

基于起落架构型的沥青道面交通量换算

翁兴中, 蔡良才, 林银飞
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:为了解决沥青道面混合交通的计算问题,提出了用荷载圆半径、胎压、轮径比和轴径比表示单轮、双轮和双轴双轮起落架荷载的特性。应用概率统计理论,统计分析现有飞机起落架的轮径比和轴径比的特性,双轮起落架的轮距特性可用轮径比3.32表示,用轴径比6.791,轮径比4.0和5.0为界将双轴双轮起落架分为3类。运用疲劳等效原理,以底基层的拉应力和相应的疲劳方程作为换算标准,选取7种典型结构,计算不同胎压和半径的同型和异型起落架荷载作用下底基层的最大拉应力,得到各型起落架的换算系数,建立了设计飞机与其它飞机间的交通量换算关系,满足了交通量换算中按不同飞机作为设计飞机时,进行道面结构设计所得的厚度是相同的原则。

关键词:机场工程;沥青道面;拉应力;起落架;交通量

中图分类号: U416.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)05-0006-05

目前,国内外在进行机场沥青混凝土道面设计时,飞机混合交通量计算采用两种途径。一是采用设计飞机,将其它飞机的交通量按照等效原则换算成设计飞机的交通量,然后按设计飞机进行沥青混凝土道面的设计^[1-2];二是基于 Minner 原理考虑沥青道面的累积疲劳损伤进行沥青道面结构设计^[3-5]。民用机场沥青道面的交通量换算是以当量单轮荷载为基础建立起来的^[2]。在 Monismith 等^[6]提出了通用的铺面设计方法的基础上,提出了基于铺面空间结构响应的道面设计方法,研究新一代大型飞机荷载重复作用次数的计算方法^[7]。建立以设计飞机为基础的交通换算,可以便于设计方法的建立,有利于简化设计过程,降低对混合交通预测的要求。

1 起落架构型

飞机换算的等效因素随极限状态标准、道面结构组合和材料性质以及起落架构型(包括荷载大小、轮数、轴数、轮距、轴距、胎压和轮迹半径)的不同而变化。为了建立交通量换算关系需要对有关参数进行统计分析,对影响换算关系最重要的起落架构型做出合理的简化。

1.1 单轮起落架

单轮起落架的荷载特征可用胎压 q 和当量圆半径 r 表示。不同的 q 和 r 的组合反映了单轮起落架的荷载特性。

1.2 双轮起落架

双轮起落架除了当量荷载圆半径 r 和胎压 q 外,双轮之间的轮距 R_1 对双轮起落架荷载特征有直接影响。为了表征双轮轮距 R_1 对双轮起落架荷载特征的影响,定义轮距 R_1 与荷载圆半径 r 比值为轮径比 l_r 。对现有双轮起落架的轮距与轮径比进行统计分析。双轮起落架的平均轮径比为 3.32,标准差为 0.405,变异系数为 12.2%。用轮径比 l_r 为 3.32 代表双轮起落架。

收稿日期:2008-04-02

基金项目:军用标准化研究项目(CJBJ-0503)

作者简介:翁兴中(1962-),男,浙江金华人,教授,博士生,主要从事机场道面工程研究;E-mail:WXZ2626@sina.com
蔡良才(1960-),男,浙江宁波人,教授,博士生导师,主要从事机场规划研究。

1.3 双轴双轮起落架

双轴双轮起落架除了当量荷载圆半径 r 、胎压 q 和轮径比 l_r 外,双轴的距离 R_2 对双轴双轮起落架荷载特征有直接影响。为了表征双轴双轮轴距的影响,定义双轴双轮起落架的轴距 R_2 与荷载圆半径 r 的比值 R_2/r 为轴距比 z_r 。对国内外 34 种双轴双轮起落架的轮径比和轴距比进行统计。双轴双轮起落架的平均轴距比为 6.791,标准差为 0.361 和变异系数为 5.3%。用轴距比 z_r 为 6.791 代表所有的双轴双轮起落架。

双轴双轮起落架轮径比的标准差 S 和变异系数 C_v 比较分散,以轮径比 l_r 为 4.0 和 5.0 为界划分为 3 类。对各类轮径比 l_r 进行统计,见表 1。

表 1 双轴双轮起落架的轮径比统计结果

Tab. 1 Statistics results on wheel tread and radius ratio of dual - dual - tandem gear

类型	轮径比 l_r	样本数 n	平均轮径比	标准差 S	变异系数 C_v
I	$l_r < 4.0$	14	3.40	0.345	10.1%
II	$4.0 \leq l_r \leq 5.0$	13	4.417	0.245	5.56%
II	$l_r > 5.0$	7	5.58	0.270	4.83%

