

國立交通大學

土木工程學系 碩士論文

高速公路拓寬方案投資評估與決策分析 Highway Expansion Investment Evaluation and Decision-Making



研 究 生：林嘉正

指導教授：黃玉霖 博士

中 華 民 國 九 十 六 年 八 月

高速公路拓寬方案投資評估與決策分析

Highway Expansion Investment Evaluation and Decision-Making

研 究 生：林嘉正

Student：Chia-Cheng Lin

指導教授：黃玉霖 博士

Advisor：Dr. Yu-Lin Huang

國 立 交 通 大 學

土木工程學系

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Civil Engineering

August 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年八月

高速公路拓寬方案投資評估與決策分析

研 究 生：林嘉正

指導教授：黃玉霖 博士

國立交通大學土木工程學系（研究所）碩士班

摘要

本研究試圖提出一個高速公路投資決策模型，該模型可以評估未來高速公路可能的拓寬行為所帶來的效益，並將其效益於高速公路興建規劃時期就考量進去，以找出最佳的高速公路興建設計方案。本模型中，高速公路拓寬主要涉及三個不確定性因子，分別是：交通需求量、土地價格及營建物價指數。交通流量預測是高速公路評估過程中最重要的一環，高估交通流量會使決策者選擇興建較多車道，造成資源浪費；而低估交通流量會造成車道壅塞、用路品質滑落，以及其他的社會成本。土地價格變化對未來高速公路擴張方案有莫大的影響，如果預測未來土地價格很高或是取得本身就有困難，通常會現在先取得用地，以供日後擴張時之用。工程成本受國際物價波動的影響甚鉅，因此我們使用營建物價指數為指標作為工程成本的修正值，以找出同一工程於不同時點施工時的實際成本。在拓寬階段，興建成本除了本身興建工法選擇不同而改變，也會因用地取得的時機不同而改變。一般來說，如果沒有預留土地，日後擴張時要面臨工程複雜度會較高，興建成本亦會較高。常見的問題有管線遷移及鄰近用地補償等。我們導入實質選擇權的方法來處理不確定性因子下的最佳決策問題，該問題的解決步驟是以蒙地卡羅模擬法為基礎所發展出來的。數值案例的結果顯示本研究所建議的模型與解決步驟是大有可為的。傳統的高速公路規劃是政策導向的，通常沒有明確定義要如何使決策最佳化，本研究為此最佳化問題提供了一個明確而可行的基本模型。

關鍵字：高速公路拓寬、決策模型、蒙地卡羅模擬、實質選擇權

Highway Expansion Investment Evaluation and Decision-Making

Student : Chia-Cheng Lin

Advisor : Yu-Lin Huang

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

This research tries to present a highway decision model, which can evaluate the benefits yielded by the expansion of a highway in the future and consider this benefits in the design phase of a highway system to find out the optimal design alternative. In this model, the three main uncertainties involved in the expansion of a highway are namely, traffic demand, land price, and construction cost index. Forecasting the traffic demand accurately for the highway life cycle is an important task for economic purposes. Over-estimation of the traffic demand causes the waste of resource; under-estimation makes the highway service quality low and yields social cost. Acquiring the required land is needed for every highway expansion (widening) process. Land price and land availability are key points while facing the expansion of highway system. In expansion phase, the construction cost is affected by the construction cost index and the difficulty to road works as well. Real options are employed to solve the question of optimal decision-making under uncertainties. The solution algorithm is based on the Monte Carlo simulation. Numerical results show that the proposed model and solution algorithm are promising. Decision-making optimality is generally not well defined in traditional policy-based approaches for highway planning. This research provides a reasonable model and makes a radical step towards optimal decision-making in highway planning.

Key words: Highway Expansion; Decision Model; Monte Carlo Simulation; Real Options.

誌 謝

論文得以順利完成，首先感謝辛苦栽培我的父母，你們總是全力支持我與鼓勵我。如今論文完成之際，獻給我最愛的父母與家人。

感謝恩師黃玉霖老師，研究所期間能接受您的指導，對於我而言，是一種全新不同的感受。老師在研究上嚴謹地指導與啟蒙，引領我進入學術的殿堂。我非常珍惜與老師間的師生情誼，這是我這一輩子難以忘懷的感動。

感謝這兩年一起脫序演出的同學們：柏勳、名修、文華、育正、國賓、怡昀、鉦倫、姜林、怡欣、詠潔以及柏均。我們的營管盃、團體報告以及畢業旅行，點點滴滴都是耐人回味的。感謝能遇見你們、成為好朋友是我最開心的事！也感謝室友小 Bird 及史考提，在我交大的住宿生活能互享心事、互相鼓勵與扶持。

論文寫作期間，特別感謝我生命中最重要的人—佳慧，妳總是全力支持我、愛我、陪伴我，我非常感激可以在這世上遇到妳，謝謝妳對我的付出及包容。

要感謝的人實在太多了，僅以此論文獻給我最愛的親人、師長與朋友。



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究問題	1
1.3 研究目的	1
1.4 研究方法及流程	2
1.5 研究架構	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 傳統資本投資決策文獻	4
2.1.1 資本投資決策之定義	4
2.1.2 資本投資決策之評估方法	4
2.1.3 資本投資決策之限制與評論	7
2.2 實質選擇權決策文獻	9
2.2.1 實質選擇權之定義	9
2.2.2 實質選擇權之種類	10
2.3 高速公路投資決策文獻	12
2.4 小結	13
第三章 研究方法	14
3.1 隨機過程	14
3.1.1 馬可夫特性	14
3.1.2 連續時間隨機過程	14
3.1.3 艾多輔助定理	17
3.2 資料檢定方法	19
3.2.1 適合度檢定	19
3.2.2 隨機性檢定	20
3.3 數值方法	21
3.3.1 蒙地卡羅模擬	21
3.3.2 對偶變數法	22

3.3.3 Cholesky 分解法	23
3.4 小結	25
第四章 模型介紹	26
4.1 模型中的實質選擇權	26
4.2 模型中的不確定性因子	27
4.2.1 交通流量需求	27
4.2.2 土地價格	27
4.2.3 營建物價指數	28
4.2.4 不確定性因子間的相依性	29
4.2.5 不確定性因子的離散化	29
4.3 模型建構	30
4.3.1 模型的數學公式表述	30
4.3.2 細部模型	31
4.4 模型求解演算法	32
4.4.1 模型求解的難度	32
4.4.2 演算法的發展	32
4.5 數值案例	35
4.5.1 數值案例求解演算	35
4.5.2 數值案例結果分析	37
4.6 小結	39
第五章 實證案例分析	40
5.1 計畫簡介	40
5.1.1 計畫緣起及依據	40
5.1.2 計畫目標	40
5.1.3 拓寬原則	41
5.1.4 資金規劃	41
5.2 模型調整	43
5.3 參數估計	43
5.3.1 交通需求量估計	44
5.3.2 營建物價指數估計	47
5.3.3 因子間的相依性	49
5.3.4 其他系統參數估計	50
5.4 計畫評估	51
5.4.1 評估求解演算	51
5.4.2 評估結果分析	52
5.5 小結	53



第六章 結論與建議	54
6.1 結論	54
6.2 後續研究之建議	54
參考文獻	55
附錄一	57
附錄二	59
附錄三	61
作者簡歷	71



表目錄

表 2-1：專案評估方法之決策法則與優缺點彙整表.....	6
表 2-2：各評估準則綜合比較表.....	7
表 2-3：實質選擇權的類型.....	11
表 4-1：案例方案選擇表.....	35
表 4-2：案例系統參數表.....	36
表 4-3：案例評估結果.....	37
表 4-4：營建物價因子影響表.....	38
表 5-1：中山高楊梅新竹段建設期分年工程經費表.....	42
表 5-2：楊梅收費站交通流量歷史資料.....	44
表 5-3：臺灣區營建物價總指數歷史資料.....	47
表 5-4：高速公路營收資料.....	50
表 5-5：分年資本支出方程.....	51
表 5-6：拓寬工程淨現值.....	52
表 5-7：拓寬時點比較.....	53



圖目錄

圖 1-1：研究流程圖	2
圖 3-1：Wiener 過程： $a=3, b=1.5$	17
圖 3-2：對偶變數法比較圖	22
圖 3-3：資料取樣比較圖	25
圖 4-1：模型概念圖	30
圖 4-2：演算流程圖	34
圖 4-3：方案選擇關係圖	38
圖 4-4：營建物價因子與方案選擇關係圖	39
圖 5-1：拓寬工程淨現值次數分配圖	52



第一章 緒論

1.1 研究動機

高速公路的投資是交通建設極為重要的環節，攸關國計民生、經濟發展及國防安全等。同時國道投資乃是百年事業，路線決定之後，隨經濟活動成長，許多高速公路因需求過盛，終究面臨擴充的決策。

我國國道一號（中山高速公路）在建造開發當時，未能準確預估社會經濟發展所帶來的交通需求成長，造成完工之後道路壅塞，用路品質大幅滑落，平時交通維護也困難重重。有感於此，政府部門多次有意擴充總體路段車道量，以解決局部及總體交通問題。惟道路用地征收困難且充滿不確定性，至今只能舒緩局部交通的困境，總體交通狀況仍未獲得改善。

1.2 研究問題

高速公路系統發展涉及許多不可逆的投資行為，因此在實行投資決策之前需要進行嚴謹的建模及分析。高速公路的拓寬決策過程所涉及的問題中，本研究針對以往高速公路拓寬的經驗，特別注意以下幾個重要課題：

1. 土地資源的運用，尤其是取得的時機。
2. 土地資源限制下，如取得困難度高，或土地成本高（人口密度高的地區大多有這種問題），則必須在有限的路權範圍內做最大的空間使用，如採取高架結構。
3. 通貨膨脹影響工程造價的問題。

這些課題的處理涉及兩個成本權衡的問題(the tradeoffs of two cost items)：

1. 土地取得的時機涉及土地成本與工程造價之間的權衡。
2. 土地資源限制下，必須以更昂貴的結構型式（如高架）來做更有效的路權使用，因此也涉及到另一個土地成本與工程造價之間的權衡。

1.3 研究目的

本研究主要目的為建構一個動態而彈性的高速公路投資評估模式，以解決傳統上靜態且不具彈性的評估模式之缺點。可行的方法是應用實質選擇權評估法，再配合蒙地卡羅模擬技術，來進行高速公路投資方案評估與決策分析。

1.4 研究方法及流程

本研究主要研究步驟如圖 1-1 所示。其研究方法說明如下：

1. 範圍確定

本研究主要探討的是交通流量、土地價格及興建成本等因子在高速公路投資評估中的影響。其他因子如社會成本及政策目標等並不在本研究中作討論。

2. 文獻探討

蒐集傳統資本投資決策、實質選擇權決策及高速公路投資決策等相關文獻，作為本研究建構決策模型參考之依據。

3. 確定因子模型

確定本研究中三個主要不確定性因子的模型，交通需求量、土地價格及營建物價指數模型。本研究所使用的模型是由隨機過程的概念所發展出的。

4. 決策模型建構

本研究應用實質選擇權法再配合蒙地卡羅模擬技術來建構主要模型。再以一個試擬的數值案例說明，在興建時期如何進行本模型的方案評估與決策分析過程。

5. 實證案例分析

使用國道一號中山高速公路拓寬工程的案例進行實證研究，以說明如何將本研究所建構的評估模型，應用在拓寬時期的工程決策上。

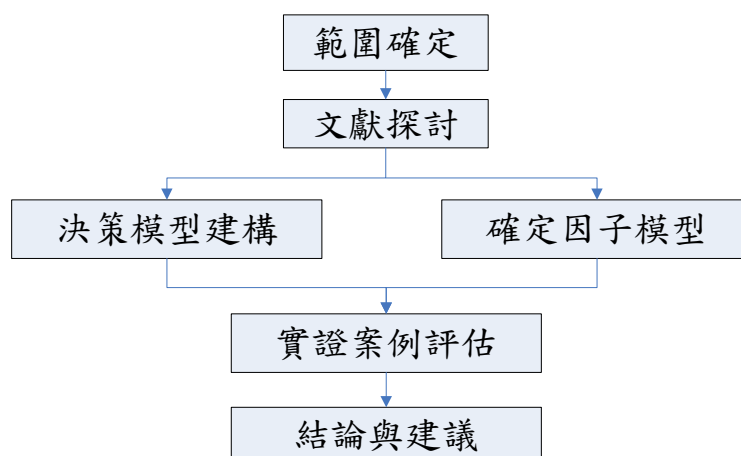


圖 1-1 研究流程圖

1.5 研究架構

本研究論文共分為六章，各章內容敘述如下：

第一章 緒論

設明本研究之研究動機、問題、目的、方法與流程。

第二章 文獻回顧

回顧有關傳統資本投資決策、實質選擇權決策及高速公路投資決策等相關文獻，作為本研究建構決策模型參考之依據。

第三章 研究方法

本章將介紹我們所使用的不確性因子發展型式，以及如何檢定歷史資料是否符合該發展型式之檢定方法，最後介紹如何模擬未來的發展型式及模擬技術的改良方法。

第四章 模型介紹

本章將說明本研究所建構的高速公路投資方案與決策分析模型的建構過程，以及如何使用此模型的評估程序之相關詳細說明。

第五章 實證案例分析

使用國道一號中山高速公路拓寬工程的案例，以進行實證研究。

第六章 結論與建議

本章針對本研究之結果作一總結，並提出本研究後續可發展的研究方向，以供後續研究做參考。



第二章 文獻回顧

本章將先回顧資本投資決策之定義並介紹基本之評估方法，接著進一步回顧實質選擇權決策之相關文獻。最後我們將討論Zhao and Tseng等學者於2004年提出的高速公路評估模型以及該模型幾個尚未考慮到並有效處理的地方。最後總結所回顧的文獻，以供後續研究分析之應用。

2.1 傳統資本投資決策文獻

本節將針對資本投資決策之定義、基本之評估方法詳加介紹，以供後續之實證分析得加以應用。

2.1.1 資本投資決策之定義

企業為實現長期策略規劃所進行的專案投資是為資本投資，這些資本投資通常是長期性投資且具有實質的生產力及經營策略上的價值，並且非經常性的企業活動，但其對企業價值的增加卻格外重要，主要在於其牽涉到企業未來一系列現金流量及永續經營的理念。資本投資決策對企業的意義不僅僅在於財務上的貢獻，對於企業未來的發展或有關鍵性影響，且在策略上的價值尤其重要。

2.1.2 資本投資決策之評估方法

以下將介紹五種資本投資決策之基本評估方法（謝劍平，1999），包括回收期間法（Payback Years Method, PBY）、淨現值法（Net Present Value Method, NPV）、內部報酬率法（Internal Rate of Return, IRR）、平均會計報酬率法（Average Accounting Return, AAR）及獲利能力指標法（Profitability Index Method, PI）。以上各種評估方法均是利用現金流量折現法（DCF 法），其基本假設為：現金流量之產生時點均在每年年底，折現率為資金成本率。

1. 回收期間法（Payback Years Method, PBY）

回收期間法（PBY）是指企業在專案投資計劃進行初期投入成本後，預期可以收回此成本額所須之時間，亦即是當此專案投資計劃進行到特定時點時，累積之淨現金流量等於期初投入成本時經歷之時間。回收時間（T）以數學式表示如下：

$$\sum_{t=1}^T CF_t - CF_0 = 0, \quad CF_t \text{ 表示第 } t \text{ 期現金流量, } T \text{ 表示回收時間。}$$

2. 淨現值法（Net Present Value Method, NPV）

淨現值法 (NPV) 是將所有現金流量以資金成本率折現，使產生現金流量之時間回到相同基期，並在相同基期比較各期淨現金流量總和與投入成本的大小，作為判斷專案投資計畫可行性之依據，若為正值 (NPV > 0) 則接受專案投資計畫；反之，則放棄此計畫。淨現值是指各期現金流量之折現值總和減去期初投入成本之剩餘值，其更代表專案投資計畫對公司價值之直接貢獻。淨現值法是考慮貨幣時間價值之專案投資計畫評估方法，又稱為折現現金流量法 (Discount Cash Flow Model, DCF model)。淨現值法 (NPV) 以數學式表示如下：

$$NPV = \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} - CF_0,$$

CF_n 代表第 n 期現金流量，k 代表資金成本率。

3. 內部報酬率法 (Internal Rate of Return, IRR)

