

# 聚丙烯纤维与高强高性能混凝土

15  
69-51

朱 江 (广东工业大学土木系)

T6628.572  
T6628.31

**〔提 要〕** 通过分析聚丙烯纤维在**高强混凝土**中的作用以及使**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。文中还介绍了聚丙烯纤维在**高强混凝土**及**高性能混凝土工程**中的应用实例,以及这种材料在**高强、高性能混凝土**中的应用发展前景。

**〔关键词〕** 聚丙烯纤维 高强混凝土 高性能混凝土

## 1 引 言

混凝土的高强化是百多年来的努力方向,作为重要的结构材料,强度一直是混凝土的主要性能指标,高强度一直被认为是优质混凝土的特征。然而,人们在追求高强度的同时,却发现了不少混凝土建筑因材质劣化引起开裂破坏甚至倒塌,它们的破坏往往不是强度不足,而是耐久性不够。因此,混凝土耐久性的重要地位已不亚于强度和其它性能,由此也提出了混凝土高性能化的要求。

中国工程院院士吴中伟教授认为<sup>[1]</sup>,复合化是水泥基材料高性能化的主要途径,纤维增强是其核心。复合化的技术思路——超叠加效应,对材料高性能化有重要意义,可用公式 $1+2\geq 3$ 表示。本文正是基于这种思路,介绍聚丙烯纤维在**高强、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。

## 2 聚丙烯纤维及**高强、高性能混凝土**

### 2.1 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
比重: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:3793MPa
吸水性:无	导电、导热:极低

### 2.2 高强、高性能混凝土

高强、高性能混凝土的概念随时间和地域的不同而有所变化,如三十年前与现在的高强混凝土概念不同,美国与日本的高性能混凝土概念不同等。目前我国的多数专家认为:强度等级 $\geq C50$ 的混凝土称为**高强混凝土(HSC)**。而**高性能混凝土**则定义为:具有一定强度( $\geq C30$ )和高工作性及高耐久性(使用寿命 $\geq$

100年)的混凝土,其中高耐久性最为重要。

高强混凝土与高性能混凝土的关系为:高强混凝土属于高性能混凝土的范畴,但高性能不一定高强。

## 3 聚丙烯纤维在**高强混凝土**中的作用及应用

随着各类高层建筑及大跨度、大体积结构的涌现,高强混凝土的使用越来越广泛。目前已应用的高强混凝土( $\geq C50$ )有很多,其中国内应用较好的城市有上海、北京、广州、沈阳等,国外应用较好的国家有美国、法国、加拿大、日本、挪威等。

### 3.1 聚丙烯纤维在**高强混凝土**中的作用

高强混凝土是混凝土技术的一个重要发展方向,它的重要特点是耐久、强度高、变形小,能适应现代工程结构向大跨、高耸、重载方向发展和承受恶劣环境条件的需要,符合现代施工技术采用工业化生产(工厂预拌混凝土、工厂预制构件)的要求。高强混凝土的作用,大大提高了混凝土及钢筋混凝土构件的承载力,并能有效地减少构件截面的尺寸和减轻构件或建筑物自重,增加建筑使用面积或净空,并可以节省材料总用量及材料运输费,因而其应用已越来越广泛。但是,高强混凝土材料在力学性能上呈现明显的脆性,在受压时表现出较小的塑性和更大的脆性,大体积高强混凝土易产生大面积开裂;此外,高强混凝土的极限应变较普通混凝土小,易于产生劈裂现象,对抗震不利,这些不利因素都影响了高强混凝土更广泛的使用。因此,如何确保**高强混凝土**在高承载力的基础上,有效地改善其性能已成为迫切需要解决的问题,而作为一种新型的混凝土外加材料,聚丙烯纤维则能较好地解决以上问题。

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,每公斤聚丙烯微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  $\text{cm}^3$  的混凝土中有近二十条纤维丝,故能在混凝土内部构成一种均匀的乱向支撑体系。在混凝土凝结的过程中,当水泥基体收缩时,由于纤维这些微细配筋的作用而消耗了能量,可以抑制混凝土开裂的过程,有效地减少混凝土干缩时所引起的微小裂缝,提高混凝土的韧性。有关单位曾对聚丙烯纤维混凝土及普通混凝土进行常规力学测试,并作了劈裂抗拉测试试件破坏比较:在相同条件下,聚丙烯纤维混凝土强度提高并不大,但试件的破坏形式却不相同,普通混凝土为脆性破坏,完全断裂;而聚丙烯纤维混凝土仅有两条不同方向的可见短裂缝,试件仍保持完整。从以上比较可以反映出聚丙烯纤维能大大提高混凝土的抗裂能力和韧性,对克服高强混凝土的脆性有较理想的效果。

