

应用构造深度评价沥青混合料离析

郑晓光¹, 朱云升^{1,2}, 丛 林¹

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海市 200092; 2. 武汉理工大学交通学院 武汉市 430063)

摘 要: 为了解决目前国内缺乏离析评价方法与评价指标的问题,在大量调查国内外资料基础上,分析运用构造深度来评价沥青混合料离析的可能性。在各种构造深度测试方法中,以激光断面仪最为有效快速。采用离析区域构造深度与均匀区域构造深度比值作为离析评价指标,得出了不同程度离析的评价标准。针对均匀区域构造深度难以测定的问题,提出了几种均匀区域构造深度的预测模型。研究表明,应用构造深度评价沥青混合料离析是可行的。

关键词: 沥青混合料; 构造深度; 离析; 评价

1 离析的定义及分类

通常离析主要是指级配离析。热拌沥青混合料(HMA)由沥青结合料、集料、添加剂与空隙组成,级配离析是指热拌沥青混合料各组成部分在路面上分布不均匀,主要是指粗集料与细集料分布不均匀(如图 1 所示),从而偏离了设计级配,使沥青混凝土路

面的质量失去了控制^[1]。粗集料聚集区域空隙率过大、沥青含量偏少,从而导致路面出现水损害,形成坑槽,而且混合料的拉伸强度低,抗裂性能差,将降低道路使用寿命;相反细集料聚集区域则往往沥青含量偏多,空隙率过小,而这将导致路面的永久变形,并容易出现泛油^[2,3]。



图 1 级配离析表现

沥青混凝土路面出现的离析现象一般分为 5 类^[4]: (1)随机块状离析(图 2a),路面呈现一块、一块的粗集料集中而细集料偏少的现象,降雨过程中或雨后外观比较分明,粗集料多的区域渗水快,呈现出不同的颜色; (2)沿道路两边块状离析(图 2b); (3)沿道路两侧连续条带状离析(图 2c),路面出现纵向条带状的粗集料和细集料不均匀现象; (4)沿道路一侧

连续条带状离析(图 2d); (5)沿道路中心线连续条带状离析(图 2e)。

2 离析的评价方法

沥青混合料离析评价方法主要有钻芯取样法和无损检测方法^[5,6,7]。

钻芯取样法主要通过测定钻取芯样的体积指标

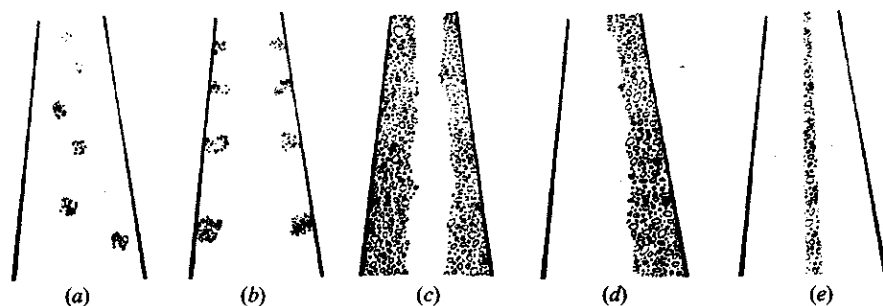


图 2 离析形式示意

来评价离析,体积指标主要包括:级配、沥青用量和空隙率。无损检测方法除了常用的视觉观测法和渗水试验法,还有一些新型技术:如红外线温度记录仪、探地雷达(GPR)、核子密度仪、激光断面仪和地震波路面分析仪等。

对于离析评价,目前我国主要依靠钻芯取样法与视觉观测法,钻芯取样法是破坏试验,难以修补,会降低路面服务能力,减小道路使用寿命;而视觉观测法是主观方法,不同检测者难以达成一致。因此有必要将无损检测技术运用到路面离析评价中去,判断无损检测技术能否在评价离析中应用的标准:首先能够定量地测出由于离析原因而导致沥青混合料性质的变化,混合料性质包括空隙率、密度、沥青含量、级配和渗水系数等;其次试验方法快速有效,再现性强,对路面损坏较小。国外采用了很多无损检测方法,通过研究证明运用构造深度来评价离析是有效快速的,而且在外国已经得到了较为广泛的应用。

