

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.01.020

单掺钢渣粉混凝土早期抗裂性能研究

刘攀, 侍克斌, 努尔开力·依孜特罗甫, 吴福飞

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 采用刀口法进行试验, 研究分析不同水胶比和不同钢渣粉掺量对混凝土早期抗裂性的影响。结果表明, 在水胶比小于等于 0.40 时, 水胶比对混凝土抗裂性能的影响较为明显; 在相同的水胶比下, 掺钢渣粉的混凝土与对照组比较, 前者由于掺加了钢渣粉, 延长了混凝土的初裂时间, 随着掺量的增加, 混凝土的抗裂性越突出。

关键词: 钢渣粉; 混凝土; 刀口法; 早期抗裂试验

中图分类号: TU528.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)01-0096-04

Study on Early Crack Resistance of Concrete Mixed with Single Steel Slag Powder

LIU Pan, SHI Ke-bin, Nuerkaili·Yiziteliopu, WU Fu-fei

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: The knife-edge test is used here to research and analyze the impact of different water-cement ration and steel slag powder content on the early crack-resistance of concrete. The results show that when the water-cement ration is less than or equal to 0.40, its impact on the crack resistance of concrete is more obvious; under the same water-cement ration and compared with the control group, the concrete mixed with steel slag powder extends the time of early cracking, and with the increase of mixed dosage, the concrete's crack resistance is more prominent.

Keywords: steel slag powder; concrete; knife-edge method; early crack experiment

近几年,高性能混凝土^[1-7]在工程中应用越来越多,但在很多实际工程中较为普遍地出现了各种裂缝,由此引发的高性能混凝土裂缝问题也越来越受到人们的关注。这主要是因为混凝土工程中裂缝不仅仅是影响工程的美观主要是影响混凝土工程的结构耐久性,进而影响混凝土工程的使用寿命。若能将实际工程的使用寿命增加 30 年,这样就会节约大量的原材料。另外要增加混凝土结构安全性和延长建筑物的使用寿命,就必须选择使用耐久性优异和符合节约资源要求的混凝土,现今,国内外许多学者在混凝土里掺加粉煤灰、锂渣等优质工业废渣方面做了大量的研究,也取得了大量的研究成果^[8-12]。

本文选取钢渣粉取代混凝土中部分胶凝材料,采用刀口法对掺有不同比例的钢渣粉混凝土的早期抗裂性作了测试与比较,着重讨论了不同水胶比、不同钢渣粉掺量对混凝土早期抗裂性的影响。

1 原材料与试验方案

1.1 原材料

(1) 水泥:新疆天山水泥厂生产的 42.5R 型普通硅酸盐水泥,其化学组成见表 1,其性能指标符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—1999)要求。

(2) 粗集料:粗集料采用乌拉泊水库上游乌鲁木齐河中的河卵石,粒径 5 mm ~ 25 mm 连续级配,含泥量 0.21%。

收稿日期:2013-07-05

修稿日期:2013-08-09

基金项目:新疆科技支撑计划项目(201233132);国家高等学校博士点专项科研基金(20106504110005);新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(XJzdkk-2010-02-12)

作者简介:刘攀(1987—),男,安徽太和人,硕士研究生,研究方向为水工材料应用。

通讯作者:侍克斌(1957—),男,甘肃民勤人,教授,博士生导师,主要从事水利水电工程专业教学与科研工作。

表 1 胶凝材料的化学组成

单位: %

样品	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	R ₂ O	SO ₃	MgO	MnO	Loss
水泥	21.35	4.46	4.93	61.71	0.42	0.27	0.55	2.51	1.15	0	2.43
钢渣粉	13.15	3.78	23.11	44.97	0.06	0.12	0.16	0.24	8.62	4.00	0.98

(3) 细集料:细集料选用乌拉泊水库上游乌鲁木齐河中的水洗砂,细度模数 $\mu = 2.8$ (II 区) 中砂,含泥量 0.34%,表观密度为 2 610 kg/m³。

(4) 钢渣粉:钢渣粉是产自新疆八一钢铁厂已除铁的钢渣,先经过 DM - II 型数显洛衫矶磨耗试验机粗磨 30 min,然后用 ND7 - 10L 球磨机细磨 30 min 所得粒径小于 0.63 mm 部分,细磨钢渣粉的主要化学成分见表 1。

