

文章编号: 1672-8785(2011)09-0035-08

红外差热机理分析及沥青路面透水性 红外检测仪的研发

李志栋^{1,2} 黄晓明¹ 李忠玉² 陈广秀³

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096;

2. 河南省高远公路养护技术有限公司, 河南 新乡 453003;

3. 辽宁省朝阳市统计局, 辽宁 朝阳 122000)

摘 要: 为了能通过识别沥青路面在雨天饱水后的表面温度差异性对其透水性进行评价, 首先对路表温度场与透水性进行相关性分析, 然后基于高速红外调制探头等硬件以及红外路表测温、信号转换和色谱绘制等软件系统, 开发了一种该领域内首台连续测速达到 100 km/h 的沥青路面透水性红外差热检测仪。研究结果表明, 通过用红外测温技术检测的路面温度差异度对沥青路面透水性进行评价是可行的。与传统的定点式渗水仪相比, 红外透水性检测仪的检测效率提高了 50 倍, 相关系数达到 0.8985。该仪器与智能型雾封层洒布车共享路面透水性数据信息, 形成了成套的沥青路面透水性处治技术。此外, 配套的高速公路沥青路面透水性评价标准 (2008/04007) 足以满足中国不同区域和各种等级公路的检测要求。

关键词: 红外差热; 沥青路面; 透水性; 检测仪; 渗水系数; 评价标准

中图分类号: U418.6 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.09.008

Analysis of Infrared Differential Thermal Mechanism and Development of Infrared Detector for Asphalt Pavement Permeability

LI Zhi-dong^{1,2}, HUANG Xiao-ming¹, LI Zhong-yu², CHEN Guang-xiu³

(1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co., Ltd., Xinxiang 453000, China;

3. Statistic Bureau of Chaoyang City, Chaoyang 122000, China)

Abstract: An infrared differential thermal detector for asphalt pavement permeability is developed. The detector is based on a high speed infrared detector system and a software system including infrared surface temperature measurement, signal conversion, chromatography, etc. It is the first infrared differential thermal detector which can continuously operate at a speed of 100 km/h in the field of asphalt pavement permeability measurement. The research result shows that it is feasible to evaluate the permeability of asphalt pavement by measuring the surface temperature difference of asphalt pavement

收稿日期: 2011-05-19

基金项目: 河南省交通科技项目 (2007P431)

作者简介: 李志栋 (1973-), 男, 辽宁朝阳人, 工程师, 博士研究生, 主要从事道路设计、修筑以及养护工程研究。E-mail: gy.lizhidong@163.com

with the infrared temperature measurement technology. Compared with the traditional fixed-point permeability detector, its detection effectiveness is improved by a factor of 50 and its correlation coefficient is up to 0.8985. Because the system can share the pavement permeability information with an intelligent fog seal asphalt distributor, it can form a complete asphalt pavement permeability treatment technology which meets the requirements of different highways in China.

Key words: infrared differential thermal; asphalt pavement; permeability; detector; permeability coefficient; evaluation standard

0 引言

沥青路面是一种横向延伸且具有一定空隙的平板体结构。在运营过程中,地表水分通过路面空隙或裂缝自然渗入或者在动车荷载作用下被“压入”路面结构。此时,集料表面沥青将会发生乳化和剥离现象^[1],从而使混合料变得松散,形成更为严重的唧浆和坑槽病害。这将会加快功能性病害发生并向结构性病害发展。

因此,如何及早快速、有效地检测和评价沥青路面的透水性就显得尤为重要。目前,国内外仍停留在定点渗水检测上。例如,日本借用了土壤渗透试验方法;美国^[2]以单位面积内水头降至某一高度所通过的水量(mL)来测定;比利时采用了一种以渗透一定数量水分所需时间来表示^[3]的流量计;中国则采用单位时间内沥青层一定面积的渗水量即渗水系数^[4]来评价。



图1 不同类型的渗水仪

而对于呈平面分布的道路表面来说,这些方法尽管成本低、易操作,但在数据的代表性与准确性、检测速度、数据采集及处理自动化等方面都无法满足目前高速公路的运营要求。因此,为了减少沥青路面水损害和延缓结构性病害的发生,人们急需研发一种能连续、快速、准确、及时检测沥青路面透水性的仪器及其检测标准。

