

利用风向风速观测数据的跑道方向确定方法

刘路¹, 种小雷¹, 姚海东², 石鑫刚¹

(1.空军工程大学航空航天工程学院,西安,710038;
2.中国航空港建设第3工程总队,南京,210000)

摘要 为提高机场跑道方向确定方法的准确性,针对传统风保障率计算方法中基于风向风速统计分段数据绘制风玫瑰图所存在的误差,提出直接利用风向风速观测数据对跑道所承受的侧风值进行计算,通过与机场跑道所允许的最大侧风值比较,统计满足要求的风向风速观测数据,最终确定最优跑道方向和风保障率的改进方法。通过MATLAB编程建立改进后风保障率数值计算模型,可直接利用风向风速观测数据,确定最优跑道方向;然后利用改进后数值模型计算特定跑道方向下风保障率值,并与其他数值模拟方法计算结果进行对比,进一步验证了改进后的跑道方向确定方法的准确性和可靠性。

关键词 机场规划设计;跑道方向;风保障率;风向风速观测数据

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2016.02.006

中图分类号 V351.11 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2016)02-0026-05

Modified Method of Confirming Runway Orientation Based on Observation Data of Wind Velocity and Direction

LIU Lu¹, CHONG Xiaolei¹, YAO Haidong², SHI Xingang¹

(1.Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2.China Airport Construction NO.3 Engineering Department, Nanjing 210000,College,China)

Abstract: In order to improve the accuracy of confirming runway orientation method based on usability factor and eliminate the errors that exist in the previous calculation method which is based on the wind rose according to wind statistics of velocity and direction, a new model is proposed, in which wind observation data is used directly to calculate the crosswind component suffered by runway and optimal runway orientation is confirmed by comparing wind data with the allowable crosswind component and counting the number that meets the requirements. Simulation model by MATLAB program language is established and can calculate and confirm runway orientation directly by observation data. Besides, usability factor in certain runway orientation is calculated by modified method and compared with the results of previous method and other numerical simulation method, then the accuracy and reliability is ascertained.

Key words: Airport planning and designing; Runway orientation; Usability factor; Observation data of wind velocity and direction

收稿日期: 2015-06-26

基金项目: 国家自然科学基金(51208507)

作者简介: 刘路(1991-),男,河南南阳人,硕士生,主要从事机场规划设计研究。E-mail: kgdliulu@163.com

引用格式: 刘路,种小雷,姚海东,等. 利用风向风速观测数据的跑道方向确定方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2016,17(2):26-30. LIU Lu, CHONG Xiaolei, YAO Haidong, et al. Modified Method of Confirming Runway Orientation Based on Observation Data of Wind Velocity and Direction[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2016, 17(2): 26-30.

机场跑道方向不仅影响到机场选址和整个机场(航站楼、滑行道、停机坪等)布局,而且对于确保飞机正常运行发挥着至关重要的作用^[1-2]。风往往决定着跑道方向,也决定着飞机起飞着陆的滑跑距离和飞行安全,在不同风(侧风、逆风、顺风)的作用下,飞机往往面临着不同威胁^[3-8]。因此,跑道方向确定主要考虑因素是风保障率。我国为确保飞行安全,要求跑道方向风保障率在 95% 以上^[10],联邦航空局(FAA)和国际民用航空组织(ICAO)也采取相同规定^[11-12]。FAA 为更加快捷地确定跑道方向,基于风保障率计算原理,开发者 Airport Design Software、Mousa 和 Mumayiz 提出 WNDROS 计算模型,通过数学公式和 AutoCAD 技术,对单跑道机场进行风保障率计算^[13],获得最优跑道方向;随后结合 VB 语言,建立 VB-WNDROS 计算模型,对计算模型进行优化,功能更加多样化^[14];Jia^[15]等人基于地理信息系统(GIS)提出确定跑道方向的 ARO 模型,通过利用 GIS 的系统功能和数据库管理工具,进行风保障率计算和跑道方向确定。一直以来,对于风保障率的计算及跑道方向的优化都是建立在 FAA 提出的基于风向风速统计数据绘制的风玫瑰图原理基础上^[16],没有对风玫瑰图建立过程进行深入分析。

