

掺聚丙烯纤维的高强混凝土高温性能研究

游有鲲¹ 钱春香¹ 缪昌文²

(¹东南大学,南京 210096 ²江苏省建筑科学研究所有限公司,南京 210008)

[摘要] 高强混凝土的渗透性很低,高温下可能出现爆裂破坏现象,严重影响混凝土及其内部钢筋的结构安全使用性能。本本通过改变聚丙烯纤维掺量,研究其改善高强混凝土高温爆裂性能,以及高温后高强混凝土吸水率,剩余强度性能及其恢复性能。

[关键词] 高强混凝土;高温;爆裂;聚丙烯纤维

[中图分类号] TU528.31 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-6270(2003)04-0034-04

Study on the Properties of High Strength Concrete with Short Polypropylene Fiber after High Temperature

YOU You-kun¹ QIAN Chun-xiang¹ MIAO Chang-wen²

Abstract: With low penetration, the spalling of high strength concrete(HSC) at elevated temperatures which seriously affect the performance of reinforced concrete structure might occur. In this paper, The effect of spalling resistance of HSC mixed with different contents of polypropylene fiber were discussed. The ratio of water absorb, the residual strength and the recovered performance of the HSC under fire attack were tested.

Key words: HSC; High Temperature; Spalling; Polypropylene Fibre

前言

建筑火灾是工程安全研究内容的一个重要方面,各种突发事件导致的建筑工程的火灾严重地危害人们的生命及财产安全。“9·11”事件中钢结构的高温承载能力较差是导致悲剧产生的一个方面。随着混凝土建筑材料技术的进步,越来越多的高强混凝土(HSC)开始在高层或超高层建筑中使用,这些混凝土在火灾下的承载能力和耐久性就值得研究者们认真研究。

HSC在火灾下性能表现有其特殊性。HPC是一种低渗透性、低空隙率、含水量小的脆性材料。HPC的耐火性能与普通混凝土相似,但由于低的渗透性,在加热到150℃~250℃时,往往会产生爆裂,导致混凝土表面保护层的爆裂性破坏^[1]。

在火灾情况下,建筑物表面温度可高达800℃,一般也要达到500℃~600℃。在这种高温下,对钢筋混凝土构件而言,混凝土一旦发生破坏,将使构件截面积减小,承载力大大下降,尤其是当爆裂发生时,严重的爆裂会使钢筋保护层完全失去,使钢筋直接暴露在高温下。而钢筋在300℃左右就会软化,再加上截面的缩小,构件的承载力将急剧降低。这种情况极大地降低了高强混凝土结构的安全性。因此,通过对爆裂的研究,同时研究抑制爆裂的方法是极其必要的。

自爆裂现象被人们认识以来^[2,3],就有很多研究者想改善混凝土的这种性能缺陷。许多研究者试图通过改变混凝土组分与配比,例如在混凝土中掺入混合材和其它外加剂,例如,当加入一定量的硅灰时,研究发现没有明显降低混凝土爆裂几率。掺用引气剂可以改善混凝土的微孔结构,提高了混凝土的抗渗性,采用掺加钢丝网或钢纤维来增强抗拉强度,但这些对混凝土的抗爆裂效果也没有被证实,研究结果有很大的离散。但根据Kalifa等人的研究^[4],发现使用有机纤维特别是聚丙烯(PP)纤维,PP纤维能够大大降低混凝土高温时的孔压力,减小混凝土爆裂的机会。

本文结合前人的研究,对采用南京本地的原材料的高强混凝土的高温性能进行了研究,研究掺加不同掺量聚丙烯纤维的高强混凝土抗爆裂性能的影响,以及不同高温前后混凝土试件吸水率、力学性能的变化,探讨掺加聚丙烯纤维对高强混凝土高温性能影响,并对掺加聚丙烯纤维高温后没有爆裂的部分高强混凝土试件进行了再养护的强度恢复研究。