(5) 减水剂:减水剂是新疆格辉科技有限公司生产的 FDN 高效减水剂。

(6) 拌合水:试验室中自来水。

1.2 试验方案

1.2.1 配合比设计

(1) 高性能混凝土配合比参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55 - 2011) 和《高强高性能混凝土结构设计与施工指南》来设计,坍落度范围 18 cm ~ 20 cm,具体配合比如表 2。

表 2 混凝土配合比

单位: kg/m³

编号	水胶比	水	水泥	钢渣粉	砂	石
1	0.30	150.0	500.0	0	776	988
2	0.30	150.0	450.0	50.0	778	990
3	0.30	150.0	400.0	100.0	780	993
4	0.30	150.0	275.0	225.0	785	999
5	0.35	143.5	410.0	0	781	1078
6	0.35	143.5	369.0	41.0	782	1080
7	0.35	143.5	328.0	82.0	784	1082
8	0.35	143.5	225.5	184.5	788	1088
9	0.40	138.0	345.0	0	752	1177
10	0.40	138.0	310.5	34.5	754	1179
11	0.40	138.0	276.0	69.0	755	1181
12	0.40	138.0	189.8	155.2	758	1185

(2) 在高性能混凝土设计中钢渣粉按照胶凝材料的质量百分比进行等量取代,试验掺量分别为 0%、10%、20%、45% 等。

(3) 根据水泥和 FDN 高效减水剂适应性试验,确定 FDN 高效减水剂最佳掺量;水胶比 0.30、0.35、

0.40 减水剂的最佳掺量分别为胶凝材料质量的 1.1%、0.9%、0.8%。

1.2.2 早期抗裂性试验方法

刀口法试验按照中华人民共和国住房和城乡建设部批准实施的《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082 - 2009) 中具体规定进行。本实验中采用尺寸为 800 mm × 600 mm × 100 mm 的平面薄板型钢制模具,模具的四边采用槽钢焊接而成,侧板厚度不应小于 5 mm,模具四边和地板通过螺栓固定在一起。模具内设有 7 根裂缝诱导器,并平行于模具短边。

试件成型 30 min 后移至温度为 (20 ± 2) °C,相对湿度为 (60 ± 5) % 的环境中,立即调节风扇位置和风速,使试件表面中心正上方 100 mm 处风速 (5 ± 0.5) m/s,并使风向平行于试件表面和裂缝诱导器。试验时间从混凝土加水时开始计算,经 24 h 后,用最小刻度为 1 mm 的直尺测量裂缝两端直线距离为裂缝长度,用放大倍数为 100 倍读数显微镜测量每条裂缝的最大宽度。本试验中主要记录每个混凝土板开裂时间、裂缝条数、裂缝长度、最大裂缝宽度等。

2 开裂试验结果与分析

将表 2 不同配合比的混凝土,分别浇入模具中,振实、抹平后,将试件移至温度为 (20 ± 2) °C,相对湿度为 (60 ± 5) % 的环境中,立即调节风扇位置和风速,使试件表面中心正上方 100 mm 处风速 (5 ± 0.5) m/s,并使风向平行于试件表面和裂缝诱导器。试验时间从混凝土加水时开始计算,经 24 h 后,观测并记录开裂时间、裂缝长度和最大裂缝宽度,不同配合比高性能混凝土抗裂性能试验结果汇总如表 3。

根据《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T50082 - 2009) 中具体规定结合本试验,在定量分析混凝土的裂缝开展可以通过 4 个参数来描述:单位面积上的总开裂面积、最大裂缝宽度、总开裂长度、开裂时间。其中单位面积上的总开裂面积按照下列方法计算。

考虑裂缝的特征,裂缝的面积应是其最大宽度与其长度乘积的一半,那么每条裂缝的平均开裂面积 a 可按下式计算:

表 3 混凝土的早期开裂试验结果

编号	钢渣粉掺量 / %	开裂时间 / h	最大裂缝宽度 / mm	裂缝总长度 / mm	每条裂缝平均开裂面积 / (mm ² ·条 ⁻¹)	单位开裂面积 / (mm ² ·m ⁻²)	分维数
1	0	0.98	1.00	1900	61	1642	1.27
2	10	1.08	0.84	1868	46	1147	1.21
3	20	2.08	0.56	2178	19	682	1.16
4	45	4.87	0.30	1829	9	292	1.10
5	0	1.75	0.54	3120	49	1134	1.21
6	10	2.03	0.50	2901	35	1097	1.20
7	20	2.83	0.40	2390	38	951	1.17
8	45	3.25	0.26	1584	16	368	1.12
9	0	2.58	0.48	1835	12	439	1.14
10	10	2.63	0.36	1187	10	366	1.12
11	20	3.38	0.32	1127	7	292	1.10
12	45	未开裂	0.00	0	0	0	—

