

## 前　　言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008年工程建设标准、规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2008〕102号)的要求,标准编制组在广泛调查研究以及大量试验结果统计分析的基础上,结合现场应用效果,认真总结实践经验,参考有关国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规程。

本规程的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.材料;4.设计;5.施工;6.验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由深圳市海川实业股份有限公司负责具体技术内容解释。在执行过程中,如有意见和建议请寄送深圳市海川实业股份有限公司(地址:深圳市福田区车公庙天安数码城F3.8栋CD座八楼,邮编:518040)。

本规程主编单位:深圳市海川实业股份有限公司

中铁二院工程集团有限责任公司

本规程参编单位:西南交通大学

成都地铁有限责任公司

深圳市地铁集团有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

广州地铁设计研究院有限公司

上海启鹏工程材料科技有限公司

本规程主要起草人员:何唯平　牟　锐　李志业　马文义

陈湘生　申伟强　罗世培　林　刚

郭　俊　张志强　李　明　贺　晶

杨志豪　史海欧　刘树亚　王　建

黄永衡　张　杰　李志南　贺春宁

白国东　师晓权　李化云　周佳媚

本规程主要审查人员：张易谦 赵军 杜文库 张起森  
韩一波 黄钟晖 任庆铨 金明  
任国青 秦建设 裴利华

住房城乡建设部信息公开  
浏览专用

## 目 次

1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	2
3 材料 .....	6
4 设计 .....	8
4.1 一般规定 .....	8
4.2 承载能力极限状态计算 .....	9
4.3 变形计算 .....	16
4.4 构造规定 .....	16
5 施工 .....	17
5.1 一般规定 .....	17
5.2 玻璃纤维筋笼的制作和吊装 .....	17
5.3 筋笼的就位和浇筑混凝土 .....	18
5.4 盾构切削玻璃纤维筋混凝土的要求 .....	18
6 验收 .....	19
本规程用词说明 .....	20
引用标准名录 .....	21

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	2
3	Materials .....	6
4	Designs .....	8
4.1	General Requirement .....	8
4.2	Computation of Bearing Capacity to Limiting Condition .....	9
4.3	Computation of Deformation .....	16
4.4	Constructional Rule .....	16
5	Construction .....	17
5.1	General Requirement .....	17
5.2	Fabrication and Hoisting for GFRP Rebar Cage .....	17
5.3	Emplacement and Cast Concrete for GFRP Rebar Cage .....	18
5.4	Construction Requirement for Shield-cuttable GFRP Concrete .....	18
6	Acceptance .....	19
	Explanation of Wording in This Specification .....	20
	List of Quoted Standards .....	21

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一盾构可切削玻璃纤维筋混凝土配筋的技术和质量验收标准，确保工程质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于盾构可切削玻璃纤维筋混凝土临时结构配筋工程的设计、施工和质量验收。

**1.0.3** 盾构可切削玻璃纤维筋混凝土配筋工程的设计、施工和质量验收除应符合本规程外，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

#### 2.1.1 盾构 shield

盾构掘进机的简称，是在钢壳体保护下完成隧道掘进、拼装作业、由主机和后配套组成的机电一体化设备。

#### 2.1.2 工作井 working shaft

盾构组装、拆卸、调头、吊运管片和出渣土等使用的工作竖井，包括盾构始发工作井、盾构接收工作井等。

#### 2.1.3 盾构始发 shield launching

盾构开始掘进的施工过程。

#### 2.1.4 盾构接收 shield arrival

盾构到达接收位置的施工过程。

#### 2.1.5 玻璃纤维筋 glass fibre reinforced plastics (GFRP) rebar

由含碱量小于 1% 的无碱玻璃纤维 (E-Glass) 无捻粗纱或者高强玻璃纤维 (S) 无捻粗纱和树脂基体 (环氧树脂、乙烯基树脂)、固化剂等材料，通过成型固化工艺复合而成的筋材。简称 GFRP 筋。

