

基于改性再生骨料公路透水沥青混凝土性能的探讨

翁胜辉

浙江正达检测科技有限公司 浙江 金华 321000

【摘要】：透水沥青混凝土是公路工程中的常用材料，近年来，随着海绵城市建设的深化和环保技术的升级，透水混凝土路面开始引入新材料，如改性再生骨料，以实现节能环保的创新发展。本文以改性再生骨料公路透水沥青混凝土为研究对象，系统探讨了改性再生骨料对公路透水沥青混凝土性能的影响和配合比设计，并用专业的检测手段对材料的透水性能、力学性能和耐久性进行测试分析，希望有助于拓展改性再生骨料公路透水沥青混凝土的应用前景。

【关键词】：公路工程；改性再生骨料；透水沥青混凝土；材料性能；检测技术

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.043

引言

在可持续发展理念的推动下，透水沥青混凝土在公路工程中的应用日渐广泛，传统的透水沥青混凝土一般采用天然骨料，成本较高，也不符合环保理念，改性再生骨料以建筑垃圾为原料，其能够应用在透水沥青混凝土中替代天然骨料，从而提升材料的环保效益。本文首先分析了改性再生骨料公路透水沥青混凝土的组成和作用机理，然后探讨了改性再生骨料公路透水沥青混凝土的配合比设计和性能检测方法，以供参考。

1 改性再生骨料公路透水沥青混凝土的组成和作用机理

1.1 改性再生骨料公路透水沥青混凝土的组成

改性再生骨料公路透水沥青混凝土的主要成分包括改性再生骨料、沥青、填料、水和外加剂。

其中，改性再生骨料是主要的骨架材料，骨料的嵌挤作用会使混凝土材料形成连续的孔隙结构，这些孔隙就是雨水快速渗透和排出的通道，也是透水沥青混凝土具有突出排水优势的关键所在。沥青是粘结材料，其粘结作用能够将骨料颗粒按照设计粘结在一起，是确保骨料形成整体结构的重要材料。填料主要包括矿粉、机制砂等，这些材料能够填充骨料间的微小孔隙，起到优化级配、增强粘结力等作用；同时，填料还有助于形成更为稳定的嵌挤结构，增强混凝土的力学承载能力，从而有效提升公路路面的使用寿命^[1]。外加剂则一般根据公路设计需求确定，可添加透水剂、抗剥落剂等不同类型的外加剂，优化混凝土的透水性能和粘结性能。

1.2 改性再生骨料对透水沥青混凝土性能的影响

在过去，透水沥青混凝土一般采用的是玄武岩、花岗岩等天然骨料，这类材料不仅成本高，资源总量也是有限的，不符合当前建筑施工行业的绿色环保趋势。再生骨料多从建筑垃圾中生产，本身就具备良好的环保特性，再通过物理或化学改性的方式减少其固有缺陷，就能够成为良好的透水沥青混凝土材料。

将改性再生骨料应用在透水沥青混凝土中，会对其性能产

生一定的影响，主要体现在三个方面：

1.2.1 对透水性能的影响

再生骨料表面附着水泥浆，因此孔隙率较高，通过物理改性后，可以将表面的水泥浆去除，降低再生骨料的孔隙率。孔隙率是透水沥青混凝土透水性能的关键因素，改性再生骨料的掺量与透水性能关联密切。

1.2.2 对力学性能的影响

再生骨料的强度通常较低，压碎值一般在15%-20%左右，如直接应用在透水沥青混凝土中，其强度可能无法满足工程需求。物理和化学改性能够调整再生骨料的力学性能，如物理改性可以调整骨料的级配，增强骨料间的嵌挤作用；化学改性则能够在骨料表面形成保护膜，提高骨料的强度和密度^[2]。应用时仍需考虑掺量问题，如果掺量过高，则同样会导致混凝土的力学性能下降。

1.2.3 对耐久性能的影响

在公路工程中，雨水或地下水的侵袭会在一定程度上影响混凝土的性能，降低公路路面的使用寿命。化学改性可以利用硅烷偶联剂在再生骨料的表面形成一层疏水膜，降低其吸水率，混凝土吸水率下降，水分对混凝土的侵蚀作用也就相应减弱，抗老化性能提升。

2 改性再生骨料公路透水沥青混凝土配合比设计

2.1 原材料选择和性能要求

2.1.1 改性再生骨料

再生骨料选用建筑废弃物破碎筛分后的粗骨料，粒径范围为4.75-16 mm。再生骨料需经物理和化学改性处理，改性后其性能需满足以下要求：孔隙率 $\leq 12\%$ ，吸水率 $\leq 3\%$ ，压碎值 $\leq 12\%$ ，针片状颗粒含量 $\leq 10\%$ ，含泥量 $\leq 1\%$ 。

2.1.2 沥青

沥青选用SBS改性沥青，其性能需满足以下要求：针入度（25℃，100 g，5s） $\geq 40 \times 0.1$ mm，软化点 $\geq 70^\circ\text{C}$ ，延度（5℃） ≥ 30 cm，闪点 $\geq 260^\circ\text{C}$ ，溶解度 $\geq 99\%$ ，60℃动力粘度 ≥ 800