內部報酬率法 (IRR) 是計算出一個能使專案投資計畫產生之現金流量折現值總和等於期初投入成本的折現率。IRR 的計算方式係用試誤法反覆計算而得。在觀念上，IRR 與債券的到期殖利率 (YTM) 相似，即是將資金用在此投資計畫時，平均在每一期可獲得的報酬率。按一般成本效益原則，當投資計畫之 IRR 大於公司之資金成本 (k) 時，表示此計畫除滿足股東之必要報酬率外，並有剩餘報酬，應是可投資之計畫；反之，IRR < k (資金成本)，則應拒絕此投資計畫。內部報酬率法 (IRR) 以數學式表示如下：

$$NPV = \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} - CF_0 = 0,$$

NPV 代表現金流量折現值總和，CF_n 代表第 n 期現金流量。

4. 平均會計報酬率法 (Average Accounting Return, AAR)

平均會計報酬率法 (AAR) 並沒有明確的定義，一般可由平均的會計利潤除以平均的會計成本得知，如果將平均的稅後淨利除以平均的帳面價值也是一會計報酬率。而應用在資本投資決策時，其定義如下：

$$\text{平均會計報酬率法 (AAR)} = \frac{\text{平均預期淨收益}}{\text{平均淨投資額}}$$

上式中，平均預期淨收益 (分子) 是指此投資計畫平均每一期可收到之會計上的稅後淨利 (已扣掉折舊)；平均淨投資額 (分母) 是指平均分攤在每一期的期初支出帳面價值，也可以是該投資之期初支出與期末殘值的簡單平均值。

5. 獲利能力指標法 (Profitability Index Method, PI)

獲利能力指標法 (PI) 是將此投資計畫在未來所產生的現金流量折現總值，除以期初投入成本所得到的比率，也可稱為成本效益比率 (Benefit-cost Ratio)。PI 的意義與 NPV 相似，因為現金流量折現總值大於期初投資成本，便會有正的 NPV，同時 PI 也會大於 1；反之，若現金流量折現總值小於期初投資成本，則 $NPV < 0$ ，同時 PI 也會小於 1。所以 PI 的判斷法則為， $PI > 1$ ，接受投資計畫；反之，則放棄此計畫。獲利能力指標法 (PI) 以數學式表示如下：

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}}{CF_0},$$

CF_n 代表第 n 期現金流量， k 代表資金成本率。

綜合以上五種基本之專案評估方法，其決策法則與優缺點彙整如下表 2-1、2-2：

表 2-1 專案評估方法之決策法則與優缺點彙整表

專案評估方法	決策法則	優點	缺點
回收期間法 (PBY)	回收期間愈短 愈好	衡量專案投資計畫 「便現能力」的指標	主觀、無判斷標準、 未考慮回收後之現金 流量
淨現值法 (NPV)	$NPV > 0$	考慮貨幣時間價值及 所有現金流量、符合 價值相加法、互斥計 畫中提供正確決策	未能反映成本效益之 高低
內部報酬率法 (IRR)	$IRR > k$ (資金成本率)	考慮貨幣時間價值及 所有現金流量	互斥計畫中會產生錯 誤決策、「再投資報 酬率」假設不合理
平均會計報酬率 法 (AAR)	$ARR > \text{標準值}$	資訊透過會計資訊系 統取得，可為進一步 評估前之參考指標	定義模糊、非現金基 礎、未考慮貨幣時間 價值
獲利能力指標法 (PI)	$PI > 1$	充分反映成本效益	無法極大化公司價 值，不能反映投資計 畫直接貢獻

資料來源：謝劍平，1999。

表2-2 各評估準則綜合比較表

資本預算評估準則	考慮貨幣時間 價值	考慮所有現金 流量	互斥方案評估 決策	符合價值相加 法則
回收期間法 (PBY)	△	×	△	
淨現值法 (NPV)	○	○	○	○
內部報酬率法 (IRR)	○	○	△	×
平均會計報酬率法 (AAR)	×	○	△	×
獲利能力指標法 (PI)	○	○	△	×

資料來源：謝劍平，1999。

註：○：符合該項條件；△：必一定符合；×：不符合該項條件。

總之，一個好的資本投資決策評估技術必須符合下列條件：

1. 計畫存續期間之現金流量都要考慮
2. 現金流量必須以資金的機會成本來折現
3. 必須能夠從互斥計畫中選出使股東財務最大化的計畫
4. 必須能夠從所有計畫中獨立考慮某一計畫。

上述分析中只有NPV 法符合此四條件，所以NPV 法被認為是傳統資本投資決策中最好的評估方法。

2.1.3 資本投資決策之限制與評論

傳統資本投資評估發展已停滯幾十年，直到最近在實質選擇權上的發展才使這個領域有所突破。實質選擇權會引起探討的部分原因是公司管理階層及一些學者對於傳統資本投資評估方法的不滿。在實質選擇權發展較成熟前，公司管理階層及決策者對於管理營運彈性及策略上的應用通常是憑藉經驗與直覺作判斷。

而NPV 法做了過度僵化之假設，這些假設包括：（1）市場的變化及風險部份不會改變預期現金流量；（2）投資計畫的實施僅適用於當期，一個遞延至下一期的計畫毫無價值可言。這種假設無法呈現投資計畫本身之選擇彈性，特別是在面對不確定性的市場變化時，傳統資本投資評估方法忽略了隱含於投資計畫本的選擇權所賦予的風險管理功能。這些缺失不僅造成決策者低估投資計畫的真正價值，因而偏重計畫的短期收益，

忽略長期效益，也造成投資不足及競爭力降低。（陳伯蒼，1997）

Hayes and Garvin（1982）指出早期標準的DCF 法則常常低估了投資機會，而導致做出過於短視的決策、投資不足及造成競爭力喪失，這些都是因為忽略策略性考量。

Myers（1987）認為問題在於原始理論的誤用，其指出當DCF 法用來評估投資計畫中營運或策略選擇權時，有先天上的限制。DCF 法在評估穩定的現金流量時，問題不大。但在評估企業成長機會或無形資產時便有困難，特別是研究發展的價值，因為幾乎都是選擇權價值，所以DCF 法無法適用。而Myers 建議與選擇權評價模式混用將可填補財務理論與策略規劃的間隙。

Trigeorgis and Mason（1987）指出傳統NPV 法或DCF 法並無法適切地反應管理階層能在未來修正原始營運策略得彈性（或稱管理彈性）。而以選擇權為基礎的或有權利分析（contingent claims analysis）可視為決策樹分析的一種特殊、修正過後的一種型態，其將可反應投資計畫價值的不對稱性（asymmetry）或偏態（skewedness）的性質。Trigeorgis and Mason 將過去傳統的NPV 視為“靜態”（static）的NPV，並提出包含管理彈性選擇權價值的“擴展”（expanded）NPV，如下式：

擴展NPV = 靜態的NPV + 選擇權貼水

Trigeorgis and Mason 並指出愈是在不確定性的投資環境中，此管理彈性將愈加彰顯其存在的價值。

Baldwin and Clark（1992）指出傳統資本投資決策並無法正確評估組織能量（organizational capabilities）。組織能量的發展可使企業能更有效的開發利用市場的機會，而獲致較佳的營運績效。Baldwin and Clark 建議應將組織能量視為投資的範疇，並討論其在策略性資本投資的重要性。

Kulatilaka and Marcus（1992）亦指出公司投資計畫中通常內含有選擇權性質，而傳統的DCF 架構並無法正確地評估此類投資計畫。並認為在三種情況下，將選擇權評價分析併入投資計畫評估中是非常重要的：（1）目前難以去預測未來最佳營運模式的情況；（2）在可能的營運模式之間，利潤的差異相當大；（3）在營運模式間的轉換成本，使的現金流量難以估計。

2.2 實質選擇權決策文獻

2.2.1 實質選擇權之定義

選擇權的觀念和理論除了應用在金融市場上的商品外，也可應用到財務管理的各個層面，當應用在實質資產上，即為所謂的「實質選擇權」（real options）。「實質選擇權」是指存在於實質資產投資計畫中，且其有選擇權性質的權利，即買方有權於未來以一定之價格取得或出售實質資產投資計畫。其和NPV 法最大的不同在於將管理上的彈性（Managerial Flexibility）列入評估投資決策時的考量。所謂的「管理彈性」是指經營者為追求最大利潤，有權利而且有能力依不同的市場情況，修正調整投資計畫。

舉例來說，當企業決定一項投資計畫時，可以選擇今天或未來進行投資，若選擇今天投資，則資金一旦投入，計畫便不能回復（irreversible），如果未來情況如當初預期，則企業獲得的利益即是當初所計算的NPV 值；倘若NPV 值不如當初的預測或NPV 值為負，此時企業可以選擇暫時不執行此計畫，俟未來市場情況有利時再進行投資，以獲取高於原來預估NPV 值的利潤；若市場情況變壞，企業可以選擇不投資。因此當企業多了一項何時執行投資計畫的權利時，也限制了下方的風險（downside risk）。如同企業買了一個選擇權，等到對自己有利的情況下才執行此項權利，這一段等待期間的價值，就是這個選擇權的價值。企業就像買了一個買權（call option），標的物為此項投資計畫；執行價格（exercise price）為投資計畫的總成本；權利期間（maturity period）則為此項計畫可以延遲的時間。

Ross（1995）認為從選擇權的觀念來看， $NPV > 0$ 的投資計畫僅表示此計畫正處於價內點（in the money）；反之， $NPV < 0$ 的投資計畫也只是表示此計畫正處於價外點（out of the money），並不表示此項計畫沒有價值，而予以放棄。

Paddock, Siegel and Smigh（1988）對石油租約作評估，藉著與政府使用相同的資料來源和政府傳統的DCF 法則做比較，結論是用實質選擇權的評價方式會比政府的DCF 法則接近產業的報價。

McDonald and Siegel（1986）探討不可回復的投資機會，當企業在使用NPV法則決定投資計畫的執行與否時，不應只以 $NPV > 0$ 或 $NPV < 0$ 來作判斷，必須再加上投資計畫所擁有的實質選擇權的價值，當兩者加總的值超過成本的現值達到某一數額以上時，才值得投資。

探討實質選擇權的文獻中，除了對NPV 決策法則的質疑外，大部分著重於分析投資計畫中所含的選擇權價值，並探討各因素對其影響。

2.2.2 實質選擇權之種類

Trigeorgis (1996) 將實質選擇權歸納成以下幾種類型：

1. 遞延選擇權 (option to defer)

又稱為等待選擇權 (option to wait)，當企業決定一項投資計畫時，其最大的問題為投資時點的選擇，管理者掌握投資時間的決定權，即所謂的遞延選擇權。若將某一投資計畫視為一個美式買權，標的物為投資計畫，履約價格就是投資計畫總成本，企業最大的目標是使整個投資價值最大化，所以遞延選擇權會使投資計畫更有價值。

2. 延續性投資選擇權 (time-to-build option)

大部分的長期投資計畫中常具有階段性，在這期間中由於新資訊產生，故需重新評估投資計畫之可行性及價值，而每一期投入的成本可視為取得下一期投資的機會，可視為複式選擇權 (Compound option)。

3. 改變營運規模選擇權 (option to alter operating scale)

因市場上景氣及產品價格的變化，使產品需求量和原先預期有所差異。當市場情況比預期中來的好時，廠商可能會擴大生產規模；當市場情況不如預期時，廠商可能減少生產規模。此類的實質選擇權隱含了三種選擇權，分別是擴張選擇權 (option to expand)、緊縮選擇權 (option to contract) 及暫時中止選擇權 (option to shut down) 三種。管理者可視的市場景氣的變化，隨著需求量的大小，來決定是否擴張、緊縮或暫時中止營運。

4. 放棄選擇權 (option to abandon)

當市場情況惡化，使投資計畫出現鉅額虧損或營運上產生嚴重困難時，投資人可考慮是否結束投資計畫，可視為一美式賣權。

5. 轉換選擇權 (option to switch)

投資方案執行過程中，管理者可依據市場需求的變化，來決定最有利的投入與產出，即管理者擁有一個轉換與否的選擇。

6. 成長選擇權 (growth option)

當投資計畫效良好，可選擇是否擴張營運規模以獲得更多利潤，可視為一美式買權。

7. 多重交互影響選擇權 (multiple interacting options)

此為複式選擇權的延伸，由遞延選擇權、延續性投資選擇權、改變營運規模選擇權、放棄選擇權、轉換選擇權、成長選擇權、多重交互影響選擇權等各種選擇權組合所產生。

各類實質選擇權之特徵及適用情境整理如表2-3：

表2-3 實質選擇權的類型

種類	特徵	適用情境
遞延	管理者持有一個有價土地或資源的租約，可等待至直到產出價	自然資源、萃取物產物、不動產開發、農業
延續性投資	分期投資將一系列的費用支出，當新資訊不利時，考慮放棄	R&D 密集產業，特殊製藥、長期開發且資本密
改變營運規模	若市場的條件比預期有利，則公司擴充生產；反之若條件比預期	自然資源產業、循環性設備規劃、建設業、流
放棄	若市場條件劇烈下跌，可放棄繼續營運並變賣資本設備和資產。	資本密集產業、不確定市場中開發新產品
轉換	若價值或需求改變，管理者能藉由設備的混和改變產出或是相	輸出替換：玩具、機械零件、汽車
成長	投資計畫連結一未來有開發可能的相關計畫鏈	基礎建設、策略產業、高科技、R&D、應用產
多重交互影響	計畫通常包含不同的選擇權。	以上所有產業均有可能

資料來源：Trigeorgis，1996。

2.3 高速公路投資決策文獻

Zhao and Tseng (2004) 將成長選擇權應該用在高速公路決策過程中的一環。該研究指出因為交通量未來成長足夠造成高速公路拓寬可增加利益時，決策者可透過初期先預買未來拓寬用地的方法，在規劃初期就將此可能拓寬的價值整合入系統價值中。透過模擬交通流量及土地價格等不確定性因子，以美式選擇權方式處理此問題。使用模擬出來的不確定性因子，計算不同興建與拓寬決策下，收費道路的淨現值。收費道路的淨現值隨時間遞減，到生命週期結束後歸0。不同興建與拓寬方案的淨現值之遞減過程都不同。該研究試圖以模擬出來不確定性因子對淨現值的遞減行為作迴歸分析。以找出最佳興建的方案，並決定那個時點要進行那一種拓寬方案。

該決策模型為一般收費公路的評估提供一個基本模型，然而該模型中還有許多尚未考量的地方。以臺灣高速公路拓寬的經驗來說，道路用地取得一直是充滿困難與不確定性的，甚至因為無法取得拓寬用地，使得拓寬時必須使用特別的工法以滿足交通需求量的成長，例如汐止到五股段的高架橋拓寬工程。眾所皆知的是，高架橋工程的施工成本比起平地路面施工要高出許多。

另一方面，該模型提出以高速公路系統總淨現值隨時間的變化來決定最佳投資方案，由後往前每一期計算不同方案決策對當期系統淨現值大小的影響以選取當期最佳的方案，一直計算到初期以決定高速公路系統生命週期中的何時要進行那一種決策。然而該評估方式隱含著一個假設，就是每個決策方案的發生，都必需在一個時間區間之內完成。也就是說如果這期要拓寬一個車道，下一期就要完成拓寬施工且開始營運。這樣的評估方式在實際運用上顯得不是那麼合理。此假設打破的話，該研究提出的找尋最佳興建方案及拓寬時點的方法將無法運用。

營建物價波動也是此模型所尚未考慮到的，近年國際間的能源危機，國內外物價普遍上漲，營建工程中一些基本原料的上漲更是明顯。營建物價的上漲，可能導致預期的系統價值變低，亦可能導致施工停頓，甚至會改變整個決策結果。如果決策模型中有多考量此因子，應該可以使模型更為完善。

2.4 小結

最後總結以上參考的投資決策相關文獻，作為供後續決策模型研究分析之參考。本研究想要探討的高速公路拓寬行為，是一個藉由提高營運規模以增加整體效益的行為，可以視為一種成長選擇權，屬於美式買權的一種。拓寬與否可視當時的不確定性因子情況而定，乃一彈性決策。如果要在一開始高速公路興建時期就將此彈性決策的效益加入投資評估中，傳統的資本投資決策法無法有效估計此效益。

