

上海市民防工程行业协会团体标准

T/SCDEIA 02—2023

人防工程超高性能混凝土（UHPC） 快速加固技术标准

Technical standard for rapid reinforcement of
ultra high performance concrete in civil air defense engineering

2024-07-23 发布

2024-07-23 实施

上海市民防工程行业协会 发布

目 次

前 言	1
1 总则	2
2 术语和符号	3
2.1 术语	3
2.2 符号	4
3 基本规定	5
3.1 一般规定	5
3.2 设计计算原则	6
4 材料	8
4.1 一般规定	8
4.2 水泥	8
4.3 掺合料	8
4.4 骨料	9
4.5 外加剂	9
4.6 纤维	9
4.7 水	9
4.8 和易性	9
4.9 防水密封材料	10
4.10 防腐材料	10
5 结构设计	10
5.1 一般规定	10
5.2 受弯构件正截面加固计算	10

5.3 受弯构件斜截面加固计算	12
5.4 受压构件正截面加固计算	14
5.5 构造规定	16
6 制备与施工	17
6.1 一般规定	17
6.2 材料制备	18
6.3 精确喷射施工	19
7 检测与验收	22
7.1 一般规定	22
7.2 检测规则	22
7.3 取样规则	23
7.4 外观检验规则	23
7.5 试件制备	24
7.6 试件拌合物性能测定要求	24
7.7 试件力学性能测定要求	25
7.8 试件耐久性能测定要求	26

前 言

本标准按照 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》给出的规定起草。

请注意本标准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。

本标准由上海市民防工程行业协会负责归口。

本标准用于既有人防工程采用超高性能混凝土（UHPC）快速加固技术，规定了超高性能混凝土（UHPC）的材料、设计、制造、施工与检验验收。

本标准起草目的是为有效解决既有人防工程结构开裂、材料老化、管线后开洞修复等问题，针对病害人防工程实现快速加固，有效缩短工期，降低施工风险，同时保证技术可靠、安全适用、经济合理。

本标准主编单位：上海市地下空间设计研究总院有限公司

本标准参编单位：上海城建市政工程（集团）有限公司

上海市人民防空工程有限公司

本标准主要起草人：张效晗 王 挥 王洪新 曹申珉 段长强 商涛平 陈琳
豪

陈 层 李佳宇 张 宇

本标准主要审查人：朱建华 傅冬辉 陈 虹 陈蔚松 王 伟 熊 楠

1 总则

1.0.1 为有效解决既有人防工程结构开裂、材料老化、管线后开洞修复等问题，针对病害人防工程实现快速加固，有效缩短工期，降低施工风险，同时保证技术可靠、安全适用、经济合理、确保质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于既有人防工程采用超高性能混凝土（UHPC）快速加固技术，规定了超高性能混凝土（UHPC）的材料、设计、制造、施工与检验验收。

1.0.3 下列文件对于本标准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标准，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 50010	混凝土结构设计规范
GB 50038	人民防空地下室设计规范
GB 50225	人民防空工程设计规范
GB 50367	混凝土结构加固设计规范
GB 50666	混凝土结构工程施工规范
GB 50550	建筑结构加固工程施工质量验收规范
GB 55008	混凝土结构通用规范
GB 55021	既有建筑鉴定与加固通用规范
GB 55034	建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范
GB 175	通用硅酸盐水泥
GB/T 200	中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 2015	白色硅酸盐水泥
GB 8076	混凝土外加剂
GB/T 18046	用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 21120	水泥混凝土和砂浆用合成纤维
GB/T 27690	砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 35164	用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉
GB/T 50080	普通混凝土拌合物性能试验方法标准
GB/T 50081	混凝土物理力学性能试验方法标准

GB/T 50082	普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
GB 50119	混凝土外加剂应用技术规范
JC/T 572	耐碱玻璃纤维无捻粗纱
JGJ 63	混凝土拌合用水标准
RFJ 01	人民防空工程质量验收与评价标准

1.0.4 既有人防工程超高性能混凝土（UHPC）快速加固技术的材料、设计、制造、施工与检验验收，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 超高性能混凝土 ultra high performance concrete (UHPC)

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“超高性能混凝土”（UHPC）。

2.1.2 超高性能混凝土预混料 premix for ultra high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料按超高性能混凝土配合比配制的干混料，其中可包含粉状外加剂、纤维，分为不含纤维预混料和含纤维预混料。

2.1.3 纤维 s fiber

分散在材料中以改善其力学性能的金属或非金属细短纤维。

2.1.4 纤维体积率 fiber volume fraction

在超高性能混凝土中，纤维所占的体积百分数。

2.1.5 抗拉性能 tensile performance

超高性能混凝土在单轴拉伸荷载作用下表现出的力学和变形特征。

2.1.6 抗拉强度 tensile strength

单轴拉伸试验过程中试件达到的最大拉应力。

2.1.7 抗拉应变 tensile strain

单轴拉伸试验过程中试件达到最大拉应力时对应的拉应变。

2.1.8 应变软化 strainsoftening

当拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而持续下降的现象。

2.1.9 应变硬化 strain hardening

当拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而持续上升的现象。

2.1.10 残余抗拉强度 residual tensile strength

单轴拉伸试验过程中试件在应变软化段达到规定拉应变时对应的拉应力。

2.1.11 热养护 heat curing

借助于热源的热能，经介质的传导、对流或光波辐射，将热量传递于超高性能混凝土，并对周围相对湿度加以控制的养护方法。

2.1.12 标准蒸汽养护 standard steam curing

在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 50% 的室内静置 1d~2d 后脱模，将脱模后的试件放入蒸汽养护箱，以不大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率升温至 $90^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度维持在于 90% 以上，恒温 48h，然后以不大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率降温至室温，待试件冷却至室温后从蒸汽养护箱中取出的养护制度。

2.1.13 早龄期自收缩 standard steam curing

在与外界无水分交换的条件下，超高性能混凝土从初凝开始至初凝后 72h，由于胶凝材料水化引起内部相对湿度降低和毛细孔负压而导致的宏观体积的减小。

2.1.14 干燥收缩 drying shrinkage

硬化超高性能混凝土在无约束和规定温湿度条件下的收缩变形，其中包括超高性能混凝土在不饱和空气中失水引起的收缩和胶凝材料水化引起的自收缩。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

E_{s0} ——原构件钢筋弹性模量；

E_s ——新增钢筋弹性模量；

f_{c0} ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{y0} 、 \hat{f}_{y0} ——原构件钢筋抗拉、抗压强度设计值；

f_y 、 \hat{f}_y ——新增钢筋抗拉、抗压强度设计值。

2.2.2 作用效应及承载力

M ——构件加固后弯矩设计值；

M_{0k} ——加固前受弯构件验算截面上原作用的初始弯矩标准值；

N ——构件加固后轴向力设计值；

V ——构件加固后剪力设计值；

σ_s ——新增纵向钢筋受拉应力；

σ_{s0} ——原构件纵向受拉钢筋或受压较小边钢筋的应力。

2.2.3 几何参数

A_{s0} 、 A'_{s0} ——原构件受拉区、受压区钢筋截面面积；

A_s 、 A'_s ——新增构件受拉区、受压区钢筋截面面积；

h_0 、 h_{01} ——构件加固后和加固前的截面有效高度；

h_w ——构件截面的腹板高度。

2.2.4 计算系数

α_1 ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；

α_c ——新增混凝土强度利用系数；

α_s ——新增钢筋强度利用系数；

β_c ——混凝土强度影响系数；

β_1 ——矩形应力图受压区高度与中和轴高度的比值；

ψ ——折减系数、修正系数或影响系数；

η ——增大系数或提高系数；

γ_d ——动荷载作用下材料强度综合调整系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 既有人防工程经结构安全性检测，确认存在结构开裂、渗漏水、材料老化等问题需要进行加固时，可根据结构安全性检测结论，按本标准的规定，采用超高性能混凝土快速加固技术进行加固设计与施工。加固设计及施工的范围，可按其中某独立区段确定，也可按指定的结构、构件或连接确定，但均应考虑该结构的整体牢固性。