1 试验原材料、设备及试件制作

1.1 原材料

水泥:金宁羊42.5II普通硅酸盐水泥,比表面

[收稿日期]2003-09-11

[作者简介]游有鲲,男(1969~),东南大学工程硕士。

积 310m²/kg

粉煤灰:南京华能电厂一级灰

砂:中砂,密度 2.65g/cm³,细度模数为 2.7

粗骨料:南京六合产玄武岩,粒径 D_{max} = 10mm,水洗表干

外加剂: mighth - 100(蔡系),上海花王公司生产,粉剂

单丝聚丙烯纤维:长度 19mm,平均直径 45μm,江苏丹阳产丹强丝

2.2 高温制度与试件制作

试验采用的高温炉是参照《建筑构件耐火试验方法》(GB/T9978-1999)规定而设计的高温燃油炉。炉膛尺寸为:580mm×400mm×450mm 炉膛温度由铂铑—铂热电偶测定。示意自制燃油炉见图 1。

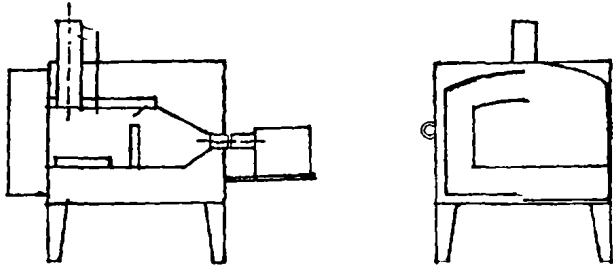


图 1 高温油炉剖面图

点火后自动升温到规定温度并可恒温控制。升温曲线按采用的 ISO834 推荐的标准升温曲线,温度(T)和时间(t)的关系为

$$T(t) = 3451g(8t/60 + 1) + 20 \quad (1)$$

这里,t的单位为 s,升温曲线见图 2。

试验采用高强混凝土配合比如表 1 所示。

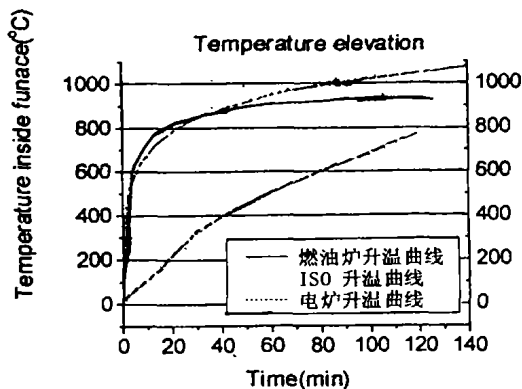


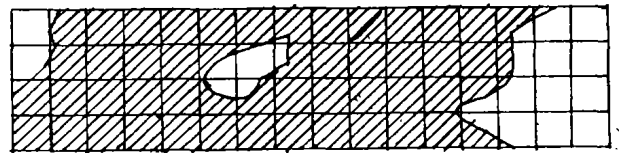
图 2 燃油炉的升温曲线及和 ISO834 升温曲线

表 1

高强混凝土配合比

编号	C	W	FA	W/B	S	G	Mighth100	P(kg)	P(V _f %)
PIV0	480	150	120	0.25	600	1160	4.8	0	0
PIV1	480	150	120	0.25	600	1160	4.8	0.58	0.064
PIV2	480	150	120	0.25	600	1160	4.8	0.88	0.097
PIV3	480	150	120	0.25	600	1160	4.8	1.18	0.131

试件养护 28 天后取出,晾干试件表面水分,放入室内一段时间,保持试件湿含量在 4.0% ~ 5.0%,然后放入高温炉中按照标准升温曲线分别升温到 200℃、400℃、600℃以及 800℃后并恒温 1 小时,自然炉冷降温,测试设有爆裂试件在常温以及高温后试件抗压、抗折强度。试验中对有爆裂现象的试件,其爆裂的程度以表达式 (2) 作为评价爆裂程度一种量的指标^[5],图 3。



(阴影部分为爆裂面积)
图 3 爆裂面积划分示意图

$$\text{爆裂程度} = \text{平均爆裂面积} \times \text{爆裂的比率} \quad (2)$$

其中爆裂面积是这样得到的:将试件受火面划分为一定数量的格子,如图 3 所示。将每个格子的爆裂面积相加再比上整个受热面面积就得到整体的爆裂面积率。在爆裂的边缘,可以将曲线近似为直线。爆裂的比率就是同一批试件中爆裂数与整体数量之比。

