



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路超高性能混凝土桥面铺装施工标准

Standard for Construction of Ultra-High Performance Concrete
Overlay on Highway Bridge Deck

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路超高性能混凝土桥面铺装施工标准

Standard for Construction of Ultra-High Performance Concrete
Overlay on Highway Bridge Deck

T/CECS G: xxx-xx-2026

主编单位：清华大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2026年xx月xx日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会文件中建标公路【2024】116号“关于开展2024年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECSG）制修订项目编制工作的通知”的要求，由清华大学承担《公路超高性能混凝土桥面铺装施工标准》（以下简称“本标准”）的制订工作。

本标准是编写组在总结公路超高性能混凝土桥面铺装施工的原材料及性能要求、构造要求、施工技术、质量检验及相关科研成果，参考国内外有关标准、规程和规范，征求有关单位意见，并在工程应用基础上制订的。

本规程分为 8 章、2 篇附录，主要内容包括总则、术语与符号、基本规定、UHPC 材料及性能要求、构造要求、试验性浇筑、施工、检验、附录 A 锚固筋与钢筋网布置示例、附录 B 混凝土水分蒸发速率估算方法。

本规程基于通用的工程建设理论及原则进行编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由清华大学负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或魏亚（地址：北京市海淀区清华大学土木工程系；邮编：100084；传真：010-62785836；电子邮箱：yawei@tsinghua.edu.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：清华大学

参 编 单 位：北京科技大学 保利长大工程有限公司

中山大学 昭通市高速公路投资发展有限责任公司

云南省公路科学技术研究院 山东大学

昆明理工大学 云南畅坦科技有限公司

同济大学 北京交科公路勘察设计研究院有限公司

云南省交通投资建设有限公司 中公高科养护科技有限公司

中国公路工程咨询集团有限公司

目录

1 总则	5
2 术语与符号	6
2.1 术语	6
2.2 符号	7
3 基本规定	8
4 UHPC 材料及性能要求	10
4.1 UHPC 原材料	10
4.2 UHPC 性能要求	13
5 构造要求	17
5.1 一般规定	17
5.2 混凝土基层构造	17
5.3 UHPC 铺装层	20
5.4 UHPC 铺装层表面	21
6 试验性浇筑	23
6.1 一般规定	23
6.2 试验室试配	23
6.3 试验性浇筑	24
7 施工	26
7.1 一般规定	26
7.2 施工准备	26
7.3 原材料储存	26
7.4 基层处理	27
7.5 锚固筋设置	28
7.6 钢筋网安装	29
7.7 UHPC 搅拌与运输	29
7.8 UHPC 布料与摊铺	31
7.9 接缝施工	32
7.10 UHPC 养生	33
7.11 UHPC 硬化后表面处理	34
7.12 特殊天气条件施工	35

8 检验	36
8.1 一般规定	36
8.2 原材料检验	36
8.3 施工过程中质量检验	37
8.4 施工结束后质量检验	38
附录 A 锚固筋与钢筋网布置示例	41
附录 B 混凝土水分蒸发速率估算方法	44
本标准用词说明	46

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为适应混凝土桥面超高性能混凝土（UHPC）铺装层的建设需求，规范施工技术标准，统一质量检验标准，保证施工质量和施工安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各等级公路新建或既有桥梁混凝土桥面采用 UHPC 铺装层的施工及质量检验。

1.0.3 混凝土桥面 UHPC 铺装层施工和质量检验应遵循安全可靠、耐久适用、技术先进、节能环保、经济合理的原则。

1.0.4 在混凝土桥面 UHPC 铺装层施工中，应积极稳妥地推广应用新技术、新材料、新设备和新工艺。

1.0.5 混凝土桥面 UHPC 铺装层施工和质量检验除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 超高性能混凝土 Ultra-High Performance Concrete (UHPC)

以水泥和矿物掺合料为胶凝材料，配合骨料、外加剂、高强度微细钢纤维和/或非金属纤维、水等生产的纤维增韧超高强高性能混凝土。

2.1.2 UHPC 预混料 Premix for UHPC

由水泥、矿物掺合料和/或骨料和/或纤维按级配或性能要求，经干燥混和搅拌预均化的 UHPC 干混料。预混料中可以含有干燥的粉状化学外加剂。

2.1.3 混凝土桥面 UHPC 铺装层 UHPC Overlay on Concrete Bridge Deck

指在混凝土桥梁面板上铺设的，以 UHPC 为主体材料构成的刚性功能层，具有优异的力学性能与耐久性，可承担荷载传递、结构增强及桥面防腐防水层等功能。

2.1.4 混凝土基层 Concrete Base Layer

指桥梁结构中直接承接 UHPC 铺装层的混凝土构造层，也可作为混凝土调平层，通常由现浇或预制混凝土桥面板构成。

2.1.5 界面 Interface

指混凝土基层与 UHPC 铺装层之间的物理及化学作用交界面，实现应力传递、变形协调及防水渗透功能的核心过渡区。

2.1.6 UHPC 收缩 UHPC shrinkage

指 UHPC 在凝结硬化及服役过程中，因水分迁移、化学水化及温度变化引发的体积减小现象，按产生机理可分为塑性收缩、自收缩、干燥收缩及温度收缩。

2.1.7 锚固筋 Anchoring Reinforcement Rebar

指植入混凝土基层并伸入 UHPC 铺装层内的带肋钢筋，通过机械嵌固与粘结作用抵抗层间剪力及剥离应力。

2.1.8 粗糙度 Surface Roughness

指混凝土基层经机械处理后表面形成的微观与宏观不规则几何形态，通过凹

凸轮廓深度表征界面机械嵌锁能力。

2.1.9 自然养护 Ambient Curing

指 UHPC 铺装层浇筑成型后，在露天环境下依靠自然气候条件及采取覆盖措施保温保湿以维持水化反应，无需外部热源与强制加湿的养护模式。

2.1.10 接缝 Joint

指在混凝土桥面 UHPC 铺装层中预设或施工形成的不连续界面，用于协调结构变形、释放收缩应力及划分施工单元。

2.1.11 成熟度 maturity

混凝土在养护期间的养护温度和养护时间乘积的累加，是采用混凝土的养护历程（养护温度和硬化时间）来估算混凝土已达到的强度。

2.2 符号

D_{RCM} ——氯离子扩散系数；

UC——UHPC 抗压强度等级分级；

UT——UHPC 抗拉强度等级分级；

3 基本规定

3.0.1 UHPC 铺装层适用的混凝土桥面包含以下类型：

1 桥面局部破损但结构完好的旧桥，桥面出现裂缝、剥落等局部病害，但主体结构承载力满足要求的桥梁，可直接在清理后的原桥面上加铺 30~50mm UHPC 层。

2 桥面状态良好但需提升刚度的旧桥，适用于无明显破损但刚度不足（如挠度过大）的桥梁，可在原铺装层上直接加铺 40~60mm UHPC 层。

3 桥面破损严重需彻底翻修的旧桥，适用于铺装层大面积损坏且影响结构安全的桥梁，应彻底清除原铺装层后浇筑 50~70mm UHPC 层。

4 新建桥梁，适用于跨径大、重载交通或特殊环境（如腐蚀性、冻融循环）下的桥梁，UHPC 铺装层厚度宜为 50~70mm。

3.0.2 UHPC 铺装层所用原材料的品种、规格及质量要求应通过配合比试验在工程开工前确定；材料进场时应按本标准规定进行验收检验，合格后方可使用；进场后应根据品种、规格及用途分类储存，标识清晰，并应对易受潮、锈蚀或变质的材料采取有效针对性防护措施。

3.0.3 UHPC 铺装层宜优先采用预拌干料进行现场拌合；当现场具备可靠的质量控制措施时，可采用直接配料方式进行拌合制备。

3.0.4 UHPC 铺装层施工前，应进行局部或比例模型的试验性浇筑，检验所用 UHPC 的工作性、施工工艺的适用性、UHPC 与混凝土基层的粘结效果，检验浇筑模型的施工质量。

3.0.5 混凝土桥面 UHPC 铺装层施工前，应对混凝土基层进行粗糙化处理，其处理效果应符合本标准粗糙度要求；在 UHPC 布料摊铺之前，应将处理后的混凝土基层表面充分饱水润湿，且作业面应保持洁净。

3.0.6 混凝土桥面 UHPC 铺装层在自然养护条件下，其最短养生时间不应少于 7d，当环境温度显著影响 UHPC 强度发展时，应延长养生时间，且应满足设计要求的强度发展指标。

3.0.7 UHPC 铺装层现场浇筑施工前，应完成人员专项技术培训、施工方案及工艺

参数复核、技术交底工作，并应全面检查、确认施工现场各项实施条件已满足要求。

征求意见稿

4 UHPC 材料及性能要求

4.1 UHPC 原材料

4.1.1 UHPC 用水泥宜选用品质稳定、强度等级不低于 42.5 的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥，其性能应分别符合现行《通用硅酸盐水泥》（GB 175）及《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》（GB/T 200）的有关规定。当采用其他种类水泥时，应通过试验验证，确认满足 UHPC 的性能要求方可使用。

条文说明

中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥的收缩比通用水泥低很多，在条件许可及性能满足要求的情况下，可优选这些类型水泥，来减小 UHPC 材料整体的收缩值，从而为降低收缩开裂风险。