因此,我们要从沥青路面透水性与其表面温度的相关性、红外差热检测沥青路面表面温度的原理、沥青路面透水性红外差热检测仪以及评价检测标准等方面进行深入探讨,研究全新的沥青路面透水性检测仪及其评价方法,从而为沥青路面“行之有效”的预防性养护技术措施的实施提供“言之有据”的信息和数据。

1 红外差热机理及其与沥青路面透水性的相关性分析

1.1 红外技术在道路检测中的应用

早在1800年,英国天文学家赫胥尔在做光谱与温度关系试验时发现了红外线。红外线也是电磁波谱中的一部分。根据普朗克辐射定理,凡是绝对温度大于0 K的物体,由于其自身的分子运动,都会不停地向外辐射红外热能。因此,在物体表面上就会形成一定的温度场,俗称“热像”^[5]。辐射的光谱分布与物体的温度有关,所以通过专用设备接收物体表面的红外线,可以获得物体的热状态特征。然后将其热像显示在荧光屏上,依照相应判据便可判断出物体表面的温度分布状况和物体的热状态。该方法具有准确、实时、快速等优点,开辟了测温技术的新领域。

沥青路面同样具有向外辐射红外热能的特点。美国研究人员曾经利用红外热成像技术判别了热拌沥青混合料在施工中的离析状况。他们通过红外摄像仪绘制整个路面区域的热量图谱,并由此分析和评价沥青路面离析等施工质量,从而预测将来可能会出现病害、沥青路面的使用寿命以及沥青路面的材料性能。

因此,通过红外测温技术检测沥青路面的表面温度差异是可行的。

1.2 沥青路面表面温度与其透水性的相关性

文献 [6] 的研究结果表明, 当沥青混凝土的空隙率 VV 为 4 % ~ 6 % 时, 水不易渗入; 当 VV 为 6 % ~ 15 % 时, 水会进入混合料内部且不易排出; 而当 VV 大于 15 % 时, 水易进易出。这说明沥青路面的透水性与空隙率具有良好的相关性。

首先, 设计若干个空隙率分别为 4 %、6 %、8 %、10 %、12 % 和 14 %, 尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 的具有不同透水性的车辙板试件。然后, 将各试件放在常温水箱内饱水 6 h 后, 5 min 内在试件表面按照“梅花桩”形式进行标记。以试件中心点为圆心且 $r=30$ mm 的圆为测温点 1, 以距边缘均为 30 mm 的点为圆心且 $r=30$ mm 的圆为测温点 2、3、4、5。最后, 将处理后的试件放入自制保温箱内, 采用聚能灯照射, 测试不同照射时间下试件的表面温度, 并采用《规范》[4] 中的渗水系数表征混合料的透水性。



图 2 试件饱水、测温点布置和照射测温的示意图

对不同空隙率和不同照射时间下的渗水系数和表面温度进行回归处理。结果表明, 在同一时段, 渗水系数与试件的表面温度具有良好的相关性, 相关系数达到 0.95 以上。

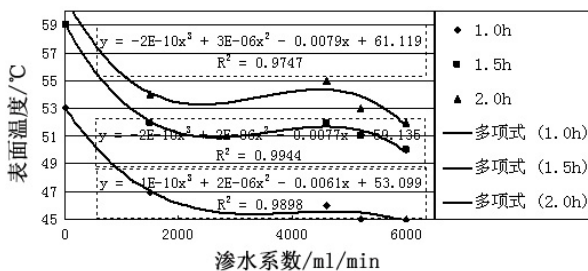


图 3 经 1.0 h、1.5 h、2.0 h 照射后, 不同空隙率试件的表面温度与渗水系数的关系图

经 1.0 h、1.5 h、2.0 h 照射后, 渗水系数越大, 其表面温度越低。1.5 h 和 2 h 下的温差分

别为 8.8 °C 和 9.6 °C, 即渗水系数越大, 水分蒸发量越大, 试件的表面温度也越低。在热源的不同照射时间内, 空隙率为 4 % 的试件的表面温度最高。而在照射 1 h 后, 空隙率为 8 % 和 10 % 的试件的表面温度比空隙率为 12 % 和 14 % 的试件的低。对于 1.5 h 和 2 h 照射时间下饱水量大的试件, 其温度最低。因此, 沥青路面的透水性与表面温差值具有较好的相关性。

