

文章编号:1671-8879(2007)05-0040-04

寒区沥青路面的合理设计温度

周 谦^{1,2}

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064;

2. 辽宁省公路管理局,辽宁 沈阳 110005)

摘 要:针对目前寒区沥青路面设计温度的不合理性以及美国公路战略研究计划(SHRP)规定的局限性,结合辽宁省各地区的路面实测温度及其历年的气象资料,综合考虑了影响路面温度的内部主要因素(导热系数、热传递方式)和外部主要因素(气温、太阳总辐射、风速),对寒区沥青路面设计温度进行数值仿真,用数理统计方法研究气温和路面温度的回归关系,给出了沥青路面的高温设计温度和低温设计温度的计算公式。经验证,沥青路面的高温设计温度和低温设计温度计算公式符合统计规律,准确合理。

关键词:道路工程;沥青路面;气温;太阳总辐射;SHRP 规定;设计温度;回归分析

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

Temperature design of asphalt pavement at cold area

ZHOU Qian^{1,2}

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Liaoning Province

Highway Administration, Shenyang 110005, Liaoning, China)

Abstract: There is an unreasonable problem in the temperature design of asphalt pavement at the cold area, and there is a limitation in SHRP for temperature design at cold area. Based on the meteorology data collected from Liaoning province, the internal influence factors on pavement temperature, which include temperature coefficient and heat transfer mode, is studied, and the outer influence factors which include temperature solar radiation and wind velocity, is also considered. Then, the temperature design for asphalt pavement at cold area is numerically simulated, the regression relationship between air temperature and asphalt pavement temperature is studied by mathematics statistics, and the temperature design calculation functions of asphalt pavement are presented. The application results indicate that the temperature calculation functions coincide with statistic data; they have good accuracy and feasibility. 3 tabs, 3 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; asphalt pavement; air temperature; solar radiation; SHRP regulation; temperature design; regression analysis

0 引 言

路面结构持续经受着各种环境因素的综合作

用,这种作用的结果集中体现为路面温度场的复杂分布^[1-2]。秦 健^[3]深入研究了环境因素对路面温度场的影响机理和路面温度场的分布规律后发现,

收稿日期:2006-11-10

作者简介:周 谦(1964-),男,辽宁沈阳人,辽宁省公路管理局教授级高级工程师,长安大学博士研究生,E-mail:zhouqianmail@souhu.com.

气温和太阳辐射强度是影响沥青路面温度场的主要因素,二者对沥青路面温度场的影响具有累积性和滞后性的特点;郑健龙^[2]认为 Superpave 体系仅根据所在地区的气象资料,以某一位置的温度作为整个沥青路面沥青选择的依据,而对于不同结构、不同层位的沥青结合料的选择则没有加以区别对待;董瑞琨^[5]对老化的沥青结合料低温感温性指标进行了研究;王 鹏^[6]分析了沥青高温性能指标的灰色关联度;中国地域辽阔,气候差异较大,路面的设计温度选择应具有地域个性化^[7-8]。为此,本文结合辽宁省的实测气象资料,通过回归分析建立路面温度的推算公式,用数理统计法分析气温与路面温度的回归关系,研究成果可供北方地区路面设计参考使用。

1 影响路面温度的因素

影响路面温度的因素有内因和外因。内因取決所用的路面材料、混合料级配类型和路面空隙率等。内因的影响主要为内部特性决定的材料的导热系数、热传递方式和热传递的快慢等,如:道路结构面层材料的导热系数大,路面温度的变化幅度则小,最高温度较小,最低温度较大;反之,路面温度变化幅度较大,最高温度大,最低温度小。外因有气温、太阳辐射、风速、降雨等。影响沥青路面温度的主要因素是气温和太阳总辐射。众多观测资料显示:路表温度几乎与气温同步周期性变化,其他条件相同时,气温越高,路面温度也越高;且路面温度的变化幅度远大于气温的变化幅度。太阳辐射越强,则路表温度越高,且受地理位置、海拔高度等的影响,尤其在夏季,沥青路面的温度远远高于大气温度;风速的变化直接影响路表热交换系数的大小,风速较大时,路表热交换过程进行得较快,因此路面温度就低;降雨会影响路面温度。辽宁省气象资料显示,夏季大雨会引起气温和路面温度的大幅下降。