4.1.2 矿物掺合料应满足下列要求：

- 1 粉煤灰应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596）的规定，宜采用 I 级粉煤灰。
- 2 粒化高炉矿渣粉应符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）的规定，宜采用 S95 及以上等级的粒化高炉矿渣粉。
- 3 硅灰应符合《砂浆和混凝土用硅灰》（GB/T 27690）的规定，宜采用二氧化硅含量不低于 85% 的硅灰。
- 4 偏高岭土应符合《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）的规定。
- 5 石灰石粉应符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》（GB/T 35164）的规定。
- 6 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合料材性应符合国家现行标准的有关规定，且应通过试验验证，确定所配制 UHPC 的性能满足要求后方可使用。

4.1.3 骨料应满足下列要求：

- 1 细骨料宜采用 2.36mm~4.75mm、1.18mm~2.36mm、0.60mm~1.18mm、

0.30mm~0.60mm、0.15mm~0.30mm、0.15mm 以下粒径的天然砂或机制砂进行配制。每个粒级的超径和逊径颗粒含量不宜大于 5%。

2 天然砂含泥量不应大于 0.5%，泥块含量不应大于 0.2%。机制砂的石粉含量不应大于 5%，且亚甲蓝试验结果（MB 值）不应大于 1.0。

3 石英砂、天然砂、机制砂的氯离子含量不应大于 0.02%，硫化物及硫酸盐含量不应大于 0.5%，云母含量不应大于 0.5%。

4 UHPC 有特殊要求需使用粗骨料时，其粒径宜为 9.50mm~16.0mm、4.75mm~9.50mm，且应通过试验验证，确定所配制 UHPC 的性能满足要求后方可使用。

条文说明

细骨料按粒径范围分为 6 个粒级超径颗粒，旨在优化骨料级配，提高混凝土的密实性和工作性。合理的分级可减少孔隙率，提高力学性能和耐久性。超径颗粒（大于该粒级上限粒径）和逊径颗粒（小于该粒级下限粒径）含量均不宜超过 5%。超径颗粒可能导致拌合物均匀性下降，逊径颗粒过多则影响细粉料比例，进而改变浆体粘度与收缩性能。

4.1.4 外加剂应满足下列要求：

1 减水剂应符合《混凝土外加剂》（GB 8076）和《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119）的规定，宜选用减水率不小于 30% 的高性能减水剂。

2 其他外加剂应符合国家现行标准的有关规定，应与水泥和矿物掺合料有良好的适应性，且应通过试验验证，确定所配制 UHPC 的性能满足要求后方可使用。

4.1.5 纤维应满足下列要求：

1 混凝土桥面 UHPC 铺装层材料用纤维宜采用钢纤维。

2 钢纤维应为《混凝土用钢纤维》（GB/T 39147）规定的 I 类钢纤维。

3 钢纤维宜采用长度为 13mm~17mm、直径为 0.12mm~0.23mm、长径比为 50~120、抗拉强度不低于 2000MPa 的微细钢纤维。

4 钢纤维宜为平直钢纤维，当选用其他形状纤维时，所制备 UHPC 工作性及

其他性能应满足设计要求。

4.1.6 拌合用水应符合《混凝土用水标准》（JGJ 63）的规定。

4.1.7 UHPC 用减缩材料应符合下列规定：

1 UHPC 中可采用减缩剂、膨胀剂、内养护介质等材料降低 UHPC 收缩，所有减缩材料性能应与水泥、矿物掺合料及其他外加剂有良好的适应性，且应通过试验验证，确定所配制 UHPC 的性能满足要求后方可使用。

2 膨胀剂应符合《混凝土膨胀剂》（GB/T 23439）关于 I 型膨剂的相关技术要求。

3 减缩剂应符合《砂浆、混凝土减缩剂》（JC/T 2361）的相关技术要求。

4 高吸水性树脂（SAP）作为混凝土内养护介质时应符合《混凝土高吸水性树脂内养护剂》（JC/T 2551）的相关技术要求。

5 其他新型减缩材料，如烧结铝矾土骨料，应通过试验验证，确定所配制 UHPC 的性能满足要求后方可使用。

条文说明

编制组前期大量研究和工程验证发现，高强、多孔、高耐磨的烧结铝矾土（CB）骨料也可作为内养护介质，掺用 CB 骨料可使 UHPC 自收缩的降低率达 50~90%，同时相比于普通 UHPC 或含轻骨料 UHPC，含 CB 骨料 UHPC 的力学性能均可提升（抗压强度可提高达 5%~17%），当用作于桥面层的 UHPC 的骨料，也可以提高其耐磨性。CB 骨料中主要的晶体成分为刚玉和莫来石，均具有良好的化学稳定性和极高的强度。CB 骨料根据氧化铝含量分为不同品级，例如 50#~90#。不同品级的 CB 骨料价格差异较大，品级越高，价格越贵，在不同工程领域及工况下需要采用不同品级的 CB 骨料。骨料品级越低（含铝量越少），其孔隙率越高、吸水率越大，价格与普通骨料的差别越小，适用于低收缩免蒸养 UHPC 制备，发挥其内养护介质功能。例如，50#CB 骨料仍可提高 UHPC 力学性能，相比于 LWA 和 SAP 等内养护介质，具有力学性能提升的优势，也可满足经济性要求。

4.1.8 掺用改善拌合物和 UHPC 性能的其他外加剂或材料时，应符合现行国家和行业标准的规定，且应通过试验，确定所配制 UHPC 的性能满足工程应用要求

后方可使用。

4.2 UHPC 性能要求

4.2.1 UHPC 的配合比设计应考虑功能需求、施工工艺及环境作用等因素，应根据混凝土的工作性、强度、耐久性以及其他性能要求计算初始配合比，初始配合比应经混凝土试配与工作性调整，并经强度等性能复验后获得设计配合比。

4.2.2 UHPC 配合比设计方法应依据现行国家标准《超高性能混凝土》(GB/T 31387) 执行。

4.2.3 混凝土桥面 UHPC 铺装层材料中钢纤维体积率不应小于 1.50%，掺量宜为 2.00%~3.25%。

4.2.4 自然养护下的 UHPC 抗压强度等级不应低于 UC120，UHPC 立方体抗压强度标准值、轴心抗压强度标准值、弹性模量可按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 UHPC 强度等级划分

等级	立方体抗压强度标准值 (MPa)	轴心抗压强度标准值 (MPa)	弹性模量 (GPa)
UC120	120	84	42
UC140	140	98	45
UC160	160	112	47

4.2.5 自然养护下的 UHPC 抗弯、抗拉强度分级可按 4.2.5 采用。

表 4.2.5 UHPC 抗弯、抗拉强度分级

等级	UTI	UTII	UTIII
抗弯强度标准值 (MPa)	28	32	36
抗弯强度设计值 (MPa)	19	22	25
轴心抗拉强度标准值 (MPa)	6	7	8

4.2.6 用于混凝土桥面铺装层的 UHPC 长期性能和耐久性能应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.6 UHPC 的长期性能和耐久性能技术指标要求

指标	要求	试验方法
28 天自收缩 ($\times 10^{-6}$)	≤ 500	可采用《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082-2024)中的非接触法和波纹管法; 宜将终凝时间设定为自收缩起点, 试件密封防止水分散失。
3 个月总收缩 (自收缩+干燥收缩) ($\times 10^{-6}$)	≤ 600	可采用《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082-2024)中的非接触法; 试件开始暴露于环境的时间为干燥收缩起点。
氯离子扩散系数 D_{RCM} ($\times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$)	≤ 5.0	应采用《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082-2024)中的快速氯离子迁移系数法 (RCM 法), 因为钢纤维的存在, 不可采用电通量法。
抗渗性能	$\geq \text{P25}$	应采用《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082-2024)中的逐级加压法。

条文说明

UHPC 的总收缩由自收缩与干燥收缩组成。干燥收缩无法直接测出, 需要测出总收缩减去自收缩得到。研究显示, UHPC 的水胶比非常低, 故内部自生干燥出现较早、干燥程度较大, 所导致的自收缩也相对较早较大, 与此同时, 可供蒸发损失的水分较少, 故干燥收缩较小; 研究表明, UHPC80%以上的总收缩属于自收缩。UHPC 收缩发生在凝结硬化过程, 受到约束会产生拉应力甚至开裂, 需要重点关注。

欧洲 SAMARIS 研究项目编制的“UHPC 用于公路混凝土结构修复指南”中限制了拟采用的 UHPC 的 3 个月收缩值小于 600×10^{-6} , 以保证 UHPC 铺装层不产生过宽的收缩裂缝而增大渗透性, 从而保证结构的耐久性。美国国家公路与运输协会 AASHTO 出版的指南《Guide to Preservation of Highway Bridge Decks》中关于混凝土桥面铺装 UHPC64 周 (16 个月) 的收缩要求小于 800×10^{-6} 。地方标准《超高性能混凝土检验标准》(DB65/T 8014-2024) 对 UHPC 抗氯离子扩散性能及抗渗性能进行了相关要求。

由于 UHPC 材料抗渗性及强度达到要求后, 其抗冻性能都可以满足最低要求, 且抗冻性测试周期和时间较长, 因此此处不对其测试作要求。

4.2.7 UHPC 拌合物的扩展度、触变性等工作性能指标应由设计单位或供需双方根据工程实际需求及施工方式确定，并满足下列要求。

1 UHPC 应具有自密实性能，并满足桥面坡面成型的施工要求，UHPC 拌合物扩展度应根据桥面坡度情况符合设计要求。

2 当纵坡、横坡 $<2\%$ 时，UHPC 拌合物宜设计为自流平状态，其扩展度宜为 550~700mm 之间，具有自流动特性且可均匀覆盖桥面钢筋网各节点及剪力筋区域。

