

冻融循环周次对陶粒混凝土动态力学性能影响的实验研究

施冠银, 邱 欣, 陈江瑛*

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了研究冻融循环周次对陶粒混凝土动态力学性能的影响, 对含有页岩陶粒体积分数为 0%、15%、30%、45% 的陶粒混凝土试样分别进行 0、10、20、30 和 40 次的冻融循环后 SHPB 动态压缩实验. 实验表明: 陶粒混凝土的动态力学性能随着冻融循环周次增加而弱化, 动态压缩强度随着应变率的增加而增大, 并给出了冻融循环周次对陶粒混凝土动态压缩强度的变化规律.

关键词: 陶粒; 混凝土; SHPB; 冻融循环; 动态力学性能

中图分类号: TU502⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 03-0074-04

陶粒混凝土是由陶粒为粗骨料与砂、水泥和水按一定比例配合拌制而成的一种轻质混凝土. 由于陶粒混凝土具有重量轻、保温性能优良、抗渗透性好等优点, 被广泛应用于房屋建筑、路面桥梁等基础设施中. 陶粒混凝土^[1-2]和其他轻质混凝土^[3-7]的力学性能和破坏机理研究大多限于静态, 动态力学性能影响的研究较少报道^[8-9]; 冻融循环对轻骨料混凝土的静态力学性能也已有一些研究^[10-11], 但冻融循环对其动态力学性能的研究未见报告. 本文主要研究冻融循环周次对不同体积分数陶粒含量的陶粒混凝土的动态压缩强度影响, 以期对极端环境下陶粒混凝土的应用提供指导.

1 试样的制备

文中所用的砂浆混凝土试样和陶粒混凝土试样为同批制成, 以确保试样基本性能的一致性. 试样制作的页岩陶粒直径为 3~6 mm, 形态如图 1 所示, 水泥为 45 号. 砂浆混凝土试样的质量配比为水:水泥:中砂=0.43:1:1.2. 同时制作了陶粒体积分数为 15%、30%、45% 的试样, 其水、水泥和中砂的质量配比为 0.43:1:1.2, 其中, 陶粒经过 24 h 浸水后, 在制作试样 0.5 h 前取出沥干表面水分. 圆柱形试样尺寸为 $\Phi 70 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$, 按陶粒体积分数从低到高分别标识为 A(0%)、B(15%)、C(30%)、

D(45%) 4 组.

经搅拌、振捣等工序后制作好的试样在自然环境(约 20 °C)中静置 24 h 后, 脱模并放入水泥混凝土养护箱, 标准养护 28 d. 养护完毕后, 对试样进行端面打磨, 端面平行度达 0.05 mm. 打磨后的试样如图 2 所示.



图 1 陶粒骨料



图 2 打磨后的试样

2 试样的冻融循环试验

使用 NDR-TFC 型快速冻融试验机对试样进行冻融试验. 试样的冻结和融化过程均处于全浸水状态(亦即饱水状态). 试样融化中心温度为 10 °C, 冻结中心温度为 -10 °C, 1 个冻融循环周期为 4 h. 5 组试样分别进行了冻融循环次数为 0 次、10 次、20 次、30 次、40 次的冻融试验. 图 3 为 40 次冻融循环后的 D 组试样, 表面已有部分剥落, 因此笔者取试样最大冻融循环次数为 40 次.

收稿日期: 2014-09-30.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(10972109, 11272165).

第一作者: 施冠银(1988—), 男, 浙江慈溪人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 冲击动力学. E-mail: sgy04208@163.com

*通信作者: 陈江瑛(1964—), 女, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 冲击动力学. E-mail: chenjiangying@nbu.edu.cn