Pa·s, 弹性恢复(25℃)≥80%, 确保其具备良好的粘结性、柔韧性和抗老化性能, 能够有效粘结改性再生骨料, 提升混凝土的整体性能。

2.1.3 填料和外加剂

填料选用磨细矿粉和机制砂, 其中矿粉的细度 $80\mu\text{m}$ 筛≥90%, 密度 $2.4 - 2.6\text{g/cm}^3$, 确保其具备良好的填充作用和活性, 能够有效改善混合料的级配和粘结性能。机制砂选用 $2.36 - 4.75\text{mm}$ 的中粗粒级, 中石粉($<0.075\text{mm}$)含量需通过亚甲蓝值和流动比指标进行综合控制, 避免石粉过多影响混凝土性能。

外加剂选用透水剂和抗剥落剂, 其中透水剂可增加混凝土的连通孔隙, 提升透水性能; 抗剥落剂可改善沥青和改性再生骨料的粘结性能, 提升混凝土的抗剥落性能^[3]。

2.2 配合比设计流程和参数确定

技术人员需结合结合公路工程的等级和实际需求, 合理设计改性再生骨料透水沥青混凝土的配合比。

2.2.1 确定骨料级配

技术人员要参考相关技术规程, 根据公路的透水性能和力学性能要求, 设计连续级配, 骨料的粒径为 16mm , 4.75mm 以上颗粒含量≥70%, 确保形成连续的孔隙结构。

2.2.2 确定改性再生骨料掺量

技术人员要通过试验研究, 分别设计改性再生骨料掺量为30%、40%、50%、60%、70%的混合料, 检测其透水性能和力学性能, 确定合理的掺量范围。

试验结果表明, 当改性再生骨料掺量为50%-70%时, 混凝土的透水性能和力学性能均能满足公路路面要求。

2.2.3 确定沥青用量

技术人员要采用马歇尔试验法, 分别设计沥青用量为4.5%、5.0%、5.5%、6.0%, 并制备马歇尔试件。技术人员要检测混合料的空隙率、析漏损失、飞散损失等指标, 确定最佳沥青用量。

试验结果表明, 最佳沥青用量为5.0%-5.5%, 此时混合料的粘结性能良好, 空隙率控制在18%-22%, 既能满足透水性能要求, 又能保证力学性能和耐久性能。

2.2.4 确定填料和外加剂用量

技术人员要根据粗骨料和沥青用量, 确定填料用量为总质量的20%-30%, 透水剂、抗剥落剂掺量分别为0.1% - 0.5%, 确保混合料的性能优化。

3 改性再生骨料公路透水沥青混凝土性能检测

3.1 透水性能检测

(1) 检测目的: 检测改性再生骨料透水沥青混凝土的透

水系数, 确保其满足公路路面的透水要求。

(2) 检测设备: 透水系数测试装置、电子天平(精度 0.01g)、恒温水箱、试模(直径 100mm 、高度 $63.5\pm 2.5\text{mm}$ 的圆柱体)等。

(3) 检测方法: 采用定水头法检测, 具体步骤如下: ①将养护至规定龄期的试件在 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ 恒温水箱中进行真空饱水处理, 用游标卡尺测量试件的直径和高度; ②从恒温水箱中取出试件, 用拧干的湿毛巾轻轻擦去表面水分, 然后将试件装入透水仪中并用密封材料密封; ③向仪器中注入清水, 同时打开排气阀, 排出管道和容器内的气泡, 调节水位, 维持恒定水头 H , 待水流稳定后, 记录一定时间 t 内透过试件的水体积 V ; ④根据公式计算透水系数: $k = (V \times L) / (A \times t \times H)$, 其中 k 为透水系数(mm/s), L 为试件高度(mm), A 为试件表面积(mm^2), H 为水头高度(mm); ⑤平行检测3组试件, 取平均值作为检测结果, 允许误差≤ $0.1\text{mm/s}^{[4]}$ 。

3.2 力学性能检测

3.2.1 抗压强度检测

(1) 检测目的: 检测改性再生骨料透水沥青混凝土的抗压强度, 确保其能够承受车辆荷载的垂直作用。

(2) 检测设备: 万能试验机(量程满足要求, 加载速率可调)、试模($100\text{mm}\pm 2\text{mm}$, $100\text{mm}\pm 2\text{mm}$ 的圆柱体)、恒温水浴、游标卡尺等。

(3) 检测方法: 按照轮碾成型后钻芯法制备试件, 按单轴压缩法检测, 具体步骤如下: ①按照设计配合比制备圆柱体试件, 用游标卡尺测量试件的直径和高度, 取平均值, 并计算试件的横截面积; ②将试件放入恒温水浴中, 保温时间不少于 4h ; ③从水浴中取出试件, 擦去表面水分并放在压力机的下压板上, 施加约 0.1kN 的初始荷载, 使试件稳定; ④设置加载速率为 50mm/min , 持续施加荷载直至试件破坏, 记录破坏时的最大荷载 P , 然后根据公式计算抗压强度: $f_c = P/A$, 其中 f_c 为抗压强度(MPa), A 为试件受压面积(mm^2); ⑤平行检测3组试件, 取平均值作为检测结果, 允许误差≤ 0.2MPa 。

