

# Mechanics Analysis of Asphalt Overlay of Cement Concrete Base under Moving Load

Yuanren Fang, Huiqiang Chen, Qingpeng He, Dalu Liu, Jianbang Sun

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing  
Email: 316636595@qq.com

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2017; accepted: Nov. 19<sup>th</sup>, 2017; published: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2017

---

## Abstract

In this paper, the abaqus software is used to analyze the stress state of the midpoint of the cracks in the asphalt overlay of the cement concrete pavement under the moving load, and the most unfavorable load position is obtained. The effects of overlay thickness, overlay modulus, cement board thickness and base modulus on the stress state of pavement pavement were studied. The influence factors of pavement overlay structure were analyzed. The results showed that the basic modulus Asphalt overlay cracks at the midpoint of the maximum stress, followed by the thickness of the overlay and overlay modulus, the thickness of the cement board basically did not affect.

## Keywords

Concrete Pavement, Asphalt Overlay, Finite Element, Stress State, Moving Load

---

# 移动荷载作用下水泥混凝土基层沥青加铺层力学分析

方源仁, 陈辉强, 何青蓬, 刘大路, 孙建邦

重庆交通大学, 土木工程学院, 重庆  
Email: 316636595@qq.com

收稿日期: 2017年11月6日; 录用日期: 2017年11月19日; 发布日期: 2017年11月23日

---

## 摘要

为了研究移动荷载作用下水泥混凝土路面沥青加铺层裂缝中点的应力状态, 应用abaqus软件分析加铺层厚度、加铺层模量、水泥板厚度、基础模量对沥青加铺层路面应力状态的影响。结果表明: 基础模量对

沥青加铺层裂缝中点应力影响最大，加铺层厚度和加铺层模量影响次之，但水泥板厚度对裂缝中点应力几乎没有影响。

## 关键词

混凝土路面，沥青加铺层，有限元，应力状态，移动荷载

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

旧水泥混凝土路面的加铺改建，一般采用沥青混凝土材料作为加铺层。但由于旧混凝土面层本身的接缝和裂缝，新建面层在气候和行车荷载作用下，会在加铺层上产生反射裂缝[1]。目前很多文献都是研究静荷载对沥青加铺层路面结构的影响，对模拟路面的真实受力状况存在一定的局限性。为了更加真实可靠地分析旧混凝土路面沥青加铺层的内应力分布状况，本文借鉴国内外现有的研究成果[2] [3] [4] [5] [6]，采用 Fortran 软件编写 DLOAD 以及 UTRACLOAD 子程序实现移动荷载的施加，利用 abaqus 软件分析带裂缝的复合式路面结构力学响应，研究了加铺层厚度、加铺层模量、水泥板厚度及基础模量等因素对沥青加铺层路面结构的影响。其中，分析对象由沥青加铺层、带有接缝的旧混凝土路面层和基础组成。

## 2. 有限元计算模型和材料参数

### 2.1. 基本假设和有限元模型

沥青加铺层在力学性质上属于非线性的弹 - 粘 - 塑性体，考虑到行驶车轮作用的瞬时性，在路面结构中产生的应力数值很小，而且混凝土板与基础之间的摩阻力一般不大，在力学图式上可以将其看作弹性地基板，因此，分析时可将整个路面加铺层结构作为弹性体，采用线性静力学的分析方法。为了反映弹性半空间体地基的特性，地基采用扩大基础尺寸。应力分析时，对各结构层作如下假设：

- ① 各结构层均为均匀、连续、各向同性的弹性体；
- ② 层间接触完全连续；
- ③ 基础底面各向位移为零，基础侧面水平方向位移为零；
- ④ 路面被整个裂缝贯穿，假设宽度为 1 cm，裂缝处不存在传荷能力；

分析采用黄河 JN150 标准车型，行车荷载为双轮组单轴轴载 100 kN，即标准轴载 BZZ-100。轮胎接地压强  $p = 0.7 \text{ MPa}$ ，单轮传压面的当量圆径  $d = 21.30 \text{ cm}$ ，单轮当量圆的作用范围折算为等效轮压的作用范围，即  $18.9 \text{ cm} \times 18.9 \text{ cm}$  的正方形，接地面积为  $357.21 \text{ cm}^2$ ，双轮中心距为 32 cm，两侧轮隙间距为 182 cm。计算车速为 30 m/s 的标准车型 0.1 s 内对裂缝处沥青加铺层的力学响应，轮迹带长度取 3 m，如图 1 网格加密区。

