

# 平板法试验研究高强与高性能混凝土抗裂性能

郑翥鹏<sup>1</sup>, 郑建岚<sup>2</sup>

(1. 厦门大学建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 福州大学土木建筑工程学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 高强与高性能混凝土胶结料用量较多, 砂率较大, 粗骨料用量相对较少, 而且水胶比较低, 常掺有其它掺合料, 因此若处理不妥易出现混凝土早期开裂现象. 本文在圆环法试验的基础上通过平板法试验, 研究分析不同水胶比和不同粉煤灰掺量对高强与高性能混凝土开裂性的影响. 研究表明, 高强与高性能混凝土的裂缝主要发生在早期, 因此在早期就应该及时采取控制裂缝的措施; 在低水胶比的情况下, 水胶比对高强与高性能混凝土抗裂性能的影响较为明显, 水胶比越小, 开裂越严重; 掺入粉煤灰对混凝土抗裂有所改善, 但是其掺量对抗裂的影响并不是呈定向规律, 而是存在着最优掺量.

**关键词:** 结构工程; 高强与高性能混凝土; 抗裂试验; 平板法

**中图分类号:** TU 528

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2006)02-0211-04

高强与高性能混凝土在房屋建筑、桥梁等混凝土工程上已得到了广泛应用, 但它在发挥独特优势的同时也暴露出存在的一些缺陷, 很突出的一个问题就是高强与高性能混凝土的开裂问题. 为了研究其抗裂性, 作者在文献[1]中采用圆环法进行混凝土收缩开裂试验, 从试验结果分析不同胶结量和砂率对高强与高性能混凝土早期收缩开裂趋势的影响, 探讨商品泵送混凝土配合比的优化. 由试验结果得知, 随着胶结总量和砂率的增大, 高强与高性能混凝土越容易开裂, 而且开裂的时间越早; 通过优化配合比可以改善商品混凝土的抗裂性能, 在满足强度、工作性能要求的情况下, 通过优化骨料级配, 合理选用外加剂等办法可以降低混凝土的胶结料用量和砂率, 从而减少其开裂趋势; 而环境温度对混凝土初裂时间的影响非常明显, 所以对于高强与高性能混凝土的施工更应该注意早期的温控措施. 在文献[1]中, 作者同时对高强与高性能混凝土收缩变形的计算方法进行了探讨. 通过采用不同的混凝土收缩变形公式进行计算, 并将计算值与试验值进行了对比, 由对比结果提出建议, 高强与高性能混凝土收缩变形的计算公式应在普通混凝土计算式的基础上考虑粉煤灰掺量、坍落度等因素的影响.

工程中对早期收缩开裂最敏感的是一些板式构件, 如混凝土楼板、屋面、桥面板、路面以及工业厂房地面等. 这类构件都是处于双向收缩状态的, 为模拟这些构件的早期收缩开裂情况, 需要进行板式构件的约束

收缩实验. 本文在圆环法试验结果的基础上采用平板法进行混凝土收缩试验研究, 探讨水胶比和粉煤灰掺量对高强与高性能混凝土抗裂性能的影响.

## 1 试验概况

### 1.1 试验方法

平板法试验最大的优点是能形象地反映出混凝土裂缝随龄期的发展变化, 试验装置参照笠井芳夫等人<sup>[2]</sup>研制的仪器自行制造, 结构如图 1 所示. 本批试验在圆环法试验的基础上, 选用 5 种不同配合比的混凝土, 分别编号为 PT, BS51, BS52, BS61, BS62. 其中, PT 组为实际工程现场搅拌的高强与高性能混凝土配合比, BS51、BS61 分别为实际工程泵送混凝土 C50、C60 的配合比, BS52、BS62 则是分别在 BS51、BS61 基础上, 保证强度、流动度相当的前提下所改变的配合比, 其配合比、强度和工作度如表 1 所示.

