

不同改性剂对沥青混合料路用性能的影响研究

李胜

(湖南省交建工程集团有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 为改善沥青的性能,提高沥青路面的使用性能,研究不同粘合材料改性沥青的性能及其混合料的路用性能。通过马歇尔试验优化配合比,得到橡胶粉的最佳用量为 20%、最佳油石比为 7.2%;采用红外光谱分析仪分析不同改性材料的微观结构性质;通过车辙试验、低温抗弯拉试验、冻融劈裂试验及三分点弯曲试验分析不同改性材料对改性沥青混合料路用性能的影响。结果表明,相比于 SBS 改性沥青混合料,ARAC-13 橡胶沥青混合料的各项路用性能更好,细度为 40 目的橡胶改性沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性均高于 60 目橡胶改性沥青混合料。

关键词: 公路;改性剂;沥青混合料;路用性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)06-0065-04

随着国家经济的快速发展,人们对资源节约及环境保护越来越重视。采用废旧轮胎制成的橡胶粉改性沥青,既可实现废旧轮胎的再利用,减少环境污染,还可提高路面的使用性能,降低路面反射率,减少交通噪声,降低维护成本。周超、余苗等的研究表明,橡胶改性沥青路面的疲劳性能优于 SBS 改性沥青路面,橡胶掺量为 20%时橡胶沥青路面的疲劳寿命最好。云庆庆、王岚等认为橡胶粉的掺入不仅能改变沥青混合料结构镶嵌状态,还能提高橡胶改性沥青混合料路面的整体弹性。该文在分析不同细度橡胶改性沥青和 SBS 改性沥青微观结构的基础上,通过高温车辙试验、低温抗弯拉试验、冻融劈裂试验

及三分点小梁弯曲疲劳试验等分析不同改性剂对沥青混合料路用性能的影响。

1 材料性能及配合比优化

1.1 材料性能

(1) 改性沥青。基质沥青选择 90# A 级石油沥青。实验室确定橡胶粉掺量为 20%。基质沥青、40 和 60 目橡胶改性沥青及 SBS 改性沥青的性能试验结果见表 1。

(2) 集料。粗集料和细集料均为玄武岩,其中粗集料的粒径分别为 16~9.5 和 9.5~4.75 mm,细集料粒径小于 2.36 mm。其技术指标检测结果见表 2。

表 1 不同沥青性能试验结果

| 沥青种类 | 针入度/ (0.1 mm) | 软化点/℃ | 回弹率 (25℃)/% | 动力黏度/ (Pa·s) | 5℃延度/cm |
|----------|------------------|-------|----------------|-----------------|---------|
| 普通沥青 | 73.1 | 53.2 | 64.4 | 0.54 | 13 |
| 40 目橡胶沥青 | 57.0 | 64.0 | 72.3 | 3.10 | 16 |
| 60 目橡胶沥青 | 61.2 | 58.0 | 76.5 | 3.30 | 14 |
| SBS 改性沥青 | 65.3 | 54.2 | 66.5 | 0.78 | 21 |

表 2 玄武岩集料的技术指标试验结果

| 项目 | 规范值 | 实测值 |
|------------------------------|-------|-------|
| 表观密度/(g·cm ⁻³) | ≥2.5 | 2.74 |
| 松散堆积密度/(g·cm ⁻³) | ≥1.35 | 1.545 |
| 空隙率/% | <47 | 43.4 |
| 含泥量/% | ≤1 | 0.25 |
| 压碎值/% | ≤20 | 13.4 |
| 针片状含量/% | ≤15 | 6.9 |

(3) 矿粉。填料为石灰岩矿粉,要求其干燥、干净,其技术指标见表 3,符合规范中沥青面层所用矿粉的质量要求。

1.2 配合比设计

(1) 级配。从改性沥青混合料耐久性方面优化级配设计,可提高不同细度橡胶改性沥青及与集料的粘附性,提高橡胶沥青路面的抗脱落能力。沥青混合料的合成级配见图 1。

表3 石灰岩矿粉的技术指标试验结果

| 项目 | 规范值 | 实测值 |
|--|------------|-------|
| 表观密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | ≥ 2.5 | 2.71 |
| 含水量/% | ≤ 1 | 0.2 |
| $< 0.6 \text{ mm}$ | 100 | 100 |
| 粒度范围 | | |
| $< 0.15 \text{ mm}$ | 90~100 | 93.4 |
| $< 0.075 \text{ mm}$ | 75~100 | 86.5 |
| 亲水系数 | < 1 | 0.5 |
| 塑性指数 | < 4 | 2.1 |
| 外观 | 无团粒结块 | 无团粒结块 |

