

## 作戰區野戰防空武器數量需求模式建構

孟昭宇<sup>\*1</sup> 劉達生<sup>\*2</sup> 蘇恒生<sup>\*3</sup>

<sup>1,2,3</sup> 國防大學管理學院資源管理及決策研究所

### 摘要

在現代空襲與反空襲作戰中，交戰雙方武器裝備的作戰能力，對雙方的軍事實力有重要的影響。科學決策、量敵用兵是正確組織與建立作戰區野戰防空作戰的前提，也是進行作戰區野戰防空作戰兵力部署的基礎。本研究嘗試結合層級分析法、指數法與藍徹斯特平方律探討防空作戰時交戰雙方武器的需求數量，以層級分析法取得權重后，再結合指數法建立空襲方與防空方的作戰效能指數。依據防空作戰雙方的武器交戰特點建立空襲與反空襲的藍徹斯特平方律，求得滿足作戰效能指標的作戰區野戰防空武器裝備總效能指數。最後根據合理的裝備結構比例對總效能指數進行解聚計算，求得所需各型防空武器裝備的數量，可提供建構作戰區野戰防空作戰武器裝備需求估計的參考。

**關鍵詞：**野戰防空，效能指數，層級分析法，藍徹斯特平方律。

## Research on The Model of Equipment Demand for the Short Range Air Defense of the Theater of Operation

Jau-Yan Menq<sup>1</sup> Ta-Sheng Liu<sup>2</sup> Heng-Sheng Su<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Graduate School of Resources Management and Decision Science,  
Management College, National Defense University

### ABSTRACT

In the modern the air campaign and the anti-air campaign warfare, the capacity of operations of both sides, have the important influence for the bilateral military power. The strength demand is a basis for troops construction and manoeuvre, which are the precondition and the basis of the deployment of short range air defense of the theater of operation as well. This research attempts to unite the Analytic Hierarchy Process, the Exponential Method and the Lanchester Square Law to discuss the demanding amount of the air defense operations of these two engagements parties. After obtaining the weight of Analytic Hierarchy Process, we recombine exponential method to establish the operation efficient indexes of the air campaign and the anti-air campaign. First of all, we establish the Lanchester Square Law of those two sides, Based on the characteristics of the air defense weapons and the warring sides, to obtain the total efficiency index of satisfying operation weapons to meet the measures of

<sup>1</sup> 0935-618964 軍線:604897 E-mail: D741001@mail.ntust.edu.tw 孟昭宇教授

<sup>2</sup> 0982-521739 軍線:604897 E-mail: liu205@yahoo.com.tw 劉達生助理教授

<sup>3</sup> 0915-623125 軍線:604897 E-mail: herngsherng@yahoo.com.tw 蘇恒生研究生

combat effectiveness of the short range air defense weapons. Then , the needed amount of air defense weapons is calculated by total efficiency exponents obtained. Finally , a practical sample is given. The demanded amount of varies of the short range air defense weapons can be rapidly evaluated by the model . This study can provide the construction of short range air defense of the theater of operation in estimating the amounts of demands of weapons and equipments as a reference.

**Keywords:** Short Range Air Defense , Efficiency index , Analytic Hierarchy Process (AHP) , Lanchester square law

## 壹、前言

### 一、研究背景

縱觀 20 世紀 90 年代以來西方軍事強國進行的軍事入侵和干涉行動，包括 1991 年的波斯灣戰爭、1993 年對伊拉克採取的軍事打擊行動、1995 年對波黑塞族採取的「精選力量」軍事行動、1998 年 9 月對蘇丹、阿富汗採取的軍事行動，1998 年底對伊拉克採取的「沙漠之狐」軍事行動和 1999 年的科索沃戰爭，主要都是進行空中打擊，並且以空襲來達成戰爭的戰略目的。（禡法寶、張蜀平、王祖文、高媛，2008）。

彭希文、薛興林(2001)提到西方軍事強國認為，空襲力量是具有在敵方國土上空飛行和實施縱深打擊的力量，空襲作戰是可以決定性地改變雙方力量的平衡，可為實現戰爭目的發揮重要的，有時是決定性的作用。空襲作戰已成為高科技條件下局部戰爭的一種基本型態，這已是一個不爭的事實。

國防部「九十七年國防報告書」指出，共軍對台空中兵力運用係由防空飛彈系統及各型戰轟機組成，目前約 700 餘架各型戰機可不經落地整補即可遂行對台作戰。此外，尚有 200 餘架運輸機可用以支援空運作戰。其中，共軍空軍之精銳戰機及其購自俄羅斯的「蘇愷系列」戰機，大部分均部署在大陸東半部基地，戰時將可迅速對台實施空中打擊。

中共在「攻防兼備」的戰略指導下，積極強化海上作戰、夜間耐航及遠程奔襲等訓練項目，且強化自動化指管能量及夜間低空突擊戰力；此外，共軍於福建、廣東沿海機場增建「蘇愷」戰機後勤設施，提供該型機隨時機動進駐，藉密集訓練與機動部署調整，已明顯壓縮我防空預警時間，並對我空防威脅日益增強。

我國為因應及降低中共對我之威脅，藉由聯合防空統一管制運用三軍防空武器系統及指導防護等手段，以期早獲預警，合力摧毀敵空中進襲之目標，野戰防空為聯合防空作戰部署之最低接戰空域，不但須確保地面作戰部隊之自由與重要設施，同時也是「多層攔截」火力的最後一道積極防空及殲滅敵機之最後手段，發揮防空武器性能，確保防護重要資產與地面部隊遂行各階段作戰任務。

為了確保作戰區野戰防空作戰任務的完成，充分利用防空力量，根據防空作戰的任務要求，統籌部署或配置野戰防空兵力以滿足作戰區需求。

### 二、研究動機與目的

國軍目前野戰防空武器數量需求建議係採用經驗估算的方法，該方法依邱文昌（2005）所述是以各作戰區重要的防護目標（區域、要地或要點、機動）為主，運用野戰防空兵力部署原則及兵力運用原則，結合防空武器系統有效射程計算兵力部署涵蓋面積，來估算野戰防空武器需求數量。張恕仁（2002）指出我國野戰防空部隊編組，也參酌先進國家野戰防空部隊武器裝備與兵力編組發展，學習所長。僅列舉美國、日本、中

共的野戰防空部隊編組、防空武器、自動化指管系統及部隊配比等因子綜合分析，提供高層決策人員及作戰參謀作戰規劃參考。

本研究認為前述這些作法有以下不足：

- (一)依據野戰防空部署原則、有效射程及涵蓋面積估算需求數量，沒有考慮到作戰時雙方對抗過程所造成的戰損。
- (二)依據美國、日本、中共三個國家的野戰防空部隊編裝、防空武器、自動化指管系統及部隊配比等因子綜合分析比較估算需求數量。作戰區的野戰防空兵力需求，應要考量作戰區主要作戰部隊數量、作戰區地形、野戰防空武器性能及敵空中攻擊戰術戰法運用等因素，決定兵力結構之組織型態然後再分析需要多少人力、武器裝備，且各國的編裝結構是依據戰略構想而形成，故其編裝結構是否適合我國，實有異議。

因此如何建立一套考慮空襲方與防空方的武器裝備交戰過程中的損耗率及武器裝備系統的效能，彌補前述估算法的不足之處，作為野戰防空武器數量的需求模式，為本研究的動機。

本研究試圖考量空襲方與防空方的武器裝備作戰過程中的損耗率及武器的作戰效能，建立一套合理的野戰防空武器數量需求模式，估算我方作戰區野戰防空武器的需求數量，為本研究的目的。