#### 2.1.6 玻璃纤维筋混凝土结构 GFRP reinforced concrete structure

配置受力玻璃纤维筋的增强混凝土结构。

### 2.2 符    号

#### 2.2.1 材料性能：

$C_E$ ——工作环境影响系数；

$E_c$ ——混凝土弹性模量；

$E_f$ ——玻璃纤维筋的弹性模量；

$E_s$ ——钢筋的弹性模量；  
 $f_b$ ——玻璃纤维筋弯曲部位抗拉强度设计值；  
 $f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；  
 $f_{cr}$ ——混凝土开裂模量；  
 $f_{fb}$ ——玻璃纤维箍筋弯曲段抗拉强度设计值；  
 $f_{fu}$ ——玻璃纤维筋的抗拉强度设计值；  
 $f_k$ ——玻璃纤维筋的抗拉强度标准值；  
 $f_t$ ——混凝土轴心抗拉强度设计值；  
 $f_u$ ——玻璃纤维筋的抗拉强度；  
 $f_v$ ——玻璃纤维筋的剪切强度；  
 $\epsilon$ ——玻璃纤维筋极限拉应变；  
 $\epsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变；  
 $\epsilon_{fu}$ ——玻璃纤维筋极限拉应变设计值；  
 $\tau$ ——玻璃纤维筋与混凝土、水泥砂浆的平均粘结强度。

## 2.2.2 作用和作用效应：

$C$ ——结构构件达到正常使用要求所规定的玻璃纤维筋结  
构构件应力、变形等的限值；  
 $F_u$ ——玻璃纤维筋的抗拉承载力；  
 $M$ ——弯矩设计值；  
 $M_a$ ——梁变形计算最大弯矩；  
 $M_{cr}$ ——开裂弯矩；  
 $N$ ——轴向压力设计值；  
 $R$ ——结构构件的抗力设计值；  
 $R_f(\cdot)$ ——玻璃纤维筋混凝土结构构件的抗力函数；  
 $S$ ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值；  
 $V$ ——玻璃纤维筋混凝土构件斜截面最大剪力设计值；  
 $V_{fc}$ ——玻璃纤维筋混凝土构件中混凝土的受剪承载力设  
计值；  
 $V_{fv}$ ——玻璃纤维混凝土构件中玻璃纤维筋的受剪承载力设  
计值；

