小于 5 Hz 。

C.5.6 当出现下列情况之一时,应终止加载,停止试验:

- a) 试件进入拉伸应变软化阶段后拉应力低于峰值荷载的 30% 时;
- b) 试件的拉应变达到 $10\ 000\times 10^{-6}$ 时;
- c) 试件拉断。

C.6 结果计算和确定

C.6.1 弹性极限点的选取要求如下:

- a) 宜取位移传感器和数据采集系统绘制的荷载-变形曲线中,由线性段转为非线性段的点作为弹性极限点;
- b) 当荷载-变形曲线中线性段转为非线性段的点不明显时,可取拉应变为 200×10^{-6} 对应的曲线上的点作为弹性极限点。

C.6.2 极限抗拉点应选取试件拉伸变形达到 0.30 mm 时对应的点。

C.6.3 UHPC 弹性极限抗拉强度和 UHPC 弹性极限拉应变应按式(C.1)、式(C.2)进行计算。

$$f_{te} = \frac{F_A}{b_m h_m} \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\epsilon_{te} = \frac{l_{te}}{L_c} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

f_{te} ——UHPC 弹性极限抗拉强度,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

F_A ——弹性极限荷载,单位为牛(N),取弹性极限点处的荷载;

b_m ——轴心抗拉试件中部截面的宽度,单位为毫米(mm);

h_m ——轴心抗拉试件中部截面的厚度,单位为毫米(mm);

ε_{te} ——UHPC 弹性极限拉应变,计算结果精确至 10×10^{-6} ;

l_{te} ——弹性极限点处拉伸变形,单位为毫米(mm);

L_c ——测试标距,单位为毫米(mm)。

C.6.4 UHPC 极限抗拉强度和 UHPC 极限拉应变应按式(C.3)、式(C.4)进行计算。

$$f_{tu} = \frac{F_B}{b_m h_m} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\varepsilon_{tu} = \frac{l_{tu}}{L_c} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

f_{tu} ——UHPC 极限抗拉强度,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

F_B ——极限抗拉荷载,单位为牛(N),取极限抗拉点的荷载,即轴心抗拉试验的拉伸变形 0.30 mm 时对应的荷载;

b_m ——轴心抗拉试件中部截面的宽度,单位为毫米(mm);

h_m ——轴心抗拉试件中部截面的厚度,单位为毫米(mm);

ε_{tu} ——UHPC 极限拉应变(不考虑配筋),计算结果精确至 10×10^{-6} ;

l_{tu} ——拉伸变形为 0.30 mm 处,单位为毫米(mm);

L_c ——测试标距,单位为毫米(mm)。

C.6.5 试验结果的处理遵守下列规定。

- 有效轴心抗拉试件的开裂位置应位于标距内,有效轴心抗拉试件数量不应小于 3 个。当有效轴心抗拉试件数量小于 3 个时,该组试件无效,应重新进行试验。
- 根据所有有效轴心抗拉试件测值的标准值确定弹性极限抗拉强度和极限抗拉强度的最终试验结果,且根据所有有效轴心抗拉试件测值的最小值确定极限拉应变的最终试验结果。
- UHPC 轴心抗拉强度标准值可按式(C.5)、式(C.6)确定。

$$f_{te,k} = f_{te,m} - tS_n \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$f_{tu,k} = f_{tu,m} - tS_n \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

$f_{te,k}$ ——UHPC 弹性极限抗拉强度标准值,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

$f_{te,m}$ ——UHPC 弹性极限抗拉强度平均值,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

$f_{tu,k}$ ——UHPC 极限抗拉强度标准值,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

$f_{tu,m}$ ——UHPC 极限抗拉强度平均值,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

t —— T 检验系数,可按表 C.1 规定取值;

S_n —— n 组试件的标准差,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa。

表 C.1 T 检验系数

试件数量	T 值	试件数量	T 值	试件数量	T 值
3	2.920	13	1.782	23	1.717
4	2.353	14	1.771	24	1.714
5	2.132	15	1.761	25	1.711
6	2.015	16	1.753	26	1.708
7	1.943	17	1.746	27	1.706
8	1.895	18	1.740	28	1.703
9	1.860	19	1.734	29	1.699
10	1.833	20	1.729	30	1.697
11	1.812	21	1.725	...	...
12	1.796	22	1.721	∞	1.645

附录 D

(规范性)

