

# 引入新材料 提高水利工程质量

## ——聚丙烯纤维网超高性能混凝土

窦以松<sup>1</sup>, 郭景春<sup>2</sup>, 马步勋<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 2. 中国科学技术咨询服务中心专家委员会, 北京 100081)

**摘要:** 聚丙烯纤维网是经过近百种材料的筛选, 用特殊工艺加工而成。试验证明: 将其掺入混凝土, 可形成一种高性能纤维增强水泥基复合材料, 它使混凝土的整体性能, 如: 抗压、抗拉、抗弯、抗震、防爆破、抗冲击、抗疲劳、抗冻融、抗渗等得到全面提升, 已在水利工程中应用, 在正在实施的南水北调中线工程可能采用的大型 PCCP 中, 如掺入该材料可减小壁厚, 可大大降低造价。

**关键词:** 聚丙烯纤维网; 混凝土; 性能; 提升

**中图分类号:** TV431      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-1683(2005)01-0048-03

## New Material Improves Quality of Hydraulic Works ——Polypropylene Fiber Mesh Reinforced Concrete

DOU Yi-song, GUO Jing-chun, MA Bu-xun

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038;

Expert Committee of Chinese Scientific & Technical Consultation Service Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Polypropylene fiber mesh is made of many kind materials with special techniques. Adding it to concrete, improvement of integral performance is verified by experimentation, such as press-resistant, pulling-resistant, bending-resistant and seepage-resistant. It has already applied in hydraulic works. If adding this material to the PCCP pipe probably used in the middle route of water transfer from South to North, it can greatly save the project cost.

**Keywords:** polypropylene fiber mesh; concrete; performance; improvement

**收稿日期:** 2004-10-18

**作者简介:** 窦以松(1937-), 男, 湖南安仁人, 教授, 中国水利教育协会副理事长, 享受政府特殊津贴。

看出, 1998 年以后居民年人均用水量逐年减少, 到 2002 年, 年人均用水量降到 13.41 m<sup>3</sup>, 降低了近 20 个百分点; 年人均实际收入增幅有减缓的趋势, 保持在 8% 左右; 而水价涨幅有增加的趋势且高于实际收入涨幅, 在 2000 年实际水价增幅达到 21%。可见在水价的增幅明显高于人均收入的涨幅时, 对用水量的增长有一定的抑制作用。因此, 相对于其它的各种水资源管理措施, 在抑制需求方面价格是一个十分有效的手段。

### 3 用户对提高水价的承受能力分析

通过提高水价来节水, 使人们担心的一个问题是用户能否承受高水价。南京居民实际生活用水价格从 1985 年到 2002 年增长 4.37 倍, 同期水费支出占家庭收入的比重增加 1.23 倍, 占家庭收入比重为 0.24% (按照国际标准衡量, 水费支出占家庭收入比例仍属于较低水平), 水价上涨并未给居民带来压力。到 2005 年, 南京水价计划上调到 2.5 元/m<sup>3</sup>, 按照今后五年南京城镇居民人均可支配收入发展目标年均增长 9% 计算<sup>[2]</sup>, 则 2005 年城镇居民人均可支配收入为 11 859 元左右, 代入式(3), 算出 2005 年人均用水量为 17.02 m<sup>3</sup>, 水费支出 42.56 元, 占收入比重仅为 0.359%, 仍旧很低。即使按较高的生活用水标准每人每天 200 L 计算, 2005 年居民人均水费支出占收入比重的 1.539%, 一般家庭都能承受。有关

研究表明, 水费支出占家庭收入的 1% 时对居民心理影响不大, 占 2% 时居民可以承受并开始关注水量, 占 2.5% 时注意节水, 占 5% 时认真节水<sup>[3]</sup>, 事实上水一旦成为家庭开支的重要部分, 必然引起人们的高度重视。

