

高延性混凝土加固技术规程

山东省工程建设标准



DB37/T 5191 - 2021

J 15953 - 2021

高延性混凝土加固技术规程

Technical specification for strengthening
with high ductile concrete



中国建筑工业出版社

2021 - 08 - 10 发布

2021 - 11 - 01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局

联合发布



统一书号: 155160 · 2699
定 价: 49.00 元

山东省工程建设标准

高延性混凝土加固技术规程

Technical specification for strengthening
with high ductile concrete

DB37/T 5191 – 2021

住房和城乡建设部备案号: **J 15953 – 2021**

主编单位: 山东省建筑科学研究院有限公司

西 安 建 筑 科 技 大 学

批准部门: 山东省住房和城乡建设厅

山 东 省 市 场 监 督 管 理 局

实施日期: 2 0 2 1 年 1 1 月 1 日

中国建材工业出版社

2021 北京

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅、山东省质量技术监督局《关于印发〈2017 年山东省工程建设标准制订、修订计划（第一批）〉的通知》（鲁建标字〔2017〕17 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程经验，参考国内外相关标准，结合本省实际情况，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 高延性混凝土材料；5 砌体结构加固；6 混凝土构件加固；7. 施工与验收；附录。

请各单位在执行本规程过程中，注意总结经验、积累资料，随时将有关的意见和建议反馈给山东省建筑科学研究院有限公司（地址：济南市天桥区无影山路 29 号，电话：0531-85595364，邮编：250031，E-mail：fangshuishi@163.com），以供今后修订时参考。

主 编 单 位：山东省建筑科学研究院有限公司
西安建筑科技大学

参 编 单 位：山东建科特种建筑工程技术中心有限公司
山东省建筑设计研究院有限公司
西安五和土木工程新材料有限公司
山东建大工程鉴定加固研究院
同圆设计集团有限公司
青岛腾远设计事务所有限公司
泰安市建筑设计院有限责任公司
山东建研检测检验科技有限公司

主要起草人员：王 伟 成 勃 邓明科 裴兆贞 沈文忠
宋 杰 张维汇 李守才 魏晓东 齐元荣
张思海 景武斌 刘志远 贾留东 李树明
夏风敏 刘巧玲 徐承强 韦安磊 朱心部
井彦青 丁新海 刘 阳 甄洪闪 于兴银
陈 建 陈 萌 张广华 刘明鑫 张仁猛
主要审查人员：李秋义 王 琦 嵇 飙 石玉仁 潘玉珀
常春章 陈 刚 张长安 王履埭

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	高延性混凝土材料	7
4.1	原材料	7
4.2	力学性能及耐久性	8
4.3	计算指标	9
5	砌体结构加固	10
5.1	一般规定	10
5.2	砌体抗压加固计算	10
5.3	砌体抗剪加固计算	13
5.4	砌体抗震加固计算	14
5.5	抗震能力计算	15
5.6	构造要求	20
6	混凝土构件加固	27
6.1	一般规定	27
6.2	钢筋混凝土剪力墙抗剪加固计算	27
6.3	钢筋混凝土梁抗剪加固计算	29
6.4	钢筋混凝土柱正截面抗压加固计算	30
6.5	抗震加固计算	32
6.6	构造要求	32

7 施工与验收	36
7.1 施工	36
7.2 材料检测	39
7.3 质量验收	41
附录 A 砌体结构农村房屋加固	46
A.1 一般规定	46
A.2 基本要求	46
A.3 砌体结构农村房屋整体性加固	47
A.4 施工与验收	53
附录 B 高延性混凝土弯曲性能试验方法	54
附录 C 高延性混凝土力学性能快速检测方法	57
附录 D 质量验收记录	59
本规程用词说明	63
引用标准名录	64
附：条文说明	67

1 总 则

1.0.1 为规范山东省高延性混凝土在加固工程中的应用，保证工程质量，做到技术先进、安全可靠、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为 6~8 度区采用高延性混凝土加固房屋建筑和构筑物中的砖砌体、砌块砌体结构及混凝土结构构件的设计、施工和质量验收。

1.0.3 高延性混凝土加固砌体结构及混凝土结构构件的设计、施工及质量验收除应符合本规程的规定外，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 高延性混凝土 high ductile concrete

由胶凝材料、细骨料、外加剂和合成纤维等原材料组成，具有高韧性、高抗裂性能和高耐损伤能力的合成纤维增强水泥基复合材料。

2.1.2 等效弯曲强度 equivalent flexural strength

试块弯曲韧性试验时，将荷载下降至 0.85 倍峰值荷载时对应的荷载-挠度曲线图形按面积等效为挠度方向相等的矩形图形，按照等效矩形图形高度对应的荷载值计算得到的梁底跨中最大拉应力值。

2.1.3 等效弯曲韧性 equivalent flexural toughness

试块弯曲韧性试验时等效弯曲强度与挠跨比的乘积，与等效弯曲强度一起作为高延性混凝土弯曲韧性的评价指标。

2.1.4 材料强度利用系数 strength utilization factor of material

考虑加固材料自身变形能力高于砌体，以及在二次受力条件下其强度得不到充分利用所引入的折算系数。

2.1.5 面层加固 structure member strengthening with high ductile concrete layer

在原结构构件表面增设一定厚度的高延性混凝土，提高结构整体性、结构构件承载力和抗震能力的加固方法。

2.1.6 条带加固 structure member strengthening with high ductile concrete strip

在结构关键部位增设一定宽度和厚度的高延性混凝土条带，

提高结构整体性、结构构件承载力和抗震能力的加固方法。

2.1.7 配筋面层加固 structure member strengthening with reinforced high ductile concrete layer

在原结构构件表面增设一定厚度的配筋高延性混凝土，提高结构整体性、结构构件承载力和抗震能力的加固方法。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

f_{eq}^u ——等效弯曲强度 (N/mm^2)；

W_e^u ——等效弯曲韧性 (kJ/m^3)；

C_d ——高延性混凝土的强度等级；

$f_{du,k}$ ——高延性混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)；

f_{dk} ——高延性混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm^2)；

f_d ——高延性混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)；

f_{dt} ——高延性混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

E_d ——高延性混凝土的弹性模量 (N/mm^2)；

f_{m0} ——原构件砌体抗压强度设计值 (N/mm^2)。

2.2.2 作用和作用效应

V_d ——采用高延性混凝土面层加固后构件提高的受剪承载力 (N)；

V_s ——墙体采用配筋面层加固后，水平方向钢筋承担的剪力 (N)；

V_E ——考虑地震组合的墙体剪力设计值 (N)；

V_{ME} ——原墙体截面抗震受剪承载力 (N)。

2.2.3 计算系数

φ_{com} ——轴心受压构件的稳定系数；

α_{dc} ——抗压加固时，高延性混凝土的强度利用系数；

α_{dv} ——抗剪加固时，高延性混凝土的强度利用系数；

η_0 ——高延性混凝土面层加固的基准增强系数；

η_{k0} ——高延性混凝土面层加固时墙体侧向刚度的基准提高系数。

3 基本规定

3.0.1 结构加固前，应根据不同建筑类型，分别按现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 或《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 等标准的有关规定进行可靠性鉴定。当与抗震加固结合进行时，尚应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 或《构筑物抗震鉴定标准》GB 50117 等标准的有关规定进行抗震能力鉴定。

3.0.2 高延性混凝土的力学性能、耐久性能应符合本规程有关规定和设计要求。高延性混凝土的正常使用环境温度不应大于 90°C ，且不宜低于 -20°C 。

3.0.3 高延性混凝土加固砌体结构和混凝土结构构件应符合下列规定：

1 结构经可靠性鉴定或抗震鉴定确认需要加固时，应根据鉴定结论和业主方提出的要求，由有相应资质的设计和施工单位按本规程的规定进行加固设计和施工，同时应符合国家现行有关标准的规定；

2 加固后结构的安全等级，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综合确定，并符合相关国家标准的规定；

3 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的结构，应提出相应的临时性安全措施，并要求施工单位应严格执行；

4 未经技术鉴定或设计许可，不得改变加固后结构的用途和使用环境。

3.0.4 采用高延性混凝土加固后的砌体结构和混凝土构件的加

固设计使用年限应分别符合现行国家标准《砌体结构加固设计规范》GB 50702 和《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的相关规定。抗震加固时，其后续使用年限尚应符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的有关规定。

4 高延性混凝土材料

4.1 原材料

4.1.1 合成纤维应为单丝纤维或粗纤维。合成纤维的规格和力学性能宜分别符合表 4.1.1-1、表 4.1.1-2 的规定，同时应满足现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定。

表 4.1.1-1 合成纤维的规格

外 形	公称长度 (mm)	当量直径 (μm)
单丝纤维	4 ~ 15	12 ~ 50
粗纤维	15 ~ 60	> 100

表 4.1.1-2 合成纤维的力学性能

项 目	力学性能
断裂强度 (N/mm^2)	≥ 1200
初始模量 (N/mm^2)	$\geq 30.0 \times 10^3$
断裂伸长率 (%)	3.0 ~ 8.0
耐碱性能 (极限拉力保持率)	$\geq 95\%$

4.1.2 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175、《硫铝酸盐水泥》GB 20472、《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 或《白色硅酸盐水泥》GB/T 2015 的相关规定。

4.1.3 集料应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定，集料最大粒径不宜大于 3mm。

4.1.4 外加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。

4.1.5 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 和《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。粉煤灰等级不应低于Ⅱ级。

4.1.6 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。

4.2 力学性能及耐久性

4.2.1 用于结构加固的高延性混凝土主要力学性能指标应满足表 4.2.1 的有关规定。

表 4.2.1 高延性混凝土的主要力学性能指标

指标类别	标准养护龄期	性能指标		
		I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
等效弯曲韧性 (kJ/m^2)	28d	≥ 170.0	≥ 130.0	≥ 90.0
	60d	≥ 160.0	≥ 120.0	≥ 80.0
等效弯曲强度 (N/mm^2)	28d	≥ 10.0	≥ 9.0	≥ 8.0
	60d	≥ 11.0	≥ 10.0	≥ 9.0
抗折强度 (N/mm^2)	28d	≥ 11.0		
	60d	≥ 12.0		
立方体抗压强度 (N/mm^2)	28d	≥ 45.0		
	60d	≥ 50.0		

注：1 表中除立方体抗压强度为标准值外，其他均指代表值，其评定方法应符合本规程第 7.2.2 条有关规定；各项力学性能的测试方法应符合本规程第 7.2.1 条和第 7.2.2 条的有关规定；

2 表中 I 类、Ⅱ类、Ⅲ类高延性混凝土的选用应符合本规程第 5.1.2 条、6.1.3 条和 A.1.4 条的规定。

4.2.2 设计应根据加固部位及其所处环境确定高延性混凝土的耐久性要求，相应的耐久性性能应满足表 4.2.2 的有关规定。

表 4.2.2 高延性混凝土的主要耐久性能指标

指标类别	等级要求	测试依据及测试方法
抗冻性能（快冻法）	$\geq F300$	GB/T 50082，快冻法
抗氯离子渗透性能（RCM 法）	$\geq RCM-IV$	GB/T 50082，快速氯离子迁移系数法（RCM 法）
抗硫酸盐侵蚀性能	$\geq KS90$	GB/T 50082

4.2.3 高延性混凝土的耐久性能应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的有关规定进行试块制作、养护及性能测试，养护龄期均为 60d。并按现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的有关规定进行等级评定。

4.2.4 高延性混凝土与基材粘结并标准养护 28d 后，与基材烧砖的正拉粘结强度不应小于 0.6MPa，或破坏形式为基材砖内聚破坏，试验方法应符合国家标准《砌体结构加固设计规范》GB 50702—2011 中附录 B 的有关规定；与基材混凝土 28d 标准养护龄期的正拉粘结强度不应小于 1.5MPa，或破坏形式为基材混凝土内聚破坏，试验方法应符合国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550—2010 中附录 E 的有关规定。

4.2.5 高延性混凝土应具有微膨胀性，且 28d 龄期的限制膨胀率不应大于 0.05%，限制膨胀率测试方法应符合国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439—2017 中附录 A 中试验方法 A 的有关规定。

4.3 计算指标

4.3.1 高延性混凝土的轴心抗压强度设计值 f_d 取值为 27.6 N/mm^2 ，轴心抗拉强度设计值 f_{td} 取值为 3.8 N/mm^2 。

4.3.2 高延性混凝土的受压弹性模量 E_d 取值为 $2.20 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 。

4.3.3 高延性混凝土的泊松比可取 0.14。

5 砌体结构加固

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于砖砌体和砌块砌体结构构件的加固设计。

5.1.2 下列房屋抗震加固时，高延性混凝土力学性能指标选用应符合表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 高延性混凝土力学性能指标选用表

适用条件	高延性混凝土力学性能
(1) 乙类设防时，抗震设防烈度为 8 度且层数为三层及三层以上的砌体结构	I 类
(2) 乙类、丙类设防时，除第 (1) 条规定情况之外的砌体结构	不低于 II 类
(3) 丁类设防的砌体结构	不低于 III 类

5.1.3 高延性混凝土加固砌体结构农村房屋的设计、施工和质量验收，可参考本规程附录 A 的有关规定。

5.2 砌体抗压加固计算

5.2.1 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固轴心受压构件时，其正截面受压承载力应按下式验算：

$$N \leq \varphi_{\text{com}} (f_{m0} A_{m0} + \alpha_{\text{de}} f_d A_d + \alpha_{\text{sd}} f'_y A'_s) \quad (5.2.1)$$

式中：N——构件轴向压力设计值；

φ_{com} ——轴心受压构件的稳定系数，可根据加固后截面的高厚比及配筋率，按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 中组合砖砌体构件稳定系数的规定

取值；

f_{m0} ——原构件砌体抗压强度实测推定值；

A_{m0} ——原构件截面面积；

α_{dc} ——抗压加固时的高延性混凝土强度利用系数，取 $\alpha_{dc} = 0.15$ ；

f_d ——高延性混凝土轴心抗压强度设计值；

A_d ——新增高延性混凝土面层的截面面积；

α_{sc} ——轴心受压构件新增钢筋强度利用系数，对砖砌体，取 $\alpha_{sc} = 0.80$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_{sc} = 0.70$ ；

f'_y ——新增竖向钢筋抗压强度设计值；

A'_s ——新增受压区竖向钢筋截面面积。

5.2.2 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固偏心受压构件时（图 5.2.2），其正截面受压承载力应按下列公式计算：

$$N \leq f_{m0} A'_m + \alpha_{dc} f_d A'_d + \alpha_{sc} f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (5.2.2-1)$$

$$N \cdot e_N \leq f_{m0} S_{ms} + \alpha_{dc} f_d S_{ds} + \alpha_{sc} f'_y A'_s (h_0 - a') \quad (5.2.2-2)$$

此时，钢筋的应力 σ_s ，应根据截面受压区相对高度 ξ ，按下列规定确定：

当 $\xi > \xi_b$ ，即小偏心受压时

$$\sigma_s = 650 - 800\xi \quad (5.2.2-3)$$

$$-f'_y \leq \sigma_s \leq f'_y - f'_y \leq \sigma_s \leq f'_y \quad (5.2.2-4)$$

当 $\xi \leq \xi_b$ ，即大偏心受压时

$$\sigma_s = f_y \quad (5.2.2-5)$$

$$\xi = x/h_0 \quad (5.2.2-6)$$

其中截面受压区高度 x ，可由下式确定：

$$f_{m0} S_{mN} + \alpha_{dc} f_d S_{dN} + \alpha_{sc} f'_y A'_s e'_N - \sigma_s A_s e_N = 0 \quad (5.2.2-7)$$

$$e_N = e + e_a + (h/2 - a) \quad (5.2.2-8)$$

$$e'_N = e + e_a - (h/2 - a') \quad (5.2.2-9)$$

$$e_a = \frac{\beta^2 h}{2200} (1 - 0.022\beta) \quad (5.2.2-10)$$

式中: A'_m ——砌体受压区的截面面积;