因此我們使用Trigeorgis and Mason於1987年所提出的，包含彈性決策之選擇權價值的“擴展”（expanded）NPV，如下式：

$$\text{擴展NPV} = \text{靜態的NPV} + \text{實質選擇權效益}$$

其中實質選擇權效益指的是未來可能的拓寬行為所帶來的效益。又該實質選擇權可以由決策者在不同的時點履行，是一美式買權，因此要完整評估此實質選擇權的效益，要同時考量何時執行以及執行何種拓寬方案。

在評估此彈性決策的效益時，我們如繼續把相關的不確定性因子如交通需求量、土地成本與工程造價當成已決定變數（deterministic variables）時，則所建構的投資評估模式將不符合實際狀況，而且所提供的決策資訊也相對有限。如果我們把這些因子當作隨機變數（stochastic variables），應可更符合實際的決策情境，而且所建構的模型，也可提供更多的決策資訊。

在評估美式選擇權時，其評估的公式解通常不存在或是很難找到，而數值方法像是有限插分法、樹狀結構及蒙地卡羅法等可以使用來解決此評估問題。而本研究同時考量了三個隨機變數以及之間的相關性，此時蒙地卡羅法會是較佳的評估工具。雖然蒙地卡羅法也有本身使用上的問題，變數設定也需要歷史資料佐證，但使用它所建構的模型比較符合實際的決策狀況，所能提供的投資評估資訊也較完善。

第三章 研究方法

本章將介紹我們所使用的不確性因子發展型式，以及如何檢定歷史資料是否符合該發展型式之檢定方法，最後介紹如何模擬未來的發展型式及模擬技術的改良方法。

3.1 隨機過程

任一變數，其值會遵循某種機率法則隨著時間而變化，我們稱為隨機過程。隨機過程可分為連續時間與離散時間，後者是指變數的值只有在某些固定的時點會改變；而前者則是變數值在任何時間都可以改變。本節將著重於介紹連續變數與連續時間隨機過程，但是實際上我們所觀察的變數並非連續的，可能會被限定為一些離散的值（例如：車流量必須為正整數），而且可能只能在某些特定時間才可以觀察這些變數值。然而這種連續變數，連續時間過程的假設仍可以提供本研究有用的模型。

3.1.1 馬可夫特性

馬可夫過程為隨機過程的其中一種類型，變數目前的值是影響其未來預期值的唯一因素，以股價來說，通常我們都會假設股價遵循馬可夫過程。舉例說明：若 IBM 目前股價是 100 元且遵循馬可夫過程，我們對未來的預期不會受到一星期、一個月或一年前 IBM 股價的影響，唯一相關的資訊便是目前的股價 100 元。對未來的預期是不確定的，所以需以機率分配來表示，而馬可夫特性隱含著：在未來任何時間上的股價之機率分配，與過去股價所遵循的路徑是無關的。

股價的馬可夫特性符合弱勢市場效率，這表示目前的股價已反映了所有歷史股價所包含的資訊。若弱勢市場效率不成立，投資人將可藉由技術分析獲取超額報酬，然而相當少證據顯示技術分析能夠獲得超額報酬。

市場上的競醉能確保弱勢市場效率的成立，有許許多多的投資人密切注意著市場的狀況並試著由中獲利，而這種情況使得任一時點的股價都反映了過去股價的資訊。假設股價遵循某種路徑，下一期的股價有 65% 的機率會上漲，投資人一旦發現了些種情況便會馬上去買進股票，而股票的需求立刻增加，會導致股價立即上漲，只有存在著這種有利可圖的交易機會，觀察效果將會被排除。

3.1.2 連續時間隨機過程

假設某一變數遵循馬可夫義機過程，目前價值為 10，且在未來一年其值的變化為 $\phi(0, 1)$ ，其中 $\phi(\mu, \sigma)$ 定義為一平均數 μ ，標準差 σ 的常態機率分配。而未來兩

年變數值之變化就是兩個常態分配加總。因為變數遵循馬可夫過程，所以兩個機率分配是獨立的，又兩個獨立的常態分配相加後仍為常態分配，其平均數為原來兩個平均數相加，變異數為原本兩變界數相加。因此兩年期的變數變化期望值為 0，變異數為 2.0，也就是兩年期的變數值變化的機率分配為 $\phi(0, \sqrt{2})$ 。更一般化表示，我們可以將任何長度為 T 的期間，其變數值變化的機率分配寫為 $\phi(0, \sqrt{T})$ 。當期間非常短為 δt 時，機率分配為 $\phi(0, \sqrt{\delta t})$ 。

1. Wiener 過程

馬可夫隨機過程中，變數值之變化的平均數為 0，變異數為 1.0 的，又特別稱為 Wiener 過程。其使用於物理學在描述微小粒子受到分子相當多次的撞擊所造成的運動，有時稱為布朗運動 (Brownian motion)。

假設變數 z 遵循 Wiener 過程，其有以下兩個特性

特性一：在很短的時間區間 δt 內， z 的變化為 δz

$$\delta z = \varepsilon \sqrt{\delta t} \quad (3.1)$$

其中， ε 為一標準常態分配 $\phi(0, 1)$ 的隨機變數。

特性二：任何兩個長度為 δt 的不同時間區間， δz 的值是獨立的。

由特性一可知 δz 本身為一常態分配，其中

$$\delta z \text{ 的平均數} = 0$$

$$\delta z \text{ 的標準差} = \sqrt{\delta t}$$

$$\delta z \text{ 的變異數} = \delta t$$

而第二個特性敗隱含著： z 遵循馬可夫過程。

再來考慮一相對較長的期間 T ，在整個時間內增加的 z 值可以表示為 $z(T) - z(0)$ ，我們可將其視為在 N 個長度為 δt 的小期間， z 值增加量的總和

$$N = \frac{T}{\delta t}$$

$$z(T) - z(0) = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \sqrt{\delta t} \quad (3.2)$$

其中， ε_i ($i=1, 2, \dots, N$) 為遵循 $\phi(0, 1)$ 的隨機變數。由 Wiener 過程的第二個特性可知 ε_i 間彼此互相獨立，所以 $z(T) - z(0)$ 為常態分配，其中

$$z(T) - z(0) \text{ 的平均數} = 0$$

$$z(T) - z(0) \text{ 的標準差} = N \delta t = T$$

$$z(T) - z(0) \text{ 的變異數} = \sqrt{T}$$

2. Wiener 過程的一般式

在普通微積分，通常由微小的變化逼近到極限（變化趨近於零），因此在極限時 δz 變成 dz 。基本的 Wiener 過程 dz 發展至今已經有 0 的偏差率（drift rate，以下用 DR 代表）及 1.0 的擴散率（variance rate，以下用 VR 代表）。DR 為零是指在未來任何時間， z 的期望值會等於目前的值；VR 為 1.0 是指在任何長度為 T 的時段， z 值之變化的變異數會等於 T 。變數 x 的 Wiener 過程整般式可利用 dz 定義如下：

$$dx = a dt + b dz \quad (3.3)$$

其中， a, b 為常數。

為了瞭解上式，我們將等號右邊的兩項分開考慮。 $a dt$ 隱含著 x 每單位時間的預期 DR 為 a ，先不考慮 $b dz$ ，上式變成

$$dx = a dt$$

$$\frac{dx}{dt} = a$$

對時間 t 積分可得

$$x = x_0 + at$$

x_0 為 x 在 $t=0$ 時的值。在長度為 T 的時間區間， x 的值會增加 aT 。 $b dz$ 可視為 x 所遵循路徑的噪音（noise）或波動性，此噪音或波動性的量為 b 乘以一 Wiener 過程，因為 Wiener 過程的標準差為 1，所以 b 乘以一 Wiener 過程後標準差會變成 b 。在微小的時間區間 δt ， x 值的變化為 δx

$$\delta x = a \delta t + b \varepsilon \sqrt{\delta t}$$

與前面一樣， ε 為一來自標準常態分配的隨機變數，因此 δx 為一常態分配

$$\delta x \text{ 的平均數} = a \delta t$$

$$\delta x \text{ 的標準差} = b \sqrt{\delta t}$$

$$\delta x \text{ 的變異數} = b^2 \delta t$$

相同的，在任何長度為 T 的時段， x 的值之變亦為常態分配

$$x \text{ 值之變化的平均數} = aT$$

$$x \text{ 值之變化的標準差} = b\sqrt{T}$$

$$x \text{ 值之變化的變異數} = b^2 T$$

因此，Wiener 過程一般式之預期 DR（即每單位時間的平均 drift）為 a ，VR（即每單位時間的變異數）為 b^2 ，詳見圖 3-1。

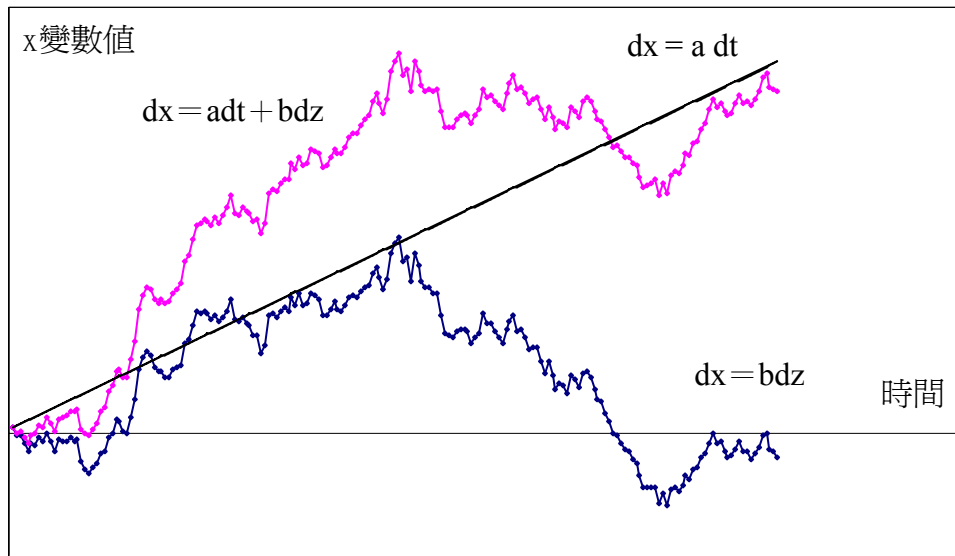


圖 3-1 Wiener 過程：a = 3, b = 1.5。

3. 艾多過程

接下來更進一步的介紹另一種隨機過程，艾多過程 (Itô's process)，其為 Wiener 過程的一般式，其中 a, b 兩參數為 x, t 的函數。代數上，艾多過程可寫為：

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)dz \quad (3.4)$$

在艾多過程，預期 DR 及 VR 都可能隨著時間而改變。在 t 到 t + δt 這個小時區，變數會由 x 變為 x + δx ，其中

$$\delta x = a(x, t) \delta t + b(x, t) \varepsilon \sqrt{\delta t}$$

此關係式牽涉到一個近似估計，其假設在 t 到 t + δt 這個時間區間，x 的 DR 及 VD 仍維持不變為 a(x, t) 及 b(x, t)²。

3.1.3 艾多輔助定理

廣義的說，隨機變數為相關的隨機變數本身及時間的函數，所以要嚴謹的研究前，一定要對隨機變數的函數行為有一些認識。在此將介紹數學家 Kiyosi Itô 於 1951 年所發現的一個重要定理，稱為艾多輔助定理 (Itô's lemma)。

假設變數 x 的值遵循艾多過程：

$$dx = a(x, t) dt + b(x, t) dz$$

其中 dz 為 Wiener 過程，a, b 都是 x 及 t 的函數，變數 x 的 DR 為 a、VR 為 b²。由艾多輔助定理，x 及 t 的函數 G 遵循以下過程：

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b dz \quad (3.5)$$

其中 dz 也是 Wiener 過程，因此 G 也遵循艾多過程，其 DR 為

$$\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2$$

VR 為

$$\left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 b^2$$

艾多輔助定理的證明詳見附錄一。

接著我們考慮常見的股價變化模型

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (3.6)$$

其中 μ 及 σ 為常數，此為股價變化的一個合理模型。由艾多輔助定理，其遵循 $G(S, t)$ 所遵循的過程為

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} \mu S + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} \sigma S dz \quad (3.7)$$

現在我們利用艾多輔助定理去推導常見的對數常態特性下的隨機過程。考慮一變數取自然對數後的變化。定義 $G = \ln S$ ，因為

$$\frac{\partial G}{\partial S} = \frac{1}{S}, \quad \frac{\partial^2 G}{\partial S^2} = -\frac{1}{S^2}, \quad \frac{\partial G}{\partial t} = 0$$

將此代入式(3.7)可得 G 的過程為

$$dG = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dz \quad (3.8)$$

因為 μ 及 σ 為常數，上式顯示出 $G = \ln S$ 也遵循 Wiener 過程的一般式，其有固定的 DR： $\mu - \sigma^2/2$ 及固定的 VR： σ^2 。因此 $\ln S$ 在期初到 T 此時區的變化為常態分配

$$\ln S_T - \ln S_0 \sim \phi \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right] \quad (3.9)$$

在此顯示出 $\ln S_T$ 為常態分配。一變數的自然對數若為常態分配，此變數便為對數常態分配。本研究採用的不確定性因子發展模式屬於對數常態分配。

3.2 資料檢定法方法

3.2.1 適合度檢定

統計分析上，對於實際次數分配與理論分配是否配合適當的問題，是屬於適合度檢定問題，可以卡方檢定法進行。以卡方檢定法檢定適合度，是依 Pearson 近似式進行的，所謂的 Pearson 近似式為：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.10)$$

式中 o_i 為第 i 組的樣本觀測次數， e_i 為第 i 組的理論次數或期望次數， $i=1, 2, \dots, k$ ，即共分 k 組。

因 $\sum_{i=1}^k o_i = \sum_{i=1}^k e_i = n$ ，只要 $k-1$ 組理論次數決定後，剩下的一組理論次數為 $n - \sum_{i=1}^{k-1} e_i$ ，也就決定了。故沒有其他限制條件時，自由度 ν 為 $k-1$ 。如果求算理論機率須用樣本統計量來估計母數，則每估計一個，自由度喪失一個，如果要估計 m 個才可得到理論機率而求得理論次數，則自由度 ν 為 $k-1-m$ 。

本檢定的理論基礎：虛無假設 H_0 為「此實際分配適合某理論分配」，當實際分配不適合某理論分配時， o_i 與 e_i 相去甚遠，故 $|o_i - e_i|$ 越大， χ^2 值越大，應拒絕 H_0 ，故此檢定應為右尾檢定。即顯著水準 α 置於自由度 ν 為 $k-1-m$ 的卡方分配的右端，當 $\chi^2 > \chi^2_{(1-\alpha, \nu)}$ 時，拒絕 H_0 。

在利用 Pearson 近似式作卡方檢定時，須注意以下的事項：

1. 因 Pearson 近似式的統計量為不連續量數，故當自由度 $\nu = 1$ 時，要考慮連續校正數 $1/2$ ，即

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{\left(|o_i - e_i| - \frac{1}{2}\right)^2}{e_i} \quad (3.11)$$

若 $|o_i - e_i| < 1/2$ ，則將視其為零。

2. 理論上為使檢定效率高，要求各組理論次數 $e_i \geq 5$ ，如有一組或多組的 e_i 小於 5，則須合併至大於或等於 5。但在用上採取較寬的限制，即只有一、二組的 $e_i \geq 2$ ，其他各組皆 $e_i \geq 5$ 即可。

3. 參數 o_i 與 e_i 必為絕對次數，不能採取相對次數進行檢定。

4. 樣本大小 n 太小，值理論次數不能合於要求，不能使用本檢定法作適合度檢定。

5. 當樣本大小 n 大時，有時會使檢定失效，而使結論永遠為拒絕 H_0 。

3.2.2 隨機性檢定

抽樣時，常假設樣本觀測值的出現係隨機的。靜態資料也許可能是隨機的，但動態資料的觀測值，在出現的順序上可能前後有關聯而不是隨機產生的。隨機性檢定 (Test for Randomness) 或稱連檢定 (Run Test)，就是用來檢定樣本觀測值出現的順序上是否是隨機的統計方法。其主要功用是檢定樣本的出現是否是隨機的，故雙尾檢定假設的建立為：

