

聚丙烯纤维在混凝土高温后抗压抗折 中不同表现的分析

王平¹, 方晓², 陈瑞生³

(1. 同济大学 建筑工程学院, 上海 20092; 2. 杭州房屋开发总公司, 浙江 杭州 310014;

3. 浙江工业大学 建筑设计研究院, 浙江 杭州 310032)

摘要:高性能混凝土的抗火性能比普通混凝土差,在混凝土中加入聚丙烯微纤维可作为一种有效的混凝土温差补偿抗裂手段。通过大量高温和力学试验,研究了聚丙烯纤维在不同温度下对矿渣和硅灰高性能混凝土的抗压、抗折的影响并发现对不同的力学指标纤维的作用相差很大。笔者尝试从高温中和高温后 PP 纤维在混凝土中的力学行为着手分析其在混凝土高温后不同力学性能的贡献。

关键词:力学性能;高温;聚丙烯纤维

中图分类号: TU528.34

文献标识码: A

文章编号: 1006-4303(2004)03-0333-05

Analysis of polypropylene's different contribute to compressive and flexural property of concrete after high temperature

WANG-Ping¹, FANG-Xiao², CHEN Rui-sheng³

(1. College of Civil and Engineering, Tongji University, Shang hai 200092, China;

2. Hang Zhou Real Estate Development Co., Hang Zhou 310014, China;

3. the Architectural Design & Research Institute of Zhe jiang University of Technology, Hang Zhou 310032, China)

Abstract: Fire behavior of high performance concrete is less than common concrete, it is an efficient means to resist crack when adding polypropylene to concrete. Based on large numbers of experiments, the effect of polypropylene on mechanical property of high performance concrete after high temperature is studied, and great different is found in difference mechanical property. A trying analysis of Polypropylene's different contribute to compressive and flexural property of concrete after high temperature is given, in terms of the behavior of polypropylene under and after elevated temperature.

Key words: mechanical property; high temperature; polypropylene fibre

1 聚丙烯(polypropylene, PP)纤维在混凝土中的高温行为模型

1.1 高温中的 PP 纤维

混凝土中的 PP 纤维在 56~67℃前有一定强度,可以约束温度裂纹,此后开始软化;165~170

收稿日期:2003-04-10;修订日期:2004-02-15

作者简介:王平(1974-),男,安徽肥东人,硕士,主要从事结构设计工作。

℃开始熔融逐渐变为低粘性的液体。由于 PP 纤维有极高的热膨胀系数, 尽管其弹性模量较小, 但是也会对周边混凝土产生挤压作用, 当应力超过界面区强度时, 使得界面区水化晶体扭曲位错产生塑性变形甚至是微裂纹, 并使原有的微裂纹进一步扩张, 250 ℃以上开始汽化且随气压增加而提高转变温度。汽化后的 PP 从混凝土微裂隙中渗出, 和水蒸汽一样遵守气体分压原理、达西渗透原理和质量、能量守恒原理, 对混凝土产生类图 1 似的挤压冲刷作用。但由于其自身的孔径要远大于高性能混凝土的微孔隙尺寸, 有利于缓解较高温度下高性能混凝土的极高蒸汽压。

1.2 高温后的 PP 纤维

经历 250 ℃以下高温的 PP 纤维冷却收缩, 使得纤维与混凝土界面有脱粘趋势, 产生拉应力甚至微裂纹或彻底脱开。经历 250 ℃以上高温的 PP 纤维由于渗透受阻而残留的部分会再冷凝成纤维, 但界面强度和长度会降低。

2 聚丙烯纤维在高温后混凝土中的力学行为模型

PP 纤维在混凝土中构成乱向支撑体系。考虑到混凝土本身是多级二相复合材料, 实践表明对其材料性能统计平均后离散成均匀材料进行力学分析可以满足工程要求。我们可以把 PP 纤维离散到混凝土微元中去。高温后残存纤维和混凝土之间的粘结情况可按见图 1 分类。对于界面区高温强度较弱的, 高温蠕变, 冷却脱粘, 粘结强度几乎损失殆尽。对于中等界面区高温强度的, 高温蠕变, 冷却后受拉生成微裂区(或塑性变形区), 粘结强度有一定损失。对于界面区高温强度较高的, 高温蠕变较小, 冷却后有完整的局部拉应力区, 粘结强度损失很少。