1.3 路表温度场的数值模拟计算及分析

采用 ABAQUS 有限元软件对空隙率分别为 4 %、6 %、8 %、10 %、12 % 和 14 % 的沥青路面的温度场进行数值计算。在此仅绘制 VV=8 % (篇幅所限) 时的路表温度场曲线。

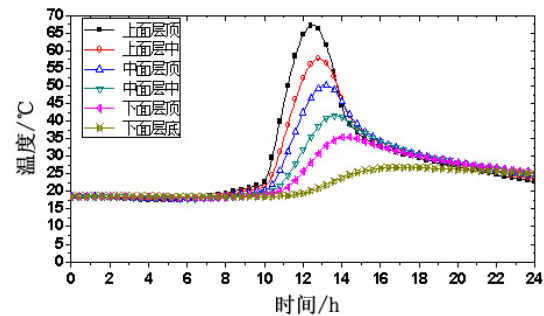


图 4 空隙率为 8 % 的沥青混合料试件在不同照射时间下的温度状况

通过计算可知, 在不同的气象环境及空隙率条件下, 路面不同结构层的最高温度、出现时间以及温度骤变范围的规律是不同的。空隙率不同的路面在经过饱水处理和不同时间的照射后, 其温度是不同的。这就为用红外测温技术评价透水性提供了理论依据。

1.4 红外差热机理分析

如上所述, 红外测温技术完全可以用来识别和检测沥青路面的表面温度状况。但是如果检测时间、检测路段、雨量、太阳照射和结构物等环境条件不同, 用绝对温度表征沥青路面的透水性就不可行了, 而且难以形成统一的标准和指标。

实际上, 当沥青路面渗水时, 渗水严重的路面内部会有较多的水分。在太阳照射下, 整个路面结构内的水分会部分蒸发, 带走部分热量, 致

使透水性不同的沥青路面表面形成温度差异。理论表明,表面温度差异可以用来表征沥青路面的透水性。

而红外差热技术就是通过用红外测温技术检测路表温度差异的程度来评价沥青路面透水性的技术。综上所述,沥青混合料试件的表面温度与其透水性具有良好的相关性。同时,同一沥青混合料试件在不同空隙率区域中的温度存在差异,所以通过红外差热技术可以评价沥青路面的透水性状况。

2 沥青路面透水性红外差热检测仪

2.1 红外差热检测仪的整机结构设计

沥青路面透水性红外检测仪是一个通过红外测温技术检测沥青路面温度差异并对其透水性进行评价的系统。首先,通过红外测温系统检测沥青路表温度,由此形成红外差热图谱和温度曲线,然后实现对沥青路面透水性的评价。整车应具有以下性能:首先,具有高速采集功能。其次,路面温度采集结果以图谱和曲线方式显示。其中,色谱以温差/距离的形式显示,即检测温度与最低温度之差。温度越低,图谱颜色越蓝;温度越高,图谱颜色越黄。曲线方式以绝对温度/距离的形式显示,每一点均可显示。最后,8个红外探测通道可覆盖单根车道。

下面介绍该仪器的基本工作原理。首先对接收到的路表红外辐射信号进行预处理,将其送至调探处理器进行解调和信号放大并转换为电压信号,然后将电压信号转化为温度示值,再将将由两个系统采集到的温度和距离信号通过录波器传到USB采集器,最后将其存储到计算机中,由软件系统对其进行处理和分析。图5所示为整机原理及界面^[7]。

2.2 硬件组成

硬件部分包括红外温度信号采集系统和距离信号采集系统。红外温度信号采集系统又包括8组红外探头、调探处理器以及温度和背景温度信号滤波电路。其中选用了快速的热敏电阻型红外调制探头。用热敏电阻采集信号,并通过红外调制探头将热信号转变成电信号。

红外传感器选用特殊的高速传感器,能够满足以下4个要求:首先,具有满足车载120 km/h检测速度的高响应速度;其次,测温误差 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$;再次,能够适应公路现场环境高、低温度的要求;最后,具备一定的抗振动、抗冲击能力,适应车载颠簸振动。