### 三、研究範疇

- (一)本研究以作戰區野戰防空為主體探討地空作戰，在聯合防空構想下，只討論經過防空攔截機、中長程防空飛彈部隊防禦層之後地來襲武力。
- (二)本研究是考量空襲方與防空方的武器裝備作戰過程中的損耗率及武器裝備系統的效能，估算我方野戰防空武器的需求數量，若不考慮雙方交戰過程，則無法適用本研究的結果。

## 貳、文獻探討

### 一、戰爭系統層次結構與效能指標層次結構

戰爭可以視為一個龐大而複雜的系統。從系統論觀點看，戰爭中的不同層次，有相對應的研究對象、研究內容以及系統效能指標。效能指標係針對所探討對象與內容來設計或選用的量值，用以評估系統的優劣，作為比較與選擇的參考。

一般可以將戰爭系統區分為「作戰行動」與「武器系統工程與技術」兩大層級。前者是以人員與裝備結合的編制單位為基礎，探討不同作戰行動間的結果差異性；後者是以裝備為基礎，探討不同裝備特性之間的差異性。

#### (一) 防空武器系統的效能評量指標

為準確訂定防空武器系統的指標，需先瞭解戰爭系統層次結構（作戰行動）與指標的關係（表 1），雙方的防空武器裝備類型是屬於武器系統層次，其武器系統效能指標依表 1 可以歸類為能力指標（如命中率、機動、毀傷力…）可靠度（如故障率、平均故障間隔時間、平均工作時間…）可用度（直接可用性、作業可用性、…）等。

朱寶鑒等（2006）評估飛機作戰能力時，選取機動力、火力、發現目標能力、生存力和操作效能五個因素進行研究；王進耘、鄭晨、王玉岩、駱祺（2008）在評估空

襲兵器作戰效能標準化問題研究時，效能評估的指標體系主要因素為機動力、火力和生存力三個因素進行研究；肖元星等（2006）評估地面防空武器系統時，選取機動能力、打擊能力、防護能力和探測目標能力四個因素；唐松洁、路建偉、汪靚、吳昊（2006）異型防空武器標準化研究時，選取機動生存能力、火力毀傷能力和信息支持能力三個因素；汪靚、朱雪平、唐松洁、皮軍明（2006）在評估地空導彈火力單元作戰效能標準化問題研究時，效能評估的指標體系主要因素為機動力、火力和生存力三個因素進行研究，建立地空導彈火力單元指標體系；美國陸軍《裁判準則》FM105—5 中，則用火力、生存力和機動力三者求得武器指數。故本研究會透過文獻探討及相關武器系統準則的整理，初步確立防空武器效能評估指標架構，為符合實際需要及實務可行性，藉由專家問卷諮詢實務單位專家之意見，進行評估指標架構的修正及調整，建立防空武器效能指標層級架構。

## （二）防空作戰行動的效能評量指標

為準確訂定防空作戰行動的指標，需先瞭解戰爭系統層次結構（作戰行動）與指標的關係（表 1）本研究以作戰區野戰防空為主體探討地空作戰，首先是需瞭解雙方兵力的編成結構和裝備類型，透過作戰過程中防空武器裝備的損耗狀況，估算我方野戰防空武器需求數量，故作戰區防空作戰是大規模的陸戰屬於戰役層次，其作戰行動效能指標依表 1 可以歸類為毀傷（傷亡）率、作戰持續時間等效能指標。

關於防空作戰行動效能指標，曹澤陽、王穎龍、高虹霓（2003）及朱祝華、寧偉華（2008）都有針對區域防空作戰提出了空襲方損失率及防空方戰損率做為防空作戰行動效能指標體系衡量。故本研究會藉由文獻探討，採用戰損率作為空襲方與防空方的防空作戰行動效能指標。

表 1 戰爭系統效能層次結構

層級	層次	主要對象	內容概述	效能指標例舉
作戰行動	一	戰略 (Strategy)	戰爭	戰略物資消耗率、政治穩定性、民意支持度、財政支持度、國際支持（合作）度…
	二	戰役 (Operation)		依作戰「空間」不同區分之（如空戰、核戰、陸戰、陸空聯戰…）
	三	戰術 (Tactic)	含不同作戰「任務」的戰鬥（如維護航道、佈雷、密支…）	毀傷（傷亡）率、空間得失、作戰持續時間、C3I（兵力倍增係數）…
	四	戰鬥 (Duel)	軍種	任務達成程度（各軍種不同），如空軍支援地面作戰、戰場阻滯、反空戰（攻擊敵空軍基地）、偵察…均有不同效能指標
武器系統工程與技術	五	武器系統 (System)	兵器	作戰「單位」間的對抗（如戰機纏鬥、單艦反潛、火砲區域射擊…）
	六	子系統 (Sub-system)	武器系統獲得（含研發）	一對一戰鬥（如交換率、效能比-紅藍雙方勝率比…）多對多戰鬥（如交換率-戰損比、戰鬥效能比）
	五	武器系統 (System)	戰機、火砲、飛彈…	能力指標（如命中率、精確度、毀傷率等）、可靠度（如故障率、平均故障間隔時間、平均工作時間等）、可用度（直接可用性、作業可用性、備份可用性等）
	六	子系統 (Sub-system)		組成武器系統各子系統性能的量化描述。如通訊時間遲延、辨別率、發現率、位置估計精度等

	七	工程技術 (Eng.&Tech.)	雷達、紅外線、光電、 材料、構型...	物理(化學)等參數,可量測的 性能規格。如零組件尺寸、頻寬、 硬度、燃點等
--	---	----------------------	------------------------	---

## 二、作戰效能評估方法

效能指標是效能參數的量化表示。在簡單情況下，它可以是一個測得的物理量（如速度、射程）或根據測量結果直接計算出來的數值。然而在更多情況下，它是需要根據測量或模擬結果進行評估計算的量。劉達生（2007）指出在軍事作業研究軍事議題上可區分為多個層次，不同層次、不同的議題屬性，有不同的軍事模式可供選用，以下列舉部分：

- （一）在軍事戰略與國家安全議題，可以採用理查森軍備競賽模式對存在敵對關係的兩國或多國「軍費投資行為」進行探討；或採用藍徹斯特戰略模式進行國家戰略與戰術戰力的最佳化分配，作為國防資源分配的參考。也可以採用防禦幾何學對兵力部署與軍事互信機制進行探討。
- （二）在戰役層次上可以採用藍徹斯特交戰模式對多軍種聯戰進行評估（徐學文、王壽云，2001）、採用藍徹斯特平方律對戰區防空作戰進行評估（曹澤陽、王穎龍、高虹霓，2003）或採用定量判定分析法（Qualified Judgement Method Analysis,QJMA）（Dupuy, T. N. 1985）對大規模陸戰進行分析。
- （三）在戰術層次上，可以考慮採用高解析度系統模擬模式、定量判定分析法（陸戰）、藍徹斯特交戰模式、隨機過程（如 Markov Process）、排隊理論（防空議題）（韓松辰，2001）、搜索論（反潛議題）（Stone, L. D. 1989）等。
- （四）在武器系統效能評估上，有作戰殺傷指數（Operational Lethality Index,OLI）（Dupuy, T. N. 1985）、作戰模擬（張野鵬，2005）、隨機過程、機率模式、試驗統計法、專家調查法、指數法、層級分析法及其他作業研究方法。（張劍等，2000）、（郭齊勝等，2005）、（羅興柏等，2007）。

