
陕西省工程建设标准

DBJ61/T112-2016

高延性混凝土应用技术规程

Technical specification for application of
high ductile concrete

《高延性混凝土应用技术规程》编制组

2016年3月

前 言

为促进我省高延性混凝土的推广应用，根据陕西省住房和城乡建设厅下达的编制立项批复（陕建函 [2015] 5 号），编制组联合国内科研单位、设计院和相关企业共同编制本规程。编制过程，开展了专题研究，调查总结了近年来国内外有关高延性混凝土的工程应用和实践经验，采纳了该领域内的最新科研成果，在广泛征求各方面意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 原材料；4 高延性混凝土性能；5 配合比设计；6 施工；7 质量检验和验收；附录。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅归口管理，由陕西省建筑标准设计办公室负责出版发行，由西安建筑科技大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至西安建筑科技大学土木工程学院。

本规程主编单位：西安建筑科技大学

西安五和土木工程新材料有限公司

本规程参编单位：中国建筑西北设计研究院有限公司

西北电力设计院有限公司

中铁第一勘察设计院

陕西省建筑设计研究院有限责任公司

陕西省建筑科学研究院

西部建筑抗震勘察设计研究院

中联西北设计研究院

中天西北建设投资集团有限公司

陕西建筑产业投资集团有限公司

永安宝华林实业发展有限公司

本规程主要起草人员：邓明科 梁兴文 张思海 邓忠华 刘志远 董振平 孙 杨
谭新来 伍勇华 孙宏哲 田鹏刚 朱武卫 李红星 李 艳
燕练武 杨开屏 张红丽 曹 莉 宋文博 李 皓 吴建军
高晓军 张成中 景武斌 卜新星 杨 铄 潘姣姣 宋树林
寇佳亮 兰丽娜 李卫军 苏宝安

本规程主要审查人员：王庆霖 张昌叙 刘伯权 曾凡生 贺志坚 王毅红
马建勋 吴茜玲 张 耀 时 炜 骆发江

引 言

本标准的发布机构提请注意，本标准 5.3 节和附录C 可能涉及以下专利：

1. 《一种高延性纤维混凝土组合砖砌体墙及其施工方法》（ZL 201210435004.3）
2. 《一种高延性纤维混凝土组合砌块砌体墙及其施工方法》（ZL 201210435151.0）

本标准的发布机构对于专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本标准的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本标准的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

请注意除上述专利外，本标准的某些内容仍可能涉及其它专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	原材料	4
3.1	合成纤维	4
3.2	其他原材料	4
4	高延性混凝土性能	5
4.1	拌合物性能	5
4.2	力学性能	5
4.3	长期性能和耐久性能	6
5	配合比设计	7
5.1	一般规定	7
5.2	配制强度的确定	7
5.3	配合比计算	7
6	施工	9
6.1	高延性混凝土的制备	9
6.2	高延性混凝土的施工和养护	9
7	质量检验和验收	11
7.1	高延性混凝土原材料及拌合物性能检验	11
7.2	硬化高延性混凝土性能检验	11
7.3	高延性混凝土施工质量验收	11
	附录 A 高延性混凝土抗压韧性试验方法	13
	附录 B 高延性混凝土弯曲韧性试验方法	15
	附录 C 高延性混凝土加固砌体结构	18
	C.1 一般规定	18
	C.2 砌体抗剪加固	21
	C.3 砌体抗震加固	21
	C.4 综合抗震能力指数法	22
	C.5 其他规定	24
	本规程用词说明	26
	引用标准名录	27

1 总 则

1.0.1 为规范高延性混凝土在建设工程中的应用，保证工程质量，做到技术先进、安全可靠、经济合理，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于高延性混凝土的设计、施工、工程质量检验和验收，高延性混凝土适用的环境温度不应超过 80°C。

1.0.3 高延性混凝土的应用除应符合本规程外，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

2.0.1 高延性混凝土 high ductile concrete

由胶凝材料、集料、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，具有高韧性、高抗裂性能和高耐损伤能力的特种混凝土。

2.0.2 纤维长径比 aspect ratio of fiber

纤维的长度与直径或当量直径的比值。

2.0.3 合成纤维 synthetic fiber

用有机合成材料经过挤出、拉伸、改性等工艺制成的纤维。

2.0.4 纤维体积率 fraction of fiber by volume

纤维体积占高延性混凝土体积的百分比。

2.0.5 纤维用量 fiber content

单位体积高延性混凝土中纤维的质量，以 kg/m^3 表示。

2.0.6 等效抗压强度 equivalent compressive strength

试件单轴受压试验时，采用等效受压荷载计算所得的平均抗压强度。

2.0.7 等效抗压韧性 equivalent compressive toughness

试件单轴受压试验时单位体积的变形能，可作为高延性混凝土抗压韧性的评价指标。

2.0.8 等效弯曲强度 equivalent flexural strength

试件弯曲韧性试验时，采用等效弯曲荷载计算所得的抗弯强度。

2.0.9 等效弯曲韧性 equivalent flexural toughness

试件弯曲韧性试验时单位塑性变形区域耗散的能量，可作为高延性混凝土弯曲韧性的评价指标。

2.2 符号

f_{eq}^u ——等效弯曲强度 (N/mm^2);

W_{c}^u ——等效弯曲韧性 (kJ/m^3);

f_{cc}^u ——等效抗压强度 (N/mm^2);

W_{c}^p ——等效抗压韧性 (kJ/m^3);

C_{d} ——高延性混凝土的强度等级;

α_{dl} ——高延性混凝土棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值;

$f_{\text{du,k}}$ ——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/mm²);

E_d ——高延性混凝土的弹性模量 (N/mm²);

$f_{du,0}$ ——高延性混凝土的配制抗压强度 (N/mm²);

V_d ——采用高延性混凝土面层加固后构件 (墙体) 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);

f_{dt} ——高延性混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm²);

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);

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 原材料

3.1 合成纤维

3.1.1 高延性混凝土可采用合成纤维作为增韧材料。合成纤维可为单丝纤维、束状纤维和粗纤维等。合成纤维应为无毒纤维。

3.1.2 制备高延性混凝土所用合成纤维的规格宜符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 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

3.1.3 单丝合成纤维的力学性能应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 合成纤维的性能

项目	I 类合成纤维	II 类合成纤维
抗拉强度 (N/mm^2)	≥ 1200	≥ 800
初始模量 (N/mm^2)	$\geq 30.0 \times 10^3$	$\geq 15.0 \times 10^3$
断裂伸长率 (%)	≥ 7.0	≥ 5.0
耐碱性能 (%)	≥ 95.0	

3.1.4 合成纤维的密度、熔点、吸水率等主要性能参数宜经试验确定；当无试验资料时，单丝合成纤维可按现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 取值。

3.1.5 合成纤维主要性能的试验方法应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120 的规定。

3.2 其他原材料

3.2.1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 和《道路硅酸盐水泥》GB 13693 的规定。

3.2.2 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，并宜采用中砂和细砂，集料最大粒径不宜大于 5mm。

3.2.3 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，并不得使用含氯盐的外加剂。

3.2.4 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《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定。

3.2.5 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 高延性混凝土性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 高延性混凝土拌合物应具有良好的和易性，不得离析、泌水，纤维不得聚团，并应满足设计和施工要求。拌合物性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

4.1.2 高延性混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定，拌合物中水溶性氯离子含量的测定方法宜符合现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》JTJ 270 中混凝土拌合物中氯离子含量的快速测定方法的规定。

4.2 力学性能

4.2.1 高延性混凝土的强度等级划分应按龄期为 60d，边长为 100mm 的立方体试块的抗压强度标准值确定。高延性混凝土的强度等级采用 C_d (N/mm^2) 表示。

4.2.2 高延性混凝土的主要力学性能指标应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 高延性混凝土的主要力学性能指标

类别		I 类高延性混凝土	II 类高延性混凝土
等效弯曲韧性 (kJ/m^3)	3d	50.0	40.0
	28d	40.0	30.0
	60d	40.0	30.0
等效弯曲强度 (N/mm^2)	3d	≥ 4.5	≥ 3.5
	28d	≥ 5.0	≥ 4.0
	60d	≥ 5.5	≥ 4.5
抗折强度 (N/mm^2)	3d	≥ 6	≥ 4
	28d	≥ 8	≥ 6
	60d	≥ 10	≥ 8

