

纤维素纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中的应用

李光伟

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610071)

摘要: 结合水电工程的实际, 开展了纤维素纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中应用的试验研究。试验研究表明: 在水工抗冲磨高性能混凝土中掺入部分纤维素纤维, 可以有效地增加混凝土的体积稳定性, 改善混凝土抵抗温度裂缝的能力, 提高水工抗冲磨高性能混凝土的抗冲磨能力。

关键词: 纤维素纤维; 抗冲磨; 高性能混凝土; 体积稳定性; 抗裂能力

中图分类号: TV431.3 文献标识码: B 文章编号: 1000-0860(2011)10-0124-04

Application of cellulose fibre to high performance hydraulic abrasion-resistance concrete

LI Guangwei

(Hydrochina Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610071, Sichuan, China)

Abstract: Based on the hydropower engineering practice, an experimental study is made on the application of cellulose fibre to high performance hydraulic abrasion-resistance concrete. The study result shows that if mixing a part of cellulose fibre to the high performance hydraulic abrasion-resistance concrete, not only the volume stability of concrete can be effectively increased, but both the temperature cracking resistance and the anti-erosion performance of the concrete can also be enhanced.

Key words: cellulose fiber; anti-erosion; high performance concrete; volume stability; cracking resistance

1 引言

高速含沙水流对水工混凝土建筑物过流面的冲刷磨损、空蚀作用会导致表层混凝土大面积剥蚀, 严重的则会引发灾难性事故^[1]。因此高速挟沙、石水流对水工泄水建筑物的冲磨破坏是水电工程运行中主要的病害之一。随着西部大开发和西电东送发展战略的实施, 我国要兴建一批以溪洛渡水电站和锦屏一级水电站为代表的大型高水头水电站, 其泄流最大流速可达 50 m/s, 因而对水工泄水建筑物混凝土抗冲磨材料的综合性能提出较高的要求, 它既要求混凝土具有优良的抗冲耐磨能力, 同时又要求混凝土具有较高的抗裂能力^[1]。

自 21 世纪 80 年代以来, 硅粉混凝土以其优越的抗冲磨和抗空蚀能力而在水电工程中得以大量应用。但采用硅粉配制的水工抗冲磨高性能混凝土普遍存在着塑性收缩变形和干缩变形较大、发热量较

高的不足, 在工程中常常出现易开裂的现象^[2], 从而影响其抗冲耐磨能力的发挥。如何提高水工抗冲磨高性能混凝土的抗裂能力, 减少因为开裂而引起高性能混凝土抗冲磨特性差是目前水电工程中亟需解决的问题。

大量的室内试验以及工程实践证明: 在硅粉混凝土中掺入一部分的纤维, 既可减少或防止在混凝土浇筑后早期硬化阶段, 因泌水和水分散失而引起塑性收缩和微裂缝, 也可以减少和防止混凝土硬化后期产生干缩裂缝及温度变化引起的微裂缝, 使得复掺纤维成为国内水电工程提高抗冲磨高性能混凝土抗裂性能的一项重要措施。目前关于合成纤维、金属纤维和无机非金属纤维对水工抗冲磨高性能混凝土性能影响的研究较多^[3-5], 但关于纤维素纤维在水工抗冲磨高性能

收稿日期: 2010-12-24

作者简介: 李光伟(1962—), 男, 湖北武汉人, 教授级高级工程师。

混凝土中的应用还鲜见报道。本文结合水电站的实际,对纤维素纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中的应用进行试验研究。

2 混凝土原材料基本性能

试验采用中热 42.5 级水泥,水泥的比表面积为 $364 \text{ m}^2/\text{kg}$, 28 d 的抗压强度为 52.6 MPa。硅粉的 SiO_2 含量为 96.0%, 活性指数为 125%。采用石英砂岩人工骨料,骨料的表观密度为 $2.70 \text{ g}/\text{cm}^3$, 人工砂的细度模数为 2.89。采用上海罗洋新材料科技有限公司提供的由美国 Buckeye 公司研发的 UF500 纤维素纤维,其基体取自一种经基因改良的特殊硬木树种,通过专业的生物技术、提纯工艺制成。纤维产品外观照片见图 1,纤维的基本性能见表 1。

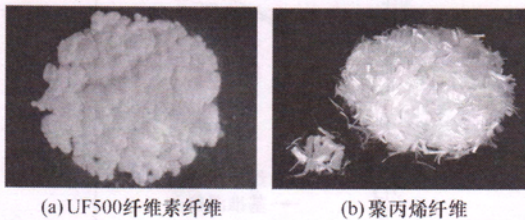


图 1 纤维产品外观照片

表 1 纤维的基本性能

纤维品种	密度 $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	抗拉强度 $/\text{MPa}$	弹性模量 $/\text{GPa}$	断裂延伸率 $/\%$
纤维素纤维	1.10	994	8.5	10
聚丙烯纤维	0.91	500	3.9	15