軍事議題研究方法的選用是因議題本身的屬性決定，而且相同問題往往有一種以上的方法可以選用作為分析工具。分析工具的選擇基本上也是建立軍事議題數學模式的一部份。

## 參、研究方法

本研究是結合層級分析法、指數法與藍徹斯特平方律探討防空作戰時交戰雙方武器的需求數量，首先透過文獻探討及相關武器系統準則的整理，初步確立空襲武器及防空武器效能評估指標架構，為符合實際需要及實務可行性，藉由專家問卷諮詢實務單位專家之意見，隨後就所得資料進行彙整分析，進行評估指標架構的修正及調整，再對實務單位專家實施層級分析法問卷調查取得權重后，結合指數法建立空襲方與防空方的作戰效能指數體系。依據防空作戰雙方的武器交戰特點建立空襲方與防空方的藍徹斯特平方律，求得滿足作戰效能指標的作戰區野戰防空武器裝備總效能指數。最後根據合理的裝備結構比例對總效能指數進行解聚計算，求得作戰區所需各型防空武器裝備的數量，可提供建構作戰區野戰防空作戰武器裝備需求估計的參考。

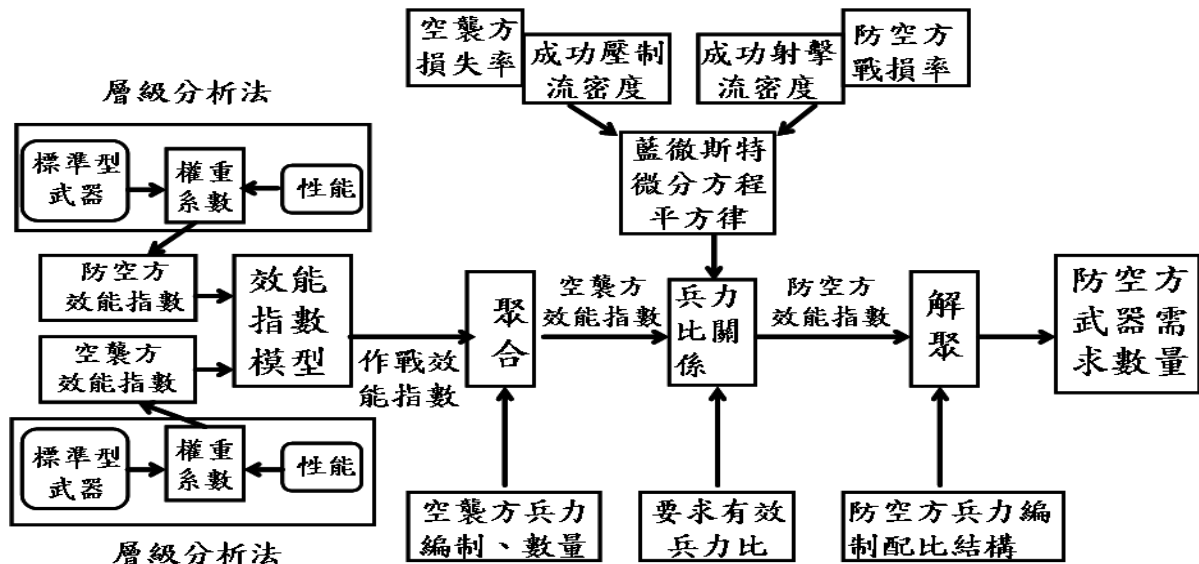


圖 1 研究模式架構圖

資料來源：整理自張最良等，（1993），頁 504、王巨海等(2005)，頁 5-9。

#### 肆、野戰防空武器數量需求模式建構

##### 一、防空武器系統效能指標體系建立

汪靚等（2006）、王進耘等（2008）提出防空武器作戰效能標準化是將典型的防空武器的作戰效能指數向選定的標準型武器轉化，其轉化的結果用於防空兵力需求的計算。標準化過程主要包括標準型防空武器系統的選擇、作戰效能指標體系的建立、指標權重的計算、性能指標參數的正規化和效能指數的解算的五個步驟如圖 2，運用加權演算法、冪指數法和層級分析法建模計算，最終得出雙方主要防空武器標準化效能資料，建立防空武器系統效能指標體系。為防空武器作戰效能的標準化提供了一種科學的研究方法，從而便於實施防空作戰資源需求分析和防空作戰資源作戰效能分析。

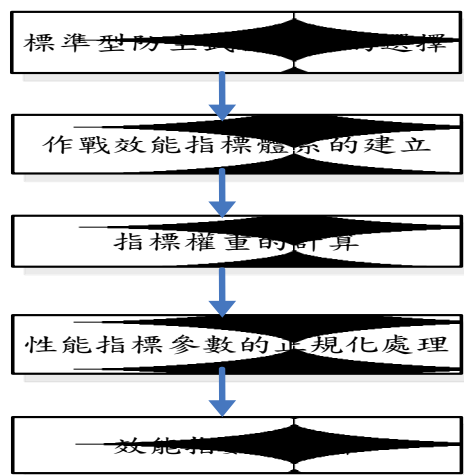


圖 2 防空武器系統效能指標體系建立流程圖

##### (一)標準型防空武器系統的選擇：

標準型武器應選取在各種防空武器中具有代表性的武器，即其戰鬥力指數處在

中上等水準，各項戰鬥性能指標具有代表性，不宜選取即將淘汰或已退出現役的武器，本研究主要是考量空襲與反空襲作戰過程中防空武器裝備的相對損耗狀況，選取防空作戰中具有代表性的武器是能夠在空襲方與防空方進行交戰時，雙方的戰鬥力是相當，考慮到以上因素，故選取紅軍 A 型戰鬥機與藍軍 B 型飛彈系統為標準武器。A 型戰鬥機是目前世界上綜合作戰效能最好的，主要負責空優任務。1998 年 9 月 1 日國產化的後首次試飛，並於 2000 年投入現役使用，紅軍的空軍共計裝備近 250 架，並在亞洲等許多國家和地區空軍服役，具有典型的代表性。B 型飛彈系統為藍軍陸軍的野戰防空武器，主要用來迎擊低空的敵機或者次音速的巡弋飛彈。1988 年獲得並於隔年完成正式成軍服務，並在亞洲等許多國家和地區陸軍服役，具有典型的代表性。

## (二)作戰效能指標體系的建立：

本研究在進行評估上，主要是分為兩個階段，第一階段是層級架構的建立（專家問卷），第二階段是層級架構的評估（層級分析法問卷）。首先，透過文獻探討及相關武器系統準則的整理，初步確立空襲武器及防空武器效能評估指標架構，為符合實際需要及實務可行性，藉由專家問卷諮詢實務單位專家之意見，隨後就所得資料進行彙整分析，進行評估指標架構的修正及調整。

### 1.研究樣本

#### (1) 研究樣本之選取

由於第一、二階段問卷都是建立空襲武器及防空武器效能評估指標，因此專家對象以國防大學陸軍學院、陸軍飛彈砲兵學校飛彈組及防砲組、防空砲兵訓練中心野戰防空裁判小組及南部部隊相關防空專長人員為對象（軍種包含陸軍及空軍）。

#### (2) 研究樣本基本資料

第一階段的專家問卷，共回收 15 份問卷，有效問卷 15 份，有效問卷率為 100%。第二階段的層級分析法（AHP）問卷，共回收 15 份問卷，有效問卷 13 份，有效問卷率為 87%。

