



# 单机宽幅和并机梯次摊铺效果对比分析

徐中新<sup>1</sup> 胡永彪<sup>1</sup> 郭荣国<sup>2</sup> 张建光<sup>2</sup>

(1.道路施工技术与装备教育部重点实验室,长安大学 工程机械学院,陕西 西安 710064;  
2.中铁七局集团第三工程公司,陕西 西安 712000)

**摘要:** 在对比分析单机宽幅与并机梯次 2 种摊铺方式优缺点的基础上,利用常规检测方法检测 2 种施工方式下路面的平整度、表面构造深度以及沥青混合料级配稳定性;利用无损检测方法检测 2 种施工方式下路面的密实度和压实度。通过对比分析这些指标来评价 2 种摊铺方式的摊铺效果,并对 2 种检测方法的一致性进行分析。试验结果表明:中大 DT1600 型摊铺机的研发和使用,使单机宽幅摊铺的路面摊铺效果优于传统的并机梯次摊铺,可以有效地保证沥青路面的质量。沥青路面常规检测和无损检测结果具有较好的一致性,将 2 种检测方法结合起来进行路面施工均匀性的检测对路面施工具有一定的指导价值。

**关键词:** 路面工程;单机宽幅摊铺;并机梯次摊铺;常规检测;无损检测;摊铺效果

中图分类号: U41 文献标志码: A 文章编号: 1672-7029(2016)12-2483-07

## Contrastive analysis on paving effect of single machine and trapezoid paving

XU Zhongxin<sup>1</sup>, HU Yongbiao<sup>1</sup>, GUO Rongguo<sup>2</sup>, ZHANG Jianguang<sup>2</sup>

(1.Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, School of Mechanical Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;  
2.The Third Engineering Co. Ltd of China Railway Seventh Group, Xi'an 712000, China)

**Abstract:** Based on the discussion of the advantages and disadvantages of single machine and trapezoid paving, the roughness, the surface texture depth and the gradation stability of asphalt mixture with the two paving methods were assessed by using the conventional test. The degree of density and the degree of compactness with the two paving methods were assessed by using the non-destructive test. Then the paving effect of the two paving methods of asphalt pavement was appraised through the contrastive analysis these indexes. What's more, the pertinence between conventional test and non-destructive test was analyzed through field test. The result shows that the paving effect of the single machine paving is superior to the trapezoid paving by using paver DT1600, and it can insure construction quality of pavement. The conventional test agrees well with the non-destructive test. The paving uniformity test by combining the two testing methods is certain guidance value for pavement construction.

**Key words:** pavement engineering; single machine paving; trapezoid paving; conventional test; non-destructive testing; paving effect

沥青路面施工采用单机宽幅还是并机梯次摊铺在行业内一直存在争议。规范规定:高速公路和一级公路施工宜采用并机梯次摊铺,当混合料供应能

力满足不间断摊铺时,也可以采用单机宽幅摊铺<sup>[1]</sup>。官黎明等<sup>[2]</sup>分析 DT1600 型摊铺机的特点,并阐述其在施工中的应用;杨枫等<sup>[3]</sup>结合施工实践,对比分

收稿日期: 2016-03-10

基金项目: 内蒙古交通科技资助项目(NJ2-014-25); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014G3252006); 中铁七局集团有限公司科技项目(16A25)

通讯作者: 胡永彪(1964-),男,山东滕州人,教授,博士,从事工程机械作业质量控制理论和技术研究; E-mail: hybchd@126.com

析单机宽幅和并机梯次摊铺方式对路面运营状况的影响。胡胜等<sup>[4]</sup>通过工程实践指出单机宽幅摊铺方式可以成功运用于沥青路面施工;姚怀新<sup>[5]</sup>指出单机宽幅施工是一种适合我国道路建设快速发展的国情并具有广泛发展前景的施工工艺。单机宽幅摊铺路面平整度好,避免了中间搭接处的离析现象,并且可以节省施工成本和工期。制约单机宽幅路面施工无法大面积推广的主要因素是摊铺装备不能满足施工的需求,传统的单机宽幅摊铺设备仅仅是将摊铺机的熨平板和螺旋布料器进行简单的加长,并不能有效改善宽度增加导致的路面边缘易离析现象。随着中大新型大功率宽幅抗离析DT1600型摊铺机的研发和使用,单机宽幅摊铺过程中的离析现象可以得到有效解决,对平整度有较好的改善和提高,产生了较好的

