

文章编号:1671-8879(2006)05-0094-05

# 土工布上行驶的履带摊铺机附着性能

刘洪海<sup>1,2</sup>, 张春燕<sup>3</sup>, 冯忠绪<sup>2</sup>

(1. 武汉理工大学 材料学院, 湖北 武汉 430070; 2. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 3. 上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

**摘要:**水泥路面上加铺沥青混合料时,土工布和粘层油的作用影响了摊铺机的附着性能,使机器滑转率增大,附着力减小,当摊铺作业阻力较大时,速度不稳定,严重影响了路面质量。应用理论分析与现场试验研究相结合的方法,对作业中摊铺机的附着力、摊铺阻力与附着性能等因素进行了分析;并对不同作业阻力时相匹配的滑转率进行研究。结果表明:为将摊铺宽度减小到设计值的 2/3 以内,可以采用梯形摊铺、使牵引阻力配置在额定滑转率较小的位置等措施以提高摊铺机的附着性能。

**关键词:**机械工程; 摊铺机; 土工布; 附着性能; 路面质量

中图分类号:U415.521 文献标识码:A

## Adhesion of asphalt paver driving on the geotextile

LIU Hong-hai<sup>1,2</sup>, ZHANG Chun-yan<sup>3</sup>, FENG Zhong-xu<sup>2</sup>

(1. School of Material Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The bonding oil and geotextile affect the adhesion and the slip ratio of paver greatly. It decreases adhesion force, increases slip ratio, and the instable speed affects the quality of pavement seriously when the work force is higher. Through the locale test and theory analysis, this paper analyzes the influencing factors such as adhesive power, resistance force and adhesion performance, etc., studies the slip ratio matching diversity resistance force. The results indicate that when the paver breadth decreases to the two-thirds of design value, matching resistance force and rated slip ratio to minimum value and using trapeze paver can increase the adhesion force of paver. 6 tabs, 4 figs, 7 refs.

**Key words:** mechanic engineering; paver; geotextile; adhesion; pavement quality

## 0 引言

在水泥路面加铺沥青混合料的施工中,采用铺

筑土工布的方式预防反射裂缝,这时摊铺机在铺有土工布的旧水泥混凝土路面上作业。由于作业介质的改变,摊铺机原有附着性能发生了改变,附着性能

的变化影响路面的摊铺质量<sup>[1-4]</sup>。本文基于履带车辆的牵引理论和实体工程,对在土工布上行驶的摊铺机的附着性能进行分析。

## 1 履带相对于土工布的滑转机理

履带式摊铺机通过履带与地面相互作用产生牵引力,根据履带结构形式的不同,一般有两种类型:一种是靠履带上的履刺插入地面剪切土壤而产生的牵引力驱动;另一种是靠履带与地面之间产生的摩擦力驱动,在土工布上行驶的履带摊铺机属于后一种情况。

水泥路面加铺沥青混合料,其工艺和施工示意图如图1所示。在原旧水泥路面上洒粘层油、铺土工布,之后在土工布上铺沥青混合料。



图1 施工示意图

土工布主要是以涤纶短纤维为主,通过涤纶长丝成网和固结的方法制成,其纤维排列成三维结构,除了具有良好的力学性能外,还具有高柔性、弹性和抗拉强度,因此对于预防和延缓路面反射裂缝十分有效。但是土工布是种柔性介质,在切向力的作用下极易发生变形,随着驱动轮的旋转,易产生类似于松软薄土层地面的滑转趋势。当驱动力提供的切线牵引力达到极值还不足以克服工作阻力时,则履带接地段的滑转程度越来越大,直至完全滑转。

由于旧路面在横向和纵向的沉降和变形,虽然经过综合处治但局部平整度的变异性仍很大,加之洒布粘层油时车辆速度不稳定,使洒布到路面的粘层油不均匀。洒布量较大时粘层油会沿着横坡流淌,造成凸起处油膜较薄、下凹处油膜较厚;洒布量较少时又起不到粘贴作用,使土工布、旧水泥路面和沥青加铺层不能形成良好的整体,影响缓解应力集中的效果。结果使土工布和旧水泥路面的粘聚力不均匀,在摊铺机履带作用下易起皱或粘起,加大了摊铺机的滑转,影响了摊铺路面的平整度和密实度。

## 2 摊铺机的滑转率

由文献[2]可知履带式车辆的滑转率为

$$\delta = 1 - \frac{v}{r\omega} = 1 - \frac{v}{v_t} = \frac{v_t - v}{v_t} = \frac{v_j}{v_t} \quad (1)$$

