

文章编号: 1002-0268 (2007) 02-0013-05

基于无损检测及常规检测的单机宽幅和并机梯次摊铺效果综合分析

姚 崑¹, 张肖宁², 陈育书³, 李 智², 李晓民¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 华南理工大学 道路工程研究所, 广东 广州 510641; 3. 广东省高速公路有限公司, 广东 广州 510100)

摘要: 在对摊铺离析的成因和类型及对路面使用性能的影响进行了深入探讨的基础上, 通过采用常规检测和无损检测两种检测手段, 对并机梯次和单机宽幅摊铺形式下沥青混合料级配稳定性、路面压实度和空隙率以及路面内部和表面施工均匀性进行了检测分析, 进而对两种施工法的摊铺效果进行了全面评价。评价结果为: 单机宽幅摊铺效果不够理想; 而并机梯次作为主要摊铺形式, 有效地保证了沥青路面的施工质量; 且无损检测与常规检测具有很好的相关性。在现阶段质量评价体系还不够完善的情况下, 两种检测方式结合起来检测施工均匀性切实可行。

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

中图分类号: U415.52⁺¹

文献标识码: A

Synthesis Analysis on Paving Effect of Single Machine and Trapezoid Paving Based on Non-destructive Test and Conventional Test

YAO Ke¹, ZHANG Xiao-ning², CHEN Yu-shu³, LI Zhi², LI Xiao-min¹

(1. School of Communications Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150090, China;

2. Road Engineering Institute, South China University of Technology, Guangdong Guangzhou 510641, China;

3. Guangdong Provincial Expressway Co. Ltd., Guangdong Guangzhou 510100, China)

Abstract: Now, there is neither systematic appraisalment index nor standard about the paving uniformity of pavement in the completion test and acceptance of pavement construction. Based on discussing the cause and type of paving segregation and the influence on the pavement functional performance brought by paving segregation, the gradation stability of asphalt mixture, degree of compaction and void-ratio of pavement and the paving uniformity of pavement interior and surface with single machine and trapezoid paving were analyzed and assessed by using the conventional test and non-destructive test, and the paving effect of the two paving methods was comprehensively appraised. The result shows that the paving effect of the single machine paving is not very well, and the mostly used paving method—the trapezoid paving can insure construction quality of pavement, and the conventional test and non-destructive test have good pertinence. Presently, the quality appraisalment system is far from perfect, the paving uniformity test by combining the two testing methods is feasible.

Key words: single machine paving; trapezoid paving; segregation; non-destructive test; conventional test; paving effect

沥青路面摊铺是影响路面施工均匀性的重要控制环节, 摊铺工艺的合理化、摊铺质量的控制和验收成为保证路面施工质量的关键。尽管我国现行的沥青路面施工技术规范中给出了一台摊铺机适宜的摊铺宽度, 但目前高等级公路建设中, 采用全宽度摊铺机一

幅摊铺的现象屡见不鲜。现行路面施工检测和验收没有对施工均匀性给出系统的评定指标和标准, 而往往采用检测频率有限的压实度、渗水系数等指标来判定承包人施工合格与否, 这就造成压实度均值水平与控制离析、减少水损害对策无关的典型案列, 也就造成

收稿日期: 2006-04-12

作者简介: 姚崑 (1977-), 男, 湖南益阳人, 博士研究生, 研究方向为沥青路面. (ykscut2001@163.com)

了单机宽幅摊铺在交工验收中能够达到质量合格甚至优良。

沥青路面作为一个产品,在逐步完善施工质量控制与质量保证(QC/QA)体系中应做到质量验收由合格判定向优良等级判定的转换,逐步实现按质支付。因此,选定合适的控制指标,保证检测手段和评价方法的公正性、一致性和可溯源性成为关键。显然,压实度是重要的控制指标,但要做到质量验收的合格判定转换为优良等级判定,单靠压实度的均值水平和极值控制是远远不够的,而不仅需要判定压实度是否合格,还应对施工路段的空隙率或者密度分布(即压实度的均匀性)进行大样本检测,以评定其质量优劣及改进效果,这就必然要求指标检测采用能获得大样本并且容易采用适宜的质量管理工具加以评价的无损检测手段。所以,本文对于单机宽幅和并机梯次摊铺的施工均匀性问题,从常规检测和无损检测两个方面入手进行深入分析。

