

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 1937—2022

高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体 结构技术规程

Code of Practice for strengthening masonry structure with engineered
cementitious composites

2022 - 11 - 03 发布

2023 - 03 - 03 实施

湖北省住房和城乡建设厅
湖北省市场监督管理局

联合发布

目 次

前言 III

引言 V

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号..... 3

 4.1 材料性能 3

 4.2 作用效应 3

 4.3 几何参数 4

 4.4 计算参数 4

5 基本规定 4

6 材料..... 5

 6.1 原材料 5

 6.2 高延性纤维增强水泥基复合材料 5

7 设计与构造 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 砌体受压加固 8

 7.3 砌体受弯加固 10

 7.4 砌体受拉加固 11

 7.5 砌体平面内受剪加固 12

 7.6 砌体抗震受剪加固 12

 7.7 面层加固构造规定 14

 7.8 条带加固构造规定 17

8 施工..... 18

 8.1 一般规定 18

 8.2 材料质量检验 18

 8.3 施工工艺 19

 8.4 施工条件 19

9 质量验收 20

 9.1 一般规定 20

 9.2 施工质量检验 20

 9.3 竣工验收 21

附录 A（规范性） 高延性纤维增强水泥基复合材料本构关系 23

附录 B（资料性） 预制装配式楼层盖整体化构造加固 25

附录 C（资料性） 高延性纤维增强水泥基复合材料条带-砌体组合圈梁、构造柱、斜撑 26

条文说明..... 29

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件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

文件由湖北省住房和城乡建设厅提出并归口

本文件起草单位：湖北工业大学、武汉大学、同济大学、中冶南方城市建设工程技术有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、武汉市政工程设计研究院有限责任公司、湖北省工业建筑集团有限公司设计研究院、武汉建工特种工程有限公司、上海同延建筑科技有限公司、杭州敦固建筑特种工程有限公司、武汉固立达建筑科技有限公司、武汉众诚建筑工程有限公司、武汉华略公信工程检测有限公司。

本文件主要起草人：余江滔、卢亦焱、肖衡林、李杉、张明、杨勇、常春霞、陈建斌、李军、沈江涛、石敦敦、储腾跃、王学安、张号军、谭燕、汪元林、俞可权、卢方伟、朱宇锋、董方园、杨军兵、黄俊、谭亚伟、田力康、杨斌、邢琼、郑怡、苏瑜、熊永华、王翔宇、陈彬彬、张俊波。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873088，邮箱：mail.hbszjt.net.cn。对本文件的有关修改意见，请反馈至湖北工业大学，地址：湖北省武汉市洪山区南李路21号，湖北工业大学土建楼，联系电话：027-59750507，邮箱：yujiantao@tongji.edu.cn。

引 言

制定本文件的目的是关注湖北城市发展特点，立足湖北省地方特色，为本地区既有砌体房屋的加固改造提供技术先进、便捷可靠的解决方案，推进城市更新改造的健康发展。

近20多年来，以高延性纤维增强水泥基复合材料（Engineered cementitious composites，简称ECC）为主要代表的应变强化型水泥基复合材料得到了较为广泛的研究和应用。目前湖北省尚无针对这一材料用于砌体房屋加固的规程和标准，此类工程的设计与施工缺乏指导性文件。为此，本文件的编制单位进行了系列相关试验，吸取了该类材料加固砌体设计和施工中的最新研究成果和实际工程经验，参考和借鉴了国内外的相关标准，广泛征求了设计、施工、建设、管理等部门的意见，从而制定本文件。

高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体结构技术规程

1 范围

本文件规定了高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体结构的设计基本规定、材料性能指标、设计与构造方法、施工以及检验与验收的技术要求。

本文件适用于湖北省内抗震设防烈度为6~8度、需要采用高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体结构工程的设计、施工和质量验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 199 快硬硅酸盐水泥
- GB 1499. 1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB 1499. 2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB 1499. 3 钢筋混凝土用钢 第3部分：钢筋焊接网
- GB/T 13788 冷轧带肋钢筋
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB 18401 国家纺织产品基本安全技术规范
- GB/T 25176 混凝土和砂浆用再生细骨料
- GB 50003 砌体结构设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50023 建筑抗震鉴定标准
- GB 50068 建筑结构可靠性设计统一标准
- GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- GB 50550 建筑结构加固工程施工质量验收规范
- GB 50702 砌体结构加固设计规范
- GB 55021 既有建筑鉴定与加固通用规范
- JC/T 2461 高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- JGJ 63 混凝土拌合用水标准
- JGJ/T 104 建筑工程冬期施工标准
- JGJ 114 钢筋焊接网混凝土结构技术标准
- JGJ 116 建筑抗震加固技术规程

JGJ/T 283 自密实混凝土应用技术标准

JGJ/T 426 农村危险房屋加固技术标准

3 术语和定义

GB 50702、JGJ 116界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高延性纤维增强水泥基复合材料 engineered cementitious composites (ECC)

一种由水泥基胶凝材料、矿物掺和料、骨料、外加剂和纤维等原材料组成，按一定比例加水搅拌，硬化后具有一定的抗压强度、抗拉强度且极限延伸率不低于1%的特种混凝土。

3.2

原构件 existing structural member

实施加固前的原有构件。

[来源：GB 50702-2011, 2.1.2]

3.3

砌体结构加固 strengthening of masonry structures

对可靠性不足或业主要求提高可靠度的砌体结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其具有现行设计规范及业主所要求的安全性、耐久性和适用性。

[来源：GB 50702-2011, 2.1.1]

3.4

抗震加固 seismic strengthening of buildings

使现有建筑达到抗震鉴定的要求所进行的设计及施工。

[来源：JGJ 116-2009, 2.1.4]

3.5

高延性纤维增强水泥基复合材料面层 ECC overlay

通过人工抹压或喷射高延性纤维增强水泥基复合材料，在原墙体表面形成覆盖整面墙体的薄层。如无特殊说明，本文件简称高延性纤维增强水泥基复合材料面层为面层。

3.6

高延性纤维增强水泥基复合材料条带 ECC stripe

通过人工抹压或喷射高延性纤维增强水泥基复合材料，在原墙体表面形成一定宽度的带状薄层。如无特殊说明，本文件简称高延性纤维增强水泥基复合材料条带为条带。

3.7

预制装配式楼屋盖整体化加固 prefabricated floor and roof integral strengthening

在预制楼屋盖的表面浇筑高延性纤维增强水泥基复合材料薄层，所形成的装配整体式楼屋盖。

3.8

条带-砌体组合圈梁 constructional beam made of composited ECC stripe and masonry

用高延性纤维增强水泥基复合材料条带贴在墙体侧面，所形成的类似构造柱的构件。

3.9

条带-砌体组合构造柱 constructional column made of composited ECC stripe and masonry

用高延性纤维增强水泥基复合材料条带贴在墙体侧面，所形成的类似构造柱的构件。

3.10

无筋加固 strengthening with plain ECC

面层或条带内不配钢筋，利用高延性纤维增强水泥基复合材料的力学性能实现加固。

3.11

配筋加固 strengthening with steel reinforced ECC

面层或条带中配置钢筋，利用高延性纤维增强水泥基复合材料和钢筋的共同作用实现加固。

3.12

墙体单侧加固 strengthening wall from single sides

进行砌体墙单个侧面加固。

3.13

墙体双侧加固 strengthening wall from double sides

进行砌体墙两个侧面的加固。

3.14

极限延伸率 percentage total extension at the maximal force

最大力时总延伸量（弹性延伸加塑性延伸）与原始标距之比的百分率。

3.15

残余延伸率 percentage total extension at 85% of the maximal force after reaching the maximal force

达到最大抗拉强度之后，继续加载导致材料拉伸强度降至最大抗拉强度85%所对应的延伸率。

4 符号

下列符号适用于本文件。

4.1 材料性能

E_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料受压弹性模量（GPa）。

$f_{dc,cuk}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料立方体抗压强度标准值（MPa）。

$f_{dc,ck}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度标准值（MPa）。

$f_{dc,c}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度设计值（MPa）。

$f_{dc,utk}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料极限抗拉强度标准值（MPa）。

$f_{dc,tk}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗拉强度标准值（MPa）。

$f_{dc,t}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗拉强度设计值（MPa）。

$\varepsilon_{dc,t}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料的极限延伸率（%）。

f_{yk} ——钢筋的抗拉强度标准值（MPa）。

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值（MPa）。

f'_y ——钢筋的抗压强度设计值（MPa）。

f_{m0} ——原砌体构件的轴心抗压强度设计值（MPa）。

$f_{m,t}$ ——原砌体构件的轴心抗拉强度设计值（MPa）。

4.2 作用效应

N ——轴心压力设计值（N）。

N_t ——轴心拉力设计值（N）。

V ——剪力设计值（N）。

V_E ——考虑地震作用组合的加固后砌体墙受剪承载力设计值（N）。

V_M ——原墙体受剪承载力 (N)。

V_{ME} ——考虑地震作用组合的原砌体墙抗震受剪承载力设计值 (N)。

V_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固提高的受剪承载力 (N)。

4.3 几何参数

A_{m0} ——原砌体构件截面面积 (mm^2)。

A_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层的截面面积 (mm^2)。

$A_{dc,c}$ ——离轴向力N作用点较近一侧的砌体偏压侧的高延性纤维增强水泥基复合材料面层截面面积 (mm^2)。

$A_{dc,t}$ ——离轴向力N作用点较远一侧的高延性纤维增强水泥基复合材料面层截面面积 (mm^2)。

t_m ——原砌体墙的截面厚度 (mm)。

t_w ——加固后砌体墙的截面厚度 (mm)。

t_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层厚度。双侧加固时, 取两侧面层厚度之和 (mm)。

$t_{dc,1}$ ——受压侧高延性纤维增强水泥基复合材料面层厚度 (mm)。

$t_{dc,2}$ ——受拉侧高延性纤维增强水泥基复合材料面层厚度 (mm)。

h_{dc} ——采用面层加固的墙体水平方向长度 (mm)。

A_s ——面层内受拉钢筋的截面面积 (mm^2)。

A'_s —— 面层内受压钢筋的截面面积 (mm^2)。

A_{st} ——双侧面层内钢筋的截面面积之和 (mm^2)。

4.4 计算参数

φ_{com} ——轴心受压构件的稳定系数。

α_s ——轴心受压构件钢筋强度利用系数。

α_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料抗压强度利用系数。

$\alpha_{dc,v}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料受剪强度利用系数。

$\alpha_{dc,t}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料抗拉强度利用系数。

β_s ——加固后楼层或墙段的综合抗震能力指数。

η_p ——加固后楼层或墙段抗震能力增强系数。

η_k ——面层加固后墙体的侧向刚度提高系数。

β_0 ——楼层或墙段原有的抗震能力指数。

ψ_1 、 ψ_2 ——分别为体系影响系数和局部影响系数。

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数。

5 基本规定

5.1 砌体结构经可靠性鉴定或抗震鉴定确认需要加固时, 应根据鉴定结论和委托方提出的要求, 先由具备相应资质的专业技术人员按本文件的规定进行加固设计, 再由具备相应等级资质的单位进行加固施工和质量验收。

5.2 需要加固的砌体结构:

- a) 砖砌体: 包括烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土普通砖、混凝土多孔砖的无筋和配筋砌体;

- b) 砌块砌体：包括混凝土砌块、轻集料混凝土砌块的无筋和配筋砌体；
- c) 石砌体：包括各种料石和毛石的砌体。

注：特殊条件下或有特殊要求的工程应执行专门的规定。

5.3 空斗墙房屋的加固应符合：

- a) 空斗墙房屋的抗震设防烈度不高于 7 度；
- b) 加固对象为一斗一眠承重墙体时，房屋层数不宜超过三层；
- c) 加固对象为二斗一眠墙、三斗一眠承重墙体时，房屋层数不宜超过两层。

5.4 高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固方法适用于砌体结构的承载力加固和构造性加固，高延性纤维增强水泥基复合材料条带加固方法适用于砌体结构的构造性加固。

注：无特殊说明，面层加固系指高延性纤维增强水泥基复合材料覆盖整个被加固墙体表面。

5.5 根据设计需求，可采取无筋或配筋方式进行高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固设计和条带加固设计，具体设计及构造要求应符合本文件第 6 章的相关规定。

5.6 高延性纤维增强水泥基复合材料加固范围可以是整体结构或局部区段，也可为单独的结构构件，但均应考虑结构的整体安全性。

5.7 对加固过程中可能出现倾斜或过大变形的墙体，应在采取有效支撑方案后，再采用高延性纤维增强水泥基复合材料加固。

5.8 未经技术鉴定或设计许可，不应改变加固后砌体结构的用途和使用环境。

5.9 采用高延性纤维增强水泥基复合材料加固后，应定期检查房屋的工作状态。检查周期可由设计单位确定，首次检查的时间间隔不宜超过 10 年。加固后结构的后续工作年限应符合 GB 50702 的规定。抗震加固后结构的后续工作年限应符合 GB 50023 的规定。

5.10 房屋加固区域的正常使用温度不应超过 80℃。当被加固构件的表面有防火要求时，应按 GB 50016 规定的耐火等级及耐火极限要求，对面层进行防护。

6 材料

6.1 原材料

6.1.1 水泥的性能和质量应符合 GB 175 的规定。

6.1.2 细骨料的质量应符合 JGJ 52 关于普通混凝土用砂的相关规定。再生细骨料应符合 GB/T 25176 的关于混凝土和砂浆用再生细骨料的相关规定。

6.1.3 粉煤灰和矿渣粉等矿物掺合料的性能和质量应分别符合 GB/T 1596 和 GB/T 18046 的规定。

6.1.4 外加剂的性能指标应符合 GB 50119 和 GB 8076 的规定。

6.1.5 拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

6.1.6 钢筋的性能和质量应符合 GB 1499.1、GB 1499.2 和 GB 13014 的有关规定，抗震加固中宜优选热轧带肋钢筋。

6.1.7 面层加固用钢筋网片的质量应符合 GB 1499.3 的有关规定，性能指标应符合 JGJ 114 的有关规定。

6.1.8 高延性纤维增强水泥基复合材料的增强短纤维采用合成纤维，并应符合以下要求：

- a) 合成纤维应符合 GB 18401 中 C 类基本安全技术要求的规定，宜采用长度为 6 mm~24 mm、直径为 10 μm~100 μm 的聚丙烯、聚乙烯醇、芳纶、聚乙烯等纤维，纤维抗拉强度不宜低于 1000 Mpa；
- b) 合成纤维耐碱性能应通过耐碱性能试验测试，其极限拉力保持率不应低于 85%。

