

# 聚丙烯纤维混凝土抗裂性的试验研究

刘数华<sup>1</sup>, 何林<sup>2</sup>

1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072

2. 国家电力公司成都勘测设计研究院二滩国际, 四川 成都 610072

**摘要:** 通过试验, 提出聚丙烯纤维对混凝土的强度、脆性、弹性模量和极限拉伸值等物理力学性能的影响。结果表明: 在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维是克服混凝土开裂的有效途径, 能有效地提高混凝土的抗裂性能。同时, 探讨了聚丙烯纤维对混凝土抗裂性能影响的机理。

**关键词:** 聚丙烯纤维; 混凝土; 抗裂性。

**中图分类号:** TU528.572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1672(2005)02-0050-03

**Experimental Study of Crack Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete / Liu Shu-hua et al / Wuhan University**

**Abstract:** Effects of polypropylene fiber on physical-mechanical properties of the concrete such as strength, brittleness, elastic modulus, ultimate elongation were presented through tests. Testing results showed that addition of a certain amount of polypropylene fiber to concrete was an effective way to prevent concrete from cracking and could effectively enhance the crack resistance of concrete. Mechanism for effects of polypropylene fiber on crack resistance of concrete was also discussed.

**Key Words:** polypropylene fiber; concrete; crack resistance.

## 1 前言

混凝土的发展已有 100 多年的历史, 该材料因压缩强度高、耐久性好、成本低等特点在建筑工程上得到广泛应用。但是, 混凝土又是一种多孔的脆性材料, 其抗拉强度远远低于抗压强度, 韧性差, 对冲击、开裂、疲劳的抵抗能力差; 且由于裂纹的存在使水的渗入成为可能, 从而影响到混凝土抵抗水渗透和抵抗冰冻的能力。多年来人们从原材料、配合比、外添加剂、制造方法、浇捣方法和养护工艺等方面加以研究和改进, 尽管取得了一些进展, 但是这些方法并未从根本上改变混凝土的特性。

上世纪 40 年代, 国际上就开始对高分子改性混凝土进行了研究; 60 年代, 英国西部海岸工程中就把剁碎的聚丙烯掺到混凝土块体中, 并用这些块体砌成防浪堤; 70 年代, 纤维增强水泥基复合材料发展起来, 包括钢纤维、玻璃纤维、合成纤维, 尤其是高分子纤维材料在水泥混凝土中的应用越来越普遍; 80 年代以来美国合成材料化学工业公司生产了一种纤维丝, 并将其应用于混凝土建筑物, 通过大量材料和工程结构试验, 现已得到广泛应用; 90 年代初美国又研制出混凝土专用的微纤维, 对增强混凝土早期拉伸强度, 防止早期由沉陷、水化热、干

缩而产生的内部裂纹, 减少表面裂纹和开裂宽度, 增强混凝土的防渗性能、抗磨损、抗冲击及增强结构整体性有显著作用。本次试验研究聚丙烯纤维对混凝土强度、脆性、极限拉伸等物理力学性能的影响, 说明在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维能提高混凝土的抗裂性能。

## 2 聚丙烯纤维混凝土抗裂性的试验研究

### 2.1 配合比设计

试验采用的聚丙烯纤维性能如表 1 所示。

水泥采用 42.5 普通硅酸盐水泥, 粉煤灰采用二级粉煤灰, 骨料采用二级配骨料。

试验固定水灰比、胶凝材料用量、粉煤灰掺量和砂率, 通过调整聚丙烯纤维的掺量来研究其对混凝土性能的影响。试验采用的配合比如表 2 所示。

### 2.2 试验结果分析

试验结果如表 3 所示。

表 3 说明, 聚丙烯纤维对混凝土的抗压强度影响较小, 随着聚丙烯纤维掺量的增加, 混凝土的抗压强度不仅没有提高反而有所降低; 随着聚丙烯纤维掺量的增加, 混凝土的抗折强度有所提高; 随着聚丙烯纤维掺量的增加, 混凝土的脆性降低得越多, 聚丙烯纤维能减小混凝土的脆性。以上说明掺聚丙烯

烯纤维可以提高混凝土的韧性,从而弥补混凝土脆性大的不足。

试验结果表明,聚丙烯纤维混凝土的弹性模量随聚丙烯纤维掺量的增加而稍有下降,但聚丙烯纤维混凝土的极限拉伸变形却明显提高。这是由于聚

丙烯纤维的弹模较低,而其断裂伸长率大于混凝土断裂伸长率的缘故。聚丙烯纤维所具有的这些特性,有利于提高混凝土的延性,改善混凝土变形性能,这对约束混凝土裂缝的扩展以及提高混凝土裂后所具有的承载能力都起很大的作用。

