

# 大流动度钢纤维钢管混凝土配制技术

王玉宝,姚汝方

(西北农林科技大学水建学院,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**根据某钢管拱桥钢管混凝土的试验资料,分析了掺和料、外加剂、砂率及钢纤维掺量等因素对大流动度钢纤维钢管混凝土流动性及物理力学等性能的影响。所配制的混凝土具有大流动度、高强、早强、缓凝、坍落度损失小、微膨胀、可泵性好、免振自密实等特性,并成功地应用于该桥钢管拱肋的泵送顶升灌注施工。

**关键词:**大流动度;钢纤维;钢管混凝土;混凝土性能

**中图分类号:**TV431+.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-7647(2003)02-0030-03

某中承式悬链线形钢管拱无铰拱桥,净跨128 m,矢高32 m。该拱桥的两个主肋均由直径为1.2 m的上、下钢管和腹板连接构成,高3.0 m。两肋之间由钢管桁架斜撑相连,其间距为13.2 m。该桥设计荷载为 $8 \times 10^5$  kN。钢管混凝土拱肋是钢管混凝土拱桥的主要承重结构,为增强拱脚段的抗折、抗拉强度,从两端拱脚各往上38 m弧长段,拱肋内灌注CF50钢纤维膨胀混凝土(中间段灌注C50膨胀混凝土)。钢纤维混凝土采用泵送顶升灌注,灌注口设在拱脚处,灌注时间计划为4 h,灌注顺序采取单拱单管灌注,并上、下游拱肋进行交替灌注,每个拱肋先灌注下管,待其混凝土强度达到设计强度90%以上,再灌注腹仓混凝土,仍待腹仓混凝土强度达到90%以上后,灌注上管混凝土。这种灌注方法要求标号高,比重大,粘性强,易结团的CF50钢纤维混凝土,必须具有大流动度、缓凝、早强、坍落度损失小、可泵性好、免振自密实等特性。

## 1 混凝土配合比技术要求

根据工程设计及施工技术规范要求,需按以下指标配制CF50钢纤维混凝土:混凝土抗压强度: $f_{c4} \geq 45$  MPa,  $f_{c28} \geq 50$  MPa;混凝土抗折强度: $f_{t,m} \geq 9.0$  MPa;混凝土抗拉强度: $f_{t28} \geq 4.7$  MPa;混凝土凝结时间:初凝时间 $t_{初} \geq 12$  h,终凝时间 $t_{终} \leq 16$  h;混凝土灌注时的坍落度:20~24 cm,坍落度损失:4 h,不大于6 cm;混凝土限制膨胀率:28 d,0~0.02%。

## 2 试验用原材料

水泥:52.5R普通硅酸盐水泥;粉煤灰:Ⅱ级;钢纤维:ZH-06凸痕型(异形带钩),长径比 $l/d = 74$ ;外加剂:UNF-2A高效早强减水剂,UNF-3A高效缓凝减水剂;膨胀剂:UEA-H膨胀剂;砂子:中砂,细度模数 $M_f = 2.8$ ;石子:5~20 mm碎石,5~20 mm卵石。

## 3 混凝土的配制

### 3.1 混凝土的拌和

为确保钢纤维分布均匀,不结团,按以下操作顺序进行拌和:加入石子后,均匀掺入钢纤维总量的1/3;加入砂子,再均匀掺入钢纤维总量的1/3;加入胶凝材料及外加剂等,干拌1~1.5 min;干拌好后,在加水过程中,将其余的1/3钢纤维加入拌和物,再搅拌2~2.5 min。

### 3.2 配合比设计方法

因涉及因素较多,试验采取了正交设计方法,以减少试验的盲目性和不科学性<sup>[1]</sup>。试验用抗压及劈拉试件规格均采用100 mm×100 mm×100 mm,抗折试件规格为400 mm×100 mm×100 mm。混凝土试配抗压强度为58.0 MPa,抗折强度为9.0 MPa。

### 3.3 胶凝材料选型及合理配制

考虑到待配制混凝土所需胶凝材料比例较大,故选用与混凝土同标号的52.5R普通硅酸盐水泥,以Ⅱ级粉煤灰作为掺和料,并加入UEA-H膨胀剂。钢管混凝土水泥用量不宜过多,过多会由于过大的水化热导致混凝土收缩而产生裂缝及空隙。以粉煤

