

引用格式: LONG Junyu, WU Decao, LUO Binbin, et al. Dual Wavelength Laser Road Meteorological Sensing Method [J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(6):0614003  
龙俊宇, 吴德操, 罗彬彬, 等. 双波长激光路面气象传感方法 [J]. 光子学报, 2023, 52(6):0614003

## 双波长激光路面气象传感方法

龙俊宇, 吴德操, 罗彬彬, 张颖, 郭裕丰, 曹盛, 邓磊, 赵明富

(重庆理工大学 光纤传感与光电检测重庆市重点实验室, 重庆 400054)

**摘要:**为解决传统接触式路面气象传感器寿命低、安装不便、易破坏路基等问题,用 1 310 nm、1 430 nm 两种波长的激光器作为探测光源,结合红外测温辅助,研究了一种非接触的路面气象传感方法。该方法通过测量不同路面状态下由光源照射形成的后向散射光强,得到水、冰介质膜在两个特征波长下的反射率;通过设定反射率和红外温度信号的判别逻辑,可以分辨多种路面状态,包括干燥、潮湿、积水、结冰和结霜;以朗伯比尔定律为基础建模实现积水、结冰厚度检测,利用反射率零点自动判别校准测量模型参数,无需现场标定即可在不同道路条件下实现精准测量。实验证明,该方法路面状态判别准确,水/冰厚度检测量程达到 3 mm,精度均为  $\pm 0.2$  mm,具有结构简单、探测距离远、成本低等特点,有良好的实用价值。

**关键词:**激光传感;短波红外;朗伯定律;非接触式;路面气象

中图分类号: TN249

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20235206.0614003

### 0 引言

道路积水、结冰等情况会大幅降低轮胎与地面之间的摩擦系数,使得车辆控制困难,产生安全隐患<sup>[1-2]</sup>,路面气象状况恶劣导致交通事故显著增加<sup>[3-5]</sup>。在高风险路段安装路面气象传感器,对过往车辆发布实时预警,可有效降低事故发生率,同时也能为路政人员的道路维护作业提供信息支持。

目前主流采用的路面气象传感方法是接触式测量法,包括测量电导率判断路面湿滑程度<sup>[6]</sup>、根据电容量变化检测气象状态的不同阶段<sup>[7]</sup>、通过光纤进行连续实时监测路面状况<sup>[8]</sup>等,这类方法灵敏度和精度都比较高,但需要在路基上打孔安装,灵活性较差,也容易因车辆碾压而损坏。非接触式遥测法则可避免上述问题,如 VIIKARI V V 等<sup>[9]</sup>利用车载雷达比较不同极化的后向散射信号,可检测到由道路上的水、冰或雪引起的低摩擦点,但探测的路面气象信息较少;DEWANGAN D K 等<sup>[10]</sup>根据道路视觉信息对路面分类,提出了一种基于卷积神经网络的道路分类网络,能精确分类出弯曲、干燥、结冰、粗糙和潮湿的路面,但该方法易受照明条件影响;CASSELGREN J 等<sup>[11]</sup>使用近红外相机,在三种特征波长下成像,通过图像分析识别路面气象状态,但成像设备昂贵,无法普及应用;徐松松<sup>[12]</sup>应用红外激光法分辨了多种状态,但识别率不高,无法测量积水、结冰厚度等。芬兰 Vaisala 公司研制的 DSC111 激光传感器,实现了远距离、高可靠性的路面状态判别,并可对 2 mm 以内的积水、结冰厚度进行测量,在市场上处于垄断地位<sup>[13]</sup>。其价格较为昂贵,相关技术也被列为商业秘密,未见公开报道。

2021 年,本课题组的柳鹏<sup>[14]</sup>利用红外激光反射测量法成功完成了积水、结冰等状态的判别,以及积水厚度的测量,精度达到  $\pm 0.2$  mm,但针对不同的路面条件还需要进行现场积水标定,实际应用存在一定困难,且尚未实现对结冰厚度的测量。在此基础上,本文研究了基于激光与红外测温的混合路面判别方法和相对反射率零点自动校准方法,可检测更丰富的路面状态,实现无需现场标定的积水、结冰厚度测量。

**基金项目:**重庆市教委科学技术研究计划青年项目(No. KJQN202001117),重庆英才计划包干制项目(Nos. cstc2021ycjh-bgzxm0128, CSTC2021YJCJH-BGZXM0287),重庆理工大学研究生创新项目(Nos. gzlcx20223085, clgyx20202037)

**第一作者:** 龙俊宇, 2051349074@qq.com

**通讯作者:** 吴德操, wudecao@163.com

**收稿日期:** 2022-12-01; **录用日期:** 2023-01-05

<http://www.photon.ac.cn>

# 1 基本原理

## 1.1 路面积水、结冰厚度的测量模型

本系统的光束传播示意图如图1所示。其中, $D$ 为水、冰厚度, $l$ 为单次光路程;光强为 $I_0$ 的光,以 $\theta$ 为入射角,照射到水、冰表面后,形成反射光强 $I'_0$ 和后向散射光强 $I'_r$ ;进入水、冰表面后的光强为 $I_1$ ,折射角为 $\alpha$ ,由水、冰吸收的光强为 $I_a$ ;到达路基表面的光经后向散射,并再次吸收,得到的光强为 $I_2$ ,此时在水、冰表面的反射光强为 $I'_2$ ;最终,到达空气中的光强为 $I_r$ 。

