

文章编号: 0451-0712(2005)12-0195-04

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

以 SUPERPAVE 的方法研究热拌再生沥青混凝土路面的粘结料性质

徐 阳^{1,2}, 张起森³, 聂忆华¹, 何增振¹

(1. 中南大学土木学院 长沙市 410083; 2. 湖南省交通规划勘察设计院 长沙市 410008; 3. 长沙理工大学 长沙市 410076)

摘 要: 通过 SUPERPAVE 的方法研究热拌再生沥青混凝土路面的车辙因子、疲劳因子、开裂因子与旧料掺配率的关系及其变化规律, 为再生沥青混凝土路面的修建提供指导。

关键词: 热拌再生沥青混凝土路面; SUPERPAVE; 车辙因子; 疲劳因子; 开裂因子

当沥青混凝土路面达到它的使用寿命时, 老路面中的材料仍然有着巨大的经济价值, 再生沥青混凝土路面(RAC)的修建在我国现今能源紧张的情况下具有重要的现实和长远意义。为满足对路面材料的需求而对现有老化路面材料进行再生可以节省大量的材料、资金和能源, 同时有助于解决路面材料废弃问题, 而且路面的几何形状和厚度能在修筑过程中得到保留, 具有其他路面改造技术不可比拟的优点。随着我国公路建设的迅速发展, 一些早期建成的高速公路沥青混凝土路面陆续进入翻修阶段, 沥青混凝土路面再生技术的研究被提上了议事日程。

再生沥青混凝土路面主要由旧料(旧沥青结合料与旧骨料)和新料(新沥青结合料与新骨料)组成, 旧料的加入, 改变了整个沥青混合料的力学性能, 同时影响着它的路用性能, 再生沥青混凝土结合料较普通沥青混凝土结合料在化学组成与物理力学性质上均有不同。新结合料与旧结合料在某种程度上相互融合, 改变了整个混合料的性质, 随着现代路面工程朝着以力学理论为基础的方向发展, 研究不同掺配率下再生沥青混凝土路面结合料性质及其变化规律, 其意义不言而喻。

1 马歇尔试验方法与 SUPERPAVE 设计方法比较

马歇尔试验方法是在我国广泛采用的沥青混凝土路面研究方法, 马歇尔试验方法是否同样适用于再生沥青混凝土路面, 国内外许多学者均有疑义: 马

歇尔试验的稳定度标准值只有最小值, 而未限制最高值, 对于老化而严重脆硬的旧沥青混凝土路面材料, 若不使用再生剂使之软化, 而直接采用高粘度的沥青拌和成混合料, 其稳定度往往会很高, 且旧料掺配率越大, 其稳定度越高。然而这并不说明再生混合料具有良好的品质, 相反, 用这种混合料铺筑路面面层, 会导致过早地出现龟裂, 因此用马歇尔试验法研究再生沥青混合料在某些方面还不能尽如人意。SUPERPAVE 是美国公路战略研究计划(SHRP)最重要的研究成果之一。它包含了沥青标准和集料标准、矿料级配曲线的组成规定和混合料的体积设计方法³ 大内容, 提出了控制点和限制区的概念。高性能沥青混凝土路面的先进性在于它开发了一套全新的试验设备和方法, 从根本上改变了现行试验方法和规范的纯经验性质, 从而避免了由此带来的局限性。SUPERPAVE 沥青结合料与混合料规范的新体系将试验方法与指标同沥青混凝土路面的路用性能建立起直接关系, 通过控制高温车辙、低温开裂和疲劳开裂, 来达到全面改进路面性能的目的, 形成了一个基于路用性能基础上的沥青混合料设计新体系。因此以 SUPERPAVE 的方法研究热拌再生沥青混凝土路面是众多路面工作者的首选。

