

Asphalt Overlay Structures Load Stress Analysis Based on the Old Concrete Crushing Plate

Tao Wang¹, Yanqing Du², Changhua Shao¹,

¹Engineering Department, Highway Bureau of Zaozhuang, Zaozhuang, P. R. China

²Civil Engineering school, Hebei University of Technology, Tianjin, PR China

Email: wangtao598@126.com, victordu@126.com, shaochanghua1997@sina.com

Abstract: In order to verify asphalt overlay structures based on the old concrete crushing plate is reasonable, and guide the overlay structures of design and construction. In my paper, a 3D finite element method was used to analyze the effects of the modulus of foundation, the thickness of asphalt overlay and the thickness and modulus of stress-absorbing layer on the old broken cement concrete pavement structure of the load stress and deformation. Analysis showed that: For low strength foundation should be made technical processing, can effectively delaying cracks appear; Overlay's thickness should be controlled in a certain range; Stress-absorbing layer thickness should be controlled in 2~3cm; In the design of stress-absorbing layer's modulus, consider the low-temp cracking and high-temp erature track.

Keywords: road engineering; old cement pavement crushing plate; load stress; stress-absorbing layer

旧水泥砼破碎板沥青加铺层结构荷载应力分析

王 涛¹, 杜衍庆², 邵长华¹

¹枣庄市公路管理局工程处, 枣庄, 中国, 277101

²河北工业大学土木工程学院, 天津, 中国, 300401

Email: wangtao598@126.com, victordu@126.com, shaochanghua1997@sina.com

摘 要: 为了验证基于旧水泥混凝土破碎板沥青加铺层结构的合理性, 以便指导加铺层结构的设计和施工。本文通过三维有限元数值模拟分析方法, 分析了基础模量、沥青加铺层厚度与应力吸收层厚度、模量对破碎后的旧水泥混凝土路面加铺层结构的荷载应力与变形的分布规律。分析表明: 在加铺前对基础进行强度检测, 对于强度较低的基础进行必要的技术处理, 能有效的延缓裂缝的出现; 加铺层的厚度应控制在一定范围内; 应力吸收层的厚度应控制在 2~3cm; 在设计确定应力吸收层材料的模量时, 要综合考虑低温防开裂, 高温抗车辙。

关键词: 道路工程; 旧水泥路面破碎板; 荷载应力; 应力吸收层

1 引言

在加铺结构中旧水泥混凝土板接缝处是薄弱环节, 抗剪能力较低、不能承受弯拉应力。主要依靠沥青加铺层受力, 而超载现象日益严重将导致该点的加铺层层底产生应力集中, 使之开裂, 扩展至表面便形成了反射裂缝。反射裂缝的扩展和蔓延, 会引起更多的病害, 最终导致路面结构性破坏, 减少使用寿命。对旧路面进行冲击破碎处理, 减小混凝土板块的尺寸, 可减少板底脱空及地基承载力不足的问题, 有利于改善加铺层受力条件, 防止反射裂缝的产生^[1-3]。目前, 国内外学者对旧水泥混凝土路面上直接加铺沥青面层的力学分析进行了

广泛的研究^[4-5]; 同时对应力吸收层对加铺层结构的荷载温度应力影响进行了一定的研究^[6], 但对各种参数变化对旧水泥砼破碎板沥青加铺层结构的荷载应力分析研究并不系统, 沥青加铺层结构设计理论依据并不充分。本文针对以往研究的不足, 结合华北某高速公路旧水泥路面改造项目, 采用扩大基础的三维有限元模型计算了基于旧水泥混凝土破碎板加铺层结构荷载应力及变形状况, 分析了沥青加铺层厚度及模量、应力吸收层厚度及模量、基础模量对破碎板加铺层结构荷载应力的影响。

2 路面结构力学模型

将路面结构视为弹性层状体系，由底自上结构层分别为基础、旧水泥混凝土路面、应力吸收层和沥青混凝土加铺层。采用三维 8 节点 solid185 单元建模，基础采用扩大基础，并对各结构层作如下假设^[7]：

