

聚合物纤维混凝土试验研究

刘鲁强

(广西壮族自治区水利科学研究院, 广西 南宁 530023)

摘要: 针对水利工程的特点,采用掺入不同品种和不同掺量聚合物纤维试验方案,采用自行设计的试验方法(约束法)测定混凝土抗裂性能,对聚合物纤维混凝土的配合比和性能进行研究。研究表明,聚合物纤维混凝土的抗裂性能、抗渗性能、变形性能和力学性能等比普通混凝土显著提高。

关键词: 聚合物纤维混凝土; 聚合物纤维品种和掺量; 配合比; 抗裂性能; 约束法

中图分类号: TV431.3 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2012)06-0055-03

Experiment on polymer fiber concrete

LIU Luqiang

(Hydraulic Research Institute of Guangxi, Nanning 530023, China)

Abstract: Aimed at the characteristics of hydraulic engineering, different variety and mix amount of polymer fiber were used, the self-designed method (constraint method) was utilized to test crack resistance of concrete, and mix proportion and properties of polymer fiber concrete were studied. The results show that, compared with normal concrete, polymer fiber concrete has better crack resistance, impermeability, deformation and mechanical properties.

Key words: polymer fiber concrete; variety and mix amount of polymer fiber; mix proportion; anti-crack properties; constraint method

1 概述

普通混凝土在浇筑后的早期硬化阶段,因泌水和水分散失而产生塑性收缩,使混凝土产生龟裂,在温度应力和外力的作用下,很容易发展成为裂缝或碎裂,从而影响到混凝土的耐久性和结构的安全。由于这种新型混凝土材料具有防止或减少塑性龟裂和裂缝、改善长期工作性能、提高变形能力和耐久性等优点,因而在军事、交通、房建、机场、水利等类工程上得到了广泛应用。我国从20世纪90年代开始在道路、桥梁和房建工程中应用此类材料,取得了良好的技术经济效果^[1-2]。与其它工程相比,水利工程在防裂、防渗、抗冻融、抗冲磨和耐久性等方面有着特殊的要求,为了在水利工程上推广应用这种新型混凝土材料,本文结合水利工程的特点,着重研究聚合物纤维混凝土的配制和性能。

2 试验方案

2.1 试验原材料

(1) 水泥: 为达开水泥厂生产的银巢牌 525 号

普通硅酸盐水泥,其物理和化学指标均符合国标 GB175-92《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》要求。

(2) 骨料: 粗骨料为石灰岩人工碎石(二级配),细骨料为河砂。河砂细度模数 3.20、含泥量 1.2%、表观密度 2 610 kg/m³,碎石表观密度 2 660 kg/m³,粗、细骨料的其它品质均符合规范要求。

(3) 聚合物纤维: 采用 2 种,一是国产的单丝纤维(四川产品质量检验技术开发研究所生产),二是进口的网状纤维(美国 Fibermesh 公司生产),其性能见表 1^[3]。

表 1 聚合物纤维的性能 g/cm³, mm, °C, MPa

纤维品种	单丝纤维	网状纤维	纤维品种	单丝纤维	网状纤维
密度	0.91	0.91	燃点	590	590
纤维长度	19~25	12~15	抗拉强度	380~600	560~770
熔点	165	160~170	弹性模量	3500	3500

2.2 配合比试验方案

聚合物纤维是一种以人工聚合的高分子材料(聚丙烯、聚乙烯等)为主要原料,以多种添加剂为辅料制成的合成纤维。根据其生产过程可分为 2 种

收稿日期: 2012-06-08; 修回日期: 2012-07-16

基金项目: 广西壮族自治区水利厅立项资助项目(2000-13#)