注：1) 表中等效弯曲韧性和等效弯曲强度为高延性混凝土的韧性评价指标；抗折强度为高延性混凝土的抗拉强度评价指标。

2) 表中等效弯曲韧性和等效弯曲强度应按附录 B 的试验方法确定，试件尺寸可取 40mm×40mm×160mm 或 100mm×100mm×400mm 的棱柱体， δ_u 取荷载下降至 85% 峰值荷载对应的跨中挠度值。

4.2.3 高延性混凝土的轴心抗压强度和弹性模量试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定，标准试件尺寸可取为 100mm×100mm×300mm。

4.2.4 高延性混凝土的轴心抗压强度标准值可按下式计算：

$$f_{dk} = 0.88 \times \alpha_{d1} f_{du,k} \quad (4.2.4)$$

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；

α_{d1} ——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。

4.2.5 高延性混凝土的轴心抗拉强度宜根据试验结果确定；当无可靠试验资料，且高延性混凝土力学性能指标满足表 4.2.2 的要求时，对 I 类高延性混凝土和 II 类高延性混凝土，可分别按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 同等强度混凝土抗拉强度的 2 倍和 1.5 倍取值。

4.2.6 高延性混凝土的受压和受拉弹性模量可按下式计算：

$$E_d = 1000 \times f_{du,k}^{0.596} \quad (4.2.6)$$

式中： E_d ——高延性混凝土的初始弹性模量；

$f_{du,k}$ ——高延性混凝土的立方体抗压强度标准值。

4.2.7 高延性混凝土的泊松比宜经过试验确定；当无可靠试验资料时，可取泊松比为 0.14。

4.2.8 高延性混凝土的弯曲韧性可采用附录 B 的试验方法进行测试，按表 4.2.2 进行评定。

4.2.9 当设计需要时，高延性混凝土的抗压韧性可采用附录 A 的试验方法进行测试。

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 高延性混凝土的收缩和徐变性能应符合设计要求。高延性混凝土的收缩和徐变试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

4.3.2 高延性混凝土的抗冻、抗渗、抗氯离子渗透、抗碳化、早期抗裂、抗硫酸盐侵蚀等耐久性应符合设计要求。高延性混凝土耐久性的检测评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。高延性混凝土耐久性能试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。当有可靠试验依据时，高延性混凝土结构构件在各类环境条件下的混凝土保护层厚度可比现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的保护层最小厚度适当降低，降低幅度不宜超过 10mm，且降低以后的最小保护层厚度不得低于 10mm。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 高延性混凝土配合比设计应同时满足试配强度和韧性的要求，并应满足混凝土拌合物性能、力学性能和耐久性能的设计要求。

5.1.2 矿物掺和料掺量和外加剂掺量应经高延性混凝土试配确定，并应满足高延性混凝土的强度、韧性和耐久性能的设计要求以及施工要求。

5.1.3 用于公路路面和城市道路的高延性混凝土的配合比设计应通过试配确定，其力学性能和耐久性能应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F 30 和《城市道路路面设计规范》CJJ 169 的规定。

5.2 配制强度的确定

5.2.1 高延性混凝土的配制抗压强度应符合下列规定：

$$f_{du,0} \geq f_{du,k} + 1.645\sigma \quad (5.2.1)$$

式中： $f_{du,0}$ ——高延性混凝土的配制抗压强度（N/mm²）；

$f_{du,k}$ ——高延性混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm²）；

σ ——高延性混凝土抗压强度的标准差，宜通过试验确定；当无可靠试验依据时，可取 $0.08f_{du,k}$ （N/mm²）。

5.2.2 高延性混凝土的配制抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性均应符合设计要求。

5.3 配合比计算

5.3.1 高延性混凝土的水胶比不宜大于 0.4，砂胶比不宜大于 0.8。

5.3.2 配合比计算中每立方米高延性混凝土的纤维用量应按质量计算；在设计参数选择时，可用纤维体积率表达。

5.3.3 高延性混凝土中的纤维体积率不宜小于 0.5%；高延性混凝土的纤维体积率可参照表 5.3.3 的纤维体积率范围选择，且应以试验结果最终确定。

表 5.3.3 高延性混凝土的纤维体积率范围

工程类型	使用目的	纤维体积率（%）
建筑结构	提高结构构件延性	0.50~2.00
加固砌体结构	结构抗震加固	1.00~2.00
刚性防水屋面	控制混凝土早期收缩裂缝	0.50~1.50
工业建筑地面	防裂、耐磨、提高整体性	0.50~1.00
薄型屋面板	防裂、提高整体性	0.75~1.50

公路路面	防裂、耐磨、防重载	0.50~1.00
机场道面	防裂、耐磨、抗冲击	1.00~1.50
港区道路和堆场铺面	防裂、耐磨、防重载	0.50~1.20
水工混凝土结构	高应力区局部增强	1.00~2.00
	抗冲磨、防气蚀区增强	0.50~2.00
喷射混凝土	支护、衬砌、修复和补强	0.50~1.00

5.3.4 高延性混凝土的制备可选用不同种类的纤维，其抗压强度、抗折强度、等效抗弯强度、等效弯曲韧性应满足相应的要求。

6 施工

6.1 高延性混凝土的制备

6.1.1 高延性混凝土宜采用干混料预拌方式制备。原材料计量宜采用电子计量仪器，使用前应确认其标定合格。每盘高延性混凝土原料计量的允许偏差应符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 原料计量的允许偏差

原材料种类	计量允许偏差 (按质量计)	原材料种类	计量允许偏差 (按质量计)
纤维	±1%	骨料	±2%
水泥和矿物掺和料	±2%	拌合用水	±1%
外加剂	±1%	—	—

6.1.2 高延性混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌机转速不宜小于 45r/min，并应配备纤维专用计量和投料设备。投料顺序为：首先加入全部的水和外加剂，在搅拌过程中加入骨料、水泥、矿物掺和料等；待拌合物搅拌均匀后加入纤维，采取措施使纤维分散均匀无聚团后停止搅拌。当纤维体积率超过 1.5%时，宜适当提高搅拌机转速和延长搅拌时间。

6.2 高延性混凝土的施工和养护

6.2.1 高延性混凝土在运输过程中不应离析和泌水。

6.2.2 当高延性混凝土拌合物因运输或等待浇筑的时间较长而造成坍落度损失较大时，可在卸料前掺入适量减水剂进行搅拌，但不得加水。

6.2.3 高延性混凝土拌合物浇筑倾落的自由高度不应超过 1.5m。当倾落高度大于 1.5m 时，应加串筒、斜槽、溜管等辅助工具。

6.2.4 高延性混凝土浇筑应保证纤维分布的均匀性和连续性，在浇筑过程中不得加水。

6.2.5 高延性混凝土浇筑应采用机械振捣，在保证其振捣密实的同时，应避免离析和分层。

6.2.6 高延性混凝土浇筑成型后，应及时用塑料薄膜等覆盖和养护。

6.2.7 高延性混凝土抹面可采用喷射法或手工分层压抹方式进行施工，应保证纤维分散的均匀性，注意构件转角处连续施工，不得在转角处留施工冷缝。喷射施工时，喷面应平整，待高延性混凝土初凝以前，应及时进行抹平压光，并注意养护；采用手工压抹时，应分层抹面，每层厚度不应大于 15mm。

6.2.8 采用高延性混凝土面层加固砌体结构施工时，应符合附录C 的有关规定。

6.2.9 当采用自然养护时，用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥配制的高延性混凝土的湿养护时间不应少于 7d；用矿渣水泥、粉煤灰水泥或复合水泥配制的高延性混凝土的湿养护时间不应少于 14d。

6.2.10 在采用蒸汽养护前，高延性混凝土构件静停时间不宜少于 2h，养护升温速度不宜大

于 25°C/h，恒温温度不宜大于 60°C，降温速度不宜大于 20°C/h。

7 质量检验和验收

7.1 高延性混凝土原材料及拌合物性能检验

7.1.1 高延性混凝土原材料进场时，供方应按规定批次向需方提供产品出厂检验报告与合格证，还应提供产品使用说明书。

7.1.2 高延性混凝土制备系统各种计量仪器设备在投入使用前应经标定合格后方可使用。原材料计量偏差应按每班检查 2 次，混凝土搅拌时间应每班检查 2 次，检验结果应符合本规程第 6.1 节的规定。

