

改性聚丙烯纤维混凝土用于堆石坝面板的几个问题

钟秉章¹,朱 强²,倪建华³

(1. 浙江大学力学系,浙江 杭州 310013;2. 杭州清华工程技术有限公司,浙江 杭州 310000;3. 东华大学材料学院,上海 200051)

摘 要:聚丙烯纤维的加入能防止和减少混凝土开裂,提高混凝土的变形性能并使防渗、抗冻融性和初度指标显著提高,因而适用于堆石坝的面板混凝土。由于聚丙烯纤维的应用,有可能采用更合理的面板结构和尺寸,提高其耐久性和经济性。为此,对聚丙烯纤维的品质应有一定要求,主要是和水泥砂浆的握裹力及抗老化性能。不同地区和不同部位的面板混凝土中,聚丙烯纤维的合理掺量应有所不同。讨论了进一步发展聚丙烯纤维混凝土在堆石坝面板和其它水利工程中应用的几个问题。

关键词:聚丙烯纤维;改性聚丙烯纤维;堆石坝面板;混凝土

中图分类号:TV431.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-9235(2003)01-0007-03

经过长达一年多的室内试验研究、现场施工工艺性试验和随后的专家评审等工作,2000年浙江宁波市白溪水库堆石坝在二期面板中全部采用了改性聚丙烯纤维混凝土,其成功经验已引起水利水电界同行的广泛注意,不少单位要求了解有关技术问题,也有人提出了一些需要进一步研究探讨的问题。本文就聚丙烯纤维混凝土用于堆石坝面板的有关问题进行探讨。

1 聚丙烯纤维混凝土用于面板的主要作用

存在原生微裂纹(细观尺度)是混凝土与所有脆性材料(如玻璃、陶瓷、岩石等)的共性,在荷载作用下,因裂纹尖端应力集中,使原生微裂纹扩张成宏观裂纹而导致脆性破坏。大量随机分布的聚丙烯纤维的加入,包裹了混凝土的各个组分,使混凝土的脆性弱点得到很大改善。这表现为:一是聚丙烯纤维的阻裂作用。由于聚丙烯纤维的变形模量与硬化初期混凝土较接近,因而能有效防止混凝土早期裂缝产生。在混凝土硬化后,纤维又能在微裂纹的两侧起桥接作用,阻碍裂缝的形成和发展。二是改善了混凝土的变形性能。试验证明,聚丙烯纤维混凝土弹性模量比普通混凝土减少5%~11%,极限拉伸应变率比素混凝土提高了0.2~2倍,其韧性比普通混

凝土有很大提高。纤维混凝土在发生初裂后,虽然承载能力下降,但仍可在一段较长时间内继续承受一定荷载,而不象普通混凝土马上发生脆性断裂。白溪水库委托南京水利科学研究所(以下简称南京水科院)所作的试验表明,纤维体积掺量为0.1%的混凝土试件比不掺纤维的试件弯曲韧性系数提高60%。该项试验采用了日本JSCE-SF4评定混凝土韧性的方法(根据分析,该法比美国ASTM C 1018的方法能更好体现小掺量下聚丙烯纤维混凝土的韧性)。弯曲韧性系数(F_{JSCE})的计算公式为:

$$F_{JSCE} = T_{JSCE} \times L / (B \times H^2 \times L / 150)$$

式中 F_{JSCE} ——弯曲韧性系数,MPa; T_{JSCE} ——当挠度为0~ $L/150$ 时,荷载~挠度曲线下所覆盖的面积,kN·mm; L ——试验时的跨度,mm; B, H ——试验试件断面的宽和高,mm。

纤维混凝土较高的韧性为使堆石坝面板混凝土适应堆石体沉陷和水荷载下的变形、防止面板贯穿裂缝的发生具有重要意义,亦满足一定的抗渗、抗冻和耐久性指标。但因混凝土的干缩及温度变化,面板将有可能产生开裂。同时堆石体在施工期和蓄水后的沉降变形,使混凝土面板发生挠曲变形。已建的面板堆石坝工程因混凝土面板柔度不足以适应坝

