

應用模糊層級分析法於可靠度配當——以光電偵搜系統為例

作者/鄭博宇、劉勇志

審者/審者：賀增原、王春和、徐禮睿

提要

- 一、可靠度配當通常是在產品研發初期，依產品的可靠度目標進行次系統可靠度配當，在經過專家選擇與比較各次系統估測項目後，各系統可靠度權重即能夠被決定，而為減低新產品在開發時可靠度工作的成本及複雜度，選擇合適的可靠度配當方法即為一項重要工作。
- 二、常用可靠度配當方法計有等量、ARINC、AGREE、評點及配對比較等配當法，惟上述方法有使用時機限制或考量因素不夠全面等缺點，造成配當結果恐不精確。
- 三、運用模糊層級分析法則可整體性去考量配當時應考慮之評估因子，並簡化數學運算，彌補其他方法缺點。而用模糊語意方式取代直接給定分數之明確值，相對於層級分析法，可避免評審在缺乏比較而形成不客觀結果。最後，本研究將模糊層級分析法運用於配當偵搜戰術輪車之光電偵搜系統可靠度，並提出相關結論與建議。

關鍵詞：可靠度配當、層級分析法、模糊層級分析法、光電偵搜系統

圖片來源：shutterstock

壹、前言

可靠度技術的發展與應用可追溯至1945年第二次世界大戰末期德國研究設計火箭以攻擊英國之時，另於1950年美國國防部為提升軍方整體研究效率，組成專門針對可靠度進行研究之委員會並訂名為「電子裝備可靠度顧問團」(Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment, AGREE)。可靠度作業程序應用至今，其相關工作計畫已大

致制定(如圖一)。¹

產品可靠度無論係對製造商或顧客而言皆非常重要且受到高度重視，而產品可靠度可在設計過程中藉由配當及預估方式將可靠度植入設計之中，然後利用試驗方法加以檢驗，並於製造與生產過程中加以控制維持。為確實達到產品可靠度目標，應於目標訂定後即合理對產品各硬體階層進行配當，其分配結果須使整體可靠度目標得以達成，這種將產品整體可靠度向下分配的機制



圖一 可靠度工作計畫

資料來源：可靠度工程技術手冊

1 王宗華(1996)，可靠度工程技術手冊，中華民國品質學會，頁 2-23。

稱作可靠度配當。²

依美軍規範MIL-STD-785B、³ MIL-HDBK-338B、⁴ 國內外學者有關可靠度配

當之研究文獻與出版書，⁵ 本研究羅列比較常被應用之五種可靠度配當方法並說明假設前提與適合使用時機（如圖二）。

等量 配當法	• 假設前提 • 將可靠度所需考量所有因素，如成本、安全性、重要性、複雜性、環境條件等，均視為對系統具有相同之影響程度 • 適合時機 • 當對影響各個元件可靠度的因素尚未瞭解時所作的初步配當
ARINC 配當法	• 假設前提 • 在各元件為串聯的前提下，假設各元件之任務時間與系統之任務時間皆相同 • 適合時機 • 所有失效率皆為常數，亦即失效時間呈指數分佈
AGREE 配當法	• 假設前提 • 調配同時考量元件的複雜性及關鍵性(或稱重要性) • 適合時機 • 主要用於將分系統可靠度配當至裝備或單機
評點 配當法	• 假設前提 • 將若干重要因素對欲作配當元件之可靠度影響程度作問卷，並由受調查者予以評點 • 適合時機 • 所有失效率皆為常數，亦即失效時間呈指數分佈
配對比較 配當法	• 假設前提 • 對產品進行分項，並依兩分項間之相對偏好，利用數學技巧轉換成每一分項之配當「權重值」進行配當 • 適合時機 • 皆可適用

圖二 常見可靠度配當法

資料來源：本研究整理

2 張起明等(2011)，「可靠度工程與管理手冊」，中華民國品質學會出版，頁10-1~10-33。

3 Department of Defense. (1980), "MIL-STD-785B: Reliability program for systems and equipment development and production," Appendix A, p. 3, U.S. Government Printing Office, <https://www.dsiintl.com/wp-content/uploads/2017/04/MIL-STD-785B-15-Sept-1980.pdf> (檢索日期：民國114年6月29日)

4 Department of Defense. (1998), "MIL-HDBK-338B: Electronic reliability design handbook," pp. 6-7-6-16, U.S. Government Printing Office, https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NSWC_Crane/SD-18/Test%20Methods/MILHDBK338B.pdf (檢索日期：民國114年6月29日)

5 宋筆鋒(2006)，飛行器可靠性工程，西北工業出版社，頁70-75。

除上述常用五大可靠度配當方法外，利用層級分析法對專家評分權重因子所獲得之數值，進行分析並應用於飛彈武器系統的可靠度配當，此方式藉由專家經驗，在無類似研發產品之可靠度配當過程可獲得不錯之成效。⁶

