

文章编号:1671-8879(2006)03-0021-05

桥面铺装混凝土早期裂缝控制

王东阳¹, 陈淑贤²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 吉林交通职业技术学院 土木建筑工程系, 吉林 长春 130012)

摘要:对桥面铺装混凝土早期裂缝产生的原因进行了理论分析。根据分析结果,采用混凝土温度应力试验机,在优选骨料的基础上对掺加不同掺和料、膨胀剂和聚丙烯纤维的混凝土早期裂缝进行了试验研究。通过对试验过程的对比分析,阐明混凝土成分对早期裂缝的影响,其中膨胀能转化为膨胀变形和掺粉煤灰及聚丙烯纤维,可使应力储备增大,裂缝温度降低,综合抗裂性能增强。最后给出了改进控制桥面铺装混凝土早期裂缝的设计和施工方法。

关键词:道路工程;桥面铺装;混凝土;早期裂缝;温度应力;控制

中图分类号:U443.33; U414.18 **文献标识码:**A

Control of Concrete Cracking at Early Time for Bridge Overlay

WANG Dong-yang¹, CHEN Shu-xian²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Department of Architecture and

Civil Engineering, Jilin Communications College of Profession Technique, Changchun 130012, Jilin, China)

Abstract: The reason of cracks' occurring in concrete overlay on bridge is studied. It is found that the cracks are related to different pozzolanic mortar, expansive agent and polypropylene fiber. A test is carried out to reveal those relationships. Based on the test results, a numerical model is developed. The analytic results show that the expansive agent can translate expansive energy into expand distortion, adding pozzolanic mortar and polypropylene fiber can increase concrete stress, so the anti-crack performance of concrete can be increased. The design and construction method for controlling concrete cracks is presented. 3 tabs, 2 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; bridge overlay; concrete; cracks at early time; temperature stress; control

0 引言

随着公路桥梁龄期的增长,不少公路桥梁的桥面铺装结构层出现了不同程度的破损现象,其中桥面铺装混凝土产生早期裂缝的现象突出,其原因十

分复杂^[1-2]。为此,本文对桥面铺装混凝土早期裂缝产生的原因进行了理论分析和试验验证,并通过对高性能粉煤灰混凝土和膨胀混凝土的材料特点、配制技术以及桥面铺装混凝土工作环境进行分析,提出控制桥面铺装混凝土早期裂缝的有效方法。并通

通过对桥面铺装混凝土的温度应力分析和试验,找出混凝土产生早期裂缝的主要因素,并提出了设计和施工控制的基本原则^[3-4]。

1 混凝土温度应力分析

1.1 理论分析

桥面铺装混凝土浇注后,会受到来自主梁顶板的约束,在主梁顶板与桥面铺装混凝土的结合面上会产生剪应力,在其相邻的部位,出现复杂的应力状态,产生变形。桥面铺装混凝土可以作为板体用弹性力学的平面温度应力问题来分析,其应变分量和温变 ΔT 表示应力的物理方程为

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_x + \mu\epsilon_y) - \frac{Ea\Delta T}{1-\mu} \\ \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_y + \mu\epsilon_x) - \frac{Ea\Delta T}{1-\mu} \\ \tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}\gamma_{xy} \end{cases} \quad (1)$$

式中: σ_x 、 σ_y 为截面正应力(拉应力为正,压应力为负); τ_{xy} 为截面剪切应力; μ 为侧向收缩系数,亦称泊松比(混凝土 $\mu = 1/6$); E 为拉压弹性模量; ϵ_x 、 ϵ_y 为截面正应变(拉应变为正,压应变为负); γ_{xy} 为截面剪应变; ΔT 为温度变化值, $\Delta T = t_2 - t_1$ (降温时 ΔT 为负值); a 为混凝土的线胀系数 $a = 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

