

文章编号: 0451-0712(2006)11-0016-07

中图分类号: U416.2

文献标识码: B

复合式路面温度场分布与温度应力分析

李国胜

(河南省交通规划勘察设计院 郑州市 450052)

摘 要: PCC+AC 复合式路面是一种“刚柔相济”的路面结构形式。沥青混凝土上面层的存在,使得 PCC+AC 复合式路面水泥混凝土板的温度应力与普通水泥混凝土路面的温度应力有较大的不同,并且沥青混凝土层厚度的大小直接影响水泥混凝土板的温度应力的分布。结合耐氏~许昌高速公路项目的实施,重点分析了 PCC+AC 复合式路面的温度场分布与温度应力。

关键词: 复合式路面; 温度场; 温度应力; 温度梯度

1 温度调查

根据对项目区附近的郑洛高速公路沥青混凝土路面和许昌 311 国道水泥混凝土路面 7 月份夏季高温期、12 月份冬季低温期及 4 月份春季升温期温度场进行的 3 次实测,可以得到一些规律性认识:

- (1) 昼夜平均气温以及气温的变化幅度随太阳总辐射量的增加而增加;
- (2) 凌晨 5:30~6:30 之间路表温度最低,而后

路表温度快速升高,于午后 14:00 左右达到最高,至次日凌晨 5:30~6:30 再次达到最低;

- (3) 随着深度的增加,温度波动的幅度逐渐减小;
- (4) 不论是沥青混凝土路面,还是水泥混凝土路面,最低温度都出现在路表面;
- (5) 路面南北半幅的温度略有差异,南半幅结构温度稍高于北半幅。

收稿日期: 2006-08-30

[16] Auckpath Sawangsuriya, Tuncer B Edil, Peter J Bosscher. Comparison of Moduli Obtained from the Soil Stiffness Gauge with Moduli from Other Tests

[Z]. 81st Annual Meeting of Transportation Research Board (CD-ROM), 2002.

Overseas Test Study on Resilient Modulus of Unbound Granular Material and Subgrade Soil ——Basic Fundamental and Test Method

ZHANG Shi-zhou, LING Jian-ming, LUO Zhi-gang

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper, overseas some basic fundamentals of laboratory tests and testing methods in field or laboratory about trial research on resilient property of unbound granular material and subgrade soil are presented. Then, the advantages and disadvantages of every trial method are evaluated briefly.

Key words: subgrade soil; granular material; resilient modulus; repeated loading test; triaxial apparatus

2 有沥青混凝土上面层的PCC 板温度梯度分析

2.1 温度场计算方法

根据已有的理论分析,编制温度场计算程序,用于计算各种路面结构内各点在任意时刻的温度,以便于计算各种路面结构的最大温度梯度。

由图 1 可知,实测值与理论计算值的差别很小,因此,采用该程序来计算路面结构的温度场是可行的。

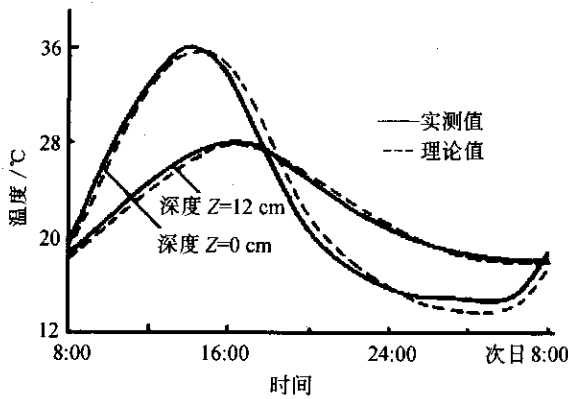


图 1 温度的实测值与理论计算值对比

2.2 PCC 板温度梯度分析

为能统一反映水泥混凝土板板顶、板底的温度变化,定义水泥混凝土板的温度梯度表达式为:

$$T_g = \frac{T(0,t) - T(h_c,t)}{h_c}$$

图2 绘制了板厚为22 cm 时,温度随时间沿板厚的变化规律。图 2 表明,沿板厚的温度分布是曲线形,即使在最大温度梯度时刻也不是直线分布,温度梯度最大时刻出现在 14:00 左右。

