

机场跑道宽度可靠性设计方法研究

岑国平¹, 陆松¹, 洪刚¹, 林可心², 徐峰¹

1. 空军工程大学机场建筑工程系, 西安 710038

2. 广州军区空军后勤部机营处, 广州 510075

摘要 为适应现代航空器的发展,更加合理地设计机场跑道平面尺寸,对跑道宽度设计问题进行系统研究。依据飞机着陆过程侧向偏移量的计算公式,将可靠性理论引入到跑道宽度的设计中,弥补了以往仅依靠飞行要求和经验来确定跑道宽度的不足。对某地多年气象资料统计分析和飞机着陆轮迹横向分布规律实测分析,结果表明:跑道侧风去除部分静风后服从极值I分布,着陆轮迹服从正态分布。基于蒙特卡洛法,通过matlab软件分别计算不同失效概率所需的跑道宽度,并对现有跑道宽度进行了可靠性评价。计算结果表明,跑道宽度对空气相对密度变化不敏感,现有跑道宽度的理论失效概率与实际失效概率比较接近,具有较大实际意义。

关键词 机场跑道宽度;蒙特卡洛法;飞机着陆轮迹

中图分类号 V351.11

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.22.007

Research on Reliability Design Method of Airport Runway Width

CEN Guoping¹, LU Song¹, HONG Gang¹, LIN Kexin², XU Feng¹

1. Department of Airport Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China

2. The Airport Department of Guangzhou Military Air Force Logistics, Guangzhou 510075, China

Abstract In order to adapt to the development of modern aircraft and design the dimension of airport runway more reasonably, the problem of airport runway width is studied systematically. A computing method of the plane's basic demand for the airport runway width is elaborated. The theory of reliability is drawn into the design of runway width, which makes up for the deficiency of just relying on the flying requirement and experience to design the width. Based on the statistical analysis of meteorological data and transverse distribution of aircraft landing marks of a airport, the crosswind without a part of 0 wind is subject to the extreme I type distribution and landing marks are subject to normal distribution. According to the Monte Carlo method, the runway width is calculated under different failure probabilities by Matlab, followed by the reliability evaluation of the present runway width. The result shows that the runway width isn't sensitive to the change of air density and the theoretic failure probability is close to the actual failure probability, which is practically significant.

Keywords airport runway width; Monte Carlo method; aircraft landing marks

机场跑道平面尺寸的设计是机场规划设计中很重要的一方面,其设计是否合理,不仅直接关系到飞机的正常运行,而且关系到土地资源的使用和当地经济的长远发展。尤其是对于野战机场和快速铺筑机场,直接影响到机场的修建时间,从而影响战略时机。

机场跑道平面尺寸的设计主要包括长度和宽度设计。跑道长度设计方面已经有了比较充分而详细的理论^[1]。跑道宽度设计方面的研究比较少,邵斌等^[2]分析了飞机对跑道及

其道肩的要求,但并未提出系统的理论方法;李光元等^[3]分析了飞机在双面横坡跑道的侧向偏移,推导了侧向偏移量计算公式,但是并没有考虑影响因素的随机性,与实际情况有较大的差距。现行规范也是主要依据飞行经验和基本使用要求来确定跑道宽度,这种设计方法比较保守。国际民用航空组织(international civil aviation organization, ICAO)跑道宽度设计^[4]和美国联邦航空局(federal aviation administration, FAA)跑道宽度设计^[5,6]也没有相关可借鉴的成熟理论。

收稿日期:2014-03-14;修回日期:2014-06-26

作者简介:岑国平,教授,研究方向为机场规划设计及机场排水防洪设计,电子信箱:cenguoping@163.com;陆松(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为机场规划设计,电子信箱:lusong647@163.com

引用格式:岑国平,陆松,洪刚,等. 机场跑道宽度可靠性设计方法研究[J]. 科技导报, 2014, 32(22): 47-51.

