

透水混凝土调节温度、湿度性能研究

陈建明¹, 戴银所², 蔡天宇², 郎岳谭², 杨修权²

¹南京水务集团有限公司, 江苏 南京

²陆军工程大学国防工程学院, 江苏 南京

Email: ysdaii@163.com

收稿日期: 2020年9月1日; 录用日期: 2020年9月16日; 发布日期: 2020年9月23日

摘要

透水混凝土块内部具有一系列与外部空气以及下部土壤垫层相连通的多孔结构, 垫层土壤中丰富的毛细水通过自然蒸发和光照作用下的蒸腾作用, 能够降低混凝土表面温度并维持一定的湿度, 因此, 透水混凝土对缓解城市热岛效应具有重要意义。本文对比透水混凝土和普通混凝土, 研究含水量、风速、光照强度对混凝土表面温度、湿度的影响。结果表明: 在模拟无降水的情况下, 室内温度19℃时, 30分钟后透水混凝土比普通混凝土表面温度低1℃左右, 湿度约高2%左右; 在模拟降水后有风的情况下, 透水混凝土表面比普通混凝土温度低1℃~2℃, 湿度高3%~9%。说明透水混凝土相对于普通混凝土具有一定的调节温度和较好的调节湿度功能。

关键词

透水混凝土, 热岛效应, 温度, 湿度

Study on Thermal and Humidity Control Property of Pervious Concrete

Jianming Chen¹, Yinsuo Dai², Tianyu Cai², Yuetan Lang², Xiuquan Yang²

¹Nanjing Water Group Co. Ltd., Nanjing Jiangsu

²National Defense Engineering College, Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

Email: ysdaii@163.com

Received: Sep. 1st, 2020; accepted: Sep. 16th, 2020; published: Sep. 23rd, 2020

Abstract

Pervious concrete can allow the water to filter through the pavement and into the underlying soils. The water in the soil can evaporate into the outside air through the porous structure of pervious concrete which can decrease the temperature of the surface and increase the humidity of the sur-

face, which can effectively minimize “hot island effect” in the city. The effects of pervious concrete on the temperature, humidity were studied at temperature of 19°C, the results show that pervious concrete can decrease the temperature of the surface by 1°C - 2°C, and increase the humidity of the surface by 3% - 9% compared with ordinary concrete. The evaporation of water in porous pervious concrete depends not only on the water in concrete, but also on the meteorological factors such as temperature and wind speed. It shows that pervious concrete has certain function of regulating temperature and humidity compared with ordinary concrete.

Keywords

Pervious Concrete, Hot Island Effect, Temperature, Humidity

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

经过高校、科研机构以及透水混凝土生产企业的大量研究，通过调整骨料级配等方法，合理使用外加剂，采用高活性硅灰等技术手段，透水混凝土强度、透水等性能逐步得到提高，应用范围也逐步扩大，从2009年开始我国出台了一系列关于透水混凝土的规范和标准。透水混凝土道路对城市建设具有极大的益处，能够很好解决城市大雨内涝，雨水资源循环利用等问题，是建设海绵城市重要的技术支撑。现代城市的地表多被钢筋混凝土的建筑和硬化路面所覆盖，与天然土壤相比，用普通混凝土铺设的硬化路面缺乏调节地面温度的能力，与城市建筑共同作用，会增加城市的“热岛效应”。据统计，城市年平均气温要比郊区高0.5°C~3°C，在夏季，城市局部地区的气温比郊区高出6°C [1][2][3]。由于透水混凝土的多孔结构，透水混凝土表面的水不仅能够渗到透水混凝土下表面，下表面的水也可以经毛细作用蒸发到透水混凝土表面，从而达到改变混凝土表面温度和湿度的功能[4][5]。本文开展了透水混凝土调节温度和湿度性能的研究。

2. 原材料与试验方法

透水混凝土由骨料、水泥、水等组成，通过筛分，如图1所示，采用单粒级的粗骨料作为骨架，严格控制细骨料的用量。本试验中石子粒径选用5~10 mm，通过清洗，如图2所示，含泥量控制在0.5%以内；采用海螺牌32.5复合硅酸盐水泥，掺合料选用硅灰、粉煤灰。经过多次试配后，按表1的配合比将配制好的材料装入塑料盒中(尺寸为636 mm × 425 mm × 254 mm)成型，制备厚度为120 mm透水混凝土板和对比的普通混凝土板，放入温度为20°C ± 2°C，相对湿度为95%以上的养护室内养护，如图3所示。按相同配合比成型100 mm × 100 mm × 100 mm试块，测试孔隙率、透水率和强度等基本参数。透水率采用了北京耐尔得仪器设备有限公司生产的NELD-PC370混凝土透水系数测定仪进行试验，如图4所示。测试出孔隙率、透水率、强度列在表1。

