

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyh.2024.08.055

# 考虑温度影响的半刚性基层沥青路面裂缝处 结构强度变化规律分析

樊云龙<sup>1</sup>,祝争艳<sup>1</sup>,卜勇<sup>1</sup>,丁子豪<sup>1</sup>,金光来<sup>2</sup>,臧国帅<sup>2</sup>,朱奇<sup>2</sup>

(1.江苏高速公路工程养护技术有限公司,江苏南京210000;2.江苏中路工程技术研究院有限公司,江苏南京210000)

**摘要:** 裂缝病害是当前高速公路沥青路面出现的主要病害类型之一,裂缝对路面的结构强度产生一定程度的削弱。根据弯沉盆数据可以反演各结构层模量,评估结构强度。选取宁杭高速开展针对裂缝的弯沉检测,对裂缝处结构强度变化规律和受温度影响情况进行分析。结果表明:裂缝对弯沉影响显著,裂缝处弯沉约是完好处弯沉的2.17倍,裂缝处基层和底基层模量衰减程度较为严重,基层衰减程度为81.49%,底基层衰减程度为77.45%;完好处的面层材料模量相较于裂缝处受温度影响较大,变化幅度可达到10.3倍,基层、底基层和路基的模量随温度变化并不明显。

**关键词:** 道路工程;裂缝;结构强度;弯沉检测;温度;模量反演

中图分类号: U416.01

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)08-0237-04

## 0 引言

高速公路随着通车年限的增长,路面的破损与病害会持续不断地增加。裂缝是当前高速公路沥青路面出现的主要病害类型之一,裂缝对路面结构整体性和连续性造成一定的破坏,并对结构强度产生一定程度的削弱,对路面使用性能会产生较大的影响<sup>[1-3]</sup>。沥青路面的裂缝如果处理不及时,可能会发展成块裂和网裂等严重病害。雨水进入裂缝后,在荷载的作用下,容易引起坑槽<sup>[4]</sup>。因此,需要对高速公路沥青路面裂缝发展规律进行深入研究。对于裂缝问题,国内外从现场试验、室内试验和理论研究等方面开展了较多的研究,针对不同形式裂缝的成因、发展的研究逐渐细化和深入,室内计算机模拟与实际路面的观测性能也逐渐结合起来<sup>[5-6]</sup>。

路面结构强度是确定路面结构内部状态的重要指标,影响着道路养护决策的科学性与合理性。路面结构模量反演是路面结构性能评价中重要的技术之一。目前,最常用的获取路面结构层回弹模量的方法,是利用落锤式弯沉仪FWD实测的路面结构弯沉盆数据反演路面结构层回弹模量<sup>[7]</sup>。目前,已经有多种基于弯沉盆数据的路面结构模量反演方法,包括

搜索法、遗传算法、惰性点法、人工神经网络法等<sup>[8]</sup>。

本文从针对实际路面开展观测的角度出发,选取宁杭高速开展针对裂缝的结构强度检测,基于现场检测数据对裂缝处结构强度变化特征进行分析,研究路面裂缝的发展变化规律。

## 1 结构层模量反演研究

随着弯沉检测在路面结构强度检测中的普及,建立弯沉盆与路面结构强度之间的定量关系,从而利用实测弯沉盆数据评价路面各结构层的性能状况已成为获取路面结构力学响应信息的重要技术之一。通过弯沉盆检测数据可以对各层位的模量进行反算,计算公式如下:

$$\lg E_1 = a_1 \lg(ALCI) + b_1 \quad (1)$$

$$\lg E_2 = a_2 \lg(BLCI) + b_2 \quad (2)$$

$$\lg E_3 = a_3 \lg(SBCI) + b_3 \quad (3)$$

$$\lg E_4 = a_4 \lg(SGCI) + b_4 \quad (4)$$

式中: $E_1$ 为面层模量,MPa; $ALCI$ 为面层状况指数, $D_0 \sim D_{20}$ , $\mu\text{m}$ ; $E_2$ 为基层模量,MPa; $BLCI$ 为基层状况指数, $D_{20} \sim D_{60}$ , $\mu\text{m}$ ; $E_3$ 为底基层模量,MPa; $SBCI$ 为底基层状况指数, $D_{60} \sim D_{120}$ , $\mu\text{m}$ ; $E_4$ 为路基模量,MPa; $SGCI$ 为路基状况指数, $D_{120}$ , $\mu\text{m}$ ; $a_i, b_i$ 为标定参数,按表1取值。