然前所述常用5大可靠度配當方法及層級分析法皆有使用時機限制、配當時所考量因素不夠全面或評分方式不客觀等缺點，造成配當結果恐有誤差或者無法滿足實際現況。如等量配當法將可靠度所需考量因素皆視為對系統具有相同影響程度、ARINC及AGREE未考量設計人員或專家經驗、評點配當法、配對比較配當法及層級分析法雖已考量設計人員經驗，惟專家評審時可能因評分的尺度及範圍標準不一，易造成不公平或不客觀的結果。為避免上述限制或缺點，本研究採用一種語意變數結合模糊理論的「模糊層級分析法」來改善專家評分尺度及範圍標準不一之問題。

本研究以偵搜戰術輪車光電偵搜系統為標的，設計單位雖曾研發類似裝備並應用於空用環境及海用環境，然此系

統係設計單位首次研發應用於陸用環境之偵搜裝備。即便有類似研發產品，當裝備性能規格或運用方式差異太大時，採用類似裝備法進行配當(如以ARINC進行類似裝備配當，僅考慮類似裝備之失效率)恐有不足。因此，本文除考量設計單位有類似裝備的設計經驗與水準外，亦探究系統複雜程度、重要性、安全性、維護性等因素，運用模糊層級分析法來進行可靠度配當分析。

貳、文獻探討

一、可靠度配當

可靠度配當(Reliability allocation)亦稱可靠度配置，從國家中山科學研究院可靠度工程作業手冊可得知，⁷各新建專案於概念設計階段應執行可靠度目標訂定與配當(如圖三)，其主要目的為：

- (一) 將系統可靠度目標值分配至每一分系統、組成件、零組件等層次之可靠度目標值，建立各個組合層次可靠度目標需求的基礎。
- (二) 依可靠度目標設定值，設計人員可評估分項的狀況，決定主要問題

6 謝閔凱，陳裕仁(2016)，「武器系統可靠度配當—應用AHP方法」，新新季刊，第44卷第3期，頁203-213。

7 CSIRM-96R-E7340 (2007)，可靠度工程作業手冊，國家中山科學研究院，頁8-10。

的範圍及系統的弱點所在。

(三) 使物品設計人員對系統的任務輪廓及構成組件相互之間的介面關係有更深認識。

可靠度配當時，應先考慮影響可靠度之因素，如獲得成本、重要性、複雜性、環境條件、任務需求、零件數量、以及設計成熟度等。接著依影響因素選

擇適當的可靠度配當模式，並於收集所需各種參數資訊後由上向下執行配當工作。而配當的深度則依研製計畫的特性而定，隨著研發工作的進展，當設計資料愈詳細時，盡量將可靠度配當至較低的組合層次。⁸ 最後評估可靠度配當之適合性來完成配當工作（如圖四）。⁹

二、層級分析法

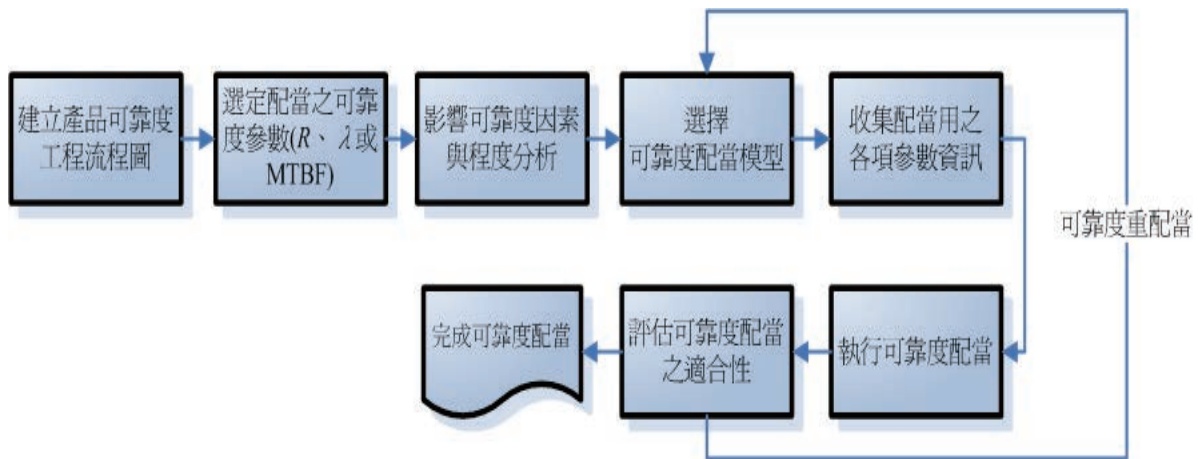


圖三 各武獲階段應執行之可靠度工作項目

資料來源：國家中山科學研究院可靠度工程作業手冊

8 柯輝耀(2010)，可靠度保證-工程與管理技術之應用，中華民國品質學會出版，頁3-17~3-34。

9 謝閔凱，《可靠度原理與規劃》（訓練簡報，中科院西元2016年），頁75。



圖四 可靠度配當流程圖

資料來源：可靠度原理與規劃簡報

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 係由Thomas L. Saaty教授於1971年替美國國防部從事應變計畫問題時所發展出來。之後分別於1972年，經Saaty教授將層級分析法應用於協助美國國家科學基金會依產業對國家之福利貢獻度來決定所能獲得電力配額的研究，及於1973年協助蘇丹主持運輸管理系統專案研究中，整個理論才逐漸成熟。於1974年至1978年間，不斷應用、修正及證明層級分析法，使得此方法愈來愈趨於完善。並於1980年將此理論整理成專書問世。層級分析法自發展以來，在