### 3.2 工程实例

广州新中国大厦是一座由广东建筑设计研究院设计的面积约  $17 \text{万 m}^2$  的综合大厦<sup>[2]</sup>,结构总层数 56 层,其中地下室 5 层,结构采用框架—剪力墙结构体系,最大柱距为 12m,最大单位柱荷重近万吨。在综合考虑了各项经济指标并为配合五层地下室的逆作法施工,在设计上,对 9 层裙房柱在地下室部分采用了  $\Phi 800$  钢管与 C70 高强混凝土组成钢管混凝土柱,对 48 层主楼柱采用了最大  $\Phi 1400$  钢管与 C80 高强混凝土组成的钢管混凝土柱。虽然这种钢管混凝土柱有许多优越性,但考虑到以上分析的高强混凝土的不利因素以及施工中采用的混凝土高位抛落法所引起的混凝土气孔率偏高的影响,最后采用了在钢管混凝土柱内的高强混凝土中加入 0.08% 的聚丙烯纤维的方法。聚丙烯纤维参加在钢管内的高强混凝土中,有效地改善了混凝土的物理性能,使混凝土的延性增强,减少了劈裂的产生,并对混凝土抗冲击及抗震能力有一定的提高,是推广高强混凝土应用的一种有效途径。

### 4 聚丙烯纤维在高性能混凝土中的作用及应用

高性能混凝土的概念是 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。以 Mehta 为代表的美加学派认为,混凝土的耐久性应当放在 HPC 的首位,其抗渗性和尺寸稳定性需满足一定的要求。

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。

### 4.1 聚丙烯纤维在混凝土中的高性能作用

#### 4.1.1 提高混凝土的抗裂性能

在混凝土中掺入聚丙烯纤维,由于其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抗裂能力提高近 70%。

#### 4.1.2 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微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 50~100 纳米和 >100 纳米的孔隙的含量大大降低。Mehta 认为<sup>[3]</sup>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,因而提高了混凝土的抗渗性能。据中国国家建筑材料测试中心按国家标准 GBJ82-85 进行的杜拉纤维混凝土抗渗试验<sup>[4]</sup>如下:混凝土的配合比为:水泥:卵石:砂 = 1:4:1.7,水灰比 = 0.4,减水剂掺量 = 0.25%,成型了三组试件并进行了试验,一组不掺聚丙烯纤维,另两组掺有不同量的聚丙烯纤维,试验结果如表 1 所示。

表 1 抗渗试验结果(水压 = 1.2MPa)

试件组	素混凝土	掺聚丙烯纤维混凝土	
		( $V_f=0.05\%$ )	( $V_f=0.1\%$ )
水渗入高度(mm)	50	15	20
相对比值	100	30	40

由此可见,聚丙烯纤维的掺入,使混凝土的抗渗性能有明显的提高。聚丙烯纤维加高效减水剂的防水方案,目前已为国内外众多防水专家所肯定,用其配制的聚丙烯纤维混凝土是较理想的混凝土刚性自防水材料

料。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%。

#### 4.1.3 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纤维可作为一种有效的混凝土温差补偿抗裂手段。

#### 4.2 工程实例

广州南方房产实业大厦工程的地下室底板及壁板混凝土均为C40S8高性能混凝土,其中添加了聚丙烯纤维,底板混凝土约为3000m<sup>3</sup>,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,拌和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(1500×4000mm,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强、高性能混凝土工程中。

#### 5 聚丙烯纤维在高强、高性能混凝土中的应用发展前景

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%,建筑物的寿命延长一倍,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最为广泛使用的手段之一。而在我国,随着高强、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。

#### 参考文献

1. 吴中伟.纤维增强——水泥基材料的未来.混凝土与水泥制品.1999,(1):5~6
2. 罗赤字,陈星.纤维高强混凝土在广州新中国大厦工程中的应用.见:程庆国.全国第七届纤维水泥与纤维混凝土学术会议论文集.北京:中国铁道出版社,1998.77~78
3. 冯乃谦.高性能混凝土.中国建筑工业出版社.1996;4,240
4. Rongxi Shen etc, Crack-arresting Effect of Polypropylene Monofilament Fibre at Small Dosage in Concrete, Proceedings of the International Conference on Fiber Reinforced Concrete, Edited by Shien Li etc. Guangzhou, 1997.27~31

收稿日期 2000-01-31

地址 广州东风东路729号(510090)

电话 020-85214649、85214950

### Polypropylene Fiber and High Strength Concrete and High Performance Concrete

Zhu Jiang

**[Abstract]** Based on the reinforcing mechanism analysis of polypropylene fiber in high strength concrete and 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 many kinds of high strength concrete and high performance concrete engineering are also introduced in this paper.

**[Key words]** polypropylene fiber, high strength concrete(HSC), high performance concrete(HPC)