

文章编号:1671-8879(2012)06-0028-05

# 沥青混合料面层平行四边形推进碾压数理分析

徐永杰<sup>1</sup>, 崔金福<sup>2</sup>, 宫秀滨<sup>1</sup>, 徐柴丹丹<sup>3</sup>

(1. 鲁东大学 土木工程学院, 山东 烟台 264025; 2. 烟台市公路管理局,  
山东 烟台 264001; 3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:** 为了有效提高沥青混合料面层的压实度和平整度, 在有效碾压作用时间的基础上, 通过建立数学模型, 从理论上分析了平行四边形推进法压路机前进距离  $L_1$  与倒退距离  $L_2$  确定的方法。研究表明: 采用平行四边形推进法, 可有效提高沥青混合料面层的均匀度; 前进距离  $L_1$  和后退距离  $L_2$  要根据压路机运行的速度、摊铺速度、始终点温度和外界环境温度等因素综合考虑; 适当选择  $L_1$  和  $L_2$  就可实现四的倍数的多遍压实, 便于自动控制; 并且在摊铺机连续摊铺的过程中, 压路机不得随意停顿。压路机不得在未碾压成型并冷却的路段上转向、调头或停车等。

**关键词:** 道路工程; 沥青混合料; 有效碾压作用时间; 平行四边形法

**中图分类号:** U415.521

**文献标志码:** A

## Mathematical analysis of parallelogram method for rolling of asphalt mixture surface

XU Yong-jie<sup>1</sup>, CUI Jin-fu<sup>2</sup>, GONG Xiu-bin<sup>1</sup>, XUCHAI Dan-dan<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China;  
2. Yantai Highway Administration Bureau, Yantai 264001, Shandong, China;  
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to improve the asphalt mixture surface compactness and flatness, on the base of the effective compaction time, a mathematical model based on the theory of parallelogram was used to determine the forward distance  $L_1$  and backward distance  $L_2$ . The results show that the parallelogram push method can effectively improve the surface layer uniformity of asphalt aggregate mixture. The forward and backward distance  $L_1$  and  $L_2$  are affected by roller speed, paving speed, temperature and other factors. Proper  $L_1$  and  $L_2$  can achieve four multiple times compaction and convenient automatic control, and in the process of paving, roller should not be paused. Roller should not turn, turn around or park on sections not rolled and cooled down. 2 tabs, 4 figs, 7 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt mixture; effective rolling compaction time; parallelogram method

## 0 引 言

沥青混合料面层主要指沥青碎石(AM)和沥青

混凝土(AC)面层。目前, 沥青混合料面层施工多采用热拌摊铺法, 其施工质量的好坏, 除了与混合料的级配、拌和、摊铺等因素有关外, 面层的压实也是确

收稿日期: 2011-12-16

基金项目: 山东省高校科技计划项目(J11LE03)

作者简介: 徐永杰(1964-), 男, 山东莱州人, 副教授, E-mail: xuge18@sina.com。

保施工质量的重要一环。影响沥青混合料面层压实质量的关键指标是压实度和平整度,沥青混合料面层碾压宜采用平行四边形推进法。该法通过合理选择前进距离  $L_1$  和倒退距离  $L_2$ ,使折回处不在同一横断面上,不但可有效消除因压路机换向引起的混合料推移,提高沥青混合料面层的均匀度,而且可实现四的倍数的多遍压实,确保碾压实密实度<sup>[1-5]</sup>。平行四边形推进法的关键参数是压路机前进距离  $L_1$  与倒退距离  $L_2$ ,目前最新规范《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)规定:压路机的碾压路线及碾压方向不应突然改变而导致混合料推移;碾压区的长度应大体稳定;两端的折返位置应随摊铺机前进而推进,横向不得在相同的断面上<sup>[1]</sup>。而许多施工单位现场碾压采用跟随摊铺机碾压的方法,压路机前进距离  $L_1$  和倒退距离  $L_2$  全凭经验,没有相应理论分析支撑,从而影响到碾压的质量。

本文在提出有效碾压作用时间的基础上,建立数学模型,从理论上分析了平行四边形推进法前进距离  $L_1$  与倒退距离  $L_2$  确定的方法,提出了外界环境温度对  $L_1$  的影响,以及平行四边形法碾压区段的形成和碾压遍数的关系,为施工单位提供了一定的理论依据;利用此法在烟台—威海高速公路做试验路段施工,现场监测的路面各项指标皆达到或超过《公

