

文章编号:1671-6833(2011)06-0032-05

低温条件下温拌沥青混合料施工温度范围

李波¹,任文宏²,周书友³,马建兵^{1,2}

(1. 兰州交通大学 甘肃省道路桥梁与地下工程重点实验室,甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃路桥建设集团有限公司,甘肃 兰州 730030; 3. 甘肃省交通厅工程处,甘肃 兰州 730030)

摘 要:在温拌沥青混合料延长路面施工时效机理分析的基础上,依托天定高速沥青路面工程,实测施工过程中路面内部和表面温度,并将沥青混合料降温速率软件 PAVECOOL 的计算温度与实测温度进行对比,验证其适用性。根据天水与定西 11 月和 12 月中的环境温度特点,利用 PAVECOOL 计算出热拌及温拌不同摊铺温度下能够施工的最低环境温度。结果表明:沥青路面降温计算软件 PAVECOOL 可以预测沥青混合料施工中不同时刻的温度;温拌沥青混合料的最低施工温度可以降至 0℃ 以下。

关键词:沥青路面;温拌;施工;最低温度;PAVECOOL

中图分类号:U416 **文献标志码:**A

0 引言

热拌沥青混合料(HMA)路面经过几十年的发展,应用技术日臻成熟。随着认识水平、环保要求的不断提高,热拌沥青混合料在拌制、运输以及摊铺过程中出现的热老化、有害气体排放以及过多能耗等问题,逐步为各国的科技工作者所关注。经过各国科研工作者的不断努力,开发出了一种新的沥青混合料类型——温拌沥青混合料(WMA)^[1-2]。这种混合料的拌和及碾压温度介于热拌沥青混合料和冷拌沥青混合料之间,与热拌沥青混合料相比较,温拌沥青混合料的拌和温度及摊铺温度可大大降低,同时其性能又可得到很好的保持^[3-4]。

在施工工期紧或施工条件限制不得已需要低温施工时,一些单位开始利用沥青混合料温拌技术进行低温作业^[5]。应用研究表明,在温度降低至一定程度时,热拌沥青混合料出料温度要比正常情况下高 20℃,温拌也可以采取同样的措施,但效果完全不同。热拌沥青混合料温度从 180℃ 降到 160℃ 仅需要 1 min,总的有效压实时间为 5 min,而温拌沥青混合料如果也提高 20℃ 出料,则总的有效压实延长为 13 min^[6]。

由于沥青混凝土受气温、风力、太阳辐射等因素的影响较大,沥青混合料降温规律极其复杂,现阶段仍缺少合理的温拌沥青混合料低温施工温度范围和施工工艺指南。因此,提出低温环境中温拌沥青混合料施工温度要求,对于合理的使用温拌沥青混合料技术,保证沥青混凝土路面压实度和使用性能的要求,解决低温环境沥青路面施工难,控制好沥青路面的施工质量等工程实际问题具有重要的实践意义。

1 温拌沥青混合料延长施工时效机理

延长施工时效体现为:工作温度下降后仍然能够获得满意的碾压效果,能够达到目标压实度的碾压时间(有效碾压时间)延长,在热拌不能接受的热量散失偏快的外界条件下,能为碾压机械赢得足够的操作时间^[7]。

1.1 有效压实温度范围

温拌沥青混合料的摊铺/压实工作性对温度的敏感性大大降低(甚至形成不敏感的温度范围),可以达到目标压实度的压实温度范围明显扩大。秦永春博士证实了 Evotherm 温度与压实度曲线的温度不敏感区段的存在,而对比的热拌沥青混合料,则没有观测到显著的不敏感区。由于温

收稿日期:2011-06-23;修订日期:2010-08-15

基金项目:甘肃省交通建设科技资助项目(GLJKY2010-01)

作者简介:李波(1981-),男,宁夏中卫人,兰州交通大学副教授,博士,研究方向为路面工程,E-mail: nxlibolibo@163.com.