摊铺效果<sup>[6]</sup>。本文在已有研究基础之上,通过现场试验,综合对比分析了单机宽幅与并机梯次摊铺效果,为后续的沥青路面施工提供一定的参考和指导。

## 1 单机宽幅与并机梯次摊铺优缺点分析

当混合料的级配偏离设计级配时,出现材料离析现象;路面不同部位产生温度差异时会导致其间的摩擦力和黏结力发生变化,碾压作业后路面会出现密实度差异,出现温度离析现象<sup>[7-8]</sup>。离析的出现容易使路面在运营的早期出现坑洞、车槽等病害,大大缩短沥青路面的使用寿命<sup>[9-10]</sup>。2种摊铺方式的优缺点见表1。

表1 2种摊铺方式的优缺点对比

Table 1 Advantages and disadvantages of these two paving methods

| 摊铺方式 | 对平整度的影响比较             | 优缺点对比      |      |      |        |      |       |
|------|-----------------------|------------|------|------|--------|------|-------|
|      |                       | 对路面离析的影响比较 |      |      |        |      |       |
|      |                       | 离析类型       | 卸料阶段 | 收斗阶段 | 螺旋布料阶段 | 路面边缘 | 路面接缝处 |
| 并机梯次 | 需要进行两次找平工作            | 温度离析       | ●    | ●    | ●      | ●    | ●     |
|      |                       | 材料离析       | ●    | ●    | ●      | ●    | ●     |
| 单机宽幅 | 只需要进行一次找平,无过渡搭接,平整度较高 | 温度离析       | ●    | ●    | ○      | ●    | —     |
|      |                       | 材料离析       | ●    | ●    | ○      | ○    | —     |

表中:●表示存在离析,○表示离析得到改善,—表示无离析

由表1可知:并机梯次摊铺的各个阶段都会出现不同程度的离析现象,且在摊铺搭接带处会出现纵向、竖向离析,而这一部位恰恰位于重载车道处,重车载的反复作用会使路面在使用初期出现坑洞、车辙病害,严重影响路面的质量<sup>[11-12]</sup>。这是并机梯次摊铺无法解决的问题。单机宽幅摊铺,螺旋布料阶段的离析和路面边缘处的材料离析现象得到改善,路面不存在接缝处离析现象,但温度离析依然存在。但单机宽幅摊铺时,由于路面边缘处为非行车道,温度离析产生的危害较小;并机梯次摊铺时,中间搭接处为重载车道,该处出现温度离析将会严重损害路面的运营质量。

## 2 单机摊铺与并机摊铺效果对比

为了进一步分析2种摊铺方式路面摊铺效果,对内蒙古某高速公路沥青路面下面层施工进行跟踪检测。

下面层为ATB25结构层,其生产级配如表2所示。施工过程中分别采用中大DT1600摊铺机和进口沥青摊铺机,主要技术参数见表3。整个摊铺过程分别采用单机宽幅和并机梯次2种摊铺方式,其中单机宽幅摊铺为中大DT1600型摊铺机,并机梯次摊铺的为2台进口摊铺机,路面并机梯次摊铺宽度为:6 m(靠中央分隔带)和5.5 m(靠路肩),搭接宽度为0.25 m,半幅路宽为11.25 m。