式中: $\delta$ 为履带车辆的滑转率; $v$ 为履带的实际速度;

$v_t$ 为履带的理论速度,由链轮的角速度 $\omega$ 和节圆半径 $r$ 确定; $v_j$ 为履带相对于地面的滑转速度。

由式(1)得

$$v = v_t(1 - \delta) \quad (2)$$

由式(2)可知,当履带摊铺机的理论速度 $v_t$ 一定时,滑转率对作业速度的稳定性具有决定性意义,而摊铺机的作业速度对施工质量又有很大影响。

由摊铺机结构原理可知,沥青混合料摊铺机的工作装置一般有两个振动装置:振动器和振捣梁,用于对混合料进行初步的预压实。研究表明,预压实度的大小与变化都直接影响到路面的平整度和压实度。摊铺机作业时靠振动器对铺层每点的击实来实现预压,击实的频率和大小均会影响预压实度。摊铺机作业速度由小变大时,对某点的击实次数下降,预压实度变小;速度由大变小时,预压实度变大,见图2预压实度变化曲线。表1给出了由于摊铺机速度变化产生的相应铺层预压实度的变化。

表1 预压实度试验数据

速度/( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1	2	3	4	5	6
预压实度/%	91.2	89.3	86.6	85.2	84.8	84.2

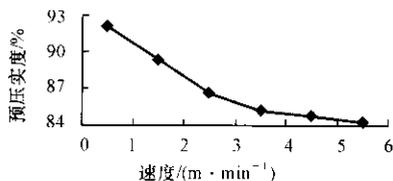


图2 预压实度变化曲线

由图2可以看出,预压实度对速度变化有很大的敏感性。速度低预压实度大;速度增大,预压实度迅速降低。摊铺作业时,若作业速度不稳定,时快时慢,预压实会产生很大波动,严重影响路面平整度和密实度。

因此,由式(2)和图2可知,在实际作业过程中应尽量减少摊铺机的滑转,控制车辆实际速度,以确保作业质量稳定。

## 3 摊铺机的滑转曲线和附着性能

### 3.1 摊铺机的滑转曲线

图3是履带车辆切线牵引力和滑转率的关系曲线,即滑转曲线。图中的滑转曲线表明:当履带滑转不大时,滑转率与切线牵引力大致成比例增加,即近似为线性,并且地面越坚硬越近似于线性关系,如图3中的曲线1所示,这种曲线地面附着性能较好;曲线2为地面附着性能不好时的情况,对切线牵引力

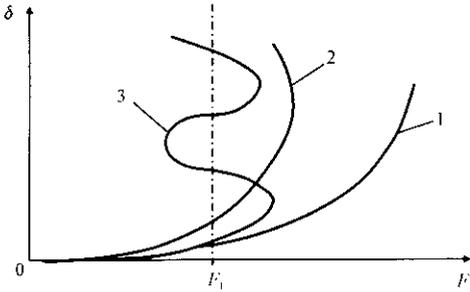


图3 滑转曲线

的微小增量,滑转率有一个很大的增量与之对应。当有相同的阻力  $F_1$ , 曲线 1 具有较小的滑转率, 而曲线 2 的滑转率较大。摊铺过程中, 若阻力发生变化(如熨平板螺旋分料室料位变化, 顶推料车等)或地面附着性能变化, 则牵引性能变化形式可由图 3 中曲线 3 描述。土工布上行驶作业的摊铺机, 当阻力配置很大时出现类似曲线 3 的滑转, 可从附着性能变化与地面牵引阻力变化两方面分析。

### 3.2 附着性能变化

由文献[2]可知整机的附着着力为

$$F_\varphi = \varphi G_\varphi \quad (3)$$

式中:  $\varphi$  为履带车辆的附着系数;  $G_\varphi$  为履带车辆的附着质量。

由式(3)可知, 整机的附着着力  $F_\varphi$  与履带车辆的附着重量  $G_\varphi$  和附着系数  $\varphi$  均有关系。加铺过程中的摊铺机附着质量和附着系数发生变化, 故附着性能发生改变。

