

Excel 整數非線性規劃法 應用於最佳趕工決策之求解

林樹豪

德霖技術學院營建科技系助理教授

摘要

工程進度一旦落後將造成業主與廠商的損失，此時可能需要擬訂趕工計畫以達到進度的要求。制定趕工決策多使用考量時間—成本權衡之邊際成本分析，而捷思表格法 (heuristics tableau) 是進行這種分析最常用的方式。但是對於大型網路而言，捷思表格法因為要列出專案網路中所有路徑及每條路徑目前的長度，實務上並不適用。在過去Excel 2003內建的規劃求解 (Solver)，還沒有辦法有效解決整數非線性規劃的問題。然而從Frontline系統公司為Excel 2010發展出更為強大的規劃求解增益集後，使得像趕工決策這類屬於整數規劃的問題，得以更有效率求解。由於常用的專案管理軟體MS Project本就設定與Excel試算表連結製作績效報表以作為專案控制之用，是以本研究特別建立一套將Excel整數非線性規劃法應用於最佳趕工決策的求解方法；案例分析結果顯示本方法具有更高之求解效率。

關鍵詞：趕工決策、邊際成本分析、捷思表格法、整數非線性規劃。

Application on Optimal Crashing Decisions by Excel Solver with Integer Nonlinear Programming Method

Shu-Hao Lin

Assistant Professor, Department of Construction Technology, De Lin Institute of Technology

Abstract

The project delay will result in the loss of the owners and vendors, the project manager needs to reduce the scheduled completion time of a project to meet the deadline. The decision to reduce the project duration must be based on a marginal cost analysis of the trade-off between time and cost. However, it is so hard by heuristics tableau to list all the paths and each path length of project for large-scale network, thus the marginal cost analysis with heuristics tableau does not apply simply in practice. In the past Excel 2003 built-in Solver, there is no way to effectively solve the Integer Nonlinear Programming (INLP) problem. However, from Frontline Systems, Inc. for the development of a more powerful Excel 2010 Solver Add-in, making decisions such as catch-belongs integer nonlinear programming problem solving can be more efficient. Due to popular project management software MS Project present on the set with an Excel spreadsheet linked to the production of

performance reports as project control purposes, this study applies to the Excel Solver with integer nonlinear programming method for solving the optimal crashing decisions. Case study shows this method has higher efficiency than the heuristics tableau.

Keywords: crashing decision, marginal cost analysis, heuristics tableau, integer nonlinear programming.

壹、前言

工程進度一旦落後將造成業主與廠商的損失，此時可能需要擬訂趕工計畫，加緊施工以達到進度的要求。利用要徑法 (CPM) 或計劃評核術 (PERT) 探討各作業需要趕工的程度，以縮短整個專案工期的方法，我們稱之為時間成本取捨法 (CPM/PERT method of time-cost trade-offs)。

CPM/PERT 時間成本取捨法可協助專案經理探討變更專案估計時間對總成本的影響。所需的資料是各作業正常工作及完全趕工的時間及成本。一種求解趕工問題的方式是使用邊際成本分析 (marginal cost analysis)，就是每次縮短 1 單位的專案時間後，使得成本增加最少的方式。進行這種分析最容易的方式是捷思表格法 (heuristics tableau)，類似的表格很多種，但總是會列出專案網路中所有路徑及每條路徑目前的長度。然而對於大型網路而言，邊際成本分析並不適用，因此需要比較有效率的方法：線性規劃即是其中一種方法。

在過去，線性規劃需要撰寫程式或套裝軟體才能使用，如今 Excel 即內建規劃求解的功能。由於常用的專案管理軟體 MS Project 本就設定與 Excel 連結製作績效報表以作為專案控制之用，是以本研究擬應用 Excel 結合規劃求解，提供一個進行趕工決策的方法。

貳、趕工計畫

決定作業趕工程度所必需的資訊是作業的時間成本曲線圖。圖 1 顯示典型的時間成本曲線關係圖 (time-cost graph) 【1】。此曲線上的兩項關鍵詞是其中的正常時間成本點和趕工時間成本點。當作業以正常方式執行時，時間成本曲線上以正常時間成本點表示此作業的正常時間 (normal time, T_n) 和正常成本 (normal cost, C_n)。若作業完全趕工時，則以趕工時間成本點表示其趕工時間 (crash time, T_c) 和趕工成本 (crash cost, C_c)，亦即不計成本，儘可能縮短作業時間。要徑法假設上述時間和成本都能有效預測，沒有重大的不確定性。

