

系統在概念設計階段之成本預估

A METHOD OF COST ESTIMATION OF SYSTEMS IN CONCEPTUAL DESIGN STAGE

蔡有藤

四海工商專校機械科

王國雄

國立中央大學機械系

Yuo-Tern Tsai

*Department of Mechanical Engineering
Sze-Hai Institute of Technology & Commerce*

Kuo-Shong Wang

*Department of Mechanical Engineering,
National Central University*

摘 要

正確預估成本是系統設計重要工作，本文將功能需求視為成本函數，對一在概念階段的不確定系統進行成本預估。從直接材料成本、直接人工成本、變動製造費用、固定製造費用建立系統成本結構，分析系統各項成本分佈、成本結構關聯性，在不同功能需求下成本平均值與變異數；依據分析的成本資訊利用最小平方法找出系統功能需求和成本的對應關係，據此估算欲開發新系統的總成本，進一步由估算之成本評估系統在不同成本下設計的達成機率，以為設計決策依據；整個過程以開發一部無人搬運車為例來說明此成本預估方法。

關鍵詞：成本預估、不確定系統、功能需求

ABSTRACT

While designing a new system, cost is a critical factor in determining the design whether is supported or not. This paper presents a method of cost estimation of uncertainty systems in conceptual design stage. First of all, direct materials costs, direct labor costs, variable factory

overhead and fixed factory overhead are considered to build the cost structure of a system. Second, the cost information of some known systems which function requirements are similar to the designed system is taken to find out the relationship between the function requirements and the costs of a system by using least square method. After the relationship established, the cost of the designed system is then estimated according to the function levels. Finally, an automated guided vehicle (AGV) is used as an example to depict this method.

Key words: Cost estimation, Uncertainty systems, Function requirement

壹、緒論

為提升產品競爭力、縮短產品開發時程、降低成本，應用同步工程於系統設計已被研究（王國雄，1998），其做法是整合各方資源，強調小組分工，藉由各部門的溝通協調發揮團隊效率，利用組織、資訊、知識、圖形同步來達到資源共享目的。而為執行上述工作，很多和設計有關的策略，如 DFX（Design For Manufacture, Assembly, Cost ... 等）已紛紛被提出（Kusiak，1993），其做法主要是在產品設計階段考慮後續相關作業，避免設計和後續相關作業的衝突現象，使疊代修改（redesign）次數減少（Parsaei，1993）；而為了縮短產品開發時程，Tsai & Wang（1999）更進一步以最小資訊流為目標提出模組化設計方法，將傳統串聯設計程序規劃為串並聯作業，以達成同步工程目標。

為了充分運用資源、降低生產成本，在產品開發初期分析並預估成本，進一步控制成本已是必要手段（Michaels，1989）；Huthaite（1988）也指出產品在概念設計階

段所佔成本僅為總成本的 5%，但卻決定該產品 75% 的成本及 80% 的品質，因此，若能在概念設計階段，選擇適當方案並規劃設計作業，將可有效降低成本；針對此方向，Brenna（1992）分析成本對產品可靠度、維護度等影響，以為設計決策依據；Lima et al.（1995）也曾分析一傳動系統內部的成本配置，並決定投入各子系統的成本預算，使系統發揮最大效益。雖然產品在早期設計階段的成本預估僅是約略值，但它卻是決定產品開發與否的關鍵指標，預估過高（資源浪費）、過低（品質低劣）。因此，若能在產品設計初期依據顧客需求正確預估成本，將可有效利用資源、達成成本控制目的。

通常一個系統的特性隨功能需求多寡、選用技術的差異，會有不一樣的組織架構及成本需要，其成本主要是由構成系統的各個子系統或組件所需的材料、人工、製造等費用產生。Horngren（1991）指出製造一個產品，其成本主要由三者構成：直接材料成本、直接人工成本、間接製造費用，其中直接材料成本和直接人工成本是產品主要成本；Pahl and Beitz（1996）。也指出系統成本主要由材料、生產、管理等成本構成（其中每一項均包含直接與間接成本）。

Ullman (1992) 認為一個零件的成本須從三方面考慮：(1) 材料的形狀和成本，(2) 零件的形狀和材料移除量，(3) 零件的加工精度。依據上述成本要素，Parsaei (1993) 比較零組件在材料和形狀上的差異，利用幾何類似關係提出一種快速成本估算方法；此外，Pahl and Beitz (1996) 也提到三種成本預估方法：

- (1) 以某一成本為參考值，將產品和此參考值比較，
- (2) 取材料成本的分配比率估計產品各部份製造成本，
- (3) 依據統計的成本資料，使用回歸分析估計。