路沥青路面施工技术规范》规定的各项指标。

## 1 沥青混合料面层压实推进的方法

目前,沥青混合料面层压实推进的方法有 2 种:一是采用矩形推进法(图 1);二是采用平行四边形推进法(图 2)。

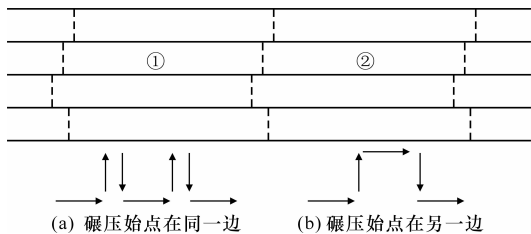


图 1 矩形推进法

Fig. 1 Rectangle push method

矩形推进法每一碾压区段的碾压面积(由于停机点的变换)近似矩形,在碾压区段①转移到碾压区段②时,开始碾压的始点可以在同一边(图 1(a)),亦可在另一边(图 1(b))。前者两次通过碾压宽度时,压够要求的遍数;后者一次通过碾压全宽,即可压够要求的遍数。

该方法主要适用于单台摊铺机分阶段摊铺碾压,即摊铺机摊铺完①段后,压路机按碾压程序碾压,碾压成型后再由摊铺机继续摊铺②段,依次类推,直到整个路段全部摊铺完毕为止。

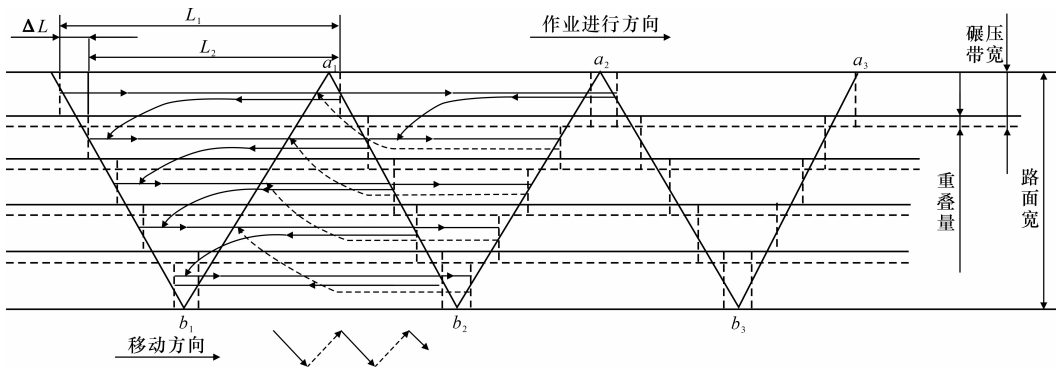


图 2 平行四边形推进法

Fig. 2 Parallelogram push method

平行四边形推进法每一碾压区段的碾压面积成平行四边形,在碾压区段的转换中,开始碾压的始点不在同一边(图 2 中  $a_i$ 、 $b_i$  为与边界的交点,  $i=1, 2, 3$ )。此法采用碾压遍数为双数的运行路线,每次由两端折回的位置阶梯形地随摊铺机向前推进,使折回处不在同一横断面上,可有效消除因压路机换向引起的混合料推移,提高沥青混合料面层的均匀度。随着摊铺机械性能和施工工艺的改进,目前沥青混合料面层普遍采用阶梯组队连续铺筑,因此,平行四

边形推进法更适用于跟随摊铺机碾压的连续施工。

## 2 平行四边形推进法有关参数的确定

### 2.1 前进距离 $L_1$ 的确定

压路机前进距离  $L_1$  是平行四边形推进法的关键参数,与沥青混合料面层压实始终点的温度、摊铺现场环境温度、压路机运行的速度和摊铺速度等因素有关。

为确保碾压始点的温度,压路机应紧跟摊铺机

向前推进。对沥青混合料面层压实,必须依据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004)中(表1)所列的温度值控制热拌沥青混合料的施工温度<sup>[1]</sup>。

