

影响沥青混凝土路面的气候因素及评价指标研究

苗英豪^{1,2}, 王秉纲²

(1. 北京工业大学交通研究中心 北京市 100022; 2. 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 为了评价气候对沥青混凝土路面的影响, 开展了影响沥青混凝土路面的气候因素及评价指标研究, 发现对沥青混凝土路面影响显著的气候过程和气候条件, 主要有太阳辐射、高温过程、高低温循环变化过程、降水与高温组合过程、降水与冻融循环组合过程以及极端低温条件。通过分析这些气候过程和气候条件的特点, 提出采用累年年平均太阳辐射日总量、累年年 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温、累年累计降水温度指数、累年降水冰冻组合指数、最大累年月平均气温日较差以及累年极端最低气温等指标作为影响沥青混凝土路面的相应气候过程和气候条件的评价指标, 为了了解和评价影响沥青混凝土路面的气候条件奠定了基础。

关键词: 道路工程; 沥青混凝土路面; 气候评价指标

沥青混凝土路面长期暴露于自然环境之中, 受气候条件影响显著。我国幅员辽阔, 气候类型复杂多样, 各地气候条件差异巨大, 要了解、评价影响沥青混凝土路面的气候条件, 就需要构建相应的气候评价指标。国内外研究人员在开展气候对公路影响的研究时, 引入了一些相关气候评价指标^[1~5], 然而大部分指标直接引用了基础气象指标或农业气候指标, 还不能很好地满足工程实践的需求。本文回顾气候对沥青混凝土路面影响的相关研究, 从中归纳对沥青混凝土路面影响显著的气候过程和气候条件, 进而依据每一气候过程和气候条件的特点, 构建相应的评价指标, 为了了解和评价影响沥青混凝土路面的气候条件提供基础。

1 气候对沥青混凝土路面的影响

1.1 太阳辐射

在一些施工和环境因素的影响下, 沥青结合料会出现一些性能的变化, 逐渐变硬变脆, 这种现象称为老化。虽然沥青的老化有时会对沥青混合料的性能有所改进, 但其负面影响还是主要的^[6,7]。老化常会导致沥青混合料的刚度增大, 使沥青混凝土路面变脆, 加速路面裂缝、水损害等病害的发生和

发展^[6~8]。

太阳辐射是沥青结合料老化的重要影响因素之一^[6,8~10]。太阳辐射对沥青碳基影响显著, 碳基指数随日照时间的增加有较为明显的增长趋势^[9]。沥青在太阳辐射作用下(以紫外线的影响最大), 会发生自由基反应, 导致分子聚合, 粘度增大^[6,8]。2005 年, 周勇^[10]利用 3 种不同的基质沥青和改性沥青, 在青藏高原五道梁地区进行了室外自然光老化试验, 老化期为 1 年, 同时利用自主开发的紫外线老化试验仪器, 对 5 种不同的基质沥青和改性沥青进行了室内光老化试验, 试验表明: 光老化后, 沥青结合料的温度敏感性、延展性均有明显的下降, 劲度模量则显著增大。

1.2 热量条件

沥青是一种对温度非常敏感的材料, 其各方面性能随温度有很大变化, 这是热量条件对沥青混凝土路面产生影响的本质原因。路面裂缝、车辙、老化、水损害等均与热量条件的影响密切相关。

沥青混凝土路面温度裂缝的产生主要有低温收缩和温度疲劳 2 种不同的机理, 分别对应于低温收缩裂缝和温度疲劳裂缝^[11]。低温收缩裂缝的产生与温度下降时的路面体积收缩密切相关。在没有约束

的情况下,路面会随着温度的下降而收缩。由于约束的存在,路面的收缩受到了抑制,路面内产生拉应力,当某一温度下的拉应力大于该温度下路面材料的抗拉强度时,裂缝就会产生。每日的温度循环在路面中产生的应力循环,是温度疲劳裂缝产生的直接原因。疲劳寿命与应力循环中的应力与材料抗拉强度比值的大小密切相关,温度应力越接近材料的抗拉强度,一次作用的损害积累就越大,路面的疲劳寿命就越短,也就越易产生疲劳裂缝。