3.2.2 马歇尔稳定度检测

(1) 检测目的: 检测改性再生骨料透水沥青混凝土的马歇尔稳定度和流值, 评估其高温稳定性和抗变形能力。

(2) 检测设备: 马歇尔试验仪、恒温水槽、马歇尔击实仪、脱模器、烘箱、天平、试模(直径 $101.6\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$, 高度 $63.5\text{mm}\pm 1.3\text{mm}$)等。

(3) 检测方法: 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程(JTG E20—2011)》检测, 具体步骤如下: ①按照设计配合比制备马歇尔试件, 将拌和好的混合料装入马歇尔试模, 双面各击实 50 次, 冷却至室温后脱模, 存放 24h 以上备用; ②用

卡尺测量试件中部的直径,准确至 0.1 mm,用高度测定器或卡尺在十字对称的 4 个方向量测试件高度,取平均值作为试件高度;③将恒温水槽调节至 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,将试件放入水槽中保温 30-45 min;④将马歇尔试验仪的上下压头放入水槽中预热至试验温度,从水槽中取出试件安装,启动加载设备,以 $50 \text{ mm/min} \pm 5 \text{ mm/min}$ 的速率施加荷载,记录荷载-变形曲线;⑤试件破坏时的最大荷载即为稳定度,从荷载-变形曲线修正原点量取的最大荷载对应的变形值即为流值^[5]。

3.3 耐久性能检测

3.3.1 抗冻性能检测

(1) 检测目的:检测改性再生骨料透水沥青混凝土的抗冻性能,确保其在寒冷地区能够承受冻融循环作用。

(2) 检测设备:万能试验机、恒温水槽、低温冰箱、真空饱水装置、试模(直径 $101.6 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$,高度 $63.5 \text{ mm} \pm 1.3 \text{ mm}$ 的立方体)等。

(3) 检测方法:按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中的冻融劈裂试验进行检测,具体步骤如下:①按照设计配合比制备马歇尔试件,测量直径和高度,并将试件随机分为 A 组(未冻融)和 B 组(冻融);②将 A 组试件放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恒温水槽中保温 2 h,保温结束后立即进行劈裂试验;③将 B 组试件分别进行饱水(真空饱水容器)、冻结(低温箱冷冻)、融化(恒温水槽融化)和保温(恒温水槽保温)处理;④将试件放入劈裂试验夹具中,在 25°C 试验温度下,以 50 mm/min 的加载速率施加荷载直至破坏,记录破坏

时的最大荷载 P;⑤根据公式计算劈裂抗拉强度和冻融劈裂强度比。

3.3.2 抗老化性能检测

(1) 检测目的:检测改性再生骨料透水沥青混凝土的抗老化性能,评估其在阳光、雨水、温度变化等自然环境作用下的性能稳定性。

(2) 检测设备:薄膜烘箱、万能试验机、肯塔堡飞散试验机、试模(直径 $101.6 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$,高度 $63.5 \text{ mm} \pm 1.3 \text{ mm}$)等。

(3) 检测方法:采用薄膜烘箱老化试验检测,具体步骤如下:①按照设计配合比制备马歇尔试件,测量并记录尺寸,将试件随机分为 A 组(未老化)和 B 组(老化);②将薄膜烘箱预热至 $85^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,将 B 组试件放入,并在 $85^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下连续老化 $120 \text{ h} \pm 0.5 \text{ h}$;③老化结束后,取出试件,在室温下冷却 24 h,对 A 组(未老化)和 B 组(老化后)分别进行马歇尔稳定度、肯塔堡飞散损失等测试;④计算老化残留性能比和老化敏感指数。

4 结语

在公路工程中,改性再生骨料透水沥青混凝土具有突出的环保效益和经济效益,科学调配改性再生骨料等材料的配比,能够有效提升材料的透水性能和力学性能,确保其符合公路工程建设要求。未来,改性再生骨料透水沥青混凝土还可以进一步从工艺和性能上进行优化,持续研究出新的配合比例,更好地为公路工程服务。

参考文献:

- [1] 叶志文.水泥路面再生骨料协同强化工艺与混凝土性能优化[J].福建交通科技,2025,(11):30-35.
- [2] 梁海涛,张少涛,林雪.再生骨料透水混凝土性能试验研究[J].广东建材,2024,40(07):16-19
- [3] 周菁,龙飞.再生粗骨料沥青混凝土路用性能试验研究[J].福建建材,2025,(05):26-28+79.
- [4] 肖梅,李磊.改性再生粗骨料对再生混凝土力学性能的影响[J].江西建材,2025,(03):91-94.
- [5] 李兴峰.改性再生骨料公路透水沥青混凝土性能研究[J].中国新技术新产品,2025,(13):86-88.