

机场水泥混凝土道面板尺寸的确定方法

翁兴中¹, 谭麦秋², 黄小明², 孔大庆², 杜俭¹
(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空后机营部, 北京 100720)

摘要:建立起了机场水泥混凝土道面板尺寸的确定方法。道面板的尺寸是由飞机荷载和温度(包括伸缩应力和翘曲应力)共同作用所决定的。研究成果已应用到某机场道面工程中,经使用表明,理论研究结果正确。

关键词:道面板尺寸;机场;水泥混凝土

中图分类号:V351;U416.216 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)06-0011-03

目前,国内外机场水泥混凝土道面板的尺寸确定一直采用经验方法,一般限制在4~6 m之间。当板的尺寸增大时,认为板就会产生断裂。由于4~6 m的板尺寸较小,形成板的接缝较多,造成错台机会增多。同时,板角、板边是道面板强度最薄弱部位,宜产生掉边掉角等损坏。因此,这种尺寸的道面板会对飞机的飞行安全性和舒适性有较大的影响,飞行人员一直要求减少板的接缝。减少道面板的接缝数量的有效措施就是增大板的尺寸,突破目前道面板4~6 m的限制,使道面板有一个合理的尺寸。对于水泥混凝土大板尺寸,国内外一直没有开展过系统研究。公路在设计水泥混凝土路面时,虽然也考虑了板尺寸对路面结构的影响,但它的板尺寸限制在4~6 m之内,而且仅考虑了温度翘曲应力的影响。

1 决定道面板尺寸的因素

决定道面板尺寸的因素是飞机荷载与温度,温度产生的应力可分为伸缩应力和翘曲应力^[1]。

1.1 飞机荷载

现行的设计规范在进行道面板结构设计时采用设计飞机进行道面结构设计。飞机荷载可用设计飞机荷载表示^[2]。道面板的厚度主要是由设计飞机荷载和交通量决定。按照现行设计规范,道面设计只考虑了设计飞机的作用,忽略了温度应力的影响。按照现行设计方法,不同厚度道面板的工作应力是一样的。可以认为按照现行设计规范,设计飞机荷载作用产生的应力与道面板的厚度无关。

1.2 伸缩应力

道面板的伸缩应力主要是由板与基层之间的摩阻力和板与板之间相互箝制作用所产生的。由于相邻道面板的温度升降是一致的,会产生相同的伸缩,故其相互间的箝制所产生的应力是很小的。伸缩应力主要是由板与基层之间的摩阻力作用所产生。当道面板温度均匀下降时,板就会产生伸缩应力,此时的伸缩应力为最不利状态。考虑拉力和弯矩共同作用时,最大伸缩应力计算为(其位置在板的中央或中部)。

$$\sigma_{s \max} = 2Lrf \quad (1)$$

式中: r 为水泥混凝土的容重(MN/m^3); L 为板长度(m); f 为摩阻系数; $\sigma_{s \max}$ 为最大伸缩应力(MPa)。

摩阻系数 f 的大小与基层材料,板的位移量和伸缩位移反复作用等因素有关。表1为不同基层上最大摩阻系数的测定值^[3]。若取 $f=1.0$, $r=0.024 \text{ MN}/\text{m}^3$,则不同板长的伸缩应力见表2。

用式(1)计算出的最大伸缩应力不应大于板完全受约束时产生的伸缩应力。板完全约束时产生的伸缩应力计算公式见式(2)、(3)^[2]。

收稿日期:2002-05-04

作者简介:翁兴中(1962-),男,浙江金华人,教授,主要从事机场工程研究。

板中: $\sigma_{sh} = E\alpha\Delta T / (1 - \mu)$ (2) 板边缘中点(x方向): $\sigma_{sh} = E\alpha\Delta T$ (3)

式中: α 为水泥混凝土线膨胀系数(°C); ΔT 为板的平均降温(°C); E 为水泥混凝土弹性模量(MPa)。

若取 $E = 25\ 000\ \text{MPa}$, $\alpha = 1 \times 10^{-5}/\text{°C}$,在不同的 ΔT 时,最大伸缩应力见表3。