红外调制探头应该选用具有代表性的测辐射热计,当然也可以通过改变热敏电阻的材料^[8-10]和采用不同的微机械加工技术^[11-13]并根据对道路检测的需要来对选用的元件进行改装。图6所示为组装后的沥青路面透水性红外检测仪^[5]。

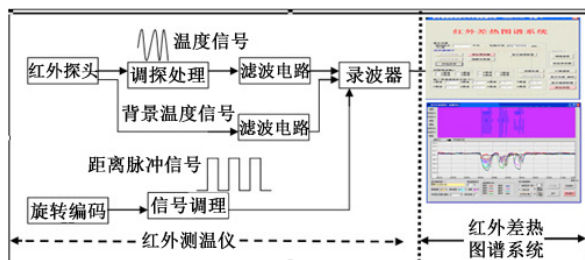


图5 透水性红外差热检测仪的结构原理图和软件系统界面



图6 沥青路面透水性红外差热检测仪整车

2.3 软件系统组成

在软件系统开发中,一是要控制红外测温系统快速、连续测试沥青路面时所对应的表面温度,同时记录测试过程中影响路面表面的因素,并将测得的温度数据存储在计算机中。二是要将采集到的电压信号转换为温度信号,并形成距离-温度色谱。数据的导入导出只需根据系统研究中的指标对应关系进行相应处理,并生成标准格式文件以供数据转换。而数据转换则需要对对应的数据进行处理。程序主要采用VB6.0进行开发。

2.3.1 数据采集

(1) 距离信号采集

脉冲当量为

$$\text{mmperpuls} = 3.14159 * \text{Val}(\text{Txdiam}.\text{Text}) / 4000$$

' 脉冲当量 (mm/p), Txdiam.Text 为轮胎直径, 4000 为旋转编码器的每转脉冲数

If vlt16.puls1 >= 0 Then

puls1 = vlt16.puls1

Else

...

(2) 温度信号采集

通过数据采集器的 A/D 转换器将红外测温探头输出的电压信号转换为数字信号。

2.3.2 数据处理

某一路红外探头进行温度计算的源程序如下 (程序片段):

' 计算 1 通道温度

tmpf0 = cptfrnttmp1(vlt16.fvlt0)' 调函数计算,

tmpf0 为 1 通道温度

以下是调用的函数:

Public Function cptfrnttmp1(fvlt)

Dim cptrcd As scalerecord ' 定义计算用记录变量

' 第 1 通道

Dim beginvalt11 As Integer ' 保存第 1 档小电压

...

Case endvalt125 To endvalt124 - 1

tmpf0 = endtemp124 - (fvlt * 1000 - endvalt124)

/ mvperdeg12

End Select

End If

cptfrnttmp1 = tmpf0

End Function

2.3.3 光谱与曲线显示

图谱区 (见图 12) 是以颜色来表示温差的。其中, 蓝色表示低温, 红色和黄色表示温度递增。不符合条件处, 显示为空白。横坐标表示距离, 单位为 cm; 纵坐标表示 8 路探测器。

曲线区表示 8 路探测器的绝对温度曲线, 与通道 1~8 的颜色相对应。其中, 纵坐标表示绝对温度, 横坐标表示距离, 单位为 cm。

s2=(tmp8.distance-fdistancebegin)* coordinate-curvh ' 距离坐标变换

If Option1.Value = True Then ' 只画 1 路

'2.1 画某一通道温度曲线

Select Case Combiselectchn.Text

...

BF

olddis1 = tmp8.distance - fdistancebegin ' 保存

1 通道上一次绘制结束距离 cm

End If

...