3 纵坡、横坡 $\geq 2\%$ 时，UHPC 拌合物扩展度宜为 450~550mm 之间，拌合物经辅助工具（如耙子）摊开时应具备自流动性能，可均匀覆盖桥面钢筋网各节点及剪力筋区域，在无外力扰动状态下，UHPC 拌合物宜能保持形态稳定，不宜持续自流平至低坡处。

4 拌合物扩展度 1h 经时损失不应大于 100mm，测试方法应按《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T50080）的有关规定进行测试。

5 UHPC 拌合物应具有良好的均匀性，不得出现明显离析，其离析率不应大于 20%，检查方法应依据《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）。

6 当拌合物扩展度 $>650\text{mm}$ 时，可参照《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》（DG/TJ 08-2401-2022）附录 B 检验 UHPC 中钢纤维分布均匀性。

条文说明

UHPC 拌合物流动性调控是保证桥面铺装质量的核心要素。图 4.2.7 给出了不同流动度性能 UHPC 示例。当坍落扩展度过大，如大于 550mm 时，拌合物呈现高流动性状态，在桥面纵坡、横坡大于 2%工况下，易因重力作用持续向低坡处迁移，导致表面形成厚度不均的波纹状褶皱（最大高差可达 3~5mm），影响 UHPC 面层平整度，宜采用

具有一定触变性的 UHPC 拌合物。反之，若坍落扩展度过小，如小于 450mm，则难以通过常规振捣工艺实现钢筋网节点的完全包覆，且摊铺困难。当拌合物扩展度大于 650mm 时，混凝土的粘度较低，在拌合物流动和振动情况下易发生钢纤维分层沉降，表层钢纤维含量严重低于设计使用掺量。

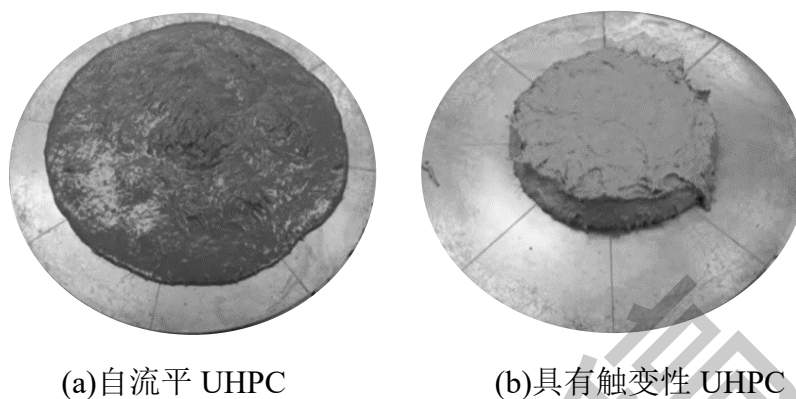


图 4.2.7 不同流动度性能 UHPC 示例

5 构造要求

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定混凝土桥面 UHPC 铺装层施工的各构造层组成及其设置要求，适用于新建桥梁及既有桥面加铺工程。

5.1.2 构造设计应以提升结构整体性、耐久性和服役稳定性为目标，确保 UHPC 铺装层与基层（调平层）之间的有效粘结。

5.1.3 构造设计应考虑桥梁结构的受力特点和长期变形特性，确保 UHPC 铺装层不会因界面滑移、开裂或翘曲而失效，行车功能应符合抗滑、平整和排水要求。

5.1.4 UHPC 铺装层成型后的行车功能指标应满足抗滑性能、平整度与排水性能要求，并按第 8 章的规定进行检验与验收。

5.2 混凝土基层构造

5.2.1 新建桥梁工程中，混凝土桥面调平层的厚度应根据桥面高程及结构设计要求确定，宜控制在 100~200 mm。

5.2.2 新建桥梁工程中，调平层宜预埋锚固筋。

5.2.3 当 UHPC 铺装层内部布设有钢筋网，锚固筋宜采用门字形或 L 形钢筋。当 UHPC 铺装层内部不设钢筋网，锚固筋宜采用门字形钢筋。

条文说明

UHPC 铺装层内无钢筋网时，锚固筋在增加铺装层与调平层的有效连接中发挥重要作用。本条推荐采用门字形锚固筋并适当加密，以增强钢筋连接效果。

5.2.4 新建桥梁的调平层表面在施工时应使用钢丝梳或其他纹理制作设备形成粗糙纹理。应在 UHPC 铺装前进一步制作调平层的表面构造，并满足以下具体要求：

1 若调平层植筋，可采用人工凿毛的方式或不影响植筋稳固性的设备制作粗糙纹理，并清除散落的碎粒和粉尘。

2 若调平层未设置锚固筋，可采水力铣刨机或机械铣削等设备制作粗糙纹理，并清除散落的碎粒和粉尘。

3 处理后的调平层最终纹理深度（凹凸差）控制应 $\geq 6\text{mm}$ ，且表面粗骨料外露露面。

条文说明

对基层混凝土表面进行充分的处理后，满足要求的纹理状态可便于混凝土桥面基层和 UHPC 铺装层形成高强度机械咬合界面，高粗糙度（纹理深度差异高）的表面纹理相比于较平滑的表面（简单凿毛）会形成不同的有效界面粘结面积，从而影响实际粘结/剪切强度。露出粗骨料要求，可确保强度较弱的表面浆体层被有效去除。

5.2.5 改建桥梁的旧水泥混凝土基层，可通过钻孔后使用结构胶的方式植入锚固钢筋。植筋前或不设置锚固筋时，均应通过水力铣刨机或机械铣削等设备对旧水泥混凝土的表面进行粗糙化处理，处理后的混凝土基层粗糙纹理状态应满足下列要求，示例如图 5.2.5 所示。

- 1 处理后的纹理深度（凹凸差）控制应 $\geq 6\text{mm}$ 。
- 2 处理后的基层应裸露出混凝土的粗骨料面，露出的骨料面积经目测应占全部面积的 40%以上。
- 3 若处理设备形成的表面为纹路（沟槽）时，宜为垂直于剪力作用方向的纹路，纹深应 $\geq 6\text{mm}$ ，纹路间距应 $\leq 50\text{mm}$ 。
- 4 基层表面粗糙纹理制作完成后应清除散落的碎粒和粉尘。

条文说明

美国开展了不同基层表面处理程度对 UHPC-混凝土界面粘结强度影响规律的试验研究，制作 5 种基层表面粗糙程度状态（纹理深度逐渐增加）：光滑（未处理）、刷式喷砂处理（部分细集料露出）、轻度喷砂处理（细集料露出）、中度喷砂处理（部分粗集料露出）、重度喷砂处理（粗集料露出），通过现场拉拔试验测试界面粘结强度值分别为 0.97、1.65、1.65、1.93、2.31MPa，可见粗糙纹理深度越大、露出粗骨料越多而产生的界面粘结强度越高。



(a)露出粗骨料的基层表面（俯视图）

(b)纹路定向的基层表面（侧视图）



(c)露出粗骨料的基层表面（侧视图）

图 5.2.5 混凝土基层处理效果示例图

5.2.6 混凝土基层中锚固筋设置应满足以下要求：

1 锚固部位的原混凝土不得有局部缺陷。若有局部缺陷，应先进行补强或加固处理后再植筋。

2 锚固筋宜采用 HRB335 级热轧带肋钢筋,也可采用 HRB400 级和 RRB400 级热轧带肋钢筋。

3 锚固筋的钢筋公称直径（ d ）宜为 12~16mm，钻孔直径宜为公称直径 +4mm，钻孔孔径允许偏差不应超过 $\pm 1\text{mm}$ ，钻孔深度允许偏差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ 。

4 植筋的锚固深度宜不小于 4 倍钢筋直径（ $4d$ ），且不小于 50mm。

5 L 形锚固筋上部易做弯钩处理，弯折长度宜为 3 倍钢筋直径（ $3d$ ）；

6 门字形锚固筋上部水平段宜 ≥ 6 倍钢筋直径（ $6d$ ）；

7 锚固筋伸出高度宜为 UHPC 铺装层厚度的 $1/3 \sim 1/2$ 。

8 锚固筋间距宜为 40~100 cm，且在桥面边角处宜加密布设，边角处间距可为 20~40 cm。

9 植筋用胶粘剂应采用专用改性环氧类结构胶粘剂、改性乙烯基酯胶粘剂或改性氨基甲酸酯胶粘剂。

条文说明

为增加 UHPC 与下层混凝土共同工作效果及保障新增锚固筋发挥作用，对锚固筋提出设计建议。钢筋直径过小容易变形，导致锚固效果不良，根据设计与施工经验，本条对锚固筋公称直径进行最低限制的规定。伸出高度与 UHPC 铺装层厚有关，既要保证锚固有效，又要保证 UHPC 铺装层具有足够厚的保护层，因此本条对锚固筋的伸出高度与所处铺装层厚进行比例限定。其中相关技术指标参考了现行业标准《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T22）的设定。