國際間已被各國研究單位及專家學者普遍運用，相關的應用論文也非常廣泛。¹⁰

層級分析法發展之目的，係將複雜的問題系統化，透過量化的方法，加以綜合評估，減少決策錯誤的風險，以提供決策者選擇最佳方案，而Saaty教授所發展層級分析法之基本假設主要包括下列幾項：¹¹

- (一) 一個系統問題可被拆解成許多類別或組成元素或指標。
- (二) 在層級結構中，每一層級的因素均假設具有獨立性。
- (三) 每一層級因素，可用上一層級內某

10 劉育如(2021)，「運用層級分析法於供應商之選擇以品質成本之觀點-以散熱模組廠A公司為例」(元智大學工業工程與管理研究所碩士論文)，頁21-22。

11 Saaty, T.L. (1980), "The Analytic Hierarchy Process," McGraw-Hill. (檢索日期：民國114年6月29日)

些或所有要素作基準，進行評估。

- (四) 進行比較評估時，可將絕對數值尺度轉換成比例尺度。
- (五) 進行各層級要素成對比較後，可用正倒數矩陣來做相關比較。
- (六) 偏好關係滿足遞移性；不僅優劣關係滿足遞移性，均同時強度關係須滿足遞移性。
- (七) 完全具遞移性不容易存在，故容許不具遞移性的情形存在，但須具有一致性的程度。
- (八) 要素的優劣程度，可經由加權原理來獲得。
- (九) 任何要素出現在層級結構中，不論其優劣程度是如何，均被認為與整個評估架構有關，而並非檢核階層結構的獨立性。

三、模糊層級分析法

層級分析法理論簡單深具實用價值，且可解決多準則決策性問題，惟因人類思考具主觀性、不確定性及模糊性，易使部分決策者的意見無法反映在受

評選的問題上，可能導致最終分析結果一致性。為解決此類模糊不確定性的問題，Van Laarhoven與Pedrycz於1983年的研究中發展模糊層級分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)，以層級分析法為核心融入模糊集合理論來解決上述問題。其概念為對兩要素間相對重要度的看法以三角模糊函數表示，求出各決策準則因子的模糊權重，利用層級串聯相乘，獲得各替代方案的模糊分數，作為選擇標準。¹²Buckley於1985年提出的「模糊層級分析法」，係以梯形模糊數對層級分析法中的成對矩陣的比較值加以模糊化，並利用幾何平均數法(Geometric Mean Method)計算各評選準則的模糊權重值，再經層級串聯求算各評選方案的模糊權重，求出每一模糊矩陣之模糊權重予各替代方案模糊權重值。¹³

經過Van Laarhoven、Pedrycz與Buckley等學者以模糊集處理層級分析法在主觀認知及判斷上較具模糊性問題，

12 Van Laarhoven, P. J., & Pedrycz, W. (1983). "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," Fuzzy sets and Systems, 11(1-3), pp. 229-241, [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80082-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7) (檢索日期：民國114年6月29日)

13 Buckley, J. J., (1985), "Fuzzy Hierarchical Analysis," Fuzzy Sets and Systems, Vol.17, pp. 233-247, [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9) (檢索日期：民國114年6月29日)