本文拟定的相关参数包括：为模拟实际路面选取旧水泥混凝土路面板板长  $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 、宽 4.5 m、裂缝宽度为 1 cm、厚度 22 cm；沥青加铺层长 12.01 m、宽 4.5 m、厚度为 10 cm。模拟时为了更好地反映出半无限大空间地基的特征，取长 18.01 m、宽 10.5 m、厚度为 9 m 的扩大基础为地基。依据有限元的基本理论，要获得更高的计算精度，其划分的网格应该取得越细。当然也不是越细越好，因为计算速度会

由于网格划分过细而降低，应该划分合理。适度地于应力较大的部位、荷载作用处和研究关注位置处加密，扩大其它位置的网格。对接缝及其附近等本课题重点关注的部位，细化了其加铺层结构网格，整体网格划分如图 1 所示，裂缝处局部网格如图 2 所示。

## 2.2. 材料参数

针对国内的典型复合式路面结构，引入断裂力学基本原理，设置能较好反映裂缝尖端应力场的奇异性的奇异单元来模拟沥青层。各结构层均视为各向同性的均质材料，主要计算参数[7]如表 1 所示。

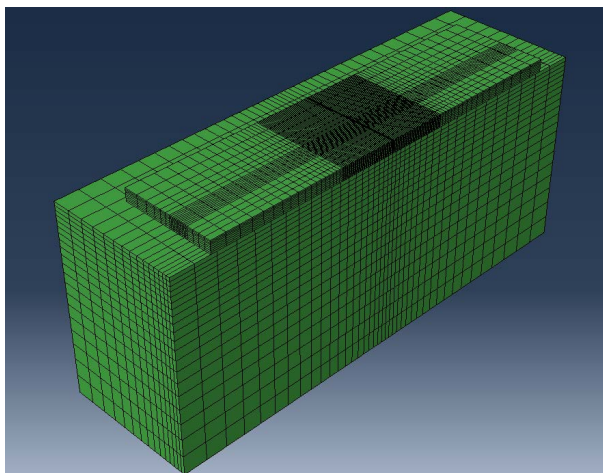


Figure 1. The calculation model of overlay pavement structure  
图 1. 加铺层路面结构的计算模型

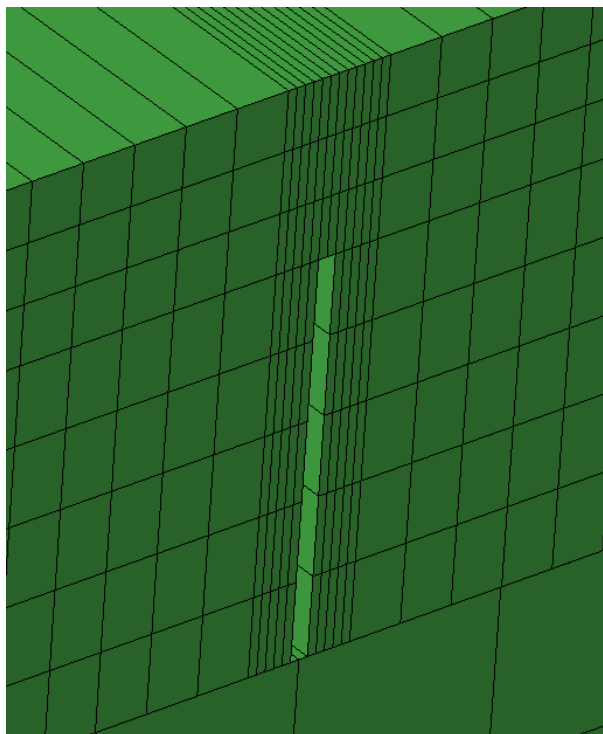


Figure 2. Fracture at the local grid  
图 2. 裂缝处局部网格

### 3. 裂缝中点应力响应分析

车辆荷载作用下，路面结构内任一点通常都同时存在应力、应变和应变能，沥青加铺层的破坏与危险点位置与这些因素密切相关。目前常用的强度理论有三种，即最大拉应力理论，最大剪应力理论以及形状改变比能理论。根据这三大强度理论，本文对加铺层进行移动荷载分析时主要考察沥青加铺层裂缝中点的最大主应力 $\sigma_1$ 、最大剪应力 $\tau_{max}$ 以及等效应力 $\sigma_e$ 。

