# 某水利工程聚丙烯纤维混凝土试验

宣卫红[1],王海川[2],吴新海[2]

(1.河海大学土木工程学院,江苏 南京　210098;2.沂沭泗水利管理局,江苏 徐州　221009)

摘要:结合新沭河泄洪闸加固工程对聚丙烯纤维混凝土进行试验研究.研究结果表明:混凝土中掺加一定量的聚丙烯纤维,未影响其工作性能;虽然掺聚丙烯纤维比未掺纤维混凝土标准试件的立方体抗压强度有所降低,但仍能满足设计要求;掺加一定量的聚丙烯纤维混凝土,劈裂抗拉强度有高有低,可能的原因是纤维在部分混凝土中分布不均匀,局部有结成束状的现象,在纤维与水泥浆体结合面处有薄弱面形成.试验结果为评价该工程聚丙烯纤维混凝土应用效果提供了依据.

关键词:聚丙烯纤维混凝土;劈裂试验;轴心抗拉强度试验;抗压强度试验

中图分类号:TV33　　文献标识码:A　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0066-03

## 1　工程概况及聚丙烯纤维混凝土的应用

新沭河泄洪闸位于山东省临沭县大官庄村北新沭河入口处,是大官庄枢纽主体建筑物之一.由于工程已运行多年,构件及设备老化严重,闸墩及底板混凝土裂缝较多,且为贯通性裂缝;下游消力池因厚度较薄,结构受环境温度影响较大,干缩及温降共同作用下裂缝加剧;下游海漫原为块石混凝土层,在长期的水流冲刷作用下,导致块石层磨损,甚至缺失;水泥混凝土道路长期承受以交通为主的载荷-卸荷的作用,加之普通混凝土的抗折强度较低,耐久性能不足,导致闸后交通桥桥板部分断裂,行车不够安全.鉴于工程存在着许多不安全因素,为确保东调南下工程整体效益的发挥,对该工程修补改造是非常必要的.

为了弥补水泥基材抗拉强度低、韧性差、易导致裂缝出现等缺陷,在材料制备时掺加具有良好抗拉性能的聚丙烯纤维,制成聚丙烯纤维混凝土,发挥纤维抗拉性能较强的特长.聚丙烯纤维混凝土已在房屋建筑工程、道路交通工程、水利工程中得到了广泛应用[1~4],因此,本工程确定使用聚丙烯纤维混凝土对原混凝土结构进行修补.闸墩中墩全部拆除重建,在闸底板以上 3.0 m 高度范围内用 C40 聚丙烯纤维混凝土浇筑;边墩 54.5 m 高程以上的部分全部拆除,用 C40 聚丙烯纤维混凝土浇筑.消力池修补后,新增 300 mm 厚的 C25 聚丙烯纤维混凝土面层.海漫经修补处理、齿墙开挖及块石混凝土充填后,浇筑约 350 mm 厚的聚丙烯纤维混凝土面层.交通桥及检修桥拆除重建,在桥面铺装层中采用 C25 聚丙烯纤维混凝土浇筑.

从 2004 年 3 月 1 日至 5 月 31 日,闸墩、机架桥、海漫及消力池修补工程完成,之后围堰拆除.7 月初,研究人员到现场对聚丙烯纤维混凝土的应用效果进行检验时发现以下情况:闸墩上部出现少量裂缝;消力池底板和壁板混凝土平整,未发现裂缝;海漫较早出现裂缝,少量是贯通裂缝;交通桥混凝土面层平整,汽车运行平稳,未发现裂缝.由此可见,聚丙烯纤维混凝土在本工程中起到了一定的防裂作用,但也存在一些问题.究竟是什么原因引起混凝土开裂,聚丙烯纤维混凝土究竟是否有效,本文就这些问题进行聚丙烯纤维混凝土的试验研究,为本工程聚丙烯纤维混凝土应用效果评价提供依据.

