备案号:JXXXXX-XXXX

四川省工程建设地方标准

P DBXXXX—XXXX

四川省高延性混凝土加固技术标准

Technical standard for strengthening structure with high ductile concrete in Sichuan Province

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布 XXXX-XX-XX实施

四川省住房和城乡建设厅 发布

四川省工程建设地方标准

四川省高延性混凝土加固技术标准

Technical standard for strengthening structure with high ductile concrete in Sichuan Province

**DB51/Txxx-2024**

主编单位：四川省建筑设计研究院有限公司

西安建筑科技大学

批准部门：四川省住房和城乡建设厅

施行日期：XXXX年XX月XX日

（征求意见稿）

西南交通大学出版社

2024-XX-XX 成都

**前 言**

本标准是根据《四川省住房和城乡建设厅关于下达工程建设地方标准计划的通知》（川建标函〔2021〕718号）的要求，由四川省建筑设计研究院有限公司和西安建筑科技大学会同有关单位共同编制完成。

标准编制组经过广泛的调查研究，参考了省内外相关技术资料，总结了近年来四川省高延性混凝土加固工程的实践经验，并在广泛征求意见的基础上，完成本标准的编制。

本标准共分为7章，主要技术内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4高延性混凝土材料；5 砌体结构加固设计；6 施工；7质量验收。

本标准由四川省住房和城乡建设厅负责管理，由四川省建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至四川省建筑设计研究院有限公司（地址：成都市天府大道中段688号大源国际中心1栋，邮政编码：610017，E-mail：sadi\_jsfzb@163.com，电话028-86933790）。

主编单位：四川省建筑设计研究院有限公司

西安建筑科技大学

参编单位：西安五和新材料科技集团股份有限公司

西南交通大学

西南科技大学

成都建工工业化建筑有限公司

成都市建设工程质量监督站

核工业西南勘察设计研究院有限公司

成都城投城建科技有限公司

成都市建筑设计研究院有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总 则 2](#_Toc4448)

[2 术语和符号 3](#_Toc32675)

[2.1 术语 3](#_Toc19899)

[2.2 符号 4](#_Toc24444)

[3 基本规定 5](#_Toc8716)

[4 高延性混凝土材料 7](#_Toc28439)

[4.1 原材料 7](#_Toc5426)

[4.2 拌合物性能 7](#_Toc22750)

[4.3 力学性能 8](#_Toc4819)

[4.4 耐久性能 11](#_Toc8504)

[5 砌体结构加固设计 12](#_Toc8106)

[5.1 一般规定 12](#_Toc19489)

[5.2 砌体抗压加固 12](#_Toc23641)

[5.3 砌体抗剪加固 16](#_Toc23804)

[5.4 砌体抗震加固 17](#_Toc24906)

[5.5 构造规定 19](#_Toc11948)

[6 施工 24](#_Toc12497)

[6.1 一般规定 24](#_Toc16372)

[6.2 施工准备 25](#_Toc5255)

[6.3 过程控制 25](#_Toc2247)

[6.4 季节性施工 26](#_Toc11853)

[7 质量验收 27](#_Toc28246)

[7.1 一般规定 27](#_Toc13853)

[7.2 主控项目 28](#_Toc14870)

[7.3 一般项目 29](#_Toc875)

[附录A 高延性混凝土弯曲试验方法 31](#_Toc12830)

[附录B 高延性混凝土力学性能快速检验方法 34](#_Toc9515)

[附录C 农村房屋加固 36](#_Toc4108)

[C.1 一般规定 36](#_Toc9068)

[C.2 基本要求 36](#_Toc28496)

[C.3 加固设计 36](#_Toc3784)

[C.4 施工与质量验收 42](#_Toc10080)

[本标准用词说明 43](#_Toc14153)

[引用标准名录 44](#_Toc32366)

Contents

[1 General Provisions 2](#_Toc30872)

[2 Terms and Symbols 3](#_Toc32667)

[2.1 Terms 3](#_Toc28939)

[2.2 Symbols 4](#_Toc16261)

[3 Symbols 5](#_Toc2349)

[4 High Ductile Concrete Materials 7](#_Toc29858)

[4.1 Raw Material 7](#_Toc25064)

[4.2 Mixing Properties 7](#_Toc12367)

[4.3 Mixing Properties 8](#_Toc21215)

[4.4 Durability 11](#_Toc4245)

[5 Design of strengthening masonry structures 12](#_Toc15157)

[5.1 Durability 12](#_Toc21564)

[5.2 Masonry Compression Strengthening 12](#_Toc1127)

[5.3 Masonry Shear Strengthening 16](#_Toc22884)

[5.4 Masonry Seismic Strengthening 17](#_Toc2044)

[5.5 Structural measure 19](#_Toc31224)

[6 Construction 24](#_Toc22378)

[6.1 General Requirements 24](#_Toc24274)

[6.2 General Requirements 25](#_Toc31631)

[6.3 Process control 25](#_Toc5613)

[6.4 Seasonal construction 26](#_Toc6338)

[7 Quality Acceptance 27](#_Toc28513)

[7.1 General Requirements 27](#_Toc3929)

[7.2 Master control item 28](#_Toc16484)

[7.3 General item 29](#_Toc17690)

[Appendix A Test Method for Flexural of high ductile concrete 31](#_Toc20323)

[Appendix B Rapid Inspection and Evaluation Method for](#_Toc14807)

[Mechanical Properties of high ductile concrete 34](#_Toc14807)

[Appendix C Rural house reinforcement 36](#_Toc27067)

[C.1 General Requirements 36](#_Toc2389)

[C.2 Basic requirement 36](#_Toc8152)

[C.3 Reinforcement design 36](#_Toc9480)

[C.4 Construction and quality acceptance 42](#_Toc318)

[Explanation of Wording in This Standard 43](#_Toc6009)

[List of Quoted Standards 44](#_Toc18845)

**1** 总 则

**1.0.1** 为规范高延性混凝土在四川省砌体结构加固工程中的应用，保证工程质量，做到技术先进、安全可靠、经济合理，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于抗震设防烈度抗震设防烈度不超过9度地区，采用高延性混凝土加固砖砌体和砌块砌体结构的设计、施工及质量验收。

【条文说明】 本标准适用于6-9度地区，采用高延性混凝土加固砖砌体和砌块砌体结构的设计、施工及质量验收。我国现行《建筑抗震设计规范》（GB 50011）对建筑物的抗震设防目标是“小震不坏、中震可修、大震不倒”。西安建筑科技大学邓明科教授课题组的多次振动台试验表明，采用高延性混凝土加固的二层砌体房屋，其抗震性能可以大幅度提高，在9度大震时没有出现裂缝，可以达到“中震不坏”甚至是“大震不坏”的设防目标。且在多个高烈度区均进行了试点应用，部分试点也经历了地震的考验。对于石砌体等砌体结构及构件，高延性混凝土或配筋高延性混凝土面层加固仍能够较明显的提高其承载力和整体性，但限于目前对其计算理论的研究较少，因此暂未列入到本规程中。

**1.0.3** 高延性混凝土加固砌体结构的设计、施工及质量验收除应符合本标准外，尚应符合国家、行业及四川省现行有关标准的规定。

【条文说明】 这条主要是对本标准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

由胶凝材料、骨料、外加剂和合成纤维等原材料组成，按一定比例加水搅拌、成型以后，韧性、抗裂性能和耐损伤能力较高的特种混凝土。

【条文说明】 高延性混凝土（high ductile concrete，简称HDC），是一种具有韧性高、抗裂性能和耐损伤能力强的新型结构材料。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