2.1.1 有效碾压作用时间  $T_0$

设开始碾压的混合料内部温度为  $T_1(^{\circ}\text{C})$ ,碾压終了混合料的表面温度为  $T_2(^{\circ}\text{C})$ ,外界环境对沥青混合料温度影响下降的速率为  $\Delta T(^{\circ}\text{C}/\text{min})$ ,则有效碾压作用时间  $T_0(\text{min})$ 为

$$T_0=\frac{T_1-T_2}{\Delta T}$$

表 1 热拌沥青混合料的碾压温度

Tab. 1 Compaction temperatures of hot asphalt mixture

沥青种类		石油沥青				聚合物改性沥青
		50#	70#	90#	110#	
开始碾压的混合料内部温度(不低于)/ $^{\circ}\text{C}$	正常施工	135	130	125	120	150
	低温施工	150	145	135	130	
碾压終了的表面温度(不低于)/ $^{\circ}\text{C}$	钢轮压路机	80	70	65	60	90
	轮胎压路机	85	80	75	70	
	振动压路机	75	70	60	55	
开放交通的路表面温度(不高于)/ $^{\circ}\text{C}$		50	50	50	45	50

压路机、轮胎压路机与双钢轮振动压路机的组合。现场应配备足够数量的压路机,高速公路铺筑双车道沥青路面的压路机数量不宜少于5台。施工气温低、风大、碾压层薄时,压路机数量应适当增减。采用不同型号的压路机组合碾压时宜安排每一台压路机作全幅碾压,防止不同部位的压实度不均匀<sup>[1]</sup>。

基于现行施工技术规范的要求,设摊铺机全路幅阶梯组队连续摊铺,现场配备  $N$  台压路机,假定运行效率为1,根据混合料的类型、铺层厚度、压路机的类型,做试验路段现场测得达到密实度的最佳碾压遍数为  $n$ (一般对沥青混合料的碾压为8~10遍,初压1~2遍,复压4~6遍,终压不少于2遍),考虑相邻碾压轮迹重叠0.2~0.3 m的路面全宽碾压带分幅为  $P$ ,因此,一台压路机全路宽往返碾压一遍有效作用时间  $t_0$  为

$$t_0=\frac{2Nt}{n}=\frac{2N(T_1-T_2)}{n\Delta T}$$
$$t=\frac{60(L_1+L_2)}{100V_Y}P$$

式中: $t$ 为一台压路机全路宽往返碾压一遍所需时间(min); $N$ 为压路机数量(台); $n$ 为最佳碾压遍数; $L_1$ 为压路机前进的距离(m); $L_2$ 为压路机倒退的距离(m); $V_Y$ 为压路机运行速度(km/h)。

各类型压路机不同碾压程序的速度见表2<sup>[6-7]</sup>。

压路机全路宽往返碾压一遍所需时间  $t$  应小于等于压路机全路宽往返碾压一遍有效作用时间  $t_0$ ,即

在有效碾压作用时间内对沥青混合料施压,可以克服松散多相材料颗粒间的摩擦力、粘着力,排除固体颗粒间的空气和水分,使各个颗粒发生位移,相互靠近密实。超出有效碾压作用时间,因混合料温度过低,则难以达到规范要求的密实度和平整度。因此,确定前进距离  $L_1$ ,必须满足有效作用时间的要求。

2.1.2 前进距离  $L_1$  的理论推算

《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004)中规定:对热拌沥青混合料的碾压宜采用钢轮静力式

表 2 压路机的碾压速度

Tab. 2 Rolling speeds of roller km/h

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢轮式压路机	2~3	4	3~5	6	3~6	6
轮胎压路机	2~3	4	3~5	6	4~6	8
振动压路机	2~3 (静压或振动)	3 (静压或振动)	3.0~4.5 (振动)	5 (振动)	3~6 (静压)	6 (静压)

$$\frac{60(L_1+L_2)}{1\,000V_Y}P\leqslant\frac{2N(T_1-T_2)}{n\Delta T}$$

整理得

$$L_1+L_2=\frac{2\,000N(T_1-T_2)V_Y}{60n\Delta TP}\tag{1}$$

为确保碾压始点的温度,压路机应紧跟摊铺机向前推进,因此应满足

$$L_1-L_2=V_T\frac{t}{P}=\frac{2N(T_1-T_2)V_T}{n\Delta TP}\tag{2}$$

式中: $V_T$ 为摊铺机摊铺的速度,一般控制在2~6 m/min。

由式(1)和式(2)整理得

$$L_1=\frac{T_1-T_2}{n\Delta TP}N(\frac{1\,000V_Y}{60}+V_T)\tag{3}$$

式(3)表明,压路机前进的距离与混合料始终点的控制温度、现场压路机的台数、外界环境对沥青混合料温度影响下降的速率、最佳碾压遍数、路面分幅、压路机的速度、摊铺速度有关,其中  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $P$ 、 $n$