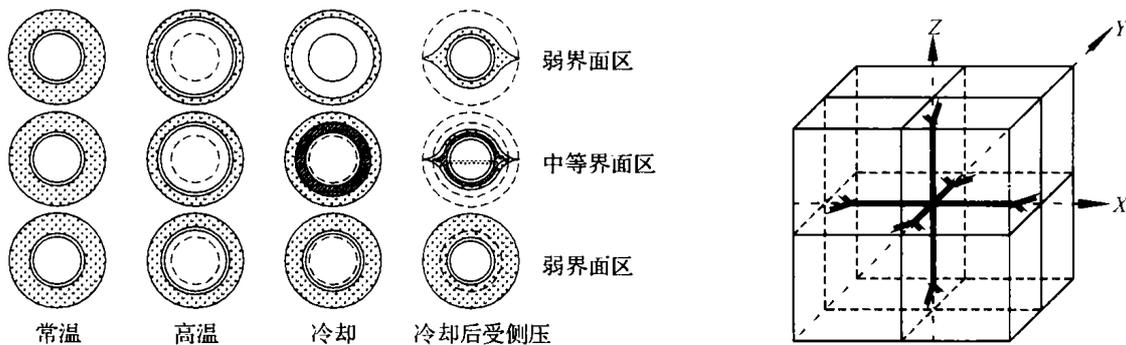


图 1 高温后残存纤维和混凝土之间的粘结情况

受压时, 不妨假定 Z 向受压, Z 向压缩, X, Y 向膨胀, X, Y 向纤维侧面受压、受剪, 纵向受拉。似光圆钢筋在混凝土中的作用机理, 纤维的粘结力也可分为胶着力, 摩擦力, 咬合力, 其中胶着、摩擦力占主导地位。存在足够侧压时, 胶着力的丧失并不会导致粘结失效或大幅削弱。纤维仍能发挥约束增强作用。

受拉时, 不妨假定 z 向受拉, z 向拉伸, X, Y 向收缩, Z 向纤维侧面受剪, 纵向受拉。由于没有侧压作用, 胶着力的丧失会导致粘结失效或大幅削弱, 纤维很难发挥约束增强作用。

3 试验方案

3.1 试验方案

为了对比纤维对不同温度作用后不同种类混凝土的抗压和抗折性能的影响, 验证预期抗爆裂效果, 本次试验设计了掺纤维和不掺纤维的试件。为了对比研究不同矿物掺和料对其高温性能的影响, 本次试验设计了掺磨细矿渣和硅灰的高性能混凝土试件和普通混凝土试件。

表 1 混凝土配合比

Mix	水泥 /kg	磨细矿渣 /kg	硅灰 /kg	拌合水 /kg	中砂 /kg	硅质碎石 SCR	钙质碎石	减水剂 /kg	复合纤维 PPF/kg
						5~20 mm /kg	CCR5~15 mm /kg		
40*	425	/	/	187	608	1180(5~31.5)	/	/	/
50*	261	261	/	187	684	1023	/	3.12(0.6%)	/
51*	261	261	/	187	684	1023	/	5.2(1%)	1.8(0.2%)
80*	324	216	/	162	688	1030	/	4.32(0.8%)	/
81*	324	216	/	162	688	1030	/	7.02(1.3%)	1.8(0.2%)
10*	540	/	60	150	660	/	1150	7.2(1.2%)	/
11*	540	/	60	150	660	/	1150	7.8(1.3%)	1.8(0.2%)

实验原材料:胶材采用上海“海螺”C42.5 普通硅酸盐水泥、上海“象牌”磨细矿渣和北京“埃肯”硅灰;细骨料为黄砂,中砂;粗骨料为连续级配 5~20 mm 粒径硅质碎石和 5~15 mm 粒径钙质碎石;外加剂采用上海花王萘系高效减水剂迈地-100;聚丙烯纤维采用东华大学提供的用拉丝工艺制作的聚丙烯拉丝纤维(简称拉丝 PP 纤维),基本物理性能长度 15 mm 直径 45 μm 密度 0.91 g/cm^3 弹性模量 8.0 GPa 抗拉强度 40 MPa 熔点 165 燃点 593 断裂延伸率 8.2%。

