

出國報告（出國類別：開會）

「2022 年成本/資源分析研討會」  
出國報告

服務機關：國防部整合評估司、國防部主計局

姓名職稱：范姜群智中校、楊博閔中校

汪綱維上校、江高賢中校、陳曉緣專員

派赴國家：美國

出國期間：111 年 5 月 14 日至 22 日

報告日期：111 年 6 月 28 日

## 摘要

「2022年成本/資源分析研討會」出國案於今（111）年5月14日至5月20日，假美國賓夕法尼亞州匹茲堡市（Pittsburgh, PA）舉行，國防部由整合評估司及主計局共同派員與會。本項會議係由國際成本評估暨分析協會（International Cost Estimating & Analysis Association, ICEAA）舉辦，會中邀集各國政府機關、學者專家以及民間企業公司等代表參加，藉由相關論文及研究發表，讓與會人員針對成本分析及評估方法等領域進行交流。

會議中提到，數據資料是成本分析的核心，為準確推估各項成本，從成本蒐集的複雜性，到資料分析的困難度，以及最終報告如何呈現，產、官、學、研界透過互相合作，結合現有的數據資料庫，並嘗試運用各項創新技術，開發適用於不同場景的成本模型，進行分析推估，提供決策單位制訂政策或是參考建議。國防資源有效分配是一項重要的工作，我國可借鏡國外如何運用創新觀念及新技術進行成本分析，使分析作業更完善，以發揮成本分析最大效益。

# 目次

一、 摘要.....	1
二、 序言.....	3
三、 目的、行程概述及研討會摘要.....	4
四、 心得與建議.....	11
五、 附錄(活動紀實).....	13

# 序言

國際成本估算暨分析協會(ICEAA)是一個國際性非營利組織，致力於促進和加強成本估算及分析專業性，其主要目標是促進成本估算師和分析師在相關領域的專業發展，目前該協會在澳洲、加拿大、日本和英國等國家設有 24 個分會，該協會每年定期召開成本分析研討會，提供與會人士進行交流之平台。今年研討會在美國賓州匹茲堡市舉辦，時間從 5 月 17 日至 19 日，這次研討會出席人員約 410 位，包含政府機關代表，像是美國土安全部(DHS)、國防部成本評估與計畫評鑑辦公室(CAPE)、能源部(DOE)、總務署(GSA)、核能安全管理局(NNSA)、聯邦航空總署(FAA)、運輸司令部(USTRANSCOM)、陸海空三軍成本分析單位(AAIC、NAVAIR、AFCAA)、太空系統指揮部(SSC)、加拿大安大略省的財務責任辦公室(FAO)、學者專家(華盛頓、匹茲堡、西佛羅里達大學)，民間企業及國防廠商等專業領域人士(BAE、L3 Harris、Lockheed Martin、Boeing、Raytheon、Cobec、Systecon)等。

今年的研討會包含了 3 場次主題演講以及 63 場小型研討會議，研討主題區分為分析方法、數據科學、機器學習、管理與風險、建模與分析、流程和實踐(Processes & Best Practices)、軟體和敏捷開發以及未來趨勢等 8 項類別，其主軸圍繞在成本分析技術以及相關應用範疇，像是程式設計語言 R、Python，還有建造模型使用的人工智慧(A.I.)、機器學習(ML)以及便於分析的數據視覺化工具(Data Visualization Tools)，其知識和技能對成本分析領域發展極具重要性，我們可以從研究的主題發現成本分析的趨勢從傳統商業產品轉向至核能系統以及太空系統開發成本估算，以及如何運用成本估算來面對氣候變遷帶來的影響。