①各结构层为均匀、连续、各向同性的连续弹性体；

②各层层间竖向、水平位移均连续；

③地基地面各向位移为零，地基侧面水平方向位移为零；

④沥青混凝土加铺层四周侧面水平方向位移为零，旧水泥混凝土板各向自由；

⑤不计路面结构的自重影响；

⑥接缝宽度假设为 1cm，且接缝处无传荷能力。

本文拟定计算参数：单块水泥混凝土路面板尺寸为 $5m \times 4m \times 0.22m$ ，碎块尺寸为 $0.45m \times 0.50m$ 。经过取基础不同尺寸计算误差分析，基础扩大尺寸拟定为 $14.01m \times 8.5m \times 9m$ 。行车荷载采用标准轴载 BZZ-100，轮胎内压 $0.7MPa$ ，单个轮压作用范围 $18.9cm \times 18.9cm$ ，接触面积为 $357.21cm^2$ ，双轮间距为 $32cm$ ，两侧轮隙间距为 $1.82m$ 。经过不同荷位计算分析比较，车轮荷载作用在接缝一侧中部的偏荷载对加铺层最为不利，布载方式如图 2.1 和图 2.2 所示。对接缝处单、双侧轮载对比分析得知，对称轴上的单侧轮载比双侧荷载对加铺层产生的不利影响更大，原因在于双侧荷载的另一侧轮载的反翘曲作用抵消了对称轴上的部分弯沉^[8]，因此在计算时仅考虑对称轴上的单侧荷载作用，利用荷载作用位置的对称性，可取模型的一半进行计算。图 2.2 中 A 点为加铺层底应力计算点，1、2 点为弯沉及弯沉差计算点。

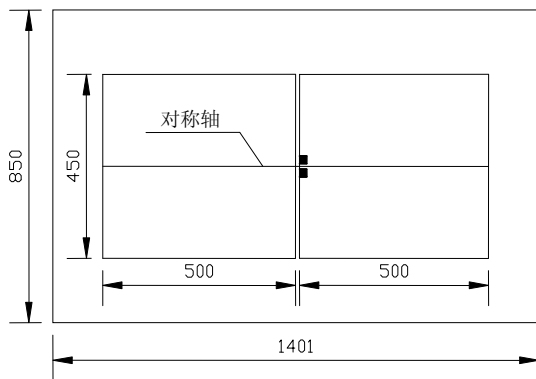


Figure 2.1. Load position(cm)
图 2.1. 荷载位置示意图(cm)

为满足计算精度要求，对接缝及附近加铺层结构进行网格细化，经过误差分析，最后取最小单元边长为 5mm(接缝处)。路面整体和局部结构有限元网格划分如图 2.3、图 2.4 所示。