已較能反映真實情況之評選結果，並已逐漸廣受認可，故後續有許多相關應用之研究產生。

電偵搜系統之可靠度配當（如圖五），相關應用步驟，主要係以Buckley為基礎，並參考文獻資料進行修訂，^{14、15、16}重要步驟說明如下：

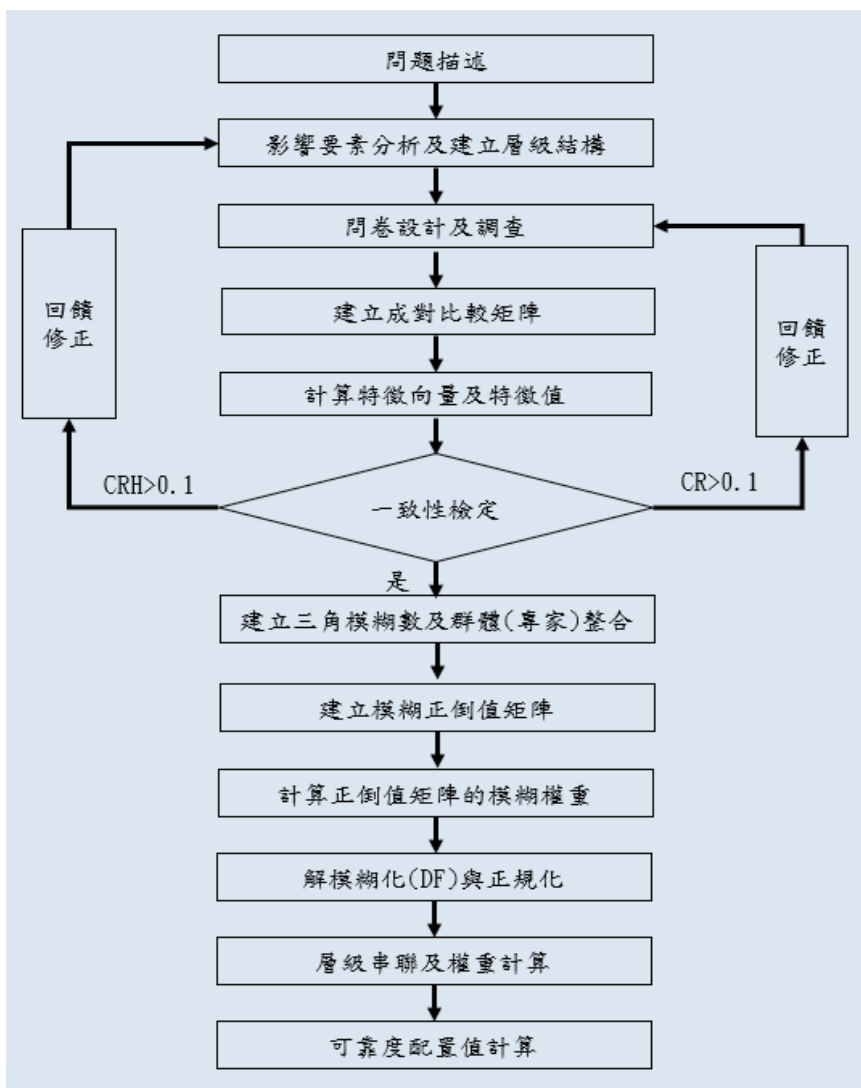
參、研究方法

本研究運用模糊層級分析法進行光

一、影響要素分析及建立層級結構

計算光電偵搜系統各次系統可靠度配當值時，何種構面或因素對配當影響

結果最為關鍵可透過理論、文獻蒐集、經驗法則及集體腦力激盪等方式來得



圖五 模糊層級分析法流程圖

資料來源：本研究整理

14 同註13。

15 蕭榮吉，〈台灣矽晶太陽能產業競爭策略其技術創新發展因素之探討-應用模糊層級分析法〉（國立中央大學企業管理系碩士論文，西元2015年），頁32-39。

16 薄頤平，〈應用模糊層級分析法於海灘評鑑指標之建立〉（國立成功大學海洋科技與事務研究所碩士論文，西元2014年），頁51-59。

知，本研究採文獻蒐集來訂定此次研究影響要素。藉由參考可靠度工程與管理手冊及謝閔凱（2016）決定此次研究之可靠度配當評估準則因素，其說明如下：^{17、18}

- （一）複雜程度：依組成產品之元件數量決定，亦可依裝配過程的複雜度進行評估。若輸出功能複雜或控制介面複雜亦可納入評估條件，複雜程度越高之分項應配予較高之可靠度（即評比重要性等級/分數應較高）。
- （二）重要性（關鍵程度）：凡發生失效易導致整個產品系統喪失功能之分項應予重視，需配予較高之可靠度，即重要性大的分項評比重要性等級/分數應較高。
- （三）安全性：一旦發生失效，對人員或設備安全有重大影響之分項應配予較高之可靠度，即安全性需求高的分項評比重要性等級/分數應較高。
- （四）操作環境：環境條件不良，分項受環境影響而造成失效之可能性大者應配予較高之可靠度，使之較能因應環境之影響，即易受環境影響的分項評比重要性等級/分數應

較高。

- （五）技術水準：考慮現有研製階段之設計水準，採用具有經驗之設計方式之分項應配予較高之可靠度（即評比重要性等級/分數應較高）。
- （六）維護性：發生失效後易於修護之分項可配予較低之可靠度，因可藉由維修補救產品失效之不利影響。反之維修困難且耗費時間者應配予較高可靠度（即評比重要性等級/分數應較高）。