# 「2022年成本/資源分析研討會」出國報告

## 一、目的

- (一) 與各國成本估算專家學者進行研討與交流，學習成本推估新觀念及方法，以及國外產業界及政府部門合作之實務經驗，提供本部成本分析作業及「國軍主要武器裝備成本資料庫」功能精進參考，未來可導入成本統計與分析技術，擴充系統功能模組，以達有效支援國防資源決策。
- (二) 藉由蒐整國防工業廠商成本估算方式及美國防部對廠商報價審查流程，瞭解成本資料查核要點，用以精進本部成本分析作業機制，俾達落實成本管理及節約國防預算目標。
- (三) 瞭解美國成本分析領域相關指引文件、出版品、應用軟體與資料庫(含建置機制)，列入本部成本分析教育訓練素材，擴展與會效益。

## 二、行程概述

此次出訪人員為國防部整合評估司范姜群智中校、楊博閔中校，以及主計局汪綱維上校、江高賢中校、陳曉緣專員，合計5員，訪團於111年5月14日自桃園國際機場啟程前往美國匹茲堡，於美東時間5月17日至19日參加成本/資源分析研討會。會議期間由成員依據會議主題內容及議程時間，參與各分組會議，並與在場專家學者交流及研討成本分析概念、作業模式與實務經驗，續於5月20日啟程返國，5月22日返抵桃園國際機場。下表為此次訪團參加之議程表。

日期	類別	研討主題
5月17日	分析方法	商用軟體採購與自主研發軟體全壽期成本分析
	管理與風險	大型專案成本管理與風險追蹤
	數據科學	成本評估的演進與未來
	數據科學	運用自然語言(NLP)工具提升成本估算準確率
	數據科學	運用雲端平台和工具執行成本分析
5月18日	流程和實踐	成本估算關係(CER)最佳化
	建模與分析	運用參數模型及工程技術推估太空任務成本
	建模與分析	武器裝備生產成本學習轉移及相對效率之分析
	機器學習	運用人工智慧提升軟體開發成本估算精準度
	機器學習	運用自然語言識別及分類重要資產工作分解結構

5月19日	未來趨勢	美國防部成本估算指南介紹
	未來趨勢	氣候變遷對基礎建設的影響成本估算
	建模與分析	運用生產曲線探討二次世界大戰飛機製造的生產成本
	分析方法	政府基礎建設維持成本之分析

### 三、 研討會內容摘要

(一) 商用軟體採購與自主研發軟體全壽期成本分析 (Software Licenses: A Bill You Can't Pay?)

受資訊化及科技化的影響，美國防部每年花費許多預算在採購軟體系統，在過去20年，美國防部則藉由強化採購和使用商業軟體，以試圖降低研發成本，而本研究的目的就是為驗證是否達到預期成果所做的。

本研究係由美陸軍未來司令部(Army Futures Command)和陸軍副助理辦公室(Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army)所提出，並以美陸軍軟體維護計畫(Army Software Sustainment Initiative)為基礎，該計畫目標是為有效評估和驗證軟體系統的生命週期，並蒐集各項軟體系統的成本數據及參數，並運用這些數據產生成本估算關係(Cost Estimating Relationships)，過去8年，該計畫已蒐集軟體授權資料3,800多筆，包含軟體系統基本資料、軟體版本、授權數量和成本等資訊，並將相關資訊進行分類歸戶及統計分析。

經統計發現，藉由瞭解供應商的軟體授權數量，可以發現美陸軍對部份公司軟體系統依賴程度相當高，像是微軟(Microsoft Corp.)、甲骨文(Oracle Corp.)、VMware等公司，若因為商業(成本)考量轉換至另一間軟體公司，其影響性很廣且困難度相當高。

另外研究人員也發現，每年的授權維護費用逐步增加的部分，主要是在客製化以及專業軟體(例如地理測繪、影像處理)，而有些軟體授權(維護)費用調降是因為供應商改變定價策略(例如一次性購買變為訂閱制)或是因為供應商遭收購等原因致使。

研究結果顯示，每年軟體授權(維護)的預算編列，應以5%的成長率來計算，且必須考量通貨膨脹率，爰以超過5%計算，並藉由持續追蹤軟體系統的價格，將有機會獲得較精準且較低的採購成本。

