

机场水泥混凝土道面加铺层厚度敏感性

颜祥程^{1,2}, 翁兴中¹, 朱国富³, 贾建强⁴, 郭树学⁵

(1. 空军工程大学 航空航天工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 95746 部队, 四川 邛崃 611531;

3. 南京军区空军军队干部住房发展中心 上海办事处, 上海 200127; 4. 93956 部队,

甘肃 张掖 734015; 5. 空军指挥学院 营房处, 北京 100097)

摘 要:为了分析机场水泥混凝土道面加铺层各计算参数的取值对加铺层厚度的影响,采用《军用机场水泥混凝土道面设计规范》(GJB 1278A—2009)的方法对机场水泥混凝土加铺层厚度进行计算分析。研究表明:新、旧水泥混凝土道面间的结合系数对加铺层厚度有明显的影响,特别是结合系数从 0 增大到 0.2 时,加铺层厚度减少 17.98%~47.54%;加铺层厚度随着加铺层道面板尺寸的增大而增大;增加加铺层混凝土强度可以明显减少隔离式双层道面加铺层的厚度,而增加旧道面混凝土强度可以明显减少结合式双层道面加铺层的厚度;在进行机场水泥混凝土道面加铺层设计、施工时,需要综合考虑各结构参数对加铺层厚度的影响。

关键词:道路工程;机场水泥混凝土道面;加铺层;厚度;荷载应力;温度应力

中图分类号:U416.216;V351.11 **文献标志码:**A

Thickness sensitivity of the airport cement concrete pavement overlay

YAN Xiang-cheng^{1,2}, WENG Xing-zhong¹, ZHU Guo-fu³, JIA Jian-qiang⁴, GUO Shu-xue⁵

(1. School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038,

Shaanxi, China; 2. PLA Unit 95746, Qionglai 611531, Sichuan, China; 3. Shanghai Office of Officers

Housing Development Center, Nanjing Military Region Air Force Army, Shanghai 200127, China;

4. PLA Unit 93956, Zhangye 734015, Gansu, China; 5. Barracks Office, Air Force Command

College, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to study the influence of calculation parameters for the airport cement concrete pavement on overlay thickness, the method from the Specification of Design on Cement Concrete Pavement for Military Airfield was adopted to calculate the overlay thickness for analysis. The results show that the coupling coefficient between the new and old cement concrete pavement has obvious effect on overlay thickness, especially when coupling coefficient rises from 0 to 0.2, the overlay thickness decreases from 17.98% to 47.54%. The overlay thickness rises with the increase of the pavement overlay size. Increasing the pavement overlay flexural strength can reduce the thickness of separated double-layer pavement overlay, while increasing the old concrete pavement flexural strength can obviously decrease the thickness of the combined double-layer pavement overlay. Therefore, more attention should be paid to the calculation parameters during airport pavement overlay design and construction. 2 tabs, 6 figs, 13 refs.

Key words: road engineering; airport cement concrete pavement; overlay; thickness; load stress; temperature stress

0 引言

目前,中国军用机场水泥混凝土道面加铺层结构普遍采用的结构型式是隔离式,在力学分析上采用分离式加铺层结构设计^[1-2];民航机场加铺层的计算则采用美国陆军工程兵半经验计算公式,假设分离式加铺层道面上、下板在荷载作用下产生的挠度相等^[3]。由于没有考虑新、旧道面的结合,使得加铺层的厚度偏大,通常加铺层厚度在 0.22 m 以上,造成工程量和工程造价的增大^[4]。相关研究表明,水泥混凝土道面加铺层结构的受力状态主要与新、旧道面的结合程度、加铺层材料的强度和模量、加铺层道面板的尺寸等因素有关^[5-6]。曾胜等分析了交通荷载、温度变化和材料参数等对沥青加铺层结构力学性能的影响规律,表明 Strata 应力吸收层能较好地改善加铺层的应力应变状态^[7];葛折圣等采用弹性和粘弹性理论分析了加铺层的受力特性,表明随沥青稳定碎石模量的提高,加铺层竖向压应变和水平方向应变明显降低^[8];颜祥程等分析了机场水泥混凝土双层道面在不同接触条件时的弯沉与荷载应力情况,表明层间结合程度不良会导致加铺层弯沉值及板底应力增大^[9]。目前综合考虑荷载应力和温度应力对机场水泥混凝土道面加铺层厚度影响的研究很少,还不确定各计算参数对加铺层厚度的影响规律。为此,本文采用《军用机场水泥混凝土道面设计规范》(GJB 1278A—2009)中的荷载应力和温度应力计算公式,编写 Matlab 程序,对不同机场水泥混凝土双层道面结构参数条件下的加铺层厚度进行分析,以指导施工。

