

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.09.026

热物理性质对多孔水泥混凝土温度的作用分析

李洋洋

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司天津分公司,天津市 300202]

摘要:多孔水泥混凝土粗糙的表面、联通的孔隙使其热物理性质与普通水泥混凝土存在显著差异。为掌握热物理性质对多孔水泥混凝土温度变化的作用规律,对其进行温度监测试验并根据试验结果进行无量纲化计算分析。结果表明:反射率对多孔水泥混凝土路面表面最高温度的降低有最大的积极作用。辐射率对多孔水泥混凝土路面表面最低温度的降低有最大的积极作用。辐射率对多孔水泥混凝土路面内部最高温度和最低温度的下降影响最大。相同条件下,增大多孔水泥混凝土路面的反射率和辐射率,可降低其表面和内部的温度。

关键词:多孔水泥混凝土;热物理性质;温度变化;反射率;辐射率

中图分类号:U414

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)09-0115-03

0 引言

多孔水泥混凝土也称为透水水泥混凝土,是由水、水泥、粗集料和外加剂按一定比例拌合并成型的多孔材料,其孔隙率范围大约为15%~25%^[1]。多孔水泥混凝土由于具有透气、透水和一定的抗滑降噪功能^[2-6],得到了广泛的研究与应用。

路面温度在外界环境作用下会发生周期性的变化,路面材料本身的热物理性质对路面温度的变化有重要影响。Qin等^[7]的研究表明,使用透水路面增大表面反射率、增加蒸发量可以增强凉爽路面的作用。Liv Haselbach等^[8]和Zhang等^[9]研究表明,多孔水泥混凝土表面粗糙,其反射率比普通水泥混凝土路面低,进而能够吸收更多的太阳辐射。Li等^[10]研究发现,路面表面的反射率对表面温度具有重大影响,在夏季,白天增加反射率可以显著地降低路面表面温度。Rosenfeld等^[11]发现路表的反射率从0.05增加到0.30将会使当地空气温度降低0.6℃。Abdushafi Hassn等^[12]对不同空隙率的沥青混凝土板表面和底面温度进行分析发现,稳定状态下,沥青混凝土板的表面和底面温度均随空隙率增加而增高,不同空隙率的沥青混凝土板随着空隙率增加,其最高温度逐渐增加。目前,针对多孔水泥混凝土路面的温度变化特征的研究有限,仍需进一步研究。

多孔水泥混凝土中15%~25%的空隙使其具有更小的密度,并具备良好的透水性能。当用作路面材

料时,多孔水泥混凝土材料粗糙的表面、联通的内部孔隙使其反射率、辐射率和导热系数等热物理性质与普通水泥混凝土存在显著差异。本文通过试验及计算,分析了热物理性质对多孔水泥混凝土温度的作用。研究结果有利于进一步深入认识多孔水泥混凝土的热物理性质对其温度的影响规律。

1 材料与方法

1.1 材料热物理参数

本研究中制作了6种混凝土试件,包括1种普通水泥混凝土和5种多孔水泥混凝土。5种多孔水泥混凝土均采用单一粒径集料制作。试件尺寸为30 cm×30 cm×15 cm,试验混凝土的类型及其热物理参数见表1。

1.2 混凝土温度监测

路面温度在外界环境综合作用下发生变化,多孔水泥混凝土中含有大量的空隙,温度变化状况与普通水泥混凝土有很大区别。为掌握其规律,将测试上述混凝土试件表面、内部(表面以下5 cm和10 cm)、底部温度变化情况。试验中,在自然土壤上挖出长度、宽度和深度分别为30 cm、30 cm、15 cm的坑槽,压实底部土壤后填入15 cm级配碎石,将其压实作为基层,然后将上述试件放置在级配碎石层上形成路面结构,如图1所示。

对于试件,以表面为起点,分别在表面(记为:0点)、表面下5 cm(记为:-5点)、表面下10 cm(记为:-10点)和底面(记为:-15点)埋设4个PT100热电阻温度传感器(-200~200℃,精度0.1℃),用于监测