3.1.2 加固后既有人防工程的防护等级，应不低于原工程防护等级；加固后既有人防工程的安全等级，应根据结构破坏后果的严重性、结构的重要性和加固设计使用年限，由委托方与设计方按实际情况共同商定。

3.1.3 既有人防工程采用超高性能混凝土快速加固技术的加固设计，应与实际施

工方法紧密结合，采取有效措施，保证新增截面与原截面粘结牢固，形成整体共同工作；并应避免对未加固部分，以及相关的结构、构件和地基基础造成不利的影

3.1.4 对高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、收缩应力、温度应力、地基不均匀沉降等影响因素引起的既有人防工程结构损坏，应在加固设计前进行定性分析，判定其是否适合采用超高性能混凝土快速加固技术。

3.1.5 对既有人防工程采用超高性能混凝土快速加固技术进行加固，应综合考虑其技术经济效果，避免不必要的加固方式及加固措施。

3.1.6 对加固施工过程中可能出现倾斜、失稳、丧失密闭性、过大变形或坍塌的既有人防工程结构构件，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施，并明确要求施工单位应严格执行。

3.1.7 采用超高性能混凝土快速加固技术进行加固的既有人防工程，其加固设计使用年限应按下列原则确定：

1) 既有人防工程加固后的使用年限，应由业主和设计单位共同商定，且不低于剩余设计使用年限；

2) 当业主要求工程加固后的使用年限为 50 年时，应保证超高性能混凝土预混料及防水填充材料、防腐材料中的胶和聚合物的粘结性能可通过耐长期应力作用能力的检验；

3) 使用年限到期后，当重新进行的结构安全性及可靠性检测鉴定认为该人防工程工作正常时，仍可继续延长其使用年限；

4) 对加固后的既有人防工程，使用方尚应定期检查其工作状态；检查的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检查时间不应迟于 10 年；

5) 当采用超高性能混凝土快速加固技术对既有人防工程局部构件进行加固时，应考虑原人防工程剩余设计使用年限对结构加固后设计使用年限的影响。

3.1.8 在加固设计使用年限内，未经技术鉴定、设计许可及相关主管部门批准，不得改变加固后既有人防工程的平时用途、战时用途和抗力级别。

3.2 设计计算原则

3.2.1 既有人防工程超高性能混凝土快速加固技术设计采用的结构分析方法，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《人民防空地下室设计规范》GB 50038 及《人民防空工程设计规范》

GB 50225 规定的结构分析基本原则。且甲类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载的分别作用，乙类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载的作用。对常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载，设计时均按一次作用。

3.2.2 既有人防工程超高性能混凝土快速加固技术设计时，应按下列规定进行承载力极限状态的设计、验算：

1) 既有人防工程加固后结构、构件在常规武器爆炸动荷载或核武器爆炸动荷载作用下，其动力分析均可采用等效静荷载法；

2) 既有人防工程加固后结构、构件在常规武器爆炸动荷载或核武器爆炸动荷载作用下，应验算结构承载力；对结构变形、裂缝开展以及地基承载力与地基变形可不进行验算；

3) 既有人防工程结构、构件的尺寸，对原有部分应根据鉴定报告采用原设计值或实测值；对新增部分，可采用加固设计文件给出的名义值；

4) 既有人防工程原结构、构件的混凝土强度等级和受力钢筋抗拉强度标准值应按下列规定取值：

a. 当原设计文件有效，且不怀疑结构有严重的性能退化时，可采用原设计标准值；

b. 当结构可靠性鉴定认为应重新进行现场检测时，应采用检测结果推定的标准值。

5) 快速加固技术所采用的超高性能混凝土材料的性能和质量，应符合本标准第4章的规定；其性能的标准值及设计值应按本标准第4章的规定及相关现行国家规范及标准采用。

6) 加固材料性能的标准值应具有按规定置信水平确定的95%的强度保证率。

7) 验算加固后结构、构件承载力时，应考虑原结构在加固时的实际受力状况，包括加固部分应变滞后的影响，以及加固部分与原结构共同工作程度；

8) 加固后结构、构件的质量显著增大时，应对相关结构、构件的地基基础进行必要的验算。

9) 既有人防工程抗震设防区结构、构件的加固，除应满足承载力要求外，尚应复核其抗震能力；不应存在因局部加强或刚度突变而形成的新薄弱部位。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 制备超高性能混凝土所采用的各类材料，除应满足相应现行国家标准的规定外，还应满足本节的相应规定要求。

4.1.2 超高性能混凝土的抗压性能分级应满足表 4.1.2 的要求。

表 4.1.2 超高性能混凝土抗压性能分级 (单位: MPa)

等级	UC1	UC2	UC3	UC4
立方体抗压强度标准值	100	120	150	180
轴心抗压强度标准值	60	72	90	108
抗压强度设计值	41.4	49.7	62.1	74.5

注：当超高性能混凝土用于结构类构件的加固时，其性能分级不应低于 UC2 级。

4.1.3 在动荷载和静荷载同时作用或动荷载单独作用下，超高性能混凝土的材料强度综合调整系数 γ_d 可取 1.40 (UC2 及以下) 及 1.30 (UC3 以上)。

4.2 水泥

4.2.1 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥或白色硅酸盐水泥。硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥应符合 GB 175 的有关规定，中热硅酸盐水泥应符合 GB/T 200 的有关规定，白色硅酸盐水泥应符合 GB/T 2015 的规定。

4.2.2 当采用其他种类的水泥时，应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.3 掺合料

4.3.1 硅灰应符合 GB/T 27690 的规定， SiO_2 含量宜大于 90%。

4.3.2 石英粉的 SiO_2 含量应大于 95%，小于 0.16 mm 粒径的颗粒比例应大于 95%，氯离子含量不应大于 0.02%，硫化物及硫酸盐含量不应大于 0.50%，云母含量不应大于 0.50%。

4.3.3 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定，粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定，石灰石粉应符合 GB/T 35164 的规定。

4.3.4 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合材料性应符合国家现行标准的有关规定，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.4 骨料

4.4.1 骨料宜选用最大粒径不超过 1.25mm 的单粒级石英砂，也可选用细度模数为 1.6~2.2 的天然砂或人工砂。石英砂按粒径可分粗粒径砂（1.25mm~0.63mm）、中粒径砂（0.63mm~0.315mm）和细粒径砂（0.315mm~0.16mm）三个粒级。石英砂的 SiO_2 含量应大于 95%，且应禁止使用海砂。天然砂含泥量不应大于 0.5%，泥块含量应为 0%。人工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 1.4。

4.4.2 石英砂、天然砂、人工砂的氯离子含量不应大于 0.01%，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%。

4.4.3 超高性能混凝土中不宜使用粗骨料，有特殊要求需使用粗骨料时，其最大粒径不应大于 10mm，其抗压强度不应小于 15MPa，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.5 外加剂

4.5.1 减水剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定，宜选用减水率不小于 30% 的高性能减水剂。

4.5.2 其他外加剂应符合国家现行标准的有关规定，与水泥和矿物掺合料有良好的适应性，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.6 纤维

4.6.1 超高性能混凝土中掺加的钢纤维宜采用长度为 6mm~25 mm、直径为 0.10mm~0.25mm、抗拉强度不低于 2000MPa 的微细钢纤维。

4.6.2 超高性能混凝土中掺加的合成纤维应符合 GB/T 21120 的规定，且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.6.3 有防火及耐高温要求的部位采用的超高性能混凝土中不应掺加玻璃纤维。其余部位有特殊要求需使用玻璃纤维时，应符合 JC/T 572 的规定，及应严密论证，确保不影响建筑其余部位防火性能。且应通过试验验证，满足超高性能混凝土设计性能要求时方可使用。