跑道宽度减小,能少占耕地,减少混凝土用量,降低工程造价,具有良好的社会效益,因此,建立一个系统的理论方法来设计最佳的跑道宽度具有十分重要的意义。本文将文献[7]提出的可靠性理论引入跑道宽度的设计中,考虑设计参数的随机性,将其视作随机变量。影响飞机侧移的主要因素有飞机的着陆轮迹、侧风、空气相对密度和飞机初始侧滑角等,通过统计分析,得到其概率分布。基于蒙特卡洛方法,通过matlab软件分别计算不同失效概率下所需的跑道宽度。

1 飞机滑行侧移偏移量

飞机在起飞滑跑过程中正对准跑道中线,一般情况下,飞机的侧向滑移比较小;在着陆滑跑过程中,影响因素比较多,很难准确对准跑道中线,一般情况下,飞机在着陆滑跑时的侧向偏移比起飞滑跑时大^[8],因此,取着陆滑跑作为计算状态。

1.1 飞机着陆过程分析

将飞机的着陆过程分为3段。1) 飞机后轮接地后,由于速度大,方向舵有效,因而能利用方向舵来保持飞机的直线运动;2) 飞机在道面上两点滑跑,速度逐渐减小,方向舵保持飞机直线运动的效果不明显;3) 前轮已经接地,飞行员可以对两主轮进行不同的刹车来保持运动的方向。因此,在飞机着陆过程的第二段,即飞机前轮接地前飞机最有可能产生侧向滑移。

1.2 侧移偏移量公式建立

研究飞机在地面的稳定性时,通常采用机体坐标系。依据对飞机地面着陆滑跑过程分析,文献[3]、[8]给出飞机在着陆滑跑过程中侧向偏移量的计算公式

$$\Delta B = F_1 L_x^2 + F_2 L_x + F_3 + F_4 \sqrt{F_5^2 + F_6^2} e^{\frac{p}{V} L_x} \sin\left(\eta + \frac{q}{V} L_x\right) \quad (1)$$

式中

$$F_1 = \frac{B_3}{2V}$$

$$F_2 = \frac{-pB_1 + qB_2}{p^2 + q^2}$$

$$F_3 = -F_4 F_5$$

$$F_4 = \frac{V}{(p^2 + q^2)^2}$$

$$F_5 = B_1(p^2 - q^2) - 2pqB_2$$

$$F_6 = B_2(p^2 - q^2) + 2pqB_1$$

$$i = i_2\left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta D}{C}\right) - i_1\left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta D}{C}\right)$$

$$\eta = \arcsin \frac{F_5}{\sqrt{F_5^2 + F_6^2}}$$

$$B_1 = \frac{a_1\left(\beta_0 - \frac{E_3}{E_2}\right)}{1 - a_2}$$

$$B_2 = \frac{a_1\left(\beta_0 - \frac{E_3}{E_2}\right)}{1 - a_2} \left[\frac{p}{q} + \frac{a_2}{a_1} \left(\frac{p^2 + q^2}{q} \right) \right]$$

$$B_3 = \frac{1}{1 - a_2} \left(\frac{a_1 E_3}{E_2} + a_3 \right)$$

$$L_x = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2j_{cp}}$$

$$p = -\frac{E_1}{2}$$

$$q = \sqrt{E_2 - \left(\frac{E_1}{2}\right)^2}$$

$$a_1 = \frac{1}{mV}(N_k + C_d)$$

$$a_2 = \frac{1}{mV} \left(N_k K_c \frac{X_k}{V} + \frac{M_Y}{V} \right)$$

$$a_3 = \frac{1}{mV} (-C_d \arctg \frac{W}{V} + F_{\text{fin}})$$

$$b_1 = \frac{1}{I_y} (-N_k K_c X_k - M_Y + f_H N_H X_H)$$

$$b_2 = \frac{1}{I_y} \left(-N_k K_c \frac{X_k^2}{V} - \frac{M_Y}{V} - \frac{M_Y}{C_d} \right)$$