1 现行确定方法及主要问题

我国在计算风保障率时^[1-2],首先确定所允许最大逆风、侧风风速,将所在地区气象统计资料(至少连续 5 年)按照方位和风速分级进行分段并制定风向风速统计表,计算各区域内频率转换为风频率表。其次绘制风玫瑰图,填入各区域风频率,根据所允许最大侧风值,按照跑道方向绘制能保证飞机起飞着陆的风保障率平行分界直线。最后根据目测估算法或解析法,求得被切割区域风频率,将内侧各部分风频率相加即可得风保障率。

该方法主要存在以下误差:①对气象资料按照风速、风向分段统计时,没有按照风实际发生情况而是按照 16 个方向和划分好的风速段进行归类;②在每一个方向和风速段内,都假定风出现频率是均匀的,这种假设和实际情况间存在一定误差;③在统计某一方向的风频率时,对于内侧不规则图形面积的计算,无论采用目测估算法还是解析法,都存在一定误差^[1]。

2 改进风保障率计算方法

目前,自动风向风速仪观测风速可精确到 0.1

m/s,风向通常用角度(0~360°,正北方向为 0°和 360°)表示,可精确到 1°左右^[17-18]。计算机技术的发展,使大量数据运算变得更加快捷、方便。基于这些事实和传统风保障率计算方法所存在的误差,本文提出直接利用气象观测数据计算风保障率的改进方法,从计算的原理中消除存在的误差,提高计算精度,减少统计数据、绘制风玫瑰图的巨大工作量。

2.1 改进方法主要原理

根据机场设计等级及适用机型,确定所允许最大侧风值和最大逆风值,然后对原始风观测数据进行分析,根据风向和跑道方向夹角,把风速分解为沿着跑道方向和垂直跑道方向这 2 个分量,通过将分解到垂直跑道方向的侧风值与最大允许侧风值进行对比,统计符合侧风要求次数,其占气象观测数据的风总数目的百分比即为该方向下跑道的风保障率,见图 1。最后通过判断风保障率是否满足要求来确定并优化跑道方向。

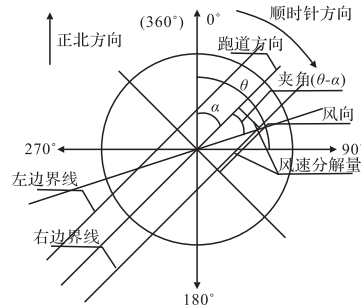


图 1 改进后风保障率计算原理示意图

Fig.1 Modified calculation principle of confirming runway orientation

2.2 单跑道风保障率计算

根据改进后的风保障率计算原理,获得风观测数据总数目 T 和风出现的总方向数 m ,在风向角为 $\theta_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 时,风出现的总次数为 j 及相应的风速为 V_{ij} 。对于某一单跑道机场,其方向为 α (与风向观测采用相同的方位体系,即跑道方向为正北方向时记为 0°,沿顺时针方向增大至 360°),其风保障率计算步骤如下:

当风向为 θ_i 时,计算该角度下所允许最大风速值为:

$$\max V_i = |V / \sin(\theta_i - \alpha)| \quad (1)$$

$(\theta_i - \alpha \neq 0^\circ, 180^\circ \text{ 和 } 360^\circ)$

对于风向为 θ_i 的所有气象资料,假定初始满足最大允许侧风要求的风数目 $T_{ij} = 0$ 当 $\theta_i - \alpha \neq 0^\circ, 180^\circ$ 和 360° 时,在不同风速 V_{ij} 下,当 $V_{ij} < \max V_i$,则满足最大允许侧风要求的风数目 $T_{ij} = T_{ij} + 1$,将 θ_i 风向下所有观测资料进行对比,求得满足最大侧风要求的风总数目为 T_i 。