表2 ATB25生产级配

Table 2 Production gradation of ATB25

| 筛孔尺寸/mm | 通过下列筛孔(mm)的重量百分率/% |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |       |     |
|---------|--------------------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
|         | 31.5               | 26.5 | 19   | 16 | 13.2 | 9.5  | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6  | 0.3  | 0.15 | 0.075 |     |
| 设计要求    | 上限                 | 100  | 100  | 92 | 73   | 66   | 59   | 49   | 33   | 23   | 16   | 13   | 9     | 5   |
|         | 下限                 | 100  | 92   | 82 | 63   | 57   | 49   | 39   | 25   | 15   | 10   | 7    | 5     | 3   |
| 生产级配    | %                  | 100  | 98.2 | 86 | 70   | 60.2 | 53   | 44.9 | 29.7 | 20.2 | 13.4 | 9.0  | 6.9   | 4.5 |

表 3 摊铺机主要技术参数  
Table 3 Main technical parameters of paver

| 摊铺机型号  | 最大摊铺宽度/m | 最大摊铺厚度/cm | 最大摊铺速度/(m·min <sup>-1</sup> ) | 发动机功率/kW | 理论生产率/(t·h <sup>-1</sup> ) |
|--------|----------|-----------|-------------------------------|----------|----------------------------|
| DT1600 | 15       | 50        | 15                            | 269      | 1 200                      |
| 某进口摊铺机 | 13       | 30        | 20                            | 183      | 700                        |

与某进口摊铺机相比,DT1600 型摊铺机具有大功率、2 次搅拌改善离析、宽幅抗离析等优点。

1) 大功率。摊铺机在小功率作业时,混合料在内外摩擦力的作用使大粒料被送往螺旋布料器的两端,导致离析现象。某进口摊铺机发动机最大功率为 183 kW,而中大 DT1600 型摊铺机发动机最大功率可达到 269 kW,可确保料位高度满埋时缓慢均匀输送混合料,有效防止送料速度较大时混合料因抛洒导致的离析现象。

2) 2 次搅拌改善离析。某进口摊铺机螺旋分料器的主要功能是输料和布料,而 DT1600 型摊铺机增大了螺旋布料器输料能力,降低螺旋驱动转速,且螺旋布料器离地高度可调整,可以实现对混合料的 2 次搅拌作用,有效改善混合料摊铺前各环节出现的混合料离析现象。

3) 宽幅抗离析。某进口摊铺机采用高速轴向柱塞马达加减速机的传动方案,而 DT1600 型摊铺机直接采用低速径向柱塞大扭矩马达驱动,可有效减少混合料中的大颗粒随横向输送距离增大向两端聚集离析的现象;

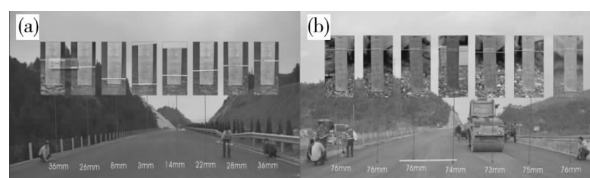
此外,DT1600 型摊铺机的螺旋布料器前导料板离地高度可调整,且在前导板下部增加了弹性橡胶板结构,可防止粗料滚落到路表面出现的离析。

2.1 2 种摊铺方式路面平整度检测分析

离地间距的变化大小可以直接反映路面平整

度的好坏,离地间距变化大,平整度差;反之,平整度较好。本文通过测量路面的离地间距对比 2 种摊铺方式平整度的好坏。

图 1 为 2 种摊铺方式下路面平整度测量现场。由图 1 可知,使用中大 DT1600 摊铺机单机宽幅摊铺路面横断面离地间距相差 3 mm,而某进口摊铺机并机梯次摊铺的路面横断面离地间距相差 33 mm,且单机宽幅摊铺路面离地间距的变化小于并机梯次摊铺。这表明单机宽幅摊铺的路面平整度优于并机梯次摊铺。