σ_s ——钢筋的应力, 正值为拉应力, 负值为压应力;

α_{dc} ——抗压加固时的高延性混凝土强度利用系数, 取 $\alpha_{dc} = 0.15$;

A'_d ——高延性混凝土面层受压区的截面面积;

α_{sc} ——偏心受压构件新增钢筋强度利用系数, 对砖砌体, 取 $\alpha_{sc} = 0.90$; 对混凝土小型空心砌块砌体, 取 $\alpha_{sc} = 0.80$;

e_N ——离轴向力 N 作用点较远一侧钢筋的合力点至轴向力 N 作用点的距离;

S_{ms} ——砌体受压区的截面面积对钢筋 A_s 重心的面积矩;

S_{ds} ——高延性混凝土面层受压区的截面面积对钢筋 A_s 重心的面积矩;

ξ_b ——加固后截面受压区相对高度的界限值, 对 HPB300 级钢筋, 取 0.47; 对 HRB400 级钢筋, 取 0.36;

S_{mN} ——砌体受压区的截面面积对轴向力 N 作用点的面积矩;

S_{dN} ——高延性混凝土面层受压区的截面面积对轴向力 N 作用点的面积矩;

e'_N ——离轴向力 N 作用点较近一侧钢筋的重心至轴向力 N 作用点的距离;

e ——轴向力对加固后截面的初始偏心距, 按荷载设计值计算, 当 $e < 0.05h$ 时, 取 $e = 0.05h$;

e_a ——加固后的构件在轴向力作用下的附加偏心距;

β ——加固后的构件高厚比；

h ——加固后的构件截面高度；

h_0 ——加固后的构件截面有效高度。

a 和 a' ——分别为离轴向力 N 作用点较远和较近一侧钢筋的合力点至截面外侧边缘的距离；

A_s ——距轴向力 N 较远一侧钢筋的截面面积；

A'_s ——距轴向力 N 较近一侧钢筋的截面面积。

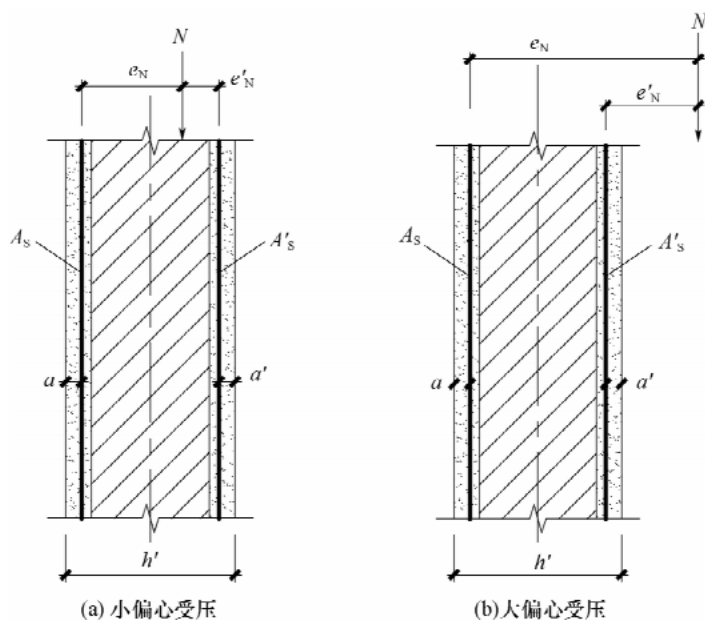


图 5.2.2 加固后的偏心受压构件

5.3 砌体抗剪加固计算

5.3.1 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，墙体的受剪承载力应按下式计算：

$$V \leq V_m + V_d \quad (5.3.1)$$

式中：V——墙体剪力设计值；

V_m ——原墙体受剪承载力，按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 计算；

V_d ——采用高延性混凝土加固后提高的受剪承载力。

5.3.2 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层采用高延性混凝土加固后提高的受剪承载力 V_d 应按下列公式计算：

$$V_d = 0.7\alpha_{dv}f_{dt}bh + V_s \quad (5.3.2-1)$$

$$V_s = 0.8\alpha_{sv}f_{yh}\frac{A_{sh}}{s}h \quad (5.3.2-2)$$

式中： f_{dt} ——高延性混凝土轴心抗拉强度设计值，按本规程 4.3.1 条的规定取值；当有可靠试验资料时，取值可根据试验结果确定；

α_{dv} ——抗剪加固时的高延性混凝土强度利用系数，可取 $\alpha_{dv} = 0.66$ ；

b ——高延性混凝土面层厚度；双面加固时，取其厚度之和；

h ——采用面层加固的墙体水平方向长度；

V_s ——墙体采用配筋面层加固后，水平钢筋承担的剪力；

α_{sv} ——抗剪加固时的钢筋强度利用系数，可取 $\alpha_{sv} = 0.9$ ；

f_{yh} ——水平向钢筋的强度设计值；

A_{sh} ——配置在同一截面内的水平向钢筋全部截面面积；

s ——水平向钢筋的间距。

5.4 砌体抗震加固计算

5.4.1 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固砌体墙的抗震受剪承载力按下式验算：

$$V_E \leq V_{R0} + \frac{V_d}{\gamma_{RE}} \quad (5.4.1)$$

式中： V_E ——墙体地震剪力设计值；

V_{R0} ——原墙体截面抗震受剪承载力，按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 计算；

V_d ——高延性混凝土加固后提高的受剪承载力，按本规程 5.3.2 条计算；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，取 γ_{RE} 为 0.85。

5.5 抗震能力计算

5.5.1 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后的砌体结构楼层和墙段应按下列公式计算其综合抗震能力指数：

$$\beta_s = \eta \psi_1 \psi_2 \beta_0 \quad (5.5.1)$$

式中： β_s ——加固后楼层或墙段的综合抗震能力指数；

η ——加固增强系数，可按本规程 5.5.3 条计算；

β_0 ——楼层或墙段原有的抗震能力指数，应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的有关方法计算；

ψ_1 、 ψ_2 ——分别为体系影响系数和局部影响系数，应根据房屋加固后的状况，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的有关规定取值。

5.5.2 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定只选择从属面积较大或竖向应力较小的墙段进行抗震承载力验算时，截面抗震受剪承载力可按下列公式验算：

$$\text{不计入构造影响时} \quad V \leq \eta_{pj} V_{R0} \quad (5.5.2-1)$$

$$\text{计入构造影响时} \quad V \leq \eta_{pj} \psi_1 \psi_2 V_{R0} \quad (5.5.2-2)$$

式中：V——墙段的剪力设计值；

η_{pij} ——加固后第 i 楼层第 j 墙段抗震能力增强系数，可按本规程式 (5.5.3-2) 确定；

V_{R0} ——墙段原有的抗震受剪承载力，可按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 的有关规定计算；但其中的材料性能设计指标、承载力抗震调整系数应按现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 的有关规定采用。

5.5.3 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，楼层和墙段抗震能力的增强系数可按下列公式计算：

$$\eta_{pi} = 1 + \frac{\sum_{j=1}^n (\eta_{pij} - 1) A_{ij0}}{A_{i0}} \quad (5.5.3-1)$$

$$\eta_{pij} = \frac{240}{t_{w0}} \left(\eta_0 + \frac{t_{w0}}{240} - 1 \right) \quad (5.5.3-2)$$

式中： η_{pi} ——高延性混凝土加固后第 i 楼层抗震能力的增强系数；

η_{pij} ——第 i 楼层第 j 墙段高延性混凝土面层加固的增强系数；

η_0 ——基准增强系数，240mm 厚墙体可按本规程表 5.5.5 取值，也可按本规程式 (5.5.5) 进行计算； η_0 大于 5.00 时，仍取 5.00；

A_{i0} ——第 i 楼层中验算方向原有抗震墙在 1/2 层高处净截面的面积；

A_{ij0} ——第 i 楼层中验算方向面层加固的抗震墙 j 墙段在 1/2 层高处净截面的面积；

n ——第 i 楼层中验算方向上的面层加固抗震墙的道数；

t_{w0} ——原墙体厚度。

5.5.4 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固采用综合抗震能力指数验算时，有关构件支承长度的影响系数应做相应改变，有关墙体局部尺寸的影响系数应取 1.0。

5.5.5 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，墙体抗震受剪承载力的基准增强系数 η_0 按下式计算：

$$\eta_0 = 1 + \frac{V_d/0.85}{V_{ME0}} \quad (5.5.5)$$

原墙体在重力荷载代表值作用下的平均竖向压应力 $\sigma_0 > 0.8f$ 时，基准增强系数 η_0 应乘以 0.8 进行折减， f 为砌体的抗压强度设计值。

式中： b ——240mm 厚原墙体的截面抗震受剪承载力，可按现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 计算。 η_0 也可按本规程中表 5.5.5 取值，当 $\sigma_0 > 0.8f$ 时，表 5.5.5 中基准增强系数 η_0 也应乘以 0.8 进行折减。

5.5.6 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，墙体侧向刚度的提高系数应按下列公式计算：

实心墙单面加固

$$\eta_k = \frac{240}{t_{w0}} \eta_{k0} - 0.75 \left(\frac{240}{t_{w0}} - 1 \right) \quad (5.5.6-1)$$

实心墙双面加固

$$\eta_k = \frac{240}{t_{w0}} \eta_{k0} - \left(\frac{240}{t_{w0}} - 1 \right) \quad (5.5.6-2)$$

式中： η_k ——加固后墙体的侧向刚度提高系数；

η_{k0} ——刚度的基准提高系数，可按本规程表 5.5.7 取值。

5.5.7 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，墙体的侧向刚度应按下列公式计算：

表 5.5.5 高延性混凝土面层加固的基准增强系数 η_0

σ_0 (N/mm ²)	面层 厚度 (mm)	立方体 抗压强度 (N/mm ²)	单面加固						双面加固					
			原墙体砌筑砂浆强度 (N/mm ²)						原墙体砌筑砂浆强度 (N/mm ²)					
			0.4	1.0	2.5	5.0	7.5	10	0.4	1.0	2.5	5.0	7.5	10
1.0	10	≥ 50	1.76	1.59	1.46	1.37	1.33	1.30	2.69	2.32	2.02	1.83	1.73	1.67
	15		2.14	1.89	1.69	1.56	1.49	1.45	3.54	2.98	2.52	2.24	2.09	2.00
	20		2.52	2.19	1.91	1.74	1.66	1.60	4.38	3.64	3.03	2.65	2.46	2.33
	25		2.90	2.48	2.14	1.93	1.82	1.75	—	4.29	3.54	3.07	2.82	2.66
0.5	10	≥ 50	2.04	1.80	1.60	1.48	1.41	1.37	3.31	2.77	2.33	2.06	1.92	1.83
	15		2.56	2.19	1.90	1.71	1.62	1.56	4.46	3.65	3.00	2.59	2.38	2.25
	20		3.08	2.59	2.20	1.95	1.83	1.75	—	4.54	3.66	3.12	2.84	2.66
	25		3.60	2.99	2.50	2.19	2.04	1.93	—	—	4.33	3.65	3.30	3.08
0.2	10	≥ 50	2.50	2.10	1.79	1.61	1.52	1.46	4.33	3.45	2.76	2.35	2.15	2.02
	15		3.25	2.65	2.19	1.91	1.77	1.69	—	4.68	3.64	3.02	2.72	2.53
	20		3.99	3.21	2.59	2.21	2.03	1.92	—	—	4.53	3.70	3.29	3.04
	25		4.74	3.76	2.98	2.52	2.29	2.15	—	—	—	4.37	3.87	3.55

注：表中“—”对应的 η_0 按 5.00 取值。

表 5.5.7 高延性混凝土面层加固时墙体侧向刚度的基准提高系数 η_{k0}

面层厚度 (mm)	立方体 抗压强度 (N/mm ²)	原墙体块材 强度等级	单面加固						双面加固					
			原墙体砌筑砂浆强度 (N/mm ²)						原墙体砌筑砂浆强度 (N/mm ²)					
			0.4	1.0	2.5	5.0	7.5	10	0.4	1.0	2.5	5.0	7.5	10
10	≥ 50	MU10	1.93	1.58	1.50	1.41	1.34	1.29	2.85	2.16	2.00	1.82	1.68	1.58
15			2.39	1.87	1.75	1.61	1.51	1.43	3.78	2.73	2.51	2.22	2.02	1.87
20			2.85	2.16	2.00	1.82	1.68	1.58	4.70	3.31	3.01	2.63	2.36	2.15
25			3.32	2.44	2.26	2.02	1.85	1.72	5.63	3.89	3.51	3.04	2.70	2.44
10	≥ 50	MU7.5	2.15	1.72	1.62	1.51	1.42	1.36	3.30	2.43	2.25	2.01	1.84	1.72
15			2.72	2.08	1.93	1.76	1.63	1.54	4.45	3.15	2.87	2.52	2.26	2.07
20			3.30	2.43	2.25	2.01	1.84	1.72	5.60	3.87	3.49	3.02	2.69	2.43
25			3.87	2.79	2.56	2.26	2.05	1.90	6.75	4.58	4.12	3.53	3.11	2.79
10	≥ 50	MU5	2.56	1.97	1.84	1.69	1.57	1.49	4.12	2.94	2.69	2.37	2.14	1.97
15			3.34	2.46	2.27	2.03	1.86	1.73	5.67	3.92	3.53	3.06	2.71	2.46
20			4.12	2.94	2.69	2.37	2.14	1.97	7.23	4.89	4.38	3.74	3.28	2.94
25			4.89	3.43	3.11	2.71	2.43	2.21	8.79	5.86	5.22	4.43	3.86	3.43

$$K = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{12EI} + \frac{\eta_1 H}{AG} \right) \alpha} \quad (5.5.7-1)$$

$$E = \frac{E_m A_m + E_d A_d}{A_m + A_d} \quad (5.5.7-2)$$

式中：K——采用高延性混凝土面层加固后墙体的侧向刚度；

E_m ——砌体的弹性模量；

E_d ——高延性混凝土面层的弹性模量；

A_m ——砌体的横截面面积；

A_d ——高延性混凝土面层的横截面面积；

G ——加固砖墙的剪切模量，取 $G = 0.4E$ ；

η_1 ——截面剪应变不均匀系数，取 $\eta_1 = 1.2$ ；

α ——竖向压应力影响系数，保守取 $\alpha = 1.0$ ；

H ——墙体竖向高度；

I 、 A ——采用高延性混凝土面层加固后，组合截面惯性矩和组合截面面积。

5.6 构造要求

5.6.1 采用高延性混凝土加固墙体应符合下列一般规定：

1 加固砌体的高延性混凝土面层宜双面设置，单侧面层厚度不应小于 10mm；当采用单面加固时，面层厚度不应小于 15mm。受压加固时，宜适当增加面层厚度；

2 高延性混凝土面层厚度大于 30mm 时，宜在面层中配置钢筋网片及拉结筋，钢筋直径不宜小于 6mm；竖向钢筋及水平钢筋的间距不宜大于 300mm；双面加固时采用 S 形拉结筋间距不宜大于 900mm，单面加固时采用 L 形锚筋间距不宜大于 600mm，具体配筋应根据实际工程由计算确定；

3 加固用的钢筋，宜选用 HPB300 级或 HRB400 级普通钢

筋。竖向钢筋的连接宜优先采用焊接，钢筋焊接应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定；当钢筋采用机械连接时，应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的有关规定。受力钢筋保护层厚度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

