

聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土研究与应用

高建霞¹,朱效荣¹,王志海²

(1.北京城建混凝土技术中心,北京 100039;2.北京城建集团工程技术部,北京 100025)

〔摘要〕通过对纤维抗渗防裂混凝土各种原材料的优选、配合比的调整,特别是对聚丙烯掺量的调整试验,配制出符合抗渗防裂要求,具有良好施工性能的纤维混凝土,应用于工程实践。

〔关键词〕聚丙烯纤维混凝土;抗渗性;防裂性

〔中图分类号〕TU528.572

〔文献标识码〕A

〔文章编号〕1009-0142(2003)01-0025-04

1 概述

目前国内外建设的许多大型桥梁、江河堤坝、大型体育场馆等公用设施,都或多或少出现结构缺陷裂缝,有的部位已经延伸到钢筋部位,使混凝土建筑物(构筑物)的整体性受到破坏,堤坝出现渗漏,地下室渗水变潮,桥梁的安全性受到质疑并最终拆除重建,许多公共场所被迫关闭,造成大量的人力物力浪费,人们的生命财产安全受到严重威胁。究其原因,

主要是由于混凝土在使用的过程中内部应力集中,使内部存在结构缺陷的混凝土产生微裂纹,并逐渐扩展延伸最终形成较大的裂缝。随着这些裂缝的产生与扩展,其表层逐渐碳化,当裂缝扩展至钢筋时,混凝土的护筋作用完全丧失,空气中的腐蚀性气体直接侵害钢筋导致钢筋锈蚀,引起钢筋混凝土结构的破坏最终完全失效。

纤维抗渗防裂混凝土是采用水泥、砂石、外加剂掺合料

光洁程度,防止粘砂或减少粘砂,同时也降低了制品在冷凝过程中的收缩阻力,减轻了应力作用。

4.2 对制品致密程度的影响

模型对制品致密程度的影响主要源于浇铸过程中气体侵入熔液造成的。传统的水玻璃烘烤模型的重要优点之一是型板经高温烘烤后水分含量低,对制品致密程度几乎没有影响。而新的制模工艺免去了对砂型的烘烤,那么模型内的含水量必然提高,这便是个隐患。这个问题是完全可以避免的,但这要有相应的工艺措施。

首先,结合剂的加入量要严格控制,计量要准确,防止过多;其次,选用结合剂必须严格执行技术标准,把好进货质量关;第三,模型贮存量要尽可能低,防止长期贮存吸湿;第四,对于特殊大规格的模型或型芯,要适当地进行必要的烘烤,温度不宜过高,时间不宜太久。

影响制品致密程度的另一原因是有机结合剂燃烧过程中产生的气体侵入熔液所致。对此,在浇铸较大型制品时,尽量以水玻璃结合剂为主,以树脂结合剂为辅;另外,制模时要充分考虑模型板的透气性和排气孔的设计。

4.3 对制品外形尺寸的影响

模型的强度,特别是高温强度,直接影响制品的外形尺寸。树脂砂型或改性水玻璃砂型都具有较好的高温强度,尽

量推广或扩大新型砂模的使用量,对于保证制品外形尺寸有重要意义。配合使用高温涂料防止浇铸过程中液流对模型内壁的冲刷,也是可以减小模型变形的辅助措施。模型的尺寸保证了制品的外形尺寸就相应准确了,同时制品的加工量降低,可以大大降低产品的总成本。

5 结语

国产的熔铸耐火材料在理化性能上与世界先进水平差距不大,但是在制品的外观质量上差距还是不小的。其中最主要的原因之一,便是我们的制模工艺技术水平还不高。因此,要使产品的质量赶上或超过世界先进水平,当务之急就是加快制模技术改造的步伐。最适合我国国情的途径便是开展对改性水玻璃的开发和研究,尽快推广使用新技术。同时,对特殊规格的制品,用树脂砂成型,最大限度地实现模型的整体化,使模型的组合精度、高温强度都有一个较大的提高,国产熔铸耐火材料的质量赶超世界先进水平就一定能实现。

〔收稿日期〕2002-11-07

〔作者简介〕周奇(1965-),男,高级工程师,硅酸盐专业

〔通讯地址〕沈阳市铁西区

经优化配比后,掺加适量纤维以改善混凝土防渗抗裂性能、提高混凝土防裂能力、延长混凝土使用寿命的特种混凝土。这项技术的研究,是为了解决混凝土在水化硬化早期及后期出裂缝影响混凝土使用寿命的技术难题。