### 2.專家諮詢問卷結果分析

本研究第一階段實證蒐集專家意見之目的，在於建構具有專家效度之空襲武器及防空武器效能評估指標模式。評估指標架構原則上分三個階層，第一層為目標層是空襲武器與防空武器效能指標，第二、三層為構面與評估指標主要由實務界之專家參與評定與提供意見。問卷採用二點量表方式呈現，分別為指標可用性之「適合」與「不適合」兩個選項，此外，各指標皆設有修正意見欄及建議指標欄如附件一、二。

實務單位專家訪談對象為陸軍、空軍之志願役軍士官。配合此訪談有八位中校、五位少校、一位士官長與一位雇員計 15 員。

由實務單位專家在防空作戰武器效能指標的考量下，空襲武器效能指標計有「抗電子干擾能力」、「電子干擾能力」兩項；防空武器效能指標計有「防空武器抗干擾能力」、「滿架掛彈作業時間」、「最小迴轉半徑」、「越壕寬」及「涉水深度」五項，共計七個項目是具不適用性，因此，本研究將這七項評估指標項目予以剔除如表 2、表 3。

表 2「空襲武器效能指標」層級分析架構分析表

目標	構面	評估指標
空襲武器效能指標	火力	主要機載武器發射距離
		主要機載武器投射精度
		主要機載武器爆炸半徑
		載彈量
	機動力	飛行速度
		作戰半徑
		作戰昇限
	生存力	被彈面積
		雷達有效反射面積
		飛機裝甲防護厚度

表 3「防空武器效能指標」層級分析架構分析表

目標	構面	評估指標
防空武器效能指標	火力毀傷能力	飛行速度
		有效射高
		有效射程
		單發毀傷機率
	機動力	系統撤收所需時間
		系統放列所需時間
		巡遊里程
		結構重量
		最大速度

係根據文獻探討、國軍武器系統準則、專家問卷及諮詢的結果，空襲武器的作戰效能，構面區分為火力、機動力、生存力等三個分效能進行研究。而三者又由不同的子要素組成；防空武器的作戰效能，構面區分為火力毀傷能力、機動力等二個分效能進行研究，而二者又由不同的子要素組成，在機動力的構面方面，因層級分析法的基本假設，層級結構中每一層級內的要素均假設是具有獨立性（Independence），故將系統撤收所需時間與系統放列所需時間二個項目，合併為系統撤放所需時間。最後彙整歸納建立空襲武器指標體系如圖 3 及防空武器指標體系如圖 4。

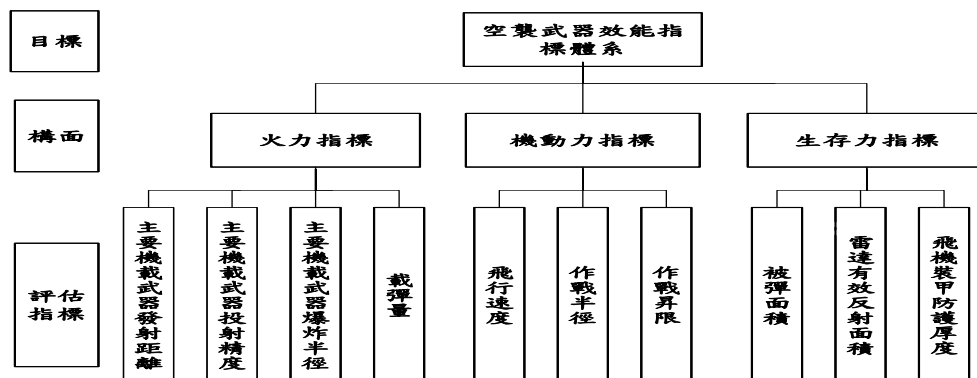


圖 3 空襲武器指標體系圖



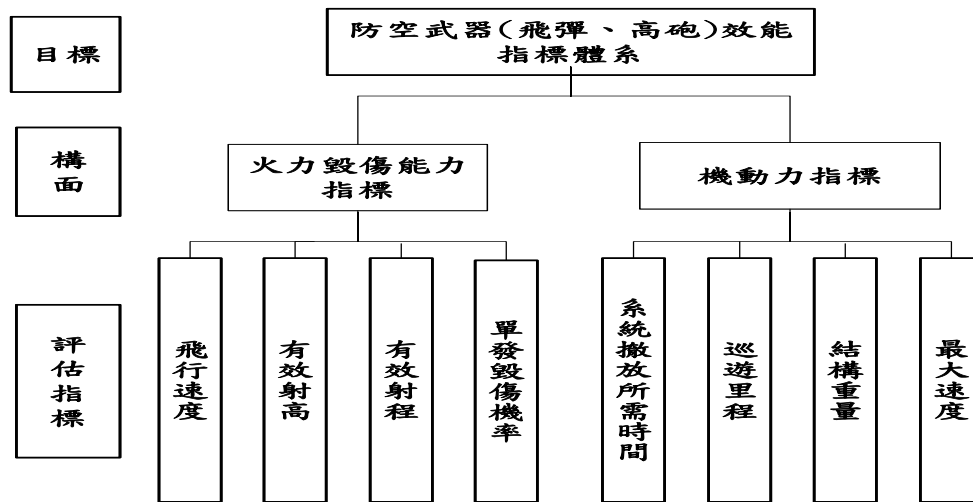


圖 4 防空武器指標體系圖

(三)指標權重的計算：

對於防空武器作戰效能指標權重，採用層級分析法進行計算，是屬於第二階段是層級架構的評估（層級分析法問卷）。區分三個步驟，第一、建立層次結構模型：建立空襲武器指標體系如圖 3 及防空武器指標體系如圖 4；第二、構造比較判斷矩陣：層級分析法問卷如附錄二，其每份問卷計算過程此處不列出；第三、計算權向量並做一致性檢驗：本研究採用 expert choice 軟體進行資料分析工作，其權向量及一致性檢驗如表 4、表 5、表 6、表 7，第二階段的層級分析法（AHP）問卷，共回收 15 份問卷，有效問卷 13 份，有 2 份一致性檢驗未達 0.1，不予採用。

表 4 空襲武器效能指標體系構面及評估指標權重表

空襲武器效能指標體系構面及評估指標權重表			
構面	權重	評估指標	權重
火力	0.472	主要機載武器發射距離	0.227
		主要機載武器投射精度	0.556
		主要機載武器爆炸半徑	0.143
		載彈量	0.074
機動力	0.313	飛行速度	0.452
		作戰半徑	0.322
		作戰昇限	0.226
生存力	0.215	被彈面積	0.106
		雷達有效反射面積	0.754
		飛機裝甲防護厚度	0.140

表 5 空襲武器效能指標體系構面及評估指標一致性分析表

空襲武器效能指標體系構面及評估指標一致性			
構面	一致性	評估指標	一致性
火力	0	主要機載武器發射距離	0.01
		主要機載武器投射精度	
		主要機載武器爆炸半徑	
		載彈量	
機動力		飛行速度	0.01

生存力		作戰半徑	0
		作戰昇限	
		被彈面積	
		雷達有效反射面積	
		飛機裝甲防護厚度	
C.R.<0.1 時，則矩陣的一致性程度使人滿意。			

表 6 防空武器效能指標體系構面及評估指標權重表

防空武器效能指標體系構面及評估指標權重表			
構面	權重	評估指標	權重
火力毀傷能力指標	0.710	飛行速度	0.097
		有效射高	0.127
		有效射程	0.406
		單發毀傷機率	0.370
機動力指標	0.290	系統撤放所需時間	0.558
		巡遊里程	0.147
		結構重量	0.129
		最大速度	0.166

