

封锁概率对跑道宽度设计的影响分析

种小雷¹, 孟德山¹, 尹晓军², 王海服¹, 张罗利¹

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西西安, 710038; 2. 兰州军区空军后勤部, 甘肃兰州, 730020)

摘要 针对当前机场跑道宽度设计仅以满足飞机使用要求为主而没有考虑不利于敌方打击的状况, 分析了采用子母弹封锁跑道的过程, 建立了基于宽度的跑道封锁模型。通过对封锁过程和封锁模型的分析, 得出了影响跑道封锁概率的主要因素; 在分析不同影响因素与封锁概率之间关系的基础上, 总结出了特定条件下跑道封锁概率和跑道宽度之间的关系, 并对比了增加跑道宽度与降低封锁概率的经济性, 提出了在跑道宽度设计中应考虑防护因素的理念, 为基于防护理念的跑道设计提供了依据。

关键词 跑道宽度; 封锁概率; 子母弹

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.01.002

中图分类号 V351.11 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)01-0006-04

跑道平面尺寸确定是机场规划设计的重要内容之一。目前, 绝大多数机场跑道宽度的设计是在考虑了飞机的类型、同时起降的飞机数量、飞行员的技术水平、气象条件、导航和助航设施等因素的基础上, 按照飞行使用的经验来确定的^[1]。作为重要的军用设施, 机场跑道已经不可避免地成为战时重点打击的目标, 关于跑道封锁方式的研究已经成为打击机场研究的重点。国外 William Todd 等分析了跑道与封锁概率及快速修复时间之间的关系^[2-4], 国内殷志宏、黄龙华等分析了不同导弹封锁机场的模型^[5-6], 这些研究从打击机场的角度建立了跑道封锁模型, 但跑道平面尺寸对封锁概率有何影响, 如何将这种影响考虑到跑道平面尺寸设计中从而提高机场的生存能力, 目前还没有看到相关的研究。本文在满足跑道使用要求的基础上, 从不利于跑道封锁的角度来考虑跑道宽度设计。

1 子母型导弹封锁跑道的过程分析

1.1 子弹在跑道上的分布规律

一般情况下, 对于机场跑道进行攻击采用的主要武器是侵彻子母弹, 侵彻子母弹可携带几十甚至上百个子弹头, 炸开后可在跑道上形成大小不等的弹坑, 阻碍飞机的起降^[7]。跑道是长宽比较大的线状目标, 多点瞄准、多发打击是为了在长度上封锁跑道^[8], 而单发导弹, 多子弹的散布则是从宽度上封锁跑道, 从而达到最终的封锁目的, 即不存在最小起降带。因此分析封锁概率与跑道宽度的关系时, 只需考虑单发子母弹的打击情况即可。单发子母弹打击跑道的结果见图1(图中假定子弹数为7)。图中黑色点表示子弹落点, 按照子弹的弹坑半径, 可将跑道宽度划分为不同的条, 如图1中1-5。

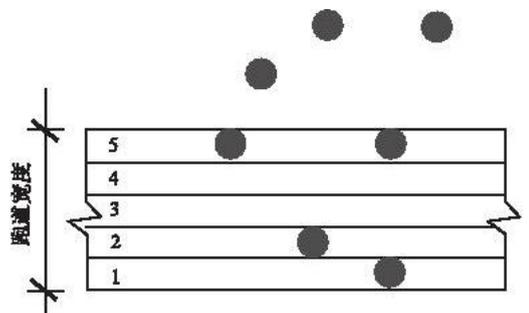


图1 子母弹打击跑道示意图

Fig.1 Sketch map of submunitions attacked on runway

* 收稿日期: 2011-05-19

基金项目: 军队科研基金资助项目(XXYZ09022)

作者简介: 种小雷(1973-), 男, 陕西西安人, 副教授, 主要从事机场工程研究. E-mail: kgywx@yahoo.com.cn

根据图 1, 可令: $T = \frac{\text{跑道宽度}}{\text{弹坑直径}}$, 即按弹坑直径可将跑道分成 T 个部分; $L = \frac{\text{最小起降带宽度}}{\text{弹坑直径}}$, 即最小起降带宽度相当于几个弹坑, 也就是说如果要从宽度上满足起降要求, 至少要有 L 个连续的弹坑直径。子母弹封锁跑道的问题因此可以描述为带 N 个子弹的导弹攻击跑道时, 在跑道上存在最小起降带宽度的概率。这个问题可简化为 3 步: ①确定 N 个子弹中的 m 个击中跑道的概率; ②如果 m 个子弹击中跑道, 需要确定跑道上 T 个部分中的 S 个被击中的概率; ③如果 T 部分中的 S 个被击中, 需要确定存在 L 概率, 也就是存在最小起降带的概率, 这也是跑道封锁是否成功的标志。

