

聚丙烯纤维混凝土的水工特性试验研究

刘卫东, 王依民

(东华大学纤维材料改性国家重点实验室, 上海 200051)

摘要:介绍了聚丙烯纤维混凝土水工特性室内试验的情况,分析了聚丙烯纤维混凝土的抗冻融、抗渗透、抗冲刷性能的微观机理。试验研究和工程实践表明,聚丙烯纤维混凝土具有良好的抗冻融破坏、抗裂防渗及抗冲刷性能。

关键词:聚丙烯纤维混凝土;冻融循环;抗渗透;冲刷磨损

中图分类号:TU528.572 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-4637(2004)01-35-03

0 引言

近年来,我国水利和公路建设进入一个新时期,严酷的环境对混凝土提出了更新、更高的要求。混凝土的抗冻融、抗渗透和抗冲刷性能必须作为工程设计的重要指标,因此如何根据各种工程的结构特点,以及耐久年限及使用功能的要求,提高混凝土的抗冻融、抗渗透及抗冲刷能力,已成为学术界和工程界积极探索的问题。

聚丙烯纤维混凝土以其优异的力学性能在混凝土应用技术中迅速发展,但对其抗冻融、抗渗透和抗冲刷性能方面的试验研究,尤其是微观机理方面的研究却很少。笔者对聚丙烯纤维混凝土水工特性进行了较系统的试验研究,探索了聚丙烯纤维对混凝土水工特性的影响,分析了聚丙烯纤维混凝土抗冻融、抗渗透、抗冲刷的微观机理,优化了合适的纤维掺量及纤维类型,并将研究成果应用到实际工程中。

1 原材料及配合比设计

原材料:聚丙烯纤维,42.5普通硅酸盐水泥,河砂,卵石(5mm~20mm)。

试验方案及配合比:采用不同孔径、不同纤维截面、不同长度的聚丙烯纤维,以不同的掺量加入到混凝土中。根据不同的性能测试要求,按每组3个试块,一次成型制备相应数量的聚丙烯纤维混凝土试件。混凝土试件设计强度为C25,抗冻标号为F100,抗渗指标为W8,在优化混凝土配合比的基础上,保持混凝土水泥用量不变,混凝土中掺入聚丙烯纤维后,坍落度略有下降,通过增加用水量来调整,保持坍落度基本不变,聚丙烯纤维掺量分别为0、0.6、0.9、1.2(kg/m³)。配合比设计见表1。

2 试验结果

基金项目:国家重点实验室开放基金资助项目。

表1 聚丙烯纤维混凝土配合比

试件 编号	水灰 比	砂率 /%	坍落度 /cm	每立方米混凝土材料用量/(kg/m ³)				
				水泥	砂	卵石	水	聚丙烯 纤维
A-1	0.38	37	6-8	254	695	617	114	0
A-2	0.40	37	6-8	254	689	613	120	0.6
A-3	0.40	37	6-8	254	688	612	121	0.9
A-4	0.41	37	6-8	253	686	610	123	1.2
A-5	0.41	35	6-8	254	643	621	125	0.9
A-6	0.41	38	6-8	300	710	605	124	0.9
B-1	0.41	34	3-5	252	623	633	123	0
B-2	0.41	34	3-5	262	615	625	128	0.6
B-3	0.42	34	3-5	262	615	625	129	0.9
B-4	0.42	34	3-5	262	615	624	130	1.2
C-1	0.37	30	5-7	309	596	284	114	0
C-2	0.38	30	5-7	309	596	284	117	0.6
C-3	0.38	30	5-7	309	593	284	118	0.9
C-4	0.39	30	5-7	309	593	284	121	1.2
C-5	0.33	30	5-7	309	575	287	102	0.9