4.7 水

拌合用水宜采用饮用水；当采用其他水源时，水质应符合 JGJ 63 的规定。

4.8 和易性

超高性能混凝土应具有良好的和易性，不得出现纤维结团、沉降，不得出现离析

或泌水。超高性能混凝土的凝结时间应满足施工要求。

4.9 防水密封材料

超高性能混凝土与原结构的水平接缝处宜采用硅酮密封胶或聚氨酯泡沫密封胶作为防水填充材料。当采用其他防水密封材料时，应符合国家现行标准的有关规定方可使用。

当防水密封材料用于有防火要求的部位时，其阻燃性能应不低于结构主材。

4.10 防腐材料

超高性能混凝土宜采用高密度聚乙烯多点锚固板（HDPE 多点锚固板）作为表层防腐材料。当采用其他防腐材料时，应符合国家现行标准的有关规定方可使用。

当防腐材料用于有防火要求的部位时，其阻燃性能应不低于结构主材。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 超高性能混凝土快速加固技术可适用于既有人防工程中受弯和受压构件的加固。

5.1.2 采用本技术时，按现场检测结果确定的原构件混凝土强度等级不应低于C25。

5.1.3 当被加固构件与超高性能混凝土之间的界面处理及粘结质量符合本标准规定时，可按整体截面计算。

5.1.4 采用超高性能混凝土快速加固技术加固既有人防工程结构构件时，其正截面承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的基本假定进行计算。

5.1.5 采用超高性能混凝土快速加固技术对既有人防工程进行加固时，应增加可靠施工支撑、采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

5.2 受弯构件正截面加固计算

5.2.1 采用超高性能混凝土快速加固技术加固既有人防工程受弯构件时，应根据原结构构造和受力的实际情况，选用在受压区或受拉区增设超高性能混凝土外加层的加固方式。

5.2.2 当仅在受压区加固受弯构件时，其承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010关于叠合式受弯构件的规定进行计算，其中受压区高度计算时的

f_c 取值应按原混凝土强度取值。

5.2.3 当在受拉区加固矩形截面受弯构件时，其正截面受弯承载力应按下列公式确定：

$$M \leq \alpha_s f_y A_s (h_0 - \frac{x}{2}) + f_{y0} A_{s0} (h_{01} - \frac{x}{2}) + f'_{y0} A'_{s0} (\frac{x}{2} - a') \quad (5.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + a_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0} \quad (5.2.3-2)$$

$$2a' \leq x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.3-3)$$

式中： M ——构件加固后弯矩设计值（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

α_s ——新增钢筋强度利用系数，取 $\alpha_s = 0.9$ ；

f_y ——新增钢筋的抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下钢筋抗拉强度设计值 f_{yd} 代替 f_y ； $f_{yd} = \gamma_d f_y$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

A_s ——新增受拉钢筋的截面面积（ mm^2 ）；

h_0 、 h_{01} ——构件加固后和加固前的截面有效高度（ mm ）；

x ——混凝土受压区高度（ mm ）；

f_{y0} 、 f'_{y0} ——原钢筋的抗拉、抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下钢筋抗拉强度设计值 f_{yd0} 代替 f_{y0} ； $f_{yd0} = \gamma_d f_{y0}$ ；应采用动荷载作用下钢筋抗压强度设计值 f'_{yd0} 代替 f'_{y0} ； $f'_{yd0} = \gamma_d f'_{y0}$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

A_{s0} 、 A'_{s0} ——原受拉钢筋和原受压钢筋的截面面积（ mm^2 ）；

a' ——纵向受压钢筋合力点至混凝土受压区边缘的距离（ mm ）；

α_1 ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值，混凝土强度等级不超过 C50 时，取 $\alpha_1 = 1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\alpha_1 = 0.94$ ；其间接线性内插法确定；

f_{c0} ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} 代替 f_{c0} ； $f_{cd} = \gamma_d f_{c0}$ ；动

荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

b ——矩形截面宽度（mm）；

ξ_b ——构件增大截面加固后的相对界限受压区高度，按本规范第 5.2.4 条的规定计算。

5.2.4 受弯构件超高性能混凝土快速加固后的相对界限受压区高度 ξ_b ，应按下列公式确定：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\varepsilon_{cu} E_s} + \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{cu}}} \quad (5.2.4-1)$$

$$\varepsilon_{s1} = (1.6 \frac{h_0}{h_{01}} - 0.6) \varepsilon_{s0} \quad (5.2.4-2)$$

$$\varepsilon_{s0} = \frac{M_{0k}}{0.85 h_{01} A_{s0} E_{s0}} \quad (5.2.4-3)$$

式中： β_1 ——计算系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 值取为 0.80；当混凝土强度等级为 C80 时， β_1 值取为 0.74，其间接线性内插法确定；

ε_{cu} ——混凝土极限压应变，取 $\varepsilon_{cu} = 0.0033$ ；

ε_{s1} ——新增钢筋位置处，按平截面假设确定的初始应变值；当新增主筋与原主筋的连接采用短钢筋焊接时，可近似取 $h_{01} = h_0$ ， $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s0}$ ；

M_{0k} ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值；

ε_{s0} ——加固前，在初始弯矩 M_{0k} 作用下原受拉钢筋的应变值。

5.3 受弯构件斜截面加固计算

5.3.1 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件：

1) 当 $h_w/b \leq 4$ 时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_c b h_0 \quad (5.3.1-1)$$

2) 当 $h_w/b \geq 6$ 时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_c b h_0 \quad (5.3.1-2)$$

3) 当 $4 < h_w/b < 6$ 时，按线性内插法确定。

式中： V ——构件加固后剪力设计值（kN）；

β_c ——混凝土强度影响系数；按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用；

b ——矩形截面的宽度或 T 形、I 形截面的腹板宽度（mm）；

h_w ——截面的腹板高度（mm）；对矩形截面，取有效高度；对 T 形截面，取有效高度减去翼缘高度；对 I 形截面，取腹板净高。

5.3.2 采用超高性能混凝土快速加固技术加固受弯构件时，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1) 当受拉区增设超高性能混凝土层，并采用 U 形箍与原箍筋逐个焊接时：

$$V \leq \alpha_{cv} [f_{t0} b h_{01} + \alpha_c f_t b (h_0 - h_{01})] + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_0 \quad (5.3.2-1)$$

2) 当增设超高性能混凝土三面围套，并采用加锚式或胶锚式箍筋时：

$$V \leq \alpha_{cv} (f_{t0} b h_{01} + \alpha_c f_t A_c) + \alpha_s f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_{01} \quad (5.3.2-2)$$

3) 当进行战时工况的构件斜截面受剪承载力计算时，斜截面受剪承载力需作跨高比影响的修正，在式（5.3.2-1）、式（5.3.2-2）的基础上，斜截面混凝土受剪承载力系数 α_{cv} 应连乘跨高比影响系数 ψ_1 ：

$$\psi_1 = 1 - (l/h_0 - 8)/15 \quad (5.3.2-3)$$

式中： α_{cv} ——斜截面混凝土受剪承载力系数，对一般受弯构件取 0.7；对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的 75% 以上的情况）的独立梁，取 α_{cv} 为 $1.75/(\lambda + 1)$ ， λ 为计算截面的剪跨比，可取 λ 等于 a/h_0 ，当 λ 小于 1.5 时，取 1.5；当 λ 大于 3 时，取 3； a 为集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离；

α_c ——新增混凝土强度利用系数，取 $\alpha_c = 0.7$ ；

f_t 、 f_{t0} ——新、旧混凝土轴心抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值 f_{td} 代替 f_t ； $f_{td} = \gamma_d f_t$ ；应采用动荷载作用下混凝土轴心抗拉强度设计值 \hat{f}_{td} 代替 \hat{f}_t ； $\hat{f}_{td} = \gamma_d \hat{f}_t$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

A_c ——三面围套新增混凝土截面面积（ mm^2 ）；

α_s ——新增箍筋强度利用系数，取 $\alpha_s=0.9$ ；

f_{yv} 、 f_{yv0} ——新箍筋和原箍筋的抗拉强度设计值 (N/mm^2)；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下钢筋抗拉强度设计值 f_{yvd} 代替 f_{yv} ； $f_{yvd}=\gamma_d f_{yv}$ ；应采用动荷载作用下钢筋抗拉强度设计值 f_{yvd0} 代替 f_{yv0} ； $f_{yvd0}=\gamma_d f_{yv0}$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