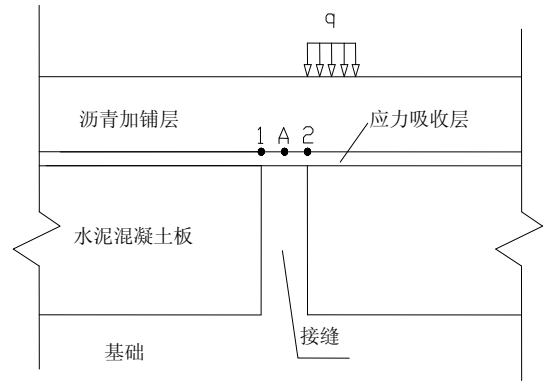


Figure 2.2. Load stress and deflection calculation chart
图 2.2. 荷载应力及弯沉计算点图

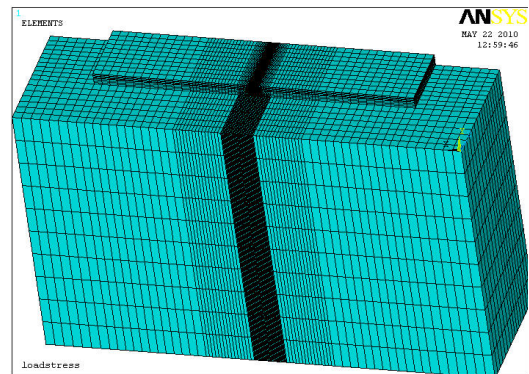


Figure 2.3. Mesh drawing of pavement structure
图 2.3. 路面整体结构有限元网格划分图

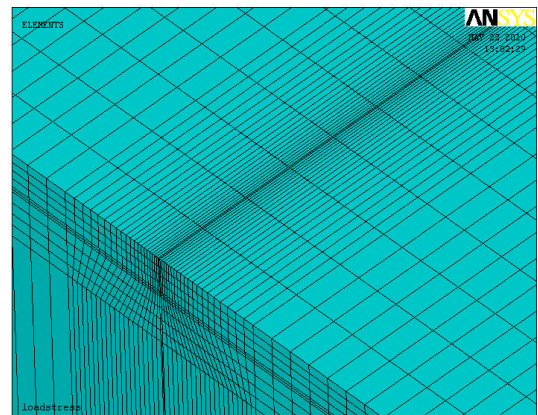


Figure 2.4. Detail drawing of joint
图 2.4. 接缝处详图

路面结构各层材料的弹性模量、泊松比、线膨胀系数、导热系数，参照规范及相关文献^[9-10]推荐值选取进行有限元分析。材料计算参数见表 1。

Table 1. Main parameters
表 1. 主要计算参数

结构层	厚度 (cm)	弹性模量 (MPa)	泊松比
沥青加铺层	10~22 (16)	1200	0.25
应力吸收层	0~5 (2.5)	400~1200 (800)	0.25
旧水泥路面	22	30000	0.15
基础	-	50~500(200)	0.35

3 基于旧水泥砼破碎板沥青加铺层结构荷载应力分析

3.1 基础模量对破碎板加铺层结构荷载应力影响

在旧水泥混凝土路面加铺改造中，基础的强度和稳定性是影响反射裂缝的主要因素之一。早期的水泥路面由于后期养护的不足、渗水等原因，致使基层损坏严重，基础承载力下降。而基础是旧水泥路面及沥青加铺层的支承体系，若强度较低且由于板底脱空、基质疏松等造成稳定性差，将对加铺层特别是对接缝出的应力及弯沉产生很大的影响。因此，有必要对随基础模量的变化加铺层层底的应力及接缝处弯沉进行分析。分析中，基础指的是由原道路的基层、底基层和路基共同组成了路面支承体系，模量为以上各结构层的当量回弹模量。采用上述力学模型和参数，对不同基础模量下旧水泥混凝土板接缝处加铺层层底荷载应力进行计算分析，加铺层层底的荷载应力、弯沉及弯沉差随基础模量变化的结果如图 3.1 所示。

由图 3.1 的计算结果可知，随着基础模量的增加，沥青加铺层层底的等效力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 逐渐减小，且减小的趋势缓和，当基础模量从 50MPa 增加大 500MPa 时， σ_e 及 τ_{max} 从 0.38727Mpa、0.41819Mpa 减小到 0.33402Mpa、0.3527Mpa，分为减小了 13.8%和 15.7%。说明旧水泥混凝土板下基础模量越小，基础就越软弱，在车辆荷载作用下加铺层层底应力增大；还表明基础模量对接缝两侧的弯沉影响非常大。随着基础模量的增加，接缝两侧的弯沉及弯沉差都跟着变小，且弯沉减小的幅度比较大。当基础

模量从 50MPa 增加大 500MPa 时，未受荷一侧的弯沉 u_1 及受荷一侧的弯沉 u_2 分别从 19.647、19.928 减小至 6.4208、6.5946，分别减少了 67.3%和 66.9%，其中基础模量从 50MPa 到 300MPa 这一阶段幅度加大，后趋于缓和。

