

聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究

李光伟, 杨元慧

(国家电力公司成都勘测设计研究院科学研究所, 四川 成都 610071)

摘要:结合水电工程对聚丙烯纤维混凝土的基本性能进行试验研究, 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。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, 能较大幅度提高混凝土的抗裂性能, 改善混凝土的抗渗、抗冲击及耐磨性能等。在水工混凝土中掺加一定量的聚丙烯纤维可以有效地提高混凝土的整体性能。

关键词:聚丙烯纤维; 混凝土; 抗冲耐磨; 抗裂能力

中图分类号:TV431+.3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)05-0014-03

混凝土作为十分广泛的建筑材料发展到今天, 种类繁多, 许多力学性能也有不同程度的改善。但是由于混凝土材料本身的孔隙及其它缺陷, 使其存在抗拉强度低、延性差, 在拉应力或冲击荷载作用下易发生脆性破坏等缺点, 在很大程度上制约着混凝土材料的力学性能和进一步应用。为适应现代工程对混凝土性能的要求, 必须从根本上改变混凝土在抗拉、阻裂及延性等方面的不足。国内外大量的试验研究表明, 在混凝土中掺入聚丙烯纤维能改善混凝土的性能。

水电站的水工泄洪排沙建筑物在运行过程中, 因受高速挟沙水流的作用, 其表面材料经常遭受冲击、磨损或空蚀等破坏, 这些部位的混凝土均要求具有较高的抗冲刷和耐磨损性能以及整体强度高的特性, 它不仅要求混凝土的抗冲耐磨强度高, 而且要求混凝土不开裂, 以减少以后的修补工程量, 从而延长水工建筑物的寿命。

在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维不仅能提高混凝土的抗冲耐磨性能, 同时能改善混凝土的抗裂性能。本文结合溪洛渡水电站混凝土性能试验, 对聚丙烯纤维混凝土的抗冲耐磨性能进行了试验研究, 试验按照 SD105-82《水工混凝土试验规程》中有关规定进行。

1 聚丙烯纤维混凝土及砂浆性能试验研究

1.1 试验原材料

水泥采用贵州水城 525 号普通硅酸盐水泥, 其 28 d 实测标号为 57.2 MPa。粗骨料采用坝址附近的玄武岩人工碎石, 其表观密度为 2.92 g/cm³; 细骨料采用

大戏场的灰岩人工砂, 其表观密度为 2.78 g/cm³, 细度模数为 2.8。聚丙烯纤维采用四川华神建材有限责任公司研制开发的 HOIST 聚丙烯微纤维, 其长度为 12~14 mm, 吸水率为 0.009 mg/cm, 张力强度为 684 MPa, 断裂伸长率为 14%。该纤维为低弹性模量纤维, 其杨氏弹性模量为 3.7 GPa。

1.2 聚丙烯纤维混凝土搅拌方式

确立正确的搅拌制度对改善纤维混凝土的质量有很大作用。这主要是在搅拌过程中防止纤维分布不均, 避免引起纤维成团。一般说来, 投料顺序、搅拌时间、搅拌机类型及纤维形状和数量对混凝土搅拌质量都有影响。聚丙烯纤维密度小, 重量轻, 为使其均匀分散于混凝土中, 对混凝土的掺加工工艺和搅拌时间进行了试验研究。

1.2.1 掺加工工艺

采用两种掺加工工艺进行试验研究, 聚丙烯纤维掺量为 0.6 kg/m³。

a. 湿拌法.先将砂、石和水泥搅拌均匀后, 再加入纤维和水一起搅拌成混凝土。

b. 干拌法.先将纤维和砂、石、水泥一起搅拌均匀后, 再加水一起搅拌成混凝土。

由两种掺加工工艺的试验结果(表 1)可以看出, 干拌法掺加工工艺有利于纤维在混凝土中均匀分散, 其混凝土强度明显高于湿拌法掺加工工艺的混凝土强度。

表 1 投料方式试验结果

掺加工工艺	搅拌时间/min	坍落度/cm	抗压强度/MPa	
			3 d	7 d
干拌法	4	5.0	22.5	35.9
湿拌法	4	5.0	15.7	25.5

作者简介: 李光伟(1962—), 男, 湖北武汉人, 高级工程师, 主要从事混凝土及其原材料性能的试验研究

1.2.2 搅拌时间

一般普通混凝土的搅拌时间为 2~3 min, 纤维混凝土的搅拌强度要比普通混凝土大, 故搅拌时间应比普通混凝土适当延长。选择 3 种搅拌时间, 采用干拌法对聚丙烯纤维混凝土进行试验研究, 纤维掺量为 0.6 kg/m^3 。由试验结果(表 2)可以看出, 搅拌时间在 4 min 以上时, 其混凝土的强度变动不大, 趋向稳定, 说明聚丙烯纤维在混凝土中分布已较均匀。而搅拌时间为 2 min 时, 其混凝土强度比搅拌 4 min 时降低 18.3%, 可见聚丙烯纤维混凝土的搅拌时间选为 4 min 较为适宜。

