

不確定營收下實質選擇權法在高雄捷運 BOT 模式之應用¹

APPLICATION OF BOT MODEL FOR KAOHSIUNG MRT PROJECT USING REAL OPTIONS WITH INCOME UNCERTAINTY

林達榮 Tyrone T. Lin²

柯娟娟 Chuan-Chuan Ko³

(90 年 12 月 7 日收稿，91 年 3 月 20 日第一次修改，91 年 4 月 23 日
第二次修改，91 年 12 月 23 日定稿)

摘 要

本文擬採用實質選擇權法說明，在「財務性效益評估」之前提下，針對高雄捷運 BOT 工程之規劃、營建、營運階段進行專案決策評估與管理分析，建構 BOT 模式下最適投資門檻值、及最佳完工時點，並說明實質選擇權法與傳統淨現值法之異同，提出權利金分配策略做為政府及業者於 BOT 模式之策略評估參考。本文研究結果顯示，運用實質選擇權法在不確定營收狀況下，其與一般傳統淨現值法無法隨動態營收環境變化而彈性調整其投資與經營策略所產生之差異為專案策略現值之所在。

關鍵詞：BOT 模式；決策評估；實質選擇權

-
1. 本文為銘傳大學新世紀、新思維國際學術研討會議論文集（民國 90 年，頁 607-630）：「不確定市場下 BOT 專案計畫決策評估模式—以高雄捷運工程為例」一文修改而成。作者感謝兩位審查委員提供寶貴意見。本研究獲 89 年度國科會研究計畫補助（NSC89-2416-H130-029），謹此致謝。
 2. 銘傳大學管理科學研究所助理教授（聯絡地址：111 台北市中山北路五段 250 號銘傳大學管理科學研究所；電話：02-28824564 轉 2402；E-mail：trlin@mcu.edu.tw）。
 3. 景文技術學院財政稅務系兼任講師。

ABSTRACT

This paper utilizes the real options approach to evaluate the project value of the BOT (Built- Operate-Transfer) model for Kaohsiung MRT project under income uncertainty. The BOT project is categorized into the programming, building, and operating stages, according to different risks of incomes. The model uses financial benefit evaluation to provide reference data on optimal capital investment threshold and optimum timing for completing construction for the decision makers. The strategic present value can be found from strategic net present value with flexible value subtracted by net present value with a non-flexible value. This study also aims to compare ROA with net present value method and to provide suggestions in premium distribution from operating earnings for strategic managers.

Key Words: *Decision analysis; BOT model; Real options approach*

一、前言

公共建設通常具有投資金額龐大、高風險、回收慢等特質，BOT (build-operate-transfer) 商機如何掌握？什麼時點、做何決策，如何評估 BOT 模式之專案價值，為本文所探討的重要課題。全文以實質選擇權法 (real options approach; ROA) 針對高雄捷運 BOT 模式之不同階段性風險進行決策評估。在營收不確定情形下，運用管理彈性策略，求取最適進入營建期門檻值、最適完工時期，及進行最佳投資專案價值之評估，企圖提供高雄捷運 BOT 專案投資計畫之另一思考模式，導出民間企業參與高雄捷運 BOT 建設所隱含時間價值，並提供權利金合理分配建議，為日後政府及業者在進行 BOT 專案策略評估之參考。

政府採用 BOT 模式主要考量減輕財政赤字，藉用民間技術與管理效率，提高服務品質。其成功關鍵在政府及參與民間機構之風險歸屬明確與否，其中籌資能力、財務報酬分配為主要考量因素。Tam^[1] 提出 BOT 模式推行成敗原因在於經驗、政府應當扮演角色、與適當管理。劉憶如等^[2] 指出 BOT 模式，風險有其階段性之不同，分別為：第一階段為規劃期，工作重點在資金籌措、施工規劃、和招商承建；第二階段是營建期，工作重點在施工管理、如何有效控制工程完工日期、工程品質和建設成本；及第三階段的營運期，主要工作在於維護營運品質、利潤、營運成本超支和市場需求風險。馮世道等^[3] 認為 BOT 模式中廠商面對的合約價格是營運期間所能獲致的盈利。在其他條件不變下，縮短工期增加營運期間，可增加廠商的淨利。當市場情勢不如預期時，延緩施工進度可延緩支出，降低機會成本。但公共建設皆有其需求之迫切性，政府與廠商訂立工程合約時，必定要求廠商如期完工，若無法如期完工，廠商將支付可觀的違約金。基於此考量，本文探討在不確定營收及合約期限內完工（準時或縮短工期）下，將高雄捷運 BOT 模式劃分為規劃、營建、營運等三階段，進行專案決策與管理應用之模式開發。

傳統評估計畫獲益性之指標包括淨現值 (net present value; NPV) 法、內部報酬(internal

rate of return; IRR) 法、效益成本比 (benefit-cost ratio; B/C ratio)、回收期間(recovery period) 分析等。Trigeorgis^[4] 指出傳統方法忽略或無法適當衡量不確定因素存在，且與預期不同時，管理者對經營策略缺乏彈性調整能力。換言之，傳統方法忽略管理彈性價值（例如在高成長市場時，擴大投資規模以獲取更大利潤；市場萎縮時，縮減投資規模或放棄投資計畫等）。投資計畫具有潛在利益無限（上方風險），而下方損失有限（下方風險）的不對稱性。因此，Trigeorgis 和 Mason^[5] 主張投資計畫價值應考量策略淨現值(strategic NPV; SNPV)，包含傳統 NPV 與管理彈性所產生的選擇權價值（策略現值，strategic present value; SPV）。

ROA 起源於 Black 和 Scholes^[6]、Merton^[7] 等所發展的選擇權定價模式 (options pricing model; OPM)，其運用在衍生性金融商品上，無論在理論及實務皆產生豐碩成果。隨後，Myers^[8]、Brennan 和 Schwartz^[9]、McDonald 和 Siegel^[10,11] 等相繼將 OPM 之概念，運用於實質資產 (real assets) 之資本預算決策評估，進而發展出 ROA 在投資決策相關領域之應用。ROA 與傳統 NPV 法最大不同處是，Myers^[8] 提出的「投資產生的現金流量所創造出之利潤，除來自於目前擁有的實質資產投資之運用外，亦需考量其潛在投資機會所產生之選擇權利的價值」，即 Dixit 和 Pindyck^[12] 倡導將管理彈性列入評估投資決策的考量。管理彈性產生之選擇權價值，相較於一般投資決策之不可回復性 (irreversible)，其延遲投資決策是可回復的 (McDonald 和 Siegel^[10])。由於此種投資決策不對稱性，使得等待投資期間所持有的選擇權利產生潛在的等待價值。

馮正民、康照宗^[13] 探討 BOT 專案計畫以風險及效用理論結合多屬性決策理論建立風險評量模式，區分風險、非風險事件做為契約風險判斷之依據。陳宥杉^[14] 以 ROA 模式評估台灣高鐵公司 BOT 專案之等待價值為 785.29 億，比傳統 NPV 法高出一倍。馮世道等^[3] 指出台灣高鐵能以彈性調整興建速度，趕工縮短工期可增加營運期間，惟需支付額外趕工成本，而延緩施工將增加工期，營運期縮短而降低營收。依照 ROA 模式進行模擬分析結果，廠商握有彈性調整工率價值即選擇權的權利價值 (premium) 約為 4.15%，得出延緩工期機率為零。

林建山^[15] 針對交通建設之財源籌措與分配提出改善對策：第一，建立交通建設總體需求模型及其永續財務制度；第二，強化財源國際化之基礎條件與誘因；第三，以市場通例與夥伴關係重新界定民間參與規制；第四，以事前基準思維及社會利潤理則為交通建設效益之評估與財務之決斷；第五，推動建立風險體制。周禮良^[16] 針對高雄捷運 BOT 模式評審委員會⁴ 評比結果提出說明，高雄捷運股份有限公司籌備處之投資計畫書及報價比較，「高雄捷運」報價總建造經費為 1,722.6 億元、政府出資部分為 1,047.7 億元，特許公司自有資金為 304.9 億元、政府辦理事項經費 370 億元、自償率 22.36%；「港都捷運」報價總建造經費為 1,888 億元、政府出資部分為 1,189.1 億元，特許公司自有資金為 328 億元、政府辦理事項經費 370 億元、自償率 25.18%，二者相差 155.4 億元，相關資料參閱附錄一

4. 民國八十九年五月十日召開第五次高雄捷運工程甄審委員會議。

(附圖 1 及附表 1)。

上述相關文獻之 BOT 模式探討，僅就投資角度或風險衡量進行評估，欠缺執行 BOT 專案所需面臨管理行為進行探討。本文試圖以高雄捷運 BOT 模式為例，針對決策模式及管理考核評估方法的改進，進行實務性研究，彌補傳統 NPV 法的缺失，在高雄捷運 BOT 模式之規劃、營建、營運等三階段，嘗試構建新式的評價模式，評估其專案價值、興建決策門檻值、及最適的完工時點等相關事項進行探討，以提供廠商及政府在 BOT 模式之進入、管制、與考核上另一種管理彈性之參考。