反射裂缝的发生也与热量条件的循环变化关系密切,常发生于半刚性基层沥青混凝土路面以及复合式路面、旧水泥混凝土路面上的沥青混凝土罩面层。温度的下降引起有裂缝的半刚性基层或水泥混凝土板收缩,使裂缝张开,带动靠近裂缝上端口附近处的沥青混凝土面层伸长,导致拉应力集中。当拉应力超过沥青混凝土面层的极限抗拉强度后,反射裂缝就会发生。在每日的温度循环变化中,裂缝上端口附近的沥青混凝土面层将受到拉压应力的反复作用,沥青混凝土面层也会因疲劳产生裂缝。

在高温条件下,沥青混凝土路面的温度普遍高于空气温度,常能接近或超过沥青的软化点温度,使得沥青混凝土路面呈现为塑性体,抗变形能力下降,在车辆荷载的反复作用下容易产生永久变形,出现车辙、推移、拥包等病害^[9]。

高温条件还是沥青老化的主要影响因素,这一点从各国所采用的沥青及沥青混合料老化评价试验方法中可以得到验证,除光老化试验外,所有的试验均是在高温条件下进行的^[6,8,12~14]。一方面,在高温的作用下,沥青中的轻质油分不断挥发,使沥青变硬变脆;另一方面,高温条件加速了沥青的氧化反应,加快了沥青的老化。

沥青及沥青混合料在高温和低温下性能差异巨大,随着一年中极端高温和极端低温差距的增大,对沥青的要求也就越高,既要满足高温稳定性的要求,又要具有很好的低温抗裂性能,这给沥青材料的选择带来很大困难,有时只有改性沥青可以选择,甚至无法两全。这势必提高沥青混凝土路面的造价,甚至影响沥青混凝土路面的使用寿命。

另外,热量条件也是沥青混凝土路面水损害的重要因素,以高温过程和冻融循环过程的影响最为明显,这可从不同试验方法考虑的温度环境条件中得到印证^[15~17]。

1.3 水分条件

沥青混凝土路面主要依赖沥青与矿料之间的粘附性形成整体,因此,沥青与矿料之间的粘附性直接影响着沥青混凝土路面的各项性能,如沥青混合料强度、水稳定性等^[9,18]。水是影响沥青与矿料之间粘附性的主要外部因素^[9],同时水与沥青相互作用还会降低沥青的粘结力^[19]。

水损害是沥青混凝土路面受水分条件影响的主要表现形式,关于沥青混凝土路面水损害的研究,可以追溯到20世纪20年代^[17,20]。几十年的研究表明,沥青混凝土路面中水的存在是水损害发生的必要条件。沥青混凝土路面水损害的产生主要有两方面的原因^[19]:一方面,沥青混合料空隙中的水与沥青相互作用,使沥青的粘结力降低,导致沥青混合料的强度和刚度降低;另一方面,进入沥青薄膜与矿料之间的水,破坏了沥青与矿料的粘附作用,导致沥青从矿料上剥落。两方面的综合作用,再加上车辆荷载和冻融循环的影响,沥青混凝土路面就会产生破坏。沥青混凝土路面水损害是常见路面病害之一^[21],与之相关的早期剥落、坑槽、车辙等破坏,严重影响着路面的服务水平和使用寿命。

另外,水对沥青的老化也有促进的作用。在水分浸润下,沥青中的可溶物质会溶入水中,随水分流失,造成沥青变质^[22]。2005年,李海军等^[23]通过在压力老化试验(PAV)中通入部分水汽的方法研究了水分对沥青老化的影响,试验表明:水分的存在,的确加快了沥青老化的速度。

2 影响沥青混凝土路面的气候评价指标

从前面的论述可以发现,对沥青混凝土路面影响显著的气候过程和气候条件,主要包括太阳辐射、高温过程、高低温循环变化过程、降水与高温组合过程、降水与冻融循环组合过程以及极端低温条件。

2.1 太阳辐射

太阳辐射对沥青混凝土路面的影响,主要是到达并被路面吸收的部分产生的,因此最为直接的评价指标,就是路面吸收的太阳辐射。考虑到沥青混凝土路面的反射率基本相同,可以用总辐射(到达地面的太阳辐射)代替路面吸收的太阳辐射,作为影响沥青混凝土路面的太阳辐射评价指标。具体操作中可采用累年年平均太阳辐射日总量 $R_{s, mean}$ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)作为评价指标。

$$R_{s, mean} = \sum_{i=1}^n R_{s, mean, i} \quad (1)$$

式中: n 为累年年数; $R_{s, mean, i}$ 为第 i 年年平均日太阳总辐射量, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 。

