

# 聚丙烯纤维增强的水泥砂浆断裂韧性的研究

尚敏

(河北城乡建设学校, 石家庄 050031)

**摘要:**为了解决普通混凝土小型空心砌块墙体易脆性开裂的问题, 研究了一种新型抹面砂浆。通过改变掺加纤维的种类、纤度、长度、截面形状、数量, 进行砂浆断裂韧性的对比实验。结果表明: 掺加纤维对提高普通空心砌块墙体用砌筑砂浆的断裂韧性有良好作用, 尤其是掺入适量、纤度适当的经表面氧化处理、长度 15 mm 的聚丙烯纤维效果最为良好。

**关键词:**聚丙烯纤维; 断裂韧性; 砂浆; 普通小砌块

**中图分类号:** TQ 342.62

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7054(2005)06-0039-04

## 前言

随着我国新型墙体节能材料的推广, 国家有关部门先后制订并颁布实施推进新型墙材的规定, 新型墙体节能材料(如轻质板材、轻质砖等)的应用越来越广。普通混凝土小型空心砌块是其中一种具有广阔发展前途的新型建筑材料, 在我国应用已有二十多年的历史了。小砌块符合“三节一控”, 即节能、节土、节水与控制环境污染、保护生态平衡的基本国策, 它的推广和应用具有很大的意义<sup>[1]</sup>。但是, 由于小砌块在我国使用时间不长, 各地发展又很不平衡, 设计、施工单位对其特性把握不足。目前, 在许多地区小砌块墙体还存在着裂、渗、漏等现象, 尤其是墙面整体砂浆层的收缩龟裂, 一直是工程界难以有效根治的质量通病, 因此寻找有效的技术解决手段是工程界面临的一个十分紧迫的问题<sup>[2]</sup>。

理论已经证实, 把纤维加入砂浆中可以提高砂浆的许多力学性能。考虑到纤维与水泥之间的最大差别在于韧性和脆性的对比, 所以, 我们主要研

究了掺加聚丙烯纤维的水泥砂浆各种参数对断裂韧性的影响情况, 然后选择最佳的配比方案, 以供工程人员应用作为参考。

## 1 原材料和试验方法

### 1.1 原材料

试验所用的水泥是嘉新牌 325# 普通硅酸盐水泥, 台湾嘉新水泥集团生产。试验所用粉煤灰为上海福莱造型材料公司生产的优质粉煤灰, 砂子为标准砂, 水是自来水。

掺入纤维的物理力学性能见表 1。

表 1 纤维物理力学性能表

纤维品种	直径/ $\mu\text{m}$	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	弹性模量/ $\text{GPa}$	抗拉强度/ $\text{MPa}$	断裂延伸率/%
异形聚丙烯(PP)	85	0.91	8.0	400	8.0
膜裂聚丙烯(PP)	111	0.91	8.0	400	8.0
聚乙烯醇(PVA)	14~18	1.26	18.8	1050	5.8
粘胶基碳纤维	12.5	1.47	50.0	900	4.0

### 1.2 试样制备及试验配比

表征水泥材料韧性的指标是折压比, 虽然该数据只能粗略地表征材料的韧性, 但是比较方便。

收稿日期: 2005-03-07

作者简介: 尚敏(1972-), 女, 河北石家庄人, 河北城乡建设学校工民建专业讲师, 东华大学在读研究生。研究方向: 高分子材料在建筑材料中的应用。

原理很简单, 主要依据就是如果材料的脆性越大, 那么材料的抗压强度在一定程度上就越大, 而抗折强度却减小, 这样, 材料的抗折强度与抗压强度的比值 (折压比) 就可以作为衡量水泥材料的韧性的指标。显然, 折压比越大的材料, 它的韧性就越好。

试验配比: 水泥与细砂为 1:3, 水灰比 0.50~0.55, 粉煤灰掺量为水泥质量的 10%; 纤维长度均为 15 mm, 掺量均为 2.0 kg/m<sup>3</sup> (砂浆质量百分率为 0.01%); 流动度控制在 165 ± 5 mm。