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

式中: W_i 为第 i 条裂缝的最大宽度 (mm), 精确到 0.01 mm; L_i 为第 i 条裂缝的长度 (mm), 精确到 1 mm; 单位面积上的总开裂面积 c 就是每条裂缝的平均开裂面积 a 乘以单位面积上的裂缝数, 即:

$$c = a \cdot \frac{N}{A} \quad (2)$$

式中: a 为每条裂缝的平均开裂面积 (mm²/条), 精确到 1 mm; N 为总裂缝数目 (条); A 为平板的面积 (m²), 精确到小数点后两位。

试验时间从混凝土加水时开始计算, 24 h 后, 混凝土的单位面积上的总开裂面积、总开裂长度和最大裂缝宽度与不同水胶比及不同钢渣粉掺量的关系, 分别如图 1~图 5 所示。

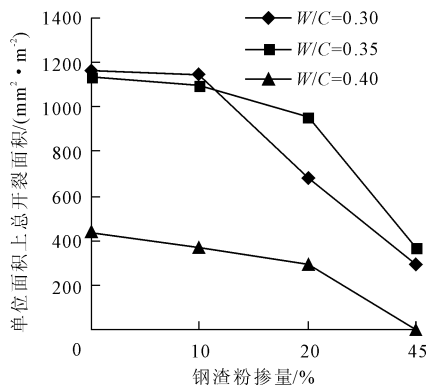


图 1 单位面积上总开裂面积与钢渣粉掺量的关系

试验结果分析如下:

(1) 在相同的水胶比下, 钢渣粉掺量对混凝土抗裂性能的影响较为明显, 随着钢渣粉掺量增加, 总体上混凝土的最大裂缝宽度变小, 裂缝总长度减小, 单位总开裂面积减小, 并且在水胶比为 0.40 时, 钢

渣粉掺量达到 45% 时, 混凝土板最终无裂缝出现。因为钢渣粉掺量增加, 混凝土中水泥所占的比例在下降, 那么水泥水化所需要的水就相对减少, 混凝土中自由水相对越多。这样以来, 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比较充足, 从而使混凝土表面开裂减弱。

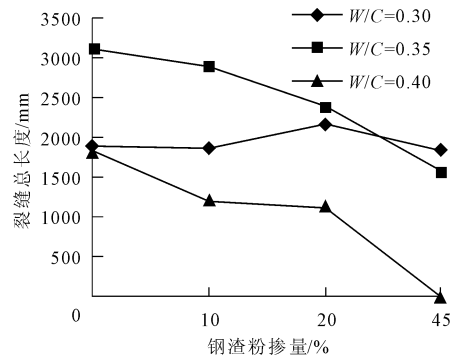


图 2 裂缝总长度与钢渣粉掺量的关系

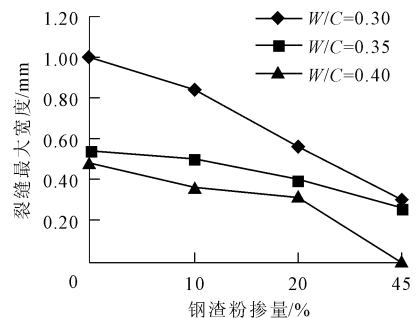


图 3 裂缝宽度与钢渣粉掺量的关系

(2) 在相同的水胶比下, 掺钢渣粉的试件与未掺的试件比较, 发现前者由于掺加了钢渣粉, 延长了混凝土的初裂时间, 混凝土裂缝的总长度、平均开裂面积、单位面积上的总开裂面积都比未掺钢渣粉的试件小。

