

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

※ 考慮技術擅遞暨經濟因素的工具組合規劃 ※

※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2213-E-002-124

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：楊烽正

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：台大工業工程學研究所

中 華 民 國 九 十 年 十 月 三 日

考慮技術遷移暨經濟因素的工具組合規劃

計畫編號：NSC 89-2213-E-002-124

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：楊烽正 台大工業工程學研究所

iefcyang@ms.cc.ntu.edu.tw

一、中文摘要

本研究提出了一個同時考慮技術演進及經濟因素的工具組合規劃方法，以支援高科技產業的設備需求規劃。規劃方法首先求出各時期的工具組合可行解，再以各時期為遞移階層，將問題表示成階層式有向網圖後，利用動態規劃法求取最短路徑，即可得到最佳的工具組合變化歷程。當問題複雜度因加工技術種類及生產工具種類過多而驟增時，最佳的工具組合變化歷程求解困難。本研究提出擴充解法以各時期工具組合成本最低解為基準，往外擴展尋找鄰近解，擴充候選工具組合集合。本研究並以 Visual FoxPro 程式語言實作所提示的生產工具規劃系統，且以 13 個案例，進行了系統功能驗證。過程中並比較窮舉法和鄰近解法的優劣。實例驗證結果中獲得的工具組合規劃歷程充分地反應了新舊工具的汰換過程，並與預期的結果相符合。

關鍵詞：技術-經濟因素問題、工具組合規劃、產能規劃、動態規劃。

Abstract

This research presents a tool portfolio planning method, with technical and economical consideration aspects, to facilitate tool procurement planning in hi-tech industry. At first, feasible solutions of tool portfolios are computed for each period separately. Feasible tool portfolios are linked period by period, to form a hierarchical directed graph. Using the shortest path computation method of graph theory, the optimal tool portfolio combination is computed from dynamic programming. In addition, this research presents an expansion method to produce a manageable set of feasible tool portfolio for computation of a quasi-optimal tool portfolio combination. The tool portfolio planning method is implemented in the Visual FoxPro programming language. Thirteen study cases are executed to verify the function of the tool planning system. Tool portfolio planning results from the proposed method reveal the decision of tool replacements, which meets ones

anticipation.

Keywords: technological-economical problem, tool planning, capacity planning, dynamic programming

二、計畫緣由與目的

高科技產業的生產技術演進十分快速。在進行長期生產規劃時，必須將生產技術演進的現象考慮進來，才能得到較符合經濟效益的規劃結果。由於生產技術的進步，造成產品的日新月異。隨著舊式產品被市場淘汰，舊式的生產工具需求下降，取而代之的是採用較先進技術的生產工具。另一方面，生產工具的價格也會隨時間遞移而遞減。隨著技術的進步，新的生產工具不斷地被開發，使得舊有的工具漸失競爭力而價值日減。因此在數季至數年的規劃時程(planning horizon)中，每個時期各種生產工具的規劃數量應迎合生產技術演進的情形及生產工具的價格變化而有所改變[6][7][9]。

在規劃每一時期的工具組合時，決策者必需根據上個時期的工具組合、未來的產品需求及工具價格來決定某一種生產工具應該保留、處分、或是再添購。也就是說每一個時期的工具組合，必須考慮到前後期的各種因素，以得到最佳的規劃結果。在規劃時程內，考慮採用兩種生產工具。生產技術較為先進的工具，稱為關鍵工具(critical tool)，而它所採用的生產技術稱為關鍵技術(critical technology)。而生產技術比較落伍的工具，稱為非關鍵工具(noncritical tool)，它所採用的生產技術則稱為非關鍵技術(noncritical technology)[9]。層級較高者只能交由關鍵工具進行加工，稱為關鍵層級(critical layer)。層級較低者不需要解析度太高的技術，通常交由非關鍵工具加工，稱為非關鍵層級(noncritical layer)。然而，非關鍵層級也可以交由技術較先進的關鍵工具進行加工。