3 构造深度路面离析评价方法

3.1 构造深度测量方法

构造深度测量方法分为两类:静态和动态测量方法。通常静态测量方法包括铺砂法、排水测定法和 CTMeter 法;动态测量方法主要是动态激光断面仪。

铺砂法是将已知容量的标准砂摊填在干净且干燥的路表面空隙内,测量其覆盖面积,由此计算得到平均构造深度(MTD),铺砂法存在不能在潮湿表面上进行,测定速度慢以及重现性差等缺点,近年来倾向于采用标准粒径的细玻璃取代标准砂测量以提高精度^[9]。

排水测定法,通过测试路表的排水能力间接测定构造深度^[10]。

CTMeter 法,是安装一个激光传感器来测量构

造深度。测量结果表明:CTMeter 法与铺砂法有良好的相关性,相关系数 $R^2=0.943$,如图 3 所示,因此此法可以替代铺砂法。

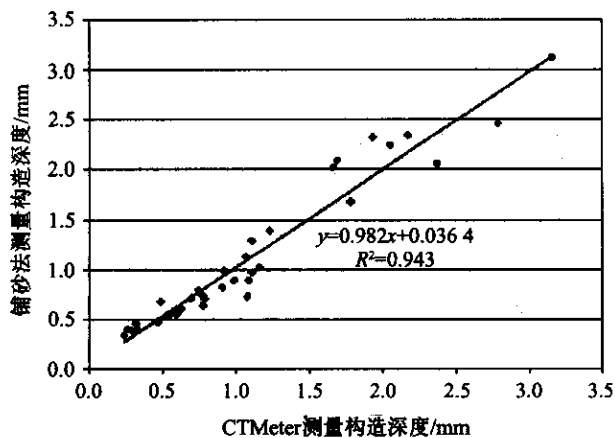


图 3 铺砂法与 CTMeter 法测量结果对比

动态激光断面仪是在车身底部悬挂红外线激光测距装置,扫描路面表面不规则断面,车辆以一定速度行驶,进行连续测定,得到平均断面深度(MPD),排除波长大于 100 mm 的数据,通过 MPD 可以预测构造深度(MTD),称之为期望构造深度(ETD),测量原理如图 4 所示。当路面构造深度较小时,激光断面仪测量结果与铺砂法测量结果有很好的相关性^[11,12]。但是对于表观构造特别粗糙的路面(如 OGFC 路面),激光构造深度仪测得数据偏低,因为激光构造深度仪中激光不能达到路面中较深的部位^[13],如图 5 所示。为了减小变异性,设备在使用之前,需要标定与校核,不同路面结构在仪器修订以后,试验结果再现性良好^[14]。

通过激光断面仪来评价路面离析有以下优缺点。

优点:

(1)这种仪器是车载,能够在正常行驶状态下快速、连续测量路面构造深度;

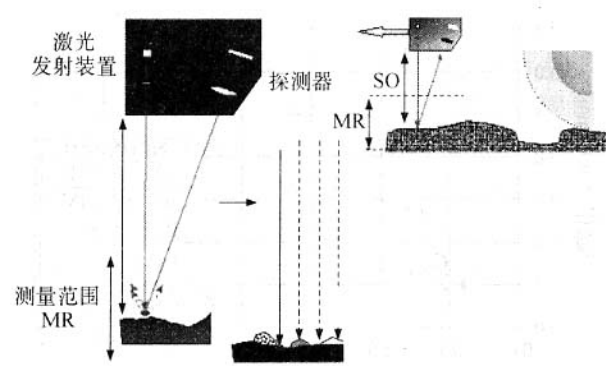


图 4 激光断面仪测量原理

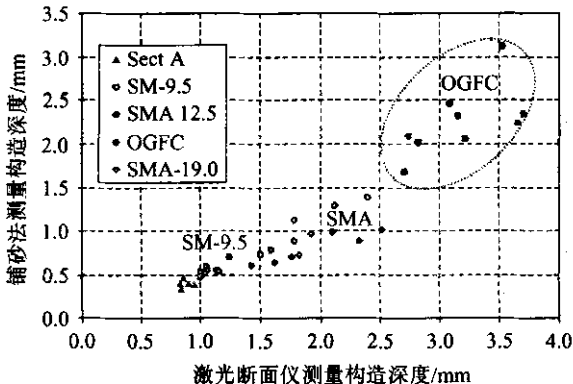


图 5 铺砂法与激光断面仪测量结果对比

(2)仪器比较轻便,可以安装在各种类型的车辆上;