2 试验材料

选用 6 种不同的沥青为试验样本。基于粘温关系, 以 25℃ 的针入度与 60℃ 的粘度为标准选取了

4 种不同温度敏感性的沥青作为各种不同粘度类型新沥青结合料的代表。其中 1 号、2 号、3 号沥青的温度敏感性较低,4 号沥青的温度敏感性较高。5 号、6 号沥青通过在烘箱中加热不同的时间,使其针入度达到 10~20 之间以模拟从工程现场回收的老化沥青。5 号老化沥青分别与 1、2、4 号沥青掺配,6 号老化沥青分别与 2、3、4 号沥青掺配。每种掺配组合中的沥青旧料比率分别以 0、15%、25%、55%、100% 变化。

3 沥青结合料的老化

从沥青进入拌和楼高温加热开始,直到路面使用寿命结束,受到储运、施工、自然因素(空气、光、水分、热等)和交通荷载等各种因素的作用,沥青在化学组成与物理形态上均不断地发生变化。所谓化学组成变化是指沥青混凝土中的沥青不断与空气中的氧气反应,形成酮基与硫氧基结构,增加了部分胶泥分子的极性并改变其属性,慢慢由芳香成份转变为树脂成份等。老化反应就是沥青材料在氧化作用下,芳香成份减少,而稠度增加的一个不可逆的过程。沥青老化将引起沥青混凝土路面的开裂或疲劳开裂问题,导致路用性能的逐渐劣化,为了使沥青混凝土路面经久耐用,要求沥青材料有较好的抗老化性。表征沥青老化程度的指标——老化指数 AI 是指老化后沥青的粘度与未用过的沥青粘度的比值,如下式所示:

$$AI = \frac{\eta_a}{\eta_0}$$

式中: η_a 为老化后沥青的粘度; η_0 为未使用过的沥青的粘度。

图 1 表示了沥青在从加热拌和、运输、施工、通车的整个生命周期过程中的老化指数的变化过程。可以看出,在沥青与集料加热拌和过程中,沥青的老化最为严重;施工过程中沥青老化速度也比较快,但相对于拌和中的老化显得较为轻微;然后在路面的使用过程中,经受环境和荷载的作用,沥青仍在不断老化,但老化的速度比较平缓。

美国 SHRP 计划研制了旋转薄膜烘箱 (ROTOF) 和压力老化箱 (PAV) 分别用于评价沥青的老化性能。旋转薄膜烘箱试验是将 35 g 试样装入瓶中,试样水平置于烘箱中。其特点是沥青膜较薄,连续吹入热空气,使其加速老化。研究证明,沥青在旋转薄膜烘箱试验后的性质与在拌和机中加热拌和

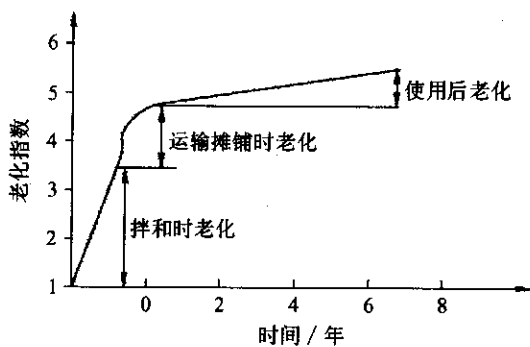


图 1 沥青生命周期中的老化速度示意

后的性质有很好的相关性。压力老化箱 PAV 试验方法是将经旋转薄膜烘箱试验后的沥青残留物再经过 2.0 MPa 的压力与高温老化,用以模拟沥青结合料在使用期间的氧化老化。研究表明这种试验下的老化程度相当于沥青混凝土路面使用 5~10 年期间的老化情况。试验中沥青的老化便是采用这样的方法。

4 动态剪切试验 (DSR) 与弯曲梁蠕变试验 (BBR)