2.2 高温过程

高温过程有两方面的内涵: 一个是高温, 即温度达到一定的高度; 另一个是过程, 即高温持续的时间。好的评价指标应当综合体现这两个方面, 积温是一个好的选择。操作中可采用累年年 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温 $AT_{20^\circ\text{C}} (^\circ\text{C})$ 作为评价指标。

$$AT_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AT_{20^\circ\text{C}, i} \quad (2)$$

式中: n 为累年年数; $AT_{20^\circ\text{C}, i}$ 为第 i 年 $\geq 20^\circ\text{C}$ 积温, 见式(3), $^\circ\text{C}$ 。

$$AT_{20^\circ\text{C}, i} = \sum_{j=1}^m |g[T_{i,j}]| \quad (3)$$

式中: m 为第 i 年的日数; $g[T_{i,j}]$ 为第 i 年第 j 日的计算温度, 见式(4), $^\circ\text{C}$ 。

$$g[T_{i,j}] = \begin{cases} T_{i,j} & T_{i,j} \geq 20^\circ\text{C} \\ 0 & T_{i,j} < 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $T_{i,j}$ 为第 i 年第 j 日的日平均气温, $^\circ\text{C}$ 。

2.3 降水与高温组合过程

降水与高温组合过程的评价, 需要同时考虑高温条件与降水条件, 还需考虑持续时间的长短。构建评价降水与高温组合过程的指标有两种方法, 即先过程后组合的方法和先组合后过程的方法。先过程后组合的方法是先分别构建降水过程和高温过程的评价指标, 然后将这些指标进行组合, 得到最终的评价指标; 先组合后过程的方法是先构建降水与高温组合点上的评价指标, 而后采用类似于构建高温过程评价指标的方法得到最终的评价指标。由于高温条件下降水对沥青混凝土路面的影响持续时间较短, 评价指标宜采用先组合后过程的方法构建, 操作中可采用累年累计降水温度指数 $PT_{0^\circ\text{C}}I (\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ 作为评价指标。 $PT_{0^\circ\text{C}}I$ 的计算区间为春天日平均气温低于 0°C 的最后一天至秋天日平均气温低于 0°C 的第一天。

$$PT_{0^\circ\text{C}}I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g[T_{i,j}] \times P_{i,j}) \quad (5)$$

式中: n 为累年年数; m 为第 i 年计算区间内的天数; $g[T_{i,j}]$ 为第 i 年计算区间内第 j 日的计算温度, 采用式(6)计算, $^\circ\text{C}$; $P_{i,j}$ 为第 i 年计算区间内第 j 日的降水量, mm 。

$$g[T_{i,j}] = \begin{cases} T_{i,j} & T_{i,j} \geq 0^\circ\text{C} \\ 0 & T_{i,j} < 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $T_{i,j}$ 为第 i 年第 j 日的日平均气温, $^\circ\text{C}$ 。

2.4 降水与冻融循环组合过程

降水与冻融循环组合过程的评价, 类似于降水与高温组合过程。由于低温条件下, 降水的影响持续时间比较长, 宜采用先过程后组合的方法构建评价指标, 操作中可采用累年降水冰冻组合指数 $PFI (\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ 作为评价指标。 PFI 的计算区间为前一年秋天日平均气温低于 0°C 的第一天至第二年春天日平均气温低于 0°C 的最后一天。

$$PFI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m |g[T_{i,j}]| \times \sum_{j=1}^m P_{i,j} \right) \quad (7)$$

式中: n 为累年计算区间数; m 为第 i 个计算区间内的天数; $g[T_{i,j}]$ 为第 i 个计算区间内第 j 日的计算温度, 采用式(8)计算, $^\circ\text{C}$; $P_{i,j}$ 为第 i 个计算区间内第 j 日的降水量, mm 。

$$g[T_{i,j}] = \begin{cases} T_{i,j} & T_{i,j} < 0^\circ\text{C} \\ 0 & T_{i,j} \geq 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $T_{i,j}$ 为第 i 个计算区间内第 j 日的日平均气温, $^\circ\text{C}$ 。