(3)相关的软件能够比较容易地对测量数据进行数理统计与分析。

缺点:

(1)这种技术只能测量路表状况,路表以下状况难以评测,因此需要进一步通过其他试验来确定离析类型;

(2)行车速度保持较低才能获得准确数据和清晰图像;

(3)测量数据时,要求路面干燥,潮湿路面会对测量结果影响比较大。

3.2 构造深度离析评价指标

沥青混凝土路面离析区域与均匀区域的表面构造深度有明显差别,图 6 表明:测量的构造深度与路表离析观测的结果有较好的一致性,离析越严重,构造深度越大。因此可以通过测定构造深度来评价路面离析程度^[8]。

加拿大安大略省采用实测的构造深度与均匀区域的构造深度的比值来评定离析程度,并已将其列入路面规范 OPSS—313,见表 2。

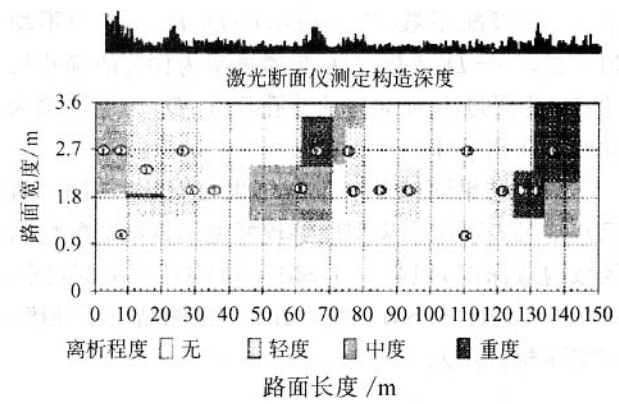


图 6 路面观测离析结果与构造深度对比

表 2 OPSS—313 的离析评价标准

路面层位	离析处的构造深度与均匀区域的构造深度的比值		
离析程度	轻度	中度	重度
中面层(中等交通量)	<1.9	1.9~2.5	>2.5
中面层(重交通量)	<1.8	1.8~2.6	>2.6
磨损层	<1.6	1.6~2.2	>2.2

2000 年美国国家交通委员会(TRB)设立了研究项目“热拌沥青混合料路面的离析”(NCHRP 441),重点研究沥青混凝土路面离析的评价方法与评价指标。其中提出了以离析处的构造深度与均匀区域的构造深度的比值作为评价指标,NCHRP Report 441 离析评价标准如表 3 所示^[5]。

表 3 NCHRP 441 离析评价标准

评价指标	离析处的构造深度与均匀区域的构造深度的比值			
界限	无	轻度离析	中度离析	重度离析
上限	0.75	1.16	1.57	>2.09
下限	<1.15	1.56	2.09	—

3.3 均匀区域构造深度预测

假设每一种混合料存在一种理想构造,这种理想构造可以通过级配等体积指标来预测,以这种理想构造深度为目标,实际测量结果与其相比较,通过其比值来分析混合料离析程度^[15]。构造深度受混合料级配、沥青用量和空隙率等因素影响。均匀区域的期望构造深度可以通过以下模型来预测^[8、15、16]。

(1)模型 1(NCHRP 441 预测模型)。

NCHRP 441 研究报告中提出了以下预测模型:

$$ETD = 0.019\ 80 \times MS - 0.004\ 984 \times P_{4.75} + 0.103\ 8 \times C_c - 0.004\ 861 \times C_v \quad (1)$$

相关性系数 $R^2=0.65$

式中:ETD 为期望(预测)构造深度,mm;MS 为集料最大粒径,mm; $P_{4.75}$ 为 4.75 mm 筛孔的通过

率; C_c 为级配系数, $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} D_{60}$; C_u 为不均匀系数, $C_u = D_{60} / D_{10}$; D_{10} 为通过率为 10% 的筛孔尺寸; D_{30} 为通过率为 30% 的筛孔尺寸; D_{60} 为通过率为 60% 的筛孔尺寸。