收稿日期:2022-12-03

作者简介:李洋洋(1990—),男,硕士,工程师,从事道路交通设计工作。

表 1 混凝土热物理参数

混凝土类型	粒径/mm	孔隙率/%	反射率 ^[9] /%	红外辐射率/%	导热系数 ^[12] /(W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)	比热容 ^[12] /(J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)
水泥混凝土 0.075~16.0	0.075~16.0	0.8	0.432 0	0.96	1.40	1 050
多孔水泥混凝土 2.36~4.75	2.36~4.75	15.1	0.355 7	0.95	1.28	920
多孔水泥混凝土 4.75~9.50	4.75~9.50	18.2	0.340 1	0.94	1.26	900
多孔水泥混凝土 9.50~13.2	9.50~13.2	20.1	0.330 5	0.94	1.23	870
多孔水泥混凝土 13.2~16.0	13.2~16.0	21.8	0.321 9	0.93	1.22	860
多孔水泥混凝土 16.0~19.0	16.0~19.0	24.9	0.306 3	0.92	1.20	840

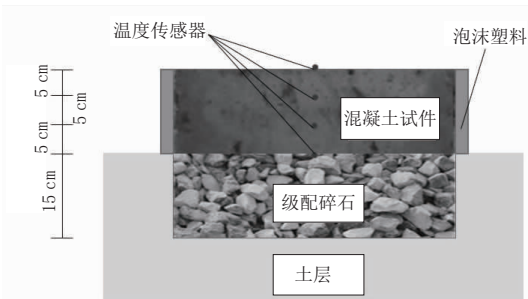


图 1 混凝土温度监测体系:路面结构示意图

试件不同部位的温度。数据采集采用加拿大 Datalogger 公司生产的 DT85G 数据采集仪,每 15 min 采集记录一次。为了避免周围空气对测试结果的影响,每个试件的周围用泡沫塑料板紧密包裹。小型气象站放置于试件附近以采集气象数据。试验现场如图 2 所示。

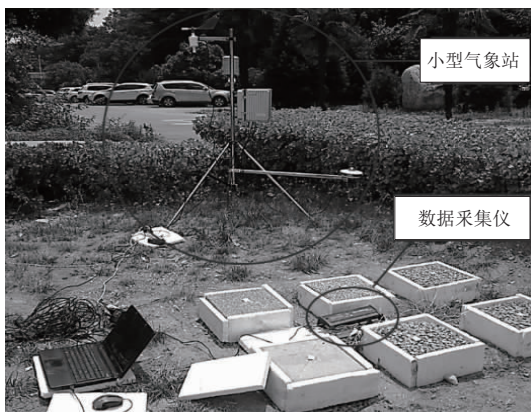


图 2 混凝土温度监测体系:试验现场

1.3 分析方法

路面的各种热物理性质对路面温度有不同程度的影响,因此有必要理解这些热物理性质的相对重要性。然而这些热物理性质具有不同的量纲和范围,无法直接比较,本文参考 Jooseng(Gavin)Gui^[13]的方法比较路面材料热物理性质作用的大小。

(1)单一的路面材料热物理性质与路面表面、表面以下 5 cm、表面以下 10 cm、底面的最高(低)温度的拟合关系。

(2)将这些热物理性质作无量纲化处理,如公式(1)所示:

$$\frac{\partial \theta_{\max, \min}}{\partial(\text{property})} = \frac{\partial T_{\max, \min} / \partial(\text{property})}{T_{\text{ref}(\max, \min)} / \Delta(\text{property})} \quad (1)$$

式中: $\partial T_{\max, \min} / \partial(\text{property})$ 表示在某一热物理性质下最高(低)温度的变化,即拟合关系的斜率; $T_{\text{ref}(\max, \min)}$ 表示参考温度,即与初始热物理性质值对应的最高(低)温度值; $\Delta(\text{property})$ 表示热物理性质的范围。

(3)无量纲化值越小(含负数),表示该物理性质作用越显著。

2 结果与讨论

图 3 反映了多孔水泥混凝土路面材料热物理性质对路面温度的不同影响程度。可以看到,对路表最高温度的降低影响最大的是反射率,接着依次是导热系数、比热容、辐射率。对表面以下 5 cm 最高温度的降低影响最大的是辐射率,接着依次是导热系数、比热容、反射率。对表面以下 10 cm 最高温度的降低影响最大的是辐射率,接着依次是反射率、导热系数、比热容。对路面底面最高温度的降低影响最大的是比热容,接着依次是辐射率、导热系数、反射率。