$Y$  ——正常使用极限状态荷载组合的效应设计值；

$\sigma_{fi}$  ——第  $i$  层纵向玻璃纤维筋的应力。

### 2.2.3 几何参数：

$A$  ——圆形截面面积；

$A_0$  ——构件换算有效截面面积；

$A_f$  ——纵向受拉玻璃纤维筋的截面面积；

$A_{fv}$  ——配置在同一截面内玻璃纤维箍筋各肢的全部截面  
面积；

$a$  ——纵向受拉玻璃纤维筋合力点至界面近边缘的距离；

$b$  ——截面宽度；

$d$  ——玻璃纤维筋的名义直径；

$d_b$  ——玻璃纤维筋的等效直径；

$e$  ——轴向压力作用点至纵向受拉纤维筋合力的距离；

$e_0$  ——轴向压力对截面重心的偏心距；

$e_a$  ——附加偏心距；

$h_0$  ——梁截面有效高度，纵向受拉玻璃纤维筋合力点至截  
面受压边缘的距离；

$I_{cr}$  ——开裂截面换算惯性矩；

$I_e$  ——梁截面有效惯性矩；

$I_g$  ——梁截面惯性矩；

$h_{0i}$  ——第  $i$  层纵向玻璃纤维筋截面重心至受压边缘的距离；

$r$  ——圆形截面的半径；

$r_b$  ——玻璃纤维箍筋的弯曲半径；

$r_s$  ——纵向玻璃纤维筋重心所在圆周的半径；

$s$  ——沿构件长度方向的箍筋间距；

$x$  ——等效受压区高度；

$x_b$  ——界限受压区高度；

$y_t$  ——梁截面中和轴到玻璃纤维筋的距离；

$\xi$  ——相对受压区高度；

$\xi_b$  ——相对界限受压区高度。

## 2.2.4 计算系数及其他：

$K$  ——设计弯矩调整系数；

$\alpha$  ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值；

$\alpha_b$  ——界限受压圆心角；

$\alpha_c$  ——玻璃纤维筋对混凝土抗剪能力的影响系数；

$\alpha_d$  ——粘结强度系数；

$\alpha_t$  ——纵向受拉玻璃纤维筋与全部纵向玻璃纤维筋截面面积的比值；

$\alpha_1$ 、 $\beta_1$  ——变异系数；

$\beta_b$  ——与玻璃纤维筋弹性模量及混凝土的粘结性能有关的系数；

$\beta_h$  ——截面高度影响系数；

$\gamma_0$  ——结构重要性系数；

$\eta$  ——偏心受压构件轴向压力偏心距增大系数；

$\mu$  ——修正系数；

$\rho_f$  ——梁截面配筋率；

$\rho_{fb}$  ——纵向受拉玻璃纤维筋的平衡配筋率；

$\varphi$  ——构件稳定系数。

### 3 材 料

**3.0.1** 玻璃纤维筋的螺纹杆体表面质地应均匀，无气泡和裂纹，其螺纹牙形、牙距应整齐，不应有损伤。

**3.0.2** 玻璃纤维筋中树脂基体应使用乙烯基和环氧树脂体系或乙烯基树脂和环氧树脂混合树脂，产品物理和耐久性应满足使用要求，树脂基体的原料聚合物不应含有任何聚酯成分。

**3.0.3** 玻璃纤维筋规格应符合表 3.0.3 的要求。

表 3.0.3 玻璃纤维筋规格

公称直径 (mm)	平均外径 (mm)	允许偏差 (mm)	杆体弯曲度 (mm/m)
10	10.0	± 0.2	≤ 3
12	12.0		
14	14.0		
16	16.0		
18	18.0		
20	20.0	± 0.3	≤ 4
22	22.0		
25	25.0		
28	28.0		
30	30.0	± 0.4	≤ 5
32	32.0		
34	34.0		
36	36.0		

**3.0.4** 玻璃纤维筋的密度应在  $1.9\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。

**3.0.5** 玻璃纤维筋力学性能指标应符合表 3.0.5 的要求。

表 3.0.5 玻璃纤维筋力学性能指标

公称直径 <i>d</i> (mm)	抗拉强度标准值 <i>f<sub>k</sub></i> (MPa)	剪切强度 <i>f<sub>v</sub></i> (MPa)	极限拉应变 <i>ε</i> (%)	弹性模量 <i>E<sub>f</sub></i> (GPa)
<i>D</i> < 16mm	≥ 600	≥ 110	≥ 1.2	≥ 40
16mm ≤ <i>d</i> < 25mm	≥ 550			
25mm ≤ <i>d</i> < 34mm	≥ 500			
<i>D</i> ≥ 34mm	≥ 450			

注：玻璃纤维筋抗拉强度标准值保证率在 95% 以上。

### 3.0.6 玻璃纤维筋抗拉强度设计值应按下列公式计算：

$$f_{fu} = C_E f_k \quad (3.0.6-1)$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon \quad (3.0.6-2)$$

式中： $f_{fu}$ ——玻璃纤维筋的抗拉强度设计值 (MPa)；

$f_k$ ——玻璃纤维筋的抗拉强度标准值 (MPa)；

$C_E$ ——工作环境影响系数，工作环境在室内取值 0.8，工  
作环境在室外取值 0.7；

$\epsilon$ ——玻璃纤维筋极限拉应变；

$\epsilon_{fu}$ ——玻璃纤维筋极限拉应变设计值。

## 4 设 计

### 4.1 一 般 规 定

**4.1.1** 玻璃纤维筋混凝土结构设计方法应采用概率理论为基础的极限状态设计法，采用分项系数的设计表达式进行设计。

**4.1.2** 玻璃纤维筋混凝土结构构件承载能力极限状态设计应按下列公式计算：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.1.2-1)$$

$$R = R_f(f_{tu}, f_c, \dots) \quad (4.1.2-2)$$

式中： $\gamma_0$ ——结构重要性系数：对安全等级为一级的结构构件，不小于 1.1；对安全等级为二级的结构构件，不小于 1.0；对安全等级为三级的结构构件，不小于 0.9；结构安全等级根据相关设计文件确定；

