

聚丙烯纤维在高性能混凝土中的应用研究

朱 江

(广东工业大学土木系 广州 510090)

摘 要:通过分析聚丙烯纤维使混凝土高性能化的作用,说明在混凝土中掺入适量的聚丙烯纤维能有效地改善混凝土材料的物理性能,提高混凝土材料的耐久性。介绍了聚丙烯纤维在高性能混凝土工程中的应用实例,以及这种材料在高性能混凝土中的应用发展前景。

关键词:聚丙烯纤维 聚丙烯纤维混凝土(PFRC) 高性能混凝土(HPC) 耐久性

STUDY ON THE APPLICATION OF POLYPROPYLENE FIBER IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Zhu Jiang

(Dept. of Civil Engineering, GDUT Guangzhou 510090)

Abstract: Based on the reinforcing mechanism analysis of polypropylene fiber in high performance concrete, this paper presents the improvement of physical properties and durability of concrete material by adding polypropylene fiber. The applications of polypropylene fiber in high performance concrete engineering are also introduced in this paper.

Keywords: polypropylene fiber polypropylene fiber reinforced concrete(PFRC) high performance concrete(HPC) durability

在混凝土中掺入纤维所形成的纤维增强混凝土能把普通混凝土的脆性有效地改变过来,同时提高其抗裂性和韧性。纤维混凝土中发展最为迅速的是钢纤维混凝土,但钢纤维的造价高,施工中使钢纤维均匀分布在混凝土中会遇到一定的麻烦。近几年来应用化学纤维掺于混凝土以提高混凝土的抗裂、韧性和抗疲劳等性能已引起工程界的关注,化学纤维中又以质优、价廉的聚丙烯纤维应用最为广泛。聚丙烯纤维由于能够均匀分散在混凝土中,化学性质稳定,施工简单,在国际上已得到广泛的应用,在国内的混凝土工程中也逐渐为人们接受,并已成功应用于桥梁、路面、停车场的建设和混凝土的修补、高层建筑的特大型转换大梁及地下室底板、大型混凝土防水屋面结构以及各类水泥制品和预制构件。本文主要介绍聚丙烯纤维在高性能混凝土中的作用及其工程应用以及应用发展前景。以下介绍的聚丙烯纤维主要是以美国希尔兄弟化工公司生产的混凝土专用聚丙烯纤维(杜拉纤维)为例。

1 聚丙烯纤维及聚丙烯纤维混凝土

1.1 聚丙烯纤维的物理性能

混凝土专用聚丙烯纤维的物理性能如下:

材料:聚丙烯;耐酸碱性:极高;密度:0.91;安全性:无毒材料;熔点:165℃;拉伸极限:15%;燃点:

593℃;抗拉强度:276MPa;含湿量:<0.1%;弹性模量:3 793MPa;吸水性:无;导电、导热:极低。

1.2 聚丙烯纤维混凝土的主要性能

1.2.1 物理性能

(1)抗收缩性:聚丙烯纤维有助于减少混凝土的泌水,并降低其在塑性状态下的收缩率,从而防止混凝土早期出现裂缝。掺入体积率为0.2%以内的聚丙烯纤维可使混凝土的干缩率降低65%以上。

(2)耐火性:含有体积率为0.1%以内的聚丙烯纤维的纤维混凝土,其耐火等级与普通混凝土相当。聚丙烯纤维混凝土加热至165℃时,纤维熔化,若继续升高温度则聚丙烯挥发逸出,并在混凝土中留下纤维所占的孔道。

(3)抗冻性:按混凝土抗冻试验法,经25次反复冻融,无分层与龟裂等现象发生。

1.2.2 力学性能

(1)抗拉强度:当聚丙烯纤维的体积率较低时,一旦达到砂浆或混凝土的抗拉极限强度,聚丙烯纤维混凝土即发生开裂且承载力明显下降,最终因纤维由基材中被拔出而破坏,但破坏前有较高的延伸率。