锚固筋的典型布置形式及与钢筋网的连接方式可参见附录 A。

5.3 UHPC 铺装层

5.3.1 UHPC 铺装层的厚度宜为 30~80mm。铺装层应根据设计功能需求考虑内部是否配置钢筋网，当发挥承载力功能时，宜设置钢筋网。钢筋网应为单层的焊接型钢筋网，钢筋直径不应小于 8mm，间距不应大于 150mm，具体要求如下：

1 当 UHPC 层仅为薄层防水耐久性保护层时，厚度宜不大于 40mm，可不设置钢筋网，如图 5.3.1(a)所示。

2 当发挥承载力或加固功能时，宜设置钢筋网，厚度为 40~60mm 时，宜设置直径 8~10mm 的单层钢筋网；厚度大于 60mm 时，宜设置直径 12~16mm 的单层钢筋网。如图 5.3.1(b)所示。

3 当 UHPC 层用于加固混凝土桥面时的原有旧桥桥面局部混凝土被凿除且锈蚀钢筋被替换时，UHPC 内新增钢筋网直径宜适当增大，可取 16~24mm。如图 5.3.1(c)所示。

4 当铺装层位于负弯矩区时，应适当加密钢筋网或配置附加钢筋，以提高抗拉性能并减小裂缝风险。

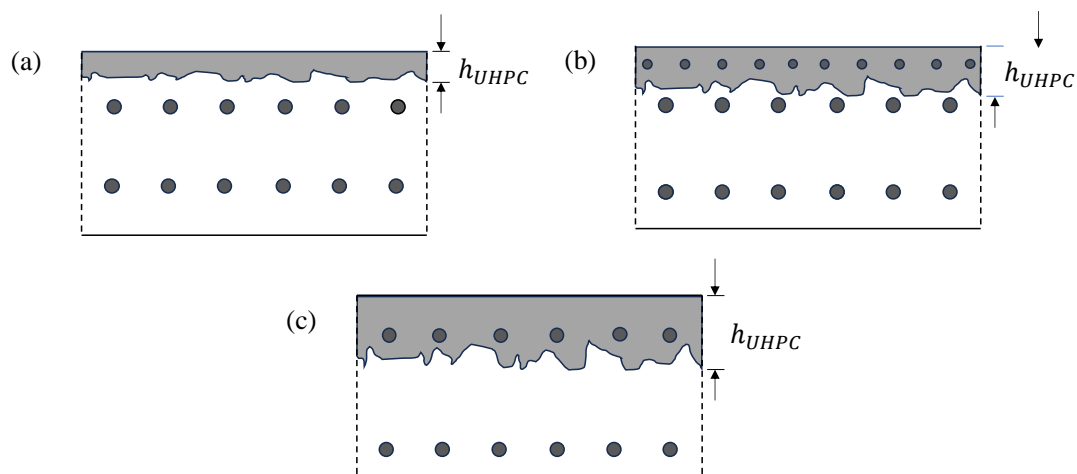


图 5.3.1 混凝土基层与 UHPC 铺装层内典型的配筋示意图

5.3.2 当布设钢筋网时，UHPC 铺装层中钢筋的保护层厚度应 $\geq 20\text{mm}$ 。

条文说明

考虑到 UHPC 的低孔隙率、高致密性，其保护层厚度可小于传统混凝土，考虑到钢筋上部薄层自流平 UHPC 层所造成的平整度缺陷可实现人工修复，建议保护层厚度 $\geq 20\text{mm}$ 。

5.3.3 UHPC 铺装层一般可不设横缝和纵缝。应尽量避免施工缝，确需设置时按第 7.9 节的规定执行。

5.3.4 桥面铺装的伸缩缝位置应与桥梁主体结构的伸缩缝保持对齐，缝内应填充弹性密封材料。

5.3.5 桥面排水应满足现行行业标准《公路排水设计规范》（JTG/TD33）的有关规定，并应根据需要设置必要的桥面径流汇集引排系统和设施。

5.3.6 在多年冻融地区，应设置必要的防水与排水结构，如坡面沟槽或排水口。

5.4 UHPC 铺装层表面

5.4.1 铺装层应满足高平整度和桥面行车舒适性，表面标高误差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ ，3m 直尺最大间隙应 $\leq 3\text{mm}$ 。

条文说明

由于桥面通常设置有纵横坡以满足排水要求，而 UHPC 具有良好的流动性和自密

实性，应加强控制 UHPC 浇筑速度与材料流动性，防止因局部流动性过大导致平整度差。本条 3m 直尺检测平整度要求数值参考美国国家公路与运输协会(AASHTO)在 2023 年出版的指南《Guide to Preservation of Highway Bridge Decks》中关于混凝土桥面上铺装 UHPC 层的检验要求。

5.4.2 UHPC 铺装层表面经处理后可直接作为行车面层使用，其处理工艺应按照本标准 7.11 节的相关规定执行，处理后的抗滑构造应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30）中的相关规定。

征求意见稿

6 试验性浇筑

6.1 一般规定

6.1.1 UHPC 的配制应满足设计、施工及其他合同规定的要求。采用预混料制备和直接拌合的 UHPC，均应进行试配和试验性浇筑。

6.1.2 UHPC 拌合物性能和硬化后性能应按照现行国家标准《超高性能混凝土》（GB/T 31387）的有关规定进行测试。

6.2 试验室试配

6.2.1 应采用现场浇筑施工实际使用材料，每盘 UHPC 的搅拌量不宜小于 20 L。

6.2.2 应验证 UHPC 拌合物性能，包括纤维是否结团及体积含量、坍落扩展度及其经时损失和施工要求的其他性能。

条文说明

当拌合物的扩展度不能满足设计要求时，可在水胶比不变、胶凝材料用量和外加剂用量合理的原则下，调整胶凝材料用量、外加剂用量或不同粒级骨料的体积分数等，也可分级微调减水剂掺量或水胶比，直到拌合物的扩展度和触变性符合要求，并根据试拌结果，提出超高性能混凝土的试拌配合比。

6.2.3 应验证 UHPC 硬化后的性能，包括抗压强度、抗拉或抗折强度以及设计要求的其他性能。

条文说明

UHPC 强度试验时，至少应采用 3 个不同的配合比，其中一个应为试拌配合比，另外两个配合比的水胶比宜较试拌配合比分别增加和减少 0.01，用水量与试拌配合比相同，骨料的体积分数可做相应的增加和减小。

6.2.4 试验室试配应重复不少于 3 次，超高性能混凝土拌合物和硬化后的性能均应符合设计、施工及其他合同规定的要求。

6.2.5 应检验 UHPC 收缩性能，且收缩值应满足设计要求，若不满足时应调整配合比设计或采用减缩材料降低 UHPC 的收缩值。

条文说明

UHPC 因其胶凝材料用量大、水胶比低的特点，其自收缩较为显著（干燥收缩相对较小），容易导致铺装层开裂或脱粘翘曲。当 UHPC 收缩变形被粘结效果较好的界面约束时，产生内部收缩应力容易引发微裂纹，当 UHPC 收缩变形被粘结效果一般的界面约束时，产生内部收缩应力容易引发界面脱粘和边角翘曲，从而影响结构的整体性和耐久性。因此，本条文推荐在试配阶段对 UHPC 的收缩性能进行验证，评估其收缩发展的规律和量级，为预测和控制现场施工中潜在开裂、翘曲风险提供关键参考数据。

6.3 试验性浇筑

6.3.1 试验性浇筑应在与施工环境和设备相同条件下进行，可采用足尺、代表性局部或比例模型，检验所使用超高性能混凝土拌合物的施工性能、施工装备和施工工艺的适用性以及检验现场浇筑的质量。

6.3.2 UHPC 拌合物坍落扩展度应通过试验性浇筑验证。应制作模拟施工现场状况的小尺寸混凝土基层板、制作基层表面粗糙纹理、架设钢筋网、垫起板块模拟桥面坡度，并通过浇筑 UHPC 观察流动及覆盖钢筋网情况，并应适度调整 UHPC 配合比直至满足施工要求。若一次试验性浇筑 UHPC 流动度不能满足要求，可在其塑性状态下及时铲除并清洗钢筋网，使得基层试验板可反复利用进行测试。

条文说明

本条推荐在试验性浇筑时应按照本规范第 7.4~7.6 条的规定，依据桥面坡度情况设计 UHPC 流动度进行浇筑验证。

6.3.3 试验性浇筑应验证 UHPC 层与基层的界面粘结效果。宜制作缩尺 UHPC 层与混凝土基层复合板，制作基层表面粗糙纹理、铺设钢筋网、设置锚固筋等，观察复合板中界面粘结效果及边角翘曲情况，观察周期不宜少于 3 个月。

条文说明

UHPC 铺装层与下部混凝土基层的界面粘结性能，是确保两者形成有效组合结构、共同受力的根本保障。本条推荐在试验性浇筑时应按照本规范第 7.4~7.6 条的规定，通过基层的表面处理、剪力筋或锚固筋的设置等，以及浇筑时的施工控制等方式验证 UHPC 层与基层的界面粘合性。

缩尺 UHPC 层与混凝土基层复合板建议采用长条板块，例如 3m×1m，可更快速观

察 UHPC 材料收缩引起的潜在病害情况。

6.3.4 试验性浇筑宜验证 UHPC 面层表面抗滑构造的施工工艺及效果。

条文说明

UHPC 由于其高流动性，其表面硬化后通常较为光滑。为满足行车过程中的抗滑性能需求，UHPC 表面抗滑构造通常在硬化后通过机械方法（如刻槽、抛丸或打磨）形成。本条文推荐在试验性浇筑时检验所选用的设备、施工时机和工艺参数能在不损伤 UHPC 表层的前提下，高效、均匀地制作出满足设计要求的抗滑纹理，以确保 UHPC 铺面抗滑性能满足行车安全要求。