2.1 冻融试验

冻融实验按GBJ82-85进行,采用大试件快冻试验法,成型100mm×100mm×400mm的棱柱体试件,3个试件为一组。试件冻融试验前在水中浸泡,冻融过程中均处于饱水状态,温度分别控制在-17℃±2℃和8℃±2℃之间,每次冻融循环在2h~4h内完成,冻和融之间的转换时间不超过10min,用于融化的时间不少于整个冻融时间的1/4。另外,通过三点弯曲法测定聚丙烯纤维混凝土冻融200次后的抗弯强度。

对表1中的A组试件进行抗冻试验,测试结果列于表2。由表2可见,经冻融循环后,各组失重率较小,相对动弹性模量下降缓慢,聚丙烯纤维混凝土的抗冻性显著提高,冻融循环200次后聚丙烯纤维混凝土抗弯强度的变化也充分证明了这一点。

2.2 渗透试验

表2 冻融试验结果

试件编号	冻融次数	0	25	50	75	100	125	150	175	200	冻融后抗弯强度 /MPa
		相对动弹模/%	失重率/%	相对动弹模/%	失重率/%	相对动弹模/%	失重率/%	相对动弹模/%	失重率/%	相对动弹模/%	
A-1	相对动弹模/%	100	99.7	99.4	92.0	84.6	70.8	57.0	-	-	4.20
	失重率/%	0	0	0.10	0.25	0.50	0.71	0.92	5.2	9.48	
A-2	相对动弹模/%	100	99.2	98.4	93.2	87.9	85.6	83.2	69.9	56.7	3.80
	失重率/%	0	0	0	0.10	0.39	0.71	1.03	1.58	2.12	
A-3	相对动弹模/%	100	99.4	98.8	94.9	91.1	90.5	89.9	84.7	79.5	6.40
	失重率/%	0	0	0	0	0	0	0.10	0.36	0.72	
A-4	相对动弹模/%	100	98.1	96.2	94.1	92.0	88.0	84.0	78.9	73.9	4.70
	失重率/%	0	0	0	0.10	0.21	0.36	0.50	0.86	1.21	
A-5	相对动弹模/%	100	98.0	96.0	95.3	94.6	93.3	92.0	84.7	77.4	6.00
	失重率/%	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	
A-6	相对动弹模/%	100	99.3	98.5	94.9	91.4	90.9	90.5	83.9	77.2	5.70
	失重率/%	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0.18	

对表1中的B组试件按《水工混凝土规范》规定的方法进行渗透试验。采用逐级加压法对试件进行测试,压力分别增加至0.9MPa和2.1MPa后,恒压8h,在所测试件均未透水的情况下,取出试件沿截头圆锥体直径方向劈开,测量其渗水高度,比较不同纤维掺量的聚丙烯纤维混凝土试件的抗渗能力,测试结果见表3。试验结果表明,测试的聚丙烯纤维混凝土抗渗标号均大于W8,远远超过设计要求。

表3 渗透试验结果

试件编号	纤维掺量 (kg/m ³)	渗水高度/cm	
		水压加到0.9MPa	水压加到2.1MPa
B-1	0	2.6	6.9
B-2	0.6	3.1	3.5
B-3	0.9	2.3	5.8
B-4	1.2	3.3	5.0

2.3 冲刷磨损试验

对表1中的C组试件按ASTM C1138-89规定的方法进行抗冲刷试验。该方法是模拟高速夹砂水流对过流面冲刷破坏而设计,它是由1400r/min转速的叶轮带动水和70个大小不等的钢球磨擦试件表面72h,根据冲刷后试件的失重来计算混凝土抗冲刷强度,试件尺寸为 $\varnothing 285\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。试验前将试块放入水中浸水饱和,反复试验3次,计算结果见表4。

由表4可见,随着聚丙烯纤维掺量的增加,混凝土

表4 冲刷磨损试验结果

试件编号	纤维掺量 (kg/m ³)	抗冲刷强度	抗冲刷强度
		/(kg/h·m ²)	相对倍数
C-1	0	6.83	1.00
C-2	0.6	9.06	1.33
C-3	0.9	10.14	1.49
C-4	1.2	10.78	1.58
C-5	0.9	13.75	2.02

