

聚羧酸减水剂的侧链长度变化对UHPC性能的影响

刘少静, 贺梦佳, 管佳男*, 程 博, 李绍达, 苏宏睿

(河南工程学院土木工程学院, 河南省郑州市, 451191)

摘要 聚羧酸减水剂(PCE)是改善超高性能混凝土(UHPC)分散性的关键材料,其侧链长度是影响性能的重要结构参数。本文设计合成了不同侧链长度的PCE,通过坍落度、抗压强度和抗折强度测试,揭示不同侧链长度的PCE对UHPC性能的影响规律。结果表明:当侧链分子量为2 000g/mol时,UHPC性能达到最优,坍落度、抗压强度和抗折强度分别提高了314.3%、45.9%和70.6%(与S1相比)。

关键词 超高性能混凝土;聚羧酸减水剂;侧链长度;坍落度;力学性能

中图分类号:TU528 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2024)10-0036-03

随着工业的快速发展和建筑应用环境的复杂化,具有高强度、高密度、高耐久性特点的超高性能混凝土(UHPC)这一创新型建筑材料的研究与应用已成为近年来土木工程材料方面的热点与前沿技术^[1,2]。但UHPC的粘度大不利于施工及力学性能发展^[3,4],因此聚羧酸减水剂(PCE)是改善其性能的关键组分。

PCE通过活性亲水性基团吸附在水泥颗粒表面,疏水侧链在溶液中伸展,并在表面形成一层物理或化学的吸附层,从而抑制水泥颗粒絮凝^[5-7]。因此,侧链长度将显著影响吸附层厚度,进而影响混凝土的分散性^[8,9]。然而,水灰比极低且原料复杂的UHPC体系完全区别于普通混凝土,因此PCE对普通混凝土性能影响的规律并不适用于UHPC体系,迫切需要深入探究不同侧链长度PCE对UHPC性能的影响规律。

基于此,本研究基于分子结构设计,合成了不同侧链长度的PCE,通过测试含不同侧链长度PCE

的UHPC的坍落度及其保持性、抗压强度和抗折强度,揭示侧链长度变化对含PCE的UHPC性能改善规律。

1 原材料及试验方法

1.1 试验原料

本试验所有性能测试使用的水泥均为GB/T 8077-2012《混凝土外加剂》中规定的基准水泥P·I 42.5。粉煤灰为F类I级粉煤灰。硅灰的SiO₂含量为93.32%。砂为标准砂。钢纤维的长度为13mm。聚醚侧链HPEG(分子量分别为500g/mol、800g/mol、1 500g/mol、2 000g/mol、2 400g/mol和3 000g/mol)由辽宁奥克化学股份有限公司提供。硫酸铵溶液、巯基乙酸和丙烯酸为分析纯,由天津福晨化学试剂有限公司提供。降粘剂为实验室自制。

1.2 配合比

本研究所采用的UHPC配合比如表1所示。

表1 UHPC的配合比

水泥/ (kgm ³)	硅灰/ (kgm ³)	粉煤灰/ (kgm ³)	砂子/ (kgm ³)	钢纤 维/%	降粘 剂/%
896	112	112	1120	1.5	2

1.3 试验方法

将未添加PCE的样品标记为S1,其他分别将添加PC-1、PC-1、PC-2、PC-3、PC-4、PC-5、PC-6的试剂标记为S2、S3、S4、S5、S6、S7。

混凝土坍落度及其保持性参照GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能方法试验标准》中规定方法,将粉料混合均匀后,再加入不同浓度的PCE溶液,按规定搅拌均匀后测试初始坍落度值。测试

基金资助:河南省高等学校重点科研项目(24A560004);河南省科技攻关项目(242102230138)

作者简介:刘少静(1992~),女,汉族,河南洛阳人,硕士,助教,研究方向:土木工程材料。

通讯作者:管佳男(1988~),男,汉族,河南驻马店人,博士,讲师,研究方向:混凝土及其外加剂。

结束后将混凝土样品收集到塑料桶中,用保鲜膜密封并在室温下静置1h,搅拌均匀后重复上述坍落度测试。

抗压/抗折强度参照GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》中规定的方法,测试混凝土的28天抗压强度。

2 不同侧链长度PCE的合成与表征

2.1 不同侧链长度PCE的合成

将聚醚侧链加入水中搅拌均匀,搅拌均匀后加热到65℃,逐滴滴加过硫酸铵溶液、巯基乙酸和丙烯酸混合水溶液,滴加3h,保温2h后冷却至室温既得所需PCE。按聚醚侧链长度聚合度不同(500g/mol、800g/mol、1500g/mol、2000g/mol、2400g/mol和3000g/mol),分别记为PC-1、PC-2、PC-3、PC-4、PC-5和PC-6。