4 配筋高延性混凝土面层中的竖向钢筋，宜采用等代集中配置穿板连接筋的方式穿过楼板；对于预制楼板，宜从板缝之间穿过；

5 原砌筑砂浆实测推定强度低于 1.0MPa 时，高延性混凝土与墙体之间宜采用局部嵌缝等方式进行处理，嵌缝位置宜采用梅花状布置，竖向和水平净间距不大于 600mm，嵌缝深度不宜小于 10mm；

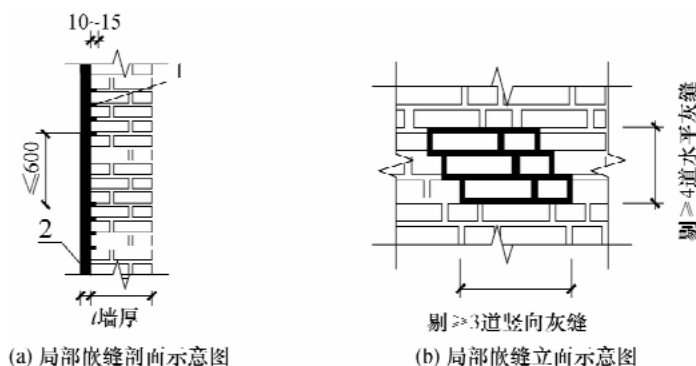


图 5.6.1 高延性混凝土局部嵌缝示意图

1—高延性混凝土嵌缝；2—高延性混凝土

6 采用高延性混凝土加固时，应采取措施防止面层端部剥离破坏。可在墙上开槽将面层端部嵌入墙内或采用嵌缝、L 形倒角等形式加强端部锚固；

7 高延性混凝土加固遇门窗洞口时，单面加固宜将面层延

伸至门窗框边锚固，双面加固宜将两侧的面层在洞口处闭合或延伸至门窗框边锚固；

8 独立承重砖柱可采用高延性混凝土面层围套加固，面层厚度不宜小于 20mm；当面层厚度大于 30mm 时，宜配置竖向钢筋和闭合箍筋，竖向钢筋宜采用 HRB400 级钢筋、直径不宜小于 10mm，闭合箍筋的直径不宜小于 6mm、间距不宜大于 150mm，具体配筋应根据实际工程由计算确定。

5.6.2 采用高延性混凝土对墙体进行抗压加固时，尚应符合以下要求：

1 采用高延性混凝土面层加固，当单侧面层厚度大于 20mm 时，宜采用拉结件增强面层与墙体的可靠拉结，拉结件的间距不宜大于 600mm，且宜为梅花状布置。对多孔砖砌体和砌块砌体墙，拉结件的钻孔位置应选择竖向灰缝处，灰缝不饱满时，应采用结构胶或灌浆料将孔洞填实；

2 当窗间墙高宽比大于 4 时，应采用高延性混凝土四面围套的形式进行加固（图 5.6.2），面层厚度不宜小于 20mm。高延性混凝土面层厚度大于 30mm 时，应设置竖向钢筋和水平闭合钢筋，竖向钢筋和水平钢筋间距均不应大于 300mm，竖向钢筋直径不宜小于 8mm，水平闭合钢筋直径不宜小于 6mm；

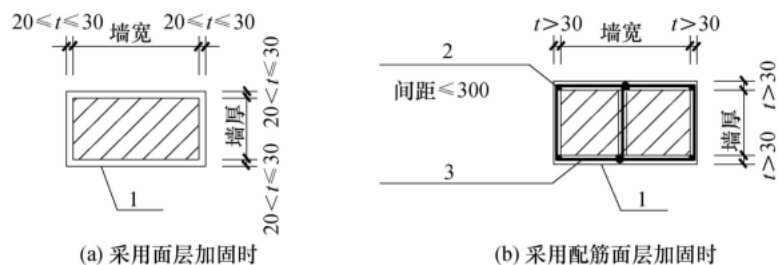


图 5.6.2 高宽比大于 4 的窗间墙四面加固做法平面示意图

1—高延性混凝土面层；2—竖向钢筋；3—水平闭合钢筋

3 配筋高延性混凝土面层中纵向受力钢筋的上端宜锚入有配筋的混凝土构件内，伸入地下一端应锚固在基础内，锚固应采用锚固型结构胶，结构胶的性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 中对结构胶粘剂安全性鉴定的相关规定；

4 底层墙体的高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层，应向下延伸至基础顶面。

5.6.3 采用高延性混凝土对墙体进行抗剪和抗震加固时，尚应符合以下要求：

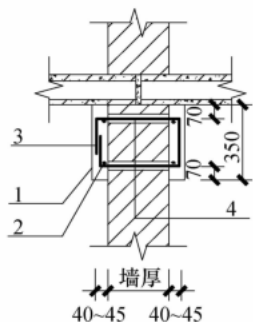
1 底层墙体的高延性混凝土面层，在室外应伸入地面以下 200mm 或伸至地圈梁顶面；室外地面长期处于潮湿环境时，宜伸至基础顶面；

2 底层墙体的配筋高延性混凝土面层，在室外宜伸入地面以下 500mm 或伸至地圈梁顶面；室外地面长期处于潮湿环境时，宜伸至基础顶面。

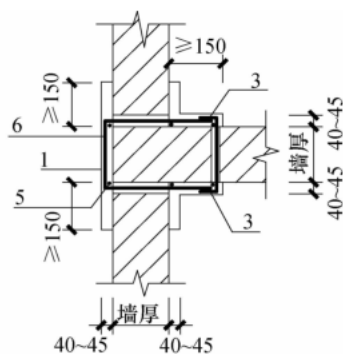
5.6.4 抗震措施不足时，可采用下列方法进行加固：

1 当圈梁和构造柱设置不满足要求时，可采用高延性混凝土-砌体组合圈梁和高延性混凝土-砌体组合构造柱对房屋进行整体性加固，见图 5.6.4。高延性混凝土-砌体组合圈梁和配筋时的高延性混凝土-砌体组合构造柱的面层厚度不宜小于 40mm，不配筋的高延性混凝土-砌体组合构造柱面层厚度宜取 30mm，且只适用于两层及两层以下、标准设防的砌体房屋加固，见图 5.6.4c、图 5.6.4（e）；

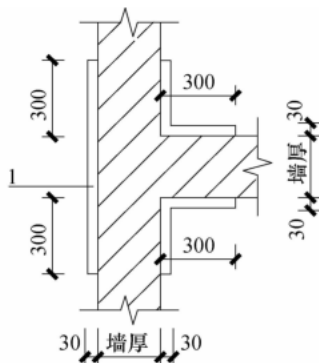
2 高延性混凝土-砌体组合圈梁和组合构造柱的纵向钢筋宜采用 HRB400 级钢筋，闭合箍筋宜采用 HPB300 级钢筋；组合圈梁和组合构造柱的纵筋直径分别不宜小于 10mm 和 12mm，箍筋直径分别不宜小于 6mm 和 8mm，箍筋间距不宜大于 300mm；



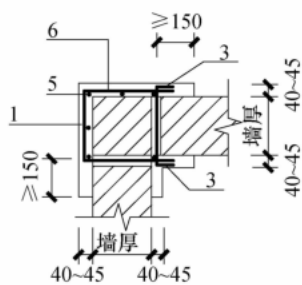
(a) 高延性混凝土-砌体组合圈梁做法



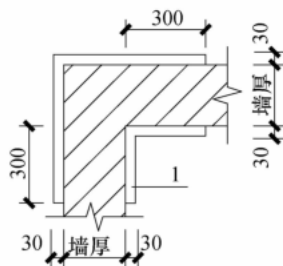
(b) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法1



(a) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法2



(d) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法3



(c) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法4

图 5.6.4 高延性混凝土-砌体组合圈梁及组合构造柱做法示意图

1—高延性混凝土；2—组合圈梁纵筋；3—单面搭接焊；

4—组合圈梁闭合箍筋；5—组合构造柱纵筋；6—组合构造柱闭合箍筋

3 原结构未设置构造柱且房屋高宽比大于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 及《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 对房屋高宽比的限值要求时,宜在加固内、外墙体上下层楼盖处的高延性混凝土面层内设置竖向钢筋保证上下层加固面层的可靠连接。

5.6.5 墙体裂缝宽度大于1mm且裂缝数量较多时,对裂缝进行处理后,可对整片墙体采用高延性混凝土面层进行加固,面层最小厚度按表5.6.5取值。

表 5.6.5 高延性混凝土面层最小厚度

砌体构件材料类别	砖砌体	砌块砌体	石砌体
面层厚度 (mm)	15	15	20

5.6.6 砖过梁或钢筋砖过梁可按下列规定进行加固:

1 对净跨度 $l_n \leq 1.5\text{m}$ 的砖过梁或钢筋砖过梁,当过梁中部竖向裂缝宽度不大于2mm或过梁端部斜裂缝宽度不大于1mm时,可在过梁部位压抹高延性混凝土水平条带进行加固,高延性混凝土在洞口边应压抹至窗框边缘或闭合,条带厚度可按表5.6.5取值,见图5.6.6-1;

2 对净跨度 $1.5\text{m} < l_n \leq 1.8\text{m}$ 的砖过梁或钢筋砖过梁,当砖过梁中部产生宽度大于2mm的竖向裂缝,或端部产生宽度大于1mm的斜裂缝,或过梁产生明显弯曲、下沉变形时,应在过梁底部位增设2根直径不小于10mm的水平钢筋,再采用高延性混凝土水平条带进行加固,钢筋在两端延伸至支座处长度为250mm,见图5.6.6-2。当砖过梁或钢筋砖过梁净跨度 $1.8\text{m} < l_n \leq 2.1\text{m}$ 时,过梁底部位增设的水平钢筋直径不应小于12mm。

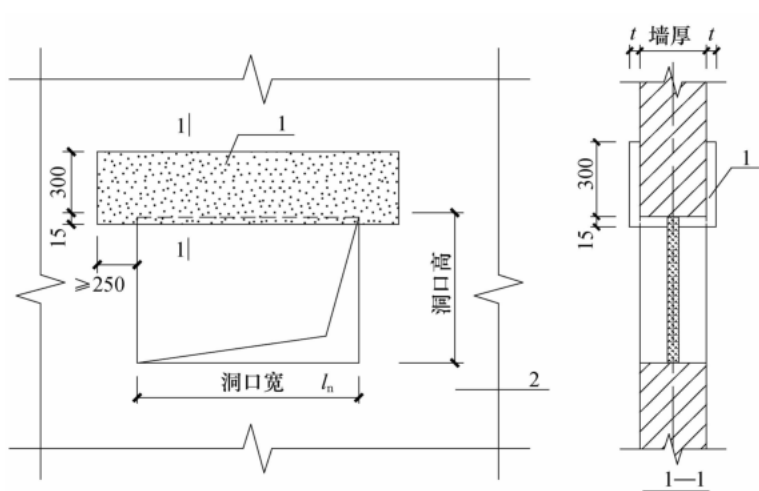


图 5.6.6-1 门窗洞口过梁加固示意图 1

1—高延性混凝土条带；2—原墙体

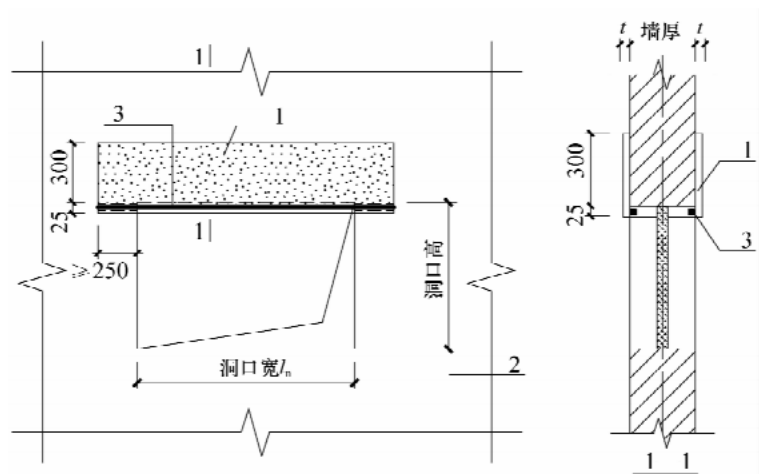


图 5.6.6-2 门窗洞口过梁加固示意图 2

1—高延性混凝土条带；2—原墙体；3—水平钢筋

6 混凝土构件加固

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于钢筋混凝土剪力墙、梁抗剪加固及钢筋混凝土柱正截面抗压加固的设计、施工和质量验收。

6.1.2 采用高延性混凝土增大截面法加固混凝土结构构件时，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。

6.1.3 加固混凝土结构构件时，应采用Ⅰ类或Ⅱ类高延性混凝土，并应满足设计要求。

6.1.4 采用高延性混凝土增大截面法时，原构件混凝土强度评定值不应低于 13MPa，且强度等级不宜高于 C50。

6.1.5 采用高延性混凝土增大截面法进行加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

6.2 钢筋混凝土剪力墙抗剪加固计算

6.2.1 采用高延性混凝土增大截面法加固剪跨比不大于 1.5 的偏心受压剪力墙构件时，其加固后的受剪截面应符合下列条件：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [0.2\beta_c(f_c b + 0.35f_d b_d)h_0] \quad (6.2.1)$$

式中：V——构件的剪力设计值；

β_c ——混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 $\beta_c = 1.0$ ；

f_c ——原构件混凝土抗压强度设计值；

b ——加固前剪力墙截面宽度；

f_d ——高延性混凝土轴心抗压强度设计值；

b_d ——高延性混凝土面层厚度，双面加固时取其厚度之和；

h_0 ——加固后剪力墙截面有效高度；

γ_{RE} ——剪力墙的正截面承载力抗震调整系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值。

6.2.2 采用高延性混凝土加固剪跨比不大于 1.5 的偏心受压的剪力墙构件时，其斜截面受剪承载力应按下列公式计算：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (V_m + V_d) \quad (6.2.2)$$

式中： V ——墙体剪力设计值；

V_m ——原剪力墙斜截面受剪承载力，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算；

V_d ——高延性混凝土面层加固后剪力墙受剪承载力提高值，按本规程第 6.2.3 条计算。

6.2.3 采用高延性混凝土增大截面法加固后剪力墙的受剪承载力提高值 V_d 应按下列公式计算：

$$V_d = \alpha_d \alpha_{dv} f_{dt} b_d h_0 + V_s \quad (6.2.3-1)$$

$$V_s = \alpha_s f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_0 \quad (6.2.3-2)$$

式中： α_d ——高延性混凝土面层的强度利用系数，加固剪力墙时，可取 $\alpha_d = 0.7$ ；

α_{dv} ——高延性混凝土面层的受剪承载力系数，可取 $\alpha_{dv} = 0.66$ ；

b_d ——高延性混凝土面层厚度，双面加固时取其厚度之和；

V_s ——剪力墙采用配筋面层加固后，水平钢筋承担的剪力；

α_s ——新增水平钢筋的强度利用系数，可取 $\alpha_s = 0.9$ ；

f_{yh} ——水平方向钢筋的强度设计值；

A_{sh} ——配置在同一截面内的水平分布钢筋全部截面面积；

s ——水平分布钢筋的竖向间距。

6.3 钢筋混凝土梁抗剪加固计算

6.3.1 采用高延性混凝土增大截面法对钢筋混凝土梁抗剪加固时，其加固后的受剪截面应符合下列条件：

1 当 $h_w/b' \leq 4$ 时

$$V \leq 0.25\beta_c (f_c b + 0.35f_d b_d) h_0 \quad (6.3.1-1)$$

2 当 $h_w/b' \geq 6$ 时

$$V \leq 0.20\beta_c (f_c b + 0.35f_d b_d) h_0 \quad (6.3.1-2)$$

3 当 $4 < h_w/b' < 6$ 时，按线性内插法确定。

式中： h_w ——截面腹板高度；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；

V ——构件的剪力设计值；

b' ——加固后梁截面宽度；

b ——加固前梁截面宽度。

6.3.2 当增设配筋高延性混凝土面层三面围套，并采用加锚式或胶锚式箍筋时（图 6.3.2），梁构件斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq \alpha_{cv} [f_{t0} b h_{01} + \alpha_d f_{dt} A_d] + f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_{01} + \alpha_s f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{02} \quad (6.3.2)$$