(a) 并机梯次; (b) 单机宽幅

图 1 2 种摊铺方式下路面平整度测量现场

Fig.1 Roughness measurement of these two paving methods

2.2 2 种摊铺方式路面施工质量检测分析

2.2.1 铺砂法测量路面的构造深度

在路面横断面上,从靠近中央分隔带边开始,每隔 1 m 选一处用铺砂法测其表面构造深度,路面半幅宽度为 11.25 m,共测 12 个点,其测量结果的平均值见表 4。

表 4 2 种摊铺方式路面的构造深度

Table 4 Pavement surface texture depth of these two paving methods

| 摊铺方式   | 构造深度/mm |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 平均值/mm |
|--------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
|        | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |        |
| 单机宽幅摊铺 | 1.1     | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.2 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 1.1    |
| 并机梯次摊铺 | 1.5     | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 2.0 | 1.8 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.5    |

表 5 离析评定指标

Table 5 Evaluation index of segregation

| 检测指标                      | 无离析  | 轻度离析     | 中度离析      | 重度离析      |
|---------------------------|------|----------|-----------|-----------|
| 级配的变化                     |      | 1 个筛孔>5% | 1 个筛孔>10% | 2 个筛孔>10% |
| 密度差/(g·cm <sup>-3</sup> ) | ≤40  | 40~60    | 60~80     | >80       |
| 构造深度/mm                   | ≤1.3 | 1.3~1.6  | 1.6~1.9   | >1.9      |

表 5 为国内常用的沥青路面离析评定指标<sup>[13]</sup>。结合表 5 和表 3 可知,采用中大 DT1600 摊铺机单机宽幅摊铺的路面构造深度平均值为 1.1 mm,所测的 12 个点中,发生轻度离析的点只有 1 个,未发生离析所占比例 91.7%。采用某国外进口摊铺机并机梯次摊铺的路面构造深度的平均值为 1.5 mm,未发生离析的点有 3 个,其余点处均出现不同程度的离析,且在路面搭接处出现重度离析。

### 2.2.2 抽提筛分试验检测混合料级配

沥青混合料级配变化会导致集料离析,离析的出现会使路面难压实、孔隙率高和力学结构发生改变,进而造成路面渗水、强度降低等隐患;当路面受到重荷载作用时,粒料会发生移位,导致路面出现龟裂、脱落、水损害和坑洞等早期病害<sup>[14]</sup>。在摊铺现场,对未经碾压的沥青混合料取样进行抽提筛分试验,取样位置沿行车方向,从路面中央分隔带起为路面左边缘、1/4 处、1/2 处、3/4 处和右边缘处,依次编号为 1~5。分别在 2 种摊铺方式的路面纵断面依次取 3 处横断面,单机宽幅编号为 A、B 和 C,并机梯次编号为 D、E 和 F,对 2 种摊铺方式下 3 个断面相同位置所取沥青混合料的筛分结果进行均值处理,并与生产配合比比较求得其偏差,见图 2~3 所示。

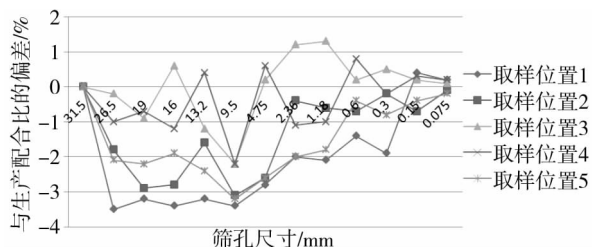


图 2 单机宽幅摊铺取样点筛分结果均值与生产配合比的偏差

Fig. 2 Deviation between the mean of sampling points screening results and production proportion of single machine paving

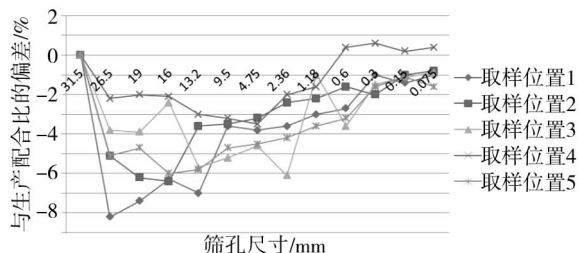


图 3 并机梯次摊铺取样点筛分结果均值与生产配合比的偏差

Fig. 3 Deviation between the mean of sampling points screening results and production proportion of trap-ezoid paving

