

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3230—2024

高强钢丝网树脂混凝土加固混凝土结构
技术规程

2024 - 12 - 18 发布

2025 - 01 - 18 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 总则 3

6 材料 3

 6.1 树脂混凝土 3

 6.2 高强钢丝网 4

7 设计规定 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 混凝土受弯构件正截面加固计算 5

 7.3 混凝土受压构件正截面加固计算 8

 7.4 混凝土构件斜截面受剪加固计算 9

 7.5 构造要求 11

8 施工规定 12

 8.1 一般规定 12

 8.2 施工准备 13

 8.3 界面处理 13

 8.4 高强钢丝网的制作安装 13

 8.5 树脂混凝土浇筑施工 15

 8.6 其他注意事项 16

9 质量验收 16

 9.1 一般规定 16

 9.2 高强钢丝网 16

 9.3 树脂混凝土 16

 9.4 交工质量验收 17

附录 A（规范性） 树脂混凝土立方体抗压强度测定方法 18

附录 B（规范性） 树脂混凝土静力受压弹性模量测定方法 19

附录 C（规范性） 树脂混凝土受拉弹性模量测定方法 20

附录 D（规范性） 树脂混凝土结构施工质量现场检验方法 21

参考文献 23

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。本文件由四川省交通运输厅提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：西南交通大学、四川交大工程检测咨询有限公司、四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川交投设计咨询研究院有限公司、四川西南交大土木工程设计有限公司、四川省交通建设集团有限责任公司、四川仲泰恒通科技有限公司、四川仲泰恒固建筑加固工程有限公司。

本文件主要起草人：杨永清、伍星、严猛、李本伟、贺智功、孟祥勇、莫志强、余取、鲁俊峰、何苗苗、彭俊文、田志勇、高玉峰、彭浪鸣、郭亚文、余华丽、赵永飞、郑小刚。

高强钢丝网树脂混凝土加固混凝土结构 技术规程

1 范围

本文件规定了高强钢丝网树脂混凝土加固混凝土结构设计、施工及验收的相关要求。本文件适用于桥梁、工业与民用建筑等混凝土结构构件的加固。

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/T 13657 双酚A型环氧树脂
- GB/T 14684 建设用砂
- GB/T 50010 混凝土结构设计规范
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
- GB/T 50344 建筑结构检测技术标准GB
- 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50550 建筑结构加固工程施工质量验收规范
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB/T 50784 混凝土结构现场检测技术标准JGJ
- 337 钢绞线网片聚合物砂浆加固技术规程
- JGJ/T 411 冲击回波法检测混凝土缺陷技术规程
- JTG/T J21 公路桥梁承载能力检测评定规程JTG/T
- J22 公路桥梁加固设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.13.1

树脂混凝土 resin concrete

由特殊配比的树脂、填充料和固化剂组成的一种聚合物混凝土。

3.23.2

高强钢丝网 high strength steel wire mesh

采用极限抗拉强度900MPa及以上的高强钢丝编织或焊接成的网片。

3.33.3

高强钢丝网树脂混凝土 high-strength steel wire mesh resin concrete

采用高强钢丝网加劲的树脂混凝土层状复合材料。

3.4.3.4

树脂混凝土强度等级 resin concrete strength class

按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按标准方法制作、养护的边长为100mm的立方体试件，在48h或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值。强度等级取由此得到的抗压强度值。

4 符号

4.1 作用和作用效应符号

下列符号适用于本文件。

- ：加固后构件正截面受弯承载力设计值。
- ：加固前构件计算截面上实际承担的初始弯矩。
- ：加固后轴向承载力设计值。
- ：加固后构件受剪承载力设计值。
- ：加固后构件受剪承载力设计值的提高值。
- ：加固后构件的剪压区树脂混凝土的抗剪能力。
- ：钢丝网的拉应力。
- ：钢丝网的拉应变。
- ：考虑二次受力影响时，加固前构件在初始弯矩作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变。

4.2 材料性能指标符号

下列符号适用于本文件。

- ：树脂混凝土强度等级。
- ：立方体抗压强度标准值为 90N/mm^2 的混凝土强度等级。
- ：高强钢丝网弹性模量。
- ：树脂混凝土抗压强度设计值。
- ：树脂混凝土抗拉强度设计值。
- ：钢丝网抗拉强度标准值。
- ：钢丝网抗拉强度设计值。
- ：钢丝网极限拉应变。
- ：混凝土轴心抗压强度设计值。
- ：钢筋的抗拉强度设计值。
- ：钢筋的抗压强度设计值。
- ：树脂混凝土正拉粘结强度。
- ：树脂混凝土受压弹性模量。
- ：树脂混凝土轴心抗拉强度。

4.3 几何参数符号

下列符号适用于本文件。

- ：构件横截面受拉区纵向普通钢筋的截面面积。
- ：构件横截面受压区纵向普通钢筋的截面面积。
- ：构件横截面高强钢丝网的截面面积。

- : 构件横截面等效矩形应力图形的混凝土受压区高度。
- : 加固前横截面的宽度。
- : 加固前横截面的高度。
- : 加固前构件横截面有效高度。
- : 加固后构件横截面的高度。
- : 加固层厚度。
- : 高强钢丝网距原构件底面的距离。
- : 构件侧面配置的钢丝网的竖向高度。
- : 钢丝网格的横向间距。
- : 配置在同一截面处构成箍筋效应的钢丝网的全部截面面积。

4.4 计算系数及其他符号

- 下列符号适用于本文件。
- : 受弯加固时钢丝网的强度利用系数。
 - : 偏心受压构件轴向力偏心距增大系数。
 - : 混凝土结构构件加固后的相对界限受压区高度。
 - : 抗剪强度折减系数。
 - : 约束混凝土的强度增强系数。
 - : 考虑二次受力效应的承载力降低系数。
 - : 截面受压区矩形应力图高度与理论受压区高度的比值。

5 总则

- 5.1 高强钢丝网树脂混凝土加固设计和施工应遵循安全、耐久、适用、环保、经济的原则。
- 5.2 在采用高强钢丝网树脂混凝土加固前，应按照 GB/T 50344、JTG/T J21 的规定对原结构进行检测评估或鉴定。
- 5.3 采用高强钢丝网树脂混凝土加固混凝土结构的设计、施工及验收，除应符合本文件的规定外，还应遵守 GB/T 50107、GB 50367、GB 50550、GB 50666、GB/T 50784、JTG/T J22、JGJ 337 的规定。

6 材料

6.1 树脂混凝土

- 6.1.1 树脂混凝土用树脂应采用双酚型环氧树脂，稀释剂应采用反应型活性环氧稀释剂；双酚型环氧树脂应符合 GB/T 13657 要求。
- 6.1.2 树脂混凝土用固化剂宜采用改性胺环氧固化剂，改性胺环氧固化剂应符合 HG/T 3875 要求。
- 6.1.3 树脂混凝土用填充料宜采用粒径 0.1mm~2.5mm 的石英砂，填充料最大粒径不应超过 3mm。
- 6.1.4 树脂混凝土的初凝和终凝时间应符合表 1 的规定。

表1 不同环境温度下树脂混凝土的初凝及终凝时间

环境温度	5℃	20℃	30℃	40℃
初凝时间(h)	≥10	≥4	≥3	≥2
终凝时间(h)	≤15	≤8	≤6	≤4

6.1.5 树脂混凝土的强度等级不宜低于 R90。树脂混凝土的设计指标按表 2 采用。

表2 树脂混凝土强度设计指标

强度等级	R90
抗压强度标准值 (MPa)	90
抗压强度设计值 (MPa)	45
抗拉强度标准值 (MPa)	10
抗拉强度设计值 (MPa)	6
正拉粘结强度 (MPa)	2, 且为原混凝土内聚力破坏
注1: 树脂混凝土抗压强度按照本规程附录A测定; 注2: 树脂混凝土抗拉强度按照本规程附录C测定; 注3: 正拉粘结强度按照本规程附录D测定; 注4: 其他强度等级 (R100、R110等) 设计指标可根据相关试验确定; 注5: 测试环境: 48h内温度在20℃±2℃, 湿度不高于80%。	