表 2 搅拌时间试验结果

搅拌时间/min	坍落度/cm	抗压强度/MPa	
		3d	7d
2	5.0	15.7	25.5
4	5.0	22.5	35.9
6	5.2	20.1	35.1

至于搅拌机的选择, 强制式和自落式皆可, 都能拌制性能良好的纤维混凝土, 但一般趋向于选用强制式搅拌机。

1.3 聚丙烯纤维混凝土和砂浆性能试验成果

聚丙烯纤维混凝土的聚丙烯掺量为 0.6 kg/m^3 , 混凝土的强度等级分别为 C20 和 C40, 混凝土搅拌时间为 4 min, 拌和工艺采用干拌法, 混凝土坍落度控制在 4~6 cm。聚丙烯砂浆的聚丙烯掺量为 1.0 kg/m^3 , 采用干拌法, 混凝土及砂浆性能试验结果见表 3。

2 试验结果分析

2.1 聚丙烯纤维对混凝土脆性的影响

由聚丙烯纤维混凝土的强度性能试验结果可见, 同不含纤维的普通混凝土相比, 聚丙烯纤维混凝土的抗压强度没有提高反而有所降低, 而抗拉强度与抗折强度则略有增加, 相应其脆性指数有所降低(见表 4)。这表明掺聚丙烯纤维可以弥补混凝土脆性大的不足。

实际上混凝土从无缺陷理想状态来讲, 其抗压强度、抗折强度的增长幅度应该是基本一致的, 之所

以聚丙烯纤维混凝土抗压强度提高幅度低于抗折强度, 主要是由于混凝土内部存在不同尺度的微裂缝, 而微裂缝对抗折强度的影响远大于抗压强度。掺入一定量的聚丙烯纤维后能降低混凝土脆性的主要原因在于纤维的阻裂效应, 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, 缓和了裂缝尖端应力集中程度; 在受力过程中, 又抑制了裂缝的引发与扩展, 从而能充分提高混凝土的抗折强度。

表 4 聚丙烯纤维对混凝土性能的影响

试验编号	纤维掺量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	相对脆性 /%	相对收缩 变形/%	相对断裂 韧度/%	相对抗渗 系数/%
A-1	0	100	100	100	100
A-2	0.6	94	90	112	88
B-1	0	100	100	100	100
B-2	0.6	92	88	107	94
C-1	0		100		100
C-2	1.0		89		50

2.2 聚丙烯纤维对混凝土变形性能的影响

试验结果表明, 聚丙烯纤维混凝土的弹性模量与普通混凝土相差不大, 但聚丙烯纤维混凝土的极限拉伸变形则明显高于普通混凝土。这是由于聚丙烯纤维的弹性模量较低, 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。

聚丙烯纤维混凝土的收缩变形试验结果(见表 4)表明, 掺入一定量的聚丙烯纤维可以明显地减少混凝土的收缩变形。其主要原因在于聚丙烯纤维的乱向分布形式大大有助于削弱混凝土砂浆的塑性收缩, 收缩的能量被分散到每立方米数千万条具有高抗拉强度而弹性模量相对降低的纤维单丝上, 从而极为有效地增加了混凝土的韧性, 抑制了混凝土微细裂缝的产生和发展。同时, 无数纤维丝形成的支撑体系, 有效地保证了均匀泌水, 阻碍沉降裂缝的产生。

2.3 聚丙烯纤维对混凝土抵抗裂缝扩展能力的影响

混凝土是一种含有许多缺陷或孔隙的多相复合材料, 当承受载荷时, 其内部引发许多裂缝, 随着载荷的继续作用, 裂缝将会扩展直至破坏。线弹性断裂

表 3 聚丙烯纤维混凝土和砂浆基本性能试验结果

试验编号	纤维掺量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	抗折强度 /MPa	抗压弹性模量 /GPa	极限拉伸 / 10^{-4}	相对抗冲磨 强度/%	相对抗冲击 强度/%
A-1	0	44.6	2.5	4.4	18.6	1.70	100	100
A-2	0.6	43.0	2.7	4.5	18.5	1.92	140	131
B-1	0	28.0	1.8	3.1	17.9	1.27	100	100
B-2	0.6	26.6	2.2	3.2	17.2	1.55	137	137
C-1	0	3.8					100	100
C-2	1.0	3.7					127	141

注:①A, B 编号为混凝土, C 编号为砂浆;②相对抗冲磨强度一栏中砂浆为耐磨硬度;③均为 28 d 龄期的试验结果

力学理论认为,在混凝土内部原来就存在着许多缺陷,欲提高这种材料的强度,必须尽可能地减小缺陷的程度,提高韧性,降低内部裂缝端部的应力集中系数.断裂韧度是研究断裂力学时所提出的一个新的韧性指标,它是指混凝土抵抗裂纹不稳定扩展的能力.

