

上海市工程建设规范

桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准

Technical standard for application of ultra-high performance
concrete in bridges

DG/TJ 08—2401—2022

J 16324—2022

主编单位：上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司
上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司
上海市市政规划设计研究院有限公司
批准部门：上海市住房和城乡建设管理委员会
施行日期：2022年7月1日

2023 上海

上海市住房和城乡建设管理委员会文件

沪建标定〔2022〕103号

上海市住房和城乡建设管理委员会
关于批准《桥梁工程超高性能混凝土应用
技术标准》为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

由上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司、上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司上海市市政规划设计研究院有限公司主编的《桥梁工程超高性能混凝土应用技术标准》，经我委审核，现批准为上海市工程建设规范，统一编号为DG/TJ 08—2401—2022，自2022年1月1日起实施。

本标准由上海市住房和城乡建设管理委员会负责管理，上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司负责解释。

上海市住房和城乡建设管理委员会
2022年2月15日

前 言

根据上海市住房和城乡建设管理委员会《关于印发〈2020年上海市工程建设规范、建筑标准设计编制计划〉的通知》(沪建标定(2019)752号)要求,标准编制组在充分总结以往经验,结合新的发展形势和要求,参考有关国家、行业及本市相关标准规范和文献资料,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准的主要内容有:总则;术语和符号超高性能混凝土材料;超高性能混凝土结构设计基本规定;超高性能混凝土构件设计;超高性能混凝土-钢组合桥面板析件设计;预制结构中超高性能混凝土连接设计;维修加固;施工及质量检验;附录A;附录B。

各有关单位及相關人員在執行本標準過程中,若發現問題或有意見和建議,請反饋至上海市交通委員會(地址:上海市世博村路300號1號樓;郵編:200125;E-mail:shjtbiao zhun@126.com), 上海市政工程設計研究總院(集團)有限公司(地址:上海市中山北二路901號;郵編200092;E-mail:wangruilong@smedi.com), 上海市建築建材業市場管理總站(地址:上海市小木橋路683號;郵編:200032;E-mail:shgcbz@163.com),以便今後修訂時參考。

主編單位: 上海市政工程設計研究總院(集團)有限公司
上海市城市建設設計研究總院(集團)有限公司
上海市市政規劃設計研究院有限公司

參編單位: 同濟大學

主要起草人: 馬 弱 周 良 黃 少 文 王 瑞 龍 王 俊 顏
石 雪 飛 李 雪 峰 王 巍 肖 汝 誠 李 建 中
王 強 趙 曉 梅 黃 虹 段 昕 智 閔 興 非

王 浩 苏 俭 胡 方 健 何 昌 轩 卫 璞
杜林清

主要审查人： 钱寅泉 刘钊 李国平 陈世鸣 苏庆田
邓青儿 郑七振

上海市建筑建材业市场管理总站

目 次

1	总 则	
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	超高性能混凝土材料	8
3.1	材料组成	8
3.2	材料性能	9
4	超高性能混凝土结构设计基本规定	15
5	超高性能混凝土构件设计	18
5.1	一般规定	18
5.2	持久状况承载力极限状态计算	20
5.3	持久状况正常使用极限状态计算	36
5.4	持久状况和短暂状况构件应力计算	38
5.5	构造要求	39
6	超高性能混凝土-钢组合桥面板构件设计	41
6.1	一般规定	41
6.2	结构计算	42
6.3	构造要求	46
7	预制结构中超高性能混凝土连接设计	48
7.1	一般规定	48
7.2	上部结构连接	48
7.3	下部结构连接	49
8	维修加固	52
8.1	一般规定	52

8.2	受弯构件加固.....	53
8.3	受压构件加固.....	58
8.4	构造要求.....	67
9	施工及质量检验.....	69
9.1	一般规定.....	69
9.2	施工准备.....	69
9.3	模板和支架.....	70
9.4	搅 拌.....	70
9.5	运 输.....	71
9.6	浇 筑.....	71
9.7	养 护.....	71
9.8	高温期和冬期施工.....	72
9.9	质量检验.....	72
附录A	拉伸试验.....	75
附录B	超高性能混凝土拌合物中钢纤维分布均匀性的 检验方法.....	79
	本标准用词说明).....	82
	引用标准名录.....	83
	条文说明.....	85

Contents

1	General provisions	
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	UHPC materials	8
3.1	Material composition	8
3.2	Material performance	9
4	Basic requirement for UHPC structure design	15
5	Design for UHPC component	18
5.1	General requirement	18
5.2	Calculation of ultimate limit states in persistent situation	20
5.3	Calculation of serviceability limit states in persistent situation	36
5.4	Stress calculation in persistent and transient situation	38
5.5	Detailing requirement	39
6	Design for UHPC and steel composite bridge panel component	41
6.1	General requirement	41
6.2	Structural calculation	42
6.3	Detailing requirement	46
7	Design for UHPC connection in precast component	48
7.1	General requirement	48

7.2	Design for superstructure connection	48
7.3	Design for substructure connection	49
8	Maintenance and reinforcement	52
8.1	General requirement	52
8.2	Reinforcement for flexural component	53
8.3	Reinforcement for compressive component	58
8.4	Detailing requirement	67
9	Construction and quality inspection	69
9.1	General requirement	69
9.2	Construction preparation	69
9.3	Formwork and supports	70
9.4	Mixing	70
9.5	Transportation	71
9.6	Pouring	71
9.7	Curing	71
9.8	High temperature\period and winter construction	72
9.9	Quality inspection	72
Appendix A	Tensile test	75
Appendix B	Test method for uniform distribution of steel fibers in UHPC mixtures	79
	Explanation of wording in this standard	82
	List of quoted standards	83
	Explanation of provisions	85

1 总 则

1.0.1 为指导桥梁工程UHPC 结构的设计、施工、质量检验，做到安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于桥梁工程UHPC 结构的设计、施工及质量检验。

1.0.3 桥梁工程UHPC 结构的设计、施工及质量检验，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 桥梁工程用超高性能混凝土 ultra-high performance concrete for bridges (简称超高性能混凝土或UHPC)

应用于桥梁工程中,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高强、高韧、高耐久性的纤维增强水泥基复合材料。

2.1.2 UHPC预混料 UHPC premi

由水泥、矿物掺合料、骨料按 UHPC 配合比配制的干混料,可包含粉状外加剂、纤维。

2.1.3 弹性抗拉强度 elastic tensile strength

应变硬化型和应变软化型UHPC 的单轴拉伸试件由线弹性转变为非线性时的转折点所对应的拉伸应力。

2.1.4 抗拉强度 tensile strength

应变硬化型UHPC 的单轴拉伸试件应力应变曲线上的拉应力峰值。

2.1.5 极限拉应变 ultimate tensile strain

应变硬化型UHPC 的单轴拉伸试件应力应变曲线上的拉应力峰值对应的应变。

2.1.6 应变硬化 strain hardening

当拉应力超过弹性抗拉强度后,拉应力随应变增大而不立即下降的现象。

2.1.7 应变软化 strain softening

当拉应力超过弹性抗拉强度后,拉应力随应变增大而持续下

降的现象。

2.1.8 触变性 thixotropy

水泥基材料拌合物在剪力作用下的表观黏度减小，而当剪力撤除后，黏度又恢复的性质。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能相关符号