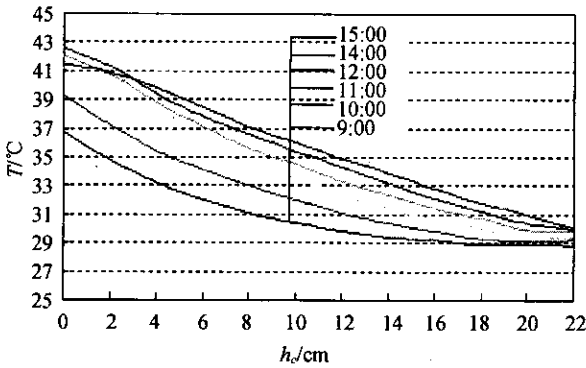


图 2 温度随时间沿板厚变化

我国现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002),给出了在设计时采用的 PCC 板最大温度梯度的建议值(见表 1)。

表 1 最大温度梯度值 T_g

公路自然区划	Ⅱ、Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ、Ⅵ	Ⅶ
最大温度梯度/(C/m)	83~88	90~95	86~92	93~98

设温度资料为 $T_{amax} = 31.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{amin} = 26.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $Q = 397.3\text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$,用温度场计算程序求解 PCC 板不同厚度时的最大温度梯度,计算结果见表 2。

表 2 最大温度梯度随板厚变化

厚度/cm	20	22	24	26	28	30
最大温度梯度 C/m	65	60	56	52	49	46

从表 2 可以看出,在气温和太阳辐射量相同的情况下,PCC 板内温度梯度随板厚的增加而减小,并且降低的程度随板厚增加而逐渐趋缓。采用 28 cm 超厚水泥混凝土板,比 20 cm、22 cm、24 cm、26 cm 厚的水泥混凝土板,温度梯度分别降低 24.5%、18.3%、12.5%和 5.8%。

为了更直观地看出 PCC 板内温度梯度随板厚增加而减小的变化规律,绘制曲线图,见图 3。

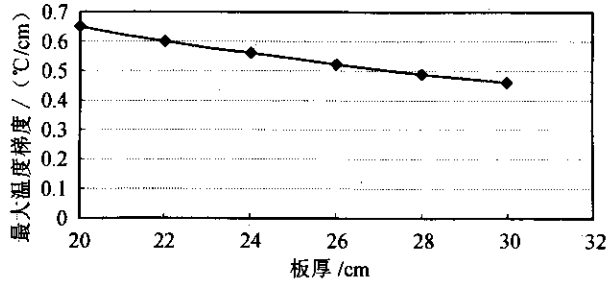


图 3 PCC 板内温度梯度随板厚的变化规律

由图 3 可知,最大温度梯度与板厚近似成线性关系。但板厚增加到 26 cm 之后,温度梯度降低的趋势越来越缓。所以,不能通过无限增加 PCC 板厚度的方法来降低 PCC 板内的温度梯度,并且从经济角度考虑也是不合理的。

2.3 PCC+AC 复合式路面温度梯度分析

2.3.1 PCC+AC 复合式路面温度梯度变化规律

复合式路面温度梯度在一年内的变化也有一定的规律。已有数据表明:对于 6 种不同的公路自然区划,温度梯度的年最大值一般出现在 5 月份~7 月份,最小值一般出现在 11 月份~次年 1 月份,与气温的年变化基本是一致的。

温度梯度在一昼夜内也呈现周期性变化。图 4 为 PCC+AC 复合式路面水泥混凝土板的温度梯度与气温,在晴天 48 h 内的变化情况。

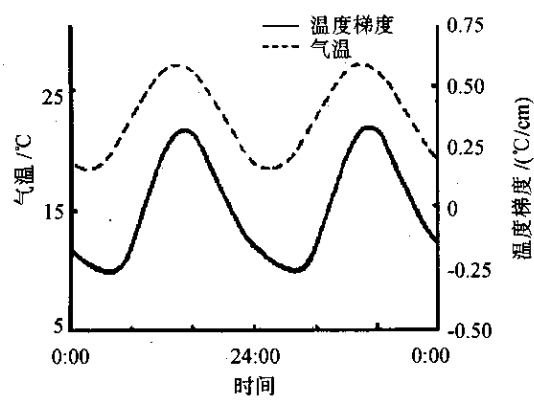


图 4 晴天复合式路面温度梯度
随气温的日变化曲线

2.3.2 PCC+AC 复合式路面最大温度梯度

在影响 PCC+AC 复合式路面结构中 PCC 板最大温度梯度的众多因素中,除材料的导温系数、路面材料对太阳辐射的吸收率及放热系数外,主要为 AC 层厚度、太阳辐射、气温变化等。