收稿日期:2002-10-25

作者简介:钟秉章,男,浙江瑞安人,教授,主要从事水电站结构与工程力学计算方面的研究。

体变形,使面板和垫层料脱空,乃至发生面板开裂或断裂已不鲜见。裂缝众多或严重开裂的面板使渗水量过大,并对其耐久性影响甚大,也令人不安。

此外,聚丙烯纤维混凝土还可以大大提高抗侵蚀和抗冲击能力,特别对面板有重要意义的是提高了防渗和抗冻性能。根据南京水科院做的试验表明,在高水压(20 MPa)下,体积掺量为0.1%聚丙烯纤维混凝土试件的渗水高度比普通混凝土降低;抗冻标号从100号提高到200号以上。这对减少面板渗漏量、延长混凝土寿命有重要意义。

2 聚丙烯纤维混凝土对纤维品质的要求

为了充分发挥纤维改善混凝土柔性的作用,纤维应当均匀分布在混凝土中,且与混凝土有较好的握裹力,同时在环境因素作用下性能保持稳定。因此,对聚丙烯纤维的产品性能和品质提出如下要求:

2.1 在混凝土中的分散性

在一定的搅拌工艺措施下,纤维能在混凝土中均匀分散是对纤维最起码的要求,而实际上,不少普通纺织用的聚丙烯纤维是憎水性材料,和水泥砂浆几乎完全不粘结,因此在搅拌时往往出现结团现象。纤维越细越长,刚度越小,搅拌分散性的问题越大。而不能充分均匀分布的纤维,在混凝土中不仅不能起到有益的作用,反而形成局部缺陷,显然是不能用于混凝土工程的。国内目前只有少数厂家有技术对聚丙烯纤维作亲水改性处理,在纤维表面生成不稳定态的 β 晶相,随后再生成具有亲水性的功能基团。这不仅使纤维在混凝土搅拌时有很好的分散性,而且增加了纤维和水泥砂浆间的握裹力。

对聚丙烯纤维是否进行了改性处理,从产品外观上是无法辨别的。最简便的方法是作纤维搅拌分散性试验:一是从混凝土外观上进行判别是否有纤维结团、搅拌不均匀的现象;二是可采用洗筛法进行。洗筛法即在混凝土搅拌出料过程或在料仓的不同部位取样(每次取1~2 kg湿料),称量后,将样品放入水桶中充分搅动。因聚丙烯纤维比重为0.91,将会漂浮在水面上,就可筛取、冲洗、烘干、称量。计算各部位的聚丙烯纤维含量和离差系数,一般取4个样品的离差系数应在0.15以上即可。

2.2 细径化和异形化

要使聚丙烯纤维混凝土的极限拉伸率和韧性提高,纤维的含量及其与混凝土集料之间的握裹力起决定作用。为增加与混凝土的结合力,主要措施是纤维直径的细化,增加比表面、纤维断面异形化以及纤维表面的改性处理。在同样的体积含量下,直径细化可使单位混凝土中有更多随机分布的纤维。白溪水库用国产的改性聚丙烯纤维细度为16 dtex(分特克司 dtex 表示每10 000 m的克重数,16 dtex 即每

10 000 m重16克),如果聚丙烯纤维掺量按0.1%体积含量计(每 m^3 为0.9 kg),纤维长度15~19 mm,则混凝土中纤维含量为3 750~2 960万根/ m^3 。而同样掺量水平下,根据前几年的一些国外著名产品说明书,该值仅为700万根左右。

聚丙烯纤维断面异形化也是增加比表面、加大与水泥砂浆粘结力的重要措施。好的产品应是非圆断面。根据南科院为白溪水库作的研究,体积掺量为0.1%时,断面为异形的3号纤维,其混凝土极限拉伸率比断面为圆形的2号纤维的混凝土高25%左右。

2.3 抗老化

英国 Surrey 大学汉南博士对聚丙烯纤维复合水泥薄板的老化问题进行了一项长期的试验研究。结论是:在10 a时间内,未觉察到材料的老化。南京水科院为白溪水库所作的聚丙烯纤维老化问题研究中,采用了氙灯照射的加速老化箱。参照国标《塑料氙灯光源曝露试验方法》(GB9344-88),其照射强度达到自然条件下太阳光辐射强度的2 000倍。每12 h为一循环,在每个循环中,光照11.5 h,降雨0.5 h。250 h的加速老化试验辐射强度相当于300年自然条件下的辐射强度。研究结论认为紫外线强照射对有水泥石浆板覆盖的普通聚丙烯纤维丝强度影响不大,但纤维的延伸率下降比较显著,而对含有抗老化剂的改性聚丙烯纤维则两者的影响都很小。考虑到水利水电工程的重要性和服务期限长的特点,采用含有抗老化剂的改性聚丙烯纤维应是十分必要的。在这方面,还应进一步研制抗老化性能优越的纤维。

