

改性聚丙烯纤维混凝土抗渗性能的试验研究<sup>\*</sup>姜雪洁<sup>1</sup> 王书祥<sup>2</sup>

(1. 青岛理工大学, 青岛 266520; 2. 天津城市建设学院, 天津 300384)

**[摘要]** 通过对两种不同纤维掺量的混凝土试件和普通无纤维混凝土试件抗渗试验的对比,研究了在混凝土中掺入不同掺量的改性聚丙烯纤维对混凝土抗渗性能的改善效果和影响规律,探讨了水泥基纤维混凝土的抗渗机理及性能特点。

**[关键词]** 改性聚丙烯纤维; 纤维混凝土; 抗渗性能

**[中图分类号]** TU528.572

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-523X(2004)11-0048-03

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON IMPERMEABILITY OF HYDROPHILIC POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE

Jiang Xue-jie Wang Shu-xiang

**[Abstract]** The impermeability tests for concrete specimen are compared among two kinds of fiber reinforced concretes with different volume fraction and fiber unreinforced concrete. Effects on the impermeability of fiber reinforced concrete with different fraction of hydrophilic polypropylene are researched. The permeable mechanisms and behaviours of cement-based fiber reinforced concrete are discussed.

**[Keywords]** Hydrophilic polypropylene fiber; Fiber reinforced concrete; Impermeability

随着社会的发展,工业及民用建筑混凝土抗渗性能要求越来越高。目前,改善混凝土抗渗性能的有效途径有两种。其一,通过在混凝土中添加外加剂的方法,即通过膨胀剂提高混凝土的密实性,或加入憎水性有机材料提高混凝土抗渗性的方法,达到改善混凝土抗渗性能的目的;其二,在混凝土中掺入纤维,减少混凝土内部缺陷,改善混凝土的品质,提高其抗渗性能。添加外加剂,易引起混凝土碱-基料反应或其它化学反应,使得混凝土的耐久性难以保证。在建筑材料中掺入纤维的做法由来已久。早期,主要是利用天然纤维;在现在工程施工中,常使用的是玻璃纤维和钢纤维。由于玻璃纤维的抗剪能力差,易引起混凝土碱-基料反应,不宜采用。钢纤维的比重大,虽能改善混凝土的某些品质,但增加结构负担,且对混凝土抗渗性能改善不明显。随着化学工业突飞猛进的发展,20世纪60年代以来,国外已开始大量研究利用化学合成纤维掺入混凝土或砂浆中,以便改善水泥基混凝土脆性高、抗拉强度低、抗渗性能差等缺点,提高水泥材料制品的物理力学性能,现已取得巨大发展和广泛应用。该项研究

拟通过试验,研究利用国产改性聚丙烯纤维改善混凝土抗渗性能的途径和方法,并就改性聚丙烯纤维对混凝土抗渗性能的影响机理进行探讨。

## 1 方法及试验结论

## 1.1 试验目的

目前,国外在工程用混凝土或砂浆中掺入的改性聚丙烯纤维主要是单丝改性聚丙烯短纤维,长度约为数毫米至数十毫米;长纤维(也称连续纤维),主要用于水泥材料制品。通常,在混凝土或砂浆中掺入短纤维的体积率均较低,掺入体积率约为0.01%~0.3%,一般称为低掺量纤维混凝土。纤维掺入体积率大于1%时,称作高掺量纤维混凝土,主要用于水泥材料制品。

试验采用的纤维是天津市欣晟建筑纤维公司生产的改性聚丙烯纤维,美国杜拉公司及天津欣晟公司生产的纤维单丝的各项技术性能指标对比情况见表1。对比表明天津欣晟公司生产的纤维其化学及物理力学性质都不低于国外同类产品。欣晟纤维改性工艺属国内自主知识产权,纤维具有良好的亲水性和分散性。该研究似通过对纤维掺入体积率分别为0%,0.1%,0.13%的混凝土的抗渗性能进行试验研究。

## 1.2 试件制作

试验依据GBJ《普通混凝土长期耐久性试验方法》的规定进行,试件共分3组,每组6件试件。试件是顶面直径为175mm,底面直径为185mm,高度为150mm的圆台体,试件

\* 本项目2002年12月经天津市建委批准立项(项目编号:2002-37),项目名称:聚丙烯纤维在混凝土工程中的应用研究,已通过天津市建委鉴定(编号:津建科教鉴字2003-8)。