本文章節結構如下：第二節利用歐式布萊克、蕭司選擇權模式 (Black 和 Scholes 模式^[6]；B&S 模式) 及等價、平滑條件 (Dixit 和 Pindyck^[12]) 建立研究模型，第三節為模擬與比較分析，以高雄捷運 BOT 工程為例進行分析，並比較傳統 NPV 法與 ROA 模式之異同，且提供權利金分配原則之參考意見；第四節為結論與建議。

二、實質選擇權評價模式

本文以下利用歐式布萊克、蕭司選擇權模式及 Dixit 和 Pindyck^[12] 之等價條件 (value matching condition) 及平滑條件 (smooth pasting condition)，針對高雄捷運 BOT 模式之投資計畫及執行管理進行 ROA 探討。

2.1 符號與模型假設

在不確定營收下，BOT 模式投資計畫依所承受風險之不同劃分為三階段，第一階段為規劃期，亦即自廠商開始規劃高雄捷運 BOT 專案於競標廠商中取得優先營建權利，進行營建的可行性評估之前置計畫期；第二階段為營建期，廠商決定興建至工程完工為止，依高雄捷運工程先前計畫書^[17]，其預計營建期為六年，本文在此階段考慮彈性調整工期，亦即考量可以利用趕工方式縮短工期之營建模式；第三階段為營運期，係指工程完工後，開始營運至營運特許期間結束為止，因高雄捷運 BOT 模式之工程合約中規定營運特許權終止日，特許公司必須將 BOT 專案之所有權無償歸還政府。上述各時期關係如圖 1 所示。

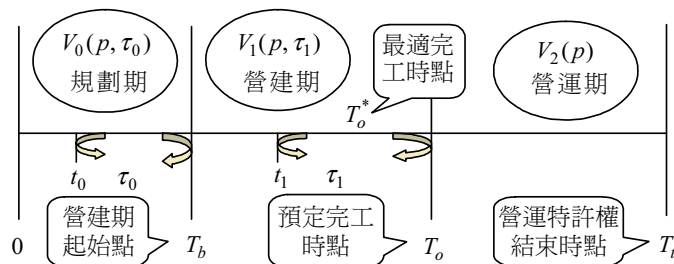


圖 1 BOT 模式各時期關係圖

符號說明如下：

0：規劃期起始點；

T_b ：營建期起始點或合約優先權利中止點；

T_o ：政府與特許公司簽約時預定完工時點亦為營運期起始點，特許公司最遲需於 T_o 時點完成興建之工程；

T_o^* ：提前完工時點 ($T_o - \varepsilon \leq T_o^* \leq T_o, \varepsilon > 0$)，本文假設特許公司可依市場情勢，彈性調整工期，且只能提前完工，不允許延長工期；

$T_o - T_b$ ：工程合約興建工程之預定工期；

$T_o^* - T_b$ ：最適完工工期；

$T_o - T_o^*$ ：最適完工時點下之趕工工期，工程合約興建工程之工期 $T_o - T_b$ 與實際完工工期 $T_o^* - T_b$ 之差，當 $T_o - T_o^* = 0$ 即趕工工期為 0， T_o 與 T_o^* 重疊。

T_t ：營運期終迄點 (營運特許權終止日)；

τ_0 ：規劃期的剩餘時間， $\tau_0 = T_b - t_0$ ， $\tau_0 \in [0, T_b]$ ；

τ_1 ：營建期的剩餘時間， $\tau_1 = T_o^* - t_1$ ， $\tau_1 \in [0, T_o^* - T_b]$ 。

$V_0(p, \tau_0)$ ：規劃期專案價值。

$V_1(p, \tau_1)$ ：營建期專案價值。

$V_2(p)$ ：營運期專案價值⁵。

基本假設：

p ：以高雄捷運工程 BOT 專案計畫書^[17]之預估淨營收為基礎，依市場需求變化營運期年平均收益，假設依循幾何布朗運動 (geometric Brownian motion；GBM)，未完工時並無淨現金流入。表示式如下：

$$dp = \alpha p dt + \sigma p dz$$

其中， α ：年平均收益 p 之單位時間預期成長率； σ ：年平均收益 p 之平均成長率的標準差； dz ：標準偉那過程 (Wiener process)， $E(dz) = 0$ ， $Var(dz) = dt$ 。

I ：預估總營建成本 (現金流量在完工時點 T_o 支付)；

γ ：折現 (年利) 率；

$C(T_o - T_o^*)$ ：縮短工期所需趕工成本⁶，其成本之衡量以

$$C(T_o - T_o^*) = c \times I \times (T_o - T_o^*) / (T_o - T_b) \text{ 所示，其中 } c \text{ 為趕工工率。}$$

5. 高雄捷運工程之特許權為 30 年，故其實際營運所產生之專案價值 $V_1(p, \tau_2)$ 可以忽略剩餘時間 τ_2 所產生之影響，單純以在最適完工時點 T_o^* 產生營收之價值做為其價值衡量之變數。

6. 參考馮世道^[3]之「台灣高鐵 BOT 專案的實質選擇價值」一文中調查，總工程款中人工成本所占比率為正常工期下之兩倍。

以下依據圖 1 之分類，針對高雄捷運 BOT 模式，利用 ROA 處理規劃、營建、營運等階段專案價值評估進行說明。

$V_0(p, \tau_0)$ ：規劃期專案價值為自廠商開始規劃 BOT 專案於競標廠商中取得優先營建權利，特許公司未興建前，依市場預期營收變化，進行營建可行性評估之前置計畫。在此階段，若以傳統 NPV 法考量，其判斷準則為 $NPV > 0$ 則進行營建及後續營運階段的經營管理。反之， $NPV < 0$ 立即放棄參與高雄捷運局 BOT 工程。若此階段以 ROA 考量規劃期專案價值，為自開始規劃至決定興建與否之計畫期間所產生潛在等待營建價值，其評估類似歐式 OPM。潛在等待營建價值為選擇權所產生之時間價值，在 τ_0 剩餘規劃期間特許公司有權利於營建起始點 T_b 選擇興建與否，如同廠商持有歐式買權 (European call options) 後可依預估營收狀況變化決定是否執行計畫案，故評估方式如 (1) 式所示 (詳細參閱附錄二)：

$$V_0(p, \tau_0) = \left\{ E \left[\int_0^{(T_b - T_0^*)} p e^{-\gamma[t - (T_b - \tau_0)]} dt \right] \right\} N(d_1) - \left\{ \left[I \cdot e^{-\gamma(T_0 - T_0^*)} + C(T_0 - T_0^*) \right] e^{-\gamma(T_0^* - T_b)} \right\} e^{-r\tau_0} \cdot N(d_2) \quad (1)$$

相關參數定義如下：

$$d_1 = \frac{\ln \left\{ \frac{\int_0^{(T_b - T_0^*)} p e^{-(\gamma - \alpha)[t - (T_b - \tau_0)]} dt}{\left[I \cdot e^{-\gamma(T_0 - T_0^*)} + C(T_0 - T_0^*) \right] e^{-\gamma(T_0^* - T_b)}} \right\} + \left(r - \alpha + \frac{\sigma^2}{2} \right) \tau_0}{\sigma \sqrt{\tau_0}} ; d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\tau_0} .$$

$N(d_1)$ ：為標準常態分配累積機率函數，亦即 $N(d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{d_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ 。

(1) 式右邊第一項為營運期之預期淨營收折現至 $T_b - \tau_0$ 時點 (亦即離營建期起始點剩餘時間為 τ_0) 乘以時間價值所產生修正因子 $N(d_1)$ ，第二項為各項成本 (預估總營建成本、趕工成本等) 折現至 $T_b - \tau_0$ 時點乘以時間價值所產生修正因子 $N(d_2)$ 。此價值在 $\tau_0 = 0$ 時，其時間價值為零，故其價值等於內含價值或真實價值，亦即通常所謂淨專案現值。

$V_1(p, \tau_1)$ ：第二階段為營建期，廠商一旦決定執行工程合約規定，則此期間之專案價值即為等待完工後營運所產生之潛在營運價值⁷。

7. 此期間並無營運現金流入產生，其價值評估單純考量將來營運期間預期營收產生之潛在資本利得 (capital gains) 所衍生的潛在專案價值。

在此運用 Lin^[18]、Majd 和 Pindyck^[19] 假定專案為無限期，進行營建期價值評估，故營建期潛在營運價值 $V_1(p, \tau_1)$ 改寫為與時間獨立之 $V_1(p)$ 表示⁸。以下利用依附請求權分析法 (contingent claims analysis; CCA) 進行 $V_1(p)$ 之價值衡量，(參照 Dixit 和 Pindyck^[12])：首先，建立包含投資專案之潛在策略價值 $V_1(p)$ 及 n 單位之動態資產組合 S 之複製投資組合 W ；即 $W = V_1(p) - nS$ 。假設可以在完全資本市場下構建動態資產組合 S ，發放 δ 股利，且 S 之價格波動和營收 p 完全正相關，即 $\frac{ds}{s} = \alpha dt + \sigma dz(t)$ 。因此，營收 p 之波動與整體資本市場投資組合的相關係數 ρ_{pm} 等於動態資產組合 S 之價格波動與整體資本市場投資組合的相關係數 ρ_{sm} ，即 $\rho_{pm} = \rho_{sm}$ 。另外， γ 表示市場無風險利率且滿足 $\gamma = \alpha + \delta$ 之條件。實際持有動態資產組合 S 之預期報酬率 $E\left[\frac{ds}{s}\right]$ 等於 S 之必要預期報酬率 γ ，投資者才會持有該動態資產組合 S ，即 $E\left[\frac{ds}{s}\right] = \gamma$ 。其次，持有投資組合 W 經過 dt 時間後，投資組合 W 之增加量 dW 為：

$$dW = d[V_1(p) - nS] = dV_1(p) - ndS - \delta nSdt \quad (2)$$

經由伊藤輔助定理 (Ito^[20]) 可得：

$$dW = \left[\frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_1''(p) + \alpha p V_1'(p) - n\alpha S - \delta nS \right] dt + [\sigma p V_1'(p) - n\alpha S] dz(t) \quad (3)$$

