

密级配沥青混合料均匀性评价

张建飞¹, 郭 辉², 陈小丽³, 武金婷², 徐亦冬²

(1.重庆交通大学土木工程学院, 重庆市 400074; 2.浙江宁波理工学院土木建筑工程学院, 浙江 宁波 315100;

3.广东冠粤路桥有限公司, 广东 广州 511450)

摘 要: 为了克服传统沥青混合料均匀性评价准确度低和耗时长不足, 采用数字图像技术定量评价不同类型的密级配沥青混合料均匀性, 提出相邻粗集料区域面积比相对平均差作为评价指标来分析评价 SMA-13 和 AC-13C 两种类型混合料的均匀性。结果表明: SMA-13 比 AC-13C 的相邻粗集料区域面积比相对平均差降低了 33.1%, SMA-13 的均匀性显著好于 AC-13C。集料粒径的不同对混合料均匀性有较大影响, 各档粗集料的均匀性随粒径增长呈二次抛物线分布规律, 4.5~9.5 mm 档位集料的均匀性最好, 大于 13.2 mm 档位集料均匀性最差。混合料的局部与整体均匀性存在较好的对比效果。

关键词: 道路工程; 均匀性; 数字图像技术; 沥青混合料; 粗集料

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)08-0176-05

0 引 言

沥青混合料由矿料、矿粉、沥青及空隙组成, 其均匀性对沥青路面的使用性能和寿命存在显著影响^[1-2]。基于数字图像技术的沥青混合料均匀性评价已开展较多研究。梁乃兴等^[3-5]建立了以集料静矩为主要研究参数的沥青混合料均匀性评价指标, 并在试验路段进行了应用, 取得了良好的评价效果, 但该方法仅能评价道路表面的混合料均匀性, 而无法评价路面以下结构均匀性, 存在一定局限性。彭勇等^[6-8]根据马歇尔试件截面的集料分布位置、集料分布数, 建立了不同截面的集料水平分布指标, 但由于圆形试件受到模具影响, 截面边缘部分的集料会对均匀性评价产生影响。李智^[9]和郭乃胜等^[10]采用截面不同区域集料面积比和混合料各组分面积比作为评价参数来评价试件截面内的均匀程度。面积比评价方法参数简单, 易计算得到混合料的均匀性。然而, 这类方法评价均匀性受区域划分影响, 当区域绕截面几何中心旋转时, 同一个截面所得到的均匀性指标存在一定波动性。

已有研究均取得了一定的成果, 但仍存在评价区域的相关问题。室内成型的沥青混合料由于模具尺寸和形状的限制, 试件在成型过程中边缘集料的

分布必然受模具影响, 导致结合工程芯样验证均匀性指标时往往不具备充分的参考价值。本文通过粗集料间划分区域的方法来评价混合料的均匀性, 减小模具边缘效应对均匀性评价带来的影响。

1 试验

1.1 均匀性评价分析参数介绍

为减小边缘集料分布对均匀性分析的影响, 以切片截面上三颗粗集料的外侧公切线所包围的集料作为均匀性评价的集料单元。均匀性评价区域包括评价单元内的集料和与评价单元内的集料直接相邻的外部集料, 避免了切片截面上边缘集料参与计算和评价。从混合料切片中周围相邻粗集料的角度出发, 针对一颗粗集料, 寻找与其相邻的粗集料, 同时将相邻粗集料的质心相连, 图 1 为评价单元和相邻粗集料区域示意图。

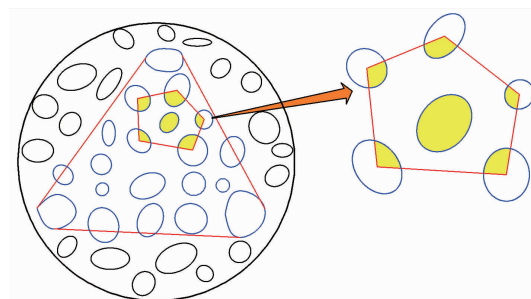


图 1 评价单元和相邻粗集料区域示意图

给出关系式:

$$A = \frac{S_{\mu}}{S_{QY}} \quad (1)$$

式中: A 为相邻粗集料区域面积比值; S_{μ} 为质心围成

收稿日期: 2021-11-14

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY21E080009); 宁波市交通科技项目(201903)