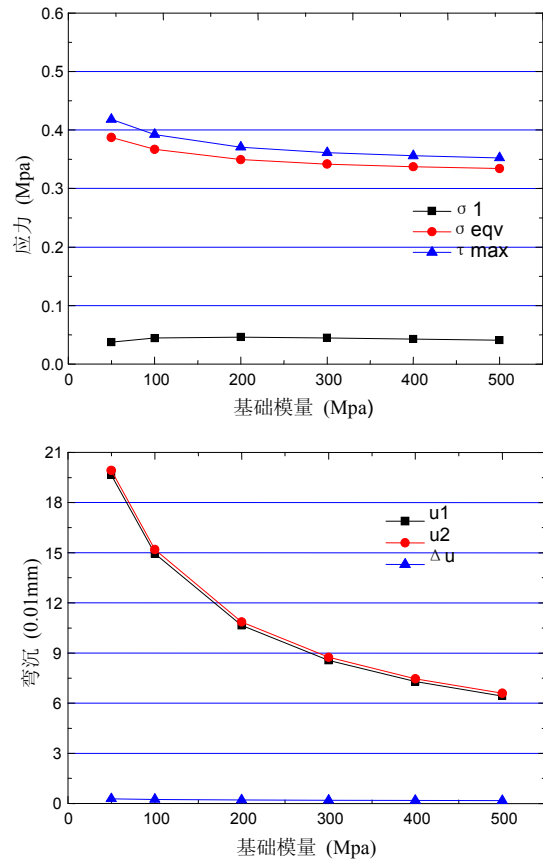


Figure 3.1. Load stress and reflection with foundation modulus' change

图 3.1. 加铺层层底荷载应力与弯沉随基础模量变化图

以上分析表明在相同荷载作用下，基础模量越低，加铺层内的 σ_e 和 τ_{max} 越大，越容易出现反射裂缝。因此，在加铺沥青层之前，需要对基础进行强度检测，对于强度较低的地基应当进行压浆等必要的技术处理，提高基础的模量和稳定性。

3.2 沥青加铺层厚度对破碎板加铺层结构荷载应力影响

在应力吸收层厚度一定时，沥青加铺层的厚度在满足不产生车辙的前提下，加铺层越厚荷载传到加铺层层底的应力就越小，反射裂缝扩展到路表面的时间就越长。但加铺层也不能无限度的增加，一是经济上

不划算,二是加铺路面结构的受力层还是旧水泥路面,不能本末倒置。假定加铺层的厚度从 8cm 按 2cm 递增至 22cm,对沥青加铺层结构进行应力和变形的分析。计算结果如图 3.2 所示。

