

## 以模擬技術和統計方法建構專案排程之可靠度

### Construction the Reliability of Project Scheduling Using Simulation and Statistical Methods

蔣安國<sup>1</sup> 蔣安仁<sup>2</sup> 丁敬哲<sup>3</sup> 鍾健平<sup>4</sup>

---

#### 摘要

本研究提出結合計劃評核術(Program Evaluation and Review Technique )和反應曲面法(Response surface methodology)來解決專案排程問題。首先以模擬技術和實驗設計作為開發一個可趕工隨機網路的問題，並建構專案排程之可靠度的最佳化模式，透過反應曲面法(Response surface methodology)，求解專案排程，並計算出各個作業工期，且滿足可靠度的最佳排程方案，提供排程規劃的一個建議解，且經由實例驗證後，證明在可靠度應用在本研究中，可以在較短的時間內，有效地建立完工工期可靠度模式，求得近似最佳解。

**關鍵字：**專案排程、模擬、可靠度、反應曲面法

#### Abstract

In this study, it will combine PERT (Program Evaluation and Review Technique ) and RSM (Response surface methodology) to solve related problems. At first, it uses simulation techniques and design of experiment (DOE) to solve the project scheduling in developing a rationale for crashing stochastic networks and also develop a reliability of scheduling optimization models. Simulation techniques are useful for analyzing stochastic effects with response surface methodology to study the tradeoffs among time and reliability. Then, to determine the appropriate activities for crashing, including reliability which is needed to obtain optimal solutions. Finally, the results show that reliability can be integrated with simulation techniques and provide an efficient and practical means of optimal project schedules.

**Keywords:** Project scheduling, Simulation, Reliability, Response surface methodology

---

<sup>1</sup>逢甲大學工業工程與系統管理研究所教授

<sup>2</sup>高雄榮民總醫院婦產科主治醫生

<sup>3</sup>逢甲大學工業工程與系統管理研究所研究生

<sup>4</sup>逢甲大學工業工程與系統管理博士班研究生

## 1. 前言

現今科技日新月異，越來越多以專案解決的問題，為了要提高管理專案的競爭力，所以專案排程的品質與效率是不能忽略的重要因素，尤其是專案排程的規模大型化與複雜化，促使排程的專案管理相關問題漸受重視。在專案執行期間充滿著許多不確定因素，如：施工延誤、工程變更、施工人員、機具及材料不足等等。在考慮上述不確定性因素及工程風險影響下，參與專案完工工期求解過程的各作業工期，也不再被視為固定的估計值而進行專案排程的計算。因此在考慮不確定性因素下，計劃評核術為考慮不確定性之專案排程方法，計畫評核術於 1958 年由美國海軍為研發飛彈而發展出來的方法，為專案管理中的一項重要的專案排程技術。

計劃評核術又為要徑法的延伸，其前提假設為各作業工期為變動的，又稱機率性模式(probability model)，認為作業工期具有隨機變異性，所以假設作業工期會服從某一機率分配（如：貝它分配、三角形分配、卜瓦松分配、常態分配等），一般最常見的是假設作業工期服從貝它分配，此法又稱三時估計法，考慮每個作業執行時間的變異數，採用最樂觀的作業工期、最悲觀的作業工期，以及可能性最高的作業工期，三個估計值來考量作業的不確定性。機率型方法較受爭議的地方，在於描述作業之機率分佈情形往往為特定之機率分佈(如：常態分佈或貝他分佈)，然而專案有唯一性，無法重複樣本資料的觀察。因此，本研究將計劃評核術與要徑的技術來架構專案排程，並進行模擬，利用實驗設計中的反應曲面法，建立可靠度模式，求算可靠度來評估專案完工工期。