表 3 有沥青混凝土上面层的水泥混凝土板
最大温度梯度 T_g C/m

自然区划	Ⅱ、Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ、Ⅵ	Ⅶ
AC 层厚 4 cm	58~62	62~67	60~65	66~70
AC 层厚 8 cm	40~43	46~48	43~49	47~50
AC 层厚 12 cm	28~30	30~32	29~31	31~33

由表 3 和表 1 可知,与不加 AC 层的 PCC 板温度梯度相比,加 AC 层后,PCC 板的温度梯度有很大程度的降低,并且随着 AC 层厚度的增加,温度梯度降低的趋势越来越缓。

2.3.3 沥青混凝土层厚度对水泥混凝土板最大温度梯度的影响

利用有限元法对 PCC+AC 复合式路面结构的温度梯度进行大量计算,可以得出如下一些规律。

(1)AC 层表面最高温度及最大温度梯度发生在 14:00 左右,AC 层厚度及 PCC 板厚的增减对 AC 层表面温度无明显影响。

(2)沥青混凝土面层吸收太阳热辐射的能力高于水泥混凝土面层,而其传热能力低于水泥混凝土面层,一昼夜内水泥混凝土板最大温度梯度出现时刻随着沥青混凝土层厚度的增加而逐渐滞后。

通常,普通水泥混凝土路面的日最大温度梯度出现时刻为 13:00~14:00。而对于复合式路面,当 AC 层厚度分别为 4 cm、8 cm 和 12 cm 时,PCC 板的最大温度梯度及板顶最高温度出现的时刻分别是

15:00、16:00 和 17:00。即 AC 层每增厚 4 cm 时,PCC 板的最大温度梯度及板顶的最高温度发生时刻要滞后 1 h。这是因为随着沥青混凝土上面层厚度的增加,热量从路表传至水泥混凝土板的时间增多,导致水泥混凝土板的最大温度梯度也逐渐滞后出现。

(3)PCC 板与 AC 层材料热物理性质有差异,整个结构的温度分布曲线在 PCC 板与 AC 层接触界面处出现不平滑现象,但这种不平滑现象会随着 AC 层厚度的增加而改善。

(4)当 AC 层厚度小于 4 cm 时,PCC+AC 结构中水泥混凝土板顶的最高温度大于 PCC 路面板顶的最高温度。当 AC 层大于 8 cm 时,PCC+AC 路面结构中水泥混凝土板顶的最高温度与 PCC 路面板顶的最高温度相差很小。

(5)加铺 AC 层后,PCC 板的最大温度梯度小于不加 AC 层的水泥混凝土板的最大温度梯度。当 AC 层厚分别为 4 cm、8 cm 和 12 cm 时,PCC+AC 结构中 PCC 板的最大温度梯度约为普通水泥混凝土路面最大温度梯度的 70%、50% 和 35%。

由以上分析可知,在水泥混凝土板上加一层沥青混凝土层,对减小水泥混凝土板的温度应力是十分有效的。

2.4 许尉高速公路温度场及温度梯度计算与分析

通过收集许尉高速公路沥青混凝土以及水泥混凝土的材料参数等资料,计算出许尉高速公路的温度场分布及其温度梯度见表 4 和图 5。

表 4 许尉高速公路温度场分布

时间	板顶/℃	板底/℃	温度梯度/(℃/m)
6:00	30.5	44.5	-50.00
7:00	31.2	45.1	-49.64
8:00	33.0	45.3	-43.93
9:00	35.5	45.1	-34.29
10:00	38.3	44.3	-21.43
11:00	41.1	43.1	-7.14
12:00	43.6	41.6	7.14
13:00	45.6	39.9	20.36
14:00	46.7	38.1	30.71
15:00	48.0	36.4	41.43
16:00	49.1	35.0	50.36
17:00	47.8	34.1	48.93
18:00	45.9	33.8	43.21
19:00	43.6	34.8	31.43
20:00	42.5	35.4	25.36
21:00	41.5	35.8	20.36