作者简介:王玉宝(1975—),男,河南信阳人,助理工程师,硕士,主要从事水工材料结构研究。

灰代替部分水泥,可起节约水泥、降低水化热以及增强混凝土密实性等作用.掺入膨胀剂是由于钢管拱桥以钢管起套箍作用,所以必须保证待配制的混凝土密实不收缩,且应在限制条件下膨胀,否则钢管与混凝土之间产生空隙,造成钢管与混凝土无法连成整体,而大大降低钢管拱的承载力及构件的稳定性.膨胀剂在水泥硬化过程中,能形成大量的体积增大的结晶体——水化硫铝酸钙  $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ .它能产生一定的膨胀能,在有钢管约束条件下,在结构中建立 0.2~0.3 MPa 预应力,可抵消混凝土在硬化过程中产生的收缩应力,从而能使混凝土中的孔隙减小,毛细孔径减小,提高混凝土的密实性.表 1 为在相同水胶比 0.44 条件下,水泥、粉煤灰及膨胀剂合理掺配试验结果.

表 1 复合胶凝材料合理掺配试验结果

编号	掺量/%			强度/MPa					
	水泥	粉煤灰	膨胀剂	3 d		7 d		28 d	
				抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折
A1	100	0	0	32.5	6.21	44.8	7.15	56.3	8.39
A2	80	10	10	28.7	5.53	42.3	6.97	55.8	8.17
A3	70	15	15	26.9	4.97	40.9	6.68	51.2	7.91
A4	70	20	10	27.6	5.24	40.1	6.78	55.9	8.35
A5	70	25	5	27.1	5.12	40.2	6.71	56.9	8.50

从表 1 可以看出,用粉煤灰、膨胀剂等量代替水泥所配制的复合胶凝材料 3 d,7 d 抗压及抗折强度,随着水泥比例的增加而明显增加,而 28 d 抗压及抗折强度与纯水泥强度相差不大.表 1 也说明,适量的膨胀剂由于能发挥其膨胀密实作用,从而提高强度,但过高的膨胀剂掺量会导致强度下降.为发挥膨胀剂的作用,往往允许强度有适当的降低<sup>[2]</sup>.

### 3.4 新拌混凝土的和易性及硬化混凝土的性能试验

根据经验及大量试验资料,初步确定配合比为:水胶比 0.30,外加剂掺量为 1.5%,砂率 48%,碎石与卵石比 1:1,钢纤维掺量 1.5%(体积比).下面分别对各因子进行试验研究.

#### 3.4.1 外加剂掺量对混凝土性能的影响

试验选用 UNF-2A 高效早强减水剂及 UNF-3A

表 2 不同外加剂掺量对混凝土影响试验结果

编号	水胶比	外加剂掺量/%		凝结时间/h		坍落度/cm				抗压强度/MPa		
		UEF-2A	UEF-3A	初凝	终凝	1 h	2 h	3 h	4 h	3 d	7 d	28 d
A1	0.40	0	0	3.28	4.38	18	12	5	/	22.1	34.3	41.9
A3	0.40	0	0	3.93	5.18	18	13	7	/	23.0	36.5	42.7
A3B1	0.32	0.6	0.6	10.47	13.48	18	15	13	11	34.2	48.3	54.8
A3B2	0.32	0.8	0.8	13.78	15.08	20	18	17	16	38.7	53.8	56.4
A3B3	0.32	1.0	1.0	13.47	15.93	19	17	15	14	35.3	50.5	54.1
A4	0.40	0	0	3.85	5.15	18	13	6	/	22.8	35.9	40.3
A4B1	0.32	0.6	0.6	10.52	13.78	18	16	15	13	34.8	49.5	54.7
A4B2	0.32	0.8	0.8	13.25	15.02	21	19	18	17	39.8	54.7	58.4
A4B3	0.32	1.0	1.0	13.13	15.67	20	18	17	15	36.1	51.2	54.3

高效缓凝减水剂两种粉状外加剂,其产品推荐掺量均为 0.5%~1.0%.表 2 列出不同外加剂掺量对混凝土性能的影响试验结果.