征求意见稿

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土桥面 UHPC 铺装层施工前应根据工程规模、现场条件等进行施工组织设计及制定专项施工方案,并通过试验性浇筑确认专项施工方案的可行性与适用性。

7.1.2 桥面铺装宜根据公路等级、桥梁长度与宽度、铺装面积等选择施工工艺。

7.1.3 施工中涉及依据 UHPC 强度指标进行的操作判断,可根据现场留样试块强度测试或根据成熟度法来判断 UHPC 强度是否达到要求,成熟度法可参照现行《建筑工程冬期施工》(JGJ/T104)规定的方法计算。

7.1.4 施工过程中应通过基准线、摊铺机自动调平系统或三维数字化控制系统实时控制横坡,其允许偏差不得超过设计值的 $\pm 0.15\%$;采用人工配合机械施工时,宜每 5m 设置一个横坡控制点,并使用可调式铝合金刮杠进行二次校平。

7.1.5 新桥面在铺设 UHPC 铺装层前,其基层混凝土应达到 8 天龄期及以上;对于修复桥面在铺设 UHPC 铺装层前,其基层混凝土抗压强度应至少为 16.5 MPa。

7.2 施工准备

7.2.1 施工前应对机械设备、测量仪器、基准线或模板、机具工具及各种试验仪器等进行全面检查、调试、校核、标定,并适量储备主要施工机械易损零部件。

7.2.2 施工前应清除施工路段障碍并清扫完毕,确保滑模摊铺施工期间道路安全畅通。

7.3 原材料储存

7.3.1 原材料的储存应符合现行国家标准《超高性能混凝土》(GB/T 31387)的有关规定。

7.3.2 预混料及直接拌合用原材料应按品种、规格和生产厂家分别标识,并采取防尘、防潮、防雨、防冻的措施。

7.3.3 独立包装的外加剂和纤维包装应完好、无污损,钢纤维无锈蚀。

7.3.4 聚羧酸系减水剂等液体外加剂在施工现场储存时,宜采用深色或遮光型密闭容器储存,并宜采取遮阳、覆盖隔热层或防紫外线覆膜等防护措施,避免阳光

直射及紫外线辐射。储存环境温度宜控制在 5~35℃，不应露天存放或直接暴露于极端气候条件下。

条文说明

聚羧酸系高性能减水剂等有机类外加剂对紫外线敏感，长期暴晒可能引发组分分解、粘度异常或减水性能衰减。遮阳、隔热层等设施可降低容器表面温度，防止高温环境下液体外加剂水分蒸发或结晶分层。

7.4 基层处理

7.4.1 改建或修复加固工程中，铺设 UHPC 层前应检查桥面是否有缺陷并对其进行修复；开展桥面修复需要凿除原铺装层时，应当根据设计文件要求控制凿除的厚度，可通过高压射流水力设备或机械铣刨清除原铺装层、磨损表面及防水层。如果钢筋外露，应停止机械铣刨。

7.4.2 对于新建混凝土桥面，应在桥面上为 UHPC 铺装层的牢固粘结制造符合施工要求的粗糙纹理，处理后的表面构造应符合本规程 5.2.4 条的要求。

7.4.3 若采用配备高压水射流的自行式水力铣刨机，该设备宜满足以下要求：

- 1 具备控制清除混凝土至指定深度的能力。
- 2 水力铣刨机需具有足够的功率和尺寸，可清除钢筋上的锈蚀及包裹混凝土。
- 3 混凝土的清除深度控制精度应为±9.5mm。
- 4 设备具备以下调节功能：水压调节、喷嘴移动、喷嘴摆动与旋转、喷嘴与混凝土表面间距调节。
- 5 在高压泵组和水力铣刨机上均需安装精确的工作压力表。

条文说明

本条文参考美国国家公路与运输协会（AASHTO）在 2023 年出版的指南《Guide to Preservation of Highway Bridge Decks》。该指南在涉及混凝土桥面 UHPC 铺装技术部分指出，采用高压水射流技术的自行式水力铣刨设备进行处理，关于混凝土桥面上铺装 UHPC 层技术中对高压水射流的自行式水力铣刨机，可有效保障 UHPC 层与混凝土基层粘结效果。

7.4.4 若采用自行式机械铣刨设备，该设备应具备在单次作业中沿切削路径去除至少 6mm 深度的能力。

7.4.5 采用水力铣刨机或机械铣刨等设备处理后的基层粗糙纹理状态应符合本规程 5.2.5 条的要求。

7.4.6 处理后的基层混凝土表面在铺设 UHPC 铺装层之前应进行清洁，宜使用无油压缩空气清除桥面灰尘、碎屑、混凝土细粒及杂物，并采用高压水枪冲洗干净。

7.4.7 在 UHPC 布料铺装之前，混凝土基层表面应进行洒水润湿，且基层表面处于饱水润湿状态不应少于 12 小时，若布料前基层表面出现局部干燥，应及时进行补洒水至润湿要求，若布料前基层表面有过量明水，宜刷走或吹开。

条纹说明

试验研究表明，铺装前的 UHPC 润湿非常重要，干燥的基层会迅速吸收新浇筑 UHPC 拌合物中的自由水分，导致局部水胶比降低，影响 UHPC 流动度及硬化后 UHPC-混凝土界面粘结效果，基层饱水状态可使得 UHPC 拌合物中浆体更易渗透至基层微孔隙中，也可为 UHPC 水化进程提供水分，有助于促进基层混凝土与 UHPC 之间的化学粘结与机械咬合力。干燥基层会削弱铺装层与基层的粘结力，增加翘曲脱粘风险。

美国相关工程预试验及编写团队前期开展的大尺寸户外 UHPC-混凝土组合板试验中均发现 UHPC 铺装前基层饱水润湿的重要性：基层表面在 UHPC 铺装时刻的润湿程度严重影响两者界面粘结效果；若对基层板提前几小时洒水润湿，当浇筑 UHPC 时基层已干燥，铺装后 UHPC 板出现了严重的界面脱粘和翘曲现象。

美国开展了不同基层表面润湿程度对 UHPC-混凝土界面粘结强度的试验研究，通过制作基层表面润湿程度为 6 种状态：即洒水润湿完成后经过 0、15、30、45、60、120 分钟之后再浇筑 UHPC，通过现场拉拔试验测试界面粘结强度值分别为：1.45、2.83、2.03、1.59、0.14、0（无粘结）MPa，可见洒水润湿后 15~30 分钟之间（允许水分渗入基层内部且避免表面有明水）的表面含水状态形成的界面粘结强度较高，洒水 1~2 小时后表面过于干燥，导致界面粘结强度极低甚至脱粘。

7.5 锚固筋设置

7.5.1 新建桥梁工程中，混凝土基层板内宜预埋锚固筋。改建或修复加固工程中，

混凝土基层板内宜植入锚固筋，植筋时应做好探测，避免新植入的剪力筋触碰下承层混凝土中的钢筋。

7.5.2 锚固筋设置应依据本规程 5.2.6 条的相关要求进行设计。

7.6 钢筋网安装

7.6.1 当超薄 UHPC 铺装层厚度小于 40mm 时，可不铺设钢筋网，当 UHPC 铺装层起结构承载作用时，结构设计中 UHPC 层宜包含钢筋网。钢筋网设计应符合本规程 5.3.1 的相关要求。

7.6.2 锚固筋与钢筋网应在十字交叉点焊接连接，最高点不应深入 UHPC 保护层内部。

7.6.3 钢筋网搭接区宜采用拼搭法和扣搭法，搭接区内应采用钢丝绑扎两道，在搭接区内应设置垫层钢筋，保证钢筋网高度及保护层厚度满足设计要求。

条文说明

拼搭法是两片钢筋网的纵向或横向钢筋在同一平面内直接搭接，搭接部分通过绑扎或焊接固定；扣搭法是两片钢筋网的横向钢筋在搭接区交错嵌入对方网格，形成机械咬合。由于 UHPC 层较薄，不建议采用上下搭接的叠搭法。

7.6.4 钢筋网仅在伸缩装置处断开，在桥面连续构造处应通长设置，并与桥面连续筋按要求绑扎连接。

7.6.5 钢筋网铺设完成后，应对钢筋网高度、间距等进行检查，避免施工中钢筋网的塌陷，同时保持钢筋网的清洁。

7.7 UHPC 搅拌与运输

7.7.1 应根据工程规模（浇筑方量）、施工工艺和进度要求合理配备配料与搅拌生产系统。UHPC 搅拌与运输宜采用小型化拌合楼和小型化运输设备。

7.7.2 UHPC 搅拌宜优先考虑采用预混料拌合方式。可将各种干燥的固体原料预拌为预混料，运输到施工现场，加水与液体组分拌制成拌合物。纤维可在预拌时加入，也可在现场搅拌时加入。预拌与运输过程中预混料不应离析。

7.7.3 宜采用带二次计量功能的电子计量系统计量原材料，严格按照施工配合比要求进行称量，严格控制计量精度，计量设备应每月自检一次，每一工作班开始

前对计量设备进行清理校准。

7.7.4 预混料配制或现场称量时的原材料应按质量单独计量，原材料计量的允许偏差应符合表 7.7.4 的规定，每工作班应至少检查 1 次。

表 7.7.4 原材料每盘称量最大允许偏差

原材料	预混料	外加剂	胶凝材料	其他粉体材料	钢纤维	骨料	水
最大允许偏差 (%)	±1	±1	±1	±1	±1	±2	±1

7.7.5 应采用强制式搅拌机搅拌，一次搅拌量不宜大于搅拌机公称容量的 70%，搅拌时应先干拌均匀后再加水湿拌，应设置防止钢纤维结团的投料装置。

7.7.6 应按试验性浇筑确定的搅拌工艺、下料顺序和各阶段搅拌时长进行搅拌。

7.7.7 现场混合原材料时，宜先将粗集料、细集料、水泥及矿物掺合料、钢纤维等干料搅拌 4min 以上，然后加入水和外加剂搅拌 4min 以上。当钢纤维掺量较大时，应通过试验确定搅拌时长。

