

改性聚丙烯纤维混凝土的力学性能

杨锦才, 成美凤

(天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384)

摘要:为克服水泥混凝土脆性大、易开裂的缺点,在混凝土的拌制过程中加入了改性处理的聚丙烯纤维,并通过空白和加纤维的混凝土多种力学性能研究的对比试验,发现在 1 m^3 水泥混凝土中掺入长度为 19 mm 的 0.9 kg 改性聚丙烯纤维,对其诸多的力学性能均有明显的增强作用。

关键词:改性聚丙烯纤维;增强机理;混凝土;力学性能

中图分类号:TU528.571

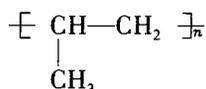
文献标识码:A

文章编号:1006-6853(2004)01-0062-03

众所周知,水泥混凝土是以水泥为胶凝材料,砂石为骨料,加入适量的水组成的多相复合材料.它具有成本低,硬化前塑性好,硬化后抗压强度高,耐久性好等优点.正因为如此,它是国内外土木工程的重要材料,广泛应用于工业与民用建筑、道路工程、桥梁工程、给水与排水工程、地下工程及国防工程等.但也存在诸如脆性大、易开裂、抗拉强度低(仅为抗压强度的 $1/10 \sim 1/16$)等缺点.为了克服这些缺点,长期以来,土木工程师们研究了很多增强办法,其中在水泥混凝土中加入适量的短纤维是一种有效的增强办法.人们先后在混凝土中加入的纤维有:钢纤维、玻璃纤维、石棉纤维、碳纤维以及聚丙烯纤维等.实践证明,从性能价格比上看,目前最可行的当属有机纤维中的聚丙烯,而且是改性聚丙烯纤维.

1 改性后聚丙烯纤维的优势

聚丙烯纤维是以丙烯单体在一定条件下聚合而成的结构规整的结晶型聚合物.其化学式为



它的商品名是丙纶,基本特性是:乳白色、无味、无溴、无毒、质轻、不吸湿、不溶于水、耐腐蚀、抗拉强度高^[1].在当前国内外的合成化学工业中,是利用熔融

聚丙烯喷制成聚丙烯单丝纤维的束状集合体,每一束中有许多根纤维单丝.图1、图2为聚丙烯纤维束和单丝纤维的形貌.



图1 纤维束



图2 单丝纤维

按SI单位制,聚丙烯的线密度为 $0.111 \times 10^{-6}\text{ kg/m}$,目前生产出的单丝每米的质量约为线密度的15

收稿日期:2003-09-02;修订日期:2003-12-03

基金项目:天津市建委科技项目(2002-37)

作者简介:杨锦才(1945-),男,天津人,天津城市建设学院副教授.

倍。单丝的粗细程度可根据纤维的线密度,密度用下式换算

$$D = \sqrt{\frac{60\rho}{\pi\rho'}}$$

式中: D 为直径; ρ 为线密度($0.111 \times 10^{-6} \text{ kg/m}$); ρ' 为密度 910 kg/m^3 。

由上式计算出的直径为 $0.48 \times 10^{-4} \text{ m}$, 即 $48 \mu\text{m}$ 。若在 1 m^3 混凝土中掺入这样的聚丙烯纤维, 将会分散成 $600 \sim 800$ 多万根聚丙烯纤维单丝, 这些单丝呈三维乱向分布, 有利于混凝土性能的改善^[2]。必须指出的是, 不经过改性处理的聚丙烯纤维, 在掺入水泥混凝土拌合物的时候存在三类严重问题: 一是纤维在水泥浆中难于分散, 结团现象严重; 二是这种纤维与水泥浆的握裹力差; 三是抗老化能力差。20 世纪 70 年代引进的美国杜拉纤维, 也是经过改性处理的聚丙烯纤维, 其综合性能不错, 但成本太高, 难于在工程中普遍推广。本次试验研究是采纳了天津欣晟建筑纤维公司生产的改性聚丙烯纤维。