以上因素对路面温度有着错综复杂的影响,在不同地区(即不同的气候状况)有着不同程度的影响,致使气温相同的不同地区,路面温度也很可能不同,这与路面使用的材料、所处的地理位置和当地的气候条件等因素有关。在回归沥青路面的设计温度时也要看哪些因素是较相关的因素,如在年内最大风速较小($<2 \text{ m/s}$)时,风对路面温度的影响很小,往往可忽略风的影响。又如有的地区寒冷季节少雨,则在确定路面低温设计温度时可不考虑降雨对路面温度的影响。

万方数据

2 沥青路面的低温设计温度

与高温设计温度相似,低温设计温度是具有一定保证率的路面结构层内的低温温度。SHRP 将极端最低气温作为低温设计温度,由于地理位置、气候条件的不同,这种方法在中国不适用。分析辽宁省气象资料发现,最低地表温度比最低气温低,一般低 3°C 左右,最多可低 $6^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 。本文以 30 a 平均极端最低地温为低温设计温度。这样做的原因是:在低温状态下,由于沥青混合料的导热系数小于地面土质的导热系数,地温比路表温度要高几度,路表温度又比路面层内温度要低几度,所以可以近似认为平均极端最低地温与平均极端最低路面层内温度相当。这样,相当于以平均极端最低路面层内温度作为低温设计温度,以 30 a 作为设计周期,概率为 50%。辽宁省各地区 30 a 低温气象资料及 1 月份最大风速见表 1。

表 1 辽宁省各地区低温气象资料及 1 月份最大风速

地区	指标			
	30 a 平均极端最低气温 $T_{\text{air}}/^\circ\text{C}$	低温设计温度 $T_d/^\circ\text{C}$	$\Delta T_1 = T_{\text{air}} - T_d /^\circ\text{C}$	1 月份最大风速 $F/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
沈阳	-25.3	-30.0	4.7	11.3
阜新	-23.0	-28.8	4.9	11.0
铁岭	-26.6	-30.1	3.5	9.9
朝阳	-24.5	-28.0	3.5	10.7
盘锦	-21.6	-26.0	4.4	12.6
本溪	-26.8	-28.2	1.4	8.2
抚顺	-30.1	-31.6	1.5	9.0
丹东	-19.7	-26.0	6.3	11.4
大连	-14.4	-17.6	3.2	14.0

研究发现,30 a 平均极端最低气温 T_{air} 和低温设计温度 T_d 之差 ΔT_1 与 1 月份最大风速具有良好的相关性。除大连属特异点外,一般地,1 月份最大风速较大时, ΔT_1 也较大,且 1 月份最大风速大于 10 m/s 对 ΔT_1 的影响明显增大,其散点图见图 1。

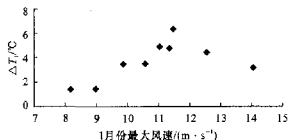


图 1 辽宁省 1 月份最大风速与 ΔT_1 的关系

从图 1 可以发现,在辽宁省各地区,高温状况与相应的最大风速没有相关性。因为路面极端高温时,风速往往很小,气温和地温差异甚大,地温主要受太

阳辐射影响。路面极端低温却往往是大风天气的结果,这时地面温度下降比气温下降快。所以,地面极端低温和极端最低气温之差和最大风速的相关性高(大连地区特异主要是受海洋性气候影响,气候因素变化比较复杂)。所以,在确定辽宁省低温设计温度时,必须考虑风速的影响。

对辽宁省不同纬度的 9 个地区 30 a 的气象资料进行统计分析,将各地区平均极端最低气温、地理纬度、1 月份最大风速与平均极端最低地温 T_{air} 进行三元一次线性回归,发现它们之间存在良好的线性关系