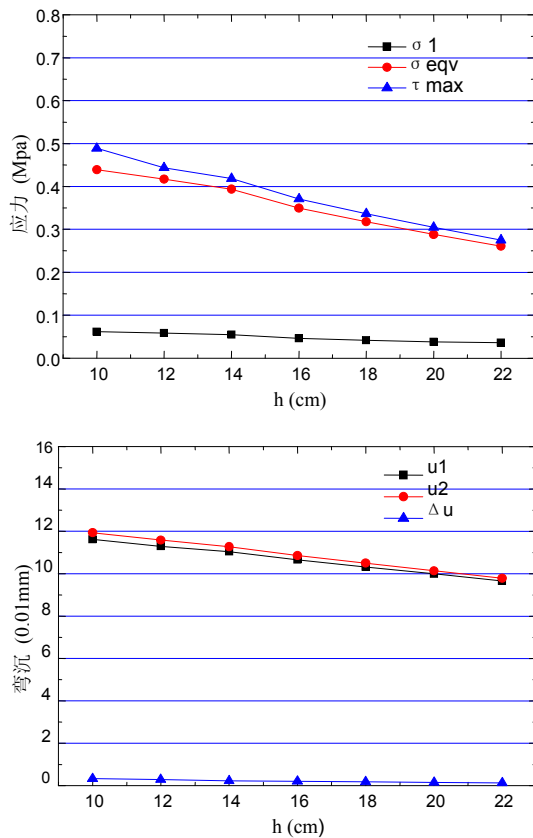


Figure 3.2. Load stress and reflection with foundation thickness' change

图 3.2. 加铺层层底荷载应力与弯沉随加铺层厚度变化图

由计算结果可知,加铺层层底最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 都随着加铺层厚度的增加呈减小的趋势。当加铺层厚度从 10cm 增至 22cm 时, σ_1 、 σ_e 和 τ_{max} 分别减小 41.6%、40.6%、43.7%,减小的幅度较大,但其数值上变化较小;此外,当加铺层厚度从 10cm 增至 22cm 时,接缝两侧的弯沉及弯沉差都在逐渐减小,分别从 11.619、11.941、0.322 降至 9.655、9.788、0.133,幅度为 16.9%、18.0%、58.7%。弯沉差减小幅度较大,平均每增加 1cm 沥青加铺层可减小弯沉差 0.0158mm,即平均效果为 4.89%/cm。

以上分析表明,在应力吸收层厚度一定时,增加加铺层的厚度可以减小加铺层层底的荷载应力,但由

于经济等方面的原因是不合理的,而且加铺层的厚度也不可能无限增大,所以可在保证防反射裂缝的前提下,在一定范围内增加加铺层的厚度。

3.3 应力吸收层厚度对破碎板加铺层结构荷载应力影响

应力吸收层的沥青含量较高,细集料含量较多,模量低而弹性恢复性能好,粘附性强。因此,应力吸收层可以消除部分应力集中现象,减少反射裂缝。但是是否应力吸收层越厚,防反射裂缝的效果、能力越好呢?应力吸收层越厚时,会导致施工时不易压实,而且其成本较高也会造成工程不经济。所以,有必要对不同应力吸收层厚度下旧水泥混凝土板接缝处加铺层的应力和变形进行分析,以确定一个可最大限度的满足防反射裂缝且经济的厚度范围。计算结果图示如图 3.3 所示。

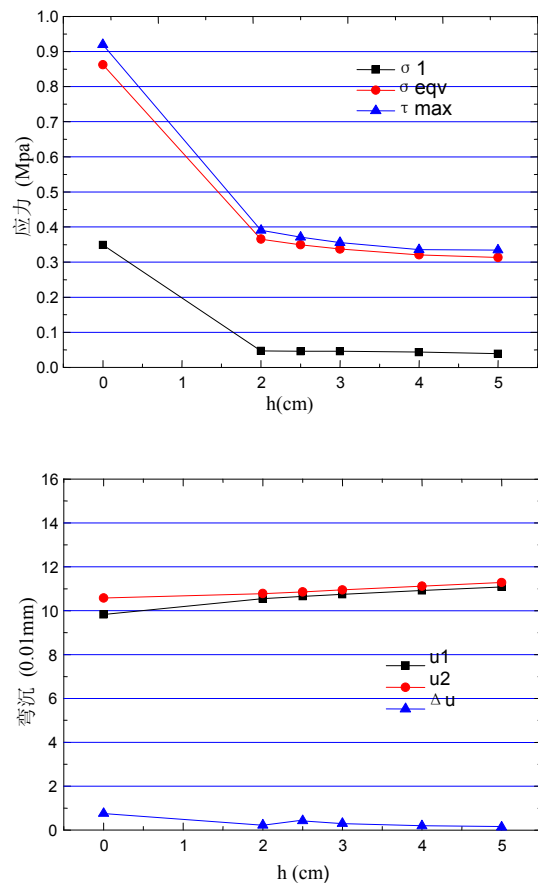


Figure 3.3. Load stress and reflection with stress-absorbing layer thickness' change