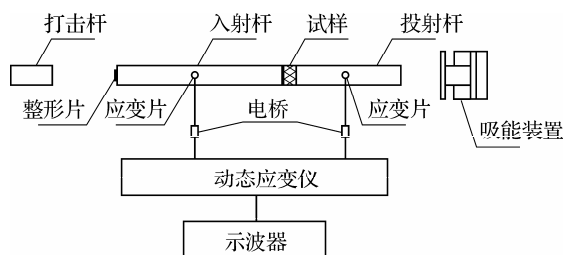


图3 40次冻融循环后的D试样

3 动态力学性能实验

3.1 实验装置

SHPB装置是目前测量材料在冲击载荷作用下的力学响应特性的主要设备之一。SHPB装置由打击杆(子弹)、入射杆、透射杆和吸能装置及测量系统等部分组成,试样置于入射杆和透射杆之间,不同的打击气压会使试样上产生不同的应变率。试样相应的应力—应变关系可通过测量贴在杆上的应变片的脉冲信号换算而得。文中实验使用直径为74 mm的SHPB装置(图4)。

图4 $\Phi 74$ mm的SHPB装置示意图

3.2 实验结果

对第1批试样进行SHPB实验,打击气压为0.3 MPa。打击后,所有试样都已破碎。图5和图6分别为砂浆混凝土和陶粒混凝土(15%)试样的不同冻融循环次数后的冲击破碎形态,明显可见,随着循环次数的增加,碎片变小,破碎程度加剧。



(a) A1 (0次) (b) A2 (20次) (c) A3 (40次)

图5 砂浆混凝土试样的破坏形态



(a) B1 (0次) (b) B2 (20次) (c) B3 (40次)

图6 陶粒混凝土(15%)试样的破坏形态

采用SHPB试验技术中的三波法对试验中采集的应力波信号进行分析处理,得到A、B、C和D组试样在0.3 MPa子弹打击气压下的应力—应变曲线如图7(a)~(d)所示。

