

草木灰和消石灰改性沥青性能对比研究

彭辉彬

(湖南省交通水利建设集团有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要:基于草木灰与消石灰有诸多相似性质,同时为实现草木灰的资源化利用,该文提出类比消石灰,将草木灰掺入到沥青中用于沥青的改性,并围绕高温稳定性、抗老化性能和水稳定性,对草木灰和消石灰改性沥青进行对比研究。此外,还利用红外光谱分析探讨了两种改性剂的作用机理。研究发现:草木灰和消石灰对沥青的高温性能具有相似的改善效果;草木灰对沥青抗老化性能的改善效果优于消石灰,而消石灰对沥青水稳定性的改善效果优于草木灰。两种改性沥青并未产生除改性剂和基质沥青所含特征峰以外的新的特征峰。但这并不意味着两种改性剂与基质沥青未发生化学反应,这可能是因为生成物的特征峰被改性剂或基质沥青已有的特征峰所掩盖。

关键词:草木灰;消石灰;改性沥青;高温稳定性;抗老化性;水稳定性

沥青路面因其具有噪声低、耐磨性好、行车舒适、维护方便等特点而作为主要的路面类型之一广泛应用于路面建设中。然而,作为路面材料重要组成部分的沥青胶结料在路面服役过程中,其组成和结构易受热、氧、水、紫外线、车辆荷载等因素影响而发生改变,导致其性能劣化而引起整个路面产生车辙、疲劳、水损、老化等病害,严重损害沥青路面的服役寿命。

消石灰是由生石灰经水化后得到的一种以氢氧化钙为主要成分的无机材料。因其在改善沥青材料抗水损、抗老化、阻燃等方面的突出表现而作为一种多功能添加剂应用于沥青路面材料的改性研究。目前,消石灰用于改性沥青材料主要通过3种方式:一是在沥青混合料拌和过程中用消石灰替代部分矿粉充当填料;二是利用石灰水对石料表面进行预处理;三是将消石灰加入沥青胶结料中制备成消石灰改性沥青。李萍等通过车辙、低温弯曲和浸水马歇尔试验研究发现在沥青混合料中掺加消石灰可提高沥青混合料的高、低温和水稳定性;吕捷等通过红外光谱分析发现消石灰的掺入可有效抑制沥青紫外老化后羰基氧化产物的生成,从而改善沥青抗紫外老化的性能;朱凯等采用极限氧指数、锥形量热仪、热重-差热试验对消石灰改性沥青的燃烧特性进行表征。研究发现,消石灰在反应初期通过抑制可燃挥发组分的析出起到阻燃作用;在燃烧过程中,消石灰会进一步发生碳酸化反应,形成致密的碳酸盐阻隔层,起到阻隔热质交换和抑制沥青质燃

烧的作用;张祥等研究了消石灰提高沥青与石料黏附性的机理。研究认为,消石灰主要通过和沥青中的弱酸性物质发生反应生成不溶性的有机钙盐增加沥青与石料表面的黏附性;朱红斌认为消石灰之所以能改善沥青的抗老化性能主要是因为消石灰可与沥青中的极性成分发生反应,中和后的极性成分被强烈地吸附在消石灰颗粒表面,抑制了热老化过程中轻质组分的挥发,也阻碍了与氧的接触,从而减缓了沥青的老化速率。此外,研究还认为消石灰的高空隙率也是影响消石灰改性效果的重要因素。

草木灰是植物燃烧后的残余物。类似消石灰,草木灰也是一种呈碱性的无机材料,主要成分是碳酸钾。随着生物发电行业和农村新能源工程的迅猛发展,秸秆发电后产生了大量的草木灰残余物。基于草木灰与消石灰具有质轻、无机、呈碱性等相似性质,该文提出类比消石灰,将草木灰掺入到沥青中用于沥青的改性,并进行草木灰和消石灰改性沥青的性能对比研究。该研究不仅有利于新的沥青改性剂的研发,也有助于实现草木灰的资源化利用。