动态剪切试验用来评价沥青结合料的高温性能和常温状态下的疲劳性能。其试验方法是将沥青样品夹在两块板中,其中一块板固定,另一块板能够水平旋转。左右水平旋转转动板对沥青施加一个周期性应力,通常为正弦波,与此相应的应变也为正弦波波形。由此可以得到两个关键参数:复数剪切模量 G^* 和相位角 δ ,复数剪切模量 G^* 是最大和最小应力差与最大和最小应变差的比值,它是沥青对重复剪切变形总阻力的度量;相位角 δ 由应力与应变的时间差确定,它反映了沥青的应变对应力的滞后,这种滞后是由于沥青材料的粘性性质所形成的。当 $\delta=0^\circ$ 时,应力与应变同相,材料完全呈弹性;当 $\delta=90^\circ$ 时,应力与应应变异相,材料完全呈粘性。在 SUPERPAVE 沥青胶结料的规范中,定义 $G^*/\sin\delta$ 为车辙因子,当车辙因子较大时,即 G^* 增大,而 $\sin\delta$ 减小时,沥青的弹性较为显著,抗永久变形能力强,反之亦然。为了满足混合料在高温时车辙作用下不会产生过量的车辙,要求车辙因子数值不低于 1.00 kPa。经过旋转薄膜烘箱老化后的车辙因子数值不低于 2.20 kPa;定义 $G^*\sin\delta$ 为疲劳因子,为保证路面在正常温度下使用不会出现早期疲劳破坏,要求经过旋转薄膜烘箱老化后的沥青结合料的疲劳因子数值不超过 5 MPa。

弯曲梁蠕变试验用来评价沥青结合料的低温抗裂性能。其试验方法为将 125 mm 长,12.5 mm 宽,

6. 25 mm 高的沥青结合料在指定低温下以 100 mm 的跨径简支,施加稳定荷载,记录小梁的挠度,计算蠕变劲度模量,绘制蠕变劲度与时间的双对数关系曲线,确定荷载作用时间 60 s 时的劲度模量 $S(60)$, 以及与 60 s 对应的蠕变劲度与时间的双对数关系曲线的斜率 m 值。其原理为在低温条件下,如果沥青的蠕变劲度模量过高,则呈现脆性,路面容易开裂。 m 值的大小与沥青的松弛性能有关,当 m 值较小时,沥青的松弛能力强,有利于降低温度应力。在 SUPERPAVE 的规范中,要求在设计低温温度时, $S(60) \leq 300 \text{ MPa}$, $m \geq 0.30$ 。

5 不同掺配率情况下沥青结合料的性质及其变化规律

5.1 未老化沥青结合料的 DSR 试验

典型回归曲线分两种。第 1 种以 1 号沥青掺配 5 号老化沥青为代表,如图 2 所示,车辙因子随着掺配率的增加以及温度的降低而增大,掺配率低于 40% 时,车辙因子的变化不大,并且掺配率小于 40% 时车辙因子增加的速度远小于 40% 以上掺配率的增加速度,在 58℃ 的高温下,其 55% 和 40% 掺配率车辙因子的变化速率相差约 3 倍。第 2 种典型回归曲线以 4 号沥青掺配 5 号老化沥青为代表,如图 3 所示,车辙因子随着掺量的增加以及温度的降低而增加,但旧料的掺入,立刻提高了车辙因子的数值,不像 1 号沥青掺配 5 号老化沥青在低掺量的情况下,掺量变化对于提高车辙因子没有多大的作用。其他 4 种掺配曲线的形状介于这两种曲线之间。虽然 6 种掺配曲线形状较为相似,但从中可充分认识到老化沥青和新沥青的性质共同决定着混合结合料的性质。在老料掺配率较小的情况下,混合料的性质主要是由新沥青所决定的。

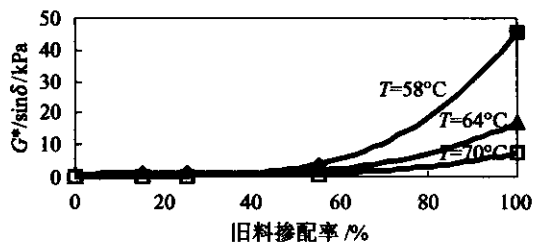


图 2 未老化沥青车辙因子掺配曲线
(1 号沥青掺配 5 号老化沥青)