2 换算标准

2.1 等效标准

我国军用机场沥青混凝土道面结构的设计指标可由面层、基层、底基层的拉应力和面层的剪应力组成^[8],飞机混合交通量的换算应以这些指标为标准建立换算公式。面层的剪应力设计指标主要是对道面表层的要求,对其它结构层次和厚度的影响很小。如果按照面层剪应力进行飞机交通量的换算,所换算得到的交通量就无法确定沥青道面的结构层次和厚度。因此,飞机的交通量换算不应以面层产生的剪应力作为标准进行换算,应以面层、基层、底基层的拉应力标准进行换算。半刚性基层上的沥青道面,在层间接触为连续的情况下,沥青面层底面的应力处于受压状态;在层间接触为滑动的情况下,沥青面层底面的应力虽有可能处于受拉状态,但沥青面层的疲劳寿命仍大于半刚性基层。因而,沥青面层底面拉应力验算指标在设计中不会起控制作用。对于半刚性基层沥青道面结构厚度起控制作用的是半刚性基层和底基层底面的拉应力指标^[9]。

由于军用机场沥青道面结构设计以半刚性基层和底基层底部的拉应力为主要设计指标,因此飞机换算应以半刚性基层和底基层底部的拉应力为标准,即应遵循拉应力疲劳等效原则。以基层拉应力为准进行换算,对于同一结构,具有相同胎压和荷载圆半径的双轮和双轴双轮荷载,双轴双轮荷载在基层底部产生的拉应力比双轮荷载要小。而从底基层拉应力来看,相同条件下双轴双轮荷载对道面的损害比双轮荷载大,这当然是与实际情况相符的。因此飞机换算以底基层底部的拉应力为准则进行换算。这说明随着飞机荷载的增大,对道面的作用深度加深,机轮之间相互影响在道面结构一定的深度上得到迭加。面层厚度随飞机荷载大小而变化,其变化较小,固定在一定的范围内,基层的厚度也是控制在一定范围。但飞机的重量在几吨至数百吨之间变化,对道面作用深度影响范围的变化是相当大的。若以面层、基层底部的拉应力进行换算,就有可能无法反映大重量、多机轮飞机对沥青道面的作用。因此,选用底基层底部拉应力作为交通量换算指标,能反映目前我国飞机特点,能较好地协调小重量飞机和大重量飞机之间的关系。

2.2 半刚性结构层抗拉强度系数

根据文献[10]的研究,水泥稳定砂砾、二灰稳定砂砾按劈裂疲劳试验获得的疲劳寿命与应力比之间存在良好的双对数关系。

稳定粒料类:

$$\lg N_f = 1.815 - 15.191 \lg \left(\frac{\sigma}{R_p} \right) \tag{1}$$

稳定土类:

$$\lg N_f = 1.546 - 12.61 \lg \left(\frac{\sigma}{R_p} \right) \tag{2}$$

式中: N_f 为疲劳作用次数; σ 为疲劳应力, MPa; R_p 为劈裂强度, MPa。

半刚性结构层的抗拉结构系数 K_s 与重复作用次数 N_f 之间存在下列关系^[10]。

$$K_s = BN_f^C \quad (3)$$

式中: B 、 C 为待定系数。

由于军用机场沥青道面设计是以半刚性结构层的拉应力为主要指标进行的设计, 考虑到裂缝扩展过程、荷载横向分布以及室内试验和现场工作状态的差异, 规定三级和四级机场在最低交通量时的 K_s 分别为 1.7 和 1.87(1.1 × 1.7), 将其代入式(3), 解得 $B = 0.151$, $C = 0.235$ 。

稳定土与稳定粒料类的疲劳强度有较大差异, 各级机场按累计重复作用 100 000 次和年最低重复作用 3 700 次, 用式(1)、(2)分别计算得到的 K_{s1} 和 K_{s2} 。为统一结构的安全保证率, 取 K_{s2}/K_{s1} 的均值 1.150 进行 B 值修正, 得稳定土类: $B = 0.174$, $C = 0.235$ 。

引入机场等级系数 K_1 后, 不同等级机场半刚性结构层的抗拉强度系数就可按下式计算:

稳定粒料类:

$$K_s = 0.126K_1N_f^{0.235} \quad (4a)$$

稳定土类:

$$K_s = 0.145K_1N_f^{0.235} \quad (4b)$$

式中: K_1 为机场等级系数, 一级机场为 1.0, 二级机场为 1.1, 三级和四级机场为 1.2。

3 交通量换算

3.1 设计飞机

由于军用机场所保障的飞机在重量上差别很大, 因此, 在设计飞机的选取上, 应以所保障的飞机对道面要求最高作为设计飞机。设计飞机的选取原则是: 在预计使用的飞机中, 以机场遂行保障任务的机型中要求最高的飞机作为设计飞机。

