

隔裂夹层复合路面疲劳寿命分析研究

Fatigue Life Analysis and Engineering Application of Interlayer Composite Pavement

黄金龙

(福州市规划设计研究院集团有限公司, 福建 福州 350108)

摘要: 设置隔裂夹层能提高“白改黑”复合路面的疲劳寿命, 延缓加铺面层反射裂缝的出现。通过扩展有限元数值模型, 对比不同条件下设置微黏结级配碎石隔裂夹层, 研究隔裂夹层复合路面的疲劳寿命。结果表明: 对旧水泥混凝土路面出现断板、错台等严重路面病害, 设置微黏结级配碎石隔裂夹层能显著提高复合路面的疲劳寿命; 对旧板打裂压稳后, 设置微黏结级配碎石隔裂夹层能提高复合路面的疲劳寿命, 建议打裂的板块尺寸控制在100 cm左右为宜; 对于旧板碎石化后设置隔裂夹层, 复合路面疲劳寿命提高不显著; 微黏结级配碎石隔裂夹层复合路面结构。经过多年工程实践运用, 效果良好, 具有一定的推广价值。

关键词: 道路工程; 复合式路面; 微黏结级配碎石隔裂夹层; 疲劳寿命

中图分类号: U416 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2024) 05-0108-08

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.05.020

HUANG Jinlong

(Fuzhou Planning & Design Research Institute Group Co., Ltd., Fuzhou 350108, China)

Abstract: The installation of a crack-separating interlayer can improve the fatigue life of the "white-to-black" composite pavement and delay the appearance of reflective cracks on the overlay surface. Using the extended finite element numerical model, the impact of setting micro-bonding graded crushed stone interlayer under different conditions is compared and analyzed, and corresponding engineering suggestions are proposed. The results show that the setting of a micro-bonding graded crushed stone interlayer can significantly improve the fatigue life of composite pavements under severe pavement defects such as broken slabs and faulted slabs on old cement concrete pavements; After cracking and stabilizing the old plates, setting up a micro-bonding graded crushed stone interlayer can improve the fatigue life of the composite pavement. It is recommended that the size of the cracked plates be controlled at around 100 cm; For the old plate crushed and then set up a crack-resistant interlayer, the fatigue life of the composite pavement is not significantly improved; The micro-bonding graded crushed stone interlayer composite pavement structure has been applied in engineering practice for many years, with good results and certain promotion value.

Keywords: road engineering; composite pavement; micro-bonded graded gravel interlayer; fatigue life

0 引言

延缓沥青加铺面层出现反射裂缝是路面“白改黑”工程面临的一个棘手问题。实践表明, 在道路标高允许的前提下, 设置一定厚度的级配碎石、水泥稳定碎石、沥青稳定碎石作为隔裂夹层能够充分利用旧板, 较好地延缓沥青加铺面层反射裂缝的出

现,并能提高加铺路面的舒适性^[1-3]。但由于沥青稳定碎石价格昂贵,常作为沥青路面下面层使用,且水泥稳定碎石易发生收缩开裂而引起加铺面层的反射裂缝^[4],因此,采用级配碎石作为旧水泥路面加铺结构的隔裂夹层,并取得了一定成果。吴艳^[5]采用三维有限元分析方法,对比不同措施防治沥青加铺层荷载型反射裂缝的起裂效果,得出采用级配碎石层具有最佳效果的结论;杨斌等^[6]对旧水泥混凝土加铺沥青结构进行疲劳破坏试验,对比玻纤格栅、土工布、级配碎石三种材料的防裂效果,表明级配碎石的防裂效果最优;胡蓝心^[7]的研究结果表明,采用级配碎石层作为隔裂夹层可以有效延缓裂缝的开展,且适当增大其模量可以提高防裂效果。

虽然级配碎石隔裂夹层具有较好地延缓路面发生反射裂缝的效果,但级配碎石的质量及强度受材料来源、设备精度、施工条件以及外界自然因素的综合影响,其路用性能难以控制。于是,有研究者通过向级配碎石中添加一定剂量的水泥来提高混合料的性能。田小草等^[8]将 2.0%~2.5% 的水泥掺入级配碎石中可以有效提高混合料的水稳定性及力学强度;Ashtiani 等^[9]提出级配碎石中掺加微量的水泥可以显著提高混合料的强度与抗永久变形能力。

基于此,采用数值模型研究微黏结级配碎石隔裂夹层复合路面的疲劳寿命,分析沥青面层厚度、旧板破碎情况、旧板打裂压稳尺寸大小、旧板模量、旧板接缝弯沉差,以及隔裂夹层厚度等因素对复合路面疲劳寿命的影响,以期对水泥混凝土路面隔裂夹层的应用提供技术支持。

