

双掺油菜秸秆灰分和硅粉对混凝土性能的影响

张强¹, 刘保华^{1,2*}, 刘巧玲¹, 刘芳¹, 黄伟¹

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要: 针对油菜秸秆灰分混凝土早期强度较低的缺陷, 利用硅粉的高火山灰活性和填充效应, 在普通混凝土中掺加油菜秸秆灰分的基础上复掺硅粉, 测试双掺混凝土的力学性能和工作性能。结果表明: 当秸秆灰分的基准掺量为 20% 时, 随着硅粉掺量增加, 混凝土的黏聚性和保水性变优; 当硅粉掺量为 10% 时, 混凝土的抗压强度达到 17.2 MPa, 强度增加 24%; 当秸秆灰分为 20%、硅粉掺量为 6% 时, 双掺混凝土水胶比的最适范围为 0.5~0.6。

关键词: 油菜; 秸秆灰分; 硅粉; 混凝土; 力学性能

中图分类号: TU528.041

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)03-0334-03

Effect of rape straw ash and silica fume admixture on concrete performance

ZHANG Qiang¹, LIU Bao-hua^{1,2*}, LIU Qiao-ling¹, LIU Fang¹, HUANG Wei¹

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

Abstract: Based on its high ash activity and filling effect, silica fume was added in ordinary concrete which was formerly added with rape straw ash to solve the problem of low early strength of the rape straw concrete, and the work and the mechanical performance of the double mixed concrete were investigated. The results showed when rape straw ash content was 20%, the cohesive properties and the water retention properties become better with increasing content of silica fume; when the silica fume content was 10%, the compressive strength of the concrete reached 17.2 MPa, which was increased by 24%; when the rape straw ash content was 20% and the silica fume content was 6%, the optimum range of water-cementitious material ratio of the double mixed concrete was 0.5-0.6.

Key words: rape; straw ash; silica fume; concrete; mechanical performance

长江流域的油菜生产面积和产量约占世界油菜种植面积和总产量的 25%^[1]。但大量秸秆资源被荒废或者就地焚烧, 秸秆有效利用率较低, 造成资源的浪费, 并污染环境。有研究^[2-3]表明, 植物可以将土壤中稀薄的无定形的二氧化硅, 通过生物矿化的方式, 集中到植物秸秆中, 且能通过一定处理方式, 获得活性二氧化硅。H. Biricik 等^[2]发现, 将小麦秸秆置于 570~670 °C 煅烧 5 h 后所得灰分, 其二氧化硅含量可达 73%, 并具有一定火山灰活性,

能够改善混凝土性能。欧阳东等^[3]研究发现, 将稻壳置于 600 °C 下焚烧, 其灰分的二氧化硅含量可达 91.7%, 火山灰活性较高, 对混凝土强度有显著的增强作用, 适于配制高强度混凝土。刘巧玲等^[4]研究发现, 油菜秸秆经水洗处理后, 在 500 °C 煅烧 5 h 后所得灰样, SiO₂ 含量达到 61.76%, 与小麦秆、稻秆灰分的 SiO₂ 含量接近, 具有一定水硬性活性。余其俊等^[5]通过研究稻壳灰对混凝土强度的影响, 发现掺加稻壳灰对混凝土强度有一定的提高, 当稻壳

收稿日期: 2013-10-28

基金项目: 湖南省政府重大专项(湘府阅[2012]35号)

作者简介: 张强(1988—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要从事农业水土工程研究, 250259887@qq.com; *通信作者, liubaohua220@sohu.com

灰的复掺量为 20% 时, 混凝土强度值最高。

有研究^[6-8]表明, 当混凝土掺加硅粉后, 高活性硅粉与水泥水化产物发生火山灰反应, 生成致密水化硅酸钙凝胶, 可提高混凝土早期强度。硅粉的填充效应能提高水泥石的密实度, 增加阻水作用, 改善混凝土防渗性, 提高混凝土的电阻率, 减少钢筋锈蚀。

笔者在利用油菜秸秆灰分替代部分水泥作为掺合料的基础上, 复掺硅粉, 制备混凝土, 分析复掺灰分和硅粉对混凝土工作性能、表观密度、抗压性能、劈裂抗拉性能及 pH 值的影响, 探索硅粉的最佳掺量, 研究水胶比对双掺混凝土的影响, 旨在为秸秆混凝土的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

油菜秸秆取自湖南农业大学耘园基地, 油菜品种为湘杂油 1613, 收获后经过细化和水洗, 在电磁炉内 500 °C 煅烧 5 h, 得到秸秆成灰。油菜秸秆灰分的表观密度 2.98 g/cm³, SiO₂ 含量 61.76%。