其中， V' 及 V'' 分別代表 V 對 p 之一階及二階偏導函數。

為使 W 為完全避險 ($p \equiv S$) 之無風險性投資組合，因此(3)式中表示風險 $dz(t)$ 項係數必須為零，故整理後可得：

$$n = \frac{\sigma p V_1'(p)}{\sigma S} = V_1'(p) \quad (4)$$

S 之價格波動和營收 p 完全正相關，由(3)與(4)式整理可得：

$$dW = \left[\frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_1''(p) + \alpha p V_1'(p) - n\alpha S - n\delta S \right] dt = \left\{ \frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_1''(p) - \delta p V_1'(p) \right\} dt$$

由於 W 為無風險性之投資組合，在無套利條件產生之情況下，經過 dt 時間，投資組合 W 之預期報酬 γWdt 必需等於其預期資本利得 $E[dW]$ ，即

8. 高雄捷運 BOT 工程興建期為一有限期間 (六年)，在此簡化模式以營建期為無限期所產生資本利得進行其價值評估，經由模擬分析結果得知其與有限期間差異相對微小，因此忽略不計，以簡化模式複雜度。

$$\left\{ \frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_1''(p) - \delta p V_1'(p) \right\} dt = \gamma [V_1(p) - nS] dt \quad (5)$$

整理(5)式可得：

$$\frac{1}{2} \sigma^2 p^2 V_1''(p) + (\gamma - \delta) p V_1'(p) - \gamma V_1(p) = 0 \quad (6)$$

(6)式為二階齊次常微分方程式，其一般解型式為 $A(T_o^*)p^\beta$ 代入，可得特徵方程式為：

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \beta(\beta-1) + (\gamma - \delta)\beta - \gamma = 0 \quad (7)$$

在此，上列參數滿足 $\gamma - \delta > 0$ 之條件。(7)式解為參數 β 滿足 $\beta_1 > 1$ 、 $\beta_2 < 0$ 之條件如下：

$$\beta_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma - \delta}{\sigma^2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma - \delta}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2\gamma}{\sigma^2}} > 1; \quad \beta_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma - \delta}{\sigma^2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma - \delta}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2\gamma}{\sigma^2}} < 0$$

營建期專案價值整理後如下列(8)式：

$$V_1(p) = A_1(T_o^*)p^{\beta_1} + A_2(T_o^*)p^{\beta_2} \quad (8)$$

其中， $A_1(T_o^*)$ 及 $A_2(T_o^*)$ 為上式一般解之係數，其大小依存最適完工時點 T_o^* 。

(8)式表示營建期具有潛在營運價值，雖其為有限興建期間，但工期長達六年，及營運期間長達三十年以上，因此以永續經營模式之無限期間潛在營運價值模型近似有限期間模型以簡化模型複雜度。

$V_2(p)$ ：第三階段為營運期，表示營運期專案價值，為工程完工後開始營運至營運特許權終止之期間所發生實際營運價值折現至營運開始時點（亦即最適完工時點 T_o^* ）。因高雄捷運 BOT 模式合約中規定營運特許權終止日，特許公司需將專案所有權無償歸還政府，故此期間價值為不考量殘值下之預期營收產生淨現金流入現值，此期間考量點為預期淨營運現金流入所產生實際淨營收，其價值如下所示。

$$V_2(p) = E \left[\int_{T_o^*}^{T_t} p e^{-\gamma t} dt \right] \quad (9)$$

其中，(9)式右邊項為最適的完工時點 T_o^* 至特許權終止日 T_t 預期營收。

2.2 實質選擇權模式

依 Dixit 和 Pindyck^[12] 兩期間價值相等所產生之等價條件 (value matching condition)

及邊際價值相等之平滑條件 (smooth pasting condition) 建構模型，求解最適進入投資門檻值及最佳完工時點。即在規劃期終止日 T_b 時點的潛在等待營建價值等於營建期開始 T_b 時點潛在營運價值；同時在最適完工時點 T_o^* ，考量趕工成本所產生營建期潛在營運價值等於營運開始時點 T_o^* 時之預期淨現金流入。因縮短工期必需投入額外趕工成本，當縮短營建期間，其等待完工所減少之機會成本相較正常完工時點之機會成本少，故其在最適完工時點 T_o^* 專案價值所減少之機會成本、及因縮短工期所產生趕工成本之淨現金流量，等於營運開始時點因提早完工所增加之預期淨營運現金流量。利用上述關係式進行專案投資最適進入門檻值 p_h 及最佳完工時點 T_o^* 之求解。亦即考量以規劃期之潛在營建價值等於營建期潛在等待營運價值之條件，探討在 T_b 時點決定最適投資專案進入門檻值 p_h ，同時滿足於完工時點興建期專案價值 (考量趕工成本) 等於營運期專案價值決定最佳完工時點 T_o^* ，其運算模式說明如下：

1. 在 T_b 時點，假設規劃期終止日潛在等待營建價值滿足大於或等於零之條件為決定進入投資機會，亦即考量專案淨現值等於零情形下之決策門檻值。當不確定營收 p 達到 p_h 時，廠商立即執行此專案即進入營建期，否則放棄此專案之營建權利。

$$V_0(p, 0 | p_h) = 0 \quad (10)$$

同時滿足在最適完工時點 T_o^* 營建期潛在營運價值 (含趕工成本及機會成本) 等於營運開始時點 T_o^* 預期現金流入(11)式，此為等價條件。

$$V_1(p | p_h) + C(T_o - T_o^*) = V_2[p, (T_t - T_o^*) | p_h] \quad (11)$$

(12)式為平滑條件，說明兩階段邊際效益相等。下標 p 為對 $V_1(p)$ 及 $V_2(p)$ 之一階導函數。

$$V_{1p}(p | p_h) = V_{2p}[p, (T_t - T_o^*) | p_h] \quad (12)$$

由(1)、(8)、(9)式的 $V_0(p, \tau_0)$ 、 $V_1(p)$ 、 $V_2(p)$ 代入(10)、(11)、(12)整理可得下列(13)、(14)、(15)式：

$$E \left[\int_0^{(T_t - T_o^*)} p_h \cdot e^{-\gamma(t - (T_b))} dt \right] - \left\{ \left[I \cdot e^{-\gamma(T_o - T_o^*)} + C(T_o - T_o^*) \right] e^{-\gamma(T_o^* - T_b)} \right\} = 0 \quad (13)$$

上式為規劃期潛在營運價值之專案淨現值等於零之關係式。另外，經由等價條件所導出之(14)式表示營建期潛在營運價值 (含趕工成本及機會成本) 等於營運期預期專案價值。

$$\begin{aligned} A_1(T_o^*) \times \left(p_h \cdot e^{\alpha(T_o^* - T_b)} \right)^{\beta_1} + A_2(T_o^*) \times \left(p_h \cdot e^{\alpha(T_o^* - T_b)} \right)^{\beta_2} + c \times I \times \left(\frac{T_o - T_o^*}{T_o - T_b} \right) \\ = E \left[\int_{T_o^*}^{T_t} p_h \cdot e^{-\gamma t} dt \right] \end{aligned} \quad (14)$$

另外，利用平滑條件導出邊際營建期潛在營運價值等於邊際營運期預期專案價值，亦即在 T_o^* 時點一階導函數相等，其結果如下所示。

$$A_1(T_o^*) \times p_h^{\beta_1-1} \left[e^{\alpha(T_o^*-T_b-\tau_1)} \right]^{\beta_1} + A_2(T_o^*) \times p_h^{\beta_2-1} \left[e^{\alpha(T_o^*-T_b-\tau_1)} \right]^{\beta_2} = \frac{\partial E \left[\int_{T_o^*}^{T_t} p_h \cdot e^{-\gamma t} dt \right]}{\partial p} \quad (15)$$

2. 在 T_b 時點，規劃階段潛在營建專案價值等於興建階段潛在營運專案價值，亦即得標廠商要求其營運期間所產生之投資回收現值應等於興建階段潛在營運專案策略價值。當不確定營收 p 達到 p_h 時，廠商便執行專案亦即進入營建期，否則放棄營建之權利。其等式為 (16) 式所示：

$$V_0(p, 0 | p_h) = V_1[p | p_h] \quad (16)$$

在此， $V_1[p | p_h]$ 價值為從 V_1 在 $t_1 = T_o^*$ 之價值折回至 $t_1 = T_b$ 之現值。

同時滿足在最適完工時點 T_o^* 營建期潛在營運價值（含趕工成本及機會成本）等於營運開始時點 T_o^* 預期現金流入，其結果如前述等價條件之(14)式所示。以及利用平滑條件導出邊際營建期潛在營運價值等於邊際營運期預期專案價值，亦即在 T_o^* 時點一階導函數相等，其結果如前述之(15)式所示。