6.1.6 在无实测值情况下, 树脂混凝土受压和受拉弹性模量可按表 3 采用。

表3 树脂混凝土受压和受拉弹性模量

强度等级	R90
受压弹性模量 (×10 ⁴ MPa)	2.0
受拉弹性模量 (×10 ⁴ MPa)	1.1
注1: 树脂混凝土受压弹性模量按照本规程附录B测定; 注2: 树脂混凝土受拉弹性模量按照本规程附录C测定; 注3: 其他强度等级 (R100、R110等) 设计指标可根据相关试验确定。	

6.1.7 树脂混凝土的剪切变形模量 G_c可按受压弹性模量的 0.4 倍取用, 泊松比可按 0.2 取用。

6.2 高强钢丝网

- 6.2.1 高强钢丝网可采用编制型或焊接型钢丝网。
- 6.2.2 高强钢丝网的纵横向网格间距不宜小于 10mm, 且不宜大于 100mm。
- 6.2.3 高强钢丝网用钢丝的强度指标按表 4 使用。

表4 高强钢丝网用钢丝强度指标

性能项目	公称直径 (mm)	抗拉强度标准值 (MPa)	抗拉强度设计值 (MPa)	弹性模量 (MPa)
高强钢丝	2.0~4.0	900	650	1.9~2.0×10 ⁵

7 设计规定

7.1 一般规定

- 7.1.1 采用高强钢丝网树脂混凝土加固时, 原构件混凝土强度等级应符合以下要求:
 - a) 钢筋混凝土构件强度不应低于 C25;
 - b) 预应力混凝土构件强度不应低于 C30。
- 7.1.2 原构件混凝土表面需进行处理, 技术要求应符合本文件第 6.3 节的规定。
- 7.1.3 加固构件的作用 (或荷载) 效应, 应按照下列两个阶段计算:

- a) 第一阶段：新浇筑树脂混凝土层达到强度标准值前，构件按原截面计算；
- b) 第二阶段：新浇筑树脂混凝土层达到强度标准值后，构件按加固后整体截面计算。作用效应组合系数取值按现行相关规范取用。

7.1.4 采用高强钢丝网树脂混凝土对混凝土结构加固计算分析时，各截面变形采用平截面假定，应计入钢丝网对构件抗拉承载力的贡献，可不计入钢丝网对构件抗压承载力的贡献。

7.1.5 加固设计应进行各施工阶段构件及结构的强度、稳定性验算，并计入各阶段应力及变形对结构最终受力状态的影响。

7.1.6 采用高强钢丝网树脂混凝土进行混凝土结构构件加固时，应采取措施卸除或部分卸除结构上的荷载。

7.1.7 加固后的钢筋混凝土构件正截面抗弯承载力提高幅度不宜超过 30%，当有可靠试验依据时，也不应超过 40%；同时应验算加固构件抗剪承载力，确保其抗剪承载力符合要求。

7.1.8 计算过火(火烧后)构件抗弯承载力时，需根据检测报告考虑高温后混凝土强度和弹性模量等指标的降低，截面取有效计算截面。

7.1.9 加固后的构件，其正常使用状态下的应力、变形验算可按照相关行业设计规范进行验算，并满足相关要求。

7.2 混凝土受弯构件正截面加固计算

7.2.1 高强钢丝网树脂混凝土加固混凝土构件的抗弯承载力计算时，采用下列假定。

- a) 构件达到弯曲承载能力极限状态时，截面受压边缘混凝土应变达到极限压应变 ϵ_{cu} ，截面受压区混凝土应力按等效矩形应力图形计算，混凝土抗压强度应结合既有结构混凝土强度检测结果和原混凝土强度设计值 f_c 取值；加固层钢丝网的拉应变应按平截面假定确定，并以此应变按照式(1)计算钢丝网应力作为各自极限应力，同时该极限应力不应超过其抗拉强度设计值。
- b) 达到弯曲承载能力极限前，加固界面不发生粘结剥离破坏，不计入混凝土抗拉的贡献。
- c) 钢丝拉应力按照下式确定：

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad (1)$$

式中：

- 钢丝的弹性模量(MPa)。
- 钢丝的拉应变。

7.2.2 加固矩形截面抗弯构件正截面抗弯承载力应按下列公式计算(见图 1)：

$$\gamma \leq \alpha \left(\frac{x}{2} \right) + (1 - \alpha) \quad (2)$$

$$\alpha + \frac{x}{2} = \frac{M}{f_{st} A_s} + \frac{M}{f_c A_c} \quad (3)$$

$$= \frac{M}{f_{st} A_s} + \frac{M}{f_c A_c} \quad (4)$$

$$= \frac{\beta_1 \epsilon_{cu} (h_1 + x) / (x - \epsilon_{cu} - \epsilon_i)}{f_{st} / E_{st}} \quad (5)$$

$$2 \leq \frac{x}{h} \leq \xi_b \quad (6)$$

$$= \frac{f_y}{(1 + 1.6 \frac{f_y}{E_s \epsilon_{cu}})} \quad (7)$$

式中：

- γ —结构重要性系数；
- 加固后正截面弯矩设计值(N·mm)；
- 受拉区纵向钢筋的截面面积(mm²)；

- 受压区纵向钢筋的截面面积 (mm²);
- 钢筋的抗拉强度设计值 (MPa);
- 钢筋的抗压强度设计值 (MPa);
- 高强钢丝的截面面积 (mm²);
- 钢丝网的拉应力 (MPa);
- 受弯加固时钢丝网的强度利用系数, 当按照公式 (5) 计算大于1.0时, 取值为1.0;
- 高强钢丝的抗拉强度设计值 (MPa);
- 混凝土轴心抗压设计值 (MPa);
- 等效矩形应力图形的混凝土受压区高度 (mm);
- α —系数, 按照GB/T 50010确定;
- 截面受压区矩形应力图高度与理论受压区高度的比值, 按照GB/T 50010确定;
- 混凝土极限压应变, 取 $\varepsilon_{cu}=0.0033$;
- 加固前构件在初始弯矩作用下, 截面受拉边缘混凝土的初始应变;
- 加固前矩形截面的宽度 (mm);
- 加固前矩形截面高度 (mm);
- 加固前矩形截面有效高度 (mm);
- 加固后矩形截面的高度 (mm);
- 加固后矩形截面的有效高度 (mm);
- 高强钢丝形心距原构件底面的距离 (mm);
- 原构件受压钢筋中心距构件顶面的距离 (mm);
- 混凝土结构构件加固后的相对界限受压区高度 (mm);
- 钢筋的弹性模量 (MPa)。