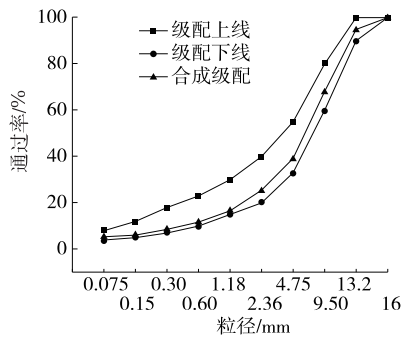


图1 沥青混合料的合成级配

(2) 最佳油石比。根据集料设计级配,采用5种油石比进行马歇尔试验,结果见表4。由表4可知:油石比为7.2%时,马歇尔试验所得空隙率接近设计空隙率,故确定最佳油石比为7.2%。同时通过相关试

验得到 SBS 改性沥青的最佳油石比为 4.8%。

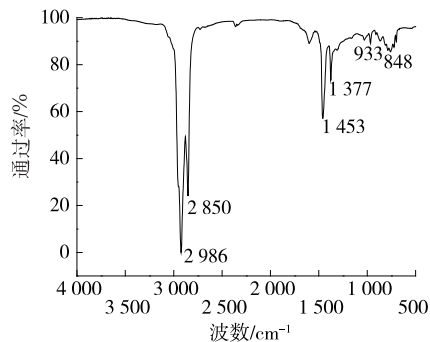
表4 沥青混合料马歇尔试验结果

| 油石比/ % | 实测 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 空隙 率/% | 沥青 饱和 度/% | 稳定度/ kN | 流值/ (0.1 mm) | 矿料 间隙 率/% |
|-----------|--|-----------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| 6.8 | 2.274 | 4.9 | 70.9 | 7.67 | 23.0 | 20.4 |
| 7.0 | 2.282 | 4.5 | 73.5 | 7.90 | 25.2 | 20.6 |
| 7.2 | 2.289 | 4.6 | 76.6 | 8.12 | 28.2 | 26.5 |
| 7.4 | 2.251 | 4.1 | 75.1 | 7.48 | 27.1 | 20.7 |
| 7.6 | 2.274 | 4.8 | 77.1 | 7.98 | 29.7 | 22.5 |

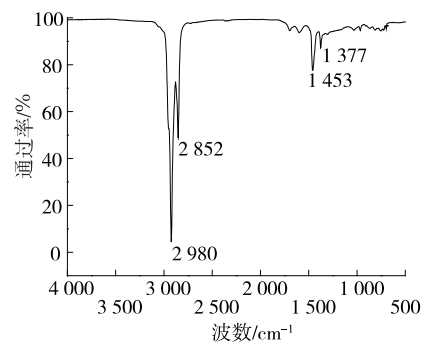
2 不同改性沥青的微观结构分析

从微观结构分析不同改性沥青材料的化学物质结构,可更好地研究不同改性沥青混合料的路用性能。采用红外光谱仪分析基质沥青、40 和 60 目橡胶改性沥青、SBS 改性沥青的微观结构,图 2 为不同粘合材料的傅里叶红外光谱分析结果。

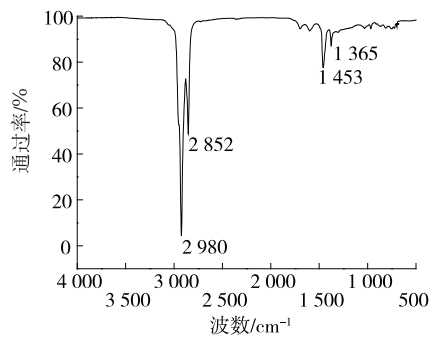
由图 2 可知:这 4 种沥青的红外光谱曲线在 2980 、 2852 、 1453 和 1377 cm^{-1} 处有明显的特征峰值,其中 2980 和 2852 cm^{-1} 处的特征峰值属于饱和烃及其衍生物的 C—H 键和—CH₂—键的伸缩振动, 1453 、 1377 cm^{-1} 处的特征峰值属于烷烃中 C—H 键的弯曲振动。比较橡胶沥青与基础沥青, $800 \sim 950 \text{ cm}^{-1}$ 附近的强度略有不同,在 $934 \sim 848$