$$b_3 = \frac{1}{I_y} \left(f_{k2} N_{k2} - f_{k1} N_{k1} \right) \frac{C}{2} + (N_{k1} i_1 - N_{k2} i_2) x_k +$$

$$M_Y \arctg \frac{W}{V} - M_{Y,\text{fin}})$$

$$E_1 = a_1 - b_2$$

$$E_2 = -b_1(1 - a_2) - a_1 b_2$$

$$E_3 = a_3 b_2 + b_3(1 - a_2)$$

其中, β_0 为飞机着陆初始侧滑角; j_{cp} 为平均加速度; m 为飞机质量; V 为飞机速度; C_d 为空气动力系数; N_k 为作用在主轮上的飞机荷载; C_c 为侧滑系数; X_k 、 X_H 为主轮及前轮至 OZ 轴的距离; M_Y 、 F_{fin} 、 $M_{Y,\text{fin}}$ 为空气动力导数; W 为风速; N_{k1} 、 N_{k2} 、 N_H 为作用在位于坡面上的左右主轮及前轮的飞机荷载; f_{k1} 、 f_{k2} 、 f_H 为位于坡面上的左右主轮与前轮在土上的滚动阻力系数; i_1 、 i_2 、 i 为跑道两侧坡度和机轮横坡; C 为主轮间距; ΔD 为飞机着陆瞬间偏移; ΔB 为飞机着陆偏移。

2 跑道宽度的可靠性设计

关于跑道宽度的设计,至今没有准确的计算方法,主要由飞行使用要求和经验确定^[1]。一般按经验确定的跑道宽度比较保守,占地多,造价高。最佳跑道宽度应在保证飞机安全起着陆的前提下最窄。为此,将可靠性理论引入到跑道宽度的设计中,考虑影响因素的随机性,将一部分变化大,对跑道宽度影响也比较大的部分视作随机变量。通过敏感性分析,将空气相对密度 ρ 、垂直于跑道方向的侧风 W 、飞机初始侧滑角 β_0 和飞机着陆接地偏离跑道中线的距离 L 作为随机变量,飞机质量作为一个特殊变量,而其他因素作为常量考虑。

2.1 极限状态及功能函数

飞机在跑道上起飞着陆滑跑会产生一定的偏移,当机轮偏移至跑道外面时,飞机就偏离跑道滑移,可能引发飞行事故。为此,必须有足够的跑道宽度来满足飞机的偏移,才不会出现飞机偏出跑道事故。可以将跑道宽度可靠性定义为:

在规定的时间内(一般指机场使用期)内规定的条件(气象条件、飞机类型、机场类型,导航助航设备等)下,跑道宽度保证飞机安全完成起飞(着陆)的能力。跑道宽度极限状态定义为:飞机起飞(着陆)滑跑整个过程中,外侧机轮最大偏移位置刚好在跑道边缘。考虑跑道横向关于中线对称并假定飞机在跑道中线两侧的轮迹横向分布对称。

通过对飞机起飞着陆过程分析,取飞机着陆滑跑为计算状态。对于着陆滑跑来说,抵抗能力 W_R 为跑道的设计宽度,作用效应 W_S 为飞机在整个着陆滑跑过程中外侧机轮偏离跑道中心的最大距离。则跑道宽度设计的功能函数为

$$Z = \frac{W_R}{2} - W_S = \frac{W_R}{2} - (\Delta B + L) \quad (2)$$

式中, ΔB 为飞机着陆滑跑过程中侧向偏移量, L 为飞机着陆接地偏离跑道中线的距离。

2.2 跑道宽度的确定

根据机场类型提出目标可靠指标 β_0 , 先初始化跑道宽度 W_{R0} , 基于蒙特卡洛方法^[8] 计算对应跑道宽度的失效概率 P_f ; 再根据一定的步长改变 W_{R0} 的值, 直到求得的失效概率 P_f 小于 $P_{f0} = \Phi(-\beta_0)$, 查标准正态分布表, 就可以确定满足目标可靠指标的跑道宽度。

