

高性能再生透水纤维混凝土的性能研究

吴 旭 张爱国

(南通理工学院,南通 226002)

摘 要 为设计构造高性能再生透水混凝土,在混凝土中以一定的掺入量(2%、4%、6%、8%和 10%)分别掺入玄武岩纤维、棉纤维、碳纤维和聚丙烯纤维,通过测试新型透水混凝土的坍落度、密度、渗水系数和抗压强度来确定最佳纤维掺入量。结果表明:纤维的掺入能够使得混凝土的坍落度下降;棉纤维、碳纤维和聚丙烯纤维对混凝土密度有着明显改善,而玄武岩纤维效果最差;纤维的掺入能够提高透水混凝土的渗水系数;各种纤维在一定的掺量下能够提高混凝土的抗压强度,但当超过一定量时,混凝土的抗压强度则逐渐下降。研究表明,在 4 种纤维中,棉纤维能够使得混凝土具有较高的抗压强度,因此建议在透水混凝土中掺入 6% 的棉纤维为最佳。

关键词 透水混凝土,玄武岩纤维,棉纤维,碳纤维,聚丙烯纤维

Experimental study on high performance recycled pervious fiber concrete

Wu Xu Zhang Aiguo

(Nantong Institute of Technology, Nantong 226002)

Abstract To design the construction of high performance recycled permeable concrete, basalt fiber, cotton fiber, carbon fiber and polypropylene fiber are respectively mixed into concrete with a certain amount (2%, 4%, 6%, 8% and 10%), determine the optimum fiber content by testing the slump, density, permeability coefficient and compressive strength of the new permeable concrete. The results show that: the incorporation of fiber can reduce the slump of concrete; cotton fiber, carbon fiber and polypropylene fiber significantly improve the density of concrete, while basalt fiber is the worst; the incorporation of fiber can improve the permeability coefficient of pervious concrete; all kinds of fibers can improve the compressive strength of concrete at a certain amount, but when the amount exceeds a certain amount, the compressive strength of concrete gradually decreases. The researches show that among the four kinds of fibers, cotton fiber can make the concrete have high compressive strength, so it is suggested that 6% cotton fiber is the best.

Key words permeable concrete, basalt fiber, cotton fiber, carbon fiber, polypropylene fiber

随着海绵城市概念的提出,透水混凝土以其良好的透水性能成为解决城市排水的关键材料之一。姜骞等^[1]使用减水剂和增稠剂配制了不同新拌状态的透水混凝土,考察了透水混凝土浆体新拌性能与其硬化性能之间的相关性。陈守开等^[2]以废弃预制混凝土梁构件为再生骨料来源,通过破碎、筛分获得再生粗骨料,配制再生骨料透水混凝土。张茂林等^[3]以聚丙烯纤维及橡胶颗粒掺量为影响因素,通过测定透水混凝土的 28d 抗压强度等性能指标,获取聚丙烯纤维及橡胶颗粒掺量与透水混凝土力学性能的关系。吴淑伟等^[4]采用正交试验,分别考察了

废玻璃碎屑掺量对透水混凝土强度和透水性的影响。杨波等^[5]配制了低品质活性矿物掺合料透水混凝土和聚丙烯仿钢纤维(PPTF)透水混凝土。吴梦柯等^[6]分析了透水混凝土对径流中各种污染物的去除机理。李子成等^[7]研究了矿物活性超细粉对透水混凝土的界面效应。董建忠^[8]通过实验研究水灰比等因素对透水混凝土抗压强度等性能的影响。光鉴森等^[9]研究了减水剂和 PRC 型增强剂对透水混凝土拌合物坍落度损失的影响规律。张志权等^[10]通过实验得出在天然骨料中掺加适量再生黏土砖骨料配制透水混凝土是可行的,其透水性基本保持不变。

基金项目:国家自然科学基金(51703416);江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师项目(苏教师[2017]15 号);南通市建筑结构重点实验室资助(CP12015005)