## 2　试验内容

### 2.1　聚丙烯纤维混凝土施工配合比

采用北京市福丝达化学纤维有限公司生产的福丝达聚丙烯纤维,其性能如下:纤维类型为白色单丝,长度规格为 19 mm,密度为 0.91 g/cm$^3$,无吸水性,抗拉强度大于 500 MPa,弹性模量大于 3 800 MPa,熔点约 165 ~ 173℃,耐酸、碱性(对强度无影响).本工程 C25 聚丙烯纤维混凝土施工配合比为每立方米混凝土中掺入水 138 kg、水泥 300 kg、砂 726 kg、石子 1 236 kg、FDN-1 型减水剂 1.0%、AE-A(10-4)引气剂

基金项目:2003 年江苏省建设系统科技计划项目(JS200330)

作者简介:宣卫红(1963—),女,浙江诸暨人,副教授,博士研究生,目前在金陵科技学院工作,从事混凝土结构教学及研究工作.

0.6 kg、聚丙烯纤维 1.0 kg.

### 2.2 聚丙烯纤维混凝土坍落度测试

采用 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》试验方法,用坍落度筒测试掺量为 1.0 kg/m$^3$ 的聚丙烯纤维混凝土坍落度值为 40 ~ 60 mm,在普通混凝土坍落度范围之内.说明掺加聚丙烯纤维对混凝土的工作性能没有不良影响.

### 2.3 聚丙烯纤维混凝土力学性能试验研究

#### 2.3.1 立方体抗压强度试验

采用 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》试验方法,测定 37 组 C25 聚丙烯纤维混凝土标准试件的立方体抗压强度,平均值为 28.81 MPa,标准差为 2.08,变异系数为 0.072,具有 95% 保证率的强度值为 25.39 MPa,与未掺纤维的混凝土相比强度降低 15.11%(未掺纤维的强度值为 29.91 MPa),与普通混凝土强度标准值相比提高 1.56%.

由试验结果可知:掺入纤维后混凝土立方体抗压强度能够满足设计要求,但比未掺纤维的同配合比强度值要低.

#### 2.3.2 劈裂试验

采用 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》试验方法,现场浇筑 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体标准试件,测定聚丙烯纤维掺量为 1.0 kg/m$^3$ 的混凝土劈裂抗拉强度,试验结果示于表 1.由表 1 可知:①纤维掺量相同时,强度等级高的闸墩混凝土劈裂抗拉强度仍然高于强度等级低的消力池混凝土劈裂抗拉强度;②同强度等级的混凝土,纤维掺量高和低的混凝土劈裂抗拉强度值离散性大,未能找出劈裂强度随纤维掺量变化而变化的规律;③与普通混凝土相比,试件强度有所降低.分析原因主要有两方面:第一可能是纤维的影响;第二可能是纤维混凝土施工的影响.如果纤维在水泥基体中自分散性不好,或者施工中拌制、振捣等工序操作不当,就会造成纤维在混凝土中分散不均、结团等缺陷.图 1 是劈裂试验强度低的试件破裂面,可见局部纤维成束状.由于纤维在混凝土中分散不均、结团,会在纤维和混凝土之间形成薄弱面,破裂面由此产生,因而造成劈裂抗拉强度下降.

#### 2.3.3 轴心抗压强度与静力抗压弹性模量试验

采用DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》试

表 1 劈裂抗拉试验结果

| 试件 | 强度等级 | 纤维掺量/(kg·m$^{-3}$) | 平均值/MPa | 平均值÷1.15/MPa | 换算的轴心抗拉强度值/MPa | 普通混凝土轴心抗拉强度标准值/MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 闸墩 | C35 | 1.0 | 2.45 | 2.13 | 1.92 | 2.20 |
| 纤维 2.0 | C25 | 2.0 | 2.04 | 1.78 | 1.60 | 1.78 |
| 消力池 | C25 | 1.0 | 1.85 | 1.61 | 1.45 | 1.78 |

注:劈裂抗拉强度与轴心抗拉强度之间的换算系数近似取 0.9.