### 4 结论

本文对南京居民生活用水需求的价格弹性和收入弹性进行计算和分析, 结果表明居民需水量和水价之间存在明显的相关关系。调整水价能起到很好的抑制需水的效果, 南京居民终端用水价格还有大幅上涨的空间, 可以通过适当调整水价来缓解水资源供需矛盾, 提高水资源的利用效率。因此, 在缺水和水价偏低的情况下, 应充分发挥水价的价格杠杆作用, 视具体情况合理调整水价, 以促进水资源的高效利用和可持续开发利用。当然, 需求价格弹性分析, 也有局限性和片面性, 应该与其他分析方法结合, 以便取得更好的分析效果。

#### 参考文献:

- [1] 宋承先. 西方经济学第二版[M]. 复旦大学出版社, 1999. 55-56.
- [2] 沈城调, 张小川. 经济调查队经调查认为, 水价上涨理由站不住脚[N]. 南京日报, 2003-08-21.
- [3] 傅国伟, 曾思育. 水价与水环境的相互影响关系[J]. 中国给水排水, 1999. 15(4): 34.

水是人类赖以生存的基础,我国是一个缺水的国家,时空分布极不均衡,因此兴建水利工程进行调蓄必不可少。在水利工程建设中,其安全性和使用寿命长期性应特别重视。而作为水利工程的基本材料——混凝土,其性能的优劣直接影响工程质量的好坏。长期以来,材料和水工方面的科研人员,一直将如何提高混凝土的整体性能作为研究和探索的重要课题。当前我国使用混凝土的状况是钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢丝网混凝土等已普遍采用。自20世纪70年代以来,将各种纤维掺入混凝土中,配制成纤维混凝土,也日益引起材料界和工程界的广泛重视。

聚丙烯纤维网是美国军工师团维特工程师协会与美国新特地合成工业集团公司于20世纪80年代初共同研制的专利产品,为了使混凝土具有抗震、防爆破、抗冲击、抗疲劳、抗冻融等整体的优良性能,该联合体经过近百种材料的筛选,并用特殊工艺加工而成的聚丙烯纤维网,将其掺入混凝土,形成一种高性能纤维增强水泥基复合材料,国外称之为“超高性能混凝土”(ultra high performance concrete 缩写为UHPC),这种材料的发现和掺入使混凝土的整体性能全面提升。

该材料已于20世纪80年代中后期推向全球,目前已在60多个国家和地区得到推广应用。我国于20世纪90年代一些合资公司已在高速公路、铁路桥梁和隧道中引入使用。水利工程也已部分引入,如三峡大坝E-120栈桥、宁波市白溪水库的面板堆石坝2期工程和大流速的溢洪道槽等,建设部1994年3月发布的《建设部推广应用和限制禁止使用技术》公告中<sup>[1]</sup>,也将聚丙烯合成纤维网列为推广应用的范围。

现将聚丙烯纤维网及其配制成的混凝土情况介绍如下:

## 1 聚丙烯纤维网

① 材料性能见表1。

表1 聚丙烯纤维网材料性能

比重	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	燃点 (C)	熔点 (C)	长度 mm	毒 性	吸 热 性	电 导 率	抗 腐 蚀
0.91	560~770	3.50	590	160~170	12~19	无	无	低	高

② 安全、无毒,聚丙烯纤维网符合美国由93/112/EC修正过的91/155/EEC安全标准。按照OHS A有害传播标准和由96/54/EC标准修正的93/21/EEC标准检测认定该材料无毒。2004年9月,山东省卫生防疫站检测中心也对该材料进行检测,结论为“无毒、安全”。

③ 聚丙烯纤维网具有不被水泥成分及水气、空气、化学混合物侵蚀的能力。

④ 聚丙烯纤维网与普通聚丙烯纤维的区别在于:普通聚丙烯纤维是单丝,而聚丙烯纤维网是由专用设备制成每束25根丝相连接的网状纤维。由于纤维网成集束状,在搅拌时,受到水泥、沙、石料冲击,逐步展开呈网形,且每根网丝裹着水泥,形成对混凝土的极强握裹力和混凝土内部的支撑体系。