作者简介: 刘鲁强(1965-),男,广西北流人,高级工程师,从事水工新材料研究工作。

即单丝纤维和网状纤维,目前国内主要生产单丝纤维,网状纤维主要依靠进口。为了比较纤维不同品种和不同掺量对混凝土性能的影响,本文配合比方案选用2种聚合物纤维即单丝纤维和网状纤维,纤维掺量分0、0.5、0.9、1.2、1.5 kg/m³五个等级。由于纤维的掺入会减小混凝土坍落度,为保持未掺纤维前的混凝土坍落度,在不改变混凝土配合比的前提下,采取掺减水剂的措施来保持原混凝土坍落度。聚合物纤维混凝土配合比试验方案^[4]见表2。

表2 聚合物纤维混凝土配合比 % , kg/m³ , mm

编号	纤维品种	水灰比	砂率	混凝土材料用量						
				水	水泥	聚合物纤维	减水剂	河砂	碎石	
							5~20		20~40	
S-1	-	0.65	38.5	155	238	-	-	763	488	732
S-2			38.5	155	238	0.5	1.5	763	488	732
S-3	单丝	0.65	38.5	155	238	0.9	1.5	763	488	732
S-4	纤维		38.5	155	238	1.2	1.5	763	488	732
S-5			38.5	155	238	1.5	1.5	763	488	732
A-1			38.5	155	238	0.5	1.5	763	488	732
A-2	网状	0.65	38.5	155	238	0.9	1.5	763	488	732
A-3	纤维		38.5	155	238	1.2	1.5	763	488	732
A-4			38.5	155	238	1.5	1.5	763	488	732

3 试验结果及分析

3.1 拌合物和易性

聚合物纤维混凝土拌合物和易性包括流动性、粘聚性和保水性,流动性以坍落度表示,试验结果见表3。

表3 聚合物纤维混凝土的和易性 kg/m³ , mm

编号	纤维品种	水灰比	纤维掺量	减水剂掺量	坍落度	粘聚性	保水性
S-1		0.65			21	一般	一般
S-2'			0.5	0	8	良	良
S-3'			0.9	0	4	优	良
S-4'	单丝纤维	0.65	1.2	0	0	优	良
S-2			0.5	1.5	30	良	优
S-3			0.9	1.5	26	优	优
S-4			1.2	1.5	20	优	优
S-5			1.5	1.5	0	良	优
A-1'			0.5	0	5	优	良
A-2'	网状纤维	0.65	0.9	0	0	优	良
A-1			0.5	1.5	22	优	优
A-2			0.9	1.5	17	优	优
A-3			1.2	1.5	0	良	优

由表3可知,聚合物纤维的掺入对混凝土的和易性有显著影响,掺入纤维后,混凝土的粘聚性和保水性明显改善,但混凝土的流动性明显降低,纤维掺

量愈大,流动性就愈小。为了保证纤维混凝土的流动性,可掺用减水剂来调节以满足施工坍落度要求,但纤维掺量超过1.2 kg/m³时,流动性难以满足施工要求。

3.2 抗裂性能

混凝土早期硬化阶段的抗裂性能试验目前国内还没有标准方法,本研究采用纤维厂家推荐的非约束法^[5]和自行设计的约束法两种方法进行。①非约束法:将试件浇筑于尺寸为120 mm×50 mm×20 mm的钢模中,钢模底板为玻璃板,底板与内侧均涂上润滑油。浇筑后不养护,立即放置于温度70±3℃、相对湿度20%~30%的鼓风式干燥箱中,连续鼓风24 h后,测定试件表面的裂缝长度来评定抗裂性能。②约束法:将试件浇筑于尺寸为900 mm×600 mm×20 mm的木模中,木模底板与内侧铺塑料薄膜,以防木模吸水,在木模的厚度中间固定15×15 mm 钢丝网,以形成对混凝土收缩变形的约束。在室内浇筑后不养护,立即用电风扇(风速约5 m/s)吹试件表面,加速试件表面水份蒸发,连续吹24 h后,测定试件表面的裂缝长度来评定抗裂性能。试件采用砂浆试件,砂浆配合比中水泥、砂和水的比例按照表2中S-1、S-3和A-2的配合比数据,但去掉了石子,详见表4,抗裂性能试验结果见表5。

