

混杂聚丙烯纤维混凝土性能研究

孙家瑛

(上海市市政工程研究院, 上海 200031)

[摘要] 本文研究了二种直径聚丙烯纤维混杂配制的混凝土的强度、耐磨性能、抗氯离子渗透性能、气渗、碳化等。综合论述了混杂聚丙烯纤维对混凝土力学性能和耐久性能的影响, 探讨和分析了混杂纤维混凝土耐磨性能和劈拉强度提高的机理。

[关键词] 混杂聚丙烯纤维; 力学性能; 碳化; 耐磨性。

[中图分类号] TU528.572 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1002-3550(2003)11-0016-02

1 前言

混凝土的一个较大的缺点是其抗拉强度和极限拉应力变化较低^[1]。在某种意义上, 混凝土的这种缺陷限制了它的使用, 或者说增加了混凝土的不稳定性。聚丙烯纤维加入可以通过大量吸收能量, 大幅度提高混凝土抗裂能力及改善其抗冲击性能^[2], 并能大幅度提高高性能混凝土的抗折强度和降低其脆度系数^[3]。为了进一步了解纤维混凝土的物理力学性能, 本文选用两种直径聚丙烯纤维混杂配制混凝土, 研究纤维混凝土的抗压强度、耐磨、抗氯离子渗透、气渗及碳化等性能与两种直径纤维混杂比例的关系, 以及聚丙烯纤维对高性能混凝土耐久性能的影响。

2 原材料及试验方法

2.1 试验用原材料

水泥: 采用 P·O32.5 普通硅酸盐水泥, 化学成分及物理力学性能见表 1 和表 2。

表 1 水泥与矿渣的化学成分 wt %

样品	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	TiO ₂	烧矢量
水泥	21.4	5.8	2.5	1.6	61.8	3.8	0.4	1.62
矿渣粉	32.3	14.3	0.2	7.7	39.0	3.0	0.5	1.89

表 2 水泥物理力学性能

初凝 /min	终凝 /min	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		7天	28天	7天	28天
200	252	17.0	40.1	3.0	6.9

活性掺合料: 采用宝田新型建材有限公司生产的磨细矿渣粉, 细度为 4000cm²/g, 化学成分参见表 1。

集料: 砂为中粗砂, 细度模数 2.8, 石料采用 5mm~25mm 的石灰石。

纤维: 采用张家港合成纤维有限公司生产的聚丙烯纤维, 性能见表 3。直径有粗细二种规格。

2.2 试验方法

配制基准混凝土的配合比为: 水泥 312kg/m³、矿渣 78kg/m³、砂 578kg/m³、碎石 1248kg/m³、水 175kg/m³。纤维掺量为 0.2% (体积百分数)。

表 3 聚丙烯纤维的物理性能

密度/(g/cm ³)	0.91
纤维度/mm	19
融化温度/℃	160~170
燃点/℃	590
弹性模量/GPa	3.5
抗拉强度/MPa	560~770

纤维增强混凝土耐磨试件尺寸为 15cm×15cm×7cm。试验方法按 GB/T12988-91《无机地面材料耐磨性试验方法》进行。耐磨性用磨坑宽度 L 表示, 单位 mm, 耐磨试验每组 5 块, 取十次试验平均值。

混凝土抗压强度采用 100mm×100mm×100mm 试件, 按 GBJ81-85 要求进行成型, 标准养护 7 天, 28 天后测试其强度。

混凝土碳化试验按照 GBJ82-85,《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中快速碳化试验方法进行。采用 100mm×100mm×300mm 长方体试件, 标准养护 26 天, 在 60℃ 烘 48 小时取出测试。

混凝土气体渗透试验按照 RILEM TC116-PCD 步骤进行。每组两块, 试块采用直径 150mm, 高度为 50mm 的圆柱体。养护时尽量减少试块与外界环境的水分交换。养护在 20℃ 的室内进行, 立即将试块密封保存。采用氮气作为渗透气体, 渗透压力分别为 1.5bar、2.0bar、3.0bar (绝对压力)。计算各压力下的渗透系数 K_i, 取平均值即得各配比混凝土的渗透系数 K。

