

添加聚丙烯纤维再生混凝土的力学性能研究

王奂义

(沈阳建大工程检测咨询有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要:近年来, 建筑行业发展迅猛, 人们对建筑物的要求日益增长, 各地建筑物的拆除、重建工作增多。旧有建筑的使用要求和承载能力达不到规范要求, 或灾害造成建筑物损毁, 产生大量废弃混凝土。有数据指出每年产生的建筑垃圾占整个城市垃圾总量的30%~40%, 将建筑垃圾直接堆砌在土体表面会对环境和资源造成很大压力, 如何更高效地利用废旧混凝土引起各界的关注, 再生混凝土的使用对促进环境生态平衡和资源可持续利用具有显著作用, 国内外许多学者对此进行了大量研究。

关键词:聚丙烯纤维; 再生混凝土; 力学性能

中图分类号: TU528.572 **文献标志码:** A



近年来, 社会经济得到显著发展, 科学技术飞速发展, 人口数量急剧增加, 城市化进程越来越快, 因此, 建筑行业的发展突飞猛进^[1]。但是一直以来, 建筑行业的生产方式过于粗放, 无论是建筑原料的开采还是建筑物的拆除, 都对生态环境产生较大的破坏。可以说, 传统建筑行业的蓬勃发展以牺牲资源、能源和环境为代价。相关资料显示, 建筑垃圾已经占城市垃圾的30%~40%, 建筑垃圾的堆放, 不仅浪费大量土地资源, 而且造成严重的环境污染。建筑垃圾主要指建筑物在新建、改建、扩建以及拆除过程中产生的固体废弃物, 主要包括废弃黏土砖、废弃混凝土、渣土、砂浆以及少量钢材、木材、玻璃^[2]。同时, 根据相关数据统计可知, 旧建筑物被拆除产生的建筑垃圾量超过建筑施工过程中产生的建筑垃圾量。大量建筑垃圾并没有得到妥善安置, 部分建筑垃圾被运送到偏远的郊区或者空旷区域堆放或者填埋, 这样的做法浪费

有限的土地资源。显然, 建筑垃圾的堆放和填埋不符合环保理念, 不利于资源的可持续发展。

1 试验

1.1 材料属性

(1) 水泥: P·O 42.5水泥, 3 d、28 d抗压强度分别为24.3 MPa、52.2 MPa, 初、终凝时间分别为140 min、210 min。

(2) 细骨料: 细度模数为2.6~2.9的洁净河砂, 过4.75 mm筛。粗骨料: 天然粗骨料和再生粗骨料, 均为5~10 mm细级配砾石类粗骨料。

(3) 聚丙烯纤维: 石家庄瑞信纤维素有限公司产网状单丝聚丙烯纤维, 基本物理特性如表1所示。

(4) 减水剂: 由于再生骨料吸水率较高, 为提高聚丙烯纤维再生混凝土的施工效率和使用性能, 试验采用FDN-1型高效早强减水粉剂, 减水率为15%~25%, 固体含量 $\geq 90\%$ 。

表1 聚丙烯纤维的基本物理特性

| 当量直径 (μm) | 抗拉强度 (MPa) | 拉伸极限 (%) | 密度 (g/cm^3) | 弹性模量 (MPa) |
|------------------------|------------|----------|-------------------------------|------------|
| 18~48 | >458 | >150 | 0.91 | >3500 |

1.2 试验配比

混凝土配合比按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)和《再生混凝土结构技术标准》(JGJ/T 443—2018)进行设计。聚丙烯纤维再生混凝土中, 再生粗骨料的替代率为50%, 高效减水剂掺量为胶凝材料质量的1%, 拌和水用量包括自由水和吸

水, 聚丙烯纤维体积掺量为0%~0.3%。混凝土的配合比如表2所示。

表2 混凝土的配合比

| 编号 | 聚丙烯纤维掺量 (%) | 水泥 (kg) | 砂 (kg) | 天然粗骨料 (kg) | 再生粗骨料 (kg) | 自由水 (kg) | 附加水 (kg) | 减水剂 (kg) |
|---------|-------------|---------|--------|------------|------------|----------|----------|----------|
| C35 | 0 | 360 | 596 | 1264 | 0 | 180 | 0 | 3.6 |
| RC35-00 | 0 | 360 | 596 | 632 | 632 | 180 | 13.5 | 3.6 |
| RC35-01 | 0.1 | 360 | 596 | 632 | 632 | 180 | 13.5 | 3.6 |
| RC35-02 | 0.2 | 360 | 596 | 632 | 632 | 180 | 13.5 | 3.6 |
| RC35-03 | 0.3 | 360 | 596 | 632 | 632 | 180 | 13.5 | 3.6 |