E_c ——普通混凝土的弹性模量；

E_s, E_p ——普通钢筋、预应力钢筋弹性模量

： E_{ue} ——UHPC 的弹性模量；

G_4 ——UHPC 的剪切变形模量

UC120——立方体抗压强度标作值为120 MPa 的 UHPC
抗压强度等级；

UTO——抗拉性能满足0级要求的UHPC 抗拉性能
等级；

f_{ac} ——普通混凝土的轴心抗压强度设计值；

f_a ——钢材的抗拉强度设计值；

$f_{k,f}$ ——预应力钢筋的抗拉强度标准值、设计值；

$f_{k,f}$ ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；

$f_{a,V}$ ——普通钢筋、预应力钢筋抗压强度设计值；

f_{uad} ——UHPC 轴心抗压强度设计值；

f_{uck} ——UHPC 轴心抗压强度标准值；

f_{Uck} ——施工阶段的立方体 UHPC 轴心抗压强度标
准值；

f_{uuk} ——UHPC 立方体抗压强度标准值；

f_{ute} ——UHPC 弹性抗拉强度；

f_{uid} ——UHPC 弹性抗拉强度设计值；

f_{uck} ——UHPC 弹性抗拉强度标准值；

f_{tu} ——UHPC抗拉强度;
 f_{umd} ——UHPC 抗拉强度设计值;
 f_{unuk} ——UHPC 抗拉强度标准值;
 f_{utk} —— 施工阶段的UHPC 轴心抗拉强度标准值;
 f_a —— 钢材的抗剪强度设计值;
 h ——UHPC 构件(层)的厚度;
 l ——UHPC 构件(层)的裂缝计算长度;
 t ——龄 期;
 t_0 ——加载龄期;
 EU_c ——UHPC 的徐变应变;
 EU_{cu} ——非均匀受压时的UHPC 极限压应变;
 EU_e ——UHPC 的弹性应变;
 E_{us} ——UHPC 的总收缩值,
 E_u ——UHPC 的最终收缩应变值;
 EU_u ——UHPC 的极限拉应变;
 μ ——UHPC 的泊松比;
 $\sigma_{u,D}$ ——UHPC 名义疲劳否拉应力允许值;
 $\eta_{u,(t_0 \rightarrow t)}$ ——UHPC 的最终徐变系数;
 w ——UHPC 裂缝宽度。

2.2.2 作用和作用效应有关符号

F —— 受 压 区RC 桥面板的压应力合力;
 F_{ue} —— 受压区UHPC 的压应力合力;
 F_{ut} —— 受拉区UHPC 的拉应力合力;
 M —— 弯矩设计值;
 N_a —— 轴向力组合设计值;
 R —— 构件承载力设计值;
 S —— 作用效应的组合设计值;
 V_a —— 剪力组合设计值;
 V_{Rd} —— 抗剪承载力设计值;

$VR_{d,e}$ ——普通混凝土的抗剪承载力设计值；
 $VR_{d,u}$ ——UHPC 基体的抗剪承载力；
 $VR_{d,s}$ ——箍筋提供的抗剪承载力；
 $VR_{d,p}$ ——预应力钢筋提供的抗剪承载力；
 V ——组合梁截面竖向剪力设计值；
 V_u ——组合梁截面竖向抗剪承载力；
 σ_{po}, σ_o ——受拉区、受压区纵向预应力钢筋合力点处 UHPC 法向应力等于0时预应力筋应力；
 σ_c ——扣除全部预应力损失后的预加力在构件抗裂验算边缘产生的UHPC 预压应力；
 σ_s, σ_p ——纵向普通钢筋、预应力钢筋的应力；
 σ_t ——在作用频遇组合下构件抗裂验算边缘 UHPC 的法向拉应力；
 $\sigma_{p,p}$ ——在作用频遇组合和预加力产生的UHPC 主拉应力；
 $\sigma_{f,max}$ ——疲劳验算时UHPC 截面受拉区边缘纤维的最大拉应力；
 σ_{ue} ——截面达到抗弯承载力极限时，构件截面受压边缘UHPC 的应力；
——受拉区预应力钢筋屈服时，受拉区纵向预应力钢筋合力点处UHPC 的应变；
 ϵ_{ep} ——截面达到抗弯承载力极限时，构件受压区纵向普通钢筋、纵向预应力钢筋合力点处UHPC 的应变；
 ϵ_{ue} ——截面达到抗弯承载力极限时，构件截面受压边缘UHPC 的应变；
 ϵ_{ut} ——受拉区预应力钢筋屈服时，构件截面受拉边缘UHPC 的应变。

2.2.3 几何参数有关符号

- A_u ——UHPC 构件的截面净面积；
- A_{ut} ——UHPC 构件有效受拉区面积；
- A_p, A'_p ——构件受拉区、受压区纵向预应力钢筋的截面面积；
- A_g, A'_g ——构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积，
- A_g ——箍筋面积；
- A_w ——钢梁腹板的截面面积；
- W_e ——截面抗弯模量；
- S_s ——箍筋的间距；
- a_c ——截面受压区UHPC 压应力合力重心距离受压边缘的距离；
- a, a' ——构件受拉区、受压区普通钢筋和预应力筋合力点至截面近边的距离；
- a_s, a_p ——构件受拉区普通钢筋合力点、预应力筋合力点至受拉区边缘的距离；
- a_s, a_p ——构件受压区普通钢筋合力点、预应力筋合力点至受压区边缘的距离；
- a_s ——UHPC 构件有效受拉区合力重心距受拉边缘的距离；
- b ——矩形截面宽度，T形或I形截面腹板宽度；
- b, b' ——T形或I形截面受拉区、受压区的翼缘宽度；
- b_{Rc} ——RC桥面板宽度；
- e_o ——轴向力对截面重心轴的偏心距；
- h'_{rc} ——RC 桥面板高度；
- h ——截面高度；
- h_f, h'_f ——T形或I形截面受拉区、受压区的翼缘厚度；
- h_o ——截面有效高度，纵向受拉钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

h_{oi} ——受压区边缘至受拉区第*i*层钢筋截面重心的距离；

h_o ——纵向受压钢筋合力点至截面受拉边缘的距离；

x ——截面受压区高度；

x_c ——UHPC 构件截面受压区高度；

x_t ——UHPC 构件拉应变小于 $2.0\epsilon_{cu}$ 的受拉区高度

z ——外力杠杆臂；

ξ_b ——相对界限受压区高度；

ξ_{b1} ——界限受压区高度。

2.2.4 计算参数及其他有关符号

γ_0 ——桥梁结构的重要性系数；

η ——偏心受压构件轴向力偏心距增大系数；

η_0 ——挠度长期增长系数，

γ_{bu} ——纤维分布方向上构件厚度的影响系数；

γ_1 ——荷载偏心率对截面曲率的影响系数；

γ_2 ——构件长细比对截面曲率的影响系数；

ϕ ——轴心受压构件稳定系数。

3 超高性能混凝土材料

3.1 材料组成

3.1.1 UHPC用水泥宜采用比表面积为 $330\text{ m}^2/\text{kg}\sim 390\text{ m}^2/\text{kg}$ 的42.5级及以上硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。

3.1.2 UHPC用矿物掺合料应满足下列要求：

1 矿物掺合料应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T18736 的规定

2 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合料性能应符合国家现行标准的规定，且应通过试验验证。

3.1.3 UHPC用细骨料宜满足现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 和现行行业标准《高性能混凝土用骨料》JG/T 568的规定，且氯离子含量应符合现行上海市工程建设规范《预拌混凝土生产技术标准》DG/TJ 08—227 的规定。使用粗骨料时，其最大粒径不应大于10 mm，且应通过试验验证。