## 2. 文獻探討

許多學者對於在機率條件下產生的專案排程的假設，與現實狀況不符合，而且基本的要徑排程並不考慮不確定因素，因此有許多關於預測與衡量不確定因素的排程研究被提出。

Seiler(1983)學者在研究中提出以最小平方法的方式，求算SPI(Schedule Performance Index)與CPI(Cost Performance Index)兩個指數的趨勢，並以上述結果之平均值預測專案的完工工期與完工成本。Osman(1985)學者以作業工期呈常態的機率分配取代要徑法中的作業工期，並透過線性規劃在工期限制的情況之下抉擇出最佳的專案排程計劃。Kerridge (1986)學者在研究中，使用簡單的直線趨勢法做專案進度的趨勢預測。Mon(1995)學者在計劃評核術中以模糊分配取代原先的三時估計法，並以 $\lambda$ -cut 值法在考量不同風險層級下求得專案的時間與成本資訊。Barraza(2000)學者在研究中，以隨機分佈之S-Curve(Stochastic S-curve, SS-Curve)作為專案進度管控基礎。Chang(2001)學者提出分別在里程碑層級(Milestone Level)與專案層級(Project Level)等兩個層級中，運用SPI與CPI進行評估專案進度與成本執行績效。

除了上述評估專案排程的研究，也有學者提出利用品質工程的方法來評估專案排程，Babu(1994)學者在專案管理的研究中，以時間、成本與品質對專案工程進行管制，

以達到在趕工的狀況下，能取得最小成本且能達一定水準的專案品質。Cho and Yum(1997)學者在研究中提出，在 PERT 專案網路中，應用品質工程的田口公差設計技術，對專案在要徑和非要徑情況下，進去專案作業數、各作業工期的變異數及整個專案工期來評估專案排程，大大地改善估計程序的效率。Menipaze(2002)學者提出以調和(Harmonization)模擬方法來管理隨機專案，在研究中以完工工期，預算成本與可靠度三參數來考量，其中提出專案可靠度，在某個預算成本條件下的準時達到專案到期日的機率。

### 3. 反應曲面法

本文研究在應用的方法上，其實驗設計的全因子設計在某些情況下並不符合我們的求解需求，而反應曲面法(Response Surface Methodology)則是一個較為適合的方法，其優點在於能夠有系統、有效率的在多因子的實驗中，使用較少的實驗次數建構問題的模型和分析，最後獲得一個滿意的實驗結果。[1, 5, 9, 14]

#### 3.1 反應曲面法

反應曲面法(RSM)是結合實驗設計(Design of experiment)、統計迴歸(Regression)與數學規劃(Mathematical programming)，進行建構問題的模型和分析。探討自變數(Independent Variables)與反應變數(Response Variables)之間的關係，以及建立配適的曲面方程式與最佳化反應值。配適的曲面方程式則以一個近似的數學方程式來反映各因子對於反應值(Response)的影響、繪製等高綫圖(Contour Plot)與反應曲面圖(Response Surface Plot)、反映出各因子的重要性程度與順序、用最佳化的技巧來預測反應值。

現在假設有一個反應變數  $y$  與  $k$  個可控制且連續、獨立的自變數為  $x_1, x_2, \dots, x_k$ ，其反應變數與自變數間的關係，可以由近似函數來表示：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (3-1)$$

其中  $\varepsilon$  為反應變數  $y$  的誤差，一般假設  $\varepsilon$  服從常態分配且獨立，其期望值為零。如果以  $E(y) = f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \eta$  表示反應的期望值，那麼  $\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  就是所謂的反應曲面(Response Surface)。

在大多數的 RSM 問題中，介於反應和獨立變數之間的關係的形式是未知的。因此，RSM 的第一步是，對於  $y$  (反應變數) 與獨立變數間真正的函數關係，找出一個適當的近似。通常所利用的是獨立變數在一些範圍裡的低階多項式。如果反應能被一個獨立變數的線性函數所模仿且模仿得很好的話，則近似函數就是一階模型(First-Order Model)[15]。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3-2)$$

如果系統中有曲率，則必須利用較高階的多項式，如二階模型(Second-Order Model)。

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3-3)$$

在實驗靠近最佳反應值附近的區域時，在大多數的情況下，我們通常是使用二階模式來配適曲面，進行二階反應曲面的分析，即可決定出最佳的反應值。

假設我們希望找到  $x_1, x_2, \dots, x_k$  這  $k$  個因子的水準來最佳化反應的估計值  $\hat{y}$ ，那麼，分別對  $\hat{y}$  在每個  $x_1, x_2, \dots, x_k$  做偏微分  $\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_k} = 0$ ，這個  $x_{S1}, x_{S2}, \dots, x_{Sk}$  的點稱之為駐點(Stationary Point)或平穩點，而駐點代表的可能為最大反應點、最小反應點或者是鞍點(Saddle Point)。