1 沥青混合料摊铺离析分析

沥青混合料离析是指沥青混合料的物理特性和力学特性发生不均匀性变化,从而导致沥青混合料的性能出现变异。主要表现在混合料级配和沥青含量产生波动,压实度和空隙率出现偏差等。沥青混合料在施工过程中出现的离析现象一般被分成两种类型:材料离析和温度离析。材料离析通常表现为沥青混合料粗、细集料出现分离,沥青含量和空隙率发生波动;而温度离析则表现为混合料不同部位出现温度差异,致使施加相同压实功时,产生不同的压实度和不同的空隙率。

沥青混合料中集料粒径不同其运动惯量也不相同,运动惯量随集料粒径增加而增大。显然,粗集料比细集料具有更大的运动惯量,可以运动更远的距离。当沥青混合料受到外力(摊铺机螺旋布料器叶片)作用后,粗集料相比细集料必然具有更大的运动速率,将更容易摊铺至两侧,这就是沥青混合料在摊铺过程中造成材料离析的主要原因。同时,摊铺机螺旋布料器运送沥青混合料距离越长,越往两边混合料

温度就下降越多,从而导致温度不均,造成两边与中间压实度和空隙率的差异,产生摊铺过程中的温度离析。沥青混合料从自卸车卸入摊铺机料斗,经刮板输料器输送到螺旋布料器中,再由螺旋布料器由中央向左右两侧送料的整个摊铺过程中,粗细集料经历了多次聚集,随着摊铺宽度的增加,越靠近布料器终端,粗细集料离析越为严重,混合料的温度下降也越多,这就是沥青混合料在摊铺过程中随摊铺宽度增加而造成摊铺离析的机理所在。当然,随着摊铺宽度的增加,布料器中出现供料不均,叶片转速时快时慢,也是产生摊铺离析的重要因素。

2 两类施工法摊铺效果检测分析

为了深入分析两类施工法摊铺效果的差异,对某高速公路沥青路面下面层施工进行了跟踪检测。检测路段沥青路面面层结构为:4 cm 改性沥青 AK-13A(上面层)+6 cm 改性沥青 AC-20(中面层)+8 cm 重交沥青 AC-25(下面层)。施工过程中采用新的进口履带式沥青摊铺机,其主要技术规格如表1。整个摊铺过程中采用了单机宽幅和并机梯次两种摊铺方式,其中并机梯次摊铺的两台摊铺机均为该种摊铺机,摊铺宽度分别为:6 m(靠中央分隔带)和5.5 m(靠路肩),搭接宽度为0.25 m,单幅路宽为11.25 m。

表1 某进口履带式沥青摊铺机主要技术规格

Tab. 1 Main technic specification of an imported tracked asphalt concrete paver

摊铺宽度 /m	理论生产率 / (t·h ⁻¹)	发动机功率/kW	最大摊铺厚度/cm	最大摊铺速度 / (m·min ⁻¹)	备注
2.5~13.0	900	160	35	30	履带式

2.1 常规检测分析

在用常规检测手段评价施工均匀性上,分别对两种施工法摊铺的下面层路段各选3个断面进行取芯分析。各断面上分别取6个芯样,取芯位置依次为路缘带中点、超车道和主车道轮迹带位置及硬路肩中点,依次编号为1~6,各个断面的编号依次为A~F,其中,A~C断面是并机梯形摊铺,D~F断面是单机宽幅作业,各断面取芯位置如图1所示。