3.1.4 UHPC 用外加剂应满足下列要求：

1 减水剂应符合现行国家标准《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规定，且应通过试验验证。

3.1.5 UHPC用钢纤维宜采用长度为6 mm~25 mm、直径为0.10 mm~0.25 mm、长径比为50~120，且抗拉强度不低于

2000 MPa的微细钢纤维，钢纤维体积掺量宜为1.0%~4.0%。

3.1.6 UHPC用拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

3.1.7 UHPC的配合比应通过试验验证，且满足设计性能要求后方可使用。

3.2 材料性能

3.2.1 UHPC抗压强度等级应按边长为100 mm 立方体试件的抗压强度标准值确定，UHPC 立方体抗压强度标准值 f_{cuk} 不应小于120 MPa，并按表3.2.1采用。

表3.2.1 UHPC 立方体抗压强度标准值

强度等级	UC 120	UC 140	KC Y60	UC 180	UC 200
f_{cuk} (MPa)	120	140	160	180	200

注：采用粗骨料时应乘以0.95折减系数。

3.2.2 UHPC轴心抗压强度标准值 f_{ck} 应按表3.2.2取值。

表3.2.2 UHPC轴心抗压强度标准值

强度等级	UC 120	UC 140	UC 160	UC 180	UC200
f_{ck} (MPa)	84	98	112	126	140

3.2.3 UHPC轴心抗压强度设计值 f_{cd} 应按表3.2.3取值。

表3.2.3 UHPC轴心抗压强度设计值

强度等级	UC 120	UC 140	UC 160	UC 180	UC 200
f_u (MPa)	58	68	77	87	97

3.2.4 UHPC弹性抗拉强度 f_{te} 、抗拉强度 f_{tm} 以及极限拉应变 ϵ_{tm} 应按本标准附录A 进行测定。

3.2.5 UHPC抗拉性能等级应按表3. 2. 5进行划分，弹性抗拉强度标准值futek、抗拉强度标准值fuuk 以及极限拉应变Eutm应同时满足表3. 2. 5的要求。

表3.2.5 轴拉力学性能

抗拉性能等级	UT 0	UT I	UT II	UT III	UT V
fUek (MPa)	7.0	7.0	7.0	8.0	10.0
fuuk (MPa)	4.9*	7.0	7.7	9.6	42.0
fUtuk/fUek	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2
Eum(%)	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2

注：*指按本标准附录A进行拉伸试验，拉伸应变达到，)8%时，对应的拉应力不应低于0.7倍fuuk。

3.2.6 UHPC按拉伸力学特性分为应变硬化和应变软化两种类型(图3. 2. 6), 应采用下列规定进行表达：

- 1 采用双折线模型，描述UHPC 的弹性性能和硬化特征。
- 2 采用应力裂缝宽度模型，描述您HPC 的软化行为，裂缝宽度与应变应符合下列规定：

$$\epsilon_{Ut}=\frac{w_{Ut}}{l_u} \tag{3.2.6-1}$$

$$l_u=\frac{2}{3}h_u \tag{3.2.6-2}$$

式中：lu——UHPC 构件或UHPC 层的裂缝计算长度(mm)；
hu——UHPC 构件或UHPC 层的厚度(mm)；
Wu.——UHPC 构件或 UHPC 层的裂缝张开宽度(mm)，
Wut,max可取最长纤维长度的1/2。

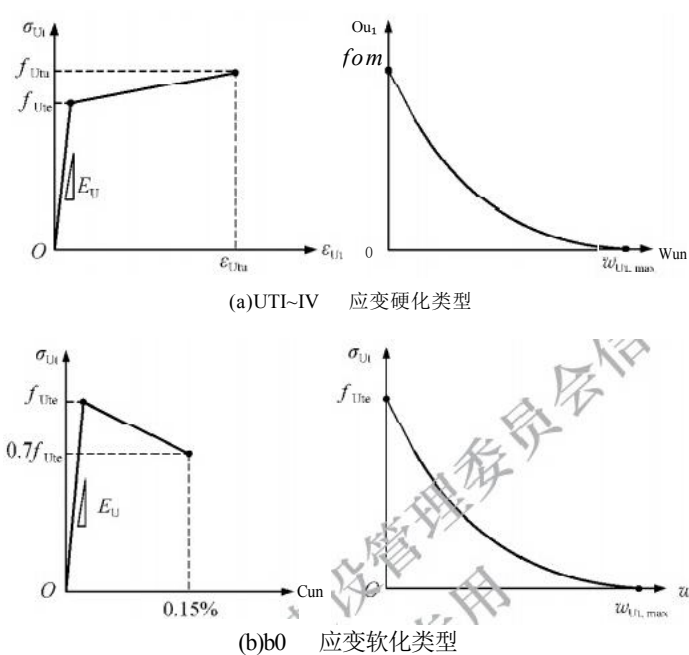


图3.2. 家 UHPC 应变硬化和应变软化特性

3.2.7 UHPC的弹性抗拉强度设计值及抗拉强度设计值应按下列公式进行计算：

$$f_{Uted} = \frac{\eta_{hU} \cdot \eta_k \cdot f_{Utek}}{\gamma_U} \quad (3.2.7-1)$$

$$f_{Utud} = \frac{\eta_{hU} \cdot \eta_k \cdot f_{Utuk}}{\gamma_U} \quad (3.2.7-2)$$

式中： f_{uicd} ——UHPC 弹性抗拉强度设计值(MPa)。

f_{Uiek} ——UHPC 弹性抗拉强度标准值 (MPa) 。

f_{utud} ——UHPC 抗拉强度设计值 (MPa) 。

f_{uuk} ——UHPC 抗拉强度标准值(MPa)。

7k——与构件尺寸和制造工艺相关的系数。采用 UHPC 进行整体计算分析时， $\eta_k=1.0$ ；采用 UHPC 进行局部计算分析时， $\eta_k=0.85$ 。

Y_u——分项系数。对于不配筋结构，Y_u=1.4；对于配筋 UHPC 和预应力 UHPC 结构，Y_u=1.3。

y_{hu}——纤维分布方向上构件厚度的影响系数，按图 3.2.7 取值。

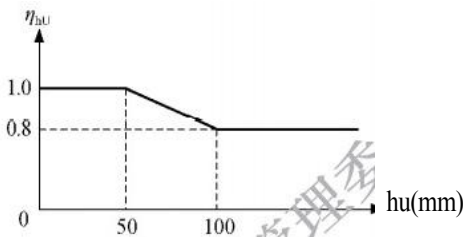


图3.2.7构件厚度的系数

3.2.8 UHPC受压或受拉时的弹性模量宜按表3.2.8采用。当有可靠试验依据时，可接实测数据确定，试验方法应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GBAL31387的规定。

表3.2.8 UHPC弹性模量

强度等级	UC120	UC 140	UC 160	UC 180	UC 200
$E_{x10^4\text{MPa}}$	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4

3.2.9 UHPC的剪切变形模量G_u 可按表3.2.8中E_{uc} 值的0.4倍采用，UHPC 泊松比 μ 可采用0.2。

3.2.10 UHPC徐变应变应符合下列规定：

1 当 UHPC 的压应力不大于40%*fucuk*或 UHPC 拉应力不大于*fute* 时，由于徐变产生的应变应按下列公式计算：

$$E_{Uce}(t)=\varphi_u(t,t_0)\cdot E_{Ue} \tag{3.2.10-1}$$

$$\varphi_U(t, t_0) = \varphi_{U, \infty}(t_{\infty}, t_0) \cdot \frac{(t - t_0)^a}{(t - t_0)^a + b} \quad (3.2.10-2)$$