当 $\theta_i - \alpha \neq 0^\circ, 180^\circ$ 和 360° 时,根据该机场所允许最大逆风值 V_N ,当 $V_{ij} < V_N$ 时,飞机能安全进行逆风起飞或着陆;否则飞机不能安全起飞着陆,进而统计出满足最大允许逆风值要求的风总数目 T_i 。

所以跑道方向为 α 时,风保障率 φ 为:

$$\varphi = (\sum_{i=1}^m T_i) / N \quad (2)$$

在获得跑道方向 α 的风保障率 φ 时,使跑道方向以某一固定角度 $\Delta\omega$ 递增,即可获得所有跑道方向下的风保障率值,通过比较选择风保障率最大的跑道方向或所有符合 95% 风保障率要求的跑道方向作为机场规划设计参考的对象。

2.3 双跑道风保障率计算

在机场跑道方向设计时,当一条跑道的所有方向都不能满足 95% 风保障率要求时,需要考虑设计双跑道方向来满足设计要求。在计算风保障率的过程中,首先分别计算满足主跑道方向最大侧风值要求 V_1 的风保障率,然后计算不满足主跑道风保障率要求的风数据中,能够满足次要跑道方向最大允许侧风值 V_2 部分的风保障率,最后将两部分的风保障率数值求和即可获得双跑道风保障率的大小。其具体计算过程如下:

Step1 按照单跑道风保障率计算方法获得主跑道方向为 α_1 的风保障率 φ_1 。

Step2 计算不满足主跑道风保障率要求的风数据中,能够满足次要跑道方向 α_2 最大允许侧风值部分的风保障率 φ' 。

当风向 θ_i ,当 $\theta_i - \alpha \neq 0^\circ, 180^\circ$ 和 360° ,主跑道所允许最大风速值计算见式(1),对于风向为 θ_i 的所有气象资料,在不同风速 V_{ij} 下,当 $V_{ij} \geq \max V_{i1}$,则根据次要跑道方向 α_2 受最大允许侧风值 V_2 约束,用式(1)可计算出该风向下满足次要跑道方向要求的最大风速值:

假定不满足主跑道方向却满足次要跑道方向最大允许侧风要求的初始风数目 $T'_{ij} = 0$,对于 θ_i 方向下满足 $V_{ij} \geq \max V_{i1}$ 部分的风速数据,若 $V_{ij} < \max V_{i2}$,则 $T'_{ij} = T'_{ij} + 1$,通过对 θ_i 风向下不满足主跑道方向要求的所有风资料进行对比,获得满足次要跑道方向要求的风总数目为 T'_i 。

当 $\theta_i - \alpha_1 = 0^\circ, 180^\circ$ 和 360° 时,根据该机场所允许的最大逆风值 V_N ,当 $V_{ij} < V_N$ 时,飞机能够安全进行逆风起飞或着陆;否则飞机不能安全进行起飞着陆,进而统计出满足最大允许逆风值要求的风总数目 T'_i 。

最终计算出不满足主跑道方向侧风要求但满足次要跑道方向要求的风保障率 φ' :

$$\varphi' = (\sum_{i=1}^m T'_i) / N \quad (3)$$

Step3 最终可得到双跑道风保障率 φ :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi' \quad (4)$$

求得双跑道风保障率 φ 后,使两跑道方向分别以某一固定数值 $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2$ 递增,即可获得所有双跑道组合的风保障率值,选取风保障率最大或满足 95% 风保障率要求的双跑道组合作为规划设计参考对象。

3 改进后风保障率仿真计算模型

改进的风保障率计算方法从原理上能够消除传统方法存在的误差,为进一步验证改进方法的正确性,本文利用 Matlab 软件进行跑道方向优化的计算机模拟,开发出易于用户操作的仿真模型,并进行改进计算方法的可靠性验证。