然而在進行軟體成本的評估，最大的困難度在於資料的標準化，在軟體維護計畫所收集到的成本數據中，包含超過500間軟體開發商所提供的資料，且由於軟體授權的資訊，包含專業術語、軟體授權範圍等非成本數值的資料，致使許多資訊無共同的定義及

屬性，而資料的不一致性，也造成軟體授權成本無法準確評估，因此學者建議相關軟體授權成本及資訊應該要完成標準化及一致性，並在獲得各管理階層的認可及贊助下長期持續投入資料蒐整及分析等工作，才能提升軟體授權成本評估準確性。

結論提及由於軟體授權的總擁有成本 (Total Ownership Cost) 包含採購、安裝、運行和維護到汰除作業整個週期所產生之費用，在無法充分瞭解軟體授權維護成本，使用者亦將無法掌握全壽期成本。

## (二) 成本評估的演進與未來 (Cost Estimating Maturity and a Vision for the Future)

成本估算的歷史已有相當長的時間，早在工業革命之前，人們為了宗教或是商業因素，便運用統計學、工程學和經濟學的知識，估算教堂、船舶、橋樑、鐵路等設施及裝備的建造時程以及成本，這些估算師 (Estimator) 在當時歸類為後勤人員，代表人物則有達文西 (Leonardo da Vinci)，他依據船身大小、裝載容量以及造船技術建立了船舶成本評估關係；另一位英國工程師伊桑巴德·布魯內爾 (Isambard Kingdom Brunel) 則依據鐵路車輛的鐵軌寬度以及燃料消耗程度等參數，建立了成本評估模型，並應用在美國西部鐵路的建設上。

隨著工業革命的出現，機器取代傳統人力及畜力，加上電力大規模應用普及，使得生產力大幅提升，成本估算的需求也日趨上升，並且從商業應用延伸到軍事方面。在1950年時，蘭德智庫 (RAND Corporation) 成立了成本分析部門，目的係運用第二次世界大戰所開發的作業研究方法 (Operations Research) 分析武器系統成本，該智庫定義了成本要素 (也就是後來的工作分解結構的雛型)，並開發了飛機通用的成本估算關係；1980年時，美國防部成立了計畫評估與分析辦公室 (CAPE的前身)、空軍成本分析中心 (AFCCA)、海軍成本分析中心 (NCCA)、陸軍成本和經濟分析中心 (CEAC)，這些成本分析單位致力於資料標準化的作業，並持續建置各式成本模型，例如無人太空飛行載具成本模型 (USCM)，同一時期還有許多專業的成本估算協會組織成立，並提出了參數分析、統計估算、蒙地卡羅模擬、成本動因等各式理論及應用。

到了第三次工業革命後期，自動化的電腦再一次大幅提升生產力，核能技術則提供超過石油的發電效率，因應不同領域的挑戰及應用，成本分析的專家們提出了描述性統計及推論統計、回歸模型、因素分析法、時間序列及決策樹等理論及工具。後續隨著電腦處理效能越來越高，儲存裝置的成本越來越低，為了蒐集更多資料的及分析應用，專

家提出了不同演算法 (k-Means clustering、k-Nearest Neighbors)、神經網路、模糊理論、進化演算法 (Evolutionary Programming) 等相關理論，近年則有人工智慧、機器學習 (ML)、自然語言處理 (NLP) 以及數位雙生 (Digital Twins)。

隨著數據資料呈現指數型成長，作者提出了用5個分析的基礎原則 (5V) 來說明資料分析的流程，分別是資料量 (Volume)、資料多樣性 (Variety)、資料產生速度 (Velocity)、資料正確性 (Veracity)、資料價值 (Value)，其程序為分析師從快速成長的中資料海洋 (Big Data Ocean) 中進行資料探勘及標準化作業，接續透過人工智慧及機器學習等方法擷取資料特徵並予以分類，以形成特定的資料湖泊 (Data Lake)，接續進行歸納及演繹推理，找出因果關係及建立模型，分析人員可運用模擬及最佳化等技巧進行分析，藉以提出最佳的建議及策略。