通过试验量测到 ϵ_x (即水平向应变),由于观测到的应变是在温降及混凝土凝固收缩的共同作用下产生的,所以在计入 ΔT 时应包括与混凝土收缩相当的温降值。另外, ϵ_y 值一般不大,当 ϵ_x 较大时, ϵ_y 较小甚至出现负值,故可在试验分析和计算 σ_x 的最大值 $\sigma_{x\max}$ 时,将 $\mu\epsilon_y$ 项视为 0。

$$\sigma_{x\max} = \frac{E}{1-\mu^2}\epsilon_{x\max} - \frac{Ea\Delta T}{1-\mu} = \frac{E}{1-\mu^2}[\epsilon_{x\max} - a\Delta T(1+\mu)] \quad (2)$$

式(2)中,最大正应力 $\sigma_{x\max}$ 由两项组成:第二项是为克服温降(也包括混凝土凝固)收缩产生的应力,第一项是产生正应变 $\epsilon_{x\max}$ 的拉应力。桥面铺装混凝土可看作板体,其上的任何点 $Ea\Delta T/(1-\mu)$ 均为常数,所以最大正应力产生在发生最大正应变的点位。裂缝的形态同时取决于 σ_x 与 σ_y ,板体中的自重产生的竖向应力是通过竖向应变 ϵ_y 反映的。在式(1)中,竖向应力 σ_y 也是由两部分组成的。在板体轴线下部,由应变反映出来的应力部分为

$$\frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_y + \mu\epsilon_x) \quad (3)$$

由于该式的值较小或者为负值(压应力),计算的 σ_x 要比 σ_y 小得多,沿板的深度 ϵ_x 与 ϵ_y 都大幅度降低。式(1)中,由应变 ϵ_x 与 ϵ_y 决定的应力部分均趋近于 0,板体中的应力 σ_x 与 σ_y 主要是由温降部分 $Ea\Delta T/(1-\mu)$ 引起的,这时 σ_x 与 σ_y 数值接近。如果忽略 ϵ_y 对剪应变的影响,从桥面铺装混凝土上切出一个单元体,可得

$$\gamma_{xy} = \frac{1/2\Delta x(\epsilon_z - \epsilon_1)}{\Delta y} = \frac{\Delta x\Delta\epsilon}{2\Delta y} \quad (4)$$

为分析方便,指定 $\Delta x = 1$ 个单位。如果 Δy 足够小, $\Delta\epsilon$ 也相应足够小, $\gamma_{xy} = (d\epsilon/dy)/2$ 。

注意, $d\epsilon/dy$ 是测得的正应变曲线的斜率,将其代入 τ_{xy} 的计算公式

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}\gamma_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)}\frac{d\epsilon}{2dy} \quad (5)$$

式中: $\frac{E}{4(1+\mu)} = \frac{G}{2}$ 是一常数,其中 G 是剪切弹性模量, $\tau_{xy} = \frac{G}{2}\frac{d\epsilon}{dy}$ 。

式(5)表明,在温降和混凝土收缩的共同作用下,桥面铺装混凝土会出现拉应力区,其区域和数值的大小与温降值、混凝土龄期、主梁顶板与桥面铺装混凝土的温差等因素有关。拉应力的最大值 $\sigma_{x\max}$ 在拉应变最大值 $\epsilon_{x\max}$ 处,接近桥面铺装混凝土顶面时,剪应力的绝对值接近于 0。

1.2 混凝土试验

采用温度应力试验机模拟上述理论,不同强度等级、不同胶凝材料组成对混凝土早期热裂缝的影响,共选择 4 种有代表性的混凝土,分别为普硅水泥混凝土、微膨胀混凝土、大掺量粉煤灰混凝土和纤维混凝土。通过温度应力试验机,根据材料参数对混凝土的抗裂性能进行综合分析,研究桥面铺装混凝土的早期裂缝问题。