7.1.3 高延性混凝土拌合物抽样检验项目应包括坍落度、坍落度经时损失、凝结时间、离析、泌水、黏稠性、保水性。

7.1.4 高延性混凝土的坍落度、离析、泌水、黏稠性、保水性，每工作班应至少检验 2 次，凝结时间和坍落度损失应 24h 检验一次。

7.1.5 高延性混凝土拌合物性能应符合本规程第 4.1 节的规定。

7.2 硬化高延性混凝土性能检验

7.2.1 硬化高延性混凝土性能检验应符合下列规定：

1 强度等级检验应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定；弯拉强度检验应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F 30 的规定；其他力学性能检验应符合本标准和有关标准的规定。

2 耐久性能检验评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。

7.2.2 高延性混凝土各项力学性能应符合设计规定。

7.2.3 高延性混凝土的抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性应按以下方法进行检验，且符合本标准的规定：

1 按《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671 制作尺寸为 40mm×40mm×160mm 的标准试件，进行三点抗折试验，确定试件的抗折强度。

2 按《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671 制作尺寸为 40mm×40mm×160mm 的标准试件，按附录B 的方法确定试件的等效弯曲强度和等效弯曲韧性。

7.3 高延性混凝土施工质量验收

7.3.1 高延性混凝土工程验收应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《屋面工程质量验收规范》GB 50207、《建筑地面工程施工质量验收规范》GB50209、《地下工程防水技术规范》GB 50108 和《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F 30 的规定。

7.3.2 高延性混凝土工程的耐久性能应符合设计要求。

7.3.3 采用高延性混凝土面层加固砌体结构时，应对墙体表面的基层进行处理，面层与墙体表面的粘结性能和面层厚度按隐蔽工程进行验收，加固工程的施工质量验收应符合本规程附录 C 要求。

附录 A 高延性混凝土抗压韧性试验方法

A.0.1 本试验方法适用于高延性混凝土等效抗压强度和等效抗压韧性的测定。

A.0.2 试验设备（图 A.0.2）应符合下列规定：

- 1 伺服式万能试验机，量程不超过 5000kN，测试相对误差不大于 1%，试验时的最大荷载应在量程的 10%~40%范围内。
- 2 应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置，并能均匀、连续地加荷。
- 3 应具有有效期内的计量鉴定证书。
- 4 压力试验机上、下压板承压面的平面度公差为 0.04mm，表面硬度不小于 55HRC，钢垫板的平面尺寸应不小于试件的承压面积，厚度应不小于 25mm。
- 5 变形测量采用电子位移，精度不低于 0.01mm。

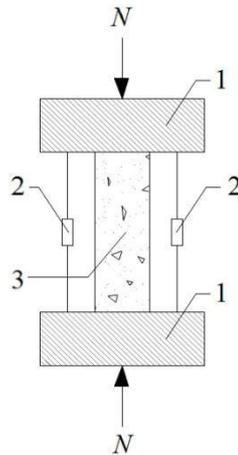


图 A.0.2 抗压试验加载装置

1——加载板；2——位移计；3——试件

A.0.3 试件成型应符合下列规定：

- 1 应沿试模的长度方向分两层均匀、连续浇筑高延性混凝土，装填宜在试件振实后与试模上沿平齐。
- 2 试件宜采用振动台振实，振动时间应以试件表面开始泛浆为止。
- 3 振实后应及时抹平混凝土表面，纤维不得露出混凝土表面。

A.0.4 试件应符合下列规定：

- 1 试件尺寸宜采用 100mm×100mm×300mm。
- 2 每组试验至少应制备 6 个试件，其中 3 个用于测试抗压强度，其余 3 个用于测试受压应力-应变全曲线。
- 3 试件养护应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50081 规定的标准养护条件，并养护至规定龄期。

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后及时试验，用干毛巾将试件表面与上下承压板面擦干净。
- 2 将试件直立放置在试验机的下压板和钢垫板上，并使试件轴心与下压板中心对准。按图 A.0.2 所示。

- 3 开动试验机，当上压板与试件或钢垫板接近时，调整球座，使接触均衡。
- 4 开动试验机进行预压，预压荷载约相当于破坏荷载的 40%。预压时，加荷速度取 0.5~0.8 MPa/s。进行物理对中调整和受压稳定性调整，直至试件各边变形相差不大于 15%以及相邻两次加载试件四边变形平均值相差不超过 0.003mm 为止，否则应调整荷载传递装置，继续预压，直至达到要求。
- 5 对试件连续、均匀、按变形控制加荷，加载速率取 0.1 mm/min~0.2mm/min。
- 6 绘制荷载-变形曲线。

A.0.6 试件的等效抗压强度 f_{ce}^u 应按下式计算（图 A.0.6）：

$$f_{ce}^u = \frac{\Omega_u}{\delta_u A} \quad (\text{A.0.6-1})$$

式中： f_{ce}^u ——试件单轴受压的等效抗压强度（N/mm²）；

Ω_u ——竖向变形量为 δ_u 时荷载-变形曲线下的面积（N·mm）；

δ_u ——荷载下降至极限荷载的 u 倍（可取 0.85、0.50 或 0.20）所对应的竖向变形量（mm）；

A ——试件单轴受压的面积（mm²）。

高延性混凝土的等效抗压强度计算值应精确至 0.1 N/mm²。

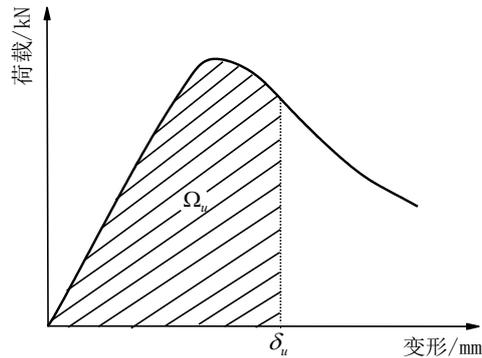


图 A.0.6 等效抗压强度计算

试件的等效抗压韧性按下式计算：

$$W_c^u = f_{ce}^u \times \frac{\Omega_u}{T} = \frac{\Omega_u}{\delta_u A} \times \frac{\delta_u}{l} = \frac{\Omega_u}{Al} \quad (\text{A.0.6-2})$$

式中， W_c^u ——等效抗压韧性（kJ/m³），精确至 1kJ/m³。

附录 B 高延性混凝土弯曲韧性试验方法

B.0.1 本试验方法适用于高延性混凝土等效弯曲强度与等效弯曲韧性的测定。

B.0.2 试验设备（图 B.0.2）应符合下列规定：

1 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 200kN，示值相对误差不大于 1.0%，试验时的最大荷载宜在量程的 20%~80%范围内。

2 加载分配梁，试验机自带或者后配制作，分配梁中点设有辊轴，在试件标距三分点处设有两个加压万向辊轴，辊轴可以滚动和前后（垂直于试件轴线方向）自由倾斜，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，其中一个支座为固定铰，另一个支座为万向滚动铰，该支座能够滚动并前后（垂直于试件轴线方向）自由倾斜。

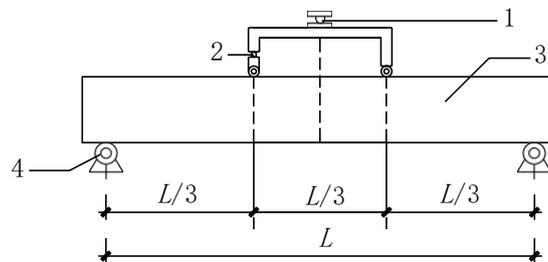


图 B.0.2-1 抗弯试验加载装置

1——球铰；2——球铰滚轴；3——试件；
4——滚动支座（水平位移及转角放松）

4 挠度测量装置应符合图 B.0.2-2 的要求，并应包括型钢或铝材支座的横梁、将横梁固定在试件侧面的螺栓、固定测量挠度仪表的螺栓以及粘贴于试件侧面中点的测量触点板；挠度测试系统包括电阻位移计或者 LVDT 位移计以及配套的电测信号放大器，量程不小于 20mm，精度不应低于 0.001mm。