由图3可以看出，车辆从远处驶向裂缝的过程中，裂缝中点处的最大主应力 $\sigma_1$ 、最大剪应力 $\tau_{max}$ 以及等效应力 $\sigma_e$ 整体呈增大趋势，0.022 s以前，车辆对裂缝中点处的力学响应并不明显，应力增加幅度较小，0.022 s到0.046 s，这段时间应力以指数形式增长， $\sigma_1$ 、 $\tau_{max}$ 以及 $\sigma_e$ 分别增加了255%、206%、289%。0.046 s到0.05 s，裂缝中点处应力急剧减小，0.05 s前后荷载应力基本呈对称趋势。表明车轮在裂缝正上方时并不是最不利荷载位置，而是0.046 s处，车轮中心距裂缝中心水平距离1.2 m处。

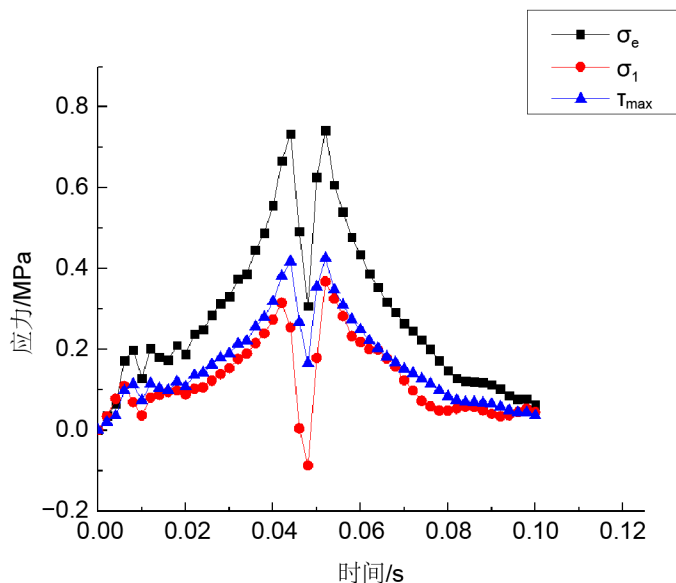
### 4. 加铺层的结构力学分析

#### 4.1. 加铺层厚度对荷载应力影响分析

沥青加铺层的厚度与反射裂缝的扩展速度有很大的关系，一般来说，加铺层越厚，其防止或延缓反射裂缝的效果就越好，裂缝扩展到路表面的时间也就越长，但加铺层也不可能无限地增厚，一是经济上不可行；二是加铺层过厚易产生车辙，影响路面的使用性能。分析在最不利荷载时刻0.046 s时，沥青

**Table 1.** Material parameters  
**表 1.** 材料参数

结构层	厚度(cm)	模量(MPa)	泊松比	密度(kg/m <sup>3</sup> )
沥青加铺层	8~22	800~1400	0.3	2500
旧水泥混凝土路面	22	30000	0.15	2500
土基	900	100	0.35	1400



**Figure 3.** Stress response at the midpoint of the fracture  
**图 3.** 裂缝中点处应力响应

加铺层厚度按 2 cm 的增量从 8 cm 增加到 22 cm 的变化过程中, 接缝处加铺层应力变化情况见图 4。

由图 4 可以看出, 最大主应力  $\sigma_1$ 、最大剪应力  $\tau_{\max}$  以及等效应力  $\sigma_e$  随沥青加铺层厚度增加而减小。当加铺层厚度从 8 cm 增至 22 cm 时,  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$  曲线下降速率均较快, 这三个应力分别减少了 53.1%, 51.7%, 62.8%, 说明增加加铺层的厚度对减小加铺层的应力起到了很大的作用。

