

硅灰、聚丙烯纤维在混凝土中的应用研究

张建业¹, 徐均², 王进勇³

1. 重庆大学材料学院, 重庆 400045; 2. 杭州市公路管理局, 杭州 310004;

3. 招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆 400067

摘要:混凝土的收缩开裂问题严重影响工程质量及施工进度。结合实际工程, 研究掺有聚丙烯纤维的硅灰混凝土的早期收缩性能、各龄期强度发展情况, 通过试验得出: 1) 硅灰的加入能显著提高混凝土强度, 尤其是早期抗压强度; 2) 纤维的掺入能明显减少硅灰混凝土的早期收缩; 3) 纤维的体积掺量在 1.4 kg/m^3 左右时, 既能很好地抑制收缩, 又能满足实际工程的需要。

关键词: 硅灰; 聚丙烯纤维; 混凝土; 收缩

文章编号: 1009-6477(2010)03-0012-05

中图分类号: U445.57

文献标识码: A

Research on Application of Silica Fume and Polypropylene Fiber in Concrete

ZHANG Jianye¹, XU Jun², WANG Jinyong³

Abstract: Shrinkage and crack of concrete seriously affect project quality and construction progress. In combination with practical projects, this paper studies early shrinking property and strength development on various stages of the silica fume concrete mixed with polypropylene fiber. Conclusions are drawn via test that: 1) The addition of silica fume can greatly enhance concrete strength, especially early compressive strength; 2) The addition of polypropylene fiber can obviously reduce early shrinkage of silica fume concrete; and 3) The volumetric content of fiber about 1.4 kg/m^3 can not only restrain shrinkage perfectly, but also satisfy the demand of practical projects.

Key words: silica fume; polypropylene fiber; concrete; shrinkage

混凝土作为桥梁建造的主导材料, 其性能并不能令人十分满意。许多工程对混凝土尤其是混凝土的耐久性提出更高的要求。实践证明, 由于水胶比低、自收缩大, 高强、高性能混凝土更容易出现早期开裂, 水胶比越低, 混凝土早期开裂越严重^[1-3]。混凝土早期开裂严重影响混凝土结构的耐久性和使用寿命。混凝土的早期收缩是导致混凝土早期和后期开裂的主要原因之一。尤其是在掺加了活性矿物掺合料和高效减水剂后, 早期的收缩开裂就更加明显^[4]。混凝土的早期塑性开裂对混凝土后期强度的发展以及其他性能均会产生不利影响, 因此, 如何控制混凝土早期裂缝产生已成为工程界的难题^[5]。

从材料角度看, 控制混凝土的早期开裂主要考虑减小混凝土收缩和提高混凝土抗拉强度, 具体措施主要有掺膨胀剂补偿收缩、掺纤维增强抗拉强度、掺减缩剂控制收缩等方法。其中掺入纤维提高混凝土抗裂性和韧性是公认的有效方法^[6]。在众多

纤维中, 聚丙烯纤维造价较低廉, 因而在解决混凝土早期塑性开裂、减少混凝土干燥收缩变形方面具有重要利用价值。

本文以重庆石马河特大桥工程为例, 介绍硅灰、聚丙烯纤维在混凝土中的应用情况。考虑到实际工程对混凝土强度和耐久性的要求, 采用同时掺加硅灰和聚丙烯纤维的混凝土作为施工用混凝土。本研究主要针对掺硅灰、聚丙烯纤维的混凝土在实际工程中的应用, 并对掺有硅灰和聚丙烯纤维混凝土的早期收缩性能进行了一些基础研究。

1 试验原材料

1.1 水泥

结合 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》及 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》的要求, 选用宜昌华新水泥有限公司生产的 PO42.5 水泥, 28 d 抗折强度 8.7 MPa , 抗压强度 55.1 MPa 。

收稿日期: 2010-03-11

作者简介: 张建业 (1983-), 男, 河北省衡水市人, 在读研究生。

1.2 中砂

选用的中砂符合 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》及 GB/T14684《建筑用砂》中的相应规定。过 4.75 mm 的筛子, 细度模数为 2.28, 含水率为 3.95%, 表观密度为 2 600 kg/m³, 堆积密度为 1 510 kg/m³。

1.3 石子

试验结合工程背景, 使用粗骨料配制高性能混凝土并将其用于桥梁中。粗骨料选用奉节梅溪河 5~26.5 mm 卵碎石, 其性能符合 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》及 GB/T14685《建筑用卵石、碎石》中的相应规定。最大公称粒径为 25 mm, 2 级级配, 表观密度为 2.72 g/cm³。