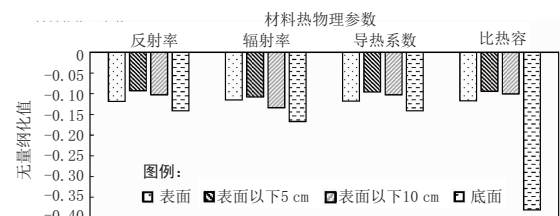


图 3 热物理性质对路面最高温度的作用

由图 4 可以看到,对多孔水泥混凝土路表最低温度影响的降低最大的是辐射率,接着依次是导热系数、比热容、反射率。对于表面以下 5 cm 最低温度的降低影响最大的是辐射率,接着依次是导热系数、反射率、比热容。对于表面以下 10 cm 最低温度的降低影响最大的是辐射率,接着依次是导热系数、比热容、反射率。对于路面底面最低温度的降低影响最大的是辐射率,接着依次是导热系数、比热容、反射率。

就路面表面温度而言,反射率和辐射率均对路面温度的降低有积极作用。当然,这种作用对最高和最低温度是不同的。反射率对路面最高温度的影响

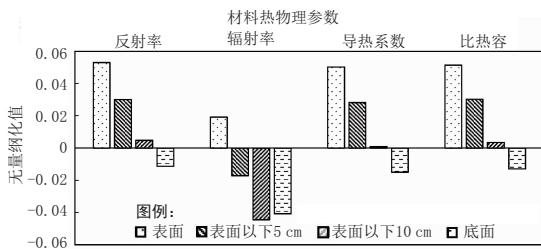


图 4 热物理性质对路面最低温度的作用

要大于对最低温度的影响。而辐射率对路面最低温度的影响要大于对最高温度的影响。对于路面内部温度，辐射率对路面最高温度和最低温度下降的影响最大。

3 结论

本文通过试验和计算分析得到以下结论:

- (1)反射率对多孔水泥混凝土路面表面最高温度的降低有最大的积极作用。
- (2)辐射率对多孔水泥混凝土路面表面最低温度的降低有最大的积极作用。
- (3)辐射率对多孔水泥混凝土路面内部最高温度和最低温度的下降影响最大。
- (4)相同条件下,增大多孔水泥混凝土路面的反射率和辐射率,可降低其表面和内部的温度。

参考文献:

[1] CHANDRAPPA A K, KRISHNA P B. Pervious concrete as a sustainable pavement material—Research findings and future prospects: A state-of-the-art review[J]. Construction and Building Materials, 2016, (111): 262–274.

[2] AOKI Y. Development of pervious concrete[D]. Sydney:University of Technology, 2009.

[3] WARDYNSKI B J, WINSTON R J, HUNT W F. Internal water storage

enhances exfiltration and thermal load reduction from permeable pavement in the north carolina mountains[J]. Journal of Environmental Engineering, 2013(139):187–195.

[4] MULLANEY J, LUCKE T. Practical review of pervious pavement designs[J]. Clean Soil, Air, Water, 2014(42): 111–124.

[5] CHANG J J, YEIH W, CHUNG T J, et al. Properties of pervious concrete made with electric arc furnace slag and alkali-activated slag cement[J]. Construction and Building Materials, 2016(109):34–40.

[6] SANTAMOURIS M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(26):224–240.

[7] QIN Y, HILLER J E. Understanding pavement-surface energy balance and its implications on cool pavement development[J]. Energy and Buildings, 2014(85):389–399.

[8] HASELBACH L, BOYER, M, KEVERN J, et al. Cyclic heat island impacts on traditional versus pervious concrete pavement systems[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011(2240):107–115.

[9] ZHANG R, JIANG G, LIANG J. The albedo of pervious cement concrete linearly decreases with porosity[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2015.

[10] H LI, HARVEY J T, HOLLAND T J, et al. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management[J]. Environmental Research Letters, 2013(8):1–14.

[11] ROSENFELD A H, AKBARI H, ROMM J J, et al. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction [J]. Energy and Buildings, 1998(28):51–62.

[12] HASSN A, ABOUFOUL M, WU Y, et al. Effect of air voids content on thermal properties of asphalt mixtures [J]. Construction and Building Materials, 2016(115):327–335.

[13] GUI J G, PHELAN P E, KALOUSH K E, et al. Impact of Pavement Thermophysical Properties on Surface Temperatures[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007(19):683–690.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com