2 标准试件的抗折强度

根据《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019), 以及混凝土试件的抗折强度试验获得试件个体破坏荷载。当抗折强度的最大值和最小值与平均值之差不超过平均值的15%时, 以3个试件试验数值的算术平均值为每个试件组抗折强度的代表值。当超过平均值的15%时, 则以3个试件中的中间值为该试件组抗折强度的代表值, 按此方法计算代表抗折强度为试验结果数据。随着外掺短聚丙烯纤维长度的增加, 纤维混凝土的抗折强度有可能高于相同水泥用量的无纤维混凝土(简称“基准混凝土”)。水泥用量为 215 kg/m^3 时, 添加4 mm长度纤维的混凝土, 其抗折强度比基准混凝土低14%, 添加6 mm纤维混凝土的抗折强度比基准混凝土高3%; 添加9 mm纤维混凝土抗折强度比基准混凝土低4%。这时无论添加4 mm还是9 mm的短聚丙烯纤维, 混凝土的抗折强度都会降低, 但添加长度为6 mm的纤维则不会出现这种情况。当水泥用量为 260 kg/m^3 时, 短聚丙烯纤维混凝土的抗折强度出现与上方不同的情况。这时纤维长度分别为4 mm、6 mm、9 mm的聚丙烯纤维混凝土, 其抗折强度分别比基准混凝土的抗折强度高3%、2%、2%。这说明, 短聚丙烯纤维的添加不会降低水泥用量为 260 kg/m^3 混凝土的抗折强度。当水泥用量达到 350 kg/m^3 时, 短聚丙烯纤维混凝土的抗折强度变化规律出现与第一种情况相近的情形。这时, 纤维长度为4 mm、9 mm的聚丙烯纤维混凝土, 其抗折强度分别比基准混凝土的低6%、2%。但6 mm长度的聚丙烯纤维混凝土抗折强度比基准混凝土高8%。这说明, 长度为6 mm以上的聚丙烯纤维基本不会降低水泥用量为 350 kg/m^3 混凝土的抗折强度, 其中6 mm长度的聚丙烯纤维甚至能提高该等级混凝土的抗折强度^[3-4]。

3 结果

3.1 抗压力学性能

由于再生骨料在建筑垃圾剥离过程中会受不同程度的损伤, 存在很多微小裂缝, 表面包裹的水泥砂浆使其吸水率加大, 强度较普通混凝土降低15%左右, 将剥离出的再生粗骨料采取机械研磨、预浸泡等处理方式后投入使用, 混凝土力学性能得到明显提高, 同时添加纤维、粉煤灰、硅灰等外加剂, 可在一定程度上改善其力学性能, 满足实际工程需要。分别配制C20、C25、C30三个强度等级的再生混凝土, 将当地建筑垃圾处理后利用人工筛分后得到粗骨料, 并以再生粗骨料替代率为30%, 掺加相同体积、长度的纤维, 制作立方体标准试件养护28 d后, 进行立方体抗压试验, 在加载过程初期, 聚丙烯纤维可有效抑制细小裂缝扩展, 后续力的持续加大致使试块出现裂缝, 但裂缝处仍能看到纤维, 结果表明粗骨料替代率为30%的聚丙烯纤维再生混凝土与普通混凝土力学性能大致相同, 同时因为掺加纤维, 再生混凝土的强度甚至略有提高。由于聚丙烯纤维直径细、纤维之间间距较小, 可有效抑制混凝土开裂, 立方体试块破坏多发生在骨料和胶凝材料之间, 随着力的持续加载, 试块表面出现些许细小裂缝, 出现破坏时试块仍可维持较好的整体性, 合适的水胶比可以很好地保证再生混凝土的抗压强度。棱柱体试块破坏时试块表面多出现X形的裂缝, 并无大面积碎块脱落, 两者之间可借助公式进行换算, 从而更好地对再生混凝土抗压强度进行预测。当纤维掺量从 0.6 kg/m^3 增加到 0.9 kg/m^3 时, 再生混凝土试块抗压强度增幅明显, 约提高15%。当掺量增加到 1.2 kg/m^3 时, 试块抗压强度增幅并不明显。由此可知, 当聚丙烯纤维掺量为 0.9 kg/m^3 时, 结构内部连接更为紧密, 抗压强度有一定程度的提高。聚丙烯纤维可有

效缓解再生混凝土裂缝的扩大, 但因其弹性模量较低会对混凝土性能造成不良影响, 因此在实际工程中应将聚丙烯纤维掺量控制在 $0.6\sim 0.9\text{ kg/m}^3$, 效果最为经济高效^[5]。