考慮 A 晶圓廠的實際例子。在 8 季中，總共需要生產 3 種產品：產品 1、2 及 3。各種產品所包含的關鍵層級和非關鍵層級的數量列示於表 1 中。產品 1 共含有 16 個層級，其中有 4 層

需要關鍵技術來加工。

表 1、A 晶圓廠各產品的層級數量分佈

產品種類	關鍵層級數量	非關鍵層級數量	總層級數量
產品 1	4	12	16
產品 2	10	10	20
產品 3	12	11	23

表 2、A 晶圓廠的產品需求量

時期(季)	1	2	3	4	5	6	7	8
產品 1	500	1000	1500	1500	1000	500	0	0
產品 2	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	5000
產品 3	0	0	50	100	250	500	1000	1500

由表 2 產品的需求量和各種產品的層級數量分佈情況，可以推算出各種層級的加工需求量。表 3 中顯示了關鍵層級和非關鍵層級在各時期的加工需求量。

表 3、A 晶圓廠各種層級的需求量

時期(季)	1	2	3	4	5	6	7	8
關鍵層級	4500	17000	28550	39100	44750	51500	61000	66500
非關鍵層級	8500	9000	16600	27200	37000	48000	62000	68000

表 4 顯示各種工具在各時期預期的使用率。

表 4、A 晶圓廠各種工具在各時期的使用率

時期(季)	1	2	3	4	5	6	7	8
關鍵工具使用率	30%	45%	55%	65%	70%	70%	72%	72%
非關鍵工具使用率	30%	45%	55%	65%	70%	70%	72%	72%

由表 1 到表 4 的各項資料，可以推算出各時期的各種工具的需求數量。但是由於關鍵工具可以加工所有的產品，所以同一個時期來說，不同的工具組合狀況可能都滿足當時的產品需求。所以在整個規劃時程中，每個時期的工具組合都可以有許多的選擇。

為了方便起見，在此先針對本文章內所用到的名詞做一解釋。

工具組合：某時期內，生產系統中可能採用為數不等的各種工具。工具組合則記錄這個時期內各種工具的數量。就每個時期而言，可能會有許多組工具組合可以滿足該時期的產能需求。

工具配置軌跡[4]與工具組合錄：將工具數量依時間的變化，連成折線圖。在橫座標軸代表時間，單位為規劃時期，通常以季為單位。縱座標軸代表工具數量。對一種工具來說，它的「數量-時間」變化折線，在此稱作工具配置軌跡(tool procurement trajectory)。考慮兩種以上的工具所組成的工具組合，則這些工具組合需求變化的折線，合起來稱作工具組合錄(tool portfolio trajectory)。工具組合錄內容包含在規劃時程內各項工具數量的變化的歷程。換言之，一個工具組合錄內容包含各種使用工具的工具需求軌跡。

產品與生產技術的關係：因此產品對各種生產技術的需求可由其加工層級的數量和種類獲得。各種產品在各時期的需求量可以由預測得

知，再加上各種產品的層級結構，可以算出每一時期各種生產技術需要加工的層級數，在本研究中，定義這個層級量為當時期的技術需求當量。

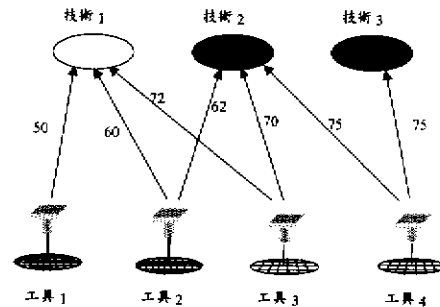


圖 1、生產工具的加工能力示意圖

工具加工能力：圖 1 是生產技術和生產工具對映關係的示意圖，對映關係實質上反應了工具的加工能力。圖中的箭頭符號代表某層級加工技術可以交由某工具執行，換句話說也代表了某種工具可加工何種層級技術的能力。箭號上的數字，代表該工具執行該層級加工技術的產出率。