1 试验方法

1.1 原材料

重交70#基质沥青,其基本性质如表1所示;氢氧化钙[分析纯, $\text{Ca}(\text{OH})_2$]含量 $\geq 95\%$;草木灰为秸秆

燃烧后的残余物。

表 1 重交 70# 基质沥青的基本物理性质

针入度/(0.1 mm) (25 ℃,100 g,5 s)	软化点/ ℃	延度/cm (15 ℃,5 cm/min)	黏度/(mPa·s) (135 ℃)
69.8	46.9	>150	424.6

1.2 沥青制备

首先在 150 ℃ 下将基质沥青加热至熔融状态,然后将一定掺量(w 改性剂/ w 基质沥青 = 5%、10%、15%)的消石灰和草木灰分别掺入熔融沥青中,并在 150 ℃、4 000 r/min 的条件下高速剪切 30 min,制备出含不同改性剂掺量的消石灰改性沥青和草木灰改性沥青。作为空白样,未加改性剂的基质沥青也经历上述相同的制备过程。

1.3 沥青老化

按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的 T0609—2011 沥青薄膜加热试验和 T0630—2011 压力老化容器加速沥青老化试验分别对沥青样品进行短期老化和长期老化。短期老化为约 3.2 mm 厚的沥青膜在 163 ℃ 的烘箱中老化 5 h。长期老化为经历短期老化后的沥青样品在 2.1 MPa、100 ℃ 压力老化箱中老化 20 h。

1.4 性能测试

根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的规定,利用 Brookfield 黏度计测量 135 ℃ 沥青样品的旋转黏度。

利用动态剪切流变仪(DSR)对老化前后的沥青样品进行温度扫描,温度扫描范围为 30~90 ℃;为确保沥青黏弹性响应在线黏弹性范围内,应变设置为 1%;角频率设为 10 rad/s;选用 25 mm 转子,转子与固定板间隙设定为 1 mm。

将适量消石灰和草木灰分别与溴化钾粉末混合并压制成薄片,用于测定消石灰和草木灰的红外光谱图。对于消石灰和草木灰改性沥青红外光谱的测量,则是将适量熔融的改性沥青直接滴在溴化钾薄片上形成沥青膜再置于傅里叶变换红外光谱仪中进行扫描。红外光谱扫描次数为 32 次,分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描范围为 4 000~400 cm^{-1} 。

采用冻融劈裂试验对消石灰和草木灰改性沥青的水稳定性进行评价。混合料统一采用 AC-13 型密级配,集料为玄武岩,沥青含量为 4.7%。对于各沥青样品而言,制备两组马歇尔试件,其中一组试件在饱水真空试验后用塑料袋包裹,在 -18 ℃ 下冰冻 16 h,再在

60 ℃ 水浴箱中放置 24 h;另一组未经历上述冻融处理。最后,两组试件一起在 25 ℃ 水浴中保温 2 h 后进行劈裂试验。利用冻融前后试件拉伸强度比(TSR)来评价样品的水稳定性:

$$\text{TSR}(\%) = \frac{\text{劈裂抗拉强度(冻融后)}}{\text{劈裂抗拉强度(冻融前)}} \times 100 \quad (1)$$

2 试验结果与讨论

2.1 旋转黏度

沥青是一种对温度敏感的黏弹性材料。高温时沥青的黏度越大,表明沥青抵抗高温剪切变形的能力越强,沥青发生高温车辙病害的可能性就越小。消石灰和草木灰对沥青高温黏度的影响如图 1 所示。