试件制备: 先将砂子与纤维在 JJ-5 型行星式水泥胶砂搅拌机里干拌均匀, 再加入水泥、粉煤灰和水, 充分搅拌均匀。将搅拌好的拌和物置入标准尺寸并且涂上油的钢模, 在水泥胶砂振实台上振动后刮平顶面, 试件制作后放在 20 ± 5℃ 环境下停置一昼夜 (24 ± 2h), 然后进行编号、拆模, 并在标准养护条件下 (20 ± 3℃, 相对湿度 90% 以上) 养护 28 日, 分别测出试样的抗折与抗压强度。抗折强度采用 DKZ-5000 型电动抗折试验机进行测试, 试件尺寸为 4 cm × 4 cm × 16 cm; 抗折强度数值可以直接从电动抗折试验机上直接读取, 每组试件为三个, 取三个试件测量值的算术平均值作为该组试件的抗折强度值, 平均值精确至 0.1 MPa。抗压强度用 TYE-300 液压式水泥压力试验机测试。每组试件为六个, 取六个试件测量值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值, 平均值精确至 0.1 MPa。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 纤维种类对水泥砂浆断裂韧性的影响

由于各种纤维的力学性能和其与水泥砂浆的作用机理不同, 所以对水泥砂浆的断裂韧性的影响是不同的。各种纤维水泥砂浆折压比数据见表 2。

表 2 各种纤维水泥砂浆试件的折压比数据

试件种类	1# (空白)	2# (膜裂 PP)	3# (PVA)	4# (异形 PP)	5# (碳纤维)
折压比	0.248	0.233	0.247	0.258	0.268

从表 2 可以看出, 膜裂 PP 纤维和聚乙烯醇纤维水泥砂浆试件的折压比均低于未掺纤维的空白水泥砂浆试件, 而 PP 异形纤维和碳纤维水泥砂浆试件的折压比高于空白水泥砂浆试件, 其中, 膜裂

PP 纤维水泥砂浆试件的折压比最低, 碳纤维水泥砂浆试件的折压比数值最高。出现这种结果的原因可能是由于各种纤维的等效直径和其在水泥砂浆中的分布不同而引起的。从各种纤维的物理学性能表可以看出, 膜裂 PP 纤维的等效直径最大, 并且纤维本身彼此粘连, 显然在水泥砂浆中的分布也不均匀, 表现出折压比数值最小, 也就是说这种砂浆的断裂韧性最差。聚乙烯醇纤维虽然等效直径很小, 但是在实际试件制作中, 很难分散, 这就造成聚乙烯醇纤维在水泥砂浆中有结团现象, 致使试件的力学性能有所下降, 因此该种纤维砂浆的断裂韧性也不够理想。PP 异形纤维的等效直径相对较小, 并且由于其疏水性大而在砂浆中的分散很好; 而碳纤维由于各种力学性能最好, 纤维的等效直径也最小, 因而表现出砂浆试件的断裂韧性最好。但是, 由于碳纤维本身的价格昂贵, 并且在砂浆中也存在一定的分散困难性, 目前在增韧方面的应用还很少, 所以我们选择异形聚丙烯纤维作为提高砂浆韧性的主要品种。

### 2.2 聚丙烯纤维的掺量对水泥砂浆断裂韧性的影响

表 3 是 4 种不同纤维掺量 (砂浆的质量百分率) 的水泥砂浆试件的折压比数据以及相对于空白砂浆试件折压比的对比百分率。

表 3 不同纤维掺量水泥砂浆试件的折压比数据及其对比百分率

PP 纤维掺量 / %	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06
折压比	0.248	0.258	0.280	0.300	0.310
对比百分率 / %	100	104	113	121	125

从表 3 可以看出, 砂浆试件的断裂韧性随着纤维掺量的增大而明显提高。这是由于: 纤维掺入水泥砂浆后, 二者均匀结合在一起, 在一定程度上降低了水泥材料的脆性, 致使砂浆试件发生断裂时的变形有所增大, 从而使砂浆试件的韧性得以提高。但是, 在实际工程应用中, 随着纤维量的增大, 砂浆材料的价格也相对提高, 因此, 在没有特殊要求砂浆材料韧性的情况下, 工程上可以根据实际需要, 选择砂浆其它性能达到最优化时的纤维加入量, 使纤维的功效达到最大值。