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 0.1kN。

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。

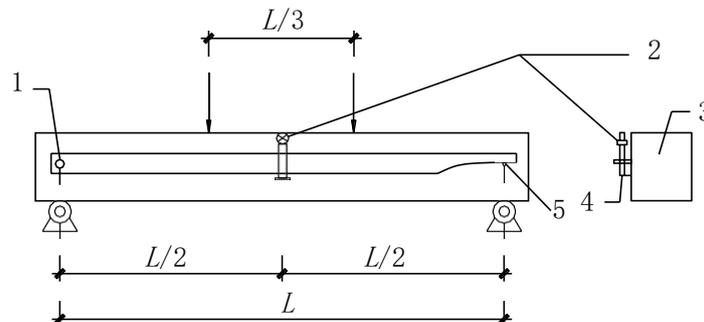


图 B.0.2-2 挠度测量装置

1——枢轴；2——千分表或位移计；3——试块；4——角状切片；5——滚动支座

B.0.3 试件成型应符合下列规定：

- 1 应沿试模的长度方向分两层均匀、连续浇筑高延性混凝土，装填宜在试件振实后与试模上沿平齐。
- 2 试件宜采用振动台振实，振动时间应以试件表面开始泛浆为止。
- 3 振实后应及时抹平高延性混凝土表面，纤维不得露出混凝土表面。
- 4 试件养护应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50081 规定的标准养护条件，并养护至规定龄期。
- 5 每组试验至少应制备 3 个试件。

B.0.4 试件尺寸应符合下列要求：

- 1 试件尺寸为 40mm×40mm×160mm，试验跨度取 L=150mm。
- 2 试件尺寸为 100mm×100mm×400mm，试验跨度取 L=300mm。

B.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 B.0.2-1 规定尺寸和三分点位置加荷的规定，检查支座及压头位置，所有间距尺寸偏差不得大于±1mm。
 - 3 试件放稳对中后启动试验机，当压头与试件接近时，调整压头和支座，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仪表。
 - 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。
- 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。

B.0.6 试件的等效弯曲强度 f_{eq}^u 按下式计算（图 B.0.6）：

$$f_{eq}^u = \frac{\Omega_u L}{bh^2 \delta_u} \quad (B.0.6)$$

式中： f_{eq}^u ——等效弯曲强度（N/mm²），精确至 0.01 N/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），其中 u 可取 0.85、0.50 和 0.20；

b 、 h ——试件的截面宽度和高度（mm）；

L ——试件的跨度（mm）。

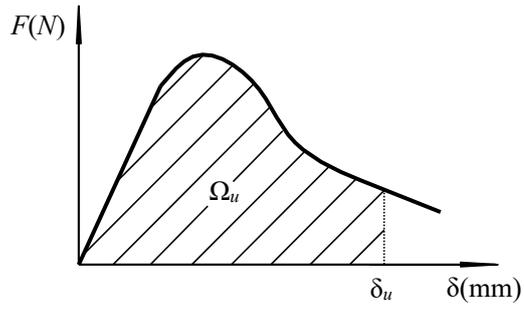


图 B.0.6 等效弯曲强度计算

B.0.7 试件的等效弯曲韧性按下式计算：

$$W_e^u = \frac{\Omega_u}{bh^2} \quad (\text{B.0.7})$$

式中： W_e^u ——等效弯曲韧性 (kJ/m^3)，精确至 0.1kJ/m^3 。

附录C 高延性混凝土加固砌体结构

C.1 一般规定

C.1.1 高延性混凝土面层加固适用于砖砌体和砌块砌体结构房屋加固。

C.1.2 采用高延性混凝土面层加固墙体时，应符合下列要求：

- 1 高延性混凝土面层与墙体表面应有可靠的粘结。
- 2 高延性混凝土面层加固墙体四周应采用嵌缝、*L*形倒角或拉结钢筋等方式与楼板、梁、柱或墙体可靠连接。
- 3 高延性混凝土面层加固后的墙体可采用墙段综合抗震能力指数方法，按现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ116进行抗震加固计算。
- 4 用于加固砌体结构的高延性混凝土强度不应低于 50 N/mm^2 ，其力学性能指标应符合本规程 4.2 节的要求。

5 采用高延性混凝土面层加固砌体结构时，面层厚度一般为 $10\text{mm}\sim 25\text{mm}$ ；当面层厚度大于 30mm 时，应在高延性混凝土面层内增设钢筋网片，形成“砌体-高延性混凝土”组合墙体。

C.1.3 采用高延性混凝土面层加固墙体的设计应符合下列要求：

- 1 采用双面加固时，每侧高延性混凝土面层的厚度不宜小于 10mm ；采用单面加固时，面层厚度不宜小于 15mm 。
- 2 高延性混凝土面层加固遇门窗洞口时，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（如图C.1.3-1）。

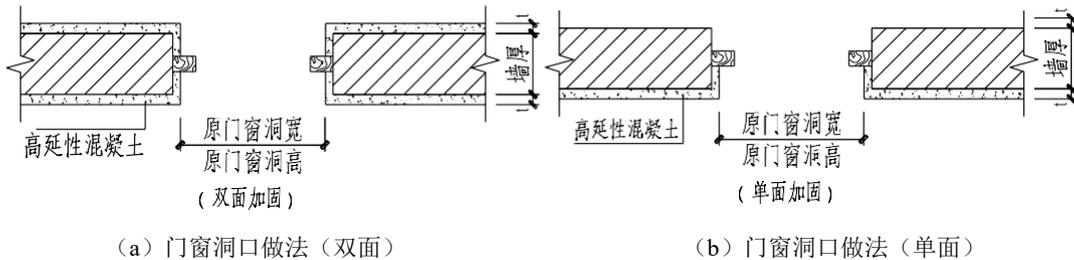


图 C.1.3-1 加固门窗洞口做法

3 面层厚度大于 30mm 时，高延性混凝土配筋面层与墙体应采取可靠连接措施（C.1.3-2）；双面加固时钢筋网片应采用 *S* 形钢筋穿墙固定；单面加固时钢筋网片应采用 *L* 形钢筋拉结锚固。

4 砂浆强度低于 *M1.0* 时，高延性混凝土面层与墙体之间宜采用嵌缝等方式进行处理（图 C.1.3-3）。

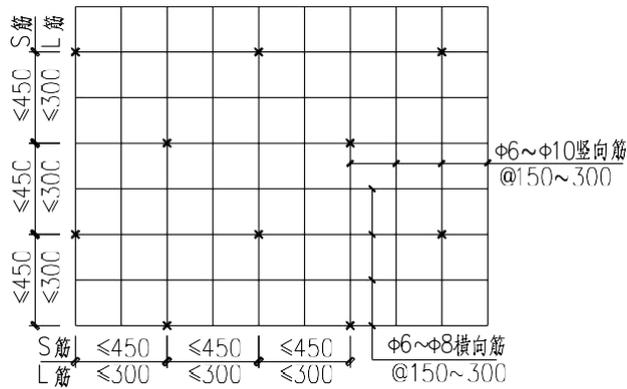


图 C.1.3-2 钢筋网片及拉结筋设置示意图

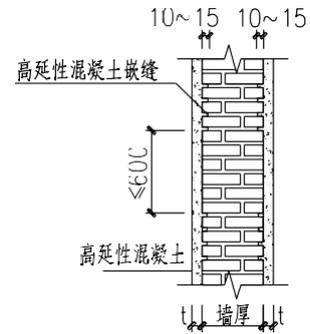
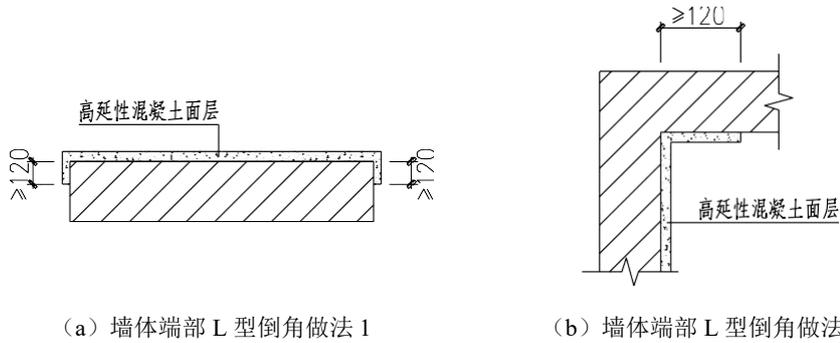