式中：E_{ue}——UHPC 的徐变应变；

E_{ue}——UHPC 的弹性应变；

t₀ ——加载龄期(d)；

t ——龄期(d)。

最终徐变系数 $\phi_{u,o}(t, t_0)$ 和系数a、b可按表3.2.10采用。

表3.2.10 最终徐变系数和系数a、b

t ₀ (d)	养护条件	g _u (t, t ₀)	a	b
4	常温养护	1.2	0.6	3.2
7		1.0	0.6	4.5
28		0.9	0.6	10
	蒸汽养护	p3	0.6	10

2 当 UHPC 的压应力大于40%E_{uak} 或 UHPC 拉应力大于f_{ute} 时，应考虑荷载水平对徐变的影响。

3.2.11 UHPC的收缩应符合下列规定：

1 采用常温养护时，UHPC 总收缩值可根据龄期按下式计算：

$$\epsilon_{Us}(t) = \epsilon_{Us\infty} \cdot e^{-\left(\frac{2.48}{\sqrt{t-0.85}}\right)} \quad (3.2.11-1)$$

式 中：E_{us}——UHPC 的总收缩值；

E_{Uso}——UHPC 的最终收缩应变值，未采取收缩补偿措施时，可取0.6%~0.8%；

t ——龄期(d)。

2 采用蒸汽养护时，UHPC 总收缩值可按下式计算：

$$\epsilon_{Us}(t) = \begin{cases} \frac{\epsilon_{Us\infty}}{2} \cdot t & (t \leq 2) \\ \epsilon_{Us\infty} & (t > 2) \end{cases} \quad (3.2.11-2)$$

式中： ϵ_u ——UHPC 的最终收缩应变值，可取0.5%。

3.2.12 当采用外加剂或其他措施来降低 UHPC 收缩值时，UHPC 收缩值应根据实测值进行确定。

3.2.13 应变硬化UHPC 在拉力作用下容许疲劳强度可按式计算：

$$\sigma_{U,D} = 0.6 \times \left(\frac{f_{Utek} + f_{Utuk}}{2} \right) \quad (3.2.13)$$

式中： f_{Utek} ——UHPC 弹性抗拉强度标准值，按表3.2.5取值；

f_{Uuk} ——UHPC 抗拉强度标准值，按表3.2.5取值。

3.2.14 UHPC的扩展度、触变性等工作性能指标应根据现场施工工艺要求确定，应具有自密实性能，并满足桥梁结构纵横坡成型的施工要求。

4 超高性能混凝土结构设计基本规定

4.0.1 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，应按分项系数的设计表达式进行设计。桥梁工程UHPC 结构应进行承载能力极限状态及正常使用极限状态设计；两类极限状态设计要求及结构设计内容应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定。

4.0.2 作用效应计算宜采用弹性理论，并应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定。

4.0.3 桥梁工程UHPC 结构的承载能力极限状态计算应采用下式：

$$S \leq R \quad (4.0.3)$$

式中：Y₀——桥梁的重要性系数，按结构设计安全等级，一级、二级、三级分别取用1.1、1.0、0.9, 结构设计安全等级应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的规定；

u_d——作用效应的组合设计值，对于汽车荷载效应应计入冲击系数；

R——构件承载能力设计值。

4.0.4 对桥梁工程UHPC 结构进行截面承载力、整体稳定计算时，作用(或荷载)的效应组合应采用现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的基本组合；当进行倾覆稳定性计算和疲劳验算时，作用的效应组合应采用标准组合。

4.0.5 受弯构件截面承载力验算应计入剪力滞效应的影响，

T 梁和箱梁翼缘的有效分布宽度应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定执行。

4.0.6 桥梁工程UHPC 结构计算应计入材料收缩、徐变的影响。计算UHPC 徐变时，可假定徐变与UHPC 应力呈线性关系。当缺乏符合当地实际条件的数据和计算方法时，徐变系数可按本标准第3.2.11条取用；UHPC 的收缩应变，可按本标准第3.2.12条取用。

4.0.7 UHPC结构设计宜采用应变硬化类材料。结构计算时，配筋UHPC(UT I级以上)材料的本构关系如图 0.7所示。UHPC 的抗拉强度设计值应按本标准第3.2.7条计算。

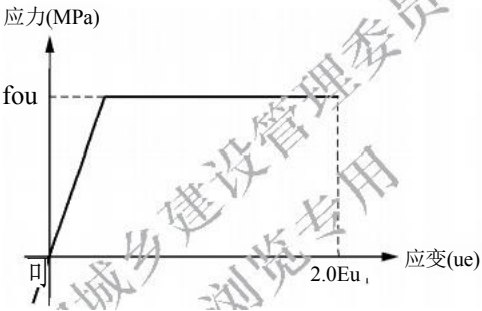


图4.0.7 配筋UHPC 本构关系图

4.0.8桥梁工程UHPC 结构计算应符合下列规定：

满足本标准材料性能和构造要求规定的桥梁工程UHPC 结构可按普通钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁结构计算作用效应。持久设计状况、短暂设计状况和偶然设计状况应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362计算，地震设计状况应按照现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231—01或《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166计算。

2 UHPC结构的承载力计算除计入受拉区钢筋及预应力钢

筋外，还应计入 UHPC 材料的贡献。计算受拉区 UHPC 材料承载力贡献值时，材料拉应力应按 f_{ua} 计；当配筋 UHPC 材料拉应变超过 2.0×10^{-3} 时，不应再计入 UHPC 材料的贡献。

3 UHPC 结构的承载力计算可采用本标准计算公式，也可采用计入材料非线性本构的有限元计算方法。

4 UHPC 结构受力分析时，无配筋 UHPC 材料的计算重度可取 26 kN/m^3 ，配筋 UHPC 材料计算重度应根据实际配筋率进行换算。

4.0.9 桥梁工程 UHPC 结构耐久性设计内容应符合现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的规定。

4.0.10 桥梁工程 UHPC 结构及构件的设计使用年限应符合现行行业标准《公路工程技术标准》JTG B01 的规定。UHPC-钢组合桥面板结构中的 UHPC 层为结构层，设计使用年限应与桥梁主体结构一致。

4.0.11 桥梁工程 UHPC 结构所处环境类别应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定确定。

4.0.12 桥梁工程 UHPC 结构及构件耐久性技术措施应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定，但钢筋的保护层厚度应满足本标准第 5.5.1、6.3.7.1.3 和 8.4.2 条的规定。

5 超高性能混凝土构件设计

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁工程UHPC 结构的持久状况设计应按承载能力极限状态的要求，对构件进行承载能力及稳定计算，必要时尚应进行结构的倾覆和滑移验算。在进行承载能力极限状态计算时，作用的效应应采用组合设计值，结构材料性能应采用强度设计值。

5.1.2 桥梁工程UHPC 结构的持久状况设计应按正常使用极限状态的要求，采用作用频遇组合、作用准永久组合或作用频遇组合并考虑作用长期效应的影响对构件的抗裂、裂缝宽度和挠度进行验算，并使各项计算值不超过本标准规定的各相应限值。在各种组合中，汽车荷载不乘冲击系数在预应力 UHPC 构件中，预应力应作为荷载计入，荷载分项系数取为1.0。对连续梁等超静定结构，尚应计入由预应力温度作用等引起的次效应。