表 2 中的 A3B2, A4B2 不仅具有流动性好、坍落度损失小、不泌水、不离析等优点,且能大大提高混凝土抗压强度.

#### 3.4.2 不同砂率对混凝土性能的影响

试验对 A3B2 及 A4B2 进行了不同砂率的试配,表 3 列出不同砂率对混凝土性能的影响试验结果.

表 3 不同砂率对混凝土性能影响试验结果

编号	砂率	坍落度/cm				28 d 强度/MPa	
		1 h	2 h	3 h	4 h	抗压	抗折
A3B2C1	0.42	19	18	16	14	60.8	9.15
A3B2C2	0.45	20	18	17	16	60.1	9.73
A3B2C3	0.48	20	18	17	16	56.4	9.69
A3B2C4	0.50	20	18	16	15	54.1	9.52
A4B2C1	0.42	19	18	17	15	59.7	9.04
A4B2C2	0.45	22	21	20	18	62.9	10.02
A4B2C3	0.48	21	19	18	17	58.4	9.81
A4B2C4	0.50	21	19	17	15	57.2	9.88

表 3 说明,合理的砂率不仅具有流动性好、坍落度损失小等优点,且具有强度高特点.

#### 3.4.3 粗骨料合理掺配试验

根据碎石具有提高混凝土抗折强度,卵石能提高混凝土和易性及混凝土抗压强度的特性,以及工程所在地的料源等情况,试验用粗骨料,采用粒径均为 5~20 mm 的碎石和卵石进行掺配.表 4 为粗骨料掺配对混凝土性能影响的试验结果(仅对 A4B2C2 进行试验,为书写方便,将 A4B2C2 改编为 X).

由表 4 可以看出,当碎石与卵石掺量为 1.5:1 时,混凝土的坍落度与抗压强度与其他掺量最大值相差不大,但抗折强度却有较大提高.

表 4 粗骨料合理掺配试验结果

编号	碎石与卵石比	坍落度/cm	28 d 强度/MPa	
			抗压	抗折
XD1	1:1	22	62.9	10.02
XD2	1:1.5	22	63.2	9.57
XD3	1:2	23	63.5	9.33
XD4	1.5:1	22	63.1	10.28
XD5	2:1	21	61.6	9.97

### 3.4.4 不同钢纤维掺量对混凝土性能的影响

试验用钢纤维为 ZH-06 凸痕型,其长径比  $l/d = 74$ ,表 5 列出不同钢纤维掺量对混凝土性能影响的试验结果.钢纤维的掺入,不仅能提高混凝土的抗拉、抗弯、抗剪及抗压强度,而且能降低混凝土的收缩值.文献[3]指出,当钢纤维体积率在 1%~2% 范围内,抗拉强度提高 40%~80%,抗弯强度提高 60%~120%,抗剪强度提高 50%~100%,抗压强度提高 0~25%;而掺入 1.5% 的钢纤维( $l/d = 50$ )时,混凝土的收缩值可降低 7%~9%.

表 5 不同钢纤维掺量对混凝土影响试验结果

编号	钢纤维掺量 (体积)/%	坍落度 /cm	28 d 强度/MPa	
			抗压	抗折
XD4E1	0	26	48.7	6.02
XD4E2	1.0	23	58.5	8.51
XD4E3	1.2	22	61.3	9.47
XD4E4	1.5	22	63.1	10.28
XD4E5	1.8	20	62.9	10.68
XD4E6	2.0	19	62.3	10.63

由表 5 可知,当钢纤维掺量增大时,混凝土的流动性降低,在钢纤维掺量超过 1.5% 左右时,混凝土的抗压强度不但不再增加,而且有所降低;混凝土的抗折强度虽仍然保持增长趋势,但增幅很小,其原因在于,过大的钢纤维掺量,易造成结团现象,从而破坏钢纤维混凝土的密实性(一般施工规范要求钢纤维掺量不能超过 2.0%).经反复试验,钢纤维掺量为 1.5% 时,钢纤维未发生结团现象,能保证混凝土的密实性,因此钢纤维掺量选定为 1.5%.