2.4 提高纤维和水泥砂浆间的握裹力

增加纤维和水泥砂浆间的握裹力,使纤维和混凝土共同作用,就能很好地阻止混凝土微裂纹的发生和扩展,提高混凝土的耐久性、韧性、抗冲击、耐磨损等一系列指标。目前可以用混凝土试件的弯曲韧性系数或拉伸应变值来间接评定纤维的优劣,作为选择纤维产品质量的依据。

对于弯曲韧性系数或拉伸应变值的测定,可以先以美国 Paul P. Kraai 在1982年建议的测定砂浆塑性收缩裂缝的方法作不同纤维产品质量优劣的初步筛选。将水泥砂浆浇注在610 mm×915 mm×19 mm的木模中,木模底板与四侧边衬塑料薄膜,以防木模吸水并使试件的底部自由变形,离木模周边约20 mm处固定20 mm×20 mm 钢丝网或 $\Phi 8$ 钢筋,以形成对砂浆收缩变形的约束。浇注后不养护,立即以约5 m/s的风速吹试件表面,加速试件表面水份蒸发,连续吹24 h后,测定试件表面的裂缝宽度和长度,用表1所示的权值乘以裂缝长度加权计算其开裂指数以评定抗裂能力。

表1 计算开裂系数的权值

| 裂缝宽度 d/mm | $d \geq 3$ | $3 > d \geq 2$ | $2 > d \geq 1$ | $1 > d \geq 0.5$ | $d < 0.5$ |
|--------------------|------------|----------------|----------------|------------------|-----------|
| 权 值 | 3 | 2 | 1 | 0.5 | 0.25 |

南京水科院和北京市水利科学研究所先后都作过这项试验。由于砂浆配合比、试验用材料、温度、湿度等条件不同,试验结果虽有差异,但纤维的阻裂作用都十分明显。南京水科院用早期产品2号改性聚丙烯纤维所作的3组试验中发现:第一组砂浆板,风吹6h后,裂缝出现在试件四周设置钢筋的部位及木模四边,不掺纤维砂浆的裂缝长而粗,且在试件一角有一条长33.5cm、宽0.05~0.2mm的细缝;掺纤维砂浆的裂缝短而细,试件内没有裂缝;第二组砂浆板,由于改变了周边约束方式,裂缝主要出现在整个面板上,掺纤维砂浆的裂缝在长度和宽度上均少于不掺纤维的砂浆,裂缝系数减少58%;第三组砂浆板,只有不掺纤维的板上有6cm长、0.2mm宽的裂缝,纤维砂浆板上则无裂缝,开裂系数仅为不掺纤维的42%~46%。而北京市水利科学研究所相同的约束条件下进行试验,环境温度为20~25℃、湿度62%,用同一厂家经过进一步改性的3号纤维,并研究了纤维不同掺量的影响,其结果同样表明改性聚丙烯纤维在合理的掺量下,其防裂、阻裂效果非常明显。

至于聚丙烯纤维的一般性能指标如直径、长度、比重、熔点、燃点、耐酸碱、拉伸强度、延伸率等有纺织行业标准(FZ/T52003-1993)规定,各个生产厂家一般都能保证。

3 适当减薄面板厚度

从一些原型观测资料分析,如果能满足抗渗和抗冻要求,薄而柔度大的面板更能适应堆石体变形的要求。聚丙烯纤维的加入使混凝土的抗冻和抗渗指标大为提高,耐久性更有保证,因此适当放宽规范中对水力梯度的要求,从而减薄面板厚度是合理的,也是可行的。蒋国澄等人主编的《混凝土面板坝工程》一书中建议面板混凝土抗渗标号为 S_{16} 时,面板渗透水力梯度可取300以上,渗透系数为 $A \times 10^{-10} \text{ cm/s}$,这一要求对于聚丙烯纤维混凝土并不难实现。白溪水库委托南京水科院所作的抗渗试验结果表明,加入引气减水剂BLY、高效减水剂NMR和纤维掺量为0.1%的C25混凝土,抗渗指标已超过W20(即原 S_{20})。