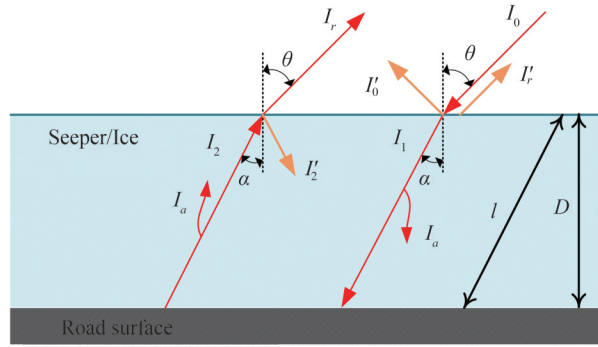


图1 光束传播示意图

Fig.1 Diagram of beam propagation

根据朗伯比尔定律<sup>[15]</sup>, $I_0$ 与 $I_r$ 满足

$$I_r = (hT_1T_2)I_0e^{-2kl} \quad (1)$$

式中,光程 $l = D/\cos\alpha$ , $h$ 为路面的后向反射率, $T_1$ 、 $T_2$ 为水、冰表面透射率, $k$ 为摩尔吸光系数。若在 $I_r$ 方向上数米外的距离放置光源与光电探测器,为消除光束在空气传播中光强衰减对测量的影响,定义相对反射率 $R$ 满足

$$R = \frac{I_d}{I_{dry}} = \frac{d(I_r + I'_r)}{dh'I_0} \approx pT_1T_2e^{-2kl} \quad (2)$$

式中, $I_d$ 为探测光强, $I_{dry}$ 为干燥路面标定光强, $d$ 为空气衰减系数, $h'$ 为干燥路面反射率, $p = h/h'$ 表示不同路面在非干燥状态下的后向反射率变动系数。由式(2)可知,水、冰厚度为

$$D = c_1 \ln R + c_2 \quad (3)$$

其中,

$$c_1 = -\frac{\cos\alpha}{2k}, c_2 = \frac{\cos\alpha(\ln p + \ln T_1 + \ln T_2)}{2k} \quad (4)$$

在水、冰吸光度相对适中的1310 nm波长下<sup>[14]</sup>, $k$ 不变,参数 $c_1$ 仅与折射角 $\alpha$ 有关,若入射角 $\theta$ 的设计范围为 $35^\circ \sim 55^\circ$ ,则积水时 $\alpha$ 为 $25^\circ \sim 38^\circ$ ,结冰时为 $26^\circ \sim 39^\circ$ ,变化较小。因而,可将参数 $c_1$ 视为常数,通过实验室标定获得。

参数 $c_2$ 为 $D$ 随 $R$ 变化的基线漂移量,与路面反射率和入射角度有关。根据式(3), $c_2$ 可使用积水/结冰厚度零点的路面反射率 $R_0$ 进行标定,即

$$c_2 = -c_1 \ln R_0 \quad (5)$$

但在路面含水时,水分子会填充道路孔隙,使路面变得平整。此时,路面将由干燥时的漫反射转为镜面反射为主,后向反射率会明显减弱,即 $p < 1$ 。经研究发现,路面吸水性越强、孔隙越多,干燥与积水状态路面的后向反射率差异越大。因此, $I_{dry}$ 与积水/结冰厚度的零点光强并不等价,无法用其标定 $c_2$ ,一般需要在检测现场根据路面特性进行即时测算。

然而,现场人工标定 $c_2$ 十分困难,将大幅增加该方法的使用难度。由于自然降雨是一个连续变化过程,而水在1430 nm附近具有很强的吸光率<sup>[14]</sup>,使得该波长下的反射率 $R^{1430}$ 在路面潮湿-积水临界状态下可发生阶跃改变。基于该特征,同步记录此刻1310 nm处的反射率 $R^{1310}$ 并记为 $R_0$ ,即可根据式(5)实现对 $c_2$ 的自

动标定。那么,即使同一路面因为路面磨损、色彩灰度改变等原因引起 $c_2$ 改变,也可通过对 $c_2$ 的自动跟踪标定,实现传感器的长期稳定工作。

### 1.2 传感器结构

传感器结构如图2所示,主要包括光学系统和电路两部分。光学系统中,三个激光器使用准直镜输出平行光照射路面,其中1310 nm和1430 nm为探测波长,685 nm为可见光指示波长;反射光经直径为2英寸(5.08 cm)双胶合接收镜聚焦后,利用1270 nm高通滤光片减弱环境光干扰,再通过3 mm直径InGaAs光电探测器转换为电信号;远距离红外热释传感器用于测量路面温度。电路部分主要包括激光驱动、信号调理和信号采集3个模块。其中,激光驱动使用专用恒流驱动芯片对发射光束加载频率1 kHz、占空比50%的方波调制信号,并使平均功率稳定在6 mW;信号调理电路对光电信号进行电流/电压(I/V)转换,并使用数字锁相放大器对接收信号进行解调,有效抑制外部干扰;最后由16 bit ADC将路面反射光强数字化,并和路面温度数据一同通过以太网传输到上位机进行路面气象解算。