5.2 旋转薄膜烘箱老化后沥青结合料的 DSR 试验

经旋转薄膜烘箱老化后的沥青结合料动态剪切

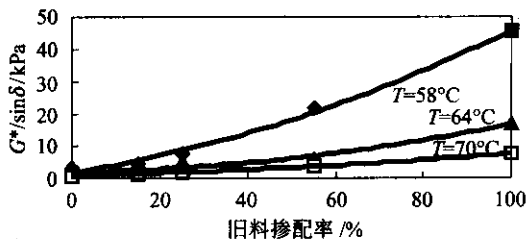


图 3 未老化沥青车辙因子掺配曲线
(4 号沥青掺配 5 号老化沥青)

流变试验结果与未老化前的试验结果比较相似,车辙因子随着掺量的增加以及温度的降低而增加。其典型曲线分两种。第 1 种以 1 号沥青掺配 5 号老化沥青为代表,如图 4 所示,掺配率低于 25% 时,车辙因子几乎没有变化,掺配率大于 25% 后车辙因子增大的速度明显加快。第 2 种典型回归曲线以 4 号沥青掺配 5 号老化沥青为代表,旧料的掺入,立刻提高了车辙因子的数值,如图 5 所示。

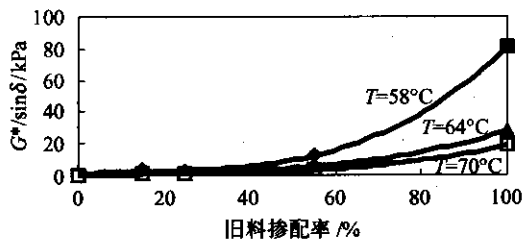


图 4 RTOFT 老化沥青车辙因子掺配曲线
(1 号沥青掺配 5 号老化沥青)

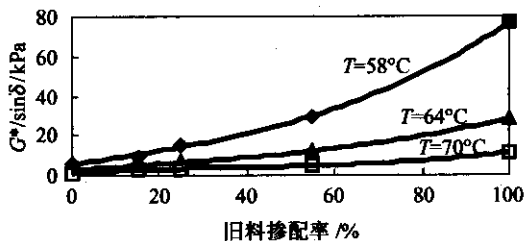


图 5 RTOFT 老化沥青车辙因子掺配曲线
(4 号沥青掺配 5 号老化沥青)

5.3 旋转薄膜烘箱老化与压力老化箱老化后沥青结合料的 DSR 试验

经旋转薄膜烘箱老化与压力老化箱老化后沥青结合料的试验结果既具有与前两种试验结果的相同之处,又有着不同之处。其相同之处在于疲劳因子随着掺配率的增大以及温度的降低而增加,老料的加入,立刻提高了疲劳因子的数值,并且随着掺配率的提高,疲劳因子的增大速度也随之提高。然而,疲劳因子的新特点在于,虽然温度和掺配率同时影响着

疲劳因子,但很明显,温度对疲劳因子的影响是最主要的,以1号沥青掺配5号老化沥青为例,在19℃老料掺配率为55%的试验条件下是在31℃老料掺配率为100%的试验条件下的疲劳因子的2倍。其典型的回归曲线如图6、图7所示。

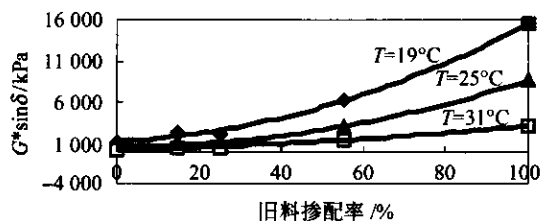


图6 RTOFT和PAV老化后沥青疲劳因子掺配曲线
(1号沥青掺配5号老化沥青)

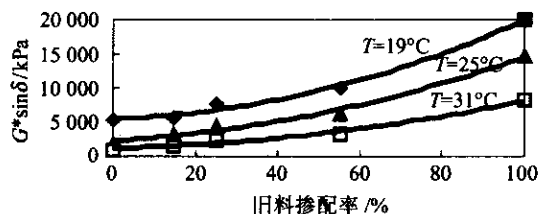


图7 RTOFT和PAV老化后沥青疲劳因子掺配曲线
(4号沥青掺配6号老化沥青)