作者简介: 张建飞(1996—), 男, 硕士, 从事道路工程材料研究工作。

区域内粗集料面积; S_{QV} 为质心围成区域面积。将面积比作为均匀性评价的基础数据源,对截面上均匀性评价区域内相邻粗集料构成的面积比进行统计和分析。利用 MATLAB 软件编写相关程序提取面积比参数,面积比参数用图像前景像素个数与区域内像素总个数的比值近似代替。

将提取到的相邻粗集料区域面积比的相对平均差作为单个水平截面均匀性评价的指标,如式(2)所示:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - \bar{A}|}{n\bar{A}} \tag{2}$$

式中: C 为相邻粗集料区域面积比相对平均差; n 为质心围成区域个数; A_i 为不同相邻粗集料区域面积比值; $\bar{A}$ 为相邻粗集料区域面积比平均值。系数反映了不同区域相邻集料构成面积比与面积比平均值的偏差程度。式(3)为局部均匀性表达式:

$$C_i = \frac{|A_i - \bar{A}|}{\bar{A}} \tag{3}$$

式中: C_i 为相邻粗集料区域相对面积差,反映了截面的局部均匀性,可与评价区域的截面均匀性指标形成对照关系。

1.2 沥青混合料试验设计

参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 设计 AC-13C 和 SMA-13 两种类型的沥青混合料配合比。两种类型混合料的设计级配见表 1。

表 1 沥青混合料集料通过率

通过率 / %	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13C	100	97	77	47	35	29	24	19	11	5
SMA-13	100	94.5	59.5	23.5	20.5	19	17	13	12	11

注:AC-13C 油石比 4.8%, 矿粉 5%;SMA-13 油石比 5.8%, 矿粉 11%。

为了消除集料种类和沥青型号对混合料中粗集料分布带来的影响,试验集料均采用玄武岩,沥青均采用 SBS 类改性沥青。参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)成型上述类型试件各 5 个,并进行试件切割和图像采集,试验过程如图 2 所示。