上述等式因無封閉性數理解析解 (closed-form solution)，故在下節中擬採用數值分析法求解各期專案價值 (V_0 、 V_1 及 V_2)、興建決策門檻值 p_h 、最適完工時點 T_o^* 、以及營建期專案價值之參數 A_1 及 A_2 。

三、高雄捷運 BOT 工程模擬與比較分析

本節以高雄捷運工程 BOT 專案先前計畫書^[17]之資料為藍本，針對前節所述之最適投資門檻值及最適完工時點進行模擬與比較分析。相關變數定義與參數估計如下：

- (1) p ：依其計畫書將年淨營收折現至營運開始日，不含土地開發總淨營收為 37,143 百萬元。
- (2) α ：依高雄市市營公共汽車客運業務，民國 91 年統計月報資料^[21]，80 年至 89 年高雄市市營汽車客運業營運概況平均成長率 $\alpha = 0.004$ ，估計標準差 $\sigma = 0.09$ 。
- (3) I ：投入總工程款，依其計畫書折現至營運開始日，不含土地開發 $I = 347,168$ 百萬元（廠商自籌總工程款 11.98%）。
- (4) T_b ：營建期開始時點，民國 90 年初開始營建，營建期限六年。
- (5) T_o ：工程合約預定完工時點亦為營運期起始點，民國 95 年底完工，民國 96 年初全線通車。
- (6) T_t ：預計民國 96 年初全線通車，營運特許年限三十年，期限至民國 125 年。

(7) γ : 折現 (年利) 率 $\gamma = 12.3\%$ 。

(8) $C(T_o - T_o^*)$: 趕工成本中之趕工工率估計為正常工期下的兩倍, 依高雄捷運計畫書^[17] 土建工程款占總工程款比率 49%, 一般土建工程款中約有 50% 是人工成本, 故預估 $C(T_o - T_o^*) = 0.49 \times I \times (T_o - T_o^*) / (T_o - T_b)$ 。

根據 Trigeorgis 和 Mason^[5] 定義策略淨現值 (strategic NPV; SNP) 為傳統 NPV 加上管理彈性價值 (策略現值; SPV), 其等式為:

$$\text{SNPV} = \text{Traditional NPV} + \text{SPV} \quad (17)$$

依高雄市政府捷運工程局資料, 運用傳統 NPV 法計算民國 96 年現值預估不含土地開發自償率 (特許期間之總淨收入 / 營建期之總營建成本) 僅為 11%, $\text{NPV} = -310.03$ ⁹ (新台幣十億元)。而利用 ROA 依前節所述不同決策假設導出相關結果如下:

1. 在 T_b 時點, 以規劃期終止日潛在等待營建價值滿足大於或等於零之門檻做為投資與否判斷之依據, 依此決策法則計算最佳投資門檻值及最適完工時點。數值分析結果如表 1、圖 2 所示。

表 1 實質選擇權模式(1): 各完工時點投資門檻值與總營收之比較

(各參數值分別為 $\alpha = 0.004$, $\sigma = 0.09$, $\gamma = 0.123$)

最適完工時點 T_o^* (年)	專案投資 門檻值 p_h	特許期間 總淨營收 $V_2(p)$	總營建成本 包括趕工成本	總淨營收減 總營建成本	自償率 (總淨營收 / 總營建成本)
4	23.50	155.88	403.87	-247.99	0.39
4.5	22.70	133.54	389.70	-256.15	0.34
5	21.91	114.24	375.52	-261.28	0.30
5.5	21.12	97.60	361.34	-263.74	0.27
6	20.32	83.25	347.17	-263.92	0.24

資料來源: 本研究整理。

圖 2 說明 $V_0(p)$ 之 P 存在範圍為 $(0, 20.32)$ 之間, 而 $V_1(p)$ 存在於興建期開始至完工為止、及 $V_2(p)$ 之 P 存在為不小於 $p_h = 20.32$ 之範疇。除在投資門檻值 p_h 時滿足等價條件 $V_1(p_h) + C(T_o - T_o^*) = V_2(p_h)$ 外, 其餘營建階段價值 $V_1(p)$ 大於營運階段價值 $V_2(p)$, 此超額價值 $V_1(p) - V_2(p)$ 為潛在營運價值, 亦即最適完工時點所產生之 SPV 所在。

當總工期維持六年, 其三十年特許經營權淨營收扣除總興建成本為 -263.92, 自償率為 24%, 最適投資門檻值 $p_h = 20.32$ 。相較於傳統 $\text{NPV} = -310.03$ 及自償率為 11%, 自償

9. 以下所有數值分析結果之價值數據單位均以新台幣十億元為單位, 故本文以下相關單位均省略其單位之表示。

率增加 13% 以及淨營收增加 46.11，此增加價值¹⁰ 為 SPV。正常工期六年下， V_0 在最適進入門檻值於規劃期終止時之營建價值 $V_0(p_h) = 0$ ，亦即於 T_b 時點之 NPV 為零時，營建期終止期 T_o^* 之潛在營運價值為 $V_1(p_h) = 83.25$ 。上述決策法則說明在規劃期潛在營建價值依循 P 成長而增加，當 P 成長同時亦增加投資機會，且於規劃期終止時點之潛在營建價值滿足大於或等於零時即進行投資行動，亦即 $p \geq p_h$ 為最適投資機會點。

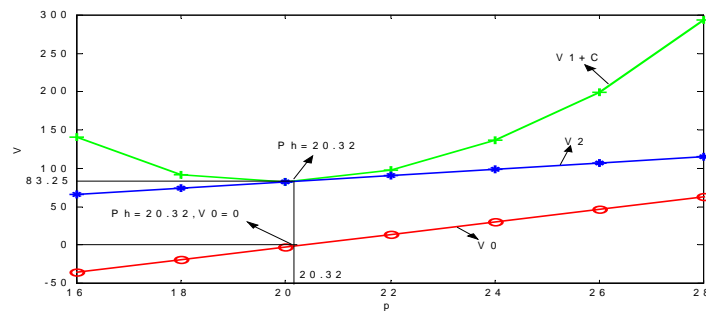


圖 2 專案進入投資門檻選擇權價值

($T_o^* = 6, \alpha = 0.004, \sigma = 0.09, \gamma = 0.123, p_h = 20.32$)

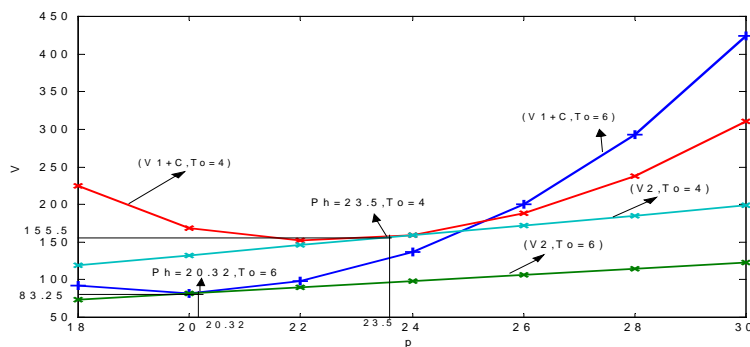


圖 3 專案進入投資門檻選擇權價值

$\left(\begin{array}{l} T_o^* = 4, \alpha = 0.004, \sigma = 0.09, \gamma = 0.123, p_h = 23.5 \\ T_o^* = 6, \alpha = 0.004, \sigma = 0.09, \gamma = 0.123, p_h = 20.32 \end{array} \right)$

圖 3 說明縮短營建工期越長，其投資門檻值 p_h 亦愈大 ($T_o^* = 6, p_h = 20.32; T_o^* = 4,$

10. 雖然本專案自償率未達 100%，理應放棄營建 BOT 專案為最適策略選擇，但為比較現行高雄捷運 BOT 模式所採行策略，故在此探討其所衍生策略價值亦不失為比較方式之一。

$p_h = 23.50$)，則達到進入投資門檻值之機會越低¹¹。如圖 3 將工期縮短為四年完工，其投資門檻值為 $p_h = 23.50$ ，總淨營收提高至 155.88，營建期 V_1 潛在營運價值為 99.18，趕工成本 $C = 56.7$ ，自償率增加至 39%。SNPV 為 -247.99，其所產生之 SPV (與傳統 NPV = -310.03 之差)為 62.13，自償率亦增加 28%，雖然策略淨現值為負，但相較於傳統淨現值仍增加 62.13 之策略現值，此為實質選擇權法評估下所產生之附加價值。

2. 在 T_b 時點，以規劃時期潛在營建價值等於營建時點潛在營運價值之門檻做為投資與否判斷之依據，依此決策法則計算最佳投資門檻值及最適完工時點。數值分析結果如表 2、圖 4 所示。

表 2 實質選擇權模式(2)：各完工時點投資門檻值與總營收之比較

(各參數值分別為 $\alpha = 0.004$, $\sigma = 0.09$, $\gamma = 0.123$)