6.2 高延性纤维增强水泥基复合材料

6.2.1 高延性纤维增强水泥基复合材料应按下列顺序进行标记：

- a) 抗压强度等级代号C；
- b) 轴心抗拉强度等级代号 T；
- c) 延伸率等级代号D；
- d) 本文件号。

示例：高延性纤维增强水泥基复合材料抗压强度等级为 C30，极限抗拉强度等级为 T6，极限延伸率等级为 D5，标记为 C30—T6—D5—DB42/T 1937。

6.2.2 高延性纤维增强水泥基复合材料抗拉强度的等级划分应符合表 1 的规定。抗拉强度应通过 JC/T 2461 规定的试验方法确定。

表1 高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗拉强度等级划分

项目	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
极限抗拉强度标准值 $f_{dc,stk}$ (MPa)	≥ 2	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6	≥ 7	≥ 8	≥ 9	≥ 10
轴心抗拉强度标准值 $f_{dc,tk}$ (MPa)	1.60	2.40	3.20	4.00	4.80	5.60	6.40	7.20	8.00
轴心抗拉强度设计值 $f_{dc,t}$ (MPa)	1.23	1.85	2.46	3.08	3.69	4.31	4.92	5.54	6.15
注 1：抗拉强度等级对应极限抗拉强度换算所得的具有 95%保证率的抗拉强度。									
注 2：轴心抗拉强度设计值系指轴心抗拉强度标准值除以材料分项系数得到的抗拉强度。									

6.2.3 高延性纤维增强水泥基复合材料极限延伸率的等级划分应符合表 2 的规定。极限延伸率应通过 JC/T 2461 规定的试验方法确定。

表2 高延性纤维增强水泥基复合材料极限延伸率等级划分

项目	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
延伸率 $\epsilon_{dc,t}$ (%)	≥ 1	≥ 2	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6	≥ 7	≥ 8	≥ 9	≥ 10
残余延伸率/延伸率	≥ 1.2	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1	≥ 1.1
注 1：极限延伸率系指按照标准方法制作、养护的拉伸用试件，在 28d 龄期用标准试验方法测得的最大力下延伸率的平均值。										
注 2：D1~D10 代表在单轴拉伸过程中表现出不同程度的极限延伸率水平。										
注 3：残余延伸率系指拉伸试件在达到极限抗拉强度之后，继续加载导致其拉伸强度降至极限抗拉强度 85%时对应的延伸率。										

6.2.4 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度等级划分应符合表 3 的规定。抗压强度和弹性模量应通过 JC/T 2461 规定的试验方法确定。

表3 高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度等级

项目	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度标准值 $f_{dc,ck}$ (MPa)	19.4	23.2	27.1	31.0	34.8	38.7
轴心抗压强度设计值 $f_{dc,c}$ (MPa)	14.9	17.9	20.8	23.8	26.8	29.8

表3 高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度等级（续）

项目	C25	C30	C35	C40	C45	C50
弹性模量 E_{dc} (GPa)	14.7	15.8	18.5	18.9	23.4	24.9
注 1：高延性纤维增强水泥基复合材料的强度等级对应本文件附录 A 的立方体抗压强度标准值。立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作、养护的边长为 100×100×100 mm 的立方体试件，在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度						
注 2：轴心抗压强度标准值可根据表 3 中抗压强度等级对应取值，也可通过标准试验确定						

6.2.5 高延性纤维增强水泥基复合材料抗冻、抗水渗透、抗氯离子渗透、抗碳化的主要耐久性能指标可参考表 4，应按 GB/T 50082 的有关规定进行试件制作、养护及性能测试，并应符合设计要求。

表4 高延性纤维增强水泥基复合材料的主要耐久性能指标

指标类别	指标要求
抗冻性能（快冻法）	≥F200
抗水渗透性能（逐级加压法）	≥P8
抗氯离子渗透性能-氯离子迁移系数 DRCM ($/10^{-12}m^2/s$)	DRCM ≤2.5
抗碳化性能-碳化深度（mm）	d ≤2.0
注：无配筋要求时，可不作抗氯离子渗透和抗碳化的性能要求。	

6.2.6 被加固砌体结构的界面性能指标应达到表 5 中 A 级标准。如被加固房屋为临时性建筑，界面性能指标应达到表 5 中 B 级标准。

表5 砌体结构界面基本性能指标

检测项目	与砌体正拉粘结强度 (MPa)	
房屋等级	A 级	B 级
合格指标	≥ 1.0	≥ 0.6
	或为砌块内聚破坏	
试验方法	GB 50550 附录U	

7 设计与构造

7.1 一般规定

- 7.1.1 本章涉及的承载力计算方法适用于厚度不小于 120 mm 的承重墙体，且其块体强度等级不低于 MU5。
- 7.1.2 在条件允许的情况下，宜优先采用墙体双侧加固的方式提升结构的承载力和整体性，双侧加固应保证两侧面层材料性能的统一。
- 7.1.3 用于加固的高延性纤维增强水泥基复合材料，其抗压强度等级不应低于 C25。

7.1.4 整墙加固设计可采用无筋面层和配筋面层两种方式。无筋面层的材料极限延伸率等级不应低于表 2 中 D3，配筋面层的材料极限延伸率等级不应低于表 2 中 D1。

7.1.5 可采用条带-砌体组合圈梁、条带-砌体组合构造柱、条带-砌体组合斜撑进行构造性加固。条带加固分为无筋条带和配筋条带两种方式。无筋条带的材料抗拉强度等级不应低于表 1 中 T6，且极限延伸率等级不应低于表 1 中 D5。配筋条带的材料极限延伸率等级不应低于表 1 中 D3。

7.2 砌体受压加固

7.2.1 采用面层加固轴心受压墙体，其加固后正截面承载力应按公式 (1) 计算：

$$N \leq \varphi_{\text{com}} (f_{\text{m0}} A_{\text{m0}} + \alpha_{\text{dc}} f_{\text{dc,c}} A_{\text{dc}} + \alpha_{\text{s}} f_{\text{y}}' A_{\text{s}}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

注：无筋面层加固时，新增受压面层区竖向钢筋截面面积 A_{s}' 取为 0。

式中：

- N ——轴心压力设计值；
- φ_{com} ——轴心受压组合砌体构件的稳定系数，根据加固后截面的高厚比及配筋率，按 GB 50003 中组合砖砌体构件稳定系数的规定取值；
- f_{m0} ——原构件砌体的轴心抗压强度设计值，应按照 GB 50003 的规定取值；
- A_{m0} ——原构件砌体截面面积；
- A_{dc} ——新增高延性纤维增强水泥基复合材料面层的截面面积 $A_{\text{dc}} = b t_{\text{dc}}$ 。双侧加固时， t_{dc} 取两侧面层厚度之和；
- α_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料抗压强度利用系数。实砌墙体受压加固时，取 $\alpha_{\text{dc}} = 0.15$ ；空斗墙体受压加固时，取 $\alpha_{\text{dc}} = 0.35$ ；
- $f_{\text{dc,c}}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度设计值；
- α_{s} ——受压构件钢筋强度利用系数。对砖砌体，取 $\alpha_{\text{s}} = 0.8$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_{\text{s}} = 0.7$ （配筋面层的厚度不应小于 30 mm）；
- f_{y}' ——钢筋抗压强度设计值；
- A_{s}' ——新增受压面层区竖向钢筋截面面积。

7.2.2 采用高延性纤维增强水泥基复合材料双侧面层加固偏心受压墙体（图 1）时，其正截面受压承载力应按公式 (2)、公式 (3) 进行计算：

$$N \leq f_{\text{m0}} A_{\text{m0}} + \alpha_{\text{dc}} f_{\text{dc,c}} A_{\text{dc,c}} + \alpha_{\text{s}} f_{\text{y}}' A_{\text{s}} - \sigma_{\text{s}} A_{\text{s}} - \sigma_{\text{dc}} A_{\text{dc,t}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- $A_{\text{dc,c}}$ ——离轴向力 N 作用点较近一侧的砌体偏压侧的高延性纤维增强水泥基复合材料面层截面面积，取 $A_{\text{dc,c}} = b \times t_{\text{dc,1}}$ ；
- $A_{\text{dc,t}}$ ——离轴向力 N 作用点较远一侧的高延性纤维增强水泥基复合材料面层截面面积，取 $A_{\text{dc,t}} = b \times t_{\text{dc,2}}$ ；
- f_{y} ——水平向钢筋的抗拉强度设计值；
- σ_{s} ——钢筋应力；
- σ_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料应力；
- 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。

$$N \cdot e \leq f_{\text{m0}} S_{\text{ms}} + \alpha_{\text{dc}} f_{\text{dc,c}} S_{\text{ds}} + \alpha_{\text{s}} f_{\text{y}}' A_{\text{s}}' (t_{\text{s}} - a - a') \quad \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- 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 重心和受拉高延性纤维增强水泥基复合材料重心的面积矩；

S_{ds} ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层受压区的截面面积对钢筋 A_s 重心和受拉高延性纤维增强水泥基复合材料重心的面积矩；

t_w ——加固后砌体墙的截面厚度，取 $t_w = t_m + t_{dc}$ ；

a ——离轴向力 N 作用点较远一侧钢筋的合力点至截面外侧边缘距离；

a' ——离轴向力 N 作用点较近一侧钢筋的合力点至截面外侧边缘距离。

上述公式中，钢筋应力 σ_s 和高延性纤维增强水泥基复合材料的应力 σ_{dc} （单位为 MPa，正值为拉应力，负值为压应力），应根据截面受压区相对高度 ξ ，按公式（4）-公式（9）确定：

当 $\xi > \xi_b$ （即小偏心受压）时

$$\sigma_s = 650 - 800\xi \quad (4)$$

式中：

ξ_b ——加固后截面受压区相对高度的界限值，对HPB300级钢筋，取0.575；对 HRB400级钢筋，取0.518；

ξ ——截面受压区相对高度。

$$\sigma_{dc} = \sigma_s E_{dc} / E_s \quad (5)$$

$$-f'_y \leq \sigma_s \leq f'_y \quad (6)$$

当 $\xi \leq \xi_b$ （即大偏心受压）时

$$\sigma_s = f_y \quad (7)$$

$$\sigma_{dc} = f_{dc,t} \quad (8)$$

$$\xi = x / t_{w0} \quad (9)$$

式中：

x ——砌体墙截面的受压区高度；

t_{w0} ——加固后砌体墙的截面有效高度。

其中截面等效受压区高度 x ，按公式（10）-公式（13）确定：

$$f_m S_{mN} + \alpha f'_d S_{dc,c} + \alpha f'_s A'_s e' - \sigma_s A_s e - \sigma_{dc,t} A_{dc,t} e = 0 \quad (10)$$

式中：

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} ——高延性纤维增强水泥基复合材料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。

$$e_N = e + e_a + (t_w / 2 - a) \quad (11)$$

式中：

e_a ——加固后的构件在轴向力作用下的附加偏心距；

$$e'_N = e + e_a - (t_w / 2 - a) \quad (12)$$

$$e_a = \frac{\beta^2 t_w}{2200} (1 - 0.022\beta) \quad (13)$$

注：无筋面层加固时，新增竖向钢筋截面面积 A_s 和 A'_s 均取为0。

式中：

β ——加固后的构件高厚比。

a) 小偏心受压

b) 大偏心受压

图1 组合砌体偏心受压构件

7.2.3 单侧面层加固后,墙体计算受压承载力超过原墙体计算受压承载力 1.8 倍时,取原墙体受压承载力的 1.8 倍为加固后受压承载力。

7.2.4 应采用贯穿墙厚的对拉锚栓或锚筋,拉结锚栓或锚筋宜成梅花状布置,其竖向间距和水平间距均不应大于 500mm,并确保锚栓或锚筋与面层有效拉接。

7.3 砌体受弯加固

7.3.1 本节适用于实砌墙体的受弯加固设计。

7.3.2 在墙体双侧加固的情况下,应保证两侧面层厚度及材料性能一致。

7.3.3 在墙体双侧配筋加固的情况下,应保证两侧面层内配筋形式和数量一致,且钢筋在面层中配筋率不应超过 2%。

7.3.4 正截面受弯承载力应按下列基本假定进行计算:

- a) 截面应变保持平面；
- b) 不考虑原砌体的抗拉强度；
- c) 在面层配筋的情况下，面层重心与面层内钢筋的重心重合；
- d) 在双侧面层配筋的情况下，不考虑受压面层内钢筋的抗压贡献。

7.3.5 墙侧双侧面层受弯加固(图2)时,墙体的受弯承载力应按公式(14)计算:

$$M \leq (f_y A_s + \alpha_{dc,1} f_{dc,1} A_{dc,1})(t_w - t_{dc,2} / 2 - x / 2) \dots\dots\dots (14)$$

组合墙体的等效受压区高度 x 应按公式 (15) 确定:

$$\alpha_{\text{dc,c}} f_{\text{dc,c}} b x = f_{\text{v}} A_{\text{s}} + \alpha_{\text{dc,t}} f_{\text{dc,t}} A_{\text{dc,t}} \dots \quad (15)$$

如果按公式 (15) 计算所得 $x \leq t_{dc,1}$, 取 $x = t_{dc,1}$ 。

注: 上述公式适用于无筋及配筋双侧加固墙体的受弯承载力计算。无筋加固时, 新增纵向钢筋截面面积 A_s 取为 0。

式中:

x ——组合墙体的等效受压区高度。图2中, $x = \beta \times x_0$;

$f_{dc,1}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料抗拉强度设计值;

$\alpha_{dc,t}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料抗拉强度利用系数, 墙体受弯加固时, $\alpha_{dc,t}=0.8$;

$A_{\text{de},1}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层受拉侧的截面面积,取 $A_{\text{de},1}=t_{\text{de},1}\times b$;

α_1 ——系数。矩形应力图的应力值可由轴心抗压强度设计值 $f_{dc,c}$ 乘以系数 α_1 确定。当强度等级不超过C50时, α_1 取为1.0, 当强度等级为C80时, α_1 取为0.94, 其间接线性内插法确定;

b ——砌体墙的计算宽度。

7.3.6 墙体单侧面层受弯加固(图3)时, 墙体的受弯承载力应按公式(16)计算:

$$M \leq (f_y A_s + \alpha_{dc,t} f_{dc,t} A_{dc,t})(t_w - t_{dc,2} / 2 - x / 2) \dots \dots \dots (16)$$