作者简介:吴旭(1982-),男,博士,副教授,主要研究方向为结构工程、混凝土材料等。

刘肖凡等^[11]得出随着纤维掺量的增加,透水混凝土的抗冻融性能和抗硫酸盐干湿循环性能均有提升。王金龙等^[12]采用单粒径再生砖粗骨料、水泥、水和适量聚丙烯仿钢纤维(PPTF)制备新型透水混凝土。张国强等^[13]通过实验数据的回归分析,分别建立了透水系数与抗压强度、抗折强度的关系式。

上述研究者通过不同的掺合料得出了透水混凝土的最佳配合比及耐久性能。但透水混凝土的密度、坍落度、渗水系数和抗压强度是其关键指标。并且纤维类材料的柔软性、耐久性、透气性、纯净性等优点可使得混凝土性能有很大提高,因此本研究在透水混凝土中掺入不同的纤维并调节其含量,通过实验分析最佳掺量种类和含量。

1 实验部分

1.1 原料

透水混凝土,济南路艺新材料科技有限公司,其化学成分含量由厂家提供,如表 1 所示;玄武岩纤维,江苏兴源矿业有限公司;棉纤维,潍坊纤维棉制品有限公司;碳纤维,广州固特嘉建筑工程有限公司;聚丙烯纤维,常州筑威建筑材料有限公司。

表 1 混凝土成分(质量分数)

成分	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃
含量/%	26.18	51.34	5.94	3.31	3.94	9.29

1.2 实验方法

为研发高性能再生透水混凝土,通过掺入不同的纤维以改善其坍落度、密度、渗水系数和抗压强度。在透水混凝土中掺入纤维,考察含量(2%、4%、6%、8%和 10%,wt,质量分数,下同)对透水混凝土性能的影响。

1.3 测试

采用坍落度测定仪(苏州华瑞科技仪器有限公司)测定高性能再生透水混凝土的坍落度;通过物理模型推导计算高性能再生透水混凝土的密度;采用渗水系数测定仪(HDSS-II 型,浙江路达机械仪器有限公司)测定高性能再生透水混凝土的渗水系数;采用万能试验机[力试(上海)科学仪器有限公司]测定高性能再生透水混凝土的抗压强度,测试前高性能再生透水混凝土养护 28d。

2 结果与讨论

2.1 掺量对高性能再生透水混凝土坍落度的影响

不同掺量下高性能再生透水混凝土的坍落度见

表 1,掺量对高性能再生透水混凝土坍落度的影响见图 1。

表 1 不同掺量下高性能再生透水混凝土的坍落度

玄武岩纤维/%	2	4	6	8	10
坍落度/mm	105	100	100	95	90
棉纤维/%	2	4	6	8	10
坍落度/mm	100	95	90	84	83
碳纤维/%	2	4	6	8	10
坍落度/mm	108	102	97	91	88
聚丙烯纤维/%	2	4	6	8	10
坍落度/mm	107	101	94	90	86

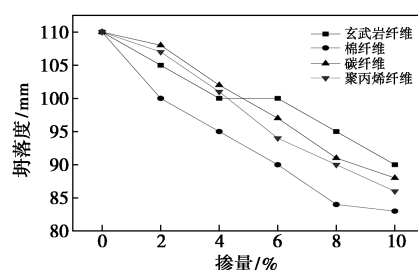


图 1 掺量对高性能再生透水混凝土坍落度的影响

透水混凝土的原始坍落度为 110mm,由表 1 和图 1 可见,掺入纤维能够使得混凝土的坍落度下降。这是因为纤维类材料能够使得混凝土更加密实。由于纤维材料的直径和比表面积较小,能够限制混凝土中水分的流动,从而降低混凝土的坍落度。棉纤维材料较其他纤维类材料的阻水性能要好,当棉纤维掺量在 2%~8%时,混凝土的坍落度下降最快;而当棉纤维掺量为 10%时,混凝土的坍落度无明显变化。因此,棉纤维比其他 3 种纤维的性能要好。