图 C.1.3-3 高延性混凝土面层嵌缝示意图

5 采用高延性混凝土面层加固时，应采取措施防止面层端部剥离破坏。如在墙上开槽、嵌缝，将面层端部嵌入墙内或采用 L 形倒角加强端部锚固（图 C.1.3-4）。



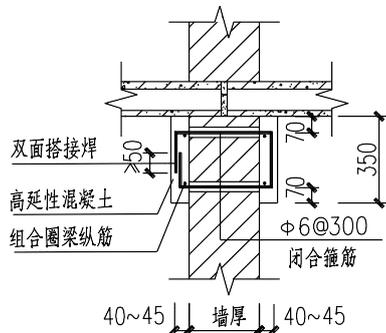
(a) 墙体端部 L 型倒角做法 1

(b) 墙体端部 L 型倒角做法 2

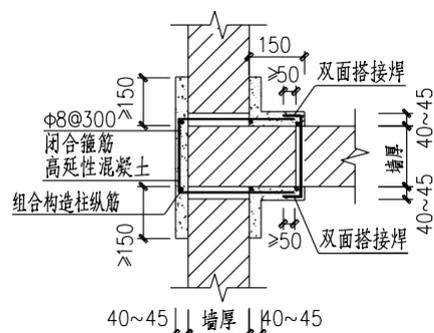
图 C.1.3-4 防止面层剥离措施示意图

6 底层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。

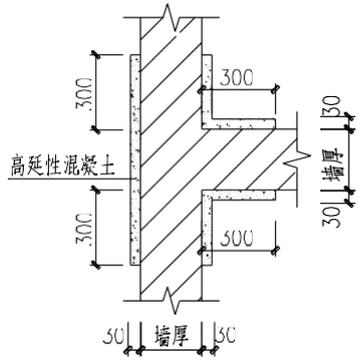
7 当圈梁和构造柱设置不满足要求时，可采用高延性混凝土-砌体组合圈梁和高延性混凝土-砌体组合构造柱对房屋进行整体性加固，组合圈梁和组合构造柱的实际配筋应由计算确定（图 C.1.3-5）。



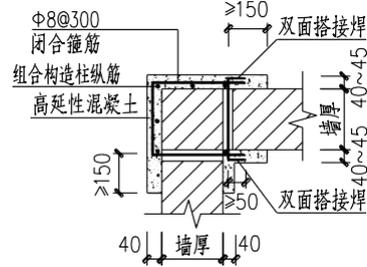
(a) 高延性混凝土-砌体组合圈梁做法



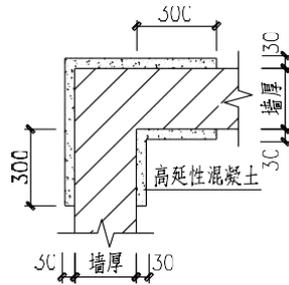
(b) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法 1



(c) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法 2



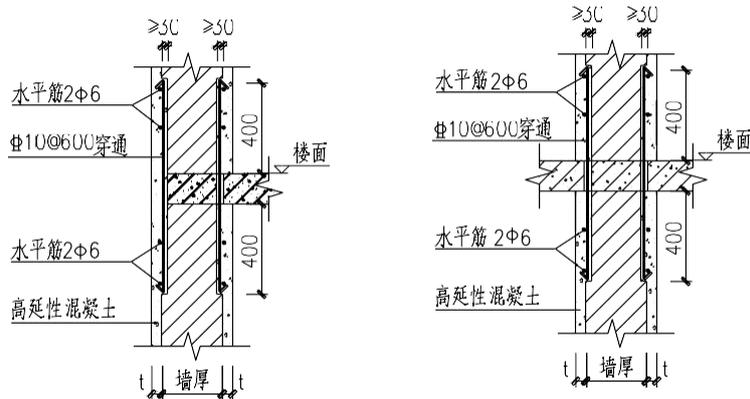
(d) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法 3



(e) 高延性混凝土-砌体组合构造柱做法 4

图 C.1.3-5 高延性混凝土-砌体组合圈梁及组合构造柱做法示意图

8 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，宜在加固外纵墙墙体上下层楼盖处的高延性混凝土面层采取可靠的连接措施（图 C.1.3-6）。



(a) 楼盖处上下连接做法（外墙）

(b) 楼盖处上下连接做法（内墙）

图 C.1.3-6 楼盖处上下连接做法示意图

9 对独立承重砖柱，可采用高延性混凝土围套式面层加固，面层厚度不宜小于 20mm；当面层厚度大于 30mm 时，宜配置纵向钢筋和封闭箍筋，具体配筋应根据实际工程由计算确定（图 C.1.3-7）。

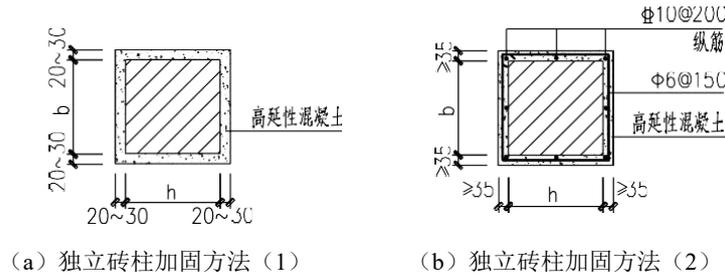


图 C.1.3-7 加固砖柱做法示意图

C.2 砌体抗剪加固

C.2.1 采用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：

$$V \leq V_m + V_d \quad (\text{C.2.1})$$

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 ——高延性混凝土面层加固后构件（墙体）受剪承载力提高值。

C.2.2 采用高延性混凝土面层加固后墙体的受剪承载力提高值 V_d 应按下列公式计算：

$$V_d = 0.7 \alpha_d f_{dt} b h + V_s \quad (\text{C.2.2-1})$$

$$V_s = 0.8 \alpha_s f_{yh} A_{sh} \quad (\text{C.2.2-2})$$

式中： f_{dt} ——高延性混凝土轴心抗拉强度设计值；本规程表 4.2.2 中 I 类高延性混凝土取 $f_{dt} = 3.8 \text{ N/mm}^2$ ；当有可靠试验资料时，取值可根据试验结果确定；

α_d ——高延性混凝土强度利用系数，可取 $\alpha_d = 0.66$ ；

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_s ——钢筋强度利用系数，可取 $\alpha_s = 0.9$ ；

f_{yh} ——水平方向钢筋的强度设计值；

A_{sh} ——沿墙体竖向截面水平方向钢筋截面总面积。

C.3 砌体抗震加固

C.3.1 采用高延性混凝土面层对砌体房屋进行抗震加固时，可采用双面加固或单面加固。当墙体一面有强度高且与原墙体粘结较好的装饰面层（瓷片、水刷石或水泥砂浆面层）时，宜在另一面采用高延性混凝土面层单面加固。

C.3.2 高延性混凝土加固砌体墙的抗震受剪承载力应按下列公式验算：

$$V_E \leq V_{ME} + \frac{V_d}{\gamma_{RE}} \quad (\text{C.3.2})$$

式中： V_E ——考虑地震组合的墙体剪力设计值；

V_{ME} ——原墙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；

V_d ——采用高延性混凝土面层加固后提高的受剪承载力，按本规程C.2.2条计算；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，取 γ_{RE} 为0.85。

C.4 综合抗震能力指数法

C.4.1 采用现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 和现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 中的楼层和墙段综合抗震能力指数方法，对高延性混凝土面层加固的砌体结构进行抗震加固计算时，应按下列公式计算综合抗震能力指数：

$$\beta_s = \eta \psi_1 \psi_2 \beta_0 \quad (C.4.1)$$

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；

β_0 ——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；

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。

C.4.2 采用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：

$$\text{不计入构造影响时} \quad V \leq \eta V_{R0} \quad (C.4.2-1)$$

$$\text{计入构造影响时} \quad V \leq \eta \psi_1 \psi_2 V_{R0} \quad (C.4.2-2)$$

式中： V ——墙段的剪力设计值；

η ——墙段的加固增强系数，可按本规程式（C.4.3-2）确定；

V_{R0} ——墙段原有的受剪承载力，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 中第 3.0.4 条的规定采用。

C.4.3 采用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：

$$\eta_{pi} = 1 + \frac{\sum_{j=1}^n (\eta_{pij} - 1) A_{ij0}}{A_{i0}} \quad (C.4.3-1)$$

$$\eta_{pij} = \frac{240}{w_0} \left(\eta + \frac{t_{w0} - 1}{w_0} \right) \quad (C.4.3-2)$$

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C.4.5取值，也可按本规程（式

C.4.5) 进行计算;

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 (mm);