表 7 防空武器效能指標體系構面及評估指標一致性分析表

防空武器效能指標體系構面及評估指標一致性			
構面	一致性	評估指標	一致性
火力毀傷能力指標	0	飛行速度	0.01
		有效射高	
		有效射程	
		單發毀傷機率	
機動力指標	0	系統撤放所需時間	0
		巡遊里程	
		結構重量	
		最大速度	
C.R.<0.1 時，則矩陣的一致性程度使人滿意。			

## (四)性能指標參數的正規化處理：

在利用正規化要素對武器裝備進行正規化處理的過程中，會遇到要素相應資料量測的不一致性、資料對抗性和資料量級差別大等問題。所謂要素資料的量測不一致性是指各要素相應資料取值的單位不同。譬如作戰飛機速度的單位常用公里/小時或公尺/秒，作戰半徑的單位為公里等等；資料對抗性是指各要素資料的取值有的是越大越好、有的則是越小越好。譬如載彈量、飛行速度，取值越大越好，被彈面積則取值越小越好；資料量級差別大是指各要素資料取值範圍不一致，比如作戰半徑的取值在幾百公里到上萬公里之間，而毀傷目標的機率取值範圍為(0,1)。為避免這些問題對標準化結果的影響，必須進行正規化要素資料的規範化處理。常用的方法有線形變換法、代入法和專家打分法。本研究採用線形變換法對參數資料進行正規化處理。所謂線性變換法就是構造直線或折線形式的變換函數對標準化要素  $x$  進行變換，將  $x$  變換為區間[0,1]上的數值。具體構造方法如下：對於某個標準化要素  $x$ ，設其取值為  $f_i(x)$ ：王進耘等（2008）

1. 當其取值越大越優，值越小越劣時，可以用單調遞增直線或折線形式的函數

對其進行變換。其規範化模型為

$$V_i(x) = \begin{cases} 1 & f_i(x) \geq f_i^* \\ \frac{f_i(x) - f_i^0}{f_i^* - f_i^0} & f_i^0 < f_i(x) < f_i^* \\ 0 & f_i(x) \leq f_i^0 \end{cases} \quad (1)$$

式中， $f_i^*$ ， $f_i^0$  分別為  $f_i(x)$  的優劣值。

2. 當其取值越大越劣，值越小越優時，可以用單調遞減直線或折線形式的函數對其進行變換。其規範化模型為

$$V_i(x) = \begin{cases} 1 & f_i(x) \geq f_i^* \\ \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_i^0} & f_i^0 < f_i(x) < f_i^* \\ 0 & f_i(x) \leq f_i^0 \end{cases} \quad (2)$$

式中， $f_i^*$ ， $f_i^0$  分別為  $f_i(x)$  的優劣值。

3. 當其取適當值時最優，而當其取偏值（即過大或過小）時變劣，這時可以用梯形函數或梯形折線形式的函數對其作變換。其規範化模型：

$$V_i(x) = \begin{cases} 0 & f_i(x) > f_i^* \\ \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_i^2} & f_i^2 \leq f_i(x) \leq f_i^* \\ 1 & f_i^1 \leq f_i(x) \leq f_i^2 \\ \frac{f_i(x) - f_i^0}{f_i^1 - f_i^0} & f_i^0 \leq f_i(x) \leq f_i^1 \\ 0 & f_i(x) \leq f_i^0 \end{cases} \quad (3)$$

式中， $f_i^1$ ， $f_i^2$  分別為  $f_i(x)$  的適當值區間，特別的情況有  $f_i^1 = f_i^2$ 。

本研究性能指標參數的取值，以詹氏年鑑、中國軍事百科全書(砲兵、防空兵技術分冊)、野戰防空砲兵營、連訓練教則為主，空襲武器的性能指標如表 8、防空武器的性能指標如表 10。性能指標參數的正規化處理，空襲武器的性能指標正規化處理如表 9、防空武器的性能指標正規化處理如表 11。

表 8 主要空襲武器的性能指標

空襲兵器型號	發射距離	投射精度	爆炸半徑	載彈量	飛行速度	作戰半徑	作戰昇限	被彈面積	雷達有效反射面積	裝甲防護厚度
SU-27	30km*	1**	0.5km*	6000kg*	2500km/hr*	1500km*	18km*	102.7 $m^2$ ***	0.6 $m^2$ *	0.5**
J-8	40km*	1**	0.01km*	4500kg*	2600km/hr*	800km*	20km*	68.73 $m^2$ ***	0.6 $m^2$ *	0.5**
Q-5	8km*	1**	0.5km*	2000kg*	12000km/hr*	600km*	16km*	44.27 $m^2$ ***	0.4 $m^2$ *	0.5**
YJ-7	50km*	1**	0.5km*	6500kg*	2160km/hr*	1000km*	15.6km*	80.35 $m^2$ ***	0.6 $m^2$ *	0.5**
Z-9	6km*	1**	0.015km*	900kg*	254km/hr*	2640km*	4.94km*	112 $m^2$ ***	0.4 $m^2$ *	1**

\* 2008 Jane's All the World's Aircraft Date Posted: 14-Feb-2008

\*\* 王進耘、鄭晨、王玉岩、駱祺 (2008)，「空襲兵器作戰效能標準化問題研究」，指揮控制與仿真，第 30 卷，第 1 期，頁 71。

\*\*\* 將各型空襲兵器依比例大小描繪於方格紙計算其面積。

表 9 主要空襲武器的性能指標正規化處理表

空襲兵器 型號	發射 距離	投射 精度	爆炸 半徑	載彈 量	飛行 速度	作戰 半徑	作戰 昇限	被彈 面積	雷達有效 反射面積	裝甲防 護厚度
SU-27	0.600	1.000	1.000	0.923	0.208	0.568	0.900	2.320	1.500	0.500
J-8	0.800	1.000	0.020	0.692	0.217	0.303	1.000	1.553	1.500	0.500
Q-5	0.160	1.000	1.000	0.308	1.000	0.227	0.800	1.000	1.000	0.500
YJ-7	1.000	1.000	1.000	1.000	0.180	0.379	0.780	1.815	1.500	0.500
Z-9	0.120	1.000	0.030	0.140	0.021	1.000	0.247	2.530	1.000	1.000

表 10 主要防空武器的性能指標

防空兵 器型號	飛行速度	有效射 高	有效 射程	單發毀 傷機率	系統撤放所 需時間	巡遊里程	結構重量	最大速度
兵器 B	42km/hr*	3km*	8km*	75%**	8minute***	482.8km*	12988kg*	67.2km/hr*
兵器 C	42km/hr*	3.5km*	5km*	75%**	6minute***	560 km*	4422kg*	88km/hr*
兵器 D	42km/hr*	3.5km*	5km*	75%**	6minute***	560 km*	3584.5kg*	88km/hr*
兵器 E	52.5km/hr*	1.64km*	5km*	50%**	5minute***	161km*	20094kg*	72.4km/hr*