#### 3.2.1 附着系数的变化

地面条件的改变, 使加铺工程中地面的附着系数发生变化。这种地面条件包括土工布和粘层油。

由于土工布是一种柔性介质, 在机器牵引力作用下产生形变, 减小了原地面的附着系数。

由于粘层油洒布不均匀, 致使土工布表面摩擦系数降低, 车辆通过时易打滑, 也减小了原地面的附着系数。

一般摊铺机作业的路面基层或路面较坚硬, 附着系数为 0.7<sup>[2]</sup>。由于上述原因, 土工布上行驶的摊铺机附着系数减小到约 0.5<sup>[2]</sup>。附着系数的改变, 即使在附着质量不变的条件下, 也使附着力减小大约 30%。

#### 3.2.2 附着质量的变化

履带式摊铺机的附着力除了受附着系数的影响外, 还受履带结构参数和履带对地面的垂直压力及其分布等因素的影响。实际中, 履带材料、结构参数和地面种类等因素皆为不变量, 唯有垂直压力随作业工况不同而变化。

履带的垂直压力对切线牵引力的影响见图 4。显然, 对不同压力条件下的两条滑转曲线, 当滑转率相同时, 垂直压力大者切线牵引力较大, 附着性能好, 如图 4 中 3、4 点对应的  $F_3 > F_4$ ; 而当地面提供相等的切线牵引力  $F_4$  时, 垂直压力大者滑转率小, 附着性能好, 如图 4 中  $F_4$  对应的滑转率  $\delta_5 < \delta_4$ 。

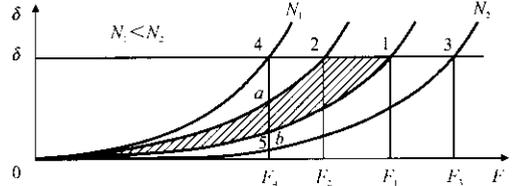


图4 不同垂直压力时切线牵引力与滑转率的关系

摊铺过程中, 由于摊铺机料斗内的料质量在不停变化, 使整机对地面的垂直压力也在变化。目前所用的摊铺机一般主机质量 18~20 t, 一斗混合料质量约为 30 t, 考虑摊铺过程的卸料, 料斗内混合料的质量平均占整机对地面压力的 45% 左右<sup>[5]</sup>。因此, 一车混和料从开始摊铺到铺完这一过程, 对地面的压力有很大的变化, 如图 4 中的阴影部分。若发动机提供稳定的动力, 在摊铺的过程中由于整机垂直压力变化, 相应于地面的滑转率也发生了很大的变化。如图 4 中的 a、b 两点, 地面提供稳定切线牵引力  $F_4$ , 相对地面的垂直压力由阴影部分的下限变化到上限时, 滑转率由 b 点增大到 a 点。因此, 地面垂直压力的循环变化, 使加铺工程中的摊铺作业出现类似图 3 中曲线 3 的滑转曲线。由式(2)可知, 此过程中摊铺机的实际行驶速度也发生变化, 速度的变化势必会影响到摊铺的初压密实度和平整度。

### 3.3 牵引阻力的变化

对摊铺机受力分析可知, 摊铺机的牵引力为

$$F_K = \sum F = F_f + F_a + F_t + F_y \quad (4)$$

式中:  $F_K$  为切线牵引力;  $F_f$  为履带式摊铺机行走机构的滚动阻力;  $F_a$  为摊铺机作业时的坡道阻力;  $F_t$  为摊铺机顶推料车的工作阻力;  $F_y$  为摊铺机拖拉熨平装置的工作阻力。

由式(4)可知, 摊铺机作业过程中的牵引阻力受坡道变化、顶推料车、螺旋料室内料位变化等因素的影响而不停地变化。

#### 3.3.1 熨平板工作阻力 $F_y$ 的变化

摊铺机拖拉熨平装置的工作阻力  $F_y$  为

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} \quad (5)$$

式中:  $F_{y1}$  为混合料对熨平板的摩擦阻力;  $F_{y2}$  为熨平装置推移混合料的移动阻力。

由式(5)可知,摊铺作业时,由于螺旋分料室内料位高度的变化、混合料组成的不均匀和温度的不均匀(粘度的变化)性、摊铺速度的波动等,使摊铺机拖挂熨平装置的工作阻力  $F_y$  发生变化。

### 3.3.2 顶推料车阻力 $F_t$ 的变化

作业时为保证混合料连续、稳定,由摊铺机推动料车边卸料边摊铺。但由于料车卸料时有时会撞击摊铺机,或料车交替时摊铺机不推料车,或摊铺路面出现大的横坡、料车打滑等,使摊铺机顶推料车的工作阻力发生变化。