表1 摩阻系数测定值

位移方向	沥青砂砾基层	沥青砂基层	水泥加固基层	砂基层
往	1.20~1.15	1.80~0.30	1.40~1.10	1.00~0.87
回复	0.75~0.70	0.90~0.84	0.70~0.65	0.6

表2 伸缩应力计算值

板长/m	4	6	8	10	12	15	20
σ_{max}/MPa	0.192	0.288	0.384	0.480	0.576	0.720	0.960

从式(1)、(2)和(3)可知,伸缩应力仅与板长和温度均匀变化有关,而与厚度无关。表2与表3对比可知,完全受约束时产生的伸缩应力要大于板与基层摩阻产生的伸缩应力。伸缩应力应按式(1)计算。

表3 不同温差下伸缩应力值

$\Delta T/\text{°C}$	5	10	15	20	25
σ_{sh}/MPa	1.47	2.94	4.41	5.88	7.95
σ_{sh}/MPa	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25

1.3 翘曲应力

弹性半空间地基上道面板的翘曲应力可按式(4)、(5)计算^[4]。

板中部: $\sigma_{qb} = \frac{E\alpha\Delta T}{2(1-\mu^2)} \left(\frac{D_x + \mu D_y}{1+\mu} \right)$ (4) 板边缘中部: $\sigma_{qb} = \frac{E\alpha\Delta T}{2} D_x$ (5)

式中: D_x (或 D_y)的计算公式为(计算 D_y 时,式中 C_x 用 C_y 代替, h 为水泥混凝土道面板厚):

$D_x = 2.08C_x e^{-0.0448h} - 0.154(1 - C_x)$ (6)

对 C_x 和 C_y 的曲线进行拟合,可得到 C_x 和 C_y 的计算公式,见式(7)、(8)。

$C_x = 1 - 1.55\cos A_l \text{ch } A_l [\tan A_l + \text{th}(1.07A_l)] / [\sin(A_l/2) + \text{sh}(2.2A_l)]$ (7)

$C_y = 1 - 1.55\cos B_l \text{ch } B_l [\tan B_l + \text{th}(1.07B_l)] / [\sin B_l/2 + \text{sh}(2.2B_l)]$ (8)

$A_l = L/l\sqrt{8}$ (计算 C_x 时)或 $B_l = B/l\sqrt{8}$ (计算 C_y 时)

$l = h\sqrt[3]{E(1-\mu_0^2)/6E_0(1-\mu^2)}$ (9)

对于一个特定的机场道面,水泥混凝土弹性模量、膨胀系数和泊松比是一定值。从式(4)、(5)可知,翘曲应力只与 L 、 h 和 ΔT 有关。道面板的翘曲应力与 L 的关系见表4(计算条件: $E = 20\ 000\ \text{MPa}$, $E_0 = 250\ \text{MPa}$, $\alpha = 1 \times 10^{-5}/\text{°C}$, $h = 26\ \text{cm}$)。当 L 较小时,翘曲应力随板长增长而增大,板长达到某一值后(一般为6~8 m),道面板的翘曲应力则不随板长 L 的增长而增大,并且略有减少。将表2与表4的数值进行比较可知,翘曲应力比伸缩应力大,但翘曲应力并不随板长的增大而增加。因此,单独的翘曲应力并不能决定板的尺寸;特别是在板的尺寸增大时,由于伸缩应力增大,这意味着伸缩应力与翘曲应力的差值减少,翘曲应力更不能单独决定板的尺寸。板的尺寸是由翘曲应力和伸缩应力迭加形成的温度应力所决定的。道面板的上下温差可由式(10)计算。道面板的温度梯度与板厚有关,可由式(11)计算。

表4 翘曲应力随板长的变化

L/m	4	6	8	10	12	15
σ_{qb}/MPa	1.241	1.323	1.236	1.211	1.214	1.217

$\Delta T = \Delta G \times h$ (10) $\Delta G = \Delta G_{20} \times \alpha_n$ (11)

式中: ΔG 为道面板的温度梯度(°C/cm)。 ΔG_{20} 为板厚 $h = 20\ \text{cm}$ 时的温度梯度(°C/cm); α_n 为与板厚有关的修正系数,其值由表5确定。