$$T_d = 0.553 T_{air} - 1.53 L_n - 0.084 F + 49.73 \quad (R = 0.962) \quad (1)$$

式中: L_n 为地理纬度($^{\circ}$); F 为 1 月份最大风速(m/s)。

同时用加拿大 C-SHRP 模式对低温设计温度进行验证, C-SHRP 模式为

$$T_d = 0.859 T_{air} + 1.7 \quad (2)$$

对表 2 的分析表明,用加拿大 C-SHRP 模式确定低温设计温度不安全。为形象比较各地区的极端最低气温和低温设计温度,绘制如图 2 所示的柱状图。

表 2 本文与 C-SHRP 模式计算的低温设计温度比较

地区	指标					
	30 a 平均 极端最低 气温 $T_{air}/^{\circ}C$	地理纬度 $L_n/(^{\circ})$	1 月份最大 风速 $F/(m \cdot s^{-1})$	30 a 平均 极端最低 地温 $T_{air}/^{\circ}C$	低温设计 温度 (式(1))/ $^{\circ}C$	C-SHRP 计算值 (式(2))/ $^{\circ}C$
沈阳	-25.3	41.79	11.3	-29.96	-29.1	-21.5
阜新	-23.0	42.01	11.0	-28.76	-28.2	-19.6
铁岭	-26.6	42.30	9.9	-30.07	-30.5	-22.7
朝阳	-24.5	41.57	10.6	-27.97	-28.3	-20.9
盘锦	-21.6	41.12	12.6	-26.02	-26.2	-18.4
本溪	-26.8	41.29	8.2	-28.16	-29.0	-22.9
抚顺	-30.1	41.88	9.0	-31.62	-31.7	-25.7
丹东	-19.7	40.13	11.4	-26.01	-23.5	-16.8
大连	-14.4	38.92	14.0	-17.57	-19.0	-12.2

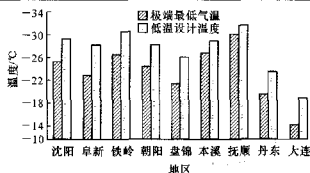


图 2 极端最低气温和低温设计温度的比较

由表 2、图 2 可看出:各地区的极端最低气温和极端最低路面温度相差很大($4^{\circ}C$),以极端最低气

温作为低温设计温度不安全。并且辽宁省的气候条件是极端最低路面温度比极端最低气温要低,因此美国的 SHRP 确定低温设计温度的方法不适用。另外,加拿大的 C-SHRP 公式也不适用于辽宁省。本文建议按式(1)推算沥青路面低温设计温度。

3 沥青路面的高温设计温度

高温设计温度是具有 一定保证率的路面结构层内的高温温度。SHRP 规定以路表下深度 20 mm 处的温度为路面温度,并建立了路面温度与路表温度以及路表温度与气温的关系。其主要考虑了纬度、空气温度、太阳总辐射、热传导和表面辐射能等因素。本文将路面高温设计温度定为平均极端最高地表温度,认为其接近一定保证率的路面层内高温温度。在缺乏路面温度资料的情况下这样做是比较合适的。原因是:地表与路表所受的大气条件和太阳总辐射、热交换方式是一样的,不同之处在于地面土质与沥青混合料导热参数有差异。但这两种材料的导热参数差别不大,其差别导致地表温度略低于路表温度。另外,一定深度的路面层内温度略低于路表温度。因此,可近似认为地表温度与一定深度的路面层内温度相当,即可将路面高温设计温度定为平均极端最高地表温度。

由气象资料可知,辽宁省高温季节的风速普遍不大,大部分为 $2 \sim 3 m/s$,沈阳以西以及大连风速较大,但也只有 $3 \sim 4 m/s$ 。另外,辽宁省的降雨 70% 分布在 $6 \sim 8$ 月份高温季节。降雨使沥青路面温度下降,但确定沥青路面的高温设计温度时,应该考虑的是高温的最不利状态。因此,确定沥青路面高温设计温度时,可以不考虑风和降雨的影响。影响的主要因素是气温与太阳辐射。

对辽宁省不同纬度的 9 个地区 30 a 的气象资料进行统计分析,将各地区连续 7 d 平均最高气温、地理纬度与平均极端最高地表温度进行线性回归,发现它们之间存在良好的线性关系。回归公式为

$$T_g = 47.519 + 2.805 T_H - 1.818 L_n \quad (R = 0.956) \quad (3)$$

式中: T_g 为高温设计温度($^{\circ}C$); T_H 为连续 7 d 平均最高气温($^{\circ}C$)。

式(3)与 SHRP 公式的对比见表 3。为直观起见,将各地平均极端最高地表温度、高温设计温度回归值、SHRP 公式计算值做成如图 3 所示的柱状图。

由表 3 和图 3 可以看出:①地表温度和回归公式计算结果的差值在很小的范围里,且相关系数

表3 式(3)与SHRP公式计算的高温设计温度比较

地区	指标			
	连续7 d 平均最高气温 $T_H/^\circ\text{C}$	地理纬度 $L_n/^\circ$	平均极端最高地表温度 $W/^\circ\text{C}$	SHRP公式计算值 $T_{20\text{mm}}/^\circ\text{C}$
沈阳	30.83	41.79	57.51	58.02
阜新	31.87	42.01	61.51	60.54
铁岭	30.75	42.30	56.70	56.87
朝阳	32.53	41.57	63.26	63.19
盘锦	29.70	41.12	56.64	56.07
本溪	30.41	41.29	56.69	57.75
抚顺	30.76	41.88	56.74	57.65
丹东	28.75	40.13	56.14	55.21
大连	28.92	38.92	57.39	57.89

