

沥青紫外光室内外老化时间等效换算研究

王辉, 丁磊, 任冶

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 沥青老化一直是耐久型路面的关键问题。文中以广东地区为例, 通过加权平均法对太阳紫外光辐照度进行换算, 基于自主研制的紫外光老化箱体, 采用 UVA-340 型号灯管模拟太阳紫外光, 对不同电压、不同灯管高度下辐照度变化进行分析, 根据室内与室外紫外光辐射总量相等的原则得出室内紫外光辐照时间与室外太阳光辐照时间的换算关系。

关键词: 公路; 沥青; 紫外光; 辐照度; 老化时间; 换算关系

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)01-0052-03

沥青老化一直是沥青路面工作者关注的重点之一, 但紫外光老化研究因条件和手段等原因进展一直不理想。近年来不少研究者研发了相关沥青紫外光老化装置, 但对装置的光照强度控制及光照时间方面的研究仍有不足。贾逸勤、李惠霞、谢祥兵等研究了室内紫外光辐照时间的换算; 叶奋等采用将室外紫外线辐射总有效时间转化成室内紫外线辐射总有效时间的换算方法, 得出了室内外总有效时间之间的转换关系, 但没有交代清楚灯管的波段、太阳紫外光如何转换等过程; 李变华依据灯管功率和辐射面积计算紫外光辐照度, 并通过与室外光强换算得到室内外紫外光辐照度换算关系, 但紫外光灯所代表的波段有限, 与室外光强的换算还需深入研究。该文采用室内与室外紫外光辐射总量相等的原则和加权平均法进行室内紫外光辐照时间和室外太阳光辐照时间的等效换算, 依托广佛肇(广州—佛山—肇庆)高速公路项目, 着重考虑沥青在广东地区紫外光老化情况下所受到的紫外光辐照度和光照时间。

1 太阳紫外光辐照度换算

太阳光可分为紫外光谱 B、紫外光谱 A、可见光谱、红外光谱四部分(见表 1), 对沥青光老化起作用的是紫外光谱 B 和紫外光谱 A(见表 1)。

当太阳照射在地球表面时, 其紫外光谱的波长为 280~400 nm, 该波段的紫外光谱占太阳总光谱的 6%。对于模拟室外太阳光辐照度来说, 室内紫外光老化的光源不能模拟全光谱太阳光, 紫外光的短波段 300~400 nm 对于曝露在室外的沥青是造成其光老化损害的主要来源。在紫外线的短波区域即 280~365 nm, 紫外老化灯管能很好地模拟太阳

表 1 太阳光光谱分类

光谱区	波长/nm	占总辐射的百分率/%
紫外光谱 B	280~320	0.4
	320~360	2.4
紫外光谱 A	360~400	3.2
	400~780	50.0
可见光谱	780~3 000	44.0

光。一般紫外光灯管有 UVA、UVB、UVC 3 种类型, 其中: UVA 型灯管对太阳光的紫外短波段模拟效果好, 其光谱能量分布 (SPD) 在太阳光的截止点到约 360 nm 范围内与太阳光谱非常吻合; UVB 型灯管被广泛应用于紫外光老化箱体中, 它与 UVA 型灯管相比能更快地使材料老化, 但它比太阳光截止点更短的波长量可能会对沥青产生不切实际的结果。因此, UVA 型灯管对于模拟沥青紫外光老化最适用, 其中 UVA-340 最适于模拟太阳光 295~365 nm 关键短波区域, 峰值为 340 nm。

根据 GB/T 16422.3-1997《塑料实验室光源暴露试验方法第 3 部分: 荧光紫外灯》, 进行老化模拟试验时, 可将大部分地区的太阳光光谱近似看成图 1 所示夏天正午太阳光谱。

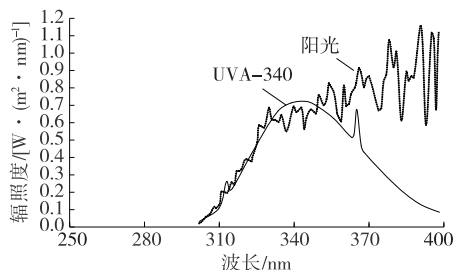


图 1 UVA-340 型灯管与太阳光光谱对照

根据国内外相关研究及实际情况,不同紫外光谱能量分布与换算见表 2。

表 2 地面太阳辐射光谱能量分布与换算

光谱区	波长/nm	占总辐射的比例/%	换算百分制
紫外光谱 B	280~320	0.4	1/15
	320~360	2.4	6/15
紫外光谱 A	360~400	3.2	8/15