### 3.3.3 坡道阻力 $F_a$ 的变化

进行直线和纵坡较小的摊铺过程中,坡道阻力  $F_a$  和滚动阻力  $F_f$  一般不变化。但若摊铺路段坡度变化,出现大的横坡或纵坡,由受力分析可知,坡道阻力会发生变化。

综合以上分析,摊铺过程中由于各种因素的影响使牵引阻力在不停地变化,牵引阻力的变化需要地面提供的切线牵引力相应改变。在加铺过程中若阻力在滑转曲线上配置不合理,则这种变化使摊铺机的滑转曲线变成如图3中的曲线3。

因此,若要改变这种不利因素的影响,由以上附着性能和牵引阻力的分析知,应确定合理的附着性能和摊铺阻力。

## 4 作业阻力在滑转曲线上的配置

要提高在土工布上行驶的摊铺机附着性能,综合各种因素考虑,只有减小摊铺机的牵引阻力。减小牵引阻力的目的是降低摊铺机的滑转率。由图3和图4的滑转曲线中滑转率与切线牵引力的关系可知,滑转率小时作业阻力变化对摊铺机的实际速度影响小,附着性能好。下面以不同摊铺宽度的摊铺机 TITAN 423 为例来分析牵引阻力的变化。摊铺机 TITAN 423 牵引车质量约 17 t,采用 VDT121 熨平板 2.50 m 时整机质量约 19.0 t;熨平板为 12 m 时约 25.6 t。若设摊铺机螺旋料室长度  $L$  为 50 cm,推移混合料的高度  $H$  为 35 cm,宽度  $B$  为 6 m 时,熨平装置的质量  $T$  约为 4.4 t,当摊铺厚度为 10 cm 时牵引阻力可依据文献[5]计算出(表2)。

表2 不同摊铺宽度时的各种阻力变化 kN

摊铺宽度/m	滚动阻力	坡度阻力	顶推阻力	熨平阻力	牵引阻力
6.5	21.36	24.97	56.12	41.47	143.92
12.0	23.83	27.85	56.12	81.85	189.65

由表2可知,摊铺机拖拉熨平板的阻力  $F_y$  对整机性能影响最大,该阻力包括两部分:混合料对熨平板的摩擦阻力和摊铺机拖拉熨平装置对混合料的推移工作阻力。

由受力分析知,混合料对熨平板的摩擦阻力为

$$F_{y1} = Tg\mu_1 \quad (6)$$

熨平装置推移混合料的移动阻力为

$$F_{y2} = BLH\gamma g\mu_2 \quad (7)$$

式中: $T$ 为熨平装置的质量; $\mu_1$ 为混合料和熨平板的摩擦系数,取0.6; $B$ 为熨平装置推移混合料的宽度; $L$ 为熨平装置的长度; $H$ 为推移混合料的高度; $\gamma$ 为料槽中混合料的密度,混合料取  $1520 \text{ kg/m}^3$ ; $\mu_2$ 为混合料的内摩擦系数,取1; $g$ 取  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

在保证正常作业的前提下,对拖拉阻力影响最大的是熨平板的宽度  $B$ , $B$ 大  $T$  值也大;相应  $F_{y1}$ 、 $F_{y2}$  大,故减小  $B$  可减小阻力  $F_y$ 。

由表2可知,在最大摊铺宽度下,摊铺宽度若减少1 m,则牵引阻力相应降低约5.8%,而土工布上行驶的摊铺机附着系数降低到原来的70%。因此,要发挥最佳的附着性能,在土工布上作业的摊铺机摊铺宽度在设计最大值的2/3以内,以减小摊铺阻力变化对摊铺速度的影响。

## 5 试验研究

为了验证摊铺机行驶在土工布上对附着性能的影响和确定合理的摊铺宽度,结合襄樊“207”国道改造工程进行了试验研究。摊铺机设置了两种宽度:一种为6.5 m;一种为12 m,其他条件基本相同。

### 5.1 试验条件

试验段长度2 km(每种宽度各1 km);摊铺厚度70 mm;路面纵坡变化 $< 3\%$ ;混合料组成AC20S;摊铺速度2 m/min。

仪器设备:摊铺机 DEMAC 145 履带摊铺机;压路机 CC522 双钢轮振动压路机,DD110 双钢轮振动压路机;核子密度仪 TROXLER 3430;LPY-F 连续式路面平整度仪;秒表 ST-9。