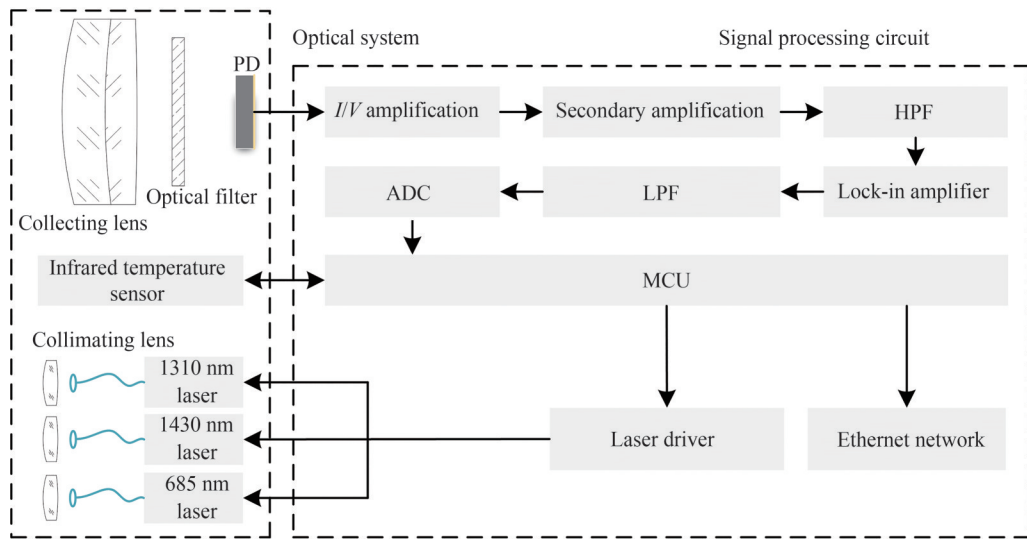


图2 路面气象传感器系统框架  
Fig.2 Framework of road meteorology sensor system

## 2 实验与分析

### 2.1 实验条件

实验系统如图3和4所示。传感器使用三脚架支撑,测量距离为1.5~5 m,角度调节范围为35°~55°;高度尺用于测量积水以及结冰厚度,测量精度达到0.01 mm;路面结冰使用大功率半导体制冷器(Thermoelectric Cooler, TEC)降温实现。



图3 实验系统图  
Fig.3 Experimental system diagram



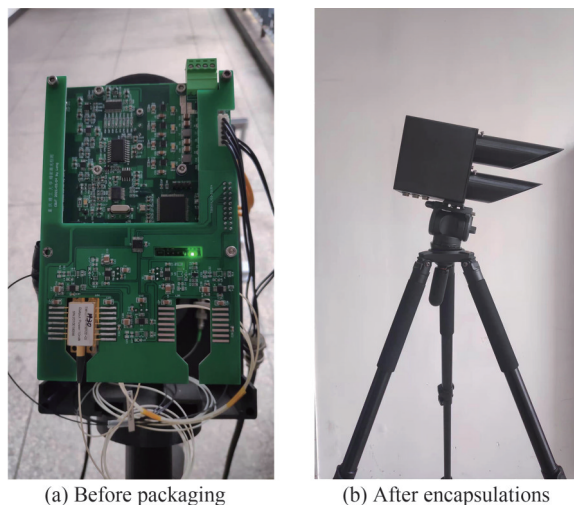


图4 传感器实物图  
Fig.4 Picture of sensor

实验测试路面选用柏油和石材两种比较常见且吸水性不同的材质进行测试,如图5所示,以测试该方法的传感性能。



图5 实验路面  
Fig.5 Experimental road

## 2.2 路面气象状态检测实验

路面气象状态检测是对  $R^{1430}$  和路面温度进行阈值判别实现的。 $R^{1430}$  对水膜、覆冰十分敏感,将其特征与不同状态下的路面温度差异结合,可实现十分准确的状态判别。实验中,分别在柏油、石材路面下以  $35^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $55^\circ$  三种角度各检测 10 组数据,探测器架设的垂直高度为 2 m。每组数据均包含干燥、潮湿、积水、结冰以及结霜 5 种路面气象状态,水/冰厚度在 3 mm 范围内随机分布,结果如图 6、7 所示。