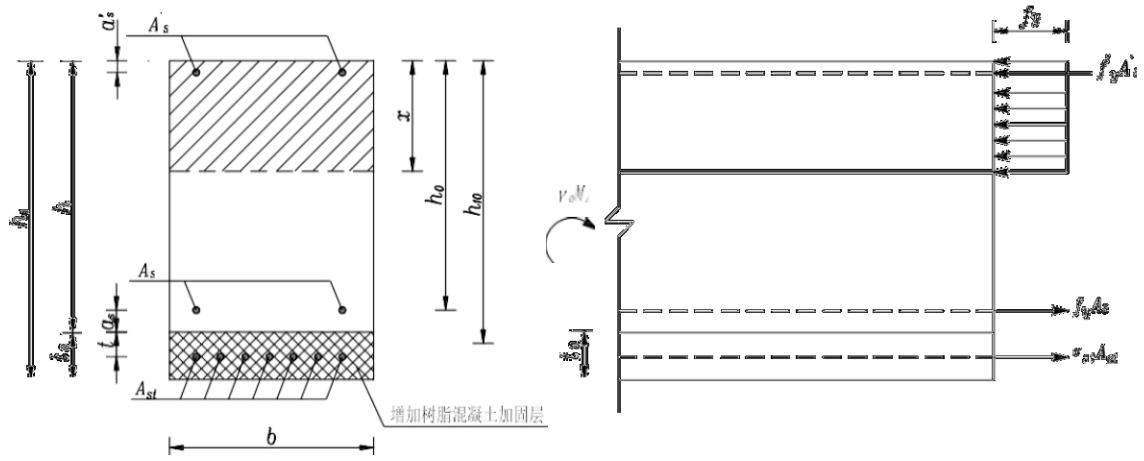


图1 正截面受弯承载力计算

7.2.3 考虑二次受力影响时, 加固时在初始弯矩作用下, 截面受拉边缘混凝土的初始应变按下列公式计算(见图 2):

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu}(\beta_1 h_{01} - x)}{x} - \frac{\varepsilon_{c1}(h_{01} - x_1)}{x_1} \dots\dots\dots (8)$$

$$= \frac{M_1}{E_c I_{cr}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- 第一阶段弯矩组合设计值(N·mm)；
- 混凝土极限压应变，当混凝土强度等级为C50及以下时， $\epsilon_{cu}=0.0033$ ；
- 截面受拉区新增高强钢丝合力点至截面受压区边缘距离(mm)；
- 在 M 作用下，原构件截面上边缘的混凝土压应变；
- 原构件混凝土的弹性模量(MPa)；
- 加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度(mm)；
- 加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩(mm^4)。

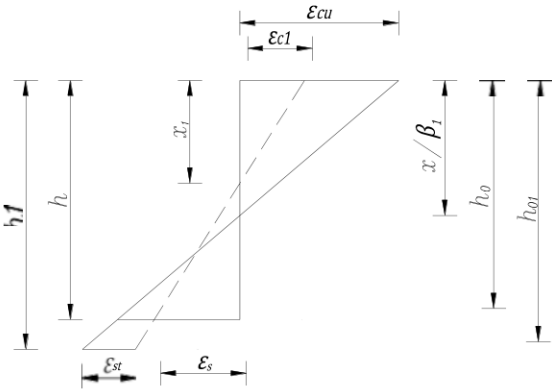


图2 截面应变图

7.2.4 T形截面抗弯加固时，其正截面抗弯承载力按下列公式计算(见图3)：

- a) 当混凝土受压区高度 $\leq \xi_b h_0$ 时，以宽度为 b_f 的矩形截面（详见图3(a)），按本文件第7.2.2条计算正截面抗弯承载力；
- b) 当混凝土受压区高度 $> \xi_b h_0$ 时，以宽度为 b_f 的矩形截面（详见图3(b)），其正截面抗弯承载力按公式(10)计算。

$$\gamma \leq \alpha \cdot \left(\frac{x}{2} + \left(\frac{h_f'}{2} - \frac{x}{2} \right) \left(\frac{b_f}{b} - 1 \right) \right) + \left(\frac{b_f}{b} - 1 \right) \left(\frac{h_f'}{2} - \frac{x}{2} \right) + \left(\frac{b_f}{b} - 1 \right) \left(\frac{h_f'}{2} - \frac{x}{2} \right) \dots (10)$$

$$\alpha + \alpha(-) + \dots + \dots (11)$$

式中：

- T形截面受压翼缘厚度(mm)；
- T形截面受压翼缘的有效宽度(mm)；
- 原构件受拉钢筋中心距原构件底面的距离(mm)。

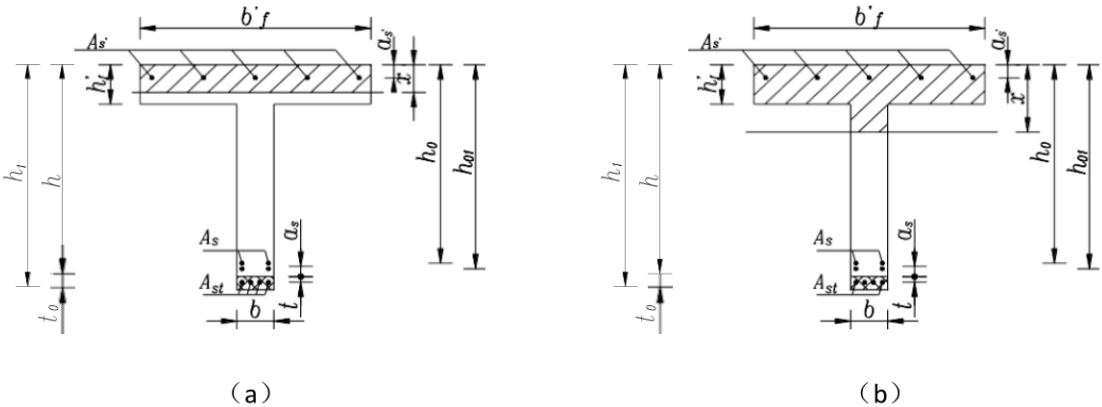


图3 T形截面受弯构件正截面承载力计算图示

7.3 混凝土受压构件正截面加固计算

7.3.1 混凝土受压构件按照轴心受压、大偏心 and 一般小偏心分别进行计算，其他受力情况参照相关规范计算。

7.3.2 采用高强钢丝网树脂混凝土加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面抗压承载力应按普通箍筋柱计算：

$$\gamma \leq \varphi \left(\frac{N}{A_c} + \alpha \frac{A_{cs}}{A_c} \right) \dots \dots \dots (12)$$

式中：

—第二阶段轴向力设计值 (N)；

φ —轴心受压构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按照GB/T 50010确定；

—分别为原构件混凝土面积和新增树脂混凝土面积 (mm²)；

—分别为原构件纵向钢筋面积 (mm²)；

—树脂混凝土抗压强度设计值 (MPa)；

α —考虑二次受力效应的承载力降低系数，视加固时受压构件减载情况取0.8~1.0。

7.3.3 采用高强钢丝网树脂混凝土加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其正截面抗压承载力按下列公式计算：

$$\gamma \leq \left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) \dots \dots \dots (13)$$

$$\gamma e \leq \left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) \left(\frac{h}{2} + \frac{x_0}{2} \right) + \left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{x_0}{2} \right) \dots \dots \dots (14)$$

$$\left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) \left(\frac{h}{2} + \frac{x_0}{2} \right) + \left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{x_0}{2} \right) = \left(\frac{N}{A_c} + \frac{N e}{A_c e} \right) e \dots \dots \dots (15)$$

