

文章编号: 0451-0712(2006)06-0158-05

中图分类号: U414.18

文献标识码: B

# 钢纤维混凝土在高速公路隧道路面结构中的应用

郝建国

(山西省交通建设工程监理总公司 太原市 030012)

**摘 要:** 结合钢纤维混凝土在浙江甬(宁波)金(金华)高速公路(金华段)隧道路面结构中的应用, 介绍钢纤维的技术要求性能, 钢纤维混凝土的配合比及施工工艺。就钢纤维混凝土的发展前景进行了探讨。

**关键词:** 钢纤维混凝土; 配合比设计; 施工工艺; 技术要求; 经济性比较

浙江省甬(宁波)金(金华)高速公路岩坑尖隧道群单幅总长 6 609 m, 原路面结构层设计为 26 cm 普通水泥混凝土。经相关调查反映, 传统水泥混凝土路面的缺陷与不足之处有: (1) 因洞内路面潮湿, 水泥混凝土表面摩擦系数不足, 造成车辆制动效果不佳; (2) 车辆行驶噪音大, 司乘人员明显感觉不适; (3) 因工艺原因水泥混凝土路面平整度很难达到标准要求, 舒适性差。几经论证, 该隧道路面变更为复合式路面结构: 即 20 cm 钢纤维混凝土 + 9 cm 改性沥青混凝土面层。其设计理念为: 钢纤维混凝土加强路面持力层抗弯拉强度, 预防断板引发的沥青混凝土面层早损, 用沥青混凝土上面层结构细密平整度好的优势来改善洞内噪音大和不舒适的缺陷。经精心施工准备, 优化配比设计与比选施工方案, 取得理想的施工效果。现将一些较成熟的钢纤维混凝土施工工艺过程推荐给大家。

## 1 概况

钢纤维混凝土简称 SFRC, 它是将钢纤维均匀地分散于基体混凝土中, 通过分散的钢纤维减少动态荷载作用在基体混凝土上引起的应力集中, 从而控制混凝土裂缝的产生和发展, 提高复合材料的抗裂性。同时由于混凝土与钢纤维界面间有很大的粘结力, 因而可将外力传递到抗拉强度大、延伸率高的钢纤维上, 使钢纤维混凝土作为一个均匀整体抵抗外力作用。SFRC 显著地提高了素混凝土的抗弯拉强度、抗冲击韧性、抗裂性、抗疲劳性能和耐久性等, 使得本属于脆性材的混凝土转变为具有良好韧性的

复合材料。因此钢纤维混凝土在隧道路面结构中使用, 可以明显减少路面的龟裂、断板破损等病害, 显著提高路面的使用寿命。钢纤维混凝土现已列入《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2002) 和《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30-2003), 为钢纤维混凝土在高等级公路中大规模使用提供了设计依据和施工技术要求。

随着国民经济和道路运输业的迅猛发展, 重载车辆十分普遍, 四轴、五轴、甚至六轴大型货车日益剧增。总质量从 40 t 到 139 t, 经轴载换算一台红岩车相当于 20 多辆标准轴载车, 一辆斯太尔托挂车相当于 70 多辆标准轴载车。特别是甬(宁波)金(金华)高速公路是浙江省公路主骨架“两纵、两横、十连一绕二通道”中的一连, 它横贯浙江省中东部, 为同江至三亚(甬台温)、上海至瑞丽(杭金衢)、上虞至三门(上山线)、诸暨至永嘉(在建)4 条高速公路浙江境内重要的连接线, 是浙江中西部及周边省相关地区至国家主枢纽海港——宁波港的大通道。大型集装箱车是本条高速公路的运输特点。重交通比例的增加造成路面早期龟裂、断板和破损的可能会更为突出。

## 2 钢纤维及其他材料质量要求

### 2.1 钢纤维的分类

根据钢纤维混凝土体内受力情况分析认为: 钢纤维所受应力与纤维长径比、水泥浆与纤维界面粘结力成正比。为了充分发挥钢纤维的材料性能, 使钢纤维混凝土整体抗弯拉强度有效增强, 采取以下措施: (1) 提高钢纤维的长径比; (2) 提高钢纤维与基体



之间的粘结力。但长径比过大,施工性能不好,和易性降低,还会产生钢纤维结球现象,影响钢纤维混凝土正常的受力状态。因此,通常通过提高钢纤维界面粘结性来保证钢纤维混凝土的强度。钢纤维界面粘结性通常取决于钢纤维的形状及表面粗糙程度。钢纤维分类见表1。