### 1.2 原材料选用

水泥: 炼石 42.5 普通硅酸盐水泥. 石子: 编号 PT 试件采用福建闽侯花岗岩碎石, 5 ~ 9 mm 和 15 ~ 20 mm 各 50%; 编号 BS51、BS52、BS61、BS62 试件采用福建闽侯花岗岩碎石, 5 ~ 31.5 mm, 连续级配. 砂子: 编号 PT、BS51、BS52 试件采用福建闽江中砂, 细度模数为 2.4; 编号 BS61、BS62 试件采用福建闽江粗砂, 细度模数为 3.2. 掺合料: 编号 PT 试件不加掺合料; 编号 BS51、BS52、BS61、BS62 试件采用闽侯 II 级粉煤灰. 外加剂: 编号 PT 试件采用 FDN-FZ 溶剂型高效减水剂; 编号 BS51、BS52 试件采用 CSP-2 缓凝型高效减水剂; 编号 BS61、BS62 试件采用 TW-7 泵送剂.

收稿日期: 2005-07-07

基金项目: 国家教育部重点项目(JA02137)和福建省自然科学基金(2002F007)资助

作者简介: 郑翥鹏(1978-), 男, 硕士.

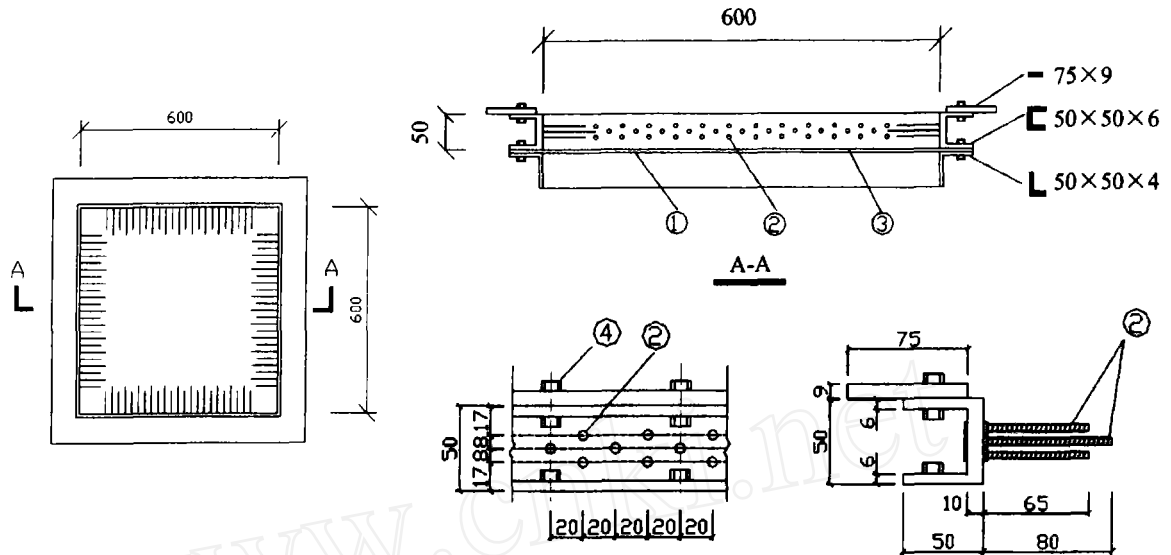


图 1 平板法试验装置 (单位: mm)

—底板; — $\phi 6$  螺栓; —石蜡纸, 特氟纶; — $\phi 9$  螺栓

Fig. 1 Experimental device of flat test (unit: mm)

表 1 混凝土配合比、强度及坍落度

Tab. 1 Proportion, cubic compression strength and slump of concrete

编号	每立方混凝土材料用量/ (kg · m <sup>-3</sup> )									强度值/ MPa		坍落度 / mm
	水泥	粉煤灰	砂	石子	水	外加剂	水胶比	胶结量	砂率/ %	7d	28d	
PT	430		686	1171	146	7.31	0.34	430	37	61.3	67.2	51
BS51	435	92	703	1001	182	7.4	0.34	527	41	37.6	53.6	196
BS52	380	147	703	1001	170	7.9	0.32	527	41	37.3	53.3	170
BS61	480	120	676	1014	160	12	0.27	600	40	63.8	70	170
BS62	430	120	676	1014	143	13.75	0.26	550	40	65.8	72	179