$$e = e_0 + \frac{h_1}{2} - \frac{h}{2} \dots \dots \dots (16)$$

$$e = e_0 - \frac{h_1}{2} + \frac{h}{2} \dots \dots \dots (17)$$

式中：

—第二阶段轴向力组合设计值 (N)；

—原构件截面受压较大边纵向钢筋面积 (mm²)；

—加固后构件截面受压较大边新增纵向钢丝网面积 (mm²)；

—原构件截面受拉边或受压较小边纵向钢筋面积 (mm²)；

—加固后构件截面受拉边或受压较小边新增纵向钢丝网面积 (mm²)；

—树脂混凝土抗压强度设计值 (MPa)；

—钢丝抗压强度设计值 (MPa)；

e —轴向力作用点至加固后截面受拉边或受压较小边纵向钢筋及钢丝网合力点的距离 (mm)；

e_0 —轴向力作用点至加固后截面受压较大边纵向钢筋及钢丝网合力点的距离 (mm)；

—偏心受压构件轴向力偏心距增大系数，参照GB/T 50010和JTG 3362等规范取值；

e —轴向力对加固后截面重心轴的偏心距 (mm)， $e = e_0 / \eta$ ；

—构件达到承载力极限状态时，原截面受拉边或受压较小边纵向钢筋应力（满足平截面假定）， $\sigma_s \leq f_y$ (MPa)；

—构件达到承载力极限状态时，加固后截面受拉边或受压较小边新增钢丝网应力 (满足平截面假定)， $\sigma_s \leq f_y$ (MPa)；

h —原构件截面受拉边或受压较小边纵向普通钢筋和新增钢丝网的合力作用点至加固后截面受拉边或受压较小边的距离 (mm)；

h —原构件截面受压较大边纵向普通钢筋和新增钢丝网的合力作用点至加固后截面受压较大边缘的距离(mm)。

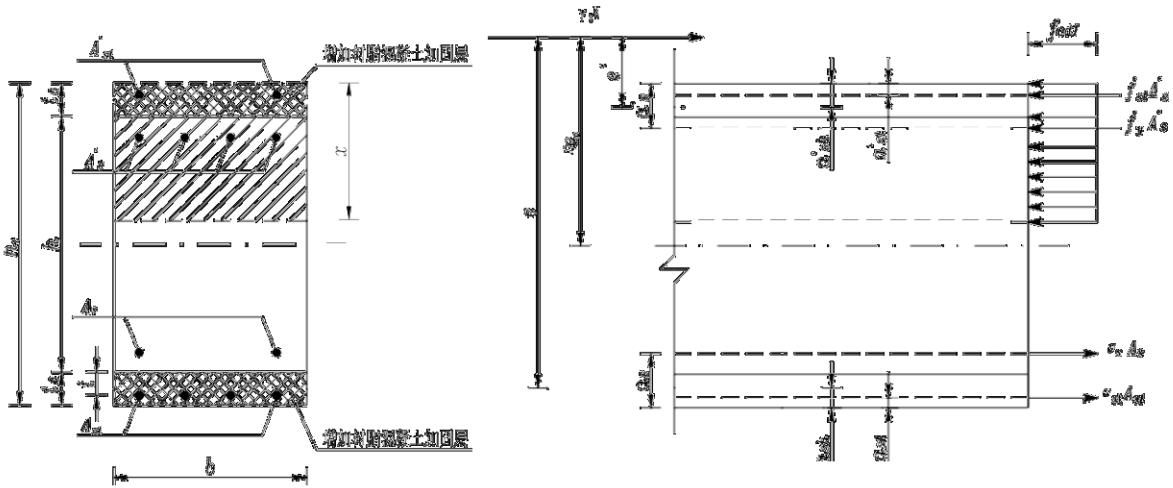


图4 两侧加厚矩形截面偏心受压构件正截面抗压承载力计算图示

在承载力计算中，考虑截面受压较大边的纵向受压钢筋时，受压区高度应符合公式（18）规定。若不符合公式（18）的条件时，加固后的偏心受压构件正截面抗压承载力的计算应符合公式（19）规定。

$$\gamma e \leq \left(\frac{h}{2} - \frac{h_1}{2} \right) + \frac{N}{f_c A_c} \quad (18)$$

对小偏心受压构件，当轴向力作用在纵向普通钢筋和合力点与和合力点之间时，抗压承载力计算尚应符合下列规定：

$$\gamma e'' \leq \left(\frac{h_1}{2} - \frac{h}{2} \right) + \frac{N}{f_c A_c} \quad (20)$$

$$e'' = \frac{h_1}{2} - e \quad (21)$$

式中：

e'' —轴向力作用点至截面受压较大边纵向普通钢筋和合力点与和合力点的距离，计算时

偏心距 e_0 可不考虑增加系数；
—截面受压较小边边缘至受压较大边纵向普通钢筋合力点的距离(mm)， $= -$ ；
—加固后构件截面的高度(mm)。

7.4 混凝土构件斜截面受剪加固计算

7.4.1 采用高强钢丝网树脂混凝土对钢筋混凝土受弯构件截面受拉区加固时，当加固构件为公路或市政桥梁结构时，构件截面构造尚应符合下列抗剪要求：

$$\gamma \leq .51 \times 1^{-3} \sqrt{\frac{f_y A_s (a_s + 0) + \alpha_s f_{st} A_{st} a_{sd}}{f_y A_s + \alpha_s f_{st} A_{st}}} \quad (22)$$

$$= \frac{f_y A_s (a_s + 0) + \alpha_s f_{st} A_{st} a_{sd}}{f_y A_s + \alpha_s f_{st} A_{st}} \quad (23)$$

式中：

γ —结构的重要性系数；

—构件加固后剪力设计值(kN)，按验算斜截面的最不利值取用；

—原构件混凝土强度等级(MPa)；

—构件加固后矩形截面或T形截面和I形截面腹板宽度，取斜截面所在范围内的最小值(mm)；

—构件加固后截面高度，取斜截面所在范围内的最小值(mm)；

—构件加固后截面自纵向受拉钢筋合力点至受压边缘的距离，取斜截面所在范围内截面有效高度最小值(mm)；

—原构件受拉区纵向普通钢筋截面面积(mm²)；

—原构件受拉区纵向普通钢筋合力点至原构件截面受拉区边缘的距离(mm)；

—构件加固后受拉区新增纵向高强钢丝合力点至加固后截面受拉区边缘的距离(mm)；

—构件加固后受拉区新增纵向高强钢丝的截面面积(mm²)；

α —新增高强钢丝网强度利用系数，取0.9。

7.4.2 采用高强钢丝网树脂混凝土对钢筋混凝土受弯构件截面受拉区加固时，当加固构件为公路或市政桥梁结构时，其斜截面抗剪承载力按照下列公式计算：

$$\gamma \leq .43 \times 1^{-3} \alpha \alpha_3 \quad \Psi \sqrt{(2 + .6P) \sqrt{\rho_v} + .75 \times 1^{-3}} + \Psi_v \dots\dots\dots (24)$$

$$\Psi_v = \frac{.5A_{sv2}}{A_{sv1} + .. 7A_{st} + A_{sv2}} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

γ —加固后由后期恒载、车辆荷载及其他可变荷载作用的剪力组合设计值(kN)；

α —异号弯矩影响系数，计算简支梁和连续梁近边支点梁段的抗剪承载力时 $\alpha=1.0$ ；计算连续梁和悬臂梁近中间支点梁段的抗剪承载力时 $\alpha=0.9$ ；

α_3 —受压翼缘的影响系数，对矩形截面 $\alpha_3=1.0$ ；对具有受压翼缘的T形或工字形截面，取 $\alpha_3=1.1$ ；

—加固后梁斜截面顶端正截面处腹板宽度(mm)；

—加固后梁斜截面受压端正截面的有效高度(mm)；

Ψ —与原梁斜裂缝有关的修正系数，加固前未出现斜裂缝时，取 $\Psi=1.0$ ；斜裂缝宽度小于0.2mm时，取 $\Psi=0.835$ ；斜裂缝宽度大于0.2mm时，取 $\Psi=0.78$ ；

P —加固后计算截面斜裂缝范围纵向钢筋的配筋百分率， $P=100\rho$ ， $\rho=(\quad + \quad)/(\quad)$ ， $\quad$ 和 $\quad$ 分别为原梁截面纵向钢筋面积和新增纵向钢丝面积，当 $P>2.5$ 时，取 $P=2.5$ ；