混凝土氯离子渗透性能采用 ASTM C1202 建议的电量法测定, 试件为直径 100mm, 高度 50mm 的圆柱体混凝土。

3 试验结果与讨论

3.1 混杂聚丙烯纤维混凝土力学性能

掺加二种直径的聚丙烯纤维 (掺量为 0.2%), 对水泥混凝土抗压强度影响试验结果列于表 4, 劈拉强度影响见表 5。

表 4 混杂聚丙烯纤维对水泥混凝土抗压强度影响

编号	细纤维掺量 /%	粗纤维掺量 /%	强度/MPa	
			28天	90天
KB	/	/	34.8	42.4
A	0.14	0.06	34.1	39.7
B	0.10	0.10	33.1	40.4
C	0.06	0.14	31.6	37.6

[收稿日期] 2003-06-11

表5 混杂聚丙烯纤维对混凝土劈拉强度影响

编号	细纤维掺量/%	粗纤维掺量/%	劈拉强度/MPa
KB	/	/	2.28
A	0.14	0.06	2.82
B	0.10	0.10	2.94
C	0.06	0.14	2.40

由表4的试验结果可知,在混凝土中掺加少量聚丙烯纤维后,对其抗压强度影响不大,但当所掺加的聚丙烯纤维中细纤维含量小于粗纤维,其强度最低,二种纤维含量相等,抗压强度最高。

由表5的结果可见在混凝土中掺加聚丙烯纤维可以提高混凝土的劈拉强度,并且当粗细纤维含量相等时,混凝土劈拉强度最高,较之基准混凝土提高约30%,而细纤维掺量小于粗纤维掺量其劈拉强度提高幅度仅为5%左右。因此实际工程中,在混凝土中掺加0.2%等量粗细聚丙烯纤维,既具有较好的抗塑性干缩开裂性能,又不恶化混凝土抗压强度,同时可使其劈拉强度有较大改善,具有较好的技术经济性能。

3.2 混杂聚丙烯纤维对混凝土耐磨性能影响

表6为各组试件的耐磨测试结果。由表可知,在混凝土中掺加聚丙烯纤维可以明显提高混凝土的耐磨性能,纤维混凝土B试样的磨坑宽度仅为基准混凝土KB试样的80%左右。原因在于混凝土中掺加纤维可以大大改善水泥基材与集料间的整体性。此外混杂聚丙烯纤维之间的比例对混凝土耐磨性影响不大。由此可见,掺加一定量的聚丙烯纤维是混凝土获得高耐磨性的有效途径之一。

表6 试件的耐磨性测试结果

编号	细纤维用量/%	粗纤维用量/%	磨坑宽度/mm
KB	/	/	28.5
A	0.14	0.06	23.9
B	0.10	0.10	23.0
C	0.06	0.14	23.6

3.3 混杂聚丙烯纤维混凝土抗氯离子渗透性能

市政工程混凝土构筑物中的下水道、桥梁、沿海道路等长期处于有害离子环境中,各种有害离子可以从各种的渗透源进入混凝土内部,其中最主要的是海水、生活污水、除冰盐等。特别是除冰盐已经在许多国家对桥梁等建筑物造成惊人的破坏。因此研究氯离子在混凝土内部的渗透对提高钢筋混凝土的耐久性有重要意义。

每种纤维混凝土配合比按粗细纤维比例不同测定的氯离子渗透试验结果见表7。

表7 各种纤维混凝土的氯离子渗透性能

编号	细纤维掺量/%	粗纤维掺量/%	通过电量/库仑
KB	/	/	868
A	0.14	0.06	982
B	0.10	0.10	836
C	0.06	0.14	818

由试验结果可知,在混凝土中掺入大量细纤维,混凝土抗氯离子性能明显下降,并随细纤维掺量增加而下降。但在所掺的纤维中用一些粗的纤维来等量替代细纤维可以使混凝土抗氯离子渗透能力提高,当粗纤维替代量增加其抗氯离子渗透能力提高幅度随之加大。这是由于粗纤维增加,在相同的掺量条

件下混凝土中的界面数量减少的缘故。

3.4 混杂聚丙烯纤维对混凝土碳化的影响

采用二种不同直径聚丙烯纤维混杂掺入混凝土,研究了混杂纤维对混凝土碳化的影响,结果见表8。

表8 各种混凝土的碳化深度

编号	细纤维掺量/%	粗纤维掺量/%	碳化深度/mm	
			7天	28天
KB	/	/	2.8	7.1
A	0.14	0.06	17.6	全部碳化
B	0.10	0.10	11.5	11.9
C	0.06	0.14	12.6	12.9

