

中国土木工程学会防护工程学会
第一届理事会第二次学术年会

論文集

一九九〇年八月

TU·S/2

中国土木工程学会防护工程学会
第一届理事会第二次学术年会
论 文 集

一九九〇年八月

中国土木工程学会防护工程学会
第一届理事会第二次学术年会论文集

主 编 殷之书

副 主 编 陈肇元

钱七虎

孙 钧

黄彬业

杨俊伟

责任编辑 詹 森

编 辑 任玉光

李孟秋

徐明利

装帧设计 刘德荫

前 言

中国土木工程学会防护工程学会第一届理事会第二次学术年会于1990年8月7日至14日在山西五台县召开。本次年会，旨在总结近年来防护工程建设及各专业领域的重要成就与成果，交流防护工程各学科之间带有共性的学术问题，提高防护工程的科技水平。

本论文集的论文是由本届理事会和下属六个专业委员会分别征集、遴选，经常务理事会审定后编入的，共56篇。这些论文在本论文集中按照各自推荐的委员会的专业性质分成六个部分。由于学科的交叉，列在某一部分的论文有不少是与其他部分相通的，论文排列的先后顺序与论文的水平 and 重要性无关。

限于论文集的篇幅，对论文的字数作了严格的限制，有的不得不作出某些删节。由于本论文集为公开发行，具有较高水平而不宜公开发表及因交稿时间超过规定期限的论文，均未列入本论文集，在此一并致歉。

总参工程兵科研四所一、三室对本论文集的出版，给予了热情的支持和帮助，谨致谢意。

中国土木工程学会防护工程学会

一九九〇年八月

目 次

系统工程在防护工程中的应用

核袭击下机场工程生存概率分析·····	胡煜松 刘 朝 (1)
常规武器袭击下机场工程生存概率分析·····	许翰才 (8)
关于加强防护系统工程研究与应用的初浅看法·····	黄日德 (16)
阵地设防工程作战价值指数的研究·····	史维汾 沈德家 (21)
市级人防发展趋势的系统动力学模型及仿真分析 ·····	程立国 张兴基 张学增 张友敏 袁正如 余有山 (28)
核条件下工业经济系统防护研究的若干课题·····	刘光寰 程立国 (33)
疏散问题和疏散模型的研究·····	吴洪江 (42)
城市核大火毁伤分析·····	林润德 (50)
国外战略指挥工程体系建设研究现状及发展预测·····	何唐甫 马恩山 (56)

抗爆结构和工程抗震

钢筋混凝土板壳结构动力有限元非线性分析·····	王 跃 沈聚敏 (62)
爆炸荷载作用下钢筋混凝土构件的力学模型·····	邢秋顺 陈肇元 (69)
冲击波作用下浅埋结构顶板荷载的机理分析·····	江水德 陈肇元 苗启松 (75)
冲击荷载作用下门框墙内力计算探讨——两自由度弹塑性模型 ·····	宋伯铨 陈建飞 (83)
地下工事破坏度系数的建立与破坏等级的评判·····	朱焕金 (93)
岩(土)中结构动力反应的分解分析法·····	田志敏 熊建国 杜修力 (99)
地下洞室群构筑过程及其稳定性分析的有限元模拟 ·····	周早生 刘金荣 郑谄平 (110)
岩石坑道的破坏分析及围岩加固·····	黄建忠 (118)
冲击波爬山的计算与三维图形显示·····	吕枝海 (121)
非承重结构抗震措施·····	宋立益 王玉章 张连城 (132)
柔性地基上柔性工事的抗爆动力可靠度计算·····	吴逸群 杨科之 (142)
人员抗震标准探讨·····	张光文 (146)
核冲击波作用下工业高炉与焦炉的破坏压力表征值·····	王年桥 赵洪顺 (157)
土动应力应变关系野外试验研究的初探 ·····	王承树 严东晋 杨 达 李来贤 (165)
美国85年版“抗核武器设计手册”中两个值得商榷的问题·····	钱七虎 方 秦 (172)
混凝土拱坝抗震性能的初步分析·····	霍永基 陈斌林 (183)
关于综合反射系数的研究·····	王双进 江水德 (191)
钢——混凝土复合厚板的有限元静动力分析·····	焦建军 李翼祺 (198)

铁路长隧道破坏阈值·····	王悦新 (216)
----------------	-----------

工程对常规武器的防护技术

航、炮弹破坏作用计算中介质等效换算时应遵守的原则·····	姚正伦 商希林 (223)
未来的常规战争对防护技术的总需求·····	沈德家 修学纯 尹永山 (227)
相对平面波概念及“ ξ -n”设计方法·····	曾宪明 (232)
复合材料夹层结构的有限元分析·····	晏麓辉 施元龙 (237)