收稿日期:2004-08-15

作者简介:姜雪洁(1955-),女,山东青岛人,副教授,主要从事力学教学和试验工作

利用混凝土渗透仪进行抗渗试验<sup>[1]</sup>。

表 1 美国杜拉公司与国产改性聚丙烯纤维单丝的主要技术性能指标对比

序号	技术性能指标	美国杜拉纤维	欣晟纤维
1	纤度/(g/9000 m)	15 ± 2	15 ± 3
2	体积质量/(t·m <sup>-3</sup> )	0.91	0.91
3	极限拉伸率	15%	(23 ± 8)%
4	抗拉强度/MPa	276	> 500
5	弹性模量/MPa	3793	> 4500
6	吸水性	极低	极低
7	熔点	约 160℃	165 ~ 173℃
8	导热性	极低	极低
9	导电性	极低	具有良好的电绝缘性
10	安全性	无毒材料	无毒材料
11	耐酸性	极高	浓酸溶液对其强度无明显影响
12	耐碱性	极高	浓碱溶液对其强度无明显影响
13	其他	抗老化	抗紫外线

制作试件的混凝土配合比,水泥:石子:砂:水 = 360:1065:720:205,该配合比符合 P<sub>6</sub> 级抗渗等级要求。试件掺入纤维体积率分别为 0%, 0.1% 和 0.13% (后两组的纤维掺入量分别为:0.9 kg/m<sup>3</sup> 及 1.2 kg/m<sup>3</sup>)。

试件采用的纤维纤度为 15 ~ 17 g/9000 m。即直径约为 48 μm;长度为 19 mm。试件制作时,为使纤维分布均匀,纤维、砂、石骨料和水泥一同投入,而后加水进行强制搅拌。

### 1.3 试验方法

试验方法依据 GBJ《普通混凝土长期耐久性试验方法》实施。试件试验龄期为 28 d。试验采用 HS-4B 型混凝土渗透仪。该仪器加压范围为 0 ~ 4MPa,每次试验安装一组试件(6 枚)。试验时由初始 0.1 MPa 开始加压,加压持续 8 h,如未发现试件出现透水或透水试件总数不超过 3 个试件时,试验压力递增 0.1 MPa 继续持续加压 8 h,依此类推,直至透水试件超过 3 个试件时试验结束。

### 1.4 试验结论

3 组试件的试验结果如表 2 所示。

表 2 不同掺量纤维混凝土抗渗试验结果

编号	类型	初始压力 /MPa	耐水压力 /MPa	渗水压力 /MPa	加载时间 /h	抗渗等级	抗渗等级提高率 %
1	0/0	0.1	0.8	0.9	64	8	
2	19/0.9	0.1	1.3	1.4	104	13	63
3	19/2.1	0.1	2.4	2.5	92	24	200

注:19/1.9 型指 19 mm 长,掺入量为 0.9 kg/m<sup>3</sup>

试验结果表明,混凝土中加入改性聚丙烯纤维后,可大幅度提高混凝土的抗渗性能。不仅抗渗时间大幅度增加,并且耐受压力也大幅度提高。以第二组试件为例,纤维体积掺入率为 0.13% 时,其最高耐受压力和耐受时间均提高了 200%。可见,在混凝土中加入改性聚丙烯纤维后可有效提高水泥基混凝土材料的抗渗能力。相关实验还表明,即使纤

维掺量降低为 0.05% 时,混凝土的抗渗性能也有十分明显的提高。

试验中,将未产生透水现象的试件剖开进行观察发现,尚未完全透水的未掺入纤维的混凝土试件透水高度均达 120 mm 以上;而尚未完全透水的已掺入纤维的混凝土试件透水高度仅为 50 ~ 80 mm 左右,且纤维掺量越高,透水高度越低。

以上结果表明:在混凝土中掺入一定比例的改性聚丙烯纤维,可以明显改善混凝土的抗渗性能,而且掺入纤维的比例越高,抗渗性能改善越明显,而且由于聚丙烯纤维具有良好的化学稳定性,掺入纤维不影响混凝土的化学性质。