3 结果分析

3.1 试件爆裂形态与外观

试验观察到,高温后,高强混凝土试件表面出现了数量不同的细微裂纹,出现爆裂试件的情况统计(每组试件样本数为 18)见表 2,典型的试件高温破坏形态有爆裂、大的贯穿性裂纹等。

改变聚丙烯纤维掺量,高强混凝土试件的爆裂度出现了变化。聚丙烯纤维掺量提高,爆裂度爆裂度降低,这与通常的报道相符合^[6,7]。当聚丙烯纤维体积掺量达 0.13% 以上时,在 600℃ 高温作用 1 小时后,高强混凝土的爆裂几率由 78% 降低到 17%,爆裂度由 3.43% 降低到 0.07%。

在实际工程中,对不同原材料配制的高强混凝土,可能有不同的爆裂倾向,但对于较为重要的高层建筑中承重的立柱而言,若希望得到较低的爆裂度,提高混凝土的高温适应性,应可通过增加聚丙烯纤维掺量来实现。影响高强混凝土爆裂温度的因素很多,主要与混凝土的配合比、试件的湿含量等相关。在本研究试验中,混凝土试件爆裂温度大多发生在 600℃ 附近,这与通常报道的爆裂温度区间接近。

表2 高强混凝土高温后破坏形态

编号	纤维掺量 (V _f %)	不同高温后爆裂试件数量			试件爆裂比率 (%)	平均爆裂面积率 (%)	爆裂度 %	爆裂形态
		400℃	600℃	800℃				
V0P1	0	3	10	1	78	4.4	3.43	爆裂断面
V1P1	0.064	/	9	3	67	2.1	1.41	爆裂断角及棱边
V2P1	0.097	/	5	1	33	1.5	0.50	爆裂断角
V3P1	0.131	/	3	/	17	0.4	0.07	爆裂断角

3.2 高温后混凝土的吸水率

高温后无宏观爆裂现象的试件,试件内部与表面都出现了许多细微裂纹,干燥混凝土试件的重量也发生了变化,这种重量变化表征混凝土内部胶凝材料浆体的热分解量,这种分解通常包含胶凝材料浆体的自由水、化学结合水的失去、碳酸盐的分解等物质成分的改变。这些分解过程同时也是胶凝浆体的变化,包括胶凝浆体材料毛细孔的粗化、收缩变形以及水化凝胶体晶体的转型,以及镶嵌于无定形凝胶水化物中的位置变化等。而这些变化将导致混凝土力学性能、抗渗性能的劣化。高温后混凝土孔隙率增加得越大,混凝土的抗渗耐久性能越差。高温后混凝土重量的变化幅度暗示着高强混凝土力学性能以及抗渗耐久性的劣化。高温后干燥的混凝土试件,内部孔隙率越大,浸泡于水中能够吸收的水量越高。

本文取不同温度作用后未爆裂高强混凝土试件,测量其干燥重量,再将其置于水中24小时,测量其饱水重量,两者差值表征高温后高强混凝土试件孔隙率变化幅度,不同温度前后试件的干湿重量之差值见图4。

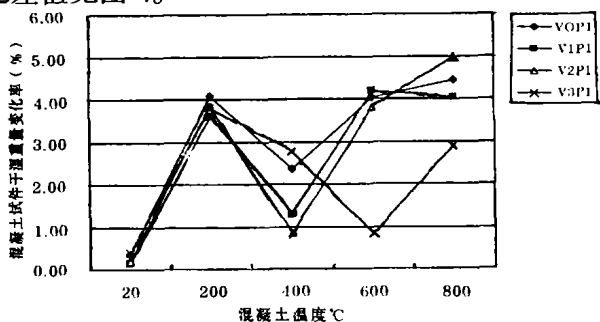


图4 高强混凝土不同温度后吸水率

可见,高温后混凝土的干湿重量变化率(吸水率)随温度升高逐渐增大,但在200℃下混凝土的吸水率要高于400℃下的吸水率,略有反常。在200℃的温度点下,浆体内部的氢氧化钙晶体并没有分解,但浆体内部大部分自由水与部分结合水会大量失去,导致混凝土的孔隙率增大;在400℃热作用下,胶凝材料浆体内氢氧化钙发生部分分解与晶型转变,引起混凝土的收缩,空间距离缩短,导致混凝土结构

