

机场大尺寸水泥混凝土道面板伸缩应力的分布

常伟高¹, 陆春奇¹, 翁兴中²

(1. 济南军区第七空防工程处, 江苏 徐州 221005; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:研究了机场大尺寸水泥混凝土道面板的伸缩应力。根据板与基层之间的摩阻力分布,建立了水泥混凝土道面板伸缩应力的计算公式;分析了环境条件的变化对道面板温度的影响,并推导出伸缩应力的日分布和年分布的计算公式;这些计算公式的建立,解决了大尺寸道面板伸缩应力的计算难题,并经某机场大尺寸道面板的验证,证明所建立的计算公式是正确的。

关键词:机场工程;道面板;伸缩应力;温度;分布

中图分类号: U416.216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)05-0013-04

在机场水泥混凝土道面板和公路水泥混凝土路面结构设计中,或者忽略了温度应力的影响^[1];或者考虑了温度应力对路面结构的影响^[2],但此时的温度应力只是温度翘曲应力^[3]。忽略了伸缩应力的影响,这是因为道面板或路面板的尺寸限制在4m-6m之间^[4],此时的伸缩应力比翘曲应力小得多,故对伸缩应力不予考虑。随着道面板尺寸的增大,温度的伸缩应力逐渐增大,它与翘曲应力一起构成了道面板的温度应力,成为决定道面板尺寸的因素^[5-6]。因此,在进行大尺寸板(大尺寸板是现有板尺寸的2-3倍)的研究时,必须对水泥混凝土大尺寸板的伸缩应力进行研究,为合理确定道面板的尺寸提供依据^[7-9]。本文对道面板的伸缩应力的计算方法及伸缩应力的日分布和年分布进行全面、系统的研究,建立了道面板伸缩应力的计算方法。

1 计算方法

道面板的伸缩应力主要是由道面板的整体温度变化引起的变形受到道面板与基层之间的摩阻力和板与板之间的箝制等约束而产生的。其中板与基层之间的摩阻力的约束是起重要的作用。板与基层之间的摩阻力的作用相当于作用在板底的偏心力。将其平移至板中点时,则为一拉(压)力和弯矩之和。在此拉(压)力和弯矩作用下,在距板端 x' 的道面板底产生的拉应力 σ_{ts} 为

$$\sigma_{ts} = 4x'rf \quad (1)$$

式中: r 为水泥混凝土的容重, (MN/m^3); f 为摩阻系数; x' 为距板端的距离, (m)。

当混凝土板收缩时,因混凝土摩阻应力最大值不应超过道面板完全受阻时的应力。当摩阻应力超过道面板完全受阻时的应力部分,道面板的位置是保持不变的,则在道面板中部的伸缩应力是保持不变的,四周同时向中部收缩。由于摩阻力与板的位移量有关,道面板的位移、摩阻力和摩阻应力的分布如图1所示。

摩阻力变化区 x_0 与道面板的温度变化和道面板与基层摩阻力随位移量变化有关。设道面板温度降低

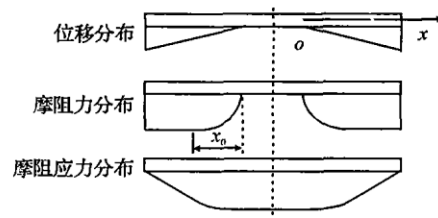


图1 混凝土板底位移、摩阻力和摩阻应力分布图

收稿日期:2006-05-22

基金项目:空军“十五”期间重大攻关项目(KH0226013)

作者简介:常伟高(1962-),男,湖南汨罗人,工程师,主要从事机场工程研究.