## 2 掺入改性聚丙烯纤维对混凝土抗渗性能的影响机理

### 2.1 掺入纤维使混凝土抗渗性能提高的原因

试验所用纤维纤度为 15 ~ 17 g/9000 m,直径约为 48 μm,长度为 19 mm,试件纤维掺入量分别为 0.9 kg/m<sup>3</sup> 和 1.3 kg/m<sup>3</sup>,即每立方米混凝土中分布的纤维根数分别约为 2.8 × 10<sup>6</sup> 根和 3.8 × 10<sup>6</sup> 根,由于改性聚丙烯纤维有着良好的分散性,因此,从理论上讲,在混凝土内,单根纤维间的平均间距分别约为 1.87 mm 和 1.61 mm。在数目众多的纤维作用下,混凝土抗渗性能提高的主要原因有以下几点:

a)纤维能有效阻止混凝土塑性期裂缝的产生,由于纤维在混凝土内呈现三维空间网络结构,起到支撑集料的作用,在一定程度上阻止了粗、细集料的沉降;同时也降低了混凝土表面的析水现象,有效阻止由于混凝土表面迅速失水造成塑性期较大体积收缩,从而抑制塑性期混凝土表面出现裂缝。

塑性状态的混凝土强度极低,纤维在塑性状态的混凝土中能承受由于干缩而产生的拉应力,减少并阻止塑性状态下混凝土内部裂缝的产生和发展。纤维的存在有效阻止了混凝土塑性期内部裂缝的产生和发展<sup>[2]</sup>。

b)纤维在硬化混凝土中可发挥的有效阻裂作用。硬化的混凝土由于干燥收缩、温度收缩及碳化收缩的存在,常会引起混凝土内部产生各种收缩应力(拉应力),当混凝土结构内产生的拉应力超过混凝土的抗拉强度时,混凝土就会产生大量裂缝。在混凝土中掺入纤维,可有效降低裂缝尖端的应力集中,而抑制裂缝的进一步发展,从理论上讲,在三维分布纤维的作用下,当开裂应力不大于纤维抗拉应力时,混凝土内裂缝的发展不超过单根纤维的平均间距,此值与掺入纤维的体积率成反比,与掺入纤维长度成正比。在试验采用的掺量时,其间距为 1.61 ~ 1.87 mm。纤维有效防止微裂缝扩展,并阻止微细裂缝的贯通<sup>[3]</sup>。

c)纤维掺量对混凝土抗渗性能产生影响。由于改性聚丙烯纤维在混凝土中无规则分布,纤维在混凝土中呈棋盘状均匀分布。在棋盘状纤维间隙中,可能存在着混凝土固有缺陷。这些缺陷是普通混凝土受到内部或外部应力作用时,产生裂缝并最终导致混凝土趋于破坏的根本原因。根据弹性断裂力学理论(Romualdi 理论),由于纤维的存在使应力裂缝趋于闭合。据国外文献报道<sup>[3]</sup>,在混凝土中,当纤维分布的

(下转第 79 页)

原材料的质量关。从各个环节保证工程的质量,确保工程质量目标的控制和工程质量目标的实现。

#### 4 结论

本文在 Partnering 模式的基础上,针对其建立协作小组难以实现的弱点,将虚拟组织与之结合,从而构建了虚拟的 Partnering 模式。工程结果表明,虚拟的 Partnering 模式克服了传统建设模式的种种不足,是大型工程项目管理的理想选择。

#### 参考文献

- 1 Jack R. Meredith, Samuel J. Mantel. Project Management: a Managerial Approach[M]. 北京:电子工业出版社,2002

- 2 Jack Gido, James P. Clements. Successful Project Management[M]. 北京:机械工业出版社,2002
- 3 黄仕诚,沈祥华. 建筑工程经济与企业管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997
- 4 成康. 工程项目管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- 5 陆惠民,苏振民,王延树. 工程项目管理[M]. 南京:东南大学出版社,2002
- 6 孙健,韩广智. 网络经济条件下企业组织结构的优化[J]. 经济管理,2000,(12)
- 7 田传,田红云. 基于知识管理的企业组织结构变革[J]. 现代管理科学,2003,(9)

(上接第 49 页)

平均间距小于 7.6 mm 时,混凝土的抗拉或抗弯初裂强度就能得以明显提高。掺纤维的混凝土在限制收缩的条件下,因失水干缩而引发裂缝时,由于纤维存在阻裂作用,可显著减少初始裂缝的数量,有效抑制裂缝的宽度和长度,并大大降低生成贯通裂缝的可能性。混凝土中掺入纤维的体积率达 0.003% 时就可使混凝土的裂缝被明显细化,当裂缝宽度超过自愈范围后,裂缝的漏水量与裂缝宽度的三次方成正比。混凝土中由于纤维的存在,即使裂缝的总面积不变,由于裂缝的细化,混凝土的漏水量与细分后的裂缝根数成反比,即单位混凝土体积内均匀分布的纤维根数越多,裂缝宽度就越窄,混凝土的抗渗性能也就越优异。