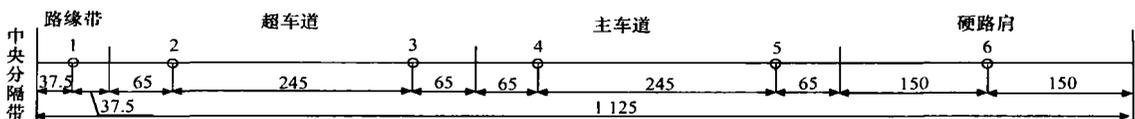


图1 取芯位置断面图

Fig 1 Cross section of coring location

采用的常规试验包括: 取对应于各断面取芯点位置摊铺后, 对未经碾压的沥青混合料进行燃烧炉法抽提筛分试验、36 个芯样表干法密度试验及相应批次生产的沥青混合料理论最大相对密度试验等。试验结果由表 2 及图 2、图 3 给出。在试验结果分析时, 对每种摊铺形式下 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, 并与生产配比比较求得偏差值, 其偏差结果反映在图 2、图 3 上, 所检测路段的生产配比由表 3 给出。

表 2 两种摊铺形式下各断面芯样空隙率值 (单位: %)

Tab. 2 Void-ratio of each core section under the two paving methods (unit: %)

断面	取芯位置					
	1	2	3	4	5	6
A	5.1(0.9)	4.7(0.5)	4.1(-0.1)	4.9(0.7)	4.3(0.1)	4.5(0.3)
B	5.4(1.2)	4.5(0.3)	3.9(-0.3)	4.9(0.7)	4.0(-0.2)	4.6(0.4)
C	5.5(1.3)	4.9(0.7)	4.5(0.3)	5.1(0.9)	4.2(0.0)	4.6(0.4)
D	5.9(1.7)	5.2(1.0)	4.1(-0.1)	3.6(-0.6)	4.2(0.0)	5.4(1.2)
E	6.4(2.2)	5.6(1.4)	4.4(0.2)	3.6(-0.6)	4.3(0.1)	5.3(1.1)
F	6.4(2.2)	6.0(1.8)	4.2(0.0)	3.9(-0.3)	4.5(0.3)	5.7(1.5)

注: 括号内为实测空隙率与生产配比设计空隙率偏差值。

表 3 所检测高速公路下面层生产配比

Tab. 3 Production ratio of subsurface pavement layer of the tested expressway

筛孔尺寸/mm	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规范范围/%	100	90~100	75~90	65~83	57~76	45~65	24~52	16~42	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7
生产配比/%	100	99.9	83.6	72.4	64.7	57.2	37.5	29.5	23.0	16.6	10.8	6.8	5.1

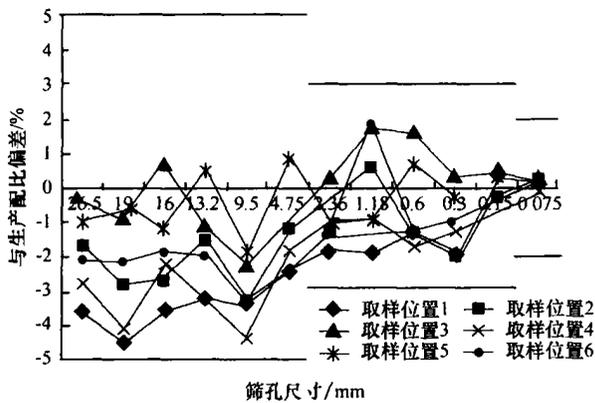


图 2 并机摊铺各点筛分结果均值与生产配比偏差

Fig. 2 Deviation between the mean of each screening result from trapezoid paving and the production ratio

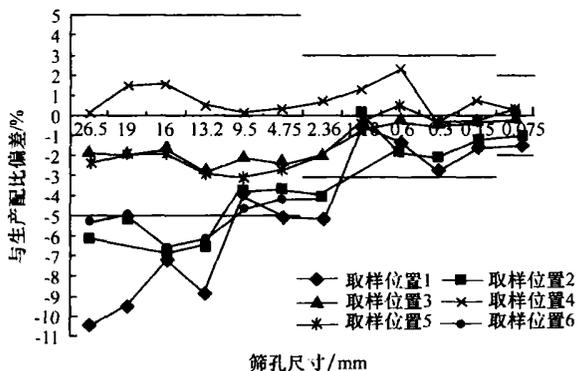


图 3 单机摊铺各点筛分结果均值与生产配比偏差

Fig. 3 Deviation between the mean of each screening result from single machine paving and the production ratio