3 侧向偏移变量的统计分析

3.1 气象资料的统计分析

文献[7]通过对某地多年气象资料分析, 发现空气相对湿度 ρ 服从正态分布, 沿跑道方向分解的风速服从极值 I 型分布。本文对多地气象资料统计分析, 并将风速分解到垂直于跑道的方向, 发现空气相对湿度服从正态分布, 垂直于跑道方向的侧风服从极值 I 型分布。统计结果如表 1 所示。

表 1 气象资料统计结果

Table 1 Statistical result of meteorological data

| 月份 | K_w | 侧风 | | 空气相对湿度 ρ | |
|----|-------|-------------------------------|-------|---------------|--------|
| | | 位置参数/ ($m \cdot s^{-1}$) | 尺度参数 | 平均值 | 标准差 |
| 1 | 0.204 | -1.165 | 0.992 | 1.0379 | 0.0195 |
| 2 | 0.198 | -1.673 | 1.906 | 1.0131 | 0.0280 |
| 3 | 0.193 | -0.862 | 1.338 | 0.9995 | 0.0253 |
| 4 | 0.143 | -0.862 | 1.557 | 0.9748 | 0.023 |
| 5 | 0.190 | -0.557 | 1.580 | 0.9552 | 0.0150 |
| 6 | 0.102 | -0.256 | 1.651 | 0.9424 | 0.0112 |
| 7 | 0.072 | -1.786 | 1.409 | 0.9301 | 0.0084 |
| 8 | 0.090 | -0.594 | 1.654 | 0.9346 | 0.0113 |
| 9 | 0.089 | -1.027 | 1.283 | 0.9524 | 0.0164 |
| 10 | 0.189 | -1.098 | 1.010 | 0.9812 | 0.0177 |
| 11 | 0.234 | -1.026 | 1.015 | 1.0009 | 0.0200 |
| 12 | 0.215 | -0.979 | 1.209 | 1.0216 | 0.0173 |

注: K_w 表示去除的风速为 0 部分所占的比例。

3.2 飞机着陆轮迹的统计分布

“划线法”是指在跑道上等间距划线, 以“捕捉”飞机着陆时机轮摩擦地面留下的黑色轮迹。具体为: 在跑道一端飞机着陆次数最多的地方用粉笔等间距(本次测试选择为 10 m, 约为飞机的轮迹长度)地划多条(本次测试划 30 条线, 覆盖飞机纵向 300 m 的着陆范围, 经测试, 基本没有遗漏飞机着陆轮迹)“轮迹捕捉线”, 飞机着陆时会在某一条线上摩擦, 轮迹会将粉笔印覆盖掉, 于是便“捕捉”到了轮迹(图 1)。

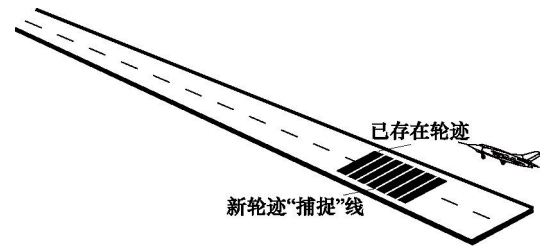


图 1 轮迹横向分布规律测试示意

Fig. 1 Measurement of transverse distribution of wheel marks

对 2 种典型飞机(I 型和 II 型)运用“划线法”来记录其着陆轮迹, 分别测试了其着陆轮迹 199 架次和 260 架次。考虑到跑道横向关于中线对称, 将跑道两侧的“外侧轮迹”提取出来分别考虑, 对其进行 K-S 检验。 D_n 是 K-S 检验时通过样本计算出来的检验标准, 临界值是 K-S 检验规定的标准; 如果 D_n 小于临界值说明检验通过。统计分析结果如表 2 所示, 样本数据服从正态分布。