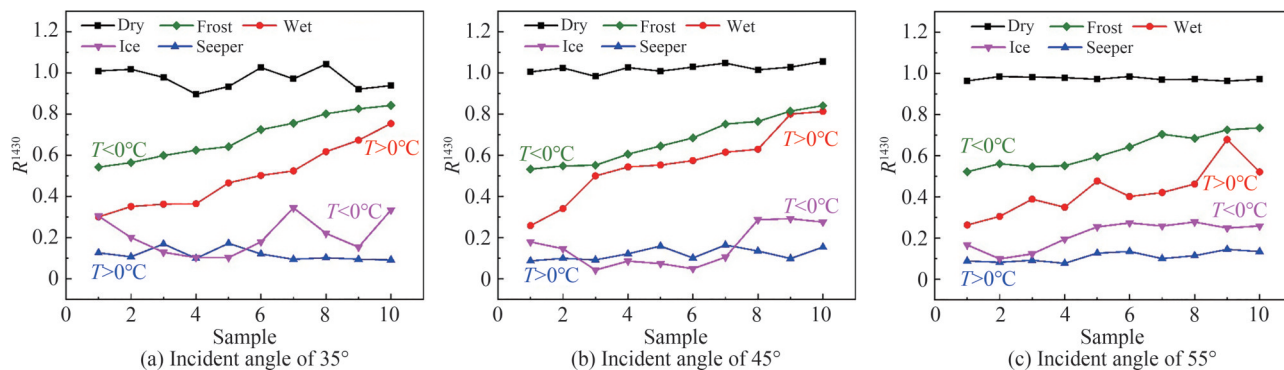


图6 不同角度下柏油路面气象状态测量数据  
Fig.6 Meteorological state measurement data of asphalt road under different angles

由测量数据可知,利用  $R^{1430}$  可分辨当前路面是否干燥。但“积水与结冰”、“潮湿与结霜”状态下由于  $R^{1430}$  差异较小无法判别。常理可知,这 4 种状态下路面温度明显不同,结合非接触红外热释测温,设置如表 1

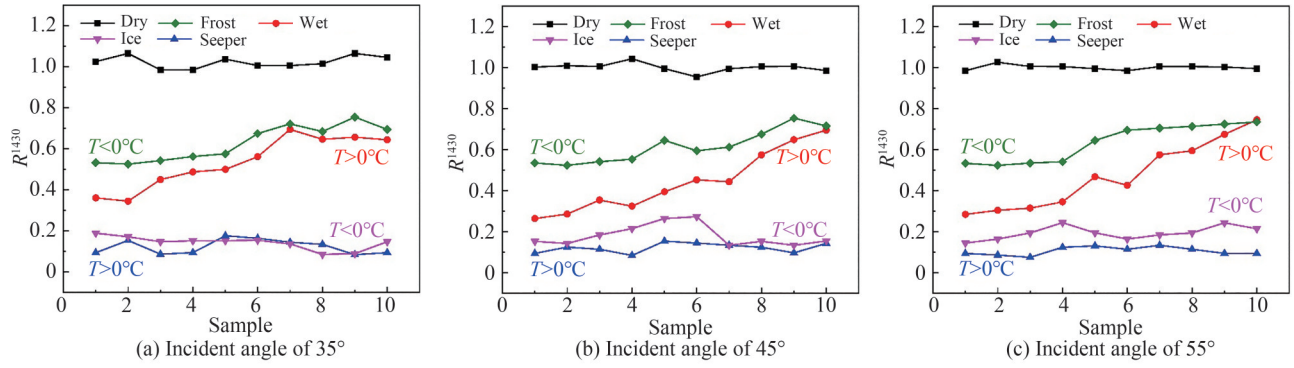


图7 不同角度下石材路面气象状态测量数据

Fig.7 Meteorological state measurement data of stone road under different angles

所示的判别阈值,则能实现这5种气象状态的准确判别。

表1 路面状态判断逻辑  
Table 1 Road state judgment logic

State	Dry	Frost	Wet	Ice	Seeper
Threshold	$1.1 < R^{1430} < 0.9$	$0.5 < R^{1430} < 0.9$ $T < 0^{\circ}\text{C}$	$0.2 < R^{1430} < 0.9$ $T > 0^{\circ}\text{C}$	$R^{1430} < 0.5$ $T < 0^{\circ}\text{C}$	$R^{1430} < 0.2$ $T > 0^{\circ}\text{C}$

### 2.3 积水厚度测量实验

积水厚度测量实验中,首先需要对其 $c_1$ 、 $c_2$ 参数进行标定。保持传感器垂直高度为2 m,以 $35^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $55^{\circ}$ 三个角度测量两种路面在不同积水厚度下的 $R^{1310}$ 和 $R^{1430}$ 。设置水厚增加步进为0.5 mm,量程为3 mm,得到1 310 nm波长下的反射率数据集,如图8所示。设定水膜厚度为1 mm以下,得到1 430 nm波长下的近零点反射率数据,如图9所示。基于式(3)对 $R^{1310}$ 数据集进行函数拟合,求得对应的 $c_1$ 、 $c_2$ 预测值。从图中可知,参数 $c_1$ 随角度的变化并不明显,可将其视为常数,取均值为-2.720 1; $c_2$ 与角度相关性也较小,但路面材质对其影响较大,需要分别设置标定值。

