

文章编号: 1674-599X(2020)03-0014-05

# 干湿循环作用下泡沫混凝土耐久性试验研究

谭炯

(湖南恒利建筑工程有限公司, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** 为研究干湿交替循环对路用泡沫混凝土性能的影响。采用干湿循环试验, 研究了泡沫混凝土无侧限抗压强度与干湿循环次数的变化规律、吸水量与时间的变化特征。研究表明: 干湿循环作用下, 前期裂缝的产生会导致吸水量急剧增加; 后期裂缝发展缓慢, 吸水量趋于稳定。大温差干湿交替作用下, 泡沫混凝土极易因贯穿裂缝而使结构失效。大温差干湿循环次数对泡沫混凝土的无侧限抗压强度影响不明显, 变化幅度约为 10%。

**关键词:** 干湿循环; 泡沫混凝土; 耐久性; 强度

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.03.003

## Study on durability test of foam concrete subjected to drying-wetting cycles

TAN Jiong

(Hunan Hengli Construction Engineering Co., Ltd., Changsha 410007, China)

**Abstract:** In order to study the effect of drying-wetting cycling on the performance of pavement foam concrete. The drying and wetting cycles tests were carried out to study the regularity of the unconfined compressive strength of the foamed concrete and the number of cycles of wetting drying and wetting. The results show that as the specimen is subjected drying and wetting cycle, the appearance of cracks leads to a sharp increase in water absorption, then the development of cracks slows down and the water absorption volume gradually stabilizes. Under the action of drying and wetting alternation with the large change of temperature, the structural of foamed concrete can be easily damaged by through cracks. However, the influence of drying-wetting cycles on strength is not obvious, and the range of change is controlled within 10%.

**Key words:** drying and wetting cycle; foam concrete; durability; strength

泡沫混凝土作为一种新型的混凝土结构, 在道路建设中的应用越来越广泛。干湿交替作为一种自然现象, 作用于道路建设和营运的全过程, 其对路用泡沫混凝土耐久性的影响越来越受人们的重视<sup>[1-2]</sup>。已有研究表明: 干湿循环作用促进侵蚀性离子侵入混凝土制品的速度, 加速了混凝土材料的损伤和劣化。目前, 干湿循环作用下, 路用泡沫混凝土性能影响的研究主要为室内试验。在室内模拟自然环境条件下的干湿交替现象。顾欢达<sup>[3]</sup>等人对泡沫混凝土在干湿循环条件下的变化规律进行了研究, 结果表明: 泡沫混凝土强度具有较好的稳定

性, 甚至会有上升。Ganjian<sup>[4-5]</sup>等人分别设计了不同的干湿交替循环环境, 模拟相应的干湿交替条件下混凝土的性能。庞超明<sup>[6]</sup>等人在干湿循环交替试验中, 研究了干燥时间对混凝土制品劣化深度的影响。高原<sup>[7]</sup>等人模拟了不同强度等级的混凝土试件, 在干湿循环作用下的相对湿度和自由变形特性。这些成果主要针对一般干湿交替作用下, 对混凝土试件进行研究, 对于大温差干湿交替作用对路用泡沫混凝土性能影响的研究鲜见。夏季高温多雨, 道路常受雨水的浸湿, 路面温度从 20 °C~70 °C 间交替循环, 属于大温差的干湿交替现象。因此, 作者