在每 $m^3$ 混凝土中掺加0.9 kg的聚丙烯纤维网,将在混凝土中形成710万根以上呈三维立体状态均匀分布并相互交织的纤维,从而使混凝土的整体性能提高。

⑤ 使用方便,一般每 $m^3$ 混凝土或水泥砂浆掺入0.9 kg,其搅拌方法与普通混凝土相同,搅拌时间需延长2~3 min。

## 2 聚丙烯纤维网混凝土的性能指标

### 2.1 抗压、抗折强度

表2 抗压、抗折强度

混凝土类型	28d 抗折强度 /MPa	28d 抗压强度 /MPa
素混凝土	5.6	43.81
纤维网混凝土	6.08	53.27

注:掺入量为:每 $m^3$ 混凝土加0.9 kg

### 2.2 韧性

表3 韧性

纤维体 积率 (%)	抗压 强度 /MPa	劈裂抗 拉强度 /MPa	弯拉 强度 /MPa	受弯韧度指数			
				$\eta_{m5}$	$\eta_{m10}$	$\eta_{m30}$	$\eta_{m100}$
0	36.4	2.9	3.99	3.61	5.71	9.80	11.04
0.05	36.9	3.1	3.84	3.70	6.08	12.1	27.30

### 2.3 弯拉强度

表4(a) 弯拉强度

纤维体积率	0	0.1	0.15
混凝土弯拉强度 28 dMPa	8.53	8.70	9.35

### 2.4 低掺率对混凝土的增韧效果

表4(b) 低掺率对混凝土的增韧效果

纤维品种	纤维体 积率 (%)	弯拉强 度 6b /MPa	剩余弯 曲 6r /MPa	韧性指数		
				6r/6b	$Y_{m5}$	$Y_{m10}$
—	0	4.41	0	0	1	1
丙纶单丝纤维	0.05	4.20	0.53	12.6	1.23	1.31
丙纶单丝纤维	0.1	4.72	0.74	15.7	1.34	1.45
丙纶纤维网	0.1	4.65	0.88	18.9	1.33	1.62

### 2.5 干缩

表5 干缩

材龄 /d	干缩率 (%)		干缩值 / $\mu\text{m}$	
	素混凝土	掺纤维网混凝土	素混凝土	掺纤维网混凝土
3	0.0194	0.0179	787	563
14	0.0319	0.0267		

## 2.6 抗渗性

表6 抗渗性

试体编号	1	2	3	4	5	6	7
纤维体积率(%)	0	0.055	0.077	0.11	0	0.055	0.077
渗水测定值/mm	48	15	18	14	55	20	14
高度相对百分比(%)	100	31	38	29	100	27	25

注:1.测定值是6个试体渗水高度加权平均值。

2.素混凝土抗渗标号为S9,纤维混凝土为S11,提高2个标号。

## 2.7 抗冻融性

表7 抗冻融性

试体组别	起始	最终	Ed保留率
	Ea/MPa	Ed/MPa	(%)
素混凝土 $V_f=0$	37.08	4.08	12.9
纤维网混凝土 $V_f=0.1\%$	35.9	29.86	83.2

## 2.8 抗冲击性

表8 抗冲击性

试验组	摆锤冲击试验		落重试验	
	素混凝土	纤维网混凝土 $V_f=0.1\%$	试验组	纤维网混凝土 $V_f=0.1\%$
抗冲击强度 ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	1.98	2.49	初裂冲击次数	30
相对比值	100	125.8	破坏冲击	37

## 2.9 弯曲疲劳性

表9 弯曲疲劳性

应力比	疲劳次数		疲劳寿命 增长率 (%)
	素混凝土 $V_f=0$	纤维网混凝土 $V_f=0.1\%$	
0.85	194	821	323.2
0.80	965	3162	227.7
0.75	4797	12175	153.8
0.70	23847	46877	96.6
0.65	118556	180485	52.2