从图中可以看出:2 种摊铺方式的路面边缘处的筛分级配与生产级配均出现一定程度的偏差,采用并机梯次摊铺方式的路面其搭接处的筛分级配与生产级配相差较大。并机梯次摊铺方式中(图 3 所示)取样位置 1、3 和 5 处的 4.75 mm 以上筛孔的筛分结果均值与生产配合比的偏差范围大多数都超过了规范要求的 $\pm 5\%$ ;2.36 mm 筛孔的筛分结果均值与生产配合比的偏差范围全部超过了规范要求的 $\pm 3\%$ ,而单机宽幅摊铺方式的各断面的偏差范围控制在 $\pm 4\%$ 以内。这表明采用并机梯次摊铺的路面两侧和搭接处的集料离析现象较明显,而采用单机宽幅摊铺方式的路面断面上各点的施工均匀性较好,可使路面横向、纵向离析得到有效控制,有效消除并机梯次摊铺出现的并机搭接离析现象,保证路面施工质量与运营性能。

### 2.2.3 2 种摊铺方式路面无损检测分析

#### 1) 松铺层均匀性无损检测

对 2 种摊铺方式用 PQI301 无核密度仪进行密度均匀性检测,PQI301 由信号发射、信号接收、数据分析和显示等部分组成,应用电磁学的原理,通过检测沥青面层材料的介电常数获得面层密度<sup>[15]</sup>,其原理如图 4 所示。在路面横断面及纵断面上各取 6 个点,为减小测量误差,在同一个测点进行 5 次试验,如图 5 所示,然后将测得的密度取平均值,见表 6~7,图 6 为 2 种摊铺方式下路面横向、纵向测点变异系数。

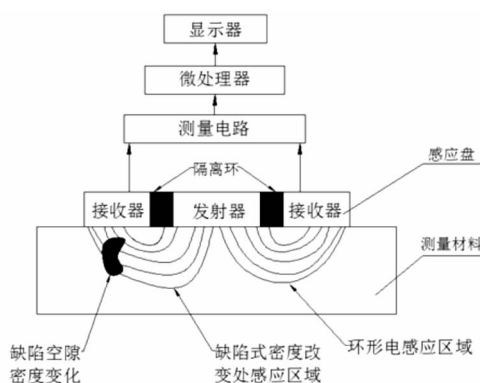


图 4 PQI301 原理图

Fig. 4 Schematic diagram of PQI301

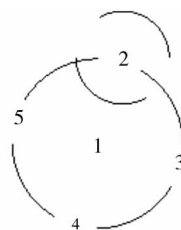


图 5 测点取样位置

Fig. 5 Location of sampling point

表 6 单机宽幅摊铺方式横向、纵向密度采集结果

Table 6 Transverse and longitudinal density acquisition results of single machine paving

| 编号              | 下列编号处沥青混合料密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) |       |       |       |       |       | 横断面测点<br>变异系数/% | 极差/%  |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
|                 | 1                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |                 |       |
| 1               | 2.042                              | 2.052 | 2.019 | 2.088 | 2.022 | 2.04  | 1.22            | 0.069 |
| 2               | 2.095                              | 1.984 | 2.003 | 2.032 | 1.968 | 2.09  | 2.66            | 0.111 |
| 3               | 2.019                              | 2.029 | 2.037 | 1.975 | 1.977 | 2.015 | 1.32            | 0.062 |
| 4               | 2.005                              | 1.954 | 2.011 | 1.962 | 1.96  | 2.095 | 2.68            | 0.141 |
| 5               | 1.982                              | 1.961 | 2.006 | 1.966 | 1.968 | 1.986 | 0.84            | 0.045 |
| 6               | 1.988                              | 2.055 | 2.011 | 1.966 | 1.949 | 1.99  | 1.86            | 0.106 |
| 纵断面测点<br>变异系数/% | 2.07                               | 2.26  | 0.61  | 2.56  | 1.28  | 2.35  |                 |       |
| 极差/%            | 0.113                              | 0.101 | 0.034 | 0.126 | 0.073 | 0.109 |                 |       |

