

文章编号: 0451-0712(2006)12-0143-03

中图分类号: U414.750.1

文献标识码: A

沥青混凝土路面使用过程中 沥青迁移现象的粘弹性力学机理

刘立新^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学交通科学与工程学院 哈尔滨市 150090; 2. 北京福倍安道路新材料有限公司 北京市 100029)

摘 要: 有关调查表明,我国诸多高速公路沥青混凝土路面在使用过程中产生了沥青迁移现象。沥青迁移逐渐造成了沥青混合料沿路面厚度方向的离析,面层沥青富集而底层沥青贫集,面层空隙率降低而底层空隙率增大。底层空隙率增大又伴随着负压的产生与空隙的连通,即便面层混合料中只存在微观裂纹,水分也会被吸入底层从而产生水损害。沥青迁移的积累也可能造成路面油斑或油斑带。本文根据非线性粘弹性力学原理论述了沥青迁移的物理力学本质,并探讨了其影响因素及减轻沥青迁移的材料学方法。

关键词: 沥青混凝土路面; 沥青迁移; 粘弹性力学

沥青混凝土路面的早期损害是一个令全球道路科学工作者头疼的难题。由于夏季持续高温及车辆超载原因,中国的情况显得更为严峻。车辙、裂纹及早期水损害(如松散、坑槽等)是沥青混凝土路面早期损害的三种主要方式。对于车辙及裂纹,我们不难联系其与沥青混合料力学性能之间的相互关系。但对于早期水损害,人们至今仍极度困惑其形成机理。尽管诸多试验方法(如集料—沥青粘附性试验,冻融劈裂试验 TSR,浸水残余试验,浸水车辙试验等)已被用来评价沥青混合料的水稳定性,但我们仍不能有效控制水损害。

作者最近指出^[1],有 4 个主要因素决定着早期水损害的形成,其中一个重要因素便是高温—载荷因素。沥青混凝土路面在高温—载荷因素作用下将产生从基层向面层的沥青迁移,沥青迁移进而造成沥青混合料沿路面厚度方向的离析,示意于图 1。其结果是面层混合料的沥青含量愈来愈高(沥青富集),而基层混合料的沥青含量愈来愈低(沥青贫集),示意于图 2。沥青迁移的另一个结果便是空隙率的变化,面层空隙率愈来愈小而基层空隙率愈来愈大,示意于图 3。基层空隙率的增大往往伴随着负压的产生及空隙的连通,这样,即便面层混合料只存在微观裂纹,路面的雨水也会被吸入基层空隙中从而