为了验证模量反演公式的准确性,在宁杭高速选取检测路段,在不同的温度下开展弯沉检测,根据上

收稿日期: 2023-07-19

作者简介: 樊云龙(1986—),男,硕士,高级工程师,主要从事道路养护方向研究工作。

表1 模量标定系数

模量	$a_i$	$b_i$
面层模量	-1.124	5.112
基层模量	-1.266	5.152
底基层模量	-2.857	5.486
路基模量	-1.126	3.818

述模量计算公式,计算面层的模量。开展弯沉检测的同时,在同一路段取芯开展动态模量试验,根据动态模量主曲线计算出对应检测温度下面层的模量,并将理论计算结果与实际检测结果进行对比,分析反演公式的准确性。分析的结果见表2、图1。

表2 面层模量反演结果室内试验结果与随时间变化

计算方法	面层模量 /MPa					
	11.1℃	22.2℃	33.4℃	39.7℃	43.4℃	52.3℃
模量反演结果	10 098	7 466	7 258	5 559	2 177	1 636
室内试验结果	17 214	12 653	8 703	4 986	2 697	1 192

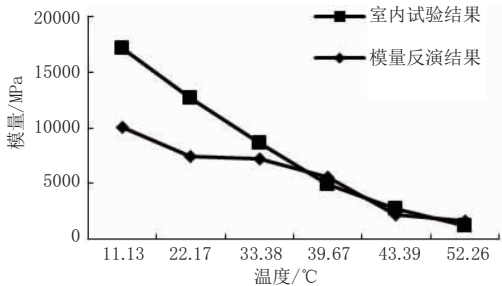


图1 面层模量反演结果与计算结果对比分析

根据分析结果,根据动态模量室内试验理论计算得到的面层模量和根据弯沉检测数据得到的面层反演模量相比,在低温时室内试验理论计算结果相较于弯沉检测反演结果偏高,在高温时二者结果较为接近。室内试验理论计算结果和弯沉检测反演结果平均相差约12%,二者相关系数 $R$ 为0.95,表明面层模量的弯沉反演结果与室内试验结果高度相关,基于弯沉盆检测数据的模量反演公式较为合理。

## 2 温度对结构强度影响研究

从室内试验结果可知,面层的模量受到温度影响较为明显,温度的变化会对路面结构强度产生明显的影响。在宁杭高速同一路段开展温度监测,根据监测数据结合室内试验结果分析温度对结构强度的影响。

根据动态模量试验得到的主曲线,计算出监测期间内面层各层位最高温度和最低温度下的模量,并对模量的变化情况进行分析,结果见表3、图2。

表3 各层位模量随温度变化

层位	最低温度/℃	最高温度/℃	最低温度下模量 /MPa	最高温度下模量 /MPa
上面层AK-13	0.33	55.77	18 766	638
中面层AC-20	2.56	49.42	18 021	933
下面层AC-25	4.59	44.82	20 763	1 501

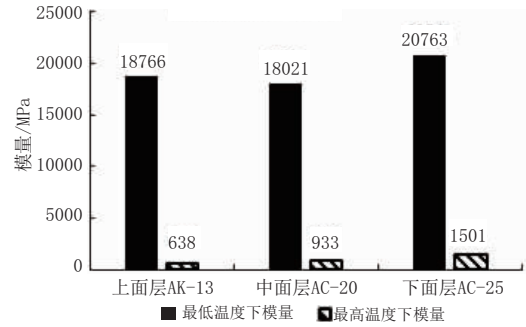


图2 各层位模量变化情况

根据分析结果,可以看出各面层材料模量都在温度的影响下发生变化,一年之内上面层温度变化范围为0.33~55.77℃,模量变化可达29.41倍。

选取监测期间内温度最高的一天,根据观测到的各层位温度变化,对各层位模量随时间变化情况进行计算分析,结果见图3。

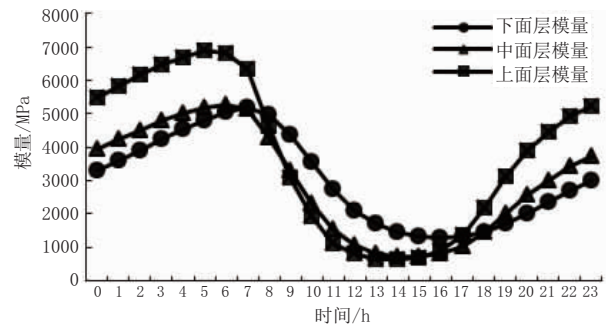


图3 各层位模量随时间变化情况

根据分析结果,可知该日上面层温度变化范围为30.02~55.49℃,上面层模量变化幅度可达10.51倍;中面层温度变化范围为31.33~51.62℃,中面层模量变化幅度为7.16倍;下面层温度变化范围为33.20~46.64℃,下面层模量变化幅度为4.02倍。上面层模量变化更加明显,主要是因为上面层温度变化更加明显。