表 2 混凝土早期开裂观测结果

Tab. 2 Test results on cracking of concrete at early age

编号	水胶比	粉煤灰掺量/ %	开裂龄期 / d	总开裂面积/ mm <sup>2</sup>				总开裂长度/ cm			
				1 d	2 d	3 d	7 d	1 d	2 d	3 d	7 d
PT	0.34	0	4 - 40	297.27	318.05	371.4	404.29	153.5	160.5	162.5	170
BS51	0.34	17	11 - 10	6.42	22.32	54.71	59.71	11.7	39	105.2	114.7
BS52	0.32	28	7 - 00	34.03	61.95	71.68	72.73	46	72.5	89	92.5
BS61	0.27	20	5 - 15	210.25	238.93	249.5	275.92	132.5	138.5	145.5	153
BS62	0.26	22	6 - 00	260.66	322.08	326.94	353.5	184.3	213.3	216.8	230.3

编号	开裂条数/ 条				平均开裂面积/ mm <sup>2</sup>				最大裂宽/ mm			
	1 d	2 d	3 d	7 d	1 d	2 d	3 d	7 d	1 d	2 d	3 d	7 d
PT	6	8	9	10	49.54	39.76	41.27	40.43	0.16 ~ 0.5	0.06 ~ 0.6	0.07 ~ 0.7	0.07 ~ 0.73
BS51	3	6	16	19	2.14	3.72	3.42	3.14	0.06 ~ 0.12	0.09 ~ 0.13	0.04 ~ 0.16	0.04 ~ 0.16
BS52	7	8	10	11	4.86	7.74	7.17	6.61	0.08 ~ 0.27	0.1 ~ 0.26	0.06 ~ 0.26	0.06 ~ 0.26
BS61	10	12	13	13	21.02	19.91	19.19	21.22	0.09 ~ 0.59	0.05 ~ 0.61	0.08 ~ 0.63	0.08 ~ 0.72
BS62	15	21	21	23	17.38	15.34	15.57	15.37	0.04 ~ 0.38	0.05 ~ 0.56	0.08 ~ 0.56	0.08 ~ 0.58