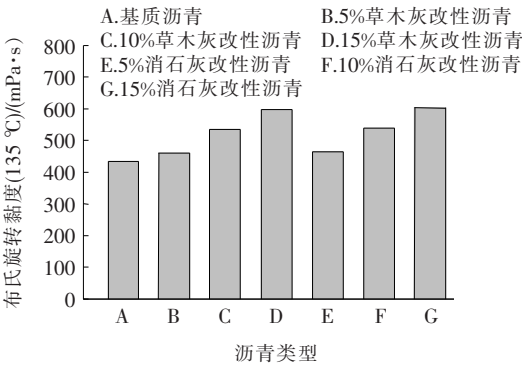


图 1 消石灰和草木灰对沥青高温黏度的影响

由图 1 可得:无论是掺入消石灰还是草木灰,都可以提高沥青的高温黏度,并且随着各自掺量的增加,黏度改善效果愈明显。有研究表明:消石灰对沥青高温稳定性的改善一方面是消石灰相当于普通填料,在沥青相中能起到阻碍沥青分子运动的作用;另一方面消石灰可与沥青中的极性成分发生反应,使部分沥青组分吸附在消石灰颗粒表面;此外,消石灰碳化后的产物也能起到阻碍沥青分子运动的作用。与消石灰改性沥青对比,在同一掺量下,草木灰改性沥青具有相似的黏度,说明在改善沥青高温稳定性方面,草木灰和消石灰具有相似的效果。草木灰除了能像普通填料在沥青相中起到物理阻碍沥青分子运动的作用外,可能也会像消石灰一样与沥青中的酸性成分发生反应,从而进一步起到改善沥青高温流动性的作用。

2.2 流变性能

流变是表征沥青黏弹性能的有效方式。在评价沥青流变性能的指标中,复数模量和相位角最为常用。复数模量能表征沥青总的抵抗剪切变形的能力,而相

位角能表征沥青中黏、弹性成分的比例。消石灰和草木灰对老化前沥青复数模量的影响如图 2 所示。

由图 2 可知:各沥青样品的复数模量均随着温度的升高而下降。与基质沥青相比,草木灰和消石灰改

性沥青表现出更大的复数模量,且数值随各自掺量的增加而增加,这一趋势同黏度结果一致。

消石灰和草木灰对老化前沥青相位角的影响如图 3 所示。

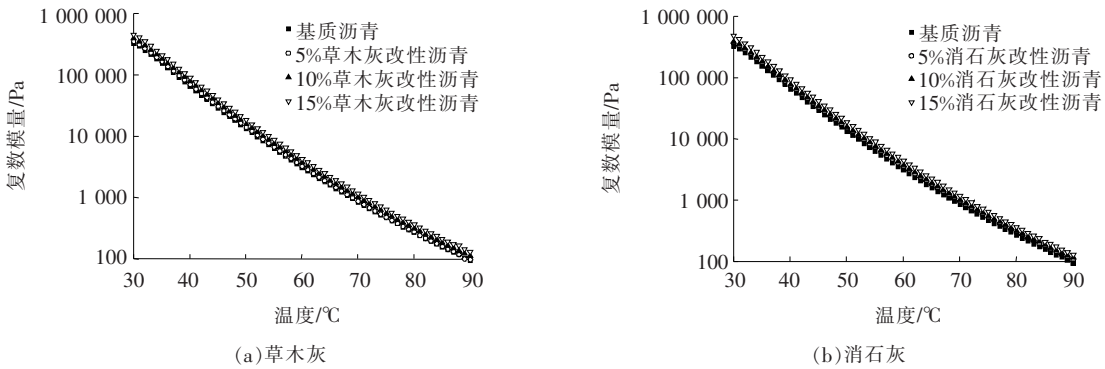


图 2 草木灰和消石灰对老化前沥青复数模量的影响

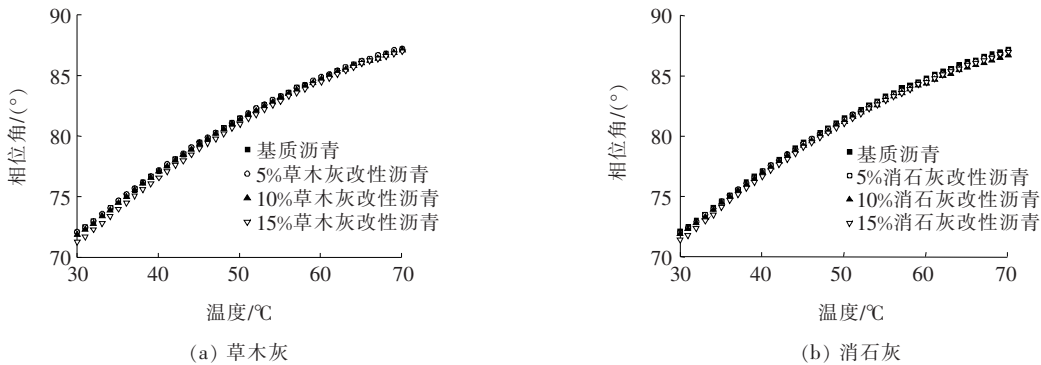


图 3 草木灰和消石灰对老化前沥青相位角的影响

由图 3 可知:草木灰和消石灰在 10% 的掺量内对基质沥青的相位角影响不明显。当掺量为 15% 时,草木灰和消石灰改性沥青在 30~50 °C 表现出比基质沥青更小的相位角。