1.2.1 混凝土原材料

水泥为郭家店交通水泥厂 42.5 普通硅酸盐水泥、矿渣 42.5 硅酸盐水泥,吉林松江水泥厂 525[#] 中热水泥。粉煤灰为长春市第二热电厂 II 级粉煤灰。矿粉为郭家店交通水泥厂生产的磨细矿粉,比表面积 450 m²/kg。硅灰为郭家店交通水泥厂生产,细度为 22 000 m²/kg,比重为 2.2 g/cm³。砂为饮马河中砂,细度模数为 2.67。碎石为石灰岩碎石,最大粒径 31.5 mm。外加剂为采用聚羧酸高效减水剂。纤维为聚丙烯纤维,长度 2 mm。

1.2.2 混凝土配合比及力学性能

各混凝土配合比见表 1,试件力学性能见表 2。

表 1 混凝土配合比和坍落度

编号	胶凝材料总量/ (kg·m ⁻³)	水泥品种 质量比/%	粉煤灰质 量比/%	硅灰质 量比/%	其他成分/ (kg·m ⁻³)	配合比 (胶凝材料:砂:石:水)	外加剂 质量比/%	坍落 度/cm
1	400	普硅 42.5/100	—	—	—	1:1.80:2.58:0.42	聚羧酸高 效减水剂 0.9	18
2	425	中热 525/100	—	—	—	1:1.82:2.50:0.42		17
3	442	普硅 42.5/75	22	—	纤维 1.35	1:1.59:2.51:0.37		20
4	481	普硅 42.5/60	30	—	—	1:1.29:2.09:0.33		17
5	418	普硅 42.5/94	—	—	膨胀剂 6.00	1:1.87:2.52:0.41		18
6	455	矿渣 42.5/70	25	5	—	1:1.41:2.27:0.40		20

注:普硅 42.5 为普通硅酸盐水泥;中热 525 为 525# 中热水泥;矿渣 42.5 为矿渣硅酸盐水泥。

表 2 混凝土试件力学性能

编号	抗压强度/MPa			劈裂抗拉强度/MPa
	7 d	28 d	60 d	7 d
1	43.6	48.1	51.9	3.30
2	42.0	47.9	53.0	3.30
3	42.3	49.0	54.3	3.66
4	35.1	47.3	53.9	3.35
5	42.4	48.1	52.1	3.35
6	38.0	45.9	52.2	3.34

表 3 混凝土温度应力试验结果

参数	编号					
	1	2	3	4	5	6
新拌混凝土 温度 T ₀ /℃	21	18	23	20	17	21
收缩最大拉 应力/MPa	—0.006	—	—	—	—	—0.005
第一零应力 温度/℃	23.0	—	—	—	—	23.0
最大压应力/ MPa	0.854	0.331	0.460	0.261	1.556	0.304
最大压应力 时的温度/℃	47.0	38.0	41.7	39.6	43.5	34.2
最大膨胀值/ μm	71.4	110.3	94.9	102.1	188.1	78.9
最高温度 T _{max} /℃	49.0	39.0	42.9	41.1	46.2	40.8
温度升高时 间/h	22.5	40.0	32.0	36.9	24.9	43.2
第二零应力 温度/℃	45.1	34.0	40.1	37.0	39.9	35.0
室内温度应 力/MPa	—1.992	—1.709	—1.745	—1.387	—1.471	—1.679
最大收缩值/ μm	—110.1	—80.0	—144.1	—113.4	—35.9	—126.9
试验时间/h	101.4	124.4	103.2	119.1	125.1	131.9
开裂应力/ MPa	—2.49	—2.48	—2.69	—2.34	—2.45	—2.70
开裂温度/℃	19.0	9.0	5.9	6.3	15.9	11.6
应力储备	0.200	0.332	0.351	0.421	0.409	0.388