A_{sv} 、 A_{sv0} ——同一截面内新箍筋各肢截面面积之和及原箍筋各肢截面面积之和 (mm^2)；

s 、 s_0 ——新增箍筋或原箍筋沿构件长度方向的间距 (mm)；

Ψ_1 ——梁跨高比影响系数；当 $l/h_0 \leq 8$ 时，取 $\Psi_1=1$ ；当 $l/h_0 > 8$ 时， Ψ_1 应按式 (5.3.2-3) 计算确定，当 $\Psi_1 < 0.6$ 时，取 $\Psi_1=0.6$ 。

5.4 受压构件正截面加固计算

5.4.1 采用超高性能混凝土快速加固技术加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面受压承载力应按下列式确定：

$$N \leq 0.9\phi [f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_s (f_c A_c + f'_y A'_s)] \quad (5.4.1)$$

式中： N ——构件加固后的轴向压力设计值 (kN)；

ϕ ——构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用；

A_{c0} 、 A_c ——构件加固前混凝土截面面积和加固后新增部分超高性能混凝土截面面积 (mm^2)；

\hat{f}_y 、 \hat{f}_{y0} ——新增纵向钢筋和原纵向钢筋的抗压强度设计值 (N/mm^2)；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下钢筋抗压强度设计值 \hat{f}_{yd} 代替 \hat{f}_y ； $\hat{f}_{yd}=\gamma_d \hat{f}_y$ ；应采用动荷载作用下钢筋抗压强度设计值 \hat{f}_{yd0} 代替 \hat{f}_{y0} ； $\hat{f}_{yd0}=\gamma_d \hat{f}_{y0}$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

A_s ——新增纵向受压钢筋的截面面积 (mm^2)；

α_{cs} ——综合考虑新增超高性能混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数，取 α_{cs} 值为 0.8。

5.4.2 采用超高性能混凝土加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其矩形截面正截面

承载力应按下列公式确定：

$$N \leq \alpha_1 f_{cc} b x + 0.9 f_y' A_s' + f_{y0}' A_{s0}' - \sigma_s A_s - \sigma_{s0} A_{s0} \quad (5.4.2-1)$$

$$N_e \leq \alpha_1 f_{cc} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + 0.9 f_y' A_s' (h_0 - a_s') + f_{y0}' A_{s0}' (h_0 - a_{s0}') - \sigma_{s0} A_{s0}' (a_{s0}' - a_s) \quad (5.4.2-2)$$

$$\sigma_{s0} = \left(\frac{0.8 h_{01}}{x} - 1 \right) E_{s0} \varepsilon_{cu} \leq f_{y0} \quad (5.4.2-3)$$

$$\sigma_s = \left(\frac{0.8 h_0}{x} - 1 \right) E_s \varepsilon_{cu} \leq f_y \quad (5.4.2-4)$$

式中： f_{cc} ——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值（ N/mm^2 ），可近似按 $f_{cc} = 1/2 (f_{c0} + 0.9 f_c)$ 确定；若有可靠试验数据，也可按试验结果确定；

f_c 、 f_{c0} ——分别为新旧混凝土轴心抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；对于战时工况的构件加固计算时，应采用动荷载作用下超高性能混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd} 代替 f_c ； $f_{cd} = \gamma_d f_c$ ；应采用动荷载作用下混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cd0} 代替 f_{c0} ； $f_{cd0} = \gamma_d f_{c0}$ ；动荷载作用下材料强度综合调整系数 γ_d 取值应符合现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；

σ_{s0} ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋应力（ N/mm^2 ）；当算得 $\sigma_{s0} > f_{y0}$ 时，取 $\sigma_{s0} = f_{y0}$ ；

σ_s ——受拉边或受压较小边的新增纵向钢筋应力（ N/mm^2 ）；当算得 $\sigma_s > f_y$ 时，取 $\sigma_s = f_y$ ；

A_{s0} ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋截面面积（ mm^2 ）；

A_{s0}' ——原构件受压较大边纵向钢筋截面面积（ mm^2 ）；

e ——偏心距，为轴向压力设计值 N 的作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离（ mm ）；

a_{s0} ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋合力点到加固后截面近边的距离（ mm ）；

a_{s0}' ——原构件受压较大边纵向钢筋合力点到加固后截面近边的距离（ mm ）；

a_s ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离（ mm ）；

a_s ——受压较大边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离（mm）；

h_0 ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面受压较大边缘的距离（mm）；

h_{01} ——原构件截面有效高度（mm）。

5.5 构造规定

5.5.1 采用超高性能混凝土快速加固技术时，原构件混凝土表面应经处理，设计文件应对所采用的界面处理方法和处理质量提出要求。除混凝土表面应予打毛外，尚应根据加固构件种类不同，采取涂刷结构界面胶、种植剪切销钉或增设剪力键等措施，以保证新旧混凝土共同工作。

5.5.2 新增超高性能混凝土层的最小厚度，板不应小于 40mm；梁、柱不应小于 60mm；当新增超高性能混凝土层不超过 50mm 且满足计算要求时，可不设受力钢筋，但宜设不小于 $\Phi 6@500$ 的表面抗裂钢筋网。

5.5.3 加固用的钢筋，应采用热轧钢筋。板的受力钢筋直径不应小于 8mm；梁的受力钢筋直径不应小于 12mm；柱的受力钢筋直径不应小于 14mm；加锚式箍筋直径不应小于 8mm；U 形箍直径应与原箍筋直径相同；分布筋直径不应小于 6mm。

5.5.4 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距不应小于 25mm，并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接；其构造应符合下列规定：

1) 当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋焊接时，短筋的直径不应小于 25mm，长度不应小于其直径的 5 倍，各短筋的中距不应大于 500mm；

2) 当截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形箍筋，U 形箍筋应焊在原有箍筋上，单面焊的焊缝长度应为箍筋直径的 10 倍，双面焊的焊缝长度应为箍筋直径的 5 倍；

3) 当用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋；

4) 当受构造条件限制而需采用植筋方式埋设 U 形箍时，应采用锚固型结构胶种植，不得采用未改性的环氧类胶粘剂和不饱和聚酯类的胶粘剂种植，也不得采用无机锚固剂（包括水泥基灌浆料）种植。

5.5.5 梁的新增纵向受力钢筋，其两端应可靠锚固，且应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《人民防空地下室设计规范》GB 50038 以及《人民防空工程设计规范》GB 50225 的规定；柱的新增纵向受力钢筋的下端应伸入基础并应满足锚固要求；上端应穿过楼板与上层柱脚连接或在屋面板处封顶锚固。

6 制备与施工

6.1 一般规定

6.1.1 超高性能混凝土施工中的模板工程、钢筋工程和预应力工程，应按照现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 及《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定和要求完成。

6.1.2 操作人员应按照《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034 的相关规定，做好个人防护安全措施，佩戴工业级防尘口罩、护目镜、手套、安全鞋、安全帽、工作服等。