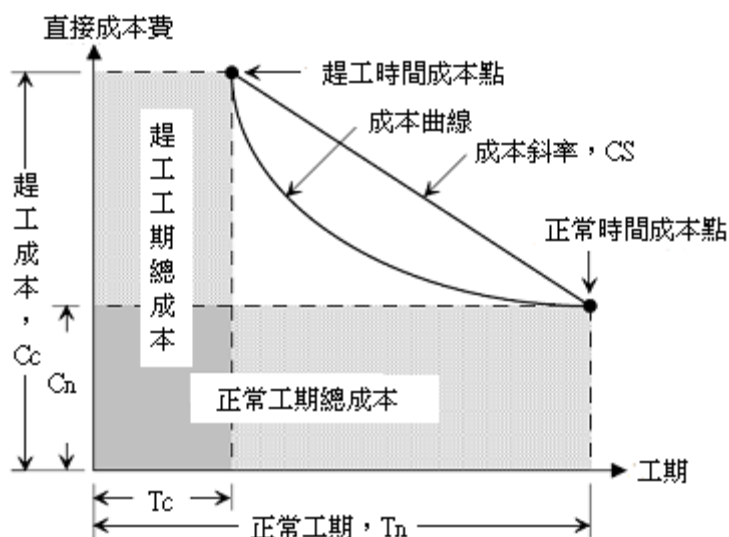


圖 1 趕工時間成本曲線關係圖

對大多數應用而言，作業某種程度的部分趕工，其時間和成本會落在正常時間成本點和趕工時間成本點間的線上，這兩點連結的曲線又稱為成本曲線 (cost curve)，通常為了減少估計時間和成本所需的資料量，我們會簡化假設成本曲線為線性。也就是說，趕工一半的點會落在兩點直線段的中央。這條由正常和完全趕工兩種情形的資料點所連接的直線斜率，稱為成本斜率 (cost slope, CS)，也就是因趕工增加的單位成本，其為趕工計畫之主要依據，如式 1。

$$CS = \frac{C_c - C_n}{T_n - T_c} \quad (1)$$

其中：

CS 為成本斜率、 C_c 為趕工成本、 C_n 為正常成本、 T_n 為正常時間、 T_c 為趕工時間。

一般應用邊際成本分析法之趕工步驟要點如下【1, 2】：

1. 計算成本斜率

求出構成整體工程各作業之正常、趕工之工期與直接成本費，以及縮短工期所需單位時間之直接成本增加額，即成本斜率。

2. 尋找要徑

趕工時之要徑係表示此工程之最長工期。

3. 逐步縮短要徑上成本斜率最小者至趕工界限

趕工界限乃是趕工計畫選擇的工期點。在不影響其他作業之條件下，從正常狀態要徑上成本斜率最小的作業著手，來縮短日程。如因此產生新的要徑，則以最低廉之直接成本費逐次縮短此等要徑上之作業。

4. 求得最佳工期

決策方式是將趕工狀態與正常狀態下之總工程費做比較。總工程費用為直接成本和間接成本之和。直接成本包括工程施工所需之人工、機具、材料費，以及品管費、假設工程費、其他直接費與現場經費等組成。間接成本則包括行政管理費（人事費、業務費）、雜支費、利息、稅