本标准4.3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。

**2.1.2**  等效弯曲强度 equivalent flexural strength

试件弯曲韧性试验时，根据荷载-挠度曲线按图形面积相等原则确定等效弯曲荷载，由等效弯曲荷载计算得到的试件跨中最大拉应力。

**2.1.3** 等效弯曲韧性equivalent flexural toughness

试件弯曲韧性试验时等效弯曲强度与挠跨比的乘积。

**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或混凝土、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减系数。

**2.1.5**  高延性混凝土面层加固 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** 配筋高延性混凝土面层加固 structure member strengthening with reinforced high ductile concrete layer

在待加固构件表面增设配筋及一定厚度高延性混凝土的加固方法。

**2.1.7** 结构胶粘剂 structural adhesive

用于承重结构构件粘接或锚固的、能长期承受设计应力和环境作用的胶粘剂，简称结构胶。

**2.2** 符号

**2.2.1** 材料性能

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 等效弯曲强度（N/mm2）； |
| —— | 等效弯曲韧性（kJ/m3）； |
| —— | 高延性混凝土的强度等级； |
| —— | 高延性混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm2）； |
| —— | 高延性混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm2）； |
| —— | 高延性混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm2）； |
| —— | 高延性混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm2）； |
| —— | 高延性混凝土的受压弹性模量（N/mm2）； |
| —— | 原构件砌体抗压强度设计值（N/mm2）。 |

**2.2.2** 抗力和作用效应

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 采用高延性混凝土面层加固后构件提高的受剪承载力（N）； |
| —— | 墙体采用配筋面层加固后，水平方向钢筋承担的剪力（N）； |
| —— | 考虑地震组合的墙体剪力设计值（N）； |
| —— | 原砌体截面抗震受剪承载力（N）。 |

**2.2.3**  计算系数

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 轴心受压构件的稳定系数； |
| —— | 高延性混凝土强度利用系数； |
| —— | 受剪加固时，水平钢筋强度利用系数； |
| —— | 受压加固时，竖向钢筋强度利用系数； |
| —— | 高延性混凝土加固后墙体侧向刚度的提高系数。 |

**2.2.4**  几何参数

|  |  |
| --- | --- |
| —— | 原构件截面面积（mm2）； |
| —— | 新增高延性混凝土面层的截面面积（mm2）； |

**3** 基本规定

**3.0.1** 高延性混凝土的拌合物性能、力学性能、耐久性能等应符合本标准有关规定，同时应满足设计要求。

**3.0.2** 高延性混凝土的正常使用环境温度不宜超过90°C，当正常使用环境温度高于90°C时，应采取适当的隔热措施。

【条文说明】 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°C时，高延性混凝土的各项性能指标基本不受影响，一般情况下使用环境温度规定为不宜超过90°C。

本课题组经过试验研究，采用高延性混凝土加固后的砖砌体墙经过耐火极限测试表明，在测试3h时构件未丧失完整性且隔热性未破坏，说明这种加固方式可以提高原构件的耐火极限，但采用高延性混凝土的工程遇火灾后，为了安全起见，一般要通过检测鉴定评定结构安全现状是否仍满足要求，当有问题时应采取相应的加固或修复处理措施。

**3.0.3**  砌体结构加固前，应按国家现行有关标准进行安全性鉴定和抗震鉴定。

**3.0.3** 采用高延性混凝土面层加固砌体结构时，原砌筑砂浆的强度等级不宜低于M0.4，块体强度等级不宜低于MU5.0。

**3.0.4** 高延性混凝土加固砌体结构应符合下列规定：

**1** 加固结构的安全等级，应根据结构破坏后果的严重性、结构的重要性和加固设计工作年限综合确定，并应符合国家现行有关标准的规定；

**2** 采用高延性混凝土加固砌体结构的设计，应综合考虑其技术经济效果，避免不必要的拆除和更换；

**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；

**4** 采用高延性混凝土加固时应避免对未加固部分以及相关结构构件造成不利的影响；

**5** 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；

**6** 采用配筋高延性混凝土加固时，受力钢筋的高延性混凝土保护层厚度，不应小于钢筋的公称直径d，且不宜小于表3.0.4中的规定。

表**3.0.4** 受力钢筋的高延性混凝土保护层厚度（mm）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 环境条件  构件类别 | 室内干燥环境 | 露天或室内  潮湿环境 | 干湿交替或严寒和寒冷地区露天环境 |
| 墙 | 15 | 20 | 25 |
| 梁、柱 | 20 | 25 | 35 |

**7** 在加固设计时，若发现原砌体结构无圈梁和构造柱，或圈梁和构造柱等影响结构整体牢固性的构造措施数量不足或设置部位不当时应在本次加固设计时补足。

【条文说明】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作为加固后的安全等级，而应根据业主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。

结构的加固设计，系以业主提供的结构用途、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。

**3.0.5**  采用高延性混凝土加固的砌体结构，其加固设计工作年限应符合现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021、《砌体结构加固设计规范》GB 50702及国家有关标准的规定。

【条文说明】采用高延性混凝土加固的结构加固设计工作年限的规定，与现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021、《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等相协调。

**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。合成纤维的规格宜符合表4.1.1-1、力学性能应符合表4.1.1-2的规定。其中，纤维力学性能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） |
| 合成纤维 | 4~15 | 12~50 |

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/mm2） | ≥1200 |
| 初始模量（N/mm2） | ≥3.0×104 |
| 断裂伸长率（%） | 3.0~8.0 |
| 耐碱性能（极限拉力保持率） | ≥95% |

【条文说明】 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。

**4.1.2** 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的相关规定。

**4.1.3** 骨料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684的规定，并宜采用中砂。

**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等国家现行有关标准的规定。

**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** 拌合物性能

**4.2.1** 高延性混凝土拌合物应具有良好的和易性，不应出现离析、泌水等现象，纤维不得聚团。

**4.2.2** 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25mm~40mm；用于喷射施工时，稠度宜为60mm~80mm。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。

【条文说明】高韧性混凝土材料中不含粗骨料，其拌合物性能类似于砂浆，控制高延性混凝土拌合物的稠度，可以更好地保证其施工操作的方便，同时合适的稠度更有利于施工的密实程度和保证施工质量。总结成功的工程经验，本条规定了材料的稠度要求。

**4.3**  力学性能

**4.3.1**  高延性混凝土按力学性能指标分为I类、II类和III类，各类高延性混凝土的主要力学性能指标如表4.3.1所示：

表4.3.1 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/m3） | 28d | ≥170.0 | ≥130.0 | ≥90.0 |
| 60d | ≥160.0 | ≥120.0 | ≥80.0 |
| 等效弯曲强度（N/mm2） | 28d | ≥10.0 | ≥9.0 | ≥8.0 |
| 60d | ≥11.0 | ≥10.0 | ≥9.0 |
| 极限抗拉强度（N/mm2） | 28d | ≥5.2 | ≥4.4 | ≥3.6 |
| 60d | ≥6.5 | ≥5.5 | ≥4.5 |
| 极限抗拉应变 | 28d | ≥1% | | |
| 抗折强度（N/mm2） | 28d | ≥11.0 | | |
| 60d | ≥12.0 | | |
| 立方体抗压强度（N/mm2） | 28d | ≥45.0 | | |
| 60d | ≥50.0 | | |

注： 1 表中性能指标除立方体抗压强度为标准值外，其他性能指标均指试验结果的代表值，按本标准第4.3.4条规定计算；

2 表中I类、II类、III类高延性混凝土的选用应符合本标准第5.1.2条和第C.1.4条的规定。

3 表中28d龄期作为施工过程控制指标，60d龄期作为最终验收的指标要求。

【条文说明】本条给出了高延性混凝土几个主要力学性能指标，作为高延性混凝土力学性能检验的重要依据。其中等效弯曲韧性和等效弯曲强度为韧性评价指标，抗拉强度、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。因此高延性混凝土的早期强度增长较慢，但是超过28d以后的强度仍有较大幅度增长，因此，表中以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。