注:“—”为拉应力;“+”为压应力。

2 试验结果与分析

2.1 试验过程与分析

由表 3 和图 1 可以看出,6 组混凝土浇注温度在 16℃~23℃之间,试验过程中,室温基本恒定在 20℃,试验过程控制包括加热、保温、制冷基本保持一致,因此 6 组试验具有可比性。通过温度-应力试验可以看出,配合比 1 与配合比 2 各项性能指标有较大的差别。该试验说明水泥是影响混凝土抗裂性能的最重要的因素。与配合比 1 相比,配合比 4 各项性能指标均优良,且开裂温度最低,说明粉煤灰的掺入极大地改善了混凝土的抗裂性能。配合比 6 的设计得当,且多种胶凝材料协同作用,其早期弹性模量发展较快,同时水化放热小,试件的室温应力低且开裂应力高,因此开裂温度低,混凝土抗裂性能好。配合比 3 为松花江特大桥桥面铺装混凝土实际配合比,该配合比采用大掺量粉煤灰外掺聚丙烯纤维,由于纤维的作用使混凝土裂缝应力增加,又由于粉煤灰的作用使水化热温升大大降低,应力储备大,开裂温度低,综合抗裂性能优越,在工程应用中取得了良好的效果^[5-6]。

2.2 混凝土成分对早期裂缝的影响

(1)水泥。普通硅酸盐水泥混凝土由于水化热

温升高、弹模增长快,在降温阶段拉应力发展快,混凝土应力储备小,因而混凝土开裂温度高。中热水泥与普通硅酸盐水泥相比,水化热温升降低,升温阶段试件膨胀变形大。这是由于中热水泥中 MgO 含量较高,水泥熟料中 MgO 含量控制在 3.5%~5.0%