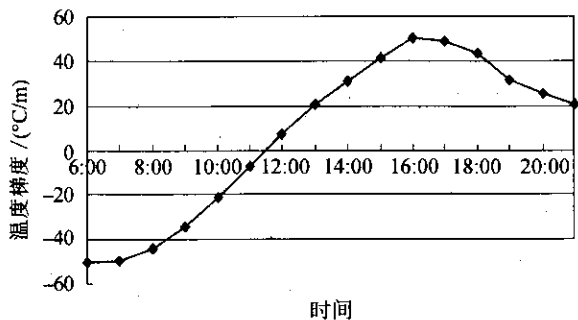


图5 许尉高速公路温度梯度变化规律

由图5可以看出,许尉高速公路的日最大温度梯度出现在16:00左右,而普通水泥混凝土路面的日最大温度梯度一般出现在13:00~14:00之间,最大温度梯度滞后了2~3 h。

由表4和图5可知,许尉高速公路的最大温度梯度为50.36 °C/m,而规范推荐值为58~62 °C/m,所以许尉高速公路采用规范推荐值进行设计是偏于安全的。并且,与不加AC层的普通水泥混凝土路面相比(温度梯度为83~88 °C/m),温度梯度降低32.64~37.64 °C/m,降低幅度为39%~43%,有较大幅度的降低。可见,许尉高速公路采用的长寿命路面结构对降低温度应力是有很大好处的,从而减少了由于温度疲劳应力而产生的破坏。

3 有沥青混凝土上面层的PCC板温度应力分析

3.1 胀缩应力

3.1.1 未设胀缝时的胀缩应力分析

对于无胀缝水泥混凝土路面,当其温度发生变化时,在路段中部因不能随温度变化而自由伸缩,故积存有相应的温度应力。与此同时,路面板与基层之间存在路面与基层滑移的纵向阻力,这种阻力包括路面与基层的摩擦力及灌注路面板时嵌入基层部分所能承受的剪力。

3.1.1.1 摩擦阻力

采用砂垫层的水泥混凝土路面,绝大部分胀缝都在几年之内被挤碎。采用灰土碎石垫层,可进一步增大基层的摩擦阻力,但其平整度需按要求控制,否则将会增加路面板的翘曲应力,甚至发生断裂。

3.1.1.2 水平剪力

在浇注水泥混凝土路面板时,拌和物的部分水泥浆渗入基层与基层材料粘成整体,且具有一定的强度,在路面板滑动时,这部分将承受一定的水平剪力,与摩擦力共同组成阻止路面板滑动的阻力。显

然,这种水平剪力一旦遭到破坏,路面板发生纵向位移的可能性将大为增加,这对路面使用是极为不利的。目前,对这种水平剪力尚无人测定,还只限于在理论上进行探讨和分析。

3.1.1.3 胀缩应力

现假设一段路面两端完全固定,当温度升高时,它将无法伸胀,于是便有温度(约束)应力 σ 产生,胀缩完全受阻时所产生的应力为:

$$\sigma_{\max} = \sigma_x = \sigma_y = E_c \alpha_c \frac{\Delta t}{1 - \mu}$$

式中: E_c 为水泥混凝土的弹性模量; α_c 为水泥混凝土线膨胀系数; Δt 为温度变化幅度; μ 为泊松比。

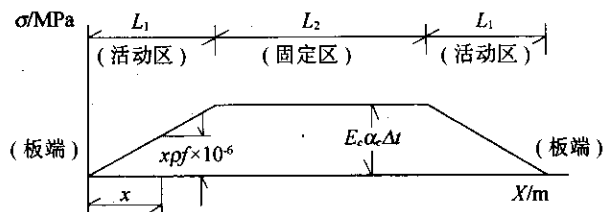
对未设接缝的水泥混凝土板,当温度下降15 °C时,其最大收缩应力计算结果为5.47 MPa,水泥混凝土板内的温度应力很大,在水泥混凝土板浇筑后的初期,板内将会出现裂缝。

3.1.2 设胀缝时的胀缩应力分析

水泥混凝土路面设置胀缝,主要是为了防止温度变化引起的胀缩变形所造成的危害。为减小由于温度升高及材料膨胀引起的板内压缩应力,也为满足不同位置路面的需要,水泥混凝土路面每隔一定的距离应设置横向胀缝。