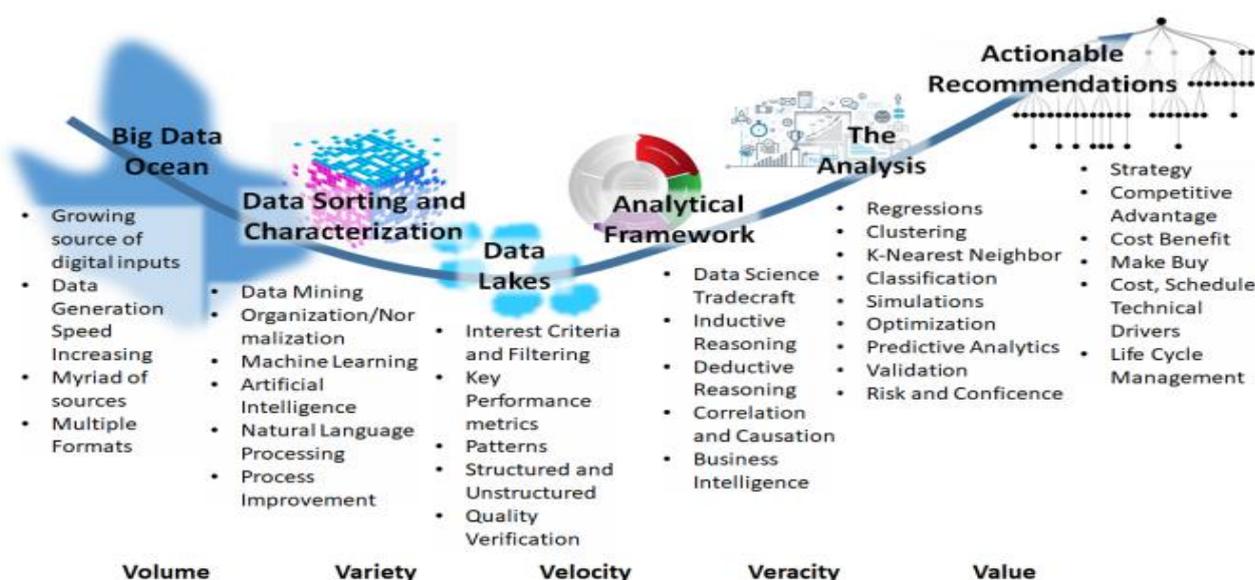


圖 1：資料數據分析的 5 個基礎原則

### (三) 運用生產曲線探討二次世界大戰飛機製造的生產成本 (Second Source Manufacturing: Lessons from the Second World War)

隨著航運和通訊技術的進步，加上愈來愈多國家開放對外來投資的限制，全球化生產鏈已經成為一種趨勢，然而將生產基地轉移到其他地區或是另開一條產線，是否符合經濟效益，是許多企業在投資新產線前所在乎的，本研究係以第二世界大戰美國生產轟炸機所蒐集到的相關數據進行分析依據，並運用學習曲線 (Learning Curve) 理論分析產線轉移的效果。

在第二次世界大戰之前，美國的飛機工業僅是小規模生產，此時飛機的生產製造並

未採用生產線模式，而是在單一廠房隔間內完成製造，這使得美國在1938年時，一年僅生產900架的軍用飛機。然而隨著歐洲戰爭的接近，美國為了可能的衝突開始做準備。1940年，美國總統羅斯福（Franklin Roosevelt）在國會宣布大幅增加飛機的生產能力，且產能要達每年5萬架，自此美國開始針對B-17、B-24、B-29等各型轟炸機展開大量生產的工作，然而當時這三款轟炸機都是單一生產基地，為擴大產能，於是主飛機設計製造商開始尋求和其他公司進行合作。

