

# 纳米改性沥青混合料路用性能研究

彭子茂

(云南建博工程集团有限公司, 云南 昆明 650200)

**摘要:** 介绍了纳米改性沥青混合料的原材料及配合比设计, 分析了纳米改性沥青的改性机理; 以 4%、5%、6% 3 种纳米 SiO<sub>2</sub> 和 CaCO<sub>3</sub> 复合材料掺量作对比, 通过车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔和冻融劈裂试验综合评价了纳米改性沥青混合料的高、低温性能及水稳定性, 结果表明, 纳米沥青混合料的高温性能及水稳定性较好、低温性能一般, 整体上纳米改性沥青混合料的路用性能较优, 最佳纳米 SiO<sub>2</sub> 和 CaCO<sub>3</sub> 复合材料掺量为 5%。

**关键词:** 公路; 纳米材料; 改性沥青; 路用性能

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)03-0070-03

相比其他改性材料, 纳米材料具有较好的界面效力, 纳米粒子表面存在较强的活性原子且易和其他原子结合而使其稳定, 即纳米微粒活化。纳米改性及纳米复合就是利用了纳米表面活性原子具备的表面效应、体积效应及宏观量子隧道效应等独有特性。目前对纳米改性聚合物的研究较关注, 主要是利用纳米材料对沥青进行改性, 如美国 Eidt 等用聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料对沥青改性, 但至今

未见成型产品。该文采用纳米 SiO<sub>2</sub> 和 CaCO<sub>3</sub> 复合材料对重沥青改性制得纳米沥青, 研究其路用性能。

## 1 原材料及配合比设计

### 1.1 原材料

#### 1.1.1 基质沥青

选择南通某化工公司生产的 90<sup>#</sup> 重沥青作为基质沥青, 其主要技术指标见表 1, 满足沥青路面施工

表 1 90<sup>#</sup> 重沥青性能指标测试结果

测试项目	测试值	要求值	试验依据	
25 °C 针入度/(0.1 mm)	88.7	80~100	T0604	
软化点/°C	45.7	≥42	T0606	
15 °C 延度/cm	>150	≥100	T0605	
针入度指数	-0.52	-1.5~1.0	T0604	
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.015	实测	T0603	
60 °C 动力粘度/(Pa·s)	185	≥140	T0620	
TOFOT 老化后 性能指标	质量损失/%	-0.2	±0.8	T0610
	残留针入度比/%	74.6	≥57	T0604
	15 °C 残留延度/cm	47.3	≥20	T0605

技术规范的要求。

#### 1.1.2 纳米材料

选取南京某公司生产的纳米 SiO<sub>2</sub> 和 CaCO<sub>3</sub> 复合材料作为沥青改性材料, 该材料为粉末体, 平均尺寸约 17 nm, 纯度较高, 达 99.92%。它能和沥青很好地融合在一起, 进而改变沥青的高温特性, 加强其与矿料的粘结性; 还具有吸取由太阳光传来的紫外

线的性能, 可延缓沥青路面的老化时间, 增强路面的耐久性。

#### 1.1.3 矿料

矿料主要为粗、细集料及矿粉, 其中粗、细集料为石灰岩, 矿粉由石灰岩磨制而成。矿料的技术性能指标测试结果见表 2, 各档集料密度试验结果见表 3, 均满足规范要求。

表2 集料的技术性能测试结果

测试项目	测试值	要求值
石料压碎值/%	16.8	≤28
洛杉矶磨耗损失/%	15.4	≤30
坚固性/%	3.5	≤12
吸水率/%	1.0	≤3
针片状含量/%	8.5	≤18
软石含量/%	2.2	≤5

表3 各档集料密度试验结果

颗粒粒径/mm	表观相对密度	毛体积相对密度
13.20	2.829	2.809
9.50	2.828	2.805
4.75	2.831	2.798
2.36	2.792	2.746
1.18~0.075	2.723	2.723
矿粉	2.648	2.648

## 1.2 配合比设计

采用AC级配结构的改进型GAC,该结构在广东地区应用较普遍,技术也较成熟,可提高混合料的抗高温车辙性能及密水性能。最大公称粒径为13 mm的GAC-13矿料级配见表4。