5.1.3 UHPC构件正截面承载力计算应基于下列基本假定：

1 构件弯曲后，截面仍应保持平面。

2 截面受拉区 UHPC 拉应变在不超过2.0倍极限拉应变 $(2\epsilon_u)$ 内应按 f_{tm} 计入抗拉强度；拉应变超过 $2.0\epsilon_u$ 的部分，不应计入抗拉强度对抗弯承载力的贡献。

3 UHPC受弯构件、偏心受力构件正截面承载力计算时，受压区UHPC 的应力图形为三角形分布，顶缘压应力最大值不应超过 f_{cu} 。三角形分布的受压区高度 x 可由截面应变保持平面的假定的应变关系及内力平衡关系求出，且受压侧UHPC 最大压应变不超过极限压应变 $\epsilon_{cu}=0.0033$ 。

4 UHPC与普通钢筋混凝土组合截面中，不应计入受拉区

普通混凝土的抗拉强度；截面受压区普通混凝土压应力简化为矩形分布，极限状态压应力应为普通混凝土的抗压强度设计值。

5 纵向体内钢筋的应力等于钢筋应变与钢筋弹性模量的乘积，应力值应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定。

5.1.4 UHPC受弯构件、偏心受力构件正截面承载力计算时，纵向受拉钢筋屈服与受压区UHPC 破坏同时发生时的相对界限受压区高度 ξ_b 应按下列公式计算：

1 普通钢筋UHPC 构件

$$\xi_b = \frac{1}{1 + \frac{f_{sd}}{E_s \epsilon_{Ucu}}} \quad (5.1.4-1)$$

2 预应力UHPC 构件

$$\xi_b = \frac{1}{\frac{0.002}{\epsilon_{Ucu}} + \frac{f_{sd} - \sigma_{p0}}{E_p \epsilon_{Ucu}}} \quad (5.1.4-2)$$

式中： ξ_b —— 相对界限受压区高度，取 x_b/h_0 ；

x_b —— 界限受压区高度；

——截面有效高度，纵向受拉钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

E_s, E_p —— 普通钢筋、预应力钢筋弹性模量；

ϵ_{Ucu} ——非均匀受压时的UHPC 极限压应变，无进一步试验数据时，可取0.0033；

σ_{p0} —— 纵向预应力钢筋合力点处UHPC 法向应力等于零时预应力筋应力，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取值。

5.1.5 UHPC受弯构件、偏心受力构件纵向钢筋应力按下列规

定确定:

1 普通钢筋

$$\sigma_{si} = E_s \varepsilon_{ucu} \left(\frac{h_{0i}}{x} - 1 \right) \quad (5.1.5-1)$$

2 预应力钢筋

$$\sigma_{pi} = E_p \varepsilon_{ucu} \left(\frac{h_{0i}}{x} - 1 \right) + \sigma_{poi} \quad (5.1.5-2)$$

3 按式(5.1.5-1)和式(5.1.5-2)计算的纵向钢筋应力应符合本标准第5.1.3条第5款的规定。

式中: h_{0i} ——第 i 层纵向钢筋截面重心至截面受压边缘的距离;

x ——UHPC受压区高度;

σ_s, σ ——第 i 层纵向普通钢筋、预应力钢筋的应力, 正值代表拉应力, 负值代表压应力;

σ_{poi} ——第 i 层纵向预应力钢筋截面重心处UHPC 法向应力等于零时, 预应力钢筋中的应力。

5.2×持久状况承载力极限状态计算

I 轴心受力构件

5.2.1 WUHPC轴心受拉构件的正截面抗拉承载力计算应符合下列规定:

1 仅设置普通钢筋的UHPC 轴拉构件, 正截面抗拉承载力应按下列式计算:

$$Y_0 N_a \leq f_s A_s + f_t u_d A_u \quad (5.2.1-1)$$

2 同时设置预应力钢筋及普通钢筋的UHPC 轴拉构件, 正截面抗拉承载力应取下列两式的较大值:

$$Y_0 N_a \leq f A_g + f_p d A_p \quad (5.2.1-2)$$

$$Y_0 N_A \leq f_a A_0 + \min(2.0 \epsilon_{uu} E_p, \sigma_{po}, f_{pa}) A_p + f_{utua} A_u \quad (5.2.1-3)$$

式中: A_s, A_p, A_u ——普通钢筋、预应力钢筋的全部截面面积和 UHPC 构件的截面净面积。

II 受弯构件

5.2.2 矩形截面 UHPC 受弯构件的正截面抗弯承载力计算应符合下列规定:

1 矩形截面 UHPC 受弯构件仅配置纵向体内普通钢筋时, 正截面抗弯承载力计算应符合图 5.2.2-1 的规定, 构件抗弯承载力按式 (5.2.2-1) 计算:

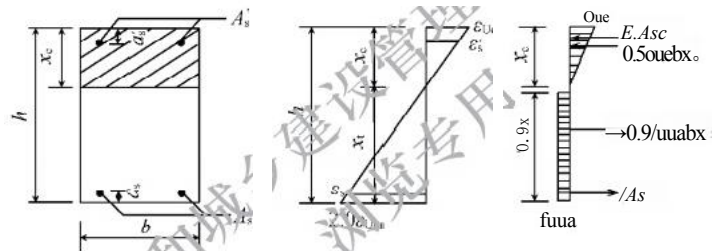


图 5.2.2-1 配置纵向普通钢筋的矩形截面 UHPC 受弯构件正截面承载力计算

$$M_d \leq f_{sd} A_s \left(h - a_s - \frac{x_c}{3} \right) + 0.9 f_{t,ud} b x_c \left(0.55 x_c + \frac{2x_c}{3} \right) + E_s A'_s \epsilon'_s \left(\frac{x_c}{3} - a'_s \right) \quad (5.2.2-1)$$

上式中 UHPC 截面受压区高度 x_c 应按下列公式计算:

$$f_{t,ud} + E_s A'_s \epsilon'_s = f_u + f_a A_0 \quad (5.2.2-2)$$

其中:

$$F_{ue}=0.5\sigma_{ue}bx_0 \quad (5.2.2-3)$$

$$\sigma_{ue}=\sigma_{uc}\sigma_{ue}\leq f_{ua} \quad (5.2.2-4)$$

$$F_{ut}=0.9f_{ut}abx \quad (5.2.2-5)$$

$$\epsilon_{uc}=\frac{x_c}{h-x_c}2.0\epsilon_{utu} \quad (5.2.2-6)$$

$$\epsilon'_s=\frac{x_c-a'_s}{h-x_c}2.0\epsilon_{utu} \quad (5.2.2-7)$$

$$x_c=h-xc \quad (5.2.2-8)$$

截面受压区高度应符合下式要求：

$$x_c\leq 5bh_0 \quad (5.2.2-9)$$

2 矩形截面UHPC 受弯构件同时配置纵向体内普通钢筋及预应力钢筋时，正截面抗弯承载力计算应符合图5.2.2-2的规定，构件抗弯承载力按式(5.2.2-10)计算。