试验中采用的混凝土配合比如表 1 所示。表中 40* 表示设计强度 C40 的普通混凝土,50* 和 51* 分别表示设计强度为 C50 的不掺 PP 和掺 PP 的矿渣混凝土,80* 和 81* 分别表示设计强度为 C80 的不掺 PP 和掺 PP 的矿渣混凝土,10* 和 11* 分别表示设计强度为 C100 的不掺 PP 和掺 PP 的硅灰混凝土。

3.2 试验过程

高温试验在上海科成工业炉设备厂生产的 DRX-36 型混凝土燃烧试验设备中以 23 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 左右的速率升温至预定热处理温度 100~900 $^{\circ}\text{C}$ (以 100 $^{\circ}\text{C}$ 为间隔)后恒温 3~4 h,打开炉门随炉在空气中冷却。详细升降温过程见图 2。试验中的 80* 批混凝土试件在 700 $^{\circ}\text{C}$ 以上,10* 在 700 $^{\circ}\text{C}$ 以上全部观察到爆裂;而掺 PP 纤维的相应试件均未发现爆裂。

抗压强度采用 100 mm \times 100 mm \times 100 mm 混凝土试件,在 NYL2000 型液压试验机上按照 GBJ81-85 进行测定;抗弯强度及荷载-挠度全曲线采用 100 mm \times 100 mm \times 515 mm 混凝土试件,在长春试验机研究所生产 CSS-44010 电子万能试验系统上根据 GB 通过四点弯曲试验测定。

