

# 军用运输机运输效能指标

## Indexes of Airlift Effectiveness for Military Aerotransport

郑江安 / 中国航空工业发展研究中心航空总体论证实验室

**摘要:** 给出了运输任务类型和运输效能定义,从效果与耗费两方面着手建立了运输效能指标体系,将运输效能归纳为安全性、质量或体积、距离、准确性、时间、场地、人员、设备及费用等9种因素,在确立各个因素运输效能单项指标的基础上提出了一种运输效能综合指标,以四种典型运输任务为例,建立了常用的运输效能指标。

**关键词:** 军用运输机; 运输效能; 指标体系; 运输任务

**Keywords:** military aerotransport; airlift effectiveness; index system; airlift mission

### 0 引言

军用运输机是指用于空运兵员、装备、物资并能空投空降的飞机。军用运输机具有快速、远程、机动的特点,这使其成为战争初期战略开进和快速部署的重要支柱、战争期间后勤保障和远程支援的主要工具、战争末期机动转移和及时撤离的重要力量,它又是发展预警/指挥机、电子战飞机、加油机等特种飞机的理想平台。因此,评估军用运输机的运输效能十分必要。

在军用飞机效能评估领域,多数研究集中在飞机作战效能评估方面,特别是针对战斗机、轰炸机和直升机的对空对地作战<sup>[1-2]</sup>,而对军用飞机运输效能的评估工作很少。

效能评估的第一步是建立指标体系。为了评价和比较不同武器系统或不同作战行动的优劣,用于度量武器装备效能的定量尺度被称为效能指标。本文参考军用飞机作战效能、民航运输效能以及车辆运输效能的相关研究成果<sup>[3-4]</sup>,建立军用运输机的运输效能指标体系,为今后开展军用运输机的运输效能评估工作打下基础。

### 1 运输任务分类

军用运输机能够执行多种任务,可以按不同的因素进行分类。按着陆方式分为:着陆,空降,空投。按运输对象分为:兵员,物资。按运输距离分为:战略,战术。按紧急程度分为:一般,快速。按运输兵力分为:单机,编队。按运输作用分为:集货,配送。按运输环节分为:一站式,多站式。运输分类可按上述任意两种因素进行组合,如着陆兵员、空降物资等。

### 2 运输效能指标体系

运输是指人或物的载运及输送,人和物统称为运输对象,运输以改变运输对象的空间位置为目的。

运输效能(airlift effectiveness)是指运输系统在给定作战环境下,完成运输任务的效果。

如图1所示,运输效能指标体系包括执行运输任务所取得的效果,以及为取得这些效果而耗费的资源。运输效果包括运输对象的质量和体积,移动距离,空投或空降的准确性以及运输安全。运输耗费包括进行运输的场地、人员、设备和经济费用。运输时间既是运

输所耗费的资源又是追求运输任务准时性和快捷性的需求。

#### 2.1 运输效能单项指标

按照运输任务所涉及的主要因素,建立了两层运输效能单项指标,见表1。

#### 2.2 运输效能综合指标

从运输效能的最终表现形式上来看,可用距离、质量、安全性、准确性等四者的乘积作为分子,而用其他耗费的资源作为分母,给出综合运输效果,也可以用相对值或概率值表示每一项指标的完成程度。

1) 安全性指标为

$$k_s = P_0(1 - P_e)(1 - P_n) \quad (1)$$

其中 $P_0$ 为系统自身的可用性与可信性, $P_e$ 为敌方毁伤我方运输机成功破坏运输任务的概率, $P_n$ 为自然环境破坏运输任务的概率。

2) 质量或体积

假设装载率为 $k_{m1} = \frac{m_L}{m_\Sigma}$ ,投放率为

$$k_{m2} = \frac{m_p}{m_L}, \text{ 损失率或差错率为 } k_{m3} = \frac{m}{m_p}。$$

其中 $m_\Sigma$ 为运输机最大载重能力, $m_L$ 为实际装载质量, $m_p$ 为实际投放物资或人员的质量, $m$ 为成功投放到地面的未损坏的物资或人员的质量。



为完成运输任务所需的机组人员、地勤人员、指挥控制人员等。

#### 8) 设备

为完成运输任务所需要的运输机、护航机、起降设备、维护设备、维修设备的数量与性能。

以上三项在战争时期要单独计算,在和平时期均可转化为费用,与第9项合计。

#### 9) 费用

如果已知完成给定任务的最小费用,那么用它与实际产生的费用的比值来权衡完成任务的经济性,表示为:

$$k_c = \frac{C_{\Sigma \min}}{C} \quad (6)$$

可取上述各因素的乘积,得到一种运输效能综合指标:

$$P = k_s k_m k_R k_N k_r k_c \quad (7)$$

此外,美国空军大学的高级研究院给出了一种评估运输效能的综合指标 MTM/d (Million Ton-Miles per day)<sup>[5]</sup>,表示为:

$$\text{MTM/d} = \frac{\text{时间利用率} \times \text{速度} \times \text{有效载荷} \times \text{产率因子}}{10^6 \text{海里}} \quad (8)$$

