

聚丙烯纤维对混凝土抗裂性能的影响

李 光 伟

(国家电力公司成都勘测设计研究院 科研所,四川 成都 610072)

摘 要:对聚丙烯纤维混凝土的力学性能、变形性能、抗裂性能及耐久性能进行了试验研究。结果表明:在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维是克服混凝土开裂的有效途径。纤维在混凝土中所形成的乱向支撑体系,产生一种有效的二级加强效果,能较大幅度地提高混凝土的抗裂性能,改善混凝土的抗渗性能。本文同时探讨了聚丙烯纤维对混凝土抗裂性能影响的机理。

关键词:聚丙烯纤维;砼;抗裂性能;硷性能

中图法分类号:TV431 文献标识码:A 文章编号:1003-9805(2002)02-0098-03

1 前 言

目前水泥混凝土材料在结构工程中得到广泛的应用,但由于其自身尚存在的一些缺陷,如抗拉强度低,易于开裂,延性差等,限制了在工程中更进一步的应用。如何提高混凝土材料的韧性及抗裂性能,受到各方面广泛的关注。一般而言,混凝土产生裂缝的原因主要为三种:外荷载直接应力引起的裂缝,即按常规计算的应力引起的裂缝;外荷载作用下,结构次应力引起的裂缝;由变形引起的裂缝,如温度、收缩和膨胀,不均匀沉陷等引起的裂缝。裂缝通常由其中一种或几种因素共同作用而形成。在三种产生裂缝的因素中,尤以变形引起的裂缝最多,占80%以上。提高混凝土的抗裂能力,可适当增配构造钢筋,但这种方法只是对抵抗由于外荷载应力引起的裂缝有效,而对于第三种裂缝,尤其是塑性收缩裂缝,单靠配构造钢筋是难以奏效的,因为钢筋难以细密分布,而聚丙烯纤维则可弥补这方面的不足。当在混凝土中掺入适量的聚丙烯纤维后,由于聚丙烯纤维与水泥基材料有极强的结合力,可以迅速而轻易地与混凝土材料混合,且分布均匀而细密,从而改善水泥混凝土的抗裂性能。

2 聚丙烯纤维混凝土性能试验研究

2.1 试验方法

试验采用四川华神建材有限责任公司研制开发

的HOIST(好亦特)聚丙烯纤维,其吸水率为 $0.009\text{mg}/\text{cm}^3$,张力强度为 684MPa 。断裂伸长率为14%,杨氏弹性模量为 3.7GPa 。混凝土的拌和、成型及养护均按《水工混凝土试验规程》(SD105—82)中相应规定进行。混凝土拌和时使用自落式搅拌机,拌和时,先将砂、石、水泥、纤维一起干拌,然后再加水,使纤维尽量分散,纤维在混凝土拌和物中分布得十分均匀。

混凝土的力学性能和变形性能按《水工混凝土试验规程》(SD105—82)和有关国家标准进行,其它性能试验参见有关章节。

2.2 试验结果

分三批进行了聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究,第一批和第二批试验选择三个聚丙烯纤维掺量 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$, $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$,探讨聚丙烯纤维不同掺量对混凝土性能的影响。第三批试验选择二种长度的聚丙烯纤维(14mm和19mm),研究聚丙烯纤维长度对混凝土性能的影响。试验研究成果见表1。

2.3 分析与讨论

2.3.1 聚丙烯纤维对混凝土脆性的影响

由聚丙烯纤维混凝土的强度性能试验结果可见,同不含纤维的普通混凝土相比,聚丙烯纤维混凝土的抗压强度没有提高反而有所降低,而抗折强度则有所提高,相应其脆性指数有所降低(聚丙烯纤维掺量为 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 时,其脆性指数较普通混凝土降低6%~8%)。而且随着纤维体积率的增加,混凝土的