由检测结果数据可以得出:

(1) 图 2、图 3 显示材料离析在单机宽幅摊铺中越靠近布料器两侧表现越为明显, 而在并机梯次摊铺中断面上各点的施工均匀性均控制得较好。在本高速

公路沥青面层施工质量控制上, 混合料沥青抽提后, 矿料筛分级配与生产配比设计标准级配允许差控制为: 4.75 mm 以上筛孔通过率允许偏差 $\pm 5\%$; 2.36 mm 以下筛孔通过率允许偏差 $\pm 3\%$; 0.075 mm 筛孔通过率允许偏差 $\pm 2\%$, 各允许偏差值为图 2、图 3 中的水平实线。由图 3 可以看到 1、2、6 点的 4.75 mm 以上筛孔通过率大多都超出了 $\pm 5\%$ 的控制允许偏差, 2.36 mm 筛孔通过率也超出了 $\pm 3\%$ 的允许偏差, 特别是 1 点 4.75 mm 以上几个筛孔通过率都超出了规范值的下限。从整个断面各点筛分趋势来看, 混合料离析由中央向两侧逐步加剧, 粗集料聚集也逐渐增加, 越向两端粗集料聚集越明显。图 2 表明并机摊铺所检测的断面各点处混合料级配都能控制在允许偏差范围之内, 路面摊铺质量能够得到有效保证。

(2) 由表 3 检测结果同样可以反映温度离析和级配离析在单机宽幅摊铺中较为明显。本高速公路所检测段下面层生产配比设计空隙率为 4.2%, 对空隙率的质量控制要求为: 与生产配比设计空隙率偏差小于 0.5% 为优、在 0.5%~1% 之间为合格、大于 1% 为不合格。表 3 数据表明对于单机宽幅摊铺所取 3 个断面, 基本上 1、2、6 点所检测的空隙率都不合格, 个别甚至超过了 2%。尽管压路机的最终压实效果对空隙率的检测结果有很大的影响, 从空隙率方面讲, 能反映摊铺离析较为理想的指标是通过初始压实度计算的初始空隙率, 但考虑到检测初始压实度不易实现, 本文给出了最终空隙率来粗略反映摊铺过程造成的级配离析和温度离析。单机摊铺中出现的摊铺机两侧空隙率控制超标, 除了压实功的影响外, 可以说是温度离析和材料离析的集中表现。相比单机宽幅摊铺而言, 并机梯次摊铺的断面空隙率控制得较好, 除个别

点超标以外,各点均在合格范围之内。

2.2 无损检测分析

要实行沥青路面施工全面质量管理,实现按质支付,施工均匀性是一个重要的控制和评价指标。显然,实施大样本检测将必不可少,这就要求检测方法由破损检测向无损检测转换,从而弥补常规检测频率不够的缺陷。为了实现大样本、高频率检测,从整体上全面把握两种摊铺形式下施工的离析程度,本文采用了两种无损检测设备:无核密度仪和激光纹理仪由内到外评价下面层的摊铺均匀性。

2.2.1 无核密度仪检测内部施工均匀性

无核密度仪是利用仪器自带的感应盘建立环形电波,量测沥青混合料的介电常数,由仪器内部电路将信号转换为密度读数并显示出来。用它主要是检测下面层沥青混合料的内部施工均匀性。在检测数据处理中通过对检测区域测得的密度换算成空隙率,然后进行统计分析,界定离析等级,再采用离析程度灰度图对内部施工离析程度进行直观反映。

对两种施工方式下所摊铺的下面层进行了无核密度仪内部均匀性检测,检测结果采用离析程度灰度图形式表示,如图4。图4中给出了一段的检测结果,颜色由深至浅依次表示为粗集料严重离析、粗集料轻微离析、无离析、细集料轻微离析和细集料严重离析,图4中1~11表示1幅路横断面上由中间带至硬路肩1~11 m位置。