1 直接式加铺层应力计算公式

1.1 荷载应力计算公式

与直接式双层道面抗弯刚度相等的当量单层道面的厚度 h_p 可按下式计算为

$$h_p = \gamma_p h_2 \quad (1)$$

$$\gamma_p^3 = 1 + \alpha\beta^3 + \frac{3\alpha\beta(1+\beta)^2 K}{1+\alpha\beta} \quad (2)$$

式中: $\alpha = E_1/E_2$, E_1 、 E_2 分别为下、上道面板混凝土弯拉弹性模量(MPa); $\beta = h_1/h_2$, h_1 、 h_2 分别为下、上道面板的厚度(m); K 为结合系数。

对直接式双层道面在荷载作用下的应力按式(3)和式(4)计算为

$$\sigma_{p1} = \frac{\alpha\beta^2 [K + (1+K)\beta + \alpha\beta^2] 6M_k}{(1+\alpha\beta)\gamma_p^3 h_1^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{p2} = \frac{1 + (1-K-K\beta)\alpha\beta^6 M_k}{(1+\alpha\beta)\gamma_p^3 h_2^2} \quad (4)$$

式中: σ_{p1} 、 σ_{p2} 分别为下、上道面板底的弯拉应力(MPa); M_k 为双层道面板中的控制总弯矩(N·m)。

则直接式双层道面板的荷载疲劳应力为

$$\sigma_{pr1} = k_f \sigma_{p1}, \quad \sigma_{pr2} = k_f \sigma_{p2} \quad (5)$$

式中: σ_{pr1} 、 σ_{pr2} 分别为下、上道面板的荷载疲劳应力(MPa); k_f 为疲劳应力系数。

1.2 温度疲劳应力计算

当直接式双层水泥混凝土道面板以下层板控制进行加铺层厚度设计时,按结合式双层水泥混凝土道面板计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr1} = k_{tq1} \sigma_{tqm1} \quad (6)$$

式中: σ_{tr1} 为下层板的温度疲劳应力(MPa); k_{tq1} 为下层板的温度疲劳应力系数; σ_{tqm1} 为结合式双层水泥混凝土道面下层板的最大温度翘曲应力(MPa)。

当直接式双层水泥混凝土道面板以上、下层板控制进行加铺层设计时,按隔离式双层水泥混凝土道面板计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr2} = k_{tq2} \sigma_{tqm2} \quad (7)$$

式中: σ_{tr2} 为上层板的温度疲劳应力(MPa); k_{tq2} 为上层板的温度疲劳应力系数; σ_{tqm2} 为隔离式双层水泥混凝土道面上层板的最大温度翘曲应力(MPa)。

1.3 强度校核

水泥混凝土道面结构设计以设计飞机和温度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态,即荷载疲劳应力与温度疲劳应力之和与可靠度系数的乘积小于水泥混凝土弯拉强度的标准值,其表达式为

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tqr}) < f_r \quad (8)$$

式中: γ_r 为可靠度系数; σ_{pr} 为设计飞机的荷载疲劳应力(MPa); σ_{tqr} 为温度翘曲疲劳应力(MPa); f_r 为水泥混凝土弯拉强度标准值(MPa)。