收稿日期:2001-02-01

作者简介:李光伟(1962-),男,湖北武汉人,高级工程师,主要从事混凝土及其原材料性能的试验研究。

脆性降低得越多(见图1)。表明掺聚丙烯纤维可以提高混凝土的韧性,从而弥补混凝土脆性大的不足。

表1 聚丙烯纤维混凝土性能试验研究成果

编号	纤维 体积率 /kg·m ⁻³	抗压 强度 /MPa		劈拉 强度 /MPa		抗弯 强度 /MPa		抗压 弹模 /CPa		极限 拉伸值 /10 ⁻⁴	
		7d	28d	28d	28d	28d	28d	28d	28d		
A-1	0	22.3	28.0	2.1	3.1	17.9	1.27				
A-2	0.6	20.1	26.6	2.0	3.2	17.2	1.55				
A-3	0.9	20.0	27.1	1.9	3.3	17.5	1.56				
A-4	1.2	19.5	25.8	1.8	3.3	17.3	1.72				
B-1	0.6	37.3	43.0	2.5	4.5	18.5	1.92				
B-2	0.9	39.0	44.2	2.6	4.8	18.2	1.93				
B-3	1.2	32.6	41.6	2.5	4.7	18.3	1.96				
C-1	0	13.6	23.6	1.6	2.4						
C-2	0.9	12.4	20.6	1.6	2.8						
C-3	0.9	11.7	20.7	1.7	2.9						

注:编号C-3的聚丙烯纤维长度为19mm,其它编号聚丙烯纤维长度均为14mm。

掺入一定量的聚丙烯纤维后能降低混凝土脆性的主要原因在于纤维的阻裂效应,实际上混凝土从无缺陷理想状态来讲,其抗压强度、抗折强度的增长幅度应该是基本一致的。之所以聚丙烯纤维混凝土抗压强度的提高幅度低于抗折强度提高幅度,主要是由于混凝土内部存在不同尺度的微裂缝,而微裂缝对抗折强度的影响远大于抗压强度。在结构形成过程中,聚丙烯纤维阻止了这些裂缝的引发,从而减少了裂缝源的数量,并使裂缝尺度变小,这就降低了裂缝尖端的应力强度因子,缓和了裂缝尖端的应力集中程度。在受力过程中,又抑制了裂缝的引发与扩展。这就使得混凝土的抗折强度得到提高,而不能提高混凝土的抗压强度,相应地混凝土脆性有所降低。

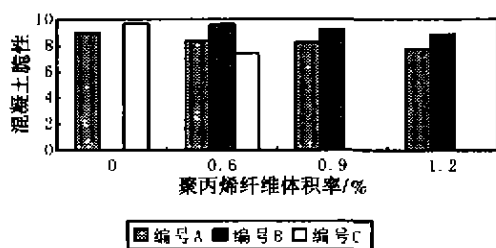


图1 聚丙烯纤维体积率对混凝土脆性的影响

2.3.2 聚丙烯纤维对混凝土变形性能的影响

试验结果表明,聚丙烯纤维混凝土的弹性模量与不掺纤维的普通混凝土的弹模相差不多,但聚丙烯纤维混凝土的极限拉伸变形则明显高于普通混凝土。这是由于聚丙烯纤维的弹模较低,而其断裂伸长率大于混凝土断裂伸长率的缘故。聚丙烯纤维所具有的这些特性,有利于提高混凝土的延性,改善混凝土变形性能,这对约束混凝土裂缝的扩展以及提高混凝土裂后所具有的承载能力都起很大的作用。

聚丙烯纤维混凝土的收缩变形试验结果表明,掺入一定量的聚丙烯纤维可以明显地减少混凝土的收缩变形。其主要原因在于聚丙烯纤维在混凝土砂浆中乱向分布形式大大有助于削弱混凝土的塑性收缩,收缩的能量被分散到每立方米数千万条具有高抗拉强度而弹性模量相对较低的纤维单丝上,从而极为有效地增加了混凝土的韧性,抑制了混凝土微细裂缝的产生和发展。同时,无数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。随着纤维掺量的增加,其收缩变形减少幅度加大(见图2)。与普通混凝土相比,掺加0.6kg/m³纤维时,收缩变形减少7%,掺加0.9kg/m³纤维时,收缩变形减少11%,掺加1.2kg/m³纤维时,收缩变形减少18%。