最適完工時點 T_o^* (年)	專案投資 門檻值 p_h	特許期間 總淨營收 $V_2(p)$	總營建成本 包括趕工成本	總淨營收減 總營建成本	自償率 (總淨營 收 / 總營建成本)
4	47.88	317.62	403.87	-86.25	0.79
4.5	45.68	268.67	389.70	-121.03	0.69
5	42.31	220.58	375.52	-154.94	0.59
5.5	40.87	188.88	361.34	-172.47	0.52
6	40.20	164.67	347.17	-182.50	0.47

資料來源：本研究整理。

當總工期維持六年，其三十年特許經營權淨營收扣除總興建成本為 -182.50，自償率為 47%，最適投資門檻值 $p_h = 40.20$ 。相較於傳統 NPV = -310.10 及自償率為 11%，自償率增加 36%、及淨營收增加 127.53，此增加價值¹²為 SPV。正常工期六年下， V_0 在最適進入門檻值於規劃期終止時之營建價值等於興建階段潛在營運專案價值 $V_0(p, 0 | p_h) = V_1[p | p_h]$ ，營建期終止期 T_o^* 之潛在營運價值為 $V_1(p_h) = 164.67$ 。上述決策法則說明在規劃期潛在營建價值依循 P 成長而增加，當 P 成長同時亦增加投資機會，且於規劃期終止時點之潛在營建價值大於或等於 $V_1(p_h) = 164.67$ 時即為投資時機，亦即 $p \geq p_h$ 為最適投資機會點。

圖 4 說明縮短營建工期越長，投資門檻值 p_h 亦愈大 ($T_o^* = 6$, $p_h = 40.20$; $T_o^* = 4$, $p_h = 47.88$)，則越不容易達到進入投資門檻值¹³。如圖 4 將工期縮短為四年完工，則投資

11. 依 BOT 專案營運特許期間特性，當縮短工期可增加額外營運期間產生之收益，在特許期間內總淨收入越大，相對自償能力越高。
12. 雖然本專案自償率未達 100%，理應放棄營建 BOT 專案為最適策略選擇，但為比較現行高雄捷運 BOT 模式所採行策略，故在此探討其所衍生策略價值亦不失為比較方式之一。
13. 依 BOT 專案營運特許期間特性，當縮短工期可增加額外營運期間產生之收益，在特許期間內總淨收入越大，相對自償能力越高。

門檻值 $p_h = 47.88$ ，總淨營收提高至 317.62，營建期 V_1 潛在營運價值為 260.92，趕工成本 $C = 56.70$ ，自償率增加至 79%。SNPV 為 -86.25，其所產生之 SPV (與傳統 NPV = -310.03 之差) 為 223.77，自償率亦增加 68%，雖然策略淨現值為負，但相較於傳統 NPV = -310.03 仍增加 223.77 之策略現值。

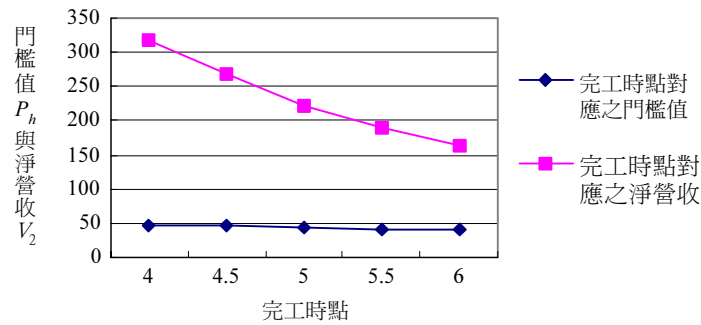


圖 4 完工時點對門檻值 p_h 與淨營收 V_2 之影響

以下探討敏感度分析，針對模型的參數進行分析與比較，包括年淨營收 P 單位時間預期成長率 α 、平均成長率的標準差 σ 、折現率 γ 之變動，在最適完工時點 T_o^* ，投資門檻值 p_h 、營運時期專案價值 $V_2(p)$ 、與自償率之影響大小與方向。

1. 本文預估高雄捷運年淨營收 P 平均成長率 $\alpha = 0.004$ ， α 變動對專案價值、進入門檻值 p_h 與自償率的影響，分別彙總如表 3、圖 5 及圖 6。

表 3 不同完工時點 α 變動對門檻值 p_h 、專案價值 $V_2(p)$ 、自償率之影響

T_o^*	$\alpha = 0.001$			$\alpha = 0.004$			$\alpha = 0.008$		
	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率
4	24.04	152.19	0.38	23.50	155.88	0.39	22.78	160.95	0.40
4.5	23.23	129.98	0.33	22.70	133.54	0.34	22.01	138.43	0.36
5	22.41	110.86	0.29	21.91	114.24	0.30	21.25	118.90	0.32
5.5	21.60	94.427	0.26	21.12	97.60	0.27	20.48	101.99	0.28
6	20.78	80.30	0.23	20.32	83.25	0.24	19.71	87.34	0.25
T_o^*	$\alpha = 0.012$			$\alpha = 0.016$			$\alpha = 0.02$		
	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率
4	22.06	166.18	0.41	21.35	171.59	0.42	20.65	177.17	0.44
4.5	21.33	143.50	0.37	20.64	148.76	0.38	19.97	154.22	0.40
5	20.59	123.76	0.33	19.93	128.81	0.34	19.28	134.06	0.36
5.5	19.85	106.57	0.29	19.22	111.37	0.31	18.60	116.38	0.32
6	19.11	91.64	0.26	18.51	96.14	0.27	17.91	100.87	0.29

資料來源：本研究整理。

依表 3、圖 5 及圖 6， α 與進入投資門檻值呈負相關，但與高雄捷運 BOT 工程專案價值及自償率呈現正相關，亦即 α 值增加時，降低進入門檻值 p_h ，此結果乃指業者投資之時機較早，因平均成長率 α 值增加，預期高雄捷運未來收益成長幅度增加，故其專案價值隨之增加，自償率亦會增加。且由完工時點觀察，每年淨收益 p 的平均成長率 α 值增加，預期高雄捷運未來收益成長幅度增加，業者將選擇提前完工以增加營運期間，專案價值增加幅度將會越大，自償率亦會提高，故 α 值增加將提高民間企業參與的意願。

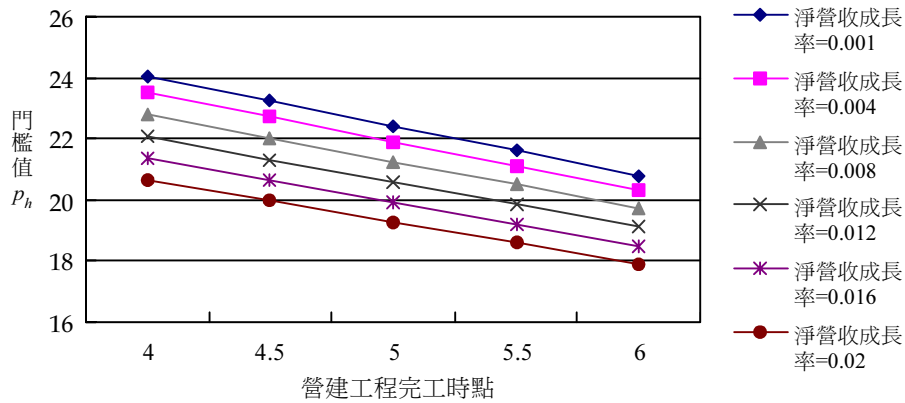


圖 5 平均成長率 α 變動對門檻值 p_h 之影響

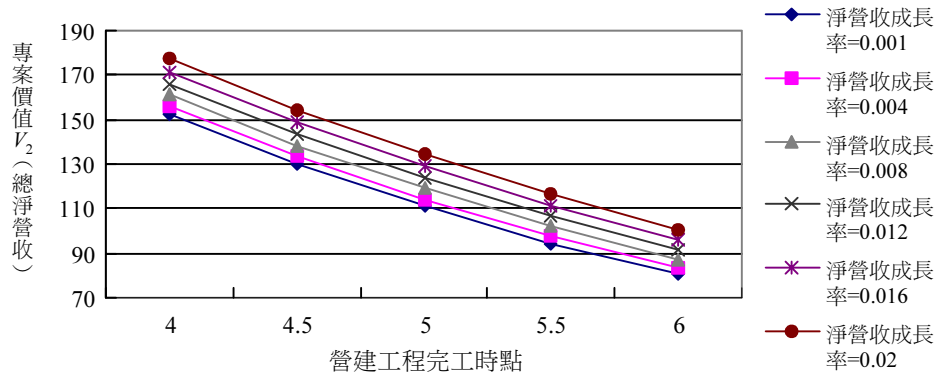


圖 6 平均成長率 α 變動對專案價值 V_2 之影響

2. 依高雄捷運工程計畫書^[17] 預估折現率 $\gamma = 0.123$ ， γ 變動對高雄捷運專案價值、進入門檻 p_h 值與自償率之影響，分別彙總如表 4、圖 7 及圖 8。

依表 4、圖 7、及圖 8， γ 與門檻值 p_h 呈正相關，與高雄捷運專案價值、自償率呈負相關，即當 γ 折現率增加，專案資金成本增加，專案價值自然減少，自償率也隨之降低，