为 ΔT , 线膨胀系数为 α , 设坐标原点为位移变化的起点, 则距起点 x , 其伸缩位移 Δu 为

$$\Delta u = \alpha \Delta T x \quad (2)$$

当 Δu 的位移量等于最大摩阻力的位移量时, 可求得 x_0 。设产生最大摩阻力的位移量为 w_0 , 则有:

$$x_0 = \frac{w_0}{\alpha \Delta T} \quad (3)$$

道面板底的摩阻力由两部分组成(坐标原点选取在板中点)。

当 $x \geq x_0$ 时

$$F_{L1} = rhf_{\max} \left(\frac{L}{2} - x_0 \right) \quad (4)$$

式中: f_{\max} 为最大摩阻系数; L 为板长(m)。

当 $x < x_0$ 时

$$F_{L2} = \frac{2rh\omega_0^2}{3\alpha\Delta T} \quad (5)$$

则板中的最大摩阻力 F_L 为

$$F_L = F_{L1} + F_{L2} = rhf_{\max} \left(\frac{L}{2} - \frac{w_0}{\alpha\Delta T} \right) + \frac{2}{3} \frac{r\omega_0^2}{\alpha\Delta T} \quad (6)$$

则可得道面板中最大的伸缩应力为

$$\sigma_{ts \max} = 4rf_{\max} \left(\frac{L}{2} - \frac{w_0}{\alpha\Delta T} \right) + \frac{8}{3} \frac{r\omega_0^2}{\alpha\Delta T} \quad (7)$$

2 日分布

伸缩应力出现拉应力的时间是在一天内道面板的温度达到最大后, 开始降温逐渐产生的。道面板的温度达到最大的时间与各地的气候条件有关, 还与道面板的厚度有关。一般来讲, 最大气温出现在中午前后。随着时间的延续, 道面板整体温度下降, 伸缩应力逐渐增大, 一直到道面板整体温度上升为止。此时, 道面板的伸缩应力达到最大, 随后, 随着道面板温度的上升, 伸缩应力变为压应力。

道面板的温度场可由式(8)表示^[1]。

$$T_R = T_m + T_v \frac{H}{\sqrt{(C+H)^2 + C^2}} e^{-zC} \sin\left(\frac{\pi}{12}t - ZC - \arctan \frac{C}{C+H}\right) \quad (8)$$

式中: T_R 为气温的日变化幅度, ($^{\circ}\text{C}$); t 为从温度周期起点的起算时间, (h); H 为对流系数与面层材料热传导率的比值; C 为道面材料特性综合参数; T_m 为有效温度平均值, ($^{\circ}\text{C}$); T_v 为同平均有效温度的最大偏差, ($^{\circ}\text{C}$)。

道面板的整体温度可用板厚度中点的温度来表示。由式(8)可知, 该点的温度变化规律同气温的变化规律相同, 可用正弦函数表示, 如式(9)所示。

$$T' = T'_0 + T'_{\max} \sin\left[\frac{\pi}{12}(t - t'_0)\right] \quad (9)$$

式中: T' 为某一时刻道面板的平均温度, ($^{\circ}\text{C}$); T'_{\max} 为道面板某一时刻的平均温度与平均道面板整体温度的最大温差, ($^{\circ}\text{C}$); t'_0 为道面板平均温度达到日平均气温的时刻, (h)。

为了研究道面板的摩阻应力与道面板的整体温度变化的关系, 则需要知道道面板整体温度的最大值与整体温度的差值, 其计算公式为

$$\Delta T = T'_{\max} \left\{ 1 - \sin\left[\frac{\pi}{12}(t - t'_0)\right] \right\} \quad (10)$$

式中: ΔT 为道面板日最大整体温度与某一时刻道面板的平均整体温度的差值, ($^{\circ}\text{C}$)。

若假设达到平均整体温度的时刻为6点, 则可计算出不同时刻的温度差值 ΔT 。当达到中午12点后, ΔT 开始增加, 说明板长开始逐步缩短, 道面板由于板底摩阻力的作用出现拉应力, 直至到凌晨0时。从0时开始, ΔT 逐渐减少, 说明板开始逐步伸长, 道面板由于板底摩阻力的作用出现压应力, 直至到中午12时为止。

由式(10)中可知, ΔT 与时刻有关, 还与 T'_{\max} 有关, 即道面板该时刻的平均温度与平均整体温度的差值。

将式(10)代入式(7), 就可以得到伸缩应力的日分布情况。

$$\sigma_{ts} = 4\alpha f_{\max} \left(\frac{L}{2} - \frac{w_0}{\alpha T'_{\max} \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{12} (t - t'_0) \right] \right\}} \right) + \frac{8}{3} \frac{r w_0^2}{\alpha T'_{\max} \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{12} (t - t'_0) \right] \right\}} \quad (11)$$