组合墙体的等效受压区高度 x 应按下列公式(17)确定:

$$\alpha_m f_{m0} b x = f_y A_s + \alpha_{dc,t} f_{dc,t} A_{dc,t} \dots \dots \dots (17)$$

注: 无筋加固时, 新增纵向钢筋截面面积 A_s 取为0。

式中:

α_m ——系数。受压区砌体的应力图形可简化为等效的矩形应力图, α_m 取为0.8。

注: 如果单侧加固计算所得等效受压区高度比 $x / t_m \geq 0.3$, 则应改用墙体双侧受弯加固设计。

图2 双侧加固组合砌体受弯构件

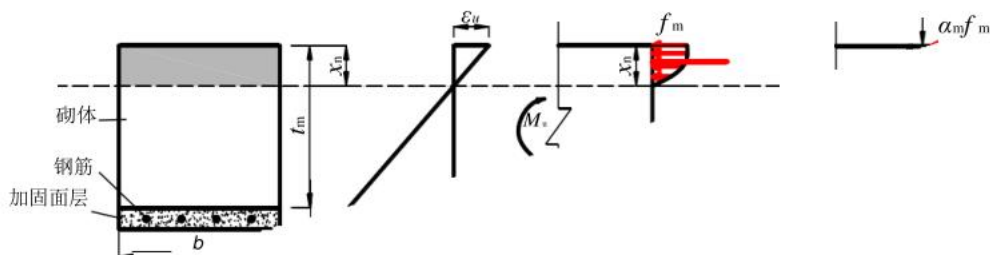


图3 单侧加固组合砌体受弯构件

7.4 砌体受拉加固

7.4.1 本节适用于实砌墙体的受拉加固设计。

7.4.2 不应采用单侧面层进行墙体的受拉加固。双侧加固应保证墙体两侧面层厚度及材料性能一致。双侧配筋加固应保证墙体两侧面层内配筋形式和数量一致。

7.4.3 面层加固墙体的轴心受拉承载力应按公式(18)计算:

$$N_t \leq \alpha_{m,t} f_{m,t} A_{m0} + f_{dc,t} A_{dc} + f_y A_s \dots \dots \dots (18)$$

式中:

N_t ——轴心拉力设计值;

- $f_{m,t}$ ——原砌体构件轴心抗拉强度设计值，应按GB 50003取值；
 $\alpha_{m,t}$ ——砌体轴心抗拉强度利用系数， $\alpha_{m,t}$ 取为0.1；
 A_{st} ——双侧面层内钢筋的截面面积之和；
 A_{dc} ——与受拉方向垂直的面层截面面积，取 $A_{dc} = b \times (t_{dc,1} + t_{dc,2})$ 。

7.5 砌体平面内受剪加固

7.5.1 沿平面内水平灰缝或沿斜截面破坏时，面层加固墙体的受剪承载力应按公式（19）计算：

$$V \leq V_M + V_{dc} \quad (19)$$

式中：

- V ——剪力设计值；
 V_M ——原砌体构件受剪承载力，按GB 50003计算；
 V_{dc} ——面层加固提高的受剪承载力，按6.5.2条确定。

注：无筋加固的情况下， V_{dc} 不应超过原砌体受剪承载力 V_M 的3倍。

7.5.2 高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固提高的受剪承载力 V_{dc} 应按公式（20）计算：

$$V_{dc} = \alpha_{dc,v} f_{dc,t} t_{dc} h_{dc} + \alpha_s f_y A_s (h_{dc} / s) \quad (20)$$

注：无筋加固时，新增纵向钢筋截面面积 A_s 取为0。

式中：

- $\alpha_{dc,v}$ ——高延性纤维增强水泥基复合材料受剪强度利用系数。实砌墙体及空斗墙体在受剪加固时， $\alpha_{dc,v}$ 取为0.49；
 h_{dc} ——采用面层加固的墙体水平截面长度；
 α_s ——钢筋强度利用系数，受剪加固时， α_s 取为0.2（配筋面层的厚度不宜小于30 mm）；
 A_s ——配置在同一截面水平分布钢筋的全面截面面积；
 s ——水平向钢筋的竖向间距。

7.6 砌体抗震受剪加固

7.6.1 面层加固后，楼层和墙段的综合抗震能力指数应按公式（21）验算：

$$\beta_s = \eta \psi_1 \psi_2 \beta_0 \quad (21)$$

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，可按本文件7.6.3条计算；
 β_0 ——楼层或墙段原有的抗震能力指数，应分别按GB 50023的有关规定进行计算；
 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GB 50023的有关规定取值。

7.6.2 面层加固后，可按GB 50011的规定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应符合下列规定：

$$\text{不 计 入 构 造 影 响 时} \quad V_E \leq \eta_p V_{ME} \quad (22)$$

$$\text{计 入 构 造 影 响 时} \quad V_E \leq \eta_p \psi_1 \psi_2 V_{ME} \quad (23)$$

式中：

- V_E ——考虑地震作用组合的加固墙体地震剪力设计值；
 V_{ME} ——原有砌体墙段的抗震受剪承载力，应按GB 50011有关规定计算；

η_p ——加固后某楼层 η_{pi} 抗震能力增强系数或某墙段抗震能力增强系数 η_{pij} 应按本标准7.6.3条计算。

7.6.3 面层加固后，楼层或墙段抗震能力的增强系数应符合下列规定：

$$\eta_{pi} = 1 + \frac{\sum_{j=1}^n (\eta_{pij} - 1) A_{ij0}}{A_{i0}} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

η_{pi} ——面层加固后，第 i 楼层抗震能力的增强系数；

η_{pij} ——面层加固后，第 i 楼层第 j 墙段抗震能力的增强系数；

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；

$$\eta_{pij} = \frac{240}{t_m} \left(\eta + 0.075 \left(\frac{t_m}{240} - 1 \right) / f_v \right) \dots\dots\dots (25)$$

式中：

η_0 ——面层加固后，墙体抗震受剪承载力的基准增强系数；

t_m ——原砌体墙的截面厚度；

f_{vE} ——原砌体墙的抗震抗剪强度设计值，应根据GB 50011中关于“砌体抗剪强度设计值 f_v ”和“砌体抗震抗剪强度的正应力影响系数 ξ_N ”的规定进行计算。当原砌体砂浆强度等级为M0.4时， f_v 取0.04 MPa，当原砌体砂浆强度等级为M1.0时， f_v 取0.06 MPa。

7.6.4 采用高延性纤维增强水泥基复合材料面层或配筋高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固后，墙体抗震受剪承载力的基准增强系数 η_0 应符合下列规定：

$$\eta_0 = 1 + \frac{V_{dc} / 0.85}{V_{ME0}} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

V_{dc} ——高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固提高的受剪承载力，按本标准7.5.2条计算；

V_{ME0} ——原墙体（截面厚度240mm）的基准抗震受剪承载力，可按GB 50011计算；当原墙体厚度不等于240mm时，应将其换算成截面厚度240mm的墙体后，再计算相应的抗震受剪承载力。

注：原墙体在重力荷载代表值作用下的平均竖向压应力时，基准增强系数应乘以0.8进行折减。为原砌体的抗压强度设计值。

7.6.5 面层加固后，墙体侧向刚度的提高系数应符合下列规定：

$$\text{实心墙单侧加固} \quad \eta_k = \frac{240}{t_m} \eta_{k0} - 0.75 \left(\frac{t_m}{240} - 1 \right) \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{实心墙双侧加固} \quad \eta_k = \frac{240}{t_m} \eta_{k0} - \left(\frac{t_m}{240} - 1 \right) \dots\dots\dots (28)$$

$$\text{空斗墙双侧加固} \quad \eta_k = 1.67 (\eta_{k0} - 0.4) \dots\dots\dots (29)$$

式中：

η_k ——面层加固后墙体的侧向刚度提高系数；

η_{k0} ——面层加固后墙体（截面厚度240mm）的侧向刚度基准提高系数，可根据表6取值计算。

表6 面层加固后墙体刚度的基准提高系数

面层厚度（mm）	单面加固			双面加固		
	原墙体砂浆强度等级					
	M0.4	M1	M2.5	M0.4	M1	M2.5
10	—	—	—	1.86	1.49	1.35
20	1.39	1.12	—	2.71	1.98	1.70
30	1.71	1.3	—	3.57	2.47	2.06
40	2.03	1.49	1.29	4.43	2.96	2.41

7.7 面层加固构造规定

7.7.1 高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固应符合下列规定：

- a) 无筋面层厚度宜介于 10 mm~40 mm，采用双侧面层加固时，面层厚度不宜小于 10 mm；采用单侧面层加固时，面层厚度不宜小于 15 mm；
- b) 当面层内增设钢筋网片时，面层厚度不应小于 30 mm，钢筋网的设置参见 GB 50702；
- c) 应采用双侧面层加固空斗墙体，且面层厚度不宜小于 15 mm。仅在特定情况下，可采用本文件 7.8 节规定的双侧条带进行构造性加固，且应采取有效措施保证面层、条带与空斗墙楼屋面板的可靠连接，连接方法可参见本文件 7.7.6 条；
- d) 对于局部尺寸小于GB 50011 规定限值的墙体，应进行墙体双侧加固。对于墙肢的高宽比大于4的墙体，应采用面层进行四面围套加固且面层厚度不宜小于 20 mm；
- e) 遇有门窗洞口时，单侧面层宜弯入洞口侧边锚固；双侧面层宜从两侧弯入洞口闭合锚固，面层入洞口内锚固长度不宜小于 100mm；
- f) 门窗洞口的宽度或高度超过 1000 mm 时，宜在洞口的尺寸角部设置 45° 斜向加强钢丝网片或钢板网，钢丝网的直径不宜小于 0.8 mm，钢板网厚度不宜小于 1.0 mm。钢丝网及钢板网的平面尺寸不宜小于 200 mm×600 mm。

7.7.2 当采用无筋面层加固时，应采取下列措施进行面层与墙体的界面处理（图 4）：

- a) 对被加固墙面的水平灰缝进行抠缝处理，相邻抠缝的竖向间距不宜大于 300 mm，抠缝深度不宜小于 15 mm；
- b) 在被加固墙面表面开凿方孔。方孔平面尺寸不宜小于 40 mm×40 mm，深度不宜小于 40 mm。方孔宜呈梅花状布置，其竖向间距和水平间距均不宜大于 1000 mm；
- c) 采用剪切销钉或锚筋增强面层与被加固墙体的连接。剪切销钉或锚筋直径宜为 6~8mm，间距不宜大于 600mm。销钉或锚筋应锚固在砌块的实心部位，锚固长度不小于 15d。销钉或锚筋的保护层厚度不小于 10mm，与构件边缘的距离不宜大于 100mm；
- d) 本条包括三类界面处理方法，其中“抠缝界面处理”为必选项。设计人员宜在“墙面开凿方孔”和“剪切销钉或锚筋”中选取一种结合“抠缝界面处理”共同增强界面性能。对于特殊设防类和重点设防类建筑，宜对墙体界面处理措施从严要求。

图4 无筋面层加固墙体的界面处理

7.7.3 采用配筋面层加固时，配筋措施应符合下列规定：

- a) 采用冷轧带肋钢筋制作钢筋网时，钢筋的选取应满足 GB/T 13788 的相关规定。钢筋网的节点可焊接或绑扎。剪切销钉的端部直钩应挂住钢筋网。当被加固构件需承受动力疲劳荷载时，应采用焊接非冷加工钢筋网。钢筋网竖向受力钢筋直径不应小于 6 mm，水平分布钢筋的直径宜为 6 mm，网格尺寸不应大于 500 mm；
- b) 采用配筋高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体柱时，宜采用闭合式箍筋，箍筋直径不应小于 6 mm，间距不应大于 150 mm；
- c) 采用配筋高延性纤维增强水泥基复合材料加固墙体壁柱时，可设置如下两类箍筋：一类为不穿墙的 U 形筋，但应焊在墙柱角隅处的竖向构造筋上，其间距与柱的箍筋相同；另一类为穿墙箍筋，加工时宜先做成不等肢 U 形箍，待穿墙后再弯成闭合式箍，其直径宜为 8 mm~10 mm，每隔 600 mm 替换一支不穿墙的 U 形箍筋。箍筋与竖向钢筋的连接可采用焊接或绑扎；
- d) 采用双侧钢筋网面层加固墙体时，钢筋网应采用穿通墙体的 S 形钢筋拉结，穿墙筋的间距不宜大于 600 mm，并应与墙体两侧的钢筋网片焊接或绑扎；单侧钢筋网面层加固墙体时，应设直径 6 mm 的 L 形锚筋固定，锚筋间距不宜大于 600 mm，锚固长度不宜小于 180 mm。拉结筋应采用孔内注胶或刷环氧涂层等可靠的粘结防锈措施处理；
- e) 面层的钢筋保护层最小厚度不应低于 10 mm，露天或室内潮湿环境的钢筋保护层最小厚度不应低于 15 mm。

7.7.4 当原墙体无圈梁或构造柱时，宜按下列规定增强加固面层与原结构的连接，保证加固后结构的整体性，经过面层加固后的墙体可不增设圈梁或构造柱：

- a) 宜在楼板的底部或顶部区域增设高延性纤维增强水泥基复合材料增强带，具体做法参见图 5。增强带厚度不宜小于 2 倍面层厚度且不应小于 40 mm，增强带高度不应小于 120 mm；增强带内宜配置穿板钢筋、穿墙钢筋以及水平纵筋，钢筋直径不宜小于 6 mm。穿板钢筋、穿墙钢筋与水平纵筋之间应采取可靠措施进行拉结；