纤维抗渗防裂混凝土充分利用混凝土各种原材料在混凝土中的功能优势,通过优化配料,使用干燥收缩较小的水泥,降低混凝土干缩的外加剂、掺合料,配制出具有刚性防水抗裂功能的结构密实的基体混凝土,然后在这种混凝土的基础上掺加纤维,改善此混凝土的孔结构,通过乱向分布的纤维各向同性的特性,限制和约束混凝土在不同方向的结构缺陷破坏,从而达到防止裂缝出现的目的。这样配制的纤维抗渗防裂混凝土,从原理上看就具备刚柔相济、柔中带刚的抗裂防渗功能。

2 配合比的确定

2.1 原材料的选择

水泥:北京 P·O32.5 级;砂子:采用永定河系中砂, $M_0 = 2.8$;石子:采用永定河系碎石, $d = 25.0$;外加剂:采用辛庄减水剂;矿渣粉:比表面积 $400 \pm 20 \text{ m}^2/\text{kg}$;粉煤灰:Ⅱ级;膨胀剂:UEA;纤维:聚丙烯纤维,其直径为 $20 \mu\text{m}$ 左右,主要参数详见表 1。

表 1 聚丙烯纤维的物理力学性能

项目	指标	项目	指标
纤维类型:	束状单丝	抗拉强度:	276 MPa
比重:	0.91 g/cm ³	安全性:	无毒材料
吸水性:	无	含湿量:	<0.1%
熔点:	160 ℃	抗酸性:	极高
导热性:	极低	燃点:	580 ℃
导电性:	极低	旦尼尔:	15±2
极限拉伸:	15%	弹性模量:	3 793 MPa
		规格:	19 mm

2.2 纤维掺量对混凝土性能的影响

通过原材料和其他技术参数的优选,选取 C30 强度等级的混凝土进行力学性能试验(C30 混凝土配合比见表 2)。

拌合物中聚丙烯纤维掺量分别为 0、0.6、1.0、1.4 m³。聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土拌合物性能见表 3。

聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土力学性能见表 4。

通过表 4 可知,抗拉强度增高 10% 以上。抗折强度增加 10% 左右,能有效抑制自收缩及抵抗外力引起的裂纹产生。混凝土和易性好,便于施工。考虑经济原因,聚丙烯纤维一般掺加 1 kg/m³ 比较合适。

表 2 C30 混凝土配合比/kg·m⁻³

水	水泥	砂	石	粉煤灰	矿渣粉	TZ1-2	UEA
172	240	730	1 030	100	100	9.2	55

表 3 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土拌合物性能

纤维掺量	坍落度 T ₀	扩展度 D ₀	1h 坍落度 T ₁	1h 坍落度 D ₁
/kg	/mm	/mm	/mm	/mm
0	230	520	180	470
0.6	200	510	190	450
1.0	225	500	190	430
1.4	200	500	195	420

2.3 聚丙烯纤维混凝土性能试验

试验按优化配合比进行,分别测试混凝土的各项力学性能及耐久性指标见表 5、6、7 及图 1。

从表 5 中可以看出,纤维混凝土比空白混凝土的抗拉强度和弹性模量增加 10% 以上,极限拉伸也有所增加,抗压强度略有下降,表明掺加纤维后,混凝土的力学性能,特别是抗拉防裂性有了明显增加。

从表 6 可以看出,纤维混凝土比空白混凝土的干缩减小 10% 左右。

表 4 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土力学性能

纤维掺量	抗压强度	抗拉强度	抗折强度	弹性模量	抗冻性	收缩率
/kg·m ⁻³	/MPa	/MPa	/MPa	/×10 ⁴ MPa	次	/%
0	47.8	3.39	7.9	2.20	D50	0.047
0.6	45.9	3.72	8.1	2.81	D50	0.047
1.0	44.7	3.95	8.4	3.02	D50	0.045
1.4	43.5	4.10	9.2	3.11	D50	0.044

表5 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土与普通混凝土的力学性能对比

试样	抗压强度/MPa		抗拉强度/MPa		弹性模量/ $\times 10^4$ MPa		极限拉伸 ($\times 10^{-6}$)
	28 d	90 d	28 d	90 d	28 d	90 d	
C30 空白	45.8	63.5	3.30	3.68	2.20	3.54	104
C30 纤维	43.0	60.0	3.67	3.90	3.02	3.72	107
C30 空白	67.0	76.5	4.28	4.55	3.99	4.04	123
C30 纤维	65.1	74.2	4.49	5.36	4.24	4.38	129