1 计算模型参数与取值

1.1 模型尺寸

根据不同 ABAQUS 模型尺寸的计算对比分析,在考虑精度要求的基础上选用模型尺寸,见表 1。采用三种破碎状态(不破碎、旧板打裂压稳、旧板碎石化)的旧水泥混凝土板块进行分析,如图 1 所示。旧水泥混凝土板块打裂压稳后的板块基准尺寸取 100 cm×90 cm^[10];将 24 cm 的旧板碎石化后近似认为混凝土层由碎石化上层和下层构成,上层为 14 cm 的级配碎石层,下层为 10 cm 相互嵌挤的混凝土板块^[11]。

表 1 模型尺寸

Table 1 Model size /cm

结构层	长度 (行车方向)	宽度 (横向)	厚度
沥青加铺面层	1001	450	10 (基准值)
微黏结级配碎石隔裂夹层	1001	450	15 (基准值)
单块旧混凝土板	500	450	24
基层	1001	450	15
底基层	1001	450	15
土基	1001	650	450

注:无特殊说明,旧板横向接缝宽度均取 1 cm,扩展深度至上而下 24 cm。

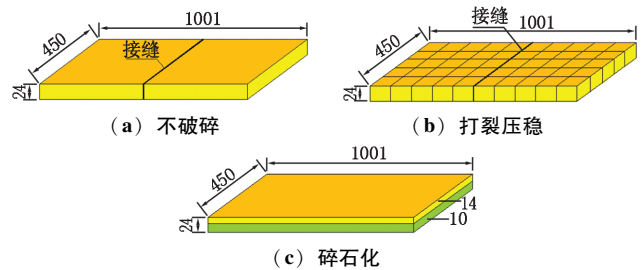


图 1 旧水泥混凝土板尺寸示意图

Fig. 1 Size sketch of old cement concrete plate

1.2 模型网格

1.2.1 起裂分析模型

采用 C3D8R 单元模拟,在荷载施加位置、接缝等位置进行局部网格加密,网格单元总数为 25 834 个,如图 2 所示。

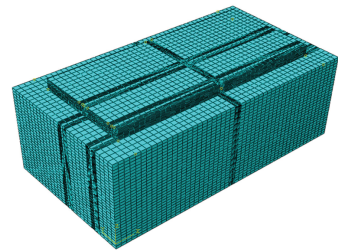
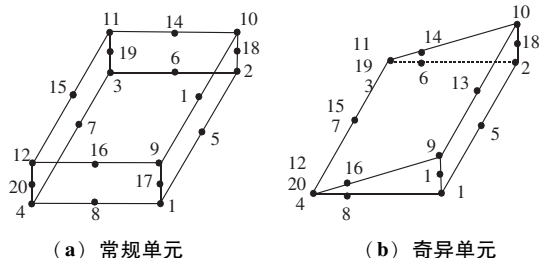


图 2 有限元计算模型

Fig. 2 The finite element calculation model

1.2.2 疲劳裂缝扩展分析模型

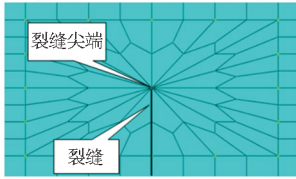
裂缝区域以外单元类型同上。裂缝尖端周边单元类型采用具有 1/4 结点的奇异单元模拟裂缝尖端应力与应变场的奇异性,模型单元总数 41 784 个,如图 3 所示。



(a) 常规单元

(b) 奇异单元

道桥技术



(c) 裂缝尖端的单元网格

图3 裂缝扩展分析模型图

Fig. 3 Crack propagation analysis model diagram

1.3 基本假定

- (1) 各层为连续均匀、各向同性线弹性体，且忽略自重对结构分析产生的影响；
- (2) 忽略不同结构层层间的接触阻力；
- (3) 假定模型四周为水平方向约束，土基底部完全固定；
- (4) 无特殊说明，旧板接缝不传荷；
- (5) 打裂压稳后的板块裂缝与其余部位的界面接触为一般接触^[10]，只传递剪应力，且界面摩擦系数取为0。