3.2 运行次数与重复作用次数

飞机的运行次数是指飞机按最大起飞质量在道面上使用的次数。飞机的着陆质量因受飞机结构的限制, 有最大着陆质量限制。为了便于重复作用次数的计算, 假定飞机在通行宽度范围内的分布是均匀的, 飞机每运行一次, 在通行宽度范围内作用的范围为机轮面积的宽度。当飞机的运行次数达到机轮面积的宽度覆盖了通行宽度时, 就相当于飞机在道面上作用一次。所以, 可以建立起重复作用次数与运行次数的关系。

$$N_{fi} = \frac{N_y \eta N W_i}{T} \quad (5)$$

式中: N_{fi} 、 N_y 分别为飞机的重复作用次数和运行次数; η 为飞机在通行宽度内通行的百分率; N 为飞机一个主起落架的机轮数; W_i 为一个机轮的宽度(m); T 为通行宽度(m)。

设起飞质量对道面所产生的应力 σ_1 相对应的疲劳强度的作用次数为 N_{f1} ; 着陆质量对道面所产生的应力 σ_2 相对应的疲劳强度的作用次数为 N_{f2} 。按照疲劳等效原理, 可以将着陆次数为 n_2 等效为起飞次数 n_1 , 其等效关系如式(6)。

$$n_1 = n_2 \frac{N_{f1}}{N_{f2}} \quad (6)$$

3.3 换算公式

对于不同起落架的应力比关系式, 可以用式(7)的形式^[11]。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \alpha \frac{q_1}{q_2} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^a \quad (7)$$

式中: σ_1 、 q_1 、 r_1 和 σ_2 、 q_2 、 r_2 分别为双轮起落架荷载的拉应力(MPa)、胎压(MPa)、荷载圆半径(m)和单轮或双轴双轮起落架荷载的拉应力(MPa)、胎压(MPa)、荷载圆半径(m); α 为拉应力比修正系数; a 为待求系数。

由式(4)和式(7), 可推导出各类飞机的作用次数换算形式, 即

$$\frac{N_{fat}}{N_{fi}} = \left[\alpha \frac{q_s}{q_i} \left(\frac{r_s}{r_i} \right)^a \right]^{-\frac{1}{0.235}} \quad (8)$$

式中: N_{fdi} 、 N_{fi} 分别为换算成设计飞机的年当量重复作用次数和被换算飞机的年重复作用次数; q_s 、 r_s 和 q_i 、 r_i 分别为设计飞机的主轮胎压 (MPa)、荷载圆半径 (m) 和被换算飞机的主轮胎压 (MPa) 和荷载圆半径 (m)。

式 (8) 即是各类飞机作用次数换算的基本公式。为确定不同荷载作用下, 拉应力比公式中的待定系数 a 值, 在选取 7 种典型道面结构上作用不同胎压和半径组合的同型起落架的荷载, 分别计算出底基层的最大拉应力, 并把它作为换算应力值。再以不同胎压和半径组合的同型起落架作为设计飞机荷载, 将其它的机轮荷载看作被换算荷载。此时, 由于起落架是同型的, 则有 $\alpha = 1.0$, 则可得 a 值。再以不同胎压和荷载圆半径的不同起落架的荷载为被换算荷载, 分别计算这两种荷载在同一道面结构中产生的拉应力, 然后将其代入式 (8) 中, 求得不同情况下的 α 值。各型起落架的换算系数 α 、 a 如表 2 所示。

3.4 设计飞机的当量重复作用次数

将设计飞机的年重复作用次数 N_s 和各种换算飞机的年当量重复作用次数 N_{fdi} 累加, 求得设计飞机的年当量重复作用次数 N_j 。

$$N_j = N_s + \sum N_{fdi} \quad (9)$$

按设计年限 t 计算设计飞机在设计年限内的当量重复作用次数 N_{dc} 。

$$N_{dc} = N_j t \quad (10)$$

为验证交通量换算方法的正确性, 分别以 H-6 和 MD-82 为设计飞机进行沥青道面结构设计, 将下基层作为设计层次^[12], 以 XX 型为设计飞机, 下基层设计厚度为 0.34 m; 以 MD-82 为设计飞机, 下基层设计厚度为 0.33 m, 相对误差仅 3.03%。说明本文所建立的交通量换算是正确的。