B-17轟炸機主要製造設計商為波音公司（The Boeing Company），生產基地在西雅圖，為擴大產能，波音公司找到洛克希德（Lockheed-Vega）及道格拉斯（Douglas）兩家公司，並分別在伯班克以及長灘兩地開設新的生產基地，經由這三間公司在原料採購、主生產計畫、檢驗標準的高度協調合作及經驗分享，新生產基地的產能學習曲線相當接近原本西雅圖工廠，其學習損失的比率介於2%-12%之間，而且生產成本亦較西雅圖工廠低廉。

B-24轟炸機主要製造設計商為康維爾公司（Consolidated-Vultee），生產地在聖地牙哥，該公司尋求福特汽車公司（Ford Motor）、北美航空（North American Aviation）、道格拉斯公司合作，並在柳樹鎮、塔爾薩、達拉斯和沃思堡等地建立新的生產基地，然而B-24轟炸機的生產並未像B-17一樣有一個良好的溝通平台等，每一個工廠的學習損失差異相當大（3%-106%），且由於標準不統一及溝通不順暢，讓北美航空和福特公司出現進度較緩慢或是材料浪費等問題。為了克服標準化的問題，福特公司依據汽車製造的經驗，設計了飛機製造的生產線，讓工廠內有一條飛機裝配線，而這也使得福特公司的最後生產成本較原製造商的生產成本為低。

B-29轟炸機主要製造設計商同樣是波音公司，生產地則是在威奇塔，該公司這次是和貝爾公司、馬汀公司合作，並在瑪麗埃塔、倫頓、奧馬哈等地建立新產線。而B-29轟炸機在1941年接受訂單時，仍未經過實際飛試階段，其發動機、中央射控及遙控火炮更是經常失效，這使得飛機製造過程中經過多次設計變更，並不斷尋求品質穩定的零組件供應商，導致製造商之間的生產協調和知識經驗共享變得相當複雜。經過數據分析，B-29的生產學習損失率範圍從14%-49%，而且新產線的生產成本均較原有產線高。

總結這3款轟炸機的生產經驗，作者作了以下4點結論：

1. 並非所有學習經驗都能順利轉移，依據上述案例的經驗，平均學習損失率為36%。

2. 工程資料及製造程序等資訊及經驗轉移，是降低學習損失率的關鍵因素。
3. 當生產數量越大，新產線的學習曲線將接近原有製造商的生產曲線。
4. 合作製造的廠商很難將生產成本降得比原本設計製造商來的低。

#### (四) 美國防部成本估算指南 (DoD Cost Estimating Guide v2)

身處在各項威脅以及財政壓力不斷增加的環境中，評估國防事務採購的優先順序變得相當重要，政府部門需要將有限的資源及預算在對的時間採購對的項目以及對的數量，為此美國防部成立了成本評估與計畫評鑑辦公室 (CAPE)，藉由分析師完成武器裝備替代方案評估、武器編裝及人力資源需求的分析，提供最佳軍事能力組合，並在其他專業領域 (如軍醫、資訊科技) 提供專題研究及建議，並建立相關分析模型。

美國防部專屬分析師約1,500位，每年分析評估的金額超過7,000億美元，為使每個分析師瞭解成本分析的概念以及流程，並提供一致性的標準用語，CAPE於2020年12月發布了第一版的成本估算指南，提供所屬人員參考運用。而2022年2月份則發布了第二版，此版指南著重在更新參考的法規及指引、強化成本估算流程與方法、術語統一解釋，以及人員培訓的參考資料、並新增工作分解結構 (WBS) 及成本要素結構 (CES) 的範例以及案例分析。指南中介紹一個通用的成本估算流程，共區分為8個步驟，這些步驟將會重疊以及反覆執行。