作者:朱江女 1965年6月出生 讲师

收稿日期:2000-05-18

(2)抗折强度:掺入体积率不超过0.2%的聚丙烯纤维,可使混凝土的抗折强度提高10%左右,但破坏前有很高的变形能力。

(3)抗压强度:聚丙烯纤维混凝土的抗压强度较素混凝土并无明显的增高。

(4)抗冲击强度:掺入体积率在0.2%以内的聚

丙烯纤维,可使混凝土的抗冲击强度提高50%~100%。

通过对美国、日本、韩国和中国等7家实验室的试验数据进行数值分析,建立的聚丙烯纤维混凝土(PFRC)的力学性能设计指标如表1、表2、表3所示。

表1 PFRC强度标准值和设计值

MPa

项目	符号	混凝土强度等级										
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70
轴心抗压	f_{cpk}	14	17.5	21	24.5	28	31.3	35	38.5	42	45.5	49
	f_{cps}	10.5	13	15.5	18	20.5	23	26	28.5	31	33.5	36
弯曲抗压	f_{cmfk}	17.5	22	26	30.5	35	39.5	44	48	52.5	57	61.5
	f_{cmfs}	13	16	19.5	23	26	29	32.5	36	39	42	45.5
抗拉	f_{tpk}	1.85	2.15	2.45	2.70	2.95	3.15	3.40	3.60	3.80	4.00	4.20
	f_{tps}	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80	2.95	3.10

注:表3中的数值脚标为“k”的强度值指强度标准值;脚标为“s”的强度值指强度设计值。

表2 PFRC的弹性模量 E_{cp}

10^4 MPa

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70
E_{cp}	2.45	2.70	2.90	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.50	3.55	3.60

表3 PFRC的疲劳变形模量 E_{cp}^f

10^4 MPa

纤维掺率 ρ_f	%	混凝土强度等级										
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70
0.67		1.15	1.25	1.35	1.50	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90
0.8		1.20	1.30	1.40	1.55	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95
1.0		1.25	1.35	1.50	1.60	1.70	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.10

注:用非表列的纤维掺率 ρ_f 时,可用相邻两点表列数值按直线内插法求得。

1.2.3 耐久性

英国建筑研究院曾将聚丙烯纤维混凝土试件在60℃的水中浸泡1年,未发现试件的抗弯极限强度与抗冲击强度有明显的下降。

2 高性能混凝土

高性能混凝土(HPC)的概念是1990年5月由美国国家标准与技术研究院(NIST)和美国混凝土协会(ACI)首先提出的。当时,高性能混凝土的定义^[1]为具有所要求的性能和匀质性的混凝土,这些性能包括:易于浇注、捣实而不离析;高超的、能长期保持的力学性能;早期强度高、韧性和体积稳定性好;在恶劣的使用条件下寿命长。也就是说,HPC要求高的强度、高的流动性与优异的耐久性。

但是,对高性能混凝土的要求各国不尽相同。欧美国认为,HPC的强度性能指标不应低于50~60MPa,而且有良好的施工性与耐久性;日本则更重

视混凝土的工作性和耐久性。而在我国,目前多数的专家认为:具有一定强度($\geq C30$)和高工作性及高耐久性(使用寿命 ≥ 100 年)的混凝土则可称之为高性能混凝土,其中高耐久性最为重要。

由此可见,不管是哪一种学派的观点,高耐久性均被认为是高性能混凝土的最重要特性。

3 聚丙烯纤维在混凝土中的高性能作用及应用

高性能混凝土最重要特征是其优异的耐久性,耐久性可达百年以上,甚至可以达到500年,是普通混凝土的3~5倍。混凝土的高耐久性可以减少结构的维修与翻新,节约材料与人工费,节约资源等,尤其对重要工程、纪念性建筑有重要意义。

与单一指标强度比较,耐久性是个非常复杂的问题,它涉及的内容和影响因素很多,但不管是由何种原因引起的混凝土的耐久性不合格而产生的破坏,其最终均表现为出现裂缝,因此,有效地提高混

凝土的抗裂性无疑对提高混凝土的耐久性有重要的意义,由此亦使混凝土高性能化。在混凝土内掺入聚丙烯纤维由于能有效地提高混凝土的抗裂、抗渗、抗冻性能,因而增强了混凝土的耐久性。

3.1 聚丙烯纤维在混凝土中的高性能化作用

3.1.1 提高混凝土的抗裂性能

在混凝土内掺入专用的聚丙烯纤维并经搅拌后,由于聚丙烯纤维与水泥基集料有极强的结合力,可以迅速而轻易地与混凝土材料混合,分布均匀;同时由于细微,故比表面积大,每 kg 聚丙烯纤维连起来的总长度可绕地球 10 多圈,若分布在 1m^3 的混凝土中,则可使每 cm^3 的混凝土中有近 20 条纤维丝,故纤维能在混凝土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。聚丙烯纤维的乱向分布形式可削弱混凝土的塑性收缩,收缩的能量被分散到无数的纤维丝上,从而有效地增强混凝土的韧性,减少混凝土初凝时收缩引起的裂纹和裂缝。同时,无数的纤维丝在混凝土内部形成的乱向撑托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% 的美国杜拉纤维混凝土的抗裂能力提高了近 70%。