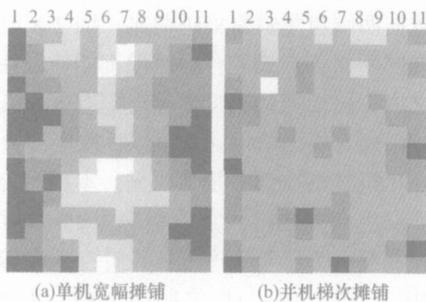


图4 无核密度仪检测内部离析程度灰度图

Fig 4 Gray-scale image of segregation degree in pavement interior by PQI testing

2.2.2 激光纹理仪检测表面施工均匀性

激光纹理仪是采用激光脉冲反射原理来测定路面构造深度大小,可高速连续测量沥青路面的表面纹理轮廓,快速得到连续纵向表面构造深度,并进行实时数据分析。本文运用激光纹理仪进行下面层表面离析状况评价。在数据分析上通过直接测量的构造深度与标准构造深度的比值来反映路面离析情况,同样运用离析程度灰度图对表面离析状况进行直观反映

对两种施工方式下所摊铺的下面层同样进行了激光纹理仪表面离析程度检测,其检测结果采用离析程度灰度图来直观反映,如图5。图5中给出了一段的检测结果,各颜色所代表的离析类型和1~11所代表位置同图4。

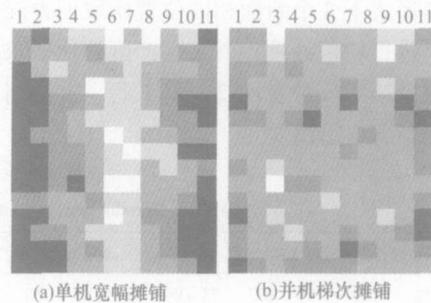


图5 激光纹理仪检测表面离析程度灰度图

Fig 5 Gray-scale image pavement of segregation degree on pavement surface by MTM testing

2.2.3 两种无损检测方式对施工效果的综合评价分析

(1)表4的无损检测离析程度统计数据对两种施工方法的摊铺效果从整体上给予了评定。由表4中数据可以看到,并机摊铺出现离析的区域所占比例较小,尤其是严重离析区域更少,仅占5%~8%;而单机摊铺无论是内部还是表面,离析区域所占比例较大,特别是严重离析区域几乎有1/4,无离析区域比例只占检测区域的1/3左右。

表4 两种摊铺形式下无损检测离析程度统计

Tab 4 Non-destructive test segregation degree statistics under the two paving methods

检测设备	摊铺形式	施工均匀性/%				
		粗严重 离析	粗轻微 离析	无离析	细轻微 离析	细严重 离析
无核密度仪	并机梯次	4.24	23.64	67.88	3.64	0.61
	单机宽幅	18.79	21.82	35.76	19.39	4.24
激光纹理仪	并机梯次	6.06	22.42	63.64	6.06	1.82
	单机宽幅	24.24	22.42	28.48	20.00	4.85

(2)由图4、图5可以看出无论是下面层的内部施工均匀性还是表面均匀性,单机宽幅摊铺均表现由中央向两侧粗集料离析逐步增加的现象,两侧出现不同程度的粗集料离析带,这与常规检测结果是一致的。经统计,道路两侧各2 m范围内粗集料严重离析区域占47.7%以上。尽管并机梯次摊铺的每台摊铺机也表现出这种趋势,但从离析图4、图5看出只个别点存在严重离析,仅占6.0%,整体摊铺效果令人满意。单机摊铺施工中央位置还出现了一定程度的带状细集料离析现象,并且此离析带恰好位于行车道左

轮迹带, 将直接导致车辙、泛油等早期损害。而超车道的左轮迹带也正好是位于粗集料离析带位置, 也势必将出现松散、坑槽等早期病害。

从无损检测评定分析来看, 单机宽幅摊铺很难达到施工的均匀性, 同时为以后路面埋下了早期病害的隐患。

3 两类施工法综合评价

3.1 两类施工法选择机理分析

在现有高速公路建设中, 之所以选择单机宽幅摊铺主要是考虑以下 2 个方面: 一是把单机宽幅摊铺作为提高路面平整度的重要措施; 二是降低施工成本。如果把牺牲路面施工质量作为提高平整度的代价, 显然是不足取的。并且单机宽幅摊铺能提高路面平整度的看法本身就是一种误解, 因为摊铺机的接长段只是一个悬挂部分, 不具备有中间部分相同的振捣装置, 从施工效果来看, 表面上似乎很平整, 但实际压实程度不一样, 反而影响横向平整度。至于为降低施工成本而选择单机宽幅摊铺, 那就更不可取了。

