

文章编号:1007-9629(2004)01-0025-04

聚丙烯纤维对高性能混凝土高温性能的影响

鞠丽艳, 张 雄

(同济大学 混凝土材料研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 研究了聚丙烯纤维对高温下高性能混凝土性能的影响. 结果表明, 聚丙烯纤维可在较小程度上提高高温下的混凝土抗折强度, 降低高温下的混凝土动弹性模量损失率, 而对改善混凝土的抗爆裂性能尤其有效.

关键词: 聚丙烯纤维; 高性能混凝土(HPC); 高强混凝土(HSC); 抗折强度; 动弹性模量; 抗爆裂性能

中图分类号: TU528.572 **文献标识码:** A

Investigation of Influence of PP Fiber on Performances of HPC under High Temperature

JU Li-yan, ZHANG Xiong

(State Key Laboratory of Concrete Materials Research, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The influence of PP fiber on concrete properties under high temperature was studied. Test results show that PP fiber can improve flexural strength of concrete to a little extent, reduce loss percentage of concrete dynamic elastic modulus and has significant improvement on anti-spalling of concrete.

Key words: PP fiber; high performance concrete; high strength concrete; flexural strength; dynamic elastic modulus; anti-spalling

混凝土由于具有较高的抗压能力及良好的耐久性, 作为主要的建筑结构材料, 其应用已有 100 多年的历史. 近年来, 高强混凝土(HSC)与高性能混凝土(HPC)的应用已日益普及. 使用常规的方法和材料, 掺加有助于减少用水量和改善工作性的特殊的外加剂或混合材, 生产现拌的 HSC, HPC, 在技术上和工艺上已日趋成熟. 随着 HSC, HPC 在现代混凝土建筑工程中的广泛使用, 它们的防火性能正日益受到重视. 比较 HSC, HPC 与普通混凝土(NSC)的结构特点可发现, NSC 在高温下容易发生的爆裂现象^[1], 对于 HSC, HPC 将更加严重.

对于 NSC 防火性能的研究在国外始于 20 世纪 70 年代后期, 此后国内外关于这方面的研究越来越多, 进展较快^[2~6]. 而有关 HSC, HPC 热性能方面的研究, 则无论在国外还是国内都是最近几年的事. 国内外许多专家学者已在致力于各种加热条件(包括加热速率、最高加热温度、曝露时间等)下混凝土性能的研究. 本文着重研究聚丙烯纤维对混凝土高温抗爆裂性能的影响.

众所周知, 在混凝土中掺入聚丙烯纤维会降低混凝土的流动性, 但不影响其使用, 所以一般不用另行设计配合比. 聚丙烯纤维能有效控制混凝土由于塑性收缩和塑性沉降所产生的裂缝, 同时提

高混凝土的抗冲击韧性和耐磨性,还能使混凝土的抗渗性能和抗冻性能有所改善.聚丙烯纤维在国际上的混凝土工程中已经得到了广泛应用,在国内的混凝土工程中也已逐渐被人们接受.此种纤维对高温下混凝土性能的改善作用,也正被人们所认识.

1 试验原材料与试验方法

1.1 试验原材料

海螺牌 42.5 级普通硅酸盐水泥,比表面积为 $4\ 168\ \text{cm}^2/\text{g}$;粉煤灰为 II 级灰;河砂,细度模数为 2.7,密度为 $2.65\ \text{g}/\text{cm}^3$;玄武岩碎石,粒径为 $5\sim 25\ \text{mm}$;SN-II 减水剂(WRA),减水率大于 15%;聚丙烯纤维的物理性能指标见表 1.掺 PP 纤维混凝土(FRC)与不掺 PP 纤维混凝土(NC)的配合比设计见表 2.

表 1 聚丙烯纤维的物理性能
Table 1 Physical properties of PP fiber used in test

Fiber type	Water absorbability	Fiber diameter/ μm	Density $/(\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	Fiber length/mm	Specific surface area/ $(\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1})$	Melting point/ $^{\circ}\text{C}$	Ignition point/ $^{\circ}\text{C}$	Young's modulus/GPa
Monofilament	No	18	0.91	12	225	165	590	2.2

表 2 掺 PP 纤维(FRC)与不掺 PP 纤维(NC)的混凝土配合比
Table 2 Concrete mix proportion with and without PP fiber

Sample	Mix proportion/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$							Compressive strength /MPa
	Cement	Fly ash	Sand	Crushed basalt	Water	WRA	PP fiber	
NC	400	50	666	1 084	200	4.5	0	51.2
FRC1	400	50	666	1 084	200	4.5	2.0	50.8
FRC2	400	50	666	1 084	200	4.5	2.5	50.6
FRC3	400	50	666	1 084	200	4.5	3.0	50.6
FRC4	400	50	666	1 084	200	4.5	3.5	50.2

Note: WRA means water reducing agent.