$S$ ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值 (MPa)；

$R$ ——结构构件的抗力设计值 (MPa)；

$R_f(\cdot)$ ——玻璃纤维筋混凝土结构构件的抗力函数；  
 $f_{tu}$ ——玻璃纤维筋抗拉强度设计值 (MPa)，根据本规程第 3.0.5 条和式 (3.0.6-1) 条取值；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa)，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值。

**4.1.3** 对正常使用极限状态，玻璃纤维筋混凝土结构构件的结构应力、变形等验算应符合下式要求：

$$Y \leq C \quad (4.1.3)$$

式中： $Y$ ——正常使用极限状态荷载组合的效应设计值；

$C$ ——结构构件达到正常使用要求所规定的玻璃纤维筋混凝土结构构件应力、变形等的限值。

## 4.2 承载能力极限状态计算

4.2.1 正截面承载力的计算应符合下列规定：

1 正截面承载力应按下列基本假定进行计算：

- 1) 截面应变保持平面；
- 2) 不考虑混凝土的抗拉强度；
- 3) 不考虑玻璃纤维筋的抗压强度；
- 4) 混凝土和玻璃纤维筋粘结良好。

2 正截面纵向受拉玻璃纤维筋配筋率应按下式计算：

$$\rho_f = \frac{A_f}{A_0} \quad (4.2.1-1)$$

式中： $\rho_f$  —— 玻璃纤维筋配筋率（%）；

$A_f$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$A_0$  —— 构件换算有效截面面积（ $\text{mm}^2$ ）。

3 纵向受拉玻璃纤维筋的平衡配筋率（简称平衡配筋率）应按下式计算：

$$\rho_{fb} = \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c}{f_{fu}} \cdot \frac{\epsilon_{eu}}{\epsilon_{eu} + \epsilon_{fu}} \quad (4.2.1-2)$$

式中： $\rho_{fb}$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋的平衡配筋率（%）；

$\alpha_1$ 、 $\beta_1$  —— 系数，分别取 0.92 和 0.85；

$f_c$  —— 混凝土轴心抗压强度设计值（MPa），应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

$f_{fu}$  —— 玻璃纤维筋抗拉强度设计值（MPa），应根据本规程式（3.0.6-1）计算；

$\epsilon_{eu}$  —— 混凝土极限压应变，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值；

$\epsilon_{fu}$  —— 玻璃纤维筋极限拉应变设计值，应根据本规程式（3.0.6-2）计算。

4 相对界限受压区高度应按下式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{0.002}{\epsilon_{cu}} + \frac{f_{fu}}{E_f \epsilon_{cu}}} \quad (4.2.1-3)$$

$$\xi_b = x_b / h_0 \quad (4.2.1-4)$$

式中:  $\xi_b$  —— 相对界限受压区高度 (mm);

$E_f$  —— 玻璃纤维筋的弹性模量 (MPa);

$x_b$  —— 界限受压区高度 (mm);

$h_0$  —— 截面有效高度 (mm); 纵向受拉玻璃纤维筋合力点至截面受压边缘的距离。

**5 受弯构件、偏心受压构件正截面受压区混凝土的应力图形宜简化为等效矩形应力图。矩形应力图的受压区高度 ( $x$ ) 等于按截面应变保持平面假定所确定的中和轴高度 ( $x_c$ ) 乘以系数  $\beta_1$ ,  $\beta_1$  取 0.85; 矩形应力图的应力值取为混凝土轴心抗压强度设计值 ( $f_c$ ) 乘以系数  $\alpha_1$ ,  $\alpha_1$  取 0.92。**

