

文章编号: 1004-3918(2005)03-0415-04

聚丙烯纤维对水工混凝土耐久性的影响

黄功学^{1,2}, 赵军², 高丹盈²

(1. 华北水利水电学院水利职业学院, 河南 郑州 450008; 2. 郑州大学, 河南 郑州 450002)

摘要: 首先探讨了水工混凝土存在的影响其耐久性的开裂、冻融、碳化、磨损等问题, 然后结合国内外关于聚丙烯纤维混凝土的试验研究成果, 分析了聚丙烯纤维对水工混凝土抗裂、抗渗、抗冻、抗冲击、抗疲劳、抗冲耐磨和抗碳化等性能的改善作用, 分析结果表明, 聚丙烯纤维可有效提高混凝土的耐久性能。

关键词: 聚丙烯纤维; 水工混凝土; 耐久性

中图分类号: TU 528.572 **文献标识码:** A

水工建筑物是在静水或动水作用的条件下工作, 水的渗入、冲刷、冻融、侵蚀等使水工建筑物的工作环境比其他建筑物更为恶劣和复杂。在水利枢纽工程中, 包括大坝、溢洪道、导流隧洞等各种建筑物, 不仅要承受正常的使用荷载, 还要承受环境水的各种作用, 对于这些建筑物, 采用一定方式改善水工混凝土性能, 提高混凝土的耐久性, 往往比保证其强度具有更重要的意义。而在水工混凝土掺入适量的聚丙烯纤维是使水工混凝土高性能化的有效方式。

1 聚丙烯纤维的基本性能

聚丙烯纤维是一种新型增强改性纤维, 一般分为单丝和网状两种规格, 常用的单丝纤维长度 5mm~50mm, 密度约为 0.91g/cm³, 熔点 168℃, 燃点 580℃, 抗拉强度为 400~650MPa, 弹性模量 5000~7000MPa, 不吸水, 导热性低, 抗酸碱性极高, 属于无毒材料。它与水泥基相容性好, 能经受水泥水化物侵蚀而自身不受损害, 耐久性能好。同常用的钢纤维相比, 聚丙烯纤维的特点是细度高、比表面积大、数量多(如用 0.9kg/m³ 的掺量, 可获得 700 万~3000 万根纤维单丝), 在混凝土中的纤维间距小, 搅拌均匀时可在混凝土内部构成均匀的乱向支撑体系。

2 影响水工混凝土耐久性的因素

2.1 裂缝

水工混凝土结构一般体积较大, 混凝土在硬化过程中产生大量的水化热, 产生温度应力, 而此时混凝土抗拉能力较弱, 容易产生裂缝。特别是混凝土浇筑初期外界气温骤降时, 裂缝大而深。同时混凝土还会因收缩而产生裂缝。严重的裂缝将会引起如渗漏及渗漏溶蚀、环境水侵蚀、冻融破坏和钢筋锈蚀等病害的发生, 这些病害与裂缝形成恶性循环, 对水工建筑物的耐久性产生极大危害。

2.2 冻融循环

冻融破坏是硬化后的混凝土在浸水饱和或潮湿状态下, 温度正负交替变化使其内部孔隙水冻结膨胀、融解收缩产生疲劳应力, 导致混凝土由表及里逐渐削蚀的破坏现象。经调查, 我国有 22% 的大坝和 21% 的中小型水工建筑物存在冻融破坏问题。大坝混凝土的冻融破坏主要集中在华北、东北和西北地区, 而中小型水工建筑物冻融破坏问题较为广泛的存在。

2.3 碳化与钢筋锈蚀

空气中的 CO₂ 和水中的碳酸组分都有可能与混凝土中水泥水化物发生反应, 使之碳化。碳化使混凝土表面收缩而出现裂缝, 裂缝的出现又使空气的 CO₂ 等更容易进入混凝土内部, 加速碳化。碳化使混凝土中性化, 导致钢筋失去保护膜而产生锈蚀, 使结构承载力部分或全部丧失。