H_0 ：樣本觀測值的出現是隨機性的

H_1 ：樣本觀測值的出現不是隨機性的

此檢定法是將樣本資料分成兩個互斥的類別，如好與壞、贊成與反對、大於中位數與小於中位數等等，分別以符號（如+與-，a與b等等）代表。計算同類觀測值的個數 n_1 與 n_2 。將觀測值是隨機出現的，其連數 r 適當；否則，連數多長度短或連數少長度長，都不是出現隨機性應有的現象。當互斥兩類之個數 n_1 與 n_2 皆小於或等於 20，可查表得 r_L 及 r_U ，如果 r 介於 r_L 及 r_U 之間（不含 r_L 、 r_U ），則接受 H_0 ，即拒絕區為 $r \leq r_L$ 及 $r \geq r_U$ 。

如觀測值太多，由查表得的 r_L 及 r_U 無法做成決策，則可改用常態分配處理，即當 n 大，且 $n_1 = n_2 = n/2$ 時，連數 r 的分配為常態分配，其期望值及變異數分別為：

$$E(r) = \frac{n}{2} + 1$$

$$V(r) = \frac{n(n-2)}{4(n-1)}$$

又因 n 大， $V(r)$ 可趨近於：

$$V(r) = \frac{n-1}{4}$$

$$\text{而 } Z = \frac{r - E(r)}{\sqrt{V(r)}}$$

為標準常態隨機變數。

3.3 數值方法

3.3.1 蒙地卡羅模擬

蒙地卡羅法藉由抽取電腦亂數，可隨機模擬一個動態系統的變化，例如一個經濟體系的轉變、金融市場上商品的價格、指數的變化或是本研究中的交通流量變化及土地價格變化。這套工具廣泛地應用到工程以及計量經濟的領域上。在財務工程的領域上，蒙地卡羅法可用來處理衍生性金融商品定價的問題；在專案評估領域上可供大型專案風險預估的模擬工具。

蒙地卡羅模擬的優點是不論欲評價的專案與其變數的路徑有關，或是只與其終值有關，都可以用它來估計。且不論變數的路徑滿足何種隨機過程，都可以計算。當欲評價的專案報酬與不只一個變數有關時，蒙地卡羅模擬仍然適用。當有三個以上隨機變數時，蒙地卡羅模擬法通常比其他數直方法如格子樹或有限差分法更有效率。因為隨著變數數目增多，蒙地卡羅模擬所需的計算時間會呈線性增加，但其他數值方法所需的時間通常會呈指數倍增。蒙地卡羅模擬的另一個優點是可以算出估計值的標準差，且在專案有複雜的報酬方式與隨機過程時仍然適用。

然而蒙地卡羅法也有幾個缺陷：1.計算出的價值每次都不相同，只能確定當模擬次數夠多時，計算結果接近正確值的機率很高。2.程式計算所需的時間太長 3.當抽取的隨機變數品質不佳時，會影響到計算的結果。為了改善這些缺失，下節將介紹改良蒙地卡羅法評價效率的可行方法。

引用 3.1 節的結論， $\ln S$ 在期初到 T 此時區的變化為常態分配：

$$\ln S_T - \ln S_0 \sim \phi \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma \sqrt{T} \right]$$

上式也等於

$$S_T = S_0 \exp \left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T + \sigma dz \sqrt{T} \right] \quad (3.12)$$

蒙地卡羅的工作，就是不斷的從上式中， dz 這個 Wiener 過程的母體中取樣。給定變數初始值、 μ 及 σ 後，我們就可以藉由抽取一個 dz 來模擬計算下一次的變數值。如此由前往後地計算至變數的生命週期結束。如此變可以模擬出變數生命週期中的一條可能路徑。模擬次數愈多，模擬出來的路徑集合愈接近變數母體的機率分配。

3.3.2 對偶變數法 (Antithetic variates)

使用蒙地卡羅法評價時，評價結果的精確度隨模擬的次數增加而提高，但是其計算所需的時間也會不成比例的提高。此外，如果抽取隨機變數的品質不佳，也會影響到蒙地卡羅法評價的品質。在上述的蒙地卡羅過程中，會從標準常態變數的母體中抽樣。標準常態變數的母體平均值為 0，而且母體的分配左右對稱。但是從該母體抽取樣本時，樣本的平均值不見得為 0，且其分配不會左右對稱。為了讓抽樣的樣本和原來母體具備有相同的統計性質，可採用的 antithetic variates 的方式。在本方法中，每抽取一個常態隨機變數 ε 時，就同時產生另一個常態隨機變數 $-\varepsilon$ 。由於 $E(\varepsilon) + E(-\varepsilon) = 0$ ，所以樣本的平均值為 0，且抽樣的樣本分配左右對稱。

對偶變數法一次必須計算兩個價格估計值。第一個估計值 f_1 是以一般方法算出，接著改變自標準常態中抽出的隨機樣本之正負符號後，算出第二個做值 f_2 (若以 ε 計算 f_1 ， f_2 就用相對應的 $-\varepsilon$ 來計算)。而 f_1 與 f_2 的平均值就是一次模擬所算出的商品樣本值。由於這兩個值中會有一個大於真實值，另一個小於真實值，因此求出的結果較準確。

定義 f 為 f_1 與 f_2 的平均值，所有試驗得到的 f 之平均值就是最後估計出來的專案價值。若 ω 為 f 的標準差， M 為模擬次數 (指總共算了幾“對”估計值)，則估計值的標準差等於 $\omega / \sqrt{M}$ ，這通常會比試驗 $2M$ 次的標準差小很多。

圖 3-2 顯示出使用對偶變數法前後路徑的模擬結果。控制後的路徑較為均稱，會比較接近理論的路徑分配結果。圖 3-2 中路徑參數為 $S_0=100$ 、 $\mu=0.03$ 、 $\sigma=0.05$ 、 $T=20$ 。

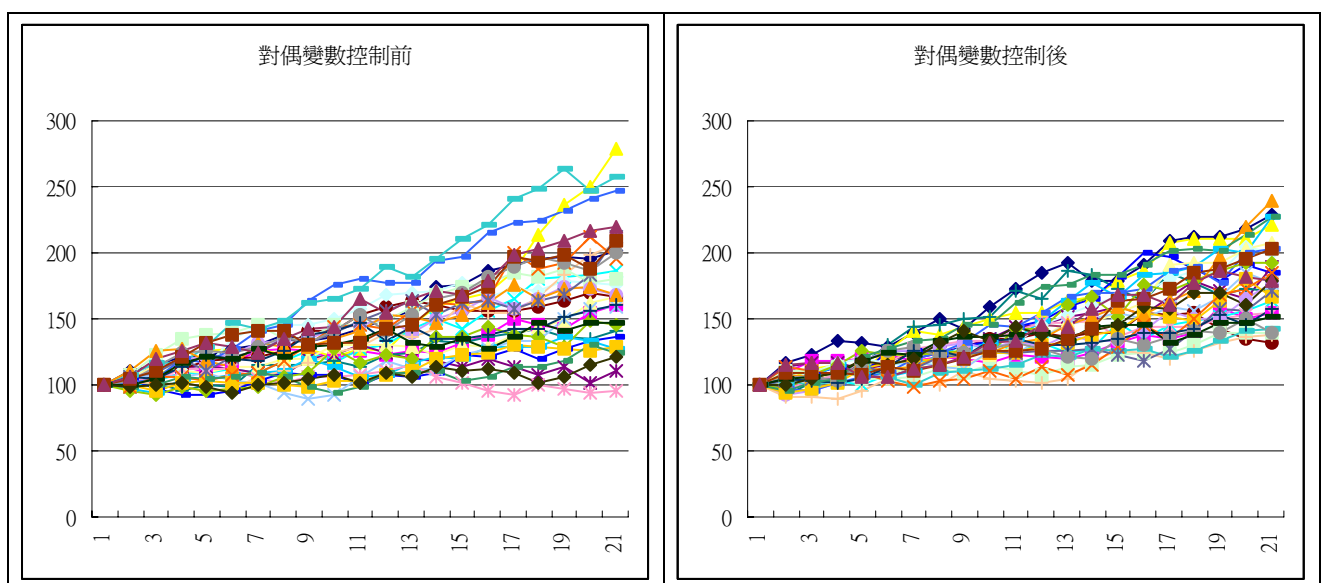


圖 3-2 對偶變數法比較圖

3.3.3 Cholesky 分解法 (Cholesky decomposition)

一般而言，欲模擬之標的變數可能不只一個，而且變數間可能有相關性存在。如果我們希望在抽取自標準常態分配的兩個相關樣本，可以利用 Cholesky 分解法來決解這個問題。考慮服從以下過程的兩個變數，其中兩個變數變化率之相關性為 ρ 。

$$\frac{dS_1}{S_1} = \mu_1 dt + \sigma_1 dz_1$$

$$\frac{dS_2}{S_2} = \mu_2 dt + \sigma_2 dz_2$$

首先自標準常態分配中抽取兩個獨立樣本 x_1, x_2 ，則樣本 dz_1 及 dz_2 的算法如下：

$$dz_1 = x_1$$

$$dz_2 = \rho x_1 + \sqrt{1-\rho^2} x_2$$

上式以矩陣表示為：

$$\begin{bmatrix} dz_1 \\ dz_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho & \sqrt{1-\rho^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \rho & \sqrt{1-\rho^2} \end{bmatrix}, \Lambda \times \Lambda^T = \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$$

若我們需要 n 個取樣日常態的相關樣本，且 i, j 間的相關係數為 ρ_{ij} 。首先由標準常態分配中抽取 n 個獨立變數 x_i ($1 \leq i \leq n$)，則我們要的樣本 dz_i ($1 \leq i \leq n$) 如下

$$dz_i = \sum_{k=1}^i \alpha_{ik} x_k$$

要使 dz_i 有正確的變異數，及 dz_i ($1 \leq j < i$) 之間有正確的相關係數，必須使

$$\sum_{k=1}^i \alpha_{ik}^2 = 1, \quad 1 \leq j \leq i$$

$$\sum_{k=1}^j \alpha_{ik} \alpha_{jk} = \rho_{ij}, \quad j < i$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & 1 & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \quad \Lambda \times \Lambda^T =$$

以上這個方法就是 Cholesky 分解法 (Cholesky decomposition)。

Cholesky分解法的理論及方法如下，若A為一正定矩陣（相關係數矩陣必為一正定矩陣），則A可被分解為如 $A=GG^T$ 的形式，其中G為下三角矩陣且其主對角線上的項皆為正數（且分解的方式為唯一的）。

若 $A = (a_{ij})$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ g_{n1} & g_{n2} & \cdots & g_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n} \\ 0 & g_{22} & \cdots & g_{2n} \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & g_{nn} \end{bmatrix}$$

首先找出 g 的第一行：

Step1

$$\alpha_{11} = g_{11}g_{11} \\ \Rightarrow g_{11} = \sqrt{\alpha_{11}}$$

Step2

$$\alpha_{21} = g_{21}g_{11} \Rightarrow g_{21} = \frac{\alpha_{21}}{g_{11}} \\ \vdots \\ \alpha_{n1} = g_{n1}g_{11} \Rightarrow g_{n1} = \frac{\alpha_{n1}}{g_{11}}$$



接著再求 g 的第二行：

$$\alpha_{22} = g_{21}g_{21} + g_{22}g_{22} \Rightarrow g_{22} = \sqrt{\alpha_{22} - g_{21}^2}$$

$$\text{In general, For } j=1 \cdots n, g_{ij} = \sqrt{\alpha_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} g_{jk}^2}$$

$$g_{ij} = \frac{(\alpha_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} g_{ik}g_{jk})}{g_{jj}}, i = j+1 \cdots n$$

以行的方式來找出 g_{ij} （先找 g_{ii} 再找 g_{ij} ）。

3.4 小結

本章介紹的研究方法，是為了從大量的歷史資料中，找出不確定性因子的隨機發展過程，並且相信未來不確定性因子的發展會遵循此隨機過程。以此為基礎，再以蒙地卡羅法模擬未來不確定性因子的發展路徑，當作後續評估分析之依據。

因此在處理我們所觀察到的歷史資料上，我們要先考慮該歷史資料的數據是否受到外在因素影響。以高速公路交通量來說，可能的外在因素有其他交通替代方案，或是受限於高速公路容量上限，使得觀察到的交通量成長率不如預期等。

以圖 3-3 來說，圖中數據為國道一號高速公路的總交通量成長。我們可以發現資料取樣期間如果在民國 67 年到 80 年間，會有較高的平均年成長率。然而較長的取樣期間從民國 67 年到 95 年間，變得到較底的平均年成長率。要找出交通量的正確發展型式，我們應使用未受到容量上限影響之民國 67 年到 80 年的資料當作未來預測的基準。

若是考慮到其他交通替代方案（如二高通車）的外在因素，可行的做法是將二高的車流量也考慮進來，以期求得高速公路使用者整體的成長發展型式。

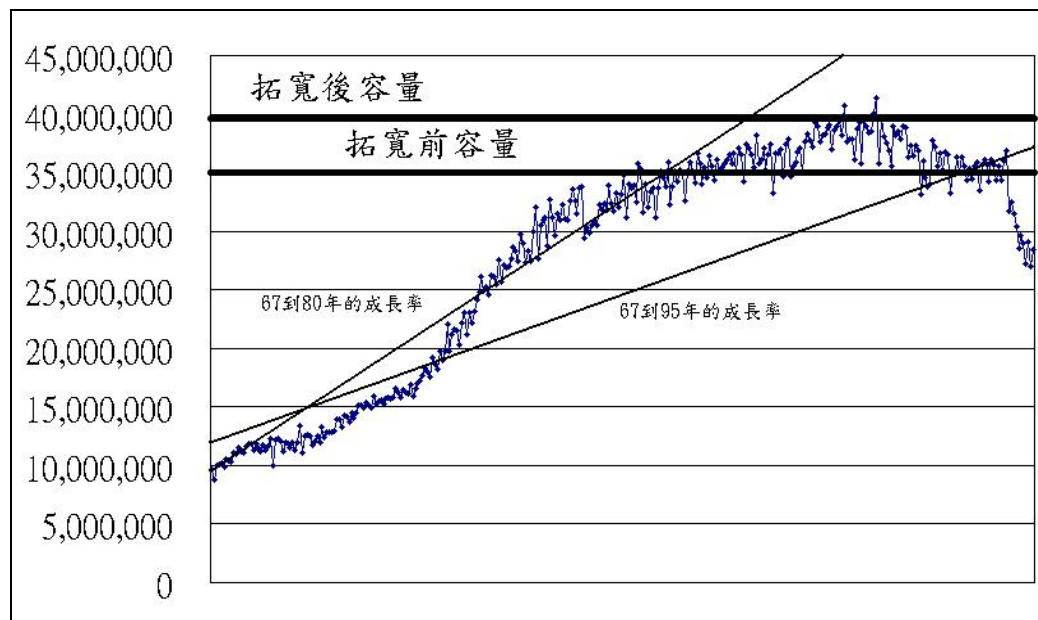


圖 3-3 資料取樣比較圖

另一方面，資料取樣的頻率也是很重要的一環。以高速公路交通流量歷史資料來看，我們發現月資料的交通量成長，並不是我們預期的隨機過程，年資料的交通量成長才是。月資料可能有其季節性的交通特性存在，而年資料的隨機過程是由月資料的非隨機過程組合而成，因此使用交通量歷史資料時，宜以年度的資料當作未來預測的基準。

第四章 模型介紹

在高速公路系統的生命週期中，需要進行許多複雜的決策。在規劃階段，決策者必須考量地區特性、使用者需求、對使用者的利益等因子。在設計階段時需決定的設計參數有：線路規劃、設計速度、車道數目、路權寬度、幾何樣式、排水系統及交流道等。每一種設計參數可能提供不同程度的決策彈性。

高速公路完成後，也可能要進行維護及拓寬等決策以因應大環境的變化。藉由高速公路系統生命週期中附加的實質選擇權，我們可以探討那些方案可以提供未來決策彈性，或那些方案可以及時彈性地執行以因應系統中的不確定性。

4.1 模型中的實質選擇權

高速公路投資過程通常包括五個階段：規劃、初步設計、細步設計、用地取得與興建。興建營運後，隨著交通流量成長達到設計流量，此時高速公路將面臨拓寬決策。在整個高速公路發展的生命週期中，拓寬決策是不可乎視的一環，因此在初期的投資決策中就應該考量後續可能的拓寬行為。然而傳統的高速公路投資方案評估過程，並沒有把此一拓寬行為考量進去，因此可能會低估了投資的效益。