#### 4.2.2 正截面受弯承载力计算应符合下列规定。

**1 矩形截面玻璃纤维筋混凝土受弯构件正截面承载力 (图 4.2.2-1) 应按下式计算:**

$$\text{弯矩设计值: } M \leq A_f f_{fu} \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (4.2.2-1)$$

$$\text{等效受压区高度: } x = \frac{A_f f_{fu}}{\alpha_1 f_c b} \quad (4.2.2-2)$$

混凝土受压区高度应符合下列条件:

$$x \geq \xi_b h_0 \quad (4.2.2-3)$$

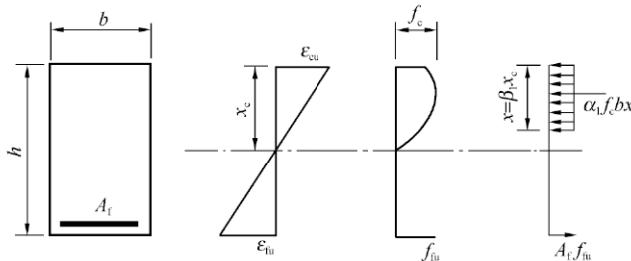


图 4.2.2-1 矩形截面受弯构件正截面承载力计算图示

式中： $M$  —— 弯矩设计值 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )；  
 $A_f$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋的截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；  
 $f_{fu}$  —— 玻璃纤维筋抗拉强度设计值 (MPa)；  
 $h_0$  —— 截面有效高度；纵向受拉玻璃纤维筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm)；  
 $x$  —— 等效受压区高度 (mm)；  
 $b$  —— 截面宽度 (mm)；  
 $f_c$  —— 混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa)；  
 $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  —— 系数，分别取 0.92 和 0.85。

**2** 沿周边均匀配置纵向玻璃纤维筋的圆形截面玻璃纤维筋混凝土受弯构件正截面承载力 (图 4.2.2-2) 应按下式计算：

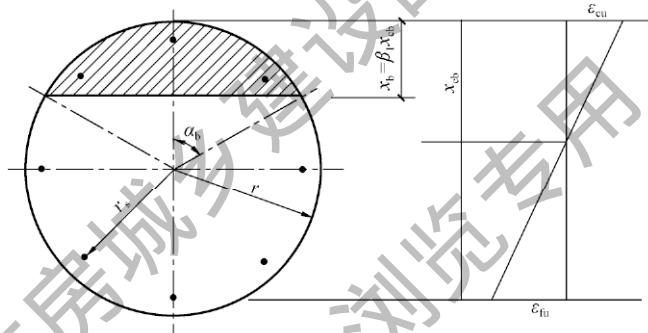


图 4.2.2-2 沿圆周均匀配置的圆形截面受弯构件正截面承载力计算图示

$$\alpha \alpha_1 f_c A \left( 1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha} \right) = \alpha_t f_{fu} A_f \quad (4.2.2-4)$$

$$KM \leqslant \frac{2}{3} \alpha_1 f_c A r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_{fu} A_f r_s \frac{\sin \pi\alpha_t}{\pi} \quad (4.2.2-5)$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha \quad (4.2.2-6)$$

$$\alpha_b = \arccos \left( r - \beta_1 \frac{r + r_s}{1 + \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{cu} E_f}} \right) \quad (4.2.2-7)$$

式中： $A$  —— 圆形截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$A_f$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋的截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$E_f$ ——玻璃纤维筋的弹性模量 (MPa);  
 $r$ ——圆形截面的半径 (mm);  
 $r_s$ ——纵向玻璃纤维筋重心所在圆周的半径 (mm);  
 $\alpha$ ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值 (%);  
 $\alpha_t$ ——纵向受拉玻璃纤维筋与全部纵向玻璃纤维筋截面面积的比值, 当  $\alpha > 0.625$  时, 取  $\alpha_t = 0$ ;  
 $K$ ——设计弯矩调整系数, 取 1.4;  
 $\alpha_b$ ——界限受压圆心角。

#### 4.2.3 正截面受压承载力计算应符合下列规定。

**1 玻璃纤维筋混凝土轴心受压构件正截面承载力**应按下式计算:

$$N \leq 0.9\varphi \cdot f_c A \quad (4.2.3-1)$$

式中:  $N$ ——轴向压力设计值 (N);

$\varphi$ ——构件稳定系数, 可根据表 4.2.3 取用;

$A$ ——构件截面面积 ( $\text{mm}^2$ )。

表 4.2.3 纤维筋混凝土构件的稳定系数 ( $\varphi$ )

$l_0/b$	<2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$l_0/i$	<7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	76	83	90	97	104
$\varphi$	1.0	0.81	0.79	0.77	0.74	0.69	0.66	0.62	0.58	0.55	0.51	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36