6.1.3 超高性能混凝土喷射施工主要危险源识别及措施制定应满足如下要求：

1) 主要危险源识别

高压喷射造成的人身伤害：超高性能混凝土在喷射过程中，由于压力较大，可能对操作人员造成飞溅伤害或直接冲击伤害。

高处作业跌落风险：超高性能混凝土往往需要在高处进行喷射施工，如果不采取合适的防护措施，可能存在跌落风险。

机械设备操作危险源：使用喷射设备时，若操作不当或设备维护不良，可能导致机械故障或安全事故。

粉尘对呼吸系统的危害：超高性能混凝土在喷射过程中会产生粉尘，长期暴露在此环境下可能对工人呼吸系统造成危害。

噪音对听力的损害：喷射设备运行时产生的噪音可能超过安全标准，对工人的听力造成损害。

2) 制定措施

加强人员培训：操作人员必须经过专门培训，持证上岗，并熟悉安全操作规程和应急处理方法。

佩戴防护用品：操作人员必须佩戴合格的劳动防护用品，包括防护面罩、防尘口罩、耳塞等。

设置警示标志和危险区域：作业区域必须设置明显的警示标志，并划定危险区域，非作业人员禁止进入。

定期检查和维护设备：喷射设备必须经常检查维护，确保各部件运转正常，防

止机械故障或安全事故。

高处作业防护措施：高处作业必须采取防护措施，如安装可靠的脚手架、使用安全带等，并设置安全网或安全防护栏杆。

保持通风良好：作业场地要保持通风良好，必要时使用局部排风装置，减少粉尘和噪音对工人的影响。

3) 施工前安全、技术交底

明确施工方案和工艺流程：详细编制施工方案和技术措施，并进行技术交底，确保所有施工人员都清楚施工要求和操作流程。

检查施工现场安全：检查施工现场是否符合安全要求，清理施工区域内的杂物和积水，确保施工顺利进行。

准备施工材料和设备：准备好所需的施工材料和设备，包括超高性能混凝土、搅拌机、泵车、输送管道、模具等，并确保设备正常运行。

强调安全注意事项：在交底中特别强调安全注意事项，如控制混凝土的流动速度和浇筑高度、避免混凝土离析和裂缝等问题，同时加强职工的安全教育培训，提高全员安全意识。

6.1.4 当超高性能混凝土加固工程量较大时，宜在正式施工前选取试验段进行施工，确定最优施工参数后，经参建各方确认，再进行下一步施工。

6.2 材料制备

6.2.1 超高性能混凝土材料

1) 超高性能混凝土的喷射施工应采用预混料进行拌合。

2) 预混料应附产品说明书，标明推荐用水量（及推荐外加剂产品型号和掺量）、推荐用水量下拌合物的工作性等级、给定养护条件下硬化超高性能混凝土技术指标、使用方法（建议搅拌方式、振捣和养护注意事项等）、贮存运输要求等。

3) 预混料出厂时应同时提供性能检验报告，内容包括预混料规格型号、生产厂家、生产时间、性能检验结果及评定、检验依据、检验时间、报告日期等。

4) 预混料应均匀，无结块、无受潮现象。预混料储存期限为出厂后三个月，超过三个月的预混料使用前应重新检验。

6.2.2 高效搅拌与制备

1) 在制备超高性能喷射材料时，应采用高效搅拌设备，确保原材料充分混合均

匀。

2) 搅拌过程中应严格控制搅拌时间、速度和顺序, 以避免出现离析、沉淀等问题。

3) 制备过程中还应注意调整水灰比、添加外加剂等。

4) 超高性能混凝土的搅拌方式应根据产品特点和现场实际情况进行调整。

6.3 精确喷射施工

6.3.1 喷射设备配置

为实现安全、快速施工及保证达到设计要求的目的, 应结合项目实际情况, 进行施工机具的合理配置。

喷射设备的选择应符合下列要求:

- 1) 机动性强, 维修方便, 易操作, 对集料的级配和坍落度要求范围广;
- 2) 密封性能良好, 输料连续均匀;
- 3) 生产率、允许最大粒径符合设计及规范要求;
- 4) 喷射混凝土时粉尘含量不大于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.3.2 表面处理

1) 原基层铲除粉刷层、贴面装饰层, 用高压水和钢丝刷将墙面清理干净, 不得有浮灰、尘土、裂缝, 严防混凝土表面剥离。裂缝处用压力灌浆修补, 表面损坏处用环氧砂浆修补或剔除, 在旧混凝土表面适当进行凿毛处理, 增加接触面, 改善结合面的粘结抗剪和抗拉能力。喷射前一天应适量洒水保持湿润, 使表面充分吸水。

2) 应每隔一定间距预先埋设定位厚度点, 同时拉通线, 控制喷射厚度。

3) 一般混凝土面用高压水冲洗混凝土面的浮尘、碎屑。

4) 当混凝土遇水容易潮解、泥化时, 采用高压风吹混凝土面。

5) 若基层薄弱时, 应挂设细钢筋网(网格宜不大于 $20\times 20\text{mm}$ 、线径宜小于 3mm), 用环向钢筋和锚钉或钢架固定, 使其密贴受喷面, 以提高喷射混凝土的附着

力。

6) 喷射混凝土前, 先喷一层水泥净浆或与喷射混凝土同标号的水泥砂浆, 待终凝后再喷射混凝土。

6.3.3 喷射顺序

1) 喷射混凝土作业应采用分段、分片、分层依次进行, 喷射顺序自下而上, 分

段长度不大于 6m。喷射时先将低洼处大致喷平，再自下而上顺序分层、往复喷射。

2) 分段施工时，喷混凝土应预留斜面，斜面宽度为 200~300mm，斜面需用压力水冲洗润湿后再行喷射混凝土。

3) 分片喷射时，应自下而上进行，先喷钢架与壁面间混凝土，再喷两钢架之间混凝土。边墙喷混凝土应从墙脚开始向上喷射，使回弹不致裹入最后喷层。

4) 分层喷射时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行，若终凝 1h 后再进行喷射时，先用风水清洗喷层表面。一次喷混凝土的厚度以喷混凝土不滑移不坠落为度，既不能因厚度太大而影响喷混凝土的粘结力和凝聚力，也不能太薄而增加回弹量。边墙一次喷射混凝土厚度控制在 7~10cm，拱部控制在 5~6cm，并保持喷层厚度均匀。顶部喷射混凝土时，为避免产生坠落现象，两次间隔时间宜为 2~4h。

6.3.4 喷射速度

喷射速度应利于混凝土的压实。风压过大，喷射速度增大，回弹增加；风压过小，喷射速度过小，压实力小，影响喷混凝土强度。喷射时，应注意观察风压，起始风压达到 0.5MPa 后，才能开始操作，并据喷嘴出料情况调整风压。

一般工作风压：边墙 0.3~0.5MPa，拱部 0.4~0.65MPa。

喷射混凝土时喷射机的压力一般不宜大于 0.2MPa。

6.3.5 喷射角度与距离

如喷嘴与受喷面的角度太小，会形成混凝土物料在受喷面上的滚动，产生出凹凸不平的波形喷面，增加回弹量，影响混凝土的质量。故喷射施工时喷嘴角度与距离应满足如下条件：

1) 喷射时使喷嘴与受喷面间保持适当距离，喷射角度尽可能接近 90°，以获得最大压实和最小回弹。

2) 喷嘴与受喷面间距宜为 1.5~2.0m。

3) 喷嘴应连续、缓慢作横向环形移动，横向 40~60cm，高 15~20cm。

4) 若受喷面被钢架、钢筋网覆盖时，可将喷嘴稍加偏斜，但不宜小于 70°。

6.3.6 养护

超高性能混凝土浇筑完成后，应立即覆膜或喷涂养护剂进行保湿养护。由于项目多处于室内，保证养护温度是控制重点，保证超高性能混凝土浇筑环境温度不低于 10℃。保温、保湿养护时间根据现场同条件试块强度满足设计要求的时间来确定，且

应满足现行国家标准《人民防空工程质量验收与评价标准》RFJ 01 的要求。

6.3.7 特殊气候施工

本标准主要针对人防工程超高性能混凝土快速加固，一般情况人防工程超高性能混凝土加固属于室内施工，特殊气候中除高温和冬季气候对工程有较小影响外，其它气候均无影响。

1) 施工前，应预先收集当地天气预报资料，遭遇特殊气候条件时，应按特殊天气专项施工组织方案和应急处理预案采取相应措施。

2) 下列天气条件之一者，必须停工，不得强行浇筑：

a. 施工现场气温高于 40℃，或拌合物浇筑温度高于 35℃；

b. 施工现场连续 5 昼夜平均气温低于 5℃或夜间最低气温低于-3℃。

3) 高温期施工时应符合下列规定：

施工现场连续 4h 平均气温高于 30℃或日间最高气温高于 35℃高温期施工时，超高性能混凝土的现浇施工应采取下列措施：

a. 高温期宜选择在早晨、傍晚或夜间施工，避开中午高温时段施工，夜间施工应有良好的操作照明，并确保施工安全；

b. 施工中应随时检测气温、预混料、拌合水、拌合物及已经浇筑完成的超高性能混凝土的温度，温度过高时应及时采取防高温和降温措施；

c. 高温期施工时，应控制混凝土拌合物的入模温度低于 30℃；

d. 保湿养护时，应控制养护水温与超高性能混凝土表面的温差不大于 12℃，不得采用冰水或冷水养护。

4) 冬期施工时应符合下列规定：

当施工现场环境温度低于 5℃时，应采取保温措施施工，并随时检测气温、预混料、拌和水、拌合物及已经浇筑完成的超高性能混凝土的温度。

6.3.8 环境保护

1) 开始施工前必须进行环境因素识别，确定重要环境因素，制定相应的管理方案。

2) 施工废水、生活污水需经过处理后方可排放。

3) 施工现场坚持工完料清，垃圾杂物集中整齐堆放，及时处理。施工废水严禁任意排放，严格按照招标文件要求经处理后达标排放。

- 4) 弃渣不得随意堆放，须运至指定的卸渣场；
- 5) 对弃渣场基层清除的土层和基坑开挖的土石方集中堆放，避免被水冲刷，污染河流；
- 6) 自卸汽车在运输过程中，必须保持平稳行驶，严禁在随意抛洒；
- 7) 施工现场应确保良好的通风，且应采取有效措施，避免扬尘。