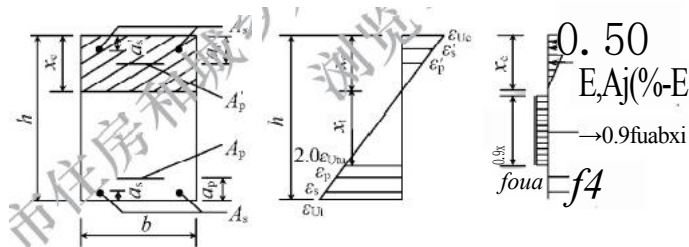


图5.2.2-2 配置纵向普通钢筋及预应力钢筋的矩形截面UHPC 受弯构件正截面承载力计算

$$y_0 M_d \leq f A_s (h - a_s - a_p) + f_a A_p (h - a_p - a_p) + 0.9 f_{utu} b x_c (0.45 x_c + x_c - a'_p) - \frac{1}{2} \sigma_{uc} b x_c \left(\frac{1}{3} x_c - a'_p \right) - E_s A'_s e' (a' - a'_p) \quad (5.2.2-10)$$

上式中UHPC 截面受压区高度 x 。应按下式计算：

$$F_{Uc} + E_s A'_s \epsilon'_s + E_p A'_p \left(\epsilon'_p - \frac{\sigma_{p0}}{E_p} \right) = F_{Ut} + f_{pd} A_p + f_{sd} A_s \quad (5.2.2-11)$$

其中：

$$F_{ue} = 0.5 \alpha_1 f_{cu} b x_0 \quad (5.2.2-12)$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & f_{cu} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0.8 & 50 < f_{cu} \leq 80 \text{ MPa} \\ 0.7 & f_{cu} > 80 \text{ MPa} \end{cases} \quad (5.2.2-13)$$

$$F_{ut} = 0.9 f_{tu} b x_0 \quad (5.2.2-14)$$

$$\epsilon_p = \frac{f_{pd} - \sigma_{p0}}{E_p} \quad (5.2.2-15)$$

$$\epsilon_{Ut} = \frac{h - x_c}{h - x_c - a} \epsilon_{Utu} \geq 2.0 \epsilon_{Utu} \quad (5.2.2-16)$$

$$\epsilon_{Uc} = \frac{x_c}{h - x_c} \epsilon_{Ut} \quad (5.2.2-17)$$

$$\epsilon'_p = \frac{x_c - d_p}{h - x_c} \epsilon_{Ut} \quad (5.2.2-18)$$

$$\epsilon_{Uc} = \frac{x_c}{h - x_c} \epsilon_{Ut} \quad (5.2.2-19)$$

$$x_t = \frac{2.0 \epsilon_{Utu}}{\epsilon_{Ut}} (h - x_c) \quad (5.2.2-20)$$

截面受压区高度应符合下式要求：

$$x_0 \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.2-21)$$

式中： ξ_b ——桥梁的重要性系数，按本标准第4.0.3条的规定采用；

M_d ——弯矩设计值；

F_{ue} ——受压区UHPC 的压应力合力;
 F_{ut} ——受拉区UHPC 的拉应力合力;
 f_{tud} ——UHPC 的抗拉强度设计值;
 f_{uat} ——UHPC 的抗压强度设计值;
 ϵ_{Uu} ——UHPC 的极限拉应变;
 E_s ——普通钢筋的弹性模量;
 f_d ——普通钢筋抗拉强度设计值;
 A_g, A' ——构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积;
 b ——矩形截面宽度;
 x_e ——截面受压区高度;
 h ——截面高度;
 a_g, a_s ——构件受拉区、受压区纵向普通钢筋重心的到截面受拉边缘的距离;
 x_+ ——UHPC构件拉应变小于 $2.0\epsilon_{tu}$ 的受拉区高度;
 E_p ——纵向预应力钢筋的弹性模量;
 f_a ——预应力钢筋抗拉强度设计值;
 A_p, A_p ——构件受拉区、受压区纵向预应力钢筋的截面面积;
 a_p, a ——构件受拉区、受压区纵向预应力钢筋合力点到截面受拉边缘的距离;
 e ——受拉区预应力钢筋屈服时, 受拉区纵向预应力钢筋合力点处 UHPC 的应变;
 ϵ_{ut} ——受拉区预应力钢筋屈服时, 构件截面受拉边缘 UHPC 的应变;
 ϵ_{ue} ——截面达到抗弯承载力极限时, 构件截面受压边缘 UHPC 的应变;
 e ——截面达到抗弯承载力极限时, 构件受压区纵向普通钢筋合力点处UHPC 的应变;
 ϵ_p ——截面达到抗弯承载力极限时, 构件受压区纵向预

应力钢筋合力点处 UHPC 的应变；

σ_p ——受拉区预应力钢筋合力点处 UHPC 法向应力等于零时预应力钢筋的应力；

σ_o ——受压区预应力钢筋合力点处 UHPC 法向应力等于零时预应力钢筋的应力；

σ_{ue} ——截面达到抗弯承载力极限时，构件截面受压边缘 UHPC 的应力。

5.2.3 工字形截面 UHPC 受弯构件采用纵向体内普通钢筋及预应力钢筋时，正截面抗弯承载力计算应符合图 5.2.3 规定

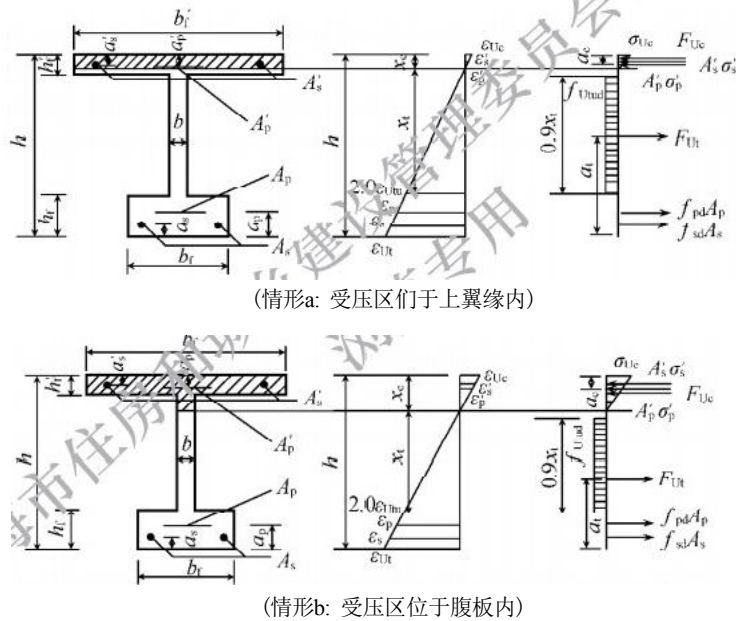


图 5.2.3 工字形截面 UHPC 受弯构件正截面承载力计算

1 情形a: 受压区位于上翼缘内

$$Y_0 M_a \leq f_{sa} A_g (h - a_c - a_g) + f_{pa} A_p (h - a_c - a_p) +$$

$$f_{tu}A_u(h-a_c-a_1)-\sigma A'(a'-ae)-\sigma_p A'(ap-ac) \quad (5.2.3-1)$$

UHPC 截面受压区高度 x 按下列公式计算:

$$F_{uc}+\sigma_s A'_s+\sigma_p A' = F_u+f_p A_p+f A \quad (5.2.3-2)$$

8 其中:

$$F_{uc}=0.50\alpha_1 f_{cd} b x \quad (5.2.3-3)$$

$$F_u=f_{tu} A_u \quad (5.2.3-4)$$

有效受拉区位于腹板范围内:

$$A_{ut}=0.9b x \quad (5.2.3-5)$$

有效受拉区位于受拉翼缘范围内

$$A_{ut}=0.9b x+(x+h_1-h)b \quad (5.2.3-6)$$

$$x_t = \frac{2.0\epsilon_{tu} E_p}{f_{pd} - \sigma_{p0}} a \quad (5.2.3-7)$$

$$\sigma_{uc} = E_{uc} \epsilon_{uc} = E_{uc} \frac{2.0\epsilon_{tu} x_c}{x_t} \leq f_{ucd} \quad (5.2.3-8)$$

$$\sigma'_s = \frac{2.0\epsilon_{tu} E_s}{x_t} (x_c - a'_s) \quad (5.2.3-9)$$

$$\sigma'_p = \frac{2.0\epsilon_{tu} E_p}{x_t} (x_c - a'_p) - \sigma'_{p0} \quad (5.2.3-10)$$