1.2 子母弹封锁跑道的概率模型

1.2.1 子弹击中跑道的概率分析

导弹打击跑道时, 假定子弹为圆形、均匀分布, 以一定的抛撒半径 R 在瞄准点附近散布, 瞄准点应该为跑道中线上的点, 由于有误差 X_c (瞄准点和子母弹实际抛撒中心点的偏差), 见图 2^[2]。

则跑道遭受打击的影响概率 P_x 为:

$$P_x \approx \frac{2w \sqrt{R^2 - X_c^2}}{\pi R^2} \quad (1)$$

式中: w 为跑道宽度; R 为导弹抛撒半径; X_c 为偏离瞄准点的距离。则 X_c 是一个在 R 和 $-R$ 之间随机分布的变量, 呈正态分布^[4]。则以给定子弹数击中跑道的概率 P_A 为:

$$P_A = \frac{2w}{\pi R^2 \sigma} \int_{-R}^R \sqrt{R - x^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2)$$

式中 $\sigma = \frac{\text{CEP}}{\sqrt{2 \ln 2}}$, CEP 为导弹精度, 积分后^[2,9], 得出:

$$P_A = \frac{w}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{R^2}{4\sigma^2}} \left[\text{Bessell}\left(0, \frac{R^2}{4\sigma^2}\right) + \text{Bessell}\left(1, \frac{R^2}{4\sigma^2}\right) \right] \quad (3)$$

若导弹带有 N 个子弹, 则其中的 m 个击中跑道的概率为:

$$P_m(N) = \frac{N!}{m!(N-m)!} P_A^m (1 - P_A)^{(N-m)} \quad (4)$$

1.2.2 子母弹封锁概率分析

在前面的分析中, 可以知道子弹将跑道分成 T 部分, 按照全概率公式, m 个子弹落在跑道上, 击中 T 中的 S 个部分的概率为:

$$P_s(m, T) = \frac{T!}{S!(T-S)!} \sum_{i=0}^S \frac{(-1)^i S!(S-i)^m}{i!(S-i)! T^m} \quad (5)$$

由此可以得出单发导弹击中 T 中的 S 部分的概率为:

$$P_s(N, T) = \sum_{m=S}^N P_m(N) P_s(m, T) \quad (6)$$

在此基础上分析, 击中 S 后存在 L 的概率, 也就是存在最小起降带的概率为:

$$P_L(T, S) = \frac{S!(T-S)!}{T!} \sum_{i=1}^{\min\left(\frac{T-S}{L}, S+1\right)} (-1)^{i+1} \frac{(S+1)!}{i!(S+1-i)!} \frac{(T-iL)!}{S!(T-iL-S)!} \quad (7)$$

则 m 个子弹击中跑道, 打击 S 个部分, 存在 L 的概率, 可用如下公式表示:

$$P_L(m, T) = \sum_{S=0}^T P_L(T, S) P_s(m, T) \quad (8)$$

那么, 依此类推带有 N 个子弹的子母弹单击跑道, 存在 L 的概率, 即封锁失败的概率为:

$$P_L(N, T) = \sum_{S=0}^T P_L(T, S) P_s(N, T) \quad (9)$$

由此可以得出封锁成功的概率 P_k 为:

$$P_k = 1 - P_L(N, T) \quad (10)$$

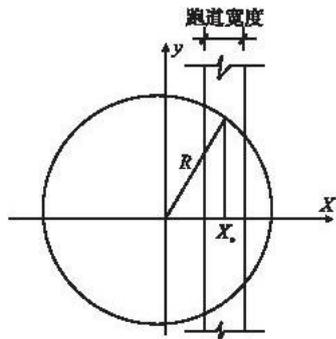


图 2 子弹击中跑道的概率示意图
Fig. 2 Sketch map of probability for bullet fall on runway

2 影响封锁概率的因素

2.1 影响封锁率的因素分析

通过以上对导弹打击机场过程的分析,可以得出子母弹封锁机场过程中受到3个方面6个因素的影响^[10],其组成层次见图3。

2.2 影响因素的敏感性分析

针对跑道封锁过程,应用 Matlab 软件编写了封锁概率计算模型,对跑道封锁概率的影响因素进行敏感性分析。为了方便研究,先假定6个影响因素中的5个为定值,分析剩余因素与封锁概率之间的函数关系,重点分析跑道宽度与封锁概率之间的关系,其关系曲线见图4。图4(a)假定条件为最小起降带15 m、母弹抛撒半径300 m、子弹坑直径3 m、子弹数量70、母弹打击精度 CEP 45 m,图4(b)假设跑道宽度为50 m,其余条件同前,图4(c)假定条件同前。目前最小起降带规范规定为定值,不作分析。

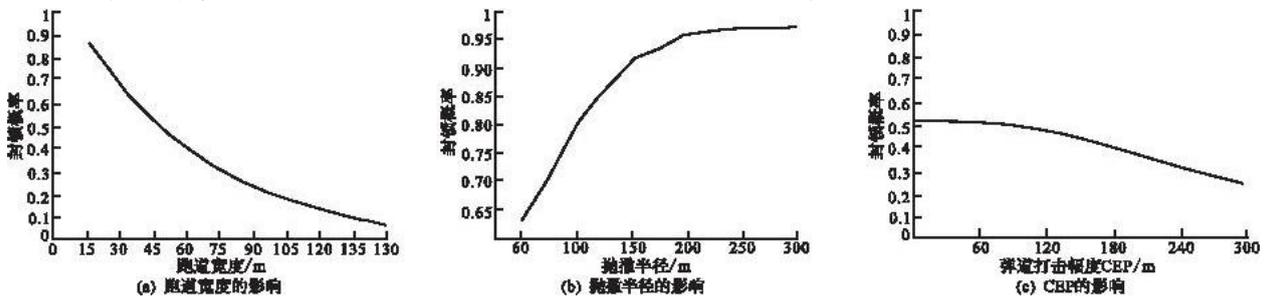


图4 影响因素与封锁概率之间的关系曲线

Fig. 4 Relationship between influencing factor and runway blockage probability

从图4(a)中可以看出:在特定条件下,随着跑道宽度的增加,封锁概率下降,跑道宽度从20 m增加到80 m的区间内,封锁概率下降速度较快。图4(b-c)说明,随着打击武器性能的提高封锁概率显著提高。

3 跑道宽度与封锁概率的经济性分析

跑道宽度与造价之间有着密切的关系,文献[1]指出:“相对于长度而言,宽度对工程造价的影响更大。”假定一条长度为2 000 m的跑道,分析其由于改变宽度而造成的造价变化,根据文献[11]提出的算法,按照文献[12]中跑道常规的结构,按跑道每 m^2 300-350元之间计算,可以得出给定长度条件下,跑道的造价和宽度成正比,造价增长速度取决于每 m^2 工程造价。为研究封锁概率与跑道造价之间的关系,按照上述条件分析,见图5。

图5中曲线a表示封锁概率与跑道宽度的关系,b表示工程造价和跑道宽度的关系,从图中可以看出,在特定条件下跑道宽度从30 m增加到80 m,工程造价增加了约3 000万,封锁概率下降了0.4。反过来,如果跑道宽度不变,要提高封锁概率0.4,则需要提高打击武器的精度,从图4(b)、(c)中可以看出,增加封锁概率0.4,抛撒半径需从50 m增加到300 m,CEP需从300 m提高到40 m,这2个指标对子母弹来说需要付出昂贵的研发和直接成本。

4 结束语

随着战争模式的发展,在进行机场设计时,必须要考虑防护的因素。本文采用子母弹封锁跑道的原理,建立了特定条件下跑道宽度与封锁概率之间的数学模型,分析了跑道宽度对封锁概率的影响以及增加跑道