表1 钢纤维的分类

类型号	类型名称	截面形状	长度方向
I	圆直型	圆形	直
II	熔抽型	月牙形	直
III	剪切型	矩形	直、曲波浪、扭曲或两端带钩

## 2.2 钢纤维的形状尺寸及其偏差

钢纤维的长度可分为20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、40 mm、45 mm和50 mm等各种不同规格。钢纤维长度必须大于粗集料的最大粒径,使钢纤维越过混凝土最大粒径的粗集料建立起搭接关系,只有这样才能在混凝土中真正起到提高抗弯拉、抗裂和增加韧性等的作用。为此钢纤维的长度应与集料的最大粒径相匹配,最大粒径应为钢纤维长度的 $2/3 \sim 1/2$ ,即跨越最大粒径的锚固长度不应小于 $1/3$ ,同时钢纤维长度也不可过长,避免搅拌不均或搅拌困难。钢纤维不应超过粗集料最大粒径的2倍,本项目选用35 mm。

钢纤维的直径或等效直径应在0.3~0.8 mm的范围。本工程使用的钢纤维等效直径为0.67 mm。

钢纤维长度偏差不应超过长度公称值的 $\pm 5\%$ 。每t产品随机取样100根长度偏差按下式计算:

$$\delta_l = \frac{\sum_{i=1}^{100} l_i}{100} - l_f \quad (1)$$

式中: $\delta_l$ 为钢纤维长度偏差; $l_i$ 为每根受检钢纤维实测长度; $l_f$ 为钢纤维公称直径。

钢纤维的质量偏差不应超过按尺寸公称值计算质量的 $\pm 15\%$ ,同样每t产品随机取样100根,钢纤维的质量偏差按下式计算:

$$\delta_w = w_o - w_c \quad (2)$$

式中: $\delta_w$ 为钢纤维的质量偏差值; $w_o$ 为100根钢纤维实测质量; $w_c$ 为按钢纤维形状尺寸公称值计算100根钢纤维理论质量。

## 2.3 钢纤维的强度

单丝抗拉强度计算:

$$f_{st} = \frac{F_{\max}}{A_{sf}} \quad (3)$$

式中: $f_{st}$ 为钢纤维抗拉强度; $F_{\max}$ 为单根钢纤维抗拉试验的最大拉伸荷载; $A_{sf}$ 为钢纤维截面公称面积。

钢纤维混凝土结构要保证其破坏是韧性破坏,而不是脆性破坏,就要保证锚固在混凝土中的钢纤维在破坏时是被拔出来,而不是被拉断。也就是钢纤维本身的抗拉强度,一定要大于其拔出所产生的应力,否则结构韧性无法保障。那么要求掺加的钢纤维能够承担混凝土基体开裂所增加的应力,根据大连理工学院赵国藩院士主编的《钢纤维混凝土》中的分析研究,钢纤维的强度要求与掺量应该满足如下关系:

$$\eta_f f_{fu} \rho_f = \eta_f \epsilon_{cu} E_f \rho_f + f_{cu} (1 - \rho_f) \quad (4)$$

式中: $\eta_f$ 为乱向钢纤维的增强效率,对于三维乱向钢纤维, $\eta_f = 0.5(1 - L_{fcrit}/2L_f)$ ,一般情况下 $l_f \gg l_{fcrit}$ , $\eta_f = 0.5$ ;  $f_{fu}$ 为单丝钢纤维的抗拉强度; $\rho_f$ 为钢纤维的体积掺量; $\epsilon_{cu}$ 为混凝土基体的极限应变,一般取 $2 \times 10^{-4}$ ;  $E_f$ 为钢纤维的弹性模量,一般取 $2.0 \times 10^5$  MPa;  $f_{cu}$ 为混凝土基体的抗拉强度,整理后可得:

$$f_{fu} = \epsilon_{cu} E_f + f_{cu} \frac{1 - \rho_f}{0.5 \rho_f} \quad (5)$$

钢纤维一般分380 MPa、600 MPa和1 000 MPa 3个强度等级,对基体为C<sub>30</sub>、C<sub>40</sub>、C<sub>50</sub>的钢纤维混凝土而言,在实际生产中选用不低于600 MPa的钢纤维。本工程项目选用浙江产经纬牌钢纤维,抗拉强度680 MPa,大于600 MPa,长度35 mm;等效直径0.67 mm;弯曲性能100%,不折断大于90%。铁锈粉及杂质(粘连片)含量 $< 1\%$ 。类型为剪切型,外观形状为波浪形。