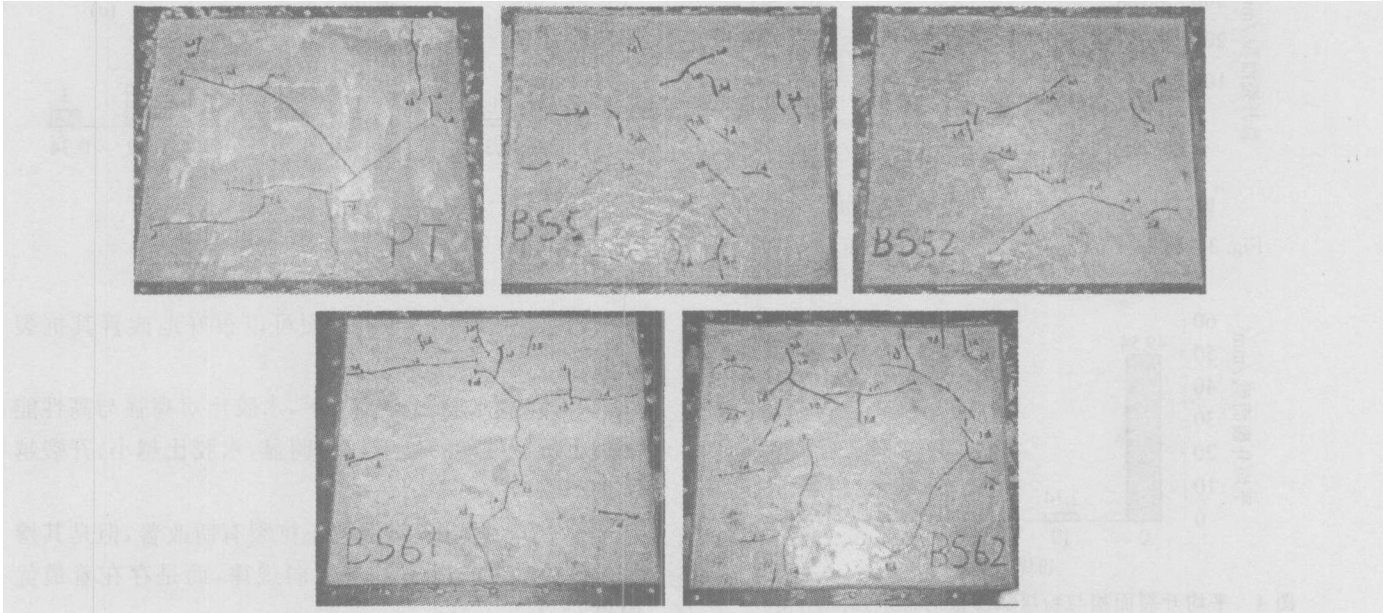


图 2 平板试件裂缝开展图

Fig. 2 Cracking of the flat specimen

## 2 试验结果

将表 1 配合比的 5 种混凝土,分别浇入模具中,振实、抹平后置于标准养护室用塑料薄膜覆盖以防失水,2 h 后拆塑料膜置于干燥环境下实验,观测初始开裂的龄期、裂纹数、裂纹的长度和平均宽度,从浇注起记录至 7 d,如表 2 所示。试件的开裂情况如图 2 所示。

## 3 结果分析

根据文献[3]的建议,定量分析混凝土的裂缝开展可以通过 4 个参数来描述:平均开裂面积、总开裂面积、总开裂长度、总开裂数。其中前 2 个参数分别按照下列方法计算:

### (1) 平均开裂面积

考虑裂缝的宽度、长度以及它们乘积的一半,平均开裂面积“ $a$ ”可按下列公式计算

$$a = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N W_i L_i \quad (\text{mm}^2)$$

式中, $W_i$  为第  $i$  条裂缝的最大宽度, $L_i$  为第  $i$  条裂缝的长度, $N$  为所试验面积内的总开裂条数。

### (2) 总开裂面积

总开裂面积“ $c$ ”按下式计算

$$c = aN \quad (\text{mm}^2)$$

式中, $a$ 、 $N$  分别为平均开裂面积和总开裂条数。

龄期 1 d 时,混凝土的总开裂面积、总开裂长度和开裂条数与水胶比的关系以及平均开裂面积与粉煤灰掺量的关系,分别如图 3、4 所示。由试验结果分析如

下:

(1) 裂缝的发生及发展主要发生在 1 d 前,24 h 后几乎没什么变化,这是因为水化热大多集中在早期释放,而高强与高性能混凝土在早期的体积变化更为剧烈,所以高强与高性能混凝土的裂缝问题应在早期及时采取控制措施。

(2) 水胶比对混凝土抗裂性能的影响较为明显,水胶比越小,开裂条数越多,总开裂长度越大,总开裂面积也越大。因为水胶比越小,混凝土中自由水量越少,同时混凝土结构致密度增加,这样由混凝土内部向表面迁移用以补充表面蒸发散失的自由水量就越缺乏,从而使混凝土表面开裂越严重;另外,水胶比越小,混凝土的早期自身收缩越大,也是开裂性增加的一个原因。

(3) 没有掺粉煤灰的试件 PT 与试件 BS51 水胶比相同,后者因为掺有粉煤灰,其开裂龄期推迟,开裂条数、开裂长度、平均开裂面积、总开裂面积以及最大裂宽都比试件 PT 小;同时与其它掺有粉煤灰的试件相比,除开裂条数外,试件 PT 的平均开裂面积、总开裂面积都比较大,而且在所有试件中,试件 PT 开裂得最早。这是因为掺入粉煤灰后,混凝土早期水化程度降低,水化收缩减少的缘故。因此可以说掺入粉煤灰对混凝土抗裂有所改善,然而从掺有粉煤灰的试件中比较发现,粉煤灰的掺量对抗裂的影响并不是呈定向规律。本试验得出的结果是粉煤灰的最优掺量应控制在 15% ~ 30% 之间。