图 3.3. 加铺层层底荷载应力与弯沉随应力吸收层厚度变化图

由图 3.3 的计算结果可知，沥青加铺层底的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 随应力吸收层厚度的增加而减小。当应力吸收层厚度从 0（直接加铺）增至 2.5cm 时， σ_1 、 σ_e 、 τ_{max} 减小幅度很大，分别从 0.349Mpa、0.86254 Mpa、0.91974 Mpa 降至 0.04601 Mpa、0.34962 Mpa、0.37085 Mpa，降幅为 86.8%、59.5%、59.7%。应力吸收层厚度从 2.5cm 增加到 5cm，减小趋势逐渐变缓，减小幅度只有 14.6%、10.4%、9.8%。由此可见，采用直接加铺法或设置应力吸收层后再加铺沥青混凝土方法，对加铺层层的应力影响很大。说明应力吸收层可以吸收接缝处的应力，延缓反射裂缝的开裂时间及扩展速率。此外，由第二幅图可见，应力吸收层厚度的变化对接缝两侧的弯沉及弯沉差影响较小。当厚度从 2cm 增至 5cm 时， u_1 、 u_2 分别从 10.553、10.778 变化到 11.083、11.286，增加了 5.0%和 4.7%；弯沉差在应力吸收层厚度为 2cm~3cm 出现了一个小峰值，说明应力吸收层在该厚度范围内变形相对较大，发挥了其优良的柔韧性能。

综合考虑施工难度、经济效益、防反射裂缝等因素，本文认为采用 2~3cm 的应力吸收层比较合适。

3.4 应力吸收层模量对破碎板加铺层结构荷载应力影响

应力吸收层作为一种粘弹性材料，其弹性模量和强度与普通的沥青混合料一样，与温度的变化、材料组成差异有很大关系。由相关文献可知，当温度从 60℃降低到-10℃时，应力吸收层的模量可从 100Mpa 增至 1400Mpa，这样将导致应力吸收层在不同温度下对行车荷载的响应是不同的，消减应力的程度是不同的。假定应力吸收层的模量从 400Mpa 按 200Mpa 递增至 1200Mpa，对沥青加铺层结构进行应力和变形的分析。计算结果如图 3.4 所示。

图 3.4 表明，随着应力吸收层模量的增加，沥青加铺层底最大主拉应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 逐渐增大，当应力吸收层模量从 400Mpa 增加到 1200Mpa 时， σ_1 、 σ_e 及 τ_{max} 由 0.03466Mpa、0.31683Mpa、0.32549Mpa 增加到 0.04876Mpa、0.37795Mpa、0.4024Mpa，分别增大了 40.7%、19.3%、23.6%。模量随温度的降低而增大，所以冬季更容易出现反射裂缝。此外，随着应力吸收层模量的减小，接缝两侧非受荷处弯沉 u_1 、受荷处弯沉 u_2 及弯沉差 Δu 都逐渐增大，而模量随着温度的升高而降低，说明设

计应力吸收层时要保证在夏季高温时不产生过大的弯沉变形，以防止车辙的产生。

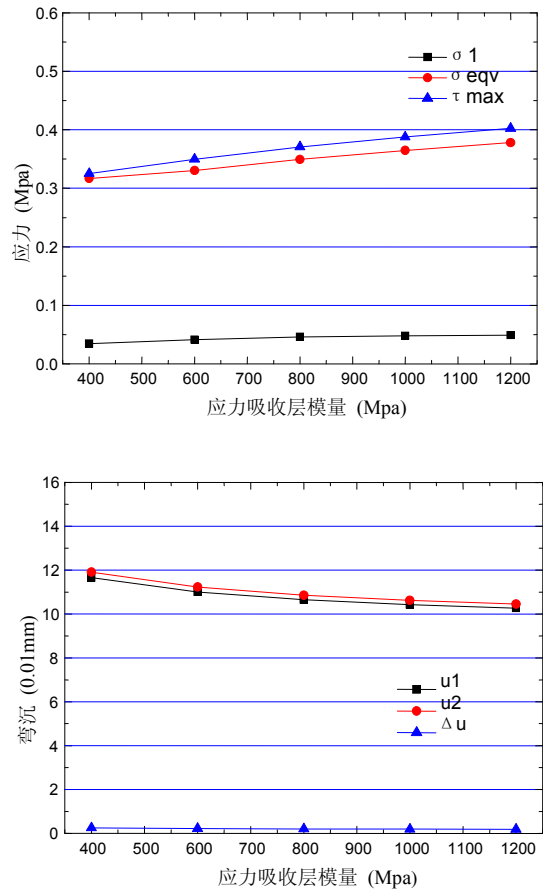


Figure 3.4. Load stress and reflection with stress-absorbing layer modulus' change