注: 1 表中  $l_0$  为构件的计算长度, 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 中的第 6.2.20 条计算;

2 在计算  $l_0/b$  时,  $b$  的取值分别是对偏心受压构件, 取弯矩作用平面的截面高度; 对轴心受压构件, 取截面短边尺寸;  $i$  为截面的最小回转半径。

**2 矩形截面玻璃纤维筋混凝土偏心受压构件正截面承载力**应按下式计算:

$$N \leq \alpha_1 f_c b x - A_f \sigma_f \quad (4.2.3-2)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (4.2.3-3)$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a \quad (4.2.3-4)$$

$$e_i = e_a + e_a \quad (4.2.3-5)$$

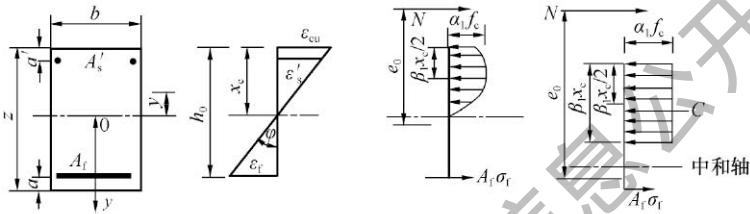


图 4.2.3 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算图示

3 正截面受压承载力计算还应符合下列规定：

1) 构件的相对受压区高度应按下列公式计算：

$$\xi = x/h_0 > \xi_b \quad (4.2.3-6)$$

2) 纵向受拉玻璃纤维筋应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{fi} = E_f \epsilon_{cu} \left( \frac{\beta_1 h_{0i}}{x} - 1 \right) \quad (4.2.3-7)$$

$$\text{或 } \sigma_{fi} = \frac{f_{fu}}{\xi_b - \beta_1} \left( \frac{x}{h_{0i}} - \beta_1 \right) \quad (4.2.3-8)$$

式中： $\sigma_{fi}$  —— 第  $i$  层纵向玻璃纤维筋的应力 (MPa)；

$N$  —— 轴向压力设计值 (N)；

$f_c$  —— 混凝土强度设计值 (MPa)；

$b$  —— 截面宽度 (mm)；

$x$  —— 等效受压区高度 (mm)；

$f_{fu}$  —— 玻璃纤维筋抗拉强度设计值 (MPa)；

$A_f$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋的截面面积 ( $mm^2$ )；

$e$  —— 轴向压力作用点至纵向受拉纤维筋合力的距离 (mm)；

$h_0$  —— 截面有效高度；纵向受拉玻璃纤维筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm)；

$\xi$  —— 相对受压区高度 (mm)；

$\xi_b$  —— 相对界限受压区高度 (mm)；

- $a$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋合力点至界面近边缘的距离 (mm);
- $E_f$  —— 玻璃纤维筋的弹性模量 (MPa);
- $\epsilon_{cu}$  —— 混凝土极限压应变 (MPa);
- $\eta$  —— 偏心受压构件轴向压力偏心距增大系数, 应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值;
- $e_0$  —— 轴向压力对截面重心的偏心距 (mm);  $e_0 = M/N$ , 其中  $M$  为弯矩设计值 ( $kN \cdot m$ );
- $e_a$  —— 附加偏心距, 取 45mm 和偏心方向截面大尺寸的  $1/13.6$  两者中的较大值;
- $\alpha_1, \beta_1$  —— 系数, 分别取 0.92 和 0.85;
- $h_{0i}$  —— 第  $i$  层纵向玻璃纤维筋截面重心至受压边缘的距离 (mm)。

**4 圆形截面玻璃纤维筋混凝土偏心受压构件正截面承载力**应按下列公式计算:

$$N \leq \alpha \alpha_1 f_c A \left( 1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha} \right) - \alpha_t f_{fu} A_f \quad (4.2.3-9)$$

$$KM \leq \frac{2}{3} \alpha_1 f_c A r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_{fu} A_f r_s \frac{\sin \pi\alpha_t}{\pi} \quad (4.2.3-10)$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha \quad (4.2.3-11)$$

$$\alpha_b = \arccos \left( r - \beta_1 \frac{r + r_s}{1 + \frac{f_{fu}}{\epsilon_{cu} E_f}} \right) \quad (4.2.3-12)$$