预测结果同铺砂法测量结果相对比(如图 7 所示);结果表明这个模型能够较好地模拟细级配均匀区域构造深度,但是对于 SMA 和 OGFC 级配(图 7 中 L、K 分别代表 SMA 与 OGFC),预测结果不准确,与实际相差较大。

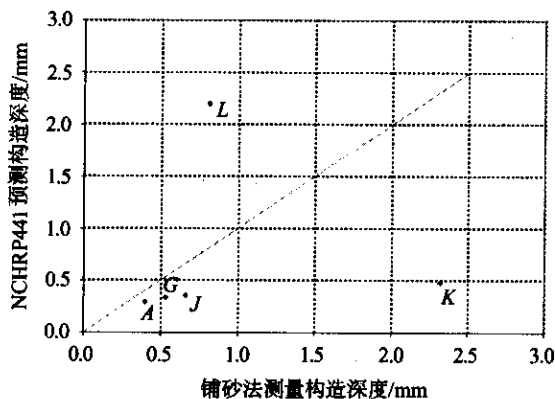


图 7 铺砂法测量结果与预测结果对比

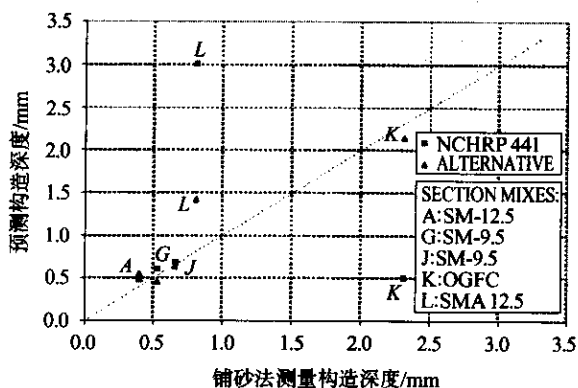


图 8 模型预测结果与实测结果对比

公式(3)针对一般沥青混合料,不包括 OGFC 级配,通过铺砂法测定构造深度来建立预测模型,相关系数 $R^2 = 0.62$,标准差误差 0.166 mm。

$$ETD = 0.6421 \times FM^2 - 5.235 \times FM + 11.224 \quad (3)$$

式中: ETD 为期望(预测)构造深度, mm; FM 为细度模数。

公式(4)专门针对 OGFC 级配,通过 CTMeter 测定断面深度来建立预测模型,相关系数 $R^2 = 0.84$,标准差误差 0.160 mm。

$$EPD = 0.4973 \times FM^2 - 3.926 \times FM + 8.287 \quad (4)$$

式中: EPD 为预测的断面深度, mm; FM 为细度模数。

公式(3)、(4)中使用的数据是已经使用两年的道路测量数据。通过 CTMeter 测定 2003 NCAT Test Track 试验数据建立公式(5)。相关系数 $R^2 = 0.93$,标准差误差 0.136 mm。

$$EPD = 0.2421 \times FM^2 - 1.576 \times FM + 2.727 \quad (5)$$

式中: EPD 为预测的断面深度, mm; FM 为细度模数。

以上预测模型各有优缺点,目前还不存在一种能够适用于各种级配类型的预测模型。

4 结论

(1)对于离析检测,目前我国主要依靠钻芯取样法与视觉观测法,但这两种方法存在着很大的缺陷,应用构造深度评价沥青混合料离析是快速有效的,而且对路面没有损坏。

(2)对比了不同构造深度测量方法,其中激光断

(2)模型 2。

在 Virginia Smart Road 修建时,取现场松散混合料,运用 VDOT(维吉尼亚公路局)混合料压实方法,在实验室成型试件,得到 VMA ,通过混合料最大公称粒径(NMS)与 VMA 来计算 ETD 。这个模型的相关系数 $R^2 = 0.965$,标准差误差 0.123 mm。

$$ETD = -2.896 + 0.2993 \times NMS + 0.0698 \times VMA \quad (2)$$

式中: ETD 为期望(预测)构造深度, mm; NMS 为最大公称粒径; VMA 为集料间隙率。

将此预测模型与 NCHRP 441 预测模型对比,如图 8 所示,此模型预测 SMA 与 OGFC 结果要优于 NCHRP 441 模型。通过 Virginia Smart Road 研究得出:当前不存在适用于所有混合料类型的模型。目前测量构造深度的设备较多, Virginia 构造深度测量设备与 NCHRP 441 的测量设备有所不同,因此模型的适用性有待于进一步研究。