采用高延性混凝土能有效避免混凝土的脆性破坏，充分发挥其韧性和强度的优势，具有良好的经济效益。由于混凝土材料本身随强度增高、脆性增大的变化规律，实际工程使用抗压强度较高的高延性混凝土时，其韧性评价指标也会有所降低，但在保证其韧性评价指标能够满足表4.3.1要求的前提下也可以正常使用。

**4.3.2** 检验高延性混凝土力学性能的试件，其制作及养护方法应符合《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081和《高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法》JC/T 2461等国家现行有关标准的相关规定，材料力学性能的评定龄期可采用标准养护28d或60d，具体由设计确定。试件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件尺寸为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件尺寸为40mm×40mm×160mm。

**4.3.3** 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的有关规定进行立方体抗压试验，测定高延性混凝土的立方体抗压强度，测试结果应乘以尺寸折算系数0.95；

**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，测定高延性混凝土的抗折强度；

**3**  按本标准附录A的方法进行四点弯曲试验，测定高延性混凝土的等效弯曲强度和等效弯曲韧性；

**4** 按照现行行业标准《高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法》JC/T 2461的有关规定进行拉伸试验，测定高延性混凝土的极限抗拉强度。

【条文说明】4.3.2、4.3.3 本条主要给出了高延性混凝土主要力学性能的试验方法及标准试件尺寸。由于高延性混凝土基体内不含粗骨料，且材料匀质性较好，为便于现场制作试件，本条规定统一采用边长为100mm的立方体试件作为标准试件进行高延性混凝土的立方体抗压强度评定，测试结果应乘以尺寸折算系数0.95。

**4.3.4** 高延性混凝土的力学性能试验结果代表值的计算方法应符合下列规定：

**1**  高延性混凝土的等效弯曲强度代表值和等效弯曲韧性代表值取3个试件（1组）测试结果的算术平均值；

**2**  高延性混凝土的极限抗拉强度试验以6个试件为一组，6个试件测值的算术平均值作为该组试件的极限抗拉强度，精确至 0.01 MPa.

**3** 高延性混凝土的抗折强度代表值的计算应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671的有关规定；

**4** 高延性混凝土的立方体抗压强度标准值的计算应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107的有关规定。

**4.3.5** I类、II类、III类高延性混凝土的材料性能计算指标应按表4.3.5取值。

表4.3.5 高延性混凝土的材料性能计算指标

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 轴心抗压强度设计值  （N/mm2） | 受压弹性  模量  （N/mm2） | 泊松比 | 轴心抗拉强度设计值（N/mm2） | | |
| I类 | II类 | III类 |
| 计算指标 | 27.6 | 2.20×104 | 0.14 | 4.5 | 3.8 | 3.1 |

【条文说明】本条给出了高延性混凝土的材料性能计算指标。

**1** 高延性混凝土轴心抗压强度标准值按下式计算：

 （1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  0.88—— | 考虑到结构中混凝土强度与试件混凝土强度之间的差异而采取的修正系数； |
| —— | 棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值，可取0.88； |
| —— | 高延性混凝土立方体抗压强度标准值，Cd50的高延性混凝土=50N/mm2。 |

上式（1）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依据。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为0.88~0.95，可偏于安全取0.88。因此，其棱柱体抗压强度标准值N/mm2。

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N/mm2；

因高延性混凝土变形能力显著高于砌体结构，根据本构关系，高延性混凝土稳定开裂前处于弹性阶段，为保证弹性设计阶段的高延性混凝土面层与砌体结构的变形协调，取稳定开裂应力*σ*ss做为高延性混凝土的抗拉屈服强度值。根据课题组试验研究的统计结果以及对稳定开裂应力*σ*ss与极限抗拉强度*σ*tu进行大量试验，线性回归分析后得到：。

图2是理论模型与实测应力-应变曲线的比较，可见试验曲线与拟合曲线总体上吻合较好，说明此本构关系的合理性。

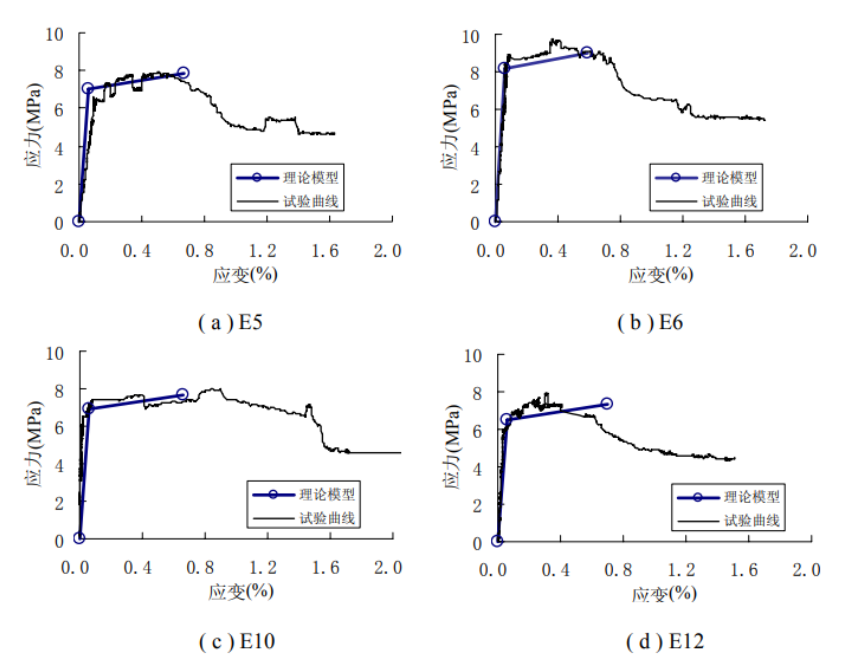


图2 实测应力-应变曲线与本构模型比较示例

且课题组经过大量试验与计算验证，综合考虑高延性混凝土的各类使用工况与安全性，最终确定标准值与设计值之比值，即高延性混凝土的材料分项系数取1.3。

所以轴心抗拉强度设计值为：

**2** 高延性混凝土的受压和受拉弹性模量与其立方体抗压强度有关，但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、浙江大学等高等院校大量试验结果以及国家建筑工程质量监督检验中心的检验结果，高延性混凝土的弹性模量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弹性模量=2.20×104 N/mm2。当有可靠试验依据时，弹性模量可根据实测数据确定。

**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。

**4.4** 耐久性能

**4.4.1** 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，相应的耐久性能指标应符合表4.4.1的规定，并应满足设计要求。

表4.4.1 高延性混凝土的主要耐久性能指标

| 指标类别 | 指标要求 |
| --- | --- |
| 抗冻性能（快冻法） | ≥F300 |
| 抗水渗透性能（逐级加压法） | ≥P12 |
| 抗氯离子渗透性能-氯离子迁移系数*D*RCM（/10-12m2/s） | *D*RCM＜2.5 |
| 抗硫酸盐侵蚀性能 | ≥KS90 |
| 抗碳化性能-碳化深度*d*（mm） | *d*≤2.0 |

**【条文说明】**4.4.1 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要求，对于I类、II类、III类高延性混凝土均应满足本条规定。当设计中对其耐久性能有要求时，可参照本条规定其具体耐久性指标，设计中相应的耐久性指标要求不应低于本条的规定。高延性混凝土抗碳化性能对于被加固结构的耐久性有重要意义，本条对于其抗碳化性能给出的规定为碳化深度*d*不大于2.0mm，对应碳化等级不低于T-IV，且略严于该等级的0.1mm≤*d*＜10mm的碳化深度范围要求。抗氯离子渗透性能也给出了氯离子迁移系数*D*RCM＜2.5的要求，即等级不低于RCM- IV。