上述做法主要分析材料的種類、重量、形狀、加工…等變數，或利用幾何相似來估計其成本，而迴歸分析僅適用在在某些成本函數可由設計變數表示的產品。

由於產品的多樣性 (diversity) 與製造作業的複雜性日漸增加，製造業紛紛採用自動化技術，使製造費用在企業所佔成本大幅提高，而直接人工百分比日漸降低；若以傳統方法採用直接人工成本來分攤製造費用，容易扭曲產品成本而導致不利的決策，因此，Cooper & Kaplan (1988,1992) 乃發展出作業成本制 (Activity-based costing, 簡稱 ABC)，採用二階段成本追溯程序 (Dhvale, 1993)，先按各作業所使用之資源種類，以資源動因 (resource drivers) 衡量各作業資源之消耗量，而將資源成本追溯至各項作業；就完成各項成本標的 (cost objects, 如產品) 所必要之作業，以作業動因 (activity drivers) 衡量該成本標的所耗用

作業量，將作業成本追溯至該成本標的。

雖然已有很多有關成本分析的研究被報導，其共通現象是針對已完成細部設計 (設計變數已決定) 的產品或零組件進行分析，對在設計初始階段的不確定系統，很少提出具體的成本預估做法。而一般有關係統設計的研究，不是對未知系統提出可行設計解，就是對已知系統研究如何降低成本、延長壽命，其對成本的分析均假設組件特性參數 (材料、尺寸、精度…) 及其製造過程已知，對於不確定系統的分析則未提及。由於系統在概念設計初期其資訊並不完全，其功能的品質要求及可行技術對系統內部的成本要素並無明確定義，此時不易精確分析系統成本。而傳統的成本分析方法往往憑設計者經驗直接預估，常涉及相當程度的定性分析 (qualitative analysis) 及主觀認定，並無一套有效合理的方法來減少成本估計的偏差現象，導致預估的成本常因人而異。因此，本文將系統成本表示成機率分佈方式，先以某些已知系統 (系統功能特性及相關零組件成本資料可取得) 為基礎，從直接材料成本、直接人工成本、變動製造費用、固定製造費用四個成本項目，分析各已知系統總成本，利用最小平方法 (least square method) 建立系統功能特性和成本的對應關係，再由欲設計系統和已知系統的功能差異來預估系統成本。類似方法也曾被 Wang (1993) 應用於預估新產品動態可靠度，他以一個已知 (舊) 產品的可靠度為基礎，從新、舊產品性能在設計、規劃、服務三階段的差異來預估新產品可靠度。

在預估系統成本時，依據研究的目標

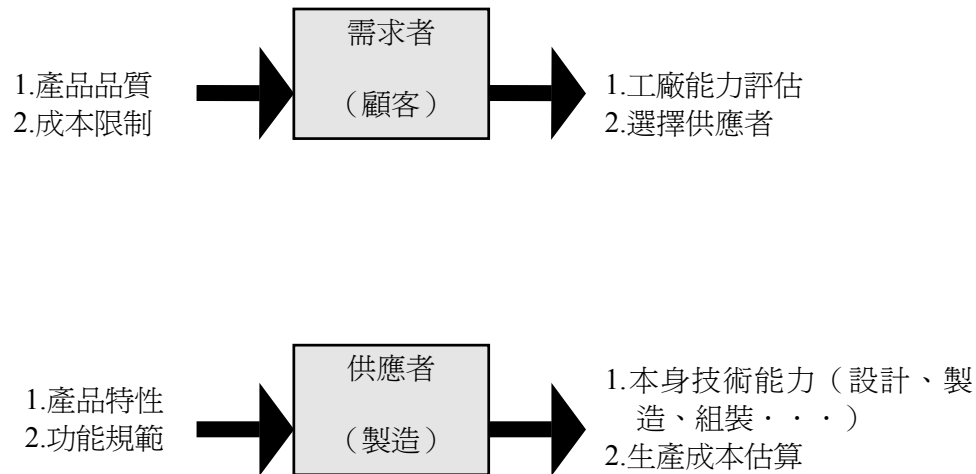


圖 1 不同目標定位下輸入、輸出內容

定位可區分如下：

- (1) 本身是需求者：此時問題點為那一工廠有能力完成此產品，其輸入為產品品質要求、成本預算；輸出為工廠能力評估，那一家工廠的品質最好、成本最低，決策者需選擇最適當供應者，以確保低成本、高品質。
- (2) 本身是供應者：此時問題為開發某一新產品需多少成本，輸入為產品特性要求、功能規範；輸出為本身技術能力（是否有能力完成）、生產成本估算，決策者需評估在某些功能需求下，開發此產品是否具有市場競爭力。