\* 2008 Jane's Land-Based Air Defence Date Posted: 22-Oct-2008

\*\* 中國軍事百科全書(砲兵、防空兵技術分冊)，軍事科學出版社，1992 年 7 月，94 頁。

\*\*\* 野戰防空砲兵營、連訓練教則，國防部陸軍司令部，2005 年 10 月，附 12-1 頁。

表 11 主要防空武器的性能指標正規化處理表

防空兵 器型號	飛行 速度	有效 射高	有效 射程	單發毀 傷機率	系統撤放 所需時間	巡遊 里程	結構 重量	最大 速度
兵器 B	0.800	0.857	1.000	1.000	1.600	0.966	3.623	0.764
兵器 C	0.800	1.000	0.625	1.000	1.200	1.000	1.234	1.000
兵器 D	0.800	1.000	0.625	1.000	1.200	1.000	1.000	1.000
兵器 E	1.000	0.469	0.625	0.667	1.000	0.289	5.606	0.823

(五)效能指數的解算：

防空作戰的武器，其作戰效能指數解算可採用不同的數學方法，在此綜合運用冪指數法、加權演算法和層級分析法等進行建模分析。

#### 1. 空襲武器作戰效能指數解析模型

空襲武器效能指數的計算，需選定一種型號的空襲武器作為標準型(SU-27)，將其效能指數定為 1，再將其他各類空襲武器按戰鬥性能換算成相應的效能指數。目前專家訪談後獲知火力（四個評估指標）、機動力（三個評估指標）和生存力（三個評估指標）是影響空襲武器作戰能力的主要因素。第 $i$ 型空襲武器的效能指數如下：

$$x_{ki} = \left( \frac{L_i}{L_b} h_1 + \frac{C_i}{C_b} h_2 + \frac{R_i}{R_b} h_3 + \frac{W_i}{W_b} h_4 \right) \square k_1 + \left( \frac{V_i}{V_b} j_1 + \frac{R_i}{R_b} j_2 + \frac{L_{ri}}{L_{rb}} j_3 \right) \square k_2 + \left( \frac{B_{pi}}{B_{pb}} s_1 + \frac{A_{si}}{A_{sb}} s_2 + \frac{A_{ri}}{A_{rb}} s_3 \right) \square k_3 \quad (4)$$

式中， $x_{ki}$  為第  $i$  型空襲武器的效能指數

$L_b$ ：標準型作戰飛機的主要機載武器發射距離。

$C_b$ ：標準型作戰飛機的主要機載武器投射精度。

$R_b$ ：標準型作戰飛機的主要機載武器爆炸半徑。

$W_b$ ：標準型作戰飛機的載彈量。

$V_b$ ：標準型作戰飛機的飛行速度。

$R_b$ ：標準型作戰飛機的作戰半徑。

$L_{rb}$ ：標準型作戰飛機的作戰昇限。

$B_{pb}$ ：標準型作戰飛機的被彈面積。

$A_{sb}$ ：標準型作戰飛機的雷達有效反射面積。

$A_{rb}$ ：標準型作戰飛機的及飛機裝甲防護厚度。

$L_i$ 、 $C_i$ 、 $R_i$ 、 $W_i$ 、 $V_i$ 、 $R_i$ 、 $L_{ri}$ 、 $B_{pi}$ 、 $A_{si}$ 、 $A_{ri}$  分別為第  $i$  型作戰飛機相應參數；

$k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  為火力、機動力和生存力相對飛機總效能指數所占的權重；

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$  為各火力相關參數相對火力所占的權重；

$j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$  為各機動力相關參數相對機動力所占的權重；

$s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  為各生存力相關參數相對生存力所占的權重。

## 2. 防空武器作戰效能指數解析模型

計算地面防空武器裝備的效能指數，需選定一種型號的防空武器作為標準型（兵器 1），將其效能指數定為 1，再將其他各類防空武器按戰鬥性能換算成相應的效能指數。目前專家訪談後獲知火力毀傷能力（四個評估指標）和機動力（四個評估指標）作為評價地面防空武器戰鬥性能的主要指標。第  $i$  型地面防空武器裝備的效能指數如下：

$$x_{Fi} = \left( \frac{S_i}{S_b} h_1 + \frac{H_i}{H_b} h_2 + \frac{R_i}{R_b} h_3 + \frac{P_i}{P_b} h_4 \right) \square f_1 + \left( \frac{T_i}{T_b} j_1 + \frac{R_{ri}}{R_{rb}} j_2 + \frac{W_i}{W_b} j_3 + \frac{V_i}{V_b} j_4 \right) \square f_2 \quad (5)$$

式中， $x_{Fi}$  為第  $i$  型防空武器的效能指數；

$S_b$ ：標準型防空武器的飛行速度。

$H_b$ ：標準型防空武器的有效射高。

$R_b$ ：標準型防空武器的有效射程。

$P_b$ ：標準型防空武器的單發毀傷機率。

$T_b$ ：標準型防空武器的系統撤放所需時間。

$R_{rb}$ ：標準型防空武器的巡遊里程。

$W_b$ ：標準型防空武器的結構重量。

$V_b$ ：標準型防空武器的最大速度。

$S_i$ 、 $H_i$ 、 $R_i$ 、 $P_i$ 、 $T_i$ 、 $R_{ri}$ 、 $W_i$ 、 $V_i$  為第  $i$  型防空武器的相應參數。

$f_1$ 、 $f_2$  為火力毀傷能力和機動力相對防空武器綜合效能指標的所占的權重；

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$  分別為各火力參數在火力毀傷能力指標中所占的權重；

$j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$ 、 $j_4$  分別為各機動力參數在機動力指標中所占的權重。

將空襲武器的性能指標（如表 8）或空襲武器的性能指標正規化處理（如表 9）代入（4）可得空襲武器的效能指標（如表 12）。

表 12 主要空襲武器的效能指標表

序號	空襲武器型號	效能指數	備考
1	SU-27	1	
2	J-8	0.9	
3	Q-5	1.3	
4	YJ-7	1	
5	Z-9	0.7	

將防空武器的性能指標（如表 10）或防空武器的性能指標正規化處理（如表 11）代入（5）可得防空武器的效能指標（如表 13）。

表 13 主要防空武器的效能指標表

序號	防空武器型號	效能指數	備考
1	兵器 B	1	
2	兵器 C	0.9	
3	兵器 D	0.9	
4	兵器 E	0.7	

## 二、防空武器需求估算模型

### （一）模型假設：

由於地空對抗過程涉及的因素眾多，情況非常複雜，用一般的解析方法難以描述整個戰場過程和評估雙方整體作戰效能，現做如下基本假設：

1. 空襲方使用各種作戰飛機對作戰區重要防護目標進行攻擊，防空方由陸軍軍團防空群部署的彈砲混編的地面防空部隊進行反擊，擔任作戰區重要目標低空防護任務。
2. 雙方的作戰單位的每次射擊構成一個具有某一平均發射率和壓制率的隨機射擊流，射擊流服從卜瓦松（Possion）分配，空襲武器命中某一防空陣地即認為該防空火力單元被毀傷。
3. 每一方的每一個戰鬥單位可以向對方的任何一個戰鬥單位進行射擊。射擊是瞄準敵方某一確定的戰鬥單位。一次擊最多只可能擊毀一個戰鬥單位。
4. 如果擊毀了某個戰鬥單位，則立即瞬間的將火力轉移到另一未毀戰鬥單位。被擊毀的那個戰鬥單位不再執行戰鬥。
5. 與總的戰鬥時間持續時間相比，飛彈（或其他飛行器）飛到目標的時間很短，可以忽略不計。
6. 不考慮雙方的任務分配和指揮控制，即雙方的每一個作戰單位可以瞄準對方任何一個作戰單位進行射擊。