由于混凝土内均匀散布的短纤维起到了阻断混凝土内裂缝毛细作用的效果,对提高抗渗性也起到一定作用<sup>[4]</sup>。

#### 2.2 纤维混凝土与其它改善混凝土抗渗性能方法的分析与比较

在混凝土中掺加膨胀剂,改变混凝土的配合比,降低水灰比,增加混凝土的浇注厚度或在混凝土中添加有机硅防水剂或防水树脂等都可以提高混凝土的抗渗性能。但其增强效果和工作机理却有着很大的区别。

a) 膨胀剂是在混凝土硬化过程中发挥作用,对于混凝土塑性期产生裂缝的效果不佳。改性聚丙烯纤维在混凝土呈塑性状态时即可减少和阻止混凝土裂缝的发生。因此,纤维对混凝土抗渗性能的改善是全过程的。

b) 膨胀剂需有充足的水分才可发挥作用。如早期养护保湿不当或过早暴露于干燥空气之中,则膨胀过程便会停止,从而失去作用。改性聚丙烯纤维不需要水的参与便可有效减少和阻止裂缝的发生。并且纤维还具有一定的保水性,可改善混凝土的早期养护条件。

c) 膨胀剂存在与其他化学添加剂间的合理匹配问题。有的膨胀剂呈碱性,可能引起或助长混凝土的碱-集料反应。改性聚丙烯纤维化学稳定性好,可以与任何化学外加剂任意匹配,且具有极好的阻裂效果,不仅不会诱发,反而有利于防止混凝土的碱-集料反应的产生。

d) 在混凝土中添加有机硅,防水树脂等憎水剂,存在施工工艺复杂、成本高等缺点。改性聚丙烯纤维较其它改善混凝土抗渗性能的方法所要求的使用条件和施工条件更宽松,

使用过程更安全、更可靠,而且其长期抗渗防水效果更佳。尤其适用于环境十分恶劣,形状十分复杂,抗渗防水性能要求很高的场合。

#### 3 试验结论及建议

##### 3.1 试验结论

a) 试验研究发现,掺入改性聚丙烯纤维后其抗渗性能的改善效果与纤维掺量有关,在一定掺量范围内,掺量越大,效果越佳。但考虑到性能改善与经济成本双重因素的影响,在一般民用及工业建筑中,掺入量的体积率以 0.1% ~ 0.3% 较为合理,纤维长度以 19 ~ 30 mm 为宜。

b) 改性聚丙烯纤维能有效改善混凝土的抗渗性能,但降低了混凝土的坍落度,尤其对大坍落度混凝土影响更大。因此,对于泵送大坍落度混凝土应当调整减水剂的品种及用量,满足现场施工对坍落度的要求。

##### 3.2 几点建议

a) 改性聚丙烯混凝土主要适用于如浇筑地下室底板、侧墙、顶板、各种建筑物的屋面板以及各种水池、化污池、游泳池、渡槽、隧道、地铁、涵洞等各种要求混凝土抗渗防水场合。

b) 配制含纤维混凝土应在加入粗、细骨料与水泥时,将适当用量的纤维一次性投入搅拌料中,加水搅拌,即可达到很好的分散效果。以采用强制式搅拌为佳。

c) 在混凝土中掺入的化学合成纤维应具有良好的亲水性和分散性。由于普通化学纤维难以在混凝土中均匀分散,在紫外线作用下会迅速老化,因此,在选用改性聚丙烯纤维时必须特别注意所选用纤维的物理力学性能、化学稳定性、耐老化性、亲水性和水中分散性是否满足工程需要,以免影响混凝土的品质。

#### 参考文献

- 1 莹益,沈荣喜,李清海. 杜拉纤维在土建工程中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002
- 2 戴建国,刘明,黄承逵. 聚丙烯纤维混凝土和砂浆的塑性收缩试验研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报,2000,(3):195-196
- 3 ALHOZAIMY A M, SOROUSHLAN P, MIRZA F. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials[J]. Cement Concrete Composites,1996,(18):85-92
- 4 王志海,李继忠. 抗渗防裂混凝土研究与应用[J]. 中国建材科技,2002,11(5):49-52