2.2 掺量对高性能再生透水混凝土密度的影响

不同掺量下高性能再生透水混凝土的密度见表 2,掺量对高性能再生透水混凝土密度的影响见图 2。

表 2 不同掺量下高性能再生透水混凝土的密度

玄武岩纤维/%	2	4	6	8	10
密度/(kg·m ⁻³)	1940	1900	1860	1840	1810
棉纤维/%	2	4	6	8	10
密度/(kg·m ⁻³)	1910	1850	1800	1750	1700
碳纤维/%	2	4	6	8	10
密度/(kg·m ⁻³)	1930	1870	1820	1760	1730
聚丙烯纤维/%	2	4	6	8	10
密度/(kg·m ⁻³)	1920	1860	1820	1770	1740

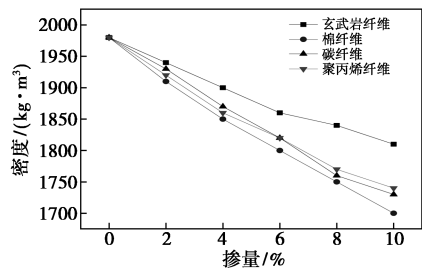


图 2 掺量对高性能再生透水混凝土密度的影响

初始透水混凝土的密度为 1980kg/m^3 , 由于纤维类材料的密度比混凝土中骨料石子等要低得多, 因此复合混凝土材料的密度随着纤维掺量的增多而逐渐降低。由图可见, 棉纤维、碳纤维和聚丙烯纤维对混凝土密度有明显改善, 而玄武岩纤维的改善效果最差。

2.3 掺量对高性能再生透水混凝土渗透系数的影响

不同掺量下高性能再生透水混凝土的渗透系数见表 3, 掺量对高性能再生透水混凝土渗透系数的影响见图 3。

表 3 不同掺量下高性能再生透水混凝土的渗透系数

玄武岩纤维/%	2	4	6	8	10
渗透系数/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	8	9	11	12	13
棉纤维/%	2	4	6	8	10
渗透系数/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	9	11	13	15	18
碳纤维/%	2	4	6	8	10
渗透系数/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	8	10	12	14	16
聚丙烯纤维/%	2	4	6	8	10
渗透系数/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	9	11	12	14	17

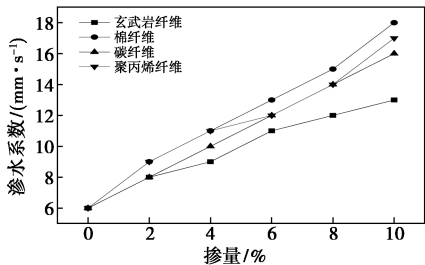


图 3 掺量对高性能再生透水混凝土渗透系数的影响

初始透水混凝土的渗水系数为 6mm/s , 由图可见, 纤维的掺入能够提高透水混凝土的渗水系数, 使得透水混凝土能够发挥海绵的作用, 加快排水。这是因为, 纤维类材料能够与水泥进一步发生二次水化反应, 改变混凝土的原始内部结构, 提高透水混凝土的渗水系数。

2.4 掺量对高性能再生透水混凝土抗压强度的影响

不同掺量下高性能再生透水混凝土的抗压强度见表 4, 掺量对高性能再生透水混凝土抗压强度的影响见图 4。

表 4 不同掺量下高性能再生透水混凝土的抗压强度

玄武岩纤维/%	2	4	6	8	10
抗压强度/MPa	38.6	41.2	42.6	41.4	39.1
棉纤维/%	2	4	6	8	10
抗压强度/MPa	40.5	44.7	45.6	43.2	41.9
碳纤维/%	2	4	6	8	10
抗压强度/MPa	39.4	42.9	43.1	43.9	43.2
聚丙烯纤维/%	2	4	6	8	10
抗压强度/MPa	39.1	43.8	44.2	43.8	43.1