式中： α_{cv} ——斜截面混凝土受剪承载力系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值；

f_{t0} ——原构件混凝土轴心抗拉强度设计值；

h_{01} ——加固前截面有效高度；

α_d ——高延性混凝土面层的强度利用系数，可取 $\alpha_d = 0.7$ ；
 h_{02} ——加固后截面有效高度；
 f_{yv0} ——原箍筋的抗拉强度设计值；
 A_d ——构件两侧高延性混凝土面层的总截面面积，此时

$$A_d = 2th_{02}$$
；
 A_{sv0} ——同一截面内原箍筋的各肢截面面积之和；
 s_0 ——原箍筋沿构件长度方向的间距；
 α_s ——新增箍筋的强度利用系数，可取 $\alpha_s = 0.9$ ；
 f_{yv} ——新增箍筋的抗拉强度设计值；
 A_{sv} ——同一截面内新增箍筋的各肢截面面积之和；
 s ——新增箍筋沿构件长度方向的间距。

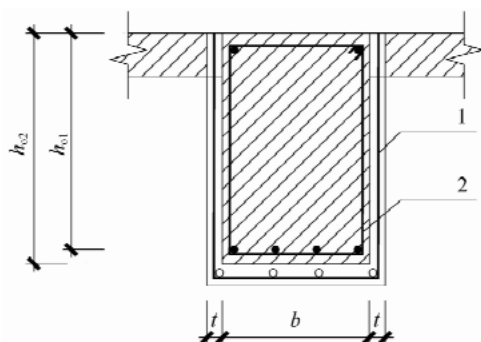


图 6.3.2 高延性混凝土三面围套加固钢筋混凝土受弯构件示意图

1—新增箍筋；2—原有箍筋

6.4 钢筋混凝土柱正截面抗压加固计算

6.4.1 采用高延性混凝土增大截面法加固钢筋混凝土轴心受压构件时（图 6.4.1），其正截面受压承载力应按下式确定：

$$N \leq 0.9\varphi [f_c A_c + f'_{y0} A'_{s0} + \alpha_{ds} (f_d A_d + f'_s A'_s)] \quad (6.4.1)$$

式中： N ——构件轴向压力设计值；

- 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_c ——构件加固前混凝土截面面积，当纵筋配筋率大于 3% 时应减去钢筋截面面积；
- A_d ——构件新增高延性混凝土总截面面积；
- $f_y'、f_{y0}'$ ——新增纵向钢筋和原纵向钢筋的抗压强度设计值，其取值不应超过 400N/mm^2 ；
- $A_s'、A_{s0}'$ ——新增纵向受压钢筋和原纵向受压钢筋的截面面积；
- α_{ds} ——综合考虑新增高延性混凝土和钢筋强度利用程度的降低系数，取值为 0.50；当有充分试验依据时， α_{ds} 值可做适当调整；
- f_d ——高延性混凝土轴心抗压强度设计值，按本标准 4.3.1 条取值。

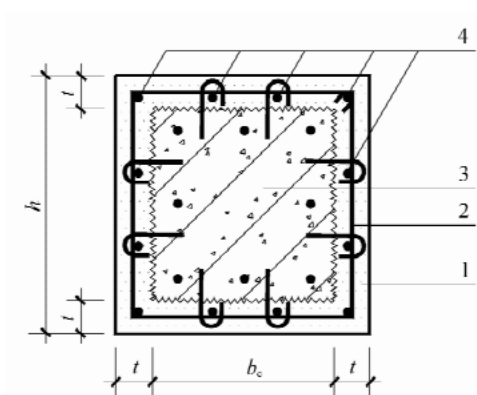


图 6.4.1 高延性混凝土围套加固钢筋混凝土柱示意图

1—高延性混凝土；2—新增箍筋；3—原柱子截面；4—新增纵向受力钢筋

6.5 抗震加固计算

6.5.1 采用高延性混凝土加固的梁、柱构件，考虑地震作用组合时，截面承载力计算除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定，且其受剪截面应符合下列条件：

跨高比大于 2.5 的梁和连梁及剪跨比大于 2 的柱：

$$V_E \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [0.20\beta_c (f_c b + 0.35f_d b_d) h_0] \quad (6.5.1-1)$$

跨高比不大于 2.5 的梁和连梁及剪跨比不大于 2 的柱：

$$V_E \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [0.15\beta_c (f_c b + 0.35f_d b_d) h_0] \quad (6.5.1-2)$$

剪跨比的计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

式中： V_E ——加固后的混凝土构件考虑地震组合的剪力设计值；

f_c ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值；

b ——加固前的梁、柱截面宽度；

b_d ——高延性混凝土面层厚度，双面加固时取其厚度之和；

h_0 ——加固后构件截面有效高度；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定取值。

6.6 构造要求

6.6.1 加固混凝土结构的高延性混凝土面层的最小厚度不应小于 15mm，当面层厚度大于 30mm 时，应在面层内增设钢筋。

6.6.2 加固用的钢筋，宜选用 HPB300 级和 HRB400 级普通钢筋；受力钢筋直径不应小于 8mm；加锚式钢筋和胶锚式钢筋直径

不应小于8mm，当构件原有箍筋直径大于8mm时，加锚式钢筋和胶锚式钢筋直径宜与原箍筋直径相同；分布筋直径不应小于6mm。

6.6.3 采用高延性混凝土增大截面法进行钢筋混凝土梁抗剪加固时，新增钢筋的构造应满足下列规定：

1 增大截面法配置的新增箍筋，可采用加锚式或胶锚式构造，见图6.6.3；

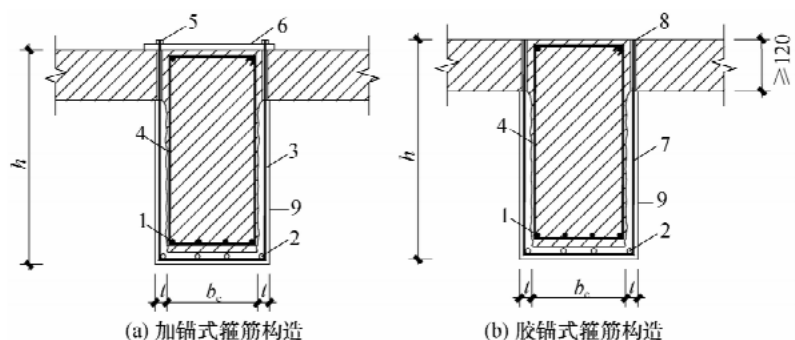


图6.6.3 增大截面法配置新增箍筋的连接构造

- 1—原钢筋；2—新增受力钢筋；3—加锚式箍筋；4—原箍筋；
5—螺栓、螺帽拧紧后加电焊；6—钢板；7—胶锚式箍筋；
8—孔中用结构胶锚固；9—高延性混凝土

2 胶锚式钢筋的锚固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。结构胶的性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 中对结构胶粘剂安全性鉴定的相关规定，且结构胶的施工质量应满足现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的相关要求。

6.6.4 高延性混凝土加固钢筋混凝土剪力墙的构造应满足图6.6.4-1和图6.6.4-2 的要求。高延性混凝土面层加固时宜设置T

形剪切销钉，剪切销钉直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 600mm，宜采用梅花状布置；T 形剪切销钉和 L 形锚筋应采用化学植筋的方式锚入剪力墙混凝土内部，锚入深度不应小于 60mm，与深度方向垂直的钢筋长度不应小于 40mm，钻孔直径比 T 形剪切销钉或 L 形锚筋直径大 2mm。配筋高延性混凝土面层中竖向和水平分布钢筋的间距均不宜大于 300mm，钢筋网中 S 形拉结筋、L 形锚筋的直径不宜小于 6mm，间距不宜大于 600mm，宜采用梅花状布置。

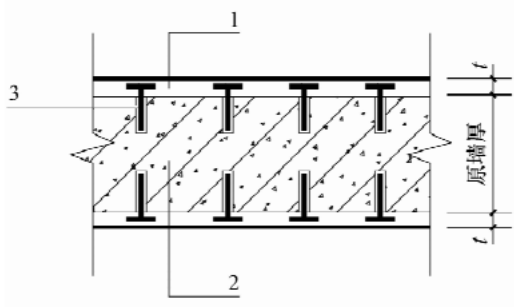


图 6.6.4-1 高延性混凝土面层加固钢筋混凝土剪力墙构造

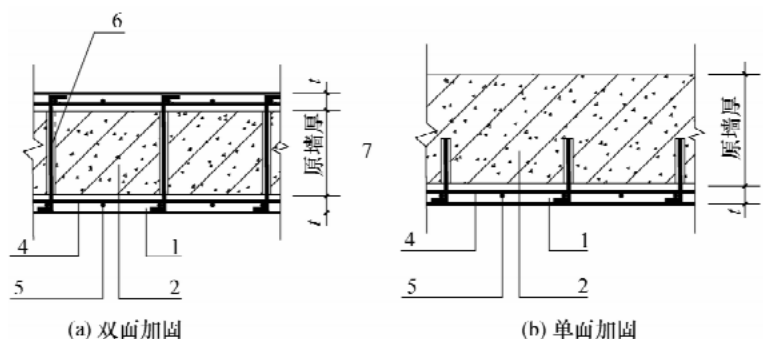


图 6.6.4-2 配筋高延性混凝土面层加固钢筋混凝土剪力墙构造

1—高延性混凝土；2—原剪力墙截面；3—T 形剪切销钉；4—新增水平分布钢筋；

5—新增竖向分布钢筋；6—S 形拉结筋；7—L 形锚筋

6.6.5 高延性混凝土增大截面法加固钢筋混凝土受压构件时，钢筋的构造应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的有关规定。新增的纵筋应采用锚筋与原柱构件有可靠拉结，锚筋的直径不应小于 6mm，锚筋的上下间距不应大于 500mm，锚筋的锚固应满足现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的有关规定。

7 施工与验收

7.1 施 工

7.1.1 高延性混凝土加固砌体结构或混凝土结构构件施工准备应符合下列规定：

1 加固施工使用的机具应满足施工需求，且性能应稳定可靠；

2 抗压加固时，应卸除构件上部活荷载，必要时应设置临时支撑；

3 施工脚手架应符合施工方案要求，搭设完成并经验收合格后方可使用；

4 宜在施工现场加固构件旁采用相同材料和施工工艺制作施工样板。

7.1.2 高延性混凝土加固砌体结构或混凝土结构构件的施工工序应符合下列规定：

1 清理原构件表面装饰层；

2 砌体表面凿缝或开槽或混凝土表面凿毛处理；

3 设计方案中有钢筋网或拉结件时，安装钢筋网、拉结件及剪切销钉；

4 清理浮灰；

5 浇水润湿构件表面；

6 制作灰饼；

7 压抹或喷射高延性混凝土；

8 保湿养护。

7.1.3 高延性混凝土加固砌体结构或混凝土结构构件应按下列

规定进行施工质量控制：

1 结构加固设计单位应向施工单位进行技术交底；施工单位应编制施工组织设计和施工技术方案，经审查批准后组织实施；

2 加固工程采用的钢材和高延性混凝土材料应按照现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 和本规程第 7.2 节的有关规定进行现场见证取样复检；

3 加固施工前，应对原结构、构件进行清理、修整和支护；清理、修整和支护的具体要求应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的有关规定；

4 加固工程的每道工序均应按本规程及国家现行相关标准的规定进行质量控制；每道工序完成后应进行检查验收；合格后方可进行下一道工序的施工；

5 相关各专业工种交接时，应进行交接检验，并应经监理工程师检查认可。

7.1.4 原砌体构件表面碱蚀严重时，应先清除松散部分并用高延性混凝土修补，已松动的勾缝砂浆应剔除。原混凝土构件表面有装饰层或油污时，应先将装饰层和油污清理干净，已松动的混凝土应剔除；在清理、修整原结构、构件过程中发现的裂缝和损伤，应逐个予以修补，当修补有困难时，应进行局部拆砌或置换。

7.1.5 采用高延性混凝土增大截面加固法加固混凝土结构构件时，原构件混凝土表面应凿毛处理，完整凿除表层混凝土的深度不应小于 5mm，且凿毛后的表面凹凸差不应小于 5mm，并宜在原混凝土构件表面设置剪切销钉。

7.1.6 当设计需要增设钢筋、拉结件或剪切销钉时，其制作和安装应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规

范》GB 50550 对钢筋网安装或植筋工程的有关规定。

7.1.7 高延性混凝土应在工厂采用干混料预拌方式制备，在施工现场按产品使用说明书的要求加水搅拌而成，应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌机转速不宜小于 45r/min ，宜按以下顺序进行搅拌：先加水，在搅拌过程中加入干混料并搅拌均匀后加入纤维，待纤维分散均匀、手摸无聚团后停止搅拌。

7.1.8 高延性混凝土拌合物应具有良好的和易性，且不得离析、泌水，纤维分散均匀，手摸无结团，使用过程中不得受冻，并应满足设计和施工要求。

7.1.9 用于结构加固的高延性混凝土，其拌合物用于压抹施工时，稠度宜为 $25\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，用于喷射施工时，稠度宜为 $60\text{mm} \sim 80\text{mm}$ ；高延性混凝土拌合物稠度的测试方法应符合现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 的相关规定。

7.1.10 高延性混凝土可采用压抹或喷射工艺进行施工，喷射施工应采用湿喷法，施工前应提前对构件表面反复浇水润湿，并待构件表面湿润无明显水后再进行高延性混凝土施工。

7.1.11 构件拐角处及加腋部位的高延性混凝土应连续施工，面层厚度较大时，可分层压抹或喷射施工，单次压抹厚度不宜超过 15mm ，单次喷射厚度不宜超过 20mm ，且应在前一层压抹后 4h 内进行下一层高延性混凝土压抹或喷射施工。

7.1.12 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层施工完成后，应在高延性混凝土终凝后及时对其进行保湿养护，养护时间不应少于 7d 。日平均气温低于 10°C 时，养护时间不宜少于 14d 。冬期施工时，高延性混凝土的养护应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定。

7.1.13 高延性混凝土的季节性施工应符合下列规定：

1 高延性混凝土施工时环境温度不宜低于 5℃，且不宜进行冬期室外施工；

2 高延性混凝土冬期施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的有关规定。冬期施工应制定有针对性的施工方案，并对相关人员进行施工培训；

3 雨天不宜进行外墙高延性混凝土施工，如施工时，应采取防雨措施，且高延性混凝土终凝前不应受雨淋；

4 在高温、多风、空气干燥的季节进行室内高延性混凝土施工时，宜对门窗进行封闭；

5 夏季施工时，高延性混凝土应随拌随用，分层压抹高延性混凝土时，后一层高延性混凝土应在前一层高延性混凝土压抹后 4h 内及时进行压抹；

6 夏季气温高于 30℃ 时，高延性混凝土面层施工后应采取措施减缓水分蒸发，并应加强保湿养护。

7.2 材料检测

7.2.1 测定高延性混凝土力学性能的试块，其制作及养护方法应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定，采用振动台振实，振动时间宜为 60s ~ 90s。试块的标准尺寸应符合下列规定：

1 测定立方体抗压强度的标准试块尺寸为 100mm × 100mm × 100mm；

2 测定抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性的标准试块尺寸为 40mm × 40mm × 160mm。

7.2.2 高延性混凝土力学性能测定方法应符合下列规定：

1 按现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定测试和评定立方体抗压强度，且不再进

行尺寸换算系数折减；

2 按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 的有关规定进行抗折试验，测试和评定高延性混凝土的抗折强度；

