

# 聚丙烯纤维对高性能混凝土 抗折强度、抗冲击性能影响研究

7  
24-2)

上海市市政工程研究院 孙家瑛

T11528-31  
T11528-572

## 摘要

本文研究了不同掺量聚丙烯纤维高性能混凝土的抗折强度、脆性和抗冲击性能。综合论述了掺纤维对高性能混凝土抗折强度、脆性、抗冲击性能的影响、探讨和分析了高性能水泥基纤维复合材料脆性下降、抗冲击性能提高的机理。试验证明:高性能混凝土中掺纤维能显著降低混凝土的脆性和提高混凝土抗折强度、抗冲击性能。

**关键词:** 高性能混凝土、聚丙烯纤维网、抗折强度、脆性、抗冲击性。

## 一、前言

高性能混凝土不仅要有良好的强度性能,还应有优异的耐久性能和适宜的工作性能,以满足目前和未来的大规模混凝土工程的施工需要,经过大量的试验研究,我们应用硅灰和粉煤灰配制出高性能混凝土,这种混凝土不仅具有很高的强度,而且工作性好,硬化混凝土的抗冻融性能、抗渗透性能和抗侵蚀性能优异<sup>(1)</sup>,但脆性大、抗冲击性差是影响高性能混凝土实际应用的一个重要因素<sup>(2)</sup>。有研究认为<sup>(3)</sup>,自收缩开裂、湿胀开裂和脆性是目前高性能混凝土亟待解决的重要问题。本文拟讨论采用聚丙烯纤维来改善高性能混凝土脆性和抗冲击性能。

## 2 实验方法

### 1. 原材料

#### 1.1 水泥

采用三航局小野田水泥有限公司 525# 普硅水泥,其化学成分及力学性能列于表 1 和表 2 中。

表 1 水泥的化学成分

Table 1. Chemical Composition of cement

Chemical Composition	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
Percentage Composition by mass	22.50	2.91	4.46	64.74	1.47

表 2 水泥的物理力学性能

Table 2. Physical and mechanical properties of cement

Setting time/h:min		Flexural Strength(Mpa)		Compressive Stength(Mpa)	
initial setting	Final setting	3d	28d	3d	28d
1:10	2:25	6.06	8.50	36.9	63.4

## 1.2 掺合料

试验采用化联外加剂厂提供的硅灰,化学成分列于表3中。减水剂采用五四助剂厂生产的SN-11高效减水剂。

表3 硅灰的化学成分

Table 3 Chemical Composition of silica fume

Chemical composition	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	烧失量
Percentage Composition by mass	91.0	0.9	1.7	0.4	0.8	0.3	2.1

## 1.3 集料:

粗集料采用5-8mm的石英碎石,细集料采用标准石英砂。

## 1.4 聚丙烯纤维

聚丙烯纤维采用美国Fibermesh纤维,其物理性能列于表4。

表4 聚丙烯纤维网的物理性能

Table 4. Physical properties of polypropylene fibermesh

Water absorption	无
specific gravity	0.91
length of fiber(mm)	12-15
melting temperature(℃)	160-170
firing temperature(℃)	590
conductivity	低
thermal conductivity	低
acid and alkali resistance	高
rensile strengrh (MPa)	560-770
Elastic Moduli (MPa)	350

## 2 试验方法

抗折、抗压强度试验按GB177-85水泥胶砂强度试验方法进行。用水量是采用标准稠度用水量,其标准稠度及凝结时间均按GB134-77水泥标准稠度用水量进行。

耐磨试件尺寸为15cm×15cm×7cm。磨损试验采用GLM-200钢轮式混凝土磨损试验机,试验方法按GB/T12958-91《无机地面材料耐磨性试验方法》进行。耐磨性用抗长度L表示,单位mm,耐磨试验每组5块,取十次试验平均值。

抗冲击性试件尺寸为15cm×15cm×5cm,每组共5个试件。将8kg重的钢球从25cm高度自由落下,当试件裂缝宽度大于3mm时,记录冲击次数,试验结果取中间3个数据的平均值。

## 三、结果与讨论

### 1. 聚丙烯纤维网对高性能混凝土脆性影响

高性能混凝土的强度和耐久性主要受水灰比和矿物聚合物的影响,当水灰比( $w/c$ )定时,矿物掺合料掺量将直接影响到高性能混凝土各种物理力学性能。而掺聚丙烯纤维可以改善高性能混凝土的力学性能。表 5 是高性能混凝土改变纤维掺量(0、0.1%、0.15%)对混凝土强度影响。

表 5 高性能水泥基聚丙烯纤维网复合材料强度

Table 5. strength of polypropylene Fibermesh reinforced high performance composite material

Sample	SF%	PFM Volume	compressive strength (MPa)		Flexural strength (MPa)	
			R3	R28	R3	R28
1	0	0	36.9	63.4	5.31	8.53
2	5	0	43.0	73.9	5.45	9.05
3	10	0	47.5	82.4	6.06	9.82
4	0	0.1	29.3	60.8	5.36	8.59
5	5	0.1	29.9	61.3	5.33	8.72
6	10	0.1	32.4	66.9	5.45	9.25
7	0	0.15	38.4	68.5	6.08	9.35
8	5	0.15	39.9	77.7	6.28	11.02
9	10	0.15	47.4	82.3	7.55	12.52