改性处理后的纤维具有下列优势: 一是生产中经过特殊处理, 使其表面具有一定的活性, 即纤维表面由非极性变成有一定的极性, 这样就大大增加了纤维在混凝土中的分散性; 二是喷制成的单丝是非等径的, 这就增加了与水泥浆的握裹力; 三是抗老化、抗紫外线能力强, 裸丝自然寿命大于 10 a; 四是成本低, 国产化欣晟纤维的市场价仅为杜拉纤维的 30% 左右, 而综合性能并不低于杜拉纤维。表 1 为两种纤维性能的对照表。

表 1 欣晟纤维与杜拉纤维性能指标对照

各项指标	美国杜拉纤维	欣晟纤维
材料	聚丙烯	聚丙烯
密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	910	910
拉伸极限/%	15	23 ± 8
抗拉强度/MPa	276	> 500
强性模量/MPa	3 793	$> 4 500$
吸水性	无	无
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	约 160	165 ~ 173
导热性	极低	极低
导电性	极低	具有良好的绝缘性
安全性	无毒材料	无毒材料
耐酸性	极高	浓盐酸、浓硫酸、浓硝酸对其强度无影响
耐碱性	极高	在浓 NaOH 溶液、浓氨水中强度不降低
其它	抗老化	抗紫外线

2 改性聚丙烯纤维水泥混凝土的力学性能试验

2.1 试验内容及研究路线

所做的试验有混凝土立方体抗压强度、抗折强度、轴心抗压强度、弹性模量和劈裂抗拉强度等。

采用普通水泥混凝土的同一配比, 无纤维与掺纤维的同步试验, 探索各种力学性能的增长规律。测试由 1 组无纤维、9 组掺纤维混凝土试件组成, 即三种纤维长度 (12 mm、19 mm、30 mm), 三种掺量 (每立方米混凝土分别掺 0.6 kg、0.9 kg、1.2 kg), 试验基本按 GBJ81—85 (《普通混凝土力学性能试验方法》) 进行。

2.2 试验原材料及混凝土的配合比

改性聚丙烯纤维由天津市欣晟建筑纤维公司提供。水泥为普通硅酸盐水泥, 强度等级为 32.5; 砂为普通砂, 细度模数 1.89, 表观密度 $2 650 \text{ kg/m}^3$ 、堆积密度 $1 450 \text{ kg/m}^3$; 石子为碎石, 针片状含量 3.5%, 表观密度 $2 700 \text{ kg/m}^3$, 堆积密度 $1 520 \text{ kg/m}^3$ 。混凝土配合比为基准配合比, 混凝土强度等级为 C20。1 m^3 混凝土各材料用量为: 水泥 360 kg、砂 679 kg、石子 1 106 kg、水 205 kg。

2.3 试验结果与分析

现将立方体抗压强度、抗折强度、劈裂强度、轴心抗压强度、混凝土弹性模量的试验结果列于表 2。

2.3.1 立方体抗压强度

从表 2 中可以看出, 无论是何种长度和掺量的纤维混凝土, 均有增强作用, 其中增长值前三位的是: 30 mm 长, 掺 0.9 kg/m^3 , 立方体抗压强度增长 33%; 19 mm 长, 掺 0.9 kg/m^3 , 抗压强度增长 26.4%; 19 mm 长, 掺 0.6 kg/m^3 , 抗压强度增长 26%。由此可得在增加混凝土抗压强度方面, 用 30 mm 长, 掺量 0.9 kg/m^3 或 19 mm 长, 掺 0.9 kg/m^3 的方案比较适宜。

2.3.2 抗折强度

在加入 19 mm 或 30 mm 的纤维后, 强度都有一定幅度的提高, 其中 19 mm 长, 掺量 0.9 kg/m^3 的抗折强度平均增长 16.7%。从表 2 中还可以看出, 无论是干拌 (投料顺序为石子→砂→纤维→水泥→水), 还是湿拌 (先将纤维放入水中, 略加搅拌, 投料顺序为石子→砂→水泥→含有纤维的水), 效果都很好。抗折强度的提高, 说明增强了混凝土的抗弯拉能力, 提高了韧性。