在駐點的位置計算出來之後，通常有必要在這個點的緊鄰附近來特徵化反應曲面，所謂特徵化(Characterize)指的是判斷駐點為極大極小或鞍點，或者進行所謂的正準分析(Canonical Analysis)來判斷駐點的形式。此外，我們為了觀察自變數與反應變數的關係、曲面的形狀、駐點的位置與形式，通常以繪製 3 度空間的反應曲面圖形來表示，同時，為了有助於看出反應曲面的形狀，可以畫出反應曲面的等高綫圖(Contour Plot)。等高綫圖是由很多條直線或曲綫所組成的二維圖形，每一條綫對應到一個反應曲面的特定高度，因此，在同一條等高綫上，皆具有等量的反應值。而且，等高綫圖以最直接的圖示方式，來解釋反應曲面系統。並且很容易可以先行判斷最佳值的大概落點，根據等高綫疏密的程度我們也可看出各個因子對反應變數的敏感度。

### 3.2 Box-Behnken Design

在 1960 年 Box 和 Behnken 曾提出一些配適反應曲面的 3 水準設計，這些設計是結合  $2^k$  因子設計與不完全集區設計(Incomplete Block Design)而成。所謂不完全集區設計，乃是因為隨機完全集區設計在某些情形下並不實用，而進一步改良成功的設計方法。所以，Box-Behnken Design(BBD)，所得之設計通常就試驗次數而言是非常有效率的。Box-Behnken Design 是一種符合旋轉性或幾乎可旋轉性的球面設計，所謂旋轉性(Rotatable)就是實驗區域內之任一點與設計中心點的距離皆為等距，其變異數是此點至設計中心點的距離函數和其他因素無關，同時，它是一種圓形設計，也就是說，所有的實驗點都位於等距的端點上，並不包含各變數上下水準所產生位於立方體頂點的實驗，避免了很多因實際限制而無法進行的實驗。Box-Behnken Design 的另一個相當重要的特點就是以較少的實驗次數資料，來估計一階、二階與一階交互作用項的多項式模式，可說是一種很有效率的反應曲面設計法。本研究將採用 BBD 來作為實驗依據。

## 4. 範例探討

本研究以 5 個作業的網路圖為例(如圖 1)，每個作業工期服從常態分配(如表 1)。我們採用 5 個因子、三水準的 Box-Behnken 法來進行實驗設計(如表 2)，由上述實驗因子

與水準的訂定，可得知 5 因子須在 46 組實驗設計中，各個因子將依其水準組合作排列情形。根據這樣的 46 組排列組合的情形，進行軟體的模擬，利用機率  $Z[0,1]$  進行隨機選取各作業模擬工期，將所有各作業工期可能發生狀況充分反應。將每組因子各重複三十次的電腦模擬分析實驗，並求出專案完工工期的平均數與標準差。假設專案需在 65 天以內的條件下完成專案，將 46 組因子在上述條件下，計算專案完工工期可靠度，以求得 46 組因子水準排列組合下相對應的專案完工工期可靠度，透過統計軟體進行反應曲面法，建立完工工期可靠度模式。

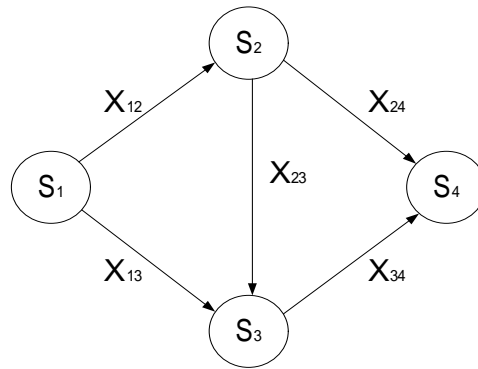


圖 1 專案網路圖

表 1 每個作業的工期與成本的平均數與標準差

作業 ij	工期平均數	工期標準差
X <sub>12</sub>	24	3
X <sub>24</sub>	28	3
X <sub>23</sub>	13	2
X <sub>13</sub>	25	3
X <sub>34</sub>	19	3

單位(天)