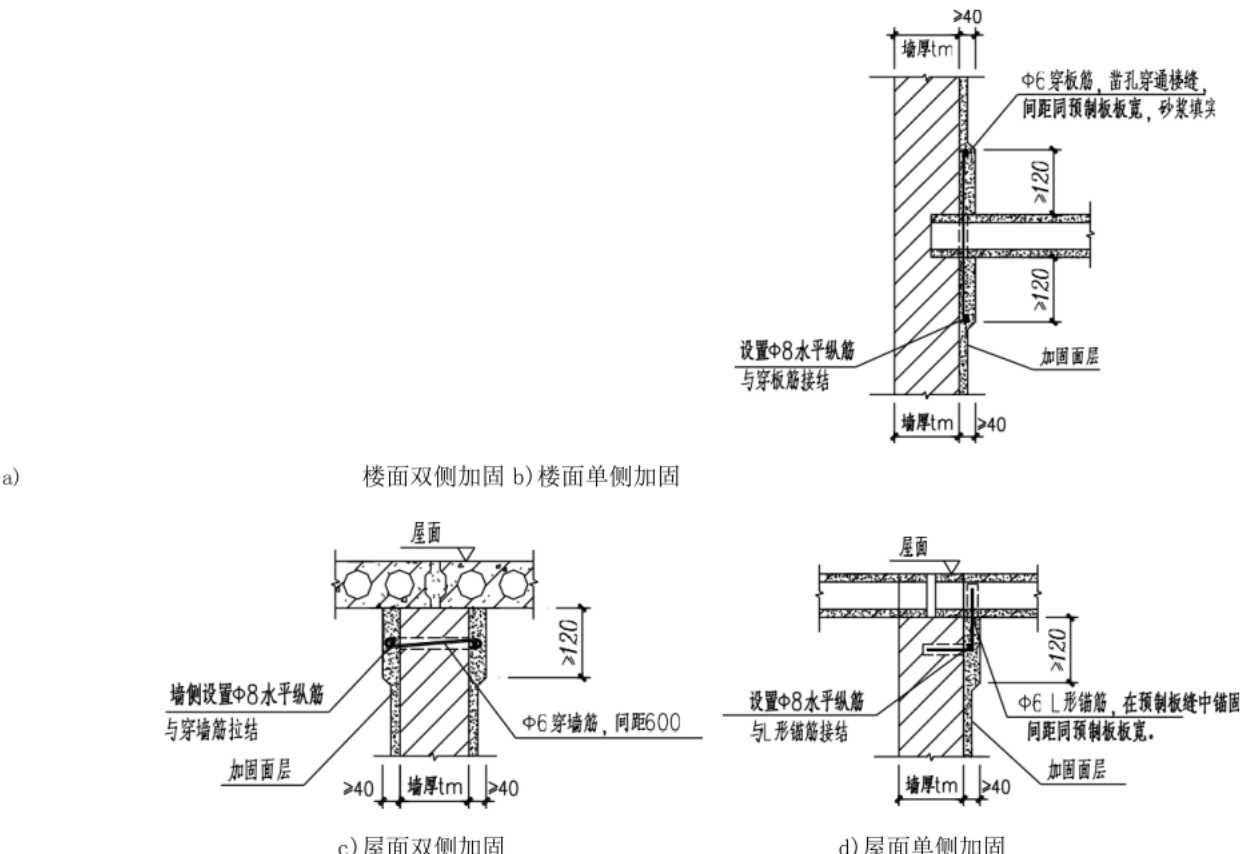


图5 面层增强带与无圈梁楼屋面的连接示意

b) 在 GB 50702 要求设置构造柱的部位，应进行墙体灰缝的抠缝处理。抠缝的水平范围参见图 6，该范围内全部水平灰缝均应抠缝，抠缝深度不小于 15 mm；面层施工过程中，应采用高延性纤维增强水泥基复合材料同步完成该区域的嵌缝和面层涂抹。

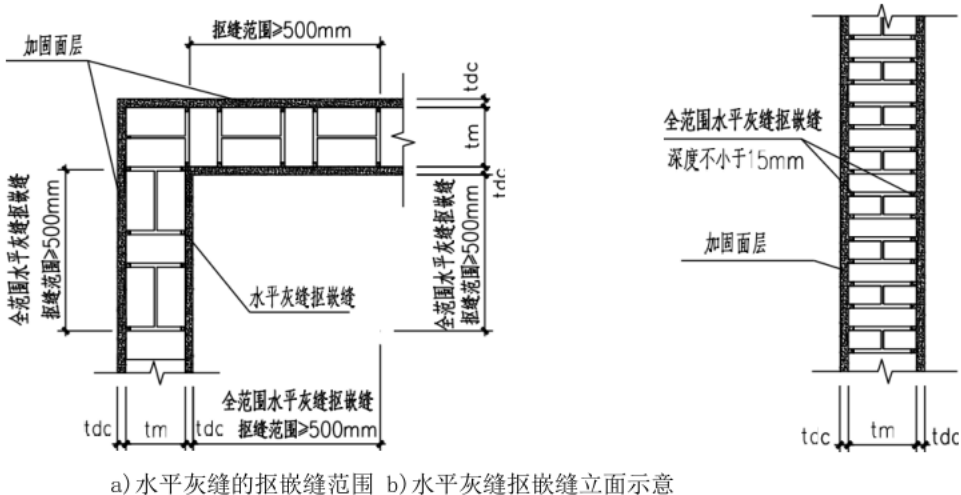


图6 面层与墙体无构造柱区域连接示意

7.7.5 当原墙体已设置钢筋混凝土圈梁和构造柱时，加固面层仍应覆盖圈梁和构造柱表面。圈梁和构造柱的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。一般情况下，

除混凝土表面应予打毛外,尚应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。

7.7.6 教学楼、医疗用房等横墙较少、跨度较大的房间,宜采用高延性纤维增强水泥基复合材料面层增强混凝土空心板楼屋盖的整体性,使其成为装配整体式楼屋盖,具体做法参见本文件的附录 B。

7.7.7 底层墙体的加固面层应墙体可靠连接,面层应向下延伸至室外地面下不小于 500 mm 或基础顶面锚固,也可按图 5 所示方法与地面以下地圈梁连接锚固,此类地圈梁可采用无筋高延性纤维增强水泥基复合材料或普通钢筋混凝土浇筑。当面层内配筋时,钢筋应伸入地圈梁内可靠锚固。

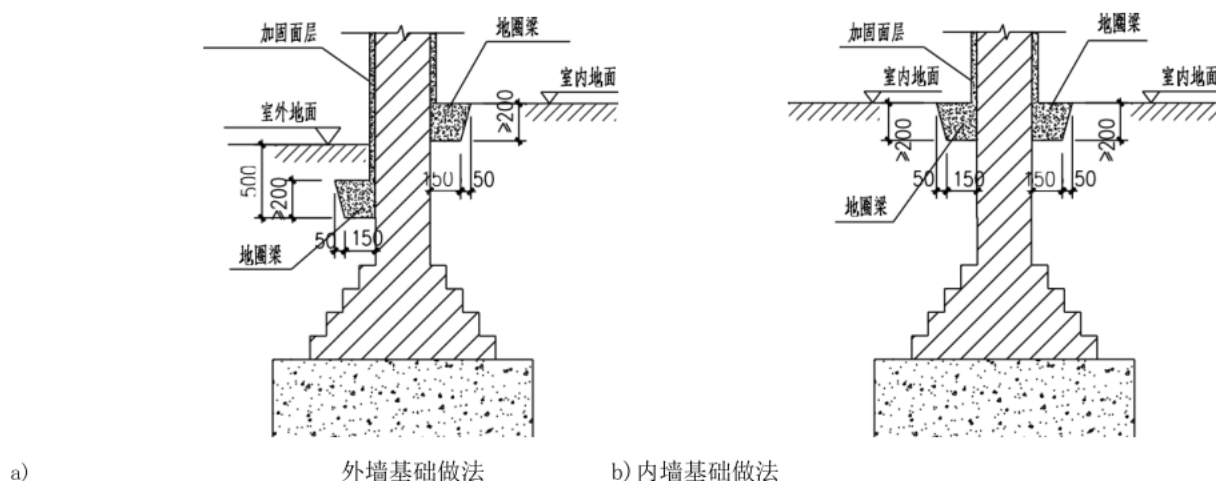


图7 底层加固面层与墙体连接构造

7.8 条带加固构造规定

7.8.1 当房屋缺少圈梁、构造柱或其它构造性措施不符合现行设计规范要求时,可采用条带-砌体组合圈梁、组合构造柱和组合斜撑进行构造性加固,其设置部位应符合 GB 50023 的要求。农村自建砌体房屋的构造性加固应符合 JGJ/T 426 的要求。条带组合式加固示意图见附录 C。

注: 本条涉及的农村自建砌体房屋系指: 一、二层的预制空心板楼(屋)盖或木楼(屋)盖砌体结构,墙体承重方式包括实心砖墙承重、多孔砖墙承重、混凝土小型空心砌块墙承重、蒸压砖墙承重和空斗墙承重房屋。房屋单层层高不超过 3.9 m, 二层房屋各层高度不超过 3.6 m, 房屋内纵墙的间距不大于 4.2 m, 外纵墙开间不大于 3.9 m。

7.8.2 宜采用双侧条带加固墙体。当房屋设防烈度不小于 7 度时,不应采用单侧条带加固。

7.8.3 应采用双侧条带-组合斜撑、双侧条带-砌体组合圈梁和双侧条带-砌体组合构造柱进行空斗墙体的构造性加固,不应采用单侧条带加固空斗墙体。

7.8.4 条带-砌体组合圈梁应在靠近楼屋盖处设置,并在同一水平标高交圈闭合。变形缝处两侧的组合圈梁应分别闭合,如遇开口墙,应采取加固措施使组合圈梁闭合。

7.8.5 条带-砌体组合构造柱宜由底层设起,沿房屋全高贯通,不应错位;构造柱条带、圈梁条带以及斜撑条带(如有)应相互连接,形成闭合体系。若构造柱条带所在位置与圈梁或圈梁条带连接不便,应采取措施与现浇混凝土楼屋盖可靠连接。

7.8.6 高延性纤维增强水泥基复合材料条带遇有门窗洞时,单侧圈梁条带宜弯入洞口侧面锚固,双侧圈梁条带宜在洞口闭合。

7.8.7 条带-砌体组合圈梁、条带-砌体组合构造柱及钢筋尺寸应符合下列规定:

- 无筋条带厚度不应小于 20 mm; 配筋条带厚度不应小于 40 mm;
- 抗震设防烈度为 6 度时,双侧圈梁条带宽度不应小于原墙厚 t_w , 单侧圈梁条带宽度不应小于原墙厚 t_w+120 mm 和 300 mm 两者中的较大值。采用配筋条带时,则纵向钢筋直径不应小于 6

mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm。双侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_m , 单侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_m+240 mm 和 400 mm 两者中的较大值。采用配筋条带时, 则纵向钢筋直径不应小于 8 mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm;

- c) 抗震设防烈度为 7 度时, 双侧圈梁条带宽度不应小于原墙厚 t_w+160 mm, 单侧圈梁条带宽度不应小于原墙厚 t_w+360 mm。采用配筋条带时, 纵向钢筋直径不应小于 8 mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm。双侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_m+240 mm, 单侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_w+700 mm。采用配筋条带时, 则纵向钢筋直径不应小于 10 mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm;
- d) 抗震设防烈度为 8 度时, 双侧圈梁条带宽度不应小于原墙厚 t_w+220 mm, 单侧条带宽度不应小于原墙厚 t_w+420 mm。采用配筋条带时, 纵向钢筋直径不应小于 10 mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm。双侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_w+350 mm, 单侧构造柱条带宽度不应小于原墙厚 t_w+900 mm。采用配筋条带时, 则纵向钢筋直径不应小于 12 mm, 间距不应大于 150 mm, 横向钢筋直径不应小于 6 mm, 间距不应大于 150 mm。

7.8.8 在采用条带-砌体组合斜撑时, 斜撑条带宽度不应小于 200mm。

7.8.9 条带与被加固墙体的界面处理应参照本文件附录 C 和第 7.7.2 条的相关规定。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 结构设计单位应向施工单位进行技术交底; 施工单位应根据设计方案编制施工组织设计和施工方案, 经审查批准后组织实施。

8.1.2 施工前, 应采用适当的措施对加固对象的结构构件进行必要的保护, 具体要求应符合 GB 50550 的有关规定。

8.1.3 施工前, 应进行高延性纤维增强水泥基复合材料的进场检查和复验, 检验合格后方可用于施工。施工中, 应妥善保存材料的进场检查和复验资料, 做为工程质量验收的必备资料。

8.1.4 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验收合格后方可进行施工。

8.2 材料质量检验

8.2.1 高延性纤维增强水泥基复合材料的原料(主要包括成品干混料和纤维)应按下列规定进行进场检查:

- a) 应查验和收存产品性能检验报告(或型式检验报告)、出厂检验报告(或产品合格证)、产品使用说明书等质量证明文件;
- b) 产品性能检验报告(或型式检验报告)应包含本文件中第 5.2 节及设计文件要求的所有力学性能检验项目和耐久性能检验项目, 检验结果应满足本文件的相关规定和设计文件要求;
- c) 出厂检验报告内容应包括: 产品名称与型号、检验依据标准、生产日期、用水量、28d 立方体抗压强度、28d 极限拉伸强度、28d 极限延伸率强度、检验部门印章、检验人员签字(或代号)。

8.2.2 高延性纤维增强水泥基复合材料的原料(主要包括成品干混料和纤维)应按下列规定进行进场复验, 复检合格后方可用于施工:

- a) 以成品干混料每 100 t 为一个检验批, 不足 100 t 按一个检验批计, 且应该是同一厂家、同一生产批次。进场复验应按照 JC/T 2461 的要求, 制作用于测试立方体抗压强度和拉伸性能的试件, 以标准养护 28 天的试块性能指标作为评定依据, 复验立方体抗压强度、极限拉伸强度和极限延伸率。每批不少于三组试样, 每组试样 3 个试件;
- b) 材料的立方体抗压和极限抗拉强度的检验方法应遵守 GB/T 50107 中关于“混凝土强度的检验评定”的相关规定;
- c) 材料的极限延伸率应取 JC/T 2461 的标准试验方法测得的算术平均值。当一组试件中极限延伸率的最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 30% 时, 取中间值作为该组试件的极限延伸率代表值; 当一组试件中极限延伸率的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 30% 时, 取最小值作为该组试件的极限延伸率代表值。