试验设备和量测技术

土中速度传感器的动力匹配问题·····	俞儒一 王永根 (244)
金属丝爆炸动态压力测量需要考虑的问题·····	欧仲清 (250)
孔隙水压力传感器动态特性模型、设计与试验·····	汪恩清 张玉生 (258)
适用于超动态测量的应变测量仪·····	汪世亮 (265)

内部设备和防护设备技术

超高强钢管混凝土高抗力防护拱门试验研究·····	冯文林 (271)
新一代飞机掩蔽库防护设备技术初探·····	陈震元 刘 朝 姜国良 (279)
胶管防爆波活门·····	阎家智 胡圣伟 (284)
地下工程防护设备技术发展的初探·····	杨俊伟 姚恩有 (294)
高应变率下钢管塑性大变形与吸能率的研究 ·····	曾首义 陈 斌 文树春 晏麓辉 (297)
防护工程地面洗消给水问题探讨·····	徐忠勇 (302)
热泵氯化锂除湿系统的初步研究·····	刘春华 (305)
工程防 NEMP 几个重要问题的讨论·····	黄彬业 (314)
核电磁脉冲条件下防护工程的电气接地·····	刘 敬 李德钜 (318)
核电磁脉冲对防护工事自然防护层的穿透·····	周璧华 陈 彬 (323)
核电磁脉冲干扰的防护技术·····	华 鸣 (328)
防护工程内部环境与人体反应的实验研究 ·····	程宝义 赵 敏 郭海林 赵景伦 忻尚杰 (335)
氯化锂稀溶液常压下空气再生浓缩的试验研究·····	黄祥夔 (341)

人防工程建设及和平时期地下空间的开发利用

核爆情况下防空地下室与外部管线的相对运动及其接合构造·····	孙 钧 (348)
概率极限状态设计法在人防规范中的应用·····	刘泽圻 (359)
核爆冲击波作用下剪力墙结构的倒塌研究·····	王志浩 苗启松 陈肇元 (365)
冲击波作用下砖混房屋倒塌动力分析·····	王小虎 陈肇元 (374)
地下商场通风空调设计中若干问题分析·····	艾青云 (384)
开发地下空间大有可为·····	张炳才 (389)
《人防工程设计规范》修改中的几个问题·····	徐剑苗 赵国臣 王仲尧 (396)

核袭击下机场工程生存概率分析

胡煜松 刘 朝

提 要

本文按系统工程理论,采用确定概率型数学模型进行电算,提出在想定敌使用核武器袭击下,分析现有机场工程生存概率的方法。其要点是:以想定作战方式为背景,确定各类目标毁伤标准。根据想定的当量和爆炸方式,优选爆心投影点,并考虑圆概率偏差的影响,作各项主要工程目标的毁伤概率计算,经过加权数理统计,求得这一机场工程的集群目标毁伤概率。从而,解得该机场工程的生存概率。

文章中介绍的方法,可对现有机场工程的生存概率进行评估,并与常规武器的作战模拟模型方法一道,能对新建机场工程规划布局提出较为合理的方案。

一、概 述

现代化的战争是立体战争,作战双方一开始都将展开争夺制空权的斗争,谁掌握了制空权,谁就掌握了战争的主动权。空袭与反空袭是夺取制空权的重要组成部分。而袭击对方机场,炸毁跑道,阻止其飞机起飞,进而破坏飞机以及其它设施是争夺制空权的主要方法。过去的中东战争、越南战争和马岛之战例充分表明了这一点。因此,机场在争夺制空权的斗争中具有重要的作用。

机场是保证航空兵部队遂行战斗任务和平时训练的基地,也是在未来战争中敌袭击的主要目标。机场在未来战争中究竟能毁伤到什么程度,亦即它们的生存概率有多大?这在实际上一火力对抗的复杂演变过程,也是一非确定型的动态随机过程。本文仅就核武器袭击下研究机场工程生存概率。为简化问题,将这一非确定型的动态随机过程简化为确定概率型的数学模型来进行计算分析,现介绍于后。

(一) 机场工程生存概率分析原理

采用确定概率型数学模型。由于机场工程是一个集群目标,所以其平均毁伤概率的数学表达式为:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n K_i P_i \quad (1)$$

式中: P_i 为第 i 项工程(目标)的毁伤概率;

K_i 为第 i 项工程(目标)的权系数。

则机场工程的生存概率为:

$$S = 1 - \bar{P}$$

(二) 权系数的确定方法

机场工程各目标的权系数 K_i , 按专家评估和层次分析法确定^[2]。层次分析法的要点是,首先根据机场内各主要工程目标的特性和隶属关系,构成一个多层次分析模型见图1。以专家