表 2 每個作業工期的三水準

作業 ij	低水準	中水準	高水準
X <sub>12</sub>	21	24	27
X <sub>24</sub>	25	28	31
X <sub>23</sub>	11	13	15
X <sub>13</sub>	22	25	28
X <sub>34</sub>	16	19	22

單位(天)

## 5. 實驗結果與討論

當我們對專案排程進行模擬之後，可經由模擬的結果計算各組合的完工工期可靠度(Rt)，然後再透過統計軟體來分析判斷資料的可信度與結果。所以針對範例的結果共有以下幾點討論：

反應變數之變異數分析表(ANOVA)，由表 4 可判斷其檢定是具顯著性( $P < 0.05$ )的，只有  $X_{24}$  和  $X_{13}$  是不顯著的，但是其中因子對反應值的影響程度也有大小之分，表 5 乃是依各因子對反應值的影響大小排序而來。因此，我們有足夠的理由拒絕虛無假設，並顯示透過完工時間可靠度所配適出的迴歸模式，來探討自變數與反應變數之間的關係是合適的。同時，我們希望判定係數(Coefficient of Determination)愈趨近 1 愈好，因為這代表著自變數變異能夠解釋反應變數總變異的程度越大，因而使總誤差越小，但若  $R^2 = 1$  時，則表示實驗不具隨機性，在這種情形下就不適於作迴歸分析。

在表 3 中可看到專案在 65 天條件下完成的可靠度平均為 93.39%，在可接受範圍內，也可清楚地看到  $R^2$  高達 95.29%，也就是說，本實驗中絕大部份的完工工期變異可經由自變數變異來解釋，並得到  $R^2$  (95.29%)分別是由一次項的  $R^2$  (69.16%)、二次項的  $R^2$  (10.28%)與相乘項的  $R^2$  (15.85%)相加而來，但是一次項的  $R^2$  僅有 69.16%，由此可證，迴歸模式中只包含綫性模式是不足夠的，這也說明迴歸模式須包含到以更高階的相乘項、二次項來表示是有必要的。另外，我們也同時進行缺乏度檢定(Lack of Fit)，其 P 值 (0.2933)遠大於 0.05，所以，結果是不具顯著性的，表示迴歸模式能夠確實反映出自變數與反應變數間關係的真實情況，因此我們接受虛無假設  $E(Y) = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  的迴歸關係。

本研究中的迴歸模式係數是透過自變數與反應變數所存在的迴歸關係使用最小平方方法估計而來的(如表 6)，且在  $\alpha = 0.05$  的情況下，根據 t-test 來進行各迴歸係數顯著性的檢定，當虛無假設成立的時候，模式的迴歸係數 = 0，代表此迴歸係數不顯著，所以，當 P-value 小於 0.05 時，我們就可以拒絕虛無假設，而將剩下來不顯著的迴歸係數加以省略，形成簡化的迴歸方程式，因此第二種方法簡化後的迴歸方程式如下：

$$Rt = -6.709813 + 0.288113X_{12} + 0.301944X_{23} + 0.267201X_{34} - 0.002557X_{12} * X_{12} - 0.004772X_{12} * X_{23} - 0.006044X_{12} * X_{34} - 0.005717X_{23} * X_{34} - 0.003188X_{34} * X_{34} \quad (5-1)$$

由上述可知，我們結論出完工工期可靠度(Rt)迴歸模式是非常適切的，而且可得知為二項式迴歸模式的方程式，再根據  $X_{12}$  與  $X_{34}$  這兩個因子對反應變數(完工工期可靠度)影響程度較大的理由，因此我們固定其它因子在中水準值，來繪製出此最顯著兩因子的等高線圖(如圖2)與反應曲面圖(如圖3)。由圖2可看出  $X_{12}$  與  $X_{34}$  的變化對應於等高線值也會產生顯著的變化，也就是說對於反應變數(完工工期可靠度)而言是很敏感的。經由實例驗證後，證明在可靠度應用在本研究中，可以在較短的時間內，有效地求得專案排程解，或完工工期可靠度解。