1.4 接缝传荷模型

根据“贡献面积”刚度分配原则，混凝土板接缝两侧结点分为板角结点、板边结点和板中结点三种类型^[12]，如图4所示。

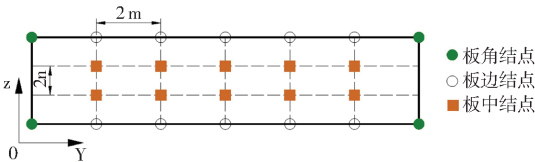


图4 旧水泥板接缝两侧结点分布示意图

Fig. 4 Distribution of nodes on both sides of old cement board joint

接缝弹簧换算单位长度刚度计算公式^[13]为：

$$k = \frac{q\lambda}{4(N_r - 1)(N_c - 1)} \quad (1)$$

式中： q 为接缝总刚度，MPa； λ 为接缝长度，m； N_r 为板侧面结点行数，本文取5； N_c 为板侧面结点列数，本文取10。板角、板边和板中节点接缝刚度分别为 k 、 $2k$ 和 $4k$ 。

1.5 材料参数

表2为各层结构的材料参数基准值，其中隔裂夹层材料参数以文献[14]中2%掺量水泥稳定碎石为基准值；旧板碎石化破碎后，将旧混凝土层分为碎石化上层和下层，其中碎石化上层模量为207 MPa，碎石化下层模量为3 450 MPa^[11]。

表2 材料参数一般取值
Table 2 Material parameters

结构层	弹性模量 /MPa	泊松比	
加铺沥青面层	1 200	0.25	
隔裂夹层	584	0.25	
单块旧混凝土板	30 000	0.15	
旧板打裂压稳	30 000	0.15	
碎石化	上层	207	0.25
	下层	3 450	0.15
旧水泥稳定碎石基层	500	0.20	
填隙碎石底基层	200	0.30	
土基	30	0.35	

1.6 车辆荷载

采用单轴双轮组车辆荷载计算轴型。轮胎接地宽度为22 cm，长度为16 cm，接地压强取0.7 MPa。已有研究表明，旧板接缝板角偏荷位为沥青加铺结构的最不利荷位^[5]。考虑最不利情况，计算时选择旧板接缝板角偏荷位作为车辆荷载的加载位置如图5所示。

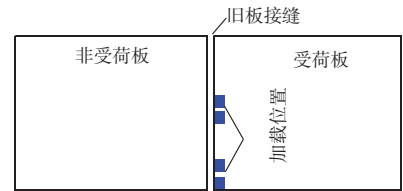


图5 荷载施加位置

Fig. 5 Loading positions

2 复合路面疲劳寿命分析

复合路面沥青面层反射裂缝总疲劳寿命为起裂寿命与稳定扩展寿命之和^[5]，不稳定扩展阶段反射裂缝寿命部分不计算在内，计算如下：

$$\begin{cases} N_{\text{total}} = N_{\text{in}} + N_{\text{pro}} \\ N_{\text{in}} = \left(\frac{A_c \tau_s}{0.33 \tau_{\text{max}}} \right)^{20} \\ N_{\text{pro}} = \int_{C_0}^{C_r} \frac{1}{A(\Delta K_i)^n} dc \end{cases} \quad (2)$$

式中： N_{total} 为反射裂缝总疲劳寿命； N_{in} 为反射裂缝的起裂寿命； N_{pro} 为反射裂缝由初始裂缝长度扩展至距加铺层顶面1.5 cm时的寿命； A_c 为公路等级系数，取1.1； τ_s 为沥青混合料抗剪强度，取0.828 MPa； τ_{max} 为沥青层最大剪应力； C_0 为初始裂缝长度，取

0.5 cm; C_r 为临界裂缝长度, 取距路面顶 1.5 cm; ΔK_i 为应力强度因子变化量; A 、 n 为沥青混合料疲劳断裂扩展参数, A 取 3.5×10^{-6} , n 取 3.0。

以下主要针对不同沥青面层厚度、旧板破碎情况、旧板打裂压稳尺寸大小、旧板模量、旧板接缝弯沉差、隔裂夹层模量与厚度下复合路面疲劳寿命进行分析, 参数取值见表 3。

表 3 主要影响参数取值

Table 3 Main influencing parameters

参数名称	取值范围	一般取值
沥青面层厚度/cm	4~20	10
旧板破碎情况	不破碎、打裂压稳、碎石化	不破碎
旧板打裂压稳板块尺寸 / (cm × cm)	250 × 225、100 × 90、50 × 45	100 × 90
旧板模量/GPa	18~34	30
旧板接缝弯沉差/0.01 mm	0~36	36
隔裂夹层模量/MPa	400~1500	584
隔裂夹层厚度/cm	10~20	15

2.1 沥青面层厚度

直接加铺与设置了隔裂夹层后的复合路面面层总疲劳寿命, 随沥青面层厚度的变化情况如图 6 所示, 沥青面层总疲劳寿命随厚度呈指数型增长, 且设置隔裂夹层对沥青面层总疲劳寿命有显著影响。