表4 抗裂性能试验砂浆配合比 kg/m³

编号	水泥	砂	水	纤维体积掺量	纤维品种	试验方法
1-1	1	3.2	0.65	-	-	非约束法
1-2	1	3.2	0.65	0.9	单丝纤维	
1-3	1	3.2	0.65	0.9	网状纤维	
2-1	1	3.2	0.65	-	-	约束法
2-2	1	3.2	0.65	0.9	单丝纤维	
2-3	1	3.2	0.65	0.9	网状纤维	

表5 纤维砂浆抗裂性能 kg/m³ , mm

编号	纤维品种	纤维体积掺量	裂缝长度	对比值	试验方法	备注
1-1			163	100	非约束法	温度70.5℃
1-2	单丝纤维	0.9	46	28		相对湿度26%
1-3	网状纤维	0.9	23	14		
2-1			1650	100		温度31℃
2-2	单丝纤维	0.9	578	35	约束法	相对湿度72%
2-3	网状纤维	0.9	346	21		

试验结果表明:①掺纤维的砂浆裂缝比不掺纤维的砂浆裂缝明显减少,不掺纤维的砂浆裂缝长而

粗,掺纤维的砂浆裂缝短而细,采用非约束法时掺纤维砂浆比不掺纤维砂浆裂缝减少 72%~86%,采用约束法时掺纤维砂浆比不掺纤维砂浆裂缝减少 65%~79%。②纤维的品种对混凝土抗裂性能有影响,掺网状纤维砂浆比掺单丝纤维砂浆裂缝减少 14%,这主要是因为单丝纤维的截面为圆形,网状纤维的截面为不规则、近似矩形,且纤维之间有横向连接成网状,从而加大了与水泥材料的握裹力,使网状纤维混凝土早期硬化阶段的抗裂性能优于掺单丝纤维混凝土。③采用约束法试验的砂浆裂缝较均匀地分布在整个试件上,其产生的裂缝也明显比采用非约束法试验的砂浆裂缝粗。采用约束法评定抗裂性能更有可比性,也更符合实际情况。可以看出,掺入聚合物纤维,有效地减少了混凝土收缩裂缝的产生,提高了混凝土抗裂性能。

3.3 抗渗性能

聚合物纤维混凝土抗渗性能采用一次加压法(压力为 0.8 MPa)恒定 24 h 测出的渗水高度来评定,试验结果见表 6。从表 6 可以看出,①混凝土掺入聚合物纤维后,其抗渗性能明显提高。聚合物纤维掺量在 0.5~1.2 kg/m³ 时,其抗渗性能提高 11%~64%。②纤维的掺量和品种对混凝土的抗渗性能有显著影响。纤维掺量越大,混凝土抗渗性能越高,但纤维掺量超过 1.2 kg/m³ 时,由于难以振捣密实,抗渗性能呈下降趋势。在掺量相同的条件下,网状纤维混凝土的抗渗性能优于单丝纤维混凝土。可以看出,掺入聚合物纤维,有效地提高了混凝土抗渗性和耐久性。

表 6 聚合物纤维混凝土抗渗性能 kg/m³, cm, %

编号	纤维品种	纤维掺量	水灰比	渗水高度 (28 d)	渗水高度比
S-1	-	-	0.65	13.2	100
S-2		0.5	0.65	11.5	87
S-3	单丝纤维	0.9	0.65	9.0	68
S-4		1.2	0.65	8.5	64
S-5		1.5	0.65	8.8	67
A-1		0.5	0.65	11.7	89
A-2	网状纤维	0.9	0.65	5.8	44
A-3		1.2	0.65	4.8	36
A-4		1.5	0.65	6.0	45