抗冲刷强度也随之提高,掺0.6kg/m³、0.9kg/m³和1.2kg/m³的聚丙烯纤维混凝土,抗冲刷强度比普通混凝土分别提高33%、49%和58%。

3 微观机理分析

3.1 抗冻融循环

相对动弹性模量的降低,表明混凝土中微裂基体内储存的变形能释放,裂缝尖端应力集中开始向附近的水泥胶块中伸展。对于聚丙烯纤维混凝土而言,一方面聚丙烯纤维在水泥胶块中穿越,桥连了混凝土胶块,使胶块之间紧密连接,在聚丙烯纤维与基体之间粘结力的作用下,推迟了裂缝应力集中区向基体内部伸展的速度,同时聚丙烯纤维的阻裂效应,又能控制混凝土的早期塑性开裂现象,阻止和分散裂纹的扩展及幅度的增加,抑制冻胀压力引起的裂纹,使得基体内部几乎不劣化,这从弯曲断裂后的冻融试件中可以看出其状态与冻融前相同。

混凝土中毛细孔的孔径及数量,是混凝土抗冻能力的主要影响因素。由于聚丙烯纤维的掺入,水泥石裂缝的减少,使水分的渗透性降低,混凝土内就不可能产生很大的渗透压力,此时混凝土的孔结构和孔的间隔满足抗冻性要求,水分在这种孔径范围内,很难迁移到邻近的孔隙中去,冻融循环时产生液体压力就比较难。冻融破坏是混凝土在水和正负温度反复作用下发生的物理变化过程,随着冻融过程的进展,混凝土中的水化产物成分并不发生变化,聚丙烯纤维的掺入使水泥水化产物将由一个微观密实体逐步成为一个微观疏松体,混凝土微孔结构不断增加,微孔变化在25nm~150nm的范围内,这与多孔聚丙烯纤维的孔径相匹配,聚丙烯纤维的“抗冻”效应得以充分发挥。

3.2 抗裂防渗性能

在实际工程应用中,作为刚性防渗层的聚丙烯纤

维混凝土为薄板状,聚丙烯纤维在混凝土中呈三维乱向均匀分布,这样能充分发挥聚丙烯纤维的阻裂增强作用,有利于克服温度应力,避免温度裂缝的出现。同时具有足够抗拉强度的聚丙烯纤维,有效地控制荷载裂缝的产生,提高了混凝土基体的抗拉强度,使混凝土能够适应在一定尺度和范围内的变形,减少了可见裂缝的出现,解决了因混凝土超过了它的抗拉极限应变而引起的防渗层开裂问题。而聚丙烯纤维混凝土抗裂防渗能力的提高,则满足了混凝土裂渗控制的要求。

具有较大比表面积的聚丙烯纤维,一方面抑制了混凝土的早期收缩裂纹产生;另一方面,由于混凝土对聚丙烯纤维的锚固力,使混凝土中导入预拉应力,起到了补偿收缩和限制裂缝发展的效果。聚丙烯纤维能够控制混凝土中各种应力荷载裂缝,并且由于其具有优异的抗碱性和亲水性,不仅使聚丙烯纤维混凝土的抗渗透性能提高,同时也使聚丙烯纤维混凝土的抗老化性能显著提高,力学性能更加耐久稳定。

