

文章编号: 1001-4179(2002)10-0039-03

三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究

朱冠美 杨松玲

(长江水利委员会 三峡工程建设监理部, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 为了提高三峡水利枢纽泄洪坝段表孔墩墙部位和其它抗冲磨部位混凝土的耐久性, 采用对比试验的方法, 对聚丙烯纤维混凝土进行了试验研究, 结果表明: 在不掺粉煤灰的条件下, 聚丙烯纤维可明显提高混凝土的早期抗压强度和劈拉强度; 掺聚丙烯纤维可降低混凝土的早期弹性模量, 提高早期极限拉伸值, 其抗裂性优于基准混凝土; 由于聚丙烯纤维形成相互交错的网架结构, 有效地阻断了混凝土的毛细通道, 减少了混凝土的塑性沉降和泌水作用, 使砂浆的早期水份蒸发速度减缓, 可对混凝土早期塑性裂缝的出现起到抑制作用; 聚丙烯纤维混凝土具有一定的抗冲击韧性, 早期可提高抗冲磨强度约 8%, 长龄期可提高约 18%。

关键词: 纤维混凝土; 材料性能; 材料试验; 三峡水利枢纽

中图分类号: TV431.3 **文献标识码:** A

古代的人们将草筋掺入黄土或黄土卵石混合料中, 用于抹墙或打地坪, 之后用剑麻、亚麻、黄麻等掺入三合土中; 现代则利用人工合成纤维或金属纤维作增强材料, 用来配制混凝土。特别是近几十年来, 国内外对人工合成纤维配制混凝土做了大量的试验研究工作, 并取得显著成效。

聚丙烯纤维极为纤细, 其直径一般在 $(20 \sim 40) \times 10^{-3}$ mm, 长度约 20 mm。它将数以千万根的数量掺入每立方混凝土中, 在混凝土内部形成相互交错的网架结构, 达到各向同性的增强效果。由于聚丙烯纤维具有较高的抗拉强度 (350 ~ 700 MPa), 较低的弹性模量 $[(4 \sim 18) \times 10^{-3}]$ MPa, 较大的变形性能 (极限变形为 5% ~ 20%), 有利于水泥基材强度的增强和韧性的提高。此外, 由于聚丙烯纤维的网架结构, 可阻止混凝土中原生裂缝的扩展, 延缓新裂缝的发生和发展, 同时, 可降低暴露面水分的蒸发, 减少干缩裂缝的发生; 纤维还有阻断混凝土内部毛细管通道的作用, 阻止混凝土塑性沉降、泌水的发生, 大大提高了混凝土抗冻、抗渗等耐久性指标。

聚丙烯纤维混凝土主要应用于三峡水利枢纽泄洪坝段表孔墩墙部位和其他抗冲磨部位。

1 原材料

(1) 水泥。使用荆门葛洲坝水泥厂生产的中热 525 号水泥, 其品质指标满足三峡工程质量标准 TGPS03-98 的要求。

(2) 粉煤灰。使用平圩 1 级优质灰, 其品质指标满足 TGPS04-98 的要求。

(3) 骨料。粗骨料为古树岭料场加工而成的闪云斜长花岗岩, 其品质指标满足 TGPS01-98 的要求; 细骨料为下岸溪料场加工而成的斑状花岗岩人工砂, 其品质指标满足 TGPS02-98 的要求。

(4) 外加剂。选用意大利马贝公司生产的 X404 或浙江龙游外加剂厂生产的 ZB-1A 缓凝高效减水剂, 河北石家庄外加剂厂生产的引气剂 DH9, 其品质指标满足 TGPS05-98 的要求。

2 聚丙烯纤维混凝土性能

2.1 混凝土坍落度和含气量

聚丙烯纤维混凝土拌和物坍落度和含气量检测结果见表 1。

由表 1 可见: 聚丙烯纤维混凝土与基准混凝土相比, 拌和物的含气量几乎不变, 而坍落度约减小 30%, 这可能是由于纤维相互交错形成网架结构从而导致混凝土流动性降低的缘故, 但和易性、粘聚性均较好, 为保持混凝土坍落度不变可适当增加减水剂用量。

2.2 混凝土抗压强度和劈拉强度

为论证聚丙烯纤维对混凝土抗压强度和劈拉强度的影响,

表 1 聚丙烯纤维混凝土拌和物性能

序号	水胶比	W /(kg·m ⁻³)	C /(kg·m ⁻³)	F /(kg·m ⁻³)	聚丙烯纤维 级配	砂率 /%	减水剂 (ZB-1A)/%	引气剂 (DH9)/10 ⁻⁴	坍落度 /cm	含气量 /%
1	0.35	125	357	0	0	33	0.70	0.90	5.0	4.8
2	0.35	125	357	0	0.90	32	0.70	0.90	3.9	4.9
3	0.30	125	333	83	0	32	0.80	1.0	5.0	4.3
4	0.30	125	333	83	0.90	31	0.80	1.0	3.5	4.2