3.1 仿真计算模型主要流程

结合改进风保障率计算方法的原理,建立计算模型,下面以单跑道风保障率计算为例,简要介绍其主要计算流程,见图 2。

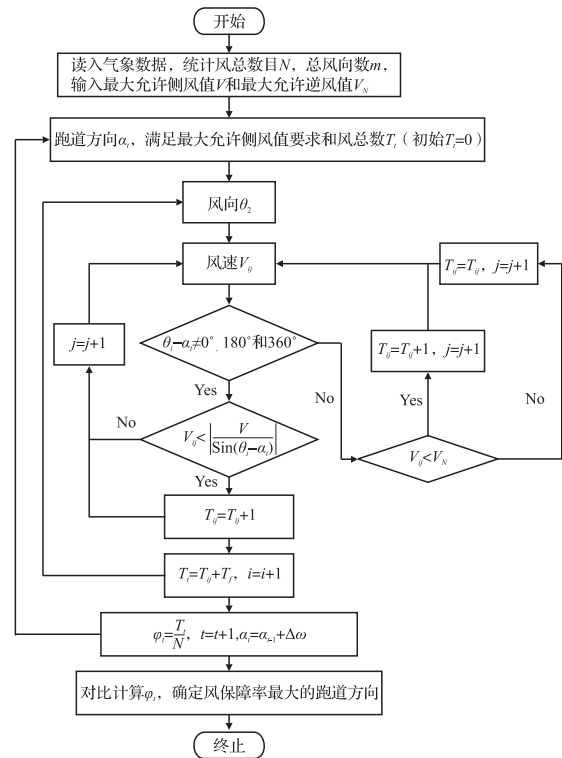


图 2 改进后单跑道风保障率计算模型流程图

Fig.2 Flow chart of modified single runway usability factor calculation model

3.2 仿真模型可靠性验证

运用 MATLAB 建立单跑道和双跑道风保障率计算模型。利用某地区气象观测资料,对各跑道方向下风保障率进行计算,并与基于风玫瑰图原理的 WNDROS 及 WNDROS2 计算结果进行对比验证改进风保障率计算方法的可靠性。

3.2.1 单跑道风保障率计算结果分析

根据计算结果建立坐标系,按照最大允许侧风值为 6.69 m/s 的条件,对不同跑道方向的风保障率进行分析,根据风保障率要满足 95% 规定的要求,获得跑道方向区间,见图 3。当跑道方向为 112° 时,风保障率取得最大值,约为 97.27%。

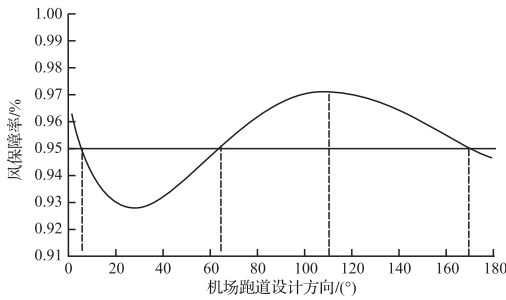


图 3 改进后单跑道风保障率计算结果

Fig.3 Calculation results of modified single runway usability factor

为进一步验证改进风保障率计算方法的科学性、合理性,通过采用 WNDROS 计算模型对随机选取的某些特定跑道方向下风保障率进行计算,并与改进后计算模型进行对比,其具体结果对比见表 1,发现两种方法所计算的风保障率变化趋势大体一致,WNDROS 计算模型在跑道方向为 107° 时风保障率最大,而改进计算方法在跑道方向为 112° 时风保障率最大,两者相差不大。

表 1 不同方法下单跑道风保障率结果对比表

Tab.1 Contrast of single runway usability factor calculation results in different method