式中:  $N$  —— 轴向压力设计值 (N);

$M$  —— 弯矩设计值 ( $kN \cdot m$ );

$A$  —— 圆形截面面积 ( $mm^2$ );

$A_f$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋的截面面积 ( $mm^2$ );

$r$  —— 圆形截面的半径 (mm);

$r_s$  —— 纵向玻璃纤维筋重心所在圆周的半径 (mm);

$E_f$  —— 玻璃纤维筋的弹性模量 (MPa);

$\alpha$  —— 对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值 (%)；

$\alpha_t$  —— 纵向受拉玻璃纤维筋与全部纵向玻璃纤维筋截面面积的比值，当  $\alpha > 0.625$  时，取  $\alpha_t = 0$ ；

$\alpha_b$  —— 界限受压圆心角；

$K$  —— 设计弯矩调整系数，取 1.4。

注：本条适用于截面内纵向玻璃纤维筋数量不少于 8 根的情况；且  $\alpha > \alpha_b$ 。

#### 4.2.4 斜截面承载力计算应符合下列规定：

1 玻璃纤维筋混凝土斜截面受剪承载力应按下式计算：

$$V \leq V_{fc} + V_{fv} \quad (4.2.4-1)$$

2 当构件为矩形截面时应按下列公式计算：

$$V_{fc} = 0.7\alpha_c f_t b h_0 \quad (4.2.4-2)$$

$$V_{fv} = 1.25 f_{fb} \frac{A_{fv}}{s} h_0 \quad (4.2.4-3)$$

3 当构件为圆形截面时应按下列公式计算：

$$V_{fc} = 1.98\alpha_c f_t r^2 \quad (4.2.4-4)$$

$$V_{fv} = 1.25 f_{fb} \frac{A_{fv}}{s} h_0 \quad (4.2.4-5)$$

$$f_{fb} = \left(0.05 \frac{r_b}{d} + 0.3\right) f_{fu} \leq f_{fu} \quad (4.2.4-6)$$

式中： $V$  —— 玻璃纤维筋混凝土构件斜截面最大剪力设计值 (N)；

$\alpha_c$  —— 玻璃纤维筋对混凝土抗剪能力的影响系数：

当剪跨比  $\geq 0.7$ ，且受剪截面满足  $V_{fc} \leq 0.169 f_c b h_0$  时， $\alpha_c = 0.67$ ；当剪跨比  $\leq 0.5$ ，且受剪截面满足  $V_{fc} \leq 0.25 f_c b h_0$  时， $\alpha_c = 1.0$ ；剪跨比为中间值时， $\alpha_c$  采用内插值；

$f_t$  —— 混凝土轴心抗拉强度设计值 (MPa)；

$V_{fc}$  —— 玻璃纤维筋混凝土构件中混凝土的受剪承载力设计值 (N)；  
 $V_{fv}$  —— 玻璃纤维混凝土构件中玻璃纤维筋的受剪承载力设计值 (N)；  
 $A_{fv}$  —— 配置在同一截面内玻璃纤维箍筋各肢的全部截面面积 ( $\text{mm}^2$ )；  
 $s$  —— 沿构件长度方向的箍筋间距 (mm)；  
 $f_{fb}$  —— 玻璃纤维箍筋弯曲段抗拉强度设计值 (MPa)；  
 $f_{fu}$  —— 玻璃纤维筋抗拉强度设计值 (MPa)；  
 $r_b$  —— 玻璃纤维箍筋的弯曲半径 (mm)；  
 $d$  —— 玻璃纤维筋的名义直径 (mm)。

#### 4.3 变形计算

**4.3.1** 正常使用极限状态的挠度，宜根据构件的实际刚度和荷载情况，按结构力学方法进行计算。

#### 4.4 构造规定

**4.4.1** 玻璃纤维筋在混凝土中应用时，玻璃纤维筋混凝土保护层厚度不应小于筋材直径，一般主筋的保护层厚度不应小于 50mm。

**4.4.2** 玻璃纤维筋的锚固长度和搭接长度不宜小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中规定的同直径热轧带肋钢筋锚固长度和搭接长度的 1.25 倍，且不应小于 40 倍的筋材直径。