3.1.2 提高混凝土的抗渗性能

在混凝土中掺入聚丙烯纤维,可以有效地抑制混凝土早期干缩开裂及离析裂纹的产生及发展,减少混凝土的收缩裂缝,尤其是有效地抑制了连通裂缝的产生;另外,均匀分布在混凝土中彼此相粘连的大量聚丙烯微纤维起了“承托”骨料的作用,降低了混凝土表面的析水与集料的离析,从而使混凝土中直径为 $50\sim 100\text{nm}$ 和 $>100\text{nm}$ 的孔隙的含量大大降低。Mehta 认为^[1],只有 100nm 以上的孔才对抗渗性有害,小于 50nm 的孔数量的多少可能反映出凝胶数量的多少,水化产物多,则抗渗性好。由此可见,掺入聚丙烯纤维后由于有效地降低了混凝土的孔隙率,避免了连通毛细孔的形成,因而对于普通混凝土而言,提高了混凝土的抗渗性能。试验表明,0.05% 体积掺量的杜拉纤维混凝土比普通混凝土的抗渗能力提高了 60%~70%。

3.1.3 增强混凝土的抗冻性能

在混凝土中加入聚丙烯纤维,可以缓解温度变化而引起的混凝土内部应力的作用,阻止温度裂缝的扩展;同时,混凝土抗渗能力的提高也有利于其抗冻能力的提高。实践及研究都表明,在混凝土中加入聚丙烯微纤维可作为一种有效的混凝土温差补偿抗裂手段。

3.2 工程实例

广州南方房产实业大厦工程的地下室底板及墙板混凝土均为 C40、S8 高性能混凝土,其中添加了聚丙烯纤维,底板混凝土约为 $3\ 000\text{m}^3$,分南、北两段施工。混凝土在搅拌出槽后纤维分散均匀,没有絮凝成团现象,拌合物表现出良好的保水性和粘聚性,混凝土的泵送性能优良,在整个浇筑过程中几乎未发生过一次堵塞。该工程地下室底板属大面积、大体积混凝土构件,聚丙烯纤维混凝土的使用取得了令人满意的效果,目前尚未发现一条可见的裂缝,业主对此十分满意。

另外,在重庆世界贸易中心工程中,其特大型转换大梁($1\ 500\text{mm}\times 4\ 000\text{mm}$,15 跨)的大体积 C60 混凝土面临如何防止收缩裂纹及增强韧性的严峻问题。经慎重考虑,决定采用添加聚丙烯纤维来改善高性能 C60 混凝土的方案,经严格设计,严格施工,取得了满意的效果。

除此以外,聚丙烯纤维已成功应用在许多高性能混凝土工程中并取得了良好的使用效果。

4 聚丙烯纤维在高性能混凝土中的应用发展前景

聚丙烯纤维高性能混凝土是一种新型混凝土材料,从发展需要来看,体现出它在现代建筑中具有广阔的使用前景。

4.1 发展高性能混凝土的需要

从现代建筑和可持续发展观点看,需要发展高性能混凝土,它是当前水泥基材料的主要发展方向,被称为“21 世纪混凝土”,更具有“绿色”意义。提高建筑物耐久性,延长建筑物的使用寿命是极其重要的。据报道,建筑业消耗世界资源能源近 40%,建筑物的寿命延长 1 倍,资源能源的消耗和环境污染将减轻一半。另外,由于耐久性不足而引起的结构破坏日趋严重,修复花费巨大,许多国家对混凝土的耐久性问题已非常重视,而据专家预测,21 世纪初将是我国钢筋混凝土结构的破坏高潮,届时每年所需的维修费用将高达数千亿元。而混凝土专用聚丙烯纤维由于能积极有效地改善混凝土的耐久性,使混凝土高性能化,且工作机理简单,适用性广泛,使用效果显著,在工程界已受到越来越多的关注。从确保工程质量,施工便利,兼顾成本及长短期效益等诸方面考虑,在混凝土中添加聚丙烯纤维不失为改善混凝土性能的有效途径。在北美和欧洲,经过 20 年来的大量工程实践,使用聚丙烯纤维混凝土的技术已日臻完善,聚丙烯纤维已成为改善混凝土性能

(下转第 31 页)