表 7 并机宽幅摊铺方式横向、纵向密度采集结果

Table 7 Transverse and longitudinal density acquisition results of trapezoid paving

| 编号              | 下列编号处沥青混合料密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) |       |       |       |       |       | 横断面测点<br>变异系数/% | 极差/%  |
|-----------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
|                 | 1                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |                 |       |
| 1               | 1.94                               | 2.122 | 1.873 | 1.967 | 1.943 | 1.94  | 4.25            | 0.249 |
| 2               | 1.985                              | 2.018 | 1.914 | 1.889 | 1.957 | 2.015 | 2.71            | 0.129 |
| 3               | 1.91                               | 2.023 | 2.088 | 1.984 | 1.977 | 1.912 | 3.42            | 0.178 |
| 4               | 1.88                               | 2.072 | 1.889 | 2.087 | 1.933 | 1.932 | 4.63            | 0.207 |
| 5               | 1.902                              | 1.964 | 1.92  | 2.052 | 1.891 | 2.072 | 3.97            | 0.17  |
| 6               | 1.86                               | 2.15  | 1.886 | 1.962 | 1.929 | 1.957 | 5.24            | 0.32  |
| 纵断面测点<br>变异系数/% | 2.33                               | 3.40  | 4.16  | 3.54  | 1.50  | 3.07  |                 |       |
| 极差/%            | 0.125                              | 0.186 | 0.215 | 0.198 | 0.086 | 0.16  |                 |       |

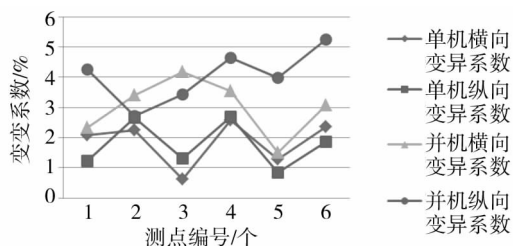


图 6 2 种摊铺方式横向、纵向测点变异系数

Fig. 6 Transverse and longitudinal variable coefficient of these two paving methods

从表 6~7 和图 6 中可以看出,单机横向变异系数最大值 2.66%,纵向变异系数 2.56%,并机横向变异系数最大值 5.24%,纵向变异系数最大值 4.16%,这表明单机宽幅摊铺路面的均匀性优于并机梯次摊铺,这与沥青混合料抽提筛分试验的结果相吻合。但是,由于抽提筛分试验过程繁琐,当所

需的数据量较大时,影响松铺路面的及时碾压,且试验过程需要现场取料,容易对松铺路面造成损害。而无核密度仪的优点是测试方法简单、速度快、精确度较高,且不会对路面造成损害,更适合现场施工过程中的摊铺均匀性检测。

2) 成型路面均匀性和压实度无损检测

在碾压成型的路面上选取宽度 11 m,长度 60 m,划分 660 个 1 m×1 m 的网格,利用无核密度仪检测路面的密度和压实度,2 种摊铺方式路面均匀性和压实度检测统计情况见表 8~9。

表 8 2 种摊铺方式成型路面均匀性检测统计

Table 8 Uniformity detection statistics of shaping pavement of these two paving methods

| 摊铺方式 | 下列离析程度下路面的施工均匀性统计/% |       |       |      |
|------|---------------------|-------|-------|------|
|      | 无离析                 | 轻度离析  | 中度离析  | 重度离析 |
| 单机宽幅 | 87.56               | 10.47 | 1.52  | 0.45 |
| 并机梯次 | 65.76               | 20.3  | 10.61 | 3.33 |