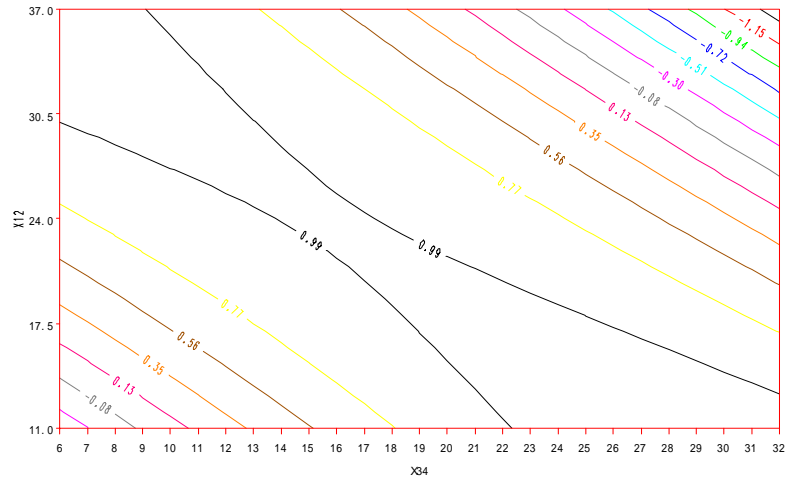


圖 2  $X_{34}$  和  $X_{12}$  因子對完工工期可靠度影響的等高線圖

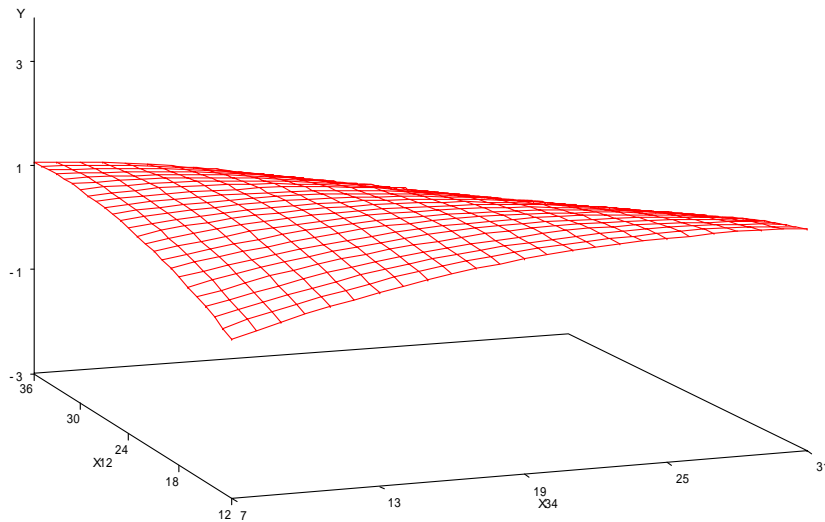


圖 3  $X_{34}$  和  $X_{12}$  因子對完工工期可靠度影響的反應曲面圖

表 3 反應變數(完工工期可靠度)的變異數分析表

Response Surface for Variable Rt					
Response Mean	0.933916				
Root MSE	0.025461				
R-Square	0.9529				
Coef. of Variation	2.7263				
Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Square	R-Square	F-Ratio	Prob > F

Linear	5	0.238206	0.6916	73.49	<.0001
Quadratic	5	0.035389	0.1028	10.92	<.0001
Crossproduct	10	0.054604	0.1585	8.42	<.0001
Total Regress	20	0.328199	0.9529	25.31	<.0001
Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	20	0.014120	0.000706	1.69	0.2933
Pure Error	5	0.002087	0.000417		
Total Error	25	0.016207	0.000648		

表 4 各因子對反應變數(完工工期可靠度)的變異數分析

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
X <sub>12</sub>	6	0.163712	0.027285	42.09	<.0001
X <sub>24</sub>	6	0.002417	0.000403	0.62	0.7114
X <sub>23</sub>	6	0.040465	0.006744	10.4	<.0001
X <sub>13</sub>	6	0.002831	0.000472	0.73	0.6315
X <sub>34</sub>	6	0.177544	0.029591	45.64	<.0001

表 5 各因子對反應變數影響的重要性順序

Factor	F-Ratio	重要性順序
X <sub>12</sub>	42.09	2
X <sub>24</sub>	0.62	5
X <sub>23</sub>	10.4	3
X <sub>13</sub>	0.73	4
X <sub>34</sub>	45.64	1