表 2 “外侧主轮”轮迹横向分布规律的 K-S 检验

Table 2 The K-S testing of transverse distribution of outside main wheel marks

| 飞机类型 | 中线两侧 | 样本数 | 临界值 | D_n | 检验结果 | 均值 μ | 标准差 σ |
|------|------|-----|--------|--------|------|-----------|--------------|
| I 型 | 左侧左轮 | 199 | 0.0595 | 0.0348 | 通过 | -2.358(左) | 2.729 |
| | 右侧右轮 | 199 | 0.0595 | 0.0354 | 通过 | 2.484(右) | 2.673 |
| II 型 | 左侧左轮 | 260 | 0.0681 | 0.0582 | 通过 | -1.306(左) | 2.531 |
| | 右侧右轮 | 260 | 0.0681 | 0.0334 | 通过 | 1.200(右) | 2.478 |

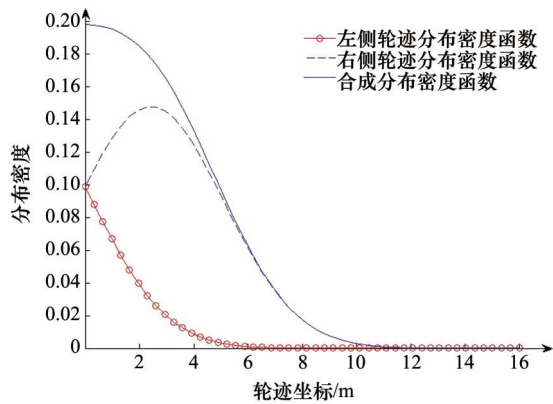
由于跑道关于其中线对称, 且飞机的主起落架间距是固定的, 如果对轮迹横向分布进行长期测量, 跑道中线两侧的轮迹分布应该是对称的正态分布, 而本次测试跑道两侧分布规律不对称是由于测试样本数量不够造成的。因此, 认为轮迹横向分布关于跑道中线对称, 其均值和标准差取表中左右

侧的均值和标准差, $\Phi(\mu, \sigma)$ 表示均值和标准差分别为 μ 和 σ 的正态分布, 即对于 I 型飞机, 其跑道中线左右两侧的轮迹分布分别符合正态分布 $\Phi(-2.358, 2.729)$ 和 $\Phi(2.484, 2.673)$; 对于 II 型飞机, 其左右两侧轮迹分布分别符合正态分布 $\Phi(-1.306, 2.531)$ 和 $\Phi(1.200, 2.478)$ 。取跑道一侧作为研究对象, 轮迹横向分布的概率密度为 2 种分布的叠加, 则 2 种飞机在跑道右侧的轮迹分布密度函数分别为

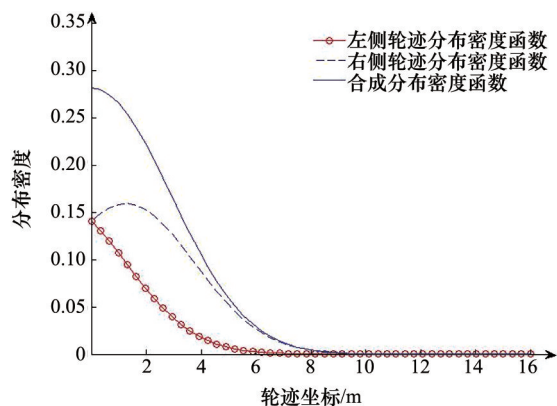
$$f_{1_1}(x) = \varphi(-2.421, 2.701) + \varphi(2.421, 2.701), \quad x \geq 0 \quad (3)$$

$$f_{1_2}(x) = \varphi(-1.253, 2.505) + \varphi(1.253, 2.505), \quad x \geq 0 \quad (4)$$

根据公式(3)和公式(4), 得到右侧的轮迹分布密度函数曲线如图 2 所示。



(a) I 型飞机的轮迹横向分布密度在跑道右侧的叠加



(b) II 型飞机的轮迹横向分布密度在跑道右侧的叠加

图 2 2 种飞机的轮迹横向分布密度在跑道右侧的叠加
Fig. 2 Superposition of densities of two kinds of plane wheel mark distributions on the right of runway