End Select

2.3.4 温度数据显示

(1) 筛选低温点数据。

(2) 显示数据表。可以通过软件对原始数据进行分段计算, 得出分段温度数据文件。“显示数据表”不仅可以以 Excel 表格显示一个完整温度文件的全部数据, 而且也可以分段显示温度数据, 以便对温度数据进行详细的分析和研究。

(3) 显示事件数据。事件数据以 Excel 形式显示。“事件”和当时发生的距离具有一一对应的关系。事件数据主要在对温度曲线和图谱进行分析判断时用于剔除影响因素。

(4) 显示最大距离并对距离进行标定。

2.3.5 温度传感器标定

图 7 所示为温度传感器标定的界面。

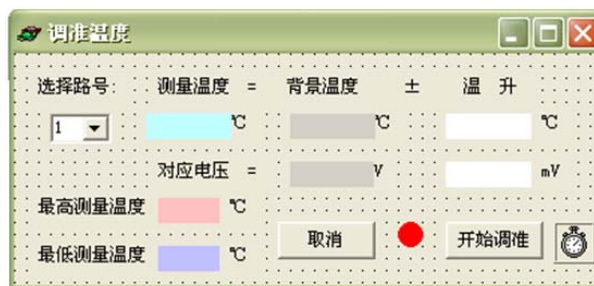


图 7 温度传感器标定

2.4 整车调试

在安装好调制探头后,用“黑体源”分别对 8 个探头通道测定的温度和曲线进行标定。距离标定系统由 leine&linde-RSI505 型旋转编码器和信号调理器构成。

2.4.1 红外调制探头的视场面积、衰减与距离的关系调试

红外调制探头的视距增加会导致视场面积扩大、光线衰减。这是由红外调制探头的内部光学系统造成的。

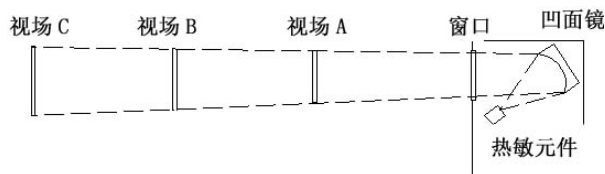


图 8 红外探头的探测示意图

在图 8 中,被测物体处在有效视场面积上,其红外辐射通过窗口平面镜被投射到红外调制探头内的凹面镜上,再由凹面镜聚焦后被反射至红外热敏元件上。窗口平面镜采用锗透镜,它只让红外光通过,对其他光线具有阻挡作用,但它不起聚焦作用。凹面镜只接收平行光线并对其进行聚焦和反射。

2.4.2 探头的倾斜视场光斑与输出的对比调试

首先,做好探头各个位置的标记(400 mm/900 垂直距离、455 mm/270 垂直距离、500 mm/370 垂直距离、570 mm/450 垂直距离),以减少由对准位置延迟时间造成的输出影响。其次,将探头充分预热,以减少因内部温度升高而使输出变小的现象,保证信号输出端并接 0.1μ 电容,从而消除高频干扰。最后,将黑体加温至 50°C 、 60°C 、 70°C 绝对温度并指示稳定。

试验中,当垂直距离不变时,增加角度实际上就是增加探头与黑体的距离,会造成衰减。另外,由于黑体表面结构的差异,其倾斜照射会引起表面的差异,造成衰减。

在进行路面测温时,路面在微观下是粗糙不平的,不具有规律性,会出现漫反射的情况。视场内的温度不会有明显差异,因此在正常使

用距离(1 m)内,由视场角度变化引起的误差可以忽略不计。

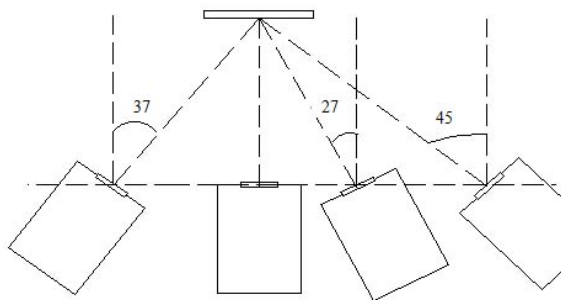


图 9 试验模拟图

2.4.3 探测距离的增加与输出的关系调试

探头输出与被测物体位置之间存在衰减关系。距离越大,衰减越大。在被测距离相同的条件下(1000 mm 以上的探测距离),探头输出与被测物体温度之间存在衰减关系。温度越高,衰减越大。

试验结果表明,在不采取确实可行的技术手段进行路面测温时,单一地增加探头距离(超过 1000 mm)会引起系统测量误差。由于输出的衰减因距离和温度的不同而不同,而且存在个体差异,我们可采用单独标定的办法来解决问题。