金、罰款等施工組織所需之管理費用。當總工程費最小時之最經濟工期，稱為最佳工期，如圖 2【1】，此時即為最經濟之趕工狀態。

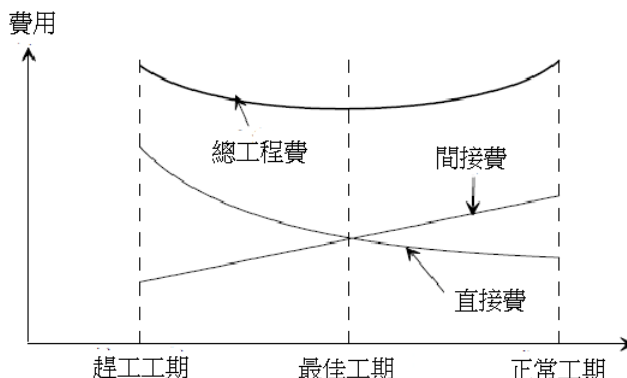


圖 2 工程成本與最佳工期之關係

參、案例分析

案例：已知某工程專案之作業項目清單、正常成本和趕工成本，如表 1 所示。如果工程總工期不超過 15 天，則總間接成本為 30,000 元；工期一旦超過 15 天，間接成本每日增加 6,000 元。假設無任何不確定因素和限制條件，則此工程專案的最佳工期為何？

表 1 案例作業項目清單、正常成本和趕工成本

作業	先行作業	正常時程		趕工時程		成本斜率 (元/天)
		Time (天)	Cost (元)	Time (天)	Cost (元)	
A	—	4	21000	3	28000	7000
B	—	8	40000	6	56000	8000
C	A	6	50000	4	60000	5000
D	A	9	54000	7	60000	3000
E	B, C	4	50000	1	110000	20000
F	B, C	5	15000	4	24000	9000
G	E	3	15000	3	15000	—
H	D, F	7	60000	6	75000	15000
			$\Sigma=305000$			

一、邊際成本分析之捷思表格法

1. 計算成本斜率

由表 1 可以加總各作業成本得到工程在正常情況下的總直接成本為 305000 元，並藉式 1 計算出各作業的成本斜率。

2. 尋找要徑

由作業間的依存關係，我們可以使用要徑法繪出專案網圖，如圖 3。整個專案共有 5 條路徑：B-E-G、B-F-H、A-C-E-G、A-C-F-H、A-D-H，其中最長路徑 A-C-F-H 即為專案要徑，總正

常工期為 22 天。

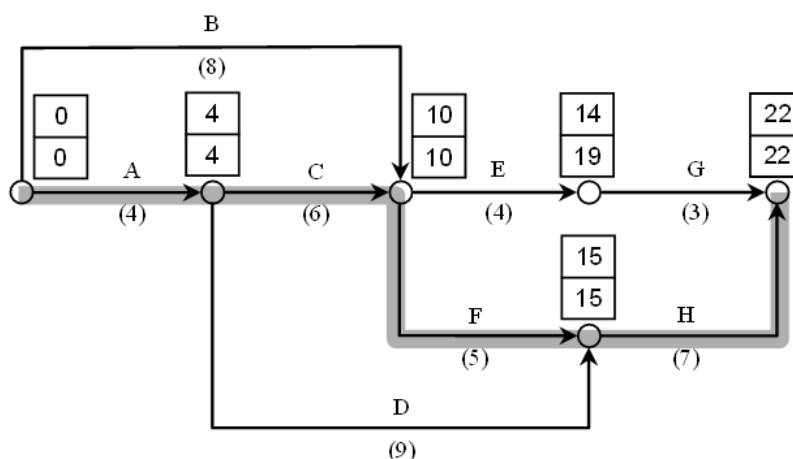


圖 3 案例網圖

3. 逐步縮短要徑上成本斜率最小者至趕工界限

假設此處我們選擇趕工界限 19 天為例，即從 22 天縮減為 19 天。因此可能要趕工的路徑便是 5 條路徑中大於 19 天的 B-F-H、A-C-F-H、A-D-H，整理如表 2 所示。一般選擇要徑上成本斜率最小的作業來趕工，然而當縮短某作業工期所影響的路徑不只一條時，則應考慮最經濟的「成本分攤效益」。例如縮短作業 A 工期將同時縮短 A-C-F-H 和 A-D-H，這二條路徑的長度，故作業 A 的成本分攤效益為 3500 元。

表 2 初始整理後之捷思表格

作業	可趕工路徑			成本斜率 (元/天)	成本分攤 效益 (元 /天)	可減天數 (天)
	A-C-F-H	A-D-H	B-F-H			
A	*	*		7000	3500	1
B			*	8000	8000	2
C	*			5000	5000	2
D		*		3000	3000	2
F	*		*	9000	4500	1
H	*	*	*	15000	5000	1
原始工期 (天)	22	20	20	方案	增加成本 (元)	總成本 (元)
擬減工期 為 19 天	3	1	1	—	—	305000