度和密实度曲线的两端与沥青黏度关系不大,因此,温拌技术的效能主要取决于曲线中间位置的塌落程度,对温度不敏感区域越宽,温拌的效果就越好。

1.2 施工中的降温速率

碾压温度范围的向下移动以及对温度不敏感碾压区域的存在,保证了温拌沥青混合料在降低施工温度后仍然具有足够好的工作性。

相对于热拌沥青混合料,温拌沥青混合料与环境温度的差异缩小。按照热传导学原理,物体与环境温度差异越小,则其温度变化速率越小。研究表明,温拌沥青混合料可以有效地延长沥青混合料施工时间达5 min。这一点对于低温季节施工具有非常重要的意义,温拌与热拌的这点差异,正好踩在压实与否可操作性时间的门槛上。

2 温度场实测方案

2.1 总体方案

沥青混合料的降温速率受较多因素的影响,特别是在低温环境下不得不施工时,沥青混合料降温速率会加快,导致沥青混合料快速变硬,很难压实。因此,为了使建设者能够在低温环境中准确掌握沥青混合料的降温规律,调整沥青路面施工工艺以保证低温环境中沥青路面的施工质量,明尼苏达州立大学交通学院编制了一套输入沥青路面施工特征参数(沥青的PG分级、沥青混合料厚度、沥青混合料类型和摊铺温度以及下卧层类型、材料和温度)和外界环境条件因素参数(空气、风速、天气状况和纬度)用于预测沥青混合料降温速率的软件 PAVECOOL^[8]。

采用天定高速公路沥青路面上面层施工过程中沥青路面内部和表面的温度随时间变化值与 PAVECOOL 软件,计算得到的沥青路面施工过程中的温度值进行对比,验证 PAVECOOL 软件的适用性。

2.2 PAVECOOL 适用性验证

沥青混合料内部温度采用插入式温度计测量和路表温度和下卧层温度采用红外线射温枪分别测定。沥青混合料摊铺过程中温度场测试见图1。不同环境中上面层施工过程中沥青路面内部和表面的温度实测值与计算值见图2。

从图2可以看出,在碾压初期采用 PAVECOOL 软件计算得到各个时刻的温度值与路面表面温度变化较为一致,碾压时间为5 min时两者的误差率仅为0.1%;而在碾压后期 PAVECOOL

计算值与沥青路面内部温度变化趋势较为一致,碾压时间为33 min时两者的误差率仅为0.3%。此外,采用 PAVECOOL 软件计算得到的各个时刻的沥青混合料温度随时间变化的趋势与实际测得的沥青混合料的温度变化趋势非常相似。



图1 沥青路面摊铺过程中温度场测试

Fig.1 Temperature collection of asphalt mixture in pavement paving

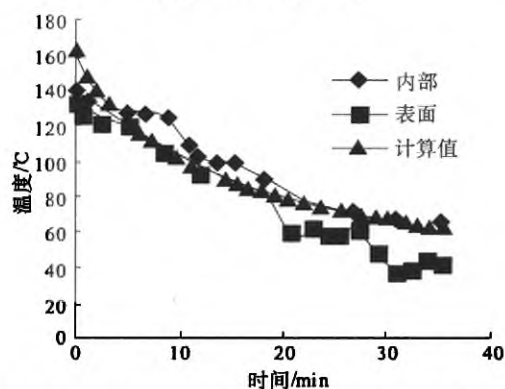


图2 沥青路面内部和表面温度实测值与计算值

Fig.2 Internal and surface temperature measured and calculated values

综上所述,在路面参数和环境参数选择合适的情况下,采用沥青路面降温计算软件 PAVECOOL 可以预测沥青混合料施工中不同时刻的温度,从而可以为确定有效压实时间、确定混合料出料和压实温度提供有利的依据。