是定值,压路机和摊铺机的速度也力求保持恒定,因此影响  $L_1$  的主要因素是外界环境温度。

以一级公路为例,设计路基宽度为 24.5 m,双向 4 车道,行车道宽为 3.75 m,中间隔离带为 3 m,硬路肩为 2.5 m,土路肩为 0.75 m,现场采用摊铺机阶梯组队摊铺,摊铺总宽度为  $3.75 \times 2 + 2.5 = 10$  m,摊铺速度为 3 m/min,现场配置 5 台压路机,压路机平均速度为 3 km/h,沥青材料采用聚合物改性沥青,规范要求开始碾压的混合料内部温度  $T_1$  为  $150^\circ\text{C}$ ,碾压终了的表面温度  $T_2$  为  $90^\circ\text{C}$ ,最佳碾压遍数  $n$  为 10,碾压带分幅  $P$  为 5,将以上数据代入式(3),可以得到  $L_1$  随外界环境对沥青混合料温度影响下降的速率  $\Delta T$  的变化曲线(图 3)。若外界环境温度低,混合料温度下降速率快,此时,  $L_1$  要短些;若外界环境温度高,  $L_1$  可适当长一些。因此,沥青混合料摊铺施工要在温度较高的季节施工,  $L_1$  一般不超过 60~80 m。

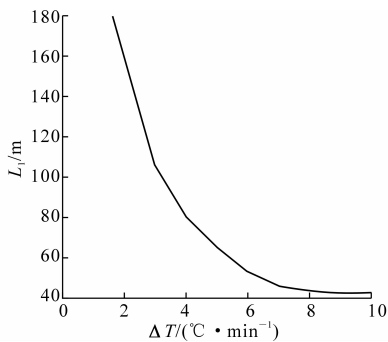


图 3  $L_1$ - $\Delta T$  的变化曲线

Fig. 3 Variation law of  $L_1$ - $\Delta T$

## 2.2 后退距离 $L_2$ 的确定

由式(1)和式(2)整理得

$$L_2 = \frac{T_1 - T_2}{n\Delta T P} N \left( \frac{1000V_Y}{60} - V_T \right) \quad (4)$$

为了实现平行四边形的碾压段,压路机后退的距离  $L_2$  和前进距离  $L_1$  之间的关系也可由下式求得<sup>[2]</sup>

$$L_2 = \left(1 - \frac{2}{Pn}\right)L_1 \quad (5)$$

## 3 平行四边形法碾压区段的形成和碾压遍数的关系

由式(5)可以推算出碾压遍数  $n$  与  $L_1$  和  $L_2$  的关系如式(6),只要适当选择  $L_1$  和  $L_2$  就可实现四的倍数的多遍压实。平行四边形法碾压区段的形成和碾压遍数的关系如图 4 所示。