**4.4.2** 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的有关规定进行试件制作、养护及性能测试。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。

**5** 砌体结构加固设计

**5.1** 一般规定

**5.1.1** 高延性混凝土加固砌体结构的设计计算原则应遵循本规程的规定，并应符合《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021、《砌体结构加固设计规范》GB 50702等国家现行有关标准的规定。

【条文说明】 高延性混凝土加固砖砌体结构及构件是通过面层的约束作用和优良的材料性能来达到加固目的，其设计计算原则与现行国家标准《砌体结构加固设计规范》GB 50702的有关规定相一致，并应符合《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021、《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116等国家现行有关标准的规定，这样在规程应用过程中保持了和其他相关标准、规范的协调统一。

**5.1.2** 砌体结构房屋加固时，高延性混凝土力学性能指标的选用应符合表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）抗震设防类别为重点设防类时，抗震设防烈度为8度及以上或层数为三层及三层以上的砌体结构。 | I类 |
| （2）抗震设防类别为重点设防类或标准设防类时，除第（1）条规定情况之外的砌体结构。 | 不低于II类 |
| （3）抗震设防类别为适度设防类的砌体结构。 | 不低于III类 |

【条文说明】高延性混凝土的分类主要是从构造和抗震耗能的角度考虑，根据等效弯曲韧性和等效弯曲强度的不同来划分，对不同的抗震要求的砖砌体结构，采用不同类型的高延性混凝土，在保证结构构件承载力和耗能能力的前提下可以取得较好的经济效果。

**5.2** 砌体抗压加固

**5.2.1**  采用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的砌体构件时，其正截面受压承载力应按下式验算：

 （5.2.1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：*N*—— | 构件加固后的轴心压力设计值（kN）； |
| —— | 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表8.2.3的规定取值； |
| —— | 原构件砌体抗压强度设计值； |
| —— | 原构件截面面积；对空斗墙砌体构件，应取其净截面面积进行计算； |
| —— | 高延性混凝土强度利用系数，取0.15； |
| —— | 高延性混凝土轴心抗压强度设计值； |
| —— | 新增高延性混凝土面层的截面面积； |
| —— | 竖向钢筋强度利用系数，对砖砌体，取=0.80；对混凝土小型空心砌块砌体，取=0.70； |
| —— | 新增竖向钢筋抗压强度设计值； |
| —— | 新增受压区竖向钢筋截面面积。 |

**5.2.2** 采用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的砌体构件（图5.2.2）时，其正截面受压承载力应按下列公式验算：

 （5.2.2-1）

 （5.2.2-2）

此时，钢筋的应力（单位为MPa，拉应力为正值，压应力为负值），应根据截面受压区相对高度，按下列规定确定：

当（即小偏心受压）时

 （5.2.2-3）

 （5.2.2-4）

当（即大偏心受压时

）

 （5.2.2-5）

 （5.2.2-6）

其中截面受压区高度，可由下式确定：

 （5.2.2-7）

** （5.2.2-8）

** （5.2.2-9）

** （5.2.2-10）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：— | 原构件砌体受压区的截面面积； |
| —— | 高延性混凝土强度利用系数，取0.15； |
| —— | 高延性混凝土面层受压区的截面面积； |
| —— | 偏心受压构件竖向钢筋强度利用系数，对砖砌体，取=0.90；对混凝土小型空心砌块砌体，取=0.80； |
| —— | 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； |
| —— | 原构件砌体受压区的截面面积对钢筋重心的面积矩； |
| —— | 高延性混凝土面层受压区的截面面积对钢筋重心的面积矩； |
| —— | 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； |
| —— | 原构件砌体受压区的截面面积对轴向力N作用点的面积矩； |
| —— | 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； |
| —— | 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； |
| —— | 轴向力对加固后截面的初始偏心距，按荷载设计值计算，当时，取； |
| —— | 加固后的构件在轴向力作用下的附加偏心距； |
| —— | 加固后的构件高厚比； |
| —— | 加固后的截面高度； |
| —— | 加固后的截面有效高度； |
| —— | 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沿的距离； |
| —— | 距轴向力N较远一侧钢筋的截面面积； |
| —— | 距轴向力N较近一侧钢筋的截面面积； |

（a）小偏心受压 （b）大偏心受压

图5.2.2 加固后的偏心受压构件

【条文说明】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构件可看成砌体与高延性混凝土面层的组合砌体构件。因此，可利用现行国家标准《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构件轴心受压计算公式。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（实际强度）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“实际强度”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。安全起见，无论单面双面，无初始荷载时均取为0.3。

受压加固时，考虑到加固结构中的原有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，则高延性混凝土强度利用系数。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。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、施楚贤等学者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与高延性混凝土强度利用系数的关系（图3）。



图3 砖砌体墙的初始应力比与高延性混凝土强度利用系数的关系

由图可知，随着初始应力比的增大，逐渐减小。当初始应力比小于等于0.7时，曲线下降缓慢；当初始应力比大于0.7时， 下降增快。当初始应力比等于0.7时，在有初始应力情况下相对于初始应力比为0时的下降比例，即二次受压折减系数在0.43~0.67之间。经综合考虑，取二次受压影响系数为=0.5。

**5.3** 砌体抗剪加固

**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符合下列规定：

 （5.3.1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  *V* —— | 墙体剪力设计值； |
| —— | 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；被加固墙体为空斗墙时，可不考虑原墙体的受剪承载力，即=0； |
| —— | 高延性混凝土面层加固后墙体受剪承载力提高值。 |

【条文说明】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。由于空斗墙本身抗剪性能和整体性较差，且空斗墙抗剪承载力的理论研究较少，因此在空斗墙加固计算时，抗剪计算时可不考虑其抗剪承载力，即被加固的墙体抗剪承载力全部由高延性混凝土加固层承担，这样设计也是偏于安全的。

**5.3.2** 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后墙体的受剪承载力提高值应按下列公式计算：

 （5.3.2-1）

 （5.3.2-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 高延性混凝土轴心抗拉强度设计值；按本标准4.3.5条规定取值；当有可靠试验资料时，取值可根据试验结果确定； |
| —— | 高延性混凝土强度利用系数，墙体抗剪加固时，可取； |
| *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； |
| —— | 墙体采用配筋面层加固后，水平钢筋承担的剪力； |
| —— | 水平钢筋强度利用系数，取=0.90； |
| —— | 水平向钢筋的强度设计值； |
| —— | 配置在同一截面内的水平钢筋全部截面面积； |
| —— | 水平向钢筋的间距。 |

【条文说明】采用高延性混凝土面层加固后，墙体提高的受剪承载力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

**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应按下式验算：

 （5.4.1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 考虑地震组合的墙体剪力设计值； |
| —— | 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；被加固墙体为空斗墙时，可不考虑原墙体的抗震受剪承载力，即=0； |
| —— | 采用高延性混凝土加固后提高的受剪承载力，按本标准5.3.2条计算； |
| —— | 承载力抗震调整系数，取为0.85。 |

【条文说明】 原砌体的抗震承载力计算与现行国家标准《砌体结构设计规范》GB 50003规定相同；而高延性混凝土的贡献，根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011在截面抗震验算中所建立的概念，可以简单的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。这是一种偏于安全的处理方法。

**5.4.2**  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：

 （5.4.2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 加固后楼层或墙段的综合抗震能力指数； |
| —— | 加固增强系数，可按本标准5.4.4条计算； |
| —— | 楼层或墙段原有的抗震能力指数，应分别按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023规定的有关方法计算； |
| 、—— | 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。 |