收稿日期: 2002-07-15

作者简介: 朱冠美, 女, 长江水利委员会三峡工程建设监理部检测监理处副总工程师, 高级工程师。

表2 混凝土抗压强度与劈拉强度

序号	W/C + F	F /%	聚丙烯纤维 /(kg·m ⁻³)	抗压强度/MPa			抗压强度相对百分率/%			劈拉强度/MPa			劈拉强度相对百分率/%		
				3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
1	0.35	0	0	21.1	35.7	45.8	100	100	100	1.62	2.45	2.96	100	100	100
2	0.35	0	0.90	25.6	39.2	49.6	121	110	108	1.79	2.62	3.26	110	107	110
3	0.30	20	0	18.6	32.4	45.1	100	100	100	1.44	2.29	3.18	100	100	100
4	0.30	20	0.90	19.2	33.7	46.7	103	104	104	1.56	2.34	3.26	108	102	103

表3 聚丙烯纤维混凝土极限拉伸和弹性模量

序号	W/C + F	F /%	聚丙烯纤维 (kg·m ⁻³)	极限拉伸/10 ⁻⁴			极限拉伸相对百分率/%			弹性模量/(10 ⁴ MPa)			弹性模量相对百分率/%		
				7d	28d	90d	7d	28d	90d	7d	28d	90d	7d	28d	90d
1	0.35	0	0	0.80	1.16		100			2.43	2.90		100	100	
2	0.35	0	0.90	0.96	1.12		120		96.6	2.31	2.63		95	91	
3	0.30	20	0	0.77	0.87	0.98	100		100	2.67	3.13	3.48	100	100	100
4	0.30	20	0.90	0.87	0.96	1.01	113		110	2.50	2.78	3.41	94	89	98

以参与不掺聚丙烯纤维以及参与不掺粉煤灰作比较,检测结果见表2。

表2结果表明:①不掺粉煤灰的序号1和序号2相比,序号2掺聚丙烯纤维0.9 kg/m³,其3 d抗压强度为基准混凝土(序号1)的121%,7 d为110%,28 d为108%;其各对应龄期的劈拉强度为基准混凝土的110%、107%、110%,可见在不掺粉煤灰的条件下,聚丙烯纤维可明显提高混凝土早期抗压强度和劈拉强度;②在掺20%粉煤灰条件下,序号3和序号4相比,序号4掺聚丙烯纤维0.9 kg/m³,其3、7 d和28 d抗压强度增长不明显(约3%~4%),其3、7 d和28 d劈拉强度增长也不明显(约2%~8%)。众所周知,粉煤灰对混凝土强度的贡献应在90 d龄期之后产生火山灰效应才显示出来,早龄期胶凝材料对聚丙烯纤维的粘结力较低而影响其强度的发挥。

2.3 力学变形性能

测定以上述4种方案的极限拉伸值和弹性模量,检测结果见表3。

表3结果表明:①不掺粉煤灰的序号1与序号2相比,序号2的7 d龄期极限拉伸比序号1提高20%,28 d龄期极限拉伸值两者基本相当;7、28 d龄期的抗压弹模分别降低至95%和91%。②掺煤灰的序号3与序号4相比,序号4的7、28 d龄期极限拉伸值比序号3提高10%左右,90 d龄期的极限拉伸值基本相当;7、28 d龄期弹性模量分别降低5%~10%,90 d龄期的弹性模量也基本相当,说明掺聚丙烯纤维可降低混凝土早龄期弹性模量,提高早龄期极限拉伸值,其抗裂性优于基准混凝土。

2.4 干缩和水分蒸发试验

(1)干缩。干缩试验按《水工混凝土试验规程》SD105-82进行,检测结果见表4。

表4 聚丙烯纤维混凝土的干缩

序号	W/C + F	F /%	聚丙烯纤维 /(kg·m ⁻³)	干缩/10 ⁻⁶				相对干缩百分率/%			
				3 d	7 d	14 d	28 d	3 d	7 d	14 d	28 d
1	0.35	0	0	-82	-141	-207	-311	100	100	100	100
2	0.35	0	0.90	-92	-130	-202	-303	112	92	98	97
3	0.30	20	0	-68	-107	-186	-286	100	100	100	100
4	0.30	20	0.90	-60	-92	-176	-272	88	86	95	95