將降低民間企業參與的意願，需要較高的票價收入才能吸引民間企業投資。

表 4 不同完工時點 γ 變動對門檻值 p_h 、專案價值 $V_2(p)$ 、自償率之影響

T_o^*	$\gamma = 0.123$			$\gamma = 0.08$			$\gamma = 0.04$		
	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率
4	23.50	155.88	0.39	17.62	186.04	0.54	12.13	219.73	0.75
4.5	22.70	133.54	0.34	17.06	166.38	0.50	11.81	204.53	0.72
5	21.91	114.24	0.30	16.51	148.60	0.47	11.48	190.12	0.70
5.5	21.12	97.60	0.27	15.95	132.53	0.43	11.14	176.48	0.67
6	20.32	83.25	0.24	15.39	118.01	0.40	10.80	163.57	0.65

資料來源：本研究整理。

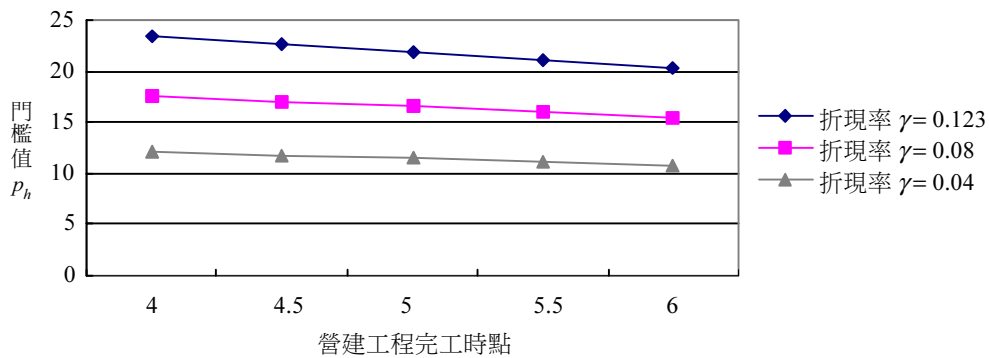


圖 7 折現率 γ 變動對門檻值 p_h 之影響

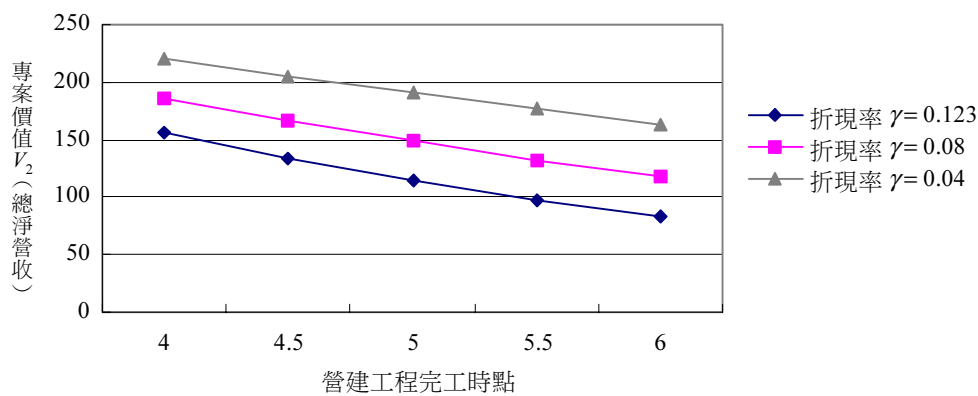


圖 8 折現率 γ 變動對專案價值 V_2 之影響

3. 高雄捷運年淨營收平均成長率標準差預估為 $\sigma = 0.09$ ， σ 變動對高雄捷運專案價值、進入門檻值 p_h 與自償率的影響¹⁴，分別彙總如表 5、圖 9 及圖 10。

每年淨營收平均成長率標準差 σ 與門檻值 p_h 、高雄捷運專案價值、自償率呈正相關，亦即高雄捷運年淨營收標準差（不確定性）越高，將彈性調整投資策略，等待最佳投資機會，其最適進入投資時點較晚，故進入門檻值提高，專案收益增加，隨之自償率增加，將增加民間企業參與的意願。此亦說明，傳統 NPV 法忽略策略價值，當不確定提高時，應當修正投資策略，提高專案價值。

表 5 不同完工時點 σ 變動對門檻值 p_h 、專案價值 $V_2(p)$ 、自償率之影響

T_o^*	$\sigma = 0.09$			$\sigma = 0.04$			$\sigma = 0.01$		
	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率	p_h	$V_2(p)$	自償率
4	47.88	317.62	0.79	41.26	273.68	0.68	23.20	153.90	0.38
4.5	45.68	268.67	0.69	38.35	225.55	0.58	23.08	135.74	0.35
5	42.31	220.58	0.59	36.22	188.86	0.50	22.24	115.93	0.31
5.5	40.87	188.88	0.52	34.70	160.36	0.44	21.40	98.89	0.27
6	40.20	164.67	0.47	33.66	137.86	0.40	20.57	84.24	0.24

資料來源：本研究整理。

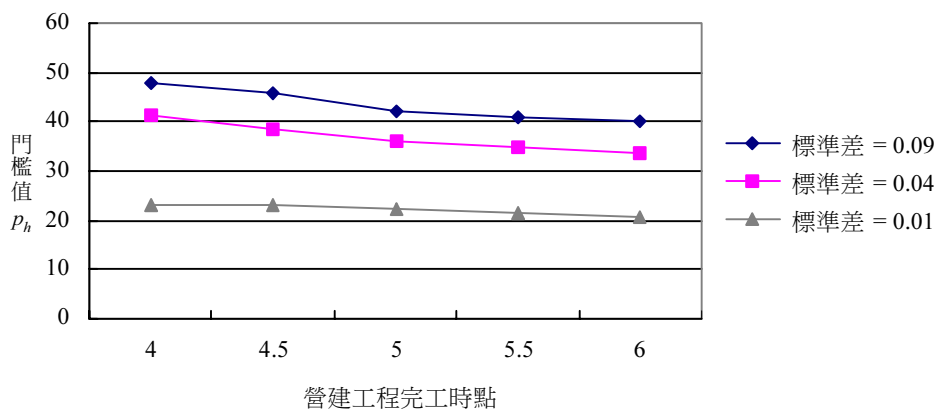


圖 9 年淨營收平均成長率標準差 σ 變動對門檻值 p_h 之影響

14. 一般營運量變動風險衡量指標係探討預期營運量與標準差的關係。本文所探討之淨營收依循幾何布朗運動，其風險大小衡量為標準 Wiener Process 所反應之變動差異大小即可反應一般風險指標之變動量。故在此對淨營收之標準差進行敏感度分析，足以表示營運量風險衡量指標之變化程度。

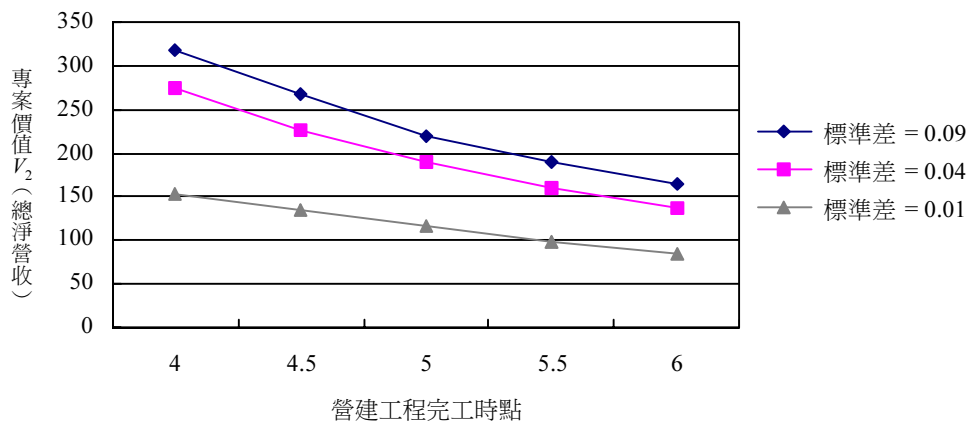


圖 10 年淨營收平均成長率標準差 σ 變動對專案價值 V_2 之影響

應用林建山^[15]針對交通建設之財源籌措與分配提出改善對策之分析，本文於營建期開始時點 T_b 考量：(1) 規劃階段專案淨現值大於或等於零即進行投資及興建工程；(2) 規劃期專案淨現值等於營建期潛在營運價值，此亦為政府及業者在考量整個 BOT 專案時所要求的合理的超額投資報酬率。表 6 所示為最適投資門檻值 p_h 、營運時期之專案價值 $V_2(p)$ 與自償率之相關比較。當完工時點 $T_o^* = 6$ 年，最適投資門檻值 p_h 值分別為 20.32、40.20；專案價值 $V_2(p)$ 分別為 83.25、164.67；管理彈性價值分別為 46.11、127.53；與自償率為 24%、47%。當完工時點縮短至 4 年時，可得到最適投資門檻值分別為 23.50、47.88；專案價值分別為 155.88、317.62；管理彈性價值分別為 118.74、280.48；與自償率為 39%、79%，即較早完工增加營運期間，可增加淨現金收入。