UHPC 纤维取向系数的确定方法及取值

D.1 基本要求

D.1.1 UHPC 纤维取向系数宜通过对 UHPC 实体模型进行多向切割并开展四点弯曲试验确定。

D.1.2 若无试验数据,纤维系数可按下列规定取值:

- a) 当构件厚度 $h \leq 50$ mm 时, $K_{\text{global}} = 1.00$, $K_{\text{local}} = 1.00$;
- b) 当构件厚度 $h \geq 100$ mm 时, $K_{\text{global}} = 1.25$, $K_{\text{local}} = 1.75$;
- c) 当构件厚度 $50 \text{ mm} < h < 100 \text{ mm}$ 时,按直线内插取用。

D.2 实体模型与模制试件制作

D.2.1 UHPC 实体模型的厚度应与实际结构保持一致,平面尺寸不宜小于 $500 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$,且切割试件数量不宜少于 3 个。

D.2.2 UHPC 实体模型的浇筑、成型、养护方式应与实际结构保持一致。

D.2.3 模制试件的厚度(h)应与实际结构保持一致,平面尺寸宜为 $1h \times 4h$ 。

D.2.4 模制试件浇筑与成型应符合附录 B 的相关规定,养护方式应与实际结构保持一致。

D.3 实体试件切割

D.3.1 UHPC 实体模型的切割试件方向不宜少于两个纤维取向,即平行于 UHPC 浇筑方向和垂直于 UHPC 浇筑方向。

D.3.2 UHPC 实体模型切割前,应明确切割施工顺序、制定切割施工安全应急预案和环境保护措施,并确定切割区域边界基准。

D.3.3 采用混凝土切割机对 UHPC 实体模型进行多向切割,切割试件应测 3 个不同位置的断面尺寸,尺寸误差应在 $\pm 3 \text{ mm}$ 以内;切割试件应测 2 个不同位置的长度尺寸,尺寸误差应在 $\pm 10 \text{ mm}$ 以内。

D.4 试验方法

UHPC 切割试件、模制试件的抗弯拉强度试验应符合 GB/T 31387 的规定。

D.5 结果计算和确定

D.5.1 若试件下边缘断裂位置处于两个集中荷载作用线之间,则试件的抗弯拉强度应按式(D.1)计算。

$$f_{\text{fq}} = \frac{F_u L_z}{bh^2} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

f_{fq} ——切割试件抗弯拉强度,单位为兆帕(MPa),计算结果精确至 0.01 MPa;

F_u ——切割试件极限荷载,单位为牛(N);

b ——切割试件跨中截面的宽度,单位为毫米(mm);

h ——切割试件跨中截面的厚度,单位为毫米(mm);

L_z ——支座间跨度,单位为毫米(mm)。

D.5.2 有效试件的开裂位置应位于两个集中荷载之间,有效试件数量不应少于 2 个。当有效试件数量少于 2 个时,该组试件无效,应重新进行试验。

D.5.3 切割试件的抗弯拉强度应按式(D.2)、式(D.3)进行修正。

$$f_{fx} = \frac{f_f}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

$$\lambda = \begin{cases} 1 + \frac{(b+h-l_f)}{10bh} & \text{(模制试件)} \\ 1 + \frac{(b-5h+5l_f)l_f}{10bh} & \text{(切割试件)} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

f_{fx} ——切割试件的修正抗弯拉强度，单位为兆帕(MPa)，计算结果精确至 0.01 MPa；

f_f ——试件的抗弯拉强度实测值，单位为兆帕(MPa)，计算结果精确至 0.01 MPa；

λ ——截面抗弯拉强度修正系数；

b ——切割试件跨中截面的宽度，单位为毫米(mm)；

h ——切割试件跨中截面的厚度，单位为毫米(mm)；

l_f ——钢纤维长度。

D.5.4 纤维取向系数应按式(D.4)、式(D.5)计算。

$$K_{\text{global}} = \frac{f_{fm,m}}{f_{fqx,m}} \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

$$K_{\text{local}} = \frac{f_{fm,m}}{f_{fqx,\min}} \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中：

K_{global} ——整体纤维取向系数， $1.0 \leq K_{\text{global}} \leq 2.0$ ；

K_{local} ——局部纤维取向系数， $1.0 \leq K_{\text{local}} \leq 2.5$ ；

$f_{fm,m}$ ——模制试件的弯曲强度平均值，单位为兆帕(MPa)；

$f_{fqx,m}$ ——切割试件的修正弯曲强度平均值，单位为兆帕(MPa)；

$f_{fqx,\min}$ ——切割试件的修正弯曲强度最小值，单位为兆帕(MPa)。

附录 E

(规范性)