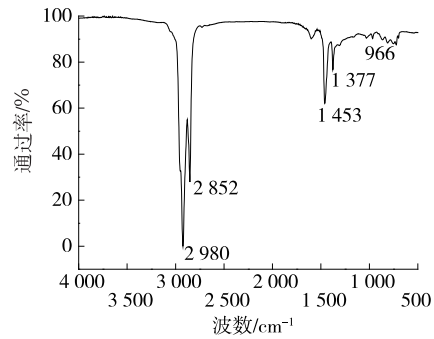
(a) 基质沥青



(b) 40 目橡胶沥青



(c) 60 目橡胶沥青



(d) SBS 改性沥青

图2 不同黏合材料的红外光谱分析

cm^{-1} 处基础沥青中有 2 个明显的特征峰,而橡胶沥青在 $800\sim 950\text{ cm}^{-1}$ 附近变得平缓。 $800\sim 950\text{ cm}^{-1}$ 左右的特征峰属于芳香化合物的 $=\text{C}-\text{H}$ 键的平面外弯曲振动。表明在基质沥青中掺入橡胶粉后主要发生物理变化而非化学反应;橡胶屑与沥青的化学反应较弱,只有部分芳香族化合物消失。SBS 改性沥青的红外光谱与其他沥青的光谱基本相同,其特征峰位于 966 cm^{-1} ,是 SBS 改性剂本身的属性。

3 不同改性沥青混合料的路用性能

3.1 改性沥青混合料的高温稳定性

分别采用 40、60 目 ARAC-13 橡胶改性沥青和 SBS 改性沥青混合料成型 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 试件进行车辙试验,试验时保证车轮方向与成型试件碾压方向一致,试验结果见表 5、图 3。

由表 5 和图 3 可知:温度为 50 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在

表 5 改性沥青混合料车辙试验结果

| 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 荷载/ MPa | 不同改性沥青混合料的车辙深度/ mm | | | 不同改性沥青混合料的动稳定度/(次 $\cdot\text{mm}^{-1}$) | | |
|------------------------|------------------|-----------------------------|--------|-------|---|--------|-------|
| | | 40 目橡胶 | 60 目橡胶 | SBS | 40 目橡胶 | 60 目橡胶 | SBS |
| 50 | 0.7 | 1.285 | 1.311 | 1.329 | 9 042 | 8 834 | 8 665 |
| | 1.0 | 1.467 | 1.497 | 1.598 | 7 936 | 7 890 | 7 690 |
| | 1.4 | 1.983 | 1.981 | 1.984 | 6 516 | 6 562 | 6 249 |
| 60 | 0.7 | 1.496 | 1.536 | 1.573 | 7 172 | 6 845 | 6 618 |
| | 1.0 | 1.794 | 1.828 | 1.968 | 5 987 | 5 768 | 5 528 |
| | 1.4 | 2.472 | 2.645 | 2.659 | 4 340 | 4 315 | 3 783 |
| 70 | 0.7 | 1.890 | 1.934 | 1.982 | 4 990 | 4 688 | 4 471 |
| | 1.0 | 2.402 | 2.545 | 2.767 | 3 352 | 3 211 | 3 047 |
| | 1.4 | 3.667 | 3.827 | 4.065 | 1 009 | 987 | 879 |

