

聚丙烯纤维几何形态对水泥砂浆 塑性干缩开裂性能的影响*

马一平 谈慕华 吴科如

(同济大学混凝土材料研究国家重点实验室 上海 200092)

摘要: 本文采用三种不同几何形态的聚丙烯纤维,研究了在不同体积分数情况下纤维对水泥砂浆塑性干缩开裂性能的影响。结果表明,除聚丙烯纤维体积分数外,纤维直径、纤维断面几何形态对水泥砂浆塑性干缩开裂性能也有明显影响。纤维直径减小,纤维水泥砂浆抗塑性干缩开裂能力增大;断面为三叶形聚丙烯纤维抗塑性干缩开裂能力优于圆形、矩形断面聚丙烯纤维。

关键词: 聚丙烯纤维 几何形态 塑性干缩开裂 开裂总权重值

Abstract: Three kinds of different geometric (cross-section) polypropylene fibers were used to investigate their effections. The test results showed that besides the fiber volume fraction, the diameter of fiber and the cross-section shape of fiber had obvious effects on the resistance of plastic shrinkage cracking. With the decreasing of fiber diameter, the plastic shrinkage cracking resistance for cement mortar increased. Three leaves shape fiber was the best cross-section shape of all three fibers for the resistance of plastic shrinkage cracking.

Key words: Polypropylene fiber, Cross-section, Plastic shrinkage cracking, Total cracking weighted value

0 引言

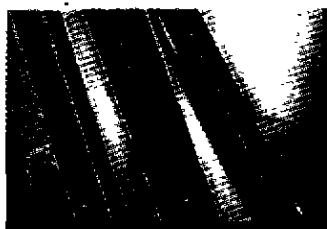
水泥砼材料是目前结构工程中广泛应用的最大宗人造建筑材料,其自身尚存在着一些缺陷,如易于塑性干缩开裂、抗拉强度低、韧性差等,从而限制了其在工程中更广泛的使用。针对水泥砼材料在硬化之前,由于塑性干燥收缩造成的开裂现象,人们进行了改善水泥砼材料抗塑性干收缩开裂性能的研究,结果表明,在水泥基材料中掺加纤维材料可在不同程度上改善水泥基材料的抗塑性干缩开裂性能^[1-4]。鉴于聚丙烯纤维在合成纤维中具有密度小、湿强度高、延伸率大、耐碱性好、价格低等特点,以及目前尚未见有聚丙烯纤维几何形态对水泥基材料塑性干缩开裂性能

影响的资料报道,为此笔者研究了三种不同几何形态的聚丙烯纤维对水泥砂浆抗塑性干缩开裂性能的影响,并对不同几何形态纤维对抗塑性干缩开裂作用机理进行了分析探讨。

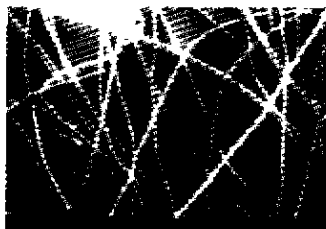
1 实验

1.1 实验原材料

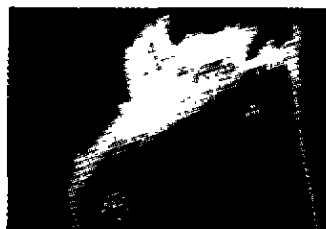
水泥采用452#普通硅酸盐水泥,砂为中砂,聚丙烯纤维采用东华大学提供的矩形断面聚丙烯膜裂纤维(以下简称膜裂纤维)、圆形断面聚丙烯拉丝纤维(以下简称拉丝纤维)和三叶形断面聚丙烯拉丝纤维(以下简称三叶形纤维)。三种聚丙烯纤维的外观形貌示于图1。由图1可见,膜裂纤维为矩形断面,其基本膜裂单元



膜裂纤维



拉丝纤维



三叶形纤维

图1 三种聚丙烯纤维的外观形貌

断面尺寸约为 $320\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$,其等效直径约为 $111\mu\text{m}$;拉丝纤维断面为圆形,直径约为 $43\mu\text{m}$;三叶纤维断面为Y形,其等效直径约为 $85\mu\text{m}$ 。三种聚丙烯纤维长度均为15mm左右。表1为三种聚丙烯纤维的物