5.4 旋转薄膜烘箱老化与压力老化箱老化后沥青结合料的BBR蠕变劲度模量试验

以2号沥青掺配6号老化沥青的BBR试验表明,随着温度的降低与掺配率的增加,混合粘结料的蠕变劲度模量也随之提高;与此同时,其蠕变劲度模量的增加速度也是随着温度的降低与掺配率的增加而增加,蠕变劲度模量在掺配率较小的情况下增加速度较慢,在掺配率较大的情况下增加速度较快,这与我们在常温与高温情况下的DSR试验的结果是相似的,其试验回归曲线如图8所示。另一种典型曲线以2号沥青掺配5号老化沥青为代表,如图9所示,随着温度的降低与掺配率的增加,混合粘结料的蠕变劲度模量也随之提高,但蠕变劲度模量的增加速度在低掺量与高掺量的情况下,基本保持一致,没有太大的变化。这表明增加旧料的掺配率对于提高蠕变劲度模量的作用是有限的,温度是影响蠕变模量的主要因素。

5.5 旋转薄膜烘箱老化与压力老化箱老化后沥青结合料的BBR蠕变速率试验

沥青结合料的劲度随时间变化的切线斜率 m 值表征的应力松弛能力,是防止低温开裂的重要指标。从3号沥青掺配6号老化沥青的回归曲线可以看出

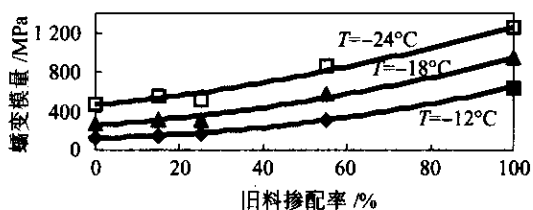


图8 RTOFT和PAV老化后沥青开裂因子掺配曲线
(2号沥青掺配6号老化沥青)

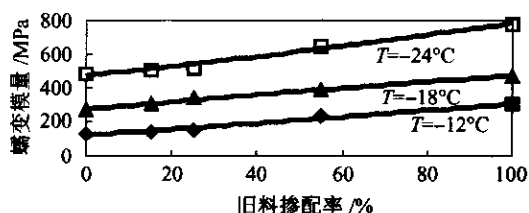


图9 RTOFT和PAV老化后沥青开裂因子掺配曲线
(2号沥青掺配5号老化沥青)

(如图10所示), m 值随着温度的降低和掺配率的增加而减小,但减小的速度基本保持一致,即无论是在高掺配率还是在低掺配率的情况下, m 值的减小速度是不变的。而从1号沥青掺配5号老化沥青的回归曲线同样可得出 m 值随着温度的降低和掺配率的增加而减小的结论,但 m 值的减小速度在高掺量的时候反而减小了,这与车辙因子、开裂因子的变化速度在高掺量的情况下增大的结论恰好相反。但值得注意的是 m 值的减小幅度是非常有限的。

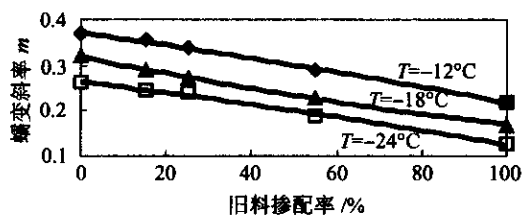


图10 RTOFT和PAV老化后沥青开裂因子掺配曲线
(3号沥青掺配6号老化沥青)

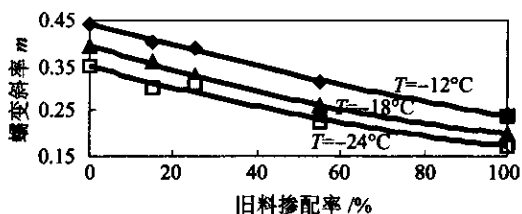


图11 RTOFT和PAV老化后沥青开裂因子掺配曲线
(1号沥青掺配5号老化沥青)