以下將建構一個動態而彈性的高速公路投資評估模式，以解決傳統上靜態且不具彈性的評估模式之缺點。我們將應用實質選擇權的方法，來評估此拓寬行為的效益。我們使用 Trigeorgis and Mason 於 1987 年所提出的，包含彈性決策之選擇權價值的“擴展”

(expanded) NPV，如下式：

$$\text{擴展 NPV} = \text{靜態的 NPV} + \text{實質選擇權效益}$$

其中實質選擇權效益為未來可能的拓寬行為所帶來的效益。又該實質選擇權可以由決策者在不同的時點履行，是一美式買權，因此要完整評估此實質選擇權的效益，要同時考量何時執行以及執行何種拓寬方案。

本研究評估此實質選擇權效益的方法，是以 Zhao and Tseng 等 (2004) 提出的模型構架為基礎，額外考量拓寬工程實際面的問題所發展出來的，是一個較為實務可行的評估型模。本模型主要額外處理的是拓寬工程的施工時間長短問題，亦即執行拓寬選擇權的不是瞬間執行完畢。另一個處理的重點是營建物價指數的變動，對拓寬決策的影響。本章後面將詳細的討論此因子的影響。

4.2 模型中的不確定性因子

高速公路生命週期中無疑地有許多不確定性因子，一些會影響投資決策的外部不確定性因子如：交通需求、土地價格、興建成本、社會經濟環境、土地可得性及自然災害等。而本研究所欲探討的實質選擇權（拓寬決策），將只受到以下三個不確定性因子影響，分別是交通流量需求、土地價格及營建物價指數。

4.2.1 交通流量需求

交通流量的基本量測單位是年平均的日交通流量（annual average daily traffic, ADT），指一年平均下來每日 24 小時通過某一特定地點的車量數。該基本量測單位亦可轉換成其他指標。通常規劃評估以一年為單位，因此交通流量的量測單位亦可直接使用一年觀察到的年交通流量（annual traffic, AT）。

雖然每條高速公路規劃時都有進行流量預測，然而預測結果通常有些潛在的缺陷導致預測失真，包含：資料品質及模型準確度、高速公路系統穩地性、土地使用、旅運行為及時間價值等。其他的缺陷可能在存於高速公路系統完成後，政治社經環境的變動。這些缺陷導致流量預測的不準確，最後成為了高速公路系統中的不確定性。

交通流量有隨時間的變動性，本研究假設流量需求 F 的模型，為以下的隨機過程：

$$\frac{dF}{F} = \mu_F(F, t)dt + \sigma_F dz_F \quad (4.1)$$

其中 z_Q 為 Wiener 過程，而 $\mu_F(F, t)$ 為流量的漂移項， σ_F 為流量的變動項。正的漂移項指不確定性有隨時間增加的傾向；而較大的變動項值代表不確定性本身較不穩定。使用方程式(4.1)的好處是可以程現出交通流量需求的變動性。雖然方程式(4.1)是連續的隨機過程，但我們在履行時可以使用離散的時間點去模擬之。

4.2.2 土地價格

土地價格依時間而變動。一塊土地的市值應該以它所能提供最好的使用情況來評估，地價評估通常以下列三種方式之一履行：成本、銷售比較及資本化收入。本研究假設土地價格 L 的模型，為以下的隨機過程：

$$\frac{dL}{L} = \mu_L(L, t)dt + \sigma_L dz_L \quad (4.2)$$

其中 z_L 為 Wiener 過程，而 $\mu_L(L, t)$ 為土地價格的漂移項， σ_L 為土地價格的變動項。

4.2.3 營建物價指數

本研究使用臺灣地區營造工程物價指數作為工程成本的修正值。民國 62 年，國際間首次發生能源危機，國內外物價普遍上漲。政府為避免因營建材料及工資大幅上漲，影響已發包工程進度，乃自 64 年度起在中央政府總預算執行條例中明定以「臺灣地區躉售物價分類指數之營造業投入物價指數」作為補償救濟手段，由於該指數只涵蓋材料部分，工資並未納入，未盡周延；78 年度起，材料價款仍用「臺灣地區躉售物價分類指數之營造業投入物價指數」，而工資價款則依據「臺灣地區營造業受雇員工平均經常性薪資指數」。至於地方政府方面，臺灣省政府及臺北市政府主計處自民國 70 年起分別編有「臺灣省營造工程物價指數」及「臺北市營造工程物價指數」，除總指數外，另細分為材料及勞務（含工資及設備租金）兩類指數，作為調整工程價款依據，而高雄市政府則援用中央政府總預算執行條例規定辦理。

鑑於中央政府及省、市政府調整工程條款依據不同指數，且民國 77 年來營造工程勞務類指數漲幅與營造業受雇員工薪資指數漲幅差距較大，造成因適用指數不同而補償金額差異現象。故為衡量整體營造工程價格變動狀況，提供調整工程價款之適當指數，於 79 年 6 月組成專案小組，研究「臺灣地區營造工程物價指數」查編方式，並自 80 年 1 月起試編，同年 7 月正式編布。

總指數下分材料及勞務 2 個大類，12 個中類；另依工程性質編算建築工程及土木工程兩複分類指數。建築工程下再分住宅商店類、工廠倉庫、辦公室類、學校類，土木工程下再分道路類、橋樑類、地下管道類、河川整治類。為簡化模型，本研究僅使用總指數當作高速公路工程成本的修正值。

本研究假設臺灣地區營造工程物價總指數 I 的模型，為以下的隨機過程：

$$\frac{dI}{I} = \mu_I(I, t)dt + \sigma_I dz_I \quad (4.3)$$

其中 z_I 為 Wiener 過程，而 $\mu_I(I, t)$ 為物價指數的漂移項， σ_I 為物價指數的變動項。

4.2.4 不確定性因子間的相依性

我們考慮的變數之間可能存在一定程度的相依性。在經濟發展的情況下，可能會造成當地的土地價格上漲；另一方面，也可能因為較多的經濟活動，而產生更多交通需求量。因為某些誘因而產生出交通量，也會促進當地社會經濟情況，結果導致當地土地的開發使用而增加土地價格。同理也可能因為當地經濟發展而需要興建較多的建物，導致當地營建物料需求上升，物料價格亦跟著上漲。交通需求量、土地價格及營建物價的發展變化，可能因為局部性的發展而受到某些正的相關性。要將以上相依性考慮到模型中，我們需要在這三個變數隨機發展的 Wiener 過程中加入彼此間的相關係數

$$\Lambda \times \Lambda^T = \begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{LF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FL} & \rho_{LL} & \rho_{IL} \\ \rho_{FI} & \rho_{LI} & \rho_{II} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

其中 Λ 便是 dz 取樣時所需的係數矩陣。

另外為了簡化模型，本研究隱含一個假設，即決策者所決定的決策，並不會改變上述三個不確定性因子的發展。這個假設實際上可能不正確，舉例來說，高速公路擴張可能會使得原本的交通需求量以更快的速度成長，土地價格也及營建物價也可能因此決策而有所反映。如果要完全地處理關於決策變數與不確定性之間的相依性問題，那麼這個問題就變成了一個均衡問題，通常而言此均衡問題將會變得非常複雜而難解。

4.2.5 不確定性因子的離散化

當我們將交通需求量、土地價格及營建物價指數當作是連續時間隨機過程來處理時，我們不表明他們每一秒都是連續的，也不表明他們的觀察資料是由連續的機制得到。相反地，我們使用近似的連續時間隨機過程，該過程的偏差率（drift rate）及擴散率（variance rate）便指明了模型中的不確定性因子是連續時間發展的。實際上，決策的訂定及決策的履行都是在離散的時間點上，因此這三個連續隨機過程必須行進離散化以供實際運用。我們使用一個比較迂迴的方法來處理此離散問，在離散的時間上取得的資料，轉化成為連續時間的隨機過程，然後再將此連續過程轉化回離散時間的資料以供實際上的決策運用，這個方法在實務上已被普遍的運用了。

4.3 模型建構

在上一節的三個不確定因子下，決策者必須持續地評估整個高速公路系統的價值，並妥善考量可行的實質選擇權（拓寬決策）以將其價值最大化。以下將介紹其數學模型。

4.3.1 模型的數學公式表述

先前我們已定義了 F_t 及 L_t 分別為 t 時期的交通需求量及土地價格，接著我們定義模型中其他參數及變數的標注代號。

t =時間指標 ($t=0, \dots, T$) 以年表示，其中 T =高速公路系統生命週期長度。 n_t =在 t 期時的車道數； Δn_t =在 t 期時決定要擴張的車道數； w_t =在 t 期時的路權寬度，這裡我們假設高速公路延線的路權寬度是均勻的； Δw_t =在 t 期時決定要擴張的路權寬度，其中 $\Delta w_t \geq 0$ ； ω =一個車道的寬度； $c_t = (n_t, w_t)$ 是情況集合，指在 t 期時的車道數及路權寬度的情況變數； $d_t = (\Delta n_t, \Delta w_t)$ 是決策集合，指在 t 期時增加額外車道數及路權寬度的決策變數； $X_t = (F_t, L_t, I_t)$ 不確定性因子的集合，指在 t 期時的不確定性變數值（交通需求量、土地價格及營建物價指數）。

收入方程 $R_t = (c_t; X_t)$ ，指在 t 期時的營運情況及不確定性下，所呈現的淨收入，其淨收入已扣除掉高速公路其他的營運花費。資本支出方程 $E_t = (d_t; c_t)$ ，指在 t 期時的營運情況下，作出的決策變數所反應的決策成本支出。

初步模型如圖 4-1 所示：在 t 期時所觀察到的交通流量，或許超過現有車道（深色區）能提供的容量；也或許還在設計容量內，經過收費站時可產生一組淨現金流 R_t 。決策者可以考慮拓寬車道量（淺色區）以增加收入，這個決策的土地成本可以由 t 期時所觀察到的土地價格來決定，而資本支出為 E_t 。高速公路生命週期中，各期的現金流即由各個 R_t 與 E_t 組成。

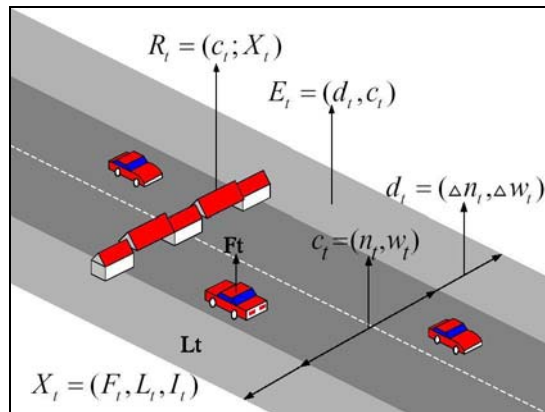


圖 4-1 模型概念圖

4.3.2 細部模型

本節將呈現模型中收入方程 $R_t = (c_t; X_t)$ 與資本支出方程 $E_t = (d_t; c_t)$ 的細節。

1. 收入方程

本研究假設高速公路容量是車道數目的線性式。即將要興建或正在興建的高速公路的收入方程為 0。對現存的收費高速公路而言，其收入方程為以下的線性方程：

$$R_t = (c_t; X_t) = \gamma \min(\alpha \times n_t, Q_t) \quad (4.5)$$

其中 γ 為單位流量一年的平均收入， α 為車道的設計容量。所以交通量收入是取設計的總容量與當期交通需求量的最小值，再乘於平均收入可得。

交通量收入 = 單位平均收入 $\times$ $\min$ (設計容量 $\times$ 車道數，t 期的交通需求量)。

2. 資本支出方程

決策的資本支出方程為拓寬興建成本與土地購買成本兩項成本的總合，我們用以下的線性方程表示之：

$$E_t = (d_t, c_t) = d(I_t \times c_n \Delta n_t + L_t \Delta w_t) \quad (4.6)$$

其中 d 為路段長度， c_n 為單位長度一個車道的興建成本。

資本支出 = 長度 $\times$ (營建物價指數 $\times$ 興建成本 $\times$ 增加車道數 + 土地價格 $\times$ 額外路權)。

我們進一步說明資本支出方程中的單位興建成本， c_n 。拓寬工程本身的技術性較高，以國道一號的拓寬工程來說，工程本身以邊坡增設車道為主，邊坡穩定的施工增加施工難度。而在施工前，原本路堤處有埋設許多管線，管線遷移也增加施工成本。另外因為屬於拓寬工程，為了不影響原有車道的交通，施工時間會規劃在夜間時段或其他交通量較少的時段。因此單位興建成本也會提高。

工法選擇也是一個增加拓寬單位興建成本的因素。以汐止到五股高架橋拓寬為例，因為要拓寬的車道數多，既有的土地量無法提供傳統路工車道所需，因而採取高架橋施工，其單位興建成本比起路工車道而言，提高了許多倍。

研究國道一號興建時與拓寬時的成本花費，我們排除營建生產力的變動，再以 4% 當作時間成本的折現率，本研究發現拓寬工程及興建工程的單位興成本有極大差異。楊梅到高雄的拓寬工程，其單位成本 (百萬/車道 $\times$ 公里) 約為原始興建工程的 1.65 倍；汐止到五股的拓寬工程約為原始興建工程的 6.4 倍，此差異即由施工困難度的不同而來，詳細資料請見附錄二。

4.4 模型求解演算法

4.4.1 模型求解的難度

本研究所提出的高速公路決策模型，是一個困難的隨機最佳化問題。它涉及到在不同階段下，多個相關性因子的隨機過程下的整數規劃。如第二章提到的，本模型中的附加的實質選擇權（拓寬決策）是美式選擇權。眾所皆知的是，美式選擇權的評價困難主要在於決定選擇權履行時點的決定。雖然在財務金融領域中，有大量的文獻致力於美式選擇權的評價，但我們 4.2 節提到的均衡問題仍然是一個尚未解決的挑戰。以下整理出財務的美式選擇權與本研究的實質選擇權之間，兩個主要的區別。

一、財務選擇權通常只包含兩個方案：履行或不履行。然而我們所提出的模型包含了更多方案選擇。方案的選擇包含了：1. 是否要預先取得土地，要取得多少、要何時取得？2. 是否要拓寬高速公路，要拓寬多少、要何時拓寬？3. 選擇那一種拓寬方式，路堤或高架橋？而且在履行這些方案選擇時，還有許多條件限制，然而在財務選擇權評價中並沒有履行時的限制在。

二、財務上的選擇權在履行的一瞬間，就可以知道現金流或收益。相對應的，財務上的選擇權一旦履行了，其現金流也終止了。然而，本模型的決策訂定後，其伴隨而來的現金流不會馬上終止，而且會一直持續到計畫年限結束。另外，高速公路系統中，決策帶來的效益也可能要到很多年以後才會被觀察到。

4.4.2 演算法的發展

本模型中各期的自由現金流量為 FCF_t ，該現金流量是由收入方程 $R_t = (c_t; X_t)$ 與資本支出方程 $E_t = (d_t; c_t)$ 決定，即

$$FCF_t = R_t + E_t \quad (4.7)$$

決定各期 FCF_t ，以折現現金流量法求得投資初期整個高速公路系統的淨現值（NPV）。

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \quad (4.8)$$

其中 r 為折現率。不同的投資方案與決策方案，以及決策時點都會影響該淨現值的大小。為解決此決策問題，本研究提出以下演算流程：

一、模擬產生多組不確定性因子

首先就本研究三個主要不確定性因子，交通流量、土地價格及營建物價指數的發展進行分析。確定每個不確定性因子其發展的偏差率（DR）及擴散率（VR）後，再確認三個不確定性因子間的相關性。之後運用蒙地卡羅法模擬它們的發展行為，隨著時間模擬不確定性因子可能的發展情況，並盡可能的模擬大量的因子發展路徑，以作為後續評估時的有效依據。

二、期初興建方案選擇

我們先排除未來可能的拓寬決策，開始進行興建期各個不同方案（車道數與路權寬度）的評價。評估一興建方案，由剛才模擬出的 n 條不確定性因子發展路徑，我們可以取其中一條不確定性因子發展路徑，來決定出該方案興建期的資本支出現金流 $E_t = (d_t; c_t)$ 及營運期每個時點的收入現金流 $R_t = (c_t; X_t)$ 。