3.4 变形性能

聚合物纤维混凝土变形性能主要进行了弹性模量和极限拉伸值试验,试验结果见表 7。由表 7 可知:①掺纤维混凝土极限拉伸值比不掺纤维混凝土

极限拉伸值提高 17%~45%,弹性模量降低 4%~5%,说明掺聚合物纤维可使混凝土的传统脆性弱点得到改善,混凝土的变形能力得到提高,从而改善了混凝土的变形特征,提高了混凝土的抗裂性能。②掺不同品种纤维对混凝土极限拉伸值有显著影响。掺网状纤维混凝土极限拉伸值提高幅度较大,掺单丝纤维混凝土极限拉伸值提高 18%~34%,掺网状纤维混凝土极限拉伸值提高 17%~45%。③纤维的掺量对混凝土极限拉伸值也有显著影响,对混凝土弹性模量影响较小。随着纤维掺量的增加,混凝土极限拉伸值亦随之增大,纤维掺量在 0~0.9 kg/m³ 时,混凝土极限拉伸值增加的幅度较大,但纤维掺量超过 1.2 kg/m³ 时,极限拉伸值呈下降趋势。

表 7 聚合物纤维混凝土的变形性能 kg/m³, cm %

编号	纤维品种	纤维掺量	水灰比	渗水高度 (28 d)	渗水高度比
S-1	-	-	0.65	25.8	71
S-2		0.5	0.65	24.8	84
S-3	单丝纤维	0.9	0.65	24.4	94
S-4		1.2	0.65	24.5	95
S-5		1.5	0.65	24.4	93
A-1		0.5	0.65	26.7	83
A-2	网状纤维	0.9	0.65	25.6	96
A-3		1.2	0.65	24.5	103
A-4		1.5	0.65	24.5	97

3.5 力学性能

聚合物纤维混凝土力学性能主要包括抗压强度、抗拉强度和抗折强度,试验结果见表 8。

表 8 聚合物纤维混凝土的力学性能 kg/m³, MPa

编号	纤维品种	纤维掺量	水灰比	抗压强度		抗拉强度		抗折强度	
				7d	28d	7d	28d	7d	28d
S-1	-	-	0.65	12.0	17.9	0.95	1.41	2.25	3.27
S-2		0.5	0.65	12.6	19.1	1.01	1.60	2.46	3.42
S-3	单丝纤维	0.9	0.65	13.2	20.0	1.25	1.77	2.58	3.58
S-4		1.2	0.65	13.3	20.7	1.27	1.79	2.69	3.64
S-5		1.5	0.65	13.0	19.9	1.23	1.76	2.61	3.60
A-1		0.5	0.65	15.3	20.7	1.19	1.71	2.65	3.44
A-2	网状纤维	0.9	0.65	16.0	22.2	1.33	1.90	2.87	3.64
A-3		1.2	0.65	16.7	22.9	1.44	1.94	3.15	3.67
A-4		1.5	0.65	16.1	21.9	1.36	1.91	2.96	3.61

由表 8 可知:①在保持水灰比和水泥用量不变的前提下,掺纤维混凝土强度比不掺纤维混凝土明显提高,其中抗拉强度提高幅度最大,28 d 龄期的抗拉强度、抗折强度和抗压强度分别提高 13%~38%、5%~

(下转第 61 页)

在同一浓度标准差等值线图中,铀浓度由中心往外围沿着浓度均值等值线减小的方向,各节点处的浓度标准差基本上也逐渐减小。而对于不同渗透系数标准差的各种情况,由图3(a)~图3(d)可知,当渗透系数的空间变异性增大到一定程度,铀浓度标准差并不表现为从中心向外围单调减少的趋势,而是出现了反复的情况。由图3(c)和3(d)可看出,随着渗透系数空间变异性的增加,污染物的质心位置发生了偏移,污染物质心不再在迁移面源的中心,此变化集中体现出渗透系数的空间变异性对地下水溶质运移的影响。

4 结 语

(1)参数随机模拟的最终结果依赖于对参数初始值的估计,而利用有限的观测资料给出随机变量的统计特征,使随机模型能准确的刻画含水层本身内在的随机特性具有一定的难度。因此,参数随机模型仍具有一定的不确定性。