选择并机梯次摊铺大家所关心的是纵缝的处理, 认为并机摊铺所造成的纵缝一方面影响路面平整度, 另一方面会形成明显的纵向离析带。事实上, 并机梯队作业的纵缝采用热接缝, 并保证至少 10~20 cm 的搭接宽度, 同时在压实成型时, 将已铺部分留下 10~20 cm 宽暂不碾压, 将其作为后续部分的基准面, 然后作跨缝碾压以消除缝迹。这样, 两台摊铺机的接缝不准调整到无明显接茬, 保证路面的平整度, 且不会造成明显的纵向离析带, 相反单机宽幅施工的摊铺面倒经常见到纵向离析印痕, 这一点从前面无损检测离析图中得到证实。

3.2 对路面使用性能影响的综合评价

由以上检测结果可知, 并机梯次作业通过常规检测和无损检测两种手段进行评价, 无论是从断面各点混合料级配稳定性, 还是各点压实度和空隙率的控制均表现出比较理想的施工效果。相比之下, 单机宽幅摊铺引起了比较严重的材料离析和温度离析。离析的存在将导致路面使用性能下降, 主要表现在:

(1) 路面高温稳定性下降。路面横断面上粗细集料离析, 在摊铺宽度中央出现较为明显的细集料离析带, 细集料过多往往伴随沥青含量偏大和空隙率偏小, 从而导致路面出现车辙、泛油、拥包等病害, 路面高温稳定性变差。

(2) 路面抗水损害性能下降。路面两侧出现粗集料离析带, 空隙率偏大, 沥青含量偏小, 易造成渗水, 而在车轮荷载反复作用下所产生的动水压力将破坏沥青与集料的粘附性而导致沥青剥落, 使路面产生松散、坑槽、网裂等病害。

(3) 抗老化性能下降。单机宽幅作业路面两侧粗集料多, 沥青含量偏少, 空隙率超标。无论是材料离析还是温度离析所造成的路面空隙率增加都将减小混合料的粘聚力和强度, 导致疲劳寿命降低, 路面开裂。

4 结论

(1) 单机宽幅作业施工过程中造成沥青混合料出现级配离析和温度离析的现象比较明显, 摊铺效果不够理想, 施工离析的产生为以后路面运营埋下了诸多病害隐患; 而并机梯次作业作为沥青路面施工的主要摊铺形式, 有效地保证了沥青路面的施工质量。

(2) 在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, 施工均匀性作为评价指标, 必然要求有损检测向无损检测转变, 无损检测方式实现检测的大样本、高频率要求, 值得推广。

(3) 无损检测与常规检测具有很好的相关性, 在现阶段质量评价体系还不够完善的情况下, 两种检测方式结合起来检测施工均匀性切实可行。

参考文献:

- [1] 张肖宁. 沥青混凝土路面施工的全面质量管理 [J]. 公路, 2005 (2): 56-61.
- [2] JTG F40-2004. 公路沥青路面施工技术规范 [S].
- [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, 18 (6): 20-24.
- [4] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [5] 中国公路学会筑路机械学会. 沥青路面施工机械及机械化施工 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [6] Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements [R]. NCHRP Report 441, USA: TRB, 2000.
- [7] MEEGODAL J.N. Detection of Surface Segregation Using LASER [R]. TRB2003-001764, USA: TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 2003.
- [8] 付辛, 彭勇. 沥青混凝土路面离析评价方法新构想 [J]. 公路, 2005 (8): 333-336.
- [9] 郑晓光, 朱云升, 丛林. 应用构造深度评价沥青混合料离析 [J]. 公路, 2005 (12): 175-179.