注: $T_{20\text{mm}} = (T_H - 0.006\ 18\ L_n^2 + 0.228\ 9\ L_n + 42.2) \times 0.954\ 5 - 17.78$

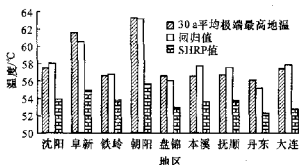


图3 30 a 平均极端最高地温、回归值和SHRP值的比较

$R=0.956$,说明高温设计温度与连续7 d 平均最高气温、地理纬度具有很好的相关性,可由式(1)推算高温设计温度;②SHRP公式不适用于确定辽宁省各地区的高温设计温度,SHRP公式计算值偏低,地表温度和SHRP公式计算结果的温度差范围为 $6.22^\circ\text{C} \sim 9.85^\circ\text{C}$,说明SHRP公式计算路面的高温设计温度将造成高温设计不安全。

4 结 语

(1)中国幅员辽阔,气温变化大,各地气候条件的不同会导致其路用性能有较大的差异,如不同的温度条件下路面会产生不同的损坏形式,低温易产生开裂,高温易产生车辙、拥包等,并且各地区的各种类型损坏的轻重程度不同。

(2)根据辽宁省各地区的实测路面温度及气象资料,通过回归分析建立路面温度的推算公式,用数理统计方法分析研究气温和路面温度的回归关系。通过数值比较计算,指出SHRP规定的局限性,给出了沥青路面的高温设计温度和低温设计温度计算公式,可供北方地区路面设计使用。

参考文献:

References:

[1] 孙长新. 沥青与矿料作用的热力学分析[J]. 中国公

路学报,2005,18(4):16-20.

SUN Chang-xin. Thermokinetic analysis of adsorption between asphalt and mineral aggregate[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(4): 16-20.

[2] Zhang T L, Hu R Z, Zhang M N, et al. Polymerization thermokinetics of pyrrole in the presence of iron trichloride[J]. Chinese Journal of Polymer Science: English Edition, 1991,9(1):18-23.

[3] 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.

QIN Jian, SUN Li-jun. Study on asphalt pavement temperature field distribution pattern[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006,23(8):18-21.

[4] 郑健龙,周志刚,应英华. 沥青路面温度应力数值分析[J]. 长沙交通学院学报,2001,17(1):29-32.

ZHENG Jian-long, ZHOU Zhi-gang, YING Rong-hua. Numerical analysis of thermal stresses in asphalt pavement[J]. Journal of Changsha Communications University, 2001,17(1):29-32.

[5] 董瑞琨,孙立军. 考虑老化的沥青结合料低温感温性指标[J]. 中国公路学报,2006,19(4):34-39.

DONG Rui-kun, SUN Li-jun. Low temperature susceptibility indexes of asphalt binder with different aging degree[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(4):34-39.

[6] 王 鹏,曾凡奇,黄晓明. 沥青高温性能指标的灰色关联度分析[J]. 交通运输工程学报,2006,5(3):32-36.

WANG Peng, ZENG Fan-qi, HUANG Xiao-ming. Grey relation degree analysis of high-temperature performance indexes of asphalt[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006,6(3):32-36.

[7] 刘荣辉,钱国平,郑健龙. 周期性气候条件下沥青路面温度场计算方法研究[J]. 长沙交通学院学报,2002,18(2):71-75.

LIU Rong-hui, QIAN Guo-ping, ZHENG Jian-long. Research on the method for calculating temperature field of asphalt pavement under the condition of recurrent natural environment[J]. Journal of Changsha Communications University, 2002,18(2): 71-75.

[8] 杨 军,潘友强,邓学钧. 桥面铺装浇注式沥青混凝土性能[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):49-53.

YANG Jun, PAN You-qiang, DENG Xue-jun. Gussasphalt performances on bridge deck[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1):49-53.