收稿日期: 2020-06-08

作者简介: 谭炯(1981-), 男, 湖南恒利建筑工程有限公司工程师。

拟进行室内大温差干湿循环试验, 研究混凝土试件的强度特性和吸水率, 以期为实际工程提供理论支持。

## 1 试验方案

### 1.1 试验材料

本次实验所选用的原材料均符合《泡沫混凝土应用技术规程(JGJ/T 341—2014)》的要求, 水泥选用 42.5 普通硅酸盐水泥; 泡沫剂的选用依据《泡沫混凝土(JG/T 266—2011)》要求, 选用 HT 复合发泡剂; 水采用自来水并符合《混凝土用水标准(JG/J 63—2006)》的规定。本次试验所配成的路用泡沫混凝土 28 d 无侧限抗压强度不小于 0.8 MPa, 设计密度为  $600 \text{ kg/m}^3$ 。为保证所制作的泡沫混凝土符合强度和密度的要求, 本实验通过计算和试配, 确定泡沫混凝土的配合比和各组成的具体用量, 其密度、设计流动度、水泥、水及泡沫剂设计值分别为  $600 \text{ kg/m}^3$ 、180 mm、350 kg、210 kg、677.1 L, 28 d 无侧限抗压强度  $> 0.8 \text{ MPa}$ 。本次试验试块尺寸为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ , 配制的路用泡沫混凝土现场浇筑制作试块, 保证试块原料与实际工程的一致性。试模先清理干净。再涂刷脱模剂, 底部脱模孔用纸片覆盖防漏。然后浇筑路用泡沫混凝土, 边浇筑边轻轻敲击试模, 使得试块内部无大气泡滞留。为防止路用泡沫混凝土干缩, 试件制作时, 浇筑高度高于模口, 待终凝脱模前, 用刀刮平。最后试块浇筑完成 30 h 后脱模, 置于标准环境下, 养护 28 d。

### 1.2 试验工况及流程

#### 1.2.1 试验工况

为了模拟大温差干湿交替试验, 共制作了 7 组, 每组 3 个试块, 为防止试验中试块的意外损坏, 共准备 25 个试块。试验过程中, 先将试块烘干至恒重, 再按设定的大温差干湿交替进行试验。试验进行了 7 次大循环, 一次大循环包括 5 次大温差干湿交替。在每次大循环之后, 测定试块 5 min 的吸水性和无侧限抗压强度。每次大温差干湿交替均记录试块表面裂缝情况, 裂缝观察以肉眼观察为主。

#### 1.2.2 试验流程

按照《蒸压加气混凝土性能试验方法(GB/T 11969—2008)》的规定, 将养护 28 d 的混凝土试件

放入电热鼓风干燥箱内, 设置温度为  $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 先烘干。再将每组试块放在温度为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  的室内, 冷却 20 min。然后放入恒温为  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  的水箱内, 水高出试件上表面 30 mm, 保持 5 min 后, 取出放在室内晾干 30 min。最后放入电热鼓风干燥箱内,  $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$  下烘干 7 h。此过程为一次干湿循环。

为模拟大温差干湿交替的作用, 将试块从烘箱中取出之后, 直接放入恒温水箱中进行湿循环, 省去室内冷却的过程。并且为了加速试验进程, 适当延长了试块的烘干时间, 烘干时间为 8, 16 h 交替进行。当到达预期干湿交替次数时, 为保证试块彻底烘干, 将试块烘干 24 h。烘干时间分别为 8, 16, 8, 16, 24 h。具体试验方案如图 1 所示。

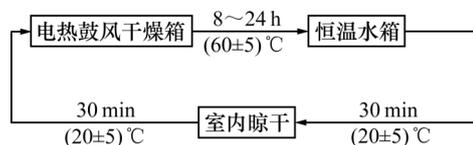


图 1 大温差干湿交替循环示意

Fig.1 Schematic diagram of large temperature difference drying-wetting cycle

## 2 试验结果分析

### 2.1 吸水量及孔结构分析

#### 2.1.1 吸水量

试验过程中, 对第 1 组 3 个试块的吸水量进行测定, 取 3 个试块测定结果的平均值作为试验结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, 初始试块质量为 413.37 g, 试块饱和后质量为 716.28 g, 可得到饱和和吸水量为 302.91 g 左右。裂缝试块浸水时间 5 min 后, 试件质量为 573.30 g, 可得试块吸水量为 159.93 g, 达到饱和吸水量的 50%以上, 其原因是因为在将试块彻底烘干过程中, 泡沫混凝土在热胀作用下, 出现一定程度的开裂, 破坏了泡沫混凝土完整的气泡结构, 并且产生了微裂缝, 导致试块吸水量的增加。使用期间, 泡沫混凝土吸水量的增加, 会严重影响其轻质性, 也影响其设计时自重的取值。