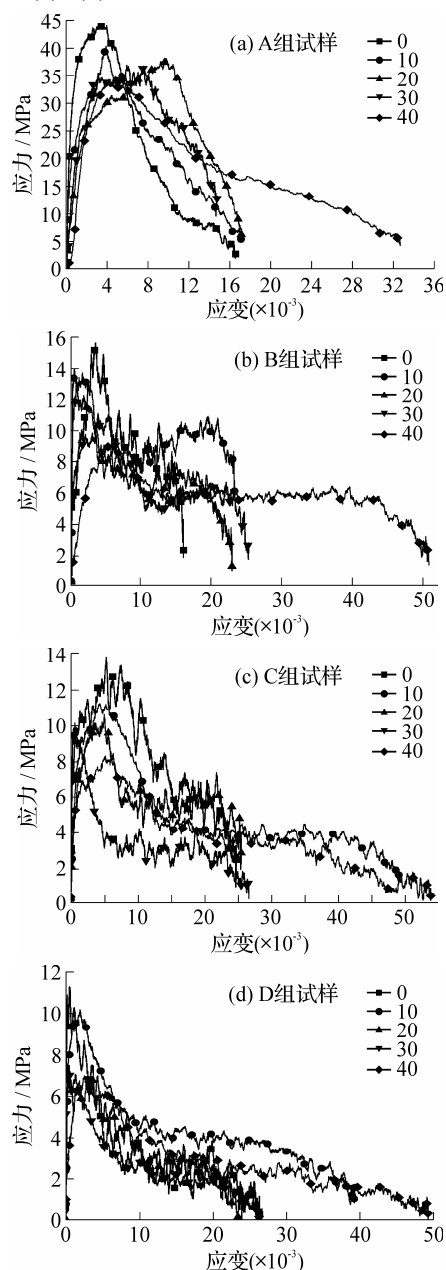


图7 0.3 MPa子弹打击气压下的应力—应变曲线

对第2批试样进行SHPB实验,打击气压为0.5 MPa,得到A、B、C和D组试样在0.5 MPa打击气压下的应力—应变曲线如图8(a)~(d)所示。

3.3 实验结果分析

从图7和图8中各组试样的应力—应变曲线可见,每组试样最大应力都随试样冻融循环周次的

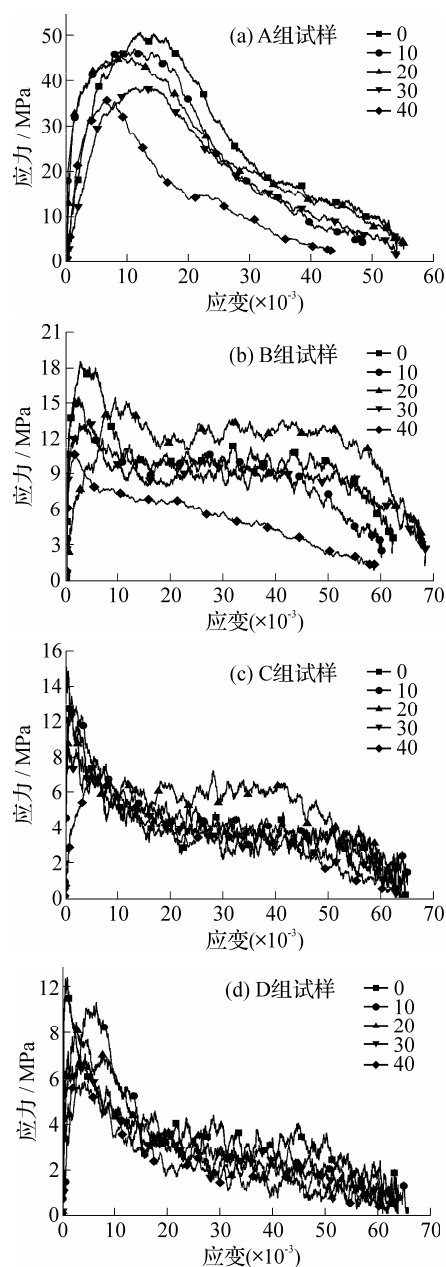


图8 0.5 MPa子弹打击气压下的应力—应变曲线

增加而逐渐减小。若用 σ_0 表示未冻融循环试样动态打击下的最大应力, 则相对最大应力 σ / σ_0 随着冻融循环周次 N 的增加而逐渐降低的规律, 表1和表2同时表明试样内部的微裂纹在冻融循环过程中产生、发展与 N 密切相关。试样的损伤在微观上具有随机性, 但在宏观上, 其强度的衰减规律具有近似连续性。冻融循环中温度的变化, 导致试样内应力的变化, 特别是表层应力变化较大, 引起表面脱落。当冻融循环周次超过40次后, 混凝土试样表面剥落严重, 且随着陶粒体积分数增加而加重。

表1 打击气压0.3 MPa下各组试样的相对最大应力 / MPa

试样类型	冻融循环数/次				
	0	10	20	30	40
A	1	0.917	0.855	0.839	0.759
B	1	0.890	0.833	0.702	0.586
C	1	0.813	0.768	0.672	0.592
D	1	0.936	0.753	0.664	0.597

表2 打击气压0.5 MPa下各组试样的相对最大应力 / MPa

试样类型	冻融循环数/次				
	0	10	20	30	40
A	1	0.929	0.896	0.764	0.699
B	1	0.838	0.834	0.735	0.577
C	1	0.876	0.796	0.678	0.554
D	1	0.893	0.824	0.658	0.569

对2组不同打击气压下各类试样的相对最大应力随 N 变化规律进行线性拟合, 分别得到砂浆混凝土和陶粒混凝土材料的拟合经验公式如下:

$$f = 1 - 0.0067N, \quad (1)$$

$$f = 1 - (0.0099 + 0.0004V/V_B)N, \quad (2)$$

式中, f 为相对最大应力, 即 σ / σ_0 ; N 为冻融循环周次; V/V_B 为陶粒体积分数比, V 为陶粒体积分数, V_B 为B组试样的陶粒体积分数。

砂浆混凝土A组和陶粒混凝土B组试样的最大相对应力拟合曲线分别如图9和图10所示。

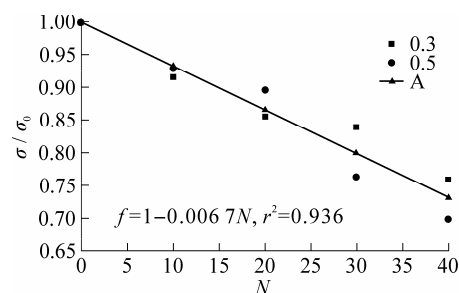
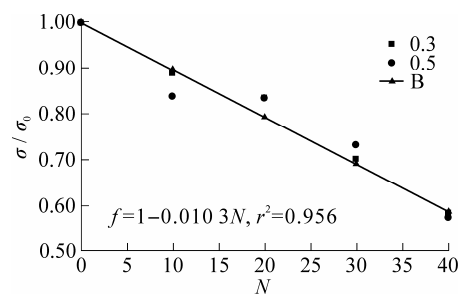


