

混合沥青路面结构温度耦合演变与仿真模拟研究

张巧慧¹ 崔凯²

¹(陕西铁路工程职业技术学院铁道工程系 陕西 渭南 714000)

²(武汉科技大学资源与环境工程学院 湖北 武汉 430081)

摘要 为研究沥青混合料路面结构温度分布情况及其随时间变化的演变规律,结合三种传热形式(热辐射、热对流和热传导),利用有限元软件建立自然环境下的沥青路面模型,并与实验结果进行对比。结果表明:随着深度的增加,路面结构温度逐渐下降,并且其最大温差与结构最大温差在相同时间出现;随着时间的增加,沥青路面结构温度先增加后降低;同一时间条件下不同结构深度的最大温度差与结构最高温度同时出现;采用的多物理场仿真模拟方法具有较高的准确性和可靠性,为沥青路面施工、运营提供数据支撑。

关键词 沥青 耦合 传热 仿真

中图分类号 TP391.41 U455

文献标志码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2020.07.053

TEMPERATURE COUPLING EVOLUTION AND SIMULATION OF MIXED ASPHALT PAVEMENT STRUCTURE

Zhang Qiaohui¹ Cui Kai²

¹(Department of Railway Engineering, Shaanxi Railway Institute, Weinan 714000, Shaanxi, China)

²(School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract In order to study the temperature distribution of asphalt mixture pavement structure and its evolution law with time, we establish the asphalt pavement model under natural environment by combining with three heat transfer modes(heat radiation, heat convection and heat conduction) and by using the finite element software. And we compared with the test results. The results show that the temperature of pavement structure decreases gradually with the increase of depth. And the maximum temperature difference and the maximum temperature difference of structure appear at the same time. With the increase of time, the temperature of asphalt pavement structure increases at first and then decreases. The maximum temperature difference of different structure depth and the maximum temperature of structure appear at the same time under the same time condition. The simulation method of multi-physical field adopted in this paper has high accuracy and reliability, which can provide data support for the construction and operation of asphalt pavement.

Keywords Asphalt Coupling Heat transfer Simulation

0 引言

随着我国“一带一路”战略的提出,大量的道路工程建设迫在眉睫。沥青混合料以其优良的减震、着力等性能而备受关注。同时,沥青混合料作为一种半刚性基层材料,其抗压、抗弯拉、抗劈裂强度和模量等参数,都无一例外地随温度的变化而变化,其温度裂缝以

及高温抗车辙性能的好坏直接关系到行车安全和工程使用寿命。因此,大量学者针对这一现象进行了广泛的研究。

康海贵等^[1]给出了不同温变阶段下任意深度处沥青温度的预估模型。艾长发等^[2]模拟计算了在不同温度场状况下沥青路面力学响应。李雪毅等^[3]得出路面各层温度随加热时间的增加而升高。韦璐等^[4]预估并分析行车荷载与温度综合作用下沥青路面的疲劳损

伤。马翔等^[5]对不同环境温度条件下沥青混合料进行强度实验。顾海荣等^[6]建立沥青路面温度场的三维模型。赵毅等^[7]采用 BISAR 软件计算分析沥青路面不同温度区间偏应力的分布规律。宋小金等^[8]建立了路面结构温度与路表温度等因素的预测模型。郭学东等^[9]采取回归分析的方法,建立路表的计算模型。李强等^[10]通过多元线性回归分析不同地形气候条件下的沥青路面内部温度计算方程。上述研究人员均取得了优秀的研究成果,但沥青路面的温度场往往是由多种因素共同累加而成。因此,仅仅考虑沥青表面温度或沥青层厚度对传热的影响是不准确的。

本文将影响沥青路面安全的不利因素(太阳辐射、高温环境和风速)进行耦合,即热辐射、热传导和热对流的耦合过程,以此分析沥青路面的温度场。结合现场实测数据对建立的多场耦合模型进行对比与验证,进一步探究自然环境下沥青混合料路面结构温度演变过程,拓展路面结构温度演变规律的研究思路和方法。

1 沥青路面结构温度影响因素

沥青混合料路面结构在服役周期及服役环境中,时时刻刻经受着不同自然环境的周期性影响,这些影响因素中对沥青混合料路面结构温度演变过程影响较大的有太阳辐射、气温、风速、降雨、降雪等^[11]。对于太阳辐射、气温和风速这三种影响因素,均可以通过传热过程进行仿真模拟,如:太阳辐射-热辐射,气温-热传导,风速-热对流。而降雨和降雪这两个随机不确定因素,对传热过程会有着较大的影响:热湿耦合传递,但从道路结构安全上分析,降雨和降雪可以减缓传热过程^[12],防止沥青材料受温度应力被拉坏。