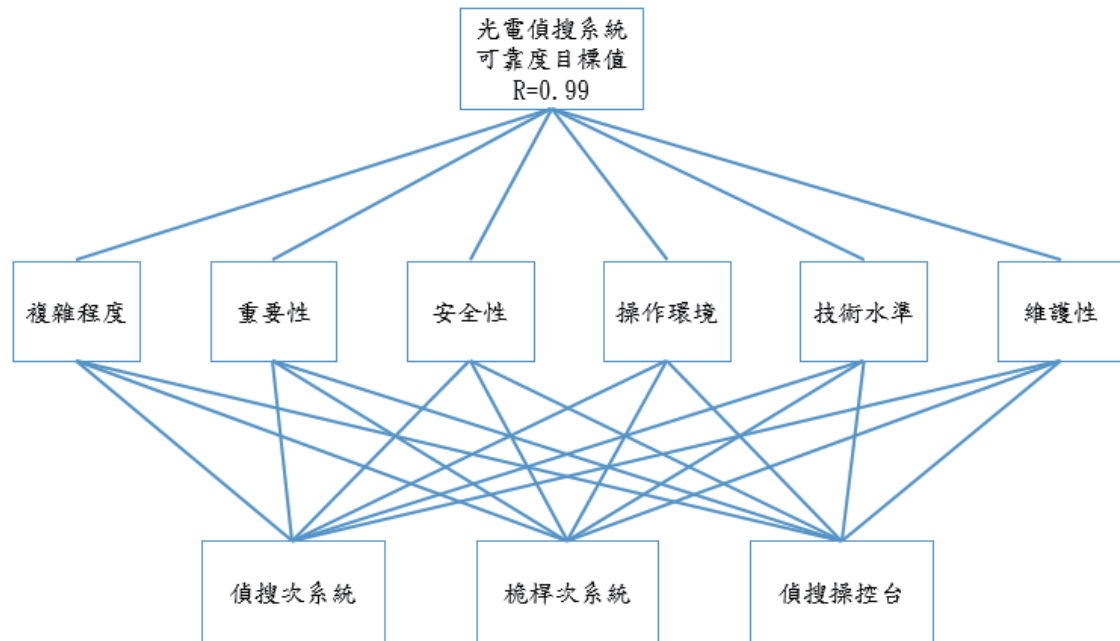
決定評估因子後，進而制定本研究之層級架構。評估準則層為建立評估項目以作為配當過程比較之考量內容。評估項目如上所述，分別為「複雜程度」、「重要性」、「安全性」、「操作環境」、「技術水準」及「維護性」。欲配當之產品層即為光電偵搜系統之各次系統（如圖六）。

二、問卷設計

層級分析法中有關因子間成偶比對，係以每一層級因子就上一層級因子為評估基準，透過問卷設計方式進行成對比較，過程中評估尺度劃分採名目尺度方式進行，Saaty建議評比尺度分成九個評比尺度，由受訪者就主觀意識評

17 同註2。

18 同註5。



圖六 光電偵搜系統可靠度配當層級架構圖

資料來源：本研究繪製

選每一成對因子間重要程度差異（如表一）¹⁹。

依表一及圖六，本研究設計1份「評估準則成對比較」問卷及6份「在評估準

則考量下之各系統成對比較」問卷，並以於複雜程度考量下之各系統成對比較問卷為例（如圖七）。

表一 Satty層級分析法評估尺度表

評估	尺度	程度說明
1	同等重要(Equal Importance)	兩比較因子影響程度具同等重要性
3	稍微重要(Weak Importance)	經驗與判斷稍微傾向某一因子
5	頗為重要(Essential Importance)	經驗與判斷強烈傾向某一因子
7	極為重要(Very Strong Importance)	實際顯示非常強烈傾向某一因子
9	絕對重要(Absolute Importance)	有足夠證據肯定絕對喜好某一因子
2,4,6,8	中間程度的重要(Intermediate values)	當需要折衷值時

資料來源：中國統計學報

19 鄧振源、曾國雄，〈層級分析法（AHP）的內涵特性與應用（上、下）〉，《中國統計學報》，第27卷第6、7期，西元1989年，頁1-20。

三、計算特徵向量及特徵值

當成對矩陣建立完成後，接下來就需計算出特徵向量值，以求權重。一般而言，層級分析法在計算向量值時，是採用行向量平均值的標準化法來計算，由於大部分之矩陣為非一致性矩陣，運用該法計算其精確度較佳，²⁰其計算公式如下，其原理為將各行元素正規化，再將正規化後之各列元素加總，最後再除以各列元素之個數。

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{其中 } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

在計算特徵值時，藉由先推算出一致性向量 (Consistency vector) 用 V 符號代表，以便求得 $\lambda_{\max}$ 值，其公式如下：

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \times a_{ij}}{W_i} \quad \text{其中 } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

最大特徵值 $\lambda_{\max}$ 即可藉由公式 (3) 求出：

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (3)$$

於複雜程度層面考量下

項目	絕對重要 9	8	極為重要 7	6	頗為重要 5	4	稍微重要 3	2	同等重要 1	2	稍微重要 3	4	頗為重要 5	6	極為重要 7	8	絕對重要 9	項目
偵蒐次系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	掩護次系統
偵蒐次系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	偵蒐操控台
掩護次系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	偵蒐操控台