1.4 硅灰

选用四川宜宾利天建材厂销售的 LT 硅粉, 指标符合《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》及 GB/T18736《高强、高性能混凝土矿物外加剂》的要求。SiO₂ 含量为 90.5%。

1.5 纤维

选用重庆宜筑商贸有限公司销售的聚丙烯腈纤维。比重: 1.36~1.40; 颜色: 自然色; 熔点: 大于 250℃; 长度: 6~8 mm; 抗拉强度: 大于 600 MPa; 直径: 0.02~0.025 mm。

1.6 外加剂

选用重庆建研科技有限责任公司生产的“建研牌” GRT-1 缓凝高效减水剂, 掺量为水泥质量的 1.2%~1.5%, 性能符合 JT-T 523—2004《公路工程混凝土外加剂》及《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》的要求, 同时用宜昌华新水泥进行了净浆流动度试验, 结果见表 1。

表 1 水泥和减水剂适应性试验

水泥	外加剂	净浆流动度/mm	浆体情况
宜昌华新水泥	GRT-1 缓凝 高效减水剂	280	好

2 试验及结果讨论

2.1 纤维掺量对混凝土工作性的影响

在基准配合比基础上, 保持水泥、砂、石子、减水剂和水的用量不变, 改变纤维的掺加量, 掺量分别为 0、0.7、0.14、2.8、7.0、14 kg/m³, 考察纤维的掺入对混凝土稠度的影响。试验结果见表 2。

表 2 不同纤维掺量时混凝土的维勃稠度变化值

编号	1	2	3	4	5	6
纤维含量/kg	0.00	0.70	1.40	2.80	7.00	14.00
体积率/%	0.00	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00
维勃稠度/s	5.8	7.3	9.1	11.5	21.2	30.1

由表 2 可以看出, 随着纤维掺量的增加, 混凝土流动度明显变小, 当掺量大于 7.00 kg/m³ 时, 混凝土拌合物的流动性明显变弱。这主要是由于纤维的单丝直径很小, 当掺量增加到一定值时, 混凝土需水量就会明显增加^[7]。由于纤维的加入会明显减弱混凝土拌合物的流动性, 对泵送混凝土的可泵性有不利影响, 对有密筋构件会产生浇筑不密实的缺陷, 因此, 在工程应用中, 必须采用合理的掺量, 以保证施工质量。

2.2 硅灰、纤维对混凝土力学性能的影响

由于硅灰的粒径较小 (平均粒径约 0.1 μm), 比水泥及粉煤灰小得多, 故其比表面积非常大 (约 2 000 m²/kg), 是水泥的 10~20 倍。如此大的比表面积必然会导致需水量的增加, 这就使得硅灰球形颗粒的减水作用被掩盖, 但并不意味着硅灰没有润滑作用。有研究表明^[8], 硅灰的掺量占水泥质量的 0.1%~0.5% 时, 可起润滑作用; 但当掺量继续增加时, 由于硅灰较大的比表面积, 混凝土拌合物的需水量会显著增加, 这时硅灰的润滑作用需要高效减水剂来激发。中国建筑材料科学研究院田培等^[9]就硅灰等矿物掺合料对混凝土流变性能的影响进行了分析研究, 其研究结果表明, 水泥、硅灰组成复合胶凝材料时, 能保证浆体有良好的和易性。还有研究表明^[10], 当硅灰的掺量在 8%~10% 时, 对混凝土的综合性能贡献较大。本试验就硅灰掺量不超过水泥质量的 10% 的情形进行研究, 并在此基础上研究硅灰和纤维掺量对混凝土性能的影响。

混凝土设计为 C50, 水灰比为 0.42, 其中砂率为 35%。具体混凝土配合比见表 3。

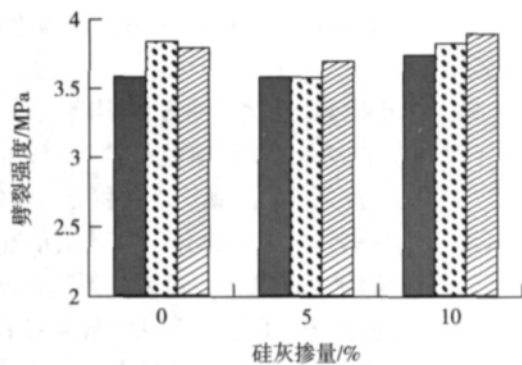
试验中考虑掺硅灰和纤维的目的主要是利用硅灰的高活性和纤维的抗裂性, 希望通过试验得到既满足强度要求, 又满足抗裂性要求的混凝土。图 1、图 2 为纤维、硅灰在不同掺量时, 配制的混凝土的劈裂强度和抗压强度。