欲從 22 天開始縮減工期，首先須縮短專案要徑 A-C-F-H 上的作業。雖然作業 C 的成本斜率最小，但其他作業所影響的路徑不只一條，考慮作業 A 的成本分攤效益最小，因此先從作業 A 縮減 1 天，在表 3 中記做 A-1，此時專案工期從原本的 22 天縮短為 21 天。A-C-F-H、A-D-H、B-F-H 的欲縮減天數，也從原本的 3、1、1 改為 2、0、1。專案總成本因作業 A 趕工 1 日增加 7000 元，而成為 312000 元。

接下來，繼續從 21 天開始縮減工期。此時專案要徑仍然是 A-C-F-H。作業 A 的可減天數只有 1 天，故無法再趕工。剩下作業 C、F、H 中，作業 F 的成本分攤效益最小，因此先縮減作業 F，在表 4 中記做 F-1，專案工期縮短為 20 天，A-C-F-H、A-D-H、B-F-H 的欲縮減天數則分別成為 1、0、0。同理，最後專案要徑仍然是 A-C-F-H，僅剩作業 C 和作業 H 可以趕工，二者的成本分攤效益相同，但是作業 C 的成本斜率較小，趕工成本較為經濟，所以記做 C-1，專案總成本為 326000 元。

表 3 縮短 1 天之捷思表格

作業	可趕工路徑			成本斜率 (元/天)	成本分攤 效益 (元 /天)	可減天數 (天)
	A-C-F-H	A-D-H	B-F-H			
A	*	*		7000	3500	1
B			*	8000	8000	2
C	*			5000	5000	2
D		*		3000	3000	2
F	*		*	9000	4500	1
H	*	*	*	15000	5000	1
原始工期 (天)	22	20	20	方案	增加成本 (元)	總成本 (元)
擬減工期 為 19 天	3	1	1	—	—	305000
	2	0	1	A-1	7000	312000

表 4 分析完成之捷思表格

作業	可趕工路徑			成本斜率 (元/天)	成本分攤 效益 (元 /天)	可減天數 (天)
	A-C-F-H	A-D-H	B-F-H			
A	*	*		7000	3500	1
B			*	8000	8000	2
C	*			5000	5000	2
D		*		3000	3000	2
F	*		*	9000	4500	1
H	*	*	*	15000	5000	1
原始工期 (天)	22	20	20	方案	增加成本 (元)	總成本 (元)
擬減工期 為 19 天	3	1	1	—	—	305000
	2	0	1	A-1	7000	312000
	1	0	0	F-1	9000	321000
	0	0	0	C-1	5000	326000

4. 求得最佳工期

總成本為直接成本和間接成本之和，而最佳工期為當總成本最小時之最經濟工期。我們可以重複步驟 3，來求得縮減不同天數下，工程的總直接成本，如表 5 即顯示專案工期從 22 天到 17 天的工程直接成本。由於此案例每日的間接成本固定，也就是說因趕工能減省的邊際成本固定，因此只要能判斷總成本出現低點，就不需再繼續計算縮減工期。表 5 顯示隨著工期縮短，

總成本降低至工期 20 天的 375000 元，然後當工期縮減為 19 天時，總成本反向增加為 380000 元。由此可知總成本已出現低點，本案例的最佳工期為 20 天，後續縮減工期至 18、17 天者實無須再予計算。然而由此案例，一旦面對大型、複雜的網路，邊際成本分析法將因路徑過多、製表計算繁複而不適用。

表 5 案例分析後之最佳工期

工期	採取方案	直接成本 (元)	間接成本 (元)	總成本 (元)	
22	—	305000	72000	377000	
21	C-1	310000	66000	376000	
20	C-2	315000	60000	375000	*
19	A-1,F-1,C-1	326000	54000	380000	
18	A-1,F-1,H-1,C-1	341000	48000	389000	
17	A-1,F-1,H-1,C-2,D-1,B-1	357000	42000	399000	