圖七 於複雜程度考量下之各系統成對比較問卷

資料來源：本研究設計

四、一致性檢定

由於層級因素眾多，易使評分者在兩兩比較的判斷下，較難達成前後評比之一致性，故需對成對比較矩陣進行一致性檢定。檢定方式則係以一致性指標 (Consistency Index, C.I.) 與一致性比率 (Consistency Ratio, C.R.) 判定。

(一) 單一評估基準下判斷矩陣的一致性檢定

由於專家的判斷無法完全滿足一致性，故須進行一致性檢定。C.I. 可由公式 (4) 推算出，C.I.=0 表示前後判斷完全具有一致性，而 Saaty 建議 C.I. ≤ 0.1 時，則可視為成對比較矩陣一致性很高。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

20 同註11。

從評估尺度1-9所產生的成對比較矩陣，在不同階層數下，產生不同的C.I.值，稱為隨機指標(Random Index, R.I.)，而R.I.可由表二查詢得知。²¹而C.I.值與R.I.值的比率，稱為一致性比率，其公式如下：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (5)$$

在C.R.值 ≤ 0.1 時，則可視為整個評估過程以達到一致性要求，即成對比較矩陣之一致性程度使人滿意。

(二) 整體層級之一致性檢定 (Consistency Ratio of the Hierarchy, C.R.H.)

層級間之重要性不同，需檢驗整個層級結構是否具一致性。C.R.H. < 0.1 則表示所有層級結構之評估為可接受之水準，C.R.H.計算如公式(6)所示，其中C.I.H.為每層級之優先權重乘於每層級C.I.之總和，R.I.H.為每層級之優先權重乘於每層級R.I.之總和。

$$C.R.H. = \frac{C.I.H.}{R.I.H.} \quad (6)$$

表二 隨機指標表

階數 (n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

資料來源：The Analytic Hierarchy Process

²¹ 同註11。

²² Teng, J. Y., & Tzeng, G. H.(1993), "Consensus Ranking of Nondominated Alternatives in Multiple Decision-Markers and Multiobjective Investment Decision Problems," NTU Management Review, Vol.4, No.1, pp. 227-256 (檢索日期：民國114年6月29日)

五、解模糊數與正規化

解模糊化係將正倒值矩陣所求得之模糊數轉化為單一的數值，本研究採用Teng and Tzeng所提出的重心法進行運算對三角模糊數解模糊化。²²假設三角模糊數 $\tilde{A}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, R_{ij})$ ，則解模糊化公式如下所示：

$$DF = \frac{[(R_{ij} - L_{ij}) + (M_{ij} - L_{ij})]}{3} + L_{ij} \quad (7)$$

$$= \frac{(L_{ij} + M_{ij} + R_{ij})}{3}$$

為比較不同主要構面與評估指標的重要性，將解模糊權重值進行正規化，其公式如下所示：

$$NW_i = \frac{DF_{ij}}{\sum DF_{ij}} \quad (8)$$

肆、研究分析與結果

一、問卷結果

本研究問卷調查發放的對象為參與光電偵搜系統之研發單位、整體後勤、

計畫管理及使用單位等相關人員，發放份數計10份，回收份數計10份，回收率達100%；問卷經檢視一致性檢定及填答完整性後，有效問卷計10份（如表三）。

表三 問卷群體基本資料類別分析表

樣本類別	類別區分	樣本人數	百分比率(%)
性別	男	9	90%
	女	1	10%
學歷	高中職	0	0%
	專科	1	10%
	大學	1	10%
	碩士	6	60%
	博士	2	20%
本計畫 角色	設計單位	2	20%
	後勤單位	4	40%
	計畫單位	2	20%
	使用單位	2	20%
從事相關 工作時間	0至10年	4	40%
	11至20年	4	40%
	21至30年	0	0%
	30年以上	2	20%

資料來源：本研究整理

二、研究分析結果

（一）一致性檢定結果

本研究係將各專家評分值以幾何平均方式進行整合，並以行向量平均值方式計算特徵向量，計算方式參考公式(1)。計算最大特徵值則採公式(2)先推算出一致性向量後，再藉由公式(3)求得最大特徵

值（如表四、五）。

最後參考公式(4)及公式(5)計算單一評估基準下之一致性指標(C.I.)與一致性比率(C.R.)，計算結果如下（如表六）：

Saaty 建議在 $C.I. \leq 0.1$ ，則可視為成對比較矩陣一致性很高，在 $C.R. \text{值} \leq 0.1$ 時，則可視為整個評估過程以達到一致性要求，即成對比較矩陣之一致性程度使人滿意。從表六得知，無論係評估層或各層面考量下之一致性檢定結果皆 ≤ 0.1 ，表示本研究問卷調查結果係滿足一致性檢定。

層級間因重要性不同，故需檢驗整個層級結構是否具一致性，本研究參考公式(6)計算整體層級一致性，其中每層級之優先權重即為評估層各因子之特徵向量。由此得知 $C.R.H. \leq 0.1$ ，表示所有層級結構之評估為可接受之水準，計算結果如下（如表七）：