### 5.2 试验结果

试验结束后,对行驶在土工布上采用不同摊铺宽度的摊铺机的作业质量进行检测,结果见表3~表6。

### 5.3 结果分析

对表3、表4的分析可知,当摊铺宽度分别为6.5 m和12 m时,压实度平均值前者比后者高,标准差后者是前者的2倍还多,变异系数前者比后者

表3 压实度检测结果 %

摊铺宽度/m	序号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.5	98.2	98.1	97.4	99.3	99.4	98.4	98.1	97.9	98.1
12.0	95.5	98.2	97.6	96.2	99.9	100.5	97.8	99.0	96.1

注:沿摊铺方向取样,间隔为100 m。

表4 压实度检测结果统计特征值 %

摊铺宽度/m	平均值	标准差	变异系数	95%置信度变化范围
6.5	98.3	0.61	0.62	98.3±1.2
12.0	97.8	1.60	1.70	97.8±3.2

表5 平整度检测结果 %

摊铺宽度/m	序号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.5	0.66	0.57	0.60	0.61	0.68	0.56	0.91	0.71	0.62
12.0	0.68	0.82	1.00	0.91	0.70	0.82	1.21	0.66	0.52

注:沿摊铺方向取样,间隔为100 m。

表6 平整度检测结果统计特征值 %

摊铺宽度/m	平均值	标准差	变异系数	95%置信度变化范围
6.5	0.66	0.10	15.2	0.66±0.20
12.0	0.81	0.19	24.1	0.81±0.38

小。因此,从摊铺路面压实度的角度来看,摊铺宽度为6.5 m的摊铺效果要比宽度为12 m的好。

由表5、表6可知,摊铺宽度6.5 m时的平整度好于宽度12 m时的平整度,并且平整度变异系数前者远远小于后者。因此,从摊铺路面平整度的角度来看,也是摊铺宽度较小,摊铺效果越好。

## 6 结 语

(1)加铺工程中在土工布上行驶作业的摊铺机,由于土工布和粘层油的作用,使摊铺机的附着系数降低。摊铺机附着系数的减小和摊铺过程附着质量的变化,使原有的附着性能大大降低。摊铺机附着性能的改变严重影响了路面的平整度和压实度。

(2)为了减少摊铺机附着性能改变的影响,提高摊铺路面的平整度和压实度,可通过将摊铺机摊铺宽度减小到设计值的2/3以内,采用梯形摊铺甚至

3台摊铺的措施,使牵引阻力配置在额定滑转率较小的位置,从而提高摊铺机的附着性能。

(3)工程试验研究表明:摊铺宽度减小到设计值的2/3以内时,摊铺的路面平整度和压实度提高;变异系数减小。

## 参考文献:

### References:

- [1] 杨红旗. 工程机械履带——地面附着力矩理论基础[M]. 北京:机械工业出版社,1990.  
YANG Hong-qi. The rationale of track-ground adhering moment in engineering machines[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1990.
- [2] 李太杰. 工程机械底盘理论与性能[M]. 北京:人民交通出版社,1980.  
LI Tai-jie. The theory and performance of engineering machines equipment chassis[M]. Beijing: China Communications Press, 1980.
- [3] 陈蝶,胡永彪. 四履带驱动车辆附着牵引性能分析[J]. 西安公路交通大学学报,1999,19(3): 98-100.  
CHEN Die, HU Yong-biao. Tractive performance analysis on four track drive vehicle[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1999, 19(3): 98-100.
- [4] 姚怀新. 工程机械底盘理论[M]. 北京:人民交通出版社,2001.  
YAO Huai-xin. The theory of engineering machines equipment chassis[M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [5] 于槐三. 摊铺机牵引功率计算[J]. 建筑机械,2001,(12): 27-28.  
YU Huai-san. Traction power calculation for paver[J]. Construction Machinery, 2001, (12): 27-28.
- [6] 陈蝶,胡永彪. 沥青混凝土摊铺机液压行驶驱动系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(6):86-89.  
CHEN Die, HU Yong-biao. Hydraulic drive system of concrete-asphalt paver[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(6): 86-89.
- [7] 焦生杰,郝鹏,龙水根. 沥青混凝土摊铺机作业速度研究[J]. 中国公路学报,2003,16(7):124-126.  
JIAO Sheng-jie, HAO Peng, LONG Shui-gen. Study of the velocity of asphalt paver[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(7): 124-126.