3 纤维素纤维对混凝土性能影响的试验成果

3.1 纤维素纤维对混凝土抗冲磨特性的影响

通常将水流中的介质分为悬移质和推移质,一般情况,悬移质泥沙在水流中呈悬浮状运移,大粒径的推移质沙石则沿建筑物表面呈滑动或滚动、或跳跃状态运移,对建筑物的破坏力最大。本次试验分别采用水工混凝土试验规程(DL/T 5100—2001)^[7]中规定的圆环法和水下钢球法,测定在模拟悬移质和推移质条件下掺纤维素纤维混凝土的抗冲磨特性。掺纤维素纤维混凝土抗冲磨特性试验结果见表 2,其中硅粉掺量为 8%,纤维素纤维和聚丙烯纤维的掺量均为 $0.9 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

圆环法所采用的磨损介质为石英砂(粒径为 0.5~1.0 mm),模拟水流流速为 14.3 m/s,通过挟沙水

流对混凝土内环侧面的冲刷,从而评价混凝土的抗冲磨特性。试验结果表明:掺纤维素纤维可以提高混凝土抗冲磨强度 18.5%,与掺聚丙烯纤维相比,混凝土的抗冲磨强度提高了 13.7%。

表 2 纤维素纤维对混凝土抗冲磨特性的影响

纤维品种	抗冲磨强度/ $\text{h} \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$	
	圆环法	水下钢球法
—	1.89	7.40
纤维素纤维	2.24	9.61
聚丙烯纤维	1.97	7.49

水下钢球法是模拟高速挟沙水流对混凝土过流面的冲磨破坏,其磨损介质为 70 个不同粒径的钢球,通过在水流速度为 1.8 m/s,钢球最大跳跃高度为 80 mm 的条件下对混凝土表面的抗冲磨特性进行评定。试验结果表明:掺纤维素纤维可以提高混凝土抗冲磨强度 29.9%,与掺聚丙烯纤维相比,混凝土的抗冲磨强度提高了 28.3%。

对掺纤维素纤维混凝土抗冲磨特性进行的试验研究结果可以看出:无论是模拟悬移质冲磨还是推移质冲磨,掺纤维素纤维均可以提高混凝土的抗冲磨能力,在硅粉掺量为 8% 的条件下,掺纤维素纤维混凝土的抗冲磨能力均优于掺聚丙烯纤维混凝土的抗冲磨能力。

3.2 纤维素纤维对混凝土体积稳定性的影响

混凝土一旦出现裂缝,就会破坏结构的完整性,降低混凝土的抗冲磨能力。因此混凝土的体积稳定性是设计者十分关注的指标之一,一般采用混凝土的干缩变形以及自生体积变形等指标来评价混凝土的体积稳定性。

处于未饱和和空气中的混凝土由于水分散失引起的体积收缩称为干缩。在混凝土中掺入 $0.9 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的纤维素纤维和聚丙烯纤维,混凝土的干缩变形见图 2。混凝土干缩变形的试件放在温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 $60\% \pm 5\%$ 的室内养护,试件的尺寸为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 51 \text{ cm}$ 。由试验结果可以看出:与掺聚丙烯纤维相比,在混凝土中掺入纤维素纤维后,早期的干缩变形差异不大,后期的干缩要小于掺聚丙烯纤维混凝土,其 90 d 的混凝土干缩变形可以减少 10% 左右。

混凝土在恒温绝湿条件下,由胶凝材料的水化作用引起的体积变形称为自生体积变形。掺纤维素纤维对混凝土自生体积变形的影响见图 3。由试验结果可以看出:与掺聚丙烯纤维相比,在混凝土中