【条文说明】 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和局部影响系数。

**5.4.3** 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层加固后，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：

不计入构造影响时  （5.4.3-1）

计入构造影响时  （5.4.3-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  —— | 墙段的剪力设计值； |
| —— | 墙段的加固增强系数，可按本标准式（5.4.4-2）确定； |
| —— | 墙段原有的抗震受剪承载力，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011对砌体墙的有关规定计算；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；空斗墙抗震加固应采用式（5.4.1）验算截面抗震受剪承载力。 |

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

 （5.4.4-1）

 （5.4.4-2）

注：原墙体在重力荷载代表值作用下的平均竖向压应力时，增强系数应乘以0.8进行折减，*f*为原砌体的抗压强度设计值和实测值二者中较小值。

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 高延性混凝土加固后第*i*楼层抗震能力的增强系数； |
| —— | 第*i*楼层第*j*墙段高延性混凝土面层加固的增强系数；高延性混凝土面层加固时，取值不大于3.00；配筋高延性混凝土面层加固时，取值不大于5.00； |
| —— | 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； |
| —— | 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； |
| —— | 第*i*楼层中验算方向上的面层加固抗震墙的道数； |
| —— | 原砌体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。 |

**5.4.5** 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作相应改变，有关墙体局部尺寸的影响系数应取1.0。

**5.4.6** 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：

**1** 墙体高宽比小于1时，可只计算剪切变形：

 （5.4.6-1）

**2** 墙体高宽比不大于4且不小于1时，应同时计算弯曲和剪切变形：

 （5.4.6-2）

 （5.4.6-3）

**3** 墙体高宽比大于4时，墙体的侧向刚度可取0。

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 采用高延性混凝土面层加固后墙体的侧向刚度； |
| —— | 原砌体的弹性模量； |
| —— | 高延性混凝土面层的受压弹性模量； |
| —— | 原砌体的横截面面积； |
| —— | 高延性混凝土面层的横截面面积； |
| —— | 加固后砌体的剪切模量，取； |
| —— | 截面剪应变不均匀系数，取=1.2； |
| —— | 竖向压应力影响系数，取=1.0； |
| —— | 墙体竖向高度； |
| 、—— | 分别表示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。 |

**5.4.7** 采用高延性混凝土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按下式计算：

 （5.4.7）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：—— | 原墙体加固前的侧向刚度； |
| —— | 高延性混凝土加固后，墙体侧向刚度的提高系数。 |

**5.5** 构造规定

**5.5.1** 采用高延性混凝土加固墙体应符合下列规定：

**1** 对8度及以下设防地区，高延性混凝土面层厚度不应小于10mm；对9度设防地区，高延性混凝土面层厚度不应小于15mm，且应进行双面加固；

**2** 当面层厚度大于30mm时，宜配置钢筋网片及拉结筋（图5.5.1-1），竖向及水平钢筋直径宜选用6mm~10mm，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9固时采用L形锚筋，间距不宜大于600mm；S形拉结筋和L形锚筋宜梅花状布置，具体配筋应根据实际工程由计算确定；



图5.5.1-1 钢筋网片及拉结筋设置示意图

1——竖向钢筋；2——水平钢筋

**3** 加固用的钢筋，宜优先选用HRB400级钢筋，也可采用HPB300级钢筋；

**4** 原砌筑砂浆抗压强度低于1.0MPa时，高延性混凝土面层与墙体之间宜采用局部嵌缝等方式进行处理，嵌缝深度为10~15mm（图5.5.1-2）。局部嵌缝采用梅花状布置，嵌缝比例不小于30%，嵌缝间距不应大于600mm；

（a）局部嵌缝剖面示意图 （b）局部嵌缝立面示意图

图5.5.1-2 高延性混凝土面层嵌缝示意图

1——高延性混凝土嵌缝；2——高延性混凝土面层

**5** 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。如在墙上开槽将面层端部嵌入墙内或采用嵌缝、L形倒角的形式加强端部锚固；

**6** 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洞口侧边锚固，双面加固宜将两侧的面层在洞口处闭合（图5.5.1-3）；



（a）面层双面加固



（b）面层单面加固

图5.5.1-3 加固门窗洞口做法

1——高延性混凝土

**7** 高延性混凝土加固空斗墙时，应采用双面加固。当加固面层中配置钢筋时，S形拉结筋和L形锚筋所在位置的斗砖内部空洞，应采用灌浆料灌注填实。

【条文说明】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，当墙体承载量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，为了更好的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。

**5.5.2** 高延性混凝土受压加固砌体构件尚应符合下列要求：

**1** 高延性混凝土面层受压加固砌体构件，宜采用双面加固，面层厚度不宜小于15mm；当采用单面加固时，面层厚度不宜小于20mm。下列情况宜采用高延性混凝土双面加固：

1）原砌筑砂浆强度不大于1.0MPa；

2）采用高延性混凝土加固偏心受压构件。

**2** 配筋高延性混凝土面层中纵向钢筋的上下端应在有配筋的混凝土梁垫、梁、板或牛腿内可靠锚固；当为底层时，下端应在基础内可靠锚固；

**3** 采用高延性混凝土面层进行砌体受压加固，当面层厚度大于20mm时，宜采用拉结筋增强面层与墙体的可靠拉结（图5.5.2-1），拉结筋的间距不宜大于600mm，且宜为梅花状布置。。双面加固时宜采用直径6mm的S形拉结筋，单面加固时宜采用直径6mm的L形拉结筋，单面加固时，应在原墙体上钻孔将L形钢筋锚入墙内，锚入深度不小于120mm，孔洞应采用结构胶粘剂灌注填实；

（a）双面加固 （b）单面加固

（c）S形钢筋 （d）L形钢筋

图5.5.2-1 高延性混凝土面层设置拉结筋时的构造做法

1——S形钢筋；2——L形钢筋；3——高延性混凝土面层

**4** 当窗间墙高宽比大于4时，应采用高延性混凝土四面围套加固的形式进行加固（如图5.5.2-2），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大于300mm，竖向钢筋直径不应小于8mm，水平闭合钢筋直径不应小于6mm；拉结筋的设置应符合第5.5.1条的规定。

（a）面层加固 （b）配筋面层加固

图5.5.2-2 高宽比大于4的窗间墙四面围套加固做法

1——高延性混凝土面层；2——竖向钢筋；3——水平闭合钢筋；4——拉结筋

**5** 独立承重砖柱应采用高延性混凝土围套加固，并宜采用配筋高延性混凝土面层加固。当采用高延性混凝土面层加固时，面层厚度不宜小于20mm；当面层厚度大于30mm时，应配置竖向钢筋和闭合箍筋，竖向钢筋宜采用HRB400级钢筋、直径不应小于12mm，其净间距不应小于30mm。闭合箍筋的直径不应小于6mm、间距不应大于150mm，柱的两端各500mm范围内，箍筋应加密，其间距应取为100mm，具体配筋应根据实际工程由计算确定（图5.5.2-3）；若加固后的构件截面高度h≥500mm,尚应在截面两侧加设竖向构造钢筋，并相应设置拉结钢筋作为箍筋，拉结筋的直径不应小于6mm，肢距不应大于500mm。

（a）面层加固 （b）配筋面层加固

图5.5.2-3 加固独立砖柱做法示意图

1——高延性混凝土；2——竖向钢筋；3——闭合箍筋

**6** 受压加固时，底层墙体的高延性混凝土面层，应向下延伸至基础顶面。

【条文说明】高延性混凝土受压加固时，加固面层适当增加，且宜采用双面加固，当原砌筑砂浆强度很低或为偏心受压时，为保证加固的整体性，宜采用双面加固，若实际条件只能做单面加固时，应对该加固部位适当加强处理。当面层较厚时，宜采用拉结筋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。