$$n = \frac{2L_1}{P(L_1 - L_2)} \quad (6)$$

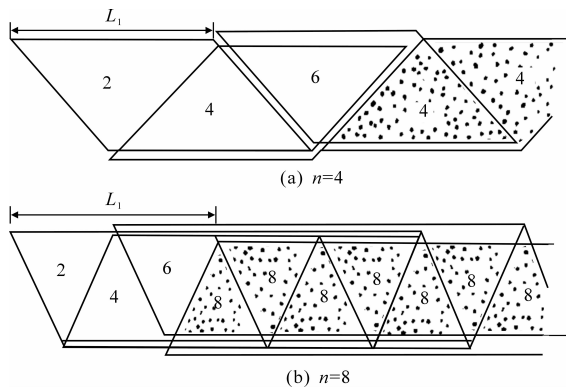


图 4 碾压区段的形成与碾压遍数的关系

Fig. 4 Relationship of rolled sections and compaction number

平行四边形推进法碾压有规律,碾压遍数和均匀度易于控制,可利用自动控制装置辅助操纵压路机进行施工。

## 4 结 语

(1)采用平行四边形推进法,折回处不在同一横断面上,可有效提高沥青混合料面层的均匀度。

(2)前进距离  $L_1$  要根据压路机运行的速度、摊铺速度、始终点温度和外界环境温度等因素综合考虑。

(3)后退距离  $L_2$  可根据压路机运行的速度、摊铺速度、始终点温度和外界环境温度等因素确定,也可根据形成平行四边形的碾压段而定。

(4)适当选择  $L_1$  和  $L_2$  就可实现四的倍数的多遍压实,便于自动控制。

(5)在摊铺机连续摊铺的过程中,压路机不得随意停机;压路机不得在未碾压成型并冷却的路段上转向、调头或停车等;振动压路机在已成型的路面上行驶时关闭振动。

## 参考文献:

### References:

- [1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S]. JTG F40—2004, Technical specification for construction of highway asphalt pavement[S]. (in Chinese)
- [2] Yrjanon W A. Concrete pavements USA Transportation research record [R]. Washington DC: State of the Art, 1988.
- [3] 马翔,倪富健,陈荣生,等. 沥青感温性能评价指标[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(1): 31-35.

- MA Xiang, NI Fu-jian, CHEN Rong-shen, et al. Evaluation index of temperature susceptibility for asphalt [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 31-35. (in Chinese)
- [4] 王 玮, 张洪刚, 钱国平. 现场碾压模式对沥青路面压实均匀性影响的试验分析[J]. 中外公路, 2008, 10(5): 71-76.
- WANG Wei, ZHANG Hong-gang, QIAN Guo-ping. Influence of field compaction pattern on asphalt pavement uniformity [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2008, 10(5): 71-76. (in Chinese)
- [5] 卢文潮, 吴祥生. 影响沥青路面压实的各种因素[J]. 公路, 1987(12): 20-24.
- LU Wen-chao, WU Xiang-sheng. Influence factors of asphalt pavement compaction [J]. Highway, 1987(12): 20-24. (in Chinese)
- [6] 李长来, 伍石生, 石 涛. 沥青路面压实机械的选型与组合[J]. 公路, 1998(12): 37-40.
- LI Chang-lai, WU Shi-sheng, SHI Tao. The selection and combination of asphalt pavement compaction machines [J]. Highway, 1998(12): 37-40. (in Chinese)
- [7] 杨雪茹, 毕胜强. 沥青混合料压实技术分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 26(8): 43-45.
- YANG Xue-ru, BI Sheng-qiang. Analysis on compaction technology of asphalt mixture [J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2011, 26(8): 43-45. (in Chinese)
- .....
- (上接第 22 页)
- [5] 汪海年, 窦明健. 青藏高原多年冻土区路基温度场数值模拟[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(4): 11-15.
- WANG Hai-nian, DOU Ming-jian. Numerical simulation of thermal field in permafrost embankments of Qindhai-Tibet highway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(4): 11-15. (in Chinese)
- [6] 姬杨蓓蓓, 马 龔. 多年冻土地区路面设计与施工技术研究报告之六: 多年冻土地区沥青路面结构设计方法研究[R]. 西安: 长安大学, 2002.
- JIYANG Bei-bei, Ma Biao. The research report of sixth part about pavement structure design and construction techniques in permafrost regions: study of asphalt pavement structure design in permafrost regions [R]. Xi'an: Chang'an University, 2002. (in Chinese)
- [7] 马 龔, 王秉纲. 冻土地区路面基层结构与材料[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- MA Biao, WANG Bing-gang. Pavements base structures and materials in frozen soil regions [M]. Beijing: China Communications Press, 2007. (in Chinese)
- [8] 侯曙光. 多年冻土路基融沉机理及路面结构对策研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- HOU Shu-guang. Study on mechanism of subgrade thawing and countermeasure against pavement structure distress in permafrost region [D]. Nanjing: Southeast University, 2005. (in Chinese)
- [9] 钟勇强, 黄晓明, 廖公云, 等. 融沉变形对柔性路面应力应变影响试验研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2011, 41(1): 181-185.
- ZHONG Yong-qiang, HUANG Xiao-ming, LIAO Gong-yun, et al. Influence of thawing settlement deformation on stress and strain in flexible pavement [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2011, 41(1): 181-185. (in Chinese)
- [10] Kondratyev V G. New methods of strengthening roadbed bases on very icy permafrost soils [C]// Harbin Institute of Technology International Symposium of Cold Regions Engineering. Harbin: Industry Technology Press, 1996: 1-6.
- [11] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- KONG Xiang-qian. The application of finite element method in heat transfer theory [M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese)
- [12] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- ZHOU You-wu, GUO Dong-xin, QIU Guo-qing. Permafrost in China [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [13] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- LIU Si-feng, XIE Nai-ming. Gray system theory and application [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)