3 低温环境中温拌沥青混合料施工温度

3.1 总体思路

以天定高速公路低温环境下沥青路面施工为例,采用 PAVECOOL 得到不同外部环境因素下各层沥青混合料的温度变化规律。该项目路面第三标段沥青面层由甘肃路桥建设集团有限公司承建,面层施工自2010年3月初开始至12月底结束。沥青混合料采用玛莲尼-4000型拌和站拌

和,摊铺采用德国产福格勒摊铺机,碾压机械组合见表 1。

表 1 正常施工的碾压组合
Tab.1 The combination of RCC in normal construction process

工艺阶段	名称	质量	数量
初压	双钢振动压路机	静质量 ≥ 11 T	2 台
复压	轮胎压路机	静质量 ≥ 26 T	2 台
终压	双钢振动压路机	静质量 ≥ 10 T	1 台

由于一般情况下沥青路面施工过程中机械台班的效率是固定的,以一次完整的碾压时间 33 ~ 36 min 为判断依据,依据温拌沥青混合料到达压实度 93% 对应的碾压终了温度(基质沥青 65 °C、改性沥青 75 °C),参考天水至定西 11 月和 12 月中的环境温度特点,利用 PAVECOOL 计算出热拌及温拌不同摊铺温度下能够施工的最低环境温度,为天定高速路面施工提供指导。

3.2 计算参数

(1)混合料类型及层厚. 天定高速公路路面混合料类型及层厚见表 2。

表 2 天定高速公路路面结构及材料
Tab.2 Pavement structure and materials for express from Tianshui to Dingxi

结构层	下面层	中面层	上面层
混合料类型	AC-25	AC-20	AC-16
层厚	6 cm	5 cm	4 cm

(2)胶结料种类. 天定高速公路下面层采用的沥青为克拉玛依 90# 沥青,中上面层采用的沥青为克拉玛依改性沥青. 参照美国 SHRP 方法,对天定高速公路所用沥青按沥青路用性能进行 PG 分级,即下面层 PG58-16,中、上面层 PG70-22。

(3)项目所在地地理纬度. 项目所在地地理纬度为 35°。

(4)风速. 调研定西与天水地区 11,12 月份天气状况,风速基本介于 0 ~ 14 km/h 之间. 因此,本研究计算中风速取最高值 14 km/h 和最低值 0 km/h 两个值进行计算。

(5)下卧层温度. 路面下卧层温度采用连续 7 d 平均最高气温、地理纬度确定高温设计温度. 按照 LTPP 路表最高设计温度与空气温度的换算关系式(1)^[9],可以得到不同温度条件下 20 mm 深处的最高路面设计温度。

$$t_{20\text{mm}} = (t_{\text{air}} - 0.00618L_{\text{at}}^2 + 0.2289L_{\text{at}} + 42.2) \times 0.9545 - 17.78 \quad (1)$$

式中: $t_{20\text{mm}}$ 为位于 20 mm 深处的最高路面设计温度; t_{air} 为连续 7 d 平均最高气温; L_{at} 为项目所处地

区的地理纬度。

低温设计温度则由年平均极端最低气温确定,换算可通过式(2)计算:

$$t_{\text{min}} = 0.859 t_{\text{air}} + 1.7 \quad (2)$$

式中: t_{min} 为路表最低设计温度; t_{air} 为当日气温。

(6)低温环境混合料摊铺温度. 考虑到低温环境下,沥青混合料降温速率较快的特点,本研究中将下面层设定热拌初压温度为 145 °C,温拌为 140 °C、130 °C、120 °C;中、上面层设定热拌为 170 °C,温拌为 165 °C、160 °C、155 °C、150 °C、145 °C、140 °C。