ρ_v —原梁斜截面内箍筋配筋率， $\rho_v = v/v$ ；

v —原梁斜截面内配置在同一截面的箍筋各肢总截面面积(mm²)；

—与斜裂缝相交的普通弯起钢筋的总截面面积(mm²)；

v —原梁箍筋抗拉强度设计值(MPa)；

—普通弯起钢筋的抗拉强度设计值(MPa)；

Ψ_v —修正系数；

v_2 —与斜裂缝相交的同一截面后增竖向钢丝各肢的总截面面积(mm²)。

7.4.3 当加固构件为其他结构时，受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件：

当 $\quad/\quad \leq 4$ 时，

$$\gamma \leq .25 \dots\dots\dots (26)$$

当 $\quad/\quad \geq 6$ 时，

$$\gamma \leq .2 \dots\dots\dots (27)$$

当 $4 < h/b < 6$ 时, 按线性内插法确定。

式中:

—混凝土强度影响系数, 当原构件混凝土强度等级不超过C50时, 取1.0; 当混凝土强度等级为C80时, 取0.8; 其间按直线内插法确定;

—截面的腹板高度: 矩形截面, 取有效高度; T形截面, 取有效高度减去翼缘高度; I形截面, 取腹板净高。

7.4.4 采用高强钢丝网树脂混凝土对钢筋混凝土梁、柱构件进行抗剪加固时, 宜采用三面围套的面层构造, 其斜截面抗剪承载力按下列公式计算:

$$\gamma \leq + \dots\dots\dots (28)$$

$$= .7 + 1.25 \gamma_v \frac{A_{sv}}{s} \dots\dots\dots (29)$$

$$= .7 + 1.25 \gamma_v \frac{A_{stv}}{s_{st}} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

—构件加固前斜截面抗剪承载力(N);

—构件加固后斜截面抗剪承载力的提高值(N);

—混凝土的抗拉强度设计值(MPa);

γ_v —原箍筋各肢的截面面积之和(mm^2);

—原箍筋沿构件长度方向的间距(mm);

γ_v —箍筋的抗拉强度设计值(MPa);

—树脂混凝土的抗拉强度设计值(MPa);

—新增树脂混凝土结构层厚度(mm);

—梁侧面配置的钢丝网的竖向高度(mm);

—树脂混凝土强度利用系数, $\gamma = 0.7$;

—抗剪强度折减系数, 均布荷载或剪跨比不小于3的受力条件下取0.8; 剪跨比不大于1.5时取0.5; 剪跨比为1.5与3之间值时, 按线性内插法确定;

γ_v —钢丝抗拉强度设计值(MPa);

—钢丝网的间距(mm);

γ_v —配置在同一截面处构成箍筋效应的钢丝网的全部截面面积(mm^2)。

7.4.5 树脂混凝土与旧混凝土之间一般采用薄层加固, 当结合面满足 7.5.3 条构造要求时, 结合面纵向抗剪能力可以得到保证。

7.5 构造要求

7.5.1 高强钢丝网片可采用单层或双层, 当设置单层高强钢丝网片时, 树脂混凝土加固层的厚度不宜小于 30mm; 当设置双层高强钢丝网片时, 树脂混凝土加固层厚度不宜小于 50mm, 双层钢丝网层间距不宜小于 10mm。钢丝网净保护层厚度不应小于 15mm。

7.5.2 采用搭接连接方式时, 钢丝网在传力方向上的搭接长度不应小于 40d(钢丝直径)、在非传力方向上的搭接长度不应小于 30d(钢丝直径)(见图 5)。

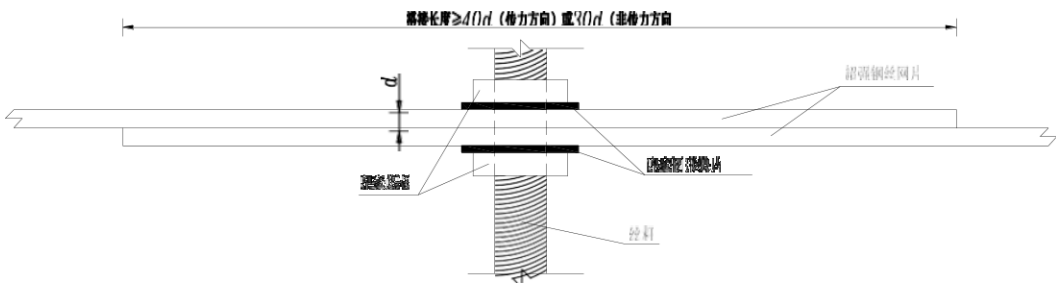


图5 钢丝网搭接示意图

- 7.5.3 加固构件混凝土表面与树脂混凝土结合前应进行去除碳化层、凿毛、清洁、干燥处理。加固后对结合面进行找平处理，找平后的平整度不大于 10mm/500mm。
- 7.5.4 采用高强钢丝网树脂混凝土对混凝土构件加固时，钢丝网纵向布置应延伸至设计受力截面外至少 1.0 倍原构件截面高度范围且不小于 50cm。
- 7.5.5 采用高强钢丝网树脂混凝土对混凝土构件加固时，梁、板可采用底面覆盖、侧面覆盖或底、侧面三面围覆的构造方式，柱可采用单侧面覆盖或四面围覆的构造方式；在采用单侧面覆盖的面层构造时，应加强覆盖面层与原构件的锚固和拉结。
- 7.5.6 采用高强钢丝网树脂混凝土对混凝土构件加固时，在倒角处弯曲半径不应小于 10mm。
- 7.5.7 各浇筑条（带）搭接面不能在同一断面。

8 施工规定

8.1 一般规定

- 8.1.1 施工前应针对高强钢丝网树脂混凝土结构加固技术特点和难点编制专项施工方案。
- 8.1.2 加固材料存放应满足防潮、防火等要求，树脂胶和固化剂不应阳光直射。
- 8.1.3 雨天、大雾等潮湿环境下不应施工。
- 8.1.4 施工宜在环境温度 5℃~40℃的条件下进行；当环境温度低于 5℃，应采用升温 and 保温措施；当环境温度高于 40℃，应采用降温措施。
- 8.1.5 进行分条（段）浇筑时，应采取措施确保每条（段）一次浇筑成型；相邻条（段）浇筑施工前，应对已浇筑结合面进行凿毛处理，确保结合面清洁后撒水润湿。
- 8.1.6 树脂混凝土配合比设计时，应根据加固实际情况确定合理的坍落度、流动性、初凝时间和浇筑时间。
- 8.1.7 树脂混凝土配置时，先倒入填充料和树脂胶，后倒入固化剂并立即采用机械设备搅拌均匀，搅拌时间不宜超过 15min。搅拌器具应清洁无污染。
- 8.1.8 拌和料采用有一定压力的泵送或高位漏斗的方式灌注入模，并严格控制浇筑时间。
- 8.1.9 树脂混凝土浇筑施工期间及达到设计强度前，采取限速、限载等交通管制措施，避免振动和荷载的大幅变化。
- 8.1.10 高强钢丝网树脂混凝土加固施工工艺流程如图 6 所示。