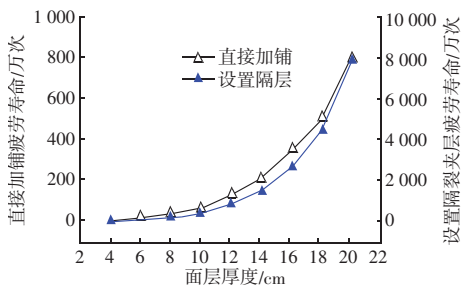


图 6 隔裂夹层对不同沥青面层厚度的复合路面疲劳寿命影响
Fig. 6 Effect of interlayer on fatigue life of composite pavement with different thickness of asphalt pavement

不同沥青面层厚度下设置了隔裂夹层的复合路面总疲劳寿命提高情况如图 7 所示。沥青面层厚度对隔裂夹层的复合路面面层总疲劳寿命有较大影响, 沥青面层总疲劳寿命提高比例随着沥青加铺层厚度的增大而逐渐增大; 在沥青加铺厚度 ≤ 14 cm 时, 提高比例变化不大, 在加铺厚度 > 14 cm 时, 设置隔裂夹层带来的沥青面层总疲劳寿命改善效果更显著。分析认为, 微黏结级配碎石隔裂夹层的弹性模量较低, 属于软弱夹层。相较于沥青加铺层而言, 隔裂夹层可以吸收外界产生的能量, 达到缓冲外界

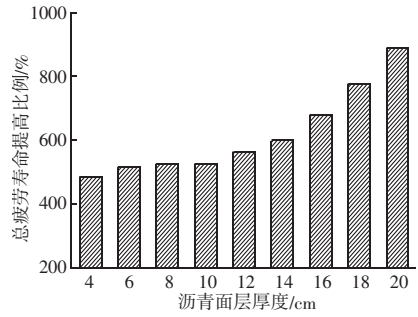


图 7 复合路面总疲劳寿命随沥青面层厚度的变化
Fig. 7 Variation of fatigue life of composite pavement with asphalt overlay thickness

荷载的目的。当沥青加铺面层的厚度较薄时, 隔裂夹层将承受更大的应力作用, 使得该层提前进入疲劳状态, 这时厚度变化对沥青面层总疲劳寿命的影响差别不显著。当沥青加铺层厚度为 20 cm 时, 沥青面层总疲劳寿命较 10 cm 厚度提高了 2 倍左右。因此, 微黏结级配碎石隔裂夹层在沥青加铺层厚度较厚时 (> 14 cm), 对沥青面层总疲劳寿命的提高更为显著。

2.2 旧板破碎情况

图 8 为不同旧板破碎情况 (不破碎、旧板碎石化、旧板打裂压稳) 下直接加铺与设置隔裂夹层后, 接缝处沥青加铺面层层底的最大主应力及最大剪应力。

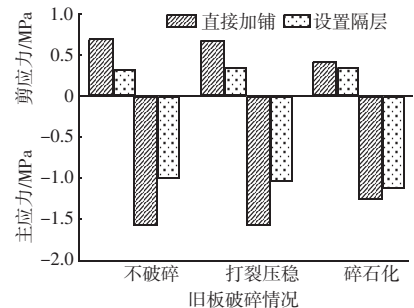


图 8 加铺面层层底的最大主应力及最大剪应力
Fig. 8 Maximum principal stress and maximum shear stress at the bottom of paved layer

对于直接加铺的结构中, 接缝处沥青加铺面层层底的 σ_1 与 τ_{\max} 均随着旧板尺寸减小 (不破碎 $>$ 打裂压稳 $>$ 碎石化) 呈下降趋势。其中, 旧板打裂压稳与旧板不破碎相比, σ_1 、 τ_{\max} 分别下降了 0.7%、2.3%; 而旧板碎石化与旧板不破碎相比, σ_1 、 τ_{\max} 分别下降了 21.0%、38.5%。由此可见, 板块尺寸的减小利于避免接缝处沥青面层出现应力集中现象。对于设置隔裂夹层的结构中, 随着旧板尺寸增大,

道桥技术

接缝处沥青加铺面层层底的 σ_1 及 τ_{\max} 均略有降低, 表明隔裂夹层下卧于整体性好、强度高的支撑层, 能够降低接缝处沥青面层应力集中。此外, 设置隔裂夹层均能降低接缝处沥青加铺面层层底的 σ_1 及 τ_{\max} 。相较于旧板碎石化的降低幅度而言, 旧板不破碎与旧板打裂压稳降低幅度更大, 表明隔裂夹层对结构中的能量能吸收与消散, 对旧板不破碎与旧板打裂压稳的影响更为显著。