利用图像处理技术,对混合料试件的水平切割截面进行预处理,包括图像灰度化、图像分割、形态学处理等,如图 3 所示。

2 结果分析

2.1 相邻粗集料区域面积比参数

图 4 分别为两种类型混合料切片二值图像,其

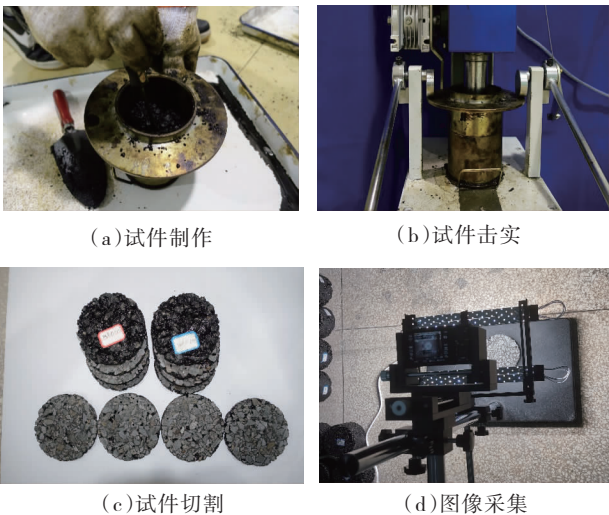


图 2 试验过程

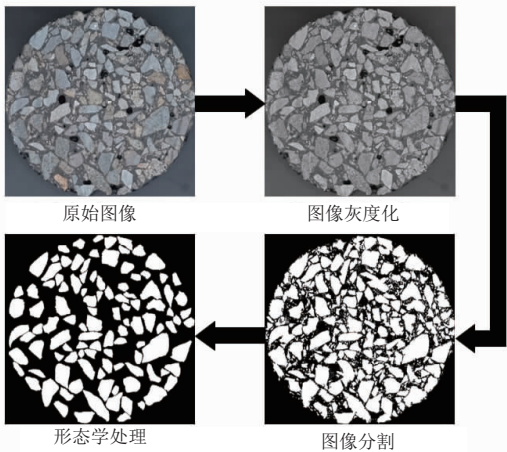


图 3 SMA-13 混合料切片预处理流程

中红色区域为部分相邻粗集料区域。通过相关程序获取相邻粗集料区域面积比参数,计算截面上均匀性评价区域内粗集料面积比的平均值。

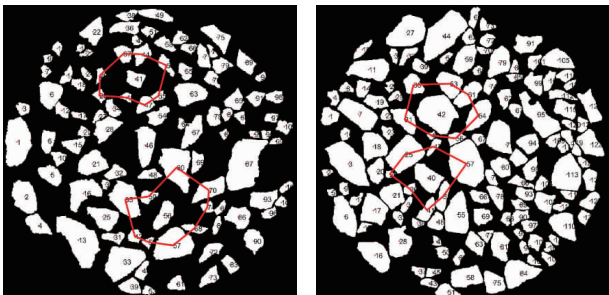


图 4 相邻粗集料区域

由图 5 可知,两种类型混合料相邻粗集料区域面积比的差异性,SMA-13 比 AC-13C 提高了 40.7%。由于 SMA-13 为骨架-密实结构混合料,内部粗集料形成的骨架结构相互嵌锁,压实过程中可供粗集料移动的空间小。AC-13C 为悬浮-密实结构混合料,粗集料移动空间大,无法形成嵌锁骨架。因此,在图像上,SMA-13 提取到的相邻粗集料区域面积比会

高于 AC-13C。这与两类混合料的结构类型相符合。

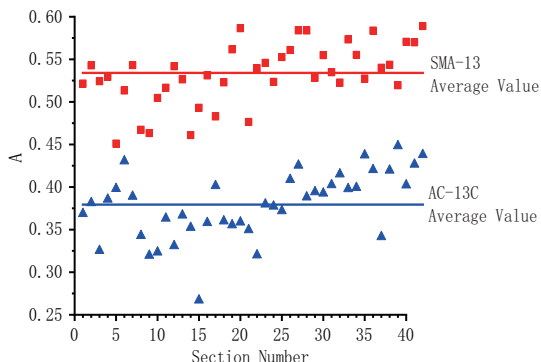


图5 相邻粗集料区域面积比

图6为分计粗集料的相邻粗集料区域面积比柱状图,其中以相邻粗集料区域中的中心集料作为分计集料。由图可知,随着粗集料粒径的增大,两种类型混合料相邻粗集料区域面积比均呈现增长趋势,其中AC-13C各档位粗集料面积比相比次级档位粗集料面积比分别提高了9.8%、20.1%和13.14%,而SMA-13分别提高了4.3%、11.2%和10.51%。SMA-13各档位粗集料的相邻粗集料区域面积比增长程度较小,面积比更接近,说明SMA-13有更好的骨架稳定性,变异性比AC-13C更小。