1. 政策法規 (Policy)：由於成本分析單位的作法及程序，會因為任務要求、人員配置或是特殊狀況有所不同，因此分析師不能僅依據單一規則，應參考不同單位制定的法規、指導文件、說明指南或是手冊，找出必須遵守的法規及最合適的指引文件。
2. 專案定義 (Program Definition)：瞭解專案執行的各種資訊，包含專案總體目標、專案人員組成及職掌、合約商角色及功用、裝備效能及技術參數、期程規劃、整體後勤支援、工作分解結構及成本估算結構。
3. 成本估算基礎 (Cost Estimate Basis)：依據政策法規以及專案定義階段所蒐集的資訊，成本分析師會制定成本估算的詳細計畫，內容包含依循的政策法規、成本估算目的及範圍、成本估算結構、程序及方法、成員編組、相關研討會議規劃、成本估算時程表，並將相關風險假設納入。完成本估算計畫後，成本分析師會針對成本估算所需要的數據進行蒐集、驗證、和標準化。數據的相關性、時效性以及準確性是至關重要的，引用錯誤的資訊會導致分析結果有巨大的誤差。除了成本數據外，還有其他的變異因素資料也要

蒐集，像是通膨指數、技術參數以及工作時程等數據，再加上資料數據可區分為量化及質化、客觀及主觀、原始及再製、一次性和重復性等不同特性，使得數據蒐集是成本估算中最困難、最耗時且花費最多的程序。

4. 成本估算方法 (Methods)：最常用的估算法計有類比推估 (Analogy)、累積估算 (Build-up)、參數推估 (Parametric)、專家意見等，每個方法都有各自適用的推估情境，依據專案的複雜度，分析師也經常混用不同的分析方法，以及運用學習曲線、線性迴歸、離群值等統計方法，同時考慮成本因素的相關連動性及風險發生機率，以推估可能的成本。
5. 建立成本推估模型 (Model)：成本推估模型的建立最早可以從專案定義階段開始，越早開始建立模型，將有助於及時發現問題以及數據的漏洞。分析師可以利用EXCEL試算表或是ACEIT等軟體工具，建立成本估算模型，再利用R、Python等程式語言進行內容分析，並輔助以視覺化軟體呈現分析結果。模型的建立應採用簡明的結構，使內容容易調整、並減少複雜的公式及條件，避免影響模型計算效能，增加自動化的連結，將動態的變因納入（例如產量增加、工項進度落後），讓成本模型自動更新，減少誤差。模型建立後，還要用分析師預測各財政年度的支出情形，並掌握通貨膨脹因素等影響，制定每年預算需求數，以確保有足夠的預算來執行關鍵的工項。
6. 初步結果 (Initial Results)：藉由交叉檢查、敏感度分析、假設分析驗證模型結果，確保成本估算的結果是可信任、準確以及有數據可查證的。
7. 最終結果及報告 (Final Results and Documentation)：經過一系列的推估程序後，分析師最後產出一份文件報告提供給所有專案相關人員，該報告將闡明成本推估的目的及範圍、基本規則及考慮事項、流程說明及計算過程、成本估算的假設、工作分解結構、數據的標準化、異常值的處理、分段交付成果、潛在的風險以及應變計畫、成本估算結果及相關圖表、下一次成本估算的建議等相關資訊。美國國會經常則責成問責局 (GAO) 評估國防部所提出的項目，確保其成本估算是精確可信的。
8. 下一個分析 (Next Analysis)：完成最終報告後，成本評估小組將開始準備下一次的推估任務，可能是同一專案的延續，也可能是全新的項目。