机场工程

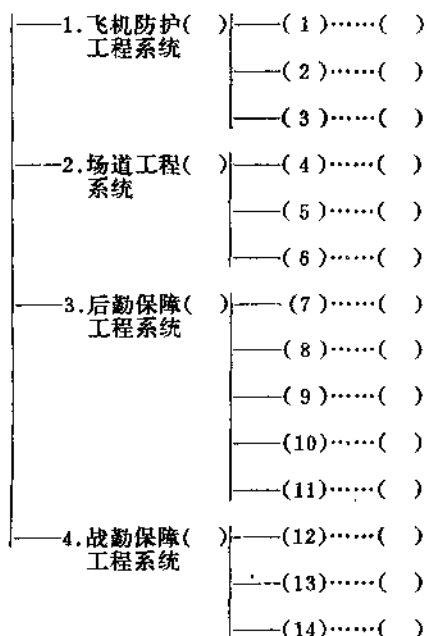


表 1 工程目标价值量化表

序号	含 义
1	该目标重要性一般
2	介于1~3之间(中值)
3	该目标比较重要
4	介于3~5之间(中值)
5	该目标明显重要
6	介于5~7之间(中值)
7	该目标强烈重要
8	介于7~9之间(中值)
9	该目标极端重要

注：表中序号值由专家按照图1工程项目的 重要程度填写进 层次结构分析图的括号中去。

图 1 机场主要工程示意分层结构权值评分图

评估法确定多层次分析模型中每一层次各因素重要程度的量化值(量化标准见图表1^[3]),并据此构成判断矩阵;采用和积法计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量(具体算法见后),从而得出某层元素相对于上一层某元素的相对重要性权值,最后可解得最低层各因素相对于最高层次的相对重要性权值,此即为机场内各主要工程目标的权系数。

机场主要工程项目示意分层结构权值评分如图1;工程目标价值量化见表1。

用层次分析法中的和积法计算下列判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量。例如:设第二层次第一项飞机防护工程系统为B(见图1),则第三层次(1)项工程为 b_{11} , (2)项工程为 b_{21} , (3)项工程为 b_{31} ,此时判断矩阵为:

$$\begin{array}{c|ccc}
 B & C_1 & C_2 & C_3 \\
 \hline
 C_1 & b_{11} & b_{12} & b_{13} \\
 C_2 & b_{21} & b_{22} & b_{23} \\
 C_3 & b_{31} & b_{32} & b_{33}
 \end{array} \quad (3)$$

$$\text{且 } b_{11} = b_{22} = b_{33} = 1, \quad b_{12} = \frac{1}{b_{21}}, \quad b_{13} = \frac{1}{b_{31}}, \quad b_{23} = \frac{1}{b_{32}};$$

第一步:将判断矩阵每一列正规化

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{k=1}^3 b_{k1} &= b_{11} + b_{21} + b_{31} \\
 \bar{b}_{11} &= b_{11} / \sum_{k=1}^3 b_{k1} \\
 \bar{b}_{21} &= b_{21} / \sum_{k=1}^3 b_{k1} \\
 \bar{b}_{31} &= b_{31} / \sum_{k=1}^3 b_{k1}
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

同理

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^3 b_{k2} &= b_{12} + b_{22} + b_{32} \\ \sum_{k=1}^3 b_{k3} &= b_{13} + b_{23} + b_{33} \\ \bar{b}_{12}, \bar{b}_{22}, \bar{b}_{32}, \text{ 和 } b_{13}, \bar{b}_{23}, \bar{b}_{33} \end{aligned} \right\} \quad (5), (6)$$

可得

第二步：正规化的矩阵按行相加

先将判断矩阵按列正规化写为，

$$\left. \begin{aligned} &\begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \bar{b}_{12} & \bar{b}_{13} \\ \bar{b}_{21} & \bar{b}_{22} & \bar{b}_{23} \\ \bar{b}_{31} & \bar{b}_{32} & \bar{b}_{33} \end{bmatrix} \\ \bar{W}_1 &= \sum_{j=1}^3 \bar{b}_{1j} = \bar{b}_{11} + \bar{b}_{12} + \bar{b}_{13} \\ \bar{W}_2 &= \sum_{j=1}^3 \bar{b}_{2j} = \bar{b}_{21} + \bar{b}_{22} + \bar{b}_{23} \\ \bar{W}_3 &= \sum_{j=1}^3 \bar{b}_{3j} = \bar{b}_{31} + \bar{b}_{32} + \bar{b}_{33} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

第三步：将向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3]^T$ 正规化

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^3 \bar{W}_j &= \bar{W}_1 + \bar{W}_2 + \bar{W}_3 \\ W_1 &= \bar{W}_1 / \sum_{j=1}^3 \bar{W}_j \\ W_2 &= \bar{W}_2 / \sum_{j=1}^3 \bar{W}_j \\ W_3 &= \bar{W}_3 / \sum_{j=1}^3 \bar{W}_j \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