表 6 多項式模式的迴歸分析結果(Rt)

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEPT	1	-6.709813	1.84333	-3.64	0.0012
<b>X<sub>12</sub></b>	1	0.288113	0.047113	6.12	<.0001
<b>X<sub>24</sub></b>	1	0.037335	0.048263	0.77	0.4464



表 6 多項式模式的迴歸分析結果(Rt) (續)

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
$X_{23}$	1	0.301944	0.095339	3.17	0.004
$X_{13}$	1	-0.01999	0.047386	-0.42	0.6767
$X_{34}$	1	0.267201	0.045893	5.82	<.0001
$X_{12} * X_{12}$	1	-0.002557	0.000539	-4.75	<.0001
$X_{24} * X_{12}$	1	-0.000699	0.000796	-0.88	0.3879
$X_{24} * X_{24}$	1	-0.000486	0.000539	-0.9	0.3757
$X_{23} * X_{12}$	1	-0.004772	0.001591	-3	0.0061
$X_{23} * X_{24}$	1	-0.000063594	0.001591	-0.04	0.9684
$X_{23} * X_{23}$	1	-0.003413	0.002155	-1.58	0.1258
$X_{13} * X_{12}$	1	0.000432	0.000796	0.54	0.5922
$X_{13} * X_{24}$	1	-0.000477	0.000796	-0.6	0.5541
$X_{13} * X_{23}$	1	-0.000316	0.001591	-0.2	0.8442
$X_{13} * X_{13}$	1	0.000198	0.000539	0.37	0.7162
$X_{34} * X_{12}$		-0.006044	0.000796	-7.6	<.0001
$X_{34} * X_{24}$	1	0.000978	0.000796	1.23	0.2305
$X_{34} * X_{23}$	1	-0.005717	0.001591	-3.59	0.0014
$X_{34} * X_{13}$	1	0.00102	0.000796	1.28	0.2115
$X_{34} * X_{34}$	1	-0.003188	0.000539	-5.92	<.0001

經由完工時間與完工時間可靠度的資料分析，本研究建構完工時間可靠度迴歸方程式，其計算方式利用數學規劃，將目標函數設為最早完工工期，限制式為各因子之最低與最高水準限制、完工時間可靠度之迴歸方程式，並加入完工工期、完工成本、完工工期可靠度的條件限制，利用 GAMS 軟體求出在各條件限制下的最佳完工工期(表 4-13)。

$$\text{Minimize } T \quad (5-2)$$

$$\text{Subject to } R_T \quad (5-3)$$

$$M_{ij} \leq X_{ij} \leq N_{ij} \quad \text{for } i=1,2,3,4 \quad j=1,2,3,4 \quad i < j \quad (5-7)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (5-8)$$

$$S_i + X_{ij} \leq S_j \quad \text{for } i=1,2,3,4 \quad j=1,2,3,4 \quad i < j \quad (5-9)$$

$$S_j \geq S_i \quad (5-10)$$

$$S_4 = T \tag{5-11}$$

$$S_1 = 0$$

$$0.92 \leq R_T \leq 1 \tag{5-12}$$

$$T \leq 65 \tag{5-13}$$

$$TC = \sum_{all(i,j)} (a_{ij} - b_{ij} X_{ij}) \tag{5-14}$$

$$TC \leq C_M \tag{5-15}$$

$T$  : 專案完工工期

$TC$  : 專案完工的成本

$C_m$  : 此專案完工成本的上限

$R_t$  : 在規定的時間限制條件下所規定的  $T$  期間的完工工期可靠度

$X_{ij}$  : 作業 (i,j) 的時間

$N_{ij}$  : 作業 (i,j) 的正常時間

$M_{ij}$  : 作業 (i,j) 的趕工時間

$S_i$  : 作業 i 的開始時間

$S_j$  : 作業 j 的開始時間

$a_{ij}$  : 作業 (i,j) 的截距

$b_{ij}$  : 作業 (i,j) 的斜率

## 6. 結論

在本實驗中的案例是將作業工期服從常態分配，但作業工期具有隨機變異性，所以也可假設作業工期服從任一機率分配（如：貝它分配、三角形分配、卜瓦松分配等），再利用統計方法求出所需反應值，再透過實驗設計的反應曲面法。我們可以來探討實驗中自變數與反應變數間的關係，再藉由二階反應曲面的分析來提供一個更為適切的迴歸多項式方程式，因此我們能夠得到專案完工工期可靠度。而且藉由各自變數對反應變數