二级机场的安全等级为一级,相应于一级安全等级的变异水平等级为低级,目标可靠度为 95%,可靠度系数 $\gamma_r = 1.20$ 。

2 双层道面结构参数对加铺层厚度的敏感性分析

2.1 计算条件

为研究机场水泥混凝土道面加铺层各计算参数的取值对加铺层厚度的影响,选用设计飞机为 Su27,飞机重复作用次数为 150 000 次,温度梯度 $T_g = 95^\circ\text{C}/\text{m}$,水泥混凝土线膨胀系数 $\alpha = 1 \times$

$10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,如无特殊说明,机场水泥混凝土道面加铺层结构各计算参数取值见表 1^[10-11]。

表 1 加铺层道面结构计算参数

Tab. 1 Calculation parameters of pavement overlay

旧水泥混凝土道面			加铺层水泥混凝土道面				基层顶面回弹	接缝传荷
弯拉强度 R_{w1}/MPa	弹性模量 E_1/MPa	厚度 h_1/MPa	弯拉强度 R_{w2}/MPa	弹性模量 E_2/MPa	道面长/m	道面宽/m	模量 E_1/MPa	系数 T_w
5.0	35 000	0.16	5.0	36 000	5	5	200	0.65

2.2 新、旧道面结合系数对加铺层厚度的影响

根据《军用机场水泥混凝土道面设计规范》,计算 E_2 变化时, h_2 随 K 的变化规律如图 1 所示。从图 1 可以看出,对不同的 E_2 ,增大 K 可以减少 h_2 ,特别是 K 由 0 增加到 0.2 时, h_2 减少明显,减少幅度达 17.98%~47.54%。不同 E_2 变化时,在 $K=0.2\sim1.0$ 之间 h_2 变化规律相同,而在 $K=0\sim0.2$ 之间, h_2 随 E_2 的增大而增加,变为随 E_2 的增大而减少。这是因为随着 K 的增大,表明新、旧道面板共同作用的程度增大,上、下板相互之间的影响增大。 E_2 的增大,导致双层道面的中性轴向上移动,使得下层道面板的应力增加,旧道面承担的作用增大,有利于充分利用旧道面的强度,结果使得 h_2 减少^[12-13]。

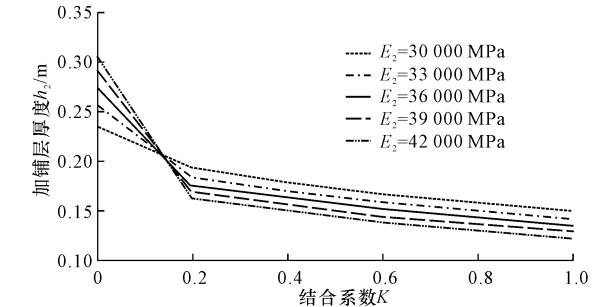


图 1 E_2 不同时 h_2 随 K 的变化

Fig. 1 Curve of h_2 and K under different E_2

E_1 变化时, h_2 随 K 的变化规律如图 2 所示。从图 2 可以看出,增大 K 可以减少 h_2 ,并且变化规律是相同的。当由分离式双层道面到结合式双层道面,即 $K=0$ 增大到 $K=1$ 时, h_2 减少 49.36%~51.41%,而 $K=0$ 增大到 $K=0.2$ 时, h_2 减少 35.88%~36.33%,说明初始结合系数的提高对减少 h_2 影响最大。

h_1 变化时, h_2 随 K 的变化规律如图 3 所示。从图 3 可以看出, h_2 随 K 的增大而减少,且随着 h_1 的增大, h_2 减少的幅度逐渐增加。当 $h_1=0.14\text{ m}$, K 由 0 增大到 1 时, h_2 减少了 43.95%,而当 $h_1=0.22\text{ m}$, K 由 0 增大到 1 时, h_2 减少了 65.07%。说明 h_1 越厚,随着 K 的增加,对 h_2 的影响越大。这是因为 h_1 越大,其对应的刚度越大,在双层道面中承担的应力也越大。随着 K 的增加,加铺层的拉应力逐渐减