**5.5.3** 采用高延性混凝土面层或配筋高延性混凝土面层对砌体构件进行抗剪和抗震加固时，应符合以下要求：

**1** 高延性混凝土面层加固受剪构件，宜采用双面加固，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；

**2** 底层外墙墙体的高延性混凝土面层，在室外宜伸入地面以下200mm或伸至地圈梁顶面；

**3** 独立砖柱的抗剪及抗震加固方法同第5.5.2条第5款有关规定；

**4** 底层的配筋高延性混凝土面层在室外地面下宜加厚并伸入地面以下500mm或埋深小于500mm的基础圈梁底。

**5.5.4**  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（图5.5.4），整体性加固应符合下列规定：

**1** 组合圈梁高度不小于350mm，面层厚度不应小于40mm；

**2** 高延性混凝土-砌体组合构造柱的面层厚度不应小于40mm，且配筋面层在墙体拐角处应加宽不小于150mm；

**3** 组合圈梁和组合构造柱的纵筋宜采用HRB400级钢筋，箍筋宜采用HPB300级钢筋；组合圈梁的纵筋和箍筋直径不小于10mm和6mm，组合构造柱的纵筋和箍筋直径不小于12mm和8mm，箍筋间距不宜大于300mm。



（a）组合圈梁 （b）组合构造柱1



（c）组合构造柱2

图5.5.4 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——双面搭接焊；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

【条文说明】当砌体结构构造柱或圈梁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。

**6** 施工

**6.1** 一般规定

**6.1.1** 高延性混凝土加固砌体结构的施工工序宜符合下列规定：

**1** 清理原构件表面装饰层；

**2** 砌体表面嵌缝部位灰缝剔凿；

**3** 安装钢筋网、拉结筋；

**4** 清理浮灰；

**5** 制作灰饼；

**6** 浇水润湿构件表面；

**7** 压抹（喷涂）高延性混凝土；

**8** 养护。

注：“安装钢筋网、拉结筋”的工序只在设计方案中有钢筋网和拉结筋时进行。

【条文说明】采用高延性混凝土加固砌体结构一般不需要配置钢筋，施工工序少，施工方法主要为人工压抹，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。

**6.1.2** 高延性混凝土加固砌体结构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专项施工方案，经审查批准后组织实施；

**2** 用于加固的钢筋及高延性混凝土材料进场时，应分别按《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550及本标准7.1.1的规定进行进场检查和见证取样复验。材料送样应经监理工程师签封，复验不合格的材料不得使用，施工单位或生产厂家自行抽样、送检的委托检验报告无效；

**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标准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；合格后方允许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，并应经监理工程师或业主等相关人员检查认可。

【条文说明】本条较具体的规定了高延性混凝土加固砌体结构工程施工质量控制的重点内容。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，使各工序间和各相关专业工程之间形成一个有机的整体。

高延性混凝土加固砌体结构时的基面处理方法和要求与《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550中钢筋网-砂浆面层的要求一致。对于未涉及的其他验收内容，可以参照国家现行有关标准的规定进行验收，本章不再赘述。

**6.1.3** 建筑结构加固施工的全过程，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的有关规定采取可靠的安全措施。

**6.2**  施工准备

**6.2.1** 加固施工使用的机具应满足施工需要，且性能应稳定可靠。

**6.2.2** 加固施工过程中应做好安全防护工作，作业人员应正确使用安全防护用品。

**6.2.3**  施工单位技术人员应仔细阅读设计文件和相关产品使用说明书；施工单位应在施工前对施工人员进行安全质量技术交底，并应经培训掌握施工操作要领。

【条文说明】施工单位要认真熟悉图纸等资料，参加相关单位组织的设计交底，并结合施工情况给出合理建议。加固专项施工方案很重要，在正式施工前，需针对该加固技术的特点和施工条件，认真做好专项施工方案的编制，并向有关人员进行安全质量技术交底。

**6.2.4** 受压砌体加固时应卸除其上的活荷载，必要时应设置临时卸荷支撑。

**6.2.5** 施工操作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。

**6.2.6**  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。

【条文说明】为了确保不同的施工人员对高延性混凝土加固砌体结构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。

**6.3** 过程控制

**6.3.1** 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。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。

【条文说明】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。

**6.3.2** 当设计需要增设钢筋、拉结筋时，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对钢筋网安装工程的有关规定。

**6.3.3** 高延性混凝土应在工厂采用干混料预拌方式制备，在施工现场严格按产品使用说明书要求的配合比加水搅拌而成，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，在搅拌过程中加入成品干混料并搅拌均匀后加入纤维，继续搅拌，至纤维分散均匀、手摸无聚团后停止搅拌。搅拌完成的拌合物，宜在40min之内且拌合物初凝前完成使用。

【条文说明】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。

**6.3.4** 高延性混凝土拌合物应具有良好的和易性，且不应离析和泌水，纤维分散均匀、手摸无结团，使用过程中不得受冻，且不得随意增加用水量和减少纤维掺量。

【条文说明】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、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。

**6.3.5** 用于结构加固的高延性混凝土，其拌合物稠度应符合本标准第4.2.2条的规定。

**6.3.6** 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，且应在高延性混凝土初凝前进行后一层高延性混凝土压抹或喷射施工。

**6.3.7** 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℃时，养护时间不宜少于14d。

**6.4** 季节性施工

**6.4.1** 高延性混凝土施工时环境温度不宜低于5℃。

**6.4.2** 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。

**6.4.3** 高延性混凝土冬期施工时，应适当缩短高延性混凝土凝结时间，但应经试配确定。高延性混凝土拌合物的储存容器应采取保温措施。

【条文说明】6.4.1、6.4.2、6.4.3 《建筑工程冬期施工规程》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。但是，当未进入冬期施工期前，突遇寒流侵袭气温骤降至0℃以下时，为防止负温产生受冻，亦应按冬期施工的相关要求对工程采取应急防护措施。

**6.4.4** 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。

**6.4.5** 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。

**6.4.6** 夏季施工时，高延性混凝土应随拌随用，压抹高延性混凝土时应控制好各层压抹的间隔时间。

**6.4.7** 夏季气温高于30℃时，外墙高延性混凝土面层应采取遮阳措施，并应加强浇水养护。

**7** 质量验收

**7.1** 一般规定

**7.1.1** 高延性混凝土材料进场时，应进行进场检查和见证取样复验，复验合格后方可用于施工，进场检查和复验应符合下列规定：

**1**  高延性混凝土材料进场时应检查产品使用说明书、出厂检验报告（或产品合格证）、产品性能全项检验报告或型式检验报告等质量证明文件。全项检验报告应包含本标准第4.3.1条和4.4.1条规定的所有力学性能和耐久性能检验项目，且检验结果应满足本标准的相关规定。

**2**  高延性混凝土材料进场后应见证取样复验其等效弯曲韧性、等效弯曲强度、抗拉强度、抗折强度和立方体抗压强度，检验合格后方可用于施工，进场复验的检验和评定方法应符合本标准附录B的有关规定。

检查数量：按同一厂家、同一生产批次、同一进场时间每100t（成品干混料和纤维）为一个检验批，不足100t按一个检验批计，每一批次留置不应少于1组，每组3个试件。

检验方法：检查质量证明文件和见证取样复验报告。

【条文说明】高延性混凝土的质量对于相应的工程质量，有着直接的重要影响，使用前应对进场的材料进行见证取样复验其性能，复验合格后方可用于实际工程施工。

**7.1.2** 高延性混凝土加固砌体结构的施工质量检验，应以加固的50个自然间（大面积房间和走廊按30m2为一间）为一个检验批，不足50间的也划分为一个检验批。

【条文说明】高延性混凝土加固砌体结构的施工质量检验应按规定的检验批，按照批次抽样数量规定进行检验，确定其施工质量是否满足设计和本标准有关规定。

**7.1.3**  高延性混凝土标准养护60d龄期的力学性能应满足本标准表4.3.1的要求，同时应符合设计要求。用于检查高延性混凝土力学性能的试件，应在监理工程师见证下，在施工现场高延性混凝土拌合物中随机抽取，并按本标准第4.3.2、4.3.3条的规定进行试件制作和养护。