SF - silica fume      PFM - polypropylene Fibermesh

实验结果表明:当水灰比( $w/c$ )一定时,混凝土力学性能随掺量增加而提高,与此同时混凝土的耐久性能也大幅度提高。但硅灰掺量变化对混凝土抗压、抗折强度影响程度是不一样的。由表中数据可以看出,当硅灰从 0-10% 混凝土抗压强度提高 30% 以上,而抗折强度仅仅提高 15% 左右,这样高性能混凝土的脆性就随之显著提高。

试验结果表明掺加聚丙烯纤维可以改善高性能混凝土的脆性。当聚丙烯纤维含量从(0-15%)高性能混凝土的抗压强度几乎没有变化,而抗折强度提高 27% 以上。使混凝土的脆度系数从 8.39 下降到 6.5%。从而表现为高性能混凝土在保证抗压强度和耐久性能不变的前提下大幅度降低混凝土的脆性。

### 2. 聚丙烯纤维网对高性能混凝土抗冲击性影响

聚丙烯纤维网对高性能混凝土抗冲击性具有较大影响。由实验数据可知,在高性能混凝土中掺加纤维可以显著改善混凝土的抗冲击性能。高性能混凝土的抗冲击性能随纤维掺量增加而明显提高,混凝土抗冲击性提高与纤维掺量成正比。此外纤维高性能混凝土的抗冲击性能随混凝土基材强度的提高而增长。因此,纤维与高性能混凝土基材复合是配制高性能水泥基复合材料的主要技术途径之一。

### 3. 聚丙烯纤维对高性能混凝土抗折与抗冲击性能改善的机理初探

综上所述,在高性能混凝土中掺入聚丙烯纤维后能显著提高混凝土抗折强度和抗冲击性

能,其抗冲击性能的提高尤为显著。究其原因,在于纤维的阻裂效应。实际上高性能混凝土从无缺陷理想状态来讲,其抗压、抗折强度增长幅度应该是基本一致的,之所以高性能混凝土抗压强度提高幅度大大地大于抗折强度提高幅度,原因就在于高性能混凝土内部存在不同尺度的微裂缝,而微裂缝对抗折强度影响远大于抗压强度。由于高性能混凝土脆性及自收缩等造成内部存在不同尺度的微裂纹,在结构形成过程中,聚丙烯纤维阻止了这些裂缝的引发,从而减少了裂缝源的数量,并使裂缝尺度变小,这就降低了裂缝尖端的应力强度因子,缓和了裂缝尖端受力集中程度,在受力过程中,又抑制了裂缝的引发与扩展。这样就可以充分发挥高性能混凝土高抗折强度效应,这就是纤维能大幅度提高高性能混凝土抗折强度,而不能提高其抗压强度的原因。但为了充分发挥纤维混凝土阻裂效果必须加强界面粘结性能,而界面粘结性又直接受水灰比(w/c)和硅灰的影响。

#### (1)减小 w/c 对界面区影响

w/c 的大小是影响聚丙烯纤维与混凝土基材、集料与水泥石界面的粘结主要因素。界面粘结与界面区微观矿物组成和其结构密切相关。当 w/c 较大时,混凝土集料和纤维界面区域内由于泌水等原因使局部 w/c 增大,使表层界面区域的 w/c 比基材大得多,离子浓度低,由于离子扩散及晶体生长等因素,Ca(OH)<sub>2</sub> 晶体在此区域发育完善和取向指数高。Ca(OH)<sub>2</sub> 板状晶体富集,并产生定向排列,晶体生产约束力小而尺度大,导致界面结构疏松。纤维混凝土增折,高冲击性能就得不到发挥。界面高效减水剂降低 w/c 就可以减少上述弊端,增强界面粘结力,使高性能混凝土抗折强度、脆性和抗冲击性能得以大幅度改善。

#### (2)加入硅灰对界面区影响

在聚丙烯纤维混凝土掺入硅灰,同时加入高效减水剂,可使其抗折强度和抗冲击性大为提高。硅灰是一种高活性火山灰质材料,在水化过程中,硅灰与水泥石孔隙中的离子起化学反应,使 C-S-H 凝胶增加,导致水泥石中大孔减少,凝胶孔增加,结构变得致密,强度显著提高,掺入适量硅灰、改善纤维混凝土中水泥浆体与集料、纤维界面区的结构,使界面区的 Ca(OH)<sub>2</sub> 晶体数量下降,取向度明显降低,晶粒细化、C-S-H 凝胶数量增加,加强了界面粘结力,提高聚丙烯纤维高性能混凝土的抗冲击性能和降低其脆性。

### 四、结论

1. 高性能混凝土由于脆性,自收缩开裂和内部微裂缝使其抗折强度增长幅度远远小于抗压强度增长幅度,并且后期强度和耐久性能有可能下降。

2. 在高性能混凝土中掺加聚丙烯纤维可以充分发挥高性能混凝土高强效应,特别是高抗折效应。当高性能混凝土中掺加纤维体积分数为 0.15% 时,混凝土抗压强度几乎不变,而抗折强度提高 30% 以上。

3. 聚丙烯纤维高性能混凝土在冲击荷载下的抗裂性能是高性能混凝土的 3-4 倍。而高性能混凝土的抗冲击性能几乎与普通混凝土一样。

#### 参考文献

1. 孙家瑛,大口径排水管用高性能混凝土渗透对耐久性影响,山东建材学院学报,1999 年,Vol. 13 No. 1:p9-12。

2. 孙家瑛,传统方法制备市政工程用高性能混凝土利弊谈,第二届高性能混凝土学术研讨会论文集,1999 年 4 月 19-20 日,山东潍坊,p. 46。

3. 冯乃谦,中国的高性能混凝土技术,山东建材学院学报。1998 年 Vol. 12 No. S1 p. 1-5