

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.02.013

刘攀. 预吸水多孔钢渣对混凝土早期抗裂性能影响[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 79-83. (LIU Pan. Analysis of influence of pre-soaked porous steel slag on early crack resistance of concrete[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(2): 79-83.)

预吸水多孔钢渣对混凝土早期抗裂性能影响

刘 攀

(新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 混凝土的早期抗裂问题是当前国内外研究的热点之一。为了探究多孔钢渣对混凝土抗压强度和早期抗裂性能的影响,采用预吸水多孔钢渣等量部分替代混凝土中粗集料配制钢渣混凝土,并用刀口法研究不同水灰比和不同钢渣掺量对混凝土早期抗裂性能的影响规律。研究发现:掺加预吸水多孔钢渣混凝土7 d和28 d的抗压强度明显优于对照组,并且仅从抗压强度角度判断,钢渣在混凝土中存在最优掺量;掺加预吸水多孔钢渣后,混凝土裂缝初裂时间后移,裂缝最大宽度、单位面积上总开裂面积明显缩小,早期抗裂性能增强。从内养护角度分析,多孔钢渣能够改善混凝土内部相对湿度,从而抑制了混凝土早期收缩,有助于提高混凝土早期抗裂性能。

关 键 词: 多孔钢渣; 混凝土; 刀口法; 早期抗裂性能

中图分类号: TU 528

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)02-0079-05

由于我国西部地区气候炎热干燥,混凝土结构表面水分蒸发过快,使得新浇注的混凝土构件很容易发生收缩,导致其表面产生大量裂缝,尤其是混凝土早期开裂现象特别严重。这些裂缝严重影响混凝土工程的结构耐久性,进而降低混凝土工程的使用寿命,无形中造成资源的浪费。因此通过提高混凝土工程的耐久性来实现节能减排^[1]成为重要的研究课题。国内外许多学者研究了超吸水树脂颗粒、减蒸剂等^[2-4]对混凝土早期抗裂性能的影响规律,并取得了很多重要的研究成果。

本文选取饱和面干状态石状钢渣(粒径5~25 mm的钢渣,以下简称钢渣)作为内养护^[5-10]集料,按一定比例分别代替混凝土中粗集料,采用刀口法对钢渣混凝土的早期抗裂性做了测试与比较,着重讨论了饱和面干状态多孔钢渣对混凝土早期抗裂性的影响。

1 原材料与试验方案

试验中的原材料包括:水泥,新疆天山水泥厂生产的42.5R型普通硅酸盐水泥(其化学成分见表1);粗集料,采用乌拉泊水库上游乌鲁木齐河中的河卵石,粒径5~25 mm连续级配,含泥量0.21%,压碎指标 $\delta=2.5\%$ (I类),试验中粗集料为饱和面干状态;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%,试验中细集料为饱和面干状态;钢渣,石状钢渣是产自新疆某钢铁厂已除铁的钢渣原渣,经过人工筛选所得粒径5~25 mm部分,压碎指标 $\delta=8.5\%$ (I类),饱和面干吸水率为4.08%(其化学成分见表1);减水剂,采用新疆格辉科技有限公司生产的FDN高效减水剂;拌合水,试验室中自来水。

收稿日期: 2014-09-25

作者简介: 刘 攀(1987-),男,安徽太和人,助理工程师,硕士,主要从事水利水电工程设计工作。

E-mail: 272851706@qq.com

表 1 水泥和钢渣的化学组成

Tab. 1 Chemical composition of cement and steel slag %

试样	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	13.15	3.78	23.11	44.97	0.06	0.12	0.16	0.24	8.62	4.00	0.98

本试验参照《水工混凝土试验规程》(SL 352-2006)设计混凝土配合比(见表 2)。试验中钢渣按照粗集料的 10%、20% 和 45% 等 3 个掺量进行等量替代,配制钢渣混凝土的坍落度范围为 180~200 mm。表 2 中编号 D1、D2 为对照组,编号 A1~A6 为钢渣替代粗集料的试验组。试验中,钢渣进行预吸水达到饱和面干状态。

表 2 混凝土配合比

Tab. 2 Mix proportion of concrete

编号	水胶比	水/(kg·m ⁻³)	水泥/(kg·m ⁻³)	钢渣/(kg·m ⁻³)	砂/(kg·m ⁻³)	石/(kg·m ⁻³)
D1	0.30	150	500	0	776	988
A1	0.30	150	500	99	776	899
A2	0.30	150	500	198	776	790
A3	0.30	150	500	445	776	543
D2	0.35	144	410	0	781	1 078
A4	0.35	144	410	108	781	970
A5	0.35	144	410	216	781	862
A6	0.35	144	410	485	781	593