林建山^[15]說明自償率用途係「用以取決分割建設成本中，可由計畫本身自償之金額，其計畫本身無法自償之部分由政府作實質之資本補助」。為防止民間企業為爭營運特許權，虛增效益，提高自償率，危害工程品質；或為爭取政府資本補助，匿報效益，降低自償率。本文依高雄捷運工程先前計畫書^[17]，不同決策法則假設下以 ROA 評估之自償率皆較以傳統 NPV 法計算價值為高，其多出價值即為管理彈性價值 (SPV)，應當如何合理分配淨收益¹⁵，以達政府、業者、及民間 BOT 三贏策略，建議如下：

策略一、民間企業出資比率不變情況下，重新分配總營收：運用 ROA 較 NPV 法計算多出 SPV 做適當調整，調整方式建議如下：

將總淨營收扣除民間企業出資總工程款比率後，剩餘總營收益再依出資比率分配，其分配如表 7。此法業者不至於虧損，民間企業亦有投資意願，且當有超額盈餘時，政府亦應收取合理的權利金。

15. 依高雄捷運先前計畫書以自償率為民間企業出資比率，且特許期間經營權歸民間企業所有。

表 6 不同決策法則—「淨現金流入」、「自償率」之差異比較

決策法則	進入門檻值 P_h	A_1 (選擇權 價值係數)	A_2 (選擇權 價值係數)	淨現金流入 $V_2(p)$	自償率 (總淨現金流 入除總興建成本)
傳統 NPV 法	9.7	N/A	N/A	37.14	11%
實質選擇權法 (1) 假設規劃 階段專案淨現 值大於或等於 零	$T_o^* = 4$ 年 23.50	$T_o^* = 4$ 年 1.24E-06	$T_o^* = 4$ 年 1.07E+09	$T_o^* = 4$ 年 155.88	$T_o^* = 4$ 年 39%
				與傳統 NPV 法之差 118.74	與傳統 NPV 法之差 28%
	$T_o^* = 6$ 年 20.32	$T_o^* = 6$ 年 2.62E-06	$T_o^* = 6$ 年 6.17E+08	$T_o^* = 6$ 年 83.25	$T_o^* = 6$ 年 24%
				與傳統 NPV 法之差 46.11	與傳統 NPV 法之差 13%
實質選擇權法 (2) 預期規劃 階段專案淨現 值等於興建階 段專案淨現值	$T_o^* = 4$ 年 47.88	$T_o^* = 4$ 年 6.26E-08	$T_o^* = 4$ 年 1.49E+11	$T_o^* = 4$ 年 317.62	$T_o^* = 4$ 年 79%
				與傳統 NPV 法之差 280.48	與傳統 NPV 法之差 68%
	$T_o^* = 6$ 年 40.2	$T_o^* = 6$ 年 1.20E-07	$T_o^* = 6$ 年 5.22E+10	$T_o^* = 6$ 年 164.67	$T_o^* = 6$ 年 47%
				與傳統 NPV 法之差 127.53	與傳統 NPV 法之差 36%

資料來源：本研究整理。

表 7 高雄捷運工程特許期間總淨收益分配 (策略一)

單位：十億元

決策法則	進入投資 門檻值 P_h	淨營收現金 流入	總營建 成本	自償率 %	民間企業 出資比率 %	政府補 助比率 %	民間企業分 配所得 (含 出資比率)	權利金 (民 間企業支付 予政府)
傳統 NPV 法	9.70	37.143	347.168	11	11.98	88.02	37.143	0
實質選擇權 法 (1)	20.32	83.25	347.168	24	11.98	88.02	46.9	36.35
實質選擇權 法 (2)	40.20	164.671	347.168	47	11.98	88.02	56.65	108.02

資料來源：本研究整理。

策略二、依 BOT 計畫案的精神，特許期間內營運的盈虧皆由民間企業承擔，調整出資比率：

1. 以自償率為其民間企業出資比率，自償率 $>100\%$ 者，民間企業支付總工程款如表 8。

表 8 高雄捷運工程特許期間總淨收益分配 (策略二、I)

單位：十億元

決策法則	進入投資 門檻值 p_h	淨營收現金 流入	總營建 成本	自償率 %	民間企業 出資比率 %	政府補 助比率 %	民間企業分 配所得 (含 出資比率)	權利金 (民 間企業支付 予政府)
傳統 NPV 法	9.70	37.14	347.17	11	11	89	37.14	0
實質選擇權 法 (1)	20.32	83.25	347.17	24	24	76	83.25	0
實質選擇權 法 (2)	40.20	164.67	347.17	47	47	53	164.67	0

資料來源：本研究整理。

2. 當自償率 $< 100\%$ 時，依股東權益觀點的財務評估，股本投資報酬 14.66% 即民間企業出資比率除考慮可將成本回收外還需加上股本投資報酬率，將成本回收加上股本投資報酬率等於自償率，計算民間企業出資比率等於自償率 $\div (1 + \text{股本投資報酬率})$ ，且當自償率 $> 100\%$ 時，民間企業支付總工程款如表 9。其與表 8 民間企業皆不需支付權利金予政府，其主要之差異在於出資比率。

表 9 高雄捷運工程特許期間總淨收益分配 (策略二、II)

單位：十億元

決策法則	進入投資 門檻值 p_h	淨營收現金 流入	總營建 成本	自償率 %	民間企業 出資比率 %	政府補 助比率 %	民間企業分 配所得 (含 出資比率)	權利金 (民 間企業支付 予政府)
傳統 NPV 法	9.70	37.14	347.17	11	9.6	90.4	37.14	0
實質選擇權 法 (1)	20.32	83.25	347.17	24	21	79	83.25	0
實質選擇權 法 (2)	40.20	164.67	347.17	47	41	59	164.67	0

資料來源：本研究整理。

策略三、綜合前述策略一、策略二同時調整出資比率，並將總淨營收重新分配：

依此民間企業承擔適度的風險，當營運狀況佳時政府可收取部分權利金。同時調整出資比率與總淨營收，將實質選擇權法與傳統 NPV 法計算多出的管理彈性價值適當調整，此法將計算多出的 SPV 平均分配給予政府與民間企業，並將多出的自償率為出資比率平均分配由政府與民間企業出資，如表 10。

表 10 高雄捷運工程特許期間總淨收益分配 (策略三)

單位：十億元

決策法則	進入投資 門檻值 p_h	淨營收現金 流入	總營建 成本	自償率 %	民間企業 出資比率 %	政府補 助比率 %	民間企業分 配所得 (含 出資比率)	權利金 (民 間企業支付 予政府)
傳統 NPV 法	9.70	37.14	347.17	11	11.98	88.02	37.14	0
實質選擇權 法 (1)	20.32	83.25	347.17	24	17.50	82.50	72.00	11.25
實質選擇權 法 (2)	40.20	164.67	347.17	47	29.00	71.00	132.67	32.00

資料來源：本研究整理。

整理上述各策略，比較如表 11。

表 11 各策略綜合比較

因素 策略	經營效率	風險	出資比率 (政府補助)	權利金	財務分配
策略一：調整 總淨收益	較低，因特許期間內 營運的盈虧共同承擔	民間企業承受 較低風險	固定	隨淨收益 調整	較有彈性
策略二：調整 出資比率	較高，因特許期間內 營運的盈虧皆由民間 企業承擔	民間企業將承 受較高風險	隨自償率調整	無	無彈性，歸民間企業 所有
策略三：調整 總淨收益及出 資比率	介於策略一及二之間	介於策略一及 二之間	隨自償率調整	隨淨收益 調整	較能彈性調整

資料來源：本研究整理。

四、結 論

本文主要係就高雄捷運 BOT 模式運用 ROA 針對不同風險下，規劃、營建、及營運等三階段專案價值、最適投資門檻、以及最佳完工時點等導入新的思考模式及管理方法，並訂定合理的出資比率，提出權利金分配之觀念性說明及實務性應用，以做為管理決策者參考之依據。一般投資決策分析利用 NPV 法，僅考慮靜態環境下的財務分析與規劃，其忽略投資策略應隨動態環境彈性調整之無形潛在專案價值，此結果易造成錯誤決策判斷。且公共建設皆為民間迫切之需求，民營化乃基於提供民眾更快速、更有效率、更高品質之服務。而民營化公共建設成功關鍵在於財務分配明確與否。高雄捷運 BOT 為長期間投資計畫案，雖傳統 NPV 法利用年複利因子與 ROA 所使用連續時間複利因子有異，但計算複利

結果上差異不大。另外，各期現金流量 NPV 法為靜態預估淨營收與 ROA 之動態 GBM 成長有所差異，但兩法均考量預期淨營收之現值，最大差異在於風險的認知與承擔。傳統 NPV 法單獨探討投資決定與否，ROA 不只探討投資決策門檻值，同時亦考量投資進入時點及投資後財務面規劃與合理權利金衡量等經營管理之探討。故本文運用 ROA 隨動態環境彈性調整高雄捷運 BOT 模式評估策略，規避下方風險，其專案價值（策略淨現值）為傳統靜態淨現值加上管理彈性價值（策略現值），其較傳統淨現值多出之管理彈性價值（策略現值）為權利金來源，此權利金價值提供給政府與民間業者進行 BOT 專案投資策略之參考。