三、結果與討論

工具組合規劃方法

對於求解工具組合錄的問題，分為兩大部分。第一部分為求解各時期可採用的工具組合，第二部分為尋找最佳工具組合錄。第一部分的問題，由於每時期中符合產能需求的工具組合將會有很多組解。本研究首先針對各時期，找出符合產能需求的工具組合，再利用各時期的工具組合，組成工具組合錄。第二部分的重點，是在眾多的工具組合錄中，求出一個最佳的解答，以提供決策者進行工具組合規劃時作為參考。

求解候選工具組合

本研究提示兩種單一時期工具組合的求算法。利用這些方法求出的單一時期工具組合解，稱為候選工具組合。候選工具組合所提供的產能，必需滿足該時期的產品需求。

(1) 窮舉法：

在產品需求為已知的情形下，先算出各種技術的技術需求當量，再由技術需求當量去求算候選工具組合，以滿足該技術的技術需求當量。在時期 k ，利用窮舉法求解候選工具組合的步驟羅列如下：

步驟 1：對所有技術的層級，以上述一臺工具對某技術加工產能的差額遞減法，遞迴地求出各種技術加工需求分配到各工具加工的情形。

步驟 2：將各種技術分配到各工具所有的組合狀況，對所有的加工分配情形，計算出所有

的工具組合。

步驟3：檢查步驟2所算出的工具組合是否有重複者，若有則將它刪除。

(2)擴充解法：

假設在時期 $k-1$ 中各種工具的數量均為0，所有的工具均在時期 k 購入。利用整數線性規劃，可求出時期 k 成本最低的工具組合。

假設所有的工具都是在時期 k 所購入，所以目標函數是這個時期所有工具價格的總和。要求出成本最低的工具組合，利用整數線性規劃(integer linear programming)求解。結果可得到一組工具組合。設 λ 為擴展幅度， λ_M 為最大擴展幅度。據以尋找鄰近解(neighborhood)。在整數線性規劃的限制式中，加入限制式，可以得到一組新的工具組合。利用這個方法，可以在各時期求出更多組的候選工具組合。

求解最佳工具組合錄

在整個求解工具組合錄的過程中，為了簡化問題，使問題易於分析，而提出工具整備成本評估方式。在這種評估方式下有三點假設。1. 工具的取得成本包含工具的價格及安裝費用(setup cost)。2. 工具的價格可能隨時間改變。3. 工具數量減少時工廠必需處分工具，因此會得到工具的殘值。工具的殘值隨時間改變，但和工具使用時期無關。

圖2顯示了工具數量變化時，工具整備成本改變的情形。當工具數量增加時，必需投入成本；而工具數量減少時，處分工具將得到殘值。

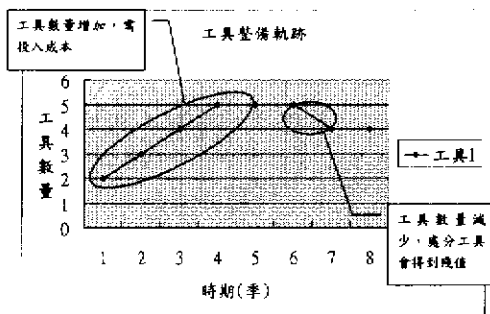


圖2、工具數量變化與工具整備成本的關係
最佳工具組合錄的求解方法

本研究提示的最佳工具組合錄的求解方法，可以根據設定的工具價格和殘值變化，從各時期的候選工具組合中推移出成本最低的工具組合錄。在本研究中，將各時期的候選工具組合表示為節點(node)，各節點間以時期為順序排列，並用有向的支線(direct-arc)將相鄰兩季的各節點連接，構成一有向的網圖。在網圖中，按箭頭指向推移，從起點至終點沿途所經過的各節

點，可以視為工具組合錄在各時期所採用的工具組合。而所經過的軌跡(trajectory)，則對應一套工具組合錄。本研究將最佳工具組合錄的問題視為在網圖中尋找最短路徑的問題，以求出各時期最佳工具組合的變化狀況。