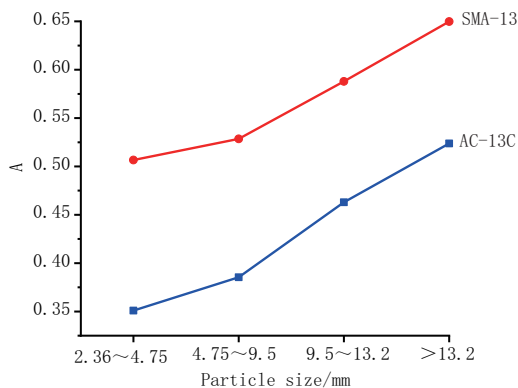


图6 分计粗集料的相邻粗集料区域面积比

2.2 AC-13C和SMA-13沥青混合料均匀性对比

图7为两种类型混合料单个截面面积比相对平均差和单个试件面积比相对平均差的统计图。

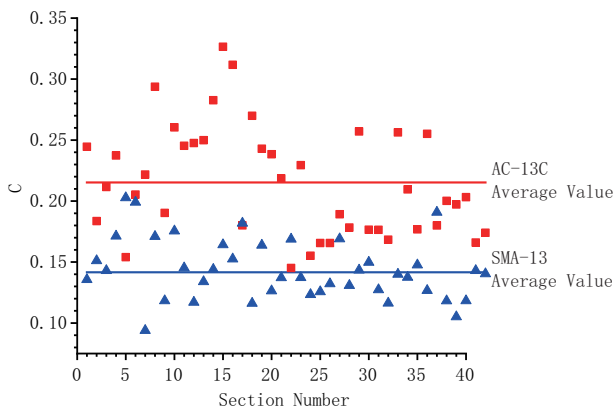


图7 截面面积比相对平均差

按照均匀性评价参数,面积比相对平均差越小,沥青混合料中粗集料的分布就越均匀。由图7可知,两类混合料均匀性存在显著区别。AC-13C和SMA-13相邻粗集料区域面积比相对平均差的平均值分别为0.144 0和0.215 3, SMA-13比AC-13C降低了33.1%,说明SMA-13的沥青混合料均匀性整体好于AC-13C。根据图5所得的结论可知, SMA-13的相邻粗集料区域面积比平均值显著高于AC-13C,使得式(2)中分母项增大,从而面积比相对平均差整体小于AC-13C。通过计算得到AC-13C和SMA-13面积比相对平均差的标准差分别为0.044 6和0.025 2,即AC-13C面积比相对平均差的离散程度较SMA-13更大,说明AC-13C沥青混合料不同截面上均匀性差异较大。这是由于AC-13C的粗集料在成型过程中更易发生随机地迁移,造成局部粗集料堆积和部分区域沥青胶浆过多;而SMA-13由于骨架相互嵌锁,成型过程中粗集料可迁移空间较小,因此均匀性变化相对较小。

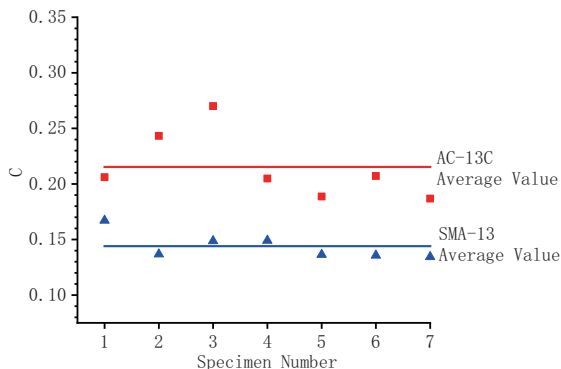


图8 试件面积比相对平均差

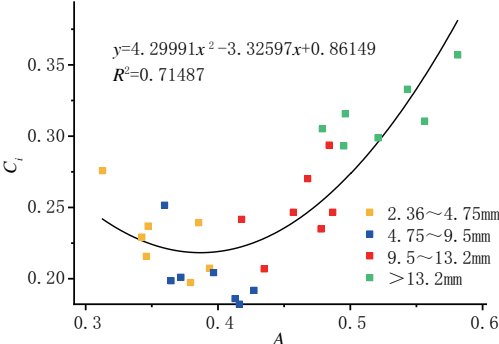
虽然两种类型混合料整体均匀性存在差异,但部分截面上差异性小,均匀性程度相近,较难以单个截面的面积比相对平均差区分出两种混合料类型。因此,以同一试件不同截面面积比相对平均差的平均值作为单个试件的均匀性评价指标。图8给出了单个试件的面积比相对平均差相关数据,其中AC-13C的均匀性最小值为0.186 8, SMA-13的最大值为0.167 1,二者在均匀性数值上不存在重叠区域。因此,可有效区分AC-13C和SMA-13。

2.3 分计粗集料的分布对集料结构均匀性的影响分析

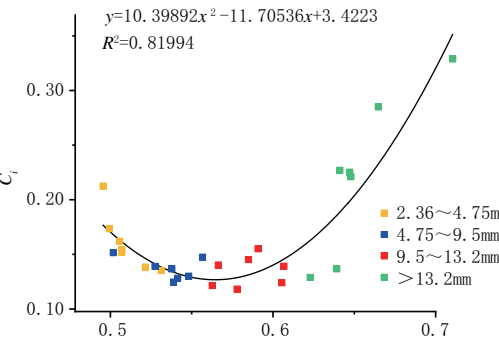
混合料中集料粒径的差异也会有不同的均匀性表现。分计后的相邻粗集料区域相对面积差可以体现出不同档位粗集料对整体均匀性贡献的差异性。