由图 1 可以看出, 当硅灰掺量一定时, 随着纤维掺量的增加, 试件劈裂强度增加, 但早期增加不明显, 而随着龄期的延长, 增加才逐渐明显, 且在

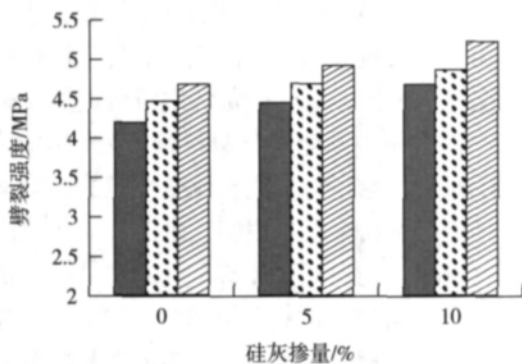
表 3 硅灰、纤维混凝土配比

编号	水泥 /kg	砂 /kg	石子 /kg	硅灰 $m/\%$	纤维 $v/\%$	减水剂 $m/\%$
1	490	695	1 268	0	0	1.3
2	490	695	1 268	0	0.1	1.3
3	490	695	1 268	0	0.2	1.3
4	465	695	1 268	5	0	1.3
5	465	695	1 268	5	0.1	1.3
6	465	695	1 268	5	0.2	1.3
7	440	695	1 268	10	0	1.3
8	440	695	1 268	10	0.1	1.3
9	440	695	1 268	10	0.2	1.3