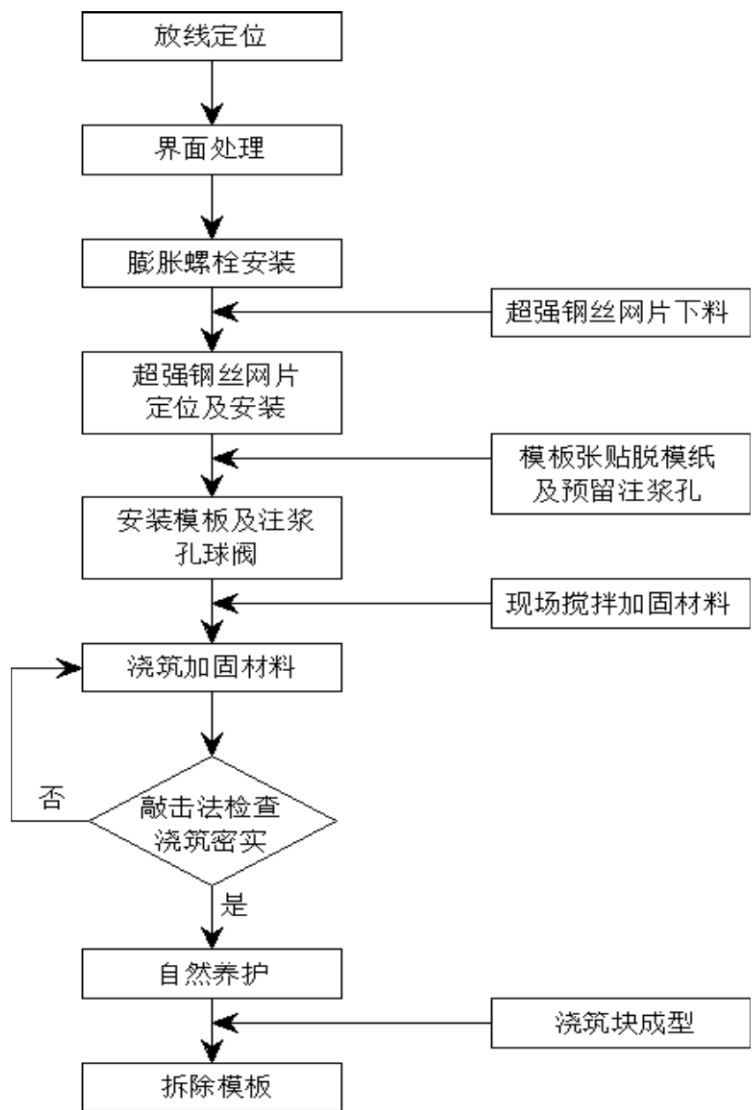


图6 高强钢丝网树脂混凝土加固施工工艺流程图

8.2 施工准备

- 8.2.1 收集原有结构相关资料，包括设计文件、竣工资料及检测资料等，分析明确加固施工的重难点。
- 8.2.2 对施工人员进行安全、质量和技术交底，并对施工人员进行操作培训，确保施工人员熟练施工。
- 8.2.3 对加固用机械设备检验维护，确保性能稳定可靠、满足施工需要。
- 8.2.4 在施工现场同等条件下试配树脂混凝土试块，测试验证材料的工作性能及力学性能。

8.3 界面处理

- 8.3.1 清理构件混凝土加固面抹灰、涂层等外敷装饰非结构的面层材料，直至构件结构混凝土表面完全外露。
- 8.3.2 被加固构件表面处理，包括打磨表面浮浆、油渍、松散层、碳化层、凿毛等至部分粗骨料露出，对完成后的界面用压力水冲洗或高压空气风吹除尘，施工前保持界面干燥。
- 8.3.3 对裸露、锈蚀的钢筋作除锈处理。

8.4 高强钢丝网的制作安装

- 8.4.1 根据设计要求并结合实际的结构构造确定合理的钢丝网片的分割、搭接布置形式，并下料。
- 8.4.2 根据施工方案确定的模板等临时结构，结合钢丝网分块构造形式布置钢丝网、临时固定螺栓和注浆观测孔。
- 8.4.3 钢丝网片应保持顺直和搭接构造符合要求。
- 8.4.4 钢丝网片固定可采用膨胀螺栓、射钉锚栓等锚固连接措施，确保钢丝网与模板连接支撑可靠。
- 当采用膨胀螺栓锚固时应符合下列规定：

a) 根据设计要求选取与钢丝网网格相匹配的膨胀锚栓(嵌入型)固定(见图 7)；

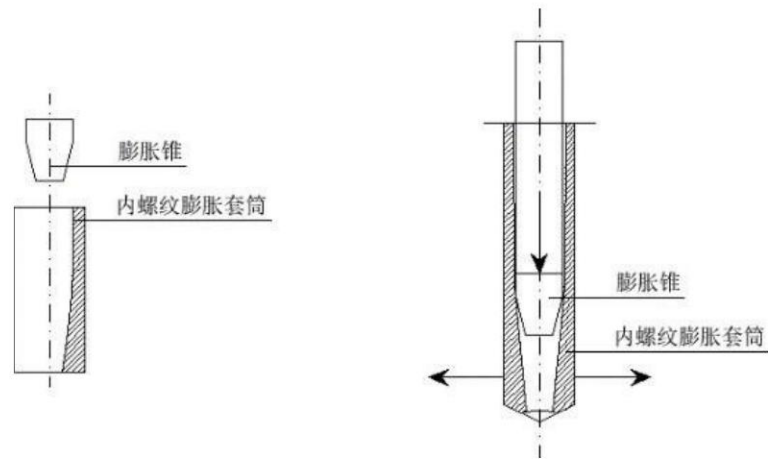
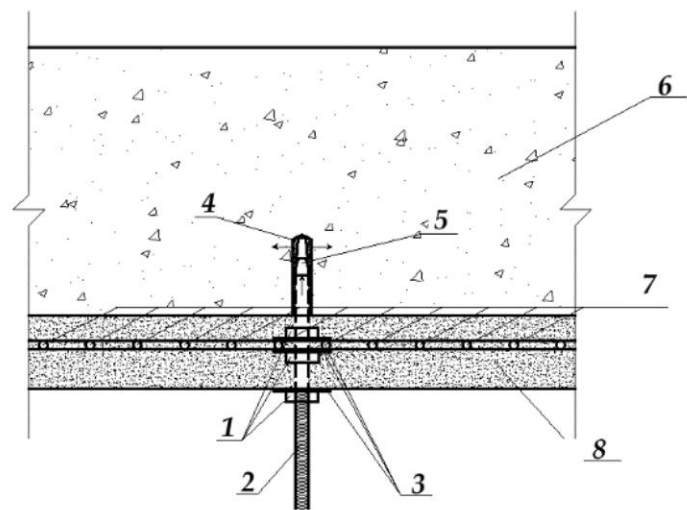


图7 嵌入型膨胀锚栓示意图

- b) 锚栓间距以 50cm~80cm 为宜，锚栓植入深度、锚栓类型需结合后期施工的要求确定；
- c) 在布置锚固螺栓时应结合钢筋布置，采用钢筋扫描仪对原有钢筋进行定位，以避免损伤原结构主筋；钢丝网安装示意图见图 8。



^a 1—定位螺帽；2—丝杆；3—垫片；4—内螺纹膨胀套筒；5—膨胀锥；6—被加固构件；7—高强钢丝网；8—加固层树脂混凝土。

图8 钢丝网安装示意图

8.4.5 模板及固定安装应符合下列规定：

- a) 模板可采用竹胶板、木模板、塑胶模板或钢模板等；泵送浇筑时，还应考虑泵送出口压力对模板受力的影响，宜适当提高泵送出口附近模板的刚度。对分条（段）浇筑的结合面模板应有控制结合面两侧变形的措施；
- b) 为确保浇筑面质量，宜采用油性脱模纸等措施实现浇筑材料与模板的隔离；
- c) 模板安装应保证密闭性；
- d) 注浆口处应采用法兰盘等压实装置确保无漏浆；
- e) 模板注浆观测孔应便于观测、封堵。