式中: b ——工字形截面腹板宽度;

b ——工字形截面受拉翼缘宽度;

b' ——工字形截面受压翼缘宽度;

h_1 ——工字形截面受拉翼缘高度

; h ——工字形截面受压翼缘高度;

ae ——截面受压区 UHPC 压应力合力重心距离受压边缘

的距离；

at— —UHPC 构件有效受拉区合力重心距受拉边缘的距离；

Au₁——UHPC 构件有效受拉区面积。

2 情形b: 受压区位于腹板内

正截面抗弯承载力计算同式(5.2.3-1)所示，构件UHPC 截面受压区高度x. 应按式(5.2.3-2)计算，其中 F_{ue} 计算按式(5.2.3-3)进行，其余分项计算同情形 a。

$$F_{uc} = \frac{(b'_f - b)(2x_c - h'_f)\sigma_{uc}}{2x_c} + 0.5bx_c\sigma_{uc} \quad (5.2.3-11)$$

5.2.4 工字形截面UHPC 与普通钢筋混凝土析面板(简称RC 桥面板)组成的UHPC-RC 组合梁采用纵向体内普通钢筋及预应力钢筋时，正截面抗弯承载力计算应符合图5.2.4规定。

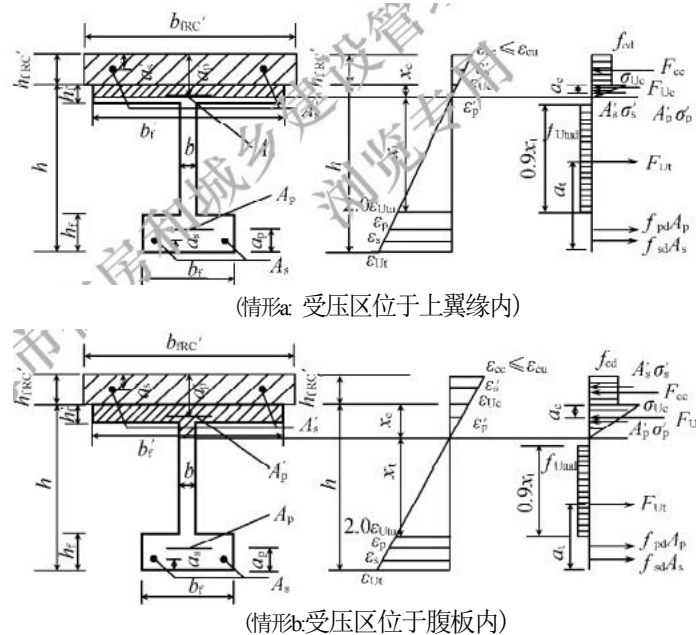


图5.2.4 UHPC-RC 组合梁正截面承载力计算

1 情形a: 受压区位于上翼缘内

$$\gamma_0 M_d \leqslant b'_{\text{IRC}} h'_{\text{IRC}} f_{\text{cd}} \left(\frac{h'_{\text{IRC}}}{2} + a_c \right) + \sigma'_s A'_s (h'_{\text{IRC}} - a'_s + a_c) -$$

$$opA'(a'p-h \quad iRc-ae)+fsaA_g(h-ac-as) +$$

$$fpdA_c(h \quad -ac-ap)+f_u A_{u1}(h-ac-a_1)$$

(5.2.4-1)

组合截面受压区高度

$$x = h \quad rc + xc \quad (5.2.4-2)$$

其中x. 按下列公式计算:

$$F_o + F_u + \sigma' A' + \sigma A = F_u + A_p + f A_o$$

(5.2.4-3)

其中:

$$F_{\text{fab}} = f_{\text{rc}} b \quad (5.2.4-4)$$

$$F_{\text{ue}} = 0.5 \sigma_j f_x \quad (5.2.4-5)$$

$$F_{\text{ut}} = f_{\text{utd}} A_{\text{ut}} \quad (5.2.4-6)$$

有效受拉区位于腹板范围内:

$$A_{\text{ue}} = 0.9 b x + \quad (5.2.4-7)$$

有效受拉区位于受拉翼缘范围内:

$$A_{\text{ut}} = 0.9 b x + (x_c + x_t + h_1 - h) b \quad (5.2.4-8)$$

$$x_t = \frac{2.0 \epsilon_{\text{tu}} E_p}{f_{\text{pd}} - \sigma_{\text{p0}}} (h - a_p - x_c) \leqslant h - x_c \quad (5.2.4-9)$$

$$\sigma_{\text{uc}} = E_{\text{uc}} \epsilon_{\text{uc}} = E_{\text{uc}} \frac{2.0 \epsilon_{\text{tu}} x_c}{x_t} \leqslant f_{\text{ucd}} \quad (5.2.4-10)$$

$$\sigma'_s = \frac{2.0 \varepsilon_{\text{lim}} E_s}{x_1} (h'_{\text{RC}} + x_c - a'_s) \quad (5.2.4-11)$$

$$\sigma'_p = \frac{2.0 \varepsilon_{\text{lim}} E_p}{x_1} (x_c - a'_p) - \sigma'_{p0} \quad (5.2.4-12)$$

式中：F_c——受压区RC桥面板的压应力合力；

f_a——受压区RC桥面板混凝土的抗拉强度设计值；

b_{RC}——RC桥面板宽度；

h_{RC}——RC桥面板高度；

x ——UHPC-RC组合梁截面受压区高度；

a₀ ——组合截面中UHPC梁受压区压应力合力重心距离UHPC梁受压边缘的距离；

a₁——UHPC构件有效受拉区合力重心距受拉边缘的距离。

2 情形 b: 受压区位于腹板内

正截面抗弯承载力计算同式(5.2.41Q)所示，其中F_u计算应按式(5.2.4-13)进行，其余分项计算同情形a。

$$F_{\text{Uc}} = \frac{(b'_c x_c)(2x_c - a'_c) \sigma_{\text{Uc}}}{2x_c} + 0.5b x_c \sigma_{\text{Uc}} \quad (5.2.4-13)$$