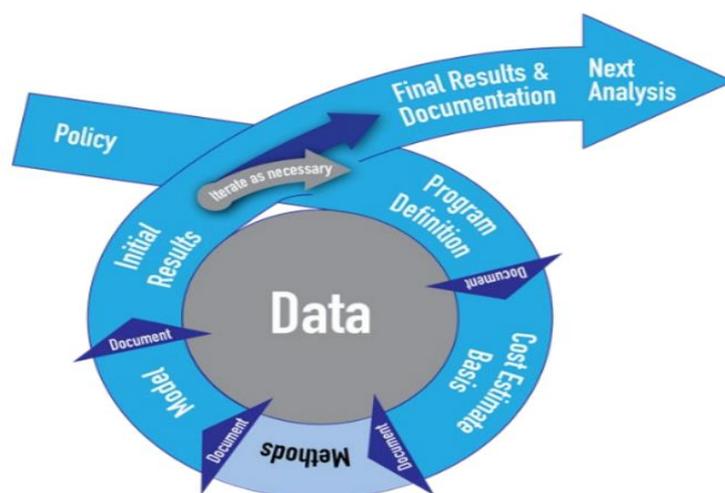


圖2：成本估算流程

#### 四、心得與建議

此次為期3天的研討會，包含了3場主題演講以及63個小型研討會議，會議主軸圍繞在成本分析技術及其應用範疇，其領域包含商業應用、核能系統、太空系統開發，以及如何應用成本估算，以降低氣候變遷的影響程度，各個專家學者分享其研究成果及心得，提供與會人員新的思維及發想，本次與會期獲得對成本效益分析等工作有所助益之經驗，並能將相關研究技術與觀念引進後續評估作業參考。本次年會參加心得及建議如下：

##### (一)廣泛且持續蒐整成本資料

美國羅斯福總曾說過：我相信你對過去了解得越多，你對未來的準備就越充分（I believe that the more you know about the past, the better you are prepared for the future.）美國在成本的蒐整作業就是此一精神的最佳體現，自二次世界大戰以來，美國就開始建立成本數據蒐集的習慣，直到現在，許多的軍方單位都已建立單位的成本數據資料庫，蒐集單位平時運作的相關數值資料，作為後續成本推估的應用，而成本資料蒐集的過程，會遇到成本數據不易定義、內容缺漏、或是資料過時無法再次利用等問題。作為成本推估的核心，藉由資料的蒐集可以發現許多需要克服的難題，也只有持續且廣泛蒐集正確的資料，提告資料可信度，才能有效且客觀的進行成本推估作業。

##### (二)妥適利用各項科學工具

隨著所蒐集到的數據越來越多，資料庫已經逐漸擴充為大數據的資料庫，如何選擇合適的工具也變成重要的議題，從資料蒐集到成本分析，一直到產出最後報告，都有個階段

對應之工具，而隨著資訊科技不斷創新，數據分析的方法及工具也不斷創新，在研討會中，可以看到許多研究發表都採用新的理論及工具，其技術範圍包含AI人工智慧、機器學習、自然語言處理、R語言、Python 語言等，這些應用科技技術含量相當高，分析人員無法瞭解所有背後運作原理，應適當與相關專家、合約商合作，才能把數據資料有效蒐集及分類、剖析數據資料內容以及產出易於閱讀之圖表報告。本部應與相關領域的專家或是合約商共同合作，以有效利用現有數據資料庫，發揮其效益。

### (三)充實本職學能並與專家學者進行交流

在各種軍事投資項目激烈競爭以及資源有限的環境中，如何把在正確的時間點將合理的預算投注在最優先的項目，是每位分析人員最重要的工作，然而整個成本分析的過程不僅是把數字帶入公式計算答案而已，還需要瞭解專案相關背景知識及需求，並提出各種質疑與挑戰，把可能的各種情景納入分析項目，才可以使得分析結果更趨於實際結果，此次會議與各國學者專家研討，可以發現即使許多政府與企業已投入相當多的心力在成本分析領域，仍發現有其不足以及需要精進的地方，也正因為如此，這些專家仍不斷鑽研更適切的成本分析方法，我國各分析人員應以此為鑑，持續充實本職學能，並與專家學者持續交流，精進自我學識並用於成本分析領域，以提升成本分析作業效益。

## 附錄(活動紀實)



專家演講



各場次研究論文發表



與在場學者專家合照



整合評估司及主計局與會人員合照