按紫外光谱将波长 280~400 nm 分为 280~320、320~360、360~400 nm 三部分,每部分取平均辐照度,结果见图 2、表 3。

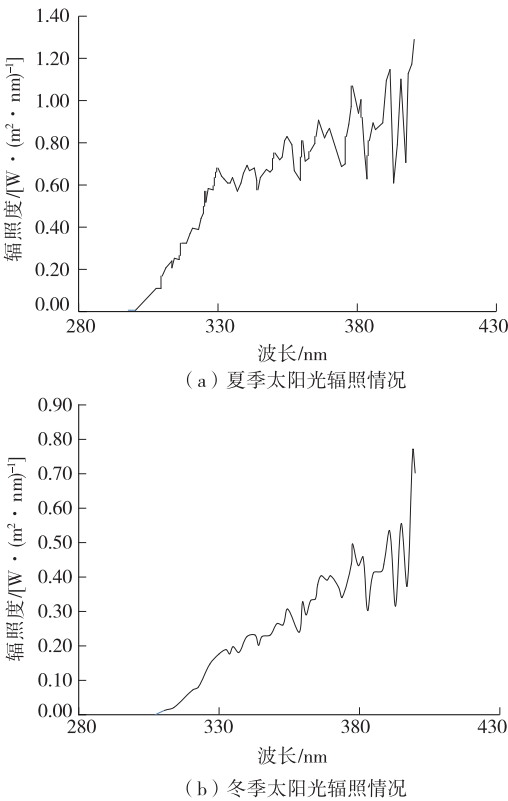


图 2 不同季节的太阳光光谱

表 3 不同波长的紫外线光谱与相对应辐照度

季节	紫外光谱	波长/nm	波段平均辐照度/ (W·m ⁻²)
夏季	紫外光谱 B	280~320	0.15
	紫外光谱 A	320~360	0.63
	紫外光谱 A	360~400	0.85
冬季	紫外光谱 B	280~320	0.03
	紫外光谱 A	320~360	0.20
	紫外光谱 A	360~400	0.45

按照加权平均法分别计算不同季节的太阳光辐照度,夏季为 $0.15 \times (1/15) + 0.63 \times (6/15) + 0.85$

$\times (8/15) = 0.72 \text{ W/m}^2$,冬季为 $0.03 \times (1/15) + 0.2 \times (6/15) + 0.45 \times (8/15) = 0.32 \text{ W/m}^2$ 。为更准确地模拟全年沥青室外紫外光老化,选择夏季和冬季紫外线辐照度的平均值,即 0.52 W/m^2 。

2 室内紫外光照射试验分析

采用的紫外光反应箱体由抗腐蚀性的钢制作而成,反应室的几何尺寸为 700 mm×380 mm×350 mm。根据国内外研究成果和实际情况,选用 UVA—340 紫外光灯管,安装在箱体顶部的中间,长度为 600 mm,距离箱体底部 29 cm,并在箱体内侧边安装一台小风扇控制箱体内温度(见图 3)。通过对室内紫外光老化箱体进行测试,得出不同高度、不同电压下箱体内紫外光光照强度。



图 3 紫外光老化箱

试验过程中,材料表面温度为 35℃。引起沥青材料光氧化的主要原因:一是紫外光强度,材料老化速率随着强度的增强而加快;二是温度,通常近地面黑色物体的表面温度为 20~80℃。其中温度对沥青材料的影响远大于紫外光强度的影响,80℃以下的沥青可不考虑温度的影响。

为分析紫外光灯管不同辐照度对沥青材料的影响,尽可能多地选取不同的辐照度。通过改变电压及试件距离灯管的高度调整紫外光光照强度,得出不同高度、不同电压下紫外光光照强度。箱体内紫外光强度采用紫外线辐照计测定。不同高度、不同电压下紫外线辐照度分别见图 4、图 5。

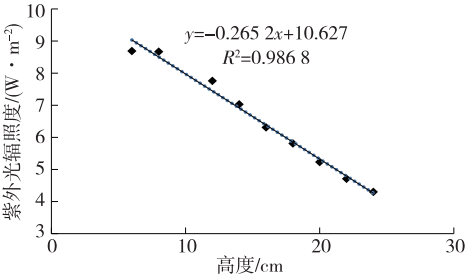


图 4 不同高度下紫外线辐照度(电压 220 V)