其關係如圖 1 所示，本文研究是定位在（2）供應（製造）者角度，即以製造者角度預估新產品開發成本。其目的是使系統設

計者能在概念設計階段，評量在不同成本限制下對開發某一新系統的可行性，以為決策之依據。

貳、系統成本分析

一個產品從設計到製造、組裝、完成出售，構成其成本的因素很多，但主要可區分為直接投入產品的直接成本（如材料、人工...等）與非直接投入產品的間接成本（如設備、營運、管理...等）；因此，欲於設計階段預估一個新系統成本，須先分析影響系統的成本項目。

一、成本項目

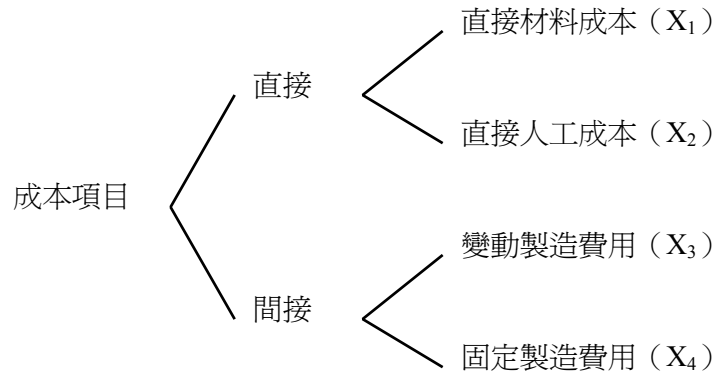


圖 2 系統成本項目

傳統的成本分析，製造一個產品其成本主要由直接材料、直接人工與間接製造費用構成；從成本構成要素來看，材料成本與人工成本可視為產品的主要成本，而人工成本與製造成本可視為產品的加工成本（conversion cost）（Horngren，1991）。為明確表示成本來源，間接製造成本可進一步區分為變動製造費用與固定製造費用二項，其階層關係如圖 2 所示，分述如下：

（一）直接成本

1. 直接材料成本（direct materials costs）：此成本指完成某項產品所需的一切材料及零件，此部份通常不包括次要項目，如螺釘、焊條等，其成本除受材料種類影響外，採購批量、零件是否為標準件、材料取得是否容易等，均會影響單位材料成本；分析時可由系統的功能特性決定各零組件的材料及數量，經單位材料成本換算得到，如為外購零件則直接向供應商詢價。因此，此部份可從材料種類、重量、外購件取得性、標準化程度（標準件比率）等進行估算，通常材料的機械性質越好、

取得性越難、標準化程度越小，其成本越高。若系統內零組件過多，則可針對某些關鍵性或主要組件進行估算。

2. 直接人工成本（direct labor costs）：此成本是指可依經濟可行之方法，實際歸屬於產品的一切人工工資，例如機器操作員與裝配工之工資。此成本可透過自動化來降低，例如在高度自動化的工廠裡，直接人工成本往往少於總製造成本的 5%（Horngren，1991），此時往往將此成本與製造費用歸併為一類（即加工成本）。對一個設計者而言，欲預估某一新產品的直接人工成本，須依據加工時間、工廠自動化程度，分析完成產品製造所需之人工。此成本涉及製程的多寡、對人工的依賴度及工廠自動化程度，分析時可從製程複雜度、自動化程度，人工需求等可進行，通常產品越複雜（製程越多）、自動化越低，其人工成本越大。

（二）間接成本

1. 變動製造費用（variable factory overhead）：主要指產品製造的間接材料

(如工具、夾治具、潤滑油、冷卻劑...等)、間接人工(如材料處理、檢測、搬運、庫存、採購、銷售、工友...等)及電力消耗等。估算此成本須先分析產品內各組件的特性(如複雜度、加工性、組裝性...等),分析需要的加工設備、製造程序、加工時間等,再計算間接材料、間接人工等成本。一般而言,產品的製程越複雜、組裝零件越多,其間接材料、間接人工均越多,即變動成本越高。

2. 固定製造費用 (fixed factory overhead): 主要指工廠的固定支出成本,例如廠房租金、保險、設備折舊、借貸利息等;此項成本和時間有關,估算時可以總固定製造費用除以產品數量;若產品類型不一樣,則由產品在工廠加工時間來分攤此成本,一般而言,此成本和和產品的材料、人工和變動製造成本呈正比關係,故亦可按這些成本總合的比率來分攤固定製造費用。

除上述成本項目外,影響產品成本的因素尚包含產品數量、批量生產形態,交貨期長短等生產變數。但若是新產品的開發(不確定系統),其考量主要在投入多少成本可達成預定目標,在此成本下是否值得進行(符合經濟效益),因此,可暫時不考慮上述生產變數。