表1 聚丙烯纤维的主要性能

耐酸碱性	吸水性	燃点	熔点	抗拉强度	弹性模量	极限拉伸
极高	无	593℃	165℃	276 MPa	3793 MPa	15%

表2 聚丙烯纤维混凝土配合比

编号	W/B	F+B /kg/m <sup>3</sup>	F/(F+B) /%	S/(S+G)	聚丙烯纤维掺量/kg/m <sup>3</sup>
P1	0.40	300	15	0.37	0
P2	0.40	300	15	0.37	0.6
P3	0.40	300	15	0.37	0.9
P4	0.40	300	15	0.37	1.2

表3 聚丙烯纤维混凝土的性能

编号	抗压强度		抗折强度		脆性系数		极限拉伸值		抗拉弹模	
	MPa		MPa		MPa		×10 <sup>-6</sup>		GPa	
	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d
P <sub>1</sub>	27.2	36.6	3.16	4.79	8.61	7.64	96	101	3.04	3.38
P <sub>2</sub>	24.5	32.1	3.22	4.83	7.60	6.64	105	115	2.92	3.17
P <sub>3</sub>	22.0	32.1	3.27	4.87	6.72	6.59	103	116	2.74	3.07
P <sub>4</sub>	22.1	31.8	3.34	4.88	6.61	6.52	106	124	2.87	3.02

### 3 聚丙烯纤维混凝土抗裂机理分析

聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维,该纤维的特点是直径小、数量多、纤维间距小、掺混工艺简单、易分散等。在混凝土内掺入聚丙烯纤维,由于纤维细微,比表面积大,每千克聚丙烯纤维连起来的总长度可绕地球10多圈,若分布在混凝土中,则可使每立方厘米的混凝土中有近20条纤维丝,故能在混凝土内部构成一种均匀的乱向支撑体系。

水泥混凝土成型后,由于水与水泥材料的亲润性,水分蒸发时表层材料毛细管中形成凹液面,其凹液面上表面张力的垂直分量形成了对管壁间材料的拉应力,此时材料处于塑性阶段,材料自身的塑性抗拉强度较低。若材料表层毛细管失水收缩产生的应力大于材料塑性抗拉强度,则材料表层出现开裂现象。混凝土的塑性开裂主要发生在混凝土硬化之前,特别是在混凝土浇注后4~5小时之内,此阶段由于水分的蒸发和转移,混凝土内部的抗拉应变能力低于塑性收缩产生的应变,因而引起混凝土内部塑性裂缝的产生。

当在水泥混凝土中掺入聚丙烯纤维后,与未掺

纤维相比,由于表层材料中存在纤维,一方面使其失水面积有所减小,水分迁移较为困难,从而使毛细管失水收缩形成的毛细管张力有所减少;另一方面,低弹性模量的聚丙烯纤维相对于塑性浆体成为了高弹性模量材料,依靠纤维材料与水泥浆之间的界面吸附粘结力、机械齿合力等,增加了材料抵抗开裂的塑性抗拉强度,从而使失水收缩产生的应力小于材料塑性抗拉强度,材料表面的开裂状况得以减轻,甚至消失。另外,由于纤维以单位体积内较大的数量均匀分布于混凝土内部,故微裂缝在发展的过程中必然遭遇纤维的阻挡,消耗了能量,难以进一步发展,从而阻断裂缝达到了抗裂的作用。

同时,在混凝土收缩过程中,如果构件受到约束,将要产生收缩应力。收缩应力过大,就会使混凝土内部或表面产生裂缝,因此,减少其收缩应力是避免裂缝产生的有效途径。聚丙烯纤维的加入犹如在混凝土中掺入纤维筋,这些纤维筋抑制了混凝土抗裂的过程,提高了混凝土断裂韧性,在一定程度上提高了混凝土的抗拉强度。研究成果显示,由于水泥凝胶体和纤维的弹性模量不同,而当构件受力时,混凝土内部的各种材料具有相同应变,因此水

泥凝胶体和纤维中具有不同的应力。由于水泥凝胶体的应力部分传递给纤维,而纤维的延伸率较高,因而导致在纤维和水泥凝胶体的交界面上产生相互约束的剪应力,即起到了加筋作用。这种剪应力在阻止纤维伸长的同时,阻止了混凝土内部微细裂缝的生成,从而提高了韧性。这些均说明聚丙烯纤维能有效地提高混凝土的抗裂性能。另外,聚丙烯纤维阻裂和细化裂缝的作用,明显地改善了水泥石的结构,使水泥石中原生的微裂纹减少,裂缝宽度减少,这必然使水泥硬化体的抗渗性和韧性得到相当程度的提高。

#### 4 小结与展望

聚丙烯纤维对水泥混凝土抵抗裂缝的开裂能力,有着明显的影响。在水泥混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维是克服混凝土开裂的有效途径。纤维在混凝土中所形成的乱向支撑体系,产生一种有效的二级加强效果,能较大幅度地提高混凝土的抗裂性能。