力盘滞后些,在将近或达到极限荷载时,下部的承载力盘和桩端的受力才得到正常发挥。所以说,为了充分发挥承载力盘的受力特点,DX 桩的承载力盘间宜按上大下小的原则设计。

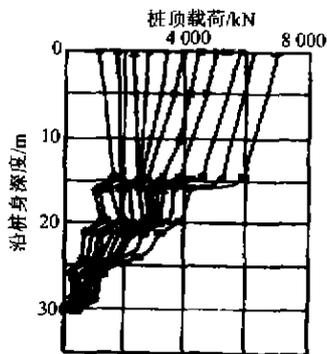


图4 试1号桩各级荷载作用下轴力传递曲线

10.7 试验结论

(1)在比较均匀的地层中,DX 桩各承载力盘端阻力的发挥具有明显时间和顺序效应。总体趋势是上盘比下盘承载力发挥得早、荷载分担得多。本试验中,当第1盘端阻力达到极限状态时,第4盘受力仅为第1盘的40.5%。因此在设计DX 桩时,应考虑地质条件及极限荷载作用下各承载力盘的受力情况,合理设置承载力盘数量和盘间距,以充分发挥桩周地基土对荷载的分担作用。

(2)与同桩长、同桩身直径的钻孔桩相比,DX 桩由于承载力盘的存在,减少摩阻力面积,因此,1号

DX 桩其实测的总桩侧摩阻力为相应的直孔灌注桩的计算总桩侧摩阻力的69%。

(3)DX 桩的破坏模式是在桩达到破坏荷载各阶段中各承载力盘自上至下先后达到极限状态而破坏,而桩体上部的承载力盘首先达到极限状态而破坏。

(4)DX 桩承载力提高在于承载力盘端阻力发挥显著,故DX 桩施工时,保证挤扩承载力盘的质量是关键。

11 结论

DX 桩是在钻、冲孔灌注桩基础上发展起来的一种变截面的新桩型,由于其多个岔和承载力盘的作用能承受较大的荷载,故能充分发挥场地桩周地基土的承载力。

与等直径桩相比,DX 桩能较大幅度提高单桩承载力,其单位体积所提供的承载力为前者的2倍以上,是一种值得推广应用的桩型。

参考文献

- 1 贺德新. DX 桩技术概论. 岩土工程界, 1999(2): 23~26
- 2 贺德新, 杨奇. DX 桩智能型挤扩装置运动机理分析. 岩土工程界, 1999(3): 16~18
- 3 魏章和, 李光茂, 贺德新. DX 桩的试验与研究. 岩土工程界, 2000(5): 12~16
- 4 沈保汉. 多节扩孔灌注桩垂直承载力的评价. 见: 第三届土力学及基础工程学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981
- 5 沈保汉. 多节挤扩灌注桩. 施工技术, 2001(1)

(上接第37页)

最为广泛使用的手段之一,而在我国,随着高性能混凝土的广泛使用,聚丙烯纤维在现代建筑中亦将具有广阔的应用前景。

4.2 改善高性能混凝土防火性能的需要

高性能混凝土由于其组成决定了它具有较高的密实度,这一特性对于提高建筑物的耐久性来说是很利,但是对于建筑物的防火来说则不利的一面。因为一旦建筑物发生火灾,致密的混凝土将使得建筑物内的水蒸气和热量无法排出,从而引起构件保护层的脱落,构件强度的降低,严重的则会引起建筑物的倒塌。而若在高性能混凝土中掺入聚丙烯纤维,由于聚丙烯纤维混凝土在耐火性方面所具

有的特性,即当温度超过了聚丙烯纤维的熔点165℃时,混凝土内的聚丙烯纤维挥发逸出,并在混凝土中留下了相当于纤维所占体积的孔道,而聚丙烯纤维由于能均匀乱向分布在混凝土中,因此所留下的孔道也是均匀分布在构件中,这对于建筑物内由于温度升高所产生的水蒸气和热量的排出都是有利的,由此亦改善了高性能混凝土的防火性能。

聚丙烯纤维能有效地改善高性能混凝土的防火性能的特性将使它在防火等级要求较高的建筑物如重要工程、纪念性建筑中有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 冯乃谦. 高性能混凝土. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996

凡愿意系统全面了解涉及最新建筑行业技术标准、标准图集颁布、修订、出版信息动态或按需收集者。请与北京建信源信息咨询有限公司联系。

电话/传真: (010) 62262117 邮编: 100035 地址: 北京市西城区西内大街马相胡同五根楼11号