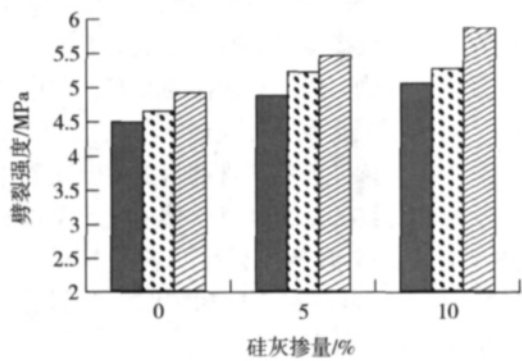
注： m 为质量百分比； v 为体积百分比。



(a) 3 d



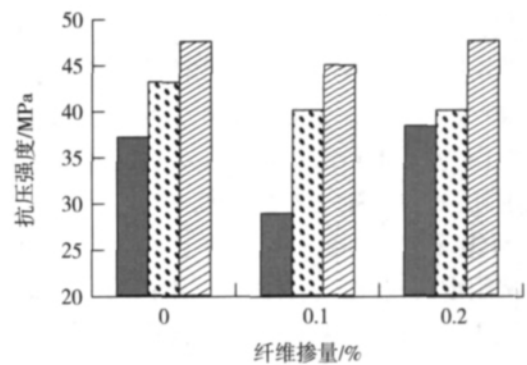
(b) 28 d



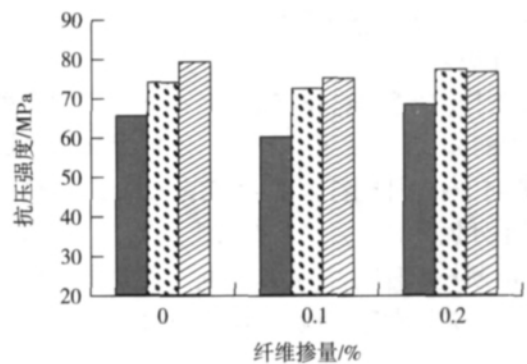
(c) 56 d

■ 0% ▨ 0.10% ▩ 0.20%

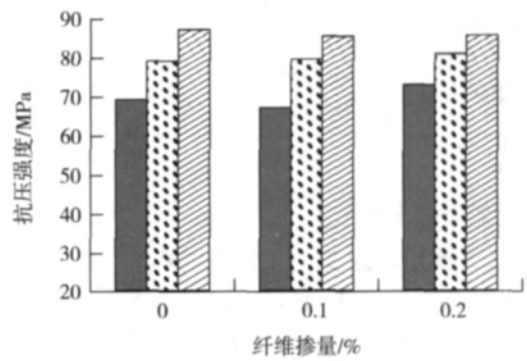
图 1 纤维掺量对混凝土劈裂强度的影响



(a) 3 d



(b) 28 d



(c) 56 d

■ 0% ▨ 5% ▩ 10%

图 2 硅灰掺量对混凝土抗压强度的影响

不同硅灰掺量下, 呈现一致的规律性。各种硅灰掺量的混凝土, 纤维掺量为 0.2% 时, 均可使劈裂强度提高 10% 以上。由图 2 可以看出, 硅灰的加入, 对混凝土早期强度有较大影响, 即硅灰加入后, 混凝土早期强度得到较快发展。主要原因是硅灰的加入促进了水泥颗粒的水化, 且硅灰自身也有较高的活性, 与水泥熟料一起水化生成了具有胶凝性的水化产物。未反应的硅灰颗粒, 由于其颗粒粒径非常小, 便可填充到水泥水化后产生的空隙内, 既使混凝土更加密实, 也使强度进一步提高。从图 2 中还可以看出, 纤维的加入, 对混凝土的抗压强度影响较小。

2.3 硅灰、纤维对混凝土早期收缩性能的影响

试验混凝土设计强度为 C50, 在不同的试验条件下进行。一种试验条件是保持相同水灰比, 另一种试验条件是保持相同的坍落度, 通过 2 种试验条件考察纤维掺量为 0、0.7、1.4、2.8 kg/m³ 时对混凝土早期收缩性能的影响。每种试验条件准备 4 组试件, 包括 1 组不掺纤维的基准试件和 3 组不同纤维掺量的试件。每组 2 个试件, 在相对湿度 (60±10)%、温度 (20±1)℃ 的恒温、恒湿养护室内敞开养护。收缩起测时间为混凝土浇筑后 5 h, 整个测

量过程采用千分表人工读数。测试结果如图 3、图 4 所示。

从图 3、图 4 可以看出, 纤维的加入对于混凝土早期收缩有一定抑制作用。水灰比相同但纤维掺量不同时, 纤维掺量对混凝土早期收缩的抑制作用较明显, 且掺量在 1.4、2.8 kg/m³ 时的收缩值相差不大。保证混凝土坍落度相同时, 不同纤维掺量的混凝土收缩值有一定差异, 且随着纤维掺量的增加, 混凝土收缩值降低, 但降低并不明显。同时, 在纤维掺量为 1.4、2.8 kg/m³ 时收缩值相差不大。2 个试验结果都表明, 当纤维掺量超过 1.4 kg/m³ 时, 纤维抑制收缩的作用不明显, 从经济性考虑, 纤维掺量在 1.4 kg/m³ 左右为宜。

2.4 硅灰、纤维混凝土在重庆石马河特大桥工程中的应用

重庆市石马河特大桥设计桥长 942 m, 是主跨为 106 m+2×200 m+106 m 的预应力混凝土连续钢构, 桥墩为空心薄壁高墩和圆柱式混凝土结构。该桥单跨跨度大, 施工环境较差, 是巫奉高速公路的关键工程。

该桥采用 C55 混凝土, 其配合比见表 5。

实验室及现场测试均显示, 按此配合比配制的

表 4 试验每 m³ 混凝土材料的用量

编号	水泥 /kg	砂 /kg	石子 /kg	硅灰 /kg	纤维 /kg	减水剂 /kg	用水量 /kg	坍落度 /mm
1	490	695	1 268	49	0	3.6	195	140
2	490	695	1 268	49	0.7	3.6	195	110
3	490	695	1 268	49	1.4	3.6	195	100
4	490	695	1 268	49	2.8	3.6	195	85
6	490	695	1 268	49	0.7	3.8	201	140
7	490	695	1 268	49	1.4	3.9	205	140
8	490	695	1 268	49	2.8	4.1	210	140