二、成本分析架構

欲直接由前述成本項目分析一個系統(產品)成本,常因系統零組件過多或成本資訊不足而不易進行,習用方法是將系統區分為多個子系統,分別估算各子系統成本再計算系統總成本。而由各子系統(功能)內

組件預估其成本時,常會因估算者不同或製造環境變異,造成預估成本的變異,因此,以機率分佈方式表示產品成本是理想方法。

若成本分佈之機率密度(density)函數為 $f(x)$, 則其平均值與變異數分別為

$$\mu(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (1.a)$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx \quad (1.b)$$

當成本介於 a 、 b 二者之間且呈單一分佈, 則其平均值與變異數分別為:

$$\begin{aligned} \mu(U) &= \frac{1}{2}(a+b) \\ Var(U) &= \frac{1}{12}(b-a)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

若是介於 a 、 b 、 c 三者之間且呈三角分佈, 則其平均值與變異數分別為:

$$\begin{aligned} \mu(T) &= \frac{1}{3}(a+b+c) \\ Var(T) &= \frac{1}{18}(a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca) \end{aligned} \quad (3)$$

而一個新產品的開發,常需將抽象的顧客需求(如控制容易、定位精度高等)轉成可量測的工程設計規範(如移動速度 0.2 m/sec、定位誤差在 0.05 mm 以內等),進一步依據設計目標決定產品的功能需求,選擇可達成功能需求的可行技術(如可程式控制、齒輪機構等)進行設計,最後再將各部

表 1 不確定系統成本結構

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
E ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
E ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
E _n	X _{n1}	X _{n2}	X _{n3}	X _{n4}
E _i : 子系統			X _j : 成本項目	

份(子系統)組合成一個整體。在確立各子系統後，其系統成本結構可表示成表 1。其中 X_{ij} 代表第 i 個子系統 (E_i) 在第 j 個成本項目 (X_j) 的成本變數；若將系統內各子系統視為獨立個體 (由不同零組件構成)，則各子系統的成本變數具有獨立性 (i 方向)，而子系統在各成本項目 (j 方向) 的值，常因成本歸屬的難易或考慮因素不一樣，彼此具某種程度關聯性。因此，若系統有 n 個子系統，則其總成本平均值可表示成

$$\mu(c) = \mu(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 X_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \bar{X}_{ij} \tag{4}$$

總成本變異數可寫成

$$\begin{aligned} \text{Var}(c) &= \text{Var}(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 X_{ij}) \\ &= \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^4 \text{var}(X_{ij}) + \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \neq k}}^4 \text{Cov}(X_{ij}, X_{ik}) \right] \end{aligned} \tag{5}$$

其中 $\text{Cov}(X_{ij}, X_{ik})$ 代表第 i 個子系統在成本項目 X_j 間的成本關聯性，可寫成 $\text{Cov}(X_{ij}, X_{ik}) = \rho_{jk} \sigma_{ij} \sigma_{ik}$ ，則系統總成本變異可寫成

$$\text{Var}(c) = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^4 \text{var}(X_{ij}) + \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \neq k}}^4 \rho_{jk} \sigma_{ij} \sigma_{ik} \right] \tag{6}$$

其中 ρ_{jk} 代表系統在第 j 項和第 k 項成本間的關聯係數，其值介於 0 到 1 之間，而 σ_{ij}, σ_{ik} 為成本變數 X_{ij}, X_{ik} 的標準差。

式 (6) 的成本變異由二部份組成，一個是功能本身的成本變異，另一個是考慮成本項目的關聯性產生；其中後者可視為在成本分析時沒考慮到部份，或分析時產生之成本誤差。也就是考慮工廠營運開銷、研發投入、不預期損失(斷電、人為疏失)等所造成之成本變異。對一個製造者而言，各成本間的關連性會受工廠組織架構、製造程序、自動化程度影響；若工廠自動化程度越高，對人工依賴度越低，生產品質越穩定，則關聯係數越低。例如傳統非自動化工廠，若採用不熟練的技工(工資較低)易導致不良品的產生(料料浪費)，則人工成本和材料成本變異的關聯性就較大。

依據上述成本分析中，若產品的零組件規格定義明確，則可由上述成本項目來分析成本，但對一不確定或成本資訊不明系統則不易進行。此時若以某一已知產品成本為基礎，則透過功能差異分析，將使成本分析工作較易進行。例如，某汽車廠欲開發一部 2000cc 新型汽車，若其零組件或製程差異不明確情況下，往往無法預估成本或估算的成本有很大變異；但若已知生產一部 1600cc 汽車需成本 50 萬，則以類比方法，分析二者在引擎、底盤、車體、配備、舒適度、安全性等差異，將可較正確預估其成本。