3 按本规程附录 B 的方法测定高延性混凝土的等效弯曲强度和等效弯曲韧性，其代表值取 3 个试块测试结果的算术平均值。

7.2.3 高延性混凝土材料进场时，应按下列规定进行检查和复检：

1 高延性混凝土材料进场时应检查产品使用说明书、出厂检测报告或产品合格证、产品性能全项检测报告或型式检验报告等质量证明文件，全项检测报告应包含本规程第 4.2.1 条、4.2.2 条、4.2.4 条、4.2.5 条规定的所有检测项目，且检测结果应满足本规程的相关规定；

2 高延性混凝土材料进场后应见证取样复检其等效弯曲韧性、等效弯曲强度、抗折强度和立方体抗压强度，检测合格后方可用于施工，进场复检的检测和评定方法应符合本规程附录 C 的有关规定。

7.2.4 现场加固用的高延性混凝土标准养护 60d 龄期的力学性能应满足本规程表 4.2.1 的要求，同时应符合设计要求。用于检测高延性混凝土力学性能的试块，应在监理工程师见证下，在施工现场随机抽取，并按本规程第 7.2.1 条和第 7.2.5 条的规定进行制作和养护。

7.2.5 高延性混凝土力学性能检测的试块留置应符合下列规定：

1 进场见证取样复检的试块，每一批次留置不应少于 1 组，每组均应包含立方体抗压强度、抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性的试块；

2 用于检测高延性混凝土标准养护 60d 龄期力学性能的试块，在施工现场随机抽取，每一批次留置不应少于 3 组，每组均应包含立方体抗压强度、抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性的试块。

7.2.6 高延性混凝土的耐久性能，应按本规程第 4.2.3 条的规定进行检测和评定，其评定结果应符合本规程第 4.2.2 条的规定，同时应满足设计要求。

7.2.7 其他加固材料或产品应按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的有关规定进行验收。

7.3 质量验收

I 一般规定

7.3.1 高延性混凝土材料应进行进场复检，复检合格后方可用于施工。进场复检按同一厂家、同一生产批次、同一进场时间每 60t 成品干混料和纤维为一个检测批，不足 60t 也按一个检测批计。

7.3.2 高延性混凝土加固工程施工过程中，尚应按本规程第 7.2.4 条的规定抽样留置试块，检测高延性混凝土力学性能。试块应按检验批抽样留置，检验批的划分与本规程第 7.3.4 条的规定相同。

7.3.3 高延性混凝土加固砌体结构或加固混凝土结构构件作为建筑结构加固工程的一个子分部工程，可划分为原构件修整、钢筋加工与焊接、钢筋安装与锚固、高延性混凝土施工共四个分项工程。其中原构件修整、钢筋加工与焊接、钢筋安装与锚固按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的有关规定进行质量验收；高延性混凝土施工按本规程有关规定

进行质量验收。

7.3.4 高延性混凝土加固工程的施工质量检验应按检验批进行，检验批的划分应符合下列规定：

1 加固砌体结构施工时，以加固的 50 个自然间为一个检验批，不足 50 间的也划分为一个检验批；大面积房间和走廊按 30m^2 为一间为一个检验批；

2 加固混凝土构件施工时，以同一个单体工程的每 100 个同类构件为一个检验批，不足 100 个构件时也划分为一个检验批。

7.3.5 检验批抽样样本及试块留置均应随机抽取，并应满足分布均匀、具有代表性的要求。检验批合格质量标准应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验合格；

2 一般项目的质量经抽样检验合格；当采用计数检验时，除本规程另有规定外，其抽检的合格点率应不低于 80%，且不得有严重缺陷；

3 具有完整的施工操作依据、质量检查记录及质量证明文件。

7.3.6 分项工程的质量验收，应在其所含检验批均验收合格的基础上，按本规程规定的检验项目，对各检验批中每项质量验收记录及其合格证明文件进行检查。

7.3.7 分项工程合格质量标准应符合下列规定：

1 分项工程所含的各检验批，其质量均符合本规程的合格质量规定；

2 分项工程所含的各检验批，其质量验收记录和有关证明文件完整。

7.3.8 高延性混凝土加固砌体结构的检验批、分项工程、子分

部工程的质量验收，可按本规程附录 D 的格式填写质量验收记录。

7.3.9 高延性混凝土加固工程的竣工验收，应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的有关规定。

II 主控项目

7.3.10 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层，其外观质量不应有严重缺陷。硬化后高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层的缺陷应按表 7.3.10 进行检查和评定。对已出现的问题应由施工单位提出处理方案，经业主、监理单位和设计单位共同认可后进行处理并应重新检查、验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查技术处理方案及施工记录。

表 7.3.10 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层外观质量缺陷

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
露筋	钢筋网或拉结件未被高延性混凝土包裹而外露	受力钢筋外露	按构造要求设置的钢筋有少量外露
疏松	高延性混凝土局部不密实	构件主要受力部位有疏松	其他部位有少量疏松
夹杂异物	高延性混凝土中夹有异物	构件主要受力部位夹有异物	其他部位夹有少量异物
硬化/固化不良	高延性混凝土材料失效，致使面层不硬化（或固化）	任何部位不硬化（或固化）	（不属于一般缺陷）

续表 7.3.10

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
裂缝	缝隙从高延性混凝土面层表面延伸至内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能的裂缝	仅有表面细裂纹
连接部位缺陷	构件端部连接处高延性混凝土面层分离或锚固件与面层之间松动、脱落	连接部位有影响结构传力性能的缺陷	连接部位有轻微影响或不影响传力性能的缺陷

7.3.11 高延性混凝土与基材界面粘结的施工质量，可采用现场锤击法或其他探测法进行探查。按探查结果确定的有效粘结面积与构件总粘结面积之比的百分率不小于 90% 进行合格判定。

检查数量：每一检验批抽取 5%，且不应少于 5 处。

检验方法：用小锤轻击或其他探测方法查空鼓。

7.3.12 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层的厚度不应小于设计要求，且面层厚度证偏差不应大于 +10mm、不应出现负偏差。面层厚度检测误差不应大于 1mm，抽样合格率不应小于 90%。

检查数量：每一检验批抽取 5%，且不应少于 5 处。

检验方法：局部凿开后用钢尺测量。

7.3.13 新增钢筋、剪切销钉及各种锚固件、预埋件的锚固、连接、安装应符合设计文件、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 以及本规程的相关要求；钢筋锚固的长度或深度应符合设计要求，锚固螺栓应紧固，锚孔注胶应密实；并应在高延性混凝土施工前进行隐蔽工程验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查；观察检查；用扳手检查；核查隐蔽工程验收记录。

III 一般项目

7.3.14 高延性混凝土面层中配置钢筋时，应对钢筋的保护层厚度进行检测，可采用局部凿开检查法或非破损探测法。钢筋网保护层厚度正偏差不应大于 5mm 且不应出现负偏差，检测误差不应大于 1mm。

检查数量：每一检验批抽取 5%，且不应少于 5 处。

检验方法：局部凿开后用钢尺测量，或采用非破损探测方法检测。

7.3.15 高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层，其外观质量不宜有一般缺陷。对已出现的一般缺陷，应由施工单位按技术方案进行处理，并重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、量测并检查技术处理方案。

附录 A 砌体结构农村房屋加固

A.1 一般规定

A.1.1 本章适用于山东省农村一、二层砖砌体和砌块砌体结构房屋的上部砌体结构构造加固。

A.1.2 高延性混凝土加固农村房屋应做到加固有设计、施工有监督、竣工有验收。

A.1.3 高延性混凝土加固农村房屋，除应符合本规程要求外，尚应符合国家及山东省现行有关标准的规定。

A.1.4 采用条带加固农村房屋时，应选用Ⅰ类或Ⅱ类高延性混凝土；采用面层加固农村房屋时，可选用Ⅲ类高延性混凝土。

A.2 基本要求

A.2.1 农村房屋加固应综合考虑房屋功能改造要求和消防、疏散、防洪、抗风雪、防雷击、防地质灾害等防灾要求。

A.2.2 当基础无腐蚀、酥碱、松散和剥落，上部结构无不均匀沉降裂缝和倾斜，或虽有裂缝、倾斜但不严重且无发展趋势时，应以加强上部结构的整体性为主；当地基基础沉降和上部结构开裂、倾斜仍在发展时，应先对地基基础进行加固，再进行上部结构加固处理。

A.2.3 承接农村房屋加固改造项目的建筑工匠或施工单位的技术人员，应经过专门的技术培训。

A.2.4 农村砌体房屋加固时，宜采用单面外侧加固，当砌体结构构件砌筑质量很差时，宜采用双面加固。

A.3 砌体结构农村房屋整体性加固

A.3.1 采用高延性混凝土条带加固砌体结构农村房屋，应同时设置竖向和水平条带，单面加固时条带宜设置在墙体外侧。高延性混凝土施工时，墙体拐角处及水平和竖向条带相交处应连续压抹，严禁在此部位留施工冷缝。

A.3.2 根据抗震设防烈度不同，高延性混凝土加固砌体结构农村房屋的条带最小宽度和最小厚度可按表 A.3.2 取值。

表 A.3.2 高延性混凝土条带最小厚度和最小宽度 (mm)

设防烈度		6 度	7 度	8 度
条带厚度		10	15	15
竖向条带宽度	<i>a</i>	600	1000	1500
	<i>b</i>	600	800	1200
水平及墙顶条带宽度		600	800	1000

注：表中 *a* 表示外墙拐角处高延性混凝土竖向条带宽度；*b* 表示外墙中部高延性混凝土竖向条带宽度；*c* 表示楼/屋盖处或墙顶高延性混凝土条带宽度。

A.3.3 高延性混凝土条带加固部位对应的墙面应采用高延性混凝土嵌缝处理，嵌缝深度不应小于 10mm。砖砌体墙的高延性混凝土竖向条带和水平条带嵌缝可分别参照图 A.3.3-1、图 A.3.3-2 进行处理，施工条件允许时也可全部采取嵌缝处理；砌块砌体墙的高延性混凝土条带加固部位对应的墙面宜全部采取嵌缝处理。

A.3.4 高延性混凝土竖向条带设置应符合下列规定：

1 房屋外墙拐角处、长墙中部、纵横墙交接处、窗间墙以及一字形外墙端部均宜设置高延性混凝土竖向条带，见图

A. 3. 4-1;

2 外墙拐角距门窗洞口边的距离小于竖向条带宽度 a 时, 应将高延性混凝土包至洞口处门/窗框边 (图 A. 3. 4-2)。门/窗/框与外墙外平齐时, 应在门/窗框边的墙体上竖向刻槽并用高延性混凝土压抹填实, 刻槽的宽度和深度均取 20mm;

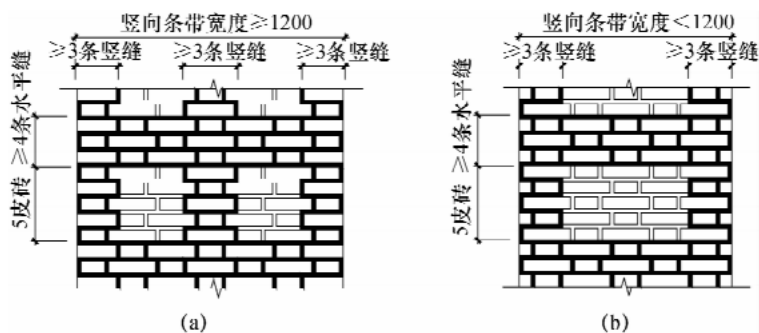


图 A. 3. 3-1 高延性混凝土竖向条带嵌缝示意图

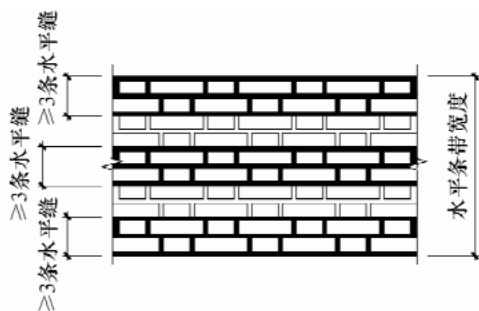


图 A. 3. 3-2 高延性混凝土水平条带嵌缝示意图

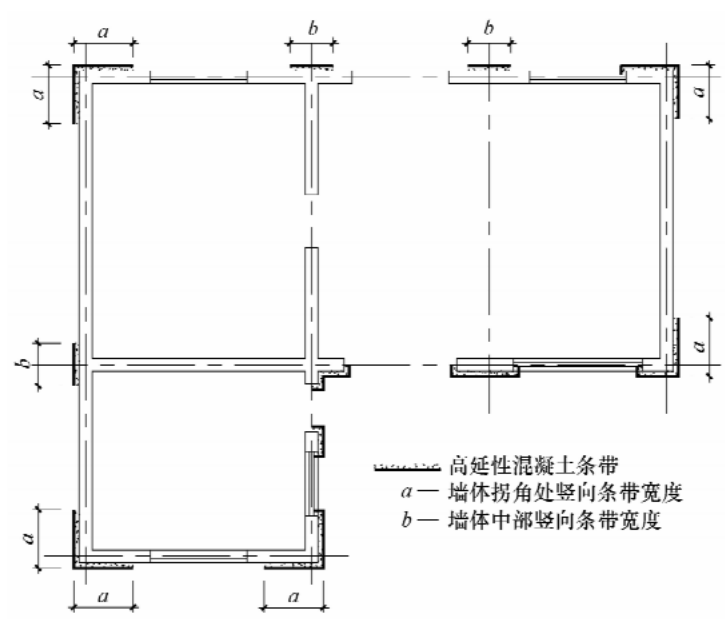


图 A. 3. 4-1 高延性混凝土竖向条带设置平面示意图

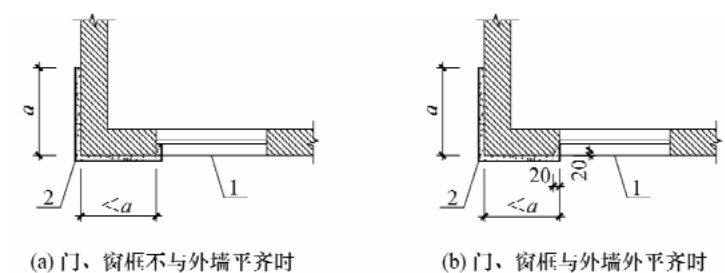


图 A. 3. 4-2 外墙阳角距洞口边距离小于 a 时竖向条带布置示意图

1—门窗洞口；2—高延性混凝土竖向条带

3 高延性混凝土竖向条带边沿距洞口边距离不大于 200mm 时，宜将高延性混凝土条带延伸至洞口边沿，并将高延性混凝土包至门/窗框边（图 A. 3. 4-3）；

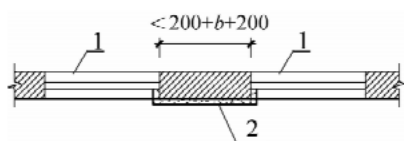


图 A.3.4-3 窗间墙加固平面示意图

1—门窗洞口；2—高延性混凝土竖向条带

4 一字墙端部应采用高延性混凝土竖向条带加固，条带宽度不应小于 b ，高延性混凝土应包至墙端，且竖向条带应双面布置，见图 A.3.4-4；

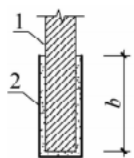


图 A.3.4-4 一字墙端部加固平面示意图

1—原墙体；2—高延性混凝土竖向条带

5 加固砌体结构的竖向条带净间距不应大于 5.0m，当竖向条带净间距不满足时，应增加竖向条带宽度或数量。

A.3.5 高延性混凝土水平条带设置应符合下列规定：

1 外墙楼/屋盖处应设置高延性混凝土水平条带，山墙应沿墙顶设置高延性混凝土条带，且高延性混凝土水平条带宜闭合，见图 A.3.5-1、图 A.3.5-2；

2 单层房屋含阁楼时，应在阁楼高度处增设一道高延性混凝土水平条带，条带宽度及厚度与楼/屋盖处水平条带相同；

3 高延性混凝土水平条带边缘距外墙洞口上下边距离不大于 100mm 时，宜调整水平条带宽度至上下洞口边沿，并将高延性混凝土条带包至门/窗框边，见图 A.3.5-3；