二、整數非線性規劃

由上述分析可知，一旦針對大型、複雜的專案，採用邊際成本分析的捷思表格法並不適用。對於類似的最佳化問題，使用線性規劃解決則是比較有效率的方法【2, 3】。在過去，線性規劃需要撰寫程式或套裝軟體才能使用，如今 Excel 即已內建了規劃求解的功能。加以以，中、大型專案常用的專案管理軟體 MS Project 本就設定與 Excel 連結製作績效報表以作為專案控制之用，這使得應用 Excel 進行趕工決策成為可能且利於專案的整合管理。

探討成本最低的趕工問題可改寫成如下的線性規劃模式。設 Z 為趕工的總成本。此問題是極小化 Z ，受限於專案時間必須小於或等於專案經理的期望。問題的決策變數是 x_j ，即作業 j 因趕工而縮短的時間，故由案例得 $j = A, B, \dots, H$ 。

從表 1 的最後一欄可知，極小化的目標函數為：

$$Z = 7000x_A + 8000x_B + \dots + 15000x_H \quad (2)$$

式 2 右邊的 8 個決策變數 ($x_A \sim x_H$) 必須限制為非負數，且最大不能超過表 1 中正常工期與趕工期之差，也就是最大可趕工時間。例如， $0 \leq x_A \leq 1$ 、 $0 \leq x_B \leq 2$ 。

為了加上專案時間必須小於或等於期望值的限制，在此仍以工期縮減為 19 天為例，即專案時間 $y_{FINISH} \leq 19$ 。在已知 x_A, x_B, \dots, x_H 的狀況下，加入變數 y_j ，以協助求得適當的 y_{FINISH} 值。 y_j 為已知 x_A, x_B, \dots, x_H 等作業 j 的開始時間。由於專案的開始作業從 0 開始，故作業 A 不須此一變數。

每個作業的開始時間 (y_j) 直接與其前行作業的開始時間 (y_{j-1}) 和工期有關，亦即作業的開始時間 \geq (前行作業的開始時間 + 前行作業的工期)。此外，從表 1 的正常工期 (D_j) 可知，各作業的趕工工期 (Dc_j) 可用式 3 表示：

$$\text{作業 } j \text{ 的工期} = \text{其正常工期} - x_j \quad (3)$$

現以案例網圖中的作業 C 為例，見圖 3，說明這些關係。作業 C 的前行作業為作業 A，作

業 A 的正常工期為 4 天，其趕工下的工期為 $4 - x_A$ 。二作業間的關係可寫成： $y_C \geq y_A + 4 - x_A$ 。接著考慮作業 E。作業 E 有兩項前行作業：作業 B 和作業 C。作業 B 趕工下的工期為 $8 - x_B$ ；作業 C 的趕工工期為 $6 - x_C$ 。三項作業之間的關係可表示為 $y_E \geq y_B + 8 - x_B$ 、 $y_E \geq y_C + 6 - x_C$ ，這二個不等式表示，除非其兩項前行作業完成，否則作業 E 無法開始。

考慮所有決策變數和作業互相關係的限制式後，我們得以利用 Excel 試算表建立完整的線性規劃模式。由於試算表軟體廣為使用，以試算表為基礎的線性規劃與其延伸的軟體也日漸流行。在過去 Excel 2003 內建的規劃求解，還沒有辦法有效解決整數規劃和非線性規劃的問題。然而從 Frontline 系統公司為 Excel 2010 發展出更為強大的規劃求解增益集後，像趕工決策這類屬於整數非線性規劃的問題，就能更有效率求解【4】。試算表提供優良的溝通工具，對於習慣這種格式，但不熟悉一般數學規劃代數模式的工程管理人員，Excel 不啻為一方便取得，易於建立模式和求解的方法。