检查数量：按第7.1.2条规定划分检验批，每一批次留置不应少于3组，每组3个试件。

检验方法：检查60d标准养护试件的检验报告。

【条文说明】通过60d标准养护试件检验来评定施工现场实际使用的高延性混凝土材料最终的性能是否符合本标准规定及设计要求。施工现场抽检时每一批次留置不应少于3组，即3组100mm×100mm ×100mm立方体试件；6组40mm×40mm ×160mm的棱柱体试件（其中3组测试抗折强度，另外3组测试等效弯曲强度和等效弯曲韧性）。

**7.1.4**  检验批抽样样本及试件留置均应随机抽取，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，除本标准另有规定外，其抽检合格点率应不低于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。

**7.1.5** 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，其质量均符合本标准的合格质量规定；

**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。

【条文说明】7.1.4、7.1.5 这两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。

**7.1.6** 本章未涉及到的施工质量验收项目，应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300和《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550等标准的规定。

**7.2**  主控项目

**7.2.1** 高延性混凝土面层外观质量不应有严重缺陷。硬化后高延性混凝土面层的严重缺陷应按表7.2.1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7.2.1 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（或固化）不良 | 高延性混凝土材料失效，致使面层不硬化（或不固化） | 任何部位不硬化（或不固化） | — |
| 裂缝 | 缝隙从高延性混凝土面层表面延伸至内部 | 构件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 |

**7.2.2**  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。构件有效粘结面积与构件总粘结面积之比的百分率不小于90%时，判定为合格。

检查数量：每一检验批抽取加固构件的5%，且不少于5个构件；不足5个构件时全部检查。

检验方法：用小锤轻击或其他探测方法查空鼓。

【条文说明】高延性混凝土与被加固构件之间的粘结状况对加固层与原构件之间的共同工作起到重要作用，控制粘结空鼓率属于重要的检验项目。

**7.2.3** 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，并应符合本标准的相关规定，且面层厚度仅允许出现正偏差、无负偏差进行合格判定，抽样合格率不应小于90%。

检查数量：每一检验批抽取加固构件的5%，且不少于5个构件；不足5个构件时全部检查；每个构件检查点应不少于3处。

检验方法：局部凿开后用钢尺测量。

注：面层厚度检验的检测误差不应大于1mm。

【条文说明】高延性混凝土面层的厚度决定了加固层可以提供的承载力大小，因此，为了保证加固效果，加固层厚度不应小于设计厚度，即不应出现负偏差。

**7.2.4** 新增钢筋的连接、安装应符合设计文件、现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204及本标准的相关要求；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；核查隐蔽工程验收记录。

**7.2.5** 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。检测时，应按钢筋网保护层厚度仅允许有5mm正偏差、无负偏差进行合格判定。

检查数量：每一检验批抽取加固构件的5%，且不少于5个构件；不足5个构件时全部检查。

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。

注：钢筋保护层厚度检验的检测误差不应大于1mm。

**7.3**  一般项目

**7.3.1** 高延性混凝土面层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处理方案进行处理，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。

**7.3.2** 高延性混凝土抹压面层的端部嵌缝、L型倒角、门窗洞口部位加固等构造做法应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查；观察检查。

**7.3.3**  高延性混凝土抹压面层与墙体之间采用局部嵌缝的方式处理时，嵌缝的部位、范围、深度应符合设计要求，并应进行隐蔽工程验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查；观察检查。

**7.3.4** 对砌体基层的清理、修补、剔槽、钻孔等处理应符合设计要求，加固部位的砌体表面应清洁、干净，不应有松散或风化的块体、砂浆、浮灰等杂物，并应提前浇水湿润。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量检查；观察检查。

**7.3.5**  高延性混凝土表面应平整、洁净，表面平整度不应大于8mm，且抽样合格率不应小于85%。

检查数量：每一检验批抽取5%，且不少于5处。

检验方法：用2m靠尺及楔形塞尺检查。

附录**A** 高延性混凝土弯曲试验方法

**A.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。

**A.0.2** 试验装置（图A.0.2）应符合下列规定：



图A.0.2 抗弯试验加载装置

1——加载分配梁；2——分配梁辊轴；3——试件；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，量程不超过100kN，示值相对误差不大于1.0%，试验时的最大荷载宜在量程的80%以内；

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

**3**  与试件接触的两个辊轴铰支座，辊轴弧形直径10mm~12mm，支座长度比试件宽度长10mm；

**4**  挠度测量装置应符合图A.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，量程不小于20mm，精度不应低于0.001mm，测试点位于试件底部跨中位置。

**5** 荷载测量传感器应准确测量施加于试件上的荷载，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，由程序控制，采样频率不宜低于10Hz；

**7**  其他：钢直尺、游标卡尺、直角规等。

**A.0.3** 试件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个试件。

**A.0.4** 试件尺寸为40mm×40mm×160mm，试验跨度L=150mm。

**A.0.5** 试验测试应按下列步骤进行：

**1** 从养护地点取出试件，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**  将试件成型时的浇筑面作为承荷面，安放在支座上。按图A.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±1mm；

**3**  试件放稳对中后启动试验机，当分配梁辊轴与试件接近时，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** 试件安放好后，施加一定的预压荷载，停机检查试件与压头及支座的接触情况，确保试件不发生扭动，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作空载调试，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**  对试件按位移控制加荷，加载应连续、均匀，加载速率取0.2mm/min；

**7**  绘制荷载-挠度曲线。

注：若试件在受拉面跨度三分点以外断裂，则该试件试验结果无效。

**A.0.6** 试件的等效弯曲强度按下式计算（图A.0.6）：

 （A.0.6）

式中：——等效弯曲强度（N/mm2），精确至0.1 N/mm2；

——跨中挠度为时荷载-挠度曲线下的面积（N∙mm）；

——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*——试件的截面宽度和高度（mm）；

*L*——试件的跨度（mm）。



图A.0.6等效弯曲强度计算

**A.0.7** 试件的等效弯曲韧性按下式计算：

 （A.0.7）

式中：——等效弯曲韧性（kJ/m3），精确至0.1kJ/m3。

**A.0.8** 等效弯曲强度和等效弯曲韧性测试以3个试件为一组，以3个试件测试值的算术平均值作为每组试件的试验结果代表值。

【条文说明】

**附录A 高延性混凝土弯曲试验方法**

本试验方法为西安建筑科技大学高延性混凝土研究课题组，针对高延性混凝土的弯曲韧性问题的专门提出的试验方法。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。按以上方法计算试件的等效弯曲强度时，需要计算试件跨中挠度为*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时尚未达到试件的峰值荷载。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。

本标准提出的高延性混凝土弯曲韧性试验方法，给出了标准试件尺寸为40mm×40mm×160mm。

按本方法对试件进行四点弯曲试验，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，再考虑试件挠曲变形对高延性混凝土弯曲韧性的影响，计算试件的等效弯曲韧性，其物理意义为试件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**B** 高延性混凝土力学性能快速检验方法