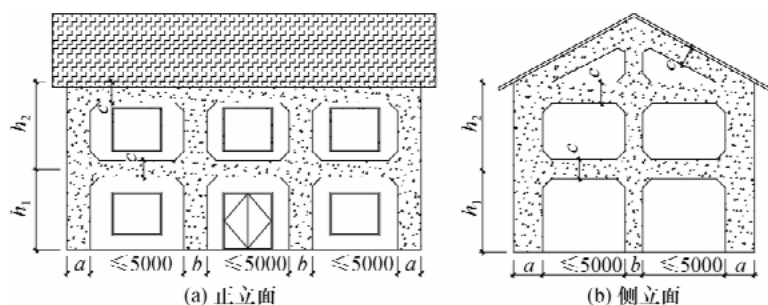


图 A. 3. 5-1 二层房屋加固条带立面示意图

h_1 ——一层层高; h_2 ——二层层高

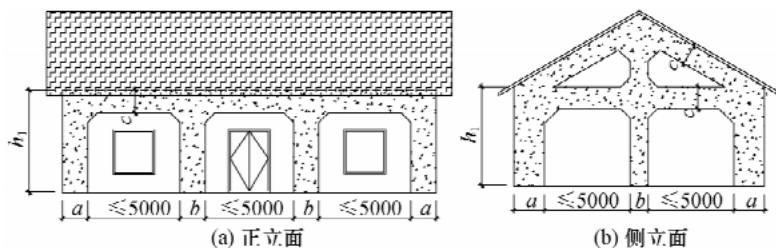


图 A. 3. 5-2 单层房屋加固条带立面示意图

h_1 ——一层层高

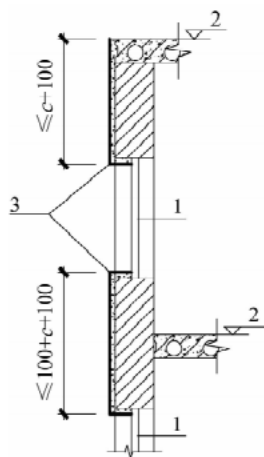


图 A. 3. 5-3 水平条带在门窗洞口边缘的加固示意图

1—门窗洞口; 2—楼面; 3—高延性混凝土水平条带

4 高延性混凝土水平条带应延伸至一字墙端部，且当一字墙长度大于 2m 时，应在墙体半高处增设一道水平条带，条带宽度及厚度可按表 A.3.2 取值；

5 两端均设置高延性混凝土竖向条带的内墙，宜在楼/屋盖处设置高延性混凝土水平条带，条带宽度及厚度可按表 A.3.2 取值；

6 墙体根部长处于潮湿环境时，宜在墙体根部增设一道高延性混凝土水平条带，条带宽不宜小于 600mm，且水平条带上沿高出室内地坪不宜小于 200mm。

A.3.6 房屋端山墙外侧有相邻建筑物时，端山墙上的高延性混凝土水平条带及竖向条带均应设置在墙体内侧，且外纵墙与端山墙交接部位的高延性混凝土竖向条带应双面布置，见图 A.3.6。

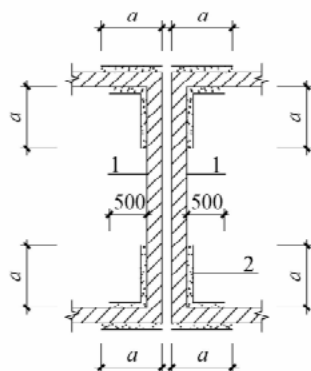


图 A.3.6 相邻建筑物的端山墙加固平面示意图

1—原墙体；2—高延性混凝土竖向条带

A.3.7 高延性混凝土水平条带与竖向条带相交部位应设置高延性混凝土加腋，见图 A.3.7。加腋部位高延性混凝土面层应与高延性混凝土条带连续施工，严禁留施工冷缝。

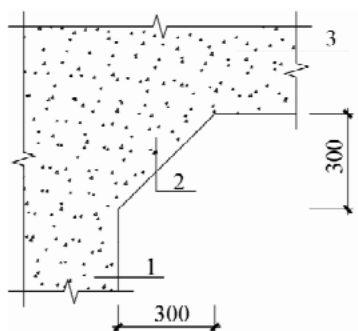


图 A.3.7 高延性混凝土条带相交处加腋示意图

1—高延性混凝土竖向条带；2—高延性混凝土加腋；
3—高延性混凝土水平条带

A.3.8 砌体墙的整体性很差或外墙开洞率大于 50% 时，应采用高延性混凝土面层对整片墙体进行加固，面层厚度可按表 A.3.2 取值。

A.4 施工与验收

A.4.1 高延性混凝土加固砌体结构农村房屋的施工质量检验，应以单栋房屋为一个检验批。

A.4.2 加固砌体结构农村房屋施工时，高延性混凝土力学性能检测应以加固的 50 栋农村房屋为一个检验批，不足 50 栋的也划分为一个检验批。

A.4.3 高延性混凝土加固砌体结构农村房屋的施工、材料检测、质量验收除本节有规定外，其他内容可参照本规程第 7 章有关规定执行。

附录 B 高延性混凝土弯曲性能试验方法

B.0.1 本试验方法适用于高延性混凝土等效弯曲强度和等效弯曲韧性的测定。

B.0.2 试验装置见图 B.0.2，应符合下列规定：

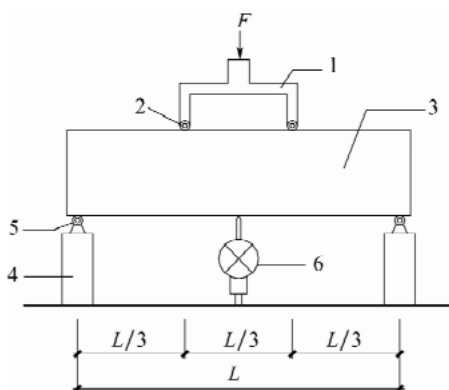


图 B.0.2 抗弯试验加载装置

1—加载分配梁；2—分配梁辊轴；3—试块；4—支座；5—支座辊轴；6—位移计

1 试验机宜采用液压伺服万能试验机或带有弯曲试验台的伺服式压力试验机，示值相对误差不应大于 1.0%，试验时的最大荷载宜在量程的 80% 以内；

2 分配梁中点为加载点，在试块标距三分点处设有两个加压辊轴，辊轴直径 10mm ~ 12mm；

3 与试块接触的两个辊轴铰支座，辊轴弧形直径 10mm ~ 12mm，支座长度比试块宽度长 10mm；

4 挠度测量装置应符合图 B.0.2 的要求，并应包括固定测量挠度仪表的支座；挠度测试系统包括电阻位移计或者 LVDT 位移计，量程不应小于 20mm，精度不应低于 0.001mm，测试点位

于试块底部跨中位置；

5 荷载测量传感器应准确测量施加于试块上的荷载，测量精度不应低于 0.1N；

6 测试数据采集应连续自动完成，可通过模数转换器与计算机连接，有程序控制，采样频率不宜低于 10Hz；

7 其他：钢直尺、游标卡尺、直角规等。

B.0.3 试块成型及养护方法参照现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。每组试验至少应制备 3 个试块。

B.0.4 试块尺寸为 40mm×40mm×160mm，试验跨度取 $L=150\text{mm}$ 。

B.0.5 试验测试应按下列步骤进行：

1 从养护地点取出试块，擦净后检查外观，不得有明显缺损，在跨中 $L/3$ 的纯弯段内不得有直径大于 5mm、深度大于 2mm 的表面缺陷；

2 将试块成型时的浇筑侧面作为承荷面，安放在支座上。按图 B.0.2 规定尺寸和三分点位置加荷的规定，检查支座及分配梁位置，所有间距尺寸偏差不应大于 $\pm 1\text{mm}$ ；

3 试块放稳对中后启动试验机，当分配梁辊轴与试块接近时，调整分配梁和支座，使接触均衡。压头及支座不能前后倾斜，各接触不良处应予以垫平；

4 试块安放好后，施加一定的预压荷载，停机检查试块与压头及支座的接触情况，确保试块不发生扭动，然后安装测量跨中挠度的位移计；

5 安装测量变形的仪表时首先接通测试线路并做空载调试，然后做预压调试，待测试系统工作正常后方可进行正式试验；

6 对试块按位移控制加荷，加载应连续、均匀，加载速率取 0.2mm/min ；

7 绘制荷载-挠度曲线。

若试块在受拉面跨度三分点以外断裂，则该试块试验结果无效。

B. 0. 6 试块的等效弯曲强度 f_{eq}^u 按下式计算：

$$f_{eq}^u = \frac{\Omega_u L}{bh^2 \delta_u} \quad (\text{B. 0. 6})$$

式中： f_{eq}^u ——等效弯曲强度（N/mm²），精确至0.1N/mm²；

Ω_u ——跨中挠度为 δ_u 时荷载-挠度曲线下的面积（N·mm）；

δ_u ——荷载下降至峰值荷载的 u 倍时对应的挠度值（mm），用于高延性混凝土力学性能指标测定时， u 取0.85；

b 、 h ——试块的截面宽度和高度（mm）；

L ——试块的跨度（mm）。

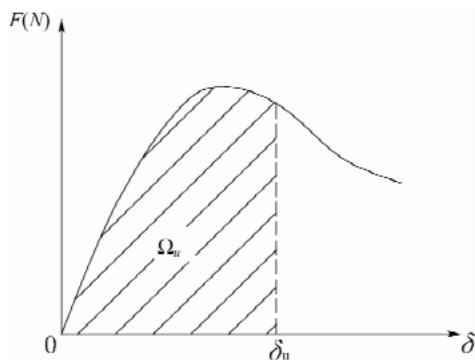


图 B. 0. 6 等效弯曲强度

B. 0. 7 试块的等效弯曲韧性按下式计算：

$$W_e^u = \frac{\Omega_u}{bh^2} \times 10^3 \quad (\text{B. 0. 7})$$

式中： W_e^u ——等效弯曲韧性（kJ/m³），精确至0.1kJ/m³。

附录 C 高延性混凝土力学性能快速检测方法

C.0.1 本方法适用于高延性混凝土材料进场检测时的力学性能检测。

C.0.2 试验用的可程式恒温恒湿试验箱，可调节温度范围不应小于 $0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，温度波动度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；湿度范围不应小于 $20\% \sim 98\% \text{ R. H}$ ，湿度均匀度为 $\pm 2\% \text{ R. H}$ ，湿度波动度为 $\pm 1\% \text{ R. H}$ 。

C.0.3 试验测试应按下列步骤进行：

1 高延性混凝土力学性能的快速检测对应的可程式恒温恒湿试验箱运行程序应符合图 C.0.3 的规定，相对湿度应保持在 95% 以上；

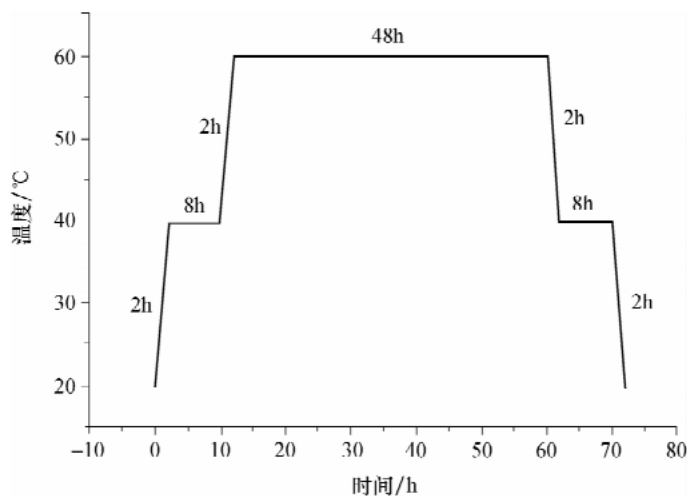


图 C.0.3 可程式恒温恒湿试验箱运行程序

2 高延性混凝土力学性能快速检测的试块尺寸及制作方法应符合本规程第 7.2.1 条的相关规定；

3 试块制作成型 24h 后拆模，检查外观，不得有明显缺损。试块拆模后置于可程式恒温恒湿试验箱中，上下错位放置，按图 C.0.3 的运行程序养护 72h 后取出，放置室温后再按本规程第 7.2.2 条的相关规定进行力学性能测试。

C.0.4 快速检测的高延性混凝土力学性能测试结果应符合表 C.0.4 的要求。

表 C.0.4 高延性混凝土快速养护力学性能指标

力学性能指标类别	快速检测性能指标		
	I 类	II 类	III 类
等效弯曲韧性 (kJ/m^3)	≥ 170.0	≥ 130.0	≥ 90.0
等效弯曲强度 (N/mm^2)	≥ 11.0	≥ 10.0	≥ 9.0
抗折强度 (N/mm^2)	≥ 11.0		
立方体抗压强度 (N/mm^2)	≥ 45.0		

注：表中除立方体抗压强度为标准值外，其他均指代表值。

附录 D 质量验收记录

D.0.1 高延性混凝土加固工程施工检验批的质量验收可按表 D.0.1 记录，原构件修整、钢筋网加工与焊接、钢筋网安装与锚固按现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的有关规定进行记录。

表 D.0.1 检验批质量验收记录

工程名称		分项工程名称		高延性混凝土施工		验收部位			
施工单位				专业工长		项目经理			
分包单位				施工班组长				分包项目经理	
批号及批量						见证取样人员			
执行标准名称及编号									
检查项目				质量要求		施工单位自查 评定记录		监理（建设） 单位验收记录	
主控 项目	1	施工工序		符合本规程及设计要求					
	2	基层处理		符合本规程及设计要求					
	3	高延性混凝土进场检测		符合本规程要求					
	4	高延性混凝土 60d 标准 养护力学性能检测		符合本规程及设计要求					
	5	面层外观质量 （严重缺陷）		符合本规程要求					
	6	钢筋保护层厚度		符合设计要求					
	7	加固部位、范围		符合设计要求					
	8	面层厚度		符合本规程及设计要求					
	9	高延性混凝土的粘结质量		符合本规程要求					
一般 项目	1	嵌缝、倒角、洞口处做法		符合本规程及设计要求					
	2	面层外观质量 （一般缺陷）		符合本规程要求					
	3	高延性混凝土养护		符合本规程要求					
施工单位检查评定结果				项目专业质量检查员： 年 月 日					
监理（建设）单位验收结论				监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）： 年 月 日					

D.0.2 高延性混凝土加固工程分项工程的质量验收可按表 D.0.2 记录。

表 D.0.2 分项工程质量验收记录

工程名称		结构类型		检验批数	
施工单位		项目经理		项目技术负责人	
分包单位		分包单位负责人		分包项目经理	
序号	检验批部位、区段	施工单位检查评定结果		监理（建设）单位验收结论	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
.....					
检查结论	项目专业技术负责人： 年 月 日		验收结论	监理工程师 (建设单位项目专业技术负责人)： 年 月 日	

D.0.3 高延性混凝土加固工程子分部工程质量验收可按表 D.0.3 记录。

表 D.0.3 子分部工程质量验收记录

工程名称		结构类型		层数	
施工单位		技术部门负责人		质量部门负责人	
分包单位		分包单位负责人		分包技术负责人	
序号	分项工程名称	检验批数	施工单位检查评定结果	验收意见	
1	原构件修整				
2	钢筋加工与焊接				
3	钢筋安装与锚固				
4	高延性混凝土施工				
5					
6					
7					
.....					
质量控制资料					
观感质量验收					
验收单位	分包单位	项目经理： 年 月 日			
	施工单位	项目经理： 年 月 日			
	设计单位	项目负责人： 年 月 日			
	监理（建设）单位	总监理工程师： (建设单位项目专业负责人)： 年 月 日			