1.2 试验方法

试件尺寸为: $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}$; $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}\times 400\ \text{mm}$.试件成型后,经过 24 h 室温下养护,脱模,然后在标准养护室中养护至 28 d,再在常温下放置 1 d 后进行高温试验.高温试验所用电炉的升温曲线如图 1 所示.本电炉的最高温度可达 $1\ 100\ ^{\circ}\text{C}$,炉膛温度可自动控制,达到指定温度后恒温 1 h.采用正常升温方式,即把混凝土从初始温度直接升到目标温度(本文规定的目标温度为 $105,400,800,1\ 000\ ^{\circ}\text{C}$).冷却方式采用炉内自然冷却.掺有聚丙烯纤维的混凝土抗爆裂性能影响试验温度为 $800\ ^{\circ}\text{C}$ 和 $1\ 000\ ^{\circ}\text{C}$.

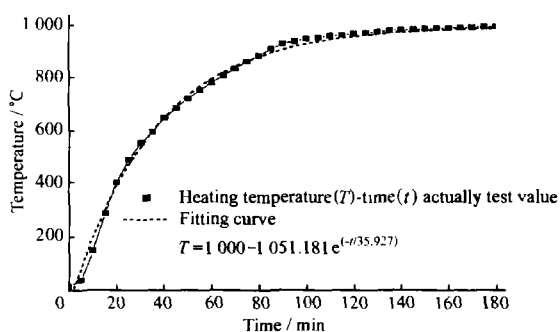


图 1 电炉的升温曲线

Fig. 1 Temperature rise curve of electric heater

2 试验结果与讨论

2.1 聚丙烯纤维对高温下混凝土抗折强度的影响

聚丙烯纤维对高温下混凝土抗折强度的影响见图 2.从图 2 可知,同配比的 FRC 抗折强度比

NC 高;在 100 °C 前 NC 抗折强度随温度升高而降低的幅度要比 FRC 的大;随着温度继续升高,NC 与 FRC 的抗折强度降低幅度基本接近,而且都是急剧降低;混凝土达到 800 °C 高温时,NC 与 FRC 的抗折强度相差不多,剩余抗折强度均约为常温下混凝土抗折强度的 10%。FRC 的抗折强度之所以在 100 °C 前降低的幅度比 NC 小,是因为 FRC 中所掺聚丙烯纤维的作用所致。但聚丙烯纤维的熔点为 165 °C,一旦温度超过熔点,纤维就会挥发逸出,此时 PP 纤维对抗折强度所起的作用将消失。当温度升高到一定程度后,纤维挥发殆尽,从而导致 FRC 与 NC 的抗折强度随温度的变化趋同。从图中可以看出,纤维掺量在 2.0~3.5 kg/m³ 范围内变化对混凝土的高温力学性能影响不大,所以从成本方面来考虑,推荐聚丙烯纤维的掺量为 2.5 kg/m³。

2.2 聚丙烯纤维对高温下混凝土动弹性模量的影响

NC 与 FRC 的动弹性模量随温度变化的情况如图 3 所示。FRC 的动弹性模量比 NC 的低,是因为聚丙烯纤维的弹性模量低于混凝土的弹性模量,其叠加效果导致了这一结果。从图 3 可知,随着聚丙烯纤维掺量的增加,混凝土动弹性模量损失率逐渐减小;随着温度升高,混凝土动弹性模量损失率增大,到 800 °C 时,FRC 残余动弹性模量为常温下的 70% 左右,而 NC 的残余动弹性模量则为 65% 左右。聚丙烯纤维掺量为 2.5 kg/m³ 时,混凝土的高温动弹性模量损失率与其他掺量相比,变化不大。

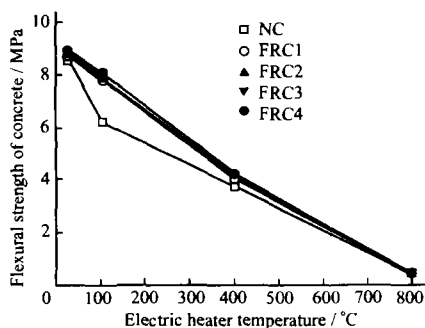


图 2 NC 与 FRC 的抗折强度与温度变化的关系

Fig. 2 Variation of flexural strength of NC and FRC as temperature rises

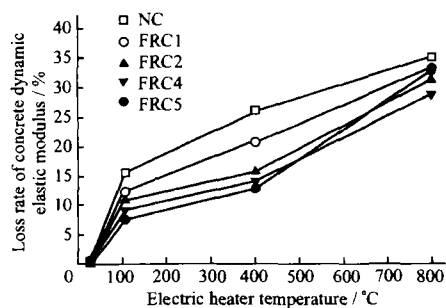


图 3 NC 与 FRC 的动弹性模量损失率变化

Fig. 3 Variation of loss rate of concrete dynamic elastic modulus of NC and FRC as temperature rises