*上海市教育委员会重点学科研究项目

理力学性能。

1.2 塑性干缩开裂实验方法

塑性开裂实验采用 $914\text{mm} \times 610\text{mm} \times 19\text{mm}$ 的木模,用砂浆搅拌机按水泥:砂:水=1:1.5:0.5(质量比)的配比搅拌约3min,拌和料浇注后自动流满整个模具,

表1 聚丙烯纤维的物理力学性能

密度 (g/cm ³)	抗拉强度(MPa)		延伸率 (%)	弹性模量 (GPa)	熔点 (℃)
	干	湿			
0.9	400	400	8	8	165

刮平试件表面后打开位于试模长边的风速约为5m/s的电风扇,并开启位于试模上方约1.5m处的1000W碘钨灯进行塑性干缩实验,详情参见文献[4]。光照4h后关灯,风吹24h后关闭电风扇。采用自制3mm,2mm和1mm塞尺测量裂缝宽度,按裂缝宽度分段测量裂缝长度 l_i ,以文献[4]列出的裂缝宽度权值 A_i ,按下式计算塑性干缩开裂总权重值 W :

$$W = \sum A_i \cdot l_i \quad (1)$$

W 反映了塑性干缩开裂裂缝的总长度,以cm计。

2 实验结果及讨论

三种聚丙烯纤维对水泥砂浆塑性干缩开裂性能影响实验结果列于表2。图2所示为不同纤维品种、不同纤维体积分数下纤维砂浆塑性干缩裂缝长度按裂缝宽度

表2 三种聚丙烯纤维对水泥砂浆塑性干缩开裂性能影响实验结果

纤维品种	干缩开裂总权重值(cm)/相对干缩开裂总权重值(%)			
	$V_f = 0\%$	$V_f = 0.05\%$	$V_f = 0.10\%$	$V_f = 0.15\%$
膜裂纤维	241.4/100	153.1/63.4	122.1/50.6	89.9/37.2
拉丝纤维	241.4/100	114.7/47.5	0/0	0/0
三叶形纤维	341.9/100	189.2/55.3	120.4/35.2	42.1/12.4

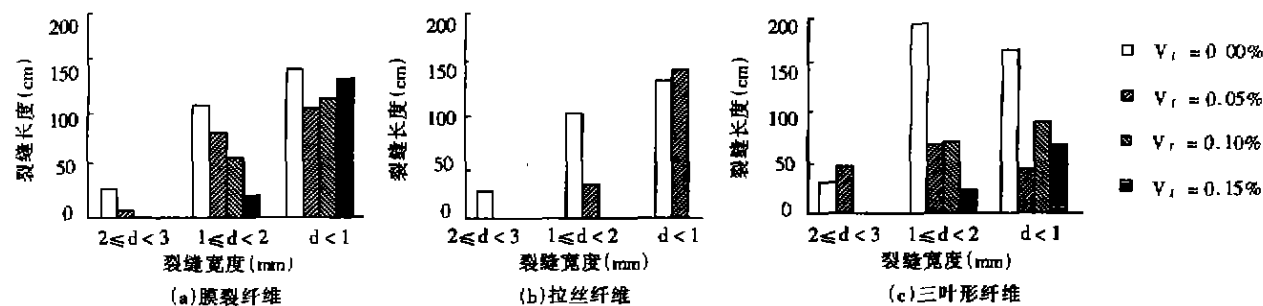


图2 三种聚丙烯纤维砂浆塑性干缩裂缝长度按裂缝宽度分布情况

度分布的情况。

由表2可见,在水泥砂浆中掺加三种聚丙烯纤维均可减少砂浆的塑性干缩裂缝,随着纤维体积掺量的增加,不论何种纤维,其对塑性干缩开裂的减少作用均随之增加。但三种聚丙烯纤维减少塑性干缩裂缝的作用存在较大差别,在相同纤维体积掺量情况下,三种纤维减少塑性纤维裂缝作用大小的排序均为膜裂纤维 < 三叶形纤维 < 拉丝纤维。在本实验条件下,当拉丝纤维体积掺量 $\geq 0.10\%$ 时,可使砂浆塑性干缩裂缝完全消除。上述实验结果说明,在相同纤维体积掺量情况下,虽然同样是聚丙烯纤维,由于纤维几何形态方面的差异,其对砂浆塑性干缩开裂的作用存在着明显差异。