表5 温度梯度的板厚修正系数

h/cm	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
α_n	1.218	1.140	1.068	1.000	0.937	0.878	0.822	0.771	0.723	0.678	0.636	0.597	0.561

若取 $E = 20\ 000\ \text{MPa}$, $E_0 = 250\ \text{MPa}$, $\alpha = 1 \times 10^{-5}/\text{°C}$,可得不同板厚时,板边缘最大翘曲应力值,见表6。从表6中可知,随着板厚的增加,板的最大翘曲应力降低。即在同样的板尺寸下和同样的环境中,板越厚,板的温度应力就越小。这意味着可以增长板的尺寸。

表6 不同板厚时翘曲应力 σ_{qb} 值

h/cm	18	20	22	24	26	28	30
σ_{qb}/MPa	1.571	1.519	1.460	1.397	1.323	1.237	1.144

2 板尺寸的确定方法

由于飞机荷载作用时,不同的板厚具有相同的荷载应力。但荷载越大,板的厚度就越大。板的厚度越大,在同样的板尺寸下,所产生的温度应力就越小。因此,可以增加板尺寸。

对于某一特定的环境中,板的温度应力 σ_t 可以表示为 L 和 h 的函数 $\sigma_t(L, h)$, 它必须满足 $\sigma_t(L, h) \leq f_t$ 。式中: f_t 为在满足使用要求时,某一板厚下最大板尺寸所允许产生的温度应力(MPa); $\sigma_t(L, h)$ 为不同板厚、板不同尺寸时,所产生的温度应力。可以推导出板长计算公式为 $L = (2f_t - E\alpha h\Delta GD_x)/4\tau f$ 。

f_t 值确定主要是由环境条件所决定,即由气候条件所确定的。气候条件主要包括气温和太阳幅射。通过对某机场道面所处的环境和使用要求分析和计算,该值 $f_t = 1.919$ MPa。可计算出不同板厚所允许的板尺寸,见表7。在该机场进行了大面积试验。试验段的板尺寸为 $5\text{ m} \times 15\text{ m}$, $5\text{ m} \times 12\text{ m}$, $5\text{ m} \times 10\text{ m}$ 和 $6\text{ m} \times 15\text{ m}$, $6\text{ m} \times 12\text{ m}$, $6\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。经过近1年使用,道面状况良好。

表7 不同板厚时板的最大尺寸

h/cm	18	20	22	24	26	28	30
L/m	8	10	12	13	14	15	18

3 结论

①道面板尺寸是由飞机荷载和温度共同作用所决定的;②在同样环境和同样板厚下,温度应力决定了板的尺寸;③温度所产生的应力可分为伸缩应力和翘曲应力;伸缩应力与板的尺寸有关,而与厚度无关,翘曲应力与板厚有相当大的关系,而板的尺寸在较小时对其产生影响;④所建立的板尺寸计算公式,其计算结果经试验段验证,结果是正确的。该方法可以推广到其它机场道面板尺寸的计算。

参考文献:

- [1] 姚祖康. 水泥混凝土路面设计[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1999.
- [2] 冷培义,翁兴中,蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京:人民交通出版社,1995.
- [3] AASHTO. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures[M]. Washington D C:AASHTO,1993.
- [4] 谈至明,姚祖康. 非线性温度场下的水泥混凝土路面温度应力[J]. 中国公路学报,1993,6(4):9-17.

(编辑:姚树峰)

A Calculating Method of Size of Large Cement Concrete Slab

WENG Xing-zhong¹, TAN Mai-qiu², HUANG Xiao-ming², KONG Da-qing², DU Jian¹

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Airport and Barracks Department, Air Force Logistics Office, Beijing 100720, China)

Abstract: The size of large cement concrete slab is determined by airplane loads and temperature. Based on analyzing the loading stress and the temperature stress (including contraction stress and warping stress), a calculating method of the slab size is set up. The method has been adopted in the airport pavement engineering and is also proved to be correct after use.

Key words: pavement slab size; airport; cement concrete