Table 1. The mixture ratio of concrete

表1. 混凝土的配合比

	石子/g	水泥/g	砂/g	掺合料/g	水/g	孔隙率/%	透水率/m/s	强度/MPa
普通混凝土	22,854.7	8415.4	9346.3	114.9	3240.3	1.23	0	26.2
透水混凝土	20,777.5	5194.4	/	103.8	1252.4	10.35	8.5	20.6



Figure 1. Stones sieving
图 1. 石子的筛分



Figure 2. Stone cleaning
图 2. 石子的清洗



Figure 3. Curing of pervious concrete block
图 3. 透水混凝土试块的养护



Figure 4. Measuring the water permeability by NEELD-PC370
图 4. NEELD-PC370 测定仪测试透水混凝土透水率



Figure 5. Ordinary concrete
图 5. 普通混凝土



Figure 6. Pervious concrete
图 6. 透水混凝土

在蓝色塑料盒(尺寸为 $636 \text{ mm} \times 425 \text{ mm} \times 254 \text{ mm}$)底层铺垫 100 mm 自然土, 含水率为 12.7%, 模拟土壤结构; 将混凝土、普通混凝土块放在土层上面, 开展调温、调湿性能的试验, 如图 5~6 所示。使用碘钨灯模拟太阳辐射, 可调速风扇模拟自然风; 使用风速仪测量风速, 温度计测量混凝土表面温度, 湿度计测量混凝土表面湿度, 如图 7 所示。

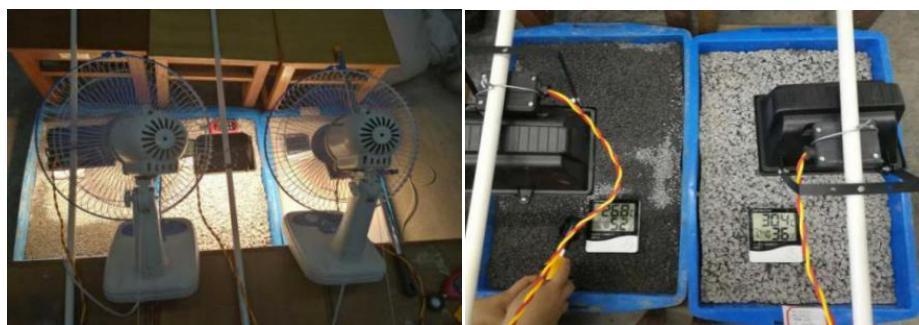


Figure 7. Experimental simulation process of heating and adjusting wind speed
图 7. 加温和调风速的试验模拟过程

3. 试验结果与分析

3.1. 混凝土含水量对混凝土调温、调湿性能影响

3.1.1. 混凝土块在风干状态下

使用自然风干状态下混凝土块，模拟无降水情况下透水混凝土调温、调湿性能。风速为 0.60 m/s，室内温度 19℃。测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况，如表 2 和表 3。

Table 2. The change of concrete surface temperature over time (°C)

表 2. 混凝土表面温度随时间的变化(°C)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
普通混凝土	17.4	17.8	17.5	17.9	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	18.5	18.5
透水混凝土	17.0	17.2	17.5	17.1	17.1	17.1	17.3	17.8	17.8	17.4	17.4

Table 3. The change of concrete surface humidity over time (%)

表 3. 混凝土表面湿度随时间的变化(%)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
普通混凝土	65	59	60	60	59	60	59	60	60	60	60
透水混凝土	75	69	68	65	65	64	64	65	65	62	62

从表 2、表 3 可以看到：

- 1) 在 70 分钟以内，普通混凝土和透水混凝土表面的温度都逐渐增加，80 分钟以后普通混凝土温度稳定在 18.5℃，而透水混凝土表面温度却稍微再降低；
- 2) 普通混凝土在从养护室拿出后，表面相对湿度在 65%，10 分钟后就稳定在 60%；而透水混凝土的湿度，在 100 分钟内从 75% 逐渐降低并稳定在 62%；
- 3) 在模拟无降水的情况下，室内温度 19℃，30 分钟后稳定在透水混凝土与普通混凝土表面温度差在 1℃ 左右，湿度差在 2% 左右。