### 2.3 聚丙烯纤维的纤度对水泥砂浆断裂韧性的影响

纤度在一定程度上会影响到聚丙烯纤维在水

泥砂浆中的分散情况。从实际制作试件的操作中发现,聚丙烯纤维的纤度越小,其在水泥砂浆中的分散性越差,

表 4 不同纤度聚丙烯纤维水泥砂浆试件的折压比数据

PP 纤维纤度 /dtex	11	17	22
折压比	0.268	0.289	0.266

从表 4 可以看出,随着聚丙烯纤维纤度的增大,水泥砂浆试件的折压比先增大后又减小,也就是说,砂浆试件的断裂韧性先变好再变差。出现这种结果的原因可能是:纤维的纤度为 11 dtex 的时候,聚丙烯纤维由于过细,导致它在水泥砂浆中难以分散均匀,反而降低了砂浆材料的韧性;当纤维的纤度超过 17 dtex 的时候,随着纤度的增加,纤维在水泥砂浆中的分散性转好,在同样的掺入量条件下,与纤度为 22 dtex 的聚丙烯纤维相比,17 dtex 纤维的根数明显要多些,从而试件表现出来的断裂韧性也更加优越。

#### 2.4 聚丙烯纤维的长度对水泥砂浆断裂韧性的影响

长度不同,纤维在水泥砂浆中的分散难易程度有所不同。纤维长度越短,越容易分散在水泥砂浆中。

表 5 不同长度聚丙烯纤维水泥砂浆试件的折压比数据

PP 纤维长度 /mm	8	15	19
折压比	0.243	0.251	0.243

从表 5 可以看出,随着聚丙烯纤维长度的增加,水泥砂浆试件的折压比先增大而后减少,即水泥砂浆试件的断裂韧性先变好而后又变差。这可能是随着聚丙烯纤维长度的增加,虽然纤维在砂浆中的分散性有所降低,但是聚丙烯纤维在水泥砂浆中的卷曲程度越来越大,纤维之间的相互拉拽作用提高,纤维与水泥砂浆的结合程度发生了改变,体系粘性变大,因而折压比逐渐增大;但是,随着纤维长度的进一步加长,聚丙烯纤维在砂浆中由于卷曲加重反而发生结团现象,造成了砂浆试件内部出现缺陷,从而造成水泥砂浆试件折压比出现下降的趋势,试件的断裂韧性变差。另外,纤维长度越长,搅拌所需要的能量也越大,所以,选择合适的纤维长度,使聚丙烯纤维能够在砂浆中发挥最大程度的作用也是一个值得考虑的问题。

#### 2.5 聚丙烯纤维的表面处理方法对水泥砂浆断裂

#### 韧性的影响

聚丙烯纤维表面疏水,化学性质也不活泼,极性小,对水泥基体的亲和力不够理想。为了增强聚丙烯纤维对水泥的附着力,我们分别对纤维进行了表面改性处理。图 1 是未经表面处理的聚丙烯纤维和经不同表面处理的纤维水泥砂浆试件的折压比数据直方图。

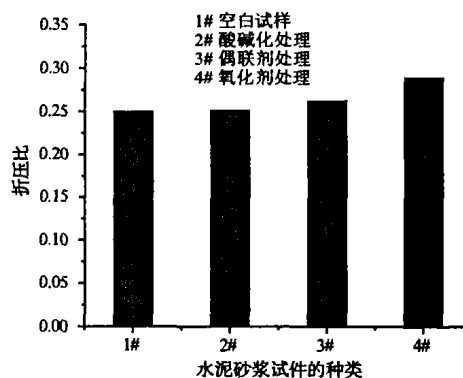


图 1 不同表面处理的 PP 纤维对水泥砂浆试件断裂韧性的影响

从图 1 可以看出,与未经表面处理的聚丙烯纤维水泥砂浆试件相比,经过酸碱化处理后,试件的折压比从 0.250 增大到 0.252,折压比提高了 0.8%,经过偶联剂处理的砂浆试件的折压比是 0.263,提高 5.2%,而经过氧化剂处理的砂浆试件折压比为 0.290,提高率达到 16%,也就是说,三种表面处理方法均能提高水泥砂浆试件的断裂韧性,其经过氧化剂处理的聚丙烯纤维对水泥砂浆试件断裂韧性提高的效果最好。出现这种结果的原因是由于聚丙烯纤维经过不同表面处理后,纤维表面的粗糙程度发生不同程度变化,这可以从图 2~5 的 SEM 图片中得到解释。