目前国内混凝土建筑的裂缝几乎是不可避免的,对高度工业化城市的建筑或对世界关注的大工程如三峡工程的水库来说,解决水泥混凝土的裂缝问题已是迫在眉睫了。随着聚丙烯纤维增强混凝土在我国的推广应用,国内已着手研究生产混凝土用聚丙烯微纤维,为使纤维进一步改善混凝土性能,有的采用纤维异形化技术,使纤维异形化,制成V形或Y形截面,或使聚丙烯纤维原纤化,也有通过

用有机或无机化合物或涂层方法来进行处理等,以上这些都是对纤维本身的改性。

我国有众多的聚丙烯原料生产企业,应该有自己的混凝土用聚丙烯纤维专用料,这对我国聚丙烯产品应用开发具有重要意义。可以预测,在环境因素、资源因素和技术因素都要求水泥混凝土高性能化的形势下,对混凝土增强用的聚丙烯的研究将越来越受重视。

#### 参考文献:

- [1] 刘数华,曾力.掺合料对混凝土抗裂性能的影响[J].混凝土,2002,(5):23-27.
- [2] 刘数华,曾力,吴定燕.碾压混凝土抗裂性能研究[J].重庆建筑大学学报,第24卷、第5期,71-75.
- [3] 刘数华,曾力.面板混凝土的抗裂性能研究[J].人民长江,2003,(4)34-35;
- [4] 刘数华,方坤河,曾力.粉煤灰在混凝土中的强度效应试验研究[J].粉煤灰综合利用,2003,(5):34-35.
- [5] 陈宇峰,陆小燕.聚丙烯纤维对混凝土性能影响的试验研究[J].南通工学院学报(自然科学版),第1卷、第3期,85-89.
- [6] 朱江,苏健波,李士恩.聚丙烯纤维混凝土的力学性能研究[J].广西工学院学报,第11卷、第2期,60-64.
- [7] 刘兰强,曹诚.聚丙烯纤维在混凝土中的阻裂效应研究[J].公路,2000,(6):39-42.
- [8] P.梅泰.混凝土的结构、性能与材料[M].上海:同济大学出版社,1991.

收稿日期:2004-11-23

作者简介:刘数华(1978-),男,博士研究生,研究方向:水工建筑材料;联系地址:(430072)武汉大学水利水电学院博士2003级2班,联系电话:027-62435877.

(上接第49页)

#### 参考文献:

- [1] N. M. Alford and J. D. Birchall. Fibre toughening of MDF cement [J] J. Mat. Sci, 1985, 20: 37-45.
- [2] K. Kendall, A. J. Howard and J. D. Birchall. The relation between porosity microstructure and strength, and approach to advanced cement-based materials [J] Phil. Trans. R. Lond. 1983, A310: 139-153.
- [3] L. Hjoeth. Development and application of high-density cement-based materials [J] Phil. Trans. R. Lond. 1983, A310: 167-173.
- [4] D. M. Roy. Cement in the context of new materials for an energy-expensive future [J] Science. 1987, 235: 651-658.
- [5] S. P. Shah and J. F. Young. Properties of high strength concrete for structural design [J] Ceram. Bulle, 1990, 69(8): 77-80.
- [6] 许仲梓. 新型超高强胶凝材料的发展与展望[J]. 硅酸盐通报, 1988, (3): 35-42.
- [7] 谈慕华, 陆金平, 吴科如. 高铝水泥基MDF材料的介电性能研究[J]. 同济大学学报, 1993, 21(4): 477-483.
- [8] 黄从运, 龙世宗. 偶联剂KH和聚合物PVA在硫铝酸盐MDF水泥中的作用机理[J]. 材料研究学报, 1994, 8(2): 158-162.
- [9] D. M. Roy. Composite materials based on cement matrices [J]. Int. Congr. Chem. 9th. 1992, 1: 357-377.
- [10] N. B. Eden and J. E. Bailey. The flexural strength and fracture toughness of a normal and a high strength polymer modified Portland cement [J]. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 1985, 42: 79-88.
- [11] S. H. Rodger, S. A. Brooks, et. al. High strength cement pastes [J]. Mat. Sci. 1985, 20: 2846-2860.
- [12] 吴中伟. 高技术混凝土[J]. 硅酸盐通报, 1994, 1: 41-45.
- [13] O. O. Pupooldla, W. M. Krivln and J. F. Young. High strength fiber reinforced cement composites [J]. J. Am. Ceram. Soc. 1991, 37: 318-325.

基金项目: 国家“863”高技术新材料领域资助项目(2002AA335050)

收稿日期: 2004-11-23

作者简介: 黄从运(1963-), 男, 博士, 主要从事水泥基复合材料的研究; 单位地址:(430070)武汉市武昌珞珈路122号武汉理工大学材料学院; 联系电话: 13871009352.