图9为试件分计粗集料的相邻粗集料区域相对面积差与面积比关系图。根据图中数据回归发现,两种类型混合料随着相邻粗集料区域面积比(集料粒

径)的增大,相对面积差并非呈线性分布,而是呈现出先有一定减小而后增大的趋势。回归曲线为二次抛物线,复相关系数 AC-13C 为 0.714 87,SMA-13 为 0.765 92,说明面积比与相对面积差存在较大的相关性。由图可知,AC-13C 的 4.75~9.5 mm 档位粗集料的相对面积差为 0.202 2,是最小的,因此均匀性是最好的;而大于 13.2 mm 档位粗集料的相对面积差为 0.316 2,是最大的,因此均匀性最差。SMA-13 的 4.75~9.5 mm 和 9.5~13.2 mm 档位的粗集料相对面积差非常接近,分别为 0.136 8 和 0.134 8,均属于最小的档位,因此这两档均匀性最好;而大于 13.2 mm 档位的粗集料相对面积差为 0.221 8,是最大的,因此均匀性最差。



(a)AC-13C 分计粗集料



(b)SMA-13 分计粗集料

图 9 试件分计粗集料的相邻粗集料区域面积比与相对面积差关系

2.4 均匀性评价效果

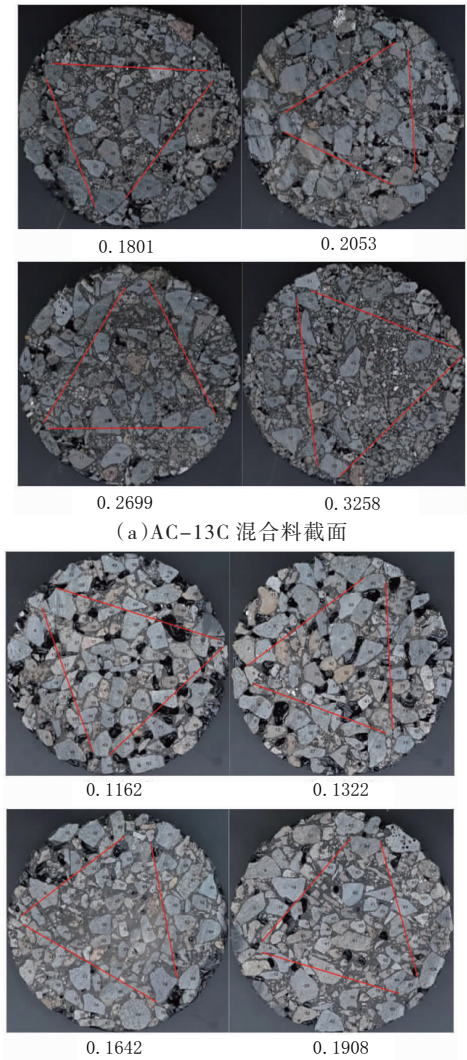
根据图 7 中的均匀性数据并结合观察法,按面积比相对平均差等分的原则,将沥青混合料均匀性程度分为四类(见表 2)。

表 2 均匀性分级

混合料类型	均匀性程度			
	均匀	轻度不均匀	中度不均匀	重度不均匀
	面积比相对平均差			
AC-13C	≤0.190 5	0.190 5~0.235 8	0.235 8~0.281 2	>0.281 2
SMA-13	≤0.121 1	0.121 1~0.148 3	0.148 3~0.175 5	>0.175 5

表中的“均匀”和“轻度不均匀”属于均匀性较好的一类,截面上粗集料的分布较为合理,而“中度不均匀”和“重度不均匀”属于均匀性较差一类,截面上存在粗集料堆积和沥青胶浆集中的现象。均匀性评价效果如图 9 所示。

由图 10 可知,随着均匀性指标的增大,混合料的均匀性程度分别由均匀变为重度不均匀。



(a)AC-13C 混合料截面

(b)SMA-13 混合料截面

图 10 混合料截面图

从图 10 可以较好地反映出两种类型沥青混合料截面的整体均匀性,但局部均匀性较差的部分也是最易引发混合料病害的薄弱点。分别取图 10 中均匀性最差的 4 个截面进行图像分割并计算局部均匀性。图 11 反映了混合料截面上局部区域的均匀性,图中红色集料标记区域为截面上局部均匀性最差的部分。

图 11(a)为 AC-13C 的局部均匀性区域,根据计算得出红色标记的局部均匀性为 0.613 1 和 0.640 6。图 11(b)为 SMA-13 的局部均匀性区域,根据计算