7 检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 施工单位应根据全面质量管理要求，建立健全有效的质量保证体系，对原材料进场、试验室试配、试验性浇筑、施工等环节及硬化后的超高性能混凝土质量进行全过程检验，掌握质量动态信息，并应达到所规定的质量要求，确保施工质量。

7.1.2 施工质量不能满足要求的，应及时分析原因，提出改进措施。存在质量缺陷的，应根据对建筑物可靠性的影响，采取必要的措施。

7.1.3 所有与超高性能混凝土结构现浇施工有关的原始记录均应如实保存。

7.1.4 施工验收要求除应满足本节相应要求外，尚应满足现行国家标准《人民防空工程质量验收与评价标准》RFJ 01 的相关要求。

7.2 检测规则

7.2.1 超高性能混凝土出厂前应进行出厂检验，出厂检验的要求及结果应符合相关国家现行标准及行业标准。

7.2.2 超高性能混凝土的交货检验应在供需双方合同约定的交货地点进行，建设单位应委托具备相应资质的第三方检测机构进行质量检测，非建设单位委托的检测机构出具的检测报告不得作为工程质量验收依据。

7.2.3 超高性能混凝土交货检验的检验项目应包括以下各项：

- 1) 扩展度： $\geq 650\text{mm}$ ；
- 2) 扩展度经时损失： $\leq 100\text{mm}$ ；
- 3) 扩展时间：3~10s；
- 4) 抗压强度： $\geq 100\text{MPa}$ （且满足设计规定的分级要求）；
- 5) 抗拉性能： $\geq 5\text{MPa}$ ；
- 6) 抗拉强度/弹性极限抗拉强度： > 1.00 ；

- 7) 抗拉应变: $\geq 1000 \times 10^{-6}$;
- 8) 弹性模量: $\geq 40\text{GPa}$;
- 9) 抗弯强度: $\geq 14\text{MPa}$;
- 10) 氯离子扩散系数: $\leq 0.40 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。

当且仅当以上各项指标均满足检测要求时,可判定该批产品检验项目为合格产品。如检验结果不满足要求,应要求供货方重新提供材料进行二次检验,满足要求后方可采用。

7.3 取样规则

7.3.1 预混料

1) 出厂检验的预混料试样,应在出料口随机采样,按超高性能混凝土配合比拌制成超高性能混凝土拌合物后检验。以 100t 相同配比的预混料为 1 批,每 1 批取样不应少于 1 次。

2) 交货检验的预混料试样,应在交货地点随机抽取,按超高性能混凝土配合比拌制成超高性能混凝土拌合物后检验。扩展度和抗压强度的检验,每 100t 相同配比的预混料取样不应少于 1 次;抗拉性能的检验,每 500t 相同配比的预混料取样不应少于 1 次;其他检验项目,同一工程、同一配比预混料应至少进行一次检验。

7.3.2 超高性能混凝土拌合物

1) 超高性能混凝土拌合物应在浇筑地点随机抽样检验纤维是否有结团及纤维含量。拌合物中不得有纤维结团;纤维含量偏差不应超过配合比设计的纤维含量的 $\pm 5\%$ 。同一工程、同一配合比的超高性能混凝土每 50m^3 为一批,不足一批的也按一批计,每批至少抽检一次。

2) 超高性能混凝土拌合物抽样检验项目应包括扩展度或坍落度的经时损失。扩展度或坍落度的经时损失应 24h 检验一次。扩展度或坍落度应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检验。取样检验频率应符合下列规定:

- a. 每一工作班或每一单元结构物应不少于 2 次;
- b. 每次连续拌制不超过 50m^3 时,取样不宜少于 1 次;
- c. 当超高性能混凝土的原材料来源有所改变或对混凝土性能怀疑时应进行检验。

7.4 外观检验规则

7.4.1 喷射加固层应表面平整、密实，且喷射厚度满足设计要求；

7.4.2 振捣充分和保湿养护后，超高性能混凝土层应均匀完好，且不应有龟裂现象；

7.4.3 养护完成后，超高性能混凝土层应均匀完好，且应无收缩裂纹；

7.4.4 混凝土层的边角处、不同浇筑时期接缝处等位置应衔接良好，无脱空现象。

7.5 试件制备

7.5.1 超高性能混凝土试件的搅拌应符合下列规定：

超高性能混凝土试件应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时宜将水泥、矿物掺合料、骨料、粉剂外加剂等干料预先干拌 1min~2min，然后加入水和其他液体原材料湿拌，湿拌时间不宜低于 5min，至拌合物接近目标流动性；然后缓慢加入纤维，待纤维全部加完后继续搅拌不少于 2min，至纤维在拌合物中分散均匀。

7.5.2 超高性能混凝土试件的成型应符合下列规定：

超高性能混凝土拌合物宜从试模的一侧开始浇筑，一次浇筑完毕，浇筑后可用橡胶锤轻敲侧模排除气泡；对于扩展度在 650mm~750mm（含 650mm）的超高性能混凝土拌合物，浇筑完成后，可根据需要将试模置于振动台上振动以排除气泡，振动时间宜为 10s~15s；成型过程中不得进行插捣。

7.5.3 超高性能混凝土试件的养护应符合下列规定：

试件成型后，应立即在试模表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失；自然养护类超高性能混凝土试件应按 GB/T 50081 的规定进行标准养护；热养护类超高性能混凝土试件应进行标准蒸汽养护。

7.6 试件拌合物性能测定要求

7.6.1 扩展度及扩展度经时损失

超高性能混凝土试件拌合物的扩展度及扩展度经时损失应按 GB/T 50080 的有关规定进行测定，应测试超高性能混凝土拌合物不再扩散或扩散持续时间达到 90s 时的扩展度。扩展度经时损失无特殊要求情况下应测试 1h 扩展度经时损失。

7.6.2 扩展时间

超高性能混凝土试件拌合物的扩展时间应按 GB/T 50080 的有关规定进行测定，应测试自坍落度筒提离地面时开始，至扩展开的超高性能混凝土拌合物外缘初触平板上

所绘直径 500mm 圆周的时间。

7.7 试件力学性能测定要求

7.7.1 抗压强度

超高性能混凝土试件的抗压强度应按 GB/T 50081 的有关规定进行测定，并应符合下列规定：

- 1) 应采用 100mm×100mm×100mm 的立方体试件，每组 6 个试件；
- 2) 加载速率应为 1.20 MPa/s~1.40 MPa/s；
- 3) 取与平均值偏差小于 10%的试件强度平均值作为测定值。当 6 个值中有 1 个或 2 个与平均值的差值超过平均值的 10%时，将超出平均值 10%的测值舍除，取剩余测值的平均值作为该组试件的抗压强度值；当有 3 个或 3 个以上试件强度值与平均值偏差大于 10%时，则该组试件试验结果无效。