则所求特征向量

$$W = [W_1 W_2 W_3]^T \quad (9)$$

第四步：计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$

$$\left. \begin{aligned} (AW)_1 &= b_{11}W_1 + b_{12}W_2 + b_{13}W_3 = W_1 + b_{12}W_2 + b_{13}W_3 \\ (AW)_2 &= b_{21}W_1 + b_{22}W_2 + b_{23}W_3 = b_{21}W_1 + W_2 + b_{23}W_3 \\ (AW)_3 &= b_{31}W_1 + b_{32}W_2 + b_{33}W_3 = b_{31}W_1 + b_{32}W_2 + W_3 \\ AW &= \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^3 \frac{(AW)_i}{3W_i} = \frac{(AW)_1}{3W_1} + \frac{(AW)_2}{3W_2} + \frac{(AW)_3}{3W_3} \quad (11)$$

则 C_1 的权系数为 W_1 ； C_2 的权系数为 W_2 ； C_3 的权系数为 W_3 ；其 B 的权系数为 $W_1 + W_2 + W_3 = 1$ 。类此求第三层次各项对相应第二层次各项的权系数求得后，再求第二层次各项对第一层次项的权系数 W_1' ；最后可得第三层次各项对第一层次项的权系数值(如图1中(1)项

工程的权系数即为 $K_{11} = W_1' \cdot W_1$ 。其它(2)、(3)……(14)项各项工程的权系数仿此类推。

(三) 机场内各主要目标毁伤概率计算方法

机场内各主要目标相对于集群目标来说,可近似看作点目标,现按点目标计算其毁伤概率。

1. 解析法

(1) 当瞄准点与目标中心重合时:

$$P_i = 1 - e^{-\rho^2 \left(\frac{R_i}{E}\right)^2} \quad (12)$$

式中: R_i 为第 i 项工程(目标)的毁伤半径;

E 为概率偏差,它与圆概率偏差(CEP)的关系式即 $1 CEP = 1.7458 E$; $\rho = 0.477$ 。

(2) 当瞄准点偏离目标中心时,即当 $R_i > r$ 时:

$$P_i = 1 - \frac{1}{2\pi} \text{EXP}[\rho^2(r_E^2 - R_{iE}^2)] \cdot \int_0^{2\pi} \text{EXP}[-\rho^2 \cdot (2r_E^2 \cos^2 \theta + 2r_E \cos \theta) \cdot \sqrt{R_{iE}^2 - r_E^2 \sin^2 \theta}] d\theta \quad (13)$$

当 $R_i < r$ 且 $R_{iE} \geq 3$ 时,

$$P_i = 1 - \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2X}} \text{EXP}\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (14)$$

$$\text{式中: } X = 0.67449 r_E - \sqrt{(-0.67449 R_{iE})^2 - 1} \quad (14-1)$$

当 $R_i < r$ 且 $R_{iE} < 3$ 时,

$$P_i = (0.67449 R_{iE})^2 / A \cdot \text{EXP}[-(0.67449 r_E)^2 / A] \quad (15)$$

$$\text{式中: } A = 2 + 0.5(0.67449 R_{iE})^2 \quad (15-1)$$

r 为瞄准点偏离目标中心的距离;

$$r_E = r / E; \quad (15-2)$$

$$R_{iE} = R_i / E. \quad (15-3)$$

2. 试验模拟法

采用蒙特卡洛法模拟求解。首先利用电子计算机本身的功能产生 $0 \sim 1$ 均匀随机数 X_1 和 X_2 , 并按下列转换公式求出 $(0, 1)$ 正态随机数 N_1 、 N_2 :

$$N_1 = \sqrt{\frac{-\ln X_1}{0.227468}} \cdot \cos 2\pi X_2 \quad (16)$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{-\ln X_1}{0.227468}} \cdot \sin 2\pi X_2 \quad (17)$$

由 N_1 、 N_2 可确定一个弹着点的坐标 (X, Y) , 为:

$$\left. \begin{aligned} X &= N_1 \cdot \frac{CEP}{1.746} \\ Y &= N_2 \cdot \frac{CEP}{1.746} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

然后判断此弹着点是否落入以目标为中心的毁伤区范围内,如落在此范围内目标就遭毁伤。如此重复 400 次,求得目标毁伤的频率,此即近似为目标毁伤概率。若目标的毁伤区呈圆形,则下式成立时,目标就遭到毁伤。

$$(X - \bar{X})^2 + (Y - \bar{Y})^2 \leq R^2 \quad (19)$$

式中: $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$ 为目标中心坐标。

(四) 机场内各主要目标毁伤参数及相应毁伤半径的计算方法

1. 毁伤参数计算方法

(1) 跑道混凝土四边板

$$\Delta P_d = K' A_1(t_1) \omega_1^2 m / K_d K_r \quad (20)$$

$$\text{式中: } A_1(t_1) = \frac{16 P_-}{\pi^2 m \omega_1^2} \left[\left(1 - \frac{t_1}{\tau} \right) e^{-a \frac{t_1}{\tau}} + \left(\frac{1+a}{\tau \omega_1} \right) \sin \omega_1 t_1 - \cos \omega_1 t_1 \right] \quad (20-1)$$