根据式(11), 可以计算出伸缩应力在日变化情况, 如图2所示, 图中绘制出的是出现拉应力的情况。从图2可知, 随着时间的延续, 伸缩应力迅速增大, 略在3h后达到稳定值, 随后基本上保持在稳定值上。

3 伸缩应力的年分布

将式(8)和式(10)对比可知, T'_{\max} 即式(8)中的

$$T_v \frac{H}{\sqrt{(C+H)^2 + C^2}}$$

要与气温日变化幅度 T_R 和辐射热使气温增高为有效温度的平均增量 R 有关。而 R 与太阳日幅射热 Q , 水泥混凝土的吸热能力 b 和平均风速 v 有关。对于水泥混凝土道面而言, 其吸热能力 b 是一定值。如果忽略了平均风速 v 的影响, 则太阳日幅射热 Q 是决定 R 的主要因素。图3给出了我国不同地区的太阳日幅射热随年变化的情况^[10]。图3中的赣州代表了我国南方地区, 其日幅射热的最大值出现在7月; 北京代表我国北方地区, 敦煌代表沙漠地区, 其最大值出现在6月。3个地区日幅射热的最小值均出现在12月。

太阳的幅射热 R_y 在一年的分布可以用正弦函数来表示, 如式(12)所示。

$$R_y = R_{1,12} + R_{yd} \sin \left(\frac{\pi}{365} t \right) \quad (12)$$

式中: $R_{1,12}$ 为1, 12月的平均幅射量, (J/m^2); R_{yd} 为最大的日幅射时与 $R_{1,12}$ 的差值, (J/m^2); t 为时间变量, (d)。

气温的日变化的大小与纬度、季节和其它自然地理条件有关。气温的日变化值夏季大于冬季, 但最大值并不出现在夏至日。这是因为气温的变化幅度不仅与白天最高温度有关, 还取决于夜间的最低温度值。夏至日, 中午太阳高度角虽高, 但夜间持续时间短, 地表面来不及剧烈降温而冷却, 最低温度不够低。所以, 中纬度地区日气温变化幅度最大值出现在初夏, 最小值出现在冬季。另外, 日气温变化幅度还受地理条件的影响, 如沙漠地区日气温变化幅度大; 潮湿地区日气温变化幅度小。经对实测资料的分析, 年内晴天实测日最高气温与日最低气温的差值, 其最大值出现在6月份; 最小值出现在12月份, 在一年的分布可以用正弦函数表示。

综合上述分析, 夏季气温日变化幅度和辐射热均是一年中最大的, 而冬季则是最小的。道面板的整体温度日变化幅度在一年内的变化可以用正弦函数来表示, 其表达式如式(13)所示。

$$T_{sd} = T_{s1,12} + T_{sdd} \sin \left(\frac{\pi}{365} t \right) \quad (13)$$

式中: T_{sd} 为一年内某月的道面板整体温度日最大变化值, ($^{\circ}C$); $T_{s1,12}$ 为一月和十二月份的日最大道面板整体温度日最大变化的平均值, ($^{\circ}C$); T_{sdd} 为一年中道面板最大整体温度变化值与 $T_{s1,12}$ 的差值, ($^{\circ}C$); t 为时间, (天)。