2.5 高低温循环变化过程及极端低温条件

受地球自转和公转的影响, 高低温循环过程包含两种循环, 一种是以日为周期的日循环, 另一种是以年为周期的年度循环。对循环波动的描述, 一般应包括循环波动的周期(频率)和波动的振幅。对于高低温循环过程来说, 日循环和年循环变化的周期是固定的, 因此只需从循环波动的振幅入手进行评价。对于温度日循环的振幅, 可以采用最大累年月平均气温日较差 $T_{range, d} (^\circ\text{C})$ 作为评价指标。

$$T_{range, d} = \max_j \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\max, m, i, j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\min, m, i, j} \right) \quad (9)$$

式中: $j = 1, 2, 3, \dots, 12$; n 为累年年数; $T_{\max, m, i, j}$ 为第 i 年第 j 月的月平均最高气温, $^\circ\text{C}$; $T_{\min, m, i, j}$ 为第 i 年第 j 月的月平均最低气温, $^\circ\text{C}$ 。

对于温度年循环的振幅, 由于各地年极端最高温度的差别比较小, 因此可以采用年极端最低温度作为这一方面的评价指标, 同时年极端最低温度还描述了极端低温条件。操作中可采用累年极端最低气温 $T_{\min, year} (^\circ\text{C})$ 作为评价指标。

$$T_{\min, \text{year}} = \min_{i, j} (T_{\min, d, i, j}) \quad (10)$$

式中: $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $j = 1, 2, 3, \dots, m$; n 为累年年数; m 为第 i 年的天数; $T_{\min, d, i, j}$ 为第 i 年 第 j 日的日最低气温, $^{\circ}\text{C}$ 。

3 结语

本文通过回顾气候对沥青混凝土路面影响的相关研究,系统地总结了太阳辐射、热量条件、水分条件等主要气候要素对沥青混凝土路面的影响,发现太阳辐射、高温过程、高低温循环变化过程、降水与高温组合过程、降水与冻融循环组合过程以及极端低温条件等,是影响沥青混凝土路面的主要气候过程和气候条件。针对各气候过程和气候条件的特点,提出采用累年年平均太阳辐射日总量、累年年 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温、累年累计降水温度指数、累年降水冰冻组合指数、最大累年月平均气温日较差以及累年极端最低气温等指标,作为影响沥青混凝土路面的相应气候过程和气候条件的评价指标,为开展气候对沥青混凝土路面影响的评价研究,了解影响沥青混凝土路面气候条件的分布奠定了基础。

参考文献:

- [1] 李斌. 全国道路气候分区修正方案说明[J]. 公路, 1959, 15(12).
- [2] 耿大定, 陈传康, 杨吾扬, 等. 论中国公路自然区划[J]. 地理学报, 1978, 33(1).
- [3] 沈金安. 道路沥青及沥青混合料的气候分区及关键性技术指标[J]. 中国公路学报, 1997, 10(1).
- [4] 孙长新, 赵毅强, 叶燕呼, 等. 广东省公路沥青路面气候影响分区[J]. 西安公路交通大学学报, 2000, 20(1).
- [5] 李煦, 梁乃兴. 四川、重庆地区公路三级自然区划的探讨[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(3).
- [6] Chris A Bell. Summary report on aging of asphalt-aggregate systems [R]. SHRP-A-305, National Research Council, Washington D. C., 1989.
- [7] Raymond E Robertson. Chemical properties of asphalts and their relationship to pavement performance [R]. SHRP - A/UWP - 91 - 510, National Research Council, Washington D. C., 1991.
- [8] G D Airey. State of the art report on aging test methods for bituminous pavement materials [J]. The International Journal of Pavement Engineering, 2003, 4(3).
- [9] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [10] 周勇. 高寒地区道路沥青低温性能评价指标及光老化特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- [11] Ted S Vinson, Vincent C Janoo, Ralph C G Haas. Summary Report on Low Temperature and Thermal Fatigue Cracking [R]. SHRP-A-306, National Research Council, Washington, D. C., 1989.
- [12] C A Bell, Y AbWahab, M E Cristi, et al. Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures [R]. SHRP-A-383, National Research Council, Washington, D. C., 1989.
- [13] Huang Shin-che, Mang Tia, Byron E Ruth. Laboratory aging methods for simulation of field aging of asphalts [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1996, 8(3).
- [14] JTJ 052-2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [15] Todd V Scholz, Ronald L Terrel, Abdulla AI-Joaib, et al. Water Sensitivity: Binder Validation [R]. SHRP-A-402. National Research Council, Washington, D. C., 1994.
- [16] Ronald L Terrel, Saleh AI-Swailmi. Water Sensitivity of Asphalt-Aggregate Mixes: Test Selection [R]. SHRP-A-403, National Research Council, Washington, D. C., 1994.
- [17] Mansour Solaimanian, John Harvey, Maghsoud Tahnoressi, et al. Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements [C]. Moisture Sensitive of Asphalt Pavements: A National Seminar, San Diego, California, 2003.
- [18] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 上海: 同济大学出版社, 2003.
- [19] David R Johnson, Reed B Freeman. Rehabilitation Techniques for Stripped Asphalt Pavements [R]. FHWA/MT-002-003/8123, Montana Department of Transportation, Helena, Montana, 2002.
- [20] Hussain Bahia, Seemab Ahmad. Evaluation and Correlation of Lab and Field Tensile Strength Ratio (TSR) Procedures and Values in Assessing the Stripping Potential of Asphalt Mixes [R]. WI/SPR-10-99. Wisconsin Department of Transportation, Madison, Wisconsin, 1999.
- [21] 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.
- [22] 吕伟民. 沥青混合料设计原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 2001.
- [23] 李海军, 黄晓明, 王宏畅. 道路沥青在使用过程中的水老化[J]. 石油学报(石油加工), 2005, 21(4).