其中“时间利用率”是指运输机每天期望飞行的平均小时数;“速度”是指从起飞到降落每飞行2500海里的平均速度;“有效载荷”是指每一类运输机计划运输的平均重量;“产率因子”计算了从战场空载返回到装载地的飞机数。

### 3 四种典型运输任务的效能指标

军用运输机作战使用的特点有:大批量使用,一般是以团或师为单位;使用战线较长,一般是要执行对敌后方或重要地区的空降任务;有多种停放形式,包括长期停放机场、主要停放机场和临时停放机场。

#### 1) 一般空运

通常选用成功运输到野战机场的

相对货物重量的数学期望作为效能指标,即:

$$e(\bar{n}) = k_s k_m \quad (9)$$

对于一般运输有  $m_p = m_L$ , 即  $k_{m2} = 1$ 。

#### 2) 空降伞兵

通常选用空降到指定区域内伞兵的相对人数  $e(\bar{n})$  的数学期望作为效能指标<sup>[6]</sup>。

$$e(\bar{n}) = P_i P_b P_c e(\bar{n}) \quad (10)$$

$$E(\bar{n}) = \frac{n}{n_L} \quad (11)$$

式中:  $P_i$  为运输机及时出发概率,反映了运输机主要停放机场、初始装载机场的指挥控制系统、航空技术保障系统的效能;  $P_b$  为运输机突防敌防空火力的概率,反映了在预先压制的情况下,机载防护设备和无线电对抗设备的效能;  $P_c$  为进入空降点的概率,反映了地面指挥系统和机载瞄准-导航系统的效能;  $E(\bar{n})$  为投入到指定区域中空降兵的相对人数;  $n$ 、 $n_L$  分别为投入到指定区域的空降兵人数与运输机在一次空降过程中所携带的空降人数。

#### 3) 空投物资

空投分为标准空投,高空空投和低空空投<sup>[7-8]</sup>。对于标准空投和高空空投,相比空降任务在舱外运动阶段有很多相似之处,效能指标与公式(10)、(11)相同,但在舱内运动阶段却不同;对于低空空投,舱外运动也不相同。因此,空降任务须多考虑一些效能指标。

定义距离函数  $D_i(x)$  来描述货台出舱过程中,货台上危险点  $i$  的轨迹包络线  $y_{di}(x)$  到飞机内壁上表面投影线  $y_c(x)$  之间的距离,即:

$$D_i(x) = y_c(x) - y_{di}(x) \quad (12)$$

其中自变量  $x$  表示货台相对地板滑行的距离,  $i = 1 \cdots N$ ,  $N$  为需要考察的危险点的个数。安全距离则定义为所有危险点的距离函数最小值集合中的最小值,即:

$$D_s = \min \{ \min(D_i(x)), i = 1 \cdots N \} \quad (13)$$

如果  $D_s$  小于阈值  $D_{s0}$ , 就认为货台会与机舱内壁碰撞,影响空投安全。

对于低空空投,要重点考察运输机的撞地概率,表示为:

$$P_{zd} = 1 - (1 - P_{zd1})(1 - P_{zd2}) \quad (14)$$

其中  $P_{zd1}$ 、 $P_{zd2}$  分别为大气湍流和地形变化引起的撞地概率。

#### 4) 空中加油

空中加油也是一种运输任务,只是此时的运输对象变为战斗机使用的燃油。运输机在加油区盘旋飞行,受油机伴随飞行,完成空中加油。当运输机中的燃油加完后将返回基地,装载油料。

通常选用加油位置  $r$  或加油时刻  $T^*$ 、受油机总需油量  $\Delta F_b$  作为运输效能指标<sup>[9-10]</sup>。例如,1架加油机给  $n$  架受油机加油的最佳加油位置由下式确定:

$$z^2 \left( \frac{W_c}{W_0} \right) + (z-1)(1+y^2+L+y^{n-1}) - y^{n-1} = 0 \quad (15)$$

$$z = e^{\frac{r}{K}}, y = e^{\frac{x}{K}} \quad (16)$$

$$K = \frac{V(Y/Q)}{c_e} \quad (17)$$

式中:  $W_0$  是飞机起飞重量;  $W_c$  是飞机到达目的地的重量;  $K$  为组合参数,  $V$  为空速,  $Y$  为升力,  $Q$  为阻力,  $c_e$  为燃油消耗率;  $r$  是受油机到达加油点前空中飞行的距离,也是加油机一次加油后返回原基地的距离,  $x$  是加油机给受油机加油后等待给下一架受油机加油的飞行距离。