8.3 施工工艺

- 8.3.1 宜采用强制式搅拌机制备高延性纤维增强水泥基复合材料, 搅拌机的转速不宜低于 45 r/min。
- 8.3.2 应按产品使用说明书的要求制备高延性纤维增强水泥基复合材料。投料顺序宜为: 首先加入全部的搅拌用水, 加入经过称量的成品干混料搅拌成均匀的流态浆体; 然后加入纤维, 先慢速搅拌使纤维进入浆体, 然后快速搅拌至纤维分散均匀、无结团。拌合物应具有良好的和易性, 不应离析和泌水, 纤维分散均匀、无结团。
- 8.3.3 原墙面碱蚀严重时, 应先清除全部松散的砌块及砌筑砂浆至坚实基面, 然后采用高延性纤维增强水泥基复合材料进行修补, 当修补有困难时进行拆砌, 完成后采用同一型号的高延性纤维增强水泥基复合材料抹面。
- 8.3.4 高延性纤维增强水泥基复合材料的加固宜按以下工序: 去除原墙体装饰层→水平及竖向抠缝→对穿锚筋或拉结件 (仅针对需要安装钢筋网的情况)→清理浮灰→浇水润湿墙面→安装钢筋网 (仅针对需要安装钢筋网的情况)→喷涂、涂抹高延性纤维增强水泥基复合材料 (同步嵌缝和填充方孔)→保湿养护。
- 8.3.5 需设置穿墙锚筋或锚栓时, 应按设计要求先画线标出锚筋 (或穿墙筋) 位置, 并应采用电钻在砖缝处打孔, 锚孔直径宜采用锚筋直径的 1.5~2.0 倍, 锚筋插入孔洞后可采用水泥基灌浆料或水泥砂浆等填实。
- 8.3.6 需要铺设钢筋网时, 竖向钢筋应靠墙面并采用钢筋头支起。
- 8.3.7 喷涂、涂抹施工时, 应同步使用高延性纤维增强水泥基复合材料进行嵌缝、填充方孔和抹面, 每层厚度不宜超过 15 mm 且后一层压抹应在前一层压抹后 2h 内进行。除最后一层之外, 高延性纤维增强水泥基复合材料内层表面收平但不宜收光。
- 8.3.8 应连续进行面层喷涂、涂抹施工, 不应随意留置施工缝。若留置施工缝, 留置的位置应事先在施工方案中确定, 并应参照 GB 50204 的有关规定执行。

8.4 施工条件

- 8.4.1 施工时, 环境温度不宜低于 5℃。冬季应采取防冻措施, 符合 JGJ/T 104 的有关规定。
- 8.4.2 不宜在雨天进行外墙的加固施工。若雨天施工, 应采取防雨措施, 在材料凝结前不应受到雨水冲淋。
- 8.4.3 在高温、大风、干燥的环境进行室内高延性纤维增强水泥基复合材料施工时, 宜封闭门窗。室外施工时, 应做好保湿养护措施。
- 8.4.4 高延性纤维增强水泥基复合材料应随拌随用, 应控制好各层施工的间隔时间, 并避免阳光直射。
- 8.4.5 施工完成后, 应在高延性纤维增强水泥基复合材料终凝后定时进行保湿养护, 防止阳光曝晒, 养护时间不应少于 7 天。

9 质量验收

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体结构工程的质量验收。当一个单位工程同时使用多种加固方案时，高延性纤维增强水泥基复合材料加固工程可作为其中的一个子分部工程进行验收，其中分项工程可按高延性纤维增强水泥基复合材料施工、被加固结构施工、钢筋施工等划分，本章主要适用于高延性纤维增强水泥基复合材料施工分项的质量检验与验收，其他分项工程应按照 GB 50300、GB 50204 和 GB 50550 等标准的相关规定进行施工质量检验与验收。

9.1.2 每一分项工程的质量验收应分成主控项目和一般项目，上一分项工程未经验收合格不应进行下一分项工程的施工。

9.1.3 加固分项工程检验批的质量检验，应根据 GB 50300 的抽样原则及本文件所规定的抽样方案执行。检验批合格质量标准应符合下列规定：

- a) 主控项目的质量经抽样检验合格；
- b) 一般项目的质量经抽样检验合格；当采用计数检验时，除本文件另有专门规定外，其抽检的合格点率应不低于 80%，且不应有严重缺陷；
- c) 检验批中，凡涉及结构安全的施工过程、结构重要部位的加固施工质量等项目均须进行现场见证取样检测或结构构件实体见证检验。任何未经见证的此类项目，其检测或检验报告不应作为施工质量验收依据；
- d) 具有完整的施工操作依据、质量检查记录及质量证明文件。

9.1.4 在分项工程所含检验批均验收合格的基础上，应按本文件规定的检验项目，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，复验不合格的材料和产品不应使用。施工单位或生产厂家自行抽样、送检的委托检验报告无效。

9.1.5 施工质量验收应按检验批进行。相同材料、楼层、工艺和施工条件的室外加固每 1000m² 应划分为一个检验批，不足 1000m² 时也应划分为一个检验批；相同材料、楼层、工艺和施工条件的室内加固每 50 个自然间应划分为一个检验批，不足 50 间也应划分为一个检验批，大面积房间和走廊可按抹灰面积每 30m² 计为 1 间。

9.1.6 高延性纤维增强水泥基复合材料加固的施工质量检验包括面层表观质量、面层厚度、高延性纤维增强水泥基复合材料与砌体的粘结强度等，同时尚应符合 GB 50550 及其它有关规范、标准的规定。

9.1.7 钢筋隐蔽工程验收应符合 GB 50550 的有关“砌体或混凝土构件外加钢筋网-砂浆面层工程”规定。

9.1.8 原构件混凝土界面的处理应符合 GB 50550 中“混凝土构件增大截面工程”的专项规定。

9.2 施工质量检验

9.2.1 主控项目

9.2.1.1 面层的外观质量不应有严重缺陷。对硬化后面层的严重缺陷应按表 7 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。

- a) 检查数量：全数检查；
- b) 检验方法：观察。检查缺陷的深度时，应凿开检查，并检查技术处理方案及返修记录。

表 7 高延性纤维增强水泥基复合材料面层外观质量缺陷

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
疏松	高延性纤维增强水泥基复合材料局部不密实	构件主要受力部位有疏松	其他部位有少量疏松
夹杂异物	高延性纤维增强水泥基复合材料中夹有异物	构件主要受力部位夹有异物	其他部位夹有少量异物
孔洞	高延性纤维增强水泥基复合材料中存在深度和长度均超过面层厚度的孔洞	构件主要受力部位有孔洞	其他部位有少量孔洞
硬化（或固化）不良	高延性纤维增强水泥基复合材料失效，致使面层不硬化（或不固化）	任何部位不硬化（或不固化）	（不属于一般缺陷）
裂缝	缝隙从高延性纤维增强水泥基复合材料表面延伸至内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能（宽度超过 0.1 mm）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纤维增强水泥基复合材料层分离或锚固件与高延性纤维增强水泥基复合材料层之间松动、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
表观缺陷	表面不平整、缺棱掉角、翘曲不齐、麻面、掉皮	有影响使用功能的缺陷	仅有影响观感的缺陷
露筋	钢筋网未被高延性纤维增强水泥基复合材料包裹而外露	受力钢筋外露	按构造要求设置的钢筋有少量外露

- 9.2.1.2 面层厚度仅允许有 5 mm 正偏差，不允许出现负偏差，抽样合格率不应小于 90%。
- 9.2.1.3 高延性纤维增强水泥基复合材料与基材界面粘结的有效粘结面积占受检表面积的百分率不小于 90%：
- a) 检查数量：全数检查；
 - b) 检验方法：敲击法、超声法或其他有效的探测法。
- 9.2.1.4 高延性纤维增强水泥基复合材料与原砌体基层的层间正拉粘结强度，应进行现场取样检验，其正拉粘结强度不应小于本文件表 5 规定：
- a) 检查数量：每一检验批按实际加固面层面积均匀划分为若干区，每区 100 m²（不足 100 m²，按 100 m²计），每层不应少于 1 区；以每区为一个检验组，每组 3 个检验点；
 - b) 检验方法：符合 GB 50550-2010 附录U 的有关规定。
- 9.2.1.5 采用配筋面层加固砌体结构时，应对钢筋的保护层厚度进行检测。钢筋网保护层厚度不允许出现负偏差。
- 9.2.2 一般项目
- 9.2.2.1 对硬化后的面层应按表 6 进行外观质量缺陷检查和评定。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。
- 9.2.2.2 在满足加固面层厚度要求的前提下，宜对面层表面平整度进行检测，按检测的允许偏差为±5 mm 进行合格判定，抽样合格率不应小于 85%。

9.3 竣工验收

9.3.1 竣工验收程序和组织应符合下列规定：

- a) 检验批应由监理工程师组织施工单位项目专业质量检查员、专业工长进行验收；
- b) 分项工程应由专业监理工程师组织施工单位专业负责人进行验收；
- c) 各分项工程竣工验收完成后，施工单位应向建设单位提交分部工程验收报告，建设单位收到报告后，应指派其加固工程负责人组织施工（含分包单位）、设计、监理等单位负责人进行分部工程竣工验收；分部工程竣工验收合格后，建设单位应负责办理有关建档和备案等事宜；
- d) 若参加竣工验收各方对加固工程的安全和质量有异议，应请当地工程质量监督机构协调处理。

9.3.2 高延性纤维增强水泥基复合材料施工分项工程质量应按下列要求进行竣工验收：

- a) 加固工程施工质量应符合本文件和相关专业验收标准的规定，以及加固设计文件的要求；
- b) 参与加固工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；
- c) 加固工程质量的验收应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行；
- d) 隐蔽工程应在隐蔽前已由施工单位通知有关单位进行了验收，并已形成验收文件；
- e) 涉及结构安全的检验项目，已按规定进行了见证取样检测，其检测报告的有效性已得到监理人员检查认可；
- f) 加固工程的观感质量应由验收人员进行现场检查。其检查结果的综合结论已得到验收组成员共同确认。

9.3.3 高延性纤维增强水泥基复合材料施工分项工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

- a) 相关设计文件；
- b) 原材料、产品出厂检验合格证和产品性能检验报告（或型式检验报告）；
- c) 涉及安全的原材料、产品的进场见证抽样复验报告；
- d) 结构加固各工序应检项目的现场检查记录和检验报告；
- e) 施工过程质量控制记录；
- f) 隐蔽工程验收记录；
- g) 加固工程质量问题的处理方案和验收记录；
- h) 其他必要的文件和记录。

9.3.4 子分部工程合格质量标准应符合下列规定：

- a) 子分部工程所含的各分项工程，其质量验收合格；
- b) 质量控制资料完整；
- c) 涉及安全的见证检验项目，其抽检结果符合本文件合格质量标准的要求；
- d) 观感质量经验收组成员共同确认合格。

9.3.5 高延性纤维增强水泥基复合材料施工分项工程质量不合格时，应由施工单位返工重做，并重新检查、验收。若通过返工后仍不能满足安全使用要求的加固工程，不应验收。

附录 A

(规范性)

高延性纤维增强水泥基复合材料本构关系

A.1 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度标准值及抗拉强度标准值可按下列公式计算：

$$\begin{aligned} f_{dc,cuk} &= f_{dc,cu} (1 - 1.645 \delta_{dc,c}) \dots\dots\dots (A.1) \\ f_{dc,tuk} &= f_{dc,tu} (1 - 1.645 \delta_{dc,t}) \end{aligned}$$

式中：

$f_{dc,cuk}$ 、 $f_{dc,cu}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的立方体抗压强度标准值、立方体抗压强度平均值；

$f_{dc,tuk}$ 、 $f_{dc,tu}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的极限抗拉强度标准值、极限抗拉强度平均值；

$\delta_{dc,c}$ 、 $\delta_{dc,t}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度变异系数和抗拉强度变异系数，宜根据试验统计确定。 $f_{dc,cu}$ 、 $f_{dc,tu}$ 应通过 JC/T 2461 规定的试验方法确定。

A.2 高延性纤维增强水泥基复合材料的单轴受拉应力-应变曲线（图 A.1）可按下列公式确定：

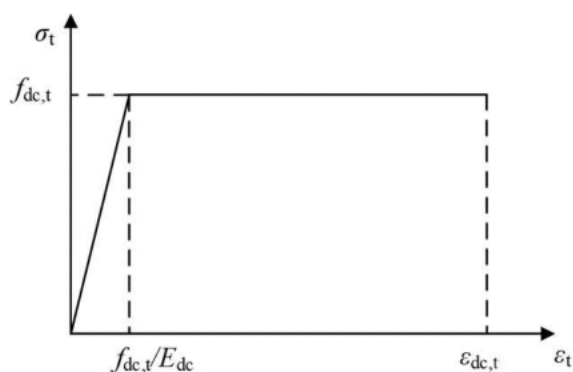
$$\sigma_{dc,t} = \begin{cases} E_{dc} \varepsilon_t & \varepsilon_t < f_{dc,t} / E_{dc} \dots\dots\dots (A.2) \\ f_{dc,t} & \varepsilon_{dc,t} > \varepsilon_t \geq f_{dc,t} / E_{dc} \end{cases}$$

式中：

E_{dc} —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的弹性模量；

$f_{dc,t}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗拉强度设计值；

$\varepsilon_{dc,t}$ —— 极限延伸率，即高延性纤维增强水泥基复合材料的极限抗拉强度对应的延伸率。



图A.1 单轴受拉的应力-应变曲线

A.3 高延性纤维增强水泥基复合材料的单轴受压应力-应变曲线（图 A.2）可按下列公式确定：

$$\sigma_{dc,c} = \begin{cases} \frac{0.85 f_{dc,c} \varepsilon_c (2 - \varepsilon_c / \varepsilon_{dc,p})}{\varepsilon_{dc,p}} & \varepsilon_c < \varepsilon_{dc,cp} \dots\dots\dots (A.2) \\ 0.85 f_{dc,c} & \varepsilon_{dc,cu} > \varepsilon_c \geq \varepsilon_{dc,cp} \end{cases}$$

式中：

- $f_{dc,c}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度设计值；
- $\varepsilon_{dc,cp}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压峰值强度对应的应变。如无可靠数据时，可取为0.002；
- $\varepsilon_{dc,cu}$ —— 高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压极限应变。如无可靠数据时，可取为0.004。

图A.2 单轴受压的应力-应变曲线

附录 B

(资料性)