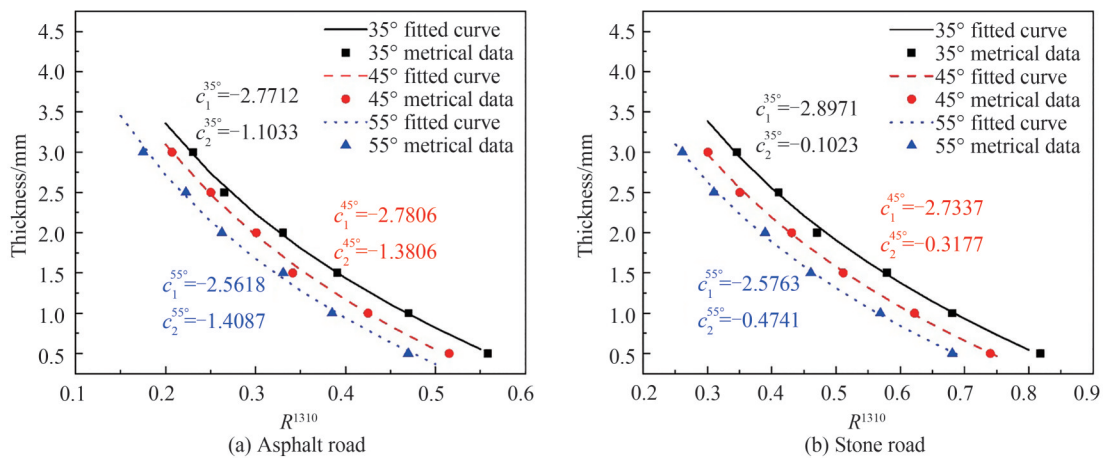


图8  $R^{1310}$  随积水厚度变化的实验数据集

Fig.8 Experimental data set of the variation of  $R^{1310}$  with the seeper thickness

如式(5)所述,当 $c_1$ 已知时, $c_2$ 可通过测量积水零点 $R_0$ 实现标定。从图9可知,水膜厚度在0.1 mm附近时,由于受到水膜吸收和后向漫反射减弱的共同影响, $R^{1430}$ 出现了阶跃跳变。设置敏感域为 $[0.18, 0.20]$ ,当 $R^{1430}$ 测值进入该区域时,同步记录 $R_0 = R^{1310}$ ,即可完成 $c_2$ 自动标定。

改变传感器高度为3 m,以产生不同的光强数据,然后对积水路面进行再次测试,并设置 $c_1$ 取值不变, $c_2$ 采用自动标定法获取,结果如图10所示。可见,随入射角由小到大,柏油路面下的最大误差依次为0.2 mm、0.15 mm和0.12 mm;石材路面最大误差分别为0.19 mm、0.19 mm和0.07 mm。由朗伯余弦定律,

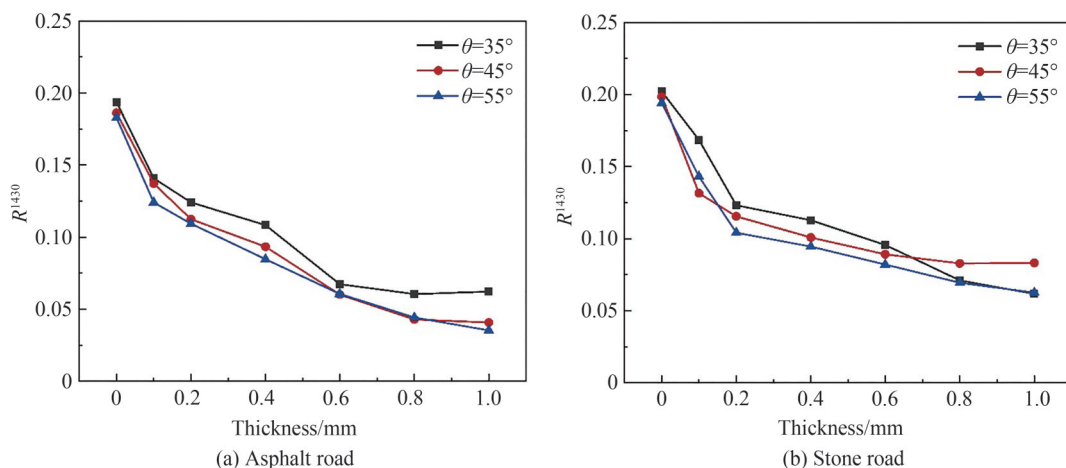
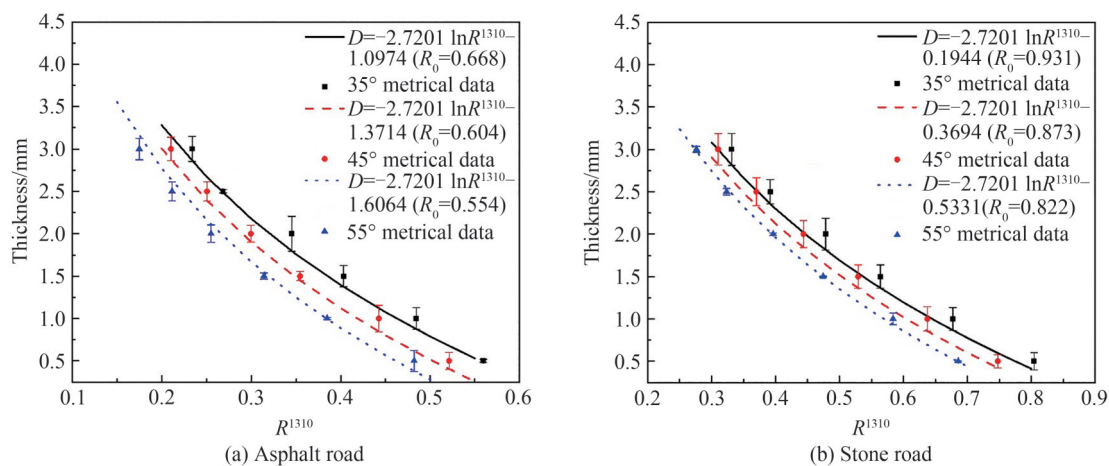
图9  $R^{1430}$  随积水厚度变化的实验数据集Fig.9 Experimental data set of the variation of  $R^{1430}$  with the seeper thickness