8.5 树脂混凝土浇筑施工

8.5.1 分条（段）浇筑时，条段宽不宜超过 2m，结合界面应采用钢刷拉毛等措施进行处理。

8.5.2 浇筑前，严格按照组分配料，先填充料、树脂胶液，后固化剂的顺序注料入拌合设备，按规定搅拌频率搅拌至色泽均匀、无明显聚团等状态，搅拌时间宜控制在 5min~10min。

8.5.3 浇筑过程应保持连续，特殊情况需要中断一般不应超过 30min。

8.5.4 采用泵送浇筑的方式时应确保出料口的出口压力不低于 0.3MPa。

8.5.5 压力注浆浇筑示意图 9，高位漏斗浇筑示意图 10。

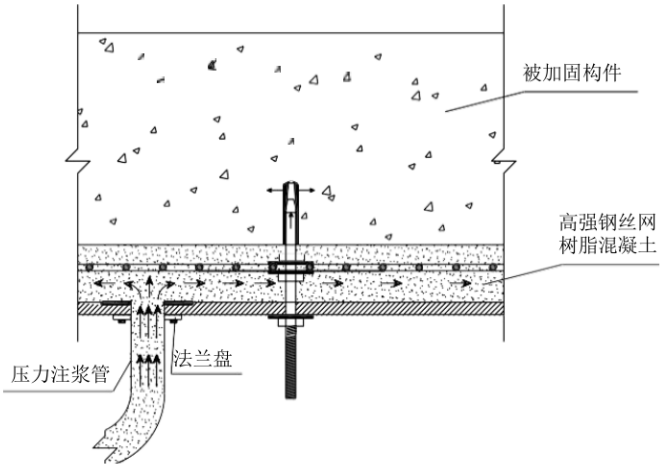


图9 压力注浆浇筑示意图

8.5.6 采用高位漏斗浇筑时，漏斗与浇筑面的高差不低于 2m。

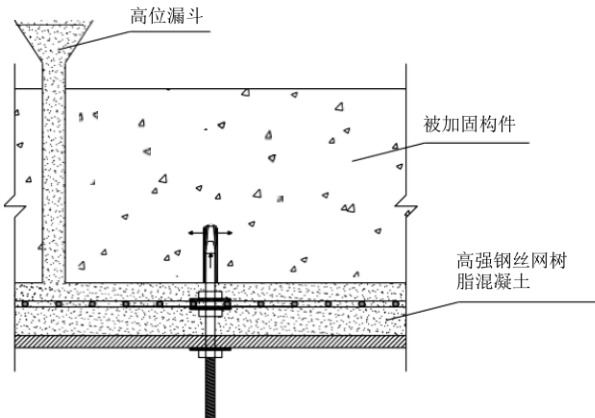


图10 高位漏斗浇筑示意图

- 8.5.7 浇筑完成后，环境温度高于 10℃时，自然养护 24h 即可拆模；环境温度低于 10℃时，应当采取相应的保温措施或延长养护时间。
- 8.5.8 拆模后，应按设计要求及时在加固层表面进行(防火、紫外线等)防护涂装。

8.6 其他注意事项

- 8.6.1 浇筑过程中应注意施工人员的防护，避免身体皮肤直接接触树脂混凝土。
- 8.6.2 施工残留的树脂胶液、固化剂等有害、危险物品应按现行 GB 18597 等国家有关标准规定进行处理。

9 质量验收

9.1 一般规定

- 9.1.1 树脂混凝土施工质量除了符合本规程要求外，其树脂、填充料、固化剂等主要材料应符合相关质量检验要求。
- 9.1.2 树脂混凝土与加固构件混凝土表面的粘结强度应满足相关质量要求。
- 9.1.3 重要的桥梁结构加固后宜进行荷载试验。

9.2 高强钢丝网

- 9.2.1 高强钢丝检验批的划分应符合下列规定：
钢丝分批检验时，可由同一牌号、同一炉罐号、同一尺寸的钢丝进行组批，每批质量不宜大于6t，超过6t的部分，每增加3t(及余数)应增加一个拉伸试验试样。
- 9.2.2 钢丝网表面应无裂皮、颗粒状或片状锈位、烧伤和油污等污染，主丝和横向丝间距均匀。
- 9.2.3 多层钢丝网安装时应有骨架钢筋，保证其层间距符合要求。钢丝网片加工及安装实测项目应符合表 5 的规定。

表5 钢丝网片及加工安装实测项目

检测项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢丝网片	钢丝直径(mm)	±0.2	尺量；每批次抽取10根
	网眼尺寸(mm)	±2	尺量；每批次测5个网眼
	网眼对角线差(mm)	±3	尺量；每批次测5个网眼
加工安装	搭接长度 (mm)	-5	尺量；每搭接面两点
	网片长、宽(mm)	±20	尺量；每批次抽取10处，每处逐边测
	层间距 (mm)	±2	尺量；每浇筑条，每15m取三个断面，每断面三处
	钢丝网保护层厚度	≥设计值	尺量；每浇筑条抽取20点

9.3 树脂混凝土

- 9.3.1 树脂混凝土用树脂外观以目测测定，表观为透明液体，无明显的杂质，其技术指标应满足设计要求，参照 GB/T 13657 执行。
- 9.3.2 树脂混凝土用填充料粒径范围应为 0.1mm~2.5mm，且最大粒径不应超过 3mm。检验试验方法应符合 GB/T 14684 的规定。

9.3.3 树脂混凝土用固化剂外观以目测测定，表观为橘黄或棕红色透明黏稠液体，其技术指标应满足设计要求。

9.3.4 树脂混凝土力学性能要求见表 6。

表6 树脂混凝土拌合料力学性能指标

检测项目	规定值或允许偏差	抽检频率
抗压强度	≥90MPa（48h）	每批次制备1组（3个）
抗拉强度	≥8MPa（48h）	每批次制备1组（3个）
抗压弹性模量	≥20.0GPa（48h）	每批次制备1组（3个）
抗拉弹性模量	≥11.0GPa（48h）	每批次制备1组（3个）
正拉粘结强度	≥2MPa且为原混凝土内聚破坏	每批次制备1组（3个）

注：树脂混凝土力学测试方法参照GB/T 50081执行。

9.3.5 树脂混凝土成型后浇筑块的实测项目见表 7。

表7 树脂混凝土实测项目

检测项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
浇筑块长度（mm）	+10，-10	尺量，每批次抽取5处
浇筑块宽度（mm）	+10，-10	尺量，每批次抽取5处
钢丝网保护层厚度（mm）	≥设计值	电磁法，每批次抽取 20 处
浇筑块厚度（mm）	+10mm，0mm	尺量或钻芯

9.4 交工质量验收

9.4.1 浇筑块的外观应平整、无明显搭接痕迹，无下坠、裂纹、鼓包、麻面等缺陷。

9.4.2 工程质量验收抽查项目见表 8。

表8 工程质量验收抽查项目

检测项目		规定值或允许偏差	检查方法和抽检频率
外观质量		无下坠、裂纹、鼓包、麻面等	全检
实体检测	浇筑条间错台	≤2mm	尺量；每浇筑条每间隔3m检测1处
	脱空率检测	≤5%且单处小于0.1m ²	每浇筑条抽取30%，敲击法或声频法
	加固层厚度	+10mm，0mm	钻芯法，加固构件抽取10%，每跨3个 点
	钢丝网保护层厚度	≥设计值	电磁感应法；加固构件抽取30%，每 构件20个点

注：脱空率声频法检测方法参照JGJ/T 411执行。

附录 A

(规范性)

树脂混凝土立方体抗压强度测定方法

A.1 试件制作

A.1.1 浇筑试件用的模具应为可拆卸的钢制模具。

A.1.2 树脂混凝土的立方体抗压强度测定，应采用 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的立方体试件，每组试件应为3个。