预制装配式楼层盖整体化构造加固

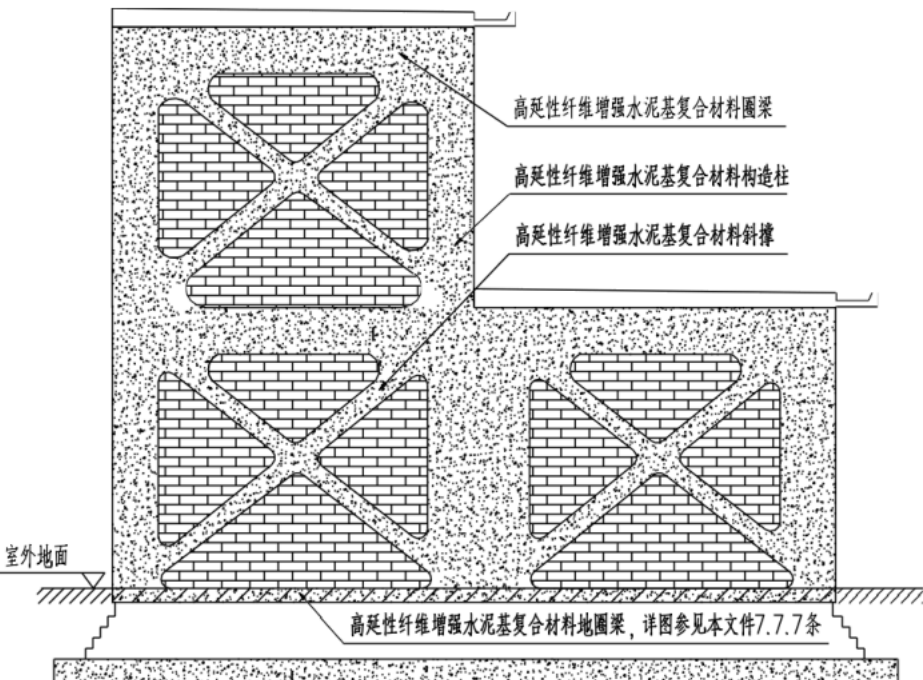
当房屋的预制装配式楼屋盖整体性不足时，可在板面或板底满铺高延性纤维增强水泥基复合材料增强其整体性：

- a) 将预应力空心板表面的粉刷层清理干净，充分洒水润湿并采用抗剪键或锚筋/锚栓增强面层与装配式楼屋盖的连接；
- b) 当采用抗剪键增强连接时，应顺着预制板的板缝开槽，槽宽不宜小于 20mm，槽深不宜小于 30mm，槽长沿板缝方向不宜小于 200 mm@1000 mm；
- c) 当采用锚筋/锚栓增强连接时，应呈梅花形布置 L 形锚筋或锚栓，通过钻孔并采用胶粘剂锚入预制板缝内。锚筋或锚栓直径不小于 6 mm 且锚固深度不小于 20 d (d 为锚筋或锚栓的直径)。当板缝间的原有砂浆不密实时，应采用灌缝处理。灌缝砂浆强度等级不低于 M20；
- d) 在预制板的板顶摊铺或在板底压抹高延性纤维增强水泥基复合材料，层厚不宜小于 15 mm。当采用抗剪键增强连接时，摊铺与压抹应与抗剪键的填充应同步进行；
- e) 高延性纤维增强水泥基复合材料施工后，应在 7~24h 内喷水雾养护，24h 后可用无压力淋水养护至达到设计要求。

附 录 C
(资料性)

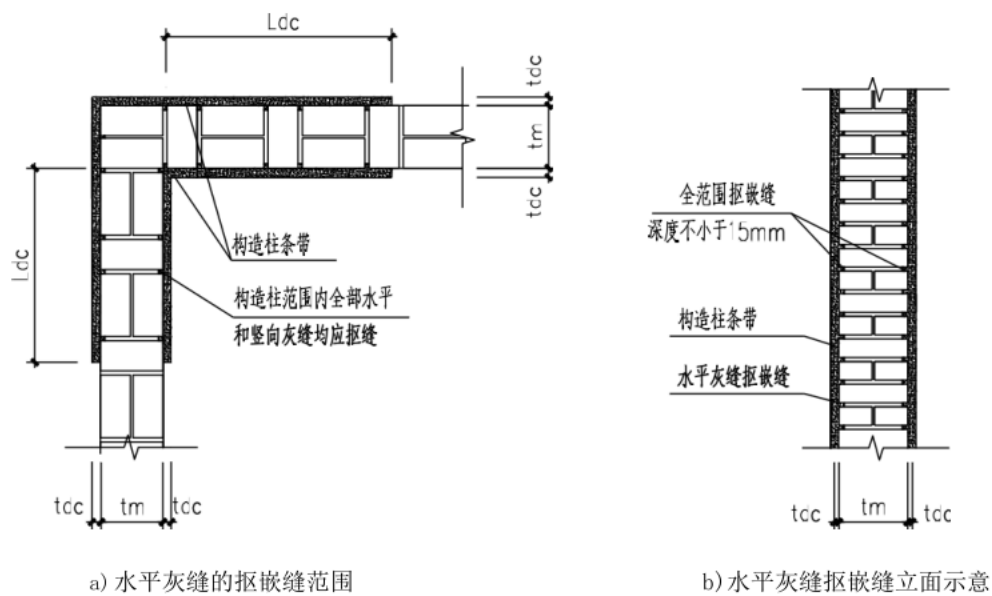
高延性纤维增强水泥基复合材料条带-砌体组合圈梁、构造柱、斜撑

- C.1 采用条带-砌体组合加固时，应满足下列规定（图 C.1）：
- a) 圈梁条带宜靠近楼屋盖设置并在同一水平标高应闭合。在阳台、楼梯间等圈梁条带标高变换处，圈梁条带应有局部加强措施；
 - b) 构造柱条带宜由底层设起，沿房屋全高贯通，不应错位；若所在位置与原圈梁（含相应的现浇板等）或圈梁条带连接不便，应采取措施与混凝土楼屋盖可靠连接。构造柱条带应与原圈梁（含相应的现浇板等）或圈梁条带连成闭合系统；

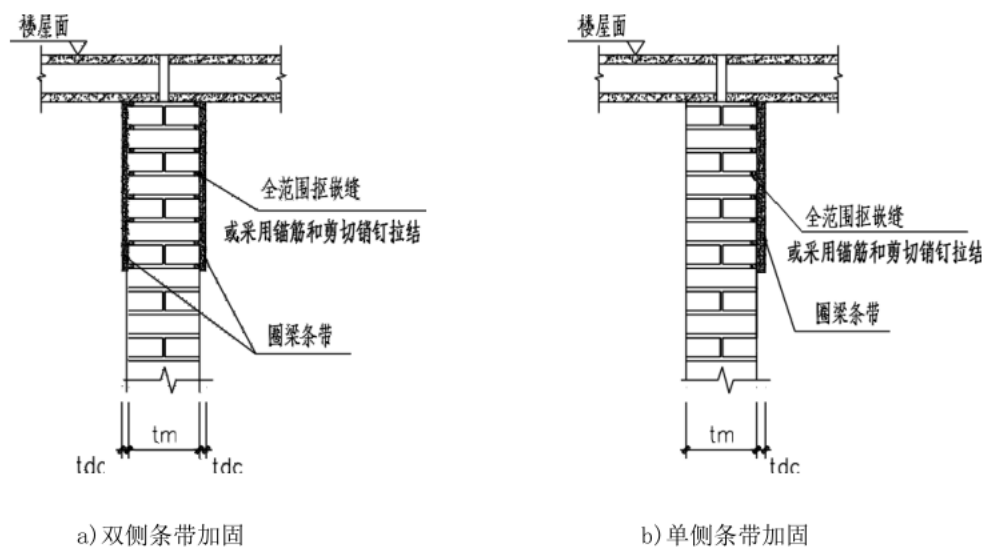


图C.1 高延性纤维增强水泥基复合材料与砌体组合条带加固体系

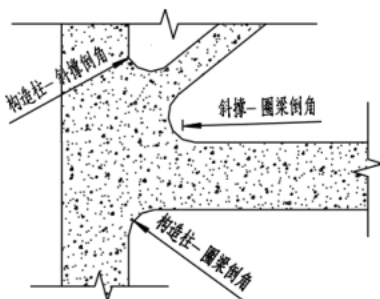
- C.2 在不便设置锚筋和剪切销钉的情况下，应对圈梁条带、构造柱条带、斜撑条带范围内全部水平和竖向灰缝进行抠缝处理，抠缝深度不小于 15 mm（图 C.2、图 C.3）；在高延性纤维增强水泥基复合材料条带的施工过程中，应采用同步完成嵌缝和涂抹工序。
- C.3 采用配筋圈梁条带、构造柱条带加固时，应采用直径为 6 mm 的 S 形钢筋或锚栓拉结，拉结钢筋（锚栓）宜成梅花状布置，其竖向间距和水平间距均不应大于 500 mm，且应符合 GB 50702 的相关规定。
- C.4 条带相交部位应采用圆形内倒角处理（图 C.4）。倒角半径不宜小于 200 mm，圆形倒角部位的条带应连续施工，不应留下施工冷缝。



图C.2 组合构造柱条带大样



图C.3 组合圈梁条带大样



图C.4 组合构造柱、圈梁、斜撑连接内倒角

湖北省地方标准

高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体 结构技术规程

Code of Practice for Strengthening Masonry Structure with Engineered
Cementitious Composites

条文说明

1 范围

根据GB 50011规定，湖北省地震区划的设防烈度为6度~7度，考虑特殊设防类和重点设防类建筑可能需要提高设防烈度，因此本文件的抗震设防烈度包括了6度、7度和8度。

如果涉及文物建筑、优秀历史建筑和历史风貌区历史建筑的加固改造及修缮，应该结合本文件提出的加固方法，同时需符合文物建筑、优秀历史建筑的相关条例及规定进行加固设计、施工及验收。

3 术语和定义

3.1

高延性纤维增强水泥基复合材料 Engineered cementitious composites (ECC)

高延性纤维增强水泥基复合材料，国内又称高延性纤维增强水泥基复合材料（Engineered Cementitious Composites, ECC)或超高韧性混凝土，系指一类由水泥基胶凝材料、矿物掺和料、骨料、外加剂和纤维等原材料组成，按一定比例加水搅拌，硬化后具有一定的抗压强度、抗拉强度和高延伸率的特种混凝土。其高延伸率源于材料的应变强化能力，即在拉伸荷载下材料会出现多缝开裂且其拉伸强度随变形增大而增加的能力。在最大拉力时，材料的总拉伸变形量（弹性延伸加塑性延伸）与引伸计原始标距之比的百分率即为极限拉伸应变，简称为延伸率。

高延性纤维增强水泥基复合材料的延伸率一般介于 1%~10%之间，极限延伸率对应的最大裂缝宽度不大于 0.15 mm，同时极限拉伸强度介于 2 MPa~15 MPa 之间，抗压强度介于 20 MPa~100 MPa 之间。工程中，一些高性能混凝土或纤维混凝土也可以实现应变硬化，但其延伸率通常小于这一范围，为了与之区别，本文件主要涉及的材料被称为高延性纤维增强水泥基复合材料。

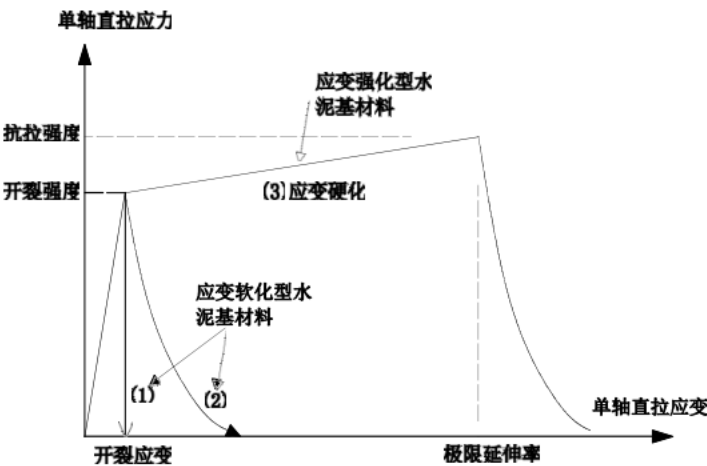


图 1 水泥基材料典型单轴拉伸应力-应变曲线

关于开裂强度、开裂应变、应变硬化、抗拉强度、极限延伸率等的定义，均基于材料的轴心拉伸应力-应变曲线。一般来说，水泥基材料的单轴拉伸行为存在应变软化或应变硬化两种现象。对于普通混凝土材料，当拉应力超过开裂强度后，拉应力随应变增大迅速下降，呈现应变软化的现象，如图 1 中的（1）、（2）曲线。对于应变强化型材料，当拉应力超过开裂强度后，拉应力随应变增大仍可不断增大，从而呈现多缝开裂和应变硬化的现象，同时带来了较高的延伸率，如图 1 中的（3）曲线。

5 基本规定

5.3 本条参考 JGJ/T426 “1.0.2 本文件适用于农村自建二层以下(包括二层)房屋结构的加固设计与施工。不适用于构筑物及处于高温、高湿、腐蚀等特殊环境条件下农村房屋的加固”。由于目前关于三斗一眠以上乃至全空斗墙体的试验和研究成果有限,这类砌体房屋及墙体暂且不列入考虑范围。

5.9 本条规定基于 GB 50702 中关于砌体结构的加固设计工作年限的相关规定:“对使用胶粘方法或掺有聚合物加固的结构、构件,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”。

5.10 国内外的研究表明:高延性纤维增强水泥基复合材料在经历 100 °C 的温度后,其各项力学性能指标基本不受影响。出于保守考虑,规定为正常使用温度不应超过 80 °C。

6 材料

6.1 原材料

6.1.8 高延性纤维增强水泥基复合材料的增强短纤维可采用合成纤维。从目前来看,高延性纤维增强水泥基复合材料需要掺加短纤维作为增韧材料。标准中推荐的几种合成纤维均是成熟的高延性纤维增强水泥基复合材料增韧纤维。随着制备技术的发展与进步,不排除其他方式同样可以配制出这类材料。原则上,只要满足本文件第 5 章各项性能要求的应变强化型水泥基复合材料,均可引用本文件,因此本文件不强制要求纤维的种类或尺寸。

混凝土的碱性环境要求纤维具有足够的耐碱性能。在高碱性环境下的极限拉力保持率是指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,从而得到浸后断裂强度与原试样的断裂强度之比的百分率。

本文件规定的材料抗拉强度等级介于 T2~T10,极限延伸率介于 D1~D10。为了适应这一需求,钢纤维的掺量(重量比)建议范围为 2.0%~8%,合成纤维的掺量(重量比)建议范围为 0.3%~1.8%。对于抗拉强度和极限延伸率要求较高的情况,宜在材料制备时采用较高的纤维掺量。必须指出的是,高延性纤维增强水泥基复合材料的制备受到多种因素的影响,选择适当的纤维和纤维掺量仅仅是实现高抗拉强度和高延伸率的两个必要条件。