C.4.4 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。

C.4.5 采用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 可按下列公式计算:

$$\eta_0 = 1 + \frac{V_d \cdot 0.85}{V_{ME0}} \quad (C.4.5)$$

式中: V_{ME0} ——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。采用 I 类高延性混凝土加固时, η_0 可按本规程中表 C.4.5 取值。

表 C.4.5 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)	高延性混凝土 强度 (N/mm ²)	单面加固						双面加固					
			原墙体砂浆强度 (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	5.23	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	5.62	4.54	3.66	3.12	2.84	2.66
	25		3.60	2.99	2.50	2.19	2.04	1.93	6.77	5.42	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	5.99	4.68	3.64	3.02	2.72	2.53
	20		3.99	3.21	2.59	2.21	2.03	1.92	7.65	5.90	4.53	3.70	3.29	3.04
	25		4.74	3.76	2.98	2.52	2.29	2.15	9.32	7.13	5.41	4.37	3.87	3.55

注: 1) 表中数据为 I 类高延性混凝土加固后的基准增强系数;

2) σ_0 为原墙体在重力荷载代表值作用下的平均竖向压应力;

3) 当 $\sigma_0 > 0.8f$ 时, 表中基准增强系数应乘以 0.8 进行折减, f 为砌体的抗压强度设计值。

C.4.6 高延性混凝土面层加固后砖墙体侧向刚度的提高系数应按下列公式计算:

$$\text{实心墙单面加固} \quad \eta_k = \frac{240}{t} \eta_{k0} - 0.75 \left(\frac{240}{t} - 1 \right) \quad (C.4.6-1)$$

$$\text{实心墙双面加固} \quad \eta_k = \frac{240}{t} \eta_{k0} - \left(\frac{240}{t} - 1 \right) \quad (C.4.6-2)$$

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C.4.7条取值；

C.4.7 采用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：

$$K = \frac{1}{\left(\frac{h^3}{12EI} + \frac{\eta h}{AG}\right)\alpha} \quad (\text{C.4.7-1})$$

$$E = \frac{E_m A_m + E_d A_d}{A_m + A_d} \quad (\text{C.4.7-2})$$

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 ——截面剪应变不均匀系数，取 $\eta = 1.2$ ；

α ——竖向压应力影响系数，保守取 $\alpha = 1.0$ ；

I 、 A 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。

表 C.4.7 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)	高延性混凝土强度 (N/mm ²)	单面加固						双面加固					
		原墙体砂浆强度(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	1.43	1.27	1.23	1.19	1.16	1.14	1.87	1.54	1.47	1.38	1.32	1.27
15		1.65	1.41	1.35	1.29	1.24	1.20	2.30	1.81	1.70	1.57	1.48	1.41
20		1.87	1.54	1.47	1.38	1.32	1.27	2.73	2.08	1.94	1.76	1.64	1.54
25		2.08	1.68	1.59	1.48	1.40	1.34	3.17	2.35	2.17	1.95	1.79	1.68

C.5 其他规定

C.5.1 采用高延性混凝土面层加固墙体的施工应符合下列要求：

1 高延性混凝土面层宜按下列顺序施工：铲除原墙抹灰层→清理灰缝→开槽或钻孔并用水冲刷→浇水湿润墙面→压抹高延性混凝土并养护→墙面装饰。

2 原墙面碱蚀严重时，应先清除松散部分并用高延性混凝土抹面，已松动的勾缝砂浆应剔除。

3 墙体存在裂缝时，应对裂缝进行填缝和压浆处理；原墙体存在损坏或松动的砖块，应进行替换或局部修补。

4 压抹高延性混凝土面层前，应对墙面浇水润湿，并待墙面稍干后再分层压抹，每层压抹厚度不应超过 15mm。

5 高延性混凝土面层厚度应符合设计要求，当一次压抹高延性混凝土厚度未达到设计要求时，后一道压抹应在前一道初期硬化后进行施工。

6 高延性混凝土面层施工完成后 12h 内应进行浇水养护，保持湿润状态。夏季应防止

阳光暴晒，冬季应采取防冻措施。

C.5.2 采用高延性混凝土面层加固的砌体结构，应按本规程的规定对高延性混凝土材料进行以下试验：

- 1 按边长为 100mm 制作标准立方体试块，进行标准养护，测定 60d 抗压强度。
- 2 按尺寸为 40mm×40mm×160mm 制作试件，进行标准养护，测定 60d 抗折强度。
- 3 按本规程附录B 的方法确定试件的等效弯曲强度和等效弯曲韧性。

C.5.3 采用高延性混凝土面层加固的砌体结构，应按下列要求进行墙体施工质量验收：

1 施工质量验收应按检验批进行。每检验批为 50 个自然间（大面积房间和走廊按 30m² 为一间），不足 50 间的也划分为一个检验批。

- 2 墙面基层处理应进行隐蔽工程验收。
- 3 高延性混凝土立方体抗压强度必须符合设计要求。

抽检数量：每一检验批不得少于 3 组。

检验方法：查高延性混凝土试块试验报告。

4 高延性混凝土面层与原构件之间的有效粘结面积不应小于该构件总粘结面面积 85%，每一空鼓处面积不应大于 100cm²。

抽检数量：每一检验批 5 面墙。

检验方法：用小锤轻击，查空鼓面积。

5 高延性混凝土面层的厚度应符合设计要求，抽样合格率不应小于 80%。

抽检数量：每一检验批 5 面墙，每一面墙不应少于 5 处。

检验方法：用钻心取样法测定。

6 高延性混凝土面层的表面平整度的允许偏差应为 8mm，抽样合格率不应小于 80%。

抽检数量：每一检验批 5 面墙，每一墙面不应少于 5 处。

检验方法：用 2m 靠尺及楔形塞尺检查。

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. 《工程结构加固材料安全性鉴定标准》 GB 50728
2. 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
3. 《屋面工程质量验收规范》 GB 50207
4. 《建筑地面工程施工质量验收规范》 GB50209
5. 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
6. 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
7. 《道路硅酸盐水泥》 GB 13693
8. 《混凝土外加剂》 GB 8076
9. 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
10. 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T 21120
11. 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
12. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
13. 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
14. 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
15. 《普通混凝土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. 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50467
18. 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
19. 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
20. 《混凝土用水标准》 JGJ 63
21. 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221-2010
22. 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10
23. 《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
24. 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》 JTG/T F 30

陕西省工程建设标准

高延性混凝土应用技术规程

条文说明

目 次

1 总 则.....	30
2 术语和符号.....	31
2.1 术语.....	31
3 原材料.....	32
3.1 合成纤维.....	32
4 高延性混凝土性能.....	33
4.1 拌合物性能.....	33
4.2 力学性能.....	33
4.3 长期性能和耐久性能.....	34
5 配合比设计.....	35
5.1 一般规定.....	35
5.2 配制强度的确定.....	35
5.3 配合比计算.....	35
6 施工.....	37
6.1 高延性混凝土的制备.....	37
6.2 高延性混凝土的施工和养护.....	37
7 质量检验和验收.....	38
7.1 高延性混凝土原材料及拌合物性能检验.....	38
7.2 硬化高延性混凝土性能检验.....	38
7.3 高延性混凝土施工质量验收.....	38
附录 A 高延性混凝土抗压韧性试验方法.....	39
附录 B 高延性混凝土弯曲韧性试验方法.....	40
附录 C 高延性混凝土加固砌体结构.....	41

1 总 则

1.0.1 高延性混凝土在限制结构裂缝，提高结构耐久性、抗震性能、抗剪性能和耐损伤性能等方面具有明显的优越性，在建设工程领域具有广泛的应用前景。特别引人注目的是，配制高延性混凝土，可采用大量的矿物掺合料取代水泥，经纤维与活性掺合料有效复合，不仅强化了混凝土材料的各项关键性能，还大幅度地提高了材料与结构的耐久性，对节约资源和能源，保护生态环境具有重要意义。

为促进高延性混凝土的推广应用，并为高延性混凝土的制备、结构设计、施工验收等提供技术保障，推动我省工程建设领域的技术进步，编制组根据在高延性混凝土研究与应用方面取得的前期研究成果，联合相关科研单位、设计单位、施工单位和企业，考虑高延性混凝土推广应用的技术需求，制订陕西省地方标准《高延性混凝土应用技术规程》。本规程主要依据我国现行标准规范、科研成果及工程实践经验编制而成。本规程的制定旨在指导和规范高延性混凝土技术的研究、推广和应用，确保高延性混凝土的工程质量。