表9 2种摊铺方式成型路面压实度检测统计

Table 9 Compactness detection statistics of shaping pavement of these two paving methods

| 摊铺方式 | 压实度统计/% |      |
|------|---------|------|
|      | ≥96%    | <96% |
| 单机宽幅 | 98.4    | 1.6  |
| 并机梯次 | 97.6    | 2.4  |

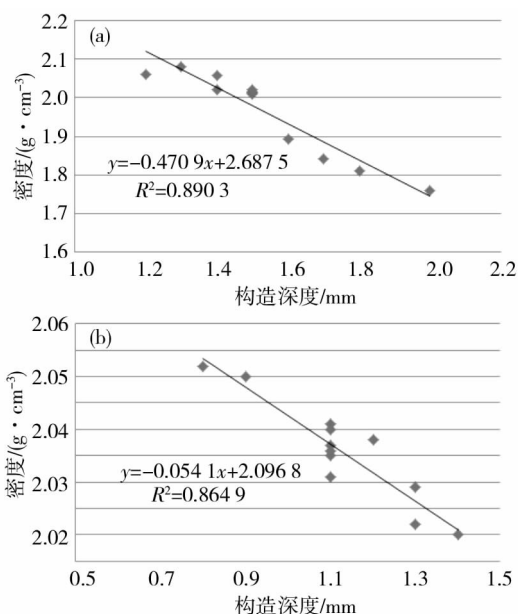
由表7可知,单机宽幅摊铺方式碾压成型路面未发生离析的比例占87.56%,高于并机梯次摊铺的65.76%,发生中度以上离析的比例不到2%,低于并机梯次摊铺,这说明采用单机宽幅摊铺的路面的均匀性优于并机梯次摊铺。由表8可知,2种摊铺方式成型路面的压实度合格率基本一致,说明采用单机宽幅摊铺方式的路面压实度可以达到规范的要求。

### 3 常规检测和无损检测方法一致性分析

在我国逐步推行沥青路面施工全面质量管理,实现按质支付的背景下,保证检测方法的一致性成为关键,故有必要对2种检测方式的一致性进行分析。

研究表明:标定后的无核密度仪测定的密度与芯样实际密度之间具有一致性<sup>[16]</sup>。从文中第2部分可知沥青混合料抽提筛分试验和无核密度仪测量的结果是一致的。下面通过试验探讨无核密度仪测定的密度与路面构造深度之间的一致性。在测路面构造深度前,先用无核密度仪测量标记点的密度,再在对应的位置测量路面的构造深度,图7是单机宽幅、并机梯次摊铺路面密度与构造深度的对比关系。

由图7可知,2种摊铺方式下,PQI测得的路面密度与构造深度具有很好的相对关系,相关系数 $R^2$ 分别为0.8649和0.8903。相关研究和现场试验结果表明:沥青路面无损检测和常规检测测得的结果具有一致性,在我国路面质量评价体系不够完善的情况下,将2种检测方法结合起来进行路面性能的检测很有价值。



(a) 并机梯次; (b) 单机宽幅

图7 2种摊铺方式路面密度与构造深度的对比关系

Fig.7 Correlation between pavement density and surface texture depth of these two paving methods

## 4 结论

1) 使用DT1600型摊铺机进行单机宽幅摊铺,对路面平整度有较好的改善和提高,能使路面横向、纵向离析得到有效控制,避免了并机梯次摊铺出现的搭接离析现象,同时其路面施工均匀性优于并机梯次摊铺,路面压实度可以得到有效保障,这为单机宽幅路面施工的推广提供了基础。

2) 在沥青路面施工过程中,采用无核密度仪这一无损检测手段,能够实时、快速、高效地对施工均匀性做出评价,可以对施工过程中出现的问题进行及时调整,有效地保证沥青路面的施工质量。

3) 试验结果表明,沥青路面常规检测和无损检测结果呈现较好的一致性,将2种检测方法结合起来进行路面施工均匀性的检测具有较好的可行性。有损检测对路面的破坏是不可逆的,实现路面由有损检测到无损检测的转变对路面施工和路面质量的保障具有一定的现实意义。