车辙因子($G^*/\sin\delta$)是美国 Superpave 规范中用来评价沥青胶结料高温性能的流变指标。对于未老化的沥青样品,车辙因子等于 1 kPa 时所对应的温度称为 Superpave 沥青性能分级(Performance Grade, PG)的高温临界温度。该温度越高,表明沥青的高温性能越好。消石灰和草木灰对未老化沥青高温 PG 分级温度的影响如图 4 所示。

由图 4 可知:该分级温度的结果同前文黏度和复数模量的结果一致。当草木灰和消石灰掺量为 15% 时,各自改性沥青的临界温度比基质沥青分别高出 2.6 和 2.8 °C,再次说明草木灰和消石灰对改善沥青高温性能具有相似的效果。

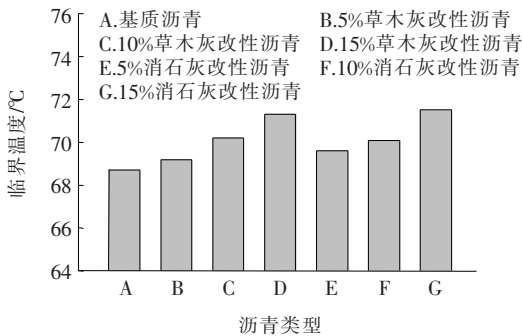


图 4 消石灰和草木灰对未老化沥青高温 PG 分级温度的影响(注: $G^*/\sin\delta=1\text{ kPa}$)

2.3 老化性能

沥青的老化性能常用沥青老化前后物理、流变性能或组成结构的变化幅度来表征。变化幅度越大,表明沥青的耐老化性能越差。复数模量老化指数[式(2)]常用来表征沥青的老化性能。

复数模量老化指数=
$$\frac{\text{老化后复数模量}}{\text{老化前复数模量}} \quad (2)$$

草木灰和消石灰对沥青短期老化性能的影响如图 5 所示。由图 5 可知:对于草木灰改性沥青而言,草木灰掺量为 5%~15%时,其耐老化性能均优于基质沥青,且在掺量为 10%时表现出最优的老化性能改善效

果。对于消石灰改性沥青,10%和 15%掺量的消石灰能提高基质沥青的抗老化性能,而 5%的掺量对沥青的耐短期老化表现出不利影响。消石灰改性沥青耐老化性能随消石灰掺量的变化原因还有待进一步研究。