1.0.2 高延性混凝土适用于对混凝土材料的韧性、抗裂性能和耐损伤能力等有较高要求的工程，对不同力学性能需求的混凝土工程，本规程给出了相应的设计参考，并对其施工及工程质量检验和验收方法提出了相应规定。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 80°C。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力学性能是否满足原设计的要求。

1.0.3 高延性混凝土涉及不同工程类别及国家标准或行业标准，在使用中除应执行本规程外，还应符合现行有关国家和行业标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.0.1 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 (如图 2.0.1)。

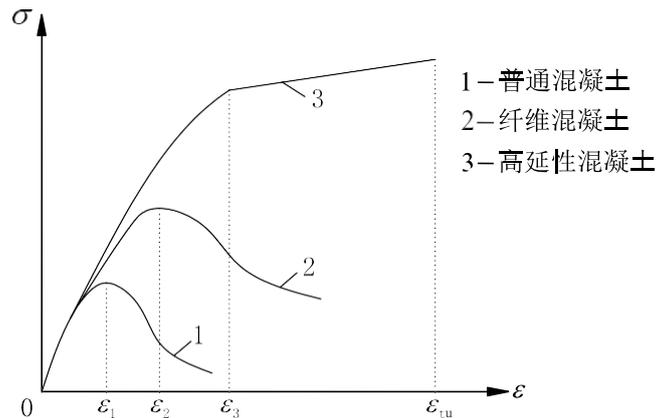


图 2.0.1 高延性混凝土单轴拉伸曲线比较

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, 也称为高延性混凝土。但通过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 原材料

3.1 合成纤维

3.1.1 制备高延性混凝土都需要掺加短纤维作为增韧材料，目前常用的合成纤维有聚丙烯纤维（PP）、聚乙烯纤维（PE）、聚乙烯醇纤维（PVA）等。由于高延性混凝土基体破坏时，纤维基本上是从基体中拔出而不是拉断，因此纤维的增韧作用主要取决于与基体的粘结性能。为了调节纤维与基体表面的粘结强度，一般都需要根据工程需要和试验结果对各种合成纤维进行表面处理。

3.1.2 合成纤维的增韧效果与纤维的长度、直径（当量直径）、长径比、纤维形状和表面特性等因素有关。纤维的增韧作用随着长径比增大而提高，纤维长度太短时增韧效果不明显，太长则影响拌合物性能；太细在搅拌过程中容易被弯折甚至聚团，太粗则在等体积含量时增韧效果较差。大量试验研究和工程经验表明：长度在 15mm~60mm 的粗纤维和 4mm~15mm 的单丝纤维，增韧效果和拌合物性能较佳。若超出上述范围，经过试验验证且施工性能满足要求时，也可以采用。

3.1.3 本条给出了目前制备高延性混凝土常用的两类单丝合成纤维的抗拉强度、初始模量和断裂伸长率的要求，其中 I 类合成纤维主要用于制备对韧性要求较高的高延性混凝土；II 类合成纤维用于制备对韧性要求较低的高延性混凝土。若合成纤维的性能超出上述范围，经过试验验证其增韧效果满足要求时，工程中也可以采用。

4 高延性混凝土性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 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。

4.1.2 若掺加了钢纤维制备高延性混凝土，应按现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定，从严控制高延性混凝土中的氯离子含量，以减少氯离子对钢纤维锈蚀的影响。

4.2 力学性能

4.2.1 配制高延性混凝土时，采用了大量的矿物掺合料取代水泥熟料。由于矿物掺合料的活性较低，使得高延性混凝土的早期强度增长较慢，当超过 28d 以后的强度仍有较大幅度增长。因此，本条规定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边长为100mm 的标准立方体试块，用标准试验方法在龄期 60d 测得的具有 95%保证率的抗压强度值。高延性混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。

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，当采用边长为 70.7mm、100mm 和 150mm 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件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件进行高延性混凝土的抗压强度评定，且不考虑尺寸换算系数。

4.2.2 本条给出了高延性混凝土三个主要力学性能指标，其中等效弯曲韧性和等效弯曲强度为韧性评价指标，抗折强度为强度评价指标。表中 3d 和 28d 的力学性能指标可为高延性混凝土施工检验提供参考依据。

随着混凝土的强度提高，其脆性增大，采用高延性混凝土能有效避免高强混凝土的脆性破坏，充分发挥其强度和韧性的优势，具有良好的经济效益。但考虑到经济性，本规程建议高延性混凝土的立方体抗压强度不宜小于 50 N/mm²。实际工程中对混凝土强度要求较低时，也可以使用强度低于 50 N/mm² 的高延性混凝土改善其受力性能，但其力学性能指标应通过专门的试验确定以满足相应的设计要求。

4.2.3 高延性混凝土的轴心抗压强度和弹性模量试验方法与《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定相同，但高延性混凝土采用的标准试件尺寸为 100mm×100mm×300mm。

4.2.4 本条公式（4.2.4）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，因此公式（4.2.4）不再考虑高延性混凝土的脆性折减系数。

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_{d1} 为 0.88~0.95，可偏于安全取 0.88。

4.2.5 高延性混凝土的轴心抗拉强度明显高于普通混凝土，本条结合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，给出了高延性混凝土轴心抗拉强度标准值的取值方法。大量试验研究表明，高延性混凝土的抗拉强度与纤维掺量和砂胶比等因素有关，其轴心抗拉强度的取值宜通过试验确定，但在无可靠试验资料，且力学性能满足表 4.2.2 的要求时，对 I 类高延性混凝土和 II 类高延性混凝土，分别取现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 同等强度混凝土抗拉强度标准值的 2 倍和 1.5 倍是偏于安全的。

4.2.6 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，本条根据大量试验结果，给出了高延性混凝土的弹性模量的计算方法，该方法适用于纤维体积掺量在 0.5%~2.0% 的高延性混凝土。当纤维体积掺量小于 0.5% 或者大于 2.0% 时，高延性混凝土的弹性模量应经试验确定。

4.2.7 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，其泊松比与纤维掺量和材料韧性指标均有一定关系。当无可靠试验依据时，泊松比可按 0.14 采用。

4.2.9 高延性混凝土的抗压韧性和弯曲韧性均通过附录 A 和附录 B 的试验方法进行测试，与普通纤维混凝土的韧性评价方法明显不同。由附录 A 和附录 B 得到的等效抗压韧性 W_c^u 和等效弯曲韧性 W_c^u 综合考虑了材料强度和变形两种因素，能明确反映高延性混凝土材料的韧性。

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 由于高延性混凝土基体内不含粗骨料，其收缩和徐变应得到控制，并应符合相应的设计要求。试验研究表明，高延性混凝土的塑性收缩可占 95% 以上，因此可以在施工方面采取措施控制高延性混凝土的塑性收缩，以防止早期开裂。

4.3.2 试验研究表明，高延性混凝土的抗冻、抗渗、抗氯离子渗透、抗碳化、早期抗裂、抗硫酸盐侵蚀等耐久性指标均明显高于普通混凝土，其耐久性检测评定均能符合现行行业标准

《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193 的规定。因此，本条规定：当有可靠试验依据时，高延性混凝土结构构件在各类环境条件下的混凝土保护层厚度可比现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对混凝土保护层的最小厚度降低 5mm~10mm。考虑到板类构件的保护层厚度只有 15mm，规定降低以后的最小保护层厚度不得低于 10mm。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 由 4.2.3 条可知，高延性混凝土包括两个强度指标和两个韧性指标。因此，高延性混凝土的试配应同时满足强度和韧性指标的双重要求。同时，高延性混凝土拌合物性能、力学性能和耐久性能都应当满足设计要求。

5.1.2 高延性混凝土的矿物掺合料和外加剂掺量较大，甚至达到胶凝材料总量的 50%以上。考虑到不同原材料的工作性能差异很大，实际工程中高延性混凝土的矿物掺合料和外加剂掺量均应当经过试配以后确定，以保证能满足相应的设计要求。

5.1.3 高延性混凝土以其优异的弯曲韧性、抗裂性能和耐损伤能力，在公路路面和城市道路路面工程中应用也具有明显的优势。用于公路路面和城市道路的高延性混凝土配合比设计应根据相应的行业标准进行试配确定，保证其抗压强度、弯拉强度、抗冻性能和耐久性均满足现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F 30 和《城市道路路面设计规范》CJJ 169 的规定。

