

层间洒布量对复合式路面粘结性能的影响及优化设计

屈建亮

宁夏交投工程建设管理有限公司 宁夏 银川 750001

摘 要: 本文聚焦于沥青路面结构层间粘结这一关键问题,深入探究层间洒布量对复合式路面粘结性能的影响。通过理论分析、室内试验研究,全面揭示了不同层间洒布量下粘结性能的变化规律。基于研究结果,提出了针对复合式路面层间洒布量的优化设计方案,旨在提高复合式路面的整体性能和使用寿命,为相关工程实践提供科学依据和技术支持。

关键词: 复合式路面;层间洒布量;粘结性能;优化设计

1 引言

随着我国交通事业的飞速发展,道路交通量日益增大,重载车辆比例不断增加,对路面的性能要求也越来越高。复合式路面作为一种新型的路面结构形式,通过合理组合不同材料和结构层,充分发挥各层优势,能够有效提高路面的承载能力、抗车辙能力和抗裂性能等。在复合式路面中,沥青路面各结构层之间的粘结性能至关重要,它直接影响着路面的整体性和力学性能。良好的层间粘结可以确保各结构层协同工作,共同承受车辆荷载和环境作用,防止层间滑移、脱层等病害的发生,从而延长路面的使用寿命。而层间洒布量是影响粘结性能的关键因素之一,因此,深入研究层间洒布量对复合式路面粘结性能的影响并进行优化设计具有重要的现实意义。

2 复合式路面层间粘结机理分析

2.1 层间粘结的作用

复合式沥青路面各结构层功能与材料特性不同,如上面层用抗滑、密实沥青混合料,中下面层注重承载与抗车辙。层间粘结使各层成整体,有效传递分散车辆荷载和环境作用产生的应力^[1]。车辆行驶时,轮胎与路面接触产生的力传至地基,若层间粘结不良,结构层相对滑动、应力集中,加速路面损坏;良好粘结可避免应力集中,减少滑移、脱层,提高路面承载与耐久性。

2.2 粘结材料的粘结机理

常用层间粘结材料有乳化沥青、改性沥青、热沥青等,粘结机理含物理吸附和化学键合。物理吸附是粘结材料分子与被粘结材料表面分子范德华力作用,洒布在集料表面形成吸附膜,增加粘结力、提高混合料性能。化学键合是二者发生化学反应形成化学键增强粘结强度,如改性沥青中聚合物与沥青、集料表面反应,新型材料添加特殊成分与集料矿物质反应提高粘结性能。

2.3 层间洒布量对粘结机理的影响

层间洒布量影响粘结材料分布与厚度。洒布量小,无法形成连续粘结层,粘结强度不足、易脱层,物理吸附和化学键合受限;洒布量大,增加成本,可能流淌,过厚涂层内应力大,车辆荷载反复作用易破裂,降低粘结强度,还影响层间剪切性能和抗滑移能力^[2]。因此,合适洒布量对保证粘结性能至关重要。

3 层间洒布量对粘结性能影响的试验研究

3.1 试验材料与设备

3.1.1 试验材料

选用常用的乳化沥青和改性沥青作为层间粘结材料。乳化沥青采用慢裂快凝型,其性能指标符合相关标准要求;改性沥青为SBS改性沥青,具有良好的高温稳定性和低温抗裂性。沥青混合料采用AC-16型中粒式沥青混凝土作为上面层和下面层材料,其配合比设计符合规范要求,集料采用优质玄武岩,矿粉为石灰岩磨细而成。

3.1.2 试验设备

主要包括马歇尔稳定度仪、剪切试验仪、拉拔试验仪、烘箱、电子天平、温度计、直尺等。马歇尔稳定度仪用于测定沥青混合料的稳定度和流值;剪切试验仪用于进行层间剪切试验,测定剪切强度;拉拔试验仪用于进行层间拉拔试验,测定拉拔强度;烘箱用于加热试件和粘结材料;电子天平用于准确称量材料的质量;温度计用于控制试验温度;直尺用于测量试件的尺寸。

3.2 试验方案设计

设置不同的层间洒布量梯度,对于乳化沥青,设置洒布量为 $0.6\text{L}/\text{m}^2$ 、 $0.8\text{L}/\text{m}^2$ 、 $1.0\text{L}/\text{m}^2$ 、 $1.2\text{L}/\text{m}^2$ 、 $1.4\text{L}/\text{m}^2$;对于改性沥青,设置洒布量为 $0.8\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $1.4\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $1.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。制备不同洒布量的复合式路面试件,进行剪切试验和拉拔试验,以测定层间的剪切强度和拉拔强度,评价粘结性能。同时,为了减少试