3.3 抗冲磨破坏

含砂高速水流对泄水建筑物表面材料的冲磨破坏作用,是由于产生冲击、摩擦及切削等冲磨作用力引起的,它是材料受到小而松散的流动粒子冲击时表面出现破坏的一类磨损现象。根据含砂水流冲磨介质的大小不同,对材料冲磨破坏作用有较大差异,悬移质以微切削破坏为主,材料的硬度对抗冲磨性能影响较大;推移质以连续冲击破坏为主,材料的冲击韧性对抗冲磨性能影响较大。聚丙烯纤维掺入混凝土中,提高了混凝土的整体性和抗冲击能力,使得聚丙烯纤维混凝土能够抵抗悬移质的切削破坏和推移质的冲击破坏。在混凝土材料中均匀地掺入聚丙烯纤维,阻止了混凝土内部裂缝的扩展和连通贯穿,防止了冲刷过程中混凝土丧失连续性而产生的整体性破坏,这样在高速含砂水流连续作用于混凝土表面时,使组成混凝土复合材料的分子结合力大于磨损作用力,因而不会出现大部分表面分子脱离母体被流水冲走现象。所以,聚丙烯纤维改善了混凝土的基体结构,提高了混凝土的抗冲耐磨能力。

4 工程应用实例

近年来,国内外混凝土面板堆石坝建设有了较快的发展,已建成一批高水平的混凝土面板堆石坝。但是大多数混凝土面板均有裂缝发生,有施工的问题,也有材料本身的问题。裂缝较严重的急需修补才能运

行,因此混凝土面板的防裂已成为亟待解决的问题。混凝土面板防裂措施有多方面,如优选混凝土原材料,掺粉煤灰等掺合料,选择高性能混凝土外加剂等,通过进行配合比优化,加强施工管理和质量控制,来达到防止混凝土面板开裂的目的。

白溪水库总库容为 1.684 亿 m^3 ,属国家大(2)型水库,是以供水、防洪为主,兼顾发电、灌溉等效益的综合利用水利枢纽。水库大坝采用钢筋混凝土面板堆石坝,最大坝高 124.4m,在我国面板堆石坝中高度居第四位,大坝上游坝坡 1:1.4,下游平均坝坡 1:1.52,坝顶高程 177.4m,面板厚度由坝顶至坝底为 30cm~66cm,在面板厚度的中部布置 $\varnothing 20mm \sim \varnothing 25mm$ 的钢筋网,间距 20cm \times 20cm。经专家从经济性和技术性的角度多方论证,决定采用聚丙烯纤维混凝土技术,混凝土面板分两期分缝浇筑,共浇筑 33 块面板,最长 77m,宽度 12m,混凝土浇筑方量约 1000 m^3 ,该工程经过三年的运行,至今聚丙烯纤维混凝土面板未出现裂缝,达到了预期的效果。

5 结束语

以聚丙烯纤维混凝土作为工程材料,能够达到抵抗冻融剥蚀破坏、抗裂防渗、抗冲耐磨的目的,该项研究为水工混凝土建筑物的修补和防护工程,提供了可借鉴的试验数据和参考资料。因此,聚丙烯纤维混凝土可应用于有抗冻融以及抗渗透、抗冲刷要求的工程中,使混凝土建筑物充分发挥工程效益。

参考文献

- [1] 王依民. PP 纤维水泥复合材料的界面行为—断裂面的观察与形态研究. 建筑材料学报, 2000(1)
- [2] 刘卫东. 碳纤维硅粉混凝土的水工特性试验研究. 水利学报, 1998.4
- [3] 卢安琪. 聚丙烯纤维混凝土试验研究. 水利水运工程学报, 2002.12
- [4] 葛其荣. 宁波白溪水库二期面板聚丙烯纤维混凝土试验研究. 建筑结构, 2001.9
- [5] 平石刚纪, 等. ポリプロピレン短繊維補強コンクリートのフレッシュおよび硬化性状. コンクリート工学年次论文集, Vol. 22, No1, 2000
- [6] 最知正芳, 等. 冻融解作用を受けたコンクリート内部の微細きれつの定量化损伤度评价への应用. コンクリート工学论文集, 第 13 卷第 1 号, 2002.1

收稿日期: 2003-10-29

作者简介: 刘卫东(1961-), 男, 研究员, 博士。

通讯地址: 上海市延安西路 1882 号东华大学材料学院 7 号信箱

联系电话: 13671988257