在不同的旧板破碎情况下, 直接加铺与设置隔裂夹层后沥青加铺面层的总疲劳寿命如图 9 所示。

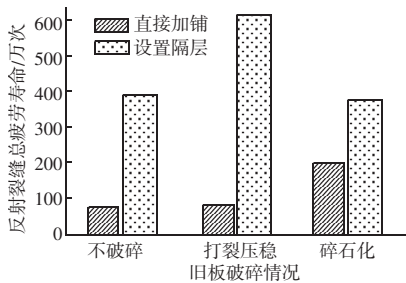


图 9 不同旧板破碎情况对沥青面层总疲劳寿命的影响
Fig. 9 Influence of different old board breaking conditions on total fatigue life of Asphalt Pavement

在直接加铺沥青层结构中, 旧板碎石化的沥青加铺层总疲劳寿命最高, 旧板不破碎的沥青加铺层总疲劳寿命最低。这是由于在行车荷载的作用下, 板块的尺寸越大越容易出现断块现象, 因此可在直接加铺沥青面层的结构中采用减小板块尺寸的方式来提高加铺面层的总疲劳寿命。此外, 对于设置隔裂夹层结构沥青面层的总疲劳寿命中, 旧板打裂压稳结构的最高, 旧板碎石化结构的最低。其中旧板打裂压稳的沥青面层总疲劳寿命比旧板碎石化的高 62.1%, 说明微黏结级配碎石隔裂夹层需要置于具有一定强度的支撑层上才能充分提高沥青路面面层的总疲劳寿命。

2.3 旧板打裂压稳尺寸大小

旧板打裂压稳后, 不同尺寸板块下, 直接加铺与设置隔裂夹层处置后接缝处沥青加铺面层层底的最大主应力 σ_1 及最大剪应力 τ_{\max} 如图 10 所示。对于同一尺寸板块的情况, 设置隔裂夹层能够有效降低接缝处沥青加铺面层层底的 σ_1 与 τ_{\max} 。对于尺寸为 100 cm × 90 cm 的板块, 设置隔裂夹层后加铺面层层底的 σ_1 与 τ_{\max} 分别降低了 35.3% 和 51.1%, 表明隔裂夹层的设置起到了消散与吸收能量的作用; 此外,

设置隔裂夹层后, 随着板块尺寸的减小, 接缝处沥青加铺面层层底的 σ_1 略有增大, 表明隔裂夹层下卧于整体性越好、强度越高的支撑层越好。

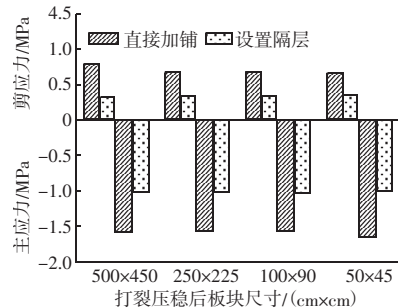


图 10 加铺面层层底的最大主应力及最大剪应力
Fig. 10 Maximum principal stress and maximum shear stress at the bottom of paved layer

旧板打裂压稳后, 不同的尺寸板块直接加铺与设置隔裂夹层处置后, 沥青加铺面层总疲劳寿命情况如图 11 所示。对于打裂压稳后直接加铺沥青面层的结构中, 随着板块尺寸的减小, 沥青加铺面层总疲劳寿命增加, 但增加幅度并不显著。其中, 当板块尺寸为 250 cm × 225 cm 时, 沥青加铺面层反射裂缝的总疲劳寿命约为 77 万次; 当板块尺寸为 50 cm × 45 cm 时, 其总疲劳寿命约为 85 万次, 增大了 10.4%。对于设置隔裂夹层的结构中, 沥青加铺面层总疲劳寿命随着板块尺寸的减小呈现先增后减的趋势, 在板块尺寸为 100 cm × 90 cm 时, 沥青加铺面层总疲劳寿命达到最大值, 约为 614 万次; 加铺沥青面层总疲劳寿命提高比例同样呈现先增后减的趋势, 在板块尺寸为 100 cm × 90 cm 时, 沥青加铺面层总疲劳寿命提高比例达到最大值, 为 661.0%。分析认为, 随着板块尺寸的减小, 沥青加铺层的应力集中现象减弱, 但与此同时造成更明显的强度折减。结合

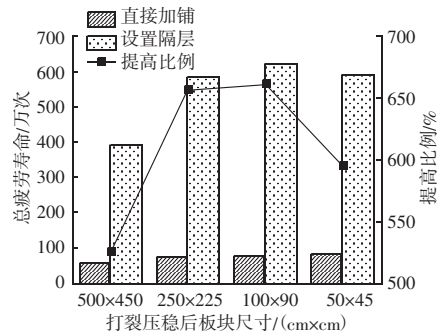


图 11 隔裂夹层对不同板块尺寸的复合路面疲劳寿命影响
Fig. 11 Effect of interlayer on fatigue life of composite pavement with different plate sizes