的密实和化学键的加强;此外,部分无定形水化硅酸钙等晶体脱水后凝胶体之间热缩后形成新的胶结作用,密实度提高,堵隔了部分凝胶体中连通的毛细孔道,这样反而导致400℃下混凝土试件中的吸水率低于200℃下混凝土试件的吸水率的现象。这也可能与高强混凝土在200℃~400℃之间抗压强度降低幅度很少,甚至不降反升的原因一致。在400℃以上,随着聚丙烯纤维掺量增加,混凝土试件的吸水率有逐渐降低的趋势,特别是当聚丙烯纤维掺量达到V3(体积含量0.131%)时,混凝土试件的吸水率显著小于掺量为V1, V2的试件,可见,掺量V3为控制高温后混凝土吸水率的关键值。在该掺量下,混凝土试件的爆裂度最小,其可能原因在于,当聚丙烯纤维掺到一定量后,混凝土在高温下形成均匀连通的熔化纤维孔道,有效地释放了高温下混凝土浆体内部形成的水蒸气迁移对浆体毛细孔道本身进一步的粗化破坏,从而混凝土本身的吸水率较低。这说明,聚丙烯纤维掺量只有掺量达到一定值后,混凝土的连通融化孔道才会形成,进而保护高温下的高强混凝土试件免受爆裂与毛细孔道粗化的危害。

3.3 高温后试件力学性能

常温及高温后混凝土的力学性能见图5和图6。从图中可见,高强混凝土的初始抗压强度达90MPa~100MPa左右,初始抗折强度达13MPa~14MPa,但经过1小时的200℃~800℃等不同高温作用后,混凝土的抗折、抗压强度都有不同程度的下降,以抗折强度下降较为严重,混凝土试件抗折强度下降幅度大于抗压强度下降幅度,随温度升高,混凝土的抗折强度下降率逐步增大,800℃下降

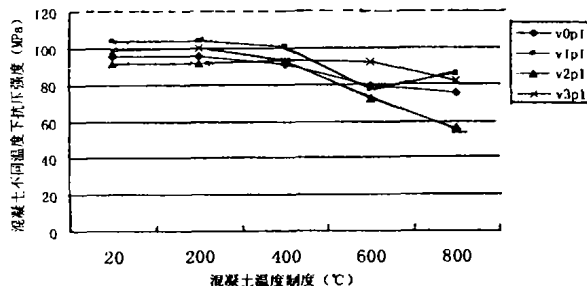


图5 高温后高强混凝土抗压强度

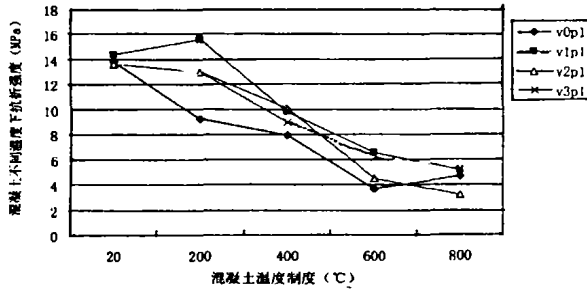


图6 高温后高强混凝土抗折强度

率达到 65% 左右。混凝土抗压强度衰减作用比较显著的温度区间是 600°C ~ 800°C, 在此温度区间内混凝土抗压强度下降率达 20% 左右; 由于高温后混凝土抗压、抗折强度的劣化主要与水泥浆体水化产物的分解以及混凝土基体出现了许多微裂纹有关, 掺加聚丙烯纤维对改善高温后高强混凝土的抗压、抗折强度的效果并不明显。