一个大循环大温差干湿交替试验过程中, 第 1 组试样吸水量的变化趋势如图 3 所示。从图 3 可以看出, 随着干湿交替次数的增加, 在相同的浸水时间(5 min)内, 试块吸水量有明显的上升趋势。从最初 50%的吸水量 150 g(饱和吸水量按 300 g 计算),

当大温差干湿交替进行了一个大循环后,试块吸水量上升至63%,吸水量有所增加,但增加速率明显变缓。这是因为试块的裂缝发展集中在第一个大循环期间,所以尽管会有裂缝继续发展,还由于第一个大循环期间发展的裂缝,使得试块在大温差作用下,已有一定的缓冲作用,因此后续裂缝发展减缓。

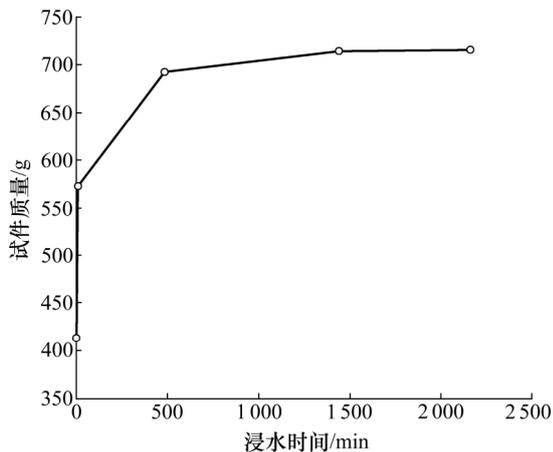


图2 试块质量与浸水时间关系

Fig.2 Relationship between water absorption and soaking time of specimen

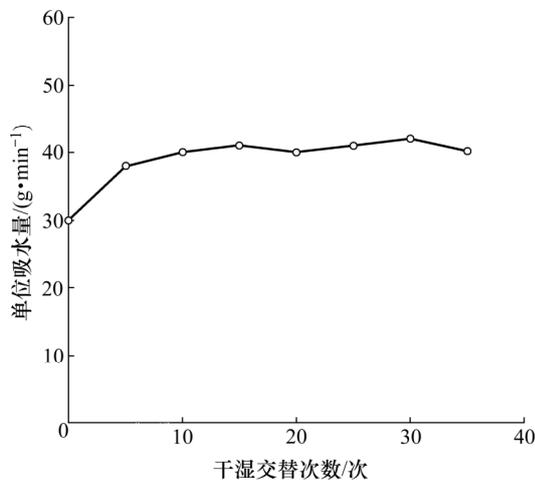


图3 试块吸水量与大温差干湿交替次数关系

Fig.3 The relationship between the water absorption of the specimen and the times of drying-wetting alternation with large temperature difference

### 2.1.2 孔结构分析

路用泡沫混凝土作为一种多孔材料,其孔隙率及孔径分布对路用泡沫混凝土的各项性能均有显著的影响。混凝土中的空隙主要分为凝胶孔、毛细孔、宏观大孔及气泡。其中,影响路用泡沫混凝土耐久性的主要孔隙为毛细孔和气泡。由于其主要以

水泥作为原料,因此可以根据 T.C.Powers 模型进行计算。

孔隙率(包括毛细孔和宏观大孔):

$$P_1 = \frac{v_p}{v_t} \times 100\% = \left[ 1 - \frac{0.32 + 0.36\alpha}{(0.41\alpha + 1)v} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $v$  为设计密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\alpha$  为水化程度;  $v_t$  为总体积,  $\text{cm}^3$ ;  $v_p$  为孔隙体积,  $\text{cm}^3$ 。