根据该日逐小时温度结果分析(见图4)可知,上面层温度在8:00—17:00最高,下面层温度最低。因此,在这个时间范围内,上面层模量低于下面层模量,沥青混合料面层模量与温度呈反比关系。

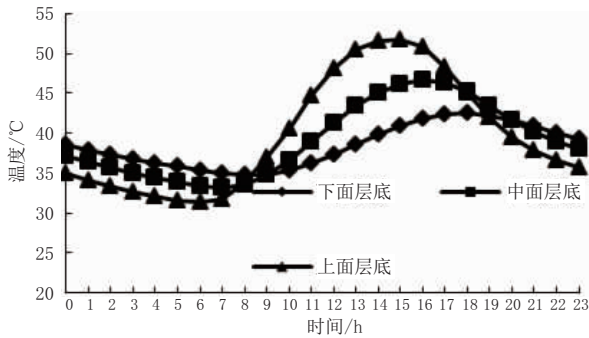


图4 各层位温度随时间变化情况

### 3 不同温度下裂缝对模量衰减的影响分析

裂缝对路面结构强度有一定的影响。针对裂缝开展弯沉检测,对弯沉值变化规律进行研究,对于裂缝病害的研究具有一定的意义。选取同一检测路段上较为典型的40条裂缝,测量裂缝处、裂缝边(15 cm)、裂缝附近(45 cm)和完好位置处(1 m)的弯沉值进行规律研究,结果见图5。

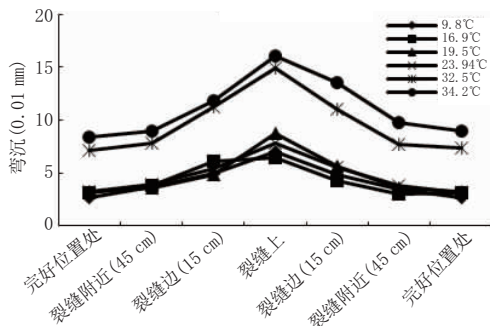


图5 裂缝处FWD弯沉检测结果

通过对数据进行分析,可以得出结论:裂缝对弯沉影响显著,裂缝处弯沉出现峰值,裂缝处弯沉约是完好处弯沉的2.17倍。

表4 不同层位模量反演计算结果

位置	模量 /MPa						
	9.8℃	16.9℃	19.5℃	23.9℃	32.5℃	34.2℃	
面层	完好处	11 842.49	6 460.15	6 575.18	6 211.45	2 018.51	1 147.85
	裂缝处	2 195.27	2 694.56	2 615.29	2 115.13	754.62	656.54
基层	完好处	30 120.57	27 728.91	28 604.65	25 656.75	24 912.64	25 911.14
	裂缝处	8 152.97	10 741.44	5 675.01	5 903.29	4 400.01	4 795.19
底基层	完好处	7 225.20	4 388.75	8 111.53	4 293.55	5 084.45	4 367.38
	裂缝处	360.33	352.28	314.71	400.37	316.47	294.10
路基	完好处	407.71	437.80	423.12	392.45	290.71	391.72
	裂缝处	393.33	396.58	400.72	375.85	242.08	339.47

通过对数据进行分析,可以发现:完好处的模量在面层变化幅度可达到10.3倍,而在裂缝处模量的变化幅度仅为3.3倍,完好处的面层材料模量受温度影响较大;基层、底基层和路基的模量随温度变化并

不明显。裂缝处弯沉明显增加,表明裂缝处的材料模量发生了衰减。以气温最高的一次弯沉检测数据为例,根据弯沉盆数据分别计算各层位在完好处、距裂缝45 cm、距裂缝15 cm和裂缝上四个位置的反演模量,对计算结果进行分析,结果见图6、图7。