3.1.2.1 水泥混凝土板端为自由端

根据路面板的位移趋势与承受摩擦力的情况,可将长度为 L 的路面板分为固定区和滑动区(图6)。



注:图中 ρ 为水泥混凝土体积质量; f 为摩擦系数。

图6 板内区域划分

经过分析得出温度应力图的应力分布状况:

(1)活动区的长度 L_1 与路面板长无关,仅与水泥混凝土板温度升高幅度 Δt 成直线比例关系;

(2)活动区的长度 L_1 与 α_c 、 E_c 、 Δt 、 f 和 ρ 相关,但 α_c 、 E_c 和 ρ 是水泥混凝土本身的物理特性, f 也有类似性质,所以这4个要素可在理论设计中加以解决,只需对水泥混凝土给予必要的限制,就能够控制 L_1 的长度。

3.1.2.2 水泥混凝土板为非自由端

当胀缝间距小于 $2L_1$ 时,活动区长度取胀缝间

距之半,水泥混凝土板内温度应力沿板的纵向分布见图 7。

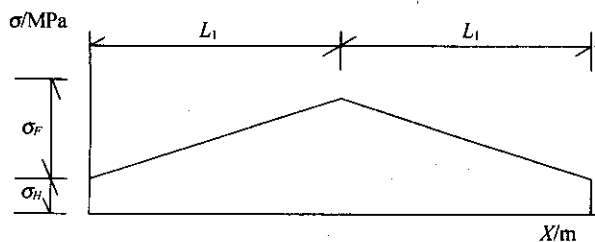


图 7 板内温度应力沿板的纵向分布

胀缝是水泥混凝土路面的薄弱环节,是各类接缝中损坏率最高、损坏程度最为严重的接缝。因此,目前在水泥混凝土路面设计和施工中,要求减少胀缝数量,增大胀缝间距。现有长间距胀缝水泥混凝土路面使用情况良好,未发生拱胀现象,由温度升高引起的伸胀破坏多发生在板端。理论分析表明:对于长间距胀缝($L > 2L_1$)路面,一定的温度变化幅度,对应一定的压缩应力,水泥混凝土板内温度压缩应力不随胀缝间距的增大而增加。

合理选择施工季节,加大水泥混凝土路面与基层之间的摩擦,正确设置胀缝材料及宽度,可降低水泥混凝土路面的温度应力,减小变形,从而减少水泥混凝土路面的破坏。

3.1.3 长胀缝距和无胀缝路面

采用长胀缝距和短缩缝距的接缝间距布置方案,可以避免或减轻接缝设置所引起的病害。那么长胀缝距或不设胀缝的路面是否会产生过大的膨胀压应力,从而导致接缝碎裂或者因板屈曲失稳而引起拱起现象呢?如果按浇筑时的温度和最大可能达到的板温之间的差值,来计算膨胀完全受阻时所产生的应力,则可能得到相当可观的压应力值。然而,水泥混凝土在硬化过程中发生的塑性收缩以及在大气环境下因湿度变化而发生的干燥收缩,都会使水泥混凝土板的长度缩短。因而,胀缝的缝隙宽度实际上要比浇筑初期大。这部分空隙,即便在没有胀缝时也可容纳一定数量的温度升高所引起的膨胀位移,而不致出现压应力。按线膨胀系数与线收缩系数的差值,可以粗略地估计出,浇筑后板温升高 10°C 左右才产生膨胀压应力。此外,由于温度升高经历数月之久,约束伸长变形的压应力作用时间很长,水泥混凝土的蠕变作用可使部分压应力得到松弛。因而,考虑上述两方面因素的影响后,实际发生的膨胀压应力

不会像起初估计的那么大。

一些试验路段上的实测结果也证实了上述分析。在 1.6 km 长胀缝距的试验路段上,采用应变仪测定了路段中点和四分点处的压应变。在路面温度为 44.4°C 时的纵向压应力:路段中点为 $4.23 \sim 4.77 \text{ MPa}$,西四分点处为 $4.59 \sim 5.07 \text{ MPa}$,东四分点处为 $4.23 \sim 4.86 \text{ MPa}$ 。在 12 km 长的无胀缝试验路段上采用压力传感器直接测定了纵向压应力。测定结果表明,最大压应力一般出现在晴朗夏天的下午 $16:00 \sim 18:00$ 。在长时期炎热时,压应力即便在晚上也不会消失。该年测到的最大压应力为 6.5 MPa ,板温为 30°C 。根据不同日期测到的压应力和板温数据建立关系式,可以外延推测板温为 45°C (最高板温)时的最大压应力为 8.0 MPa 。另一条无胀缝试验段的压应变测定显示,在板温为 40°C 时推算得到的压应力仅为 4.79 MPa 。上述测定数据表明:长胀缝距或不设胀缝时实际产生的膨胀应力一般都低于 8.0 MPa 。这一数值同水泥混凝土的抗压强度相比仅占小部分,因而不会使水泥混凝土出现压裂损坏。