条文说明

根据国家标准《超高性能混凝土》（GB/T387）要求，纤维可在干料预混时加入，即在加水拌合前加入，也可以在现场搅拌时加入。

7.7.8 搅拌应保证拌合物的均匀性，出机拌合物中不应有肉眼可见的钢纤维结团，不得在拌合物出机后向 UHPC 内加水。

7.7.9 应根据施工现场工况确定运输方式，运输能力应能满足连续浇筑的需要，不应引起冷缝产生。材料在运输时暴露在空气中的时间不宜超过 30min。

条文说明

UHPC 拌合物暴露在空气中，表面会因失水产生结皮，运输时间过长，拌合物流动度会降低过多，不利于浇筑密实，同一铺装区域的 UHPC 应连续浇筑，避免产生冷缝，影响结构整体性。

7.7.10 UHPC 运输可采用搅拌运输车、翻斗车或料斗运输，从运输车卸出拌合料到浇筑完毕宜控制在 90min 以内；应保证 UHPC 在运输过程中的均匀性、施工和易性，同时尽量减少 UHPC 的转载次数和运输时间。

7.7.11 UHPC 拌合物不得采用泵送的方式。

7.7.12 当对运输设备采取保温隔热措施时，应防止局部 UHPC 温度升高（夏季）或受冻（冬季）。应采取适当措施防止水分进入运输容器或水分蒸发，不得在拌合物运输过程中向 UHPC 内加水。

7.8 UHPC 布料与摊铺

7.8.1 在 UHPC 布料铺装之前，混凝土基层表面的洒水润湿情况应按本规程 7.4.7 条规定执行。

7.8.2 摊铺前应测量空气温度、相对湿度和风速，估算水分蒸发率。若估计的水蒸发速率超过 $0.73 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ ，不得直接铺设 UHPC。而应采取包括冷却混凝土、安装挡风板或遮阳板、及时覆盖养生膜等措施，以保证整个桥面板水分蒸发率低于 $0.73 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ ，水分蒸发率估算方法见附录 A。

条文说明

环境温度较高、湿度较低、风速较大时，UHPC 表面接触空气环境会快速出现结皮现象或产生塑性收缩开裂，会影响表面美观和铺装质量。风速是影响塑性收缩开裂的首要因素，UHPC 层施工时要用风速计在现场测量风速或观测刮风引起的自然现象，确定风级，同时对已摊铺完成的表面层覆盖保温养生膜防止结皮现象和塑性收缩开裂。

本条文参考美国国家公路与运输协会（AASHTO）在 2023 年出版的指南《Guide to Preservation of Highway Bridge Decks》中关于混凝土桥面上铺装 UHPC 层时对铺装前水分蒸发率的技术要求，该技术指标设定是为了保障 UHPC 的铺装质量。

7.8.3 当 UHPC 层铺设时空气温度低于 7°C 、UHPC 凝结期间的温度预计低于 2°C 或铺装期间的气温超过 30°C 时，不得铺设 UHPC 铺装层。

7.8.4 浇筑时拌合物下料点和流动方向应考虑对纤维分布和取向性的影响。宜使拌合物沿结构承受主拉应力的方向流动，并通过试验性浇筑确定。

7.8.5 UHPC 拌合物扩展度应符合本规程 4.2.5 条的要求。

7.8.6 UHPC 扩展度设计应通过试验性浇筑确定，且应符合本规程 6.3.2 条的要求。

7.8.7 布料后的拌合物高度宜超过设计标高 1~2 cm。

7.8.8 铺装作业宜采用专用摊铺机或振动梁摊铺 UHPC，同时宜采用平板振动器进行辅助振捣，铺装时不得采用插入式振捣棒，且不应振捣过度，确保 UHPC 密实性和均匀性。

条文说明

UHPC 振捣过程不能过度振捣，以免引起钢纤维因过度振捣而下沉分层。

7.8.9 UHPC 摊铺振捣应使模板内各部位 UHPC 摊铺平整、振捣密实。对局部厚度不足的部位宜采用人工布料的方式加料振捣抹平。

7.8.10 UHPC 失水过多时，可在摊铺前或摊铺后向 UHPC 表面喷雾湿润，以防止 UHPC 表面结皮，禁止直接向 UHPC 洒水。

7.8.11 当受光照或风吹影响引起 UHPC 表面结皮时，宜向 UHPC 表面喷洒水雾处理再修面。

7.8.12 UHPC 从布料入模到摊铺振捣完成时间应控制在 30 min 以内。

7.8.13 UHPC 应连续浇筑，不应出现冷缝；施工汇合面处应保证铺装体系及钢纤维的连续性，可在汇合面人工补撒钢纤维及振捣使纤维跨越界面均匀分布。

7.8.14 UHPC 铺装接缝处应衔接良好，无台阶或脱空现象。

7.9 接缝施工

7.9.1 UHPC 铺装层中宜进行连续浇筑而不设施工缝。

7.9.2 当施工需要对 UHPC 层进行分跨、分幅或分段浇筑时，应在先浇后浇连接部位设置接缝。UHPC 接缝施工应保证铺装体系整体的连接性能和施工质量。

条文说明

接缝按功能可分为三类：分段浇筑形成的施工缝、释放 UHPC 收缩应力的收缩缝、及匹配桥梁主体变形的结构缝。

7.9.3 UHPC 分段浇筑时, 接缝宜设置在受压区或拉应力较小的区域。横向接缝宜设置在两相邻横梁间跨中至前后 1/4 点的范围内, 纵向接缝应结合车道位置进行布置。

条文说明

接缝是 UHPC 铺装层中的薄弱区域, 其性能相对于非接缝区低一些, 应避免将其设置在拉应力区, 宜将其设置于压应力区, 防止运营期开裂。接缝位于跨中至 1/4 跨时, 受压区主导, 该区域正弯矩区顶部受压、负弯矩区底部受压, 接缝处于压应力区可避免拉应力导致的界面开裂。车道分隔处接缝可隐藏于标线下, 减少环境介质(除冰盐、雨水)侵蚀。

7.9.4 接缝形式可采用方波式, 内部钢筋网接头宜错开布置。

7.9.5 UHPC 接缝凿毛施工应符合以下规定:

- 1 先浇筑段 UHPC 达到一定强度后进行凿毛处理。
- 2 凿毛应从接缝处断面开始, 清除松散部位, 形成粗糙表面, 并露出钢纤维裸露。
- 3 凿毛后, 应清除遗留在桥面板上的 UHPC 屑末。
- 4 接缝处后一幅 UHPC 铺装前, 应将接缝处表面进行洒水润湿。

7.9.6 对于分幅铺设的铺装层, 应在两幅之间设置清洁的垂直接缝。在相邻幅铺装层铺设前, 前一幅铺装层应养护 3 天, 并于铺装层凝结硬化后, 在各幅之间的接缝处涂上密封胶。

7.10 UHPC 养生

7.10.1 UHPC 铺装层浇筑、抹面完成后, 应在 5min 内用薄膜覆盖或喷洒养护剂进行保湿养生, 并应符合下列规定:

- 1 覆盖薄膜时不得损坏、损伤 UHPC 铺装层。
- 2 薄膜应搭接铺设, 搭接宽度不应小于 200mm, 并宜采用方木、钢筋等进行

固定。

3 终凝后应继续进保湿养生。

4. 养生过程中应加强巡查力度，发现有缺水部位时，应及时补水养生。

7.10.2 混凝土桥面 UHPC 铺装层宜采用自然养护，若采用蒸汽养护或热处理时应符合现行国家标准《超高性能混凝土》（GB/T 31387—2025）的有关规定。

7.10.3 采用自然养护时，UHPC 养护措施应满足下列要求：

1 高温或强紫外线区域施工时，UHPC 终凝后表面应覆盖黑色遮阳型养护膜，相邻幅养护膜纵向搭接宽度不应小于 200mm，膜材边缘每间隔 1.5m 采用砂袋或专用夹具固定。