圖 4 顯示此案例的線性規劃試算表模式。如同邊際成本分析法步驟 1：計算成本斜率的作法，B 欄至 F 欄對應於表 1 的案例資料。決策變數置於儲存格 M6:N13。M 欄一開始的初始值，可以使用要徑法，如邊際成本分析法步驟 2，得到各作業的最早開始時間，所以 N 欄，即趕工減少工期，的初始值則均為 0。各作業之前行關係則註記於 I 欄至 L 欄。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	趕工決策線性規劃模式														
2															
3													完工工期 = 19		
4													總成本 = \$305000		
5		時間		成本		最大	成本	前行作業				最早開始	減少	完成	
6	作業	正常	趕工	正常	趕工	時間	斜率	Pred 1	Pred 2	Pred 3	Pred 4	時間	時間	時間	
7	A	4	3	\$21000	\$28000	1	\$7000					0	0	4	
8	B	8	6	\$40000	\$56000	2	\$8000					0	0	8	
9	C	6	4	\$50000	\$60000	2	\$5000	A				4	0	10	
10	D	9	7	\$54000	\$60000	2	\$3000	A				4	0	13	
11	E	4	1	\$50000	\$110000	3	\$20000	B	C			10	0	14	
12	F	5	4	\$15000	\$24000	1	\$9000	B	C			10	0	15	
13	G	3	3	\$15000	\$15000	0	\$0	E				14	0	17	
14	H	7	6	\$60000	\$75000	1	\$15000	D	F			15	0	22	

圖 4 案例的線性規劃試算表模式

如圖 5 的計算式所示，可以直接算出 G 欄和 H 欄。O 欄的計算式說明了作業的完成時間是該作業開始時間加上正常時間，再減去因趕工而縮短的時間。P 欄至 S 欄是該作業之前行作業的完成時間，T 欄為所有前行作業的最大完成時間。N2 為完工工期，此處即假設我們選擇趕工界限為 19 天。加總所有的正常成本和趕工費用所得到總直接成本，輸入在目標儲存格 N3。

G	H	I	N	O	P	T
			19			
最大 減少 時間	成本 斜率	前行作業 Pred 1	減少 時間	完成 時間	前行作業 Pred 1	前行作業 完成時間
=C6-D6	=IF(G6=0.0,(F6-E6)/G6)	A	0	=M6+C6-N6	=IF(I6=""&0.VLOOKUP(I6,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P6:S6)
=C7-D7	=IF(G7=0.0,(F7-E7)/G7)		0	=M7+C7-N7	=IF(I7=""&0.VLOOKUP(I7,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P7:S7)
=C8-D8	=IF(G8=0.0,(F8-E8)/G8)	A	0	=M8+C8-N8	=IF(I8=""&0.VLOOKUP(I8,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P8:S8)
=C9-D9	=IF(G9=0.0,(F9-E9)/G9)	A	0	=M9+C9-N9	=IF(I9=""&0.VLOOKUP(I9,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P9:S9)
=C10-D10	=IF(G10=0.0,(F10-E10)/G10)	B	0	=M10+C10-N10	=IF(I10=""&0.VLOOKUP(I10,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P10:S10)
=C11-D11	=IF(G11=0.0,(F11-E11)/G11)	B	0	=M11+C11-N11	=IF(I11=""&0.VLOOKUP(I11,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P11:S11)
=C12-D12	=IF(G12=0.0,(F12-E12)/G12)	E	0	=M12+C12-N12	=IF(I12=""&0.VLOOKUP(I12,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P12:S12)
=C13-D13	=IF(G13=0.0,(F13-E13)/G13)	D	0	=M13+C13-N13	=IF(I13=""&0.VLOOKUP(I13,\$B\$6:\$O\$56,14))	=MAX(P13:S13)

圖 5 線性規劃試算表之計算函數式

圖 6 為「規劃求解參數」對話盒的內容。第一條限制式 (G6:G13 ≥ N6:N13) 指出，各作業的縮短時間不能超過 G 欄所指示的最大縮短時間。之後的限制式 (M6:M13 ≥ T6:T13)，表示專案必須在其前行作業完成後才能開始。Excel Solver 提供三種演算法：一般化縮減梯度 (Generalized Reduced Gradient, GRG) 非線性法適用於平滑非線性的問題、LP 單形法 (LP Simplex) 用於線性的問題，以及用於非平滑問題的演化法 (Evolutionary) 【5】。第三條限制式 (M6:N13 = 整數) 指出本決策模式為整數規劃，故在下方「選取求解方法」的下拉選單裡，我們選擇 GRG Nonlinear 模式。最後的限制式 (O6:O13 ≤ N2) 則是說明專案必須在 19 日內完成。其他未設限的整數均設為非負數。