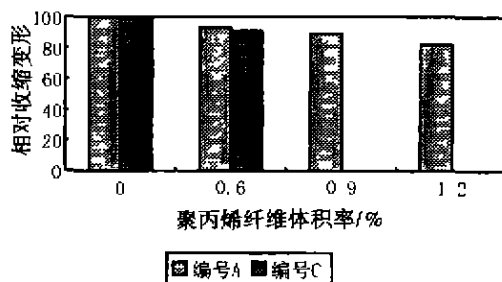


图2 聚丙烯纤维体积率对混凝土收缩变形的影响

2.3.3 聚丙烯纤维对混凝土抵抗裂缝扩展能力的影响

混凝土是一种含有许多缺陷或孔隙的多相复合材料,当承受载荷时,其内部引发许多裂缝,随着载荷的继续作用,裂缝将会扩展直至破坏。因而研究混凝土内部裂缝的扩展规律,对于全面了解其特性,就显得很有必要。线弹性断裂力学理论认为,在混凝土内部原来就存在着许多缺陷,欲提高这种材料的强度,必须尽可能减少缺陷的程度,提高韧性,降低内部裂缝端部的应力集中系数。断裂韧性是研究断裂力学时所提出的一个新的韧性指标,它是指混凝土抵抗裂纹不稳定扩展的能力。

本试验全部采用三点弯曲试件测试纤维混凝土的断裂韧性。试件尺寸为10cm×10cm×51.5cm,跨度为45cm。采用单边预制裂纹,其裂纹长与试件高度之比为0.5。由纤维混凝土断裂韧性试验结果可以看出(见图3),聚丙烯微纤维可以提高混凝土的断裂韧性,有利于混凝土抵抗裂纹的扩展。这是由于素混凝土的挠度一旦超过与之相应的极限抗弯强度时突然地破坏了,而纤维混凝土即使在挠度超过素混凝土断裂挠度时尚能继续承受相当大的荷载。检验断裂的纤维混凝土试件,发现与素混凝土不同,纤维混凝土在裂缝出现后不会立即破裂,表明破坏

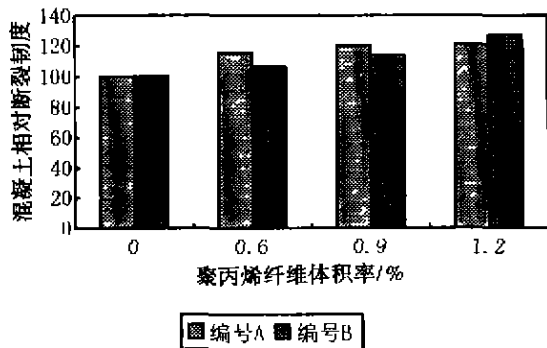


图3 聚丙烯纤维体积率对混凝土断裂韧度的影响

主要是由于纤维的被拉出或脱出粘结力,从而提高了混凝土的断裂韧性。

2.3.4 聚丙烯纤维对混凝土抗渗性能的影响

耐久性为水工混凝土的重要指标。为测试聚丙烯纤维混凝土的耐久性,进行了混凝土渗透性能试验,试验采用一次性加压法进行。混凝土渗透系数愈小,表明其耐久性能愈好。由试验结果可见(见图4),掺聚丙烯纤维可以改善混凝土的抗渗能力,随着混凝土中的纤维体积率的增加,混凝土的渗透系数愈小,随着纤维的长度增加,其渗透系数也愈小。这是由于均匀分布在混凝土中的大量纤维起了“承托”作用,降低了混凝土表面的析水与集料的离析,从而使混凝土中微孔隙含量大大降低,改善了混凝土的抗渗能力。