验误差，每个洒布量设置3-5个平行试件。

3.3 试验过程

3.3.1 试件制备

按照规定的尺寸和配合比制备沥青混合料试件。首先，将集料和矿粉在烘箱中加热至规定温度，然后加入沥青进行拌和，拌和均匀后将混合料倒入试模中，用击实仪进行击实成型。将上面层和下面层试件分别加热至规定温度，在下面层试件表面均匀洒布不同量的粘结材料，然后将上面层试件与下面层试件粘结在一起，在压力机上施加一定压力，使两层试件紧密结合，冷却至室温后备用^[3]。在洒布粘结材料时，要确保洒布均匀，避免出现洒布量不均的情况。

3.3.2 剪切试验

将制备好的试件放入剪切试验仪中，调整试验仪的加载速率和加载方式。以一定的加载速率施加剪切力，直至试件发生剪切破坏，记录破坏时的最大剪切力，计算剪切强度。剪切强度的计算公式为： $\tau = \frac{F}{A}$ ，其中 τ 为剪切强度（MPa），F为破坏时的最大剪切力（N），A为试件的剪切面积（mm²）。

3.3.3 拉拔试验

使用拉拔试验仪对试件进行拉拔试验。将拉拔头粘贴在试件上面层表面，确保粘贴牢固。以一定的加载速率施加拉力，直至试件发生拉拔破坏，记录破坏时的最大拉力，计算拉拔强度。拉拔强度的计算公式为： $\sigma = \frac{P}{A}$ ，其中 σ 为拉拔强度（MPa），P为破坏时的最大拉力（N），A为拉拔头的粘贴面积（mm²）。

3.4 试验结果与分析

3.4.1 剪切强度与洒布量的关系

试验结果表明，对于乳化沥青和改性沥青，随着层间洒布量的增加，剪切强度先增大后减小。当乳化沥青洒布量为1.0L/m²、改性沥青洒布量为1.2kg/m²时，剪切强度达到最大值。这是因为当洒布量较小时，粘结材料不能充分填充层间空隙，粘结面积较小，导致剪切强度较低；随着洒布量的增加，粘结材料能够更好地填充空隙，形成连续的粘结层，粘结面积增大，剪切强度随之提高；但当洒布量过大时，粘结材料在层间形成过厚的涂层，容易产生流淌现象，且在车辆荷载作用下，过厚的粘结层内部会产生较大的应力，从而降低剪切强度。

3.4.2 拉拔强度与洒布量的关系

拉拔强度与洒布量的关系也呈现出类似的规律。随着洒布量的增加，拉拔强度先增大后减小，在乳化沥青洒布量为1.0L/m²、改性沥青洒布量为1.2kg/m²时，拉拔

强度达到最大值。这表明合适的洒布量能够使粘结材料与被粘结材料之间形成良好的粘结，提高层间的拉拔强度；而洒布量过大或过小都会影响粘结效果，降低拉拔强度。

3.4.3 不同粘结材料的对比分析

对比乳化沥青和改性沥青的试验结果可以发现，在相同洒布量下，改性沥青的剪切强度和拉拔强度普遍高于乳化沥青。这是因为改性沥青中的聚合物改性剂改善了沥青的性能，提高了其粘结性和弹性，使得改性沥青与被粘结材料之间的粘结更加牢固^[4]。此外，改性沥青的高温稳定性和低温抗裂性也优于乳化沥青，能够更好地适应不同的气候条件和交通荷载。

表1 乳化沥青不同洒布量下的剪切强度与拉拔强度

洒布量 (L/m ²)	剪切强度 (MPa, 均值)	拉拔强度 (MPa, 均值)	平行试件数量
0.6	0.52±0.03	0.38±0.02	4
0.8	0.68±0.04	0.51±0.03	5
1.0	0.82±0.05	0.63±0.04	5
1.2	0.75±0.04	0.58±0.03	4
1.4	0.61±0.03	0.49±0.02	3

注：剪切强度与拉拔强度最大值以粗体标出。

表2 改性沥青不同洒布量下的剪切强度与拉拔强度

洒布量 (kg/m ²)	剪切强度 (MPa, 均值)	拉拔强度 (MPa, 均值)	平行试件数量
0.8	0.71±0.04	0.55±0.03	5
1.0	0.89±0.05	0.68±0.04	5
1.2	1.03±0.06	0.79±0.05	5
1.4	0.92±0.05	0.72±0.04	4
1.6	0.78±0.04	0.61±0.03	3

注：剪切强度与拉拔强度最大值以粗体标出。

4 基于粘结性能的层间洒布量优化设计

4.1 优化设计目标

优化设计的目标是在保证复合式路面层间具有良好的粘结性能的前提下，确定最经济的层间洒布量，降低工程成本，同时提高路面的整体性能和使用寿命。具体来说，就是要找到一个最佳的洒布量，使得在该洒布量下，层间的剪切强度和拉拔强度能够满足设计要求，并且工程成本最低。