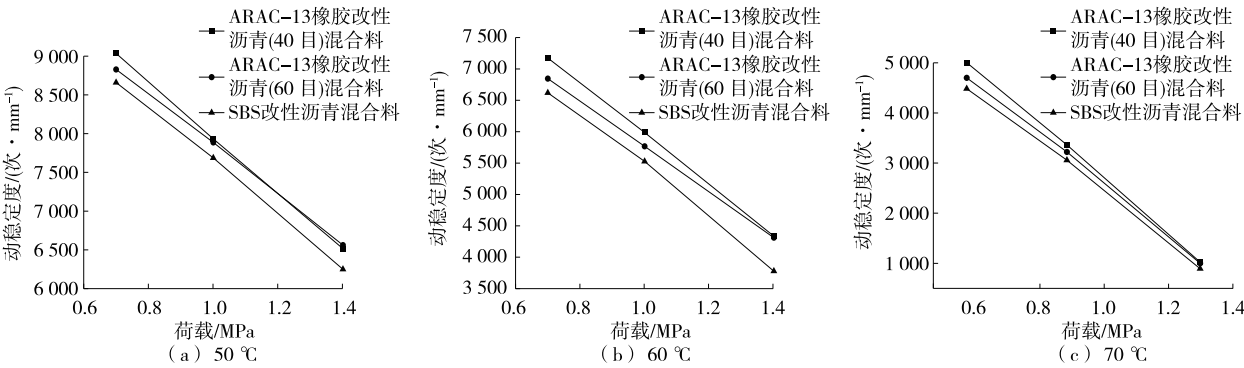


图 3 不同荷载下各改性沥青混合料的动稳定度

$0.7、1、1.4\text{ MPa}$ 荷载作用下,ARAC-13 橡胶改性沥青混合料的动稳定度明显高于 SBS 改性沥青混合料,试验温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时两类混合料的动稳定度接近;ARAC-13 橡胶改性沥青混合料的车辙深度小于 SBS 改性沥青混合料;在不同温度和荷载下,40、60 目 ARAC-13 橡胶改性沥青混合料的动稳定度差别都很小。ARAC-13 橡胶改性沥青混合料的高温性能优于 SBS 改性沥青混合料,这是因为在沥青混合料中掺入橡胶粉能提高混合料的黏弹性,进而提高沥青混合料的高温稳定性。

3.2 改性沥青混合料的低温抗裂性

沥青路面的开裂与混合料的低温抗裂性能相关,可通过测试沥青混合料的低温性能来分析沥青

路面的低温抗裂性。分别成型 40、60 目橡胶改性沥青混合料和 SBS 改性沥青混合料试件进行低温抗弯拉试验,分析不同改性剂对沥青混合料低温抗裂性能的影响,试验结果见表 6。

表 6 改性沥青混合料低温弯拉试验结果

| 混合料类型 | 抗弯拉强度 | | |
|---------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| | 度/ MPa | 弯拉应变/ $\mu\epsilon$ | 弯拉劲度模量/ MPa |
| ARAC-13 橡胶改性沥青 40 目 | 9.54 | 4 463 | 1 917.2 |
| 60 目 | 8.67 | 3 941 | 2 232.4 |
| SBS 改性沥青 | 7.84 | 3 741 | 2 864.1 |

由表 6 可知:3 种改性沥青混合料的极限破坏应变均大于 $2\,500\text{ }\mu\epsilon$,符合要求。橡胶粉为 40 目时,橡胶改性沥青混合料的弯拉应变变为 $4\,463\text{ }\mu\epsilon$,比

SBS 改性沥青混合料高 21.8%,说明橡胶改性沥青混合料的低温抗裂性能较好。随着橡胶粉细度的增大,橡胶改性沥青混合料的弯拉劲度模量增大。沥青混合料的弯拉劲度模量较低,则其柔韧性较好,采用 40 目橡胶改性沥青混合料可提高沥青路面的低温抗裂性能。

3.3 改性沥青混合料的水稳定性

通过冻融劈裂试验评价沥青混合料的水稳定性。对冻融循环作用后的 3 种改性沥青混合料进行劈裂试验,得到其劈裂强度比(见表 7)。

由表 7 可知:40、60 目 ARAC-13 橡胶改性沥

表 7 改性沥青混合料冻融劈裂试验结果

| 混合料类型 | | 强度/MPa | | 冻融劈裂强度比/% |
|----------------|------|--------|-------|-----------|
| | | 冻融劈裂前 | 冻融劈裂后 | |
| ARAC-13 橡胶改性沥青 | 40 目 | 0.98 | 1.07 | 93 |
| | 60 目 | 0.92 | 1.04 | 89 |
| SBS 改性沥青 | | 7.84 | 0.65 | 79 |

表 8 3 种改性沥青混合料疲劳试验结果

| 混合料类型 | | 微应变/ $\mu\epsilon$ | 初始刚度/ MPa | 结束刚度/ MPa | 累计作用 次数/次 | 累计消耗 能/MPa |
|----------------|------|--------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| ARAC-13 橡胶改性沥青 | 40 目 | 300 | 4 524.6 | 2 596.6 | 124 548 | 64 029 |
| | 60 目 | 300 | 4 530.0 | 2 387.4 | 107 812 | 58 798 |
| SBS 改性沥青 | | 300 | 5 546.0 | 2 860.5 | 68 423 | 34 928 |