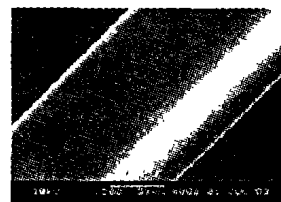


图 2 未经处理的聚丙烯纤维 SEM 图

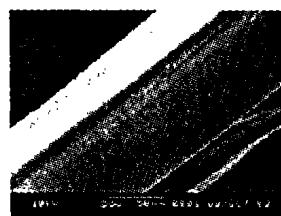


图 3 酸碱化处理的聚丙烯纤维 SEM 图

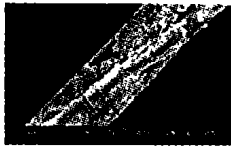


图4 偶联剂处理的聚丙烯纤维 SEM图

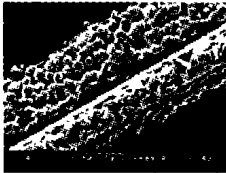


图5 氧化剂处理的聚丙烯纤维 SEM图

从图2~5可以看出,经过氧化剂处理的聚丙烯纤维的表面粗糙程度最大,反映到砂浆试件的折压比数值也最高。这就说明,纤维的表面粗糙程度越大,相当于纤维表面形成大量的机械啮合点,当纤维与水泥砂浆结合时,二者的结合程度越高,所形成的纤维水泥复合材料的基体韧性越好。

### 3 结论

通过以上对聚丙烯纤维水泥砂浆各种性能的

研究发现:碳纤维对水泥砂浆的断裂韧性提高最明显,其次是聚丙烯纤维,但是碳纤维价格昂贵,因此,综合起来看,应该选择聚丙烯纤维作为砂浆增强的纤维材料。一般说来,随着聚丙烯纤维长度的增加、纤度的减小、掺量的增大均在不同程度上改善了水泥砂浆的断裂韧性。对聚丙烯纤维进行表面物理和化学的改性处理对于优化纤维水泥复合材料的性能大有益处,通过比较,三种化学改性方法中,经表面氧化处理的聚丙烯纤维水泥砂浆性能最优。我们有理由预测,这种改性聚丙烯纤维水泥砂浆能够弥补目前小砌块墙体易发生脆性开裂的不足之处,这对于小砌块这一新型墙体材料的推广具有深远的意义。

#### 参考文献

- [1] 李绍球,浅谈减少普通混凝土空心砌块干缩的途径,建筑砌块与砌块建筑,2001,(2):9~11.
- [2] 苑振芳,砌体结构裂缝的性质及其控制措施要点,建筑砌块与砌块建筑,2002,(4):3~6.

## Study on the Toughness of Polypropylene Fiber Reinforced Cement Mortar

SHANG Min

(Hebei Urban and Rural Construction School, Shijiazhuang 050031)

**Abstract:** A novel mortar was prepared for the anti-cracking of normal small-sized concrete hollow block (SSCHB). Comparison studies with different fiber, fiber thickness, fiber length, cross-section and fiber amount showed that the adding of fiber improved the toughness of SSCHB, especially the adding of certain amount of oxidation treated polypropylene fiber with fiber length of 15mm. The study benefited the application of novel wall material with the advantages of low cost and lightweight.

**Key words:** polypropylene fiber, toughness, cement mortar, normal small-sized concrete hollow block

#### 行业动态

### 德国成为上海国际纺织工业展最大海外参展团

在刚刚结束的第十一届上海国际纺织工业展览会上,德国展团再次成为最大的海外参展团。来自德国的100家参展企业在不同的展馆展示了纺纱、织造、针织、非织造、染色和整理机械,以及部件、配件和纺织化学品。所有公司都展示了最新的机械设备,提供了以顾客为导向的解决方案,并且介绍了他们对纺织行业的支持服务。展商中大部分公司属于中小型企业,但是也有在中国或别的国家都拥有当地的分支机构以及生产设施的国际大公司。90年代初德国公司在中国建立了首批合资公司并随后建立了全资子公司。今天德国机械制造协会纺织机械分会的大部分会员在中国都有自己的代理、办事处甚至生产基地。

自从90年代中期以来,全球每年纺织机械和配件的出口额在120至130亿欧元之间。迄今为止,德国作为最大的出口商,占据全球1/3的出口市场,出口超过150个国家。德国纺织机械年产值超过40亿欧元,其中90%以上出口。从2002年以来中国已经成为德国纺织行业优质机械最重要的单一出口市场。这个全球最大的纺织机械市场近年来持续繁荣。在过去三年对中国的出口持续两位数的增长之后,2004年依然保持着高位繁荣(10.14亿欧元),迄今为止中国已经成为德国纺织科技产品最重要的购买市场,和其他主要市场相比,中国占有绝对的优势。