

# 聚丙烯纤维在混凝土中的应用探讨

□文 / 朱惠伟

## 一、概述

纤维混凝土是近年来在国际与国内迅速发展新型复合材料,其中尤以聚丙烯纤维混凝土发展最快,它以优良的抗渗、抗冻、抗冲磨、抗冲击等性能而广泛用于公路、机场、桥梁、水工、建筑等领域。目前,美国合成纤维混凝土的使用量已占混凝土总产值的7%,我国自20世纪90年代中期开始,已有数以千计的工程采用聚丙烯纤维混凝土,并取得显著成效。

## 二、聚丙烯纤维的特性

聚丙烯是一种结构规整的结晶型聚合物,为乳白色、无味、无毒。质轻的热塑性塑料,密度为 $0.9\sim 0.91\text{g/cm}^3$ ,是现有树脂中最轻的一种,它不溶于水,耐热性能良好,在 $121\text{℃}\sim 160\text{℃}$ 连续耐热,熔点为 $165\text{℃}\sim 170\text{℃}$ ,聚丙烯几乎不吸水,与大多数化学品如酸、碱、盐不发生作用,物理机械性能良好,抗拉强度 $3.3\times 10^7\sim 4.14\times 10^7\text{Pa}$ ,抗压强度 $4.14\times 10^7\sim 5.51\times 10^7\text{Pa}$ ,伸长率200%~700%,因此聚丙烯有较好的加工性能,聚丙烯可纺、可塑、拉膜、吹膜以及真空成型等。

并不是任何未经专门处理的聚丙烯纤维都能用于制备纤维混凝土,混凝土材料用合成纤维应具有较高的耐碱性及水泥基体的分散性与粘结性能,普通的聚丙烯纤维存在着耐老化性能差、混凝土中搅拌易结成团等缺点,不能直接在工程中应用,只有经过改性处理的纤维,才能与水泥基材共同工作,早期的纤维混凝土所掺用的聚丙烯纤维大多采用聚丙烯膜裂纤维,20世纪80年代初,美国成功开发出单丝聚丙烯纤维,由于这种纤维成本低,以及改善混凝土效果显著,而广泛用在地下工程防水、工业与民用建筑屋面、地面以及公路、桥梁工程中。

## 三、对混凝土物理性能的影响

### 1、减少离析,改善和易性

普通混凝土从搅拌到硬化完成之前,经常会出现离析及泌水现象,由于聚丙烯纤维的掺入,均匀散布的纤维在混凝土中呈现三维网络结构,起到了支撑集料的作用,阻止了粗、细骨料的下沉,抑制了新拌混凝土的泌水和离析,从而改善了混凝土拌合物的和易性。

### 2、凝结时间

混凝土中加入低掺率的聚丙烯纤维,因粘聚性增大,坍落度会略有下降,与等强度不掺纤维的混凝土相比,初凝时间提前1~1.5h,终凝时间也略有提前,但是不会对混凝土的工作性能产生不利影响。

### 3、减少混凝土的收缩裂缝

混凝土的塑性收缩及干缩裂缝,主要是由于混凝土内部因为收缩而出现的拉应变超过了混凝土的极限应变值所致。众所周知,混凝土的极限拉伸率相当低,一般仅为0.01%~0.20%,而聚丙烯纤维的极限拉伸率高达15%~18%,当数千万根聚丙烯单丝纤维均匀散布于混凝土当中时,即可承受因混凝土收缩而产生的拉应变,延缓或阻止混凝土内部微裂缝及表面宏观裂缝的发生发展。根据混凝土配合比、养护条件及合成纤维的品牌及掺量,聚丙烯纤维的掺入能使混凝土的非结构裂缝减少50%~90%。

### 4、提高混凝土的耐火性

高强混凝土由于密度大,在遇火灾经受高温后,内部的水蒸汽散发不出去,巨大的蒸汽内压使混凝土构件产生爆裂。在混凝土中掺入一定量的聚丙烯纤维,高温能使聚丙烯纤维熔化,在混凝土内部形成微细孔隙,散发水蒸汽,防止构件在火灾中发生爆裂。

## 四、对混凝土力学性能的影响

### 1、提高抗压、抗折强度

研究表明,混凝土中掺加聚丙烯纤维可明显提高混凝土的抗压、抗折等性能,其掺量在达到0.1%前强度增加较明显,在达到0.1%后随掺量的增加强度提高较慢。

掺入少量低弹性模量聚丙烯纤维促进混凝土抗压、抗折强度的增长,是纤维的补强效应,而非增强效应,主要在于聚丙烯纤维的阻裂效应,减少了裂缝产生和发展的几率,混凝土得以保持较好的完整性和连续性,从而间接地促进了强度增长。