图10 积水厚度测量的误差分析

Fig.10 Error analysis of thickness measurement of seeper

式(2)中的信号干扰项  $I_r$  将随激光入射角度增大而减小,从而使测量误差降低,这与实验误差相符。但需注意的是,根据菲涅尔方程<sup>[16]</sup>,当  $\theta > 60^\circ$  后,由于水的镜面反射增强,透射率急剧减小,  $I_r$  也将明显减弱,受传感器灵敏度的限制,此时的测量误差会再次增大。

#### 2.4 结冰厚度测量实验

冰厚测量实验方案与积水测量类似,但由于结冰厚度难以准确控制,采用在 3 mm 量程随机制冰并获取相应的  $R^{1310}$ ,再由高度尺测量结冰厚度,得到结冰路面下的  $c_1$  标定数据集,如图 11 所示。使用式(3)拟合标定得  $c_1$  的均值为  $-3.2995$ 。

结冰状态下  $c_2$  的自动标定也需要测量  $R_0$ 。但实验中对积水零点路面进行降温结冰时发现  $R^{1430}$  的测值极不稳定,如表 2、表 3 所示,将引起  $c_2$  标定出现偏差。这是由于结冰后来自冰面的反射光  $I_r$  增强,而  $I_r^{1430}$  较弱,干扰了  $R^{1430}$  测量。并且,实际路面也难以出现结冰临界状态。

从表 2、表 3 中可知,由于  $R^{1310} \gg R^{1430}$ ,结冰后  $I_r$  增大对  $R^{1310}$  影响较小,可认为结冰前后  $R_0$  基本不变。基于此,考虑在相同路面下,且测量距离和角度不变时,使用积水时的  $R_0$  测值对结冰  $c_2$  进行标定。

再次将传感器高度由 2 m 调整为 3 m,使用本方法测量不同冰厚,并进行误差统计,结果如图 12 所示。在  $35^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $55^\circ$  入射角下,柏油路面最大测量误差分别为 0.17 mm、0.13 mm、0.12 mm,石材路面误差分别为 0.18 mm、0.15 mm、0.14 mm。

通过上述实验证明,在积水和结冰气象状态下,使用反射率零点标定测量方法,传感器可在 3 mm 量程内实现小于 0.2 mm 的测量误差,精度良好。

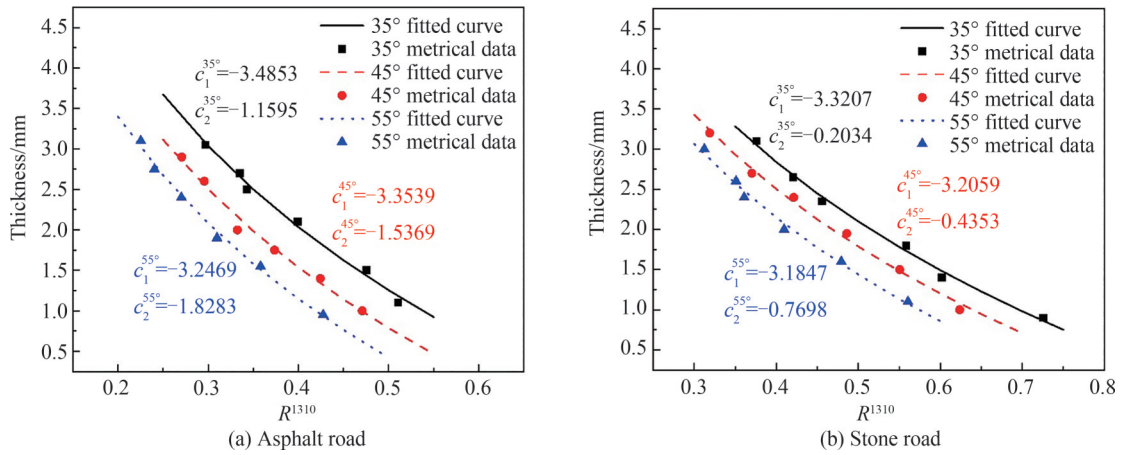


图 11  $R^{1310}$  随结冰厚度变化的实验数据集  
Fig.11 Experimental data set of the variation of  $R^{1310}$  with the ice thickness