#### 4.2. 加铺层模量对荷载应力的影响

沥青混合料作为一种粘弹性材料, 对温度变化比较敏感, 随着温度的变化其模量和强度及材料组成也相应产生变化, 而模量变化将导致沥青加铺层对荷载响应的变化[8]。本节分析沥青加铺层模量变化对路面结构受力产生的影响。分析沥青混合料模量从 800 MPa 变化到 2000 MPa 的过程中荷载应力的变化。

由图 5 可以看出, 最大主应力  $\sigma_1$ 、最大剪应力  $\tau_{\max}$  以及等效应力  $\sigma_e$  随沥青加铺层厚度增加而减小。当加铺层厚度从 8 cm 增至 22 cm 时,  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$ 、 $\sigma_e$  曲线下降速率均较快, 这三个应力分别减少了 53.1%, 51.7%, 62.8%, 说明增加加铺层的厚度对减小加铺层的应力起到了很大的作用。

#### 4.3. 水泥板厚度对荷载应力的影响

随着水泥板厚度增大, 裂缝中点处的  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$  和  $\sigma_e$  都逐渐增大。当水泥板厚度达到 24 cm 时,  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$  和  $\sigma_e$  达到最大。厚度继续增大时, 这三个应力值开始逐渐减小, 整个变化过程中  $\sigma_1$ 、 $\tau_{\max}$  和  $\sigma_e$  变化的幅度都很小, 可见水泥板厚度对加铺层底的应力值影响很小(图 6)。

#### 4.4. 基础模量对荷载应力的影响

基础是混凝土路面板的基本支撑体, 包括原路面基层、垫层与土基。虽然行车荷载通过混凝土路面结构传至基层, 但基础的稳定性直接关系到混凝土路面的使用性能, 从而影响到沥青加铺层路面的使用性能[9]。基础损坏严重的路段, 基础模量较小, 可低至 50 MPa, 需要进行灌浆处理。而基础状况较好的路段, 基础模量较大, 可达到 120 MPa 以上。经过灌浆及其他补强处理, 模量值可得到相应提高, 取基础模量为 50~150 MP 进行分析[10]。

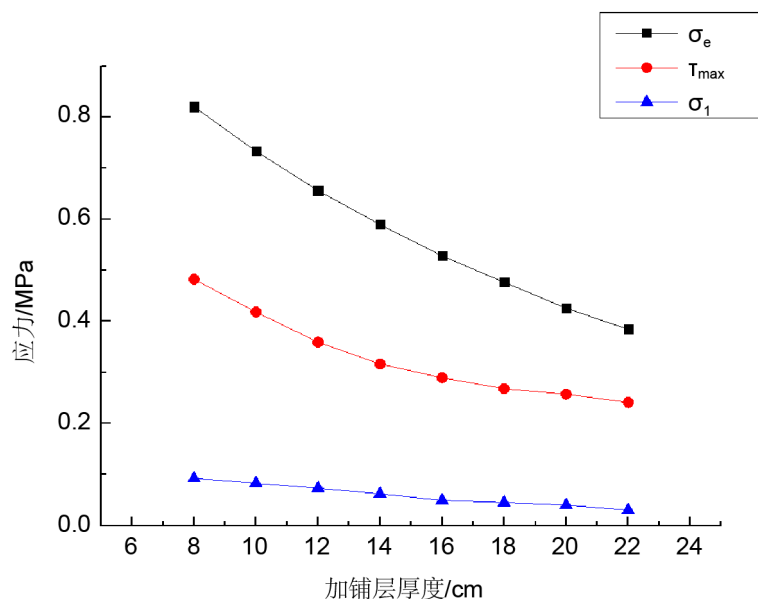


Figure 4. The midpoint stress of the crack varies with the thickness of the asphalt overlay  
图 4. 裂缝中点应力随沥青加铺层厚度变化