跑道方向/(°)	风保障率/ % (最大允许侧风值为 6.69 m/s)	
	WNDROS	改进计算模型
48	93.66	94.23
58	94.15	95.33
80	95.53	95.69
107	96.72	97.24
112	96.71	97.27
153	96.20	96.25
170	95.26	96.00

3.2.2 双跑道风保障率计算结果分析

分别采用 WNDROS 和改进计算模型对双跑道风保障率进行计算,并随机选取双跑道组合,对 2 种方法的计算结果进行对比,具体情况见表 2。

通过表 2,在随机选取 9 组双跑道方向组合中,跑道方向组合为 107°(主)和 23°(次)、112°(主)和 22°(次)时,风保障率值最大。同时将 9 种随机跑道方向组合的主跑道、单跑道和双跑道风保障率计算结果绘制成折线图,见图 4,通过对比发现 2 种计算模型结果总体一致。

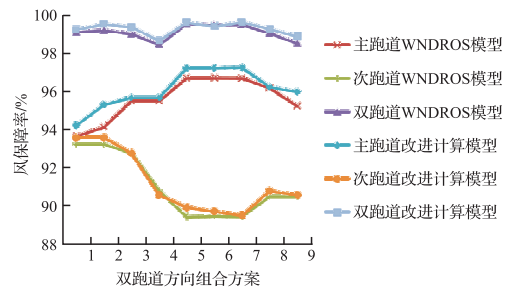


图 4 2 种计算模型的风保障率计算结果对比

Fig.4 Contrast of runway usability factor calculation results in two different models

表 2 不同方法下双跑道风保障率计算结果对比表

Tab.2 Contrast of double runway usability factor calculation results in different methods

双跑道 方向组合	跑道方向/(°)		风保障率/ % (最大允许侧风值:主跑道为 6.69 m/s;次跑道为 5.14 m/s)						
	主跑道	次跑道	WNDROS				改进计算模型		
			主跑道	次跑道	重叠部分	总计	主跑道	次跑道	总计
1	48	138	93.66	93.25	87.79	99.12	94.23	93.61	99.25
2	58	138	94.15	93.25	88.20	99.20	95.33	93.61	99.53
3	80	152	95.53	92.79	89.29	99.03	95.69	92.78	99.38
4	80	170	95.53	90.81	87.87	98.47	95.69	90.60	98.68
5	107	23	96.72	89.45	86.61	99.56	97.24	89.95	99.62
6	107	17	96.72	89.49	86.73	99.48	97.24	89.74	99.42
7	112	22	96.71	89.47	86.67	99.51	97.27	89.52	99.64
8	153	80	96.20	90.52	87.65	99.07	96.25	90.80	99.28
9	170	80	95.26	90.52	87.23	98.54	96.00	90.60	98.89

4 结语

确定跑道方向时,传统风保障率计算方法基于风向风速统计分段数据绘制风玫瑰图,在计算过程中存在一定的误差。本文提出了一种改进的风保障率计算方法,基于原始风向风速观测数据,从计算原理中消除了传统风保障率计算存在的误差,大幅度提高了跑道方向确定的精度;同时,简化了原始资料统计带来的工作量,不必再对大量的气象资料进行分组分段,直接利用气象观测数据资料 Excel 表格进行计算,有效地提高了工作效率,为跑道方向确定提供了一种新的工具。

参考文献(References):