UHPC 抗压强度、抗弯拉强度、轴心抗拉强度及性能评定

E.1 UHPC 的抗压强度、抗弯拉强度、轴心抗拉强度和轴心抗拉性能应分批进行检验评定。一个检验批的 UHPC 应由力学性能等级相同、试验龄期相同、生产工艺条件和配合比基本相同的 UHPC 组成。

E.2 UHPC 试件应在蒸汽养护结束后,在标准养护条件下静置 3 d 后进行试验。

E.3 UHPC 的取样、抗压强度试验、抗弯拉强度试验应符合 GB/T 31387 的规定。

E.4 UHPC 抗压强度的合格判定应符合下列规定。

a) 同批试件组数大于或等于 10 组时,应以数理统计方法评定,并满足式(E.1)、式(E.2)的条件。

$$m_{fu} \geq f_{cu,k} + 1.1S_n \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

m_{fu} ——同批试件强度的平均值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa;

S_n —— n 组试件的标准差,单位为兆帕(MPa),精确到 0.01 MPa,当 $S_n < 2.5$ MPa 时,取 $S_n = 2.5$ MPa;

$f_{cu,k}$ ——UHPC 立方体抗压强度标准值(试件边长 100 mm),单位为兆帕(MPa);

$f_{cu,min}$ ——UHPC 立方体抗压强度的最小值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa。

b) 同批试件组数小于 10 组时,可用非数理统计方法评定,并满足式(E.3)、式(E.4)的条件。

$$m_{fu} \geq 1.1f_{cu,k} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

m_{fu} ——同批试件强度的平均值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa;

$f_{cu,k}$ ——UHPC 立方体抗压强度标准值(试件边长 100 mm),单位为兆帕(MPa);

$f_{cu,min}$ ——UHPC 立方体抗压强度的最小值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa。

E.5 UHPC 抗弯拉强度的合格判定应满足式(E.5)、式(E.6)的条件。

$$m_{f,m} \geq 1.05f_{fk} \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

$$f_{f,min} \geq 0.95f_{fk} \quad \dots\dots\dots (E.6)$$

式中:

$m_{f,m}$ ——同批试件抗弯拉强度的平均值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa;

f_{fk} ——UHPC 抗弯拉强度标准值,单位为兆帕(MPa);

$f_{f,min}$ ——UHPC 抗弯拉强度的最小值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa。

E.6 UHPC 轴心抗拉强度的合格判定应满足式(E.7)、式(E.8)的条件。

$$m_{t,m} \geq 1.1f_{tk} \quad \dots\dots\dots (E.7)$$

$$f_{t,min} \geq 0.95f_{tk} \quad \dots\dots\dots (E.8)$$

式中:

$m_{t,m}$ ——同批试件弹性极限抗拉强度的平均值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa;

f_{tk} ——UHPC 轴心抗拉强度标准值,单位为兆帕(MPa);

$f_{t,min}$ ——UHPC 轴心抗拉强度的最小值,单位为兆帕(MPa),精确到 0.1 MPa。

E.7 同批试件的 UHPC 轴心抗拉性能指标 f_{te}/f_{tk} 、 f_{tu}/f_{te} 、 f_{tu}/f_{tk} 、 ϵ_{tu} 均应符合表 7 的规定,则评定为轴心抗拉性能分级合格;若有一项性能不满足要求,则评定为不合格。

E.8 检查项目中,UHPC 的抗压强度、抗弯拉强度、轴心抗拉强度、轴心抗拉性能分级评为不合格时,相应分项工程为不合格。

参 考 文 献

- [1] GB/T 23439 混凝土膨胀剂
 - [2] GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
 - [3] GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
 - [4] GB 50164 混凝土质量控制标准
 - [5] GB 50917 钢-混凝土组合桥梁设计规范
 - [6] CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范
 - [7] JGJ/T 10 混凝土泵送施工技术规程
 - [8] JTG D60 公路桥涵设计通用规范
 - [9] JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
 - [10] JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
 - [11] T/CCES 27—2021 超高性能混凝土梁式桥技术规程
 - [12] T/CECS 864 超高性能混凝土试验方法标准
 - [13] T/CECS 10107 超高性能混凝土(UHPC)技术要求
 - [14] T/CHTS 10036 高韧性混凝土组合桥面结构技术指南
 - [15] ASTM C642 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
 - [16] National addition to Eurocode 2-Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete(UHPFRC)(NF P 18-710,2016)
-