(3)模型 3。

根据 NCAT 环道试验,通过级配参数和体积指标建立预测构造深度模型,环道试验包含了一系列不同类型混合料,模型变量主要是细度模数(FM),即不同粒径筛上的累积筛余百分率之和。

面仪应用最为快速有效。

(3)均匀区域构造深度的预测模型各有其优缺点,当前还不存在一种适用于各种级配类型的预测模型,各种模型的适用性还需要进一步研究。

(4)在国外研究成果的基础上,有必要进一步研究,提出适用于我国实际情况的评价标准和均匀区域构造深度预测模型。

参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2001. 5.
- [2] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海:同济大学出版社,2003.
- [3] 沈金安. 关于沥青混合料的均匀性和离析问题[J]. 公路交通科技,2001. 12.
- [4] Thomas W Kennedy, Robert B Mcgennis. Asphalt Mixture Segregation Diagnostics and Remedies [J]. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists,1987.
- [5] M Stroup-Gardiner, E R Brown. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavement[R]. NCHRP 441.
- [6] M Stroup-Gardiner. Influence of Segregation on Pavement Performance [J]. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 2000.
- [7] M Stroup-Gardiner. Application of ROSAN High Frequency Laser Surface Texture Measurements to Control HMA Segregation [J]. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists,2000.
- [8] Gerardo W Flintsch, Edgar de León. Pavement Surface Macrotexture Measurement and Application [A]. 82th Annual Meeting of TRB [C]. Washington D C: Transportation Research Board,2003.
- [9] 姚祖康. 路面设计手册[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [10] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海:同济大学出版社,2001.
- [11] Cooper D R C. Measurements of Road Surface Texture by a Contactless Sensor[R]. Transport and Road Research Laboratory Report TRRL 639,1974.
- [12] Hallett J, R Wix. Trial of High Speed Data Capture Vehicle for New Zealand State Highways [R]. Proceedings, Roads96 Conference, Part 4,1996.
- [13] Hosking J R, P G Roe, L W Tubey. Measurement of the Macro-Texture of Roads Part 2: A Study of the TRRL Mini Texture Meter[R]. Transportation and Road Research Laboratory Research Report 120, 1987.
- [14] Jay N Meegoda, Geoffrey M Rowe. Detection of Surface Segregation Using LASER [A]. 82th Annual Meeting of TRB [C]. Washington D C: Transportation Research Board,2003.
- [15] Kevin K McGhee, P E, Gerardo W Flintsch. Detecting and Measuring Hot-Mix Asphalt Segregation Using High-Speed Texture Measurement [A]. 83th Annual Meeting of TRB [C]. Washington D C: Transportation Research Board, 2004.
- [16] Brian D Prowell, Douglas I Hanson. Evaluation of Circular Texture Meter for Measurement Surface Texture of Pavements [A]. 84th Annual Meeting of TRB [C]. Washington D C: Transportation Research Board,2005.

Application of Texture Depth to Evaluate Segregation in Asphalt Mixture

ZHENG Xiao-guang¹, ZHU Yun-sheng^{1,2}, CONG Lin¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: On the conditions the evaluation method and evaluation index of segregation are lacked in China, trial of texture depth is made to evaluate segregation. Several methods for measuring the texture depth are compared, Laser Surface Texture Measurement is the most useful and rapid. The texture ratio between segregated area and non-segregated area is used as the evaluation index of segregation, the evaluation criteria of different level segregation is obtained. Several prediction models of non-segregated texture depth are analyzed. The results of research show that it is feasible to apply texture depth to evaluate segregation.

Key words: asphalt mixture; texture depth; segregation; evaluation