- [1] 蔡良才,岑国平,翁兴中. 机场工程概论[M]. 北京:解放军出版社, 2014.
CAI Liangcai, CEN Guoping, WENG Xingzhong. Airport Planning and Design[M]. Beijing: PLA Publishing Press, 2014. (in Chinese)
- [2] 钱炳华,张玉芬. 机场规划设计与环境保护[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
QIAN Binghua, ZHANG Yufen. Airport Design and Environment Protection[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [3] 陈猛. 机场地面风和大风的特征分析及其对飞行的影响[J]. 气象水文海洋仪器, 2011, 12(4): 44-46.
CHEN Meng. Characteristic Analysis of Airport Surface Wind and Gale and Its Effect on the Flight[J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2011, 12(4): 44-46. (in Chinese)
- [4] 林可心,岑国平,李乐,等. 飞机起飞着陆性能仿真与分析[J]. 空军工程大学学报:学报自然版, 2012, 13(4): 21-25.
LIN Kexin, CEN Guoping, LI Le, et al. Simulation and Analysis for Airplanes Performance of Takeoff and Landing[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2012, 13(4): 21-25. (in Chinese)
- [5] 蔡良才,张因子,王海服,等. 高原机场飞机着陆滑跑距离计算与分析[J]. 空军工程大学学报, 2014, 15(3): 5-9.
CAI Liangcai, ZHANG Yinzi, WANG Haifu, et al. Calculation and Analysis of Planes Landing Slipping Length with Full Thrust in Plateau Airfield[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2014, 15(3): 5-9. (in Chinese)
- [6] ROBERT Horonjeff, FRANCIS Mckelvery. Planning and Design of Airports (Fifth Edition) [M]. New York: McGraw Book Cooperation, 2009.
- [7] HESS Stephane, POLAK John W. Mixed Logit Modeling of Airport Choice in Multi-airport Regions[J]. Journal of Air Transport Management, 2005, 11(2): 59-68.
- [8] BENNETT D L. Advisory Circular (AC): Change 5~11 to Airport Design [R]. Washington DC: us Department of Transportation: FAA, 2007.
- [9] 种小雷,许金良,郑福美,等. 基于侧风的跑道方向确定方法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9(3): 17-21.
CHONG Xiaolei, XU Jinliang, ZHENG Fumei, et al. Study for Determining Airport Runway Orientation Method Based on Cross Wind[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2011, 9(3): 17-21. (in Chinese)
- [10] 中国民用航空局. MH5001-2013.民用机场飞行区技术标准[S].
Civil Aviation Administration of China, MH5001-2013. Technical Standards for Airfield Area of Civil Airports[S]. (in Chinese)
- [11] Federal Aviation Administration. Airport Design Standards: Airport Design (FAA/AC: 150/5300-13) [S]. 1989.
- [12] International Civil Aviation Organization (ICAO). Aerodromes Design Manual, Part I Runway (DOC 9157-AN/901), Annex 14 Volume I: Aerodromes Design and Operations (Fourth Edition)[S]. 2004.
- [13] HAKAN Oktal, NILGUN Yildirim. New Model for the Optimization of Runway Orientation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2014, 140(3): 272-273.
- [14] MOUSA RAGAB M, MYNATUZ Saleh A. Optimization of Runway Orientation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2000, 126: 228.
- [15] MOUSA Ragab M. Enhancement of WNDROS Program for Optimization of Runway Orientation [C]// Twenty-Seventh International Air Transportation Conference, 2002: 1-11.
- [16] JIA Xudong, CHUNG Desmond, HUANG Janet, Marco Petrilli. ARO: Geographic Information Systems-Based System for Optimizing Airport Runway Orientation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130: 555-559.
- [17] 崔洋,桑建人,常倬林,等. 宁夏盐池通用机场预选场址气象条件可行性分析[J]. 宁夏工程技术, 2014, 13(2): 97-101.
CUI Yang, SANG Jianren, CHANG Zhuolin, et al. Meteorological Conditions Analysis of Proposed Site for the Yanchi General Airport in Ningxia[J]. Ningxia Engineering Technology, 2014, 13(2): 97-101. (in Chinese)
- [18] 吕文华,边泽强. 地面气象观测站自动监测系统研究[J]. 气象, 2009, 35(2): 106-110.
LÜ Wenhua, BIAN Zeqiang. An Auto-test System of Meteorological Observation Station[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(2): 106-110. (in Chinese)

(编辑:徐敏)