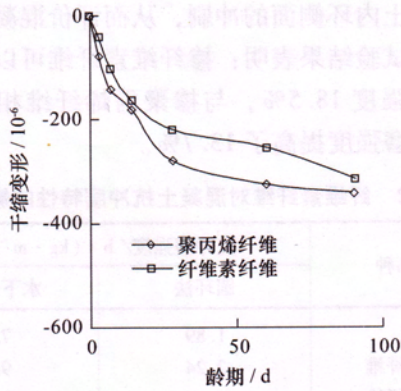


图2 掺纤维素纤维混凝土干缩变形

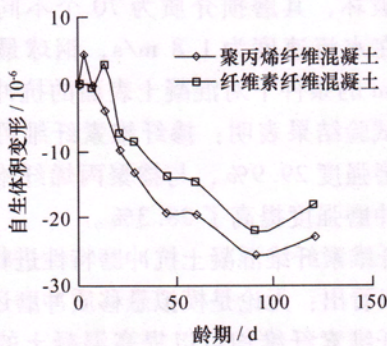


图3 掺纤维素纤维混凝土自生体积变形

掺入纤维素纤维后,混凝土的自生体积的收缩变形要小,其120 d混凝土的自生体积收缩变形将减小20%。

3.3 纤维素纤维对混凝土热学性能的影响

混凝土的温度应力来源于混凝土受约束时热变化而导致的体积变化。水泥的水化热在冬季施工时,有利于水泥的正常凝结硬化,但如混凝土结构尺寸过大,使得热量不易散发,混凝土温度升高,与其表面的温差过大,就会产生较大的温度应力而导致裂缝。在大多数混凝土坝体内,温度应力等于或甚至高于水荷载作用的工作应力,其足以使大体积混凝土产生贯通性裂缝^[7]。温度应力不仅与混凝土的线膨胀系数有关,而且和混凝土材料的物理力学性能以及热学性能也有关。

掺纤维素纤维对水泥水化热影响的试验结果见图4。其中纤维素纤维的掺量分别为水泥用量的0.5%和1.0%。从水泥水化热的试验结果看,在水泥中掺入一定量的纤维素纤维后,可以降低水泥的早期水化热。其中1 d的水化热可以降低17.7%~31.9%,3 d水化热可以降低7.1%~15.4%。掺纤

维素纤维对混凝土绝热温升的影响见图5。由试验结果可以看出:

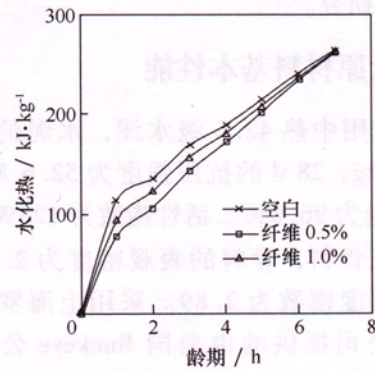


图4 掺纤维素纤维对水泥水化热的影响

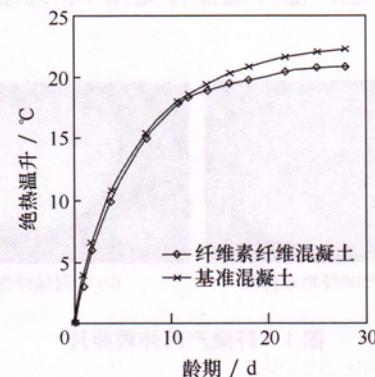


图5 掺纤维素纤维对混凝土绝热温升的影响

在混凝土中掺入 0.9 kg/m^3 纤维素纤维后,可以降低混凝土的绝热温升值,其中28 d的绝热温升值可降低 1.5°C 。

4 纤维素纤维对混凝土性能影响的机理分析

UF500是新一代高性能纤维素纤维,其结构不同于早期天然木质纤维。纤维素纤维直径小且具有不规则的纤维表面,纤维的比表面积($25\ 000 \text{ cm}^2/\text{g}$)大大高于聚丙烯等有机合成纤维(普通聚丙烯纤维的比表面积为 $900\sim 1\ 500 \text{ cm}^2/\text{g}$),因此纤维与水泥浆基体的结合力更强。UF500纤维素纤维本身具备极好的亲水性,在新拌混凝土中能够吸附一部分自由水,而且纤维基体内部有天然空腔,能够储存一定量的自由水,在水泥水化的过程中,这两部分水分会缓慢释放,促进水泥继续水化,补偿混凝土的收缩^[8],从而提高混凝土的体积稳定性。同时纤维素纤维独有的空腔结构设计,使其在新拌混凝土中起到了“内养护”的保水作用,控制水泥的水化速度,降低水泥的早

期水化热,从而提高混凝土抵抗温度裂缝的能力。

当纤维混凝土受到冲磨破坏,混凝土的基体产生裂缝时,纤维会桥架裂缝,纤维这种桥架作用一方面能阻碍裂缝的继续发展;另一方面纤维也能承受部分载荷,从而缓解混凝土材料的破坏程度^[9]。纤维的这种桥架作用和对磨损的抵抗作用的大小,与纤维自身的抗拉强度以及弹性模量有关,纤维自身的抗拉强度和弹性模量越大,其作用越明显。与聚丙烯纤维相比,纤维素纤维的抗拉强度和弹性模量较大,因此,掺纤维素纤维混凝土的抗冲磨特性要优于掺聚丙烯纤维混凝土。