形成水损害。大量的现场取样研究^[2]已证明沥青迁移的存在及其与水损害之间的密切关系。

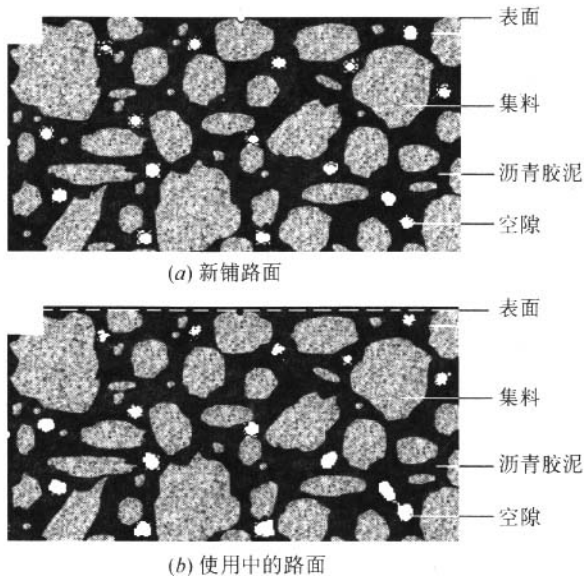


图 1 沥青迁移造成沥青混合料沿路面厚度方向的离析

本文将论述沥青迁移产生的物理力学本质,并试图探讨减轻沥青迁移的有关材料学手段。

1 法向应力、“Wissenberg”效应及“挤出胀大”效应
由于沥青是一种典型的粘弹性材料(也可称之

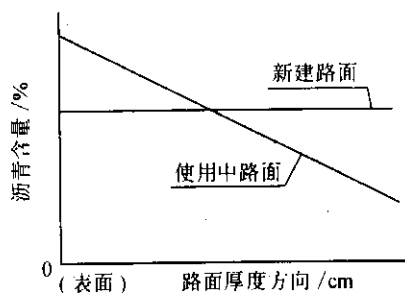


图2 沥青迁移造成沥青含量沿路面厚度方向变化示意

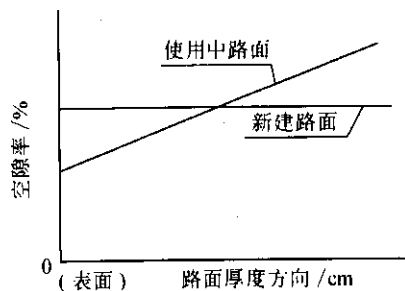


图3 沥青迁移造成空隙率沿路面厚度方向变化示意

为弹性液体),因此在讨论上述的沥青迁移现象之前,回顾一下相关的粘弹性力学基本原理是非常有益的。

非线性粘弹性力学理论表明,在剪应力作用下,粘弹性材料将产生法向应力。法向应力差 N_1 及 N_2 可表示如下^[3]:

$$N_1 = \sigma_{xx} - \sigma_{yy} = A\gamma'^2 + O(\gamma'^4) \quad (1)$$

$$N_2 = \sigma_{yy} - \sigma_{zz} = B\gamma'^2 + O(\gamma'^4) \quad (2)$$

式中: σ_{xx} , σ_{yy} 及 σ_{zz} 为 3 个方向的法向应力分量; A 与 B 是材料常数; γ' 为剪切速度。

从物理学角度看,不相等的法向应力分量的产生来源于剪应力作用下粘弹性材料的各向异性行为。因此,法向应力可通过实验测定。最著名也是最强烈的法向应力实验现象便是“Wissenberg”效应,也称作“爬杆”现象。将一根旋转棒浸入装有粘弹性材料的容器,粘弹性材料则将沿旋转棒爬行从而形成一个很高的自由表面,如图4所示。“Wissenberg”效应可视为法向应力 σ_{xx} 的直接作用结果,其作用好象围绕杆的环状应力使熔体“咬住”杆并沿杆运动。

如果用一根两端开口的试管取代旋转棒并在试管底部安装一个产生剪应力的旋转盘,“Wissenberg”效应将造成粘弹性材料在试管内向上流动。流动将持续直至法向应力与重力平衡。这就是“法向力泵”原理,如图5所示。

另一个重要的非线性粘弹性现象是“挤出胀大”,有时也称“挤出后膨胀”。当粘弹性材料从口模

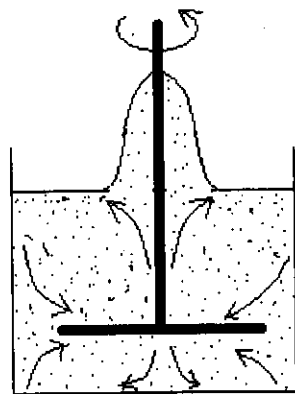


图4 “爬杆”现象

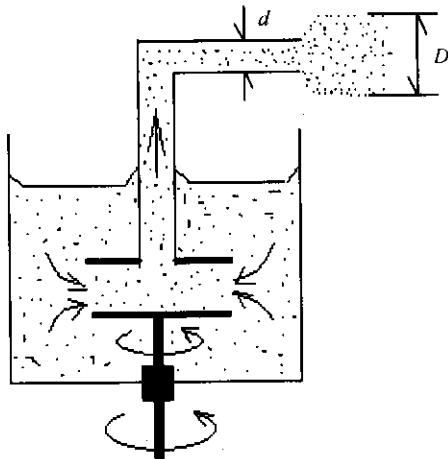


图5 法向力泵原理与“挤出胀大”效应

中挤出或从管子出口流出时,它通常会膨胀,远大于出口孔的直径($D > d$),如图5所示。“挤出胀大”随流动速率增加而增大,膨胀到出口直径的2~3倍并不罕见。可以这样来理解“挤出胀大”现象的力学本质:将在管内流动的粘弹性材料看成是被法向分力 σ_{xx} 拉伸的一束弹性丝条,当从管中冒出时就会自由松弛;松弛作用使丝条长度缩短而直径增加。

2 沥青迁移与法向应力的关系

理解了上述的法向应力粘弹性力学原理,我们便能很容易地理解沥青混凝土路面使用过程中产生的沥青迁移现象。沥青混合料实际上是由集料、沥青胶泥及空隙构成的一种复合材料。从宏观力学的角度看,在剪应力作用下,沥青混合料这种粘弹性材料产生的法向应力只会导致材料的整体流动而不会产生内部离析。但从复合材料细观力学看,集料是弹性体而不产生法向应力,沥青是粘弹性体产生法向应力,二者的法向力差便将导致沥青的流动或迁移,如图6所示。这与前述的“Wissenberg”效应完全一致,