收稿日期: 2005-04-01

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金(20025600004)

作者简介: 黄功学(1963-), 男, 河南固始人, 华北水利水电学院水利职业学院高级讲师, 郑州大学在读工程硕士生。

通讯作者: 赵军(1971-), 男, 河南漯河人, 郑州大学土木工程学院副教授, 博士。

2.4 磨损和气蚀

磨损和气蚀破坏是水工泄水建筑物常见的病害,是水流冲刷造成的两种不同破坏形式,在隧洞、泄洪道等建筑物中,受到高速水流和泥沙的冲刷,对混凝土产生磨损。同时当高速水流在凹凸不平的混凝土表面流过时,将产生大量气泡,气泡爆炸时可产生上千兆帕的冲击力。因此受冲刷磨损和气蚀部位的混凝土极易损坏。据调查,我国大型混凝土坝工程中有近70%存在冲刷磨损和气蚀破坏,在黄河干流上的大型水电站和西南地区的一些水电工程,泄水建筑物的冲刷磨损和气蚀破坏已是主要病害。

3 聚丙烯纤维在水工混凝土中的作用

3.1 提高水工混凝土的抗裂能力

3.1.1 在混凝土塑性收缩过程中的阻裂作用

混凝土的塑性收缩一般发生在混凝土浇筑后2h~10h,其原因是水泥和水的急剧水化反应及水分蒸发。因混凝土的早期抗拉强度较低,塑性收缩将产生裂缝。在混凝土中掺入聚丙烯纤维后,首先是因表层材料中存在纤维,使其失水面积有所减小,水分迁移较为困难,从而使毛细管失水收缩形成的毛细管张力有所减少;其次是聚丙烯纤维在混凝土中乱向分布,将收缩能量分散到具有高抗拉强度而弹模相对较低的纤维单丝上,从而有效地抑制了混凝土微细裂缝的产生和发展;三是大量纤维形成的支撑体系,有效地保证了均匀泌水,阻碍沉降裂缝的产生;四是相对于混凝土塑性浆体,聚丙烯纤维的弹性模量相对较高,依靠纤维材料与水泥浆之间的界面吸附粘结力,增加了材料抵抗开裂的塑性抗拉强度。

表1是美国维力克(Wilrick)工程与检验公司的杜拉纤维水泥砂浆抗裂试验结果。从试验结果可以看出,聚丙烯纤维抗裂效果显著。

表1 素水泥砂浆与纤维水泥砂浆的裂缝计权值

Table 1 The crack counts and right value in the cement mortar with and without fibers

纤维掺量 (Kg/m ³)	计权裂缝宽 度(A/mm)	裂缝长度 (B/mm)	A×B (mm ²)	A×B 加和值 (mm ²)	对照百分比 (%)
0	2.0	279.4	558.8	977.9	100
	1.0	228.6	228.6		
	0.5	381.0	190.5		
0.6	2.0	0	0	101.6	10.4
	1.0	0	0		
	0.5	203.2	101.6		
0.9	2.0	0	0	0	0
	1.0	0	0		
	0.5	0	0		

3.1.2 在混凝土硬化过程中的阻裂作用

硬化阶段的混凝土会发生干燥收缩、碳化收缩和温度收缩,这些变形若超过混凝土的极限变形就会开裂。另外,混凝土受荷时,其内部也会引发许多裂缝。在混凝土中掺入聚丙烯纤维,裂缝发生时其前端与纤维相交,当微裂缝的长度大于纤维的间距,纤维将跨越裂缝,起传递荷载的桥梁作用,使混凝土内的应力场更加连续、均匀,微裂缝尖端的应力集中得以缓和,裂缝的进一步扩展受到约束。当微裂缝的长度小于纤维间距时,纤维将迫使其改变方向或跨越纤维生成更微细的裂缝场。