5 结 语

纤维素纤维是化学合成纤维的更新换代产品,与目前工程中常用的聚丙烯纤维相比,纤维素纤维具有:分散性能优越、抗拉强度和弹性模量较高、与水泥基体粘结强度高、纤维的根数多、纤维的相对密度大于1.0以及独有的空腔设计等优点。结合水电工程的实际,对纤维素纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中应用进行的试验研究结果表明:

(1)在混凝土中掺入纤维素纤维可以有效改善水工抗冲磨高性能混凝土的抗冲磨能力。与聚丙烯纤维相比,纤维素纤维的抗拉强度和弹性模量较大,因此掺纤维素纤维混凝土的抗冲磨特性优于掺聚丙烯纤维混凝土。

(2)由于纤维素纤维独有的空腔结构设计,使其能在新拌混凝土中起到了“内养护”的保水作用,从

而可以有效降低混凝土的干缩变形以及自生体积的收缩变形,从而提高水工抗冲磨高性能混凝土的体积稳定性。另外,纤维素纤维独有的空腔结构设计,使其能在水泥的水化初期储存部分自由水,控制水泥的水化速度,降低水泥的早期水化热和其28d混凝土绝热温升值,从而提高混凝土抵抗温度裂缝的能力。

参考文献:

- [1] 陈改新. 高速水流下新型高抗冲耐磨材料的新进展[J]. 水力发电, 2006(3): 56-60.
- [2] 支栓喜, 陈尧隆, 季日臣. 由硅粉混凝土应用中存在的问题论高速水流护面材料选择的原则与要求[J]. 水力发电学报, 2005(6): 45-48.
- [3] 卢安琪, 等. 聚丙烯纤维混凝土抗冲耐磨试验研究[J]. 水利水电技术, 2002(4): 37-39.
- [4] 漫玉见, 余文胜, 霍海平. 湿喷钢纤维混凝土在公伯峡水电站导流洞工程中的应用[J]. 水力发电, 2002(8): 52-55.
- [5] 李光伟. 玄武岩纤维在水工抗冲磨高性能混凝土中的应用[J]. 混凝土, 2008(11): 77-79.
- [6] DL/T 5150—2001, 水工混凝土试验规程[S].
- [7] 水利水电科学研究院结构材料研究所. 大体积混凝土[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990: 171.
- [8] 刘国平, 施慧聪, 吴凯. 纤维素纤维对混凝土集料与浆体过渡区的影响研究[C]//第十三届纤维混凝土学术会议暨第二届海峡两岸三地混凝土技术研讨会论文集. 南京, 2010: 572-577.
- [9] 刘卫东, 林瑜, 朱玉强, 等. 纤维混凝土的冲刷磨蚀与冲击磨蚀试验研究[C]//第十三届纤维混凝土学术会议暨第二届海峡两岸三地混凝土技术研讨会论文集. 南京, 2010: 851-856.

(责任编辑 陈小敏)

· 简 讯 ·

水利部“948”项目“水域与陆地综合管理空间决策支持系统 (ISDSS)的引进”通过验收

2011年8月31日,水利部“948”项目管理办公室在南京组织召开由南京水利科学院水工水力学所和水文水资源所共同完成的引进国外先进技术项目(简称“948”项目)“水域与陆地综合管理空间决策支持系统(ISDSS)的引进”验收会。来自水利部科技推广中心、江苏省水利厅、南京大学、河海大学、中科院地理与湖泊所和扬州大学等单位专家组成了验收专家组。验收专家听取了项目工作汇报和成果介绍,审阅了有关资料,经讨论和质询认为,该项目全面完成了合同书规定的内容,达到了考核指标要求,一致同意通过验收。

项目引进的基于WaterLib 2.0模型库的水资源管理决策支持系统,包含了流域产汇流、河道洪水演进、水库(水电站)、蓄滞洪区、闸门、数据生成器、优化调控与河流控制模块及决策支持系统信号处理等多功能模块,具有易扩展、配置灵

活、通用性强和效率高等特点,可根据管理要求,快速构建水资源管理决策支持系统。专家一致认为,该系统先进性强,推广应用前景广阔。

项目历时3年,在10余名科研人员的共同努力下,在引进的基础上进行了消化吸收和再创新,研发了北江流域水资源调度与管理决策支持系统,并运用该系统模拟了流域水资源供给现状,评估了规划水平年2030年多情景下的水资源系统响应,为北江流域水资源管理提供了技术支撑。同时取得了丰硕的研究成果,构建了基于Waterlib 2.0北江流域水资源优化调度与管理决策支持系统一套(汉化版),编写了软件使用技术手册,发表了学术论文3篇,培养了研究生2名。

(摘自“中国水利 国际合作科技网”2011年9月7日)