草木灰和消石灰对沥青长期老化性能的影响如图 6 所示。

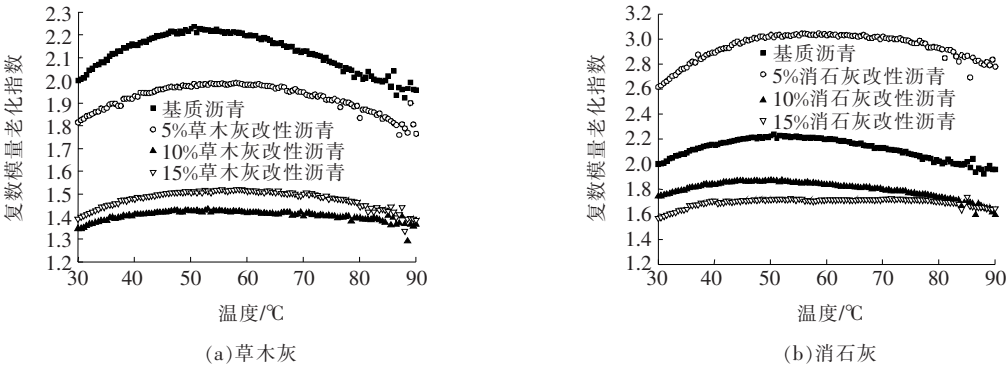


图 5 草木灰和消石灰对沥青短期老化性能的影响

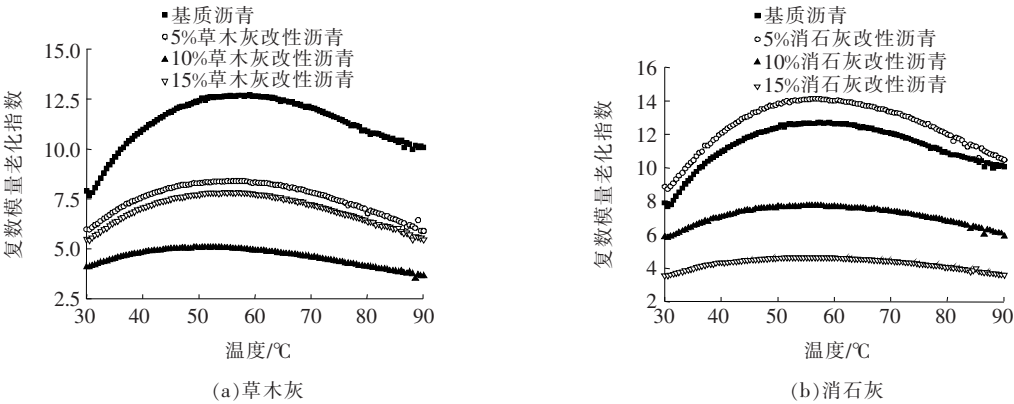


图 6 草木灰和消石灰对沥青长期老化性能的影响

由图 6 可知:与短期老化相比,长期老化后各沥青样品的复数模量老化指数均明显增加,说明各沥青样品的老化程度显著增加。对草木灰和消石灰改性沥青而言,其长期老化后复数模量随各自掺量的变化趋势同短期老化结果一致。有研究表明:消石灰对沥青抗老化性能的改善是因为消石灰可与沥青中的极性成分发生反应,中和后的极性成分被强烈地吸附在消石灰颗粒表面,抑制了热老化过程中轻质组分的挥发,也阻碍了与氧的接触,从而改善了沥青的抗老化性能。在相同的掺量下,草木灰表现出比消石灰更优的改善沥青抗短期和长期老化性能的效果,这可能是因为草木灰不仅能像消石灰一样同沥青中的某些组分反应从而起到吸附组分稳定胶体结构的作用,还可能与草木灰中所含丰富的矿质元素有关,这些矿质元素可能与沥青分子发生了化学键交联,具体的原因还需进一步深

入研究。

2.4 水稳定性

利用混合料在受到水损害前后劈裂破坏的强度比来评价草木灰和消石灰改性沥青对混合料水稳性能的影响。试验结果如图 7 所示。

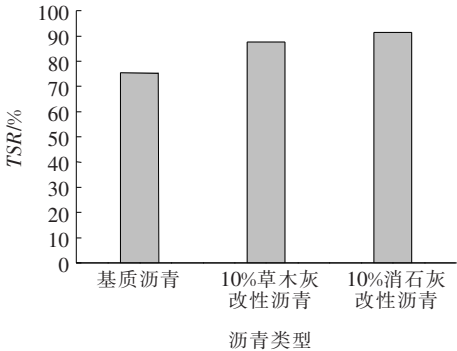


图 7 消石灰和草木灰对沥青水稳定性的影响

由图7可知:在10%掺量下,草木灰和消石灰均能提高基质沥青的水稳定性。与基质沥青相比,草木灰改性沥青和消石灰改性沥青的拉伸强度比TSR分别从75.3%提升到87.6%和91.4%,说明草木灰和消石灰均能改善沥青的水稳定性,且消石灰的改善效果更明显。

尽管两种改性沥青的黏度比基质沥青的黏度大,但是3种沥青对应的混合料的制备温度是根据各沥青黏温曲线所确定的,即在混合料拌和和压实温度下,各沥青的黏度均分别对应为0.17和0.28 Pa·s。此外,各沥青混合料采用的是相同的级配和油石比。因此,在混合料制备时,各沥青裹覆在集料上的膜厚度大致相同。此外,结构沥青的厚薄同沥青与矿料之间复杂的物理吸附和化学吸附有密切关系,与沥青本身的黏度没有明确的关系。因此,并不能根据沥青黏度大就判定结构沥青的含量更大。