D.0.4 高延性混凝土加固农村房屋施工质量验收可按表 D.0.4 记录。

表 D.0.4 农村房屋加固工程施工质量验收记录

单位工程名称					
分部工程名称					
施工单位				项目经理	
质量验收项目		质量要求		施工单位 检测评定记录	监理（建设） 单位验收记录
主控项目	1	材料品种	符合设计要求		
	2	高延性混凝土进场检测	符合本规程及设计要求		
	3	高延性混凝土 60d 标准 养护力学性能检测	符合本规程及设计要求		
	4	基层处理	符合本规程及设计要求		
	5	条带或面层外观质量 (严重缺陷)	符合本规程及设计要求		
	6	高延性混凝土条带 或面层空鼓率	符合本规程要求		
	7	高延性混凝土条带 或面层厚度	符合设计要求		
	8	高延性混凝土加固部位、 范围、以及构造做法	符合本规程及设计要求		
一般项目	1	嵌缝、加腋	符合本规程及设计要求		
	2	条带或面层外观质量 (一般缺陷)	符合设计要求		
	3	高延性混凝土养护	符合本规程及设计要求		
施工单位 检测 评定 结果	专业工长（施工员）			施工班组长	
	☐ 合格 ☐ 不合格				
	项目专业质量检测员：			日期：	
监理 (建设) 单位验 收结论	☐ 合格 ☐ 不合格				
	专业监理工程师 (建设单位项目专业技术负责人)			日期：	

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示严格，非这样做不可的词：
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，在条件允许时首先这样做的词：
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，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 2 《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》 GB/T 200
- 3 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 4 《白色硅酸盐水泥》 GB/T 2015
- 5 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 6 《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》 GB/T 17671
- 7 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》
GB/T 18046
- 8 《硫铝酸盐水泥》 GB 20472
- 9 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T 21120
- 10 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 11 《砌体结构设计规范》 GB 50003
- 12 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 13 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 14 《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023
- 15 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 16 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》
GB/T 50082
- 17 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 18 《构筑物抗震鉴定标准》 GB 50117
- 19 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 20 《工业建筑可靠性鉴定标准》 GB 50144
- 21 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 22 《民用建筑可靠性鉴定标准》 GB 50292

- 23 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 24 《混凝土结构加固设计规范》 GB 50367
- 25 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》 GB 50550
- 26 《砌体结构加固设计规范》 GB 50702
- 27 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》 GB 50728
- 28 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
- 29 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 30 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 31 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 32 《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T 104
- 33 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
- 34 《建筑抗震加固技术规程》 JGJ 116
- 35 《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
- 36 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
- 37 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221

山东省工程建设标准

高延性混凝土加固技术规程

Technical specification for strengthening
with high ductile concrete

DB37/T 5191 – 2021

条文说明

目 次

1	总则	71
2	术语和符号	72
2.1	术语	72
3	基本规定	73
4	高延性混凝土材料	75
4.1	原材料	75
4.2	力学性能及耐久性	75
4.3	计算指标	76
5	砌体结构加固	78
5.1	一般规定	78
5.2	砌体抗压加固计算	78
5.3	砌体抗剪加固计算	80
5.4	砌体抗震加固计算	80
5.5	抗震能力计算	80
5.6	构造要求	81
6	混凝土构件加固	83
6.1	一般规定	83
6.2	钢筋混凝土剪力墙抗剪加固计算	83
6.3	钢筋混凝土梁抗剪加固计算	84
6.4	钢筋混凝土柱正截面抗压加固计算	84
6.6	构造要求	85
7	施工与验收	86
7.1	施工	86
7.2	材料检测	87

7.3 质量验收	88
附录 A 砌体结构农村房屋加固	89
A.1 一般规定	89
A.2 基本要求	89
A.3 砌体结构农村房屋整体性加固	89
A.4 施工与验收	90
附录 B 高延性混凝土弯曲性能试验方法	92
附录 C 高延性混凝土力学性能快速检测评定方法	93

1 总 则

1.0.3 本条主要是对本规程在实施过程中与其他相关标准配套使用的关系做出规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 高延性混凝土 (high ductile concrete, 简称 HDC), 是一种具有高韧性、高抗裂性能和高耐损伤能力的新型结构材料。传统的混凝土和纤维混凝土都具有明显的脆性, 开裂后很快达到最大拉应力, 一般仅出现一条主裂缝和少量微裂缝, 表现出应变软化特征; 高延性混凝土开裂后, 应力基本保持不变, 应变能维持较长时间的发展, 在拉伸和剪切荷载下表现出良好的多裂缝开展和应变硬化特征 (图 1)。

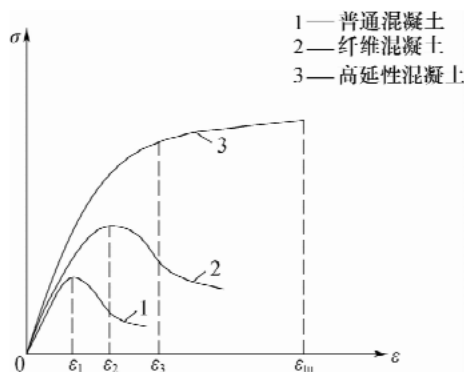


图 1 高延性混凝土单轴拉伸曲线比较

本规程 4.2 节对高延性混凝土的强度指标和韧性指标均有明确规定。为达到其韧性指标要求, 目前制备高延性混凝土都需要掺加短纤维作为增韧材料。但纤维增韧只是实现高延性的手段之一, 随着混凝土制备技术的发展与进步, 以后不排除采用其他方式也可以配制出高延性混凝土。

3 基本规定

3.0.2 考虑到高温下可能导致高延性混凝土的延性降低，本条给出高延性混凝土适用的环境温度不应超过 90℃。

本编制组前期对高延性混凝土的耐高温性能做了相应的试验研究，其在高温下的强度变化与普通混凝土或普通砂浆等水泥基材料的强度变化情况相似。混凝土在高温下有可能产生爆裂，但由于高延性混凝土中含有纤维，在高温作用下纤维会溶解形成水蒸气的迁移通道，使构件中蒸汽压得到释放，避免了基体的爆裂。

高延性混凝土耐高温试验结果显示，在 125℃ 时，高延性混凝土的各项性能指标基本不受影响，本规程保守起见将其使用环境温度规定为不应超过 90℃。

另外，采用高延性混凝土的工程遇火灾后，应通过检测鉴定评定其安全性是否仍满足要求，当有问题时应采取相应的加固或修复处理措施。

3.0.3 被加固的结构、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使用年限作为加固后的安全等级使用年限，而应根据业主方对该结构下一目标使用期的要求，以及该房屋加固后的用途和重要性重新进行定位，故必须由业主方与设计单位共同商定。

结构的加固设计，应以业主方提供的结构用途、使用条件和使用环境为依据进行，倘若加固后任意改变其用途、使用条件或使用环境，将显著影响结构加固部分的安全性及耐久性。因此，改变前必须经技术鉴定或设计许可，否则其后果将很严重。

3.0.4 本条关于加固设计使用年限的规定，与现行国家标准有关规定相符。对于采用高延性混凝土材料加固，当设计计算及构造符合本规程规定时，可按照业主要求的年限。高延性混凝土耐久性能经检测高于普通混凝土，在加固设计使用年限上不应低于国家相关规范对普通混凝土的要求。

4 高延性混凝土材料

4.1 原材料

4.1.1 高延性混凝土采用合成纤维作为增韧材料，纤维的耐碱性能用来衡量合成纤维在碱性介质内纤维强度的稳定性，而极限拉力保持率是评价耐碱性能的主要参数。极限拉力保持率是指合成纤维在氢氧化钠碱溶液中，以规定的温度、浓度和时间浸泡处理，然后测试其断裂强度，与原试样的断裂强度之比的百分率。

4.2 力学性能及耐久性

4.2.1 本条给出了高延性混凝土四个主要力学性能指标，作为高延性混凝土力学性能检测的重要依据。其中等效弯曲韧性和等效弯曲强度为韧性评价指标，抗折强度和立方体抗压强度为强度评价指标。

配制高延性混凝土时采用了大量的矿物掺合料取代水泥，其早期强度增长较慢，但是超过 28d 以后的强度仍有较大幅度增长，因此，表 4.2.1 中在给出 28d 性能指标的基础上，给出了 60d 的指标要求，并以 60d 的性能指标作为高延性混凝土最终的力学性能评价标准。

高延性混凝土的立方体抗压强度标准值是指按标准方法制作、养护的边长为 100mm 的立方体试块，在 60d 龄期以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度值。其强度等级采用 C_d 与立方体抗压强度标准值表示。

4.2.2 高延性混凝土的耐久性能明显高于普通混凝土，本条规定了其主要的耐久性能指标，同时还应满足现行国家标准《混凝

土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；当设计中对其耐久性性能有更多、更高要求时，高延性混凝土的耐久性能尚应满足设计要求。

4.3 计算指标

4.3.1 高延性混凝土的轴心抗压强度标准值 f_{dk} 可按下式计算：

$$f_{dk} = 0.88 \times \alpha_{dl} f_{du,k}$$

式中：0.88——考虑到结构中混凝土强度与试块混凝土强度之间的差异而采取的修正系数；

α_{dl} ——棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值，可取 0.88；

$f_{du,k}$ ——高延性混凝土立方体抗压强度标准值。

上式参考了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对混凝土轴心抗压强度标准值的取值规定。由于高延性混凝土轴心受压破坏时表现出良好的抗压韧性和耐损伤能力，与传统混凝土的脆性破坏有明显区别，因此不再考虑高延性混凝土的脆性折减系数。且大量研究表明，由于纤维桥联作用对高延性混凝土单轴受压提供的横向约束作用，使高延性混凝土的轴心抗压强度明显高于相同强度等级的普通混凝土。根据大量试验数据分析结果，高延性混凝土棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值 α_{dl} 为 0.88 ~ 0.95，可偏于安全取 0.88。

根据高延性混凝土轴心抗压强度标准值，并参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中混凝土的抗压强度设计值计算方法，确定高延性混凝土轴心抗压强度设计值 $f_d = 27.6 \text{ N/mm}^2$ 。

4.3.2 由于高延性混凝土基体内不含粗骨料，其弹性模量取值与普通混凝土明显不同，本条根据西安建筑科技大学、东南大

学、浙江大学等科研院所大量试验结果以及国家建筑工程质量监督检验中心的检测结果，高延性混凝土的弹性模量 E_d 相当于同等强度普通混凝土的 2/3 左右，本条给出高延性混凝土的受压弹性模量 $E_d = 2.20 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 。当有可靠试验依据时，弹性模量可根据实测数据确定。

4.3.3 高延性混凝土纵向受压时，其横向变形受到纤维桥联应力的约束，使其横向变形减小，因此，高延性混凝土泊松比明显小于普通混凝土，由于泊松比与纤维掺量和材料韧性指标均有一定关系，本条强调在必要时可根据试验确定。

5 砌体结构加固

5.1 一般规定

5.1.2 对于抗震设防要求较高，或者设防烈度较高地区的结构加固，从结构抗震耗能的角度考虑，应该采用韧性指标更高的高延性混凝土。

5.2 砌体抗压加固计算

5.2.1、5.2.2 对受压构件加固，在满足构造要求情况下，外加高延性混凝土面层加固后的结构可看成砌体与高延性混凝土面层的组合砌体结构，因此，可利用《砌体结构设计规范》GB 50003 中组合砌体构件轴心受压构件承载力计算公式推出加固后结构轴心受压计算公式。考虑到高延性混凝土的极限压应变约为 0.006，砌体极限压应变约为 0.002，在极限荷载作用下，高延性混凝土实际发挥的强度（实际应力）小于其极限抗压强度。根据试验结果，在无初始荷载作用时，采用高延性混凝土面层双面加固砖砌体墙体，高延性混凝土的“实际应力”与其极限抗压强度的比值在 0.274 ~ 0.363 之间，采用高延性混凝土面层单面加固砖砌体墙体，该比值在 0.397 ~ 0.491 之间，因此，计算加固后构件的承载力引入高延性混凝土强度利用系数 α_{dl} 。安全起见，无论单面双面，无初始荷载时 α_{dl} 均取为 0.3。

抗压加固时，考虑到加固结构中原砌体构件加固前已承受荷载，其应力水平一般都比较高，而加固新增的高延性混凝土面层还不能立即工作，需待新加荷载后（第二次受力）才开始受力。此时，新增高延性混凝土面层的应变滞后于原砌体的应变，原砌

体的应变高于新增高延性混凝土面层的应变。当原砌体达到极限状态时,新增高延性混凝土面层还没达到上述的“实际强度”,因此,引入二次受压影响系数 α_{i2} ,则高延性混凝土强度利用系数 $\alpha_d = \alpha_{d1} \cdot \alpha_{i2}$ 。将原墙体在重力荷载作用下的平均竖向压应力定义为初始应力,初始应力与砌体抗压强度的比值定义为初始应力比 β_σ 。因砌体结构离散性较大,确定统一的应力-应变曲线较难,因此,分别选取由 B. Powell 和 H. R. Hodgkinson、朱伯龙、施楚贤三人提出的砌体结构应力应变曲线进行理论分析,得到砖砌体墙的初始应力比 β_σ 与高延性混凝土强度利用系数 α_d 的关系,见图 2。

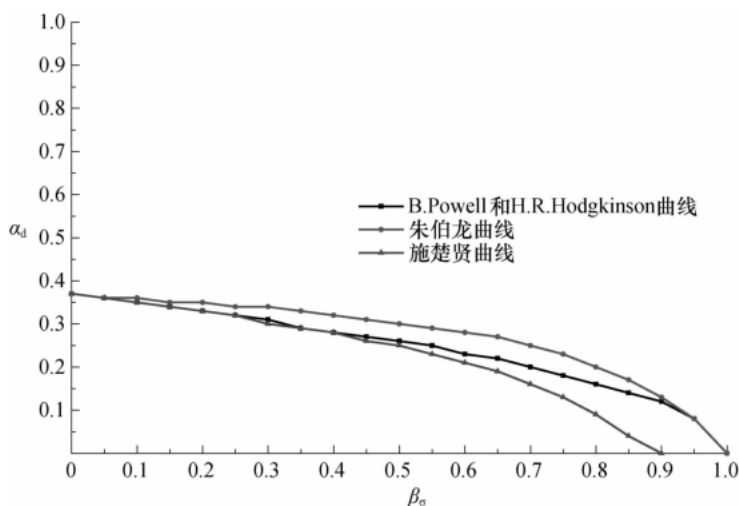


图 2 砖砌体墙的初始应力比 β_σ 与高延性混凝土强度利用系数 α_d 的关系

由图可知,随着初始应力比 β_σ 的增大, α_d 逐渐减小。当初始应力比 β_σ 小于等于 0.7 时,曲线下降缓慢;当初始应力比 β_σ 大于 0.7 时, α_d 下降增快;当初始应力比 β_σ 等于 0.7 时, α_d 的二次受压折减系数 α_{i2} 在 0.43 ~ 0.67 之间。经综合考虑,取二次

受压影响系数为 $\alpha_{d2} = 0.5$ 。故取 $\alpha_d = \alpha_{d1} \cdot \alpha_{d2} = 0.3 \times 0.5 = 0.15$ 。

5.3 砌体抗剪加固计算

5.3.1 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层对砌体墙的抗剪加固，可简化为原砌体的抗剪承载力加上高延性混凝土加固面层的承载力贡献。