**B.0.1** 本方法适用于高延性混凝土材料进场检验时的力学性能进场检验。

**B.0.2** 可程式恒温恒湿试验箱，可调节温度范围不小于0℃~80℃，温度均匀度为±1℃，温度波动度为±0.5℃；湿度范围不小于20%~98%R.H，湿度均匀度为±2%R.H，湿度波动度为±1%R.H。

**B.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验对应的可程式恒温恒湿试验箱运行程序应符合图B.0.3的规定，相对湿度应保持在95%以上；



图B.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验的试件尺寸及制作方法应符合本标准第4.3.2条的相关规定，每批次制作1组试件；

**3**  试件制作成型24h后拆模，检查外观，不得有明显缺损。试件拆模后置于可程式恒温恒湿试验箱中，上下错位放置，按图B.0.3的运行程序养护72h后取出，放置室温后再按本标准第4.3.3条的相关规定进行力学性能测试。

**B.0.4** 快速检验的高延性混凝土力学性能测试结果应符合表B.0.4的要求。

表B.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 | 快速检验性能指标 | | |
| --- | --- | --- | --- |
| I类 | II类 | III类 |
| 等效弯曲韧性（kJ/m3） | ≥170.0 | ≥130.0 | ≥90.0 |
| 等效弯曲强度（N/mm2） | ≥11.0 | ≥10.0 | ≥9.0 |
| 抗折强度（N/mm2） | ≥11.0 | | |
| 立方体抗压强度（N/mm2） | ≥45.0 | | |

注：表中性能指标除立方体抗压强度为标准值外，其他性能指标均指试验结果的代表值。

**【条文说明】**

**附录B 高延性混凝土力学性能快速检验方法**

本附录中的方法为高延性混凝土力学性能的快速检验方法，主要用于高延性混凝土材料进场复验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快速发展，并比较接近实际标准养护60d的强度指标，能更真实的反应材料最终的性能，作为进场检验依据更为科学合理。

由于强度与韧性相互之间的关系，快速检验的性能指标中抗折强度和抗压强度由于还未完全达到最终强度，因此略有降低，此时等效弯曲韧性指标高于本标准第4.3.1条的规定。通过进场的材料性能复检和最终60d标准养护的性能检验，能够在保证不影响正常施工的前提下，保证材料性能。

附录**C** 农村房屋加固

**C.1** 一般规定

**C.1.1**  本章适用于农村一、二层砌体结构房屋的上部砌体结构构造加固。其中，砌体构件所用块材为烧结普通砖、烧结多孔砖、混凝土小型空心砌块。

【条文说明】 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，通过高延性混凝土条带或面层加固来提高房屋的整体性和抗震能力。

**C.1.2** 农村房屋的屋面、地基基础、木构件等本标准未涉及的加固内容，应按国家及四川省现行有关标准的规定进行处理。

【条文说明】 高延性混凝土加固技术应用于农村房屋加固时，可以很好的改善房屋上部结构的整体性能、提高结构的安全性和抗震性能，但对地基基础、木屋架等本标准未涉及到的加固内容，应符合国家及四川省现行有关标准的规定。

**C.1.3** 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。

**C.1.4** 高延性混凝土条带加固农村房屋时，应使用I类或II类高延性混凝土；高延性混凝土面层加固农村房屋时，可使用III类高延性混凝土。

**C.2** 基本要求

**C.2.1** 农村房屋加固后的抗震设防目标为：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，一般不需修理或局部修复后可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，主体结构不至于严重破坏、围护结构不发生大面积倒塌。

**C.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。

【条文说明】 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。

**C.2.3** 上部结构的加固，应以提高房屋整体性和综合抗震能力为主，同时保证关键部位或关键构件的承载能力，并兼顾房屋的使用性和耐久性。

**C.2.4** 采用高延性混凝土加固的农村房屋，其抗震横墙间距应满足现行行业标准《镇（乡）村建筑抗震技术规程》JGJ 161的规定；单层房屋的层高不宜超过4.0m，两层房屋的各层层高不宜超过3.6m。

**C.2.5**  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。

**C.3** 加固设计

**C.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。在墙体拐角处及水平和竖向条带相交处应连续施工，严禁留施工冷缝。

【条文说明】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。

**C.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C.3.2取值。

表C.3.2 高延性混凝土条带最小厚度和最小宽度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设防烈度（条带厚度） | | 6度（10mm） | 7度（15mm） | 8度（15mm） |
| 竖向条带宽度（mm） | a | 600 | 1000 | 1500 |
| b | 600 | 800 | 1200 |
| 水平条带宽度（mm） | c | 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。

【条文说明】 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。本标准中，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。

**C.3.3**  加固部位墙面应采用高延性混凝土嵌缝处理（图C.3.3-1、C.3.3-2），嵌缝深度不小于10mm。对砖砌体墙的高延性混凝土条带嵌缝，当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加固部位宜全部采取嵌缝处理。

（a）条带宽度不小于1200mm时 （b）条带宽度小于1200mm时

图C.3.3-1 高延性混凝土竖向条带嵌缝示意图



图C.3.3-2 高延性混凝土水平条带嵌缝示意图

【条文说明】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。

**C.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、窗间墙以及一字型外墙端部均宜设置高延性混凝土竖向条带（图C.3.4-1）；



图C.3.4-1 高延性混凝土竖向条带设置平面示意图

**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C.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；

|  |
| --- |
|  |
| （a）门、窗框不与外墙平齐时 |
|  |
| （b）门、窗框与外墙外平齐时 |

图C.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C.3.4-3）；



图C.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，条带宽度不小于b，高延性混凝土应包至墙端，且竖向条带应双面布置（图C.3.4-4）；



图C.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。

【条文说明】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型墙体时，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。

**C.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（图C.3.5-1、图C.3.5-2），且高延性混凝土水平条带宜闭合；

|  |
| --- |
|  |
| （a）正立面 |
|  |
| （b）侧立面 |

图C.3.5-1 二层房屋加固条带立面示意图

h1-一层层高；h2-二层层高

|  |
| --- |
|  |
| （a）正立面 |
|  |
| （b）侧立面 |

图C.3.5-2单层房屋加固条带立面示意图

h1-一层层高

**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（图C.3.5-3）；



图C.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C.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C.3.2取值。

【条文说明】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的发挥整体性加固效果。

**C.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（图C.3.6-a）。当墙体内侧不能进行高延性混凝土施工时，应在楼板底部沿横墙设置钢拉杆，钢拉杆直径不小于16mm，拉杆两端设置不小于250mm×250mm×10mm的钢垫板锚固于高延性混凝土条带外侧（图C.3.6-b）。

** **

（a）内侧设置条带 （b）内侧设置钢拉杆

图C.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

**C.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（图C.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C.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

【条文说明】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。

**C.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C.3.2取值。

【条文说明】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。外墙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。

**C.4** 施工与质量验收

**C.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。

**C.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验应以加固的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。

**【条文说明】**C.4.1、C.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，可以较合理的达到检查监督和验收的目的。

**C.4.3** 高延性混凝土加固砌体结构农村房屋的施工、材料性能检验、施工质量检验等，除本节有特殊规定外，其他内容可参照本标准第6章和第7章的有关规定执行。

本标准用词说明

**1**  为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**）表示很严格，非这样做不可的词：

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，在条件允许时首先应这样做的词：

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** 标准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 《砌体结构设计规范》GB 50003

2 《混凝土结构设计规范》GB 50010

3 《建筑抗震设计规范》GB 50011

4 《建筑设计防火规范》GB 50016

5 《建筑抗震鉴定标准》GB 50023

6 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

7 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367

8 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550

9 《砌体结构加固设计规范》GB 50702

10 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728

11 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671

12 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081

13 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

14 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

15 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448

16 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

17 《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116

18 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193

19 《抹灰砂浆技术规程》JGJ/T 220

20 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322