4 聚丙烯纤维的合理掺量

国内外进行的试验证明:增加纤维的掺入量,可以增加混凝土的极限拉伸变形量、抗冲击、抗磨损、抗渗和抗冻等指标。国外也有试验表明优质的聚丙烯纤维在高掺入量的条件下,可使混凝土的极限拉

伸应变达到普通混凝土的2~3倍。聚丙烯纤维的合理掺量对于不同地区的面板坝、面板坝不同的部位应有所不同。要结合工程具体情况,合理规划试验设计,通过试验确定其合理掺量。

a) 严寒地区的面板坝,尤其是处于冬季库水位变动区部位的混凝土,应有更高的抗冻指标要求,聚丙烯纤维的合理掺量可由快冻试验来确定,在设计混凝土配合比时应同时优选引气剂和聚丙烯纤维的合理掺量。

b) 实践证明面板堆石坝在抗强震方面有很高的安全度。同时,应要求混凝土面板有好的柔韧性和吸收振动能量的能力。从结构动力响应角度考虑,薄的比厚的面板更能适应强地震的破坏作用。

c) 高坝面板混凝土除满足抗渗试验外,还应尽可能提高混凝土的拉伸极限应变,以适应较大的变形要求,可由混凝土的韧度试验、拉伸试验来确定聚丙烯纤维的合理掺量。

d) 在混凝土趾板和周边缝附近,是裂缝的高发地区,应要求混凝土有高的极限拉伸应变,在这些部位增加聚丙烯纤维的掺量,使混凝土的极限拉伸应变达到普通混凝土的1.5~2倍左右是合理的。

5 有待进一步研究的几个问题

a) 面板混凝土的配合比设计应连同聚丙烯纤维和其他外加剂一并考虑,以满足设计指标的综合要求。对聚丙烯纤维混凝土坍落度比普通混凝土有所减少的问题应在设计配合比时一并考虑。应充分考虑其对坍落度的敏感性不同于常规混凝土的特点,并留有因施工时气候变化、坍落度进一步减少时的可调整余地。

b) 面板中的配筋并不是结构应力要求,而是为了限制混凝土干缩和温度裂缝的宽度以及保证混凝土的整体性。目前规范要求每向配筋率宜为0.3%~0.4%,并布置在板中部。从混凝土的受力特性分析,如此低的含筋率并布置在板中部,其限裂作用是十分有限的,在挠曲作用下能否保证混凝土整体性也值得怀疑。在面板中适当提高纤维含量,有可能达到消除或限制混凝土干缩和温度裂缝的目的,也可防止因堆石体变形而引起的面板裂缝发生和发展成贯穿性裂缝。建议结合具体工程,研究取消面板中布置钢筋的可行性和相应的限裂措施的可行性。

c) 矿渣水泥能抑制碱骨料反应,但保水性差,易泌水,而在混凝土中加入聚丙烯纤维,正好增加了保水性和推迟泌水。通常使用矿渣水泥所带来的一些不利影响,可由加入聚丙烯纤维来补偿。两者的相互配合在一定条件下是可行的,可以相得益彰,建议结合工程实际,先在室内作一些试验研究。

d) 聚丙烯纤维混凝土除适用 (下转第19页)

据南宁市城市总体规划,至2020年,南宁市将发展成为特别重要城市,远期防洪标准应达到200年一遇。为此,本次规划在不改变郁江堤库结合防洪工程体系总体布局的情况下,提高了南宁市的堤防标准,并对百色水利枢纽和老口水利枢纽的防洪任务进行了调整。调整后的南宁市城市的堤防标准为50年一遇,由百色水利枢纽将其防洪标准提高到约100年一遇,在此基础上再建老口水利枢纽,进一步将其防洪标准提高到200年一遇,从而达到规划确定的防洪目标。

3.3 柳江中下游防洪工程体系的调整

在《珠江流域综合利用规划纲要》中,选定柳江上游的榕江水利枢纽和洋溪水利枢纽为柳江的控制性防洪工程,要求两库联合运行将柳州市的防洪标准由20年一遇提高到50年一遇。90年代初,珠江委设计院按照流域规划的部署,开展了榕江水利枢纽的前期设计工作,结果表明,该枢纽工程的建设条件尚不成熟,同时,受控制流域面积的限制,其对中下游地区的防洪作用也十分有限。