(2)渗透系数的空间变异性对地下水溶质运移结果有较大的影响,这种影响可以通过污染物浓度均值等值线图和浓度标准差等值线图反应出来。在其它条件都相同的情况下,随着渗透系数标准差的增

大,污染物运移的范围扩大,污染物浓度标准差等值线图变得越来越不规则,污染物质心位置偏离面源中心。

参考文献:

- [1] 王开丽,黄冠华. 强变异渗透系数对地下水和溶质迁移影响的研究[J]. 水动力学研究与进展,2010, 25(4):542 - 550.
- [2] Freeze R A. A stochastic conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in non-uniform homogeneous media [J]. Water Resources Research,1975,11(5):725 - 741.
- [3] 阎婷婷,吴剑锋. 渗透系数的空间变异性对污染物运移的影响研究[J]. 水科学进展,2006,17(1):29 - 36.
- [4] 刘猛,束龙仓,刘波. 地下水数值模拟中的参数随机模拟[J]. 水利水电科技进展,2005,25(6):25 - 27.
- [5] 李森,陈家军,叶慧海,等. 随机方法在地下水水分及溶质运移中的研究进展[J]. 水资源研究,2005,26(4):22 - 25.
- [6] Warren J E, Price H S. Flow in heterogeneous porous media[J]. SPE Journal, 1961,9:153 - 169.
- [7] 孙讷正. 地下水污染 - 数学模型和数值方法[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [8] 谭文清,孙春,胡婧敏,等. GMS在地下水污染质运移数值模拟预测中的应用[J]. 东北水利水电,2008(5):54 - 55.

(上接第57页)

12%和7%~28%。②掺不同品种纤维对混凝土的强度指标有显著影响,掺网状纤维混凝土的抗拉强度增幅高于掺单丝纤维混凝土。③纤维的掺量对混凝土的力学性能有显著影响,随着纤维掺量的增加,混凝土抗拉强度和抗折强度亦随之增加。纤维掺量在0~0.9 kg/m³时,强度增加的幅度较大。纤维掺量超过1.2 kg/m³时,强度呈下降趋势。

4 结 语

(1)聚合物纤维混凝土的抗裂性能、抗渗性能、变形性能和力学性能等比普通混凝土显著提高,纤维掺量在0.5~1.5 kg/m³时,聚合物纤维混凝土比普通混凝土抗裂性能提高65%~86%、抗渗性能提高11%~64%、极限拉伸值提高17%~45%、弹性模量降低4%~5%、抗拉强度提高13%~38%、抗折强度提高5%~12%、抗压强度提高7%~28%。

(2)聚合物纤维混凝土配合比与普通混凝土配合比基本相同,无需改变配合比参数,但掺入聚合物纤维后混凝土流动性和坍落度降低,应保持水胶比

不变,通过掺用减水剂或适当增加用水量来调整坍落度。聚合物纤维适宜掺量为每立方混凝土掺0.9~1.2 kg。掺网状纤维混凝土性能指标优于掺单丝纤维混凝土,但网状纤维依赖进口,价格昂贵,国产单丝纤维价格仅为进口网状纤维的1/2~1/3,掺国产单丝纤维混凝土性价比优于掺网状纤维混凝土。

(3)聚合物纤维混凝土可用于水利水电工程中有防裂、防渗要求的板式结构如大坝防渗面板、溢流堰面、厂房和船闸底板、渠道防渗衬砌等。

参考文献:

- [1] 戴建国,黄承逵. 网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,1999(4):35 - 38.
- [2] 朱江. 聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用研究[J]. 混凝土,2000(9):8 - 10.
- [3] 四川省纤维检验局. 微纤维检验报告[R]. 2001.
- [4] 广西水利科学研究所. 达开水库灌区西总干渠防渗混凝土配合比设计试验报告[R]. 1999.
- [5] 企业标准 Q/20182318 - 5.1 - 1999[S]. 奥德聚合物微纤维,四川产品质量检验技术开发研究所.,1999.