由式(4.7)求得各個時點的自由現金流 FCF_t ，再以式(4.8)將各時點的現金流折現至初期以求得該方案在這一條不確定性因子的發展路徑下，其興建初期的淨現值（NPV）。再以同樣的方式處理所有 n 條模擬出的路徑，我們可以得到一組淨現值的集合

$$\{NPV_1, NPV_2, \dots, NPV_n\} \quad (4.9)$$

計算該集合的平均值與標準差後，我們可得知選擇這此方案所產生的淨現值期望值 μ_{NPV} 與淨現值標準差 σ_{NPV} ：

$$\mu_{NPV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NPV_i \quad (4.10)$$

$$\sigma_{NPV} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (NPV_i - \mu_{NPV})^2} \quad (4.11)$$

此時我們在步驟二所求得的淨現值就是傳統的淨態 NPV。

三、未來拓寬決策選擇

最後我們要評價的是，若考慮未來可能的拓寬行為，該興建方案的價值會是多少。同樣的我們先選定一個興建方案，接著評估此方案下每個可能的拓寬方案。加入一個新的拓寬方案，我們就會有拓寬行為所需的資本支出現金流 $E_t = (d_t; c_t)$ ，而拓寬後的收入現金流 $R_t = (c_t; X_t)$ 也會因拓寬行為而改變。

我們一期一期地移動不同的拓寬時點並觀察淨現值集合的變化，選取淨現值集合望值最大的時點當作該拓寬方案最佳的拓寬時點。以同樣的方式處理該興建方案其他可能的拓寬方案來作比較，選取淨現值集合最大的拓寬方案及其拓寬時點，當作該興建方案

最佳的拓寬決策及最佳的拓寬時機。此時我們在步驟三所求得的淨現值就是考慮彈性決策的選擇權價值下，所得到的“擴展”（expanded）NPV。

將該擴展 NPV 與步驟二求得的靜態 NPV 作比較，我們便可知道一個高速公路興建方案未來可能面臨的拓寬行為，會為此方案帶來多少的效益。

$$\text{實質選擇權效益} = \text{擴展 NPV} - \text{靜態的 NPV}$$

假設某高速公路投資計畫，一開始有 m 種興建方案可以選擇，後續有 n 種拓寬方案可以選擇。那麼我們每一個時期 t 最多要評價 $m \times n$ 次，由此可知本演算流程的計算需求度很高。其演算流程如圖 4-2 所示。

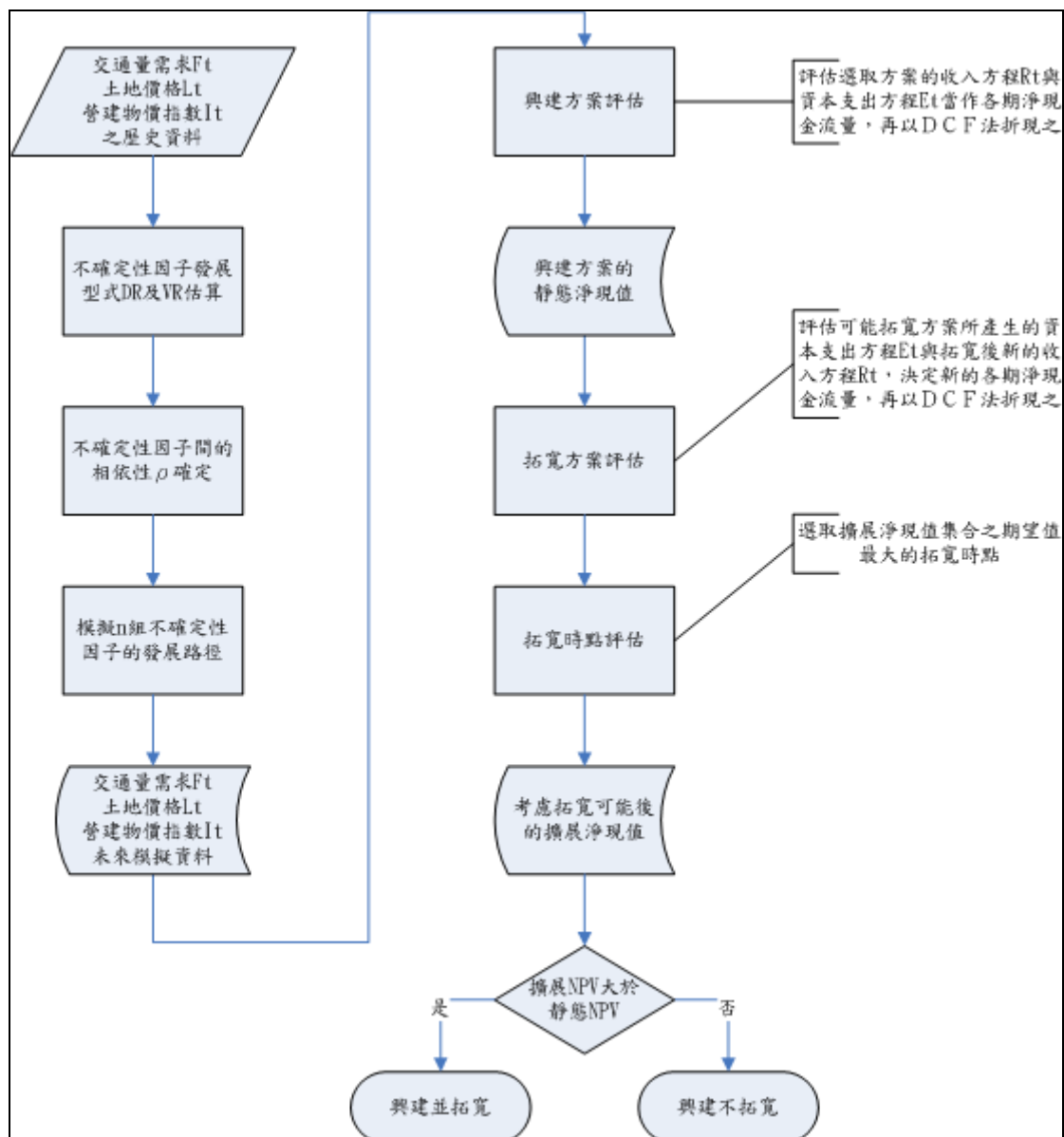


圖 4-2 演算流程圖

4.5 數值案例

4.5.1 數值案例求解演算

接著我們以一個數值案例來解譯如何運用本研究提出的模型，案例中的參數是參考相關歷史資料而取得的合理數字。我們依照上一節的流程來進行說明，首先是試擬案例中的三個不確定性因子的發展型式。

交通需求 F ：

$$\frac{dF}{F} = 0.05dt + 0.02dz_F, F_0 = 100,000 \text{ (ADT)}$$

土地價格 L ：

$$\frac{dL}{L} = 0.1dt + 0.02dz_L, L_0 = 3000 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

營建物價指數 I ：

$$\frac{dI}{I} = 0.02dt + 0.02dz_I, I_0 = 100\%$$

其中三個不確定性因子 dz 的相關係數為：

$$\begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{LF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FL} & \rho_{LL} & \rho_{IL} \\ \rho_{FI} & \rho_{LI} & \rho_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.1 & 0.15 \\ 0.1 & 1 & 0.2 \\ 0.15 & 0.2 & 1 \end{bmatrix}$$

接著考慮一個高速公路投資機會，我們有三個可行的興建方案，其車道數及路權寬度如下：(6 車道，22.5 公尺)；(6 車道，30.0 公尺)；(8 車道，30.0 公尺)。最大的路權寬度為 30.0 公尺，最大可行的車道量為雙向 8 車道。其方案選擇整理如表 4-1 所示。

表 4-1 案例方案選擇表

興建期方案選擇：	拓寬方案選擇：
方案一：6 車道，22.5 公尺	拓寬至 8 車道，30.0 公尺
方案二：6 車道，30.0 公尺	拓寬至 8 車道，30.0 公尺
方案三：8 車道，30.0 公尺	無拓寬

限制條件：

$$n_{t+1} = n_t + \Delta n_t \leq 8$$

$$w_{t+1} = w_t + \Delta w_t \leq 30m$$

$$n_t \omega \leq w_t$$

接著我們要估算產生收入現金流 $R_t = (c_t; X_t)$ 及資本支出現金流 $E_t = (d_t; c_t)$ 的參數。案例是一個為期 25 年的高速公路工程，公路長度為 10 公里，其中每一車道的單位興建成本是 5 萬元/公尺。而未來拓寬工程的單位興建成本因條件而異，如果是有預留土地的拓寬工程，我們預期該單一車道單位成本與興建時的成本一樣是 5 萬元/公尺。而沒有預留土地的拓寬工程，因施工難度增加，預期該單一車道單位成本會提高到 10 萬元/公尺。規劃上設計一個車道寬是 3.75 公尺，設計流量為每天可通過 3 萬輛。該案例的系統參數整理如表 4-2 所示。

表 4-2 案例系統參數表

參數	單位
γ = 單位流量一年淨收入	10,000 元
α = 車道設計流量	30,000(ADT)
ω = 車道寬	3.75 公尺
d = 高速公路長度	10 公里
c_n = 單位興建成本	興建及有預留土地 5 萬元/車道公尺 無預留土地之拓寬 10 萬元/車道公尺
T = 規劃年限	25 年

時間單位以 1 年為區間，我們假設此案例的折現率為 5%，以蒙地卡羅法模擬不確定性因子 30 次為基礎來檢視評價此案例。交通需求量、土地價格及營建物價指數的模擬結果請見附錄三的表 5 至表 7。有了不確定性因子的模擬資料後，我們開始進行前述的演算過程。首先在不考慮未來拓寬可能的情況下，我們求出三個興建方案的淨現值集合，並求出各個方案的淨現值之期望值與標準差。

接下來我們要評估的是，考慮未來可能的拓寬行為下各個興建方案的系統價值。加入未來可能的拓寬方案，我們多處理拓寬所需的資本支出現金流 $E_t = (d_t; c_t)$ ，而拓寬後的收入現金流 $R_t = (c_t; X_t)$ 也會因拓寬行為而改變。我們一期一期地移動不同的拓寬時點並觀察淨現值集合的變化，透過選取淨現值集合望值最大的以決定最佳拓寬時點。方案一到方案三的現金流評估結果請見附錄三的表 8 至表 10。

我們將第二階段（不考慮拓寬決策）與第三階段（考慮拓寬決策），三個方案的淨現值期望值及三個方案的實質選擇權價值，整理如表 4-3 所示。

4.5.2 數值案例結果分析

如表 4-3 所示，不考慮未來可能的拓寬決策時，投資者於興建高速公路初期可能會選擇 8 車道，30.0 公尺路權的方案，因為該方案系統價值的期望值最高。然而若一開始我們能考量未來可能的拓寬決策後，我們可以發現選擇 6 車道，30.0 公尺路權的方案有最高的系統價值。投資者不在一開始就興建全部的車道數，而是採用土地預留的方式，待未來流量成長後再進行拓寬。

表 4-3 案例評估結果

系統價值 興建方案	考慮拓寬(步驟三) 擴展 NPV(百萬)	不考慮拓寬(步驟二) 靜態 NPV(百萬)	拓寬決策之價值 選擇權效益(百萬)
(6 車道, 22.5m)	18,334	17,778	556
(6 車道, 30.0m)	19,233	17,553	1,680
(8 車道, 30.0m)	18,975	18,975	0

接著我們探討方案選擇與不確定性因子中的交通流量與土地價格的起始值，這三者之間的關係。固定案例中的其他參數不變，重覆行進演算過程，其結果如圖 4-3 所示。很明顯的，最佳的興建方案隨著不確定性因子的起始條件不同而變動。一般來說，較高的交通量需求會需要較多的車道數，並且鼓勵決策者預留較多的地土（如果土地價格夠低且決策者的財務足夠支撐之）。此論述看起來很直覺而明顯，但數值結果顯示兩者之間的關係並不只是那麼的平淡無奇。

以土地起始價格為 1500（元/平方公尺）的水平虛線來看，隨著起始交通流量需求起始值 F_0 的增加，最佳的方案選擇從不預留土地的方案一（6，22.5），到後來變成一開始就興建 8 車道的方案三（8，30）。另一方面，我們固定交通流量起始值以觀察土地起始價格對方案選擇的影響。結果顯示一般而言，土地起始價格對方案選擇並沒有太大的影響力。以交通流量起始值為 5 萬 ADT 的垂直虛線來看，土地價格變化對方案選擇沒有什麼影響。然而以交通流量起始值為 6 萬 ADT 的垂直虛線來看，土地價格起始值的上升會導致我們選擇不預留土地的方案一（6，22.5）。這是因為在土地起始價格太高的水準下，預先保留土地對未來的拓寬決策而言，顯得不是那麼有經濟效益。相對地，如果該土地起始價格夠低，決策者可以先預先買下地來，在未來進行拓寬以獲得更高的經濟效益，僅管拓寬後所獲得的額外利益，只比原先為了獲得此利益所支付的資本支出高一些。

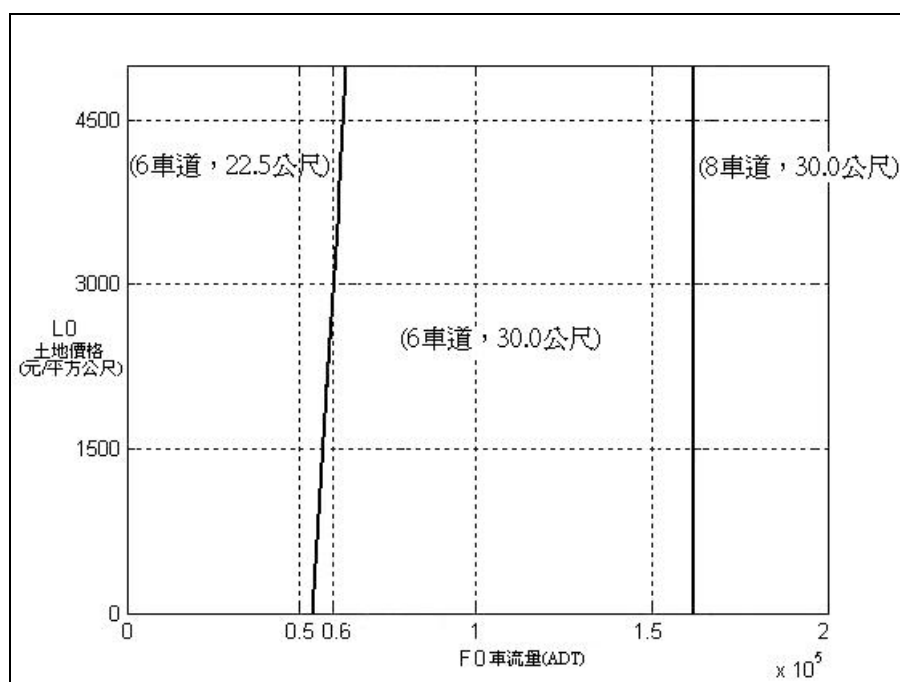


圖 4-3 方案選擇關係圖

另外我們再探討因為營建物價上漲所導致的興建成本增加，對系統價值與方案選的影響。我們考慮營建物價因子的偏差率從 0.02 上漲到 0.06，對各個方案評估結果的影響。如表 4-4 所示，在營建物價因子的偏差率為 0.04 以下時，其差異雖不足以改變一開始興建方案的選擇，但已經開始改變了方案的最佳拓寬時點。然而當偏差率到達 0.05 以上時，其差異就足以改變興建時的方案選擇了。整體來說，營建物價因子的偏差率愈高，各方案的最佳拓寬時點會往前移動，並且降低整體高速公路的系統價值。

圖 4-4 整理出營建物價因子的偏差率從 0.03 到 0.06 時，相對應的方案選擇關係圖。當營建物價因子的偏差率大於 0.05 時，方案的選擇只剩下方案一及方案三，只需考量車道是否要建到 8 車道，如果預測交通需求量足夠，那麼就開始興建 8 車道。因為營建物價高成長的水準下，保留土地未來再興建的方案沒有任何經濟效益。