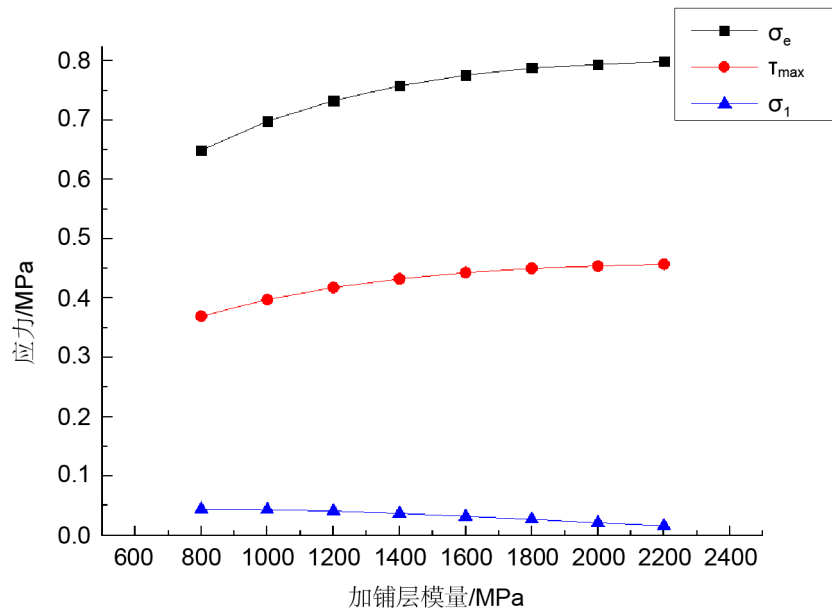


Figure 5. The midpoint stress of the crack varies with the modulus of the asphalt overlay  
 图 5. 裂缝中点应力随沥青加铺层模量变化

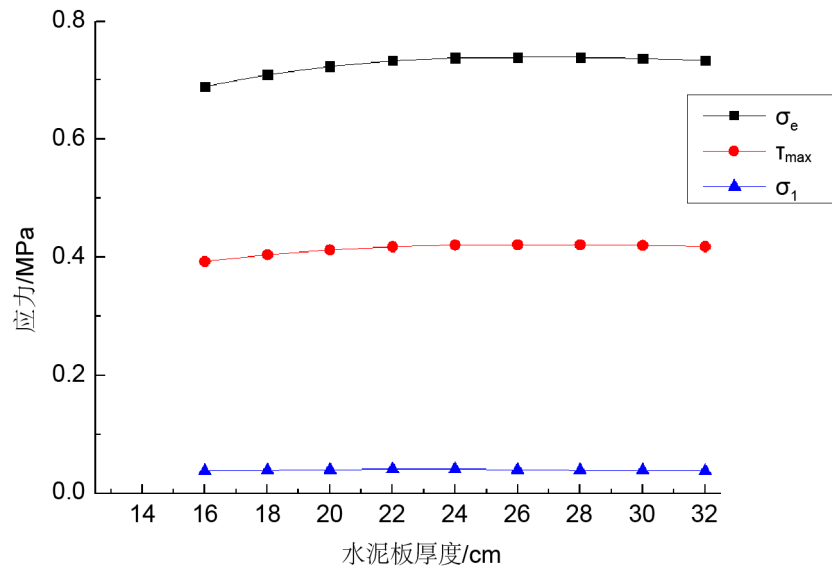


Figure 6. The midpoint stress of the crack varies with the modulus of the asphalt overlay  
 图 6. 裂缝中点应力随沥青加铺层模量变化

由图 7 可见, 随着基础模量的增加, 沥青加铺层中的各应力分量不断降低。基础模量初期的增长对改善沥青罩面层中的应力效果十分显著, 模量由 50 MPa 增大到 150 MPa 时,  $\sigma_e$  由 1.12 MPa 减少到 0.59 MPa, 降低了 47.3%, 其他各应力也都有较大幅度的降低。在基础模量增大的后期, 各应力变化并不显著。由上述分析可知, 当基层的模量很弱时, 适当地提高基础的模量对改善复合路面结构的整体结构强度及降低行车荷载对沥青加铺层的损坏有较大好处。因此, 在加铺沥青面层之前, 对基础的脱空进行合理处治, 对改善加铺层应力、有效防治反射裂缝十分显著, 而且对混凝土板的基础脱空现象进行调查和处治也十分必要。