2.2 不同侧链长度PCE的表征

通过凝胶渗透色谱测试所得PCE的分子结构如表2所示。

表2 PCE的分子结构参数

样品	Mw(g/mol)	Mn(g/mol)	PD
PC-1	27751	22973	1.21
PC-2	28967	23018	1.26
PC-3	31367	26745	1.17
PC-4	30023	24368	1.23
PC-5	30953	25860	1.20
PC-6	24734	21072	1.17

由表2可知,在相同的合成工艺条件下,随侧链长度的提高,分子量呈现先增大后减小的趋势。侧链的体积排阻效应会影响聚合物的聚合反应,但在较小的侧链长度下表现并不显著。因此,侧链较小和较大时合成PCE分子量均显著小于侧链适中的样品。

3 不同侧链长度的PCE对UHPC性能的影响

3.1 对新拌UHPC分散性的影响

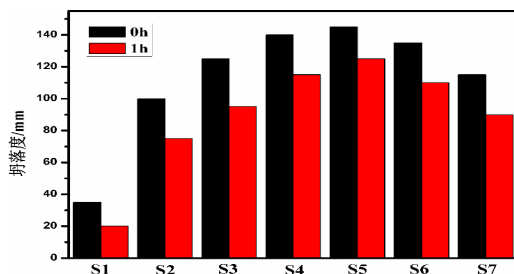


图1 PCE对新拌UHPC坍落度及其保持性的影响

由图1可知,相比于未掺PCE的S1(坍落度为35mm),S2、S3、S4、S5、S6和S7的坍落度值分别提高

了185.7%、242.9%、300.0%、314.3%、285.7%和228.6%,说明PCE可以显著改善UHPC的分散性。因为疏水聚醚侧链在溶液中伸展,并在表面形成一层物理或化学的吸附层,进而起到空间位阻作用,从而抑制水泥颗粒絮凝。侧链过短会造成吸附层厚度较小,而侧链过长会形成卷曲的“蘑菇状”构象,也同样会降低吸附层厚度。因此,无论侧链长度过小还是侧链长度过大,均会造成使聚合物层的空间位阻作用减小,降低水泥颗粒分散性。因此随侧链长度的增大,UPHC的坍落度呈现先增大后降低的趋势,且在侧链为2000g/mol时表现最优异。

另外,坍落度保持性与初始坍落度表现出类似的规律,其中S1、S2、S3、S4、S5、S6和S7的坍落度保持率分别为57.1%、75.0%、76.0%、82.1%、86.2%、81.5%和78.3%,且侧链长度为2000g/mol时UHPC的坍落度保持率达到最大。

3.2 对硬化UHPC力学性能的影响

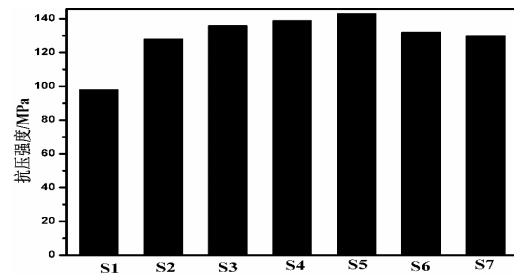


图2 PCE对硬化UHPC抗压强度的影响

由图2可知,相比于未掺PCE的S1(抗压强度为98MPa),S2、S3、S4、S5、S6和S7的抗压强度值分别提高了30.6%、38.8%、41.8%、45.9%、34.7%和32.7%,主要因为PCE使水泥颗粒分散的更均匀,从而增加水泥颗粒之间的填充性和紧密性,同时也改善了UHPC的孔隙结构和孔隙分布,使混凝土更为致密,提高了抗压强度。

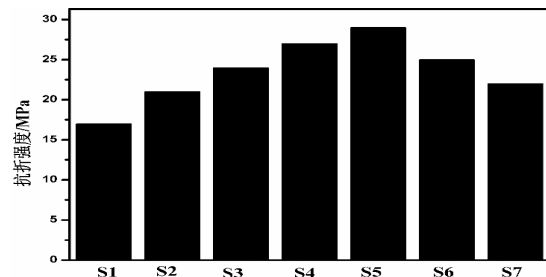


图3 PCE对硬化UHPC抗折强度的影响

由图3可知,相比于未掺PCE的S1(抗折强度为17MPa),S2、S3、S4、S5、S6和S7的抗折强度值分别提

高了 23.5%、41.2%、58.8%、70.6%、47.1% 和 29.4%，主要由于高分散性的浆体显著改善了钢纤维的分布和取向，使其抗折强度显著提高，且与坍落度结果一致，在侧链长度为 2000g/mol 时达到最优。