2.3.3 劈裂抗拉强度

当纤维长度 19 mm, 掺入 0.9 kg/m^3 , 采用干拌时效果极其明显, 强度增长最大 (增长达 19.7%), 而该项

表2 各种力学性能的试验数据

组别				立方体抗压强度		抗折强度		劈裂抗拉强度		轴心抗压强度		弹性模量	
				强度平均值/MPa	对比增长/%	强度平均值/MPa	对比增长/%	强度平均值/MPa	对比增长/%	强度平均值/MPa	对比增长/%	平均值 $\times 10^4$ /MPa	
无纤维混凝土				27.3	0	3.6	0	2.33	0	21.0	0	3.26	说明:弹性模量平均值均没有超出C10~C60水泥混凝土的弹性模量值,即:(1.75~3.60) $\times 10^4$ MPa
纤维长度/mm	12	掺量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.6	33.1	21.2	3.9	8.3	2.10	-9.9	29.3	39.5	3.48	
			0.9	31.0	13.6	3.9	8.3	2.70	15.9	25.4	21.0	3.25	
			1.2	30.5	11.7	4.2	16.7	2.10	-9.9	25.7	22.4	3.31	
	19		0.6	34.4	26.0	4.2	16.7	2.72	16.7	26.8	27.6	3.24	
			0.9	34.5	26.4	4.2	16.7	2.62	12.4	27.7	31.9	3.39	
			1.2	27.4	0.4	4.4	22.2	2.49	6.9	26.6	26.7	3.38	
30	0.6	33.2	21.6	4.0	11.1	最大与最小值超中间值15%		28.1	33.8	3.50			
	0.9	36.3	33.0	4.3	19.4	2.69	15.5	27.8	32.4	3.38			
	1.2	34.3	25.6	4.1	13.9	2.53	8.6	28.4	35.2	3.28			
干拌	纤维长19mm, 掺量0.9 kg/m^3				4.2	16.7	2.79	19.7					

强度的增长意味着混凝土的抗弯能力和抗开裂能力大为提高。

2.3.4 轴心抗压强度

从表2中还可以看出,加入纤维后的强度增长和立方体抗压强度的增长基本是一致的.这是因为加入纤维后混凝土减少了早期收缩,其密实性大为增强,缺陷减少的结果。

2.3.5 弹性模量

从表2可知,无论是空白组还是掺纤维的各组,其值均没有超出正常混凝土C10~C60弹性模量的范围,即(1.75~3.60) $\times 10^4$ MPa.这是因为聚丙烯乃至改性聚丙烯依然属低弹模,从而说明了掺入聚丙烯纤维可降低混凝土的脆性,增加韧性。

3 改性聚丙烯纤维水泥混凝土的增强机理

经试验可知,低弹模的聚丙烯纤维能够改善水泥混凝土的诸多性能.它的机理是:这种纤维可以有效地减少水泥混凝土的早期收缩,使硬化后的混凝土愈加密实^[3].因为普通水泥混凝土的早期收缩过大,给硬化后的混凝土带来许多缺陷.这主要是在混凝土硬化时,由于水泥浆的化学收缩,使水泥浆与骨料之间的粘

结面处产生拉应力,所以混凝土中存在着大量的极细小的微裂缝,这些微裂缝在混凝土受力时极易产生应力集中而导致破坏.改性聚丙烯纤维可以有效地降低混凝土的早期收缩,既减少了粘结面处的拉应力,又使混凝土密实,所以混凝土的力学性能大大提高。

4 结论

通过对聚丙烯水泥混凝土的力学性能试验及研究分析,认为在水泥混凝土中掺入欣晟纤维公司生产的改性聚丙烯纤维,其基本掺量是1 m^3 混凝土中掺入0.9 kg,长度以19 mm为基准,根据不同的力学性能做适当调整.这样在不增加较大成本的条件下,可以获得良好的技术效果。

参考文献:

- [1] 龚益,沈荣熹,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] 湖南大学,天津大学,同济大学,等. 土木工程材料[M]. 北京:建筑工业出版社,2002.
- [3] 张礼和,谈慕华,马一平,等. PP纤维水泥界面粘结与抗干缩开裂性能研究[J]. 建筑材料学报,2001,(1):17-21.