前文所述, 隔裂夹层下卧于整体性越好、强度越高的支撑层时, 其提高沥青加铺面层总疲劳寿命的效果越佳。因此, 在板块尺寸为 $100\text{ cm} \times 90\text{ cm}$ 时, 沥青加铺面层的总疲劳寿命与其提高百分比均达到最大值。

2.4 旧板模量

直接加铺与设置隔裂夹层后, 复合路面面层总疲劳寿命随旧板模量的变化情况如图 12 所示, 直接加铺结构中沥青面层的总疲劳寿命随着旧板模量的增大而略微增大。设置了隔裂夹层后, 加铺沥青面层的总疲劳寿命大幅提高。当模量为 26 GPa 时, 设置隔裂夹层后的沥青面层总疲劳寿命比直接加铺的高 5.12 倍。然而对于不同的旧板模量而言, 设置隔裂夹层后的加铺面层的总疲劳寿命基本不变。随着旧板模量的增加, 加铺面层反射裂缝总疲劳寿命提高百分比下降。这表明所设置的微黏结级配碎石隔裂夹层对路面结构支撑层所承受的荷载起到了隔离作用, 弱化了旧板模量差异造成的影响。

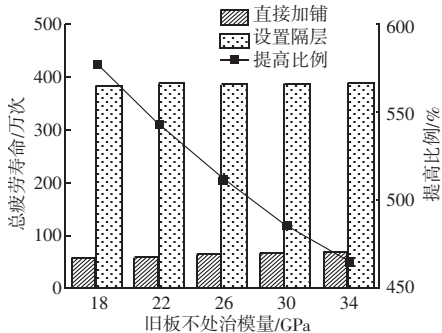


图 12 隔裂夹层对不同旧板模量的复合路面疲劳寿命影响

Fig. 12 Effect of interlayer on fatigue life of composite pavement with different modulus of old slab

2.5 旧板接缝弯沉差

通过变化接缝弹簧单元的刚度来模拟旧板的接缝弯沉差。选用模型为未加铺沥青面层的结构, 车辆荷载同样选取接缝板角偏荷位。计算得到接缝传荷刚度与旧板接缝弯沉差的关系, 如图 13 所示。依据旧板接缝弯沉差与接缝传荷刚度的关系曲线, 计算得到不同接缝弯沉差下设置隔裂夹层前后沥青加铺面层的总疲劳寿命提高百分比情况, 如图 14 所示。整体来看, 旧板接缝弯沉差对隔裂夹层加铺沥青面层总疲劳寿命的提高有较大影响。沥青加铺面层总疲劳寿命提高百分比随旧板接缝弯沉差的增大呈上升趋势。接缝传荷系数越大, 沥青加铺面层总疲劳寿命提高的百分比也越大。在接缝弯沉差较小 ($< 0.02\text{ mm}$) 时,

此时旧板接缝传荷能力较好, 设置了隔裂夹层反而降低了沥青面层的总疲劳寿命。

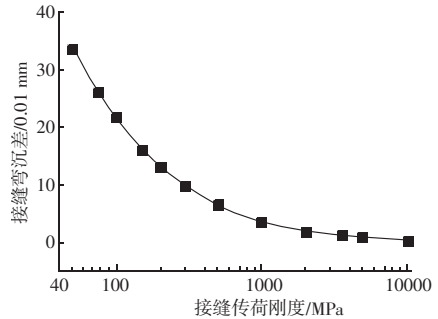


图 13 旧板接缝弯沉弯沉差与接缝传荷刚度的关系曲线

Fig. 13 Relationship curve between deflection difference of old slab joint and load transfer stiffness of joint

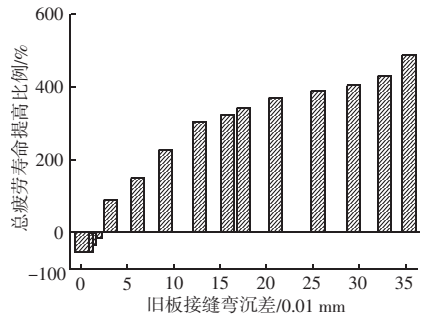


图 14 旧板接缝弯沉差对复合路面面层总疲劳寿命的影响

Fig. 14 Influence of old slab joint deflection difference on total fatigue life of composite pavement surface