2.4.4 进行视场面积的增加与距离的关系调试

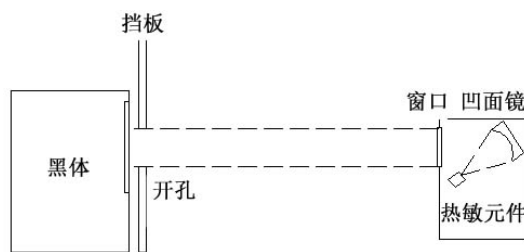


图 10 视场面积的增加与距离的关系

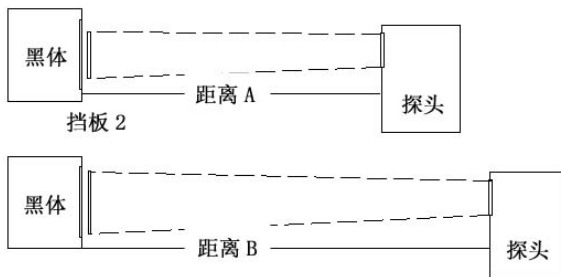


图 11 视场大小及视场角度图

通过数据对比发现,当探头在 1000 mm 探测距离以内时,光斑变化不大;在 600 mm 探测距离以内时,光斑无变化,仍为窗口直径(55 mm)。在应用路面测温系统(探测距离为 600 mm)时,可不考虑光斑变化的影响。

3 沥青路面透水性红外差热评价标准

3.1 评价标准的建立

选择河南省信南高速、广州机场高速和陕西西汉高速作为检测试验路段。首先用沥青路面透水性红外检测仪进行测试,然后在测得的数据中选取具有代表性的温度特征点。依照《公路路基路面现场检测规程(JTG E60-2008)》(T0971-2008)测定特征点的渗水系数,并分别对温度差值、温度差异度与渗水系数进行相关性分析。

温度差值(ΔT)是指在低温区段出现的最低温度值与邻近正常区段的温度值的差值。而温度差异度(U)^[14]则是指温度差值与正常区段温度值之比的百分数,即

$$U = \frac{\Delta T}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, U 为温度差异度(%), ΔT 为温度差值($^{\circ}\text{C}$), T 为待评价路段的最高温度($^{\circ}\text{C}$)。

通过数据分析可知,在不同的检测条件下,相同温度差值所对应的渗水系数数据比较离散,所以用红外差热的温差值来表征沥青路面透水性是不合理的。图 12 所示为信南高速的红外差热图谱。其中,①、②、③、④为渗水试验的测试点。



图 12 信南高速的红外差热图谱

对 3 条高速公路的温度差异度和渗水系数进行回归分析(结果见图 13)。

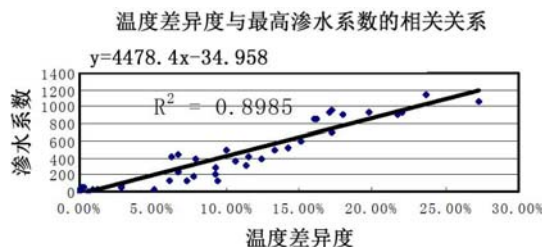


图 13 温度差异度与渗水系数的相关关系

从图 13 中可以看出,在不同检测条件下,路面的温度差异度与渗水系数之间存在着良好的相关性, $R^2=0.8985$,即温度差异度的绝对值越大,渗水系数越大,透水性也越大。

因此,用由红外差热仪检测的温度差异度进行透水性评价,并根据温度差异度将透水性划分为表 1 中的 5 个等级^[15]。

表 1 沥青路面透水性红外差热评价时温度差异度的分级标准

温度差异度 / %	< 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	≥ 20
等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级

3.2 在沥青路面预防性养护中的拓展应用

红外差热透水性检测仪不仅可以独立地对沥青路面透水性进行检测、识别和评价,而且还可以同雾封层智能洒布车共享数据信息资源,形成成套的沥青路面透水性处治技术,即 LTC 技术。

(1) 用沥青路面透水性红外检测仪检测沥青路面透水性,得到检测段路面不同透水性的“图谱数据文件”;

(2) 用系统程序将图谱数据文件转换为“沥青洒布量数据文件”,并将其输入自跟踪沥青洒布车的控制系统;