由表中的结果可以发现,在混凝土中掺加聚丙烯纤维使混凝土的抗碳化能力下降,并随细纤维含量增加而明显下降。当细纤维掺量占整个纤维掺量70%时,混凝土7天碳化深度达17.6mm,28天则全部碳化。细纤维掺量占整个纤维掺量50%时,纤维混凝土的抗碳化能力最佳,但比基准混凝土差。究其原因在于混凝土中掺加纤维使混凝土各相间的界面增加,气体的渗透能力提高导致CO₂容易扩散至混凝土内部与水泥产物进行中性化反应而造成的。

3.5 混杂聚丙烯纤维对混凝土气渗的影响

采用二种不同直径聚丙烯纤维混杂掺入混凝土,测试了纤维混凝土的气体渗透系数,测试结果见表9。

表9 各种混凝土的气渗系数

编号	细纤维掺量/%	粗纤维掺量/%	气渗系数/(K * 10 ⁻¹⁶ m)
KB	/	/	1.15
A	0.14	0.06	6.24
B	0.10	0.10	3.36
C	0.06	0.14	3.89

由试验结果可知纤维混凝土的气渗系数明显大于普通基准混凝土的气渗系数,并随所掺纤维中细纤维含量增加而增加。当细纤维掺量70%时,混凝土气渗系数达6.24 * 10⁻¹⁶,是普通基准混凝土5倍。细纤维掺量占整个纤维掺量50%时,纤维混凝土的气渗系数最小为3.36 * 10⁻¹⁶,但仍比基准混凝土大1倍以上。这就可以解释纤维混凝土抗碳化能力比普通混凝土差的原因。

在混凝土中掺加混杂聚丙烯纤维能使混凝土抗碳化能力和抗气体渗透能力下降。而且相对于混凝土碳化性能和气渗系数而言有一个最佳的聚丙烯纤维混杂比例。这是因为聚丙烯纤维在混凝土中有二个作用,其一是提高混凝土抗塑性收缩能力,其二是增加混凝土中界面的数量。当混凝土抗裂能力大于其界面数量增加而造成混凝土性能劣化的作用,混凝土就表现为抗碳化能力和抗气体渗透能力提高,反之则表现为混凝土抗碳化能力和抗气体渗透能力下降。当细纤维掺量占整个纤维掺量70%时,混凝土界面数量增加所造成的负作用远大于纤维抗裂特性所产生的正效应,混凝土宏观表现为抗气体渗透能力大幅度下降。在所掺的聚丙烯纤维中粗细纤维比例为1:1时,混凝土抗裂能力几乎没有变化,但混凝土中的界面数量大幅度下降,从而导致混凝土的整体抗碳化能力和抗气体渗透能力最佳。进一步增加粗纤维数量,虽然混凝土中界面数量下降,但混凝土抗裂能力下降,并且下降幅度远大于由界面数量减少所带来的正面效应,因此综合以上两个作用造成混凝土抗碳化能力和抗气体渗透能力下降。

· 下转第20页 ·

3.3 抗压强度

图4~6分别给出了不同长径比钢纤维混凝土抗压强度随微硅粉掺量的变化。在图4钢纤维长径比为60的混凝土系列中,微硅粉的掺入均提高了其抗压强度;而与素混凝土抗压强度相比,掺入钢纤维的均有不同程度的降低,仅在微硅粉掺量达到10左右,其强度才与素混凝土持平。而在图5与图6中,与素混凝土相比,掺有钢纤维的混凝土强度都降低了,尤其在钢纤维长径比为83时,其降低近40%。然而对于掺有相同体积同长径比的钢纤维混凝土,微硅粉掺量越大,其抗压强度越大。

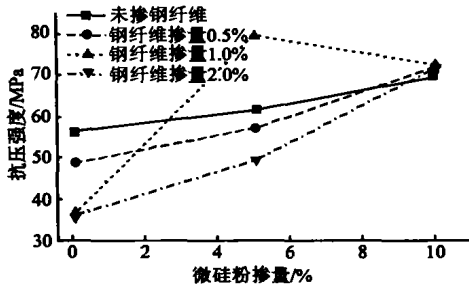


图4 微硅粉对抗压强度影响(长径比为60)

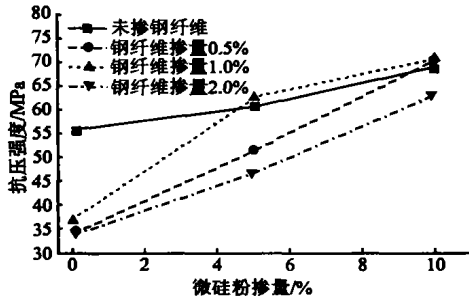


图5 微硅粉对抗压强度影响(长径比为75)