表 4-4 營建物價因子影響表

單位：百萬元

營建物價因子 DR	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
(6 車道, 22.5m)	18,334(10)*	18,166(10)	17,997(6)	17,961(1)	17,941(1)
(6 車道, 30.0m)	19,233(11)	19,148(11)	19,058(10)	18,974(1)	18,964(1)
(8 車道, 30.0m)	18,975	18,975	18,975	18,975	18,975

*括號中的數字代表該方案最佳拓寬時點為興建後第幾年。

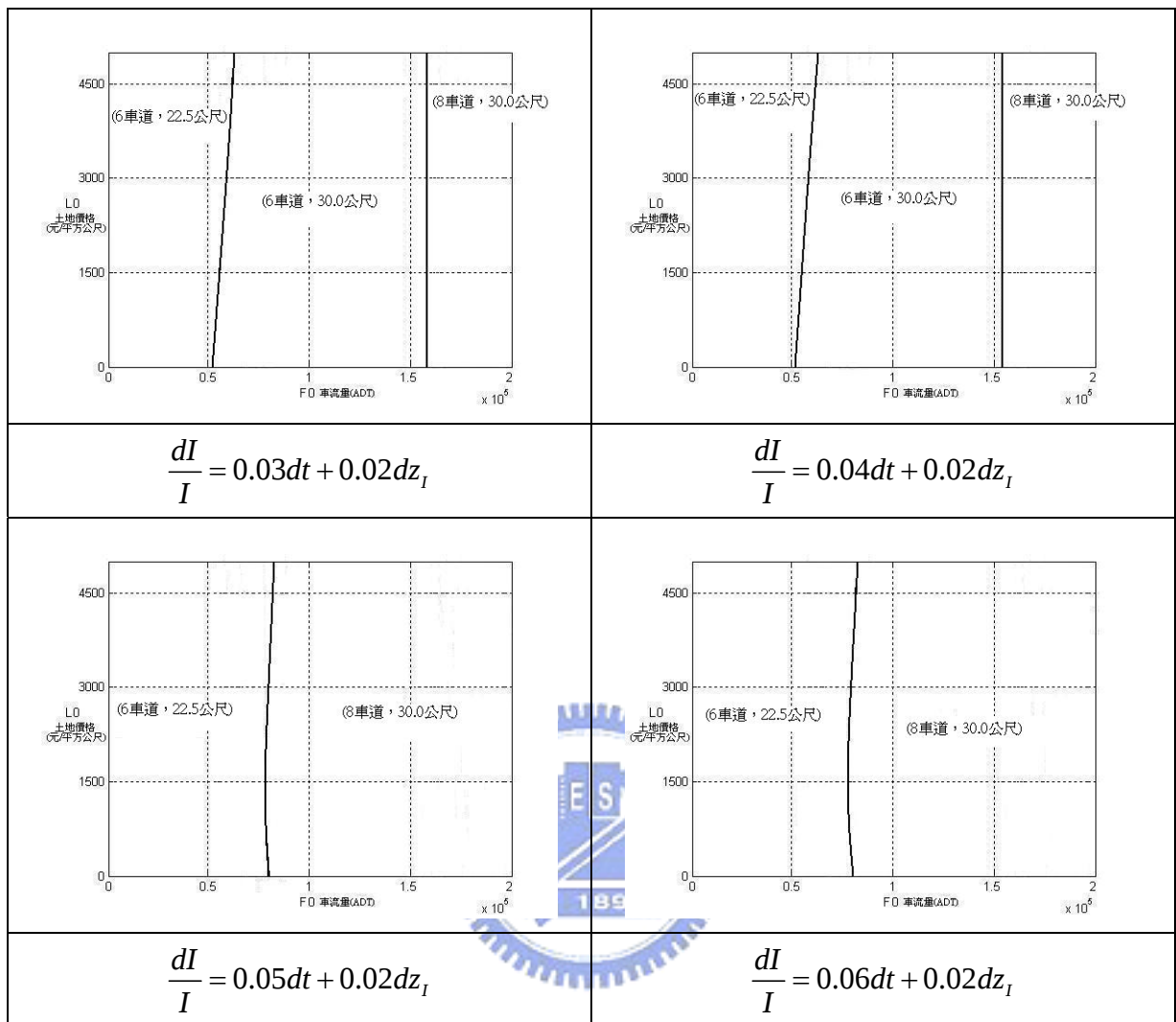


圖 4-4 營建物價因子與方案選擇關係圖

4.6 小結

藉由以上試擬的以高速公路興建案例，我們可以知道本研究提出的決策模型，可以提供的決策參考有：

1. 初期興建時，車道數量及用地寬度的選擇。
2. 未來拓寬時，車道數量及用地寬度的選擇。
3. 未來拓寬時，拓寬施工時點的選擇。
4. 用地取得時點所涉及的土地成本與工程造價的權衡。

第五章 實證案例分析

本章將使用國道一號中山高速公路楊梅交流道至新竹系統交流道拓寬工程計畫的案例，來說明如何將本研究所建構的評估模型，應用在拓寬時期的工程決策上。

5.1 計畫簡介

5.1.1 計畫緣起及依據

為紓解中山高速公路之交通壅塞，提升高速公路之服務水準，並因應台灣西部地區將來整體經濟與交通發展，以及促進區域間均衡開發之需要，高速公路局已完成中山高林口楊梅段拓寬及中山高汐止五股段高架拓寬工程，並已於八十四年度發包中山高新竹員林段拓寬工程。

奉行政八十三年五月十八日台八十三交一七六八二號函，就所報「中山高速公路新竹系統交流道一員林段拓寬建設計畫」一案，原則同意，並請照行政院經濟建設委員會之審議結論：「…為避免楊梅至新竹段形成另一嚴重瓶頸，應利用本計畫經費，提前辦理該路段之規劃設計作業，俾於正式核定建設計畫後，即據以辦理後續施工」。高速公路局據此自四十三年起著手辦理中山高捷公路楊梅交流道至新竹系統交流道拓寬工程規劃及設計委辦工作。

本計畫工程點為 68K+080，工程終點為 99K+650，因其中竹北及新竹兩交流道路段已配合交流導之增建或改善工程另案辦理，故實際作業長度僅 27.617KM。

5.1.2 計畫目標

一、紓解中山高台北至員林段之瓶頸，維持所有路段均為六車道以上，以對現有交通衝擊最小、最節省施工時間及經費，且符合路線設計規範之工法加以拓寬。有效紓解中山高楊梅新竹段容量不足問題。

二、於拓寬範圍內，不符合現有規範標準或運轉績效不良之路段及交流道，併案妥予改善，以順暢交通。

三、對高速公路相關附屬設施，因應目標年交通特性改變，擴建收費站及服務區設施容量，便利用路人使用。

四、配合地方性及高速公路需求作跟越橋、箱涵的拓建或改建；排水不良地區亦配合拓寬工程整體改善。

5.1.3 拓寬原則

1. 拓寬原則

自楊梅交流道至新竹系統交流道路段兩側各增設一車道及部份路段增設爬坡車道。另外拓寬工程中，以不購買額外用地為原則。

2. 拓寬方式

參酌部頒規範、國內外路究報告及中山高拓寬經驗，考量維持行車安全，避免影響車道容量及行車速限，採取下列方式拓建：

路堤及路塹部份：

1. 兩側各約拓寬三·二七公尺。
2. 車道寬由三·七五公尺縮減為三·六五公尺，設計速率不變。
3. 用地不足、跨越橋、增設爬坡車道及開挖邊坡不穩定等路段之中間分隔島改設八〇公分混凝土設欄，其餘路段保留中央分隔綠帶。
4. 內外側路肩仍維持一公尺及三公尺寬，惟用地不足路段，外側路肩予以局部縮減。
5. 外側改設擋土牆式混凝土設欄。

橋梁部份：

1. 參照原有基礎型式，設置獨立之下部結構，新設橋面板與原有橋面銜接。
2. 外側各拓寬三·七二公尺。
3. 車道寬由三·七五公尺縮減為三·六五公尺，內外側路肩寬度，維持一及三公尺。

5.1.4 資金規劃

本工程屬中山高楊梅高雄段拓寬計畫之一部分，高公局依據行政院八十一年十一月台（81）忠授三字第一三六八〇號函辦理修訂「第二高速公路建設暨中山高速公路拓建財務計畫」草案時，已將中山高速公路楊梅高雄段拓建經費一併納入。

依行政院八十三年五月十八日台八十三交一七六八二號函請照行政院經濟建設委員會之審議結論：「利用新竹員林段經費，提前辦理楊梅新竹段拓寬之規劃設計作業，俾於正式核定建設計畫後，即據以辦理後續施工。」經初步規劃結果，預估總工程經費為四十三億六千九百七十萬元。初步編訂分年資金需求如表 5-1 所示。

表 5-1 中山高楊梅新竹段建設期分年工程經費表

單位：億元

費用項目		會計年				總計
		85	86	87	88	
壹	一、規劃設計費	1.000				1.000
	二、拆遷補償費(含公共設施及管線遷移費)	0.200				0.200
貳	三、工程建築費	1.工程費	1.604	18.886	13.422	33.912
		2.管理費	0.024	0.284	0.200	0.508
		3.監造費	0.112	1.338	0.920	2.370
		4.配合地方設施改善費	0.100	0.242	-	0.342
		小計	1.840	20.750	14.542	37.132
	四、工務行政費		0.018	0.207	0.145	0.370
	五、工程預備費		0.074	0.829	0.582	1.485
	六、物價調整費(以年上漲率 4.0%估計)		0.068	1.537	1.908	3.513
分年費用合計		1.200	2.000	23.323	17.177	43.70

備註：1.第一項含補充測量費及鑽探費。

2.工程建築費含工程費、管理費(以工程費 1.5%編列)、監造費、配合地方設施改善費。

3.工務行政費係以工程建築費之 1%編列。(包括開辦費、人事費、事務費、業務費、維護費、交通運輸設備及其他設備費等)

4.工程預備費係以工程建築費之 4%編列。

5.交控系統由國工局統一辦理設計，費用已由北二高工程支應。

6.本表按民國 84 年 8 月之物價估算，已含物價調整費(第六項)。

7.依據行政院經建會台 83 交 40185 函通過，本工程經費 43.7 億，基金負擔 32.775 億，中央公務預算 10.925 億。

5.2 模型調整

欲使用國道一號中山高速公路楊梅交流道至新竹系統交流道拓寬工程建設計畫的案例，以進行實證研究之前，我們必須就本案例的個案情形，對評估模型進行調整。這個案例中，有兩個地方是模型需要調整的地方：

1. 不確定性因子

本拓寬工程中沒有額外購買土地的規劃，因此原本模型中所考慮的土地價格因子將會被移除。我們要觀察並模擬的不確定性因子剩下交通需求量及營建物價指數。而因子間的相關性也只考慮交通需求量與營建物價指數之間的關聯性。因此在這兩個因子隨機發展的 Wiener 過程中要加入的相關係數簡化成

$$\Lambda \times \Lambda^T = \begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FI} & \rho_{II} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

其中 Λ 便是在 dz 取樣時所需的新係數矩陣。

2. 資本支出方程

本拓寬工程中，因拓寬決策所產生的資本支出已被明確的估算出來，見表 5-1。因此這個時後我們可以不必要採用原本模型中，使用車道單位成本×路段長度的概估方法來評估。此時資本支出方程變得較為簡單，直接使用表 5-1 的資料使用即可。然而值得注意的是，表 5-1 中只有工程建築費用項會隨著營建物價指數波動，因此我們必須要先扣除表 5-1 中的物價調整費（年上漲率 4%那一項），再以我們模擬的營建物價指數去估算之。因此資本支出方程調整成為：

資本支出 = （營建物價指數×分年工程建築費用）+ 分年其他費用。

5.3 參數估計

模型加以調整後，我們便可以使用本研究提出的評估流程進行本案例的實證研究。首先我們要決定不確定性因子的發展參數以及之間的相關性，並進行其檢定過程。確定因子發展參數後，接著我們將會評估本案例中其他重要的系統參數，如單位流量淨收入（ γ ）及車道設計容量（ α ）等。

5.3.1 交通需求量參數估計

首先我們對楊梅收費站的交通流量歷史資料進行參數估計。民國 68 年到 84 年第一高速公路楊梅收費站的交通流量（小客車當量）以 f_j 表示， $j = 0, 1, \dots, 16$ ，如表 5-2 所示。假設流量的對數值 $F_j = \ln f_j$ ，其單位時間變化 $F_{j+1} - F_j$ 服從對數常態分配，會有一常數平均值 μ 及標準差 σ 。 μ 的最佳估計值為 0.0629， σ 的最佳估計值為 0.0736，如式(5.2)及式(5.3)所示。

表 5-2 楊梅收費站交通流量歷史資料

年度 j	f_j	$F_j = \ln f_j$	$F_{j+1} - F_j$
0	14,809,641	16.5108	-
1	17,036,926	16.6509	0.1401
2	17,817,034	16.6957	0.0448
3	18,691,047	16.7436	0.0479
4	20,294,162	16.8258	0.0823
5	22,745,563	16.9399	0.1140
6	24,146,310	16.9996	0.0598
7	27,241,184	17.1202	0.1206
8	31,881,592	17.2775	0.1573
9	37,126,286	17.4298	0.1523
10	41,788,270	17.5481	0.1183
11	44,079,482	17.6015	0.0534
12	43,792,257	17.5950	-0.0065
13	44,090,157	17.6017	0.0068
14	44,706,079	17.6156	0.0139
15	39,273,664	17.4861	-0.1296
16	40,543,792	17.5179	0.0318

資料來源：國道高速公路局。

$$\mu = \frac{1}{16} \sum_{j=0}^{16} (F_{j+1} - F_j) \quad (5.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(16-1)} \sum_{j=0}^{16} (F_{j+1} - F_j - \mu)^2} \quad (5.3)$$

由參數估計得知， $(F_{j+1}-F_j)$ 估計出的平均值 $\mu=0.0629$ 及標準差 $\sigma=0.0736$ 。接著我們需要檢定交通需求量的發展，是否如我們所假設的隨機過程：

$$(F_{j+1}-F_j)=0.0629dt+0.0736dz_F \quad (5.4)$$

其中 dz_F 為一個 Wiener 過程， dt 為一年。以下進行其適合度檢定及隨機性檢定。

1. 適合度檢定

整理表 5-2 的 16 個 $F_{j+1}-F_j$ 值如下：

0.1401	0.0448	0.0479	0.0823	0.1140	0.0598
0.1206	0.1573	0.1523	0.1183	0.0534	-0.0065
0.0068	0.0139	-0.1296	0.0318		

我們以 $\alpha=0.05$ 檢定此流量變化值是否為常態分配。

H_0 ：此分配適合 $\mu=0.0692$ ， $\sigma=0.0736$ 的常態分配

H_1 ：此分配不適合 $\mu=0.0692$ ， $\sigma=0.0736$ 的常態分配

樣本平均值 $=0.0629$ ，樣本標準差 $=0.0736$ ，故 2 個分割點分別為：

$$0.0629-0.489(0.0736)=0.0270$$

$$0.0629+0.489(0.0736)=0.0989$$

$F_{j+1}-F_j$ 值	實際次數 o_i	機率 Pro.	理論次數 e_i	$(o_i-e_i)^2/e_i$
0.0270 以下	4	0.3125	5	0.2000
0.0270-0.0989	6	0.3750	6	0.0000
0.0989 以上	6	0.3125	5	0.2000
和	16	1.0000	16	0.4000

$$\nu=3-1=2$$

$$\chi=0.4000 < \chi^2(0.95, 2)=5.99$$

差異不顯著，故接受 H_0 ，表示此對數成長值 $(F_{j+1}-F_j)$ 的分配可能適合 $\mu=0.0692$ ， $\sigma=0.0736$ 的常態分配。

2. 隨機性檢定

由參數估計得知， $(F_{j+1}-F_j)$ 估計出的平均值 $\mu=0.0629$ 及標準差 $\sigma=0.0736$ 。我們假設其遵循的隨機過程如下：

$$(F_{j+1}-F_j)=0.0629dt+0.0736dz_F$$

其中 dz_F 為 Wiener 過程， dt 為一年。我們已檢定出其適合常態分配，現在我們要檢定 dz_F 樣本的出現是否為隨機的。利用下式可將 $(F_{j+1}-F_j)$ 中的 dz_F 求出

$$dz_F = \frac{(F_{j+1}-F_j)-0.0629}{0.0736}$$

將 dz_F 依出現順序整理如下

1.0482	-0.2469	-0.2045	0.2628	0.6941	-0.0432
0.7832	1.2818	1.2138	0.7518	-0.1299	-0.9439
-0.7630	-0.6666	-2.6150	-0.4227		