(3) 自跟踪沥青洒布车根据“沥青洒布量数据文件”智能调整沥青洒布量,并实施雾封层自动作业。

4 结论

(1) 通过大量试验研究和 ABAQUS 有限元数值计算可知, 沥青路面透水性与表面温度差异度具有良好的相关性, 这为沥青路面透水性红外差热检测提供了理论和实践依据。

(2) 沥青路面透水性红外图谱与《规范》中渗水系数的相关性达到了 0.8985, 说明用红外差热技术检测沥青路表温度, 并通过表面温度差异度表征沥青路面透水性是可行的。

(3) 基于由高速红外测温探头等核心元件构成的红外测温仪以及用于数据采集、温度采集、数据处理、图像显示和距离标定等功能的软件系统开发的透水性检测仪填补了该领域的技术空白。

(4) 透水性红外检测仪与智能型雾封层洒布车共享透水性检测数据信息, 形成了成套的沥青路面透水性处治技术 (即 LTC 技术)。

(5) 经济南汽车质量监督检验鉴定试验所鉴定, 安装有沥青路面透水性红外差热检测仪的沥青路面透水性红外检测车的主要技术参数、基本性能指标和环保指标均符合国家技术标准及相关法规要求 (编号: QN08001HAB011)。

(6) 基于红外差热技术制定的企业标准《高速公路沥青路面透水性评价标准》(Q/GY-YJ05J-2007) (档案号: 2008/04007) 与现行《规范》中渗水仪的相关性较高。与后期发生的水损害位置进行对照后发现, 该评价指标切实可行。

参考文献

- [1] 孙立军. 沥青路面结构行为理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [2] 万全, 范书龙. 沥青混合料渗水临界空隙率的试验研究 [J]. 公路与汽运, 2005, 4(2): 65-67.
- [3] 袁宏伟, 习明星, 张敬君. 沥青路面的透水性检测方法及其影响因素 [J]. 公路, 2002, 47(5): 83-85.
- [4] 和松, 李福普. 公路路基路面现场测试规程 (JTG E60-2008) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [5] 李志栋, 李忠玉, 王占军, 等. 基于红外差热的沥青路面透水性评价及配套养护技术研究研究报告 (2007P431) [R]. 新乡: 河南省高远公路养护技术有限公司, 2008.
- [6] 李志栋. 多年冻土地区沥青混合料设计及路用性能评价 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [7] 刘廷国, 侯忠新. 红外路面温度测试仪使用新型专利说明书 (200420041784.4) [Z]. 新乡: 河南省高远公路养护技术有限公司, 2005.
- [8] Butler D P, Butler Z, Jahanzeb A, et al. Micromachined YBaCuO Capacitor Structures As Uncooled Pyroelectric Infrared Detectors [J]. Applied Phys, 1998, 84(3): 1680-1687.
- [9] Shie J S, Chen Y M, Yang M O, et al. Characterization and Modeling of Metal-film Microbolometer [J]. Microelectromech Syst, 1996, 5(4): 98-31.
- [10] Sedhy S, Fiorini P, Baert K, et al. Characterization and Optimization of Infrared Poly Site Bolometers [J]. IEEE Trans Electron Devices, 1999, 46(4): 675-680.
- [11] Mottin E, Martin J L, Buffet J, et al. Enhanced Amorphous Silicon Technology for 320×240 Microbolometer Arrays with A Pitch of 35pm [J]. SPIE, 2001, 4369: 250-256.
- [12] Tezcan D S, Eminoglu S, Akin T. A Low-cost Uncooled Infrared Microbolometer Detector in Standard CMOS Technology [J]. IEEE Trans Electron Devices, 2003, 50(2): 494-502.
- [13] Lee H K. A High Fill-factor IR Bolometer Using Multi-level Electrothermal Structures [J]. IEEE Trans Electron Devices, 1998, 45(3): 463-466.
- [14] 王占军, 李志栋, 李忠玉. 沥青混合料渗水性能评价方法对比研究 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2008, 20(6): 23-25.
- [15] 李志栋, 李忠玉, 王占军. 高速公路沥青路面透水性评价标准 (Q/GY-YJ05J-2007) (编号: 2008/04007) [Z]. 新乡: 河南省高远公路养护技术有限公司, 2007.