图 1 劈裂试验破裂面

验方法,测定聚丙烯纤维掺量为 1.0 kg/m$^3$ 的混凝土轴心抗压强度与静力抗压弹性模量.两组同配合比的 C25 聚丙烯纤维混凝土荷载-位移曲线见图 2.轴心抗压强度 $f_c$ 和静力抗压弹性模量 $E_c$ 的试验结果如下:①$f_c$:第一组 3 块试件的试验值分别为 26.0,27.2 和 27.1 MPa,第二组 2 块试件的试验值分别为 28.1 和 27.6 MPa,两组共 5 块试件的平均值为 27.3 MPa,平均值除以 1.15 为 23.8 MPa,而普通混凝土标准值为 16.7 MPa;②$E_c$:第一组 3 块试件的试验值分别为 $4.25 \times 10^4$,$4.33 \times 10^4$ 和 $3.97 \times 10^4$ MPa,第二组 2 块试件的试验值分别为 $3.23 \times 10^4$ 和 $3.53 \times 10^4$ MPa,两组共 5 块试件的平均值为 $3.78 \times 10^4$ MPa,平均值除以 1.15 为 $3.28 \times 10^4$ MPa,而普通混凝土标准值为 $2.80 \times 10^4$ MPa.

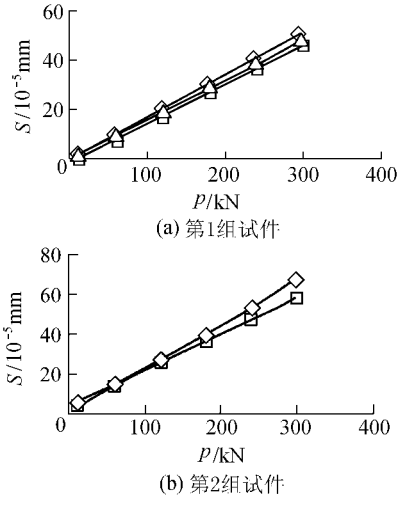


图 2 试件的荷载-位移曲线

试验结果表明:掺加聚丙烯纤维后,如果纤维分散均匀,则不会影响混凝土抗压强度,能够满足设计要求.

#### 2.3.4 轴心抗拉强度试验

采用 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》试验方法,测定聚丙烯纤维掺量 1.0 kg/m$^3$ 混凝土轴心抗拉强度.图 3 是拉伸试验的荷载-位移曲线(图中仅示出 8 个数据).轴心抗拉强度 $f_t$ 及弹性模量 $E_t$ 的试验结果如下:①$f_t$:2 块试件的试验值分别为 2.19 和 2.24 MPa,平均值为 2.22 MPa,平均值除以 1.15 为

1.93 MPa，而普通混凝土标准值为 1.78 MPa；② $E_t$：2 块试件的试验值分别为 $2.78\times10^4$ 和 $4.35\times10^4$ MPa，平均值为 $3.65\times10^4$ MPa，平均值除以 1.15 为 $3.17\times10^4$ MPa，而普通混凝土标准值为 $2.8\times10^4$ MPa.

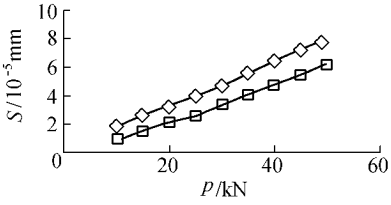


图 3　拉伸试验的荷载-位移曲线

试验结果表明：掺加聚丙烯纤维的混凝土轴心抗拉强度和弹性模量略高于普通混凝土标准值，均能够满足设计要求.