由于透水混凝土块具有一系列与外部空气以及下部土壤垫层相连通的多孔结构，垫层土壤中丰富的毛细水通过自然蒸发和光照作用下的蒸腾作用，该过程吸收热量，因而使得混凝土表面温度降低，并在混凝土表面形成具有一定含水的空气层。

3.1.2. 混凝土块在不同含水量和风速状态下

- 1) 在混凝土表面均匀加水 200 ml，碘钨灯功率为 500 W，没有风速，测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况，如表 4 和表 5。

Table 4. The change of concrete surface temperature over time (°C)

表 4. 混凝土表面温度随时间的变化(°C)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80
普通混凝土	23.1	33	33.5	28.1	29.4	30.6	37.6	44.9	43.1
透水混凝土	23.6	32.3	29.2	28.8	28.8	31.9	31.7	35	39.5

Table 5. The change of concrete surface humidity over time (%)

表 5. 混凝土表面湿度随时间的变化(%)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80
普通混凝土	66	51	42.3	56.5	54.6	55.1	36.6	27.5	27.8
透水混凝土	75.2	64.1	52.8	54.4	55.1	50.1	51.1	43	34.5

从表 4 和表 5 可以看出：

含水混凝土在加热过程中温度逐渐升高，一小时后，普通混凝土温度升高近 20℃，而透水混凝土升高近 16℃，说明透水混凝土具有很好的调温功能；

普通混凝土湿度基本处于下降趋势，70 分钟后在 28%，而透水混凝土 80 分钟后 34%；透水混凝土表面湿度比普通混凝土高 6%，说明透水混凝土具有较好的调湿功能。

2) 在混凝土表面均匀加水 400 ml，碘钨灯功率为 500 W，风速保持 0.76 m/s，测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况，如表 6 和表 7。

Table 6. The change of concrete surface temperature over time (°C)

表 6. 混凝土表面温度的变化(°C)

时间/min	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	29.1	32.5	36.9	34.5	35.5	31.9
透水混凝土	29.7	30.7	35.6	34.5	29.3	29

Table 7. The change of concrete surface humidity over time (%)

表 7. 混凝土表面湿度的变化(%)

时间/min	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	37	36	27	23	25	24
透水混凝土	41	41	34	32	31	32

从表 6 和表 7 可以看出：一小时后，普通混凝土温度升高近 3℃，而透水混凝土温度却略有下降，说明透水混凝土具有很好的调温功能。普通混凝土湿度基本处于下降趋势，一小时累计下降 13%，而透水混凝土半小时后基本稳定在 32%，湿度仅下降 9%；透水混凝土表面湿度比普通混凝土高 8%，说明透水混凝土具有较好的调湿功能。

透水混凝土在加热过程中温度逐渐升高，在风的共同作用下，毛细孔中的水蒸发过程加快，因此透水混凝土表面温度开始降低，并能保存一定的湿度；而普通混凝土孔隙率非常小，其毛细现象不明显，因此普通混凝土表面随着加热其温度逐渐升高，湿度逐渐降低。

3) 进一步增加用水量和风速，进行试验。在混凝土表面均匀加水 600 ml，室内温度 19℃。碘钨灯功率为 500 W，风速 0.92 m/s。测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况，测试结果如表 8 和表 9。

Table 8. The change of concrete surface temperature over time (°C)

表 8. 混凝土表面温度随时间的变化(°C)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	17.8	18.2	18.4	18.5	18.5	18.6	18.7
透水混凝土	17.2	17.4	17.8	17.8	17.8	17.8	17.9

Table 9. The change of concrete surface humidity over time (%)

表 9. 混凝土表面湿度随时间的变化(%)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	75	69	67	66	65	64	64
透水混凝土	82	72	68	67	67	67	67

从表 8、表 9 可以看到：

- 1) 模拟在降雨的情况下，在 60 分钟以内，普通混凝土和透水混凝土表面的温度都逐渐增加，20 分钟以内时增加较快；20 分钟以内时湿度快速降低，30 分钟后普通混凝土和透水混凝土表面湿度分别稳定在 64%、67%；
- 2) 模拟在降雨的情况下，外界温度在 19℃时，透水混凝土与普通混凝土间的温度和湿度有一定的差异，30 分钟后透水混凝土与普通混凝土温度差在 0.6℃~0.8℃，湿度差在 3%。