7.7.2 抗拉性能

超高性能混凝土试件的抗拉性能应按 GB/T 50081 的有关规定进行测定，并应符合下列规定：

- 1) 抗拉性能试件厚度分为 30mm 和 100mm 两种，当超高性能混凝土中纤维长度不大于 13mm 且不含粗骨料时，宜采用厚度为 30mm 的试件；当超高性能混凝土中纤维长度大于 13mm 或含有粗骨料时，宜采用厚度为 100mm 的试件，每组 6 个试件；
- 2) 每个试件在进行抗拉性能试验时，应同时确定弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、拉伸弹性模量、抗拉强度，抗拉应变 5 个参数，对于抗拉应变小于 1000×10^{-6} 的试件尚应确定残余抗拉强度。
- 3) 拉伸试验时，应对试件进行连续、均匀加荷，宜采用位移控制加荷，加荷速率宜控制在 0.2mm/min。
- 4) 当满足下列条件之一时，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抗拉强度的 30%时；
 - b. 试件的拉应变达到 10000×10^{-6} 时；
 - c. 拉断。
- 5) 开裂位置位于标距内的试件为有效拉伸试件，有效拉伸试件数量不应小于 4 个。当有效拉伸试件数量小于 4 个时，该组试件无效。以所有有效拉伸试件测值的平均值确定弹性极限抗拉强度、弹性极限拉应变、拉伸弹性模量、抗拉强度、抗拉应变

的最终试验结果。

7.7.3 弹性模量

超高性能混凝土试件的弹性模量应按 GB/T 50081 的有关规定进行测定，试件应采用 100mm×100mm×300mm 的棱柱体试件，加载速率应为 1.20MPa/s~1.40MPa/s。

7.7.4 抗弯强度

超高性能混凝土试件的抗弯强度应按 GB/T 50081 中抗折强度试验方法的有关规定进行测定，并应符合下列规定：

- 1) 应采用 100mm×100mm×400mm 的棱柱体试件，每组 3 个试件；
- 2) 应采用四点加载方式，试件支座间的跨度为 300mm，双点加荷应使两个相等的荷载同时垂直作用在试件跨度的两个三分点处；
- 3) 应对试件进行连续均匀加载，初裂前的加载速率为 0.12MPa/s~0.14MPa/s，初裂后取位移控制，加载速率为 0.1mm/min，初裂后应继续加载至荷载低于最大荷载的 30%，
- 4) 以试验过程中的最大荷载计算抗弯强度。

7.8 试件耐久性能测定要求

超高性能混凝土试件的氯离子扩散系数应按 GB/T 50081 的有关规定进行测定，并应符合下列规定：

1) 试件尺寸宜采用直径 100mm±1mm、高度 50mm±2mm 的圆柱体试件；当需要提高氯离子渗透深度时，可采用直径 100mm±1mm、高度 30mm±1mm 的圆柱体试件；每组试件数量为 3 块；试件成型时应使用不含纤维的超高性能混凝土拌合物。

2) 应采用快速氯离子扩散系数法（RCM 法）进行测定，测定结果的判定应符合以下规定：

- a. 计算 3 个试件氯离子扩散系数的算术平均值。
- b. 当氯离子扩散系数的计算平均值小于 $0.10 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 时，直接取 3 个试件氯离子扩散系数的中间值作为该组试件的氯离子扩散系数测定值。
- c. 当氯离子扩散系数的计算平均值介于 $0.10 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ~ $0.40 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 之间时，若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 30%，应剔除此值，再取其余两值的平均值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的 30%，应取中间值作为测定值。

d. 当氯离子扩散系数的计算平均值大于 $0.40 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 时，若最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15%，应剔除此值，再取其余两值的平均值作为测定值；若最大值和最小值均超过中间值的 15%，应重新制样进行试验，或取其中最大值作为测定值。

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文是区别对待，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：
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：
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：
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，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

人防工程超高性能混凝土（UHPC）

快速加固技术标准

条文说明

目 次

1 总则	31
2 术语和符号	31
3 基本规定	32
4 材料	34
5 结构设计	34
6 制备与施工	36
7 检测与验收	36

1 总则

1.0.1 本条规定了制定本标准的目的和要求，本标准作为指导既有人防工程采用高性能混凝土快速加固技术进行结构加固的团体标准，主要是对该技术的关键内容和在应用过程中积累的技术成果进行总结和提升，以引导和规范既有人防工程超高性能混凝土（UHPC）快速加固技术的健康发展。有助于实现节约工期，降低施工风险，进一步降低综合成本的目的，加快人防工程投入安全使用的脚步，经济效益及战备效益较大。

在实际使用场景中，对于某些埋深较深、施工操作面较小的既有人防工程，考虑商品混凝土运输及施工开展的因素，适宜采用喷筑超高性能混凝土加固的形式，进行结构开裂、材料老化等问题的修复；对于某些施工操作面较小的管线后开洞等问题的修复，亦可直接采用喷筑超高性能混凝土的方式进行修补；对于大面积人防构件的受拉区加固，出于缩短工期，降低风险的考虑，同样宜采用喷筑超高性能混凝土的方式进行快速加固修复；另外由于材料特性的限制，喷筑超高性能混凝土不适合于直接用来进行结构渗漏水的加固，但可用于结构注浆修补后的二道防线加固。

1.0.2 本条规定的适用范围，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《人民防空地下室设计规范》GB 50038 及《人民防空工程设计规范》GB 50225 相对应，以便于配套使用。

1.0.3、1.0.4 这两条主要是对本标准在实施中与其他相关标准配套使用的关系作出规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1~2.1.14 本标准采用的术语及其涵义，是根据下列原则确定的：

- 1) 凡现行工程建设国家标准已作规定的，一律加以引用，不再另行给出定义；
- 2) 凡现行工程建设国家标准尚未规定的，由本规范参照国际标准和国外先进标准给出其定义；
- 3) 当现行工程建设国家标准虽已有该术语，但定义不准确或概括的内容不全时，由本规范完善其定义。

2.2 符号

2.2.1~2.2.4 本标准采用的符号及其意义，尽可能与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相一致，以便于在加固设计、计算中引用其公式，只有在遇到公式中必须给出加固设计专用的符号时，才另行制定，即使这样，在制定过程中仍然遵循了下列原则：

1) 对主体符号及其上、下标的选取，应符合现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GB J132 的符号用字及其构成规则；

2) 当必须采用通用符号，但又必须与新建工程使用的该符号有所区别时，可在符号的释义中加上定语。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 既有人防工程是否需要加固，应经结构安全性检测及可靠性鉴定确认。我国已发布的现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292，是通过实测、验算并辅以专家评估才作出可靠性鉴定的结论，因而较为客观、稳健，可以作为混凝土结构加固设计的基本依据。

3.1.2 被加固的混凝土结构、构件，其加固前的服役时间各不相同，其加固后的结构使用功能又可能有所改变，因此不能直接沿用原设计的安全等级作为加固后的安全等级，而应根据委托方对该结构下一目标使用期的要求，以及该工程加固后的用途和重要性重新进行定位，故有必要由委托方与设计单位共同商定。对于加固后人防工程的战时功能，原则上应不低于原战时防护效能。

3.1.3 为避免由于设计人员经验不足等原因，致使加固工程出现“顾此失彼”的情况，故对“应避免对未加固部分，以及相关的结构、构件和地基基础造成不利的影 响”加以提示。

3.1.4 由高温、高湿、冻融、冷脆、腐蚀、振动、温度应力、收缩应力、地基不均匀沉降等原因造成的结构损坏，在加固时，应采取有效的治理对策，从源头上消除或限制其有害的作用。与此同时，尚应正确把握处理的时机，使之不至对加固后的结构重新造成损坏。就一般概念而言，通常应先治理后加固，但也有一些防治措施可能需在加固后采取。因此，在加固设计时，应合理地安排好治理与加固的工作顺序，以

使这些有害因素不至于复萌。这样才能保证加固后结构的安全和正常使用。

3.1.7 本条确定加固设计使用年限的原则，基于以下考虑：

1) 结构加固的设计使用年限，应与结构加固后的使用状态及其维护制度相联系，否则是无法确定的。因此，本标准给出的是在正常使用与定期维护条件下的设计使用年限，至于其他使用条件下的设计使用年限，应由专门技术规程作出规定。