该文研究的两种改性沥青能提高混合料抗水损能力,说明两种改性沥青与集料的黏附性好,在集料上所形成的结构沥青膜较厚,从而说明了两种改性沥青与集料间发生了较好的吸附作用。草木灰和消石灰最大的特点是二者均为碱性无机粉末,而沥青是偏酸性的物质,二者间的中和反应能减少沥青中集料所排斥的组分,从而改善了沥青与集料的亲和性。

2.5 红外光谱试验结果

为了进一步研究草木灰和消石灰对沥青的作用机理,分别对草木灰和消石灰及其改性沥青进行红外光谱测试,消石灰和草木灰的红外光谱图如图8所示。

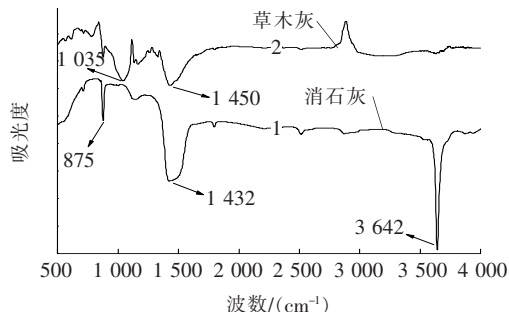


图8 消石灰和草木灰的红外光谱图

由图8可知:对于草木灰而言,碳酸钾是其主要成分,在1035、1450 cm^{-1} 处是 CO_3^{2-} 离子的特征吸收峰。对于消石灰而言,在875、1432、3642 cm^{-1} 处是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的特征吸收峰,尤其是3642 cm^{-1} 处的特征吸收峰最为明显。

消石灰和草木灰改性沥青的红外光谱图如图9所示。

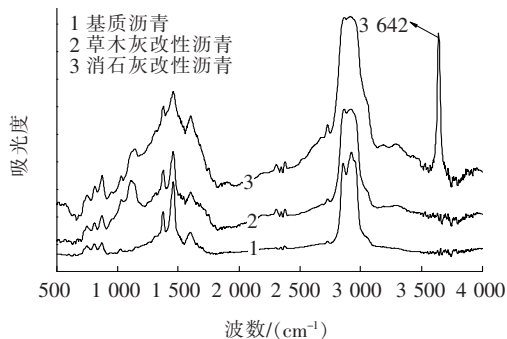


图9 消石灰和草木灰改性沥青的红外光谱图

由图9可知:与基质沥青相比,消石灰改性沥青在3642 cm^{-1} 处明显增加了一处特征峰,该特征峰的位置与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的特征峰位置一致,说明该特征峰是由掺入到基质沥青中的消石灰产生。消石灰的其他两处特征峰和草木灰中碳酸钾的特征峰由于与基质沥青中本来所表现的特征峰位置重合,故无法仅通过定性方法评价改性剂对沥青的影响。此外,对比消石灰、草木灰及其改性沥青、基质沥青的红外光谱图,发现两种改性沥青并未产生除改性剂和基质沥青所含特征峰以外的新的特征峰。但这并不意味着两种改性剂与基质沥青未发生化学反应,这可能是因为生成物的特征峰被改性剂或基质沥青已有的特征峰所掩盖。

3 结论

(1) 消石灰和草木灰均可以改善沥青的高温稳定性,且随着各自掺量的增加,改善效果愈明显。此外,草木灰和消石灰对沥青的高温性能具有相似的改善效果。

(2) 消石灰和草木灰均可以改善沥青的抗短期和长期老化性能。在相同掺量下,草木灰对沥青抗老化性能的改善效果优于消石灰。就改善沥青抗老化性能而言,草木灰的最优掺量为10%,消石灰的最优掺量为15%。

(3) 草木灰和消石灰均能改善沥青的水稳定性,且消石灰的改善效果更明显。

(4) 对比消石灰、草木灰及其改性沥青、基质沥青的红外光谱图,发现两种改性沥青并未产生除改性剂和基质沥青所含特征峰以外的新的特征峰。但这并不意味着两种改性剂与基质沥青未发生化学反应,这可能是因为生成物的特征峰被改性剂或基质沥青已有的特征峰所掩盖。因此,在后续的红外研究中,需要对关键特征峰进行定量分析。