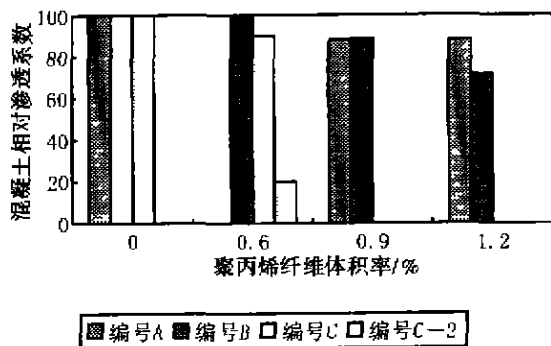


图4 聚丙烯纤维体积率对混凝土渗透系数的影响

3 机理分析

水泥混凝土成型后,由于水与水泥材料的亲润性,水分蒸发时表层材料毛细管中形成凹液面,其凹液面上表面张力的垂直分量形成了对管壁间材料的拉应力,此时材料处于塑性阶段,材料自身的塑性抗拉强度较低。若材料表层毛细管失水收缩产生的应力大于材料塑性抗拉强度,则材料表层出现开裂现象。

混凝土的塑性开裂主要发生在混凝土硬化之

前,特别是在混凝土浇筑后4~5小时之内,此阶段由于水分的蒸发和转移,混凝土内部的抗拉应变能力低于塑性收缩产生的应变,因而引起混凝土内部塑性裂缝的产生。

当在水泥混凝土中掺入聚丙烯纤维后,与未掺纤维相比,由于表层材料中存在纤维,一方面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;另一方面,低弹性模量的聚丙烯纤维相对于塑性浆体成为了高弹性模量材料,依靠纤维材料与水泥浆之间的界面吸附粘结力,机械齿合力等,增加了材料抵抗开裂的塑性抗拉强度,从而使失水收缩产生的应力小于材料塑性抗拉强度,材料表面的开裂状况得以减轻,甚至消失。

另外,由于纤维以单位体积内较大的数量均匀分布于混凝土内部,故微裂缝在发展的过程中必然遭遇纤维的阻挡,消耗了能量,难以进一步发展,从而阻断裂缝达到了抗裂的作用。同时,在混凝土收缩过程中,如果构件受到约束,将要产生收缩应力。收缩应力过大,就会使混凝土内部或表面产生裂缝,因此,减少其收缩应力是避免裂缝产生的有效途径。聚丙烯纤维的加入犹如在混凝土中掺入纤维筋,这些纤维筋抑制了混凝土抗裂的过程,提高了混凝土断裂韧性,在一定程度上提高了混凝土的抗拉强度。研究成果显示,由于水泥凝胶体和纤维的弹性模量不同,而当构件受力时,混凝土内部的各种材料具有相同应变,因此水泥凝胶体和纤维中具有不同的应力。由于水泥凝胶体的应力部分传递给纤维,而纤维的延伸率较高,因而导致在纤维和水泥胶体的交界面上产生相互约束的剪应力,即起到了加筋作用。这种剪应力在阻止纤维伸长的同时,阻止了混凝土内部微细裂缝的生成,从而提高了韧性。这些均说明聚丙烯纤维能有效地提高混凝土的抗裂性能。

另外,聚丙烯纤维阻裂和细化裂缝的作用,明显地改善了水泥石的结构,使水泥石中原生的微裂纹减少,裂缝宽度减少,这必然使水泥硬化体的抗渗性和韧性得到相当程度的提高。

4 结 语

聚丙烯纤维对水泥混凝土抵抗裂缝的开裂能力,有着明显的影响,在水泥混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维是克服混凝土开裂的有效途径。纤维在混凝土中所形成的乱向支撑体系,产生一种有效的二级加强效果,能较大幅度地提高混凝土的抗裂性能,改善水泥混凝土的抗渗性能。

(下转第104页)