$A_1(t_1)$ 为板的最大弹性位移(m);

当 $\dot{A}_1(t_1) = 0$, 则可解得 t_1 时刻。

$$\text{方板为: } P_- = \frac{24 M_p}{a^2} \left/ \left[1 - \frac{8 K}{\pi^2 \left\{ \pi^4 D \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 + K \right\}} \right] \right. \quad (20-2)$$

$$\text{矩形板为: } P_- = 8 M_p \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{ab} + \frac{1}{b^2} \right) \left/ \left[1 - \frac{8 K}{\pi^2 \left\{ \pi^4 D \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 + K \right\}} \right] \right. \quad (20-3)$$

P_- 为四边板板的静极限荷载下限值(kPa);

ω_1 为四边板板的结构自振圆频率(I 振型)(1/S);

m 为板及其附加振动土基的单位质量(kg);

K' 为四边板板某破坏等级的超载系数;

K_d 为板结构的动力系数;

K_r 为综合反射系数(对跑道板 $K_r = 1$);

ΔP_d 为对应于四边板板毁伤参数的地面冲击波超压值(kPa)。

(2) 坑道头部工事

$$\Delta P_d = \left(K' \cdot \frac{q_d}{K_{h0}} \right) / K_r \quad (21)$$

式中: 除 ΔP_d 、 K' 、 K_r 含义同上式外, q_d 为头部工事的等效静载(kPa);

K_{h0} 为相应于屈服破坏时的荷载系数。

(3) 坑道动荷被复段

$$\Delta P_d = K' \cdot K_d \cdot P_m / K_{h0} + q_y \cdot e^{aH_f} / K_{d1} \quad (22)$$

式中: q_y 为岩(土)卸荷拱的承载能力, 可按有关规范进行(kPa);

P_m 为结构的设计抗力(kPa);

a 为岩(土)中压缩波衰减系数;

H_f 为自然岩(土)防护层厚度(m);

K_{d1} 为卸荷拱荷载动力系数;

其它含义同前。

(4) 坑道主体被复段

$$\Delta P_d = q_y \cdot e^{aH_f} / K_{d1} \quad (23)$$

式中: 各项含义同(22)式。

(5) 掘开式动荷被复段

$$\Delta P_d = \left(\frac{K_d \cdot P_m}{K_{\lambda 0}} \right) \cdot e^{a h} / K_{i i} \quad (24)$$

式中: h 为工事埋深(m);

$K_{i i}$ 为工事顶盖荷载综合反射系数;

其它各项含义同(22)式。

(6) 工事出入口防护门

$$\Delta P_d = \left(K' \cdot \frac{K_{\lambda}}{K_{\lambda 0}} \cdot P_m \right) / K_r \quad (25)$$

式中: K_{λ} 为相应于结构设计延性比(β)采用的荷载系数;

其它各项含义同前式。

2. 毁伤半径的计算

根据上节求得各项工事(或防护门)的 ΔP_d , 利用地面理想冲击波最大超压的爆高曲线, 求出给定当量、爆高下核弹对各自工事的极限破坏距离(R_m), 通过回归分析得到下列通式。

$$\text{地爆时:} \quad R_m = A + BQ^{\frac{1}{3}} \quad (26)$$

$$\text{空爆时:} \quad R_m = C + DQ^{\frac{1}{3}} + EH \quad (27)$$

式中: Q 为当量(kt);

H 为爆高(m);