参考文献:

[1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

- JTG F40—2004, Technological specification for construction of highway asphalt pavement [S].
- [2] 官黎明,王照中,李岩. DT1600 型摊铺机的应用实践 [J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 8(11): 168-171.  
GUAN Liming, WANG Zhaozhong, LI Yan. Application practice of paver DT1600 [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 8(11): 168-171.
- [3] 杨枫,张洋. 单机宽幅作业法和并机梯形作业施工法对沥青混合料离析的影响 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2004, 2(12): 22-25.  
YANG Feng, ZHANG Yang. Influence of single machine and trapezoid paving methods on asphalt mixture segregation [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2004, 2(12): 22-25.
- [4] 胡胜,李军. 单机全幅摊铺在广乐高速 LM5 标的应用研究 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2015, 11(5): 54-58.  
HU Sheng, LI Jun. Research on full-width paving with single paver in section LM5 of Guangzhou-Lechang expressway [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2015, 11(5): 54-58.
- [5] 姚怀新. 高等级公路摊铺工艺与摊铺机技术发展方向讨论 [J]. 建设机械技术与管理, 2005, 8(2): 41-44.  
YAO Huaixin. High-level expressway paving technology and its technological development analysis [J]. Technology & Management for Construction Machinery, 2005, 8(2): 41-44.
- [6] 陈万明. 中大 DT1600 沥青摊铺机在沥青面层中的应用 [J]. 建筑设计, 2014, 43(7): 90-92.  
CHEN Wanming. Application of asphalt surface layer by DT1600 paver [J]. Architectural Design, 2014, 43(7): 90-92.
- [7] Tom Skinner. Segregation awareness: Should segregation appear during the construction of an asphalt pavement [J]. Technical Resources, 2000, 9(12): 135-140.
- [8] Meegodal J N. Detection of surface segregation using LASER [R]. TRB2003 001764, USA: TRB 2003 Annual Meeting CD ROM, 2003.
- [9] 陈海斌,马世旋. 沥青混凝土路面离析现象以及防范措施 [J]. 公路, 2012, 2(2): 102-105.  
CHEN Haibin, MA Shixuan. Segregation and preventive measures of asphalt mixture pavement [J]. Highway, 2012, 2(2): 102-105.
- [10] 陈长锡. 沥青混合料装料、卸料过程中的离析研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015.  
CHEN Changxi. Study on asphalt mixture segregation under loading and unloading process [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [11] 宗炜,唐守峰,陈兵,等. DT1800 宽幅摊铺机施工均匀性及初始压实度的影响因素 [J]. 公路, 2015, 4(4): 67-71.  
ZONG Wei, TANG Shoufeng, CHEN Bing, et al. Research on influencing factors of uniformity and initial compaction degree in wide broad asphalt mixture paving by DT1800 [J]. Highway, 2015, 4(4): 67-71.
- [12] Patrick G Lavin. Asphalt pavements practical guide to design, production and maintenance for engineers and architects [M]. London: Spon Press, 2003, 11: 230-232.
- [13] Stroup-Gardiner, Mary Brown E R. Segregation in hot mix asphalt pavements [R]. NCHRP Report 441, USA: TRB, 2000.
- [14] Roberts Freddy L, Kandhal Prithvi S, Brown E Ray. Hot mix asphalt materials, mixture design and construction [M]. Lanham: NAPA Research and Education Foundation, 1996: 486-487.
- [15] 胡涛. 沥青混合料压实特性分析 [D]. 西安: 长安大学, 2014.  
HU Tao. Study on asphalt mixture compaction characteristics [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [16] 陶传峰,于清,高艳龙. 无核密度仪在沥青路面施工中的应用 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(7): 36-38.  
TAO Chuanfeng, YU Qing, GAO Yanlong. Application of pavement quality indicator in asphalt pavement construction [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(7): 36-38.