硅粉为长沙博尔特建筑工程材料有限公司产品, SiO₂ 含量为 90%。

长沙坪塘牌 P·C32.5 级水泥。天然河沙, 中砂。卵石, 最大粒径为 20 mm, 连续级配。

1.2 方 法

沿用课题组前期研究成果, 即当油菜秸秆灰分内掺达到 20% 时, 混凝土性能最优^[9]。以此作为秸秆灰分掺量基准, 分别进行复掺硅粉和以水胶比为变量的 2 项试验。

1) 确定混凝土水灰比为 0.5, 砂率为 0.32, 采用以 20% 秸秆灰分等量替代水泥, 在此基础上分别复掺硅粉 0、4%、6%、8%、10%, 考察混凝土工作性能, 测定表观密度和抗压强度及劈裂抗拉强度。

2) 确定混凝土砂率为 0.32, 秸秆灰分内掺量为 20%, 硅粉复掺量为 6%, 通过调整水的用量, 考察水胶比对秸秆混凝土性能的影响。鉴于油菜秸秆灰分和硅粉吸水性极强, 为了保证混凝土的和易性, 考虑调大水胶比范围, 设计水胶比分别为 0.5、0.55、0.6、0.65、0.7, 考察混凝土的抗压性能和劈裂抗拉性能。

混凝土配合比依据 JGJ55—2002^[10]; 混凝土拌合物性能按 GB/T 50080—2002^[11]进行试验测试, 抗压强度按 GB/T 50081—2002^[12]规定测试。

2 结果与分析

2.1 双掺对混凝土工作性能和表观密度的影响

双掺混凝土工作性能测试结果如表 1 所示。

表 1 混凝土工作性能和表观密度

Table 1 Work performance and density of the double-mixed concrete

硅粉掺量/%	工作性能			表观密度/ (g·cm ⁻³)
	坍落度/mm	黏聚性	保水性	
0	25	一般	差	2 387
4	34	一般	一般	2 405
6	36	一般	较好	2 410
8	32	好	好	2 417
10	29	好	好	2 429

由表 1 可以看出, 在油菜秸秆灰分掺量一定时, 混凝土的坍落度随着硅粉掺量的逐步增加先上升后降低, 当硅粉掺量为 6% 时, 相比掺量为 0、4% 时坍落度分别增加了 11 和 2 mm; 当硅粉掺量达到 10% 时, 相比于 6% 时坍落度又减少了 7 mm。基准混凝土比无掺合料混凝土, 黏聚性和保水性都得到了- 一定的改善。这是因为油菜秸秆灰分吸水量大, 在一定程度上约束了内部水分。随着硅粉用量的增加, 混凝土的保水性和黏聚性有明显的改善, 这是因为硅粉的比表面积大^[6-9], 拌合过程中需水量较大, 且混凝土大部分自由水分被硅粉颗粒约束, 另外, 硅粉的比表面积大于河沙, 这就决定了混凝土在拌合过程中所需包裹硅粉的用水量远高于无掺合料混凝土, 因而双掺混凝土的流动性减小。

由于油菜秸秆灰分密度与水泥密度相当, 所以无掺料混凝土与基准混凝土表观密度相差不大。随着硅粉的增加, 密度较基准混凝土分别增加了 18、23、30、42 kg/m³。这是因为硅粉具有填充效应^[9-13], 增强了混凝土的致密性, 随着硅粉的掺入, 混凝土的表观密度也随之增大。

2.2 双掺对混凝土力学性能的影响

双掺混凝土力学性能测试结果如表 2 所示。基准混凝土中内掺硅粉 7、28 d 后, 抗压强度随着硅粉掺量增加呈现递增的趋势, 当硅粉掺量为 10% 时, 混凝土的抗压强度达到最高值, 较基准混凝土 7、28 d 分别提高了 32% 和 24%。硅粉有较强的火山灰活性, 能够与水泥水化产物 Ca(OH)₂ 发生二次水化反应, 形成高强度的硅酸钙 C—S—H 凝胶, 同时, 硅粉比表面积大, 在微集料效应下, 填充混凝土内部孔隙, 其二次水化产物也能填补混凝土凝

胶体中的有害孔隙,改善混凝土内部结构^[13-14]。另外,油菜秸秆灰分中的活性 SiO₂,能够与水泥水化产物发生二次反应,生成水硬性凝胶体,增强了混凝土的强度。