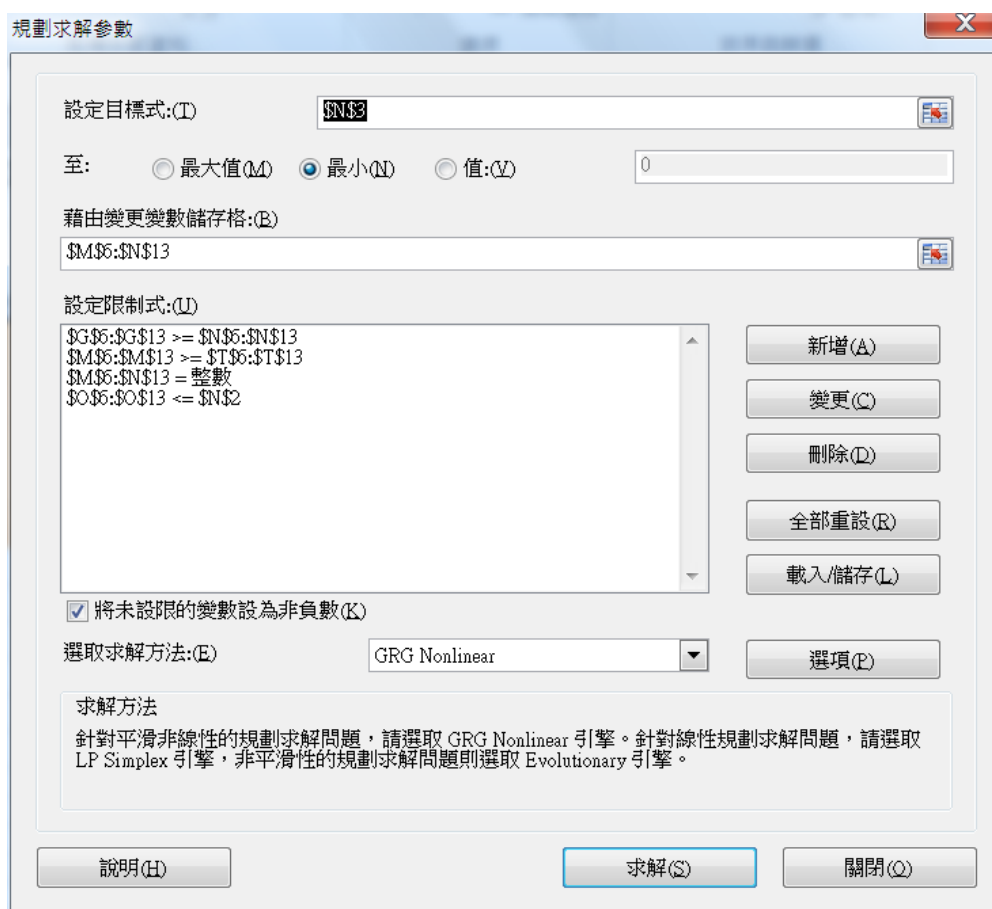


圖 6 規劃求解參數之對話盒

圖 7 的 M 欄和 N 欄顯示在點選「求解」按鈕後所求的最佳解，此解與表 3 之捷思表格法所得的結果相同。如果進一步要求得最佳工期，可以和先前表 5 邊際成本分析之捷思表格法一樣，逐步縮短工期重複進行規劃求解，直到確定總成本出現低點為止。然而其實只要將前述 Excel 整數非線性規劃模式略為修改，我們便可以直接求得總成本最小時之最佳工期。如圖 8，首先將儲存格 N2 改設為決策變數，其初始值使用專案正常完工工期，即儲存格 O13 顯示的 22 天。目標函數 N3 則由原本僅考慮直接成本，再依案例題意額外增加考慮間接成本： $30000 + (N - 15) * 6000$ 。其餘各儲存格與「規劃求解參數」對話盒的內容均不需更動。