毛细孔体积率:

$$P_2 = \frac{v_{cp}}{v_t} \times 100\% = \left[ 1 - \frac{\frac{\omega_0}{c} + 0.36\alpha}{(0.41 + \alpha + 1)v} \right] \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $v_{cp}$  为毛细孔体积,  $\text{m}^3$ ;  $\omega_0$  为实际用水量,  $\text{g}$ ;  $c$  为水泥的质量,  $\text{g}$ ;  $\frac{\omega_0}{c}$  为水灰比。

宏观大孔体积率:

$$P_3 = \left[ \frac{\frac{\omega_0}{c} - 0.32}{(0.41 + \alpha + 1)v} \right] \times 100\% \quad (3)$$

本次试验中路用泡沫混凝土设计密度为  $0.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 水灰比为 0.6, 根据文献[8]~[9], 水化程度取为 0.8。由式(1)~(3)计算可得, 路用泡沫混凝土孔隙率为 24%, 毛细孔隙率为 33%, 宏观大孔体积率为 21%。根据吸水量试验结果可知, 路用泡沫混凝土单个试块饱和吸水量达到了 300 g, 为  $300 \text{ cm}^3$ , 占试块体积的 30%。表明: 在路用泡沫混凝土吸水过程中, 除了毛细孔吸水外, 有部分宏观大孔也参与了储水。

### 2.2 强度试验

当试验进行到第 4 次干湿交替后, 有 2 个试块出现贯穿裂缝, 裂为两瓣。进行到第 6 次干湿交替时, 另有 1 个试块, 因出现贯穿裂缝, 也裂为两瓣。为研究试块裂开后对其强度的影响, 将裂开试块烘干到恒重后, 进行强度测试。试验分为 2 种工况进行, 工况一: 裂缝平行于受压面; 工况二: 裂缝垂直于受压面。试验结果表明: 裂缝的存在对试块强度影响不大。其工况一, 试块无侧限抗压强度为 1.05 MPa, 工况二中试块无侧限抗压强度为 1.09 MPa。这主要是由于试块虽裂为两瓣, 但由于其体积大且具有较好的整体性, 因此, 可以抗压。但在实际工

程中,路用泡沫混凝土一旦发生贯穿裂缝,应视为完全失效。虽然断开试块在整体抗压方面,仍具有一定的强度,但在偏心受压情况下,将会完全失效。在大温差干湿循环作用下,由于泡沫混凝土属于水泥制品,因此,在热胀冷缩作用下,极易产生裂缝,且裂缝深度较大。其中,只有2个试块出现贯穿裂缝,而剩余的25个试块均未出现贯穿裂缝,但表面有1mm左右宽度的裂缝出现,且裂缝深度普遍小于5mm。

每一次大温差干湿循环之后,均测定路用泡沫混凝土的无侧限抗压强度。以每组3个试块的平均强度值作为结果,试验结果如图4所示。从图4可以看出,大温差干湿交替并没有明显影响路用泡沫混凝土的抗压强度,与养护28d后的(图4中0次大温差干湿循环试验所得强度)相比,整个35次大温差干湿循环试验中,路用泡沫混凝土强度上下浮动为10%。因此,试块制作过程中,排除路用泡沫混凝土试块强度正常浮动带来的影响外,可认为路用泡沫混凝土强度未有降低现象。

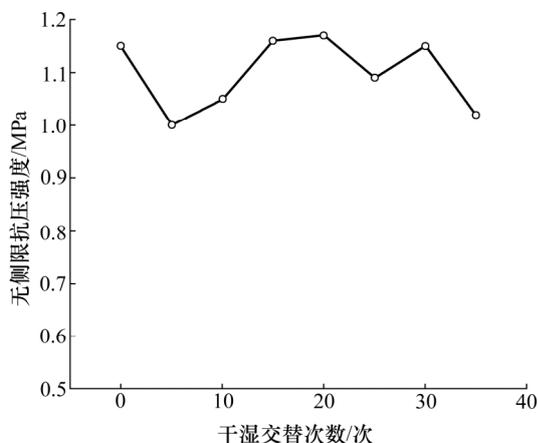


图4 试块大温差干湿交替次数与抗压强度关系

Fig.4 Diagram of the relationship between drying-wetting alternation times and the compressive strength of specimen in large temperature difference