(7)有效碾压时间. 根据文献有效压实时间计算结果和施工经验^[10],一次完整的碾压过程所需的时间设定为 34 min。

3.3 最低施工环境温度

(1)下面层. 将以上参数带入到 PAVECOOL 软件中,得到各个气候环境中的下面层沥青混合料(90 号沥青,6 cm 厚)施工最低环境温度,见表 3。

表 3 下面层沥青混合料施工最低环境温度
Tab.3 The minimum ambient temperature of asphalt mixture construction at the bottom of asphalt pavement

终压 温度/°C	初压 温度/°C	风速/ (km · h ⁻¹)	最低施工 温度/°C
温拌 65 °C	140	14	0
	130	14	5
	120	14	10
	140	0	-15
	130	0	-5
	120	0	0
热拌 70 °C	145	14	-1
	145	0	-15

可以看出,在下卧层干燥、未结冰的情况下,并且风力较弱(微风)时,进行下面层沥青混合料施工的最低环境温度为 -1 °C。当然,此结论是建立在混合料摊铺温度为 145 °C 的前提下的. 此外,将混合料温度提高,在天气条件良好的时候,热拌沥青混合料的最低环境温度为 -15 °C。

(2)中面层. 中面层沥青混合料(KLMY SBS I-C, 5 cm 厚)施工最低环境温度,见表 4。

可以看出,微风时,空气温度低于 10 °C 时须考虑使用温拌沥青混合料. 当温拌沥青混合料摊铺温度提高至 165 °C 时,最低施工空气温度为 -14 °C。即在有风情况下,热拌施工温度区间为高于 10 °C;温拌施工温度区间为低于 10 °C 高于 -14 °C。

表 4 中面层沥青混合料最低环境温度
Tab.4 The minimum ambient temperature of asphalt mixture construction at the middle of asphalt pavement

终压 温度/℃	初压 温度/℃	风速/ (km·h ⁻¹)	最低施工 温度/℃
温拌 65 ℃	165	14	-14
	160	14	-10
	155	14	-10
	150	14	-5
	145	14	-3
	140	14	0
	165	0	-20
	160	0	-15
	155	0	-15
	150	0	-13
	145	0	-12
	140	0	-10
	170	14	10
	170	0	4

无风时,空气温度低于 4 ℃ 时须考虑使用温拌沥青混合料. 温拌沥青混合料按摊铺温度的不同,当摊铺温度为 165 ℃ 时,最低施工空气温度为 -20 ℃. 即在无风情况下,热拌施工温度区间为高于 4 ℃;温拌施工温度区间为低于 4 ℃ 大于 -20 ℃.

(3)上面层. 上面层沥青混合料(KLMY SBS I -C asphalt, 4 cm depth)施工最低环境温度,见表 5.

表 5 上面层沥青混合料最低环境温度
Tab.5 The minimum ambient temperature of asphalt mixture construction at surface of asphalt pavement

终压 温度/℃	初压 温度/℃	风速/ (km·h ⁻¹)	最低施工 温度/℃
温拌 65 ℃	165	14	1
	160	14	4
	155	14	5
	150	14	6
	145	14	6
	140	14	6
	165	0	-7
	160	0	-6
	155	0	-3
	150	0	-1
	145	0	1
	140	0	2
	170	14	15
	170	0	7

可以看出,微风时,空气温度低于 15 ℃ 时须

考虑使用温拌沥青混合料,温拌沥青混合料按摊铺温度的不同,当摊铺温度为 165 ℃ 时最低施工空气温度为 1 ℃. 即在有风情况下,热拌施工温度区间为高于 15 ℃;温拌施工温度区间为低于 15 ℃ 高于 1 ℃.

无风时,空气温度低于 10 ℃ 时使用温拌沥青混合料,温拌沥青混合料按摊铺温度的不同,当摊铺温度为 165 ℃ 时最低施工空气温度为 -7 ℃. 即在无风情况下,热拌施工温度区间为高于 7 ℃;温拌施工温度区间为低于 7 ℃ 高于 -7 ℃.