2.3 聚丙烯纤维对高温下混凝土抗爆裂性能的影响

现代技术已使制作超高强混凝土 (>250 MPa)、高性能混凝土成为可能,然而,密实的内部结构、较低的渗透性可能导致这些混凝土的高温(火灾)抵抗力降低,以致引起它们非常突然,甚至爆炸性的破坏。在一些案例和文献中已有报道,其中 1 例是 1996 年,欧洲一隧道内单节机动有轨车发生火灾期间,当救援和消防灭火工作正在进行时,隧道的混凝土衬砌由于爆裂而引发了许多危险。来自消防部门及火灾跟踪的调研报告表明,HPC 的热性能需要进一步研究,其他研究者也已观测到高温下的 HPC 试件的爆裂破坏。

混凝土在高温下的爆裂机理以及影响爆裂的因素论述参见文献[3]。

在混凝土中掺入聚丙烯纤维后,只要温度超过了聚丙烯纤维的熔点 165 °C,混凝土内的聚丙烯纤维就会挥发逸出,并在混凝土中留下相当于纤维所占体积的孔道,而聚丙烯纤维由于能均匀乱向地分布在混凝土中,因此所留下的孔道也是均匀分布在构件中,这对于混凝土内由于温度升高所产生的水蒸气和热量的排出都是很有利的,可以降低孔压力,由此也就改善了混凝土的抗爆裂性能。正因为此,国外普遍采用聚丙烯纤维来提高混凝土的抗爆裂性能。

图 4,5 是掺聚丙烯纤维混凝土的抗火性能试验图片^[6]。本文将 NC 和 FRC 加热到 1 000 °C,观测混凝土的抗爆裂性能,如图 6,7 所示(JZ 表示 NC(左 1),PP1,PP2 代表 FRC(右 2,3))。

从图 6,7 可知,FRC 的抗爆裂性能要优于 NC,说明聚丙烯纤维对混凝土的抗爆裂性能确实有很大的改善作用.



图 4 不掺 PP 纤维混凝土(左)和掺 PP 纤维混凝土(右)受火后的损伤对比

Fig.4 Damage comparison of fire concrete with (right) and without PP fiber(left)^[6]



图 5 掺 PP 纤维混凝土整体构件的耐火试验现场试验图

Fig.5 Anti-fire test of PP fiber concrete whole frame in situ^[6]



图 6 NC 和 FRC 在 1 000 °C 后的状态

Fig.6 Appearance of NC and FRC after exposure to 1 000 °C

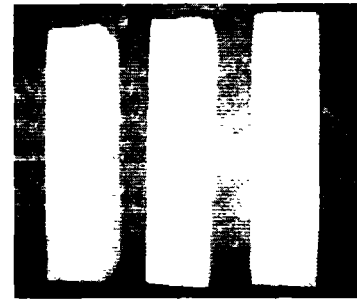


图 7 NC 和 FRC 在 800 °C 后的状态

Fig.7 Appearance of NC and FRC after exposure to 800 °C

3 结论

1. 聚丙烯纤维掺量一定时,可使混凝土在高温下的抗折强度稍有提高,当温度低于纤维熔点时,其作用还很明显.温度继续升高至超过聚丙烯纤维的熔点时,NC 和 FRC 的抗折强度随温度的变化趋势一致.

2. FRC 的动弹性模量低于 NC,随着温度的升高,混凝土的动弹性模量损失率逐渐增大,800 °C 下的 FRC 残余动弹性模量为常温下的 70% 左右,NC 残余动弹性模量为常温下的 65% 左右.

3. 聚丙烯纤维能有效改善混凝土的抗爆裂性能,特别是在 HSC 或 HPC 中效果更为明显.

4. 根据本研究结果,为改善高温下混凝土性能的聚丙烯纤维适宜掺量为 2.5 kg/m³.

参考文献:

- [1] Chan Y N, Luo X, Sun W. Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800 °C[J]. Cement and Concrete Research,2000,30(4):247-251.
- [2] Zhang B, Bicanic N, Pearce C J, et al. Residual fracture properties of normal-and high-strength concrete subject to elevated temperature[J]. Magazine of Concrete Research,2000,52(2):123-135.
- [3] 杜红秀,张 雄. HSC/HPC 的火灾(高温)性能研究进展[J]. 建筑材料学报,2003,6(4):391-396.
- [4] Peter Shuttleworth. Fire protection of precast concrete tunnel linings on the channel tunnel rail link[J]. Concrete,2001,(4):121-123.
- [5] Castillo C, Durrani A J, Effect of transient high temperature of high-strength concrete[J]. ACI Materials Journal,1990,87(1):47-53.
- [6] Andrew Kitchen. Polypropylene fibers reduce explosive spalling in fire[J]. Concrete,2001,(4):89-92.