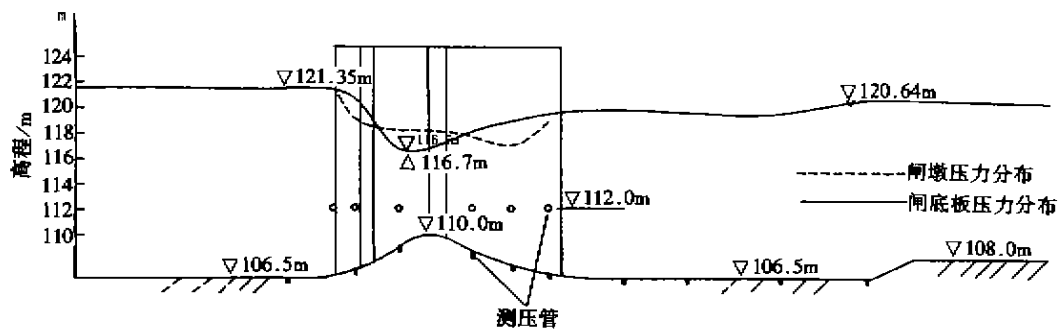


图5 庙子头水闸驼峰堰断面模型试验压力分布曲线 ($Q = 823.98 \text{ m}^3/\text{s}$)

4 结 语

(1)通过两种堰型模型试验比较分析,驼峰堰综合流量系数比宽顶堰综合流量系数大,虽然驼峰堰堰顶高程比宽顶堰堰顶高程高1.0m,由于其泄流能力较大,在相同流量级下,上游水位仍然较低,最大水位差约0.5m。

(2)由于驼峰堰堰顶高程比宽顶堰堰顶高程高1.0m,其收缩断面水深较小。驼峰堰闸室水流跌落比宽顶堰大,闸室水流波动比较剧烈。

(3)在原型流量 $4990 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上各级工况下,两

种堰型闸室内均产生水跃,水跃跃首距工作门槽均有一定距离,驼峰堰的跃首距工作门槽均稍近一些。

(4)驼峰堰堰型可使泄流能力增大,减少闸孔数目,节省开挖方量和投资,建议工程中采用驼峰堰型式。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准 水工(常规)模型实验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,1995.
- [2] 费文才,曹学德, Amir Sahib Khan, GHAZI-BAROTHA 水电工程尾部节制闸闸下出流水流特性试验研究[J]. 水力发电学报, 2000(2):43-48.

Model Test Research Selecting Sluice Profile for Two Weir Types of Miaoziou Hydroelectric Plant

FEI Wen-cai

(Wuhan University College of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan 430072, China)

Abstract: The results of flood carrying capacity curve and discharge coefficient for camel hump weir and broad crested weir have been obtained by sectional hydraulic model test of Miaoziou sluice. Larger coefficient of discharge could be obtained by designing the crest as a curved overflow type of camel hump weir. Discharge capacity is improved and gate opening number could be lessened, at the same time, excavation works and investment are saved.

Key words: hydraulic model test; camel hump weir; broad crested weir; gate dam; Miaoziou Hydroelectric Plant

(上接第100页)

参考文献:

- [1] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京:中国建工出版社, 1997.
- [2] 赵志缙. 新型混凝土及其施工工艺[M]. 北京:中国建工出版社, 1996.
- [3] 龚洛书. 混凝土实用手册[M]. 第2版. 北京:中国建工出版社, 1995.
- [4] 马一平,等. 聚丙烯纤维对水泥基材料性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2000(增刊).
- [5] 朱江. 聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用研究[J]. 混凝土, 2000(12).

Effect of Polypropylene Fibre on Concrete Cracking Resistance

LI Guang-wei

(Scientific Research Institute, CHIDI, Chengdu 610072, China)

Abstract: The experimental research is conducted for mechanic property, deformation, crack resistance and durability of polypropylene fibre concrete. The result shows that certain quantity of polypropylene fibre mixed in concrete is the efficient way to avoid concrete crack. At the same time, the anti-seepage property is improved. The influence mechanism of polypropylene fibre on concrete crack resistance is approached.

Key words: polypropylene fibre; concrete; cracking resistance; concrete property