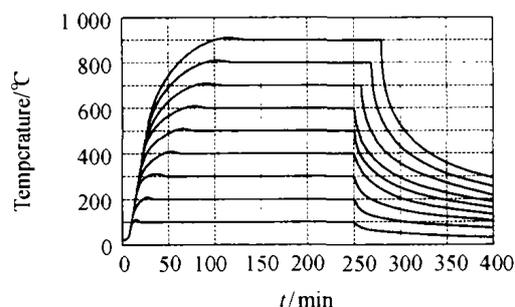


图 2 炉膛升降温曲线

4 试验结果分析

为探索高温对纤维作用的影响,剔除 PP 纤维本身对混凝土的影响后将各种混凝土高温后相对常温下的力学指标演化规律对比如下。

(1) 抗压强度

掺与不掺 PP 纤维的各种高性能混凝土高温后立方体相对抗压强度演化规律对比见图 3。

(2) 抗折强度

掺与不掺 PP 纤维的各种高性能混凝土高温后棱柱体相对抗折强度演化规律对比见图 4。

(3) 抗折弹性模量

掺与不掺 PP 纤维的各种高性能混凝土高温后棱柱体相对抗折弹性模量演化规律对比见图 5。

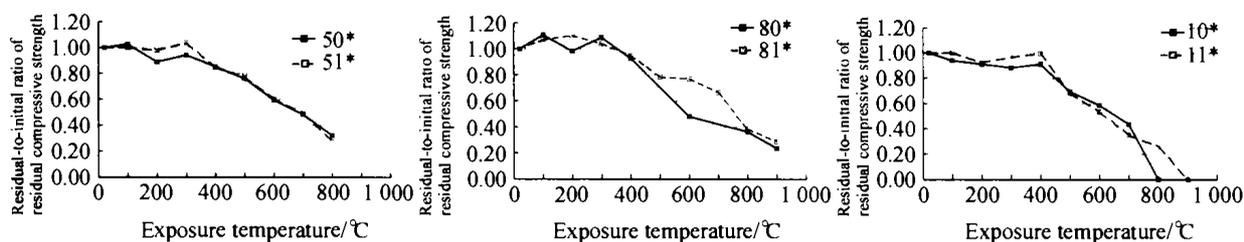


图 3 掺与不掺 PP 纤维的高性能混凝土高温后立方体相对抗压强度对比

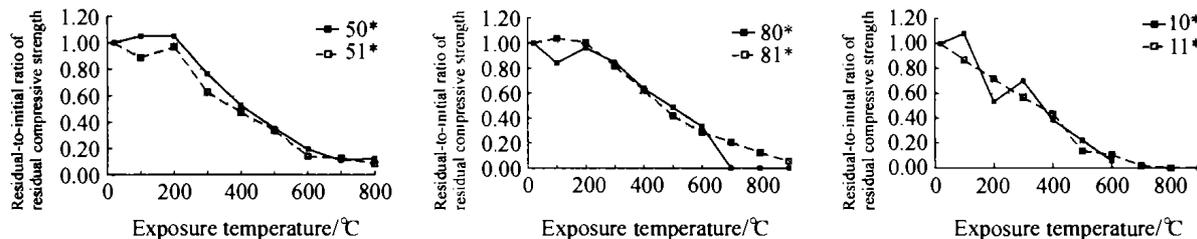


图 4 掺与不掺 PP 纤维的高性能混凝土高温后棱柱体相对抗压强度对比

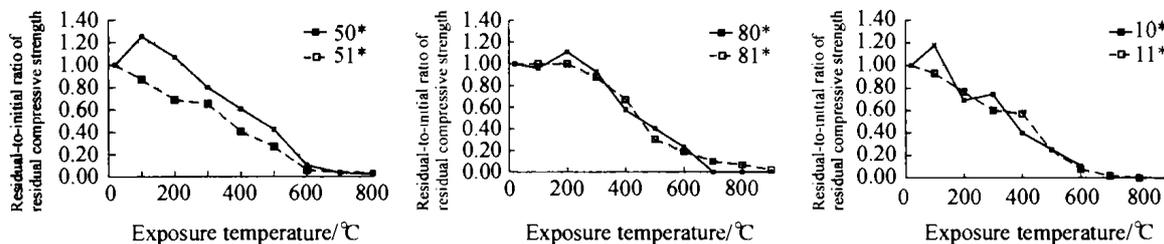


图 5 掺与不掺 PP 纤维的高性能混凝土高温后棱柱体相对抗压弹性模量对比

(4) 抗折总能量

掺与不掺 PP 纤维的各种高性能混凝土高温后棱柱体相对抗折总能量演化规律对比见图 6。

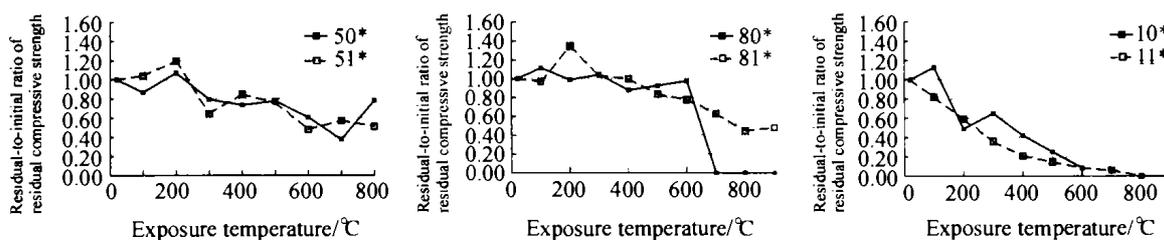


图 6 掺与不掺 PP 纤维的高性能混凝土高温后棱柱体相对抗折总能量对比

(5) 抗折断裂挠度

掺与不掺 PP 纤维的各种高性能混凝土高温后棱柱体抗折断裂挠度演化规律对比见图 7。

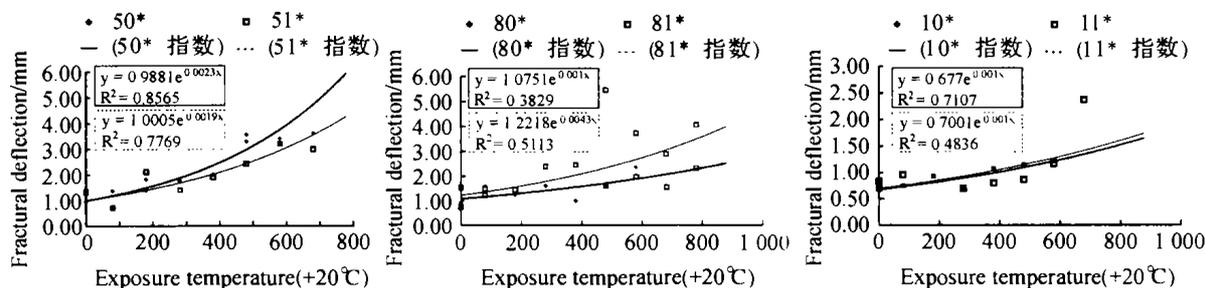


图 7 掺与不掺 PP 纤维的高性能混凝土高温后棱柱体断裂挠度对比

(6) 试验结果分析

(a) 综合研究成果可以发现 PPF 在不同温度段,对不同种类混凝土的不同强度指标有不同的影响。从抗压强度来说,较高温度下 PPF 熔熔后,形成新的通道释放蒸汽压,避免了抗压强度过分损失甚至爆裂,300 ℃ 以内对各种混凝土都有一定抵抗温度应力阻裂增强作用,这是以前的研究所没有发现的。