A.1.3 试件应采用黄油等密封材料涂抹试模的外接缝，试模内应涂刷薄层机油或隔离剂，应将拌制好的树脂混凝土拌合物一次性装满试模，将高出试模部分的树脂混凝土拌合物沿试模顶面刮去并抹平，不应使用振动台、人工插捣或振捣棒方法成型。

A.2 试件养护

试件制作后应在温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 80\%$ 的环境下静置养护48h，对试件进行编号、拆模。养护期间，试件彼此间隔不得小于10mm；试件拆模后，应检查试件表面的缺陷；凡有裂纹、麻点、孔洞、缺损的试件应弃用。

A.3 试验方法

A.3.1 试验装置及设备按照GB/T 50081中抗压强度试验方法执行。

A.3.2 试验方法按照GB/T 50081中抗压强度试验方法执行。

A.3.3 试验结果按照GB/T 50081中抗压强度试验方法执行。

附录 B

(规范性)

树脂混凝土静力受压弹性模量测定方法

B.1 试件制作

B.1.1 浇筑试件用的模具应为可拆卸的钢制模具。

B.1.2 树脂混凝土的立方体抗压强度测定，应采用 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的棱柱体试件，每组试件应为6个，其中3个用于测定轴心抗压强度，另外3个用于测定静力受压弹性模量。

B.1.3 试件应采用黄油等密封材料涂抹试模的外接缝，试模内应涂刷薄层机油或隔离剂，应将拌制好的树脂混凝土拌合物一次性装满试模，将高出试模部分的树脂混凝土拌合物沿试模顶面刮去并抹平，不应使用振动台、人工插捣或振捣棒方法成型。

B.2 试件养护

试件制作后应在温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 80\%$ 的环境下静置养护48h，对试件进行编号、拆模。养护期间，试件彼此间隔不得小于10mm；试件拆模后，应检查试件表面的缺陷；凡有裂纹、麻点、孔洞、缺损的试件应弃用。

B.3 试验方法

B.3.1 试验装置及设备按照GB/T 50081中静力受压弹性模量试验方法执行。

B.3.2 试验方法按照GB/T 50081中静力受压弹性模量试验方法执行。

B.3.3 试验结果按照GB/T 50081中静力受压弹性模量试验方法执行。

附 录 C

(规范性)

树脂混凝土受拉弹性模量测定方法

C.1 试件制作

C.1.1 浇筑试件用的模具应为可拆卸的钢制模具。

C.1.2 树脂混凝土尺寸的试件按照GB/T 50081执行。

C.1.3 试件应采用黄油等密封材料涂抹试模的外接缝，试模内应涂刷薄层机油或隔离剂，应将拌制好的树脂混凝土拌合物一次性装满试模，将高出试模部分的树脂混凝土拌合物沿试模顶面刮去并抹平，不应使用振动台、人工插捣或振捣棒方法成型。

C.2 试件养护

试件制作后应在温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 80\%$ 的环境下静置养护48h，对试件进行编号、拆模。养护期间，试件彼此间隔不得小于10mm；试件拆模后，应检查试件表面的缺陷；凡有裂纹、麻点、孔洞、缺损的试件应弃用。

C.3 试验方法

C.3.1 试验装置及设备按照GB/T 50081中轴向拉伸试验试验方法执行。

C.3.2 试验方法按照GB/T 50081中轴向拉伸试验试验方法执行。

C.3.3 试验结果按照GB/T 50081中轴向拉伸试验方法执行。

附 录 D
(规范性)
树脂混凝土结构施工质量现场检验方法

D.1 试验装置和设备

粘结强度检测仪应符合下列规定：

- a) 粘结强度检测仪应符合 JG3056 的规定；
- b) 粘结强度检测仪应每年检定一次，发现异常时应随时维修、检定。

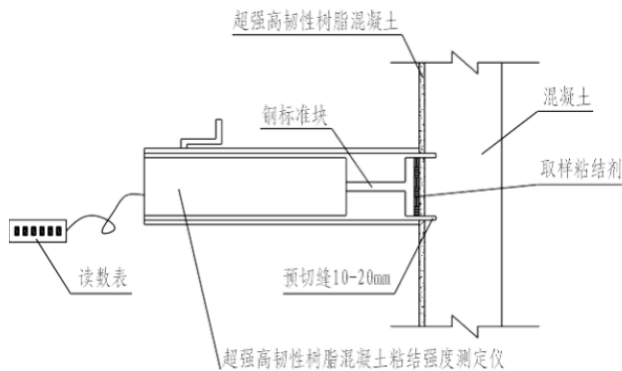
D.2 现场试样制备

D.2.1 取样规则应符合下列规定：

- a) 现场检验应在已完成树脂混凝土粘贴加固的结构表面上进行；
- b) 按实际粘贴树脂混凝土的加固结构表面面积计，500m² 以下工程取一组试样，500m² 至 1000m² 工程取两组试样，1000m² 以上工程每 1000m² 取两组试样；
- c) 试样应由检验人员随机抽取，试样间距不得小于 500mm。

D.2.2 现场试样制备应符合下列规定：

- a) 表面处理：被测部位的加固表面应清除污渍并保持干燥；
- b) 切割预切缝：从加固表面向混凝土基体内部切割预切缝，切入混凝土深度 10mm~20mm，宽度 1mm~2mm，预切缝形状为直径 40mm 的圆形；
- c) 粘贴钢标准块：采用取样粘结剂粘贴直径为 40mm 的圆形钢标准块(附图D.1)；
- d) 取样粘结剂的正拉粘结强度应大于树脂混凝土粘贴树脂的正拉粘结强度。钢标准块粘贴后应及时固定。



图D.1 树脂混凝土粘结质量现场检验示意图

D.3 试验步骤

按照粘结强度检测仪生产厂提供的使用说明书，连接钢标准块。以1500N/min~2000N/min匀速加载，记录破坏时的荷载值，并观察破坏形态。

D.4 试验结果

D.4.1 粘结强度计算应按式（D.1）计算：

$$= \frac{F}{A} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

—现场粘结强度(MPa)； F—

试样破坏时的荷载值(N)；

A—钢标准块的粘结面面积(mm²)。

D.4.2 破坏形式包括以下几种情况：

- a) 混凝土破坏：混凝土试块破坏，以 f_c 表示；
- b) 层间破坏：树脂混凝土与混凝土间复合涂层界面破坏，以 f_i 表示。

D.4.3 试验结果的表示。

- a) 每组取 3 个被测试样，以算术平均值作为该组正拉粘结强度的试验结果；
- b) 试验结果应包括破坏形式、3 个试样的正拉粘结强度值和该组正拉粘结强度的试验平均值；
- c) 按照下列判据对施工质量进行判定。
 - 1) 破坏形式为 f_c 时，施工质量判定为合格；
 - 2) 破坏形式为 f_i 时，单个试样的正拉粘结强度最小值不小于 2.5MPa 的要求，施工质量判定为合格。

D.4.4 试验报告宜包括下列内容：

- 建设单位、委托单位、施工单位和检验单位的名称；
- 制备试样的工艺条件；
- 工程名称、取样部位、试样的数量和编号；
- 试验时环境的温度、湿度；
- 粘结强度检测仪的型号、量程、加载速度；
- 试样的破坏荷载值、破坏形式、粘结强度及其平均误差；
- 试验中出现的偏差和异常现象；
- 试验日期、试验人员。

参 考 文 献

- [1] JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[2]
- JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
- [3] JT/T 532 桥梁用碳纤维布(板)
- [4] JT/T 986 钢丝绳网片-聚合物砂浆加固用砂浆外加聚合料[5]
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- [6] DL/T 5193 环氧树脂砂浆技术规程
- [7] T/CECS 146 碳纤维增强复合材料加固混凝土结构技术规程