按表 2 所示混凝土配合比拌制混凝土,拌制均匀后,根据《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082-2009)中“早期抗裂试验”的要求成型混凝土抗裂试件并试验。观测记录各配合比混凝土的初裂时间,混凝土搅拌加水 24 h 后,按照试验标准测试混凝土试件的水分散失量、裂缝最大宽度和裂缝长度,进而计算单位面积上的水分散失量、总开裂面积等。

同时成型 150 mm×150 mm×150 mm 立方体试件,在恒温恒湿的环境下(温度为 25℃,湿度为 96%)养护 24 h 后脱模,然后继续养护至 7 d 和 28 d 龄期,达到龄期后进行混凝土抗压强度试验。其中,抗压强度试验按《水工混凝土试验规程》(SL 352-2006)进行。

2 试验结果与分析

2.1 多孔钢渣对混凝土抗压强度的影响分析

将表 2 中不同配合比混凝土分别按上述试验方法进行试验,所得试验结果汇总见表 3。

由表 3 可知,水灰比为 0.30 和 0.35 时,掺钢渣的 A1~A6 等 6 组混凝土,其 7 d 和 28 d 抗压强度均高于对照组 D1 和 D2。由于本试验中加入的钢渣为饱和面干状态,这就在混凝土中引入了额外的水,从而增加了混凝土水灰比,但额外引入水量较大的 A6 组混凝土,水灰比增加仅为 0.048,可见水灰比变化非常小。同时,混凝土试件成型时,内部湿度较高,钢渣中饱和水散失有限,进而使得混凝土的水灰比变化更小。随着时间的推移,水泥的水化反应,混凝土试件内孔溶液的 pH 值增大,渗透压力增大,使得钢渣释放部分水分,在其周围形成了湿度微区,促进了水泥水化。本试验中由多孔钢渣引入的饱和水理论上最多为 1 kg 水泥提供所需的内养护水量 0.048 kg,这部分水仍能在一定程度上维持混凝土的自养护^[11]。另外,由于钢渣表面比

较粗糙且孔隙较多,随着钢渣周围水泥的水化反应,水化产物进入钢渣中的孔隙,这些水泥浆形成“锚杆”,使得表面粗糙的多孔钢渣牢牢镶嵌在混凝土内部。所以混凝土的抗压强度不但没有降低,反而在一定程度上增加了。

表 3 混凝土抗压(抗裂)试验结果
Tab.3 Compression and cracking test results of concrete

编号	水灰比	7 d 抗压强度/ MPa	28 d 抗压强度/ MPa	单位面积上水分 散失量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	单位面积上 总开裂面积/ ($\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)	裂缝最大宽度/ mm	初裂时间/ h
D1	0.30	53.4	60.1	6.80	1 642	1.00	0.98
A1	0.30	54.2	62.3	3.16	644	0.56	1.93
A2	0.30	55.0	65.5	2.58	499	0.54	1.17
A3	0.30	54.1	66.7	2.00	355	0.46	2.40
D2	0.35	45.6	57.8	5.87	1 134	0.54	1.75
A4	0.35	50.1	58.3	2.53	385	0.56	2.08
A5	0.35	51.0	59.3	1.91	301	0.48	2.50
A6	0.35	49.8	59.4	1.42	247	0.42	2.83

2.2 多孔钢渣对混凝土抗裂性能的影响分析

结合本试验和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082-2009)的规定,定量分析混凝土的裂缝开展可以通过 3 个参数来描述:单位面积上的总开裂面积、裂缝最大宽度和初裂时间。试验时间从混凝土加水时开始计时,24 h 后混凝土单位面积上的总开裂面积、裂缝最大宽度、初裂时间、单位面积上水分散失量与不同水胶比、钢渣掺量的关系见图 1。

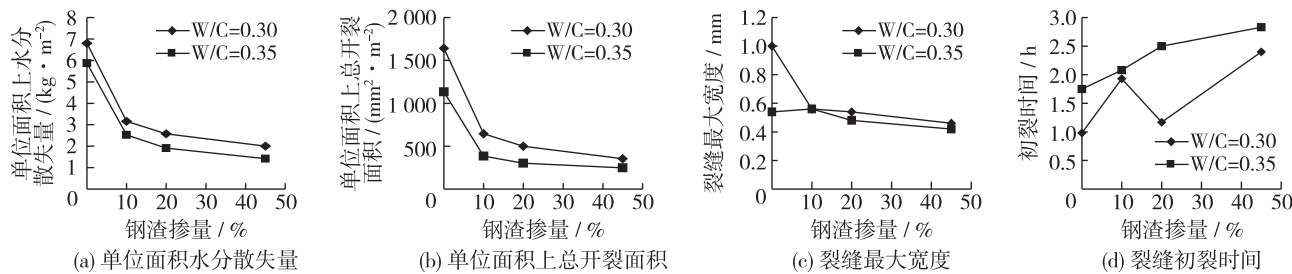


图 1 水分散失量、总开裂面积、裂缝最大宽度和初裂时间随钢渣掺量变化
Fig.1 Changes in water loss amount, total cracking area, maximum cracking width and original cracking time with changes in steel slag adding amount