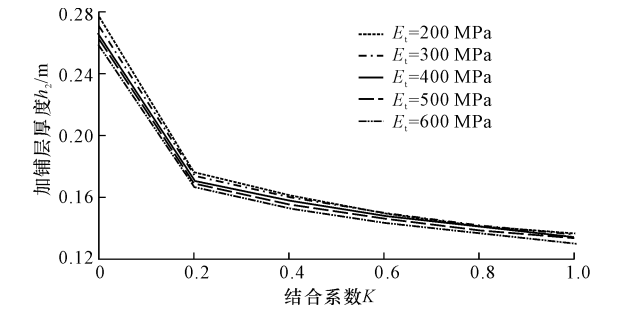


图 2 E_1 不同时 h_2 随 K 的变化

Fig. 2 Curve of h_2 and K under different E_1

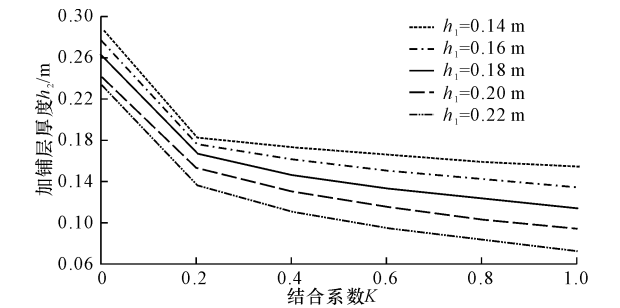


图 3 h_1 不同时 h_2 随 K 的变化

Fig. 3 Curve of h_2 and K under different h_1

小,旧道面的拉应力逐渐成为控制双层道面结构设计的计算点,可以有效减少 h_2 的厚度。

2.3 加铺层道面板尺寸对加铺层厚度的影响

K 变化时, h_2 随道面板尺寸的变化规律如下页图 4 所示。从图 4 可以看出, h_2 随道面板尺寸的减小而减少。 K 不同时, h_2 的减少幅度见下页表 2。由表 2 可知,道面板尺寸由 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 减小到 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 时, h_2 减少幅度小于道面板尺寸由 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 减小到 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 时 h_2 的减少幅度。 h_2 的减少幅度随 K 的增大而增大,因此,减小道面板的尺寸可以有效降低 h_2 。从减小 h_2 的角度来看,可以采用 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 以下的道面板尺寸并且适当增加 K 。

2.4 加铺层混凝土强度对加铺层厚度的影响

K 变化时, h_2 随 R_{w2} 的变化规律如下页图 5 所示。从图 5 可以看出,随着 R_{w2} 的增加, h_2 基本呈线性下降。当 $K=0$ 时, R_{w2} 的增加对 h_2 的影响明显,这是因为隔离式双层道面上、下板的应力都应作为控制应力^[4]。当隔离式双层道面的控制应力由上层

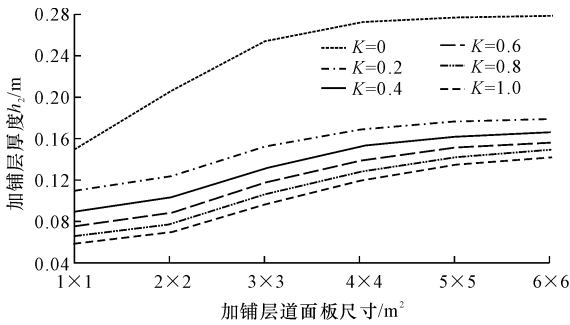


图 4 K 不同时 h_2 随道面板尺寸的变化

Fig. 4 Curve of h_2 and pavement size under different K

表 2 道面板尺寸变化时 h_2 减少幅度值

Tab. 2 Reduction percent of h_2 with pavement size

K	道面板尺寸变化/%		
	6 m×6 m 减 到 3 m×3 m	3 m×3 m 减 到 1 m×1 m	6 m×6 m 减 到 1 m×1 m
0	9.1	41.1	46.4
0.2	14.9	28.5	39.2
0.4	20.7	33.0	46.8
0.6	11.4	36.0	52.3
0.8	29.5	38.2	56.4
1.0	32.8	39.8	59.5