(b) 从抗折强度来说,常温下阻裂增韧作用正常发挥,较高温度下释放过高的蒸汽压而提高了抗折强度;令人惊奇的是,较低温度下(300 ℃ 以内)该 PPF 加剧了 C80 矿渣混凝土外的 HPC 高温抗折强度的退化,这似乎和抗压强度矛盾。就此来说,抗折弹性模量中可见与抗折强度中相同的规律。

(c) 从抗折耗能能力来看:抗过高蒸汽压不用再多说,PPF 在较低温度下的增韧耗能作用在 C100 硅灰混凝土中根本不存在,反而大大降低混凝土的耗能能力。

(d) 而掺 PPF 后为保证坍落度增加的减水剂发泡以及延长搅拌时间的引气效果,使得混凝土的封闭孔隙总体积增加(表现在试验中掺 PPF 混凝土密度对比中的干燥失水率和表观密度的降低),且 PPF 本身的热传导率较混凝土低,必然导致混凝土导热率的下降,减少了高温损伤;且 PPF 在软化前仍有阻裂抗温度应力作用。这对混凝土高温后的抗压、抗折性能都是有利的。

(e) 对比 PPF 和混凝土的热膨胀率可以发现以上矛盾的一种解答。PPF 在 300 ℃ 以内高温作用中,由于热膨胀率远大于混凝土,使得界面区混凝土胶体变形和水化物晶体扭曲。如果此处混凝土强度较差则会产生较大塑性变形和劈损伤,冷却后较大的收缩会使界面形成微裂缝,削弱界面粘结强度甚至可能使界面粘结失效。由于抗压时,主拉应变方向上的受力 PPF 周边的这种闭合型裂缝由于主压应力方向和它垂直而压密,侧压力增大了界面摩擦力,使之有效传递 PPF 的锚固剪力,此时界面削弱不会充分体现。这种闭合型的裂缝的压密过程会表现在掺 PPF 混凝土抗压弹性模量的降低上。而抗折时受力 PPF 的锚固界面无足够的压应力作用使得 PPF 有可能滑移而对强度和弹模贡献降低,而对耗能能力的影响则由于滑移中的摩擦耗能而不显著降低,除非界面彻底失效,PPF 滑出。谢狄敏等^[1]指出,劈裂粘结应力在给定滑移量 $S_1=0.25$ mm 时与混凝土抗拉强度成正比,而抗折强度高温损失幅度较抗压强度大,可以肯定即使没有高温变形不相容的影响,PPF 对高温后混凝土抗折的贡献也没有对抗压和抗劈裂大。张彦春^[2]指出的钢纤维对抗折强度贡献不如对劈拉强度明显,但有较好的抗剪性能,也验证了上述应力、应变和粘结裂纹分析的合理性。