3.4 高温后 HSC 试件再养护性能恢复

掺加 PP 纤维抑制高温爆裂的 HSC, 在没有混凝土外保护层剥落的情形下, 高温后构件的使用性能决定于剩余力学性能与抗渗耐久性能。HSC 抗折强度的大幅下降, 将限制混凝土构件的力学使用性能, 高温后出现的热应力裂缝将导致构件抗渗性能的降低。本文对掺加聚丙烯纤维 (体积含量 0.131%) 600°C 高温后未爆裂的 HSC 试件进行了再养护, 采用不同的养护溶液, 将受火混凝土浸泡其中再养护 28 天, 对比了 HSC 试件抗压强度与抗折强度的恢复率。结果如表 3 所示。

表3 高强混凝土试件高温后再养护强度

试件	抗压强度 (MPa)/相对值			抗折强度 (MPa)/相对值		
	水	3%水玻璃溶液	3%硫酸铝溶液	水	3%水玻璃溶液	3%硫酸铝溶液
同龄期正常养护未受火试件	98.6/100%			13.9/100%		
受火试样	93.5/94.8%	91.3/92.6%	89.1/90.4%	6.2/44.7%	8.4/60.3%	9.9/71.5%

可见, 再养护方式中, 高温后 HSC 抗压强度以水溶液养护效果最佳, 抗压强度残余率由 80% 左右提高 93.5%, 而抗折强度以硫酸铝溶液养护效果最好, 抗折强度残余率由 44% 恢复率高达 71.5%。这是由于混凝土高温后抗压强度的损失主要是由于水泥浆体脱水收缩引起, 通过水养护可以将脱水化合物再水化来实现; 而抗折强度的损失主要是由于水泥基浆体的热裂缝引起, 采用额外具有防水功能的养护组分可部分愈合微裂缝, 从而改善混凝土的抗折性能。该研究为高温后 HSC 的结构修补提供了一种技术途径。

4 小结与展望

高强混凝土高温下的爆裂现象是一种应加以认真研究的破坏现象, 本文基于对该种现象的随机概率特性, 量化了高强混凝土高温下出现爆裂的几率; 并通过在混凝土中掺加聚丙烯纤维后降低高强混凝土的爆裂程度; 对同种规格的聚丙烯纤维而言, 聚丙烯纤维体积掺量达到 0.013% 时, 混凝土试件表现出较明显的抗爆裂性能; 同时, 在该掺量下, 高温后高强混凝土试件的吸水率会显著降低, 高温混凝土的抗渗性能得到了提高; 高温后高强混凝土的抗压强度与抗折强度都不同程度地降低, 掺加聚丙烯纤维不能改变这种趋势, 可以通过后期选用特定的防水养护溶液再养护实现部分力学性能的恢复。

参考文献

- [1] Ahied GN, Hurst JP. An analytical approach for investigating the causes of spalling of high strength concrete at high temperatures. In: Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High Strength Concrete, NIST SP919, NIST, Gaithersburg, February 13 ~ 14. 1997. p. 95 ~ 108.
- [2] K. Hertz, Heat - induced explosion of dense concretes, Technical University of Denmark, Institute of Building Design Report No. 166, 1984
- [3] Phan LT. Fire performance of high strength concrete: A report of the state - of - the - art. Maryland: Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology; 1996.
- [4] Pierre Kalifa, Gregoire Chene, Christophe Galle. High - temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres From spalling to microstructure[J]. Cement Concrete Research, 2001, 31: 1487 - 1499
- [5] 王珩. 高强混凝土(砂浆)受火爆裂条件与机理研究. 东南大学硕士学位论文, 2002年3月
- [6] Nishida A, Yamazaki N, Inoue H, Schneider U, Diederichs U. Study on the properties of high - strength concrete with short polypropylene fiber for spalling resistance. In: Sakai K, Banthia N, Gjorv OE, editors. Proceedings, International Conference of Concrete Under Severe Conditions, CONSEC-95, vol. 2, Sapporo, Japan. August 1995, p. 1141 - 50.
- [7] A. Bilodeau, V. K. R. Kour, G. C. Hoff, Optimization of the type and amount of polypropylene fibres for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire. Cement & Concrete Composites 2003 (ARTICLE IN PRESS)