表2 双掺混凝土的力学性能

硅粉掺量/%	混凝土抗压强度		劈裂抗拉强度	混凝土 pH 值
	7 d	28 d		
0	9.50	13.8	1.64	11.10
4	10.00	14.3	1.68	10.97
6	11.03	15.1	1.73	10.87
8	11.78	16.3	1.85	10.67
10	12.60	17.2	1.91	10.53

在基准混凝土中复掺硅粉,混凝土劈裂抗拉强度随着硅粉掺量的增大而呈上升趋势。可能是由于秸秆灰分、硅粉等比表面积大,能提高混凝土的致密性,减少混凝土界面孔隙,改善内部结构,在一定程度上提高了混凝土的劈裂抗拉强度,但是贡献度较小^[14-15]。

随着硅粉掺量不断增加,混凝土净浆的 pH 值不断下降。这是由于秸秆灰分和硅粉有一定的活性,发生火山灰反应,消耗水化产物 Ca(OH)₂,进而降低了混凝土的 pH 值。

2.3 水胶比对双掺混凝土力学性能的影响

表3结果表明,双以水胶比0.5的混凝土作为基准,掺混凝土抗压强度、抗拉性能随着水胶比的增大而呈现降低的趋势。当水胶比为0.65和0.70时,混凝土强度增幅较小。即双掺混凝土水胶比的最适区域为0.5~0.6,当水胶比超过0.6时,混凝土力学性能较差。这是由于用水量过大,水化作用时间增加,造成水化物固相填充的孔隙较多;当水泥用量较少时,水化生成的氢氧化钙含量减少,使得掺合物与之发生的反应不完全,影响混凝土凝胶强度生成,进而造成秸秆混凝土力学性能较差。

表3 不同水胶比下混凝土力学性能

水胶比	混凝土抗压强度		劈裂抗拉强度
	7 d	28 d	
0.50	11.03	15.1	1.73
0.55	10.40	13.6	1.61
0.60	9.60	12.5	1.47
0.65	7.20	9.3	1.03
0.70	6.60	8.1	0.76

3 结论

混凝土坍落度随着硅粉掺量的增加呈先上升后下降的趋势,硅粉的增加,改善了混凝土的粘聚性和保水性,混凝土表观密度也得到提高。

在掺加秸秆灰分基准上复掺硅粉,混凝土抗压强度明显增大,但劈裂抗拉强度增长不大,当硅粉掺量超过6%时,油菜秸秆混凝土能基本应用于建筑垫层、农业设施建筑及农业保水沟渠等^[16]。

双掺混凝土最适水胶比范围为0.5~0.6,当水胶比超过0.6时,混凝土力学性能较差。

参考文献:

- [1] 傅廷栋,周永明. 油菜遗传改良与生物柴油[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(增刊): 25-28.
- [2] Bricik H, Aköz F, Berkay I, et al. Study of pozzolanic properties of wheat straw ash[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29: 637-643.
- [3] 欧阳东,陈楷. 低温焚烧稻草灰的显微结构及其化学活性[J]. 硅酸盐学报, 2003, 31(11): 1121-1124.
- [4] 刘巧玲,刘保华,张强,等. 灰化条件对油菜秸秆灰分特性的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2013, 39(1): 107-110.
- [5] 余其俊,赵三银,冯庆革,等. 活性稻壳灰对混凝土强度和耐久性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(2): 15-19.
- [6] Murat P, Erdogan O, Ahmet O. Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(2): 384-394.
- [7] 李国柱. 硅粉混凝土的性能研究[J]. 水泥与水泥制品, 1999(3): 19-21.
- [8] 陈兵,姚武,李悦. 微硅粉在混凝土工程中的应用[J]. 新型建筑材料, 2000(11): 5-7.
- [9] 刘巧玲. 秸秆基混凝土的性能研究[D]. 长沙:湖南农业大学工学院, 2013.
- [10] JGJ55—2000, 普通混凝土配合比设计技术规程[S].
- [11] GB/T 50080—2002, 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S].
- [12] GB/T 50081—2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [13] 冯乃谦. 高性能混凝土[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1996: 152-157.
- [14] 李清富,孙振华,张海洋. 粉煤灰和硅粉对混凝土强度影响的试验研究[J]. 混凝土, 2011(5): 77-79.
- [15] 王社良,于洋,张博,等. 粉煤灰和硅粉对再生混凝土力学性能影响的试验研究[J]. 混凝土, 2011(12): 53-55.
- [16] 刘巧玲,刘保华. 秸秆基建材研究现状及进展[J]. 生物灾害科学, 2013, 36(4): 448-450.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维