本试验全部采用三点弯曲试件测试纤维混凝土的断裂韧度.试件尺寸为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 51.5\text{ cm}$,跨度为 45 cm .采用单边预制裂纹,其裂纹长与试件高度之比为 0.5 .由纤维混凝土断裂韧性试验结果(见表4)可以看出,聚丙烯微纤维可以提高混凝土的断裂韧度,有利于混凝土抵抗裂纹的扩展.这是由于素混凝土的挠度一旦超过与之相应的极限抗弯强度时突然地破坏了,而纤维混凝土即使在挠度超过素混凝土断裂挠度时尚能继续承受相当大的荷载.检验断裂的纤维混凝土试件,发现与素混凝土不同,纤维混凝土在裂缝出现后不会立即破裂,表明破坏主要是由于纤维的被拉出或脱出.

2.4 聚丙烯纤维对混凝土抗冲击特性的影响

材料在一次或多次迅速施加荷载(冲击荷载)的作用下,抵抗疲劳破坏的能力为材料的抗冲击能力.关于抗冲击试验,目前还没有统一的方法.聚丙烯纤维混凝土的抗冲击试验是采用落锤法进行的(锤重 3 kg ,锤的下端为球面,落高 53 cm ,试件尺寸为边长 10 cm 的立方体),混凝土砂浆的抗冲击性能以试件在落锤的反复冲击作用下,混凝土表面出现第一条肉眼可见裂缝时单位体积所耗的功来表示.由试验结果可知,在混凝土砂浆中掺入一定量的聚丙烯纤维可以显著地提高混凝土的抗冲击性能(混凝土中掺 0.6 kg/m^3 聚丙烯纤维,抗冲击强度提高 $31\% \sim 37\%$,砂浆中掺 1.0 kg/m^3 聚丙烯纤维,抗冲击强度可提高 41%).其原因在于纤维有着较大的吸收能量的能力.

2.5 聚丙烯纤维对混凝土砂浆抗冲磨特性的影响

水工泄洪排沙建筑物在运行过程中,因受高速挟沙水流的作用,其表面材料经常遭受冲击和磨损的破坏.对聚丙烯纤维混凝土的抗冲磨特性的测试按SD105-82《水工混凝土试验规程》中“混凝土抗含沙水流冲刷试验”进行.试验流速为 14 m/s .磨损介质用标准砂,粒径为 $0.5 \sim 0.85\text{ mm}$.试验结果表明,在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维可以提高混凝土的抗冲磨强度,掺 0.6 kg/m^3 聚丙烯纤维时,混凝土的抗冲磨强度可提高 $37\% \sim 40\%$.

对聚丙烯纤维砂浆进行的耐磨硬度试验是用圆盘耐磨试验机进行的,其圆盘直径为 60 cm ,转速为 33 r/min .用粒径为 $0.30 \sim 0.60\text{ mm}$ 石英砂作为磨料,试验结果用耐磨硬度表示.试验结果表明,掺入

1.0 kg/m^3 聚丙烯纤维,砂浆的耐磨硬度可提高 27% .

由以上试验结果可见,聚丙烯纤维能提高混凝土砂浆的抗冲磨强度和耐磨硬度,这对改善水工混凝土抗冲耐磨性能十分有利.

2.6 聚丙烯纤维对混凝土砂浆抗渗性能的影响

聚丙烯纤维混凝土砂浆的抗渗性能试验采用一次性加压法进行.试验结果(见表4)表明,掺入一定量的聚丙烯纤维后,混凝土砂浆的相对抗渗系数明显降低,亦就是说,掺聚丙烯纤维可以明显改善混凝土砂浆的抗渗性能.这是由于均匀分布在混凝土中的大量纤维起到了“承托”作用,降低了混凝土表面的析水与集料的离析,使得混凝土中微孔隙含量大大降低.另外,聚丙烯纤维丝能阻止混凝土中原有缺陷(微裂缝)的扩展并延缓新裂缝的出现,减少混凝土内部的毛细管通道,从而改善混凝土砂浆的抗渗能力.

3 结 语

掺入一定量的聚丙烯纤维,可以改善水工混凝土的性能,其主要体现在:①能降低混凝土的脆性;②能提高混凝土的抗冲磨强度和耐磨硬度;③能改善混凝土的抗渗性能;④能提高混凝土的延性,减少混凝土的收缩变形.

聚丙烯纤维所具有的这些特点,对于提高水工混凝土的抗冲磨能力,改善水工混凝土的耐久性能,提高水工混凝土的抗裂能力以及保证水工混凝土的整体性都是十分有利的.

参考文献:

- [1] 王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 赵志缙.新型混凝土及其施工工艺[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [3] 龚洛书.混凝土实用手册[M].第二版.北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [4] 朱江.聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用研究[J].混凝土,2000(12):8~10.

(收稿日期:2000-05-12 编辑:熊水斌)