钢纤维其他技术指标符合《混凝土用钢纤维》(YB/T158—1999)和《钢纤维混凝土》(JG/T3064—1999)的规定。

## 2.4 其他材料的质量要求

道路用钢纤维混凝土拌和料是由水泥、粗细集料、钢纤维、化学外加剂和水按一定比例配制而成。

水泥通常选用道路水泥或普通硅酸盐水泥。强度等级根据混凝土设计弯拉强度按水泥抗折强度标准选择,通常采用抗折强度 $\geq 7.5$  MPa的水泥。本项目选用尖峰P.O42.5水泥,其实测抗折强度为8.8 MPa。检验方法采用《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T17671—1999)。

粗集料宜采用质地坚硬、洁净、无风化岩石加工而成的碎石。加工宜采用反击破工艺,颗粒形状趋于立方体为佳, $< 0.075$  mm的粉尘含量 $< 1.0\%$ ,最



大粒径 $\leq 19$  mm, 分级掺配符合连续级配要求。检验采用《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000)。本项目采用反击破加工的石灰岩碎石。

细集料宜使用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂或机制砂, 细度模数( $M_x$ ) 2.0%~3.5%, 含泥量 $< 2\%$ , 检验按照《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000)进行。本项目使用 $M_x=2.63$ 的天然河砂, 4.75 mm 以上超粒径部分, 单粒级压碎指标值 10.2%, 含量占 23%, 在施工配合比中等量替代细集料使用。但不得超过细集料总量的 20%。

外加剂在与水泥适应性合格的条件下, 按施工季节选用。高温季节采用缓凝高效减水剂, 低温季节采用早强高效减水剂。本项目采用江苏建筑科学院生产的 JM-9 缓凝高效减水剂。

水的技术指标为: pH 值=4, 含盐量 $\leq 0.005$  mg/ml, 硫酸盐含量 $< 0.0027$  mg/ml。饮用水可直接使用, 本项目采用饮用水。

### 3 钢纤维混凝土配合比设计

道路用钢纤维混凝土配合比设计按照抗弯拉强度和抗压强度进行双控。采用以抗弯拉强度为主控指标进行设计, 抗折断件的抗压强度作为混凝土强度等级的参考。本项目隧道路面结构钢纤维混凝土抗弯拉强度为 6.0 MPa。

#### 3.1 配制强度的确定

$$f_{rf} = f_r \times (1 + \alpha \times \rho_f l_f / d_f) \quad (6)$$

$$f_{cf} = f_{rf} / (1 - 1.04 C_{v1}) (1 - t C_{v2}) \quad (7)$$

式中:  $f_{rf}$  为钢纤维混凝土弯拉强度设计值, 通常由设计文件提供;  $f_r$  为与钢纤维混凝土具有相同材料、相同水灰比和匹配稠度普通混凝土的弯拉强度设计值, 通常由设计文件提供;  $\alpha$  为钢纤维对弯拉强度的影响系数, 由试验确定;  $\rho_f$  为钢纤维的体积掺率, %;  $l_f/d_f$  为钢纤维的长径比;  $f_{cf}$  为钢纤维混凝土的配制强度, 根据公路技术等级要求的判别概率( $p$ )和试验样本数( $n$ )查表确定;  $C_{v1}$  为弯拉强度施工变异系数, 在 0.05~0.10 范围内根据施工控制水平取值;  $C_{v2}$  为弯拉强度试验样本变异系数, 在 0.05~0.10 范围内根据试验控制水平取值;  $t$  为保证率系数。

#### 3.2 水灰比( $W/C$ )的计算和确定

以无钢纤维的普通混凝土基体弯拉强度计算水灰比, 结合耐久性要求确定。

$$f_c = f_r / (1 - 1.04 C_{v1}) (1 - t C_{v2}) \quad (8)$$

$$W/C = 1.5684 / (f_c + 1.0097 - 0.3595 f_c) \quad (9)$$

式中  $f_c$  为普通混凝土的配制强度;  $f_r$  为水泥抗折强度实测值; 其他同上。

#### 3.3 钢纤维掺量体积率计算( $\rho_f$ )

由板厚设计折减系数(0.65~0.75), 钢纤维长径比  $l_f/d_f$  (30~100), 及钢纤维外形按经验或由试验确定。工程实际中, 通常在设计规定范围内, 按工程投资承受能力由设计部门在 0.6%~1.2% 的范围内给定。