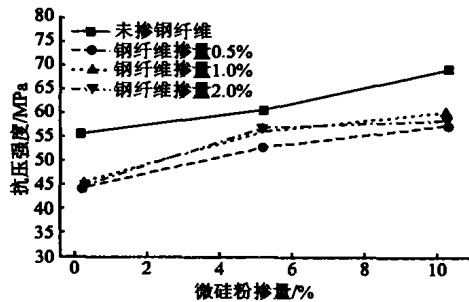


图6 微硅粉对抗压强度影响(长径比为83)

·上接第17页·

4 结论

4.1 在混凝土中掺加混杂聚丙烯纤维对混凝土抗压强度影响不大,但可提高混凝土劈拉强度,粗细二种纤维掺量相当时,混凝土劈拉强度最高。

4.2 在混凝土中掺入混杂聚丙烯纤维可以改善其抗磨耗性能和抗氯离子渗透能力。当粗细二种纤维比例对混凝土耐磨性影响不大。

4.3 纤维混凝土的抗碳化能力和抗气体渗透能力均比普通基准混凝土差。但当粗细二种纤维掺量相当时,混凝土抗碳化能力较之掺加单种纤维优越。

4 结论

从以上试验结果,可以得到如下结论:

(1)增加微硅粉掺量和增大钢纤维长径比能显著增加新拌钢纤维混凝土维勃秒;

(2)随着钢纤维掺量的增大,新拌钢纤维混凝土的含气量降低;微硅粉掺量的增大能显著降低体系的含气量;

(3)与相同配比的普通素混凝土相比,同时掺加10%的微硅粉和体积含量为2%的、长径比是60的钢纤维,劈裂抗拉强度能提高129.91%;

(4)掺有10%的微硅粉能有效提高钢纤维混凝土抗压强度,与相同配比素混凝土相比,长径比为60的钢纤维掺量在1%时,其提高幅度最大,达到28.27;而未掺微硅粉时,与素混凝土相比,其抗压强度降低,可达35.09%。

[参考文献]

- [1]刘彩平,鞠扬,周宏伟.钢纤维高强混凝土力学性能的研究与应用[J].混凝土与水泥制品,2000(增刊).
- [2]孙伟.钢纤维对高强混凝土的增强、增韧与阻裂效应的研究[J].东南大学学报,1991,(1).
- [3]程远兵.钢纤维高强混凝土受压时的应力-应变性能[J].国外建材科技,1996,(1).
- [4]Wafa, F. F. and Ashour, S. A. Mechanical properties of high strength fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal, 89(5): 449-455.
- [5]蒲心诚.超高强混凝土的研究与应用[J].混凝土,1993,(5).
- [6]Pierre Richard and Marcel Cheyrezy, Composition of reactive powder concrete, Cement and Concrete Research, 1995, 25(7): 1501-1511.
- [7]Pierre Richard and Marcel Cheyrezy, Reactive powder concrete with high ductility and 200MPa~800MPa compressive strength, Concrete technology, 1997, (2): 509-517.
- [8]钟鸣,罗立峰,周建春.乳胶增强钢纤维混凝土机理的研究[J].混凝土与水泥制品,2000(增刊).
- [9]钱江萍,贡浩平,孙伟.纤维混杂增强水泥基复合材料特性的研究.混凝土与水泥制品,1997,(6).
- [10]华渊,曾艺.纤维混杂效应的试验研究[J].混凝土与水泥制品,1998,(4).

[作者简介] 陈兵(1973-),男,安徽安庆人,博士。研究领域为:水泥基材料的组成、结构与性能,无机-有机新型复合建筑材料的制备与性能分析,机敏水泥基复合材料的研究以及水泥基材料的无损检测。

[单位地址] 上海交通大学建筑与力学学院(200240)

[联系电话] 021-54744255

[参考文献]

- [1]Ling Faming, Fracture Characterization of Fiber Reinforce Concrete in Direct Uniaxial Tension, PH. D Dissertation. The Hong Kong University of Science of Technology, 1998.
- [2]孙家瑛.聚丙烯纤维对高性能混凝土抗折强度、抗冲击性能影响研究[J].混凝土,1999,(6):90.
- [3]孙家瑛.硅灰对水泥基PP纤维复合材料路用性能的影响[J].建筑材料学报,2000,3(1):80.

[作者简介] 孙家瑛(1960-),男,高级工程师。

[单位地址] 上海市建国西路609号(200031)

[联系电话] 021-64370085