1) 热辐射。沥青混合料路面结构服役过程中,其温度变化的最主要的热量来源因素为太阳辐射所产生的热量^[13]。

2) 热对流。根据传热学基本原理,流体(风)在与固体直接接触时所发生的热量传递过程,称为对流换热^[14]。本文中流体的基体为空气,其相应传热属性均可容易查得。

3) 热传导。热传导实质是由物质中大量的分子热运动互相撞击。当沥青混合料路面结构作为研究对象时,其热传导现象主要为两部分^[14]:(1) 沥青混合料路面结构内部中能量由高到低传导;(2) 沥青混合料路面结构中能量向自然环境或者道路结构基层传导。

2 沥青混合料路面结构温度模拟

科学研究过程中,传统的物理模拟实验是广大科研人员所能接受的最为准确的研究手段。但是其弊端也同样困扰着科研人员:一方面,传统物理实验往往需要成熟可靠的实验仪器提供较为准确的外部试验环境;另一方面,由于沥青混合料的特殊性,其成型周期较长,同样需要提供较多的人力和时间成本。得益于计算机技术的飞速发展,有限元仿真技术的出现弥补了传统物理实验的局限性^[15]。本文基于 ANSYS 有限元软件,针对沥青混合料路面结构中热辐射、热对流和热传导三种传热模块进行耦合模拟,探究其温度演变规律。

2.1 模拟边界条件的设定

为保证仿真模拟结果的准确性,需要将仿真模拟过程的边界条件尽可能地与结构真实外部服役环境保持一致。本文边界条件及网格划分如图 1 所示。

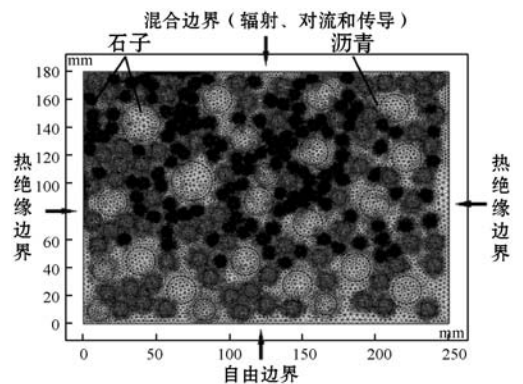
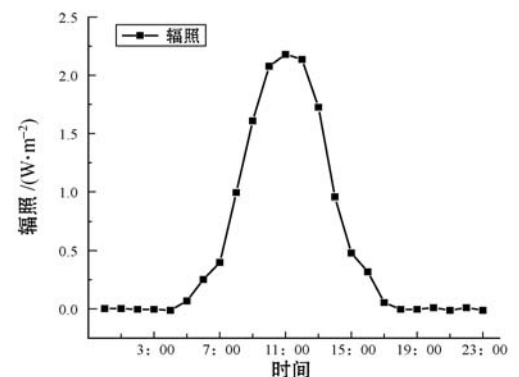


图1 边界条件设定和网格划分结果

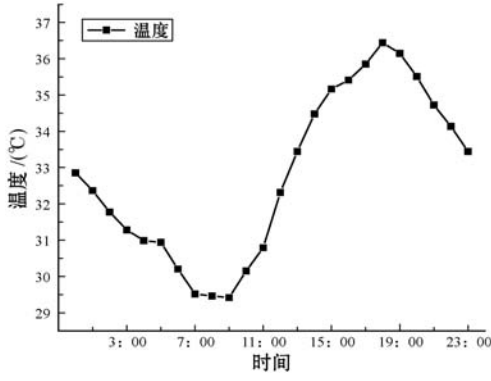
路面底部为道路结构基层,假定基层材料已经浇筑养护完成,即基层材料温度已经与外界环境达到平衡,因此假定沥青路面底部边界为自由边界。

2.2 模拟参数设定

(1) 气温和辐射。气温与辐射是沥青路温度场的主要影响因素,沥青路面各深度的温度状况也同气温一样呈周期性变化。实验测得某地夏季气温和辐射变化如图 2 所示。



(a)



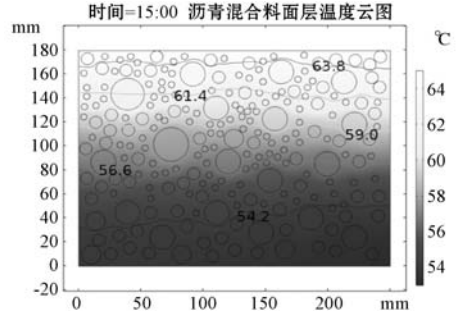
(b)