$$m_f = 7800 \text{ kg/m}^3 \times \rho_f \quad (10)$$

式中:  $\rho_f$  为钢纤维的掺配体积百分率;  $m_f$  为钢纤维掺配质量。

#### 3.4 单位用水量( $W_f$ )

按不同施工工艺满足工作性要求稠度, 查表初选  $W_f$  作为初定配比参数。初定配比拌小样试验, 调整至要求塌落度, 计算得基准用水量。减少用水量, 掺入高效减水剂, 调整剂量至要求稠度, 测得实际减水率( $\beta$ ), 确定外加剂掺量及实际用水量。

$$W_f = W_0 (1 - \beta) \quad (11)$$

式中:  $W_0$  为不掺减水剂基准用水量;  $\beta$  为减水剂的减水率, %。

#### 3.5 单位水泥用量( $C_f$ )

按  $C_f = W_f \times (C/W)$ , 并结合耐久性要求最小水泥用量确定  $C_f$ 。

$C/W$  为灰水比。

#### 3.6 砂率( $\beta_{sf}$ )

$$\beta_{sf} = \beta_s + 10\rho_f \quad (12)$$

式中:  $\beta_s$  为普通混凝土砂率, %, 按粗集料种类和砂的细度模数查表;  $\rho_f$  为钢纤维的体积率, %。

按初定配比经试配调整以表面振捣易密实, 抹面中表面不裸露钢纤维为度。一般 38%~50% 为宜。无抗磨、抗滑要求的复合路面在高限范围选择, 有抗磨、抗滑要求的路面在低限范围选择。

#### 3.7 砂石用量

采用密度法(假定容重)确定砂石用量。

按以下公式计算得  $m_s$ 、 $m_g$ :

$$m_c + m_w + m_s + m_g + m_f = r_{fe} \quad (13)$$

$$\beta_s = m_s / (m_s + m_g) \quad (14)$$

$$m_f = 7800 \text{ kg/m}^3 \times \rho_f \quad (15)$$

式中:  $r_{fe}$  为假定容重, 根据经验在 2450~2580 kg/m<sup>3</sup> 范围内取值。

#### 3.8 确定基准配合比

按掺入减水剂的配比试拌, 当拌和物稠度或粘聚性、保水性不好时保持  $W/C$  值不变, 调整  $W$  值或



$\beta_s$  至满足要求。实测容重,确定供强度试验用的基准配合比。

### 3.9 设计配合比的确定

保持  $W_o$  不变,按  $W/C$  在  $\pm 0.5 \sim \pm 0.3$  的幅度,结合耐久性对水灰比的限制要求,求得上下单位水泥用量,并根据工作性适当调整砂率,确定强度试验配合比。以基准配合比及水泥上下波动共计 3 个配合比进行强度试验。根据强度试验结果,选定不小于且接近设计配制强度的配比作为设计配合比。

### 3.10 施工配合比的确定

通过试验结合施工控制的特点,确定水泥:黄砂:碎石:水:外加剂的设计配合比为  $1:1.95:2.69:0.45:0.013$ ,  $m_c=400 \text{ kg/m}^3$ ,  $m_f=7\ 800 \times 0.8\%=62.4 \text{ kg/m}^3$ 。JM—9 减水剂  $1.3\%$ 。其强度实测值  $f_{cf}=8.25 \text{ MPa}$ ,  $R_{cf}=55.8 \text{ MPa}$ 。15 种不同配合比参数对比见表 2。由表 2 得出:(1)在相同条件下,钢纤维的  $\rho_f$  增加  $0.1\%$ ,其  $f_c$  值将增加  $7\% \sim 10\%$ 。 $0.6\%$  的钢纤维参量,混凝土强度完全可以达到弯拉强度不小于  $6.0 \text{ MPa}$  的设计要求;(2)钢纤维的形状对混凝土的抗弯拉强度没有明显影响。