參、成本預估模式

針對一個在概念設計階段的系統，幾個和成本有關的特性如下：

- 一、概念設計初期，系統內各功能的零組件常未明確定義，其成本變數具相當不確定性。
- 二、系統成本常隨功能需求、選用技術、生產程序而變化，對一內部零組件還不確定系統，縮小分析範圍，可減少不確定性及成本預估的偏差。
- 三、對一製造者而言，產品數量增加、生產型態改變或提升工廠自動化程度，均可降低系統成本；而新產品的開發，主要以滿足顧客需求為考慮對象，此時往往是依據現有技術能力分析各項成本，不考慮產品數量對成本影響。

一般常用的成本估算方法，其共通的特點是產品內零組件的尺寸規格及成本資訊已知情況下方可進行 (Phal, 1996)。對一在概念設計階段的產品，因內部構造組合還不明確，往往無法直接分析其成本；但對一個已設計完成之產品，透過對直接人工、直接材料、變動製造及固定製造費用等分析將可取得其成本資訊，而成本大小往往受產品性能和品質影響 (性能越好或品質越穩定者其成本越高)。既然任一產品可能包含多種功能，且每種功能隨不同顧客需求或製造技術的差異會有不一樣的等級，故可將成本視為功能等級的函數，本文將產品成本視為是

功能等級的線性組合，則成本和功能間的關係可表示如下：

$$C = \sum_{j=1}^n K_j \cdot F_j \quad (7)$$

上式中 n 代表某一產品的功能數， K_j 為產品內第 j 項功能的成本係數 (越大表相對的功能越重要)， F_j 為產品的第 j 種功能等級；例如一部汽車的價格 (成本)，可從馬力大小、加速性、安全性、震動、隔音效果等進行評量，當功能等級越高者其成本通常越高。因此，若能決定系統功能成本係數 (K_j)，則能在系統內部構造尚不明確情況下，依據顧客需求的產品等級對產品成本進行預估。

若某一產品具有 m 種品牌 (類型) 和 n 個功能，且不同型號產品具不同規格、功能等級及成本，則每一類型產品成本和功能等級的關係可表示如下：

$$\begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1n} \\ & & \vdots & \\ F_{m1} & F_{m2} & \cdots & F_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 \\ \vdots \\ K_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix} \quad (8a)$$

上式可表示成

$$[F][K] = [C] \quad (8b)$$

對一個開發完成的已知系統 (零組件、製程已知)，其相關功能等級 (F_{ij})、成本 (C_i) 通常可分析取得；若產品類型多於

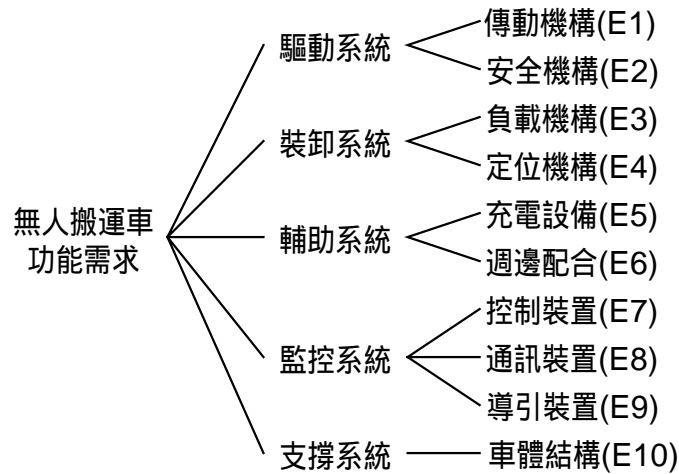


圖 3 無人搬運車功能需求展開

功能數情況下 (即 $m>n$)，則利用以最小平方方法將可找出該類產品各功能的成本係數，即

$$[K] = [[F]^T \cdot [F]]^{-1} \cdot [F]^T \cdot [C] \quad (9)$$

在決定成本係數後，設計者僅需分析顧客對產品性能需求的等級定位，就可迅速預估產品成本。

在決定性能等級時，可利用十點評分法評定顧客需求的等級，若無此功能，則設定 $F_{ij}=0$ ，若功能趨近於完美，則設定 $F_{ij}=10$ ，其它則依據功能的優劣程度設定在 $0\sim10$ 之間。例如某產品有不同的定位精度 ($0.1\sim0.001\text{ mm}$)，將此範圍區分成多個等級，則可依據顧客要求等級來決定 F_{ij} ；例如某一汽車製造廠可生產汽車從 $1000\text{ cc} \sim 3000\text{ cc}$ 之間，則可以 200 cc 為分級單位，當顧客要求汽車馬力為 2000 cc 時，則可設定 $F_{ij}=5$ 。