2) 当结构加固使用的是传统材料(如混凝土)，且其设计计算和构造符合相关国家规范的规定时，可按业主要求的年限，且不高于 50 年确定。但超高性能混凝土预混料及防水填充材料、防腐材料中亦含有结构胶及其他聚合物成分，若业主要求结构加固的设计使用年限为 50 年，其所使用的合成材料的粘结性能，应通过耐长期应力作用能力的检验。检验方法应按现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的规定执行。

3) 当为局部加固时，尚应考虑原建筑物(或原结构)剩余设计使用年限对结构加固设计使用年限的影响。

4) 结构的定期检查维护制度应符合设计文件要求。

3.1.8 既有人防工程的加固设计，系以委托方提供的防护等级、建筑功能、使用条件和使用环境为依据进行的。倘若加固后任意改变其平时用途、战时用途、抗力级别或使用环境，不仅将显著影响结构加固部分的安全性及耐久性，而且涉及触犯中华人民共和国防空法。

3.2 设计计算原则

3.2.1 《人民防空工程战术技术要求》将人民防空工程按可能受到的空袭威胁划分为甲、乙两类：甲类工程防核武器、常规武器、化学武器、生物武器袭击；乙类工程防常规武器、化学武器、生物武器的袭击。根据上述要求，本条提出甲类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载的分别作用，乙类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载的作用。另外，无论是常规武器，还是核武器，设计时均只考虑一次作用。对于甲类防空地下室结构，取其中最不利情况进行设计计算，不需叠加。

3.2.2 本条对既有人防工程采用超高性能混凝土快速加固技术进行加固验算作了详细而明确的规定，需提请注意的是，其中大部分计算参数已在该结构加固前安全性检测及可靠性鉴定中通过实测或验算予以确定，因此，在进行结构加固设计时，宜尽

可能加以引用，在兼顾经济性的同时，亦可便于责任厘清。

4 材料

4.1.3 超高性能混凝土的动荷载作用下的材料强度综合调整系数近似参照相关国家规范给出，且不考虑混凝土后期强度提高。

4.2~4.10 本标准采用的材料性能，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关规范及标准的规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 超高性能混凝土快速加固技术，既具备普通增大截面加固法的优点，如工艺简单、使用经验丰富、受力可靠等，同时又回避了增大截面法的固有缺点，如湿作业工作量大、养护期长、占用建筑空间较多等。调查表明，对于一般结构的梁、板、柱加固，往往以增大截面法为主，故此，本标准界定超高性能混凝土快速加固技术的适用范围以定位在既有人防工程的梁、板、柱为宜。

5.1.2 调查表明，在实际工程中当原构件混凝土强度较低时，新旧混凝土界面的粘结强度很难得到保证。若采用植入剪切-摩擦筋来改善结合面的粘结抗剪和抗拉能力，也会因基材强度过低而无法提供足够的锚固力。同时结合《人民防空工程设计规范》GB 50225、《人民防空地下室设计规范》GB 50038 中关于混凝土强度等级的限值要求，作出了原构件的混凝土强度等级不应低于 C25 的规定。另外，应指出的是：当遇到混凝土强度等级低，或是密实性差，甚至还有蜂窝、空洞等缺陷时，不宜直接采用超高性能混凝土进行加固，而应先修复或置换有局部缺陷或密实性太差的混凝土，然后再进行加固；若修复或置换有困难，或有受力裂缝等损伤时，也可不考虑原构件的承载作用，完全由新增超高性能混凝土承重。

5.1.3 原构件与新增超高性能混凝土的结合面应采取措施，保证能可靠地传力、协同地工作。因此，只要新旧混凝土粘结或拉结质量合格，便可采用本条的基本假定。

5.1.4 采用超高性能混凝土快速加固技术进行加固，由于受原构件应力、应变水平的影响，虽然不能简单地按现行国家规范《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行计

算，但该规范的基本假定仍然具有普遍意义，应在加固计算中得到遵守。

5.2 受弯构件正截面加固计算

5.2.1 本条给出了超高性能混凝土快速加固设计常用的形式，但应指出的是，在混凝土受压区增设超高性能混凝土层的做法，主要用于楼板的加固。对梁而言，仅在楼层允许梁顶面突出时才能使用，一般较难得到应用。

5.2.3 就理论分析而言，在截面受拉区增补受力构件加固钢筋混凝土构件，其受力特征与加固施工是否卸载有关。当不卸载时，加固后的构件工作属二次受力性质，存在着应变滞后问题；当完全卸载时，加固后的构件工作虽属一次受力，但由于受二次施工的影响，其截面仍然不如一次施工的新构件。故本标准提出，加固施工前应进行充分卸荷，计算时近似地按一次受力计算，考虑到新增结构在连接构造上和受力状态上不可避免地要受到种种影响因素的综合作用，从而有可能导致其强度难以充分发挥，故仍应从保证安全的角度出发，对新增结构的强度进行折减，并统一取 $\alpha_s = 0.9$ 。

对于 α_1 取值，由于一般情况下均为在截面受拉区增补受力构件加固钢筋混凝土构件，故 α_1 取值按受压区的原混凝土强度等级确定。

5.3 受弯构件斜截面加固计算

5.3.1 对受剪截面限制条件的规定与国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 完全一致，而从新增超高性能混凝土构件的荷载试验过程来看，增大截面还有助于减缓斜裂缝宽度的发展，特别是围套法更为有利。因此引用 GB 50010 的规定作为加固构件的受剪截面限制条件仍然是合适的。

5.3.2 本条计算规定将新、旧混凝土的斜截面受剪承载力分开计算，并给出了具体公式；且参考相关国家规范标准，确定了混凝土和钢筋的强度利用系数。考虑到尚无充分试验依据作为支撑，故按照普通混凝土考虑该强度利用系数。

5.4 受压构件正截面加固计算

5.4.1 本条计算规定参考相关国家规范标准，确定了综合考虑新增超高性能混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数 α_{cs} 。考虑到尚无充分试验依据作为支撑，故按照普通混凝土考虑该强度降低系数。

5.4.2 由于加固后偏压构件的混凝土受压区可能包含部分旧混凝土，因而有必要采用新旧混凝土组合截面的轴心抗压强度设计值进行计算，但其取值较为复杂，不仅

需要考虑不同的组合情况，而且还需要通过试验才能确定其数值。为了简化起见，本标准参考相关国家规范标准，采用近似值计算新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值，但同时也应允许设计单位根据其试验结果进行取值。

5.5 构造规定

5.5.1 考虑到界面处理对超高性能混凝土快速加固技术能否确保新旧混凝土共同工作十分重要，因此，界面如何处理，应由设计单位提出具体要求。一般情况下，对梁、柱构件，在原混凝土表面凿毛的基础上，只要再涂布结构界面胶即可满足安全要求（由于超高性能混凝土快速加固技术可不设置模板，故不用考虑界面胶的可操作时间）；而对墙、板构件则还需增设剪切销钉，但仅需按构造要求布置即可满足要求。根据以往实际工程经验，当采用6mm的Γ形销钉种植，且植入深度为50mm、销钉间距为200mm~300mm时，可以满足混凝土表面已凿毛的界面传力的需求。

5.5.3~5.5.5 这三条主要是根据结构加固工程的实践经验和有关的研究资料作出的规定，其目的是保证原构件与新增超高性能混凝土的可靠连接，使之能够协同工作，以保证力的可靠传递，从而收到良好的加固效果。

另外，应指出的是纯环氧树脂配制的砂浆，由于未经改性，很快便开始变脆，而且耐久性很差，故不应在承重结构植筋中使用。至于所谓的无机锚固剂，由于粘结性能极差，几乎全靠膨胀剂起摩阻作用传力，不能保证后锚固件的安全工作，故也应予以禁用。

6 制备与施工

6.1~6.4 本标准规定的材料制备与施工措施，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关规范及标准的规定。

7 检测与验收

7.1~7.8 本标准规定的材料制备与施工措施，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关规范及标准的规定。