因此,本次规划对柳江中下游防洪工程体系进行了补充研究,初步选定由干流的洋溪水库、支流古宜河的木洞水库和支流贝江的落久水库共同承担中下游及柳州市的远期防洪任务。其主要任务是将柳州市的防洪标准由50年一遇提高到100年一遇,同时将下游沿岸的融安、融水及柳城等县级城市的防洪标准由20年一遇提高到50年一遇。

为尽量减少库区淹没损失,本次规划还对洋溪水利枢纽的坝址进行了优化调整,将原规划枢纽坝址下移了约10 km,增强了规划工程的可实施性。

4 关于非工程防洪措施

非工程防洪措施建设是珠江流域防洪建设中较为薄弱

(责任编辑:易理忠)

(上接第9页)

于堆石坝面板外,还可适用于其它需要的场合。建议结合大、中型工程,通过试验和施工实践来进一步研究聚丙烯纤维混凝土在水工中不同应用领域的问题。

e) 目前国外进口的聚丙烯纤维产品不少,国内

的环节。针对流域防汛指挥系统建设落后的实际情况,本次规划对此进行了全面、系统的规划,并提出了用5年左右的时间建成以流域管理机构为中心、覆盖重点防洪城市、重点防洪地区及重要防洪枢纽的珠江防汛指挥系统的建设目标。规划目标实施后,将有效改变或防汛指挥落后的被动局面。

按照《防洪法》的要求,规划划定了流域的防洪保护区、蓄滞洪区、洪泛及规划保留区,并以实现防洪管理法制化为目标,提出了相应的管理与政策法规建设意见,为制订有关的管理条例或实施细则指出了方向。规划同时完善了珠江三角洲地区重点防洪保护区的超标准洪水防御方案。

5 结语

“98”大水后,中央和地方十分重视防洪建设,中共中央、国务院在《关于灾后重建、整治江湖、兴修水利的若干意见》及《中共中央关于农业和农村工作若干重大问题的决定》中,均对全国的防洪建设提出了具体的要求,并将其纳入基础设施建设的范围,采取了投资倾斜政策。为此,急需根据现时的形势及今后的发展趋势,开展系统、全面的防洪规划,以为国家的宏观决策及指导防洪建设提供依据。本次珠江流域防洪规划修订正是在这一背景下进行的。规划以1993年国务院批准的《珠江流域综合流域规划报告》为基础,结合规划区域的社会经济发展需要,修订了部分防洪保护对象的防洪目标,基本满足了国家《防洪标准》及保护区社会经济可持续发展的要求;规划完善了流域的防洪体系,为未来的防洪建设指出了方向。待国家批准后,新的流域防洪规划将成为流域防洪建设的基本依据,对目前及今后一段时间的流域防洪建设起到重要的指导作用。

(责任编辑:易理忠)

也有众多厂家在生产,价格和品质相差悬殊。应尽早通过工程实践制订聚丙烯纤维和聚丙烯纤维混凝土的标准,以利于规范市场,促进厂家采用最新的科研成果,不断提高产品质量,更好地保证工程质量。

(责任编辑:卜一)

Problems in Applying Modified Polyacrylic Fibrous to Face-plate of Rockfill Dam

ZHONG Bing-zhang¹, ZHU Qiang², NI Jian-hua³

(1. Mechanics Department of Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310013; 2. Hangzhou Qinhua Engineering Technologic Company (Ltd) Hangzhou, Zhejiang, 310000; 3. Material College of Donghua University, Shanghai, 200051, China)

Abstract: Adding polyacrylic fibre to concrete of face-plate for rockfill dam will prevent from or reduce cracking of concrete, raise deformability of concrete and improve its impermeability, toughness and resistance to freezing and thawing. Application of polyacrylic fibre will lead to more rational structure and size of face-plate and heighten its durability and economy. Hence, quality of polyacrylic fibre, mainly, the grip between fibre and cement mortar and ageing resistance should meet certain requirements. Rational quantity of polyacrylic fibre added should be different according to region and location of facing concrete. The paper also discusses problems in further developing the application of polyacrylic fibrous to concrete-faced rockfill dam and other hydraulic project.

Key words: polyacrylic fibre; modified polyacrylic fibre; face-plate of rockfill dam; concrete