另由图2可见,在水泥砂浆中掺加三种聚丙烯纤维对不同宽度裂缝的减少作用亦存在着较大差异。总的来说,较之未掺纤维试件,随着三种纤维体积掺量的增大,2~3mm粗大裂缝长度随之减少(仅三叶形纤维在 $V_f = 0.05\%$ 时略有增加),1~2mm中等裂缝的长度也随着纤维体积掺量的增大而减少,而1mm以下的细小裂缝虽变化规律不明确,但总体上较之未掺纤维试件呈减少趋势(仅拉丝纤维在 $V_f = 0.05\%$ 时略有增加),其中三叶形纤维和拉丝纤维的减少作用较膜裂

纤维明显,尤其是拉丝纤维,当 $V_f \geq 0.10\%$ 时,可使所有尺寸的裂缝全部消失。图2的实验结果同样说明,由于纤维几何形态上的差异,在同样纤维体积掺量下,聚丙烯纤维对裂缝宽度分布的影响有明显差异。

出现上述结果的原因,笔者认为与纤维阻止塑性干缩开裂的作用机理有关。笔者曾分析指出^[4],若假设聚丙烯纤维对塑性干缩裂缝的阻裂作用原理与高弹模纤维对水泥基硬化体在应力作用下开裂的阻裂作用原理相仿,则可用水泥硬化体的纤维间距理论来说明纤维阻止塑性干缩开裂的实验结果。在纤维间距理论中,纤维间距 S 与纤维直径 d 和纤维体积分数 V_f 之间存在以下关系:

$$S = 13.8dV_f^{-1/2} \quad (2)$$

若纤维直径细小,纤维体积分数足够,则可使纤维间距小于临界纤维间距,从而使水泥基材料免于开裂。利用纤维间距理论原理,可说明上述实验结果。在本研究中,由于三种纤维的直径(或等效直径)依次为, $d_{\text{膜裂纤维}} = 111 \mu\text{m}$, $d_{\text{三叶形纤维}} = 85 \mu\text{m}$, $d_{\text{拉丝纤维}} = 43 \mu\text{m}$,由此可推知,在相同纤维体积分数情况下有 $S_{\text{膜裂纤维}} > S_{\text{三叶形纤维}} > S_{\text{拉丝纤维}}$,故将出现三种纤维的抗塑性干缩开裂效果依上述序列递增的结果;同样也易推知,同一纤维的抗塑性干缩开裂效果随其纤维体积分数增加而增

加的结果。进一步,对于拉丝纤维来说,当 $V_f \geq 0.10\%$ 时,此时的纤维间距可能已小于本实验条件下的塑性干缩开裂临界纤维间距,故会使水泥砂浆免于开裂。至于纤维断面形状对塑性干缩开裂的作用效果,限于实验条件未能深入展开,在此由表2实验结果做初步分析。若以塑性干缩开裂总权重值减少50%为考察标准,由表2可见,对膜裂纤维约需掺加0.10%体积分数的纤维,对于三叶形纤维和拉丝纤维则均需掺加0.05%体积分数的纤维。考虑到 $d_{\text{膜裂纤维}} \approx 3 \cdot d_{\text{三叶形纤维}}$, $d_{\text{拉丝纤维}} \approx d_{\text{三叶形纤维}}$,以式(2)原理推测,当不计纤维断面因素时,若要达到一样的纤维间距,膜裂纤维似应掺加约0.45%体积分数的纤维,三叶形纤维似应掺加约0.20%体积分数的纤维,而两种纤维实际掺加量均远小于以上推测值。这说明纤维断面形状对纤维抗塑性干缩开裂能力有很大作用,对于抗塑性干缩开裂,矩形断面和三叶形断面均较圆形断面有利。众所周知,等面积图形中以圆的周长为最小,矩形较大,三角形最大,而纤维周长的增大有利于纤维与水泥基体的界面粘结力,从而有利于纤维发挥其阻裂作用,故由此可知,三叶形纤维在三种纤维中为最有利的纤维断面形状,这也可由以上数据进一步分析而得出。由于膜