上述分析表明:在非特殊情况下,长胀缝距或无胀缝路面内实际上并不会产生很大的压应力。而采用短缩缝距,反而会由于缩缝缝隙的张开,使坚硬杂物贯入和阻碍膨胀而引起拱起。因而,采用长胀缝距或不设胀缝都是可行的。

3.2 翘曲应力

3.2.1 PCC 板温度翘曲应力分析

现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002),采用谈至明提出的计入内应力的翘曲应力计算方法(图 8)。

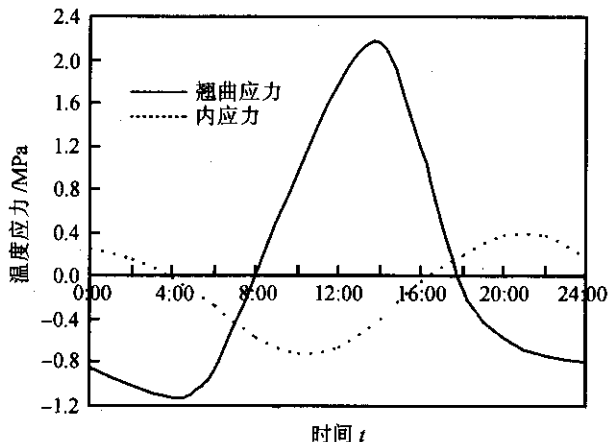


图 8 翘曲应力和内应力变化曲线

根据规范计算方法计算普通水泥混凝土路面的温度翘曲应力和温度疲劳应力,结果列于表 5。

表 5 普通水泥混凝土路面温度翘曲应力和疲劳应力计算结果

板厚/m	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
温度翘曲应力/MPa	1.747	1.690	1.652	1.568	1.484
温度疲劳应力/MPa	0.773	0.730	0.703	0.647	0.617

由表 5 可以看出,普通水泥混凝土路面水泥混凝土板的温度翘曲应力和温度疲劳应力,都是随板厚的增加而逐渐降低。

3.2.2 PCC+AC 复合式路面的温度翘曲应力分析

PCC+AC 复合式路面结构在 PCC 板上铺筑了 AC 层后,大大改善了 PCC 板的热应力特性,因此需要对其温度应力进行分析研究。

3.2.2.1 加 AC 层后的温度翘曲应力修正

取温度梯度 $T_g=1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{cm}$,水泥混凝土线膨胀系数 $\alpha_c=1\times 10^{-5}/\text{ }^{\circ}\text{C}$,沥青混合料线膨胀系数 $\alpha_a=2\times 10^{-5}/\text{ }^{\circ}\text{C}$,进行大量计算,结果可表示为:

$$\sigma_{tra}=\beta'\sigma_{tr}$$

影响函数 β' 可按 $\beta'=1+\zeta'h_a$ 线性模式回归。系数 ζ' 与水泥混凝土层厚度和模量有关,绘成诺谟图后如图 9 所示。

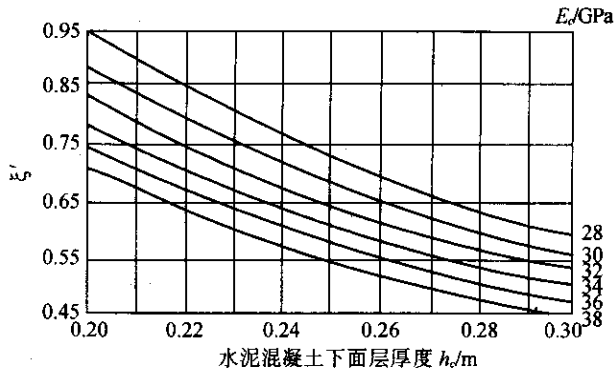


图 9 系数 ζ'