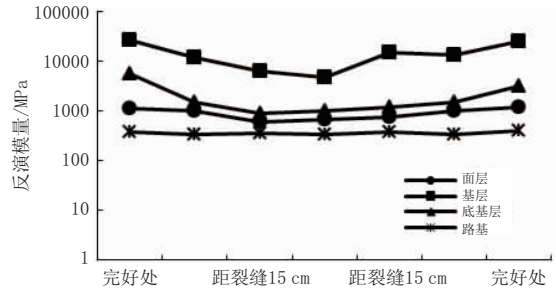


图6 距裂缝不同距离处各层位反演模量变化

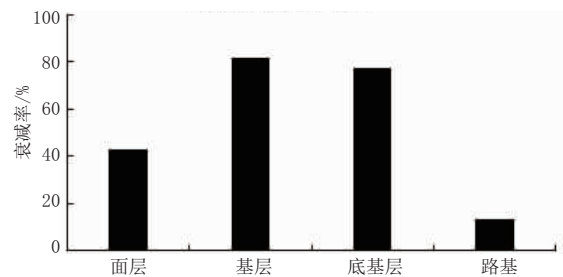


图7 不同层位裂缝处反演模量衰减率

对数据进行分析,可以得出结论:面层反演模量衰减程度为42.8%,基层反演模量衰减程度为81.49%,底基层反演模量衰减程度为77.45%,路基反演模量衰减程度为13.34%,基层和底基层反演模量衰减程度较为严重。

分别对完好处模量受温度影响的程度和裂缝处模量受温度影响的程度进行分析,结果见表4、图8。

不明显。

### 4 结论

本文选取宁杭高速开展针对裂缝的弯沉检测,

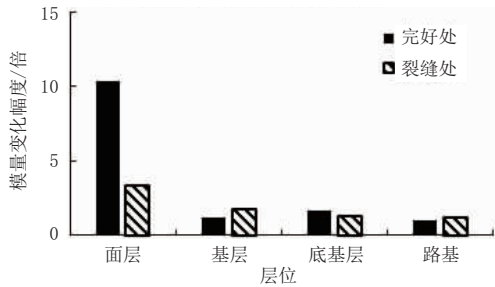


图8 不同位置反演模量随温度变化情况

从实测数据角度出发,对裂缝处结构强度变化规律和受温度影响情况进行分析,得到如下主要结论。

(1)根据动态模量室内试验理论计算得到的面层模量和根据弯沉检测数据得到的面层反演模量结果较为接近,相差约12%,相关系数 $R$ 为0.95,表明基于弯沉盆检测数据的模量反演公式较为合理。

(2)各面层材料模量都在温度的影响下发生变化,一年之内上面层模量变化可达29.41倍。选取温度最高的一天分析一天内模量变化,结果表明一天之内面层模量变化幅度最高可达10.51倍。

(3)裂缝对弯沉影响显著,裂缝处弯沉出现峰值,裂缝处弯沉约是完好处弯沉的2.17倍,裂缝处基层和底基层模量衰减程度较为严重,基层反演模量衰减程度为81.49%,底基层反演模量衰减程度为

77.45%。

(4)完好处的面层材料模量随温度的变化幅度可达到10.3倍,而在裂缝处模量的变化幅度仅为3.3倍,完好处的面层材料模量受温度影响较大;基层、底基层和路基的模量随温度变化并不明显。

参考文献:

[1] ZHOU L, NI F, ZHAO Y. Evaluation Method for Transverse Cracking in Asphalt Pavements on Freeways[J]. Transportation Research Record, 2010(2153):97-105.  
 [2] 谭振平,季秀萍,高凌志.浅析高速公路横向裂缝[J].黑龙江交通科技,2006(8):26-28.  
 [3] 李博.高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[J].黑龙江交通科技,2011(4):19.  
 [4] 江姗.公路路面裂缝形成机理及修补技术研究[D].西安:长安大学,2011.  
 [5] WAY GEORGE B. Prevention of reflective cracking in Arizona [C]// The 18th Proceedings of The Paving Conference,1981.  
 [6] PEREZ S A. BALAY J M. Tamagny P. Petit, Ch. Accelerated pavement testing and modeling of reflective cracking in pavements [J]. Engineering Failure Analysis, 2007, 14(8): 1526-1537.  
 [7] 陈鲁川,韩冰,孙辉,等.基于多层弯沉盆法的沥青路面结构层模量反演[J].山东建筑大学学报,2018,33(6):27-30.  
 [8] 邱欣,杨青,游庆龙.基于FWD动态弯沉盆参数的沥青路面模量反演分析[J].长安大学学报(自然科学版),2013,33(6):42-48.

《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](mailto:cdq@smedi.com)