图2 气温和日辐射随时间变化图

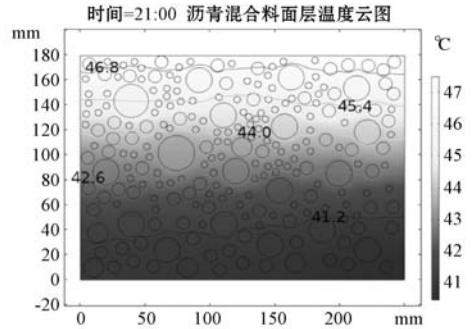
(2) 热物理参数。设定沥青及混合料中粗骨料的相关热物理参数,如表1所示。

表1 热物理参数

材料种类	导热系数/[W·(m·K) ⁻¹]	比热容/[J·(kg·K) ⁻¹]
沥青	0.17	1 680
石子	1.67	750
沥青混合料	1.21	920



(c)



(d)

图3 沥青混合料面层温度云图

由图3可以清晰地看出,沥青混合料路面结构表层温度随时间变化最为明显,这是由于表层结构所接受的热辐射最为直接,其温度变化的主要影响因素来自太阳的辐射强度,且温度变化速率较快,这一现象随着结构层深度的增加而逐渐衰减。

同时,由于沥青混合料中石子的热传导性能远高于沥青,石子在混合料中的热桥作用较为明显,具体体现在图3中等温线在粗骨料周围出现下凸形式。

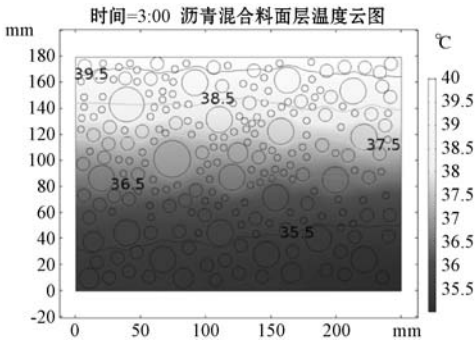
3 仿真模拟

3.1 温度随时间演变规律

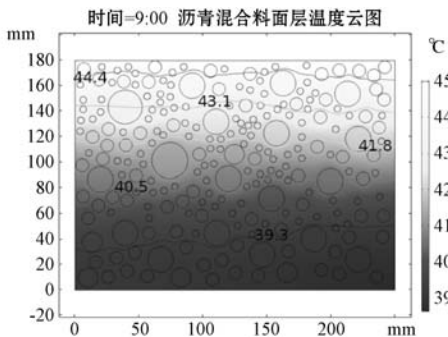
利用本文建立的多物理场仿真模型(热辐照、热对流和热传导),模拟沥青混合料路面结构在一定边界条件下,其内部温度随时间变化的演变规律,结果如图3所示。

3.2 温度随深度演变规律

为探究沥青混合料路面结构温度随深度的演变规律,分别选取距沥青混合料路面结构表面 20 mm 和 100 mm 处作为研究观测点,并每隔半小时进行数据采集。在 ANSYS 软件中可通过在上述两个深度预置探针,以达到实时观测该深度温度变化的目的。模拟过程结束后,可将模拟结果以数据表格的形式导出并绘图,结果如图4所示。



(a)



(b)

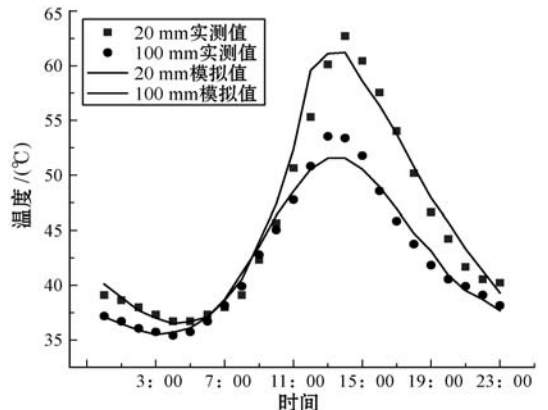


图4 沥青路面结构温度随深度演变规律

由图4可以清晰地看出,沥青路面结构温度随时间变化而呈现出明显的周期性趋势,其温度在13:00左右达到最高值,随后其温度随着热辐射和环境气温的降低而逐渐减弱,并在5:00左右达到一天的最低值。出现这一变化规律的原因是外界环境温度和辐射对路面温度分布影响较大,如从图2中可以看出外界温度从7:00开始逐渐升高,且沥青路面温度也从7:00开始升高。