由图 1(a)可见,水灰比为 0.30 和 0.35 时,钢渣混凝土单位面积上水分散失量随着钢渣掺量增加,均出现不同程度上的减少。说明随着钢渣掺量的增加,混凝土内部的相对湿度出现不同的增加,这表明加入预吸水多孔钢渣后,对混凝土内部的自干燥具有缓解作用,同时还在一定程度上补充了混凝土表面水分蒸发所失去的水分,这就抑制了混凝土的早期自干燥收缩和干燥收缩。这主要由于在水化初期,混凝土中钢渣处于饱和面干状态,其他各组分也处于湿润状态,随着水化反应的进行,水化产物填充胶凝材料基体内部的孔隙,形成小于钢渣孔隙直径的毛细管。由于毛细管和孔溶液中 pH 值增加所形成溶液浓度梯度的共同作用^[12],多孔钢渣内的水分向毛细管内移动,以补充水化反应和表面蒸发所散失的水分,从而缓解了混凝土内部相对湿度的下降。

从图 1 亦可见,掺加多孔钢渣的 A1~A6 等 6 组混凝土和对照组 D1,D2 相比:混凝土试件单位面积上的

总开裂面积和裂缝最大宽度均较小,并且随着钢渣掺量的增加逐渐减小;混凝土初裂时间出现相应的延长,随着钢渣掺量的增加,这一现象逐渐明显。原因在于混凝土搅拌过程中,掺加的多孔钢渣在其内部呈均匀分布,该部分钢渣在混凝土内部起到蓄水的作用。随着水泥水化反应的进行,胶凝材料基体内水分减少,孔内溶液的 pH 值增加,以及胶凝材料基体内形成的毛细管,共同导致多孔钢渣释放出预先吸收的部分水分。再加上 5 m/s 的风速使得混凝土试件表面水分快速蒸发散失,部分毛细管内形成负压区,同样使得钢渣释放出预先吸收的水分。这些水分及时地弥补了混凝土内的水分散失,相对减小了内部的湿度梯度,促进了水泥的水化,抑制了混凝土早期自干燥收缩和干燥收缩^[13-14],延长了混凝土初裂时间。由于初裂时间的延长,混凝土的强度得以增强,再加上多孔钢渣粗糙的表面牢牢镶嵌在混凝土内部,以及孔内水泥浆所形成的“锚杆”等共同作用,限制了混凝土的早期开裂,减小了混凝土的开裂面积和裂缝宽度,进而使得掺加钢渣后混凝土的抗裂效果增强。

3 结 语

混凝土中掺加预吸水多孔钢渣后,混凝土 7 d 和 28 d 的抗压强度明显优于对照组。水灰比一定时,随着钢渣掺量的增加,多孔钢渣的保水性增强。掺加预吸水多孔钢渣后,混凝土裂缝初裂时间后移,裂缝最大宽度、单位面积上总开裂面积显著降低,早期抗裂性能增强。从内养护角度分析,多孔钢渣能够改善混凝土内部相对湿度,从而抑制了混凝土早期收缩,有助于混凝土早期抗裂性能的提高。

参 考 文 献:

- [1] 唐明述. 水泥混凝土与可持续发展[J]. 中国有色金属学报, 2004(专辑 1): 164- 173. (TANG Ming-shu. Cement, concrete and sustainable development [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2004(Ser 1): 164- 173. (in Chinese))
- [2] 成全喜, 江书杰, 孙锦镖. 聚丙烯纤维混凝土抗裂性能试验研究[J]. 天津城市建设学院学报, 2003, 9(4): 265- 268. (CHENG Quan-xi, JIANG Shu-jie, SUN Jin-biao. Polypropylene fiber concrete anti-cracking performance test research [J]. Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2003, 9(4): 265- 268. (in Chinese))
- [3] 刘乃光, 王力尚, 周康, 等. 燥热环境中混凝土早期开裂的改善措施研究[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(4): 748- 754. (LIU Nai-guang, WANG Li-shang, ZHOU Kang, et al. Studies on improvement measures to early cracking of concrete in hot and dry environment[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2013, 32(4): 748- 754. (in Chinese))
- [4] 刘德荣, 毛逢银. 高吸水树脂改性混凝土研究[J]. 化学建材, 1999, 15(3): 16- 18. (LIU De-rong, MAO Feng-yin. A study of high absorbency resin modified concrete[J]. Chemical Building Materials, 1999, 15(3): 16- 18. (in Chinese))
- [5] 高美蓉, 秦鸿根, 庞超明. 高性能混凝土内养护技术的研究现状[J]. 混凝土与水泥制品, 2009(3): 9- 12. (GAO Mei-rong, QING Hong-gen, PANG Chao-min. The research status of high performance concrete in curing technology[J]. China Concrete and Cement Products, 2009(3): 9- 12. (in Chinese))
- [6] 李北星, 查进, 李进辉, 等. 饱水轻集料内养护对高性能混凝土收缩的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(5): 24- 27. (LI Bei-xing, ZHA Jin, LI Jin-hui, et al. Effect of internal curing caused by saturated light weight aggregate on shrinkage of high performance concrete[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(5): 24- 27. (in Chinese))
- [7] 陈德鹏, 钱春香, 赵洪凯, 等. 内养护措施改善混凝土收缩开裂性能[J]. 特种结构, 2007, 24(1): 57- 60. (CHEN De-peng, QIAN Chun-xiang, ZHAO Hong-kai, et al. The maintenance measures to improve the performance of concrete cracking[J]. The Special Structure, 2007, 24(1): 57- 60. (in Chinese))
- [8] 蒋亚清, 许仲梓, 吴建林, 等. 高性能混凝土中饱水轻集料的微养护作用及其机理[J]. 混凝土与水泥制品, 2003(5): 13- 16. (JIANG Ya-qing, XU Zhong-zi, WU Jian-lin, et al. High performance light aggregate concrete personal water curing effect and its mechanism [J]. China Concrete and Cement Products, 2003(5): 13- 16. (in Chinese))
- [9] KOVLER K, SOUSLIKOV A, BENTUR A. Pre-soaked lightweight aggregates as additives for internal curing of high-strength concretes[J]. Cement, Concrete and Aggregates, 2004, 26(2): 131- 138.
- [10] JÓZ WIAK-NIEDŹ WIEDZKA D. Scaling resistance of high performance concretes containing a small portion of pre-wetted lightweight fine aggregate[J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(6): 709- 715.

- [11] JENSEN O M, LURA P. Techniques and materials for internal water curing of concrete[J]. Materials and Structures, 2006,39(9): 817-825.
- [12] 蒋正武. 高性能混凝土中水分扩散与自收缩研究[D]. 上海: 同济大学, 2002. (JIANG Zheng-wu. Water diffusion and autogenous shrinkage research in high performance concrete[D]. Shanghai: Tongji University, 2002. (in Chinese))
- [13] DHIR R K, HEWLETT P C, DYER T D. Influence of microstructure on the physical properties of self-curing concrete[J]. ACI Materials Journal, 1996, 93(5): 465-471.
- [14] BENTZ D P, JENSEN O M. Mitigation strategies for autogenous shrink age cracking[J]. Cement and Concrete Composites, 2004, 26(6): 677-68.

Analysis of influence of pre-soaked porous steel slag on early crack resistance of concrete

LIU Pan

(Xinjiang Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830000, China)

Abstract: The early cracking in concrete is one of the hot spots of current researches at home and abroad. In this study, in order to explore the influence of the pre-soaked porous steel slag on the early crack resistance of concrete, we mixed the pre-soaked porous steel slag into concrete, replaced part of the coarse aggregate amount and used the knife-edge method to study the early crack resistance of concrete. The test content is mainly divided into two parts, the strength tests and the early crack resistance tests. The analysis results show that 7 d and 28 d compressive strengths of the steel slag concrete are superior to the control group, and only judging by the compressive strength, there is the optimal dosage of the porous steel slag in concrete. After adding the pre-absorbent porous slag to concrete, it causes a delay in the initial cracking of concrete, the maximum crack width and total crack area on per unit area are significantly reduced, and the early cracking resistance of concrete is enhanced significantly. From the point of view of internal curing, analysis results show that the porous steel slag can improve the internal relative humidity of concrete, thus inhibiting the shrinkage of concrete at the early age, and be favorable for the improvement of the early cracking resistance of concrete.

Key words: porous steel slag; concrete; knife-edge method; early crack resistance