表6 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土与普通混凝土的干缩对比/%

龄期/d	1	3	7	14	28	45	60	90
C30 空白	0.009	0.018	0.032	0.041	0.047	0.052	0.054	0.061
C30 纤维	0.007	0.012	0.026	0.039	0.045	0.050	0.052	0.056
C30 空白	0.009	0.020	0.032	0.042	0.051	0.053	0.056	0.065
C30 纤维	0.008	0.014	0.029	0.037	0.045	0.050	0.053	0.060

表7 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土与普通混凝土的抗冻性能对比/%

试样	D50 次冻后		D75 次冻后		D100 次冻后	
	动弹性模数	失重	动弹性模数	失重	动弹性模数	失重
C30 空白	94.7	0	88.4	0.13	76.3	1.02
C30 纤维	96.0	0	87.7	0.16	75.8	1.13
C30 空白	96.5	0	90.1	0	85.4	0.18
C30 纤维	96.1	0	90.4	0	85.8	0.13

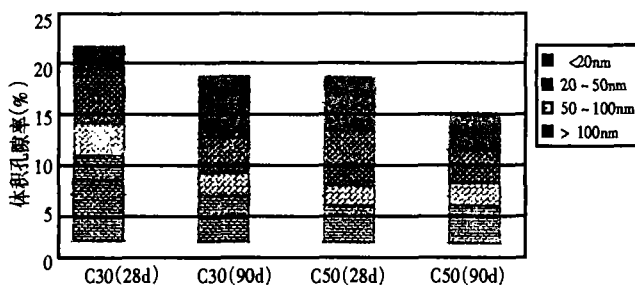


图1 纤维混凝土的孔结构

由图1可见,纤维混凝土的孔隙率随着水灰比的减小而减小,28 dC30的孔隙率为21%,而C50为17%;随着龄期的增加,水泥继续水化,混凝土的孔隙率变小。在混凝土的孔径分布中,一般认为 >100 mm的孔为有害孔, <50 mm的孔为无害孔,纤维混凝土中 >100 mm的孔一般在5%以下,因此纤维混凝土的孔结构比较合理,这也是它的优良性能的内

在原因。

从SEM照片可以看出,纤维在混凝土中呈不规则的乱向分布,这种分布形式在混凝土中形成大量微配筋,吸收了混凝土的应力;而且纤维与水泥胶体之间的粘结效果好,表现为纤维表面可以明显看到较多的水泥水化产物;纤维表面多发生蠕变变形,在破坏时纤维承担较多的剪切应力,提高了混凝土的剪切强度。

2.4 纤维抗渗防裂混凝土中纤维的功能及作用机理

聚丙烯纤维是一种经过特殊的生产工艺进行表面处理的纤维,同水泥基材有着极强的粘结力,美国曾利用电子显微镜对几种主要的混凝土纤维丝进行研究,与其它几种纤维比,聚丙烯单丝网状纤维可握裹更多的集料,同水泥基体有更紧密的结合力,因此可在混凝土中发挥更为有效的抗裂作用。我们所做的扫描电镜试验也可以说明这个问题。由于聚丙烯纤维可以迅速而轻易与混凝土材料混合分布极其均匀、彻底,每立方厘米水泥浆内有近二十条纤维丝,故能在混凝土(砂浆)内部构成一种均匀的乱向支撑体系,从而产生一种有效的二级加强效果。

对成型的试件用扫描电镜观察 28 d 龄期混凝土中纤维表面状况,发现在混凝土中聚丙烯纤维的乱向分布形式大大低的纤维单丝,从而极为有效地增强了混凝土(砂浆)的韧性,抑制了微细裂纹的产生和发展。

混凝土(砂浆)中加入聚丙烯纤维,是控制混凝土塑性收缩、干缩等非结构性裂缝的有效手段,同时无数的纤维丝在混凝土内形成的乱向支撑体系可以有效阻碍骨料的离析,保证混凝土早期均匀的泌水性,从而阻碍了沉降裂纹的形成。试验表明,同普通混凝土相比,体积掺量 0.05% 的聚丙烯纤维混凝土抗裂能力可提高近 70%。现代工业与民用建筑大体积混凝土用量愈来愈大,结构形式越来越复杂,特别是国家大剧院、奥运大型体育场馆的建设,对水泥水化热、收缩等因素引起的开裂必须预防,因此从理论到实践到应用,聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土均具有较大的潜力。