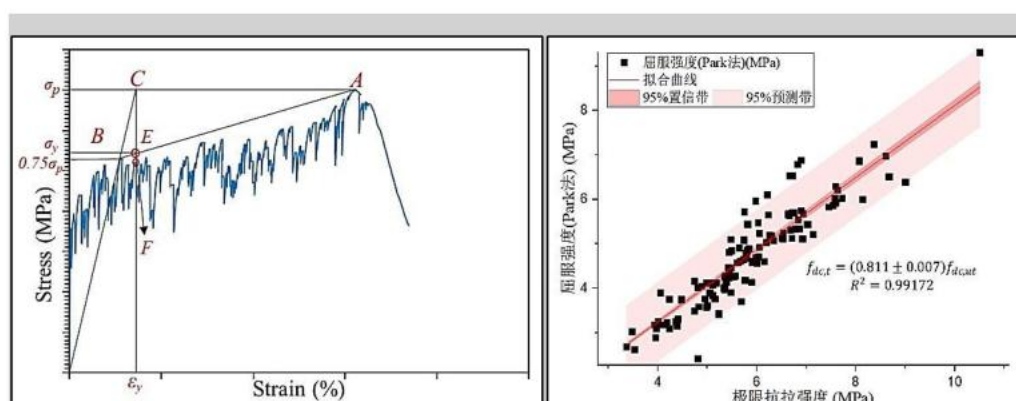
6.2 高延性纤维增强水泥基复合材料

6.2.2 为了保证足够的结构安全度,本文件根据 GB 50068 规定的可靠度设计方法并基于现行行业标准 JC/T 2461 的相关规定,确定该类材料性能指标。

按 Park 的屈服点算法,从极限抗拉强度标准值到轴心抗拉强度标准值之间存在约 1.25 倍的关系,另依据 GB50010 中关于钢筋的条文“钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25”,在此统一取 1.25。

Park 法的计算步骤如下:

- 找到轴拉试件应力-应变曲线上的峰值应力点 A (极限抗拉强度) 和第一个 0.75 倍峰值应力点 B, 连线 A、B 两点, 分别通过点 A 和点 B 作平行于 y 轴的直线段;
- 连接原点和点 B 并延伸, 与过 A 点的水平线相交于 C 点;
- 过 C 点做垂直于 x 轴的直线, 该直线与 AB 线交于 E 点, 与应力应变曲线交于 F 点;
- 取靠近 F 点所在波峰的峰值为抗拉屈服强度 (轴心抗拉强度), 该波峰对应的应变即为屈服应变。



按照 JC/T 2461 的规定，编制组共制作 5 种不同配合比的试件，共计完成 19 组、数百次轴向拉伸实验，得到极限抗拉强度 $f_{dc,ut}$ 并使用 Park 法得到的轴心抗拉强度 $f_{dc,t}$ ，对二者进行回归分析，拟合得到极限抗拉强度 $f_{dc,ut}$ 与轴心抗拉强度 $f_{dc,t}$ 的关系：

$$f_{dc,t} = (0.811 \pm 0.007) f_{dc,ut}$$

由此可得，高延性纤维增强水泥基复合材料的极限抗拉强度约为轴心抗拉强度的 1.25 倍。这一数值与 GB50010 中关于钢筋的条文“钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25”统一。

高延性纤维增强水泥基复合材料的材料分项系数，即标准值与设计值之比值取 1.3。本文件应用的试验资料为江苏、上海、湖北等地区的高延性纤维增强水泥基复合材料强度试验数据，其中包括立方体抗压试件共 38 组，棱柱体轴心抗压试件共 35 组，轴心拉伸试件共 19 组。试件强度涵盖 C30-C50 共 5 个等级，分别获得不同强度等级的立方体抗压强度 $f_{dc,uc}$ ，棱柱体轴心抗压强度 $f_{dc,c}$ ，极限抗拉强度 $f_{dc,ut}$ 与轴心抗拉强度 $f_{dc,t}$ ，经过统计分析得到相应的强度均值、强度变异系数及 95% 保证率下的强度标准值，再依照下述步骤，参照普通混凝土，通过对轴压构件与轴拉构件的分析，分别采用一次二阶矩理论计算得到高延性纤维增强水泥基复合材料的抗拉材料抗力分项系数与抗压强度分项系数：确定轴拉、轴压构件的承载力极限状态，建立功能函数和设计表达式，并按照 GB 50068 确定荷载分项系数。

- 通过试验结果与计算结果，结合 GB 50010 与 JG/T472，确定高延性纤维增强水泥基复合材料轴拉、轴压构件的几何参数不确定性 X_A 与计算模式不确定性 X_p 。通过得到的材料强度试验数据与统计分析结果，利用材料强度标准值 f_k 与强度变异系数确定高延性纤维增强水泥基复合材料的材料抗力不确定性 X_M ；
- 将上述不确定性变量与强度均值带入承载力计算公式，得到抗力均值 R_m 与抗力变异系数，进而得到抗力标准值 R_k ；
- 选定荷载比 $\rho = S_{qk}/S_{gk}$ ，并利用设计表达式和荷载分项系数得到恒载标准值 S_{gk} 与活载标准值 S_{qk} 及相应的荷载均值；
- 根据 GB 50068，高延性纤维增强水泥基复合材料轴拉、轴压构件属延性破坏，破坏类型二级，故确定目标可靠度指标为 3.2。
- 保持目标可靠度不变，使用一次二阶矩理论的验算点法迭代计算得到构件的材料强度设计值 f_d 。则该荷载比下该类构件的材料抗力分项系数 $\gamma_i = f_d/f_k$ 。
- 改变荷载比，计算得到多个材料抗力分项系数，利用最小二乘法得到该类构件的最优材料抗力分项系数 γ_m 。

依照上述步骤，计算得到多个抗压强度、抗拉强度等级下的材料抗力分项系数，最终遴选得到高延性纤维增强水泥基复合材料抗拉强度分项系数 $\gamma_t = 1.21$ ，高延性纤维增强水泥基复合材料抗压强度分项系数 $\gamma_c = 1.32$ 。综合考虑高延性纤维增强水泥基复合材料的各类使用工况与安全性，最终确定高延性纤维增强水泥基复合材料抗力分项系数为 1.3。由此，可以得到材料极限轴心抗拉强度标准值与轴心抗拉强度设计值间的关系：

$$f_{dc,t} = \frac{f_{dc,utk}}{1.3 \times 1.25} = 0.62 f_{dc,utk}$$

项目	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度变异系数 δ_c	7.95%	11.43%	15.05%	12.07%	15.46%
项目	T4	T5	T6	T7	
轴心抗拉强度变异系数 δ_t	16.64%	16.42%	14.73%	17.37%	

6.2.4 本文件不规定高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度与抗拉强度之间的定量关系，这一点与 GB50010 等规范的常用规定不同。其原因如下：

- a) 纤维掺入对于高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度影响轻微，但对于其抗拉强度有明显的增强作用。这一增强作用受到纤维种类、掺量以及水泥基材的密实度等多个因素影响。本文件编制组收集了多方面的资料，认为高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度与抗拉强度之间不存在固定的比例，因此不应以抗压强度去推算抗拉强度，反之亦然；
- b) 从本文件的应用场景来看，高延性纤维增强水泥基复合材料的抗拉强度重要性更高于抗压强度，这与普通混凝土相反。原因如下，加固的面层厚度较小，而墙体的高度一般介于 2~4 m，因此，面层的高厚比一般在 100 以上。墙体受压达到极限抗压承载力时，面层往往被压屈而非压碎，因此抗压强度的利用率较低。这也是本文件不强调高抗压强度的原因。相比而言，墙体 的受剪、受弯和抗拉加固与材料的抗拉强度密切相关，抗拉强度利用率远高于抗压强度利用率。因此，抗拉强度以及延伸率必须得到保证。

参考GB 50010 关于混凝土轴心抗压强度标准值的取值依据 $f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k}$ ，并结合试验数据分析结果，棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值 α_{c1} 取 0.88，C80 以下材料脆性折减系数 α_{c2} ，此处取 1.0。因此，其轴心抗压强度标准值：

$$f_{dc,ck} = 0.88 * 0.88 * 1.0 * f_{dc,cuk} = 0.78 * f_{dc,cuk}$$

参照GB 50010 中混凝土的抗压强度设计值计算方法，并结合试验数据分析结果，计算高延性纤维增强水泥基复合材料轴心抗压强度设计值 $f_{dc,e} = f_{dc,ck} / 1.3$ 。

6.2.6 高延性纤维增强水泥基复合材料与砌体正拉粘结强度的规定参考 GB 50550-20102 的第 13.4.3 条。本表中粘结强度指标为 28d 龄期指标。

7 设计与构造

7.1 一般规定

7.1.1 根据现行国家标准《砌体结构设计规范》GB50003 第 4.2.2 条规定：刚性和刚弹性方案房屋的横墙的厚度不宜小于 180 mm。考虑隔墙加固的需求，将加固墙体的厚度放宽为 120 mm。

7.1.3 参照 GB55008 关于配筋混凝土的强度等级不低于 C25”的要求。

7.1.4 本文件要求高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固具有不低于 GB 50702 中关于“钢筋网水泥砂浆面层加固法”的可靠度。据 GB 50702 中第 4.3.2 条规定：“砌体结构加固用的钢筋网，其质量应符合 GB 1499.3 的有关规定；其性能设计值应按 JGJ 114 的有关规定采用”。根据 GB 1499.3 的 6.5.1 条规定：“焊接网钢筋公称直径不小于 6 mm 的焊接网用冷轧带肋钢筋，冷轧带肋钢筋的最大力总伸长率不应小于 2.5%，钢筋的强屈比不应小于 1.05”。根据现行行业标准《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ95-2011“冷轧带肋钢筋可用于楼板配筋、墙体分布钢筋、梁柱箍筋及圈梁、构造柱配筋，但不应用于有抗震设防要求的梁、柱纵向受力钢筋及板柱结构配筋”。鉴于此，本文件对于无筋状态下高延性纤维增强水泥基复合材料加固的拉伸应变能力进行了具体的规定，即不低于 D3。对于配筋加固情况，本文件要

求材料延伸率不低于 1%。

7.1.5 对于高延性纤维增强水泥基复合材料条带-砌体组合圈梁、高延性纤维增强水泥基复合材料条带-砌体组合构造柱进行构造性加固且条带无筋的情况，鉴于高延性纤维增强水泥基复合材料与砌体组合形成圈梁，双侧加固可以更好地保证房屋的整体性和稳定性。对于单个构件，不做双侧加固的硬性要求。构造柱和斜撑的加固效果仍不如整面加固，因此本条规定了高延性纤维增强水泥基复合材料的强度等级和延伸率，特别要求高延性纤维增强水泥基复合材料拉伸应变能力不低GB 13014 中关于最大力延伸率的要求，即不低于 D5。

7.2 砌体受压加固

7.2.1 在满足构造要求情况下，外加高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固后的结构可看成砌体与高延性纤维增强水泥基复合材料面层的组合砌体构件。因此可以利用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。考虑到加固结构中的原有砌体加固前已经承受荷载，其应力水平一般都比较低，而高延性纤维增强水泥基复合材料面层还不能立即参与工作，需待新加荷载后（第二次受力）才开始共同受力。此时，高延性纤维增强水泥基复合材料面层的应变滞后于原砌体的应变，即原砌体的应变高于高延性纤维增强水泥基复合材料面层的应变。也就是说，当原砌体达到极限状态时，高延性纤维增强水泥基复合材料面层还没有达到其极限状态，其承载力不能得到充分发挥。因此，计算加固后构件的承载力，应考虑高延性纤维增强水泥基复合材料面层与原砌体承受应变起点不同，高延性纤维增强水泥基复合材料面层存在应变滞后现象的实际情况，即使完全卸载时，加固后构件的工作虽属一次受力，但由于受二次施工的影响，其截面工作仍然不如一次施工的构件，其承载力仍有所降低。此外，加固面层的厚度一般介于 10 mm~40 mm，墙体的高度一般介于 2~4 米，故面层的高厚比一般在 100 以上。墙体受压达到极限抗压承载力时，面层往往被压屈而非压碎。因此，计算加固后构件的承载力时，引入后加材料的强度利用系数，对 GB 50003 组合砌体构件承载力的计算公式进行修正，从而得到加固后构件的承载力计算公式。

根据多个试验数据的拟合结果，高延性纤维增强水泥基复合材料的强度利用系数，对砖实砌砌体，取 $\alpha_{dc}=0.15$ ；对砖空斗砌体，取 $\alpha_{dc}=0.35$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_{dc}=0.15$ 。

本文件规定，配筋面层的厚度不宜小于 30 mm。这一厚度已经与钢筋网水泥砂浆面层的最小厚度接近。受压的极限状态下，高延性纤维增强水泥基复合材料表现出远高于普通水泥砂浆的变形能力，能与钢筋更好地共同工作，但是鉴于试验数据仍不充足，轴心受压构件钢筋强度利用系数 α_s 参照 GB50702 中关于“钢筋网水泥砂浆面层加固法”的相关规定取值，对砖砌体，取 $\alpha_s=0.8$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_s=0.7$ 。

稳定系数来源于GB 50003 中砌体和钢筋混凝土面层的组合砌体构件的稳定系数。

7.2.2 高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固偏心受压砌体构件正截面承载力计算公式系由GB50003 组合砌体构件偏心受压承载力计算公式经修正得到的。根据试验结果和参照 GB 50702 的模式，高延性纤维增强水泥基复合材料的强度利用系数，对砖实砌砌体，取 $\alpha_{dc}=0.15$ ；对砖空斗砌体，取 $\alpha_{dc}=0.35$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_{dc}=0.15$ 。偏心受压构件新增钢筋的强度利用系数，对砖砌体，取 $\alpha_s=0.8$ ；对混凝土小型空心砌块砌体，取 $\alpha_s=0.7$ 。