表四 評估層一致性向量及特徵值

評估項目	W_i	重要性排列	V_i	$\lambda_{\max}$
複雜程度	0.11	4	6.29	6.27
重要性	0.28	1	6.35	
安全性	0.22	2	6.39	
操作環境	0.10	5	6.28	
技術水準	0.08	6	6.08	
維護性	0.21	3	6.24	

資料來源：本研究整理

表五 單一評估基準之一致性向量及特徵值

各次系統	複雜程度		重要性		安全性		操作環境		技術水準		維護性	
	V_i	$\lambda_{\max}$	V_i	$\lambda_{\max}$	V_i	$\lambda_{\max}$	V_i	$\lambda_{\max}$	V_i	$\lambda_{\max}$	V_i	$\lambda_{\max}$
偵搜次系統	3.17	3.09	3.18	3.10	3.07	3.05	3.04	3.06	3.10	3.07	3.10	3.06
桅桿次系統	3.02		3.02		3.03		3.02		3.04		3.02	
偵搜操控臺	3.08		3.10		3.04		3.12		3.07		3.07	

資料來源：本研究整理

表六 單一評估基準下一致性檢定結果

區分	C.I.	R.I.	C.R.
評估層	0.05	1.24	0.04
於複雜程度層面考量下	0.04	0.58	0.08
於重要性層面考量下	0.05	0.58	0.09
於安全性層面考量下	0.02	0.58	0.04
於操作環境層面考量下	0.03	0.58	0.05
於技術水準層面考量下	0.04	0.58	0.06
於維護性層面考量下	0.03	0.58	0.05

資料來源：本研究整理

表七 整個層級結構一致性檢定結果

區分	C.I.	R.I.	每層級優先權重	C.I.H.	R.I.H.	C.R.H.
評估層	0.05	1.24	1.00	0.09	1.82	0.05
於複雜程度層面考量下	0.04	0.58	0.11			
於重要性層面考量下	0.05	0.58	0.28			
於安全性層面考量下	0.02	0.58	0.22			
於操作環境層面考量下	0.03	0.58	0.10			
於技術水準層面考量下	0.04	0.58	0.08			
於維護性層面考量下	0.03	0.58	0.21			

資料來源：本研究整理

(二) 模糊化、解模糊化

本研究運用三角形模糊數進行模糊化，將問卷結果進行語意變換，並藉由幾何平均數方式整合專家之共識，進而建立模糊正倒值矩陣。本研究運用Buckley

所提出的幾何平均法來進行模糊權重計算，另採用Teng and Tzeng所提出的重心法來執行三角模糊數解模糊化，參考公式(7)將模糊權重值進行解模糊化。為比較各項評估指標之重要性，將解模

糊權重值進行正規化，正規化過程如公式(8)，以下係解模糊權重值及正規化權重值之計算結果(如表八、九)：

從表八得知6項評估因子對於制定各次系統可靠度配當值皆具有程度不一的影響，重要性排列依序為重要性>安全性>維護性>複雜程度>操作環境>技術水準。重要性評估因子係指凡發生失效易導致整個產品系統喪失功能之分項應予重視，需配予較高之可靠度。偵搜戰術輪車係屬國防武器裝備，主要功能為保障國

家安全，如因某項次系統裝備故障即導致全裝備無法使用，將對國防安全產生重大影響，故各專家在評估可靠度時，皆把次系統重要性擺在第一位，從問卷結果分析得知符合上述說明。安全性評估因子係指一旦發生失效，對人員或設備安全有重大影響之分項應配予較高之可靠度。除重視裝備可靠度外，設計/使用單位亦會防範因次系統故障而導致人員危害情事發生，故安全性評估因子受專家重視程度僅次於重要性評估因子。綜上所述，

表八 評估層解模糊權重值及正規化權重值

評估項目	DF	NWi	重要性排列
複雜程度	0.38	0.14	4
重要性	0.68	0.25	1
安全性	0.63	0.24	2
操作環境	0.28	0.10	5
技術水準	0.22	0.08	6
維護性	0.49	0.18	3

資料來源：本研究整理

表九 評估層各因子下之次系統解模糊權重值及正規化權重值

於複雜程度層面考量下				於重要性層面考量下			於安全性層面考量下		
區分	DF	NWi	重要性排列	DF	NWi	重要性排列	DF	NWi	重要性排列
偵搜次系統	0.75	0.65	1	0.78	0.61	1	0.75	0.51	1
桅桿次系統	0.10	0.09	3	0.11	0.08	3	0.32	0.22	3
偵搜操控臺	0.30	0.26	2	0.39	0.31	2	0.41	0.28	2
於操作環境層面考量下				於技術水準層面考量下			於維護性層面考量下		
區分	DF	NWi	重要性排列	DF	NWi	重要性排列	DF	NWi	重要性排列
偵搜次系統	0.30	0.22	2	0.81	0.52	1	0.87	0.59	1
桅桿次系統	0.15	0.12	3	0.33	0.21	3	0.15	0.10	3
偵搜操控臺	0.89	0.66	1	0.41	0.27	2	0.46	0.31	2