A 、 B 、 C 、 D 和 E 为回归系数。

求解毁伤半径 $R_{zt}^{(1)}$

$$R_z = R_m / 1.4 \quad (\text{m}) \quad (28)$$

式中: R_z 为在指定当量、爆高条件下求得的距爆心(或爆心投影点)的距离(m), 且 $G(R) = 50\%$; R_m 含义同前式。

(五) 计算结果示例: 见图 2。

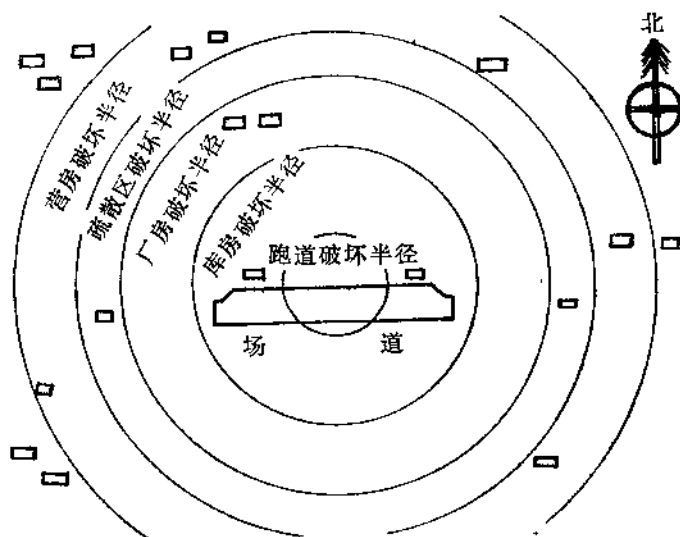


图 2 机场一些工程破坏半径示意图

(六) 结语

1. 通过对不同类型机场工程的毁伤计算, 结果表明: 防护工程基本配套的机场与无防护工程的机场相比较, 生存概率有明显提高, 表明了机场工程防护技术对航空兵战斗力的影响, 即机场工程生存能力的重要意义。

2. 随着核武器命中精度的提高, 对机场工程的毁伤概率呈增加的趋势。为此, 在规划建设机场工程中, 要注意利用地形, 合理布局, 充分发挥机场工程的总体综合防护措施, 才能有效地提高机场工程的生存概率。

3. 新建机场规划布局时, 按战技要求可先拟出机场内各工程点的粗略布置方案, 初定各项工程的设计抗力, 按照本文方法所示工作步骤, 求出机场集群目标的毁伤概率和生存概率, 如果达不到给定战术技术要求的生存概率, 就要重新调整工程目标的布局和调整目标抗力, 以期达到要求, 并与常规武器的作战模拟模型方法一道获得满足, 从而, 可论证出比较合理的布局方案。

参 考 资 料

- [1] 钱七虎、刘光寰、李伟纲编著, 阵地作战模拟中工事破坏面积的估算, 中国人民解放军工程兵工程学院, 1981年12月。
- [2] 赵焕臣、许树柏、和金生编著, 层次分析法, 科学出版社, 1986年。
- [3] 侯岳衡编写, 规划宏观决策模型, 中国人民解放军总参工程兵国防工程研究设计所, 1987年1月。
- [4] 轰炸兵力计算, 中国人民解放军空军指挥学院, 1986年。
- [5] 段汝泽编写, 武器的杀伤破坏半径, 《防护工程》1981年2期, 中国人民解放军89002部队。

常规武器袭击下机场工程生存概率分析

许翰才

内 容 提 要

本文依据系统工程原理采用确定概率模型进行计算机模拟, 提出在一般常规武器系统袭击下分析机场工程生存概率的方法。要点为: 假定敌机战损率数值以及飞机以小编队、多梯次、低空超低空进入, 携带各类航弹进行目标轰炸; 离散目标系统(实质上为一个集群目标系统)为多个互不相关的目标系统; 根据目标特点区分为封锁型面目标、欲压制型面目标、防护型点目标, 及其各自的毁伤标准; 用试验模拟法对单个目标作毁伤分析; 依据机场工程生存概率分析常规武器战术想定, 在求出各目标毁伤概率折算值(该值等于对目标毁伤概率计算值与该目标毁伤标准规定值之比)的基础上, 求出机场生存概率指数等。

文章中介绍的方法, 可对现有机场工程的生存概率进行评估, 可作为进一步研究机场在常规武器袭击下攻防转换能力时参考, 并与核武器的作战模拟模型方法一道, 能对新建机场工程规划布局提出较为合理的方案。

一、常规武器袭击机场工程的主要方式

在核威慑条件下的常规局部战争中, 即使使用常规武器, 破坏力也将比以往战争大大提高。在可能使用的各种突击机场方式中(飞机、空地导弹、地地导弹等), 使用飞机(主要是歼击轰炸机和战略轰炸机)携带各类航弹突击机场, 将会是主要方式。

由于机场工程是一个由不同硬度、不同功能、相互联系的子目标组成的目标系统, 因而对不同硬度、不同功能的子目标, 可能使用不同的航弹, 采用不同的突击方式, 以期取得最佳毁伤效果。主要有: 使用普通航弹低空短航路多方向突击; 使用特别穿甲弹(反跑道炸弹)超低空突击; 使用子母弹箱超低空突击; 使用精确制导炸弹突击机场内重要目标。