7.2.4 加固后高延性纤维增强水泥基复合材料面层可与原墙体共同承担竖向荷载，此外，高延性纤维增强水泥基复合材料面层具有约束墙体平面内变形的作用，延缓墙体平面内的开裂，但是对墙体厚度方向的约束作用非常有限。增设穿墙厚的对拉锚栓或锚固钢筋具有如下两个目的，a) 约束墙体厚度方向上的开裂；b) 减少砌体在压力下出现较大的竖向变形，延缓面层出现压屈。试验证明，在极限状态下，经过面层加固的墙体仍会出现厚度方向的压裂。对此，对拉锚栓或锚固钢筋具有墙厚方向的约束作用，从而提升了墙体的抗压承载力。

7.3 砌体受弯加固

7.3.1 空斗墙体的受弯承载力极差且质量完全无法保证，故不在本文件的适用范围之内。

7.3.2、7.3.3 双侧加固和双侧配筋加固的原因是：大部分墙体在灾害中出现倒塌破坏的原因是过大的平面外变形，通过对称加固和对称配筋进行受弯加固，可以有效提升墙体的平面外能力和整体性。

7.3.4 采用高延性纤维增强水泥基复合材料面层加固墙体，可以提升墙体的受弯性能。本节提供了双侧和单侧面层加固的计算公式。参照GB 50003 以及 GB 50010 的原则，提出正截面承载力计算基本假定 a 和 b，即截面应变符合平截面假定；不考虑砌体的抗拉强度。引用平截面假定可以将各种类型截面（包括配筋截面）在受力情况下的正截面承载力计算贯穿起来，提高了计算方法的逻辑性和条理性，使计算公式具有明确的物理概念。引用平截面假定也为利用电算进行砌体结构构件的正截面全过程分析（包括非线性分析）提供了必不可少的截面变形条件。由于高延性纤维增强水泥基复合材料的面层厚度较薄，一般介于 10 mm~40 mm，在配筋情况下厚度为 30 mm~40 mm，考虑保护层厚度以及钢筋直径等因素，可以认为“在配筋的情况下，钢筋与高延性纤维增强水泥基复合材料面层的重心重合”。

7.3.5 计算公式基于 7.3.2、7.3.3、7.3.4 提出，其原因是：

- 构件达到界限破坏是指正截面上受拉侧高延性纤维增强水泥基复合材料达到抗拉强度与受压区砌体或受压侧高延性纤维增强水泥基复合材料破坏同时发生时的破坏状态。对于这一破坏状态，受压区应变达到极限应变。
- 高延性纤维增强水泥基复合材料属于水泥基材料，其抗压强度远高于其抗拉强度，本文件要求材料最低抗压强度不小于 C25。基于截面内力平衡的原则，在无筋面层加固的情况下，受压侧面层的压力与受拉侧面层的拉力相等，因此受压区高度不可能大于受压面层厚度，故砌体的受压贡献可以不考虑。
- 在配筋面层加固的情况下，2% 的最大配筋率对应受拉钢筋的屈服拉力不超过 $0.02 \times 400 = 20 \text{ MPa}$ 。加上受拉面层的贡献，这一内力和不大于受压面层的抗压能力，因此仍不可能出现超筋破坏，故不考虑压面层内钢筋的抗压贡献，将其做为防范脆性破坏的保障。
- 鉴于 a) 和 b)，受压区高度一般不大于受压面层厚度，因此偏于保守地不考虑砌体的受压贡献。按计算所得 $x \leq t_{\text{dc},1}$ 。取 x 的最大值，即 $t_{\text{dc},1}$ 代入式 14，由于 $t_{\text{dc},1} \leq 40 \text{ mm}$ ，对于受弯承载力影响很小。

基于以上原因，建立本文件 7.3 节计算方法。高延性纤维增强水泥基复合材料的极限拉应变作为构件达到承载力极限状态的标志之一。极限拉应变对应高延性纤维增强水泥基复合材料的抗拉强度，同时也表示设计采用的高延性水泥基复合材料的极限拉应变不应小于本文件中的限值，以保证加固构件具有必要的延性。本节提供了双侧和单侧面层加固的计算公式。受弯构件正截面承载力计算时，受压区砌体的应力图形可简化为等效的矩形应力图。矩形应力图的受压区高度 x 可取截面应变保持平面的假定所确定的中和轴高度 x_n 乘以系数 β ，取为 0.8。矩形应力图的应力值可由高延性纤维增强水泥基复合材料的轴心抗压强度设计值 $f_{\text{dc},c}$ 乘以系数 α_1 确定。对高强度的高延性纤维增强水泥基复合材料，用随抗压强度提高而逐渐降低的系数来反映高强度复合材料的特点。上述的简化计算与实验结果对比大致相近。

7.5 砌体平面内受剪加固

7.5.1 外加高延性纤维增强水泥基复合材料面层对砌体墙面受剪承载力的加固，可简化为原砌体受剪承载力加上高延性纤维增强水泥基复合材料面层的贡献。根据试验和分析，砌体沿水平通缝受剪构件承载力可采用复合受力影响系数的剪摩理论公式进行计算。

- 公式中 V_m 适用于烧结的普通砖、多孔砖、蒸压的灰砂砖和粉煤灰砖以及混凝土砌块等多种砌体构件水平受剪计算。 V_m 受剪承载力计算公式系由重庆大学（原重庆建筑大学）在试验研究基础上对包括各类砌体的国内 19 项试验数据进行统计分析的结果。此外，因砌体竖缝受剪强度很低，可将阶梯形截面近似按其水平投影的水平截面来计算，即水平通缝。
- 砌体受剪强度并非如摩尔和库仑两种理论随 σ_0 / f_m 的增大而持续增大，而是在 $\sigma_0 / f_m = 0 \sim 0.6$ 区间增长逐步减慢；而当 $\sigma_0 / f_m > 0.6$ 后，受剪强度迅速下降，以致 $\sigma_0 / f_m = 1.0$ 时为零。整个过程包括了剪摩、剪压和斜压等三个破坏阶段与破坏形态。对于高延性纤维增强

水泥基复合材料的受剪强度与正向压应力的关系，由于高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压强度远高于砌体抗压强度，加之加固导致的应力滞后，本文件保守规定，高延性纤维增强水泥基复合材料的受剪强度不随 σ_0 的增大而增大，公式的适用范围为 $\sigma_0/f_m = 0.0.6$ □

本文件规定，配筋面层的厚度不宜小于 30 mm。这一厚度已经与钢筋网水泥砂浆面层的最小厚度接近。剪切极限状态下，高延性纤维增强水泥基复合材料表现出远高于普通水泥砂浆的变形能力，能与钢筋更好地共同工作。但是，鉴于试验数据仍不充足，受剪构件的钢筋强度利用系数 α_s 宜保守取值，参照 GB50702 中关于“钢筋网水泥砂浆面层加固法”的相关规定，取 $\alpha_s = 0.2$ 。

7.5.2 公式中 $\alpha_{dc,v} f_{dc,t} t_{dc} h_{dc}$ 为高延性纤维增强水泥基复合材料面层的受剪承载力贡献。 $\alpha_{dc,v}$ 为高延性纤维增强水泥基复合材料的受剪强度利用系数，考虑了墙体剪跨比和材料强度利用程度的影响，其取值是依据既有试验结果拟合得到。根据国内多份不同试验共 55 个数据的统计分析，按有关公式计算值与实测受剪承载力之比值的平均值为 1.039，标准差为 0.114。

对于配筋面层情况，本文件规定配筋面层的厚度不宜小于 30 mm。这一厚度已经与钢筋网水泥砂浆面层的最小厚度接近。在剪切极限状态下，高延性纤维增强水泥基复合材料表现出远高于普通水泥砂浆的变形能力，能与钢筋更好地共同工作。但是，鉴于试验数据仍不充足，受剪构件的钢筋强度利用系数 α_s 宜保守取值，参照《砌体结构加固设计规范》GB50702 中关于“钢筋网水泥砂浆面层加固法”的相关规定，取 $\alpha_s = 0.2$ 。

7.6 砌体抗震加固

7.6.1 高延性纤维增强水泥基复合材料加固砌体的抗震承载力计算参照现行国家标准《砌体结构加固设计规程》GB 50702 的模式。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；而高延性纤维增强水泥基复合材料面层的贡献，根据现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 在截面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受剪承载力相同，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。

7.7 面层加固构造规定

7.7.1 设计人员根据其设计需求选择配钢筋网和无筋面层加固方式。对于承载力严重不足或承载力提高幅度需求较大时，可以在面层中配置钢筋，形成配筋的高延性纤维增强水泥基复合材料面层。为了确保加固面层的耐久性，本文件规定配筋高延性纤维增强水泥基复合材料面层的厚度不应低于 30 mm 且必须满足本文件要求的保护层厚度。

7.7.2 砌体墙的砌筑方式不统一且施工质量参差不齐，为保证面层与墙体的可靠连接，本条要求两种以上的界面处理，包括必选项“抠缝界面处理”以及“墙面开凿方孔”和“剪切销钉或锚筋”中的一种。对于特殊设防类和重点设防类建筑，宜对墙体界面处理措施从严要求，即可考虑“抠缝界面处理”、“墙面开凿方孔”和“剪切销钉或锚筋”三种组合。

7.7.3 配筋高延性纤维增强水泥基复合材料面层的构造应符合下列规定：

本条参照 GB 55021 中第 6.7.4 条关于加固砌体柱和壁柱的相关规定。由于高延性纤维增强水泥基复合材料的裂缝宽度一般不超过 0.1 mm，因此适当放宽对于最小保护层厚度的限值。配筋高延性纤维增强水泥基复合材料面层的钢筋以及拉结筋的布置可以参见《砖混结构加固与修复》15G611 的相关内容。

7.7.6 根据《农村危房改造基本安全技术导则》（2018 年）第十四条：传统预制钢筋混凝土楼板（空心板或槽型板）宜限制使用，使用时应采取可靠措施保证可靠支承和连接。8 度及以上地区禁止使用。因此，本文件提出了通过高延性纤维增强水泥基复合材料现浇层将装配式楼（屋）盖整体化的建议做法。

7.7.7 根据设计需求，即可采用高延性纤维增强水泥基复合材料进行整个建筑物加固，也可仅针对某一楼层或某些指定构件加固。因此，加固发生在某一楼层时，不需要自上而下延伸至基础。加固底层的墙体时，面层应在室外地面以下宜加厚并向向下延伸不少于 500 mm。

7.8 条带加固构造规定

7.8.1 高延性纤维增强水泥基复合材料-砌体组合圈梁和高延性混凝土-砌体组合构造柱可替代传统的圈梁、构造柱和斜撑，解决其抗震构造措施不足的问题。必须指出，构造措施的加固主要用于提升房屋的整体性能，不能简单地认为这类方法可以提升墙体或房屋的承载能力。根据本文件 7.2 节~7.6 节所列举方法计算，承载力不足的构件和房屋仍应采取有效措施进行承载力层面的加固。湖北省地震区划的设防烈度为 6 度~7 度，考虑特殊设防类和重点设防类建筑可能需要提高设防烈度，因此，加固对象的抗震设防烈度包括了 6 度、7 度和 8 度。

《农村危房改造基本安全技术导则》（2018 年）第四条危房改造必须保证改造后农房正常使用安全与基本使用功能。当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，不致造成农房倒塌或发生危及生命的严重破坏。因此，加固对象的设防烈度扩展到 6~7 度。

本条涉及的农村自建砌体房屋系指：一、二层的预制空心板楼（屋）盖或木楼（屋）盖砌体结构，墙体承重方式包括实心砖墙承重、多孔砖墙承重、混凝土小型空心砌块墙承重、蒸压砖墙承重和空斗墙承重房屋。此类房屋的单层层高不超过 3.9 m，二层房屋各层高度不超过 3.6 m，房屋内纵墙的间距不大于 4.2 m，外纵墙开间不大于 3.9 m。

7.8.7 参考 GB 50023 和 JGJ/T 426-2018 中关于圈梁、构造柱的纵筋配筋量的要求，以等强度、等延性代替的原则规定了高延性纤维增强水泥基复合材料-砌体组合圈梁、构造柱条带的尺寸与配筋。

加固后砌体结构应满足 GB 50003 和 GB 50702 规定的构造措施要求。因此，以条带替代传统构造柱、圈梁体系时，条带的强度和延性均不低于国标关于传统及复合构造柱、圈梁的最低要求。为此，本文件以等强和等延的原则规定了条带的尺寸，并要求“抗拉强度不低于 6MPa 且延伸率超过 5%的高延性纤维增强水泥基复合材料方可用于条带的无筋加固，即 T6D5 型材料”。具体解释如下：

条带加固是对于《砌体结构加固设计规范》GB 50702 中“第 12 节 砌体结构构造性加固法 12.1 增设圈梁加固”中“钢筋网水泥复合砂浆砌体组合圈梁”的一种改造。相比 GB 50702 中 12.1.5 条，圈梁条带加固的高度为 t_w （原墙厚）+160 mm 和 t_w （原墙厚）+220 mm，即条带高度一般为 400mm（7 度）~460mm（8 度）左右。（GB 50702 要求不应小于 300mm），条带厚度较薄，无筋条带厚度不应小于 20mm（GB 50702 要求 30mm~45mm）。对于无筋条带材料至少达到 T6D5 的要求，400mm×20mm 的单侧圈梁条带截面受拉承载力相当于 $\phi 6@80mm$ 或 $\phi 8@130mm$ 的配筋水平，构造柱条带的计算方法相同。这一指标达到 GB 50702 中“钢筋网的钢筋直径宜为 6mm 或 8mm，网格尺寸宜为 120mm×120mm”的要求，且材料延伸率满足 5%的极限延伸率，这一性能指标高于冷轧带肋钢筋，与热处理和热轧钢筋相近。

7.8.8 仅采用圈梁、构造柱条带加固空斗墙体，仍可能出现旁闪和倾覆。因此仍保留斜撑，斜撑的作用不仅仅是提供侧向刚度，还有平面外加强的作用。

8 施工

8.2 材料质量检验

8.2.1 高延性纤维增强水泥基复合材料的原料（主要包括成品干混料和纤维）时，应按下列规定进行检查和复验：在质量检验中，高延性纤维增强水泥基复合材料的抗压和抗拉强度分别按照 GB/T 50107 中第 5 章中关于“混凝土强度的检验评定”的两种方法进行评定。

8.2.3 检验批参考 GB 50210 的相关内容。

9 质量验收

9.1 一般规定

- 9.1.7 参考 GB50550 第 13 章“砌体或混凝土构件外加钢筋网-砂浆面层工程”的相关规定。
- 9.1.8 参考GB50550第5章“混凝土构件增大截面工程”的相关规定。