3 聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土的工程应用及技术经济分析

在试验室大量试验的基础上,我们分别在大运村公寓、百郎园、以色列驻华大使馆、北京中医药大学筒子楼改造工程上分别对聚丙烯纤维抗渗防裂混凝土进行了工业化试生产。

大运村工程是第二十一届世界大学生运动会的运动员村,大运会闭幕后作为大学生公寓长期使用。大运村位于北京市海淀区知春路,是国家重点工程。大运村工程地下室核心筒部位由于设计强度等级高(C60),墙体纵向延伸长,不留施工缝,而且不允许出现任何结构裂缝,施工难度较大。我们采用纤维混凝土为该部位生产共 500 m³,使用北京 42.5 级普通硅酸盐水泥、辛庄 861-BF 高效减水剂、永定河中砂和碎卵石、瑞德复合料、聚丙烯纤维等材料,混凝土出机坍落度 220 mm,经 1 h 运输到工地后基本上没有损失,混凝土扩散度为 420 mm 以上,和易性好,泵送顺利。混凝土试件 28 d 标准养护强度为 73.4~77.0 MPa,符合设计要求,剪力墙拆模后,混凝土表面光滑密实,无可见裂缝等缺陷,外观质量比不掺纤维的上层同类结构更为美观。

百郎园工程位于永定路与复兴路的交界处,是一座高档住宅社区,由江苏南通三建北京公司承建。该工程于 2000 年 6 月开工,2001 年 3 月结构封顶,获得北京市结构工程“长城杯”。在 2000 年 11 月,该工程进入八、九层结构施工时,由于环境干燥,风力较大,而且墙体较长,在部分墙体出现裂纹。为确保该工程获得长城杯,我们与施工方南通三建协商决定试验使用纤维混凝土。在十层、十一层的较长墙体、顶板使用 C30 纤维混凝土约 400 m³,混凝土和易性好,泵送顺利,强度达到设计强度等级的 118%~125%。拆模后观察,混凝土表面光滑,无任何缺陷,观感质量明显优于普通混凝土

有助于削弱混凝土塑性收缩及冻融时的应力,收缩的能量被分散到每立方米上万条具有抗拉强度而弹性模量相对较土。

北京中医药大学筒子楼改造工程位于北三环和平里北京中医药大学校门东侧,由怀柔建筑集团公司八公司承建。该工程为框架剪力墙结构,于 1999 年 10 月开工,2000 年 6 月竣工,现已投入使用。该工程已经获得北京市结构工程“长城杯”。2000 年 3 月份,该工程进入十层以上施工时,为缩短工期,施工方将原来的流水节拍进行了调整,一层墙体由原来的四次浇筑改为两次浇筑,同时春季由于风大干燥,混凝土容易出现表面裂缝,我公司十层以上墙体试验使用 C40 纤维混凝土,共计生产方量约 300 m³,混凝土坍落度稳定,泵送性能好,强度达到设计强度的 120%~140%,拆模后发现观感质量好,仅有部分纤维纹路。

纤维抗渗防裂混凝土采用国产改性聚丙烯纤维,它比国外同种纤维具有分散性能好、价格低等优势,单方混凝土造价比基准混凝土增加 32 元,与掺加膨胀剂或防水剂的混凝土造价基本接近,不须额外增加费用。但防裂效果、适用范围明显改善和增加,施工养护中可节省人工费 3~5 元/m³,因此具有明显的技术经济效益。

4 结论

(1)采用优化配比的基准混凝土,分别掺加膨胀剂(或防水剂)和聚丙烯纤维,可以分别配制出适用于潮湿环境或干燥环境的纤维抗渗防裂混凝土。这种混凝土生产成本低,工作性能好,在相应的环境工作中具有良好的抗渗漏、防裂、防潮、护筋作用,有效的改善了混凝土的耐久性,并具有成本低、工作性好的特点,对提高建筑物的使用寿命发挥了积极的作用。

(2)采用膨胀剂(防水剂)和聚丙烯纤维复合配制混凝土,实现了无机刚性防裂、有机刚性防裂及复合材料柔性防裂的有机结合,在改善水泥基胶凝材料的功能方面具有鲜明的技术创新性,具有明显的技术经济效益和推广前景。

[参考文献]

- [1]朱江.聚丙烯纤维混凝土的防水性能及其应用.《新型建筑材料》.2002.2
- [2]田永兴.专用聚丙烯纤维在高性能混凝土中的应用.《全国第二届高性能混凝土学术研讨会论文集》.1999.4

[收稿日期]2002-07-16

[作者简介]高建霞(1969-),女,工程师,学士,从事建筑材料研究工作

[通讯地址]北京市海淀区田村山南路 8 号

[联系电话]010-68240560