将式(13)代入到式(11)中, 即可得到道面板伸缩应力的年分布, 如式(14)所示。

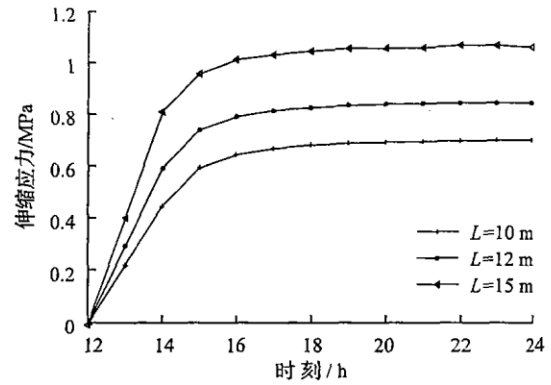


图2 伸缩应力的日分布图

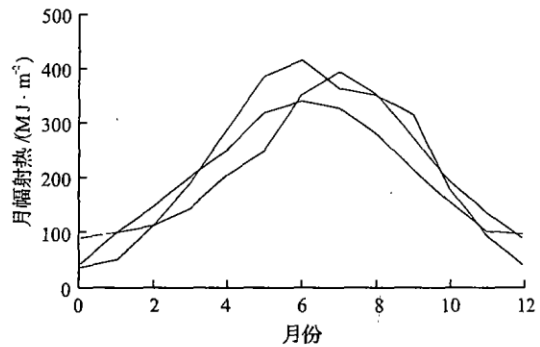


图3 太阳日幅射热随年变化的情况

$$\sigma_{ts} = 4rf_{\max} \left(\frac{L}{2} - \frac{w_0}{\alpha \left[T_{s1,12} + T_{sdd} \sin \left(\frac{\pi}{365} t \right) \right] \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{12} (t - t'_0) \right] \right\}} \right) + \frac{8}{3} \frac{rw_0^2}{\alpha \left[T_{s1,12} + T_{sdd} \sin \left(\frac{\pi}{365} t \right) \right] \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{12} (t - t'_0) \right] \right\}} \quad (14)$$

4 结束语

根据道面板与基层之间的摩阻力的分布规律,建立了道面板伸缩应力的计算公式。在分析道面板温度变化规律的基础上,得到了道面板伸缩应力的日分布与年分布的计算公式。为了验证本文所建立的计算公式的正确性,在某机场的停机坪上进行了大尺寸板温度应变的测试,停机坪道面板的最大尺寸为 $6m \times 15m$,测试时间为2001年9月至2002年2月。实测的数据验证了所建立的计算公式的正确性。这些公式为建立机场水泥混凝土大板尺寸计算方法奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 翁兴中,蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 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,2001.
- [3] 谈至明,姚祖康. 水泥混凝土路面疲劳温度应力的计算[J]. 中国公路学报,1989,2(1):1-7.
- [4] Hong jianjun, Weng xingzhong, Du jian. Structure design of Airport cement concrete pavement at Lhasa region in Tibet[A]. 4th International Conference on Road & Airfield Pavement Technology[C]. April 2002, Kunming, Yunnan Province, P R China, 1376-1377.
- [5] 翁兴中,谭麦秋,黄小明,等. 机场水泥混凝土道面板尺寸的确定方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(6):11-13.
- [6] 翁兴中,吴彰春,冷培义,等. 水泥混凝土板与基础共同作用的疲劳特性[J]. 土木工程学报,1996,29(3):43-48.
- [7] 翁兴中,谭麦秋,孔大庆,等. 机场水泥混凝土大板接缝设计[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2002,3(6):4-6.
- [8] 翁兴中,焦明声. 军用机场水泥混凝土道面结构参数变异性[J]. 公路交通科技,2004,21(2):5-8.
- [9] 寇雅楠,翁兴中. 用神经网络理论预测机场水泥混凝土道面的使用寿命[J]. 中国公路学报,1997,10(1):16-20.
- [10] 周淑贞. 气象学与气候学[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

(编辑:姚树峰)

Day and Year Distribution of Shrinkage and Tension Stress on Large Size Cement Concrete Slab

CHANG Wei-gao¹, LU Chun-qi¹, WENG Xing-zhong²

(1. Seventh Air Force Engineering Unit, Jinan Military Region, Xuzhou 221005, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The calculating formula of shrinkage and tension stress of the pavement is set up on the basis of the friction between slab and base. The temperature of slab affected by the change of environment is analyzed and the calculating formulas of the stress distribution in day and year are deduced. The formulas can be used to calculate the shrinkage and tension stress of large size cement concrete pavement, and the correctness of the formula is verified by the test of large size pavement at a certain airfield.

Key words: airport engineering; pavement; shrinkage and tension stress; temperature; distribution