根据GAC-13合成级配核算各类材料需求量

表4 GAC-13矿料级配设计

级配类型	各粒径(mm)的通过百分率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100.0	75.0	45.0	35.0	25.0	17.0	14.0	10.0	7.0
下限	95.0	55.0	24.0	15.0	12.0	8.0	5.0	5.0	3.0
中值	97.5	65.0	34.5	25.0	18.5	12.5	9.5	7.5	5.0
合成级配	95.1	73.1	44.6	30.9	20.9	13.1	8.2	5.7	4.0

并分别用油石比4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%拌制沥青混合料,按照规范要求的拌和和击实成型温度制作马歇尔试样,测得马歇尔体积参数,确定孔隙率为3%时的最佳油石比为5.1%。

## 2 纳米沥青制备工艺及机理分析

### 2.1 制备工艺

因为纳米SiO<sub>2</sub>和CaCO<sub>3</sub>复合材料的比表面积较大,表面结合能也很高,易产生结团,为使纳米材料均匀分散于胶结物中,采用高速剪切机进行搅拌。

首先将90#重沥青在烘箱中加热到165℃左右取出,置于高速剪切机加热设备上,启动加热设备使沥青温度保持在165℃,然后将已备好的占沥青用量3%的纳米材料掺入沥青中。为让掺入的纳米颗粒分散于沥青中,先用玻璃棒搅动3 min,然后开启高速剪切机以6 000 r/min的速率剪切35 min。对剪切好的沥青进行基本性能测试,测试结果见表5。

表5 沥青的技术性能

沥青类型	25℃针入度/(0.1 mm)	软化点/℃	10℃延度/cm	当量软化点/℃	当量脆点/℃	TOFOT老化后性能指标		
						质量损失/%	残留针入度比/%	10℃残留延度/cm
90#基质沥青	82.5	43.6	89.4	49.1	-15.1	0.12	64.6	18.4
3%纳米改性沥青	75.8	45.9	145.7	47.8	-14.5	0.05	84.6	34.7

从表5可看出:掺入3%纳米颗粒后沥青的针入度有所下降、软化点略微上升,残留针入度比比普通沥青增加31%,说明纳米改性沥青的高温特性较好且温度敏感性小;纳米沥青的延度比基质沥青大很多,其残留延度也较大,说明纳米改性沥青的低温特性有所改善。

### 2.2 机理分析

由于纳米SiO<sub>2</sub>和CaCO<sub>3</sub>复合材料的比表面积和表面能都较大,颗粒表面活性很高,与沥青的吸附作用很强,沥青与改性颗粒的粘结性明显加强,沥青

的改性就是其物理变化的过程。另外,改性沥青在高速剪切力的作用下,基质沥青中的小部分分子键发生断裂,这些化学键又会和纳米粒子表面原子重新组合为新的化学结构,改性过程中也存在微弱的化学作用。

为了验证纳米材料的改性机理,通过红外光谱和X射线衍射试验对其微观结构变化进行分析。分别观察90#重沥青和纳米改性沥青的红外光谱图,发现二者的主要吸收峰并没有显著改变,仅有强度强弱之分;X射线试验中也未发现两种沥青的主

衍射峰及次衍射峰角发生偏移,也只是在强度上有了一些变化。说明纳米改性沥青的过程主要是物理变化。但也并非不存在化学变化,试验中发现纳米改性沥青于波长  $1\ 000\sim 500\ \text{cm}^{-1}$  处出现微量新基团,衍射图谱里也存在新衍射角,说明在纳米改性沥青过程中有新物质生成,存在微弱的化学变化。纳米改性沥青绝非纳米颗粒和沥青的混合叠加,而是两者之间有着复杂的物理及化学变化,且主要是物理作用。

### 3 路用性能研究

以 4%、5%、6% 3 种不同纳米颗粒掺量的改性沥青和普通沥青作对比,评定纳米改性沥青用于路面的各方面使用性能。

#### 3.1 水稳定性

一般情况下,由于水、温度和外部载荷的综合作用,路面结构内存在的水会产生动水压,水渐渐成为沥青和矿料之间的障碍而使二者间的粘结力降低,表现为矿料外表层的沥青脱落、面层粒料散落并逐渐向周围扩展导致坑槽等病害。采取浸水马歇尔及冻融劈裂试验评定纳米改性沥青混合料的水稳性,试验结果见表 6。