4.2 优化设计方法

4.2.1 建立数学模型

根据试验结果，建立层间洒布量与剪切强度、拉拔强度之间的数学模型。以剪切强度和拉拔强度作为优化目标函数，以洒布量作为自变量，考虑工程成本等因素，建立多目标优化数学模型。假设剪切强度 $f_1(x)$ 和拉

拔强度 $f_2(x)$ 与洒布量 x 之间的关系可以用二次函数来表示,即 $f_1(x)=a_1x^2+b_1x+c_1$, $f_2(x)=a_2x^2+b_2x+c_2$,其中 a_1 、 b_1 、 c_1 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为待定系数,可通过试验数据进行拟合确定。

工程成本 $C(x)$ 与洒布量 x 成正比,可表示为 $C(x)=k_1x+k_2$,其中 k_1 和 k_2 为常数。多目标优化数学模型可表示为:

$$\min F(x) = \omega_1 \frac{1}{f_1(x)} + \omega_2 \frac{1}{f_2(x)} + \omega_3 C(x)$$

其中 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为权重系数,满足 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$,可根据剪切强度、拉拔强度和工程成本的重要性进行确定。

4.2.2 约束条件确定

确定洒布量的取值范围作为约束条件,同时考虑施工工艺、气候条件等因素对洒布量的影响,进一步细化约束条件。例如,根据施工规范和实际经验,洒布量 x 应满足 $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$,其中 $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 分别为洒布量的最小值和最大值。此外,还应考虑粘结材料的性能指标、路面的设计要求等因素,确保优化结果符合实际工程需求。

4.2.3 优化算法选择

采用合适的优化算法对数学模型进行求解,如遗传算法、粒子群算法等。这些算法具有较强的全局搜索能力,能够在复杂的解空间中找到最优解。以遗传算法为例,其基本步骤如下:

编码:将洒布量 x 进行编码,通常采用二进制编码或实数编码。

初始种群生成:随机生成一定数量的个体,组成初始种群。

适应度函数设计:根据优化目标函数 $F(x)$ 设计适应度函数,适应度函数值越大,表示个体越优。

选择操作:根据适应度函数值选择优秀的个体进入下一代种群。

交叉操作:对选中的个体进行交叉操作,产生新的个体。

变异操作:对新个体进行变异操作,增加种群的多样性。

终止条件判断:当达到预设的迭代次数或满足其他终止条件时,停止迭代,输出最优解。

4.3 优化设计结果

通过优化设计,得到不同粘结材料在不同条件下的

最佳层间洒布量。例如,在一般气候条件和交通量下,乳化沥青的最佳洒布量为0.9-1.1L/m²,改性沥青的最佳洒布量为1.1-1.3kg/m²。同时,根据优化结果绘制洒布量与粘结性能的关系曲线,为实际工程提供参考。在实际工程中,可根据具体的气候条件、交通量、粘结材料性能等因素,对最佳洒布量进行适当调整。

5 结论与展望

5.1 结论

层间洒布量对复合式路面粘结性能有显著影响,随着洒布量的增加,剪切强度和拉拔强度先增大后减小,存在最佳洒布量使粘结性能达到最优。通过室内试验研究,明确了乳化沥青和改性沥青在不同洒布量下的粘结性能变化规律。通过建立数学模型和采用优化算法,可以实现对层间洒布量的优化设计,确定不同条件下的最佳洒布量,为实际工程提供科学依据。优化设计方法综合考虑了粘结性能和工程成本等因素,具有较高的实用性和可靠性。

5.2 展望

进一步研究不同粘结材料在不同环境条件下的性能变化规律,完善层间洒布量的优化设计方法。考虑更多的影响因素,如温度、湿度、紫外线等,建立更加准确的粘结性能预测模型。开展层间洒布量对复合式路面长期性能的影响研究,建立更加准确的预测模型,为路面的养护和维修提供指导。通过长期监测和数据分析,了解层间洒布量与路面病害发展之间的关系,制定合理的养护策略。探索新型粘结材料和施工工艺,提高层间粘结性能,推动复合式路面技术的发展。研发具有更高粘结强度、更好耐久性和环保性能的粘结材料,改进施工工艺,提高施工质量和效率。

参考文献

- [1]高浩雄.半刚性基层层间水泥浆同步洒布施工[J].广东公路交通,2022,48(06):44-47.
- [2]朱金鹏.复合式路面层间处置方法及技术标准研究[J].山西交通科技,2019,(06):16-20+23.
- [3]陈玉坤.使用不同层间黏结材料的路面质量研究[J].企业科技与发展,2018,(08):83-85.
- [4]赵艳辉.公路沥青路面层间结合施工技术分析[J].交通世界,2023,(09):99-101.