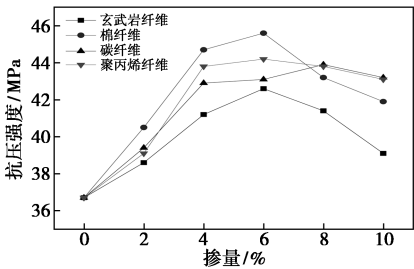


图 4 掺量对高性能再生透水混凝土抗压强度的影响

初始透水混凝土的抗压强度为 36.7MPa , 由图可见, 各种纤维在一定的掺量下能够提高高性能再生透水混凝土的抗压强度, 但当超过一定限制时, 高性能再生透水混凝土的抗压强度则逐渐下降。这是因为, 在少量纤维掺入下, 一方面可以促进水泥的水化加快混凝土的凝结; 另一方面, 由于纤维直径和比表面积较小, 能够填充至骨料空隙中, 提高混凝土的密实性, 进而导致混凝土强度提高。但当掺入过量的纤维时, 会使得混凝土的整体强度下降, 这是因为纤维本身的强度很低, 甚至没有强度, 随着掺量的增多, 导致复合材料的抗压强度下降。由图还可见, 玄武岩纤维、棉纤维和聚丙烯纤维的最佳掺量都为 6%, 碳纤维的最佳掺量为 8%。但是在 4 种纤维中, 棉纤维能够使得混凝土具有较高的抗压强度 (45.6MPa), 因此在高性能再生透水混凝土中掺入 6% 的棉纤维最佳。

3 结论

(1) 纤维的掺入能够使得混凝土的坍落度下降。这是因为纤维类材料能够使得混凝土更加密实。由于纤维材料直径和比表面积较小, 能够限制混凝土

中水分的流动,从而降低混凝土的坍落度。

(2)由于纤维类材料的密度比混凝土中的骨料石子等要低得多,因此复合混凝土材料的密度随着掺量的增多而逐渐降低。实验发现,棉纤维、碳纤维和聚丙烯纤维对混凝土密度有着明显改善,而玄武岩纤维效果最差。

(3)纤维的掺入能够提高透水混凝土的渗水系数,使得透水混凝土能够发挥海绵的作用,加快排水。这是因为纤维类材料能够与水泥进一步发生二次水化反应,改变混凝土的原始内部结构,提高透水混凝土的渗水系数。

(4)各种纤维在一定的掺量下能够提高混凝土的抗压强度,但当超过一定限制时,混凝土的抗压强度则逐渐下降。这是因为,在少量纤维掺量下,一方面可以促进水泥的水化加快混凝土的凝结;另一方面,由于纤维直径和比表面积较小,能够填充至骨料空隙中,提高混凝土的密实性,进而导致混凝土强度提高。但当掺入过量纤维时,会使混凝土的整体强度下降,这是因为纤维本身的强度很低,甚至没有强度,随着掺量增多,导致复合材料的抗压强度下降。

综上,在这 4 种纤维中,棉纤维能够使得混凝土具有较高的抗压强度,且掺量为 6% 时,效果最佳。

参考文献

[1] 姜骞,刘建忠,周华新,等.浆体新拌性能与透水混凝土硬化性

能的相关性[J].建筑材料学报,2018,21(1):20-25.