由此得到有沥青混凝土上面层的水泥混凝土面层温度疲劳应力实用计算公式:

$$\sigma_{tra}=(1+\zeta'h_a)\sigma_{tr}$$

计算水泥混凝土面层的最大温度翘曲应力 σ_{tm} 时,其最大温度梯度 T_g 按规范所列表取值。

3.2.2.2 加 AC 层后的温度翘曲应力计算分析

取不同 PCC 板厚和 AC 层厚进行组合计算,按照规范计算方法计算 3 m×4 m 板温度翘曲应力和

温度疲劳应力,结果列于表 6 和表 7。结合表 6 和表 7 绘制柱状图,见图 10 和图 11。

表 6 有 AC 层的 PCC 板的温度翘曲应力 MPa

h_c/m	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
AC 层厚 $h_a=0.02\text{ m}$	1.480	1.431	1.400	1.327	1.294
AC 层厚 $h_a=0.04\text{ m}$	1.233	1.193	1.167	1.114	1.061
AC 层厚 $h_a=0.06\text{ m}$	1.048	1.014	0.992	0.957	0.932
AC 层厚 $h_a=0.08\text{ m}$	0.863	0.853	0.817	0.790	0.773
AC 层厚 $h_a=0.10\text{ m}$	0.740	0.712	0.670	0.638	0.618

表 7 有 AC 层的 PCC 板的温度疲劳应力 MPa

h_c/m	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
$h_a=0.02\text{ m}$	0.583	0.548	0.523	0.481	0.441
$h_a=0.04\text{ m}$	0.415	0.386	0.368	0.332	0.302
$h_a=0.06\text{ m}$	0.293	0.270	0.255	0.226	0.198
$h_a=0.08\text{ m}$	0.176	0.158	0.146	0.123	0.115
$h_a=0.10\text{ m}$	0.101	0.086	0.076	0.067	0.048

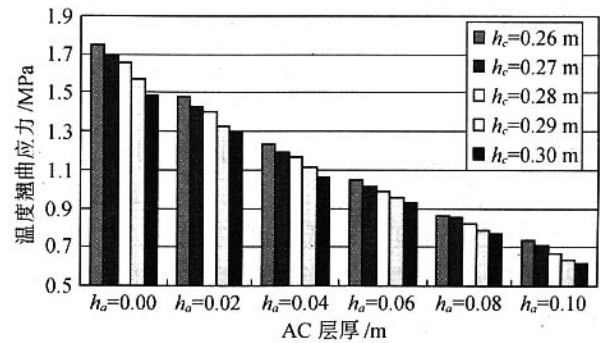


图 10 PCC 板的温度翘曲应力随 PCC 板厚和 AC 层厚度变化

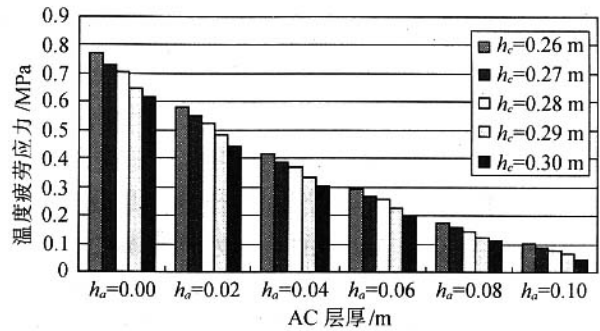


图 11 PCC 板的温度疲劳应力随 PCC 板厚和 AC 层厚度变化

由表 6 和图 10 可以看出,当水泥混凝土板厚一定时,随着 AC 层厚度的增加,温度翘曲应力逐渐降低,降低的趋势越来越缓;当 AC 层厚一定时,随着水泥混凝土板厚的增加,温度翘曲应力逐渐降低,降

低的趋势越来越缓。许尉高速公路采用水泥混凝土板厚为 28 cm、沥青混凝土层厚为 6 cm 的复合式路面结构,从表 6 中可以看出这种结构的最大温度翘曲应力为 0.992 MPa,而普通水泥混凝土路面板($h_a = 0$ cm)的温度翘曲应力变化范围为 1.484 ~ 1.747 MPa。相比之下,许尉高速公路的温度翘曲应力降低了 0.492 ~ 0.755 MPa,降低幅度为 33.2% ~ 43.2%。可见,许尉高速公路采用长寿路面结构对降低温度翘曲应力有很大的作用。