### 3.5 试验选定的配合比及混凝土性能

#### 3.5.1 试验选定的配合比

根据以上试验,选定 XD4E4 作为最终配合比,经计算后,得出如下结果,详见表 6.

表 6 试验选定的配合比结果  $\text{kg}/\text{m}^3$

水泥	粉煤灰	膨胀剂	粗骨料 碎石	细骨料 卵石	钢纤维	外加剂 UNF-2A UNF-3A		水
490	140	70	468	312	640	117	5.6 5.6	224

#### 3.5.2 新拌混凝土及硬化混凝土技术性能指标

对选定配合比又进行了 3 组试验,表 7 与表 8 分别列出新拌混凝土技术性能指标及硬化混凝土技术性能指标.

表 7 新拌混凝土技术性能指标

组别	凝结时间/h		坍落度/cm			
	初凝	终凝	0h	1h	2h	4h
1	13.67	15.83	23	21	20	18
2	13.45	15.70	22	20	19	18
3	13.42	15.82	22	20	19	18

由表 7 及表 8 可以看出,所配制混凝土能很好满足配制的技术要求.

表 8 硬化混凝土技术性能指标

组别	抗压强度/MPa		抗折强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	限制膨胀率/%		
	4d	28d			7d	14d	28d
1	46.4	63.5	10.37	6.03	0.029	0.024	0.010
2	47.3	62.7	10.15	5.71	0.032	0.025	0.011
3	46.9	64.8	10.23	5.97	0.031	0.025	0.010

## 4 结论

a. 试验提出的配合比,能配制出大流动度、缓凝、高强、早强、坍落度损失小、微膨胀、可泵性好、免振自密实等特点的钢纤维钢管混凝土.

b. 钢纤维掺量在 1.5% 左右时,抗压强度达到最大值,而抗折强度在钢纤维掺量继续增加时,还会有所增加,但增幅不大.

c. 合理胶凝材料掺配及粗骨料的掺配能优化新拌混凝土的和易性及硬化混凝土的物理力学性能.

### 参考文献:

- [1] 施旗.大流动度超高强混凝土配制技术[J].混凝土,2001,23(9):59~64.
- [2] 游宝坤,韩立林,颜亨吉.UEA 水泥砂浆与混凝土长期性能的研究[J].硅酸盐学报,2000,28(4):314~318.
- [3] 高丹盈,刘建秀.钢纤维混凝土基本理论[M].北京:科学技术文献出版社,1994.10~15.

(收稿日期:2002-05-30 编辑:傅伟群)

### · 简讯 ·

#### 全国第四届水利水电技术学术研讨会将在昆明召开

由西部科技学术论坛学术委员会水利水电技术专委会主办,云南省科技学术交流中心承办的“全国第四届水利水电技术学术研讨会”将于 2003 年 7 月 18~20 在昆明召开.会议主要内容为:大、中、小型水利水电工程勘测、设计、施工、管理和科研;河川流域规划、跨流域或城市引水工程现状及展望;水资源保护及综合利用、水旱灾害预测及防治;水利水电工程中新设备、新技术、新材料、新工艺、新方法的应用及其发展动态;计算机技术、遥感技术、地理信息技术、数字化技术等在水利水电工程中的应用;水利工程运行与管理、水政管理及枢纽管理;与水利水电相关的其他科技成果.凡未经正式发表的与会议主要内容相关的研究成果、学术观点、工程经验、设想建议等均可以论文形式应征.应征论文必须观点明确、论据充分、数据可靠、文字流畅、插图清楚,一般为 5000 字以内,并附 Word 或 WPS2000 文件类型的软盘或发 E-mail.论文经审查后将给予书面答复,会议录用论文将以论文集形式由正规出版社正式出版.提交论文的最后日期为 2003 年 4 月 30 日;论文最终录取通知日期为 2003 年 5 月 15 日.联系:650051 云南省昆明市人民东路 246 号,云南省科技学术交流中心“水利水电”会务组,电话:0871-3111462, E-mail:ln@yacc.net.cn (编辑部供稿)