此时的集料表面便相当于管子的内壁。

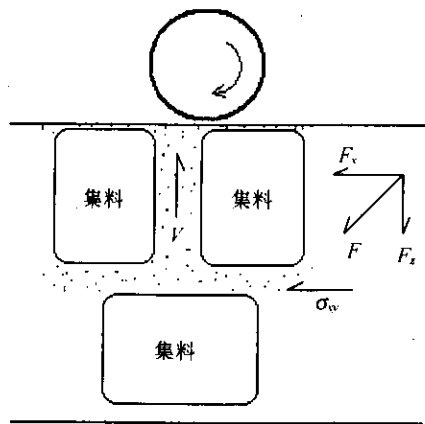


图 6 法向应力与沥青迁移

考虑到“挤出胀大”效应, 沥青迁移便是一个不可逆的过程, 即沥青迁移后便不可回复。久而久之, 沥青迁移就将造成沥青混合料沿路面厚度方向的离析, 表面沥青富集而底层沥青贫集, 表层空隙率降低而底层空隙率增大。沥青混凝土路面则将因此产生路面油斑点或油斑带, 或形成水损害。

3 沥青迁移的影响因素探讨

如上所述, 法向应力 σ_{xx} 是沥青爬杆迁移的源动力, 即式(1)中 σ_{yy} 可忽略不计。显然, σ_{xx} 愈大, 沥青迁移也愈强烈。 σ_{xx} 是由两大方面的因素决定的: 一是剪切速度 γ' ; 二是材料常数 A 。剪切速度 γ' 的影响是显而易见的: 剪切速度 γ' 愈大(说明载荷应力愈大), 则 σ_{xx} 愈大, 沥青迁移愈强烈。但材料常数 A 究竟与哪些环境因素及材料参数有关联, 是值得深入研究的, 因为唯有研究清楚其内在关系, 才能找到减轻沥青迁移的材料学方法和技术手段。

由于纯粘性体及弹性体材料在剪应力作用下不

产生法向应力, 因此减轻沥青迁移的方法也是显而易见的, 要么使其接近于粘性体, 要么使其接近于弹性体。使其接近粘性体是没有工程应用价值的, 因此, 使沥青或沥青胶泥接近弹性体才是减轻沥青迁移可行的材料学方法。从材料参数来讲, 便需要提高沥青胶泥的粘度和弹性模量, 具体的技术措施包括: (1) 掺加与沥青有良好界面结合力的矿物纤维; (2) 选用与沥青有良好界面结合力的矿粉并增大矿粉用量; (3) 沥青改性。某些 SMA 沥青混合料本身便包括了上述技术措施, 因此也是最不容易发生沥青迁移的混合料。

此外, 沥青的粘度和弹性模量与环境温度密切相关。气温愈高, 沥青粘度和模量愈低, 沥青混凝土路面则愈容易产生沥青迁移。

4 结论

由于沥青的粘弹性材料性质, 在剪应力作用下将产生法向应力效应, 法向应力将造成沥青混凝土路面在使用过程中产生沥青迁移现象, 而且由于“挤出胀大”效应, 沥青迁移是不可逆的。因此, 沥青迁移将造成沥青混凝土路面沿厚度方向逐渐离析, 面层沥青富集而底层沥青贫集, 面层空隙率降低而基层空隙率增大, 并最终造成早期水损害及路面油斑。

参考文献:

- [1] 刘立新, 著. 沥青混合料粘弹性力学及材料学原理[M]. 人民交通出版社, 2006.
- [2] 孙立军, 等著. 沥青混凝土路面结构行为理论[M]. 人民交通出版社, 2005.
- [3] Barnes H A, Hutton J F, Walters K. An introduction to rheology[M]. published by Elsevier, 1989.

Viscoelastic Mechanics for Asphalt Migration Formed in Asphalt Concret Pavements

LIU Li-xin^{1,2}

(1. Transportation School, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Beijing Fiberand Road Materials Co., Ltd, Beijing 100029, China)

Abstract: Asphalt migration is widely found in asphalt concrete pavements of expressways from south to north in China. The asphalt migration will result in asphalt segregation along the depth of pavements with time. The asphalt content becomes more and more at the surface layer, and less and less at the base.