表 2 15 种不同配合比参数对比

水灰比 (W/C)	水泥品种及 用量 $m_c/(\text{kg/m}^3)$	钢纤维品种 及掺量 $\rho_f$ %	试件抗弯 拉强度 $f_{cf}$ MPa	断件抗压 强度 $R_{cf}$ MPa
0.37	尖峰 42.5R, 486	剪切平直, 0.8	10.13	65.1
0.39	尖峰 42.5R, 462	剪切平直, 0.8	9.78	58.3
0.42	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.8	9.44	57.2
0.45	尖峰 42.5R, 400	剪切平直, 0.8	8.25	55.8
0.47	尖峰 42.5R, 383	剪切平直, 0.8	7.87	54.2
0.42	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.8	9.44	57.2
0.42	虎山 42.5R, 429	剪切平直, 0.8	9.24	61.8
0.42	尖峰 42.5R, 429	拉丝端钩, 0.8	9.31	62.9
0.42	虎山 42.5R, 429	拉丝端钩, 0.8	8.69	64.1
0.42	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.6	7.91	56.8
0.42	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.7	9.07	57.4
0.42	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.8	9.44	57.2
0.37	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.6	8.69	64.6
0.37	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.7	9.31	64.5
0.37	尖峰 42.5R, 429	剪切平直, 0.8	10.13	65.1

## 4 钢纤维混凝土施工工艺

### 4.1 混凝土拌和

根据用量大小和使用部位选用不同搅拌工艺,计算好每盘混凝土各种原材料的数量。对于小方量、零星工程宜采用滚筒式搅拌工艺。流程为:粗集料+钢纤维,先干拌  $1.5 \text{ min}$ ;再加细集料+水泥,干拌  $2 \sim 3 \text{ min}$ ;再加水+外加剂,湿拌  $1.5 \sim 3.0 \text{ min}$  出料。总拌和时间不宜超过  $5.5 \sim 6 \text{ min}$ 。其特点为拌和时间长、生产效率低和钢纤维分散均匀。对于大方量、机械化施工的混凝土,宜采用强制式搅拌工艺。流程为:粗集料+细集料+水泥+钢纤维,先干拌  $20 \sim 30 \text{ s}$ ;再加水+外加剂,湿拌  $60 \sim 90 \text{ s}$  出料。其特点为拌和时间短、产量大和生产效率高,钢纤维分散性相对较差。本项目采用 2 台 500 型强制式搅拌机,生产能力为  $2 \times 0.4 \times 60/2 = 24 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

### 4.2 混凝土运输

运输车辆要配足,运输能力大于拌和机产量的  $20\%$ 。运输采用农用自卸车,装车前车辆应清洁车厢,洒水润壁排干积水,动态受料防止离析。运输过程起停平稳减少颠簸,途中不得随意耽搁,防止拌和物离析及漏料、漏浆污染路面。车辆在模板内掉头或错车时,严禁碰撞模板。倒车卸料严禁碰撞前场设备及测量仪器,卸料完毕迅速离开。

### 4.3 摊铺振捣

三辊轴整平机铺筑,禁止将振捣棒组插入到路面钢纤维混凝土内部振捣,也不得使用振捣棒人工插捣。应采用大功率平板式振捣器分两层振捣密实,再采用震动梁压实整平。振动梁底面应设凸棱,以利表面钢纤维和粗集料压入,然后用三辊轴整平机将表面辊压平整,最后用刮尺刮板精平表面。表面不得有钢纤维裸露、上翘,表面下  $10 \sim 30 \text{ mm}$  深度钢纤维基本处于平均分布状态。

松铺系数取  $1.12 \sim 1.25$ ,松铺厚度由试铺确定。振动压实混合料就位,宜高于模板顶面  $5 \sim 20 \text{ mm}$ ,整平作业单元长度宜为  $20 \sim 30 \text{ m}$ ,整平采用前进振动,后退静滚  $2 \sim 3$  遍,表面砂浆厚度为  $(4 \pm 1) \text{ mm}$ ,振压与整平两工序间不宜超过  $15 \text{ min}$ 。

### 4.4 切缝和养生

钢纤维混凝土面板设多种接缝。胀缝 1 道/ $240 \text{ m}$ ,设传力杆钢筋及钢筋支架,胀缝与路中线垂直,缝中不得有连浆现象,缝隙内应及时铺设填缝材料。缩缝 1 道/ $5 \text{ m}$ ,深度为板厚的  $1/4 \sim 1/5$ ,且不少于  $6 \text{ cm}$ ,缝宽为  $4 \sim 6 \text{ mm}$ 。切缝时间按气温确定,先试切缝以