文章编号: 0451-0712(2007)03-0040-06

中图分类号: 417.1

文献标识码: A

基于正交试验设计的模块式加筋土挡墙 墙面板与筋带之间摩擦性质研究

刘卫华¹, 雷胜友², 黄润秋¹, 穆 兰³, 陈 辉⁴

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室 成都市 610059;

2. 长安大学公路学院 西安市 710064; 3. 石家庄铁路职业技术学院土木工程系 石家庄市 050041;

4. 中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉市 430071)

摘 要: 运用正交试验设计方法, 设计了模块式加筋挡土墙墙面板与筋带之间摩擦的室内足尺试验, 研究竖向压应力(A)、筋带品种(B)、墙面板与筋带的砌筑方式(C)3 个因素在不同水平下在峰值强度和 $S=19\text{ mm}$ 时, 对墙面板与筋带之间的摩擦系数的影响。通过正交试验, 确定了 3 种因素对摩擦系数的影响顺序、各因素的显著性水平及墙面板与筋带之间连接方式的最优方案。

关键词: 组合模块式墙面板; 筋带; 摩擦系数; 正交试验

加筋土挡墙以其适应性强、占地面积少、施工简便、抗震性能好、造价低廉, 而被越来越多地采用。模块式加筋土挡墙是近年来新兴的一种加筋土挡墙,

其主要特点为墙面板与筋带之间采用刚性连接或摩擦连接。当为摩擦连接时, 如果筋带与墙面板模块之间的摩擦力小于墙面板所受的墙背土压力, 筋带与

基金项目: 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室开放基金资助项目(GZ2005-03)

收稿日期: 2006-11-13

Research on Climatic Factors and Evaluation Indicators of Impacting Asphalt Concrete Pavement

MIAO Ying-hao^{1, 2}, WANG Bing-gang²

(1. Transportation Research Center, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Research on climatic factors and evaluation indicators of impacting asphalt concrete pavement is conducted for evaluation of impact of climate on asphalt concrete pavement. It is found that solar radiations, high-temperature process, freeze-thaw cycle, process of high temperature with precipitation, process of freeze-thaw cycle with precipitation and extremely low temperature are prominent climate processes and climate conditions of impacting asphalt concrete pavement. On the basis of characteristics of these climate processes and climate conditions, average daily solar radiation, average annual accumulated temperature above 20°C , average annual accumulated rain-temperature index, average annual precipitation-freezing index, maximum average monthly air temperature daily range and extremely low air temperature are established as climatic evaluation indicators for asphalt concrete pavement. These indicators provide foundation for evaluation of impact of climate on asphalt concrete pavement.

Key words: road engineering; asphalt concrete pavement; climatic evaluation indicator