## 2.10 耐磨性

按《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ053—94)中T0527—94中规定进行素混凝土与纤维网混凝土进行对比试验。纤维网掺入量  $0.9\text{ kg/m}^3$  试验结果表明:纤维网混凝土比普通混凝土耐磨性提高了27.13%。

以上各种试验数据由国家建筑材料测试中心和交通部西安公路工程测试中心提供。

## 3 对以上主要指标的几点认识

① 聚丙烯纤维网的掺入,大大改善混凝土早期的干缩性,减少和降低混凝土和砂浆的早期裂缝,并提高了混凝土浇筑体整个均匀性,阻止了混凝土离析现象,消除了浇筑体的内部裂缝,因此本材料特别适合建造重要水利工程的构筑物。

② 从表3、表4中看出,尤其是  $\eta_{m100}$  较素混凝土约提高1.47倍,其韧性的提高,主要是由于纤维网使混凝土在达到弯拉强度后,仍然保留一定的裂后强度,此性能较适应地震带的工程构筑物,以提高其安全度。

③ 抗冲击性能大幅度提高,从落重试验(表7)看出,初裂冲击次数为30:103,掺聚丙烯纤维网混凝土比素混凝土提高3倍多,不少水利工程需经受长时间的水力冲刷,且正压和负压不断交换,因此采用UHPC超高性能混凝土是最佳选择。

④ 从表9弯曲疲劳性来看,掺入聚丙烯纤维网0.1%,当应力比为0.65时,其疲劳寿命比素混凝土增长52%。当应力比为0.85时,其增长率却达到3倍以上。表6中的抗冻融性也较素混凝土提高5~7倍,这两项指标说明,UHPC高性能纤维网混凝土的使用寿命大大提高,适合于百年大计的国家重点工程。

⑤ 关于纤维网与混凝土结合的牢固性。据中国水利科研院水利结构材料所长期研究和试验证明,虽然纤维混凝土在水利工程中长时间的被水冲刷,但纤维不会与混凝土剥离,纤维的作用也与混凝土同步,只有混凝土断裂损坏时,纤维才有可能暴露。

## 4 结语

① 混凝土的发现,至今已近200a,但其性能的提高发展却显缓慢,目前世界已进入知识经济时代,各行各业发展一日千里,因此混凝土的高性能开发也应与我国建设相适应。Fibermesh纤维网混凝土的应用开发已是一种趋势。

② 在水利工程中使用Fibermesh聚丙烯纤维网混凝土(UHPC)会使建设成本有所提高,但却能大幅度延长工程的使用寿命和提高安全性能,其工程的综合技术性能也会有很大改善。因此在国家重点工程上使用该材料是很有必要的。工程使用寿命的延长和安全性能的提高无形中就是一种节约,为国家带来了隐形财富。

③ Fibermesh聚丙烯纤维在美国作为混凝土非结构加固材料在20世纪80年代初期已开始使用,并相继制订和颁发了ASTM(美国材料实验协会)国家标准,同时也通过了ISO国际标准以及取得了BBA英国认证委员会和澳大利亚国家建筑行业的认可。近年来我国西安公路检测中心、北方交通大学及中国建筑材料研究院先后作了性能试验和检测,其结果证明聚丙烯纤维网与聚丙烯单丝比较,前者在混凝土试件中各项指标都有大幅度提高,因此,聚丙烯纤维网混凝土在我国的推广使用是可靠的、安全的。

新材料推动发展,新科技缔造财富。随着我国对水利工程质量要求的不断提高,聚丙烯纤维网超高性能混凝土能在促进技术升级、增加工程安全性和缔造隐形财富上起到推波助澜的作用。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. 建设部推广应用和限制禁止使用技术[EB/02]. <http://www.cin.gov.cn/>