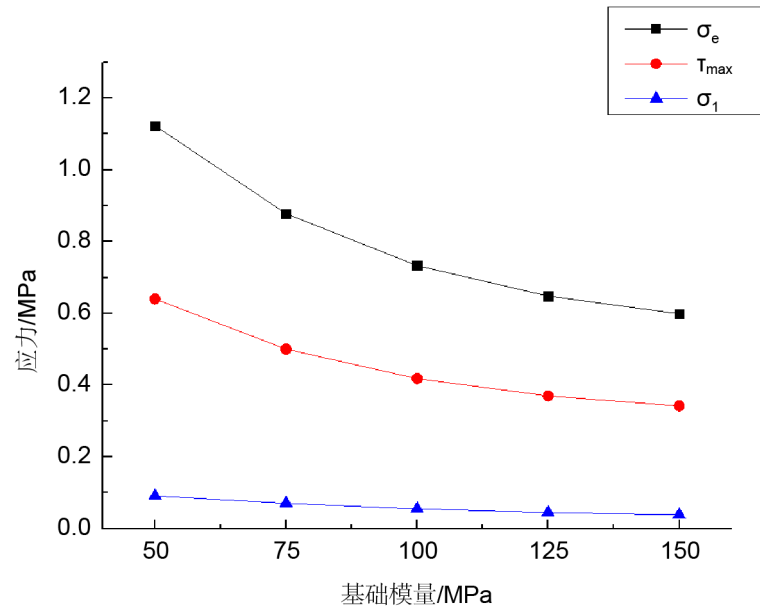


Figure 7. The midpoint stress of the fracture varies with the base modulus  
图7. 裂缝中点应力随基础模量变化

## 5. 结论

(1) 加铺层内的剪应力随着加铺层厚度的增加而减小, 尽管能改善加铺层内的应力状态, 但效果远不及基础模量的影响显著。

(2) 随着沥青加铺层厚度和模量的增大, 裂缝中点处的应力逐渐减小, 并且厚度越厚反射裂缝扩展至道路表面的时间也相应的越久, 这样对防止和延缓反射裂缝也更有利。但当加铺层结构总厚度到时再增加吸收层的厚度对应力减小效果不是很明显, 并且随着加铺层厚度增大, 要投入更多的成本, 也容易产生车辙, 可见沥青加铺厚度并不是越厚越好。

(3) 基础模量对加铺层应力状态的影响较为显著, 在加铺沥青面层之前, 处治旧混凝土板下的脱空、提高基础模量对防治反射裂缝十分有效。

## 参考文献 (References)

- [1] 曾梦澜, 吴正新, 钟梦武, 等. AC+CRC 复合式路面反射裂缝的有限元分析[J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(10): 1516-1520.
- [2] 周刚, 李汝凯, 王火明, 等. 经编复合聚酯玻纤布防反射裂缝性能试验[J]. 中国公路学报, 2016, 29(2): 16-22.
- [3] 徐华, 杨绿峰, 余振平. 半刚性基层沥青路面反射裂缝扩展过程分析的 Williams 单元[J]. 工程力学, 2013, 30(6): 247-253.
- [4] 沈金磊, 王建国. 大粒径沥青碎石基层抑制沥青路面反射裂缝的性能[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2015(6): 828-832.
- [5] 马培建, 曹高尚, 王杰, 等. 加铺应力吸收层的复合式路面开裂寿命预测[J]. 公路交通科技, 2013, 30(9): 18-26.
- [6] 郭寅川, 王礼根, 申爱琴, 等. 动载作用下级配碎石基层沥青路面力学分析[J]. 公路交通科技, 2016, 33(1): 27-33.
- [7] 马培建, 徐真真, 曹高尚. 基于断裂力学的应力吸收层开裂特性[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2013, 33(5).
- [8] 王宏畅, 黄晓明. 级配碎石沥青路面反射裂缝扩展及寿命研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010(7): 65-68.
- [9] 王选仓, 刘凯, 李善强. 沥青加铺层夹层材料抗反射裂缝性能研究[J]. 建筑材料学报, 2010, 13(2): 247-252.
- [10] 冯新军, 郝培文, 查旭东. 沥青稳定碎石基层抗反射裂缝能力评价方法[J]. 中国公路学报, 2011, 24(2): 6-11.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)