3.3 飞机着陆初始侧滑角

飞机在着陆接地时, 由于受侧风和驾驶误差的影响, 往往无法准确对准跑道中线。机身轴线与跑道中线夹角称为侧滑角, 飞机在着陆接地瞬间的侧滑角称为初始侧滑角。依据大量统计资料分析, 飞机在地面滑跑运动时侧滑角不大, 一般 $\leq 7^\circ$, 并服从正态分布 $\Phi(0, 0.0065)$ 。

4 算例分析

4.1 跑道宽度可靠性设计

将可靠性理论引入到跑道宽度的设计中。通过对某地多年气象资料和 2 种典型飞机着陆轮迹横向分布的统计分析, 得到其概率分布, 依据式(1)计算飞机在特定状态下的偏移量, 然后依据式(2)计算在一定跑道宽度下飞机的可靠性状态。基于蒙特卡洛方法, 通过 matlab 软件编写程序, 分别计算其在不同失效概率下各月所需的跑道宽度, 模拟计算的结果如表 3 所示。

表 3 2 种典型飞机各月所需跑道宽度

Table 3 Runway widths of two typical airplanes for each month

| 月份 | 跑道宽度/m | | | | | |
|-----|---------|------|------------|------|------------|------|
| | 失效概率 1% | | 失效概率 0.10% | | 失效概率 0.01% | |
| | I 型 | II 型 | I 型 | II 型 | I 型 | II 型 |
| 1 | 26.4 | 28.4 | 33.1 | 34.4 | 38.1 | 38.1 |
| 2 | 26.7 | 28.1 | 33.6 | 33.6 | 39.4 | 38.3 |
| 3 | 27.1 | 28.3 | 34.8 | 33.5 | 40.7 | 38.2 |
| 4 | 28.6 | 28.5 | 34.2 | 34.1 | 40.3 | 38.4 |
| 5 | 28.4 | 28.4 | 25.7 | 34.5 | 41.2 | 38.7 |
| 6 | 29.4 | 28.6 | 36.4 | 34.6 | 42.7 | 39.0 |
| 7 | 26.1 | 28.5 | 33.6 | 34.5 | 39.5 | 38.7 |
| 8 | 28.9 | 28.1 | 36.1 | 34.7 | 41.2 | 39.1 |
| 9 | 27.3 | 28.3 | 34.7 | 34.5 | 39.5 | 38.4 |
| 10 | 26.5 | 28.4 | 33.4 | 34.6 | 39.4 | 39.2 |
| 11 | 27.8 | 28.6 | 33.9 | 33.1 | 38.6 | 38.8 |
| 12 | 27.4 | 28.4 | 33.1 | 37.4 | 39.4 | 39.4 |
| 平均值 | 27.6 | 28.4 | 33.6 | 34.5 | 40.0 | 38.7 |

由表 3 可以看出, 2 种型号的飞机在同一失效概率下, 不同月份所需的跑道宽度变化不大, 表明空气相对密度对跑道宽度变化不灵敏; 随着失效概率变小跑道宽度增大, 表明以可靠指标作为跑道宽度设计目标的合理性。

4.2 仅考虑飞机着陆轮迹的可靠性计算结果

仅分析飞机的着陆轮迹, 则得到基于飞机着陆轮迹横向分布的跑道宽度可靠性结果如表 4 所示。

表 4 基于着陆轮迹的跑道宽度计算结果

Table 4 Calculation results of landing runway width based on the wheel track

| 失效概率/% | 跑道宽度/m | |
|--------|--------|------|
| | I 型 | II 型 |
| 1 | 19.6 | 15.2 |
| 0.1 | 23.5 | 20.3 |
| 0.01 | 26.8 | 23.9 |