裂纤维和三叶形纤维的等效直径比约为1.3,但膜裂纤维不是在约0.08%体积分数的($1.3^2 \times 0.05\%$)而是在0.10%体积分数的才达到与三叶形纤维同样的抗塑性干缩开裂效果,这初步说明,三叶形纤维的抗塑性干缩开裂作用效果较矩形断面的膜裂纤维为佳。以上仅是初步分析,尚有待深入研究,积累实验数据进一步验证。

3 结论

3.1 随着纤维直径的减小,聚丙烯纤维的抗塑性干缩开裂能力随之提高。

3.2 在纤维断面形状对纤维抗塑性干缩开裂能力的影响中,三叶形较之圆形和矩形为佳。

参考文献

- [1] Parviz Soroushian, Faiz Muza, and Abdulrahman alhozayni, Plastic Shrinkage Cracking of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, ACI MATERIALS JOURNAL, September - October 1995, Vol. 92, No. 5, pp.553 - 560
- [2] Miroslaw Grzybowski and Surendra P. Shah, Shrinkage Cracking of Fibre Reinforced Concrete, ACI MATERIALS JOURNAL, March - April 1990, Vol. 87 No. 2, pp.138 - 148
- [3] 戴建国、黄承志,网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究,混凝土与水泥制品,1999年第4期
- [4] 马一平、谈群华,聚丙烯纤维对水泥基复合材料物理力学性能影响研究(Ⅰ)-抗塑性干缩开裂性能,建筑材料学报,2000,3

金路技术品牌 点渣成金之路

● 废渣釉面彩色中小波瓦 所用废渣为粉煤灰、炉渣、矿渣等,在掺入的釉质剂作用下,瓦面自动形成高光泽釉质,虽下烧制但却有陶瓷质感,亮丽夺目,光彩照人,十分漂亮,且风吹雨淋不退色不退光。其抗渗性远优于石棉波瓦,雨中数天不透湿;它抗冲击,从屋顶落下摔不碎,可钉钻。本所研制的全自动生产线30秒产瓦一张,适合中小企业接产。转让专利配方、工艺,提供设备,上门安装调试直至产品合格,有接产厂备案。

● 路面砖新型高效光亮剂 目前各路面砖厂所需光亮剂皆需外购,价高且运输不便,有些效果不好。本所研制的新型光亮剂,路面砖厂可自制(在缸中混合反应即可),除自产自用外,还可外销(吨利1500元以上)。它成本低但效果极好,所制砖比抛光大理石还亮,且象水磨石越磨越亮,色彩特别鲜艳,抗日晒雨淋,保色优异,面层水泥节50%。配套提供废渣路面砖配方及工艺。使用本技术,路面砖成本每 m^2 降3~4元,制砖特漂亮。

● 轻质釉面外墙砖光亮剂 本光亮剂可自行配制,不需机电。用其所制外墙砖十分像陶瓷釉面但色彩更漂亮,成本只有瓷砖一半,且质轻、保温隔热,建筑冬暖夏凉,是国家重点推广的节能建材。配套提供废渣轻质外墙砖配方及工艺,手工注浆制砖。

● 屋面反辐射保温隔热砖 本砖具有极强的反光性,可反射50~70%的太阳热辐射,其底层为废渣保温隔热层,又可将剩余的辐射热阻挡,夏季确保室内凉爽,冬季又可保温。适用于新旧平面屋顶的铺用,配合防水砂浆铺底勾缝,又具有良好的防水作用,多功能一体,其厚度可调。塑模注浆手工生产,人均日产30 m^2 。传授专用光亮剂配方(可自行配制)、废渣屋面砖配方及工艺、防水砂浆技术等。

● 废渣高光泽彩色构件 利用本技术生产的装饰小构件脱模即光亮照人,色彩丰富,不须外处理即美侖美奂。可加工各中西式风格产品:路沿石、贴墙毛茬石、护栏座、栏杆栏板、台阶板、花坛沿石、窗台板、窗套门套、庭柱廊柱亭柱、檐板檐线、弧形材、石桌凳、踢脚板等上百种产品,并可仿大理石及花岗岩。光亮剂可自配,制品成本低。

开封市金路工业废渣研究所

地址:开封市经济技术开发区(475004)

电话:(0378)3873728 3875510(兼传真)