資料來源：本研究整理

重要性及安全性之權重比例和就約佔全部因子權重和之50%，由此可知，這二項因子影響次系統可靠度配當值有多深。

(三) 層級串聯及計算可靠度配當值

接著進行各次系統組合權重，計算方式係將評估層各因子正規化權重值乘於在各評估因子層面考量下之各次系統正規化權重值，即可得各次系統組合權重，計算結果如下(如表十)。

由表十得知，偵搜次系統組合權重為0.54、桅桿次系統組合權重為0.13及偵搜操控臺次系統組合權重為0.33。由圖六可得知光電偵搜系統可靠度目標值為0.99，則可運用可靠度配當公式推算出運用模糊層級分析法所求得光電偵搜系統之各次系統可靠度配當值。

計算結果為偵搜次系統可靠度配當值係0.9946、桅桿次系統可靠度配當值係0.9987及偵搜操控臺次系統可靠度配當值係0.9967(如表十一)。後續設計單位即可依照此可靠度配當值進行產品設計與挑選，以利武器裝備可達到需求單位之可靠度目標。

伍、結論與建議

本研究旨在尋求及驗證一套兼具客觀性、周延性及整體性之計算裝備可靠度配當方法，並運用於推算偵搜戰術輪車光電偵搜系統之各次系統可靠度配當值，供設計人員參考分析運用。然因配當各裝備可靠度值時，需考量層面或因子太

表十 各次系統組合權重表

評估項目	評估層各因子 NW_i	區分	偵搜次系統 NW_i	桅桿次系統 NW_i	偵搜操控臺 NW_i
複雜程度	0.14	於複雜程度層面考量下	0.65	0.09	0.26
重要性	0.25	於重要性層面考量下	0.61	0.08	0.31
安全性	0.24	於安全性層面考量下	0.51	0.22	0.28
操作環境	0.10	於操作環境層面考量下	0.22	0.12	0.66
技術水準	0.08	於技術水準層面考量下	0.52	0.21	0.27
維護性	0.18	於維護性層面考量下	0.59	0.10	0.31
組合權重			0.54	0.13	0.33

資料來源：本研究整理

表十一 各次系統可靠度配當值表

區分	偵搜次系統	桅桿次系統	偵搜操控臺
組合權重	0.54	0.13	0.33
重要性排列	1	3	2
可靠度配當	0.9946	0.9987	0.9967

資料來源：本研究整理

多，經查相關文獻發現，現行常用可靠度配當分析方法皆無法滿足上述條件，故本研究嘗試運用模糊層級分析法在考量所有配當時需參考之因子並改善現行常用配當方法之缺點下，進行光電偵搜系統各次系統可靠度配當，從中歸納出研究結論及對未來建議分述如下：

一、經由相關文獻收集及與負責可靠度配當工作之資深同仁探討後，整理出較具代表性且符合裝備可靠度配當評估之相關評選因子，分別為「複雜程度」、「重要性」、「安全性」、「操作環境」、「技術水準」及「維護性」等六項評估因子。

二、從模糊層級分析法計算結果得知，各次系統組合權重排序為偵搜次系統、偵搜操控臺及桅桿次系統。推算出各次系統之可靠度配當值後，提供予設計單位參考，並考量是否可滿足後續於可靠度預估階段，評估所選裝備是否滿足可靠度要求，以確保光電偵搜系統可靠度達到專案所設定之目標。

三、當裝備可靠度配當愈準確，在設計時則可更精確選取相對可靠度之裝備或零組件，減少後續於可靠度預估與驗證時，因發生某些裝備未達可靠度值而被迫更換成更高規格或軍規格之問題產生。如能避免上述情況，將可大大降低重新設計或重新選件所衍生之成本。而本研究應用

模糊層級分析法進行裝備/零組件可靠度配當，應可比其他配當方法更精確及更具可信度。

四、本研究所提出之可靠度配當模式具方便、簡單及直覺之優點，可提供產品在研製初期，執行配當之參考。未來在評估模型發展，如可獲得各系統以往類似裝備之可靠度服役值作參考，並以任務可靠度的觀點出發，畫出可靠度方塊圖以決定串並聯的設計，找出並聯系統內部的相關性且計算全系統可靠度值的上下限值。後續配當時，加入各系統之可靠度值之上下限值作為邊界，將可更進一步深入及精確的探討產品可靠度配當的管理工作。

作者簡介

鄭博宇中校，美國海軍研究院系統工程碩士畢業。曾任中科院航空所模擬組維修工程師、整維組專案管理師、整維組小組長，現為國家中山科學研究院航空研究所整維組副組長。

作者簡介

劉勇志工程師，國立中興大學電機工程所博士畢業。曾任中科院航空所品維組專案經理、整維組工程師，現為國家中山科學研究院航空研究所整維組工程師。