- [2] 陈守开,常承艳,郭磊,等.再生骨料掺量对透水混凝土性能的影响[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(1):98-108.
- [3] 张茂林,杜红秀.聚丙烯纤维及橡胶颗粒对透水混凝土性能的影响[J].硅酸盐通报,2018,37(4):184-189.
- [4] 吴淑伟,蒋元海,程瑛豪,等.废玻璃碎屑在透水混凝土中的试验研究[J].新型建筑材料,2018,45(3):30-32.
- [5] 杨波,高润东,许清风.复杂侵蚀环境下透水混凝土耐久性能试验研究[J].土木建筑与环境工程,2018,40(3):53-60.
- [6] 吴梦柯,赵金辉,林晨彤,等.透水混凝土路面净化雨水径流研究进展[J].现代化工,2017,37(10):25-28,30.
- [7] 李子成,张爱菊,隋修志,等.矿物活性超细粉对透水混凝土的界面效应[J].公路工程,2017(5):311-314,375.
- [8] 董建忠.透水混凝土性能的影响因素分析[J].公路交通科技(应用技术版),2017(4):75-78.
- [9] 光鉴森,崔巩,姜骞,等.预拌透水混凝土制备技术与施工工艺[J].新型建筑材料,2017,44(3):4-7.
- [10] 张志权,刘云霄.再生黏土砖骨料含量对透水混凝土性能的影响[J].混凝土,2017(8):123-127.
- [11] 刘肖凡,林武星,李继祥.刚性聚丙烯纤维改性透水混凝土耐久性能研究[J].混凝土,2017(1):133-136.
- [12] 王金龙,翟爱良,陈博,等.新型透水混凝土强度和透水性能主要影响因素研究[J].新型建筑材料,2017,44(11):71-74.
- [13] 张国强,焦楚杰,江涌波,等.透水混凝土的基本性能试验研究[J].混凝土,2017(8):136-139.

收稿日期:2019-05-23

修稿日期:2019-07-31

单位点 Cr-N₄/C 用作酸性介质中高效稳定的氧还原催化剂新进展

非贵金属氧还原催化剂是解决燃料电池成本和贵金属资源短缺问题的必由之路,目前非贵金属氧还原催化剂的研究热点聚焦于单原子 Fe-N_x/C 材料。然而,在酸性介质中,Fe 与中间产物 H₂O₂ 通过 Fenton 反应产生强氧化性自由基(ROS),氧化活性位点周围的碳,削弱活性位点催化 O₂ 还原能力,致使 Fe 基催化剂稳定性差,有必要探究其他低 Fenton 反应性的金属中心。

近日,中国科学院长春应用化学研究所邢巍研究员、刘长鹏研究员、葛君杰研究员与中国科学院上海应用物理研究所姜政研究员合作,针对酸性介质中的氧还原电催化反应进行理性设计和精控制备,合成了性能优越的热解型单原子 Cr/N/C 氧还原催化剂。

该催化剂设计理念如下:热解型催化剂与大环化合物型催化剂的主要区别在于前者中 C 材料具有更强的吸电子特性,从而能降低催化剂 d 键中心,弱化对中间物种的吸附能。因此,在大环化合物中,处于火山型曲线强吸附侧,因吸附过强而使得活性较差的金属中心有

可能在热解型催化剂中表现出优异性能。利用上述思路,结合对弱化 Fenton 活性的需求,有望筛选出活性与稳定性兼具的新型催化中心。

基于上述思路,作者选择了在大环化合物中位于火山型曲线强吸附侧的 Cr 单位点型催化剂进行研究。尽管早期工作发现铬酐菁的 Cr-N₄ 中心由于与 O₂ 结合过强而导致几乎没有催化活性,但该工作中 Cr/N/C 催化剂的 Cr-N₄ 位点并没有类似已报道的 Fe/N/C 和 Ru/N/C 的轴向 O 物种,而对应于 D_{4h} 对称平面结构,说明热解型催化剂中金属中心电子结构的显著改变。

电化学结果表明,少量 Cr 源的引入即可引起产物氧还原催化性能极大提升。最重要的是,Cr/N/C 具有极好的稳定性,显著优于 Fe/N/C 和 Pt/C。通过对自由基检测发现 Cr/N/C 催化剂优异的稳定性在于 Cr 的 Fenton 反应活性很弱,避免了 ROS 的氧化危害。该工作首次报道了热解型 Cr/N/C 显著的氧还原催化性能,确认了一种稳定的新型活性位点,并为彻底探究热解型 M/N/C 中 M-N_x 的催化机理引入了新模型。(新型)