3.2 提高水工混凝土的抗渗性能

混凝土中掺入聚丙烯纤维后,一方面纤维阻止了混凝土的离析现象,提高了混凝土的整体均匀性,避免发生不均匀收缩,减少内部裂缝;另一方面即使因收缩引发了裂缝,由于纤维的阻裂作用,裂缝的数量、长度和宽度显著减少,降低了生成贯通裂缝的可能性;再者,由于混凝土体内大量的短纤维呈现三维乱向分布,起到了阻断混凝土内毛细孔作用的效果。因此,纤维混凝土具有较高的抗渗性能。中国国家建筑材料测试中心按国家标准 GBJ82-85,采用Φ180×150mm,龄期28d的混凝土试件,杜拉纤维体积掺量0.05%,混凝土配合比为水泥:卵石:砂=1:4:1.7,水灰比为0.4,减水剂掺量0.25%,1.2MPa水压下杜拉纤维混凝土试件渗水高度为15mm,而素混凝土试件渗水高度为50mm。从试验结果可以看出,0.05%体积掺量的杜拉纤维混凝土比素混凝土的抗渗能力提高了70%。

3.3 提高水工混凝土的抗冻性能

混凝土在冻融条件下产生较大的膨胀压力,使混凝土易开裂并使原有裂隙扩展.在混凝土中掺入少量聚丙烯纤维后,由于纤维较细,且能在混凝土中均匀布,对混凝土起约束作用,抵抗冻融时的膨胀压力.作者所在的课题组按 GB J82-85,对聚丙烯纤维混凝土抗冻性能进行了测试.混凝土配合比为水泥:碎石:砂=1:2:1,水灰比为0.4,减水剂掺量0.5%,龄期为28d,其抗压强度变化见表2.从抗冻试验结果可知,经过50次、100次、150次冻融循环,聚丙烯纤维混凝土试样与普通混凝土试样相比,强度损失大为减少,说明聚丙烯纤维可显著提高混凝土的抗冻性能.

表2 冻融试验结果

Table 2 The thaw and freeze results of the test

纤维掺量 (kg/m ³)	冻前抗压 强度(MPa)	50次		100次		150次	
		抗压强度 (MPa)	相对抗压 强度(%)	抗压强度 (MPa)	相对抗压 强度(%)	抗压强度 (MPa)	相对抗压 强度(%)
0.0	40.6	27.3	0.67	14.5	0.36	破坏	0
0.6	45.6	37.4	0.82	19.2	0.42	18.7	0.41
0.9	44.2	37.8	0.86	25.7	0.58	21.3	0.48
1.2	45.3	36.0	0.80	25.6	0.57	20.3	0.45

3.4 提高水工混凝土的抗冲击性能

聚丙烯纤维在混凝土内部构成均匀的乱向支撑体系,这种均匀的乱向支撑体系有助于提高混凝土受冲击时动能的吸收,这是纤维的阻裂作用所致.在混凝土受冲击荷载作用时,纤维可以有效地阻碍混凝土中裂缝的迅速扩展,增强材料内部的连续性,从而减少冲击波被阻断引起的局部应力集中程度,吸收由于冲击荷载所产生的动能,提高混凝土的抗冲击性能.表3是美国南达柯塔矿业与工程学院按照 ACI544号委员会规定的落重测试方法进行的落重试验.试件龄期为28d.表中数据表明,聚丙烯纤维混凝土试件的初裂冲击次数和破坏冲击次数较不掺纤维的混凝土试件成倍提高,并随着纤维掺量的增加而增加.