4 结语

本文采用简单可控的自由基聚合方式，以丙烯酸和不同分子量的聚醚大单体 HPEG 为原料，合成了不同侧链长度的 PCE，通过研究含不同侧链长度 PCE 的 UHPC 的工作性能和力学性能的变化，揭示其对 UHPC 性能的影响规律。结论具体内容如下：将不同分子量的 HPEG 与丙烯酸共聚，合成不同侧链长度的 PCE，通过分子量表征证明合成的聚合物符合预期结构设计；随侧链长度的增大，PCE 对 UHPC 的分散性的贡献能力呈先增大后降低的趋势，其中，在侧链分子量为 2000g/mol 时达到最优（坍落度为 145mm、坍落度保持率为 86.2%）；随侧链长度的增大，PCE 对 UHPC 的抗压强度和抗折强度的贡献能力均呈先增大后降低的趋势，其中，在侧链分子量为 2000g/mol 时达到最优（抗压强度和抗折强度分别为 143MPa 和 29MPa）。

参考文献

[1] 黄声涛,马玉梅,唐玉婷,丁萌,徐芳选.煅烧铝矾土粗骨料

(上接第 29 页)速度;③增加 6 号点位的功率,提高该点位的初速度;④在 7 号点位增加速度检测装置,当速度小于 0.5m/s 时启动电磁弹射,如果速度大于 0.5m 则不启动。优化后的设备功率与试验结果如表 2 所示。

表 2 优化后设备功率与试验结果统计表

序号	功率(w)	初速度(m/s)	平均综合加速度(g)
1	1358.9	4.6	1.6
2	1822.2	5.2	1.8
3	1398.4	3.9	1.4
4	1333.2	3.7	1.3
5	1398.4	3.9	1.4
6	1724.4	4.9	1.7
7	290.0(0)	0.5(>0.5)	0.3(0)

4 结语

本文首先对电磁弹射技术原理进行汇总,分析安培力的具体影响因素;其次,以过山车为例对电

和养护方式对 UHPC 性能的影响[J].上海公路.2023,4:148-152+212.

- [2] 唐威远,胡贤松,罗杰,马杰灵,周长红.改性材料及其掺量对超高性能混凝土力学性能的影响[J].中国粉体技术.2024,30(01):153-160.
- [3] 李传习,王圣杰,夏雨航,张怀宇,廖小平,黄大成.硅烷改性超高性能混凝土的流变性和强度[J].硅酸盐学报.2023,51(11):2914-2923.
- [4] 刘一帆,吴泽媚,张轩翰,史才军.超高性能混凝土流变特性及调控研究进展[J].硅酸盐学报,2023,51:3025-3038.
- [5] 王兵,王涛,韩正,黄振,冉千平.有机膦酸盐缓凝剂的合成及其对聚羧酸减水剂性能的影响[J].新型建筑材料.2023,50(10):43-48.
- [6] 李蒙蒙,舒鑫,韩方玉,刘建忠,杨勇.聚羧酸减水剂在碱激发矿渣胶凝材料中的研究进展[J].硅酸盐通报.2023,42(10):3432-3438.
- [7] 郑丹,辛全浩,梁云涛.考虑聚羧酸减水剂作用的水泥净浆水膜厚度模型[J].建筑材料学报.2022,25(05):454-460.
- [8] 王伟山,冯中军,邓最亮,傅乐峰,郑柏存.聚羧酸减水剂分子结构对含膨润土水泥砂浆流动性的影响[J].混凝土.2014,11:132-135.
- [9] 陈小路.MPEG 系酯类分子结构与聚羧酸减水剂性能的构效关系[J].新型建筑材料.2018,45(06):75-77+103.

磁弹射技术在大型特种游乐设备中的应用进行探讨;最后,对初始状态下过山车车体的运行状态进行分析,并提出优化建议,展示优化后的不同点位功率参数。

参考文献

- [1] 裴力.基于多级电磁弹射动力技术的大型特种游乐设备.成都泰隆游乐实业有限公司(科技成果),2020-08-27.
- [2] 师学斌,叶帅.国内游乐行业发展现状及展望[J].冶金设备,2021(S1):84-85+43.
- [3] 王欣,王兴华,刘双杰等.单级异步感应电磁推进器优化研究[J].工业控制计算机,2023,36(09):139-141.
- [4] 孙伟波,张弛,陈浩栋等.基于电磁弹射的宽幅织机引纬方式与磁场分析[J].上海纺织科技,2023,51(05):10-13.
- [5] 高艳慧,蔺相飞.电磁弹射原理演示模型设计与仿真分析[J].电子技术,2023,52(07):12-13.