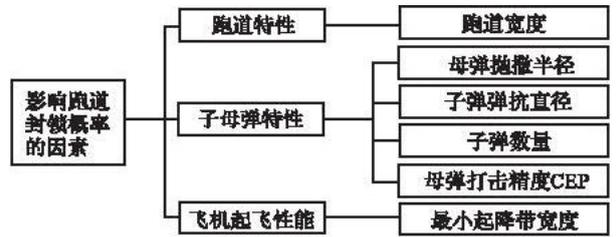


图3 影响跑道封锁概率的因素

Fig. 3 Influencing factor of runway blockage probability

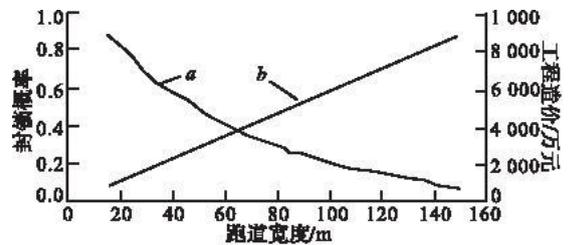


图5 跑道宽度与封锁概率和工程造价的关系

Fig. 5 Relationship of runway width and blockage probability and project cost

宽度降低封锁概率的经济性,提出了在跑道宽度设计中应考虑防护因素的理念。

本文的研究尚在理论分析阶段,只是定量分析了特定条件下封锁概率与跑道宽度之间的关系,定性地提出了封锁概率和跑道宽度之间的关系,如果要在跑道平面尺寸设计中考虑封锁概率的影响,还需进一步研究,将封锁概率的影响数值化,以便直接应用于设计中。

参考文献(References):

- [1] 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 planning and environment protection[M]. Beijing:China build & industry press,2000. (in Chinese)
- [2] William Todd, Allen Harvey, Frank Lewis. Modeling runway damage and repair using the simulation of linear interdiction, cratering, and repair (SLICR) model[R]. ADA 447981,2005.
- [3] Lum,Zachary A. New concepts in precision air-to-ground targeting[J]. Journal of electronic defense,1993,16:32-36.
- [4] Maj James Riggins. The need for autonomous standoff weapons in airfield attack missions[R]. ADA 293645,1994.
- [5] 殷志宏,崔乃刚. 空地导弹对机场封锁作战建模与仿真[J]. 系统仿真学报,2008,20(3):583-585.
YIN Zhihong,CUI Naigang. Airfield blocked modeling and simulation of air-surface missile[J]. Journal of system simulation, 2008,20(3):583-585. (in Chinese)
- [6] 黄龙华,冯顺山. 封锁型子母弹对机场的封锁效能[J]. 弹道学报,2007,19(3):49-52.
HUANG Longhua,FENG Shunshan. Interdiction effectiveness of interdiction submunition on airport[J]. Journal of ballistics, 2007,19(3):49-52. (in Chinese)
- [7] 任继业,陈明. 基于概率的兵力部署模型[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2007,8(5):45-47.
REN Jiye,CHEN Ming. A research on the strategy stochastic force disposition model based on probability[J]. Journal of air force engineering university:natural science edition,2007,8(5):45-47. (in Chinese)
- [8] Liu A M M,Leung M Y. Developing a soft value management model[J]. International journal of practice management,2002, 20:341-349.
- [9] Scott,William B. High demand stretches NRO intelligence assets[J]. Aviation week & space technology,1993,138:49-52.
- [10] Scott,William B. USAF considers laser radar system for low-cost bomb guidance package[J]. Aviation week & space technology,1992,136:59.
- [11] 黄灿华,刘晓军. 机场施工与管理[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
HUANG Canhua,LIU Xiaojun. Airport construction and management[M]. Beijing:China communication press,2002. (in Chinese)
- [12] 翁兴中,蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
WENG Xingzhong,CAI Liangcai. Airport pavement design[M]. Beijing:China communication press, 2005. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Analysis Effect of Blockage Probability to Width Design for Runway

CHONG Xiao-lei¹, MENG De-shan¹, YIN Xiao-jun², WANG Hai-fu¹, ZHANG Luo-li¹

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Logistics Department of Lanzhou Military Region Air Force, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The current method of runway width design is based on requirement of airplane, and don't consider how to reduce the blockage probability of runway when runway attacked by enemies. So the paper analyses the process of blockage runway by sub-munitions missile, and build model of blockage runway about runway width. Then through analysis the process and model, the major factors that will influence the blockage probability of runway is got. Based on relations between influence factors and blockage probability, the relationship between the blockage probability of runway and runway width is got under special condition. At last, the paper contrasts the economy of adding runway width and reducing the blockage probability of runway, then puts forward the concept applied defense factors in runway design

Keyword: runway width; blockage probability; sub-munitions