从表4试验成果可见:①掺粉煤灰可明显减少干缩;②单掺聚丙烯纤维对混凝土干缩影响较小;③既掺粉煤灰又掺聚丙烯纤维(序号4与序号1相比)可减少早龄期干缩27%左右,有

减小初期干缩应力,抑制干缩裂缝的趋势。

(2)水分蒸发试验。采用砂浆强制干燥试验,将序号1和序号2配合比中粗骨料筛除,余下砂浆装入表面积为530 cm²,高7 cm的试模内,在一定温湿条件下,进行强制干燥,每小时称其重量,测得历时失水百分率,绘制的砂浆强制干燥过程线见图1。

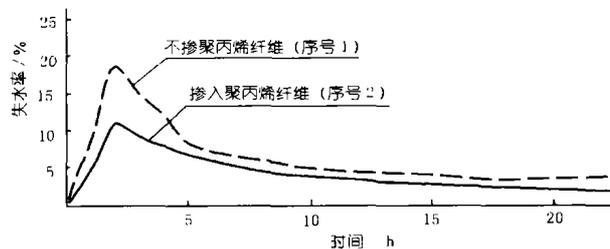


图1 砂浆强制干燥过程线

众所周知,引起混凝土干缩的主要原因之一是混凝土中自由水分逐渐蒸发,在混凝土内部产生毛细管引力,使水泥胶体孔隙受到压缩,胶体体积随水分的蒸发而不断减缩,表面上呈现暴露面的收缩,当收缩应力大于混凝土抗拉强度时,将引发干缩裂缝。

由图1可见:由于聚丙烯纤维形成相互交错的网架结构,有效地阻断了毛细管通道,减少了塑性沉降和泌水作用,使砂浆早期水分蒸发速率减缓,可对早期塑性裂缝的出现起到抑制作用。

2.5 抗冲磨性能

对R₂₈400号二级配混凝土,进行参与不掺聚丙烯纤维园环抗冲磨对比试验,在含砂率为2%、流速为27 m/s的水流中,以1 h为一循环,连续冲磨10 h,测得的试验成果见表5。

表5 聚丙烯纤维混凝土抗冲磨试验成果

混凝土 标号	聚丙烯纤维 掺量/(kg·m ⁻³)	抗冲磨强度/(h·kg·m ⁻²)				相对抗冲磨强度百分率/%			
		7 d	28 d	90 d	180 d	7 d	28 d	90 d	180 d
R ₂₈ 400	0	7.136	17.830	20.800	30.717	100	100	100	100
(二级配)	1.0	7.708	19.389	21.531	36.349	108	109	104	118

由表5可见:聚丙烯纤维混凝土具有一定的抗冲击韧性,早龄期可提高抗冲磨强度8%左右,长龄期可提高18%。

2.6 抗冻、抗渗性能

对R₂₈400号二级配混凝土,进行参与不掺聚丙烯纤维抗冻、抗渗性能对比试验,检测结果见表6。

由表6可见:对高标号混凝土,无论掺或不掺聚丙烯纤维,

表 6 聚丙烯纤维混凝土抗冻、抗渗性能

序号	检测项目	冻融循环次数/次										抗渗	聚丙烯纤维 掺量/(kg·m ⁻³)	
		25	50	100	150	200	250	300	350	400	450			475
1	相对动弹模/%	95.2	95.3	97.2	96.3	96.5	96.0	95.1	92.6	95.1	95.0	94.9	>S12	0
2		95.7	95.9	97.1	97.1	97.5	97.6	97.9	96.9	97.1	96.9	96.7	>S24	1.0
1	重量损失率/%	+0.21	+0.36	+0.47	+0.22	+0.10	+0.24	+0.01	+0.06	+0.08	+0.01	0		
2		+0.03	+0.07	+0.07	0	+0.15	+0.11	-0.09	-0.09	-0.03	-0.15	-0.22		

表 7 聚丙烯纤维常态混凝土配合比

混凝土 设计标号	水胶比	级配	砂率/%	F/%	聚丙烯纤维掺量 (kg·m ⁻³)	每 m ³ 材料用量/kg								
						水	水泥	粉煤灰	砂子	小石	中石	大石	X404	DH9
R ₂₈ 400D250S10	0.30	二	35	20	1.0	107	286	71	683	588	719		4.28	2.68
R ₉₀ 400D250S10	0.38	三	30	20	1.0	101	213	53	605	447	447	596	3.19	1.60