表 2 柏油路面积水、结冰零点的反射率对比

Table 2 Comparison of the zero-thickness reflectivity between seeper and ice in asphalt road

Angle	35°		45°		55°	
State	Seeper	Ice	Seeper	Ice	Seeper	Ice
$R^{1310}$	0.668	0.671	0.604	0.612	0.554	0.559
$R^{1430}$	0.193	0.501	0.203	0.473	0.189	0.395

表 3 石材路面积水、结冰零点的反射率对比

Table 3 Comparison of the zero-thickness reflectivity between seeper and ice in stone road

Angle	35°		45°		55°	
State	Seeper	Ice	Seeper	Ice	Seeper	Ice
$R^{1310}$	0.931	0.936	0.873	0.875	0.822	0.830
$R^{1430}$	0.198	0.487	0.192	0.436	0.187	0.412

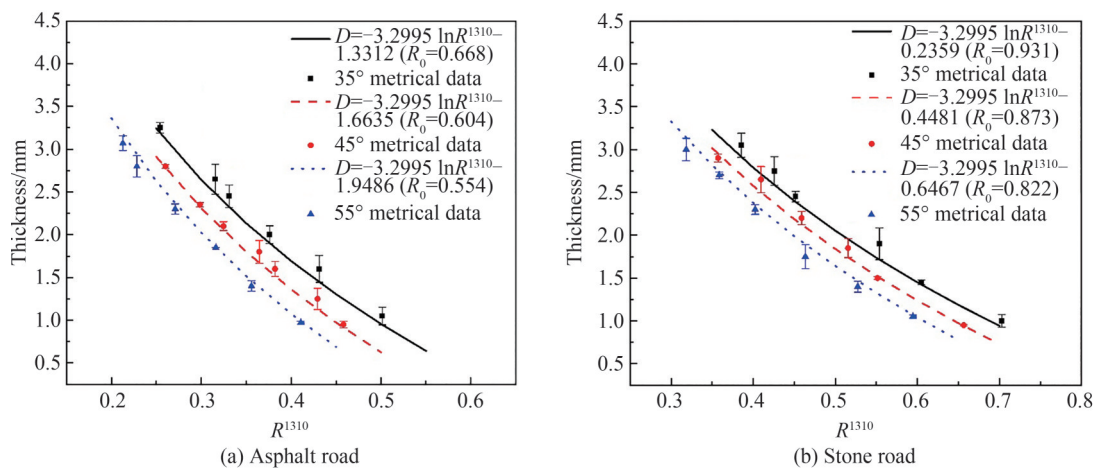


图 12 结冰厚度测量的误差分析  
Fig.12 Error analysis of thickness measurement of ice

### 3 结论

本文主要研究一种基于双波长激光探测的非接触式路面气象传感方法,通过测量特征波长下的路面反射率,并结合红外温度检测,可实现多种路面状态的可靠识别,以及积水、结冰厚度的准确测量;通过对积水零点的自动判别实现解算模型的参数标定,解决其他方法通常需要人工现场标定的难题,提升了测量装置的易用性。实验证明,该方法的积水、结冰测量精度达到 $\pm 0.2$  mm,量程达到 3 mm,达到与国外先进设备相



似的测量能力,具有较好的实用价值。

### 参考文献

- [1] ZHOU H, JIANG Z, JIANG B, et al. Optimization of tire tread pattern based on flow characteristics to improve hydroplaning resistance [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2020, 234(13): 2961-2974.
- [2] JUGA I, NURMI P, HIPPI M. Statistical modelling of wintertime road surface friction[J]. Meteorological Applications, 2013, 20(3): 318-329.
- [3] MALIN F, NORROS I, INNAMAA S. Accident risk of road and weather conditions on different road types[J]. Accident Analysis & Prevention, 2019, 122: 181-188.
- [4] ANDERSSON A, CHAPMAN L. The use of a temporal analogue to predict future traffic accidents and winter road conditions in Sweden[J]. Meteorological Applications, 2011, 18(2): 125-136.
- [5] XIA Minjie, CAO Jie, ZHOU Wenjun. Analysis on relation between meteorological condition and road traffic accident in Nanjing[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2014, 34(3): 305-309.  
夏敏洁, 曹杰, 周文君. 气象条件与南京地区道路交通事故量的分析[J]. 气象科学, 2014, 34(3): 305-309.
- [6] DÖRING J, LÜTKEHAUS L, KRIEGER K L. Study on the effect of electrical conductivity on road surface wetness classification using capacitive measurement data[J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 22(20): 19722-19728.
- [7] SHEN Y, WANG S. Condensation frosting detection and characterization using a capacitance sensing approach [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2020, 147: 118968.
- [8] ZHAO J, WANG H, CHEN Y, et al. Detection of road surface anomaly using distributed fiber optic sensing[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(11): 22127-22134.
- [9] VIKARI V V, VARPUA T, KANTANEN M. Road-condition recognition using 24-GHz automotive radar[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2009, 10(4): 639-648.
- [10] DEWANGAN D K, SAHU S P. RCNet: road classification convolutional neural networks for intelligent vehicle system[J]. Intelligent Service Robotics, 2021, 14(2): 199-214.
- [11] CASSELGREN J, ROSENDAHL S, SJÖDAHL M, et al. Road condition analysis using NIR illumination and compensating for surrounding light[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 77: 175-182.
- [12] XU Songsong. Research on a non-contact pavement meteorological sensing technology[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2014.  
徐松松. 一种非接触式路面气象传感技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2014.
- [13] MA Y, WANG M, FENG Q, et al. Current non-contact road surface condition detection schemes and technical challenges[J]. Sensors, 2022, 22(24): 9583.
- [14] WU Decao, LIU Peng, LUO Binbin, et al. Research on non-contact dual wavelength laser road meteorological sensing method[J]. Acta Optica Sinica, 2020, 40(23): 2312004.  
吴德操, 柳朋, 罗彬彬, 等. 非接触式双波长激光路面气象传感方法研究[J]. 光学学报, 2020, 40(23): 2312004.
- [15] DING Junya, HE Tianbo, WANG Hongliang, et al. Detection method of volatile organic compounds based on external cavity quantum cascade laser spectroscopy[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(4): 0430002.  
丁俊雅, 何天博, 王洪亮, 等. 基于外腔式量子级联激光光谱的挥发性气体检测方法[J]. 光学学报, 2018, 38(4): 0430002.
- [16] XU Q, LIU Y. A new formula on the Fresnel reflectance and its application in microwave remote sensing[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 47(11): 1045-1052.