青混合料。这是由于橡胶粉的掺入,使沥青混合料的柔韧性得到提高,进而使其抗疲劳性能得到提升。40 目橡胶改性沥青混合料的疲劳作用次数大于 60 目橡胶改性沥青混合料,说明橡胶粉粒径对橡胶改性沥青混合料的路用疲劳寿命有一定影响。

4 结论

(1) 橡胶改性沥青的最佳橡胶粉掺量为 20%,最佳油石比为 7.2%;SBS 改性沥青的最佳油石比为 4.8%。

(2) 橡胶改性沥青主要发生物理变化而非化学反应,不同细度橡胶粉改性沥青具有相同的光谱;SBS 改性沥青的红外光谱与橡胶改性沥青的基本相同,但出现新的特征峰 966 cm^{-1} ,这是 SBS 改性剂本身的属性,使其产生新的官能团。

(3) 橡胶改性沥青混合料的各项路用性能均优于 SBS 改性沥青混合料;橡胶粉细度对橡胶改性沥青混合料路用性能有一定影响,40 目橡胶改性沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性能均优于 60 目橡胶改性沥青混合料。相比其

青和 SBS 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比分别为 93%、89%、79%,水稳定性能为 ARAC-13 橡胶改性沥青(40 目)>ARAC-13 橡胶改性沥青(60 目)>SBS 改性沥青。这是因为基质沥青中掺入橡胶粉能吸收饱和芬和轻质油分芳香芬,使沥青中的沥青酸和酸酐含量增加,从而提高沥青与集料的黏附性,沥青混合料的水稳定性得到改善。

3.4 改性沥青混合料的疲劳性能

对 3 种改性沥青混合料使用 MTS 材料试验机进行三分点小梁弯曲疲劳试验,采用应变控制方法,试验温度为 15℃。通过建立沥青混合料疲劳寿命与能量消耗累积的关系,分析 3 种改性沥青混合料的疲劳性能。试验结果见表 8。

由表 8 可知:40、60 目 ARAC-13 橡胶改性沥青和 SBS 改性沥青混合料的疲劳作用次数分别为 124 548、107 812、68 423 次,ARAC-13 橡胶改性沥青混合料的疲劳作用次数明显大于 SBS 改性沥

他改性剂,采用 40 目橡胶对沥青改性不仅经济效益高,还能提高沥青路面的使用性能。

参考文献:

- [1] 虞峥.基于江西道路条件的废旧轮胎橡胶沥青路面应用研究[J].中外公路,2017,37(3):50-53.
- [2] 朱兴龙,肖鹏,余郁.纤维胶粉复合改性沥青混合料性能试验研究[J].公路,2012(9):159-164.
- [3] 高陈丽,凌天清.废胶粉改性沥青作用机理及性能研究[J].公路与汽运,2010(5):92-95.
- [4] 周超.橡胶沥青混合料疲劳寿命关键影响因素分析[J].中外公路,2015,35(1):310-314.
- [5] 余苗,吴国雄.干法橡胶改性沥青混合料配合比设计研究[J].建筑材料学报,2014,17(1):100-105.
- [6] 云庆庆,王晓倩,曹康.克拉玛依改性沥青的制备及其性能研究[J].化工新型材料,2017(12):190-193.
- [7] 王岚,胡江三,陈刚.聚合物改性沥青微观结构及高温性能试验研究[J].公路工程,2014,39(5):39-43.
- [8] 杨光,申爱琴.废旧橡胶粉与 SBS 复合改性沥青混合料

(下转第 81 页)

易施工性、安全性等方面优化支护方案。对于其他腰梁锚杆支护,锚固角同样可在 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 灵活选择。