4 结论

(1)在路面参数和环境参数选择合适的情况下,采用沥青路面降温计算软件 PAVECOOL 可以预测沥青混合料施工中不同时刻的温度,从而可以为确定有效压实时间、确定混合料出料和压实温度提供了有利的依据.

(2)提高下面层热拌沥青混合料温度,保证下卧层(乳化沥青)的干燥和不结冰,风力较小时,可以进行热拌沥青混合料的施工,而不用选择温拌混合料.

(3)结合天水 and 定西两地天气状况,中面层在 11,12 月份在天气晴朗、干燥、无大风的条件下完全可以进行温拌沥青混合料施工.

(4)在大风条件下,无论是否采用沥青混合料温拌技术都不宜进行上面层沥青混合料的铺筑.

(5)低温条件下温拌沥青混合料施工环境和温度的确定方法是基于理论分析得到的,部分结果的准确性和合理性仍需检验;在今后的工程实践研究中应注重相关数据的收集分析,在此基础上对低温条件下温拌沥青混合料施工环境和温度进行修正.

参考文献:

[1] MOLENAAR K R, TRIPLETT J E, PORTER J C, et al. Assessing potential for Warm-Mix asphalt technology adoption [J]. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 2007,2040: 91 - 99.

[2] LI Bo, LIU Jian-xun, SU Xiu-li. Effects of coMPaction method and temperature on warm mix asphalt[J]. Advanced Materials Research, 2011, 255 - 260: 3185 - 3189.

[3] 李波,岳永和,窦晖,等. 温拌沥青混合料施工中温度场的时空特性 [J]. 武汉理工大学学报,2011,33

- (4): 61 - 64.
- [4] 李波,宿秀丽,窦辉,等. 温拌橡胶沥青混合料压实温度对其体积特征的影响研究[J]. 中外公路, 2011, 31(02): 222 - 225.
- [5] KRISTJANSDOTTIR O. Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving[D]. Washington: The University of Washington Department of civil Engineering, 2006.
- [6] 陶卓辉,黄文元. 沥青温拌技术改善碾压原理及其在低温季节应用[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2008, 25(9): 106 - 109.
- [7] 彭建康,董瑞琨,游宏. 热拌沥青混合料低温施工机理[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(4): 66 - 69.
- [8] Minnesota Department of Transportation. Asphalt Pavement Cooling Tool [EB/OL]. [1998 - 2 - 16]. <http://www.dot.state.mn.us/app/PAVECOOL>.
- [9] 秦健,孙立军. 沥青路面温度场的分布规律[J]. 公路交通科技, 2006, 23(8): 18 - 21.
- [10] 尹如军. 沥青混合料有效压实时间的模糊分析与预测[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(4): 17 - 21.

Temperature Range of Warm Mixture Asphalt Application at Cold Weather

LI Bo¹, REN Wen-hong², ZHOU Shu-you³, MA Jian-bing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Road & Bridge and Underground Engineering of Gansu Province, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Road and Bridge Construction Group Co. Ltd., Lanzhou 730030, China; 3. Department of Communications Engineering; Lanzhou 730030, China)

Abstract: Based on the mechanism analysis of warm mix asphalt to extend the pavement coMPaction time, the internal and surface temperature of pavement was ensured during the construction of asphalt pavement. And the asphalt pavement temperature values calculated by the software PAVECOOL were coMPared to verify the applicability of PAVECOOL software. Based on this, according to the ambient temperature in november and december of Tianshui and Dingxi, the lowest ambient temperature was obtained for mix hot mix and warm mix asphalt by the PAVECOOL. The results show that the cooling calculation software PAVECOOL can be used to predict asphalt mixture temperature at different time during the construction of asphalt pavement. The Warm mix asphalt can be coMPacted when the lowest ambient temperature is below 0 °C.

Key words: asphalt pavement; warm-mix asphalt; coMPaction; minimum application temperature; PAVECOOL