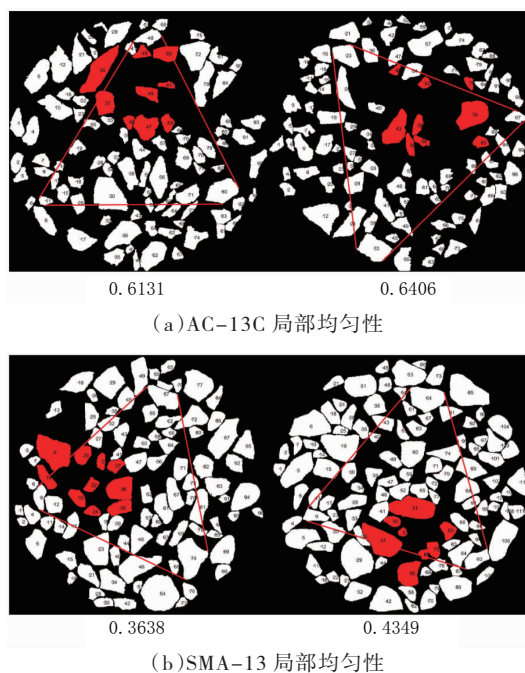


图 11 混合料截面局部均匀性

得出红色标记的局部均匀性为 0.363 8 和 0.434 9。因此,可知评价区域的局部均匀性和整体均匀性的对比效果明显。

3 结 语

(1) SMA-13 的相邻粗集料区域面积比比 AC-13C 提高了 40.7%,且 SMA-13 各档位粗集料面积比变异性小于 AC-13C, SMA-13 有更好的骨架稳定性。

(2) SMA-13 的相邻粗集料区域面积比相对平均差比 AC-13C 降低了 33.1%, SMA-13 均匀性整体好于 AC-13C。单个试件作为均匀性评价单元,可有效

区分两种类型的沥青混合料。

(3) AC-13C 的 4.75~9.5 mm 和大于 13.2 mm 档位粗集料的相对面积差分别为 0.202 2 和 0.316 2,是 AC-13C 中均匀性最好和最差档位的集料。SMA-13 的 4.75~9.5 mm 和 9.5~13.2 mm 档位粗集料的相对面积差分别为 0.136 8 和 0.134 8,是 SMA-13 中均匀性最好的两档粗集料。大于 13.2 mm 档位粗集料的相对面积差为 0.221 8,是 SMA-13 中均匀性最差档位的集料。

参考文献:

- [1] 陈俊,黄晓明.集料分布特征对混合料疲劳性能的影响分析[J].建筑材料学报,2009,12(4): 442-447.
- [2] 彭勇,孙立军,石永久,等.沥青混合料均匀性与材料力学性能关系[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(6):142-145.
- [3] 赵毅,梁乃兴.沥青混凝土均匀性数字图像评价方法[J].哈尔滨工业大学学报,2019,51(9): 88-95.
- [4] 黄志福,赵毅,梁乃兴,等.基于数字图像处理技术的沥青混合料摊铺均匀性实时监测评价方法[J].公路交通科技,2017,34(4): 8-15.
- [5] 曾晟,梁乃兴,薛轲,等.摊铺沥青路面集料均匀性数字图像评价方法[J].哈尔滨工业大学学报,2019,51(9): 144-148.
- [6] 彭勇,孙立军,杨宇亮,等.一种基于数字图像处理技术的沥青混合料均匀性研究新方法[J].公路交通科技,2004(11): 10-12.
- [7] 彭勇,孙立军,王元清,等.数字图像处理在沥青混合料均匀性评价中的应用[J].吉林大学学报(工学版),2007,37(2): 334-337.
- [8] PENG Y, SUN L J. Towards an Index of Asphalt Mixture Homogeneity[J]. Road Materials and Pavement Design, 2009,10(3): 545-567.
- [9] 李智,陈思宇.采用 X 射线 CT 技术评价沥青路面结构内部质量均匀性[J].公路交通科技,2014,31(12): 6-11.
- [10] 郭乃胜,尤占平,谭忆秋,等.基于 CT 技术的沥青混合料均匀性评价方法[J].中国公路学报,2017,30(1):1-9.

《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