### 4 结论

本文在军用飞机作战效能和民航、道路运输效能研究成果的基础上,结合军用运输机实际运输任务特点,建立了军用运输机运输效能指标体系,在分析指标体系涉及的9种因素的基础上给出了一种运输效能综合指标,并确立各个因素对应的单项指标,最后给出了一般

# 雷达箔条的特性及其战术应用

## Characteristics and Tactical Applications of Radar Chaff

冯云松<sup>1, 2</sup>/1 脉冲功率激光技术国家重点实验室 2 安徽省红外与低温等离子体重点实验室

**摘要:** 详细分析了箔条的有效散射截面、极化性能、频率特性、频谱展宽特性以及衰减特性等, 并在此基础上, 对箔条的战术应用方面进行了一定的探讨, 综述了雷达箔条的发展趋势。

**关键词:** 箔条; 雷达; 散射截面; 战术应用

**Keywords:** chaff; radar; scattering cross section; tactical application

### 0 引言

箔条是雷达无源干扰中的重要干扰器材,也是干扰雷达最广泛和最有效的手段之一。箔条主要有两种用途,一种是在一定空域中大量投撒,形成干扰走廊,以掩护战斗机群的通过。这时,如果在此空间的每一雷达单元中,箔条产生的回波功率超过飞机的回波功率,雷达便不能发现或跟踪目标。另一种是飞机或舰船自卫时投放的箔条,这种箔条要快速散开,形成比目标自身的回波强得多的回波,使雷达的跟踪转移到箔条云上而不能跟踪目标。

箔条干扰的实质是箔条在交变电磁场的作用下产生感应交变电流,而根据电磁辐射理论,这个交变电流要辐射电磁波,即产生二次辐射,从而对雷达起无源干扰作用。

从上世纪70年代末到80年代初,西方国家的箔条诱饵普遍采用镀银尼龙材料。后来,美国研制出效费比更高的镀铝玻璃丝,至今仍是制造箔条的主要材料。镀铝玻璃丝直径为 $18\sim 20\mu\text{m}$ ,镀一层厚为 $2\sim 3\mu\text{m}$ 、纯度为99%的铝,最后得到的偶极子的直径为 $25\sim 28\mu\text{m}$ 。镀铝玻璃丝最后还要进行“表面圆滑”

处理,使其在被切割成一定长度的箔条时变得更加圆滑,这样能够防止镀铝玻璃丝表面的氧化,保证箔条投放时的快速扩散和不粘连。尽管后来又发现了其他适于作箔条的材料,如炭丝、镍/锌镀层和可裂变的材料,但镀铝玻璃丝依然是目前应用最广泛和效费比最高的箔条材料。唯一的改进是将镀铝玻璃丝的直径减小到 $20\sim 23\mu\text{m}$ ,使得在给定的箔条干扰弹中能容纳更多的箔条<sup>[1]</sup>。

### 1 雷达箔条的基本特性

#### 1.1 箔条的有效散射截面

空运、空降伞兵、空投物资、空中加油等4种典型运输任务的常用效能指标。**AST**

#### 参考文献

- [1] 朱宝璠,朱荣昌,熊笑非.作战飞机效能评估[M].北京:航空工业出版社,1993.
- [2] 曹义华.直升机效能评估方法[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 刘天祥,田海,张志刚.汽车运输指挥效能评估指标体系研究[J].军事交通学院学报,2007,9(2):10-14.

[4] 匡敏.运输效率论[M].北京:中国铁道出版社,2005.

[5] Mcmillan A J. Measuring airlift effectiveness in the new millennium[R]. Maxwell AFB:School of Advanced Airpower Studies Air University,1999.

[6] Болховитинов О В,Иванов В В,Новожилов А А Боевые Авиационные Комплексы и Их Эффективность[M]. Москва:ВВИА,1999.

[7] 杨雪松,王乘,李振环.超低空投过程的仿真[J].华中科技大学学报,2003,31(4):108-110.

[8] 柯鹏,杨春信,杨雪松,等.重型货物空投系统过程仿真及特性分析[J].航空学报,2006,27(5):856-860.

[9] 洪冠新,金长江.空中加油调度的研究[J].飞行力学,1997,15(1):44-49.

[10] 贾忠湖,樊庆和,吕卫民.飞机空中加油任务剖面优化设计[J].飞行力学,2003,21(4):27-29.

#### 作者简介

郑江安,博士,高级工程师,主要从事军机效能评估与作战仿真研究。