通过比较表3和表4中结果可知,在可靠性理论计算下,I型飞机仅考虑着陆轮迹的跑道宽度比综合条件下的跑道宽度少10 m左右,II型飞机的少13 m左右,并且随着失效概率减少这种差距增大。也说明了基于可靠性理论并考虑飞机着陆滑行偏移来设计跑道宽度的合理性。

4.3 机场跑道宽度可靠性评价

用本文提出的可靠性设计方法,可对现行机场跑道宽度进行可靠性评价。现行大部分机场的跑道宽度为45 m,将45 m的跑道宽度代入到可靠性设计程序中,计算其失效概率,结果为 4.4×10^{-6} 。通过对近10年来飞机偏出跑道的事故统计分析,除了机械故障引起事故外,偏出跑道的平均实效概率为 4.139×10^{-6} 。将理论计算得到的失效概率与实际统计的实效概率比较,两者结果相符,说明了本文计算结果的合理性。

5 结论

将可靠性理论引入到跑道宽度的设计中,通过对气象资料 and 2种飞机着陆轮迹横向分布的统计分析,分别得到其概率分布,通过matlab软件编写程序,分别计算了不同失效概率下所需的跑道宽度。依据本文提出的可靠性设计方法,分析得到空气相对密度对跑道宽度变化不敏感;理论计算得到的失效概率与实际失效概率结果相符,从而说明在跑道宽度设计中应用可靠性理论的合理性。本文提出了一套比较完整的跑道宽度设计理论方法,弥补了长期以来主要依靠飞行经验确定跑道宽度的不足,为从事跑道宽度设计的工作人员提供理论指导。

参考文献 (References)

- [1] 蔡良才. 机场规划设计[M]. 北京: 解放军出版社, 2002: 74-78.
Cai Liangcai. Airfield planning and design[M]. Beijing: People Liberation Army Press, 2002: 74-78.
- [2] 邵斌, 蔡良才. 飞机对跑道及道肩宽度的要求分析[J]. 空军工程大学

学报: 自然科学版, 2002, 3(2): 16-19.

Shao Bin, Cai Liangcai. Analysis of airplane's demand for runway and its shoulder's width[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2002, 3(2): 16-19.

- [3] 李光元, 许巍, 韩施方. 机场地势设计原理[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2012: 22-23.
Li Guangyuan, Xu Wei, Han Shifang. The theory of airfield hypsography design[M]. Xi'an: Xi'an Shanxi Science and Technology Press, 2012: 22-23.
- [4] International Civil Aviation Organization (ICAO). Aerodromes annex 14 volume I: Aerodromes design and operations (Fourth Edition)[S]. Washington DC: International Civil Aviation Organization (ICAO), 2005.
- [5] Mudd L E. Advisory circular (AC): Airport design (150/5300-13)[R]. Washington DC: US Department of Transportation: Federal Aviation Administration (FAA), 1989.
- [6] Bennett D L. Advisory circular (AC): Change 5~11 to airport design[R]. Washington DC: US Department of Transportation: Federal Aviation Administration (FAA), 2007.
- [7] 岑国平, 李明峰. 机场跑道长度可靠性设计方法[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(1): 62-65.
Cen Guoping, Li Mingfeng. Reliability design method of airport runway length[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 62-65.
- [8] 李光元. 飞机在双面横坡跑道上的航向稳定性[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(3): 112-114.
Li Guangyuan. Directional stability of aircraft running on runway with two transverse slopes[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(3): 112-114.
- [9] Federal Aviation Administration (FAA). Advisory circular (AC): 150/5300-13A. Airport design[S]. Washington DC: US Department of Transportation, 2012.
- [10] 雷电, 赵鸿铎, 吴璨. 飞机轮迹横向分布测试系统的比选分析[J]. 交通工程, 2012, 63(10): 63-68.
Lei Dian, Zhao Hongduo, Wu Can. The analysis and selection for aircraft deviation test system[J]. Traffic Engineering, 2012, 63(10): 63-68.

(编辑 陈华姣)



《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。