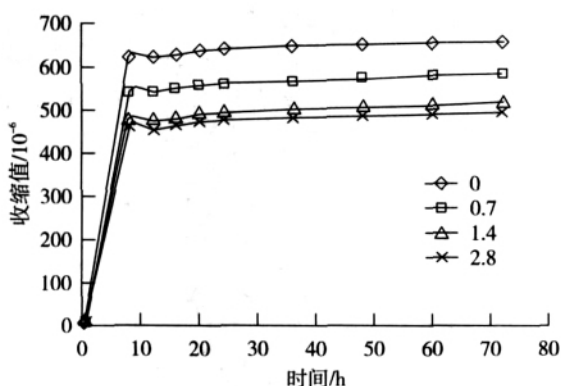


图 3 同水灰比时混凝土早期收缩

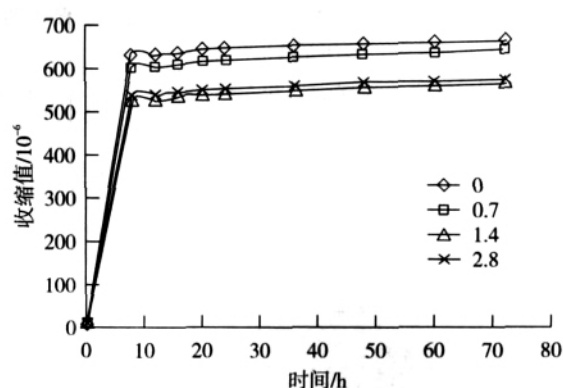


图 4 同坍落度时混凝土早期收缩

表 5 石马河特大桥 C55 混凝土配合比

材料名称	水泥	细骨料	粗骨料	水	外加剂	硅粉	纤维
用量/kg	480	656	1 140	170	6.24	19	0.5
比值	1.00	1.37	2.38	0.35	0.013	0.04	0.001

混凝土,其坍落度试验结果达到 180 mm,且不离析、无泌水,满足设计与施工要求。经测试,表 5 的配合比 7 d 抗压强度 53.0 MPa,28 d 抗压强度 71.2 MPa,符合设计要求。

掺硅灰、纤维的混凝土在重庆石马河特大桥工程中得到应用,并取得了较好效果。在桥面混凝土中掺入聚丙烯纤维可有效提高桥面的抗裂性,改善桥面混凝土刚性自防水的能力,使桥面板、帽梁、墩台等结构受到保护,减少混凝土的耐久性破坏,延长桥梁的使用寿命。

3 结论

1) 硅灰、纤维的掺入对混凝土工作性有较大影响,可通过调节高效减水剂的掺量来激发硅灰的减水作用,改善硅灰、纤维混凝土的工作性能。

2) 纤维可较显著地提高硅灰混凝土的抗裂性,掺量为 0.2% 时,混凝土劈裂强度提高 10% 以上。硅灰可显著提高混凝土的早期抗压强度。

3) 纤维的掺入有利于减少掺加了硅灰的混凝土的早期收缩,且在一定掺量下,对混凝土的整体性能无不良影响。

4) 纤维掺量对有相同水灰比和相同坍落度且

掺有硅灰的混凝土的早期收缩的抑制作用不同,相同水灰比时的作用效果要好于相同坍落度时。

参考文献

- [1] 张承志. 商品混凝土[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 吴中伟, 廉惠珍. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [3] Antonio P, Pietro L. Early development of properties in a cement paste: A numerical and experimental study[J]. Cement and Concrete Research, 2003(33): 1013-1020.
- [4] 刘立, 赵顺增, 吴勇. 矿物外加剂对混凝土收缩开裂的影响研究[J]. 膨胀剂与膨胀混凝土, 2008(2): 47-50.
- [5] 姚春梅, 詹炳根. 聚丙烯纤维对混凝土抗裂性的影响[J]. 合肥大学学报: 自然科学版, 2008(12): 2005-2008.
- [6] 刘霞. 混凝土高性能掺合料的开发研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.
- [7] 温小栋, 潘伟, 许永和. 聚丙烯纤维对混凝土拌合物性能的影响[J]. 建筑技术, 2009(2): 177-179.
- [8] 刘旭晨, 赵景海. 矿物掺合料对高强度混凝土配制的影响[J]. 混凝土, 2002(10): 46-49.
- [9] 姚燕, 王玲, 田培. 高性能混凝土[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [10] 孙家瑛, 陈建祥, 陆罡. 硅灰对水泥基 PP 纤维纤维复合材料路用性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2000, 3(1): 80-83.

(上接第 11 页)

- [6] 科技资讯, 2009(7): 99.
- [6] 黄永明. 论公路工程中预应力锚索框架梁的施工技术[J]. 广东科技, 2008(20): 199-201.
- [7] 郭光宇. 边坡加固预应力锚索框架梁在高速公路中的应用[J]. 浙江建筑, 2007(11): 41-44.
- [8] 朱焕春. 某边坡锚杆应力状态测试与分析[J]. 岩土工程学报, 2000(4): 471-474.

- [9] 吴礼舟, 黄润秋. 锚杆框架梁加固膨胀土边坡的数值模拟及优化[J]. 岩土力学, 2006(4): 605-608.
- [10] 宋修广, 张思峰, 李英勇. 路堑高边坡开挖、锚固数值模拟及稳定性分析[J]. 公路交通科技, 2005(4): 38-40.
- [11] 吕庆, 孙红月, 尚岳全, 等. 预应力锚索框架梁体系加固破碎岩质边坡合理间距研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006(1): 136-140.