3.2 聚丙烯纤维再生混凝土的劈裂抗拉强度

劈裂试验的主要目的是探究聚丙烯纤维的直径、长度以及质量分数对再生混凝土劈裂抗拉强度的影响, 得到聚丙烯纤维直径、长度和质量分数的最优化配合比。测试仪器为WAW-1000D型微机控制电液伺服万能试验机, 采用力控制方式, 竖向加载速度为 0.05 MPa/s , 混凝土试样出现破坏后, 试验机会自动停止。同时在试验中测试对应龄期再生混凝土的密度。龄期7 d时再生混凝土的平均密度为 1.891 g/cm^3 , 龄期28 d时再生混凝土的平均密度为 1.859 g/cm^3 , 可见7 d龄期的平均密度仍然略大于28 d龄期的。同一试样在龄期28 d时的劈裂抗拉强度整体上大于龄期7 d, 个别试样出现相反情况。龄期7 d时劈裂抗拉强度最大值为 0.78 MPa , 可知在龄期7 d时最优组合为聚丙烯纤维直径 0.4 mm 、长度 10 mm 、质量分数 0.8% 。龄期28 d时劈裂抗拉强度最大值为 0.84 MPa , 可知在龄期28 d时最优组合为聚丙烯纤维直径 0.8 mm 、长度 20 mm 、质量分数 0.8% 。针对龄期为7 d的再生混凝土, 质量分数对劈裂抗拉强度的影响程度最大, 直径次之, 长度最小, 此时聚丙烯纤维直径 0.4 mm 、长度 20 mm 以及质量分数 0.8% 为最优水平。针对龄期为28 d的再生混凝土, 长度的影响程度最大, 直径和质量分数的影响次之, 此时聚丙烯纤维直径 0.4 mm 、长度 20 mm 以及质量分数 0.4% 为最优水平。

3.3 连续孔隙率与透水系数

(1) 相较未掺纤维的RPC, 掺入直径 $31\text{ }\mu\text{m}$ 聚丙烯细纤维后PRPC的连续孔隙率与透水系数呈明显增大, 然后减小再增大的变化趋势。但总体而言, 除长径比为400时的透水系数外, 再生透水混凝土连续孔隙率及透水系数均较未掺纤维的透水混凝土大, 这表明聚丙烯细纤维的掺入有助于提高再生透水混凝土的透水性能。(2) 相较未掺纤维的RPC, 掺入直径 $450\text{ }\mu\text{m}$ 聚丙烯粗纤维后PRPC的连续孔隙率与透水系数呈现先持续减小, 后增大的变化趋势。总

体而言, 掺加纤维后试样两个透水性能指标值均小于未掺纤维的再生透水混凝土。这与抗压强度及劈裂抗拉强度存在相反的变化规律, 表明聚丙烯粗纤维长径比对强度与透水系数的改善无法同时兼顾。可能是聚丙烯粗纤维在对再生透水混凝土进行加筋增强作用的同时, 较粗的纤维构造阻挡部分透水孔隙, 导致透水性能指标降低, 同时强度改善效果最佳(长径比为100)时, 透水性能最低^[6]。

4 结束语

在再生混凝土中加入聚丙烯纤维, 可以改善再生混凝土的静态力学性能。加载后的混凝土试件整体性较好, 棱角处仅有轻微剥落, 表明聚丙烯纤维可以提高再生混凝土的抗压强度。借助静态压缩试验得出再生混凝土中聚丙烯纤维的最佳掺量为 0.2% 。聚丙烯纤维可以改善再生混凝土材料的动态力学性能。受荷载冲击后, 混凝土试件由压碎破坏转变为芯部保留破坏或大颗粒破坏, 混凝土的动态抗压强度和韧性得到显著提高。根据动态压缩试验得出再生混凝土中聚丙烯纤维的最佳掺量为 $0.1\%\sim 0.2\%$ 。

参考文献

- [1] 王坤.聚丙烯纤维对再生混凝土力学及收缩性能影响研究[J].福建交通科技, 2020(6): 38-41.
- [2] 陆虢, 杨健, 苏昊林, 等.聚丙烯纤维增强再生骨料混凝土性能研究[J].混凝土, 2020(11): 67-71, 74.
- [3] 姚艳芳.聚丙烯纤维对再生混凝土力学性能和干缩率的影响[J].功能材料, 2020, 51(7): 7136-7140, 7147.
- [4] 方金苗, 涂劲松, 李文丽.掺聚丙烯纤维和矿渣的再生混凝土性能研究[J].成都大学学报(自然科学版), 2019, 38(2): 218-222.
- [5] 任莉莉.纤维再生混凝土基本力学性能研究[J].混凝土与水泥制品, 2019(4): 49-54.
- [6] 李坤.纤维增强再生骨料混凝土基本力学性能试验与分析[J].混凝土与水泥制品, 2019(2): 60-62.