**4.4.3** 矩形截面玻璃纤维筋混凝土受弯构件破坏模式应设计为混凝土受压破坏模式，受力筋配筋率应不小于平衡配筋率的 1.4 倍。

## 5 施工

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 施工前应编制施工组织设计。
- 5.1.2** 施工现场的玻璃纤维筋应水平放置，在室外存放时应避免暴晒，杆体端部不应沾染油污。
- 5.1.3** 玻璃纤维筋装卸和运输过程中不应抛掷和撞击。
- 5.1.4** 施工前应核对产品质量保证书、检验报告，并应验收品种、规格和数量。
- 5.1.5** 玻璃纤维筋搬运、制作、安装以及施工过程中，宜避免其与皮肤的直接接触。

### 5.2 玻璃纤维筋笼的制作和吊装

- 5.2.1** 在筋笼的制作过程中，筋材搭接应布置在盾构机刀盘外1m以上的范围，且搭接过程中同一断面搭接应错开50%，其中纵向受拉玻璃纤维筋与钢筋或玻璃纤维筋与玻璃纤维筋之间的搭接应采用钢制U形卡固定。U形卡应与筋材直径相适应，每根筋材连接端的U形卡数量不应少于2个。U形卡应符合现行国家标准《钢丝绳夹》GB/T 5976的要求。
- 5.2.2** 其他部位间的玻璃纤维筋与钢筋、玻璃纤维筋与玻璃纤维筋之间的搭接应采用绑丝或尼龙绳进行绑扎，绑扎应牢靠。
- 5.2.3** 筋笼制作过程中应采取增加玻璃纤维筋筋笼刚度的保护措施。筋笼两侧宜采用工字钢包边。筋笼内部宜采用玻璃纤维筋桁架或后期可去除的钢筋桁架。
- 5.2.4** 当筋笼存在两个以上的搭接部位，且需吊装才能将筋笼放置到位时，吊装的方式宜采用从上向下（沿高度方向）的三吊点方式起吊，吊点应布置在钢筋之上，严禁将吊点固定在玻璃纤

维筋上。

**5.2.5** 临时钢架应在筋笼进入槽（孔）前方便地拆除，拆除过程中不应损坏玻璃纤维筋。

**5.2.6** 筋笼应经试吊后方可正式起吊。

### **5.3 筋笼的就位和浇筑混凝土**

**5.3.1** 筋笼放入槽（孔）前应核对玻璃纤维筋的布置位置，钢筋等硬质金属构件不得伸入盾构切削范围。

**5.3.2** 应在玻璃纤维筋笼底部安装配重，下放时应缓慢轻放，遇到障碍时应及时处理，不得强行下放筋笼。

**5.3.3** 筋笼上应安装牢固的保护层垫块。

**5.3.4** 混凝土浇筑的溜筒应轻缓匀速提拉，不得冲撞筋笼。

### **5.4 盾构切削玻璃纤维筋混凝土的要求**

**5.4.1** 盾构始发和接收前，应根据工程地质、水文地质、周边环境等条件提前进行降水和洞门加固等辅助措施。

**5.4.2** 当盾构切削玻璃纤维筋混凝土时，应根据现场实际情况控制合适的转速和推力等掘进参数。

**5.4.3** 当采用泥水盾构时，应及时、定期反循环冲洗泥浆泵。

## 6 验 收

**6.0.1** 玻璃纤维筋混凝土围护结构的制作要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等相关要求。

**6.0.2** 玻璃纤维筋笼的整体构造应符合设计要求。

**6.0.3** 玻璃纤维筋笼等构造验收应按国家现行标准《建筑工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行。

## 本规程用词说明

**1** 为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用语说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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：

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，在条件许可时，首先应这样做的：

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** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。

## 引用标准名录

- 1** 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2** 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 3** 《钢丝绳夹》GB/T 5976
- 4** 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 5** 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120