板决定时,其强度的增加对 h_2 直接产生影响;控制应力由下层板决定时,增加 R_{w2} 对隔离式双层道面加铺层厚度没有影响。隔离式加铺层道面的厚度比部分结合式加铺层道面的厚度要小,说明双层道面上、下板的应力都处于临界状态,道面结构的能力得到充分的发挥,使得道面加铺层的厚度反而减小。当 K 分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 时,表明上、下道面板开始向结合式转变, K 越大表明结合程度越高。双层道面的控制应力由上、下板控制向下板控制转移, R_{w2} 的增加只是增大上层板的刚度,间接影响了上、下层板的应力分布,因此 R_{w2} 的增加对 h_2 影响是很小的,且 K 越大,表明结合程度越好,则 R_{w2} 的影响也越小。

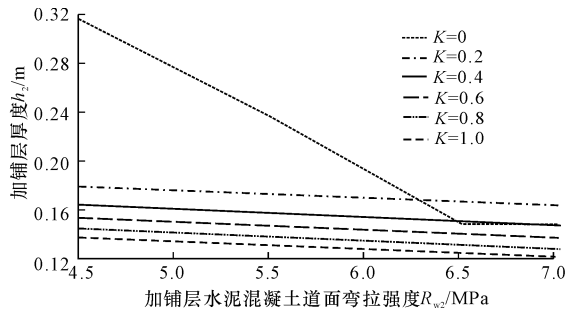


图 5 K 不同时 h_2 随 R_{w2} 的变化

Fig. 5 Curve of h_2 and R_{w2} under different K

2.5 旧道面混凝土强度对加铺层厚度的影响

K 变化时, h_2 随 R_{w1} 的变化规律如图 6 所示。从图 6 可以看出, R_{w1} 的增大对隔离式 ($K=0$) 双层道面没有影响,这是因为在该双层道面的计算参数时,双层道面的控制应力在上层板,下层板的强度变化则不会产生影响^[4]。当 K 增大时,双层道面的结合程度逐渐增大,控制应力由上层板向下层板转移,下层板成为控制应力,增大下层板的强度可以直接减少 h_2 ,且 h_2 随 R_{w1} 的增大而呈线性减少。

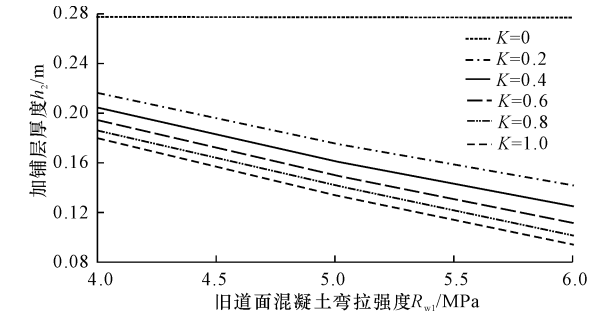


图 6 K 不同时 h_2 随 R_{w1} 的变化

Fig. 6 Curve of h_2 and R_{w1} under different K

3 结 语

- (1)新、旧水泥混凝土道面间的结合系数对加铺层厚度有明显的影响,特别是结合系数由 0 增加到 0.2 时,加铺层厚度减少 17.98%~47.54%。
- (2)加铺层厚度随加铺层道面板尺寸的增大而变厚,道面板尺寸由 3 m×3 m 减小到 1 m×1 m 时,加铺层厚度减少幅度达 28.5%~41.1%。
- (3)增加加铺层水泥混凝土强度可以明显降低隔离式双层道面加铺层的厚度,但对结合式双层道面加铺层厚度的影响很小;相反,增加旧道面水泥混凝土强度可以明显减少结合式双层道面加铺层的厚度,但对隔离式双层道面加铺层的厚度影响很小。