试验中发现,若在取下塑料薄膜时,对混凝土再次抹面,则该组混凝土始终不发生裂纹。这说明低水胶比

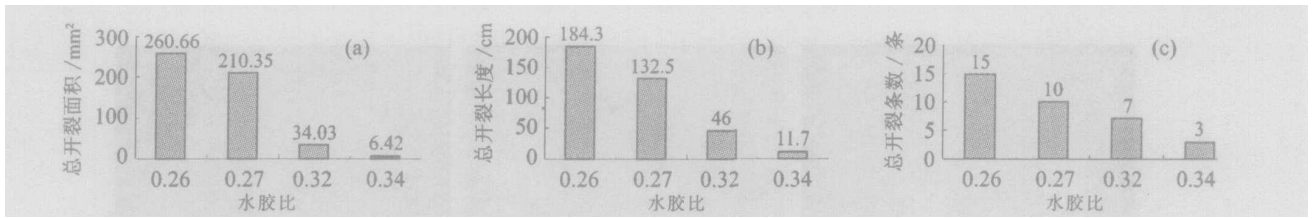


图 3 不同水胶比的开裂度(龄期 1 d)

Fig. 3 Comparisons of cracks for various w/b (1d age)

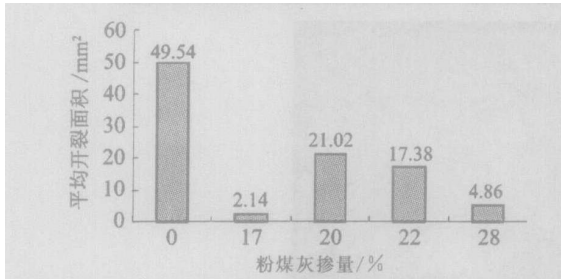


图 4 平均开裂面积与粉煤灰掺量的关系(龄期 1 d)

Fig. 4 Relation between averaged crack area and dosage of flown ash (1d age)

的高强与高性能混凝土,浇注 2 h 后再次抹面可以很好地改善其抗裂性能.

### 4 结 论

基于本次试验研究,对于高强与高性能混凝土的收缩开裂问题得出如下结论:

(1) 高强与高性能混凝土的裂缝主要发生在早期(1 d 前),因此在早期就应该及时采取控制裂缝的措

施.若在浇注 2 h 后再次抹面可以很好地改善其抗裂性能.

(2) 在低水胶比的情况下,水胶比对高强与高性能混凝土抗裂性能的影响较为明显,水胶比越小,开裂越严重.

(3) 掺入粉煤灰对混凝土抗裂有所改善,但是其掺量对抗裂的影响并不是呈定向规律,而是存在着最优掺量.

### 参考文献:

- [1] 郑建岚,罗素蓉,郑翥鹏. 高强与高性能混凝土的收缩与开裂[J]. 安全与环境学报, 2004, (4): 47 - 50.
- [2] 平石信也,横山清,笠井芳夫. 高强度高流动 コンクリートの初期の乾燥による質量減少による自由収縮に関する研究[J]. Journal of Structural and Construction Engineering, AII, 1998, 9(511): 9 - 15.
- [3] Kasai Y, Hiraishi S. Mixture proportion, flowability, crack propagation, strength and durability of flowing concrete [J]. 山东建材学院学报, 1998, 6: 25 - 40.

## Flat Tests on Crack-resistant Property of High Strength and Performance Concrete

ZHENG Zhu-peng<sup>1</sup>, ZHENG Jian-lan<sup>2</sup>

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract :** This paper is aimed at introducing the flat tests on high strength and performance concrete to assess its crack-resistant property. Nowadays, high strength and performance concrete has been used extensively due to its unique advantages. However, there are still some issues needed to be addressed. The occurrence of severe cracks is one of the prominent problems. A series of experiments have been done by the authors through ring tests. In this paper we further investigate the influence factors through flat tests for different water to bond(w/b) ratios and for different dosages of flown ash as a partial replacement of cement. The experimental results show that the appearance of cracks is mainly at early age (within 1 day). Therefore, it is necessary to control the cracks at the early age. In addition, if the surface is plastered again after 2 hours of casting, the crack-resistant property can be greatly improved. Our results also demonstrate that the crack-resistant property can also be improved if the flown ash is added, and the optimum dosage of flown ash is at 15% ~ 30% of total bond. At the same time, w/b seems to be more influential than normal at low level, which indicates that more severe cracks occur as w/b drops.

**Key words :** structural engineering; high strength and performance concrete; crack experiment; flat tests