5.3.2 采用高延性混凝土面层加固后，墙体提高的受剪承载力 V_d 根据试验结果并考虑面层的破坏形式，按主拉应力理论计算，与现行国家标准《砌体结构加固设计规范》GB 50702 中钢筋混凝土面层加固砌体墙提高的受剪承载力计算公式的形式基本保持一致，部分参数取值根据试验结果有所调整。

5.4 砌体抗震加固计算

5.4.1 本公式参照现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003 取用。高延性混凝土的贡献，根据现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 在截面抗震验算中所建立的概念，可以简单地认为其抗震承载力与非抗震下的抗剪承载力相同，仅需将后者除以承载力抗震调整系数即可。

5.5 抗震能力计算

5.5.1 抗震加固和抗震鉴定一样，可采用加固后的综合抗震能力指数作为衡量多层砌体房屋抗震能力的指标，也可按设计规范的方法对加固后的墙段用截面受剪承载力进行验算。与鉴定不同的是，要按不同的加固方法考虑相应的加固增强系数，并按加固后的情况取体系影响系数 ψ_1 和局部影响系数 ψ_2 。

5.5.3 为便于设计人员使用方便，本节按现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 的方法给出了高延性混凝土面层加

固的基准增强系数和面层加固时墙体侧向刚度的基准提高系数，便于设计人员在设计计算时直接选用。

5.6 构造要求

5.6.1 高延性混凝土加固砌体结构一般不需要在面层中配置钢筋，当墙体承载力相差较大或损伤严重时，适当增加面层厚度，但面层厚度较厚时为了充分发挥高延性混凝土的性能优势，可以在面层中配置钢筋，形成配筋高延性混凝土面层，更大程度提高砌体结构的承载能力和整体性。

砂浆强度较低时，为了更好地提高高延性混凝土面层与原墙体的共同工作能力，建议在高延性混凝土面层与墙体之间采用局部嵌缝等方式进行处理。对面层端部应采取嵌固措施防止面层剥离。遇到门窗洞口时，应将面层延伸至洞口侧边锚固，提高加固的整体性。

5.6.2 当面层较厚时，宜采用拉结件增强面层与墙体的可靠拉结，提高对面层的横向约束，防止砌体构件受压时面层横向变形剥离。

5.6.3 采用高延性混凝土对墙体进行抗剪和抗震加固时，可根据综合抗震能力指数的控制，只在某一层进行，不需要自上而下延伸至基础。但在底层的外墙，为提高耐久性，面层在室外地面以下宜加厚并向下延伸 200mm 或伸至地圈梁顶面。

5.6.4 当砌体结构抗震构造措施不足时，可采用高延性混凝土-砌体组合圈梁和高延性混凝土-砌体组合构造柱对房屋进行整体性加固，解决其抗震构造措施不足的问题。这样处理，施工方便快捷，且对原有建筑的使用空间占用较少。

5.6.5 墙体上出现的裂缝较严重时应配合高延性混凝土面层进行处理，提高墙体的整体性和承载能力。

5.6.6 西安建筑科技大学研究表明,采用高延性混凝土加固后的砖砌体构件具有很强的整体性和抗弯能力,因此,在门窗洞口过梁损伤不明显的情况下仅采用高延性混凝土条带加固过梁即能起到很好的加固效果。对于已经出现明显损伤的砖过梁或钢筋砖过梁,可以在梁底部位增设钢筋,进一步提高过梁的抗弯能力。

6 混凝土构件加固

6.1 一般规定

6.1.4 对原构件混凝土强度等级不应低于 C13（旧标号 150）的强度要求，是参照现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的有关规定执行。

6.1.5 由于竖向承重构件（如剪力墙等构件）正常使用状态下不承受剪力，在对其进行抗剪加固时，可以不用卸载。

6.2 钢筋混凝土剪力墙抗剪加固计算

6.2.1、6.2.2 对受剪截面限制条件的规定与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 一致，而从增大截面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，因此引用 GB 50010 的规定作为加固后构件的受剪截面限制条件仍然是合适的。加固后的抗剪承载力计算可简化为原剪力墙的抗剪承载力加上高延性混凝土加固面层的承载力贡献。

6.2.3 加固面层的受剪承载力贡献包括面层的抗剪承载力和钢筋的抗剪承载力，其中高延性混凝土面层的强度利用系数由试验结果得到。高延性混凝土加固面层在压、弯、剪共同作用下，其主拉应力达到抗拉强度时发生剪切破坏，根据此时的应力状态平

衡求得高延性混凝土面层的受剪承载力系数 $\alpha_{dv} = \frac{2}{3\sqrt{1 + \frac{N}{A_d f_{dt}}}}$ ，

实际工程中采用高延性混凝土面层加固剪力墙时，一般不进行卸载，高延性混凝土加固层的竖向应力滞后，可不考虑竖向压应力的影响，因此式中 $N=0$ ，则 $\alpha_d=0.66$ ，该取值也是相对保守的。

N 是剪力墙加固后的轴向压力设计值； A_d 是墙体两侧高延性混凝土面层的总横截面面积。剪力墙如果轴压比不足时，目前比较常用的解决方式是增大截面法，或者通过提高整体约束的方式处理，实际工程需要处理剪力墙轴压比不足问题，可采用高延性混凝土增大截面法，计算方法可参照本规程 6.4 节的有关规定。

6.3 钢筋混凝土梁抗剪加固计算

6.3.1 本条的计算规定与现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定相符，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。

6.4 钢筋混凝土柱正截面抗压加固计算

6.4.1 钢筋混凝土轴心受压构件采用高延性混凝土增大截面法加固后，其正截面承载力的计算公式仍按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的公式采用。其中，系数 α_{ds} 是在已有的试验研究基础上确定的，由于高延性混凝土弹性模量较低，在同样变形下强度发挥程度较普通混凝土低，因此该系数取值比现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 中普通混凝土的取值偏低。

根据现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 条文说明，该系数的精确算法必须建立在对原构件应力水平的精确估算上，这在实际操作中很难做到，且限于设计人员技术水平的不同，对实际荷载的估算结果往往因人而异，若遇到事后复查，很难辨明是非。

本系数的取值是以现有的试验结果为依据，也考虑到试验所考虑的情况还不够充分，因此在条文中注明“当有充分试验依据时， α_{ds} 值可做适当调整。”

6.6 构造要求

6.6.1 ~ 6.6.5 这几条主要是根据高延性混凝土加固工程的实践经验和有关试验研究资料做出的规定，其目的是保证原构件与新增高延性混凝土之间的协同工作，保证力的可靠传递，从而达到良好的加固效果。

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。而所谓的无机锚固剂，由于粘接性能极差，几乎全靠膨胀剂起摩阻作用，不能保证后锚固件的安全工作，故也应予以禁用。

7 施工与验收

7.1 施 工

7.1.1 为了确保不同的施工人员对高延性混凝土加固技术施工操作认知的一致性,保证不同人员施工操作规范准确,宜在现场大面积施工之前制作施工样板,便于参照、比对和技术交底。

7.1.2 高延性混凝土加固施工工序少,施工方法主要为人工压抹或喷射,施工方法简单。但高延性混凝土加固砌体结构主要是利用高延性混凝土的性能优势提高砌体的整体性和承载能力,因此在施工过程中应注意加固面的清理要干净,并要养护到位,保证高延性混凝土材料性能的可靠。

7.1.3 本条较具体地规定了高延性混凝土加固砌体结构或混凝土结构构件工程施工质量控制的主要内容。施工单位每道工序完成后,除了应进行自检并应由专职质量检验员检查外,还强调了工序交接检查,上道工序应满足下道工序的施工条件和要求;同样,相关专业工序之间也应进行中间交接检查,使各工序间和相关专业工程之间形成一个有机的整体。

7.1.4 高延性混凝土加固技术,主要是利用高延性混凝土的性能优势以及加固面层与原构件之间良好的协同工作能力来提高结构构件的整体性和承载能力,因此在施工过程中应注意加固面的清理要干净,保证高延性混凝土与原构件之间的共同工作性能。

7.1.5 考虑到界面处理对能否保证新旧材料的共同工作十分重要,因此对原混凝土表面凿毛,对墙、板等表面面积较大的构件宜按构造要求设置剪切销钉进一步提升加固的高延性混凝土与原构件的共同工作能力。

7.1.7 为了保证纤维均匀分散在高延性混凝土基体中，宜采用纤维后掺法，将不含纤维的干混料加水搅拌均匀以后，再加入纤维搅拌，使纤维完全分散均匀无结块。为保证纤维分散均匀，要采用强制式搅拌机进行搅拌。

7.1.8 高延性混凝土的配制应注意调配拌合物的和易性，并使其不离析、不泌水，还应当注意纤维在基体材料中的分散性，保证纤维不聚团。

7.1.13 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 中关于冬期施工期限划分原则是：根据当地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续 5d 稳定低于 5℃ 即进入冬期施工，当室外日平均气温连续 5d 高于 5℃ 即解除冬期施工。

7.2 材料检测

7.2.1、7.2.2 本条主要给出了高延性混凝土主要力学性能的实验方法及标准试块尺寸。西安建筑科技大学经过大量试验研究表明，由于高延性混凝土基体内不含粗骨料，且材料匀质性较好，当采用不同尺寸的立方体试块进行抗压强度试验时，得到的尺寸效应换算系数很小，与普通混凝土的抗压强度随着试块尺寸增大而减小的特点有明显区别。为便于现场制作试块，本条规定统一采用边长为 100mm 的立方体试块作为标准试块进行高延性混凝土的立方体抗压强度评定，不再进行尺寸折减系数调整。

7.2.3、7.2.4 高延性混凝土材料进场检测的目的是初步确定材料是否满足设计及施工要求，为施工前的第一步检测；通过 60d 标准养护试块检测来评定材料最终的性能是否符合本规程规定及设计要求。

7.2.5 本条规定了高延性混凝土材料进场见证取样复检及施工过程中的力学性能检测评定试块留置数量要求。进场复检每一批次

一组即可，施工现场抽检时，每一批次留置不应少于3组，即3组 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块、6组 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 的棱柱体试块（其中3组测试高延性混凝土的抗折强度，另外3组测试高延性混凝土的等效弯曲强度和等效弯曲韧性）。

7.3 质量验收

7.3.5 ~ 7.3.8 这4条规定根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 关于建筑工程质量验收原则制定，具体可参照该标准有关条文说明。

附录 A 砌体结构农村房屋加固

A.1 一般规定

A.1.1 高延性混凝土加固农村房屋主要是针对砌体结构的构造加固，提高房屋的整体性。

A.1.3 高延性混凝土加固技术应用于农村房屋加固时，可以很好地改善房屋上部结构的整体性能，提高结构的安全性，但对地基基础、木屋架等本规程未涉及的加固内容，应符合国家及山东省现行有关标准的规定。

A.2 基本要求

A.2.2 房屋的加固，首先要保证地基基础的稳定和承载能力，在确保地基基础安全、稳定的前提下，再对上部结构进行加固处理。

A.3 砌体结构农村房屋整体性加固

A.3.1 高延性混凝土竖向和水平条带同时设置可使墙体受到双向约束，增强墙体整体性，且将条带设置在墙体外侧，可以在不影响住户正常生活的前提下对房屋进行加固，避免了房屋内部家具搬运和施工阶段的过渡安置费用。在墙体拐角处及水平和竖向条带相交处留施工冷缝会严重削弱相邻条带之间的共同工作能力，降低整体性加固效果，施工时应严格禁止。

A.3.2 随着高延性混凝土条带厚度和宽度的增加，其加固效果也相应提高。本规程中，随着设防烈度的提高，高延性混凝土条带厚度和宽度也相应增加。对不同设防烈度规定不同的条带宽度

和厚度，有利于节约成本。

A.3.3 加固前对墙面采用嵌缝处理，可以提高加固层与原墙体的协同工作能力，取得更好的加固效果。

A.3.4 高延性混凝土竖向条带在遇到门窗洞口时，应将高延性混凝土包至洞口边沿，保证高延性混凝土在洞口边的锚固，同时可以提高竖向条带对洞口侧面墙体的约束作用。

一字墙端部由于缺少垂直方向墙体的约束作用，地震作用下端部容易产生平面外破坏，在采用高延性混凝土加固一字形墙体时，宜在墙体端部双面设置高延性混凝土竖向条带。

墙段长度较大时，应适当增加竖向条带数量来减小相邻竖向条带之间的距离，从而保证竖向条带对墙体的可靠约束。

A.3.5 外墙墙顶及楼（屋）盖处设置高延性混凝土水平条带，可以起到类似于圈梁的构造作用，水平条带闭合设置时才能更好地发挥整体性加固效果。

A.3.7 高延性混凝土水平条带与竖向条带相交部位需设置加腋，可有效减少条带交接部位的应力集中，防止拐角处高延性混凝土开裂。但在加腋部位施工时应严格控制、连续施工，严禁在此部位留施工冷缝。

A.3.8 墙体块材及砌筑砂浆风化严重，或房屋砌筑砂浆饱满度很差、墙体块材及砌筑砂浆已出现明显松散脱落现象时，应该对整片墙体采用高延性混凝土面层进行加固，提高墙体整体性。墙体开洞率是指洞口水平截面积与墙面水平毛截面积之比，相邻洞口之间净宽小于 500mm 的墙段视为洞口。当开洞率大于 50% 时，墙体整体性削弱较明显，此时应对整片墙体采用面层加固。

A.4 施工与验收

A.4.1、A.4.2 高延性混凝土加固农村房屋应以被加固的单栋

房屋为一个检验批进行施工质量检验，但由于农房加固的单栋房屋体量很小，如果材料性能检验也按每栋房屋一个检验批进行，这样工作量很大而且在实际农房加固工程中也没有可操作性，因此，施工过程中的高延性混凝土力学性能检验按 50 栋农房为一个批次进行，可以较合理地达到检查监督和验收的目的。

附录 B 高延性混凝土弯曲性能试验方法

本试验方法为西安建筑科技大学针对高延性混凝土的弯曲韧性专门提出的试验和评定方法。目前国际上对纤维混凝土弯曲韧性试验方法的研究较多，现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 和协会标准《纤维混凝土试验方法标准》CECS 13 均给出了纤维混凝土等效弯曲强度、初裂强度和弯曲韧性的试验方法。按以上方法计算试块的等效弯曲强度时，需要计算试块跨中挠度为 $L/150$ 的荷载-挠度曲线下的面积。对高延性混凝土，跨中挠度为 $L/150$ 时尚未达到试块的峰值荷载。因此，采用以上方法不能反映出高延性混凝土良好的弯曲韧性。

本规程提出的高延性混凝土弯曲韧性试验方法，给出了标准试块尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 。按本规程方法对试块进行四点弯曲试验，测得其荷载-挠度曲线，计算出高延性混凝土的等效弯曲强度，再考虑试块挠曲变形对高延性混凝土弯曲韧性的影响，计算试块的等效弯曲韧性，其物理意义为试块塑性变形区域耗散的能量，与弯曲韧性的定义吻合，能更好地反映高延性混凝土的弯曲韧性。

附录 C 高延性混凝土力学性能快速 检测评定方法

本附录中的方法为高延性混凝土力学性能的快速检测方法，主要用于高延性混凝土材料进场复检时初步判断材料是否可以用于施工。因为采用快速养护，可以使高延性混凝土力学性能较快发展，并比较接近实际标准养护 60d 的强度指标，能更真实地反映材料最终的性能，作为进场检测依据更为科学合理。

由于强度越高韧性越低的原因，快速检测的性能指标中等效弯曲韧性要高于本规程第 4.2.1 条的规定，而抗折强度和抗压强度由于还未完全达到最终 60d 标养的强度，因此略有降低。通过进场的材料性能复检和施工过程中抽样进行 60d 标准养护的力学性能检测，能够在不影响正常施工的前提下，保证材料性能安全可靠。