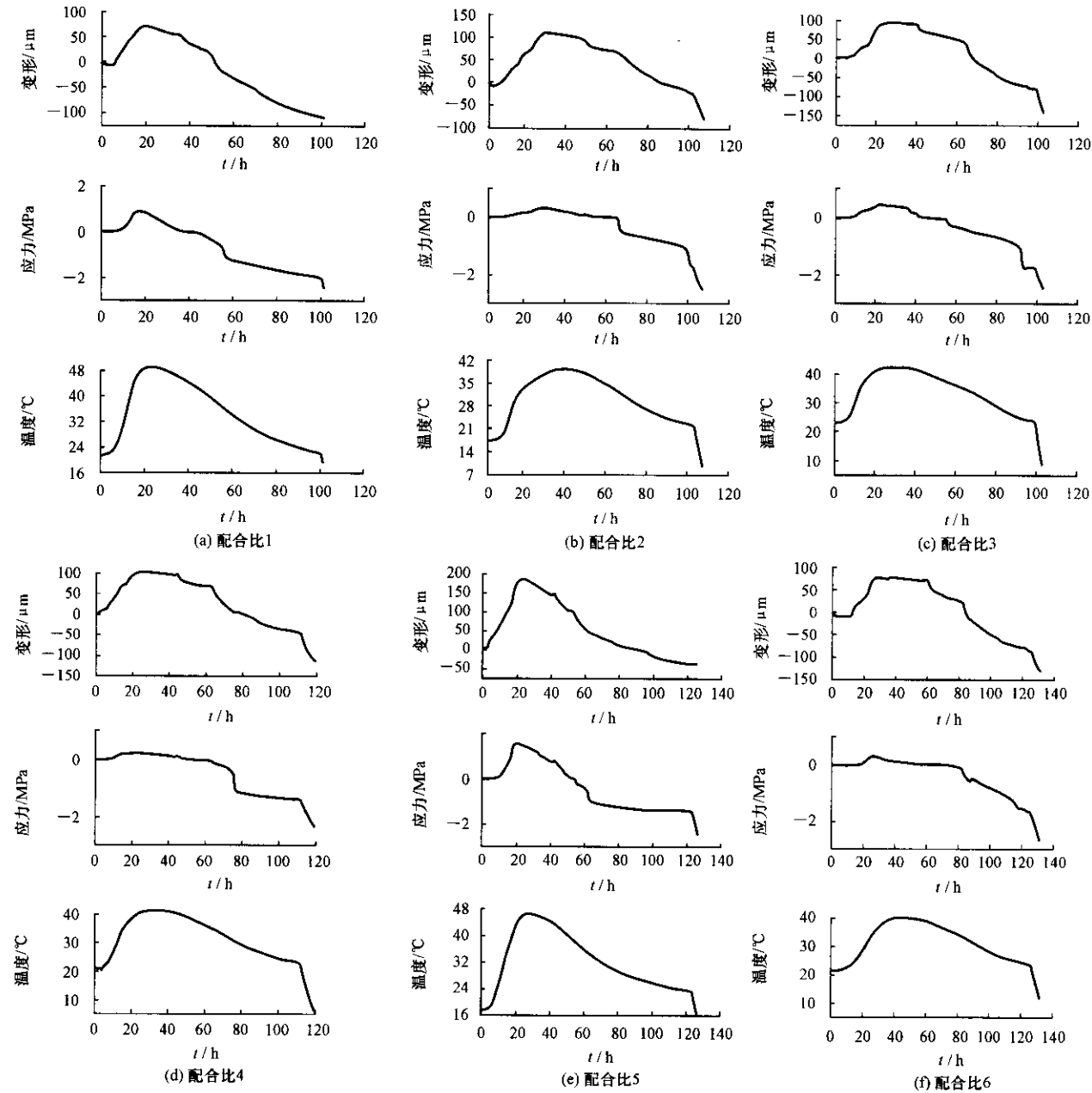


图1 混凝土温度、应力和变形曲线

范围内,利用水泥中方镁石后期水化体积膨胀的特点,以补偿混凝土降温阶段的部分温度收缩。同时尽可能采用低坍落度、大粒径骨料级配混凝土,减少混凝土体积收缩,使混凝土体积稳定性得以改善。525#中热水泥 MgO 含量从 1.95% 提高到 4.02% 后,混凝土自生体积变形从收缩变为膨胀,试验结果见图 2。

混凝土结构可取得 2℃ 左右的温度变形补偿。目前工程使用 MgO 含量在 3.5%~5.0% 的中热水泥,混凝土的自生体积变形为微膨胀型,而且混凝土在晚龄期弹模提高,徐变度低,单位膨胀量可以提供较高的预压应力,应力松弛小,因而提高了混凝土膨

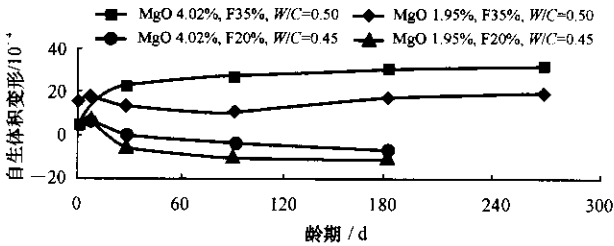


图2 水泥的不同 MgO 含量对混凝土自生体积变形的影响

胀性能的储存效率。因此,中热水泥的室温应力相对普通硅酸盐水泥有所降低,而应力储备却大大提高,混凝土抗裂性能显著提高。磨细矿渣兼具有火山灰性质和水硬性,当其掺量少且粉磨细度比较高时,其水化比水泥更迅速,产生的凝胶量比例更大,

对裂缝也就更敏感。

(2)粉煤灰。国内许多工程也采用大掺量粉煤灰来降低温升,取得了良好效果。本试验的配合比4粉煤灰掺量35%时,混凝土水化热温升低,室温应力最小,开裂温度最低。

(3)膨胀剂。膨胀剂的作用与约束程度有关。配合比5与1相比,室温应力低,因而应力储备高,开裂温度降低。由于膨胀剂的使用效果受到诸多因素的影响,包括混凝土的配合比、浇注温度、养护情况、膨胀剂品质与掺量等。因此,一些国家都只在接缝处、灌浆时才使用,而不允许用于结构混凝土。