7. 在任何一時刻每一方的總戰鬥力(即所剩餘戰鬥單位的總平均發射率)與戰鬥單位剩餘的平均值(數学期望值)成比例,而不是與戰鬥單位實際剩餘數(是一個隨機數)成比例。

在有大量戰鬥單位參加戰鬥的情況下,每一個單個戰鬥單位被擊毀或不被擊毀的隨機性對總戰鬥力並不產生多大影響。因此,每個戰鬥階段的實際總戰鬥很接近於其平均值。對於有大量戰鬥單位參加的戰鬥,只有在戰鬥臨近結束時,即在一方或雙方所剩餘的戰鬥單位寥寥無幾時,每一單個戰鬥單位被擊毀或不被擊毀的隨機性才顯現出來。因此,在戰鬥初期將戰鬥單位的實際剩餘數(隨機數)代之以其平均值,完全可行的。

用  $n$  表示到時刻  $t$  為止空襲方的平均剩餘戰鬥單位數,用  $m$  表示到時刻  $t$  為止防空方的平均剩餘戰鬥單位數。我們將  $n$  和  $m$  稱為平均戰力。下面就來推導出作戰雙方在任一時刻  $t$  的平均實力的數學公式,也就是大致地預估戰鬥的發展進程。一個空襲方戰鬥單位的平均發射率(即每單位時間內對防空陣地的平均射擊次數)用  $\mu_k$  表示,一個防空方戰鬥單位的平均發射率用  $\mu_f$  表示。一個空襲方戰鬥單位在每一次對所瞄準的目標進行射擊時,擊毀目標的機率為  $P_k$ ; 一個防空方戰鬥單位在每一次對所瞄準的目標進行射擊時,擊毀目標的機率為  $P_f$ 。這樣,每一個空襲方戰鬥單位所實施的射擊,構成一個合乎於卜瓦松(Possion)分配率的成功壓制流,流的密度為:  $\lambda_k = P_k \square \mu_k$  (6)

每一個防空方戰鬥單位所實施的射擊,構成一個合乎於卜瓦松(Possion)分配率的成功射擊流,流的密度為:

$$\lambda_f = P_f \square \mu_f \quad (7)$$

王巨海等(2006)針對區域防空的地空對抗過程中,提出空襲方戰鬥單位的平均發射率(即每單位時間內對防空陣地的平均射擊次數)為

$$\mu_k = \frac{60}{\left(\frac{R}{V}\right) + T} \left( \frac{\text{發}}{\text{分鐘}} \right) \quad (8)$$

式中:  $R$ : 發射或投擲距離(s);

$V$ : 彈體速度(s);

$T$ : 觀察射擊效果時間(s)。射擊效果時間可取3至4秒。

防空方戰鬥單位的平均發射率(即每單位時間內對空襲武器的平均射擊次數)

$$\mu_f = \frac{60n_u}{t_s} \left( \frac{\text{發}}{\text{分鐘}} \right) \quad (9)$$

為

$$t_s = t_r + t_f + t_i + t_d \quad (10)$$

式中:  $t_r$ : 武器系統平均反應時間(s);

$t_f$ : 飛彈在空中平均飛行時間(s);

$t_i$ : 飛彈武器系統連射平均間隔時間(s);

$t_d$ : 判明作戰效果時間(s)。

$n_u$ : 對同一目標射擊使用的通道的數量。

## (二)所需地面防空兵力的總效能指數:

設  $B_0$ ,  $R_0$  分別為防空方、空襲方參戰開始時刻  $t_0$  的兵力數量(兵力效能指數),  $B$ ,  $R$  為時刻雙方平均剩存作戰單位數,  $\lambda_f$  為防空方的成功射擊流密度,  $\lambda_k$  為空襲方的

成功壓制流密度。則初始條件為  $B(t_0) = B_0$  ,  $R(t_0) = R_0$  , 建立地空對抗的藍徹斯特微分方程式

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_K R \quad (11)$$

$$\frac{dR}{dt} = -\lambda_F B \quad (12)$$

$$\text{由上式可得 } \lambda_F B dB = \lambda_K R dR \quad (13)$$

兩邊積分, 可得狀態變量  $B$  與  $R$  的平方律關係

$$\lambda_F (B_0^2 - B^2) = \lambda_K (R_0^2 - R^2) \quad (14)$$

$$\text{設 } \beta = 1 - \frac{B}{B_0} , \quad \gamma = 1 - \frac{R}{R_0} \text{ 代入上式}$$

式中:  $\beta$  為防空方的戰損率, 等於被摧毀的防空火力單元數量

與火力單元總數之比;  $\gamma$  為空襲方的損失率, 等於被擊落的空襲武器數與來襲武器的總數之比。

$$\lambda_F B_0^2 [1 - (1 - \beta)^2] = \lambda_K R_0^2 [1 - (1 - \gamma)^2]$$

$$B_0 = R_0 \sqrt{\frac{\lambda_K [1 - (1 - \gamma)^2]}{\lambda_F [1 - (1 - \beta)^2]}} \quad (15)$$

$R_0$ : 每個波次總效能指數。

$\lambda_K$ : 為空襲方的成功壓制流密度。

$\lambda_F$ : 為防空方的成功射擊流密度。

$\gamma$ : 為空襲方的損失率, 等於被擊落的空襲武器數與來襲武器的總數之比。

$\beta$ : 防空方的戰損率, 等於被摧毀的防空火力單元數量與火力單元總數之比。

### (三) 計算所需地面防空武器裝備的數量:

作戰區防空作戰通常將不同類型的防空飛彈和高砲武器裝備按一定的比例進行混合編組, 以相互彌補火力不足, 從而構成嚴密的防空火網。設作戰時共需要  $N$  類防空武器, 武器間的結構比例為  $\omega_{Fi}$ , 防空方武器的效能指數為  $X_{Fi}$ , 所需各波防空方武器總效能指數為  $X_F$ , 求取所需的類防空方武器的數量  $Y_i$ 。

$$Y_i = \frac{X_F \omega_{Fi}}{\sum_{i=1}^N X_{Fi} \omega_{Fi}} \quad (16)$$

$Y_i$ : 所需地面防空武器裝備的數量。

$B_0$ : 所需各波防空方武器總效能指數。

$X_{Fi}$ : 防空方武器的效能指數。

$\omega_{Fi}$ : 需要  $N$  類防空武器裝備, 其火力單元的結構比例



## 伍、實例分析

假設藍軍某個作戰區進行野戰防空砲兵部署的作戰規劃，已知防空方的地面防空武器裝備參戰的類型共四類，分別為 B 型飛彈系統、C 型飛彈系統、D 型飛彈系統、E 型高砲系統，以 B 型飛彈系統為標準型武器。各型防空武器的效能指數分別為 1:0.9:0.9:0.7，且戰時編組比例為 1:2:2:1 如表 15。假定 B 型飛彈系統的基本參數在已知狀況下，其對空襲目標的單發殺傷率為 0.75，武器系統平均反應時間為 8 秒、飛彈在空中平均飛行時間為 10 秒、飛彈系統火力單元連射平均時間為 5 秒、判明作戰效果的時間約為 4 秒。

由情報部門得知空襲方的航空武器類型共五類，分別為 SU-27、J-8、Q-5、YJ-7、Z-9，以 SU-27 為標準型武器，其各型武器的效能指數分別為 1:0.9:1.3:1:0.7，且戰時編組比例為 2:2:2:1:1 如表 16。已估算出敵可能出動的空襲武器經過我方防空體系多層攔截後總數剩 120 架，分三個波次進襲。SU-27 的基本參數在已知狀況下，其對地面防空陣地的命中率為 0.6，發射距離為 30000 公尺、彈體速度為 0.8 馬赫、觀察射擊效果時間約為 4 秒。