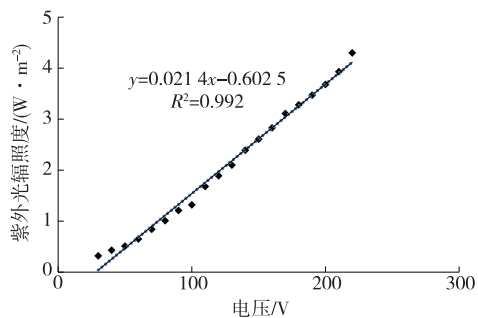


图5 不同电压下紫外线辐照度(距离紫外线灯 24 cm)

从图4可看出:在相同电压下,灯管高度与紫外光辐照度近似成线性关系,随着灯管高度的减小,试件受到的紫外光辐照度增强,其相关关系为 $y = -0.2652x + 10.627$ 。在进行室内紫外光加速老化

模拟时可据此调节辐照度。

从图5可看出:在紫外光灯管高度相同的情况下,电压与紫外光辐照度成较好的线性关系,紫外光辐照度随着电压的增大而增强,其相关关系为 $y = 0.0214x - 0.6025$ 。根据该函数表达式,可方便地调节辐照度。

3 室内紫外光照射时间换算

表4为1960—2008年广东省各地区受到的年平均日照总时数。为对沥青进行长期紫外光老化模拟,选取广东地区平均日照时数进行室内外光照时间换算。广东省1960—2008年的平均日照时间为1 825.2 h,每天的日照时间为 $1\,825.2/365 = 5$ h。

表4 1960—2008年广东省各地区和全省年平均日照总时数

地区	日照时数/h					
	60年代	70年代	80年代	90年代	2000—2008年	平均
北部地区	1 789.2	1 727.7	1 681.8	1 608.0	1 703.9	1 702.1
中部地区	1 903.2	1 812.0	1 699.6	1 596.7	1 657.5	1 735.3
东南部地区	2 139.1	2 017.3	1 921.3	1 925.9	2 006.3	2 001.9
西南部地区	1 959.4	1 872.1	1 832.6	1 796.9	1 845.8	1 861.7
全省	1 947.8	1 857.3	1 783.8	1 731.9	1 802.1	1 825.2

为防止过大的紫外光辐照度使沥青产生过快老化而影响试验结果,采用电压220 V、与紫外线灯管距离20 cm时的紫外线辐照度 5.23 W/m^2 。考虑到室内加速老化与室外老化的差异,对室内紫外光辐照度进行折减,折减系数为1.5。根据室内与室外紫外光辐射总量相等的原则,得到室内紫外光辐照时间与室外太阳光辐照时间的换算公式:

$$W = \frac{TX}{1.5} \quad (1)$$

$$H = YZD \quad (2)$$

$$T = 1.5 \frac{YZD}{X} \quad (3)$$

式中: W 为折减后室内紫外光辐射量 (kJ/m^2); T 为室内紫外光辐照时间 (h); X 为紫外灯管辐照强度 (W/m^2), 取 5.23 W/m^2 ; H 为室外太阳紫外光辐射量 (kJ/m^2); Y 为太阳紫外光辐照强度 (W/m^2), 取 0.52 W/m^2 ; Z 为室外太阳光辐照时间 (d); D 为不同地区年平均每日的太阳光照射时间 (h/d), 广东地区为 5 h/d。

由式(3)求得广东地区室外紫外光照射时间与室内紫外光灯照射时间的对应关系见表5。

表5 广东地区室外紫外光照射时间与室内紫外灯照射时间的对应关系

室外紫外光 照射时间/d	室内紫外光 照射时间/h	室外紫外光 照射时间/d	室内紫外光 照射时间/h
1	0.7	90	67.1
7	5.2	180	134.2
15	11.2	365	272.2
30	22.4		

4 结语

以广东地区为例,根据不同波长紫外光辐射占太阳光总辐射的比例,采用加权平均法计算太阳紫外光辐照度,基于自主研发的紫外光老化箱体,采用UVA-340型号灯管模拟室外紫外光老化。结果显示:电压、灯管高度与紫外光辐照度之间存在近似线性关系,在紫外光灯管高度相同的情况下,紫外光辐照度随着电压的增大而增强;在电压相同的条件下,紫外光辐照度随着紫外线灯管高度的增加而降低。根据室内与室外紫外光辐射总量相等的原则,得出室内紫外光辐照时间与室外太阳光辐照时间的