5.2 配制强度的确定

5.2.1 实验室配制的高延性混凝土抗压强度不仅应达到设计强度等级值，尚应满足 95%的保证率要求。大量试验表明，高延性混凝土的离散性明显小于普通混凝土，公式 (5.2.1) 中高延性混凝土抗压强度的标准差小于普通混凝土，宜通过试验确定；当无可靠试验依据时，

可偏于安全取 $0.08 f_{du,k}$ (N/mm²)。

5.2.2 高延性混凝土包括抗压强度、抗折强度两个强度指标，还包括等效弯曲强度和等效弯曲韧性两个韧性指标。配制高延性混凝土时，其抗压强度应满足 5.2.1 条的要求；同时，其抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性的平均值均应当符合设计要求。

5.3 配合比计算

5.3.1 高延性混凝土组分中不含粗骨料，其配合比计算与普通混凝土有一定差异，其水胶比和砂胶比均应根据试验结果确定，不能直接按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定计算。根据试验结果，目前配制高延性混凝土的水胶比一般都在 0.4 以下，砂胶比也控制在 0.8 以下。

5.3.2 纤维体积率是纤维混凝土中纤维含量的表示方法之一。高延性混凝土的纤维掺量，在设计参数选择和力学性能分析时一般采用纤维体积率来表达；但配合比计算时，为便于计量，应根据纤维的容重换算为质量进行表达。

5.3.3 不同工程对高延性混凝土的力学性能要求差异较大，设计人员可根据不同工程的具体

要求参照表 5.3.3 选用高延性混凝土的纤维体积率，但最终确定采用的纤维体积率应经过试验验证。

5.3.4 实际工程中，不同种类的纤维可以发挥不同的作用。制备高延性混凝土时，可以采用不同种类和不同掺量的纤维进行混合使用，以达到性能最优化，其最终确定应当以试验为依据，抗折强度、等效抗弯强度、等效弯曲韧性应满足相应的要求。

6 施工

6.1 高延性混凝土的制备

6.1.1 纤维计量允许偏差为 1%可以满足高延性混凝土质量要求；外加剂和拌合用水计量允许偏差有所收紧；高延性混凝土使用的骨料以细骨料为主，对骨料计量的允许偏差也有所收紧。

6.1.2 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，将不含纤维的母料（骨料、水泥、矿物掺合料等）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。高延性混凝土的搅拌时间应比普通混凝土长，搅拌机转速应适当调高。

6.2 高延性混凝土的施工和养护

6.2.1 采用合成纤维制备的高延性混凝土拌合物的稳定性较好，一般不容易出现离析和泌水。

6.2.2 采用加水方法解决坍落度不足问题会严重影响高延性混凝土的性能，造成很大危害，必须禁止。

6.2.3 为避免高延性混凝土拌合物浇筑倾落的自由高度过高易于导致离析，应在施工过程中予以注意。

6.2.4 浇筑时在高延性混凝土中加水会严重影响其性能，造成很大危害，必须禁止。另外，施工过程中还应当注意结构的连续性，尽量不留施工缝。

6.2.5 采用机械振捣容易使高延性混凝土均匀和密实，但振捣时间过长易产生离析和分层，施工时应进行控制。

6.2.6 高延性混凝土表面失水太快同样会产生细微裂缝，影响高延性混凝土的用途，因此，浇筑成型后应及时采取养护措施。

6.2.7 高延性混凝土抹面主要用于砌体结构和混凝土结构面层加固，可采用喷射法和手工压抹两种方式进行施工。无论采用哪种施工方式，都应保证纤维分散均匀，且不得在构件转角处（通常是指阳角）留施工冷缝。当面层厚度较薄时，以手工压抹为主，且每层厚度不应大于 15mm；当面层较厚时，采用喷射法施工可提高工作效率。

6.2.8 采用高延性混凝土面层加固砌体结构的施工要求和注意事项，在本规程附录 C 中有详细规定。

6.2.9 矿渣水泥、粉煤灰水泥或复合水泥混凝土的湿养护时间应长于普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥混凝土的湿养护时间，以保证胶凝材料水化和混凝土强大增长。

6.2.10 本条规定蒸汽养护制度的基本原则，有利于避免高延性混凝土内部由于温度变化过快或温度过高产生微缺陷。

7 质量检验和验收

7.1 高延性混凝土原材料及拌合物性能检验

7.1.2 精准计量是高延性混凝土质量控制的重要保证。本条规定了计量仪器的标定及检查频率，以确保计量的精准性。

7.1.3 高延性混凝土拌合物质量控制是施工质量控制的关键环节之一。本条规定了高延性混凝土拌合物检验项目。

7.1.4 本条规定了高延性混凝土拌合物有关性能检验的频率。

7.1.5 本条规定了高延性混凝土拌合物性能的评定依据。

7.2 硬化高延性混凝土性能检验

7.2.1 本条规定了对硬化高延性混凝土性能进行检验的依据，具体内容可见条文中给出的相关标准。

7.2.2 本条规定高延性混凝土的各项力学性能和耐久性能应符合设计要求。其中力学性能包括抗压强度、抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性。

7.2.3 本条给出了高延性混凝土的力学性能试验方法。主要给出了抗折强度、等效弯曲强度和等效弯曲韧性的试验方法。

7.3 高延性混凝土施工质量验收

7.3.1 高延性混凝土可用于建筑工程、公路工程、水利工程和其他各建设行业，工程验收应执行相关国家和行业的标准。

7.3.2 高延性混凝土的耐久性能应列为工程验收的主要内容之一。

7.3.3 采用高延性混凝土面层加固砌体结构时，保证高延性混凝土面层的厚度以及面层与墙体之间的粘结性能至关重要，因此，本条规定应对面层厚度、墙体表面基层处理和面层与墙体的粘结性能按隐蔽工程进行验收，具体内容详见本规程附录 C。

附录 A 高延性混凝土抗压韧性试验方法

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抗压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试验方法的研究较多，相关试验方法也在不断发展，但至今为止没有专门针对抗压韧性的试验方法，不能反映高延性混凝土受压的力学性能特点。

本规程提出的高延性混凝土抗压韧性试验方法，选用尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的标准棱柱体试件，采用电液伺服万能试验机测得其荷载—变形曲线，计算出高延性混凝土的等效抗压强度，再考虑试件变形对抗压韧性的影响，计算试件的等效抗压韧性，其物理意义为试件单轴受压时单位体积的变形能，与抗压韧性的定义完全符合，可作为试件的抗压韧性评价指标。

附录B 高延性混凝土弯曲韧性试验方法

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。

本规程提出的高延性混凝土弯曲韧性试验方法，给出了尺寸为 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 和 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ 两种棱柱体弯曲试件。

按本规程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C 高延性混凝土加固砌体结构

高延性混凝土与砌体结构具有良好的粘结性能，将高延性混凝土用于砌体结构加固，可利用高延性混凝土的力学性能优势提高砌体结构的整体性和抗倒塌能力。另外，采用高延性混凝土加固砌体结构，加固面层厚度小，施工简便，对原有结构影响小，可大幅度提高砌体结构的抗震性能，延长结构使用寿命，节约加固成本，具有良好经济效益和社会效益。

西安建筑科技大学系统开展了高延性混凝土加固砌体结构方面的理论与试验研究，提出了高延性混凝土加固砌体结构的设计计算方法和构造措施，并取得高延性混凝土加固砌体结构方面的授权国家专利 28 项。目前，“高延性混凝土加固砌体结构技术”已被成功应用于西安市长安区、渭城区、高陵、周至、蓝田等地共 200 余栋中小学房屋的抗震加固，并在安徽、北京、四川、云南、福建等其他省市已有大量工程案例。

本附录主要依据西安建筑科技大学在高延性混凝土加固砌体结构方面取得的最新研究成果和工程实践经验编制而成。附录 C.2 节给出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 为根据试验结果并考虑面层的破坏形式，按主拉应力理论提出，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，部分参数取值有所调整。为便于设计人员使用方便，附录 C.4 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。

本附录可与陕西省建筑标准设计《高延性混凝土加固砌体结构图集》陕 16G12 配套使用，共同促进高延性混凝土加固砌体结构技术在我国中小学校舍抗震加固、村镇房屋加固和危旧房改造等工程中的推广应用。