問題轉換成最短路徑問題

以規劃時程為4季為例說明求解過程。首先定義生產系統內的在進行規劃時(可視為第0季)現有的工具組合，稱為起始工具組合。假設起始工具組合為 S_{01} ，而根據所預測的產品需求量，計算出第1季的候選工具組合有2組，分別為 S_{11} 及 S_{12} ；第2季的候選工具組合有3組，分別為 S_{21} 、 S_{22} 及 S_{23} ；第3季的候選工具組合有4組，分別為 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 及 S_{34} ；第4季的候選工具組合也有4組，分別為 S_{41} 、 S_{42} 、 S_{43} 及 S_{44} 。這個例子中，規劃時程內總共有 $96(2 \times 3 \times 4 \times 4 = 96)$ 個可行的工具組合錄。

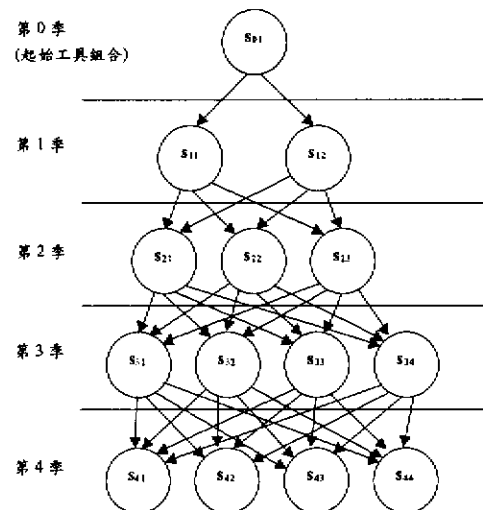


圖3、工具組合錄問題對應的網路圖形

這個問題可以轉化成圖3的有向網圖，成為尋找最短路徑的問題。圖中，各節點由支線相互連接，構成了一個有向、有階的網圖。由此可知，在整個規劃時程中找尋成本最低的工具組合錄，和在圖形中找出最短路徑，是相同的問題。

利用動態規劃求解最佳工具組合錄

從工具起始的組合為起點，隨時期向前推進，可以找出從起點到該季各節點的最短路徑，直到最後一季為止。最後再比較從起點到最後一季各節點的最短路徑，從中選出最短路徑。最短路徑的所對應的工具組合錄，就是規劃時程內工具整備成本最小的工具組合錄。