(下转第78页)

例如 The house **is consisted** of two rooms, 其中 consist 为不及物动词, 没有被动语态. 正确应为 The house consists of two rooms.

(2) 名词单复数的误用.

最常见的问题是在关键词中误用名词复数形式, 如 design element **factors** (设计要素) 和 design **countermeasures** (设计对策) 都是不妥当的, 应改为 design element factor 和 design countermeasure. 另外, 在科技英语中常出现的词汇, 如 information, equipment, machinery, energy 等词都是不可数名词, 不能用复数形式.

(3) 标点符号用法不当.

① 使用逗号代替连接词连接两个完整的句子.

例如, The application and development of activated carbon adsorption and combination processes in wastewater treatment in domestic and foreign are discussed, its advantages are introduced (介绍了活性炭吸附及组合工艺在国内外水处理中的应用和发展, 指出了它的许多优点). 正确的表达方式应在逗号后面加上连接词 **and**, 即为 The application and development of activated carbon adsorption and combination processes in wastewater treatment in domestic and foreign are discussed, **and** its advantages are introduced.

② 英文标点中没有“《》”号和“、”号, 如把书或刊名《电机与控制学报》写成《Electric Machines and Control》是错误的, 写成“Electric Machines and Control”也不妥当, 因为书刊名称用引号标注的用法在现代英语里已很少见. 正确的用法应用斜体表示: *Electric Machines and Control*^[6].

注 释:

① 《2001年北京科技期刊英文编辑研修班讲义》, 北京: 中国科学技术期刊编辑学会编.

参考文献:

- [1] 刘少华. 科技期刊英文编辑的业务素质要求与提高途径[J]. 中国科技期刊研究, 2001, 12(3): 226-227.
- [2] 陈浩元. 科技书刊标准化 18 讲[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1998. 75.
- [3] 蒋元霖. 科技英语名词词组的表达方式[J]. 编辑学报, 2000, 12(3): 172-173.
- [4] 李兴昌. 科技论文的规范表达写作与编辑[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 11-32.
- [5] 王应宽. 科技学术论文英文题名与摘要的译写[J]. 编辑学报, 2000, 12(4): 214-216.
- [6] 王长风. 科技期刊中几种英文标点符号的使用差错分析[J]. 编辑学报, 2003, 15(3): 199.

Compilation of English information of scientific and technical treatise

ZHANG Lan-na

(Editorial Board of Journal, TIUC, Tianjin 300384, China)

Abstract: Some principal problems appearing in the title and the abstract compiled in English in the Chinese sci-tech treatises are analyzed in the light of specific examples. The proper expression of the English information are discussed from aspects of the structure of English title and the content, grammar, rhetoric and the use of the punctuation to improve the quality of compiling the abstract of sci-tech treatises in English.

Key words: scientific and technical periodical; scientific and technical treatise; English information; treatise title; English abstract

(上接第 64 页)

Experimental research on mechanical properties of hydrophilic polypropylene fiber reinforced concrete

YANG Jin-cai, CHENG Mei-feng

(Department of Civil Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China)

Abstract: Plain concrete is brittle and friable. The behavior can be improved by mixing hydrophilic polypropylene fiber with cement-based concrete. The mechanical properties of the plain concrete and the fiber concrete are tested. The test shows that its mechanical behaviors are obviously improved by using 0.9 kg of short fibers (about 19 mm) in unit cubic metre cement-based concrete.

Key words: hydrophilic polypropylene fiber; improved mechanism; cement-based concrete; mechanical property