钢纤维不刮坏边沿为度。纵缝设置拉杆。

## 5 钢纤维混凝土的施工质量检测

### 5.1 拌和料的检测

检查拌和料的和易性可直接反映拌和料施工质量控制的好坏。经常在拌和机的出料口检查拌和料的和易性,是钢纤维混凝土施工质量控制的重要环节,如果拌和料的塌落度及粘聚性、保水性有较大波动时,要及时分析原因并加以解决。检查新拌混合料中钢纤维是否分散均匀,有无结团现象,测定钢纤维的体积率及钢纤维混凝土的容重,以便发现问题及时加以解决。

### 5.2 钢纤维混凝土强度检测

对于道路混凝土,以弯拉强度作为合格判定依据。

3 个试件为一组,单值与中间值偏差不超过 15% 时,以平均值作为该组试件的代表值;一个单值与中间值偏差超过 15%,以中间值作为该组试件的代表值;两个单值与中间值偏差均超过 15% 时,该组试件作废。

钢纤维混凝土过程控制单组合格判定:

$$\text{按 } f_{cf} \geq f_{rf} + k\sigma = f_{rf} + 0.75 \times C_v f_{cf} = f_{rf} + 0.075 f_{cf} \quad (16)$$

即  $f_{cf} \geq f_{rf} / (1 - 0.075) = 1.08 f_{rf}$  判定。

式中:  $f_{cf}$  为钢纤维混凝土单组试件弯拉强度代表值;  $f_{rf}$  为钢纤维混凝土弯拉强度设计标准值。

钢纤维混凝土单元评定,同批  $n$  组合格判定:

$$f_{cf_s} \geq f_{rf} + k_1\sigma \quad f_{\min} \geq k_2 f_{rf} \quad (17)$$

式中:  $f_{cf_s}$  为  $n$  组钢纤维混凝土试件弯拉强度平均值;  $f_{\min}$  为  $n$  组钢纤维混凝土试件弯拉强度最小值;  $\sigma$  为施工统计标准差;  $k_1$ 、 $k_2$  分别为合格判定系数。

高等级公路应通过试验建立实体芯样圆柱体的劈裂强度( $f_{sp}$ )与标准小梁试件弯拉强度( $f_c$ )的统计公式( $n \geq 15$  组),以对  $f_c$  不合格的段落实体强度进行确认。

### 5.3 混凝土弯拉强度检测

本项目混凝土弯拉强度检测结果:

共抽检  $n = 32$  组,  $f_{cf_s} = 8.57$  MPa,  $S = 0.53$ ,  $C_v = 6.18\%$ ,  $f_{\min} = 6.85$  MPa。各项指标均满足设计及规范要求。

钢纤维可以明显提高混凝土的抗弯拉强度。

## 6 结语

综上所述,钢纤维混凝土是刚柔相剂的复合型材料,比普通混凝土明显提高抗弯拉强度,具有很强的抵抗动载冲击能力和耐疲劳能力。其特点恰恰与道路和桥面技术控制指标相吻合。钢纤维混凝土与普通混凝土路面结构层相比,具有:(1)每  $m^3$  造价较普通混凝土高 1 倍;(2)设计板厚可减薄 1/3 左右;(3)使用周期可延长 3~5 倍;(4)运行时养护维修费用极少;(5)施工工艺也不复杂,容易掌握。经分析、对比、研究,钢纤维混凝土的应用具有广阔的发展前景。

### 参考文献:

- [1] YB/T158—1999,混凝土用钢纤维[S].
- [2] JG/T3064—1999,钢纤维混凝土[S].
- [3] JTG F30—2003,公路水泥混凝土路面施工规范[S].
- [4] GB/T17671—1999,水泥胶砂强度检验方法[S].
- [5] JTJ 058—2000,公路工程集料试验规程[S].
- [6] 赵国藩,等编著. 钢纤维混凝土[M].

## “楚天汉水第一桥”建成通车

2006 年 5 月 28 日,被誉为“楚天汉水第一桥”的湖北十堰市将军河汉江公路大桥正式建成通车。该桥的建成,将使十堰北部沿汉江地区的矿产资源、旅游资源得到有效开发,对促进当地群众脱贫致富具有重要意义。

将军河大桥位于十堰市郧西县与郧县交界的将军河口上游,是汉江进入湖北境内的第一座特大型桥梁。该桥是十堰市投资最大、施工难度最大、技术含量最高的公路特大型桥梁之一。该工程总投资 3 667 万元,于 2004 年 2 月 26 日开工建设。大桥工开以来,针对施工区域水深、流急等自然条件,工程参建各方采用先进的建设、质量管理技术,严格按照规范施工,确保了工程建设的质量和进度。