## Dual Wavelength Laser Road Meteorological Sensing Method

LONG Junyu, WU Decao, LUO Binbin, ZHANG Ying, GUO Yufeng, CAO Sheng,  
DENG Lei, ZHAO Mingfu

(Chongqing Key Laboratory of Optical Fiber Sensor and Photoelectric Detection, Chongqing University of  
Technology, Chongqing 400054, China)

**Abstract:** The installation of pavement meteorological sensors in high-risk road sections and real-time warning of passing vehicles can effectively reduce the accident rate and improve the highway transportation efficiency. The pavement meteorological sensor can be divided into contact type and non-contact type according to the installation mode. The contact sensor needs to be drilled and installed on the subgrade,



which has poor flexibility and is easy to be damaged due to the rolling of vehicles. The non-contact sensor adopts remote sensing technology, which can measure a variety of pavement meteorological data. Its installation does not need to damage the pavement, which is convenient for large-scale promotion and use, and has a broad application prospect.

The road slippery state is closely related to traffic safety. To solve the problems of low life, inconvenient installation, and easy damage to the subgrade of the traditional contact pavement meteorological sensor, this paper uses 1 310 nm and 1 430 nm lasers as the detection light source, combined with infrared temperature measurement assistance, to study a non-contact pavement meteorological sensor method. In this method, the reflectivity of water and ice medium film at two characteristic wavelengths is obtained by measuring the backscattered light intensity formed by the light source under different road conditions. The pavement meteorological information can be obtained by solving and analyzing the reflectivity. First of all, based on Lambert Beer's law and according to the analysis of the laser beam propagation path, a theoretical model for measuring the thickness of seeper and icing is proposed. The model contains two parameters, which are related to the type of detection material and the road water absorption, respectively. Among them, the parameters related to the measurement material are constants, which can be obtained through experimental calibration, while the parameters related to the road surface are variables, which need to be measured at the road surface site, it is obtained by the automatic calibration method of the zero point of the relative reflectivity; then, according to the demand analysis, a pavement weather sensor with practical significance is designed, and the relevant detection system is built; finally, the meteorological state of the pavement and the thickness of seeper and icing are measured on the asphalt pavement and stone pavement with the self-designed sensor. In the identification of pavement status, the mixed identification logic of relative reflectance and infrared temperature signal is used to realize reliable identification of various pavement statuses, including dry, wet, seeper, icing, and frost. For the measurement of thickness parameters, the reflectance zero point is used to automatically identify and calibrate the measurement model parameters, so that accurate measurement can be achieved under different road conditions without on-site calibration, effectively solving the problem of baseline drift when measuring at different angles on different roads.

A non-contact pavement meteorological sensor based on dual wavelength laser detection is proposed. The sensor has the advantages of simple structure, long detection distance and low cost. In terms of measurement method, five pavement meteorological states can be accurately judged through mixed logic judgment; by using the automatic calibration method of reflectivity zero point, the measurement of seeper and icing thickness is realized. The experiment shows that the measurement accuracy of this method reaches 0.2 mm, the measuring range reaches 3 mm, and it can adapt to the pavement with different water absorption, achieve the measurement capability similar to that of foreign advanced equipment, and solve the problem that other methods usually require manual on-site calibration, which has good practical value.

**Key words:** Laser sensing; Short wave infrared; Lambert's law; Non-contact; Road surface meteorological

**OCIS Codes:** 140.3070; 280.3420; 040.3060; 290.1350; 040.5160