3.2. 风速对混凝土调温、调湿性能影响

- 1) 在混凝土表面均匀加水 200 ml，碘钨灯 2000 W 进行加热，风速为 0.68 m/s，测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况如表 10 和表 11。

Table 10. Effect of wind speed on surface temperature of concrete (°C)

表 10. 风速对混凝土表面温度的影响(°C)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	21.6	22.8	22.8	23.4	23.7	23.7	23.8
透水混凝土	20	21.2	20.5	21.4	21.5	21.6	21.6

Table 11. Effect of wind speed on surface humidity of concrete (%)

表 11. 风速对混凝土表面湿度的影响(%)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	51	44	45	42	41	40	39
透水混凝土	52	51	52	50	50	49	48

从表 10、表 11 可以看到：在碘钨灯 2000 W 进行加热，风速为 0.68 m/s 时，模拟在降雨的情况下，30 分钟后稳定普通混凝土升温 2.2℃ 左右，而透水混凝土升温 1.6℃ 左右。透水混凝土比普通混凝土表面温度低 2.2℃，湿度高 9%。

- 2) 在混凝土表面均匀加水 200 ml，碘钨灯 2000 W，风速增加到 1.06 m/s，测出不同时间时混凝土表面温度和湿度变化情况，如表 12 和表 13。

Table 12. Effect of wind speed on surface temperature of concrete (°C)

表 12. 风速对混凝土表面温度的影响(°C)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	21.8	22.3	22.7	22.9	23.2	23.1	23
透水混凝土	19.4	20.6	20.6	20.4	20.6	20.6	20.7

Table 13. Effect of wind speed on surface humidity of concrete (%)

表 13. 风速对混凝土表面湿度的影响(%)

时间/min	0	10	20	30	40	50	60
普通混凝土	52	45	43	44	42	42	40
透水混凝土	53	52	51	50	50	49	48

从表 12、表 13 可以看到：模拟在降雨的情况下，30 分钟后稳定普通混凝土升温 1.2℃ 左右，湿度下

降 12% 左右。而透水混凝土升温 1.3℃ 左右，湿度下降 5% 左右。

从表 10~13 可以综合看到：在混凝土含水量和相同光照情况下，当风速从 0.68 增加到 1.06，增加幅度约 56%，水的蒸发加快，有助于降低混凝土表面温度，透水混凝土与普通混凝土的表面温度都约降低 1℃；但风速增加，同时也能增加毛细孔水的蒸发，因此风速对湿度影响不明显。

4. 结论

透水混凝土块具有一系列与外部空气以及下部土壤垫层相连通的多孔结构，垫层土壤中丰富的毛细水通过自然蒸发和光照作用下的蒸腾作用使混凝土表面温度降低，并在混凝土表面形成具有一定含水的空气层，因此具有降低混凝土表面温度，增加混凝土湿度的功能，是一种生态环保材料，对缓解城市热岛效应具有重要的作用。

本实验条件下可得出：

1) 在模拟无降水的情况下，室内温度 19℃，30 分钟后透水混凝土比普通混凝土表面温度低 1℃ 左右，湿度高 2% 左右；在模拟降水和有风的情况下，透水混凝土表面比普通混凝土温度低 1℃~2℃，湿度高 3%~9%。说明透水混凝土相对于普通混凝土具有一定的调温和较好的调湿功能。

2) 风速对透水混凝土与普通混凝土的表面温度都有降低作用，但对湿度影响不明显。

在试验过程中，由于受试验仪器限制，试验环境受限，用碘钨灯模拟太阳辐射照射不均匀，用风扇模拟自然风时风速很难控制，得到的数据存在着一定的误差。

参考文献

- [1] 王晓妍, 汤国芳, 孟祥辉, 卢传泰, 吴帅, 马忠华. 透水混凝土在“海绵城市”建设中的应用研究[J]. 江苏建材, 2020(1): 17-19.
- [2] 王从锋, 刘德富. 高透水性混凝土消减城市热岛效应试验分析研究[J]. 混凝土, 2010(8): 9-10.
- [3] 张卫东, 王成武, 陆路, 顾文虎, 鹏宁波. 生态型透水混凝土物理力学性能研究进展[J]. 混凝土与水泥制品, 2017(2): 17-24.
- [4] 孙永康, 刘晓寒, 张艳. 不同铺装材料地面停车场的热效应[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 144-148.
- [5] 朱榆萍, 姚勇, 陈代果, 邓勇军, 徐羊. 透水混凝土与水泥混凝土路面温湿度试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2016(3): 75-79.