肆、實例計算

以開發一部無人搬運車 (AGV) 為例，首先以主客觀推理邏輯進行功能需求展開 (蔡有藤, 1999)，產生驅動、裝卸、輔助、監控、支撐五個系統，進一步分解使成本分析容易進行，此例產生 10 個子系統 (傳動、安全、負載、定位...等)，其階層結構如圖 3 所示。

依據顧客需求，選定具類似功能且已完成的系統進行成本分析，估算各子系統所需的材料成本、人工成本、變動製造費用和固定製造費用；經統計分析，假設某一已知類似系統的直接材料成本 (X_1) 呈單一分佈 ($U(a,b)$) (即材料價格的變動介於 a,b 之間)，直接人工成本 (X_2)、變動製造費用 (X_3) 呈常態分佈 $N(\mu, var)$ (考慮製造的變異)，固定製造費用 (X_4) 假設呈三角分佈 ($T(a,b,c)$)，如表 2 所示。例如傳動機構 (E1)，其材料成本在 $3.6\sim10$ 萬之間，人工成本的

表 2 已知系統成本分佈

Xj	X1		X2		X3		X4		
Ei	U (a,b)		. .var)		. .var)		T (a,b,c)		
1	3.6	10.0	10.0	4.6	1.5	0.7	0.5	1.1	2.8
2	2.0	6.1	6.0	2.3	0.7	0.3	0.8	1.5	3.7
3	3.1	5.6	6.0	2.3	1.1	0.4	0.2	0.5	2.2
4	1.8	5.3	7.5	2.9	1.5	0.6	0.5	1.2	2.6
5	3.0	7.8	12.0	5.0	1.4	0.6	0.6	1.2	2.8
6	1.8	4.7	3.8	1.3	0.5	0.2	0.9	1.8	3.8
7	6.0	13.0	1.5	0.7	0.2	0.1	0.7	2.8	4.5
8	5.0	10.0	1.2	0.6	0.2	0.1	0.7	1.8	3.5
9	4.0	9.0	7.6	3.2	1.2	0.5	0.5	1.3	2.9
10	6.0	12.0	14.0	6.5	2.4	1.1	0.0	1.2	2.0

U (a,b) :Uniform distribution
 . .var) :Normal distribution
 T (a,b,c) :Triangular distribution

平均值與變異數為 (10,4.6) 萬，變動製造費用為 (1.5,0.7) 萬，固定製造費用介 0.5-2.8 萬間。欲估算子系統變異成本，需先估算成本關聯係數 ρ_{jk} ，其值和技術能力、工廠自動化程度有關，在一個傳統或技術能力不好的工廠，各項成本控制較不容易，造成產品的成本變異增加，此結果將使關聯係數變大；而一個高度自動化工廠，各項成本均可較精確控制，其成本關聯係數將很小。設定 ρ_{jk} 介於 0~1 之間（關聯性越強其值越大），有關此已知系統的關聯係數設定如下：

ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{23}	ρ_{24}	ρ_{34}
0.75	0.43	0.61	0.55	0.5

此外，若系統的總變異成本 $Var(E)$ 及其在各成本項目的成本變異 $Var(X_j)$ 已

知，則由 (6) 式，其關係可表示成

$$\begin{bmatrix} \sigma_1\sigma_2 & \sigma_1\sigma_3 & \sigma_1\sigma_4 & \sigma_2\sigma_3 & \sigma_2\sigma_4 & \sigma_3\sigma_4 \\ \rho_{12} & \rho_{13} & \rho_{14} & \rho_{23} & \rho_{24} & \rho_{34} \end{bmatrix}^T = \left[Var(E) - \sum_{j=1}^4 Var(X_j) \right]$$

在取得超過 6 種以上系統的成本資訊後，則類似 (9) 式，成本關聯係數亦可由最小平方方法求出，如此將可避免人為主觀設定的缺失。

依據表 2 資料，由式 (1) ~ (3) 各子系統在各成本項目 (X_j) 的平均成本與變異成本可算出(如表 3 所示)，由式(4)~(5)，可進一步算出各子系統成本。以傳動機構 (E_1) 為例，其平均成本 $\mu(c)=19.8$ 萬，變異成本為 $Var(E_1)=14.3$ 萬。由表 3 結果，