图 3.4. 加铺层层底荷载应力与弯沉随应力吸收层模量变化图

4 结论

(1) 基础模量越低，加铺层内的 σ_e 和 τ_{max} 越大，往往容易出现反射裂缝。因此，在加铺沥青面层之前，需要对基础进行强度检测，对于强度较低的基础应进行必要的技术处理，提高基础的模量和稳定性。

(2) 在保证防反射裂缝的前提下，可在一定范围内增加加铺层的厚度，并非越厚越好。

(3) 综合考虑施工难度、经济效益、防反射裂缝等因素，本文认为采用 2~3cm 的应力吸收层较适宜。

(4) 在设计确定应力吸收层材料的模量时，要综合考虑低温防开裂，高温抗车辙。

References (参考文献)

- [1] Song Jinhua, Zhang Caili. Subgrade and Pavement for Highway Engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
宋金华,张彩利.路基路面工程[M].北京.人民交通出版社.2006.
- [2] Deng Xuejun, Huang Xiaoming. Principles and Design Methods of Pavement[M]. Beijing. China Communications Press, 2007.
邓学钧,黄晓明.路面设计原理与方法[M].北京.人民交通出版社.2007.
- [3] Hu Cangbin. Application of Impact Roller in Rehabilitation of PCCP[M]. Beijing. China Communications Press, 2007.
胡昌斌.冲击压路机破碎改建旧水泥混凝土路面技术[M].北京人民交通出版社.2007.
- [4] Wang Liang, Song Jinhua. Research on the Mechanism for preventing Reflective Cracks in Old Cement Concrete Pavement Reconstruction[C], The 9th International Conference of Chinese Transportation Professionals, 2009.
- [5] Liao Weidong. Research on materials and structure of asphalt overlay on old cement concrete pavement based on stress absorption interlayer[D]. Wuhan: Wuhan university of technology, 2007.6.
廖卫东.基于应力吸收层的旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构与材料研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.6.
- [6] Yang Bin, Chen Shuanfa, Liao Weidong. STRATA stress-absorbing layer's impact on load stress and thermal stress in overlay[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005,22(9):27~30.
杨斌,陈拴发,廖卫东等.STRATA 应力吸收层对加铺层荷载及温度应力的影响分析[J].公路交通科技, 2005,22(9):27~30.
- [7] Wang Hengbin. Study on Impact Crushing of old Portland Cement Concrete Pavement and Asphalt overlay Technology[D]. Xian: Changan university, 2009.6.
王恒斌.旧水泥混凝土路面冲击破碎施工与沥青加铺层研究[D].西安:长安大学,2009.6.
- [8] Zeng Xuelin, Liu Yi. Analysis of the Effect of the ISAC Stress Absorption Layer on the Asphalt Load Stress and the Thermal Stress[J]. Research & Application of Building Materials. 2009. 9:1-3.
曾雪林,刘毅.ISAC 应力吸收层对沥青加铺层荷载及温度应力的影响分析[J].建材技术与应用, 2009.9:1-3.
- [9] Technical Specifications of Cement Concrete Pavement Maintenance for Highway. JTJ 073.1—2001. Beijing: China Communications Press.
JTJ 073.1-2001.公路水泥混凝土路面养护技术规范[S].北京:人民交通出版社, 2001.
- [10] Kamyar C M, Yinhui liu, David L A. Asphalt overlay and subsurface drainage of broken and seated concrete pavement[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(8):617-622.