膨润土—水泥—木屑混合物的抗渗性能试验研究

刘立新, 雷志强, 毛景权, 王刚, 朱绍勋

(中交一公局桥隧工程有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:使用膨润土—水泥固结体作为垂直防渗墙材料,具有良好的经济效益。该文尝试在水泥—膨润土泥浆中掺杂适量的木屑,并对膨润土—水泥—木屑在不同配合比下进行渗透试验,探究该混合物的渗透系数大小和考虑龄期时的渗透性能。结果表明:水泥和膨润土之间的比例对渗透系数的影响是相互的;木屑掺量较少时,混合物渗透系数随着木屑的增加基本不变,只有当木屑的掺量达到一定量时,混合物渗透系数随着木屑的增加而增大;随着龄期的增加,混合物渗透系数逐渐减小。此混合物可作为一种防渗材料应用于基坑工程的止水与灌注桩护壁材料,可有效节约工程成本。

关键词:膨润土—水泥—木屑混合物;渗透试验;渗透系数;防渗性能

膨润土具有良好的防渗能力,其可以作为水库、泥浆护壁、防水毯、盾构隧道、垃圾填埋场防渗墙、沥青道路等结构的防渗材料。为进一步增强膨润土的防渗性能以及强度,徐超等将膨润土掺入水泥形成固结泥浆并通过渗透试验说明其具有良好的渗透性能;水泥—膨润土泥浆亦在坝基帷幕、石坝防渗系统、搅拌桩、垃圾填埋场中得到广泛的应用。水泥—膨润土泥浆不仅具有良好的渗透性,而且具有较高的强度。作为钻孔灌注桩护壁防渗材料,往往对渗透性要求高,对强度要

求不高。从工程造价的角度上看,可以减少水泥的用量来降低水泥—膨润土泥浆的强度,然而,减少水泥的用量直接导致水泥—膨润土泥浆渗透系数的增加,从而不满足材料的渗透性要求。

该文在水泥—膨润土固结体中掺入木屑,探讨水泥—膨润土—木屑混合物的渗透性,进行不同配合比的渗透试验,研究膨润土、水泥、木屑三者之间的含量变化以及龄期对渗透系数的影响,提出不同膨润土—水泥—木屑混合物配比的适用性。木屑的密度远低于

参考文献:

- [1] Chen ZH, Zhang HL, Duan HH. Investigation of Ultraviolet Radiation Aging Gradient in Asphalt Binder[J]. Construction and Building Materials, 2020.
- [2] Chen ZW, Wu SP, Xiao Y, et al. Effect of Hydration and Silicone Resin on Basic Oxygen Furnace Slag and its Asphalt Mixture[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112:392—400.
- [3] Pérez—Jiménez F, Miró R, Martínez A, et al. Analysis of the Mechanical Behaviour of Bituminous Mixtures at Low Temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2013, 46:193—202.
- [4] Liu JY, Sun YR, Wang WY, et al. Using the Viscoelastic Parameters to Estimate the Glass Transition Temperature of Asphalt Binders[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153:908—918.

- [5] 杨文锋, 赖跃. 消石灰对沥青胶浆及沥青混合料体积性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015(增刊).
- [6] 朱红斌. 消石灰改性沥青混合料的原理[J]. 科学技术创新, 2018(16).
- [7] 张祥, 李晓林, 郑广宇, 等. 消石灰提高沥青与酸性石料粘附性机理的研究[J]. 中外公路, 2013(4).
- [8] 李萍, 张盼, 念腾飞, 等. 消石灰和水泥改性沥青混合料的路用性能[J]. 兰州理工大学学报, 2018(2).
- [9] 吕捷. 改性沥青的紫外老化研究[J]. 石油沥青, 2014(4).
- [10] 朱凯, 黄志义, 吴珂, 等. 消石灰对沥青阻燃性能的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015(5).
- [11] 王前进. 秸秆发电和气化残余物作为基质和肥料的应用研究[D]. 南京农业大学硕士学位论文, 2009.
- [12] Zhang HL, Zhu CZ, Yu JY, et al. Influence of Surface Modification on Physical and Ultraviolet Aging Resistance of Bitumen Containing Inorganic Nanoparticles[J]. Construction and Building Materials, 2015, 98:735—740.

收稿日期:2020—04—26(修改稿)

作者简介:刘立新,男,硕士,高级工程师, E-mail:1162385833@qq.com