注:① 细骨料为下岸溪料场人工砂,细度模数 $F \cdot M = 2.8$; ② 粗骨料为古树岭料场人工碎石; ③ 粉煤灰使用平圩 I 级优质灰。

都具有良好的抗冻性能。R₂₈400 号二级配混凝土,冻融循环次数达到 475 次时,相对动弹模量大于 90%,重量损失几乎为零。不掺聚丙烯纤维的基准混凝土抗渗标号大于 S12,掺聚丙烯纤维混凝土抗渗标号大于 S24,显示聚丙烯纤维的优越性。

3 工程应用实例

3.1 聚丙烯纤维常态混凝土

聚丙烯纤维常态混凝土主要用于三峡二期工程泄洪坝段表孔墩墙和底孔跨缝板等部位。表孔墩墙三级配混凝土设计标号为 R₉₀400 号,底孔跨缝板二级配混凝土设计标号为 R₂₈400 号,施工配合比见表 7,机口取样抗压强度统计结果见表 8。

表 8 机口混凝土抗压强度统计结果

浇筑部位	混凝土 设计标号	级配	龄期 /d	检测 次数/次	最大值	最小值	平均值	合格率
					/MPa	/MPa	/MPa	%
底孔跨缝板	R ₂₈ 400	二	28	7	68.3	42.5	52.8	100
表孔墩墙	R ₉₀ 400	三	90	4	60.0	57.4	59.0	100

3.2 聚丙烯纤维喷射混凝土

聚丙烯纤维喷射混凝土用于三峡二期工程泄洪坝段上游面裂缝修补和处理,在 45 m 以下钢筋混凝土板两侧各 2 m 喷聚丙烯纤维混凝土,喷护面积共计 1 272 m²。

聚丙烯纤维喷射混凝土施工配合比见表 9,钻孔取芯混凝土强度检测结果见表 10。

表 9 聚丙烯纤维喷射混凝土施工配合比

混凝土 设计标号	水灰 比	砂率 /%	聚丙烯纤维 掺量/(kg·m ⁻³)	每 m ³ 材料用量/kg				
				水	水泥	砂子	石子	JC 速凝剂
R ₂₈ 250	0.41	60	2.0	185	450	1 042	712	22.5

注:① 细骨料为下岸溪人工砂,细度模数 $F \cdot M = 2.8$; ② 粗骨料为长江天然河卵石,最大粒径 10 mm。

表 10 聚丙烯纤维喷射混凝土钻孔取芯抗压强度检测结果

序号	混凝土芯样 容重/(kg·m ⁻³)	抗压强度/MPa		劈裂强度 /MPa
		7 d	28 d	
1	2 225	21.2	35.9	2.21
2	2 295	18.6	34.0	2.15
3	2 210	21.1	36.3	2.20

4 结语

(1) 掺聚丙烯纤维可提高水泥基材的强度,在掺粉煤灰的条件下,增强效果不明显。

(2) 聚丙烯纤维可提高混凝土早期极限拉伸值,降低混凝土弹性模量,有利于抗裂能力的提高。

(3) 聚丙烯纤维可抑制水分的蒸发,有减少干缩的作用。

(4) 聚丙烯纤维混凝土具有较高的抗冲磨、抗冻、抗渗性能。

(编辑:徐诗银)

·三峡工程建设动态·

三峡二次截流时间表确定

随着三峡二次截流施工组织设计方案的出台,三峡工程导流明渠截流中标实施单位葛洲坝集团公布了其行动计划,并确定了工期。前者为三期截流工程,后者为碾压混凝土围堰工程。两大工程控制进度时间表如下:

导流明渠截流及上、下游土石围堰填筑工程控制进度:2002 年 11 月 1 日,三期上、下游土石围堰截流戗堤进占填筑,导流明渠通航;11 月 12 日形成截流龙口(上堰 150 m,下堰 140 m 宽);2002 年 11 月 15~25 日,龙口合龙,导流明渠上下堰成型;2002 年 12 月 20 日,上、下游土石围堰闭气;2003 年 1 月 15 日,基坑抽

干积水;2003 年 1 月 31 日,三期上、下游土石围堰完工。

碾压混凝土围堰工程(简称 RCC 工程)拟定的控制进度为:总目标—满足三峡工程 2003 年 6 月实现初期蓄水到高程 135 m;2003 年 1 月 8 日,三期碾压混凝土围堰开始施工;2003 年 4 月 25 日,基础帷幕灌浆全部完成;2003 年 5 月 10 日浇至高程 113 m;2003 年 5 月 31 日浇至高程 135.5 m;2003 年 6 月 9 日,高程 107.5 m 以下的堰体排水管全部完成;2003 年 6 月 10 日浇至堰顶高程 140.0 m。

(长江)