6 结论

(1)混合沥青结合料的车辙因子随着旧料掺配

文章编号: 0451-0712(2005)12-0199-04

中图分类号: U418.5⁺2

文献标识码: B

高速公路路堑边坡稳定性分析和整治方法研究

王海亮

(内蒙古老集高速公路建设管理办公室 集宁市 010020)

摘 要: 以老集高速公路 K320+160~K320+980 段高边坡病害治理为例,分析了边坡失稳的原因,介绍了防水、固结和支挡锚固相结合的综合治理方法。

关键词: 路堑边坡; 膨胀土; 结构面; 固结灌浆; 锚固

内蒙古老集高速公路是丹东至拉萨国道主干线在内蒙古自治区境内的重要路段,东起内蒙古自治区与河北省交界处老爷庙,西止于内蒙古乌兰察布中心城市集宁市,全长 89.338 km,为双向四车道全封闭、全立交,一次性修建的全幅高速公路。设计行车速度为 100 km/h,路基宽度 26 m。

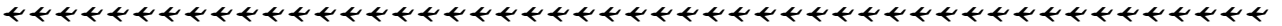
老集高速公路穿越低山缓丘区,沿线工程地质条件十分复杂。其中 K320+160~K320+980 段为典型火山熔岩台地,地质构造发育,岩石破碎严重,加之干燥多风、少雨且降雨集中的气候特点,新挖路堑边坡经常出现风化剥落掉石、坡面溜坍现象,局部

出现坡体坍滑病害,以致下部堵塞线路,上部出现了贯通裂缝,直接危及到坡顶国家主干光缆的安全,严重影响了工程进度和质量。通过深入分析研究各种影响边坡稳定性的因素,查清敏感因素,制定合理整治方案,并通过工程实践,较圆满地解决了该段路堑边坡病害问题。

1 影响路堑边坡稳定的因素

K320+160~K320+980 路段山坡自然坡度为 12°~15°。开挖路堑后形成了坡面坡度 32°~45°,高约 20~28 m 的新边坡;同时,开挖路堑使坡体横

收稿日期:2005-08-17



率的增加而增大,表明旧料的加入有助于提高混合料的高温稳定性。

(2)混合沥青结合料的疲劳因子随着旧料掺配率的增加而增大,但在低掺量的情况下,疲劳因子的增长速度较慢,在实际生产中,旧料的掺配率常在 40% 以下,选取合适的新沥青结合料,完全可以控制疲劳因子在 5 MPa 以内。

(3)随着旧料掺配率的增加,混合沥青结合料的蠕变劲度模量也随之增加,而蠕变速率 m 随之减小。旧料掺配率对提高结合料的蠕变劲度模量的作用是有限的,因此若采用严格的控制措施,选取合适的新沥青,是完全可以 将蠕变劲度模量和蠕变速率 m 控制在满意的程度范围内。

沥青结合料和骨料的性质对整个沥青混合料的性质起决定性的作用,光从结合料的性质还不能完全推断出整个混合料的性质,筑筑高质量的再生沥青混凝土路面还需要广大的路面工作者付出不懈的

努力。

参考文献:

- [1] JTJ 052-2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [2] 张登良. 沥青与沥青混合料[M]. 北京:人民交通出版社,1993.
- [3] JTJ 014-97,公路沥青路面设计规范[S].
- [4] 郭忠印. 沥青路面施工与养护技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [5] 吕伟民. 沥青路面再生技术[M]. 北京:人民交通出版社,1989.
- [6] Ray Brown, Larry Michale. Superpave mixture design guide [R]. Federal Highway Administration-RD-01,2001.
- [7] Chris A Bell. Aging: binder validation [R]. ISBN 0-309-05802-3 contract no. A-003A product nos. 1003 and 1030, 1994.