## 2、提高抗冲击性及抗疲劳性

有资料表明,掺加聚丙烯纤维有助于提高混凝土的抗疲劳性及抗冲击性,这是由于纤维的阻裂作用所致,在混凝土受冲击荷载作用时,纤维可以阻止混凝土中裂缝的扩散与发展,间接地提高了混凝土的抗疲劳性及抗冲击性。国家建筑材料测试中心试验结果表明,掺有0.05%与0.1%纤维的砂浆抗冲击强度比素砂浆分别提高17.7%与25.8%。

## 3、提高韧性

聚丙烯纤维加入水泥基体,对基材的韧性有明显增进作用,即使掺加体积率仅为0.05%的聚丙烯纤维,也可以使混凝土受弯的韧性指数有明显提高,其韧性提高的主要机制是由于纤维使混凝土在达到抗折极限强度后仍然保留着高于素混凝土的裂后强度。

## 4、弹性模量

有资料显示,低掺率的聚丙烯纤维对混凝土的静态弹性模量并无明显影响,但对混凝土受压或受拉的弹性模量有比较大的影响。科研人员根据聚丙烯纤维增强混凝土弹性模量与混凝土强度等级建立关系,并取整数后得到设计应用的聚丙烯纤维增强混凝土的弹性模量值,与新颁布的国家标准规定混凝土受压或受拉的弹性模量值对应比较,其变动范围均低于设计规范规定的许用误差5%,相关数据表明,混凝土强度等级越高,聚丙烯纤维混凝土弹性模量值与设计规范规定值之间的差异越小,说明聚丙烯纤维尤其适用于在高强度等级的混凝土工程中发挥作用。

# 五、对混凝土耐久性的影响

## 1、增加抗渗性

掺加聚丙烯纤维增加抗渗性的效果要大于强度的增加,这是因为纤维的阻裂作用不但减少了裂缝的数量,裂缝的长度和宽度,而且降低了生成贯通裂缝的可能性,同时,呈三维乱向分布的纤维也起到阻断混凝土内毛细作用效果。根据国家建筑材料测试中心测试结果,0.05%掺量的聚丙烯纤维混凝土在1.2MPa水压作用下,与同强度(28d龄期)未掺纤维混凝土

比较,抗渗性提高70%。

## 2、抗冻融性

有测试结果表明,加入聚丙烯纤维可以有效提高混凝土的抗冻能力,这主要是由于当有纤维存在时,可减少多次冻融循环而引起的混凝土内的抗拉集中应力,阻止了微裂缝的进一步扩展,另外,由于混凝土抗渗性的提高,也有利于改善其抗冻融性。

## 3、抗碳化性

混凝土碳化的关键因素是空气中的 $CO_2$ 。渗透到混凝土体内,与其碱性物质发生化学反应,要提高混凝土抗碳化性能必须提高混凝土的防裂性能,切断空气渗入渠道,聚丙烯纤维在混凝土中的作用并不直接影响混凝土的碳化速度,只是由于掺加纤维的原因,使得钢筋的保护层变得更加完善,从而间接地起到延缓混凝土碳化作用。

## 4、抗碱骨料反应性

治理碱骨料反应的关键之一是阻水、外界不供给混凝土水分,则碱骨料反应中产生的胶体停止膨胀,破坏消失,聚丙烯纤维抗碱骨料反应性,从本质上来说也是通过减少混凝土结构当中各种裂缝以提高混凝土抗渗性途径实现的。

# 六、合成纤维的掺量

综合考虑经济原因,聚丙烯纤维用于混凝土的掺量为 $0.7\sim 1.5\text{kg}/\text{m}^3$ ,用于砂浆的掺量为 $0.7\sim 0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 。根据砂、石、料、水泥用量的变化,及抗裂要求,可适当增加或减少掺量,最高掺量 $1.8\text{kg}/\text{m}^3$ ,最低掺量 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

# 七、结语

目前,我国应用聚丙烯纤维混凝土的工程有广州新中国大厦、重庆世界贸易中心、北京大运村、武汉长江二桥、三峡工程等都使用了聚丙烯纤维混凝土,并取得了理想效果。

大量的工程实践及试验研究表明,低掺率的聚丙烯纤维混凝土综合性能优于普通混凝土,可以满足某些特殊工程的需要,聚丙烯纤维在混凝土中以物理方式发挥作用,因此,它能够用以任何工程场合,尤其适用于刚性防水混凝土、大体积混凝土,高强混凝土等,施工方法简单,安全无害,质量性能可靠,具有明显的技术、经济效益。■