## 3　聚丙烯纤维混凝土抗裂效果分析

据笔者试验研究及相关文献研究成果，混凝土中掺入聚丙烯纤维，不影响混凝土的工作性能；与普通混凝土相比，其抗压强度有所降低，但仍能满足设计要求. 轴心抗拉强度、弹性模量略有提高，因而具有一定的控制非结构性裂缝的作用. 但是从本工程的应用效果来看，部分聚丙烯纤维混凝土抗裂作用不明显，笔者认为可能的原因是纤维在部分混凝土中分布不均匀，有结成束状的现象，在纤维与水泥浆体结合面处形成薄弱面，易造成裂缝由此薄弱面处扩展. 图 1 所示的劈裂试验破裂面反映了这一状况，劈裂抗拉强度试验值有高有低，也说明了这一点.

## 4　结　语

a. 试验结果表明，聚丙烯纤维混凝土的力学性能优于未掺纤维混凝土，具有一定的控制非结构性裂缝作用.

b. 如何充分发挥聚丙烯纤维混凝土良好的抗裂性能，关键在于纤维品质及施工质量，只有采用在混凝土中易分散均匀的纤维，同时又能够保证聚丙烯纤维混凝土的施工质量，聚丙烯纤维混凝土才能充分发挥作用.

参考文献：


[1] 徐至钧. 纤维混凝土技术及应用[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.

[2] 郑子祥. 聚丙烯纤维混凝土在白溪水库面板堆石坝中的应用[J]. 水力发电，2002(11)：37-38.

[3] 朱冠美. 三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 人民长江，2002(10)：39-41.

[4] 杨金良. 改性 PP 纤维混凝土在灌区渠道护砌中的应用[J]. 吉林水利，2003(8)：33-35.

[5] 李光伟. 聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J]. 水利水电科技进展，2001，21(5)：14-16.

[6] DL/T5150—2001，水工混凝土试验规程[S].



(收稿日期：2005-02-28　编辑：高建群)



(上接第 7 页)


表 3　奔子栏至虎跳峡坝址区间 PMP 成果比较　mm

| 方法 | 最大 1 d | 最大 3 d | 最大 5 d | 最大 7 d | 最大 10 d |
|---|---|---|---|---|---|
| 暴雨组合推求 PMP | 90.1 | 253.7 | 310.5 | 349.1 | 396.7 |
| 随机模拟 0.01% 的降雨 | 73.8 | 140.2 | 183.9 | 206.1 | 275.3 |
| 频率计算 0.01% 的降雨 | 69.6 | 147.2 | 192.7 | 230.6 | 283.8 |

## 4　PMP 成果比较及推荐

本文采用暴雨组合放大和随机模拟方法来计算 PMP. 由计算成果可看出，1966 年典型组合暴雨放大成果与随机模拟方法成果比较偏大较多，组合暴雨放大不仅进行了相似替换方法，而且还进行了水汽和动力因子的放大. 因此，该成果肯定比采用其他方法的结果偏大，采用此方法对工程设计更安全. 对于大面积、长历时的 PMP 计算，组合模式法是一种行之有效的方法. 但采用相似过程替换，对组合的构成，都是根据实测暴雨的统计规律和天气预报的经验来确定的. 显然，这种做法有其合理的基础. 但对组合序列的合理性和可能性，欲从理论上得到充分的论证比较困难. 该方法本身还需进一步研究、完善和提高.

随机模拟方法是本次研究中所提出的一种方法，该方法是一种数理统计方法. 该方法可通过随机模拟方法，模拟出年最大 10 d 万年一遇各天的雨量，此结果可与组合暴雨方法推求的可能最大 10 d 各天的暴雨量进行对比分析，使推求的成果更为合理.

参考文献：


[1] 中华人民共和国水利部能源部. SL 44—93，水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 北京：中国水利电力出版社，1993.

[2] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理和方法[M]. 北京：中国水利水电出版社，1999：187-200.

[3] 詹道江，邹进上. 可能最大暴雨和洪水[M]. 北京：水利电力出版社，1983：208-214.

[4] 王作述. 可能最大暴雨的一个数值试验研究[J]. 河海大学学报，1988，16(3)：80-87.

[5] 丛树铮. 水文学的概率统计基础[M]. 北京：水利出版社，1981：372-386.



(收稿日期：2004-12-28　编辑：骆超)