由表 7 和图 11 可以看出,PCC 板温度疲劳应力随着 PCC 板厚度的增大而减小,且减小幅度逐渐趋缓;固定 PCC 板厚时,PCC 板的温度疲劳应力随着 AC 层厚度的增大而减小,且减小幅度逐渐趋缓。温度疲劳应力与温度翘曲应力的变化规律是一致的。许尉高速公路的最大温度疲劳应力为 0.255 MPa,而普通水泥混凝土路面的最大温度疲劳应力变化在 0.617 ~ 0.773 MPa 之间。相比之下,许尉高速公路的疲劳应力比普通水泥混凝土疲劳应力降低 0.362 ~ 0.518 MPa,降低幅度为 58.7% ~ 67.0%。可见,许尉高速公路采用的路面结构对降低温度疲劳应力有很大的作用。

从图 10 和图 11 可以看出,通过增加 AC 层厚度来降低温度翘曲应力和温度疲劳应力,比通过增加水泥混凝土板厚度来降低温度应力的方法更有效。可见,增加 AC 层厚度是降低温度应力的有效措施。

4 主要结论

(1)普通水泥混凝土路面的日最大温度梯度出现时刻为 13:00 ~ 14:00,而许尉高速公路的日最大温度梯度出现在 16:00 左右,最大温度梯度滞后了 2 ~ 3 h。

(2)许尉高速公路的最大温度梯度为 50.36 °C/m,而规范推荐值为 58 ~ 62 °C/m,所以许尉高速公路采用规范推荐值进行设计是偏于安全的。并且,与不加 AC 层的普通水泥混凝土路面相比,温度梯度降低 39% ~ 43%,有较大幅度的降低。

(3)许尉高速公路在设置胀缝时采用长胀缝距的方法,对降低膨胀应力有很大好处,从而减少了水泥混凝土板由于胀缩应力而出现的压裂损坏等。

(4)许尉高速公路采用水泥混凝土板厚为 28 cm、沥青混凝土层厚为 6 cm 的复合式结构,最大温度翘曲应力为 0.992 MPa,与普通水泥混凝土路面水泥混凝土板的最大温度翘曲应力相比,降低了 0.492 ~ 0.755 MPa,降低幅度为 33.2% ~ 43.2%。

(5)许尉高速公路的最大温度疲劳应力为 0.255 MPa,与普通水泥混凝土路面水泥混凝土板的最大温度疲劳应力相比,降低了 0.362 ~ 0.518 MPa,降低幅度为 58.7% ~ 67.0%。

综上所述,采用较大厚度水泥混凝土板厚设计,对减少由于重载、超载引起的高速公路面层的破坏,延长路面使用寿命将起到关键作用。PCC+AC 复合式路面与普通水泥混凝土路面相比,加 AC 层后有效降低了水泥混凝土板的温度应力和温度疲劳应力,减少了由于温度疲劳应力而产生的破坏,说明在 PCC 板上加铺 AC 层是降低 PCC 板温度应力的有效措施。

参考文献:

- [1] 王选仓,等. 沙漠地区公路路面结构设计施工及材料研究之分报告四——沙漠路面温度场研究暨路面工作环境指标确定[R].
- [2] JTG D40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [3] 姚祖康. 水泥混凝土路面设计理论和方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [4] 胡长顺,王秉纲. 复合式路面设计原理与施工技术[M]. 人民交通出版社,1999.
- [5] 赵晓晴. 长寿路面结构研究[D]. 长安大学,2005.
- [6] 顾文钧,俞建荣. 水泥混凝土与沥青混凝土复合式路面温度梯度分析[J]. 东南大学学报,1997,(5).
- [7] 景天然,严作人. 水泥混凝土路面温度状况的研究[J]. 同济大学学报,1980,(3).
- [8] Kerr A D. Assessment of concrete pavement blowups[J]. Journal of Transportation Engineering, 1997, (2).
- [9] Kerr A D. Blowup of concrete pavement adjoining a rigid structure [Z]. Int. J. Non-Linear Mechanics, 1994.
- [10] Pane I, Hansen W, Mohamed A R. Three-dimensional finite element study oneffects of nonlinear temperature gradients in concrete pavements [Z]. TRR 1619, 1998.