的變異數分析，利用 F-test 檢定的結果，來排列各因子對於反應變數影響的重要性順序，因此，可以比較各因子對於專案排程作業的影響程度為何。

與實行全因子實驗的比較下，可用較少的實驗次數來進行實驗，如以本實驗中的五個因子為例，若進行全因子實驗，其實驗次數有規模擴增的現象，也就是必須透過 7290 次的模擬來進行  $3^5$  組要徑實驗，然而使用 BBD 法僅需透過 1380 次的模擬來進行 46 組要徑實驗。

本研究所提出的方法是在專案的排程階段便將各個因子的參數最佳值及完工工期可靠度找出來。排程上有改進的需要可以直接在電腦上做修改，以減少進行實際作業時才發現專案排程進度不宜，而必須重新修改所多花的成本及時間。並且，我們所使用的反應曲面法亦可看出各作業在該專案排程中個別的重要性，而且所找到的反應方程式可以重複使用以作為後續專案排程的修正。兼顧到工期及品質的因素，節省專案排程時所浪費的時間。如此實驗設計方式在事事講求成本的現代企業，相信必然可以降低不必要成本的支出並得到更高的工作效率，此外，也能夠提升企業全面的競爭能力，以獲得更高的利潤。

## 謝辭

感謝高雄榮民總醫院協助與支持完成本研究。

## 參考文獻

1. Montgomery 原著，黎正中譯，(1998) “實驗設計與分析”，高立圖書出版有限公司，台灣台北。
2. 宋欣財，“專案排程趕工決策模式”，國立成功大學土木工程系碩士論文，民國 92 年。
3. Barraza, G. A., W. E. Back & F. Mata (2000), “Probabilistic monitoring of project performance using SS-curves.” *J. Constr. Engrg. And Mgmt.*, ASCE, 126(2), pp.142-148.
4. Babu, A. J. G. & Suresh Nalina (1996), “Project management with time, cost, and quality considerations.” *Eur. J. Operational Res.*, 88, pp.321-327.
5. Box, G. E. & N. R. Draper (1997), “Empirical Model Building and Response Surface”, *John Wiley and Sons, New York*.
6. Chang, A. S. T. (2001), “Defining cost/schedule performance indices and their ranges for design projects.” *J. Mgmt. in Engrg.*, ASCE, 17(2), pp.122-130.
7. Cho, J. G. & Yum, B. J. (1997), “An Uncertainty Importance Measure of Activities in PERT Network”, *Int. J. Prod. Res.* 35(10), 2737-2757.
8. Kerridge, A. E. (1986), “Predict project results with trending method.” *Engineering and Construction Project Management*, A. E. Kerridge and C. H. Verralin, eds., Gulf Publishing Co., Houston.
9. Khuri, A. J. & J. A. Cornell (1996), “Response Surface: Design and Analysis”, *Marcel*

*Dekker, New York.*

10. Kerzner, H. (1996), "Project management", *John Wiley and Sons, New York.*
11. Mon, D. L., C. H. Cheng & H. C. Lu (1995), "Application of fuzzy distributions on project management," *Fuzzy Sets and Systems*, 73, pp.227-237.
12. Menipaz, E. Ben-Yair (2002), "Three-parametrical harmonization model in project management by means of simulation," *Math. Comput. Simul.* 59(5), pp.431-436.
13. Menipaz, E. A. Ben-Yair (2002), "Harmonization simulation model for managing several stochastic projects," *Math. Comput. Simul.*, 61, pp.61-66.
14. Myers, R. H. & Montyomery, D. C. (1995), "Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments", *John Wiley and Sons, New York.*
15. Osman, Coskunoglu. (1985), "Optimal probabilistic compression of PERT networks," *Journal of Construction Engineering And Management*, ASCE, 110(4), pp.437-446.
16. Seiler, J. R. (1983), "Cost and schedule data analysis and forecasting," *Project Management Institute Seminar/Symposium*, Houston, Texas, October, pp.17-19.