二、机场工程各部分的目标分类及其毁伤标准

要完成机场的任务, 实现其功能, 起关键作用的是飞机(包括保障设施)和飞行场地两大部分。下而便依据机场工程各部分的功能进行分类, 并同时提出各自的毁伤标准。

(一) 机场跑道系统——封锁型面目标

在现代战争中, 使用常规武器瞄准轰炸机场跑道时, 通常采用封锁机场跑道的方法。所谓完全封锁机场跑道, 是指跑道上的相邻弹坑间距均小于我飞机应急起飞时所要求的最小跑道长度及宽度。飞机应急起飞属于特殊情况, 一般允许飞机卸去外挂, 去掉副油箱, 以便减少载重。也可以采用发动机加力的办法。飞机起飞时, 对飞行员的技术水平要求相应提高, 其安全度有所降低。显见, 应急起飞时要求飞机跑道最小长度及宽度, 要大大小于正常条件

下的跑道长度及宽度。这种轰炸结果,会造成我飞机在短时间内不能起飞作战。由于目标的破坏牵涉到很多随机因素[1],弹着点的随机散布、武器系统故障的随机发生、瞄准点的测量误差、防护工程破坏半径的随机变化等,所以对目标的破坏数量指标——效率指标,通常采用某个事件的概率或某个随机变量的平均值(数学期望值)来表示。可见,完全封锁跑道时,封锁跑道成功概率为1。如封锁跑道成功概率为0.8,则是指在袭击机场跑道这个随机事件中,进行100次时,封锁成功的次数可达到80次。封锁型面目标的毁伤标准,应属于目标失去功能,接近于摧毁目标的性质,即是指目标损伤得完全丧失战斗力,使之短期内不能再使用。对跑道而言,则是指跑道完全被封锁,落入跑道上相邻弹坑间距,约小于我飞机应急起飞时所要求的最小起飞与降落地带。根据苏联卫国战争的经验和后来的研究表明,可参考摧毁和破坏单个目标的标准,毁伤概率不低于90%[2]。现取封锁跑道成功概率0.8作为机场跑道的毁伤标准。并称机场跑道系统为封锁型面目标。该系统通常由主跑道、土跑道、应急起飞跑道及备用跑道组成。

(二) 停机坪、单机掩蔽库区、防空火力阵地——欲压制型面目标

停机坪、单机掩蔽库是为了停放和保存飞机;防空火力阵地应能抗击敌人对其它目标(亦包括自己)的袭击。敌人对上述目标的破坏,基本目的是要使这些目标受到一定程度的毁伤,从而暂时失去战斗力——或机动受到限制或指挥中断或无防空能力,起到压制作用。故称上述目标为欲压制型面目标。考虑到压制目标是指目标被损伤得暂时失去战斗力,即飞机(停机坪上或单机掩蔽库内)、防空火器发射装置机动受到限制或指挥中断,不能完成作战任务,参考[2],选取目标面积的可靠毁伤部分的数学期望值25—30%,作为欲压制型面目标的毁伤标准。

(三) 坑道工程——防护型点目标

坑道工程有坑道式机库、地下指挥所、油库、弹药库及航材库等。坑道工程通常由主体与口部两部分组成。坑道主体具有较厚的自然防护层,防护能力高,可以抵抗大口徑航弹的直接破坏作用,我们称之为防护型工程目标。坑道工程口部防护能力差,又比较暴露,将成为常规武器袭击的对象,因此,袭击坑道工程实际上是指袭击坑道口部。这样坑道工程又称为防护型点目标。欲达成摧毁和破坏单个目标,毁伤概率不低于90%。当坑道工程有2~3个出入口时,口部同时毁伤的概率为各口部的毁伤概率之积,且将该值作为坑道工程的毁伤概率。这样,便将0.7~0.8作为坑道工程严重毁伤标准。

三、常规武器袭击下机场工程生存概率的分析方法与步骤

(一) 主要分析方法

1. 机场内主要目标有三类,数量数十个,可能形成数种目标系统方案,但不管哪一种方案,均构成一个综合的地面目标系统。在敌常规武器系统袭击下,敌我两个系统之间对抗的结果,将使敌机数量依一定的战损率逐步减少,也将使我防空火力及我战斗机应急升空作战能力逐步减弱。这一对抗过程,实际上是一个非确定型的动态过程。为简化问题,我们假定敌机战损率数值,这样,可把对机场进行毁伤分析简化为:地面一定的目标系统承受一定数量常规兵器袭击下的毁伤分析。

2. 离散机场内目标系统,使常规武器在瞄准轰炸时,机场内各个目标的毁伤为互不相

关, 只要求出单个目标在常规武器袭击下的生存概率折算值, 参考其它参数, 机场工程总的生存概率指数便可求得。一定常规武器袭击下目标的生存概率为:

$$Q_K = 1 - P_K \quad (1)$$

式中

P_K ——武器系统对目标的毁伤概率, 其值为:

$$P_K = P_d \cdot P(h) \cdot P(k/h) \quad (2)$$

P_d ——武器系统对目标的发现概率;