表3 落重试验结果

Table 3 The result of the heavy hammer test

试件组	素混凝土	纤维混凝土 (V _f =0.05%)	纤维混凝土 (V _f =0.1%)	纤维混凝土 (V _f =0.2%)
初裂冲击次数	30	89	103	148
破坏冲击次数	37	98	114	168

3.5 提高水工混凝土的疲劳强度

疲劳性能是动荷载作用下进行结构设计不可缺少的指标.在混凝土中掺入聚丙烯纤维有助于提高混凝土的疲劳强度.Ramakrishnan,Gollapudid与Zellers以尺寸为100mm×100mm×350mm梁式试件,采用三点加荷法进行混凝土的疲劳试验,最小应力保持在试件抗折强度的10%,最大应力在抗折强度的40%~94%之间.经200万次循环后,素混凝土可承受的最大应力为其抗折强度的50%,掺有0.3%聚丙烯纤维的混凝土可承受的最大应力为其抗折强度的65%.

3.6 提高水工混凝土的抗冲刷耐磨性能

混凝土在水流冲刷和外力磨损作用下的破坏总是从裂隙处开始,且裂隙越大越容易被破坏.聚丙烯纤维掺入到混凝土中具有很好的抗裂作用,减少了混凝土中裂缝的产生,从而减少混凝土薄弱环节的形成.另外,聚丙烯纤维以每立方米数千万根的数量掺入到混凝土中,互相搭接牵连,在混凝土内部构成均匀的乱向支撑体系,阻碍了由于冲击或磨损而产生的裂缝的发展,也限制了混凝土碎块从基体中剥落,使混凝土碎块从基体中剥落需要消耗更多的能量,从而提高了混凝土的抗冲刷耐磨性能.经试验,按0.05%体积率在混凝土中掺入聚丙烯纤维,其抗冲刷耐磨性能可以提高40%以上.

3.7 提高水工混凝土的抗碳化性能

混凝土对钢筋的保护作用主要取决于两个方面,一是混凝土的高碱性使钢筋表面形成钝化膜;二是混凝土保护层对外界腐蚀介质渗入的阻止作用.混凝土碳化的关键因素是空气中的二氧化碳渗透到了混凝土体内,与其碱性物质发生化学反应.如果切断空气渗入的通道,或者增加气体渗入的阻力,就可以有效地减缓

混凝土碳化过程的发生。混凝土中掺入聚丙烯纤维,可以有效地限制裂缝的开展和渗入通道的形成,对混凝土碳化作用产生了有效的控制。

4 结 语

大量试验研究和理论分析表明,在水工混凝土中掺入适量的聚丙烯纤维,可以提高混凝土材料介质的连续性、整体性,改善水工混凝土的综合性能,即增强混凝土的抗裂、抗渗、抗冻、抗冲耐磨等性能,增强混凝土的韧性及抗冲击、抗疲劳特性,是提高水工混凝土耐久性的有效途径。

参 考 文 献:

- [1] 徐至钧. 纤维混凝土技术与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 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.
- [3] 沈荣熹,崔琪,李清海. 新型纤维增强水泥基复合材料[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004.
- [4] 姜景,钱玉林. 聚丙烯纤维混凝土阻裂机理探讨[J]. 吉林水利,2004,(3):20-23.
- [5] 亢景富,冯乃谦. 水工混凝土耐久性问题与水工高性能混凝土[J]. 混凝土与水泥制品,1997,(4):4-10.
- [6] 马华堂,管新建,李洪存,等. 聚丙烯混凝土的力学特性及路面工程应用[J]. 河南科学,2002,20(6):733-735.

The effect of polypropylene fibre on the durability of hydraulic concrete

HUANG Gong-xue^{1,2}, ZHAO Jun², GAO Dan-ying²

(1. Water Conservancy Professional Institute of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China;

2. Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this article, the factors on durability such as crack, thaw-freeze, carbonization, fray were discussed firstly. Then, the improvements of polypropylene fibre on the property of anti-cracking, anti-seeping, anti-frost, anti-impact, anti-fatigue, anti-carbonization were analyzed, combined with the experimental results in the world. The results indicated that polypropylene fibre could increase the durability of concrete evidently.

Key words: polypropylene fibre; hydraulic concrete; durability