5.2.5 UHPC构件斜截面抗剪承载力应按下列公式计算：

$$V_{\text{Rd}} = V_{\text{Rd,u}} + V_{\text{Rd,s}} + V_{\text{Rd,p}} \quad (5.2.5-1)$$

$$V_{\text{Rd,u}} = \frac{b \cdot z \cdot 0.5(f_{\text{Ucd}} + f_{\text{Utd}})}{\tan \alpha} \quad (5.2.5-2)$$

$$V_{\text{Rd,s}} = \frac{A_{\text{sv}}}{s_v} \cdot z \cdot f_{\text{sd}} \cdot (\cot \alpha + \cot \beta) \sin \beta \quad (5.2.5-3)$$

$$V_{\text{Ra,p}} = A_p \cdot f_d \cdot \sin \gamma \quad (5.2.5-4)$$

式中：V_R——抗剪承载力设计值；

V_{Rd,u}——UHPC基体的抗剪承载力；

$VR_{d,s}$ ——箍筋提供的抗剪承载力;
 $VR_{d,p}$ ——预应力钢筋提供的抗剪承载力;
 b ——腹板宽度;
 z ——外力杠杆臂, 取 $z=0.9 \times 7/8h$, h 为试件高度;
 f_{uted} ——UHPC 的弹性抗拉强度设计值;
 f_{uud} ——UHPC 的抗拉强度设计值;
 α ——应力场倾角, 近似等于裂缝发展方向与梁轴线的夹角, 取 $25^\circ \sim 45^\circ$;
 A_g ——箍筋面积;
 s_y ——箍筋间距;
 A_p ——预应力钢筋面积;
 f_a ——箍筋或纵筋强度设计值;
 f_d ——预应力钢筋强度设计值;
 β ——箍筋或纵筋的倾角;
 γ ——预应力钢筋的倾角。

项 偏 心 受 力 构 件

5.2.6 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算应符合下列规定:

1 过算图示及公式如下:

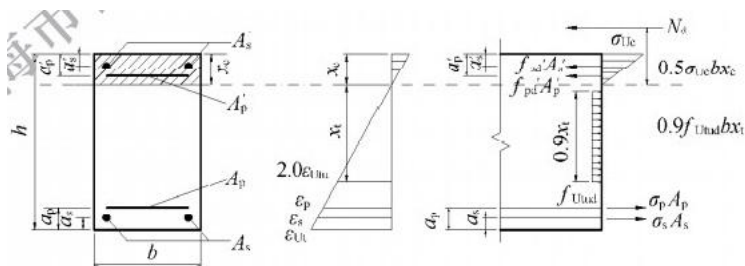


图5.2.6 矩形截面偏心受压构件正截面抗压承载力计算

$$\gamma_0 N_d \leq 0.5\sigma_{uc} b x_c + \sigma_p A_p - \sigma_p A_p - \sigma_s A_s - 0.9x_c b f_{tud} \quad (5.2.6-1)$$

$$\gamma_0 N_d e \leq 0.5\sigma_{uc} b x_c \left(h_0 - \frac{x_c}{3} \right) + \sigma'_s A'_s (h_0 - a'_s) + \sigma'_p A'_p (h_0 - a'_p) - 0.9x_c b f_{tud} \left(h_0 - x_c - \frac{x_c}{2} \right) \quad (5.2.6-2)$$

$$e = e_0 + h/2 - a \quad (5.2.6-3)$$

2 按本条规定计算时，尚应符合下列要求。

- 1) 当相对受压区高度 $\xi = x_c/h$ 不大于 ξ_b 时，为大偏心受压构件，取 $\sigma_s = f_d$ 、 $q = f_{d,ue}$ 、 σ'_s 、 σ'_p 、 x_c 按式 (5.2.2-12)～式 (5.2.2-20) 计算。截面受压区高度 x_c 尚应符合下列规定：

(1) 当受压区配有纵向普通钢筋和预应力钢筋，且预应力钢筋受压，即 $(f_a - \sigma_p)$ 为正时

$$x_c \geq 2a' \quad (5.2.6-4)$$

(2) 当受压区仅配有纵向普通钢筋，或配有普通钢筋和预应力钢筋且预应力钢筋受拉，即 $(f_a - \sigma_p)$ 为负时

$$x_c \geq 2a' \quad (5.2.6-5)$$

截面受拉区高度 x_t 应符合下式规定：

$$x_t \leq h - x \quad (5.2.6-6)$$

- 2) 当相对受压区高度 $\xi = x_c/h$ 大于 ξ_b 时，为小偏心受压构件，取 $\sigma_{uc} = f_{uc}$ 、 σ_g 、 σ_p 按本标准第5.1.5条计算；

osop、x,应按下式计算:

$$x_t = \frac{2.0\epsilon_{\text{Utu}}}{\epsilon_{\text{cu}}} x_c \leq h - x_c \quad (5.2.6-7)$$

$$\sigma'_s = \frac{\epsilon_{\text{cu}} E_s}{x_c} (x_c - a'_s) \leq f'_{\text{sd}} \quad (5.2.6-8)$$

$$\sigma'_p = \frac{\epsilon_{\text{cu}} E_p}{x_c} (x_c - a'_s) - \sigma'_{p0} \quad (5.2.6-9)$$

3 对长细比 $l_0/i > 17.5$ 的构件,应计入偏心受压构件的轴 向力承载力极限状态偏心距增大系数 η ,按不式计算:

$$\eta = 1 + \frac{1}{1300e_0/h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \xi_1 \xi_2 \quad (5.2.6-10)$$

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 \frac{e_0}{h_0} \leq 1.0 \quad (5.2.6-11)$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01 \frac{l_0}{h} \leq 1.0 \quad (5.2.6-12)$$

式中: γ 梁的重要性系数,按本标准第4.0.3条的规定采用;

N_d ——轴力设计值;

e_0 ——轴力对截面重心轴的偏心距, $e_0 = M_d/N_d$, 不小于20 mm 和偏压方向构件截面最大尺寸的1/30二者之间的较大值;

e ——轴力作用点至截面受拉边或受压较小边纵向钢筋 A_s 和 A_s' 合力点的距离;

x_t ——UHPC 构件拉应变小于 $2.0\epsilon_{\text{utu}}$ 的受拉区高度;

M_d —— 相应于轴力的弯矩设计值;

- η ——偏心距增大系数；
 f_{uud} ——UHPC 的抗拉强度设计值；
 f_{ua} ——UHPC 的抗压强度设计值；
 ϵ_{Uu} ——UHPC 的极限拉应变；
 f_{sa}, f_a ——普通钢筋抗拉、抗压强度设计值；
 f_{d}, f_{d} ——预应力钢筋抗拉、抗压强度设计值；
 E_p ——构件受拉区纵向预应力钢筋的弹性模量；
 b ——矩形截面宽度；
 x_c ——截面受压区高度；
 h ——截面高度；
 h_o ——截面有效高度；
 a_p, a_p ——构件受压区、受拉区纵向预应力钢筋重心的到截面受压边缘、受拉边缘的距离；
 a_g, a_g ——构件受压区、受拉区纵向普通钢筋重心的到截面受压边缘、受拉边缘的距离；
 A_g, A_g ——构件受压区及受拉区纵向普通钢筋的截面面积；
 A_p, A_p ——构件受压区及受拉区纵向预应力钢筋的截面面积；
 σ_g, σ_g ——受拉侧或受压较小侧普通钢筋、预应力钢筋应力值，按本标准第5.2.6条第2款的规定取用；
 σ_{po} ——受拉区、受压区纵向预应力钢筋合力点处 UHPC 法向应力等于零时预应力筋应力，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的规定取值；
 η_1 ——荷载偏心率对截面曲率的影响系数；
 η_2 ——构件长细比对截面曲率的影响系数。
- 5.2.7 矩形截面偏心受拉构件的正截面抗拉承载力应符合下列规定：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
 如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/278136033054006125>