$P(h)$ ——武器系统对目标的命中概率;

$P(k/h)$ ——武器系统对目标命中条件下的毁伤概率。

实际计算中, 可假定 $P_d = 1$ 。对目标一发航弹直接作用下为严重毁伤时, 则 $P(k/h) = 1$ 。对封锁型面目标 $P(h)$ 可由封锁跑道成功概率代替。防护型点目标 $P(h)$ 由 $P_{\mu, r}$ 代替。 $P_{\mu, r}$ 为 μ 个编队条件下(如前所述, 敌机袭击一个目标通常要出动 1~2 次, 每次出动率约为 70%, 当出动 1 次时, 我们称为“一个编队”; 如出动两次, 则称为“两个编队”), 第 r 次模拟(对每个编队都要模拟很多次, 这里指其中的 r 次)目标的命中概率为:

$$P_{\mu, r} = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega}\right)^{m_r} \quad (3)$$

式中

m_r —— μ 个编队第 r 次模拟命中目标总弹数;

ω ——目标的平均必须命中弹数, 其值为口部总面积——点目标计算面积, 与口部落弹结构受到严重毁伤时的致命面积比值。

该式来源见[1]。

3. 机场工程平均生存概率指数为

$$Q = \sum a_i Q_{K_i} \quad (4)$$

式中

Q_{K_i} ——第 i 个目标的生存概率指数;

a_i ——第 i 个目标的权系数, 按专家评估和层次分析法确定, 求法及结果见[3]。

4. 影响常规武器对目标命中概率或封锁成功概率的因素很多, 例如敌机架数、编队数、进入角度、飞行高度、飞行速度、弹串长度、投弹概率偏差、航弹破坏半径及目标物的尺寸等。这些参数中的大多数可采用经验数据或通过计算求得。弹着点的分布可用高斯正态分布规律来描述, 即

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

$$(-\infty < x < \infty)$$

$$\sigma > 0$$

该式见[1]。

5. 误差精度估计。利用试验模拟法求解上述问题, 实质上是进行一种试验, 最终以频率代概率, 因此, 求出的结果总会带有一定的随机性, 特别是模拟次数较少时, 随机性就更大一些。这就要求在用试验模拟法得到结果后, 必须对所求结果的精确度加以估计。其误差值可由下式求出。

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{P(1-P)}{C(1-\beta)}} \quad (6)$$

式中

P ——随机事件成功的概率；

β ——置信度；

C ——模拟次数。

该式可参见[4]。

采用某一随机变量数学期望的估计值方法，须求出 n 次抽样平均值的均方差 σ_n ，它与一次抽样均方差 σ_1 有如下关系：

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

同样 σ_n 与 C 有密切关系，为

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\frac{1}{C} \sum_{r=1}^C P_{\mu r}^2 - P_{\mu}^2}{C-1}} \quad (8)$$

式中

P_{μ} ——毁伤概率的平均值。

该式可见[5]。

6. 目标函数的确定

军用机场主要目标达到严重毁伤时所需敌机数与航弹数。假定其必要的参数，求出单个目标受毁伤且达到毁伤标准时，敌所需飞机架次和航弹数，按各目标毁伤时互不相关的原则，求出集群目标所耗飞机架次和航弹数；依据一定的战术技术想定，求出机场主要目标受到袭击时，机场生存概率指数；在考虑对抗的条件下，求出攻防转换的有关指数。

(二) 主要步骤

对上述三类目标都可以用解析法及模拟法求解，现以封锁机场跑道为例，简要介绍用模拟法的步骤。

1. 确定瞄准点的个数、位置、建立坐标系。

2. 模拟弹着点，一个编队对某瞄准点的袭击，全部弹着点的模拟通常分四步。第一步产生一个编队的弹着中心位置 $X'_{\mu} Y'_{\mu}$ ，即利用计算机的功能或计算机算法，产生 0—1 均匀随机数 x_1, x_2 ，再用转换公式求出 (0,1) 正态分布随机数 N_1, N_2 最后产生符合这种条件的弹着中心位置。即

$$\begin{cases} X'_{\mu} = -\sqrt{-2\ln x_1} \cos(2\pi x_2) \sqrt{r} E_x \\ Y'_{\mu} = \sqrt{-2\ln x_1} \sin(2\pi x_2) \sqrt{r} E_y \end{cases} \quad (9)$$

式中

r ——相关系数；

E_x, E_y ——概率偏差。

第二步计算每个弹着点的推算位置。计算时，可将每枚航弹由一个二维数组 (U, V) 统一编号，其中 U 表示弹着点列数 (自左向右计数)； V 表示弹着点的行数 (自后向前计算)，则每