表 6 沥青混合料水稳定性试验结果

混合料类型	浸水 48 h 稳定度/kN	残留稳定度/%	冻融后劈裂抗拉强度/MPa	劈裂抗拉强度比/%
普通沥青混合料	7.07	81.7	0.520	83.6
纳米改 4% 纳米	7.48	84.6	0.573	85.7
性沥青 5% 纳米	7.81	89.4	0.616	92.5
混合料 6% 纳米	7.69	88.3	0.605	90.3

由表 6 可知:与基质沥青混合料相比,纳米改性沥青混合料的浸水 48 h 稳定度有一定提高,残留稳定度也较高;当纳米改性材料掺量持续增加时,改性沥青混合料的浸水 48 h 稳定度及残留稳定度出现先增加后降低的趋势,掺量 5% 时最佳;纳米改性沥青混合料的劈裂抗拉强度比比基质沥青的大,说明纳米  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  复合材料可增强沥青结合料的水稳性能,在 5% 掺量时性能最佳。

#### 3.2 高温稳定性

沥青混合料是一种粘弹性材料,在夏季高温季节或重载及超载车辆的重复作用下,路面会产生变

形,甚至是不可恢复的永久性变形,致使沥青路面渠化并形成车辙及推移等病害,影响路面的使用质量和行车舒适性。采用轮辙试验分析纳米改性沥青结合料的高温特性,试验结果见表 7。

表 7 沥青混合料轮辙试验结果

混合料类型	变形量/mm		动稳定度/(次·min <sup>-1</sup> )	
	45 min	60 min		
普通沥青混合料	7.12	7.83	887	
纳米改性沥青混合料	4% 纳米	6.35	6.92	1 105
	5% 纳米	5.42	5.81	1 615
	6% 纳米	5.77	6.25	1 313

从表 7 可以看出:当纳米  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  添加量不断增加时,改性沥青混合料的动稳定度呈现先增加后降低的趋势,在 5% 掺量时动稳定度最大,相比普通沥青混合料增加 82.1%。说明在高温特性方面复合纳米  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  对沥青的改善效果很好,纳米改性沥青混合料的高温稳定性得到很大提高。另外,随着纳米改性材料掺量的不断增加,一定时间内的车辙量先减小而后略微增加,在 5% 掺量时最佳,表明纳米改性沥青混合料在高温条件下抵抗车辙的性能较强。

#### 3.3 低温抗裂性

沥青路面结构表面层与外界直接接触,当外界温度突然降低时,面层结构内产生巨大拉应力,当应力来不及松弛时就会出现应力累积,最终导致路面开裂。采用低温弯曲试验评定纳米改性沥青混合料的低温抗裂特性,试验结果见表 8。

表 8 沥青混合料低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度/MPa	破坏弯拉应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量/MPa	
普通沥青混合料	7.18	3 698	1 941	
纳米改性沥青混合料	4% 纳米	7.21	3 740	1 926
	5% 纳米	7.33	3 824	1 915
	6% 纳米	7.31	3 847	1 899

从表 8 可看出:纳米改性沥青混合料的抗弯拉强度和破坏弯拉应变均高于普通沥青混合料,说明纳米改性沥青混合料的低温特性比普通沥青混合料的好,但提高幅度很小;随着复合纳米  $\text{SiO}_2/\text{CaCO}_3$  掺量的增加,纳米改性沥青混合料的低温性能改善

(下转第 83 页)

### 5 结语

该项目水稳碎石基层经历春天的风吹、夏天的湿热、秋天的干燥考验均未出现裂缝,说明其配合比设计及施工工艺对抑制裂缝有效。结论如下:

(1) 原材料。应严格控制混合料中粉料的塑性指数,使用过 0.075 mm 后的试样,其塑性指数应 ≤ 17,同时混合料(未含水泥)0.075 mm 通过量控制在 ≤ 3%。考虑到水稳碎石层后期强度增加较多,应尽量选用 32.5 级水泥。选用初凝时间长的道路专用水泥对减少水化热、抑制裂缝发生有利。

(2) 配合比设计。该项目采用的优选级配曲线的方法简洁、易实现。对是否采用振动压实仪不能一概而论,应视实际效果而定,从干缩理论分析,混合料中最佳含水率低,有利于抑制干缩带来的危害。应重视通过提高压实度增加骨料之间的嵌挤力,从而提高强度,最大限度地减少水泥剂量。同时应重视实际效果,可通过钻芯取样进行抗压强度试验核实其实际效果。对水泥用量,应根据钻芯强度检测结果,在保证钻出完整、光滑芯样的前提下进行微调,确定最佳水泥剂量。骨架型级配中粗骨料对强度的贡献比密级配的大,可进一步减少水泥用量,对抑制裂缝有利。

(3) 施工工艺。两次摊铺、一次成型工艺可增强水稳基层的整体性,更符合柔性路面半弹性空间

设计理论。骨架密实型级配因粉料减少,最佳含水量小,需更大的碾压设备方能压实。应注意洒水保湿养生,其中覆盖土工布的效果比其他方式的好,能及时补充水泥水化过程中消耗的水分,使水化反应大部分在养护期间完成,减少未水化完全的水泥数量,同时通过蒸发带走热量,有利于抑制裂缝。

### 参考文献:

- [1] 沙庆林.高等级公路半刚性基层沥青路面[M].北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 查旭东,曹艳霞,刘国才.抗裂型水泥稳定碎石配合比设计及路用性能研究[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2013,10(1).
- [3] JTG/T F20-2015,公路路面基层施工技术细则[S].
- [4] 唐炯,刘朝辉,沙庆林.重载交通长寿命半刚性基层沥青路面浅析[J].西部交通科技,2007(6).
- [5] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [6] 冯新军,黄河,查旭东.骨架密实型水泥稳定碎石基层的运用[J].公路与汽运,2004(1).
- [7] 温伟标,赵伟,杨海玲.骨架密实型水泥稳定碎石基层配合比设计及施工应用[J].中外公路,2010,30(2).
- [8] 朱梦良,谢成.骨架密实型水泥稳定碎石混合料质量波动规律[J].公路与汽运,2012(2).
- [9] JTG E51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].

收稿日期:2016-11-22

\*\*\*\*\*

(上接第 72 页)

程度先增加后减少且效果不佳,掺量过大时甚至可能导致低温性能降低,但整体上还是比普通沥青混合料的低温特性好。

### 4 结论

(1) 纳米材料对于沥青的改性过程主要是物理变化,也存在较弱的化学变化。

(2) SiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> 纳米材料对沥青混合料水稳稳定性有明显的改善作用,但掺量不宜过大,掺量 5% 时水稳稳定性最佳。

(3) 随着纳米材料的不断掺入,改性沥青混合料的动稳定度呈现先增加后降低的趋势,在复合纳米 SiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> 含量 5% 时达到最大,相比普通沥青混合料增加 82.1%。在高温特性方面,复合纳米 SiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> 对沥青的改善效果很好,在高温条件

下的抵抗车辙性能较强。

(4) 随着纳米材料的掺加,改性沥青混合料的低温性能改善程度先增加后减少且整体效果不佳,掺量过大时甚至可能导致低温性能降低。在低温性能上,纳米材料对于沥青混合料的改善作用一般。

### 参考文献:

- [1] 王昊鹏,龚明辉,杨军,等.纳米改性沥青研究进展[J].石油沥青,2015,29(3).
- [2] 孙璐,朱浩然,辛宪涛,等.纳米改性沥青制备和路用性能研究[J].中国公路学报,2013,26(1).
- [3] 张金升,李志,李明田,等.纳米改性沥青相容性和分散稳定机理研究[J].公路,2005(8).
- [4] 孙璐,辛宪涛,任蛟龙.纳米改性沥青混合料路用性能[J].东南大学学报:自然科学版,2013,43(4).

收稿日期:2016-11-14