(下转第58页)

重时,设计年限(15年)内路面累计轴载作用次数为2 600万次/车道。根据上述室内试验结果,油石比为4.5%时,试验板车辙深度超过10 mm后基本损坏。综上,得到表9所示各试验组路面结构的模拟

使用寿命。

由表9可知:相对于密实型结构AC-13,SMA-13的抗车辙性能优势明显;岩沥青的掺入可使路面结构使用寿命增加42%~54%。

表9 各组试验路面结构模拟使用寿命

混合料种类	函数模型	车辙为10 mm时 N_e /万次	模拟使用寿命/年
SMA-13C(岩沥青)	$y_1 = 1.4639 \ln x + 1.1936$	1 965	11
SMA-13C(基质沥青)	$y_2 = 1.553 \ln x + 1.2056$	1 380	8
AC-13C(岩沥青)	$y_3 = 1.5452 \ln x + 1.1972$	748	4
AC-13C(基质沥青)	$y_4 = 1.666 \ln x + 1.313$	484	3

3 结论

采用路面加速加载试验系统模拟不同面层混合料车辙深度随荷载作用次数的发展过程,得出以下结论:

(1) 新疆岩沥青混合料在抗车辙性能方面的最佳油石比为4.5%。

(2) SMA-13 沥青混合料比 AC-13 沥青混合料具有更强的抗车辙能力。

(3) 新疆岩沥青混合料比基质沥青混合料具有更强的抗车辙性能。

参考文献:

[1] 王刚,刘黎萍,孙立军.国产天然岩沥青及其混合料相

关性能试验研究[J].公路工程,2011,36(4).

[2] JTGD50-2017,公路沥青路面设计规范[S].

[3] 蒋兴明.新疆岩沥青在道路工程中的应用研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[4] 代考,钱琪,梁何浩,等.岩沥青微表处路用性能加速加载试验研究[J].公路交通技术,2014(3).

[5] 李秋平,陈霞.基于小型加速加载试验的表层混合料抗滑性能使用寿命研究[J].公路交通科技:应用技术版,2018(5).

[6] 孟岩,李艳春,张艳敏.级配组成对沥青混合料高温稳定性性能的影响分析[J].公路交通科技,2005,22(10).

收稿日期:2019-06-29

(上接第54页)

换算公式。

参考文献:

[1] 叶奋.紫外线老化对沥青性能的影响分析与对策研究[D].上海:同济大学,2005.

[2] 谭忆秋,魏鹏,周纯秀.用于测试新材料降解尾气性能的试验装置[P].中国专利:200710144672.X,2008-04-16.

[3] 李剑飞,刘黎萍,孙立军.纳米二氧化钛对汽车尾气中碳氢化合物HC分解效果研究[J].公路工程,2010,35(2).

[4] Ryuhei Nakamura, Omoaki Tanaka, Yoshihiro Nakato. Mechanism for visible light responses in anodic photocurrents at N-doped TiO₂ film electrons[J].The Journal of Physical Chemistry B,2004,108(30).

[5] 贾逸勤.机场沥青道面用基质沥青紫外光老化特性[J].中外公路,2013,33(5).

[6] 李惠霞,管巧艳,童申家.紫外光老化对沥青砂黏弹性能的影响[J].建筑材料学报,2015,18(3).

[7] 谢祥兵,童申家,耿九光.紫外光老化下沥青胶浆材料性能评价研究[J].公路工程,2018,43(4).

[8] 叶奋,孙大权,黄彭,等.沥青强紫外线光老化性能分析[J].中国公路学报,2006,19(6).

[9] 李变华.路面沥青复合抗紫外光老化剂的研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.

[10] 都雪静.汽车尾气降解材料测试室研究设计[D].哈尔滨:东北林业大学,2005.

[11] GB/T 16422.3-1997,塑料实验室光源暴露试验方法第3部分:荧光紫外灯[S].

[12] 张文刚.TiO₂催化分解汽车尾气沥青路面材料研究[D].西安:长安大学,2014.

[13] 黄珍珠,蔡玲玲,秦鹏,等.1960~2008年广东省不同区域的日照时数变化特征[J].广东气象,2009,31(6).

[14] Ye Fen, Yang Jin, Huang Peng. Performance of modified asphalt aging under ultraviolet radiation [A]. GeoShanghai International Conference[C].2006.

[15] JTGD50-2017,公路沥青路面设计规范[S].

收稿日期:2019-06-04