本文研究之結論具體說明如下：

1. 利用實質選擇權法針對高雄捷運 BOT 工程計畫內容，構建一個三階段規劃、營建、及營運之決策評估與管理彈性之參考模式。
2. 探討營收為不確定情形下，進行實質選擇權法與傳統淨現值比較，進而求出策略現值價值所在，此價值亦說明在營收不確定情形下規避下方風險所產生之時間價值。
3. 以高雄捷運工程先前計畫書之相關資料為藍本，進行模擬數值分析，針對實質選擇權法下之規劃、營建、及營運等三階段專案價值、最適投資門檻、及最佳完工時點與傳統淨現值法之相關內容求取近似解，並對其參數進行敏感度分析。
4. 針對模擬分析結果，提供三種較合乎政府、業者、及公眾三贏之 BOT 經營策略之參考。

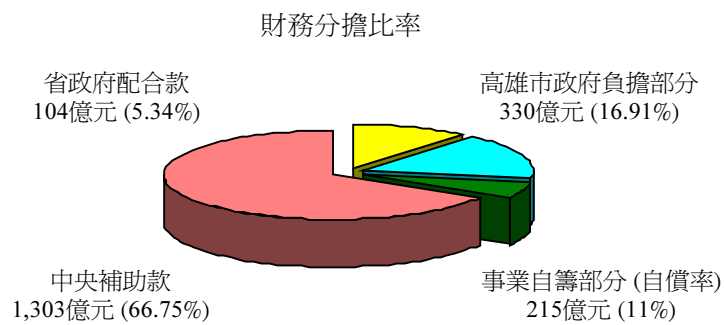
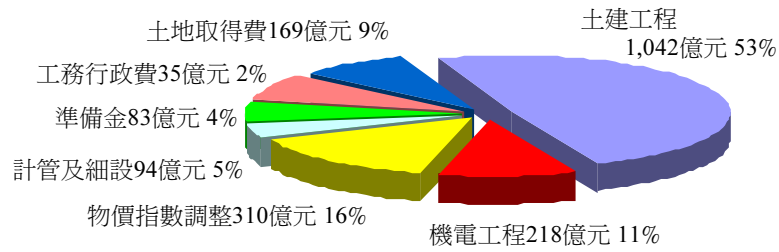
本文研究假設淨營收依循幾何布朗運動，雖可修正傳統淨現值之將來預期現金流量為靜態之缺失。但長達三十年之特許期間，其相關參數必需隨時間調整，故後續研究針對相關參數，特別是變異數之推定，建立隨時間變動而調整，使模式更符合實際環境特性。另外，探討營收過程是否有更理想之隨機過程可描繪其變動軌跡，以及考量複數決策變數（例如變動成本、趕工成本、縮短或延長工期所需之額外處罰成本等）之模型開發及應用。

參考文獻

1. Tam, C. M., "Build-operate-transfer Model for Infrastructure Developments in Asia: Reasons for Successes and Failures", *International Journal of Project Management*, Vol. 17, No. 6, 1999, pp. 377-382.
2. 劉憶如、王文字、黃玉霖，**BOT 三贏策略**，商鼎財經叢書，台北，民國八十九年。
3. 馮世道、姜堯民、林炯圭，「台灣高鐵 BOT 專案的實質選擇權價值」，**中國財務學會 1999 年暨財務金融學術論文集**，民國八十八年，頁 456-472。
4. Trigeorgis, L., *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, New York: MIT Press, (eds.), 1996.
5. Trigeorgis, L. and Mason, S. P., "Valuing Managerial Flexibility", *Midland Corporate Finance Journal*, Vol. 5, No. 1, 1987, pp. 14-21.
6. Black, F. and Scholes, M., "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", *Journal of*

- Political Economy*, Vol. 81, 1973, pp. 637-659.
7. Merton, R. C., "Theory of Rational Option Pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 4, 1973, pp. 141-183.
 8. Myers, S. C., "Determinants of Corporate Borrowing", *Journal of Financial Economics*, Vol. 5, 1977, pp. 146-175.
 9. Brennan, M. J. and Schwartz, E. S., "Evaluating Natural Resource Investment", *Journal of Business*, Vol. 58 No. 2, 1985, pp. 135-157.
 10. McDonald, R. and Siegel, D. R., "Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down", *International Economic Review*, Vol. 26, 1985, pp. 331-349.
 11. McDonald, R. and Siegel, D. R., "The Value of Waiting to Invest", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 101, No. 4, 1986, pp. 707-727.
 12. Dixit, A. K. and Pindyck, R. S., *Investment under Uncertainty*, New Jersey: Princeton University Press, 1994, pp. 213-244.
 13. 馮正民、康熙宗，「BOT 計畫談判群體之風險評量」，**運輸計劃季刊**，第二十九卷第四期，民國八十九年，頁 709-738。
 14. 陳宥杉，「以實質選擇權評價模式評估台灣高鐵公司 BOT 案之等待價值」，國立政治大學企業管理系碩士論文，民國八十八年。
 15. 林建山，「交通建設之財源籌措與分配」，當前重要交通運輸問題與對策研討會，交通部民用航空局（中華民國運輸學會・亞聯工程顧問公司・交通部民用航空局共同舉辦），台北，民國九十年。
 16. 周禮良，「高雄捷運之執行與管理」，**土木水利半月集**，第五集（民 90.2.1-90.2.15），中國土木水利工程學會，民國九十年。
 17. 高雄市捷運局編，「高雄市捷運工程規劃暨財務規劃先前計畫書」，高雄市政府，高雄，民國八十九年。
 18. Lin, T., "Studies on Optimization Models in Financial Engineering", Ph.D. Dissertation, Nanzan University, Nagoya, Japan (in Japanese), 1996.
 19. Majd, S. and Pindyck, R., "Time to Build, Option Value, and Investment Decision", *Journal of Financial Economics*, Vol. 18, No. 1, 1987, pp. 7-27.
 20. Ito, K., "On Stochastic Differential Equation Memories", *American Mathematical Society*, Vol. 4, 1951, pp. 1-51.
 21. 交通部統計處編，**中華民國八十九年六月交通統計月報**，交通部，台北，民國八十九年。

附錄一：高雄捷運 BOT 工程相關財務資料



(資料來源：周禮良 (民 90)，高雄捷運之執行與管理)

附圖 1 高雄捷運核定之財務計畫 (總建造經費 1,952 億元)

附表 1 入圍申請人投標記錄

公司名稱	高雄捷運股份有限公司籌備處	港都捷運股份有限公司籌備處
總建造經費	1,722.6 億元	1,888 億元
政府出資部分	1,047.7 億元	1,189.1 億元
特許公司自有資金	304.9 億元	328 億元
政府辦理事項經費	370 億元	370 億元
自償率	22.36%	25.18%

資料來源：周禮良 (民90)，高雄捷運之執行與管理。

附錄二：歐式選擇權(1)式導出

依 Black 和 Scholes 模式^[6] 基本假設修正為本模式之基本假設如下：

1. 唯有在規劃階段期末才能執行選擇權權利，亦即在規劃期終止日時才可判斷營建與否。
2. 預期淨營收服從幾何布朗運動。
3. 營運收入不考慮發放股利，亦即淨營收完全再投資於高雄捷運 BOT 營運。
4. 考量無交易成本及稅賦 (NPV 法亦同)。
5. 淨營收可無限細分。
6. 存在無風險利率 (本例為 $\gamma = 12.3\%$)，且固定不變。
7. 可以賣空 (short sell)，亦即在營收尚未實現時可以視為已 (應計) 收入。

Black 和 Scholes 模式之選擇權評價模式之公式：

$$C(S, t) = S \times N(d_1) - K e^{-rt} \times N(d_2)$$

$C(S, t)$ ：歐式買權價格； S ：標的物價格； K ：履約價格； r ：無風險利率； t ：期滿剩餘時間； σ ：標的物價格成長率之標準差； $d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + 0.5\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$ ； $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$ ，

$N(d_1)$ ：為標準常態分配累積機率函數，亦即 $N(d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{d_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ ， $N(d_2)$ 定義亦同。

由上面得知選擇權價值 (規劃期剩餘 τ_0 時間價值) 為預期淨營收折現至目前時點 ($T_b - \tau_0$) 的價值乘以時間修正因子 $N(d_1)$ 後扣除履約價格 (投入成本、趕工成本、及維修成本) 折現至目前時點 ($T_b - \tau_0$) 的價值乘以時間修正因子 $N(d_2)$ 。故可得(1)式如下：

$$V_0(p, \tau_0) = \left\{ E \left[\int_0^{(T_b - T_o^*)} p e^{-\gamma(t - (T_b - \tau_0))} dt \right] \right\} N(d_1) - \left\{ \left[I \cdot e^{-\gamma(T_o - T_o^*)} + C(T_o - T_o^*) + D \cdot e^{-\gamma(T_o - T_o^*)} \right] e^{-\gamma(T_o^* - T_b)} \right\} e^{-r\tau_0} \cdot N(d_2)$$

相關參數定義如下：

$$d_1 = \frac{\ln \left\{ \frac{\int_0^{(T_b - T_o^*)} p e^{-(\gamma - \alpha)(t - (T_b - \tau_0))} dt}{\left[I \cdot e^{-\gamma(T_o - T_o^*)} + C(T_o - T_o^*) + D \cdot e^{-\gamma(T_o - T_o^*)} \right] e^{-\gamma(T_o^* - T_b)}} \right\} + \left(r - \alpha + \frac{\sigma^2}{2} \right) \tau_0}{\sigma\sqrt{\tau_0}} ;$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau_0} .$$