### 3 结论

大温差干湿交替现象作为在实际环境中影响道路工程安全的重要因素之一。通过干湿循环试验,分析路用泡沫混凝土的力学性能和材料特性,得到结论为:

1) 在大温差干湿交替作用下,路用泡沫混凝土

极易发生裂缝,甚至贯穿裂缝,导致路用泡沫混凝土结构发生破坏。

2) 大温差干湿交替对路用泡沫混凝土的无侧限抗压强度影响不明显,即35次大温差干湿交替后,路用泡沫混凝土强度未出现明显的变化。

3) 路用泡沫混凝土裂缝的出现,导致其吸水速率加快,5min吸水量会明显上升,但对其无侧限抗压强度没有明显的影响。因此,吸水量的增加,路用泡沫混凝土设计时,自重荷载取值的增大,影响后期沉降计算。

### 参考文献(References):

- [1] 宿晓萍,王清.复合盐与干湿循环双重因素作用下混凝土耐久性试验[J].吉林大学学报:地球科学版,2013,43(3):851-857.(SU Xiao-ping, WANG Qing.Experiment of the concrete performance the condition of multiple salts and dry-wet cycles[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition,2013,43(3):851-857.(in Chinese))
- [2] 王琴,杨鼎宜,郑佳明.干湿交替环境下混凝土硫酸盐侵蚀的试验研究[J].混凝土,2008(6):29-31.(WANG Qin, YANG Ding-yi,ZHENG Jia-ming.Study on corrosion effects under sulfate attack of concrete at a dry-wet circulation environment[J].Concrete,2008(6): 29-31.(in Chinese))
- [3] 顾欢达,顾熙.干湿循环作用下发泡颗粒轻质土的稳定性[J].公路,2005,50(5):125-128.(GU Huan-da,GU Xi. Stability of light soil mixed with foamed beads under dry-wet-cycle condition[J].Highway,2005,50(5):125-128.(in Chinese))
- [4] Ganjian E,Canpdar F,Claisse P,et al. Special issue on sustainable construction materials[J].Journal of Materials in Civil Engineering,2015,23(7):B2015001.
- [5] 薛文,王卫仑,龚顺风,等.干湿循环下氯离子在混凝土中的传输[J].低温建筑技术,2010,32(6):7-9.(XUE Wen, WANG Wei-lun,GONG Shun-feng,et al.Transport of chloride ion in concrete under dry wet cycle[J].Low Temperature Architecture Technology,2010,32(6):7-9.(in Chinese))
- [6] 庞超明,徐剑,王进,等.混凝土干湿过程及循环制度的研究[J].建筑材料学报,2013,16(2):315-320.(PANG Chao-ming,XU Jian,WANG Jin,et al.Investigation of the process and regime of drying and wetting of concrete[J].

- Journal of Building Materials,2013,16(2):315-320.(in Chinese))
- [7] 高原,张君,孙伟.干湿循环下混凝土湿度与变形的测量[J].清华大学学报:自然科学版,2012,52(2):144-149.(GAO Yuan,ZHANG Jun,SUN Wei.Concrete deformation and interior humidity during dry-wet cycles[J].Journal of Tsinghua University:Science and Technology,2012,52(2):144-149.(in Chinese))
- [8] 马振珠,岳汉威,宋晓岚.水泥水化过程的机理、测试及影响因素[J].长沙大学学报,2009,23(2):43-46.(MA Zhen-zhu,YUE Han-wei,SONG Xiao-lan.Mechanism,test and influencing factors of cement hydration process [J].Journal of Changsha University,2009,23(2):43-46.(in Chinese))
- [9] 杨奉源.泡沫混凝土性能的影响因素研究[D].绵阳:西南科技大学,2012.(YANG Feng-yuan.Factors affecting the properties of foamed concrete[D].Mianyang Southwest University of Science and Technology,2012.(in Chinese))