(4)骨料。碎骨料对于混凝土的抗拉强度是有益的,因为粗糙的表面可以产生较大的粘着力,提高抗拉强度。大粒径骨料可减少水泥用量,降低水泥水化热,从而减小混凝土温升,同时对提高混凝土拌和物的工作性能也十分有利,然而较大粒径的骨料在一定程度上也会降低混凝土的抗拉强度。

3 设计与施工控制

以上述试验和分析为依据,在桥面铺装混凝土设计和施工时,严格控制混凝土的配合比、浇注温度、养护情况、掺和剂种类和数量等,早期裂缝可以避免发生。降低混凝土的浇注和凝结温度,即控制 ΔT 值,一方面可选择低环境温度施工,另一方面就是降低凝结温度,在高温季节施工,应洒水降温养生。必要时应设法降低原材料的入模温度,控制原材料的配合比。影响混凝土收缩量的任何因素均会影响桥面铺装混凝土拉应力值,应合理选用水泥的品质和用量、骨料的粒径和品质、拌合水的用量、振捣和养生工艺。掺粉煤灰减少混凝土早期裂缝,其中拌合水的用量是影响混凝土收缩量最重要的因素。所以在施工中,要使用减水剂,应用膨胀剂,尽量避免使用早强水泥和碱含量高的水泥,对要求高的桥面铺装可采用纤维混凝土。

4 结 语

(1)采用混凝土应力试验机对混凝土抗裂性能进行了分析,对不同掺和料和纤维混凝土材料进行了研究。

(2)采用第二零应力温度、储备系数和裂缝温度,对桥面铺装混凝土的裂缝问题研究较为合理。

(3)了解组份和掺和料对混凝土裂缝敏感性的

影响,可有效地在设计和施工阶段控制桥面铺装混凝土的早期裂缝。

参考文献:

References:

- [1] 刘来君,王东阳. 预应力混凝土平面曲线箱梁裂缝[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):35-38.
LIU Lai-jun, WANG Dong-yang. Crack of Prestressed Concrete Box Girder in Plane Curve[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3):35-38.
- [2] 陈仕周,倪小军. 桥面铺装与路面温度差异研究[J]. 中国公路学报,2005,18(2):56-60.
CHEN Shi-zhou, NI Xiao-jun. Study of Temperature Difference Between Bridge Deck Pavement and Road Pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(2):56-60.
- [3] 陈拴发,郑木莲,杨 斌,等. 破裂水泥混凝土路面板沥青加铺层温度应力影响因素[J]. 交通运输工程学报,2005,5(3):25-30.
CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, YANG Bin, et al. Thermal Stress Influence Factors of Asphalt Overlay on Cement Concrete Pavement Cracking Slab[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005,5(3):25-30.
- [4] 张业平,瞿尔仁,韩振峰,等. 钢桥面铺装的力学分析及病害预防措施[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(1):83-86.
ZHANG Ye-ping, QU Er-ren, HAN Zhen-feng, et al. Mechanical Analysis of Steel Bridge Deck Overlay and Disease Prevention Measures[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2004,27(1):83-86.
- [5] 陈淑贤,王东阳. 高速公路薄壁桥台裂缝成因分析及处理技术[J]. 辽宁交通科技,2005(10):51-54.
CHEN Shu-xian, WANG Dong-yang. Reasons for Crack of Bridge Abutment with Thin Wall on Freeway and Treatment Technique[J]. Liaoning Communications Science and Technology, 2005(10):51-54.
- [6] 徐 伟,郑国梁,张肖宁. 混凝土桥面沥青铺装受力敏感性分析[J]. 公路交通科技,2004,24(1):8-11.
XU Wei, ZHENG Guo-liang, ZHANG Xiao-ning. Stress Sensitive Analysis of Concrete Deck Asphalt Overlay[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004,24(1):8-11.