图9 A组砂浆混凝土相对最大应力曲线

图10 B组陶粒混凝土相对最大应力曲线
陶粒混凝土C组和D组试样的最大相对应力

拟合曲线公式可分别由(3)式和(4)式表示:

$$f = 1 - 0.0107N, r^2 = 0.964, \quad (3)$$

$$f = 1 - 0.0110N, r^2 = 0.972. \quad (4)$$

4 结论

混凝土 SHPB 试验显示, 与砂浆混凝土不同的是陶粒混凝土的应力—应变曲线存在平台阶段. 即在应力峰值后, 且应变增加到一定值时, 应力—应变曲线的衰减明显变缓, 即应力随应变增加而减小的趋势明显变小, 且会出现波动的状况. 可见陶粒体积的增加有效提高了混凝土的韧性.

2 组不同打击气压的冲击压缩试验均显示, 陶粒混凝土的动态抗压强度随着陶粒体积分数的增加而减小, 砂浆混凝土的动态抗压强度要明显大于陶粒混凝土的动态抗压强度.

随着冻融循环周次的增加, 砂浆混凝土和陶粒混凝土的动态抗压强度都随之减小, 给出了相对最大应力随冻融循环周次变化的规律. 当冻融循环周次到 40 次后, 混凝土试样表面剥落比较严重, 此时陶粒混凝土的动态抗压强度降至未进行冻融循环的同类试样的一半.

参考文献:

- [1] 张宝生, 孔丽娟, 袁杰, 等. 页岩陶粒对混凝土破坏性能及机理影响的研究[J]. 材料科学与工艺, 2009, 17(5): 718-723.
- [2] 莫振林. 陶粒混凝土梁受弯性能的试验研究[D]. 长沙理工大学, 2008.
- [3] 戴文昊, 高阳, 丛树民, 等. 不同类型混凝土冻融循环试验分析[J]. 科技创业, 2013(5):178-180.
- [4] 熊耀清, 姚谦峰. 轻质多孔混凝土受压应力—应变全曲线试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(2):228-232.
- [5] 宋玉普, 赵国藩, 彭放, 等. 三轴加载状态下轻骨料混凝土的变形特性[J]. 大连理工大学学报, 1994, 34(3): 344-351.
- [6] 归强. 轻骨料混凝土受弯梁力学性能试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [7] Ke Y, Beaucour A L, Ortola S, et al. Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(8):2821-2828.
- [8] 施德胜. 陶粒体积分数对陶粒混凝土破坏行为的影响[D]. 宁波: 宁波大学, 2013.
- [9] Wang H T, Wang L C. Experimental study on static and dynamic mechanical properties of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete[J]. Construction and Building Materials, 2013, 38:1146-1151.
- [10] Mao J, Ayata K. Freeze-thaw resistance of lightweight concrete and aggregate at different freezing rates[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(1):78-84.
- [11] 王立成, 刘汉勇. 冻融循环后粉煤灰陶粒混凝土定侧压下的强度和变形性能试验研究[J]. 工程力学, 2007, 24(1):129-135.

Experiment-based Study on Influence of Freeze-thaw Cycles on Dynamic Mechanical Properties of Ceramsite Concrete

SHI Guan-yin, QIU Xin, CHEN Jiang-ying*

(Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The effect of freeze-thaw cycles on dynamic mechanical properties of the ceramsite concrete is studied. Four groups of the specimens with different ceramsite volume fraction including 0%, 15%, 30% and 45%, each of which experiences 0, 10, 20, 30 and 40 cycles of freeze-thaw, are tested using SHPB device. The experimental results show that the dynamic behaviors of ceramsite concrete decrease along with the increasing number of freeze-thaw cycles, and the dynamic compressive strength increase along with the increase of strain rate. Finally, the relationship between the dynamic compressive strength of the concrete and freeze-thaw cycles is established.

Key words: ceramsite; concrete; SHPB; freeze-thaw cycle; dynamic mechanical properties

(责任编辑 章践立)