4 结论与展望

根据兰州南绕城高速公路深挖路堑边坡工程 ZK38+960 横断面图建立路堑边坡几何模型,对边坡在不同支护条件下的安全稳定性进行有限元分析,比较不同腰梁锚固位置对边坡安全稳定性的影响,分析不同锚杆锚固角下框架锚杆全坡支护对坡体的支护效果。主要结论如下:1) 无支护条件下边坡稳定性系数为 1.114,开挖完成后边坡处于基本稳定状态,但与工程安全等级规范要求(稳定性系数 ≥ 1.25)有不少差距,需采用支护加固措施。2) 支护位置沿坡面从坡顶变至坡脚时,单根腰梁锚杆支护效果呈递增趋势(由弱变强),且离坡脚越近支护效果越明显;采用双腰梁锚杆支护即在 1/3、2/3 坡高位置同时支护的效果优于单根腰梁锚杆支护。3) 全坡框架锚杆支护效果优于任何腰梁支护。框架锚杆全坡支护效果与锚杆锚固角成非线性关系,在 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 范围内随锚固角的增大安全稳定系数先增后减,最佳锚固角为 20° 。在实际施工中,锚固角可在 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 灵活选取(均能满足安全规范要求)。

该文仅从安全稳定系数角度对不同支护方式的支护效果进行分析,限于篇幅未涉及支护条件下的水平变形、竖向变形、剪切应变、隆起变形等,也没有考虑地震、降雨等因素。另外,文中在假设路堑边坡一次性开挖完成的基础上讨论支护问题,与实际边坡开挖支护存在一定偏差。后续研究将加以完善。

参考文献:

[1] 孙世国,杨宏,冉启发,等.典型排土场边坡稳定性控制

技术[M].北京:冶金工业出版社,2011.

[2] 方宏伟.边坡稳定性极限曲线法[M].北京:科学出版社,2017.

[3] 李飞,王贵君.土力学与基础工程[M].武汉:武汉理工大学出版社,2015.

[4] 韩建刚.土力学与基础工程[M].重庆:重庆大学出版社,2015.

[5] 刘振华.框架锚杆加固黄土边坡的模型试验及数值模拟分析[D].兰州:兰州交通大学,2018.

[6] 魏来泽.锚杆支护边坡稳定性分析[D].兰州:兰州理工大学,2019.

[7] 中仿科技公司.边坡稳定性分析软件 SLOPE/W 用户指南[M].北京:冶金工业出版社,2011.

[8] 王江荣,梁永平,欧国海.地震和暴雨工况下石头坪景区高边坡稳定性的数值模拟分析[J].安全与环境工程,2018,25(5):29-35.

[9] 王江荣,欧国海,梁永平.石头坪景区高边坡稳定性有限元分析及支护措施优化研究[J].工业安全与环保,2019,45(3):8-11+20.

[10] 王荣鲁,薛凯喜,赵妍,等.土体强度与边坡稳定性分析[M].北京:中国水利水电出版社,2016.

[11] 孙春艳.大型高边坡支护处理设计方案比选研究[J].中国水运,2019,19(6):213-215.

[12] 黎泽芝.锚杆支护在公路边坡加固中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2017(10):111-113.

[13] 宋词.预应力锚杆加固高陡边坡的数值模拟与现场实测分析[D].大连:大连交通大学,216.

[14] 邓国新.格构锚杆支护在道路工程高挖方边坡中的应用[J].交通世界,2017(20):65-66.

[15] 王召磊,杨志银,张俊.基于 GeoStudio 的预应力锚索复合土钉墙稳定性分析[J].工业建筑,2011,41(增刊):437-440+448.

收稿日期:2020-05-11

(上接第 68 页)

路用性能及应用技术[J].公路交通科技,2016,25(4):29-35.

[9] 徐翠,王鹏,李华.橡胶沥青胶结料微观分析研究[J].交通运输研究,2012(8):87-90.

[10] 史思强.胶粉粒径与级配类型对橡胶沥青及其混合料性能影响研究[J].中外公路,2014,34(4):331-334.

[11] 宋云连,吕鹏,张扬.温拌沥青混合料高温性能试验研究[J].公路工程,2018,43(5):73-77.

[12] 徐东,王新宽,陈博.橡胶沥青混合料老化再生及其路用性能研究[J].武汉理工大学学报,2012,34(10):48

-52.

[13] 刘克非,邓林飞,郑佳宇.不同沥青结合料水损害的纳米尺度研究[J].材料研究学报,2016,30(10):773-780.

[14] 王岚,王利强,冯蕾,等.温拌胶粉改性沥青混合料疲劳性能[J].建筑材料学报,2018,21(3):497-502.

[15] 陈瑞璞,崔亚楠,冯蕾.老化作用下沥青混合料的疲劳及自愈性能[J].建筑材料学报,2019,22(3):487-492.

收稿日期:2019-12-21