(f) 掺高强低熔点的 PPF 能使得混凝土具有高温刺激反应的智能特性^[3],在本文的试验中得到充分展示,但要注意不同的 PPF 和不同的胶凝材料的兼容性,尤其是高温作用后的兼容性。

5 总 结

从本次试验结果来看,可以得出如下结论:

(1) PP 纤维 300 ℃ 以内对高温后混凝土的抗压强度和抗折耗能有助,而对抗折强度和抗折弹模不利,且对抗折弹模的影响大于对抗折强度的影响。

(2) PP 纤维 300 ℃ 以上高温作用后 PP 纤维熔融挥发缓释蒸汽压,对高强混凝土的抗爆裂有明显作用,有利于抗压抗折强度,而对中等强度混凝土影响不大。

(3) 仅从各温度段的平均效果看,PP 纤维的掺入降低了中等强度大掺量矿渣混凝土的延性,提高了高强中等掺量矿渣混凝土的延性,而对硅灰高强混凝土的高温延性贡献不明显。

(4) PP 纤维受高温作用后,其增强增韧效果对不同种混凝土,不同的力学指标呈现不同的随温度演化规律,在进一步的研究和工程运用中需要审慎考虑。 (下转第 348 页)

求。不同居住人群可能有不同的生活方式和生活轨迹,这点将会是不同居住区公园特色塑造的主要出发点,因而也应该成为居住区公园设计的主要依据。

3.2 活动行为和居住区公园的功能

居住区公园有别于其他城市公园的重要一点是,它的场所认同感非常重要,它是居民日常生活场所的重要组成部分,良好的户外环境吸引人参与户外活动,而户外活动的频繁将促进居民间交往的产生,从而密切邻里关系,从社会学意义上说为创建良好的社区提供基本前提。从我们调研的情况看,居民在公园的多数活动行为如聊天、打牌、集体健身等均是广义上的社交活动,从这个角度来说,居住区公园的主要功能是为居民交往提供场所,而通常公园的观景功能可能不应该成为居住区公园的主要功能。当前一些城市住区的户外空间设计过于强调景观、景点的设计而忽略了场所的营造。这点值得进一步探讨。

3.3 使用规律和居住区公园的使用效率

由于土地资源有限,因而节约用地是我国城市规划建设的基本和长远策略之一。在居住区规划设计中同样需要充分利用好土地资源,因此,居住区公园的用地规模也不可能不断做大;在有限的用地条件下如何使得公园尽多地满足不同的活动功能要求呢?通过本使用状况的案例调研,我们认为充分研究不同使用人群和不同使用行为及其时间规律,在功能分区中考虑功能的复合重叠是提高公园使用效率的有效手段。比如,休闲区的使用频繁时段和健身区的使用频繁时段明显有差异,可互相借用空间,只是在规划设计上需要多花时间解决功能复合的问题。再有,绿化空间和活动空间的重叠等均是切实可行的方法。

我国正处于城市化进程较快的历史时期,城市居住区建设量大面广,居住区公园是居住区规划设计的重要组成部分,但这方面的研究落后于城市住宅的研究,期待本文的探讨能在这方面做些有益的尝试,也希望能引起对居住区公园研究的更多关注。

参考文献:

- [1] 克莱尔·库珀·马库斯(美),卡罗林·弗朗西斯. 人性的场所(第二版)[M]. 俞孔坚译. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] 扬·盖尔(丹麦). 交往与空间(第四版)[M]. 何人可译. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 王剑云,应四爱. 从社区的组织管理新模式看居住区的规划结构[J]. 规划师,2003,7:60-62.

(责任编辑:翁爱湘)

(上接第 337 页)

参考文献:

- [1] 谢狄敏,钱在兹. 高温作用后混凝土抗拉强度与粘结强度的试验研究[J]. 浙江大学学报,1998,5:597-602.
- [2] 张彦春,胡晓波,白成彬. 钢纤维混凝土高温后力学性能研究[J]. 混凝土,2001,(9):50-53.
- [3] Schreffler B A, Gawin D, Majorana C E, et al. Analysis of thermo-hydro-mechanical behavior of concrete at high temperature [J]. Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics, 2000, (1): 120-23.

(责任编辑:翁爱湘)