趕工決策線性規劃模式													完工工期 = 19 總成本 = \$326000		
作業	時間		成本		最大減少時間	成本斜率	前行作業				最早開始時間	減少時間	完成時間		
	正常	趕工	正常	趕工			Pred 1	Pred 2	Pred 3	Pred 4					
A	4	3	\$21000	\$28000	1	\$7000					0	1	3		
B	8	6	\$40000	\$56000	2	\$8000					0	0	8		
C	6	4	\$50000	\$60000	2	\$5000	A				3	1	8		
D	9	7	\$54000	\$60000	2	\$3000	A				3	0	12		
E	4	1	\$50000	\$110000	3	\$20000	B	C			12	0	16		
F	5	4	\$15000	\$24000	1	\$9000	B	C			8	1	12		
G	3	3	\$15000	\$15000	0	\$0	E				16	0	19		
H	7	6	\$60000	\$75000	1	\$15000	D	F			12	0	19		

圖 7 專案必須在 19 日內完成下之最佳解

N2 =SUM(E6:E56)+SUMPRODUCT(H6:H56,N6:N56)+30000+(N2-15)*6000

規劃求解參數

設定目標式:(D) \$N\$3

至: 最大值(M) 最小(N) 值(V) 0

藉由變更變數儲存格:(E) \$M\$6:\$N\$13,\$N\$2

設定限制式:(L)

\$G\$6:\$G\$13 >= \$N\$6:\$N\$13
 \$M\$6:\$M\$13 >= \$T\$6:\$T\$13
 \$M\$6:\$N\$13 = 整數
 \$O\$6:\$O\$13 <= \$N\$2

新增(A) 變更(C) 刪除(D)

完工工期 = 22 總成本 = \$377000			
作業	最早開始時間	減少時間	完成時間
	0	0	8
	4	0	10
	4	0	13
	10	0	14
	10	0	15
	14	0	17
	15	0	22

圖 8 專案必須在 19 日內完成下之最佳解

同樣在〔規劃求解參數〕對話盒內點選〔求解〕按鈕後，求得最佳工期為 20 天 (N2)，總成本為 375000 元 (N3)，趕工決策為縮短作業 C 工期 2 天 (N8)，如圖 9。此最佳解與以邊際成本分析之捷思表格法的結果一致，如表 5，但計算時間極短，求解效率更高。

趕工決策線性規劃模式													完工工期 = 20 總成本 = \$375000		
作業	最早開始時間	減少時間	完成時間												
				Pred 4	0	0	4								
	0	0	8												
	4	2	8												
	4	0	13												
	8	0	12												
	8	0	13												
	12	0	15												
	13	0	20												

規劃求解結果

規劃求解找到解答。可滿足所有限制式和最適率條件。

報表
分析結果

保留規劃求解解答 還原初值

返回 [規劃求解參數] 對話方塊 大綱報表

確定 取消 儲存分析藍本...

圖 9 直接求解專案最佳工期

肆、結論與建議

CPM/PERT 時間成本取捨法可協助專案經理探討變更專案估計時間對總成本的影響。所需的資料是各作業正常工作及完全趕工的時間及成本。邊際成本分析之捷思表格法或線性規劃皆可用來決定各作業的趕工需求，以求符合截止日期專案的總成本最小化。由案例分析可知，對於大型網路而言，捷思表格法將因路徑過多、製表計算繁複而不適用。將 Excel 整數非線性規劃法應用於最佳趕工決策之求解不僅可行，還能減少甚多之求解時間。本研究建立之方法若應用於教學上，不僅能幫助學生更了解專案排程與熟悉試算表軟體的應用，也適合輔助解題之用。

參考文獻

1. Revelle, C.S. et al. (2004). *Civil and Environmental Systems Engineering*, 2nd Edition. New Jersey: Pearson Education.
2. 林金面 (2011)。營建管理學，修訂八版。台北：文笙書局。
3. Frederick S. Hillier, and Gerald J. Lieberman (2002). *Introduction to Operations Research*, 7th Edition. New York: McGraw-Hill Education.
4. Frontline Systems, Inc. (2015). *Smooth Nonlinear Optimization*. from <http://www.solver.com/smooth-nonlinear-technology#Generalized Reduced Gradient Method>.
5. Microsoft (2010)。使用規劃求解定義和解決問題。Excel 說明檔。