4 结束语

本文所建立的交通量换算关系只与飞机主起落架构型有关, 避免了按当量单轮荷载进行交通量换算时, 不仅与飞机主起落架构型有关, 而且与沥青道面结构层次有关所带来的计算上的麻烦。这种换算关系简便可行, 适应了我国军用飞机的特点。

参考文献:

- [1] Noman Ashford, Paul Wright H. Airport Engineering (Third Edition) [M]. New York: Wiley - Interscience Publication, 1992.
- [2] MH 5010 - 1999. 民用机场沥青混凝土道面设计规范[S].
MH 5010 - 1999. Specifications for Asphalt Concrete Pavement Design of Civil Airport [S]. (in Chinese)
- [3] Carlos Gonzalez R, Walter Barker R. Implementation of a New Flexible Pavement Design Procedure for US Military Airports: Fourth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2006), Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research and Practice. Puerto Rico Mayaguez, 21 - 23 June 2006 [C]. Mayaguez: LACCEI'2006, 2006.
- [4] MINCAD Systems Pty Ltd. APSDS 4 User Manual Airport Pavement Structural Design System [M]. Australia: MINCAO Systems Pty Ltd, 2000.
- [5] UFC 3 - 260 - 02. 2001. Pavement Design for Airfields [S].
- [6] Monismith C L, Finn F N, Ahlborn G, et al. A General Analytically Based Approach to Design of Asphalt Concrete Pavements: Proceeding, 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement, University of Michigan and Delft University, 1987 [C]. [S. I]: University of Michigan and Delft University, 1987.
- [7] 赵鸿铎. 适应大型飞机的沥青道面交通荷载分析方法及参数的研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.

- ZHAO Hongduo. New Generation Large Aircraft Oriented Load Analysis Method and Parameters for Asphalt Pavement Design [D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese)
- [8] 孙建斌, 翁兴中. 军用机场沥青混凝土道面结构设计指标确定[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2005, 6(1): 8 - 10.
- SUN Jianbin, WENG Xingzhong. Research on Structure Design Criteria of Asphalt Concrete Pavement for Airport Applied to Military [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2005, 6(1): 8 - 10. (in Chinese)
- [9] 姚祖康. 对我国沥青路面现行设计指标的评述[J]. 公路, 2003, (2), 42 - 49.
- YAO Zukang. A Review on Design Criteria of Asphalt Pavements [J]. Highway, 2003, (2): 42 - 49. (in Chinese)
- [10] 翁兴中, 孙建斌, 杨传喜. 军用机场沥青混凝土道面设计方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 29 - 35.
- WENG Xingzhong, SUN Jianbin, YANG Chuanxi. Design Method of Asphalt Concrete Pavement for Military Airfield [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2): 29 - 35. (in Chinese)
- [11] 翁兴中, 孙建斌. 军用机场沥青混凝土道面交通量换算[J]. 公路, 2003, (6): 82 - 85.
- WENG Xingzhong, SUN Jianbin. Conversion of Traffic Discharge on Asphalt Concrete Pavement for Military Airport [J]. Highway, 2003, (6): 82 - 85. (in Chinese)
- [12] 翁兴中, 杜 俭, 曹三桂. 军用机场沥青混凝土道面典型结构[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(1): 14 - 17.
- WENG Xingzhong, DU Jian, CAO Sangui. Standardized Structure for Asphalt Pavement of Military Airport [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(1): 14 - 17. (in Chinese)

(编辑: 姚树峰)

Traffic Discharge Conversion on Asphalt Pavement Based on Main Landing Gear

WENG Xing - zhong, CAI Liang - cai, LIN Yin - fei

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: This paper mainly studies the traffic discharge conversion on asphalt pavement and presents that the property of main landing gear can be known by the load circle radius, tire pressure, wheel - tread and radius ratio, distance between tandem and radius ratio. Characteristics of wheel - tread and radius ratio, distance between tandem and radius ratio on current airplane are analyzed based on probability theory. Wheel - tread and radius ratio of typical dual wheel gear is 3.32, the dual tandem dual wheel gear is classified into three models by distance between tandem and radius ratio 6.791 and the wheel - tread and radius ratios 4.0 and 5.0. By applying the fatigue principle and the conversion standard of tensile stress of the bottom of sub - base and the fatigue equation as the conversion standards, selecting 7 kinds of typical construction to calculate the greatest tensile stress of the bottom of sub - base for the iso - type gear and hetero - type gear of different the load circle radius and tire pressure, the conversion coefficient of the gear is obtained and the traffic discharge conversion relation between the design airplane and other airplanes is established. The traffic discharge conversion satisfies the principle that the asphalt pavements designed according to the different design airplanes are equal in thicknesses.

Key words: airport engineering; asphalt pavement; tensile stress; landing gear; traffic discharge