参考文献:

References:

[1] 翁兴中,冷培义,赵文良. 机场水泥混凝土结合式双层道面粘结剂测试[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2000,1(3):7-9.
WENG Xing-zhong, LENG Pei-yi, ZHAO Wen-liang. Test of bond on airfield cement concrete two-double combining pavement[J]. Journal of Air Force Engi-

- neering University: Natural Science Edition, 2000, 1 (3): 7-9. (in Chinese)
- [2] 杨永祥, 杨艳红. 粘弹性地基上加铺层系统的动态设计[J]. 西北工业大学学报, 2009, 27(1): 132-136.
YANG Yong-xiang, YANG Yan-hong. Improving design of overlay on viscoelastic Kelvin foundation[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2009, 27(1): 132-136. (in Chinese)
- [3] 翁兴中, 蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
WENG Xing-zhong, CAI Liang-cai. Airport pavement design [M]. Beijing: China Communications Press, 2007. (in Chinese)
- [4] GJB 1278A—2009, 军用机场水泥混凝土道面设计规范[S].
GJB 1278A—2009, Specifications of design cement concrete pavement for military airfield[S]. (in Chinese)
- [5] Mariana R, Kruntchev A, Andrew C, et al. Effect of bond condition on flexible pavement performance[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 130 (11): 880-888.
- [6] 谈至明, 周玉民, 刘少文, 等. 不等尺寸双层混凝土路面结构力学模型研究[J]. 工程力学, 2010, 27(3): 132-137.
TAN Zhi-ming, ZHOU Yu-min, LIU Shao-wen, et al. Mechanistic model of double-layered concrete pavement structures with unequal planar dimensions[J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(3): 132-137. (in Chinese)
- [7] 曾 胜, 何宇航. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构力学分析[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28 (2): 18-25.
ZENG Sheng, HE Yu-hang. Structure stress of asphalt overlay on old cement concrete pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(2): 18-25. (in Chinese)
- [8] 葛折圣, 张卫军. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层的力学分析[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(6): 23-26.
GE Zhe-sheng, ZHANG Wei-jun. Mechanic property of asphalt concrete overlay on old cement concrete pavement [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(6): 23-26. (in Chinese)
- [9] 颜祥程, 翁兴中, 冷冰林, 等. 机场水泥混凝土双层道面层间接触对加铺层性能的影响[J]. 公路, 2011(5): 26-29.
YAN Xiang-cheng, WENG Xing-zhong, LENG Bing-lin, et al. Influence of pavement overlay performance on bond condition between airport double-layer cement concrete pavement [J]. Highway, 2011(5): 26-29. (in Chinese)
- [10] 郑 飞, 翁兴中. 飞机荷载下水泥混凝土道面板应力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(4): 8-15.
ZHENG Fei, WENG Xing-zhong. Calculating methods of stress for cement concrete pavement slab under plane loads [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(4): 8-15. (in Chinese)
- [11] 凌建明, 刘 文, 赵鸿铎. 大型军用飞机多轮荷载作用下水泥混凝土道面的结构响应[J]. 土木工程学报, 2007, 40(4): 60-65.
LING Jian-ming, LIU Wen, ZHAO Hong-duo. Mechanical responses of rigid airport pavement to multiple-gear military aircraft loadings [J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(4): 60-65. (in Chinese)
- [12] 戴学臻. 基于等强度原理的双层水泥混凝土路面设计[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(2): 185-187.
DAI Xue-zhen. Two-layer cement concrete pavement design based on equal strength theory[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2010, 29(2): 185-187. (in Chinese)
- [13] 罗作芬, 郑传超, 史泽恒. 部分结合式双层梁层间结合系数的求解[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30 (1): 30-34.
LUO Zuo-fen, ZHENG Chuan-chao, SHI Ze-heng. Approach of interfacial bond factor of semi-contacted bi-layer asphalt mixture beam[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(1): 30-34. (in Chinese)