表 3 已知系統成本平均值與變異數

Ei	X1 (,var)	X2 (,var)	X3 (,var)	X4 (,var)	$\mu (Ei)$	var (Ei)				
1	6.8	3.4	10.0	4.6	1.5	0.7	1.5	0.2	19.8	14.3
2	4.1	1.4	6.0	2.3	0.7	0.3	2.0	0.4	12.7	5.6
3	4.4	0.5	6.0	2.3	1.1	0.4	1.0	0.2	12.4	5.3
4	3.6	1.0	7.5	2.9	1.5	0.6	1.4	0.2	14.0	6.3
5	5.4	1.9	12.0	5.0	1.4	0.6	1.5	0.2	20.4	12.1
6	3.3	0.7	3.8	1.3	0.5	0.2	2.2	0.4	9.7	3.9
7	9.5	4.1	1.5	0.7	0.2	0.1	2.7	0.6	13.8	8.2
8	7.5	2.1	1.2	0.6	0.2	0.1	2.0	0.3	10.9	5.3
9	6.5	2.1	7.6	3.2	1.2	0.5	1.6	0.2	16.9	9.0
10	9.0	3.0	14.0	6.5	2.4	1.1	1.1	0.2	26.4	15.8

可估算已知 AGV 系統的總平均成本

$$\mu(c) = \sum_{i=1}^{10} \mu(E_i) = 157 \text{ 萬}、\text{總變異成本}$$

$$Var(c) = \sum_{i=1}^{10} Var(E_i) = 85.7 \text{ 萬}。$$

而一部無人搬運車其工功能需求 (F) 可概述如下：

F₁. (自由度)：利用程式變更，可改變搬運地點、路徑及動作之性能。

F₂. (自行交管控制程度)：數台追從或交錯行走時，能迴避追撞或互撞之性能。

F₃ (協調性)：可與其他設備之機器或機器人同步動作之機能。

F₄ (正確度)：反覆停止之定位精度。

F₅ (信賴性)：生產線故障停止時，無人搬運車導入程度。

F₆ (自行診斷)：可向集中控制室報告無人

搬運車目前位置及狀態之機能。

F₇ (替代性)：對故障之無人搬運車任務的取代程度。

F₈ (維護性)：故障修復的容易程度及時間。

經分析系統有 8 個功能需求，利用前述成本分析方法得到已知系統成本後，進一步用 10 點評分法評定已知系統的性能等級，以 10 個已知系統為例，其功能等級和系統總成本如表 4 所示。將表 4 結果帶入式 (8a)，則由式 (9) 可找出系統功能成本係數 K₁ (平均值) 及 K₂ (變異數)，結果如下：

$$K_1 = [4.58 \ 1.33 \ 0.62 \ 5.38 \ 4.77 \ 4.26 \ 8.69 \ 2.8]^T$$

$$K_2 = [2.39 \ 3.64 \ 1.15 \ 1.36 \ 2.39 \ 1.66 \ 3.29 \ 2.32]^T$$

若欲開發新系統的功能需求等級 F=[5 4 8 8 7 2 5 4]，則在找出成本係數後，則由式 (8b) 關係可估算欲開發 AGV 系統的成本，其總成本之平均值為 $\mu(c) = [F][K_1] = 172.8 \text{ 萬}$ ，成本變異為 $Var(c)$

表 4 不同類型已知系統 (AGV) 之功能等級和總成本

系統	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	μ (c)	var
1	5	3	4	2	8	7	4	5	157	85.7
2	7	1	5	6	6	9	5	3	188	87
3	2	5	3	6	7	3	5	4	151	82
4	8	5	2	9	7	5	8	7	237	120
5	8	5	6	2	1	3	3	2	107	68.8
6	4	6	8	3	2	4	4	8	131	87.8
7	6	1	2	5	7	4	6	4	170	79.4
8	3	3	7	5	7	5	9	5	196	99.2
9	2	4	4	5	4	7	3	2	124	66.3
10	7	3	5	3	5	4	6	7	168	91.9

表 5 不同成本下對開發無人搬運車之達成率

總成本 (萬)	達成率
156.6	5 %
160.7	10 %
172.8	50 %
184.1	90 %
188.2	95 %

$=[F][K_2]=92.4$ 萬。其標準差
 $\sigma(c)=\sqrt{\text{Var}(c)}=\sqrt{92.4}=9.6$

一般而言，一個系統成本主要由其直接材料、直接人工成本構成，因此，材料和人工的成本分佈可視為系統總成本分佈。若知系統成本為常態分佈，則估算之新系統成本亦為常態分佈，如此可進一步預估不同成本限制對系統設計之達成率。由可靠度指標