案例分析

本研究先後完成13實驗案例，在此只示範介紹一例。在本案例中，規劃時程為12季。在規劃時程中，考慮4種生產工具及3種產技術。

各種工具的加工能力資料如表 5 中所示，起始的工具組合為(3,2,1,0)。

表 5、案例的工具加工能力資料

	技術 1	技術 2	技術 3
工具 1	50	0	0
工具 2	60	50	0
工具 3	0	72	72
工具 4	0	90	82

技術需求當量的資料如圖 4 所示

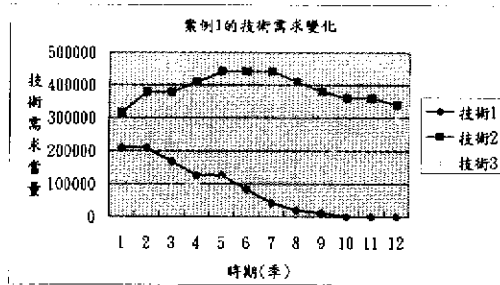


圖 4、案例中技術需求的變化趨勢

工具 1 到工具 4 的價格及殘值變化，分別表成圖 5 和 6。

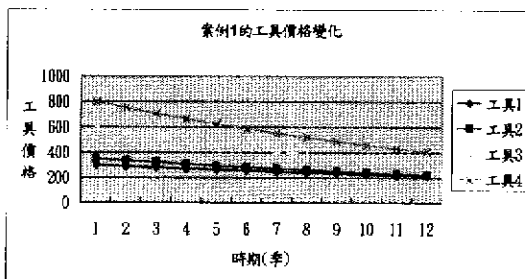


圖 5、案例中工具價格的變化趨勢

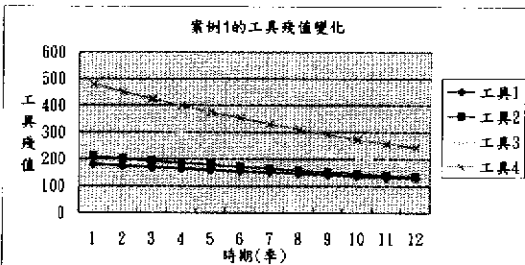


圖 6、案例中工具殘值的變化趨勢

根據以上的輸入資料，得到的最佳工具組合錄如圖 7 所示，所得到的工具整備成本為 1491 百萬元。在這個規劃結果中，並無採用工具 4。雖然工具 4 較先進，且製造能力較強，但是在考慮經濟因素之後，還是不被採用。

四、計畫成果自評

本研究考慮技術-經濟因素，提出一個生產工具組合規劃的方式。透過本研究所提出的方法，決策者可以根據以下的資料得到一個工具組合錄，做為工具組合規劃的參考：1. 生產工具的加工能力資料；2. 技術需求當量的變化；3. 各時期的工具價格；4. 各時期的工具殘值；5. 生

產系統現有的工具組合。

本研究將工具組合規劃問題分為兩個部分：第一個部分，根據各種技術的技術需求當量和工具加工能力資料，求出各時期可採用的工具組合。針對這一部分的問題，本研究提供了窮舉法和擴充解法兩個方法，來求解各時期的候選工具組合。若是工具的種類數超過 6 種以上時，可以採用擴充解法，在各時期找出比較可行的工具組合，再從中找出成本最低的工具組合錄。第二個部分，就是在各時期的候選工具組合中，找出工具整備成本最低的工具組合錄。本研究將最佳工具組合錄問題，轉化成最短路徑問題。並利用動態規劃求解最佳工具組合錄。

利用這個方法可以得到規劃時程內成本最低的工具組合錄，而且每一時期所得到的工具組合，都有考慮前期的工具組合，以及往後技術演進和工具價格變化。對當今技術進步一日千里的產業而言，本研究所提供的方法是十分具有價值。

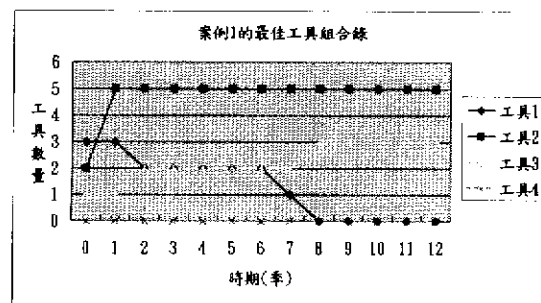


圖 7、案例的規劃結果

五、參考文獻

- [1] 賴士葆, (1995), 工程經濟—資金分配理論, 華泰出版公司。
- [2] 莊遠人, (1994), VLSI 製造, 高立出版社。
- [3] 陳寬仁, (1994), 工程經濟, 三民書局。
- [4] 張炳勳, (1997), 產能擴充規劃之系統組合設計, 碩士論文, 國立臺灣大學工業工程學研究所。
- [5] Fleicher, G. A., 1984, Engineering economy: capital allocation theory, Belmont, CA: Wadsworth Inc.
- [6] Hopp, W. J., and Spearman, M. L., 1996, Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, Irwin.
- [7] Meyer, B. C., 1993, "Market obsolescence and strategic replacement models," *The Engineering Economist*, 38, PP. 209-222.
- [8] Park, C. S., and Sharp-Bette, G. P., 1990, Advanced engineering economics: Procedures for replacement analysis, CA: John Wiley & Song Inc.
- [9] Shafer, T. and Bigelow, M. G., 1994, "Optimizing stepper mix to combat rising fab costs", *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, PP. 215-219.
- [10] Taha H. A., 1996, Operation Research, 6th edition, Prentice Hall.
- [11] 1997, The National Technology Roadmap for Semiconductors, SIA.