2 UHPC 层保湿养生时间不应少于 7d，且保持 UHPC 表面温度不低于 5℃。

3 当环境平均气温低于 10℃或最低气温低于 5℃时，应按冬期施工过程处理，采取保温养生措施。

7.10.4 UHPC 铺装层在最低抗压强度达到 76MPa 前不得受冻。

7.10.5 UHPC 铺装层养生完成前或在最低抗压强度达到 76MPa 前不得经受交通荷载或其他荷载。

7.11 UHPC 硬化后表面处理

7.11.1 对 UHPC 铺装层表面进行处理应在 UHPC 终凝后施工，在 UHPC 塑性阶段不得打磨或刻槽。

7.11.2 UHPC 用于行车面层时，施工过程中应严格控制表面平整度，UHPC 硬化后对局部明显凹凸不平部位（高差大于 2mm）应进行专项打磨处理，UHPC 层表面平整度应满足本规程第 5.4.1 条要求。

7.11.3 UHPC 硬化后应采用专用抛丸设备对整体 UHPC 表面进行均匀磨光处理，去除表面浮浆光滑层并形成均匀微观粗糙纹理。

7.11.4 UHPC 表面磨光后应进行刻槽处理以提高表面摩擦系数，刻槽时间不得早于终凝时间且宜在 UHPC 强度达到 70MPa 前进行。刻槽处理还应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG F30）的相关规定。

7.11.5 对于表面露出的局部空洞坑槽可采用 UHPC 无纤维浆体进行填补，当单位面积出现坑槽空洞较多时，宜凿除局部 UHPC 再进行重新铺装。

7.12 特殊天气条件施工

7.12.1 混凝土桥面 UHPC 铺装层浇筑时，应预先收集当旬、日的天气情况资料，遇有降雨、大风（6 级及以上）、寒流侵袭（气温低于 5℃）和高温天气（现场温度超高 35℃）时，不得进行浇筑施工。

7.12.2 在日照较强，空气干燥的春秋多风季节、山区以及沿海多风地区，应做好防护措施防止刚浇筑完成的 UHPC 层表面发生塑性收缩开裂及结皮。

7.12.3 混凝土桥面铺装体系的 UHPC 层在特殊气候条件下的施工还应符合下述规定：

- 1 施工时应随时检测气温和混合料、拌合水及桥面的温度。
- 2 低温施工：当施工气温处于 5℃~10℃时，桥面 UHPC 铺装体系施工应采取适当的保温覆盖措施。
- 3 高温施工：当施工昼夜日平均气温高于 30℃时，注意对 UHPC 层洒水保湿养生；UHPC 拌合物的温度不得超过 35℃；宜避开中午施工，可选择早晨、傍晚或夜间施工。

条文说明

高温施工时，UHPC 表面易因失水产生结皮现象，流动性损失过快；低温施工时，UHPC 凝结时间会延长较多，强度随龄期发展缓慢。因此，应采取适当措施，保障 UHPC 工程质量。

8 检验

8.1 一般规定

8.1.1 根据全面质量管理要求，建立健全有效的质量保证体系，对施工各工序的质量进行检查、控制，并应达到所规定的质量要求，确保施工质量。

8.1.2 混凝土试件应在浇筑地点取样制作，留置足够数量的混凝土试件，及时填写施工记录，不应在拌合站取样制作试件。

8.1.3 UHPC 质量检验可分为原材料进场检验、施工前的配合比检验及施工过程中的现场抽检。

8.1.4 混凝土桥面 UHPC 铺装施工原始记录等相关资料应如实保存完好。

8.2 原材料检验

8.2.1 原材料应具有供应商提供的出厂合格检验证书，并按项目、批次规定，严格实施进场检验。

8.2.2 原材料进场检验应符合下列规定：

1 预混料的包装进场检验项目：是否受潮、是否漏料、保质期、合格证、包装规格，每 100t 相同配比的预混料检验不应少于 5 次。

2 预混料的扩展度、力学性能和抗渗性能等应符合本标准 4.2 节的相关要求。

3 散装水泥应按每 500t 为一个检验批，袋装水泥应按每 200t 为一个检验批；其他胶凝材料、矿物拌合物及骨料应按 200t 为一个检验批。

4 外加剂进场应提供出厂检验报告等质量证明文件，并应进行检验。检验项目及检验批量应符合《混凝土质量控制标准》（GB 50164）的规定，外加剂应按 50t 为一个检验批。

5 钢纤维不预混时，钢纤维的质量检验应符合现行国家标准《超高性能混凝土》（GB/T 31387）的规定，每 100t 钢纤维检验不应少于 1 次。

6 不同批次或非连续供应的 UHPC 原材料，在不足一个检验批量的情况下，应按同品种和同规格（或等级）材料每批次检验一次。

8.3 施工过程中质量检验

8.3.1 新建混凝土桥面铺装或旧混凝土桥面铺装翻修施工时，桥面基层处理应满足表 8.3.1 中的相关检验要求。

表 8.3.1 UHPC 铺装前桥面基层检验

项次	检查项目	要求	检测频率和方法
1	桥面基层粗糙度	最小构造深度 $\geq 6\text{mm}$	每 200m^2 检测一处，铺砂法或粗糙度测定仪法，铺砂法参考《公路路基路面现场测试规程》（JTG3450-2019）
2	桥面基层清洁度	无碎屑、混凝土细粒及杂物	每 200m^2 检测一处，目视比较法
3	桥面基层湿度	铺装即将开始前，基层达到饱和和水润湿，湿度 $\geq 95\%$	每 200m^2 检测一处，目视比较法

8.3.2 钢筋网铺设应符合表 8.3.2 中的相关检验要求。

表 8.3.2 钢筋网铺设实测项目

项次	检查项目	允许偏差（mm）	检测方法和频率
1	钢筋搭接长度	≤ 10	钢尺测量，每 100m^2 检测 1 处
2	钢筋网高度	≤ 3	钢尺测量，每 100m^2 检测 1 处
3	钢筋网间距	≤ 10	钢尺或游标卡尺测量，每 100m^2 检测 1 处

8.3.3 钢筋网铺设的外观鉴定要求：

- 1 垫层钢筋或垫块等应布置合理，密度均匀。
- 2 钢筋网纵、横桥向间距均匀，上层钢筋顶面与植筋顶面的高度差应基本均匀。
- 3 接缝布置合理，位置错开，接缝长度满足要求，接缝焊接或绑扎应牢固。
- 4 钢筋网间应洁净、无积水和杂物。

8.3.4 植筋外观检验要求应满足表 8.3.4 的要求：

表 8.3.4 植筋外观检验方法及要求

项次	检查项目	允许误差	检测方法和频率	要求
----	------	------	---------	----

1	植筋高度	≤3mm	钢尺测量，每 50mm ² 检测 1 处	按设计图纸
2	植筋间距	≤10mm	钢尺测量，每 50mm ² 检测 1 处	按设计图纸

8.3.5 植筋质量要求如下：

- 1 锚孔内胶粘剂应饱满，不得有未固结现象。
- 2 植入钢筋不得有松动，表面不应有损伤，钢筋不得弯曲 90°以上。

8.3.6 UHPC 进场前应检测表 8.3.6 中所列的项目，各项指标应符合设计要求。

表 8.3.6 UHPC 进场检验项目

序号	材料性能	试验方法
1	抗压强度/MPa	《超高性能混凝土》（GB/T 31387）
2	3d 抗压强度/MPa	《超高性能混凝土》（GB/T 31387）
3	28d 收缩率	《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）
4	初始坍落扩展度/mm	《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）
5	1h 坍落扩展度/mm	《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）

8.3.7 UHPC 摊铺施工过程中应检测 UHPC 坍落度，并留取 UHPC 力学性能测试样品，放置于桥面处同条件养护或放置养护室标准养护，达到相应龄期后进行 UHPC 力学性能检测。

8.3.8 施工过程中应严格按照相关检验要求开展质量检验工作，对存在缺陷部分按照检验标准进行整改。

8.4 施工结束后质量检验

8.4.1 摊铺后 UHPC 层的施工质量检验应符合表 8.4.3 中的要求。

表 8.4.1 UHPC 层摊铺施工质量检测项目

项次	检查项目	允许偏差	检测方法和频率
1	UHPC 总层厚	≤5mm	摊铺过程中，将直钢丝插入到 UHPC 的底部，以直尺测量钢丝的浸润深度，每 40m ² 检测 1 处

项次	检查项目	允许偏差	检测方法和频率
2	桥面纵、横坡	$\leq 0.2\%$	水准仪、皮尺测量，每 40m ² 检测 1 处
3	平整度	$\leq 3.2\text{mm}$	3m 铝合金直尺，每 40m ² 检测 1 处

8.4.2 UHPC 摊铺施工的外观鉴定应满足下列要求：

- 1 摊铺过程中，UHPC 应色泽正常，无发干、结皮或发亮现象。
- 2 UHPC 流动性应满足设计的流动度要求，倾倒至桥面板时，应能自然流动一定距离；经摊铺振捣后，应能完全覆盖钢筋网和植筋，且表面厚度应均匀一致，无坑洼。
- 3 振捣充分和保湿养生后，UHPC 层应均匀完好，且不应有龟裂和收缩裂纹现象。
- 4 UHPC 层的边角处、不同浇筑时期接缝处等位置应衔接良好，无脱空、台阶现象。
- 5 接缝区域先浇段 UHPC 侧面凿毛处理后，表面粗糙，断面上钢纤维裸露在外。

8.4.3 应通过目视检查和探测检测等方式检查并标记铺装层中的所有缺陷和脱粘区域，可通过局部凿除并重新铺装进行修复。

8.4.4 UHPC 层与混凝土基层的粘结性能检测应满足下列要求：

- 1 宜在桥面非敏感区进行钻芯拉拔试验，检验 UHPC 层与混凝土基层之间的粘结强度。
- 2 宜在每一次铺装时进行至少 3 次粘结测试，或每铺设 140m² 的铺装层进行 1 次粘结测试。
- 3 当粘结强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ ，或破坏发生在混凝土基层 6.35mm 以下的深度处时，认定为满足要求的粘结效果。
- 4 桥面的钻芯孔洞，应使用无油压缩空气清除灰尘、洒水润湿后浇筑铺装用 UHPC 材料。