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} = \frac{X - 1728}{9.6}$$

則此無人搬運車在不同成本限制下的設計可靠度 (達成率) 可分別計算 (如表 5 所示)。例如以平均成本 172.8 萬來開發此無人搬運車，其達成率為 50%，若以 156.6 萬來開發，其達成率僅 5%，但若提高成本至 188.2 萬，其達成率為 95%。經由此成本預估模式，製造者可於概念設計初期，對不確定系統進行成本分析，由分析之成本大小確立系統設計的可行性，避免因人為誤判造成成本高估 (競爭力降低) 或低估 (追加預算) 等現象。

伍、結論

成本是影響系統設計的重要因子，在概念設計階段系統具相當不確定性，正確分析、預估系統成本有其困難存在；因此，先分析具類似功能系統之成本，找出功能和成

本對應關係，再據以估算系統成本可簡化成本分析作業、迅速預估成本。幾個結論如下：

- 一、以機率分佈方式表示系統成本，可評估系統在不同成本下開發的可行性，使決策者確立新產品開發風險，以為調整設計方向之依據。
- 二、系統的成本項目受各種工程活動、技術能力、歸屬難易度影響，彼此具有關聯性；利用已發展系統之成本變異及其在各成本項目的成本分佈，由最小平方法可決定適當的成本關聯係數（ ρ_{jk} ）。
- 三、已知系統成本資訊的多寡會影響功能成本係數（ K ），隨著技術發展、產品種類增多，使用更多的功能及成本資訊估算 K 值，可使 K 值更符合實際狀況，確保成本預估的正確性。
- 四、若已知產品成本資料比功能數少（ $m < n$ ），可選擇某些關鍵性功能來分析系統功能成本係數，以確保成本預估的可行性。

陸、符號索引

- C : 系統成本
 E_i : 第 i 個子系統
 F : 系統功能需求
 K : 功能成本係數
 m : 已知產品數量
 n : 已知產品功能數
 X_j : 成本項目

- X_{ij} : 第 i 個子系統在第 j 個成本項目成本
 Z : 可靠度指標
 ρ_{jk} : 成本關聯係數:

參考文獻

一、中文部分

- 1.王國雄， 蔡有藤（1998）， 同步工程觀點在系統設計之研究， 技術學刊， 2（13）， 1-8。
- 2.蔡有藤， 王國雄（1999）， 從 I/O 資訊架構系統模組化設計之活動網路， 技術學刊， 2（14）， 181-189。

二、英文部分

- 1.Kusiak, A., (1993) . Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques. John Wiley and Sons, New York, 153-234.
- 2.Parsaei, H.R. and W.G. Sullivan (1993) . Concurrent Engineering: contemporary issues and modern design tools. Chapman & Hall, London, 329-371.
- 3.Tsai, Y.T. and K.S. Wang (1999) . The Development of Modular-Based Design in Considering Technology Complexity. European Journal of Operational Research, 119 (3) , 138-149.
- 4.Michaels, J.V. and W.P. Wood (1989) . Design to Cost , John Wiley & Sons. New York .
- 5.Huthwaite, B., (1988) . Designing in

- Quality. Quality, 27 (11) , 26-35 .
6. Brennan, J.R. and J.T. Stracener (1992) . Designing to Cost Effective: enhancing quality. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 44-55.
7. Lima, J.W.M., M.V.F. Pereira and J.L.R. Pereira (1995) . An Integrated Framework for Cost Allocation in A Multi-owned Transmission-system. IEEE Transactions on Power Systems, 10 (2) , 971-977.
8. Horngren, C.T. and G. Foster (1991) . Cost Accounting: A Managerial Emphasis, seventh edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 25-47.
9. Pahl, G. and W. Beitz (1996) . Engineering Design: A Systematic Approach. Springer-Verlag, London, 467-494.
10. Ulman, D. G., (1992) . The Mechanical Design Process. McGraw-Hill, 252-262.
11. Cooper, R., (1992) . Activity-Based Costing for Improved Costing. Handbook of Cost Management, B1. Boston: Warren, Gorham & Lamont.
12. Cooper, R. and Kaplan, R.S., (1988) . Measure Costs Right: Make The Right Decision. Harvard Business Review, 66, 96-103.
13. Dhavale, D.G., (1993) . Activity-Based Costing in Cellular Manufacturing Systems. Journal of Cost Management, 8 (1) , 13-27.
14. Wang, K. S., E.H. Wan and W.G. Yang (1993) . A Preliminary Investigation of New Mechanical Product Development Based on Reliability Theory. Reliability Engineering and System Safety, 40, 187-194.

1999年09月27日投稿

1999年11月26日初審

1999年12月10日三審

1999年12月28日複審

2000年03月15日接受