由于隔裂夹层的模量较低, 属于软弱夹层, 当接缝弯沉差较小时, 路面结构本身的承载能力较高, 导致采用隔裂夹层结构对沥青加铺层整体的疲劳寿命提高并不显著, 甚至降低; 而当接缝弯沉差较大时, 沥青路面承载能力较弱, 采用隔裂夹层能够加强路面结构对荷载产生的能量进行吸收和消散, 达到缓冲目的, 增大了沥青加铺面层的总疲劳寿命。由此可见, 隔裂夹层设置在旧板接缝弯沉差越大的路面结构时, 沥青加铺面层总疲劳寿命的提高也更显著。

2.6 隔裂夹层厚度

不同隔裂夹层厚度下沥青面层总疲劳寿命提高百分比情况如图 15 所示, 隔裂夹层厚度对沥青加铺面层总疲劳寿命有较大影响。随着隔裂夹层厚度的增大, 沥青面层总疲劳寿命提高百分比减小, 并且隔裂夹层厚度以 18 cm 为界限分为“两阶段”: 在隔裂夹层厚度 $\leq 18\text{ cm}$ 时, 沥青面层总疲劳寿命提高百分比均在 450% 以上; 当隔裂夹层厚度 $> 18\text{ cm}$ 后,

道桥技术

沥青面层总疲劳寿命提高百分比下降到 300%，甚至更低。分析认为，由于微黏结级配碎石夹层属于软弱夹层，其自身的塑性变形随着厚度的增大而增大。当厚度大于一定值时，自身的塑性变形更加明显，导致隔裂夹层的隔裂效果减弱，但是从整体上看，设置 10~30 cm 隔裂夹层对复合路面总疲劳寿命较好。

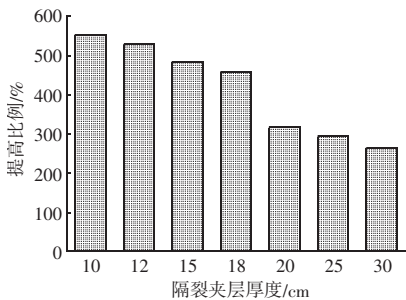


图 15 隔裂夹层厚度对加铺沥青面层总疲劳寿命的影响
Fig. 15 Influence of interlayer thickness on total fatigue life of composite pavement surface

3 工程应用

3.1 工程概况

福州市某主干道改造工程，城市主干道，全长 2.8 km，道路宽度 64 m，作为东部进出城重要通道，交通量大（以货车居多），改造前已服役 20 年。原路面结构为“24 cm 厚 C35 水泥混凝土 + 15 cm 厚水泥稳定砂砾 + 15 cm 厚山皮石”；旧水泥混凝土断板率为 8%，模量差异较大，平均错台量为 6 mm，等级为中级；旧混凝土面层的接缝弯沉差为 20/0.01 mm，接缝传荷系数平均值为 58，等级为次级。为了进一步延长道路的服役年限，增加其疲劳寿命，在道路“白改黑”工程的基础上设置微黏结级配碎石隔裂夹层。

3.2 结构设计

“白改黑”道路改造工程采用“4 cm 厚 SMA-13 + 5 cm 厚 AC-16C 中粒式沥青混凝土 + 7 cm 厚 AC-25C 粗粒式沥青混凝土”的面层结构。项目以不破碎旧板作为支撑层，并采用 15 cm 厚、水泥掺量为 3% 的稳定碎石作为隔裂夹层，以减小反射裂缝的产生。

3.3 实施效果

该主干道改造工程于 2014 年竣工通车，迄今为止使用近 10 年。对道路全线出现的反射裂缝数量及长度进行调查统计，包括横向裂缝、纵向裂缝、不规则裂缝以及网状裂缝。结果显示，全线出现的反

射裂缝条数为 31 条，其中横向裂缝 19 条、纵向裂缝 12 条。经计算道路每百米出现的反射裂缝条数为 1.1 条。有研究显示服役 7 年的普通沥青混凝土路面每百米出现的反射裂缝条数高达 31.8 条。由此可见，改造后的主干道投入运营使用后，降低了反射裂缝病害问题。

4 结论

基于有限元数值模型，对设置微黏结级配碎石隔裂夹层的复合路面进行了有关影响疲劳寿命因素的具体研究，并优化隔裂夹层参数后运用至“白改黑”工程中，结论如下：

(1) 在旧板不破损下，设置微黏结级配碎石隔裂夹层能提高复合路面的疲劳寿命，延缓加铺面层反射裂缝的出现，尤其是对旧板模量差异较大以及接缝弯沉差较大的路段，延长疲劳寿命更明显。