从沥青埋入深度的角度分析,可以发现结构内部温度随着测量深度的变化而变化,20 mm和100 mm两种深度的最大温差出现时间与路面结构最高温度出现时间一致。这与本文所采用的仿真模拟方法具有较高的一致性,也证明了本文方法的准确性和可靠性。

4 结 语

本文采用多物理场仿真模拟与实验相结合的方法,探究了沥青混合料路面结构的温度演变规律,得到了如下主要结论:

(1) 随着深度的增加,路面结构温度逐渐下降,并且其最大温差与结构最大温差在相同时间出现。

(2) 沥青混合料路面结构温度变化具有明显的周期性,随着时间的增加,沥青路面结构温度先增加后降低。结构最高温度出现在13:00左右,最低温度出现在5:00左右,且同一时间条件下不同结构深度的最大温差与结构最高温度同时出现。

本文建立的ANSYS模型与实测数据较为吻合,可靠性较高。今后沥青路面运营使用过程中,为避免较大的温度差破坏沥青结构,可利用该模型进行分析预警,提前对结构薄弱处采取洒水降温等措施。

参 考 文 献

- [1] 康海贵,郑元勋,蔡迎春,等. 实测沥青路面温度场分布规律的回归分析[J]. 中国公路学报,2007,20(6):13-18.
- [2] 艾长发,邱延峻,毛成,等. 考虑层间状态的沥青路面温度与荷载耦合行为分析[J]. 土木工程学报,2007,40(12):99-104.
- [3] 李雪毅,邹晓翎,吁新华. 热风循环式就地热再生沥青路面温度场[J]. 中外公路,2018,38(2):69-74.
- [4] 韦璐,陶明霞,马志平,等. 行车荷载与温度综合作用下沥青路面疲劳损伤分析[J]. 公路,2018(2):1-6.
- [5] 马翔,徐成,徐旭光,等. 新铺沥青混凝土温度衰变规律及强度特性[J]. 铁道科学与工程学报,2018,15(10):70-75.
- [6] 顾海荣,梁奉典,李金平,等. 沥青路面加热过程中温度分布的随机性研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2018,35

(5):160-165,170.

- [7] 赵毅,梁乃兴. 沥青路面沥青层偏应力分布研究[J]. 公路,2018,63(3):1-9.
- [8] 宋小金,樊亮. 沥青路面结构温度随深度变化规律研究[J]. 土木工程学报,2017,50(9):110-117.
- [9] 郭学东,常孟元,孙明志,等. 季节性冻土地区沥青路面温度场的预估模型[J]. 科学技术与工程,2017,17(10):294-298.
- [10] 李强,黄葵阳,王朝晖. 沥青路面内部温度预估方法与预估模型[J]. 中外公路,2017,37(5):56-61.
- [11] 夏明,徐邱彬. 沥青混合料摊铺碾压温度场模拟分析[J]. 交通运输研究,2009(18):85-89.
- [12] 建筑保温墙体薄空气间层空气湿度对传热影响的实验研究[D]. 合肥:安徽建筑大学,2015.
- [13] 蒋甫. 考虑对流传热的多孔沥青路面降温性能[J]. 土木工程学报,2011,44(10):138-142.
- [14] 延西利,李绪梅,孙毅,等. 基于傅立叶导热定律的沥青混合料热传导试验[J]. 交通运输工程学报,2013(6):1-6.
- [15] 白琦峰,陈荣生,杜骋. 半刚性基层沥青混凝土路面反射裂缝模拟试验及有限元分析[J]. 公路,2004(8):97-101.

(上接第291页)

- [12] Zhu H F, Zhang Y. An efficient chaotic maps-based deniable authentication group key agreement protocol[J]. Wireless Personal Communications, 2017, 96(1): 217-229.
- [13] Kumar A, Tripathi S. A pairing free anonymous certificateless group key agreement protocol for dynamic group[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 82(2): 1027-1045.
- [14] Zhang Q K, Wang X M, Yuan J L, et al. A hierarchical group key agreement protocol using orientable attributes for cloud computing[J]. Information Sciences, 2019, 480: 55-69.
- [15] Tan H W, Chung I Y. A secure and efficient group key management protocol with cooperative sensor association in WBANs[J]. Sensors, 2018, 18(11): 3930.

(上接第308页)

- [13] 王国伟,贾宗璞,彭维平. 基于动态共享密钥的移动RFID双向认证协议[J]. 电子学报,2017,45(3):612-618.
- [14] Tian Y, Chen G L, Li J H. A new ultralightweight RFID authentication protocol with permutation[J]. IEEE Communications Letters, 2012,16(5):702-705.
- [15] Gong L, Needham R, Yahalom R. Reasoning about belief in cryptographic protocols[C]//IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, US, 1990:234-248.