根據歷次防空作戰的統計數據，戰損率 ( $\gamma_k$ ) 對空襲方行動的影響程度具有相關的規律如表 14，且作戰區野戰防空砲兵的主要任務是保衛作戰區內重要目標及地面部隊的安全。對於特別重要的目標及主要的地面部隊，為確保其安全甚至會“不惜一切代價”的實施防空掩護，這種情況下戰損率 ( $\gamma_F$ ) 的取值可以很高。但考慮到敵空襲一般是分波次入侵，我防空兵力必須能持續有效地對其後續兵力進行抗擊，因此戰損率 ( $\gamma_F$ ) 取值不能太高。目前僅取 10% 與 20% 作為終戰條件。

探討上列幾種典型對抗(防空方戰損率在 10%、20% 與空襲方戰損率在 5%、10%、15%) 如表 17，在終戰條件下使用作戰區野戰防空武器裝備需求估算模型，計算所需地面防空兵力規模並進行作戰分析，提供高層決策人員及作戰參謀參考使用。

表 14 空襲方作戰行動與戰損率關係表

作戰行動	空襲戰損率
按既定方案實施空襲	$\gamma_k \leq 5\%$
需要改變空襲戰術	$5\% < \gamma_k \leq 10\%$
基本停止空襲	$10\% < \gamma_k \leq 15\%$
全面停止空襲	$\gamma_k \geq 20\%$

資料來源：朱祝華、寧偉華（2008），頁 39。

表 15 防空方武器的有關參數表

防	空	方	武	器	的	有	關	參	數
			兵器 B		兵器 C		兵器 D		兵器 E
單項武器效能指數			1		0.9		0.8		0.7
混合配置比例			1		2		2		1

表 16 空襲方武器的有關參數表

空襲方武器的有關參數					
	SU-27	J-8	Q-5	YJ-7	Z-9
單項武器效能指數	1	0.9	1.3	1	0.7
混合配置比例	2	2	2	1	1
各波次各型兵器數量	10	10	10	5	5
各波次總效能指數	41				

表 17 空襲在幾種典型對抗結果下所需地面防空兵力需求數據表

在幾種典型對抗結果下所需地面防空兵力需求數據																				
防空方戰損率 (終戰條件)	10%										20%									
空襲方受損率 (終戰條件)	5%		10%		15%		5%		10%		15%									
防空方每波次 所需的總指數	9.701		13.542		16.366		7.047		9.838		11.889									
各型防空武器 數量	B	C	D	E	B	C	D	E	B	C	D	E	B	C	D	E	B	C	D	E
	2	4	4	2	3	5	5	3	3	6	6	3	1	3	3	1	2	4	4	2
	第一 方案		第二 方案		第三 方案		第四 方案		第五 方案		第六 方案									

防空方戰損率在 10%、20%與空襲方戰損率在 5%、10%、15%，在終戰條件下使用作戰區野戰防空武器裝備需求估算模型，計算所需地面防空兵力數量如表 17。例如第一方案為防空方戰損率在 10%與空襲方戰損率在 5%終戰條件下，所需防空方每波次的總指數為 9.701，所需各型防空武器數量分別為兵器 B 型 2 套、兵器 C 型 4 套。兵器 D 型 4 套、兵器 E 型 2 套，共計 12 套。

### 陸、結論

建立合理的作戰區野戰防空作戰武器裝備數量需求估算模型，對於充分發揮防空兵戰鬥潛力，完成防空作戰任務具有重要作用。本模型採用以地空雙方（空襲方與反空襲方）武器裝備總效能指數為基礎的藍徹斯特方程式計算作戰區野戰防空武器裝備需求數量，與經驗估算法相比，可節省模擬的時間，減少決策的風險，其計算精度基本能夠滿足作戰區防空決策部門和指揮官的決策需求，對於合理利用與科學化部署防空兵力具有一定的指導意義，並可提供作戰區野戰防空作戰武器裝備需求模式模擬的參考。

## 參考文獻

- 王進耘、鄭晨、王玉岩、駱祺，2008。空襲兵器作戰效能標準化問題研究，指揮控制與仿真，第30卷，第1期，69-72。
- 中國軍事百科全書編審委員會，2003。中國軍事百科全書-砲兵、防空兵技術分冊，北京：軍事科學出版社，94。
- 朱寶鑒、朱榮昌、熊笑非編著，2006。作戰飛機效能評估，北京，航空工業出版社。
- 朱祝華、寧偉華，2008。區域防空中空導彈兵力需求估算，電光與控制，第15卷，第5期，38-40。
- 汪靚、朱雪平、唐松洁、皮軍明，2006。地空導彈火力單元作戰效能標準化問題研究，現代防禦技術，第34卷，第6期，11-15。
- 肖元星、張冠杰編著，2006。地面防空武器系統效費分析，北京：國防工業出版社。
- 吳自立編著，2004。海軍作戰分析，台北：國防大學。
- 邱文昌 2005。野戰防空作戰部署之研究，陸軍砲兵季刊，第128期，77-83。
- 唐松潔、路建偉、汪靚、吳昊 2005。異型防空武器系統標準化研究，武器裝備自動化，第25卷，第4期，11-12。
- 曹澤陽、王穎龍、高虹霓，2003。戰區地面防空兵力需求估算模型研究，系統工程與電子技術，第27卷，第9期，1099-1102。
- 郭齊勝、鄧志剛、楊瑞平、李巧麗、馬亞龍、葉紅兵、楊立功編著，2005。裝備效能評估概論，北京，國防工業出版社。
- 國防部，2008。97年國防報告書，台北市。
- 張最良、李長生、趙文志、丁富力編著，1992。軍事運籌學，北京：軍事科學出版社。
- 張劍編著，2002。軍事裝備系統的效能分析、優化與仿真，北京，國防工業出版社。
- 張恕仁，2002。野戰防空部隊編組之研究，陸軍學術月刊，第37卷，第438期，30-32。
- 張野鵬編著，2004。作戰模擬基礎，北京：高等教育出版社。
- 彭希文、薛興林編著，2001。空襲與反空襲怎樣打，北京：中國青年出版社。
- 禡法寶、張蜀平、王祖文、高媛，2008。新概念武器與信息化戰爭，北京，國防工業出版社。
- 劉達生，2007。非對稱作戰模式建構之研究—以作戰程序為導向，中正理工兵器研究所博士論文，未出版，桃園縣。
- 韓松臣、韓品堯、邵成勳，1998。轟炸機—空防導彈武器系統對抗的藍徹斯特方程，火力與指揮控制，第23卷，第2期，40-42。
- 羅興柏、劉國慶編著，2007。陸軍武器系統作戰效能分析，北京，國防工業出版社。
- Dupuy, T.N. 1985, "Number, Predictions & War", Revised Edition, HERO BOOKS, Fairfax, Virginia pp.185-199.
- James G Taylor.1980, "FORCE-ON-FORCE Attrition Modeling", Naval Postgraduate School, Monica, California.
- Stone, L. D. 1989. "Theory of Optimal Search, 2nd Ed", ORSA Books, Arlington, Virginia, pp.1.
- U.S. Army,1973. "FM 105-5, Maneuver Control".pp.E-1~E-3.