(2) 对旧板打裂压稳后，设置微黏结级配碎石隔裂夹层能提高复合路面的疲劳寿命，建议打裂的板块尺寸控制在 100 cm 左右为宜。

(3) 对于旧板碎石化后，设置微黏结级配碎石隔裂夹层，复合路面疲劳寿命提高不显著。

(4) 设置隔裂夹层复合路面的沥青加铺面层厚度宜超过 14 cm，同时隔裂夹层厚度宜为 15 cm 左右。

参 考 文 献

- [1] 潘睿. 寒冷地区温拌橡胶沥青混合料应力吸收层防治反射裂缝的力学分析 [J]. 公路, 2019, 64 (1): 52-58.
- [2] 刘志胜, 刘志岗, 张翥, 等. 刚柔复合式路面裂缝反射预防技术研究进展 [J]. 材料导报, 2016, 30 (3): 86-90, 104.
- [3] 林家琛, 吴玉, 王旭. 移动荷载作用下组合式沥青路面结构受力特性分析 [J]. 中外公路, 2022, 42 (1): 43-47.
- [4] 苏卫国, 朱洋. 水泥路面上超薄沥青罩面主被动抗反射裂缝应用研究 [J]. 河南科技大学学报 (自然科学版), 2022, 43 (3): 55-62, 8.
- [5] 吴艳. 重载公路水泥混凝土路面加铺沥青面层技术研究 [D]. 福州: 福州大学, 2010.
- [6] 杨斌, 陈拴发, 王秉纲, 等. 级配碎石裂缝缓解层防裂机理及足尺疲劳试验 [J]. 公路交通科技, 2006 (12): 37-40.
- [7] 胡蓝心. 基于反射裂缝的旧水泥混凝土路面沥青加铺层寿命预估 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [8] 田小革, 陈永兴. 沥青路面水泥改性级配碎石级配与回弹模量研究 [J]. 北方交通, 2012 (6): 18-20.
- [9] ASHTIANIR S, LITTLED N, MASADE. Evaluation of the impact

of fines on the performance of lightly cement-stabilized aggregate systems [J]. Transportation Research Record, 2007, 2026-10: 81-88.

- [10] 杨斌, 陈拴发, 胡长顺. 路面板断裂尺寸对沥青加铺层应力的影响 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2006 (1): 12-15.
- [11] 黄晓明, 张玉宏, 李昶, 等. 水泥混凝土路面碎石化层应力强度因子有限元分析 [J]. 公路交通科技, 2006 (2): 52-55.

[12] 周正峰, 凌建明, 袁捷, 等. 机场刚性道面接缝传荷能力的评价 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2010, 38 (6): 844-849.

[13] 林立宽. 公路沥青路面养护决策模型优化方法研究 [J]. 中外公路, 2022, 42 (3): 52-57.

[14] 黄金龙. 路面加铺微粘级配碎石力学特性研究 [D]. 福州: 福州大学, 2014.

欢迎订阅 2025 年《砖瓦》杂志

——砌块、墙板、绿色装配式建筑

《砖瓦》杂志 1971 年创刊，是国内外公开发行的、面向我国墙体屋面材料行业的核心优秀科技期刊，中国学术期刊综合评价数据库（CAJCED）统计源期刊、中国期刊全文数据库（CJFD）全文收录期刊，“万方数据-数字化期刊群”核心期刊。《砖瓦》杂志权威报道以烧结砖瓦为主的墙体屋面材料行业发展动态、最新科研成果、新产品、新技术、节能环保、废弃物利用、砖瓦文化及绿色节能建筑，以及古建筑、园林设计、砖瓦历史文化、现代建筑应用、节能减排、废弃物综合利用、墙材机械装备及相关配套产品的应用。2020 年起，新增“工程设计”“工程管理”“施工技术”“工程教学”等栏目。《砖瓦》杂志是中国砖瓦界与国际交流的重要窗口，是广大读者获取行业最新信息和技术的重要渠道，也是科技人员进行学术探讨、技术交流的重要平台。每年由《砖瓦》杂志社主办的技术交流行业博览会得到了业内的极大关注。《砖瓦》为月刊，国际刊号：ISSN 1001-6945，国内刊号：CN61-1145/TU，全年 12 期，每期 184 页，大 16 开本，封面和插页均采用铜版纸四色胶印，邮局订阅（邮发代号：52-37）或编辑部邮购订阅均可。全年定价 216 元（含邮费）。欢迎订阅，欢迎各企业刊登广告，欢迎投稿。

地 址：陕西省西安市长安南路 6 号

邮 编：710061

电 话：(029) 85221486 85221476

传 真：(029) 85221476

邮件地址 (E-mail): qiangcai@vip.sina.com

网 址：www.zhuanwa.cn