条文说明

本条文参考美国国家公路与运输协会（AASHTO）在 2023 年出版的指南《Guide to

Preservation of Highway Bridge Decks》，根据其中关于混凝土桥面上铺装 UHPC 层检验条款对粘结测试的要求，制定了本条规定。

5 对于不符合粘结性能要求的路段应铲除，并按照施工标准工序重新铺筑。

8.4.5 UHPC 铺装层表面裂缝检测应满足下列要求：

1 应填补所有可见裂缝。

2 裂缝间距 $\geq 3\text{m}$ 的区域，使用自流平填缝剂填补每条裂缝；裂缝较多或间距 $< 3\text{m}$ 的区域，使用自流平填缝剂填补整个区域。

条文说明

本条文参考美国国家公路与运输协会（AASHTO）在 2023 年出版的指南《Guide to Preservation of Highway Bridge Decks》，根据其中关于混凝土桥面上铺装 UHPC 层检验条款对裂缝检验的要求，制定了本条规定。

8.4.6 UHPC 硬化后的表面处理施工鉴定应满足下列要求：

1 抛丸处理后，应检查 UHPC 表面细观粗糙情况，对局部仍存在的光滑表面进行补充抛丸处理。

2 采用刻槽法制作的 UHPC 表面宏观抗滑构造的槽深、槽宽、槽间距应满足《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30-2014）的相关要求。

3 UHPC 表面处理后的桥面应整体整洁干净，且应达到通车要求。

附录 A 锚固筋与钢筋网布置示例

A.0.1 附录说明

本附录用于说明混凝土桥面 UHPC 铺装层中锚固筋与钢筋网的典型布置方式，以及锚固筋与钢筋网之间的连接方式。其目的在于指导构造做法。

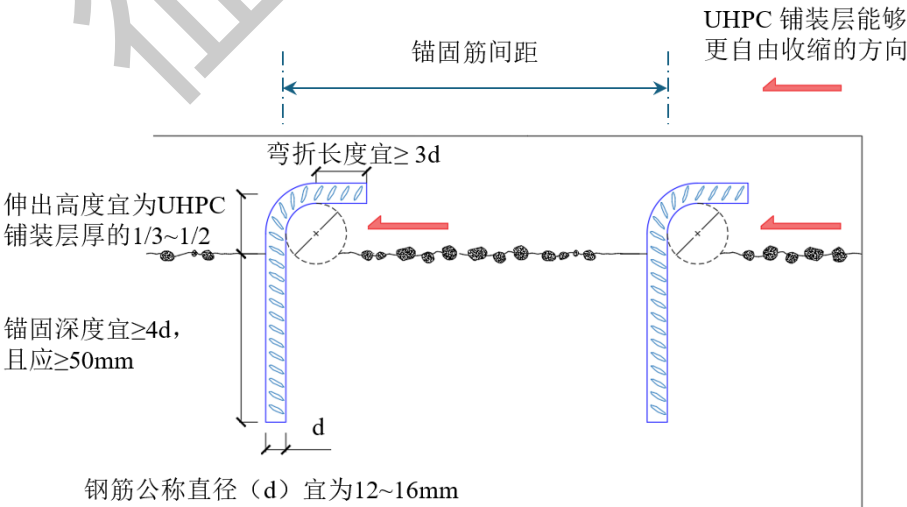
A.0.2 适用范围

本附录适用于第 5.2 节“混凝土基层构造”与第 5.3 节“UHPC 铺装层”中涉及锚固筋、钢筋网布置及二者连接的构造设计。

A.0.3 锚固筋布置示例

图 A.1 为锚固筋布置示例，说明如下：

- 1 锚固筋宜采用 L 形或门字形螺纹钢筋，沿桥面纵横方向形成方格布置。
- 2 锚固筋的钢筋公称直径（ d ）宜为 12~16mm。
- 3 植筋的锚固深度宜 ≥ 4 倍钢筋直径（ $4d$ ），且应 $\geq 50\text{mm}$ 。
- 4 锚固筋上部易做弯钩处理，弯折长度宜为 3 倍钢筋直径（ $3d$ ）。
- 5 锚固筋伸出高度宜为 UHPC 铺装层厚度的 $1/3\sim 1/2$ ，并与钢筋网保持可靠搭接。
- 6 锚固筋间距宜为 40~100 cm，且在桥面边角处宜加密布设，边角处间距可为 20~40 cm。



L形锚固钢筋

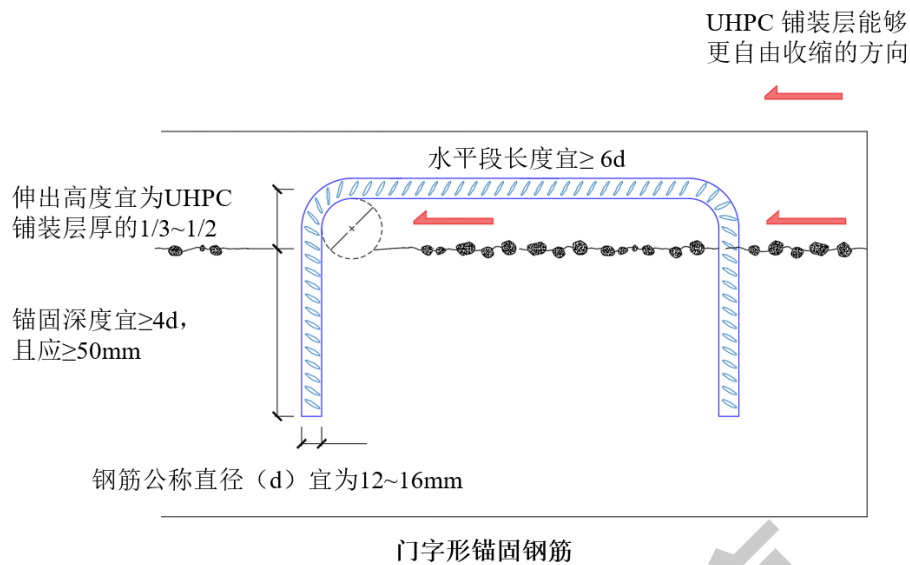


图 A.0.1 锚固筋布置示例

A.0.4 钢筋网布置示例

图 A.0.2 为钢筋网布置示例，说明如下：

- 1 钢筋网应为单层的焊接型钢筋网，钢筋直径应 $\geq 8\text{mm}$ ，间距应 $\leq 150\text{mm}$ 。
- 2 钢筋网保护层厚度应 $\geq 20\text{mm}$ 。



图 A.0.2 钢筋网布置示例

A.0.5 锚固筋与钢筋网连接方式

- 1 锚固筋与钢筋网交汇处应采用点焊或绑扎固定。
- 2 焊接应在清洁干燥状态下进行，焊缝饱满连续。

3 绑扎连接时应使用铁丝双股绑扎，并确保连接点稳固，不得妨碍 UHPC 的浇筑；

4 施工完成后应进行布置复核，确保钢筋网平整。

征求意见稿

附录 B 混凝土水分蒸发速率估算方法

B.0.1 本方法适用于估算新拌混凝土表面水分蒸发速率，该计算方法参考了行业标准《现浇混凝土养护技术规范》（JC/T 60018-2023）及美国混凝土协会 ACI 308R 《Guide to external curing of concrete》中推荐的混凝土水分蒸发速率估算方法。

B.0.2 混凝土水分蒸发速率估算所需要的大气温度、相对湿度、风速等参数，可以通过试验获得，如果没有实测数据时，也可利用气象数据进行混凝土水分蒸发速率估算。

B.0.3 测试设备应符合下列规定：

- 1 温度测量仪的测量范围不应小于 0℃~80℃，精度不应低于 0.1℃；
- 2 湿度测量仪的测量范围宜为 0%~100%，精度不应低于 1%；
- 3 风速测量仪的测量范围宜为 0m/s~30m/s，精度不应低于 10%。

B.0.4 混凝土水分蒸发速率按照(B.0.4)式进行估算：

$$E=5[(T_b+18)^{2.5}-r(T_a+18)^{2.5}]/(V+4)\times 10^{-6} \quad (\text{B.0.4})$$

式中：

E ——水分蒸发速率，kg/m²/h；

r ——混凝土水分蒸发面以上的大气相对湿度，%（计算时，例如 60%，采用数值 0.6）；

T_a ——混凝土水分蒸发面以上的大气温度，℃；

T_b ——混凝土表面温度，℃；

V ——混凝土水分蒸发面以上的水平风速，km/h。

B.0.5 相对湿度和空气温度宜在遮阴处并在混凝土蒸发表面上方 1.2m~1.8m 处测得；风速宜在混凝土上方 0.5m 处测得。无试验数据时，可根据气象数据进行估算。

B.0.6 水分蒸发率计算示例

表 B-1 UHPC 铺装时水分蒸发率计算示例

r	T _a (°C)	T _b (°C)	V (km/h)	E (kg/m ² /h)	判定: E> 0.73 kg/m ² /hr 不得施工
50%	35	25	5	0.085	可施工
50%	30	30	5	0.359	可施工
40%	20	30	8	0.744	不得施工
80%	20	30	8	0.530	可施工
60%	15	30	10	0.855	不得施工

征求意见稿

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。