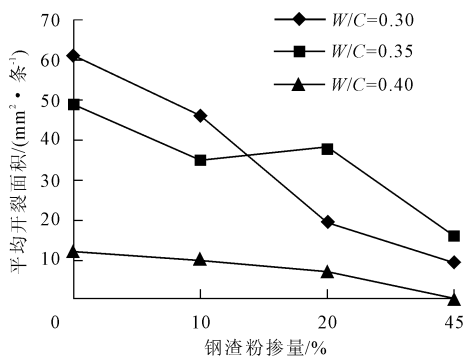


图4 平均开裂面积与钢渣粉掺量的关系

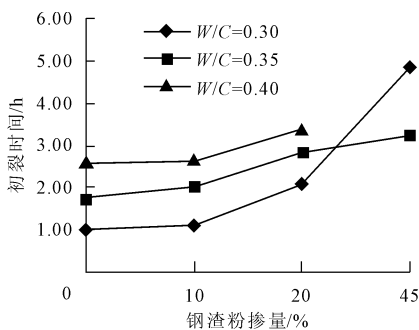


图5 混凝土初裂时间与钢渣粉掺量的关系

(3) 在不同水胶比下,相同钢渣粉掺量时,随着水胶比的增大,混凝土板开裂时间在相应推迟;而在钢渣粉掺量 10%时,混凝土最大裂缝宽度、平均开裂面积、单位面积上总开裂面积均随着水胶比的增加而变小;而在掺量达到 45%时,水胶比为 0.40 的试件,在裂缝的总长度、最大裂缝宽度、平均开裂面积、单位面积上的总开裂面积均是最小。

3 混凝土裂缝分形评价

为了更进一步阐述钢渣混凝土裂缝的开裂程度,对钢渣混凝土借助分维数对其进行定量描述。首先将跟踪记录的裂缝照片进行处理,生成分形解析图和网格覆盖图,采用盒维数法计算出分维数。图 6 所示为不同混凝土裂缝分维数与钢渣粉掺量的关系。

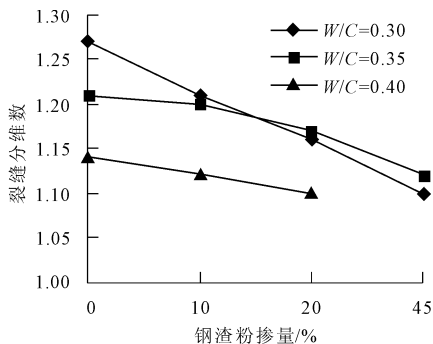


图6 混凝土裂缝分维数与钢渣粉掺量关系

从图 6 可以看出,混凝土随着钢渣粉掺量的增加,裂缝的分维数降低,这说明随着钢渣粉掺量增加,混凝土开裂趋于简单化,混凝土抗裂性能得到改善。

4 结论

基于本次试验研究,对于高性能混凝土的收缩开裂问题得出如下结论:

(1) 掺入钢渣粉对混凝土的开裂时间影响显著,水胶比越大,钢渣粉掺量增加,高性能混凝土的开裂时间出现相应推迟。

(2) 在水胶比小于等于 0.40 时,水胶比对混凝土抗裂性能的影响较为明显,并且水胶比越大,高性能混凝土抗裂性越强。

(3) 掺入钢渣粉能够增强混凝土抗裂性能,而且其掺量在 10% ~ 45% 之间时,随着钢渣粉掺量的增加,混凝土的抗裂性能增强。

(4) 对于钢渣混凝土采用分形评价也是可行的,并且随着钢渣粉掺量增加,混凝土分维数逐渐减小,混凝土抗裂性能提高。

参考文献:

- [1] 吴中伟.高性能混凝土(HPC)的发展趋势与问题[J].建筑技术,1998,29(1):8-13.
- [2] 吴中伟.高性能混凝土及其矿物细掺料[J].建筑技术,1999,30(3):160-162.
- [3] 廉慧珍,吴中伟.混凝土的可持续发展与高性能胶凝材料[J].混凝土,1998,(6):8-12.
- [4] 冯乃谦.普通混凝土、高强混凝土与高性能混凝土[J].建筑技术,2004,35(1):20-23.
- [5] 孙振平,张冠伦.高性能混凝土研究[J].混凝土,1995,(6):56-58.
- [6] 蒲心诚,严吴南,王冲,等.高流态超高强混凝土研究[J].混凝土,1997,(4):20-22.
- [7] 蒲心诚.超高强混凝土的研究与应用[J].混凝土,1993,(5):35-39.
- [8] 费文斌.利用锂渣取代部分水泥配制混凝土[J].水泥技术,1998,(6):36-40.
- [9] 朱永斌,楚虹.锂渣在高低水胶比中形态效应的试验研究[J].新疆农业大学学报,1998,21(4):308-311.
- [10] 韩思甜,宗亮,巴东,等.用锂渣代替熟料生产通用硅酸盐水泥[J].生产技术,2009,(1):32-33.
- [11] 夏春.粉煤灰-锂盐渣掺合料水泥石微特征与活性机理[J].粉煤灰,2004,(6):13-15.
- [12] 赵若鹏,郭自立,张晶,等.内掺锂渣和硅粉的 100 MPa 高强度大流动性混凝土研究[J].工业建筑,2004,34(12):61-62.