我們以 $\alpha=0.05$ 檢定此 dz_F 值是否為隨機的。

H_0 ：此 dz_F 值是隨機出現的

H_1 ：此 dz_F 值不是隨機出現的

理論上 dz_F 為 Wiener 過程，該期望值為 0。我們用 “+” 代表大於等於 0 的出樣，以 “-” 代表小於 0 的出樣。此連檢定所產生之正負符號依次如下：

+ - - + + - + + + + - - - - -

$n_1=7$ ， $n_2=9$ ， $r=6$ ，當 $\alpha=0.05$ ，查表得 $r_L=4$ ， $r_U=14$ ， $r=6$ 在接受區內，故接受 H_0 ，表示 dz 值可能是隨機出現的。

5.3.2 營建物價指數參數估計

接著我們對營建物價指數的歷史資料進行參數估計。民國 80 年到 95 年臺灣區營建物價指數的總指數以 i_j 表示， $j = 0, 1, \dots, 15$ ，如表 5-3 所示。假設營建物價指數的對數值 $I_j = \ln i_j$ ，其單位時間變化 $I_{j+1} - I_j$ 服從對數常態分配，會有一常數平均值 μ 及標準差 σ 。 μ 的最佳估計值為 0.0307， σ 的最佳估計值為 0.0513，如式(5.5)及式(5.6)所示。

表 5-3 臺灣區營建物價總指數歷史資料

| 年度 j | i_j | $I_j = \ln i_j$ | $I_{j+1} - I_j$ |
|--------|--------|-----------------|-----------------|
| 0 | 83.08 | 4.4198 | - |
| 1 | 95.54 | 4.5595 | 0.1397 |
| 2 | 101.40 | 4.6191 | 0.0595 |
| 3 | 97.26 | 4.5774 | -0.0417 |
| 4 | 98.23 | 4.5873 | 0.0099 |
| 5 | 97.59 | 4.5808 | -0.0065 |
| 6 | 99.62 | 4.6014 | 0.0206 |
| 7 | 102.09 | 4.6259 | 0.0245 |
| 8 | 101.51 | 4.6202 | -0.0057 |
| 9 | 101.02 | 4.6153 | -0.0048 |
| 10 | 100.00 | 4.6052 | -0.0101 |
| 11 | 102.11 | 4.6261 | 0.0209 |
| 12 | 106.88 | 4.6717 | 0.0457 |
| 13 | 121.98 | 4.8039 | 0.1322 |
| 14 | 122.82 | 4.8107 | 0.0069 |
| 15 | 131.73 | 4.8808 | 0.0700 |

資料來源：行政院主計處。

注：本表資料以民國 90 年為基期。

$$\mu = \frac{1}{15} \sum_{j=0}^{15} (I_{j+1} - I_j) \quad (5.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(15-1)} \sum_{j=0}^{15} (I_{j+1} - I_j - \mu)^2} \quad (5.6)$$

由參數估計得知， $(I_{j+1}-I_j)$ 估計出的平均值 $\mu = 0.0307$ 及標準差 $\sigma = 0.0513$ 。接著我們需要檢定營建物價指數的發展，是否如我們所假設的隨機過程：

$$(I_{j+1}-I_j) = 0.0307dt + 0.0513dz_t \quad (5.7)$$

其中 dz_t 為一個 Wiener 過程， dt 為一年。以下進行其適合度檢定及隨機性檢定。

1. 適合度檢定

整理表 5-3 的 15 個 $I_{j+1}-I_j$ 值如下：

| | | | | |
|--------|--------|---------|---------|---------|
| 0.1397 | 0.0595 | -0.0417 | 0.0099 | -0.0065 |
| 0.0206 | 0.0245 | -0.0057 | -0.0048 | -0.0101 |
| 0.0209 | 0.0457 | 0.1322 | 0.0069 | 0.0700 |

我們以 $\alpha = 0.05$ 檢定此流量變化值是否為常態分配。

H_0 ：此分配適合 $\mu = 0.0307$ ， $\sigma = 0.0513$ 的常態分配

H_1 ：此分配不適合 $\mu = 0.0307$ ， $\sigma = 0.0513$ 的常態分配

樣本平均值 = 0.0307，樣本標準差 = 0.0513，故 2 個分割點分別為：

$$0.0307 - 0.431(0.0513) = 0.0086$$

$$0.0629 + 0.431(0.0513) = 0.0523$$

| $I_{j+1}-I_j$ 值 | 實際次數 o_i | 機率 Pro. | 理論次數 e_i | $(o_i - e_i)^2 / e_i$ |
|-----------------|------------|---------|------------|-----------------------|
| 0.0086 以下 | 6 | 0.3333 | 5 | 0.2000 |
| 0.0086—0.0523 | 5 | 0.3333 | 5 | 0.0000 |
| 0.0523 以上 | 4 | 0.3333 | 5 | 0.2000 |
| 和 | 15 | 1.0000 | 15 | 0.4000 |

$$\nu = 3 - 1 = 2$$

$$\chi = 0.4000 < \chi^2(0.95, 2) = 5.99$$

差異不顯著，故接受 H_0 ，表示此對數成長值 $(I_{j+1}-I_j)$ 的分配可能適合 $\mu = 0.0307$ ， $\sigma = 0.0513$ 的常態分配。

2. 隨機性檢定

由參數估計得知， $(I_{j+1}-I_j)$ 估計出的平均值 $\mu = 0.0307$ 及標準差 $\sigma = 0.0513$ 。我們假設其遵循的隨機過程如下：

$$(I_{j+1}-I_j) = 0.0307dt + 0.0513dz_t$$

其中 dz_t 為 Wiener 過程， dt 為一年。我們已檢定出其適合常態分配，現在我們要檢定 dz_t 樣本的出現是否為隨機的。利用下式可將 $(I_{j+1}-I_j)$ 中的 dz_t 求出

$$dz_t = \frac{(I_{j+1}-I_j) - 0.0307}{0.0513}$$

將 dz_t 依出現順序整理如下

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2.1232 | 0.5609 | -1.4105 | -0.4052 | -0.7259 |
| -0.1975 | -0.1215 | -0.7095 | -0.6928 | -0.7962 |
| -0.1918 | 0.2907 | 1.9754 | -0.4649 | 0.7655 |

我們以 $\alpha = 0.05$ 檢定此 dz_t 值是否為隨機的。

H_0 ：此 dz_t 值是隨機出現的

H_1 ：此 dz_t 值不是隨機出現的

理論上 dz_t 為 Wiener 過程，該期望值為 0。我們用“+”代表大於等於 0 的出樣，以“-”代表小於 0 的出樣。此連檢定所產生之正負符號依次如下：

+ + - - - - - - - - + + - +

$n_1 = 5$ ， $n_2 = 10$ ， $r = 5$ ，當 $\alpha = 0.05$ ，查表得 $r_L = 3$ ， $r_U = -$ ， $r = 5$ 在接受區內，故接受 H_0 ，表示 dz_t 值可能是隨機出現的。

5.3.3 因子間的相依性

本實證案例中考慮的兩個不確定性因子：交通需求量與營建物價指數之間可能存在一定程度的相依性。因營建物價指數資料年限不足，我們僅使用民國 80 年到 84 年間兩個因子的資料作比較，其 dz 值出現的相關係數為 0.46。因此在這兩個因子隨機發展的 Wiener 過程中要加入的相關係數為：

$$\Lambda \times \Lambda^T = \begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FI} & \rho_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.46 \\ 0.46 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

其中 Λ 便是在 dz 取樣時所需的新係數矩陣，以 Cholesky 分解法求出該係數矩陣為：

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.46 & \sqrt{1-0.46^2} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

5.3.4 其他系統參數估計

1. 單位流量淨收入 (γ)

採用票價調整後的資料，81 年到 94 年的平均單位收入：26.48 元／小客車當量。

表 5-4 高速公路營收資料

| | 小型車 | 大客貨車 | 聯結車 | 小客車當量 | 通行費收入
(千元) | 維護管理費
(千元) | 淨收入
(千元) | 單位收入
(元) |
|----|-------------|------------|------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 67 | 24,410,214 | 10,454,390 | 4,613,918 | 56,853,789 | 1,250,003 | 61,152 | 1,188,851 | 20.91 |
| 68 | 52,362,018 | 20,015,745 | 10,702,484 | 119,149,718 | 1,545,348 | 152,337 | 1,393,011 | 11.69 |
| 69 | 54,987,132 | 24,074,671 | 14,063,333 | 138,294,807 | 1,725,085 | 747,023 | 978,062 | 7.07 |
| 70 | 59,698,723 | 22,633,653 | 14,252,458 | 140,597,174 | 2,240,001 | 1,103,909 | 1,136,092 | 8.08 |
| 71 | 67,385,984 | 22,068,348 | 15,002,092 | 149,027,910 | 2,909,908 | 1,913,762 | 996,146 | 6.68 |
| 72 | 77,376,429 | 23,729,608 | 15,918,967 | 164,633,063 | 3,268,180 | 2,030,537 | 1,237,643 | 7.52 |
| 73 | 88,370,401 | 23,984,710 | 18,215,958 | 181,879,716 | 3,671,003 | 2,474,955 | 1,196,048 | 6.58 |
| 74 | 94,176,155 | 25,114,166 | 20,026,368 | 194,470,407 | 3,809,848 | 2,777,492 | 1,032,356 | 5.31 |
| 75 | 107,290,657 | 27,538,207 | 23,280,012 | 220,567,101 | 4,419,225 | 2,306,232 | 2,112,993 | 9.58 |
| 76 | 131,938,668 | 30,312,550 | 27,392,257 | 261,044,411 | 4,976,891 | 1,087,324 | 3,889,567 | 14.90 |
| 77 | 163,858,434 | 32,103,854 | 31,099,727 | 305,815,460 | 5,655,582 | 1,879,036 | 3,776,546 | 12.35 |
| 78 | 191,202,613 | 33,011,020 | 31,777,203 | 336,667,661 | 6,622,189 | 1,386,836 | 5,235,353 | 15.55 |
| 79 | 218,342,374 | 34,805,374 | 32,535,052 | 369,290,752 | 7,140,101 | 2,665,122 | 4,474,979 | 12.12 |
| 80 | 226,159,292 | 39,927,976 | 29,202,558 | 379,021,639 | 9,070,946 | 3,071,299 | 5,999,647 | 15.83 |
| 81 | 230,006,083 | 49,132,678 | 23,170,294 | 386,197,174 | 13,113,361 | 2,764,867 | 10,348,494 | 26.80 |
| 82 | 236,675,388 | 49,067,691 | 26,169,229 | 400,233,843 | 13,567,489 | 2,728,228 | 10,839,261 | 27.08 |
| 83 | 236,452,322 | 47,201,090 | 28,868,256 | 403,025,142 | 13,438,749 | 2,544,786 | 10,893,963 | 27.03 |
| 84 | 252,590,840 | 47,637,138 | 29,239,901 | 420,964,869 | 14,206,652 | 2,452,224 | 11,754,428 | 27.92 |
| 85 | 259,372,849 | 49,288,403 | 28,680,389 | 429,650,628 | 14,609,422 | 2,462,746 | 12,146,676 | 28.27 |
| 86 | 265,881,863 | 46,996,512 | 30,127,396 | 435,193,377 | 14,977,235 | 2,429,786 | 12,547,449 | 28.83 |
| 87 | 269,520,290 | 45,881,827 | 29,007,295 | 433,802,182 | 14,340,378 | 2,303,382 | 12,036,996 | 27.75 |
| 88 | 280,054,895 | 48,503,637 | 30,782,006 | 454,017,184 | 14,866,154 | 5,667,177 | 9,198,977 | 20.26 |
| 89 | 287,959,084 | 48,629,767 | 29,947,696 | 460,087,858 | 15,074,047 | 6,620,425 | 8,453,622 | 18.37 |
| 90 | 291,085,455 | 49,243,791 | 29,385,522 | 463,036,842 | 15,182,425 | 4,812,218 | 10,370,207 | 22.40 |
| 91 | 288,376,008 | 47,266,232 | 27,433,688 | 451,492,692 | 15,428,411 | 3,047,978 | 12,380,433 | 27.42 |
| 92 | 279,838,170 | 42,077,849 | 25,337,067 | 427,336,536 | 16,029,420 | 3,271,713 | 12,757,707 | 29.85 |
| 93 | 270,789,212 | 42,189,704 | 26,879,901 | 422,368,373 | 16,109,028 | 3,593,307 | 12,515,721 | 29.63 |
| 94 | 272,737,883 | 41,200,261 | 26,999,241 | 422,636,508 | 16,183,465 | 3,902,778 | 12,280,687 | 29.06 |

資料來源：國道高速公路局

註：1. 小型車包括小客車與小貨車。

2. 通行費為過站現金收入及預售回数票現金收入。

3. 80 年 9 月 1 日票價調整，小型車 40 元、大客車 50 元、連結車 65 元。

2. 車道設計容量 (α)

根據國道中山高速公路楊梅員林段拓寬工程運輸規劃報告指出，在設計速限 100 公里下，雙向四線道每年可通過的容量為四千四百萬小客車當量，拓寬至雙向六線道後，每年可通過的容量約為六千七百萬小客車當量。

5.4 計畫評估

5.4.1 評估求演演算

我們使用本研究提出的模型，可以分析此拓寬工程計畫帶來的效益，也可以評估此計畫如果在不同時點動工，會有什麼樣的差別。接著我們整理出本計畫的相關參數，以進行模型套用評估之。首先是本計畫中考慮的兩個不確定性因子的發展型式。

交通需求 F ：

$$\frac{dF}{F} = 0.0629dt + 0.0736dz_F, F_0 = 40,543,792 \text{ (AT)}$$

營建物價指數 I ：

$$\frac{dI}{I} = 0.0307dt + 0.0513dz_I, I_0 = 100\%$$

其中二個不確定性因子 dz 的相關係數為：

$$\Lambda \times \Lambda^T = \begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FI} & \rho_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.46 \\ 0.46 & 1 \end{bmatrix}$$

本計畫的拓寬方案是由雙向四線道，車道容量為每年四千四百萬，拓寬至雙向 6 線道，車道容量為每年六千七百萬。單位流量淨收入為 26.48 元，因此拓寬前後的收入方程為：

$$R_t = 26.48 \times \min(44,000,000, F_t), \text{ 拓寬前。}$$

$$R_t = 26.48 \times \min(67,000,000, F_t), \text{ 拓寬後。}$$

而分年的資本支出方程整理如表 5-5 所示：

表 5-5 分年資本支出方程

單位：億元

| | 興建第一年 | 興建第二年 | 興建第三年 | 興建第四年 |
|--------|-------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 資本支出方程 | 1.2 | $1.84 \times I_t + 0.092$ | $20.750 \times I_t + 1.036$ | $14.542 \times I_t + 0.727$ |

時間單位以 1 年為區間，我們以 4% 當作本計畫的折現率，以蒙地卡羅法模擬不確定性因子 100 次為基礎來檢視評價此計畫。有了不確定性因子的模擬資料後，我們便可以開始進行計畫評估。首先我們先考慮不進行拓寬工程的情狀下，目前高速公路本身的現金流量集合。接著我們將拓寬工程的決策加入高速公路系統中，由新的收入方程及分年資本支出方程建構出新的現金流量集合。最後要評估本拓寬工程的效益，我們要將新的現金流量集合減去原本的現金流量集合，以得到拓寬工程本身的現金流量集合。而我們要評估的效益，便是基於此拓寬工程本身的現金流量集合而來。

5.4.2 評估結果分析

1. 拓寬工程效益

拓寬工程由民國 85 年開始到民國 88 結束，整理由拓寬工程模擬出的 100 組現金流所計算而得的 100 個淨現值集合，如表 5-6 所示。

由表 5-6 得知，本拓寬工程效益淨現值的期望值為 114.30 百萬元，標準差為 725.50 百萬元。而模擬出的 100 組情況之評估結果中，有 36 種情況的評估結果淨現值是負值。因此本拓寬工程有 64% 的機會可以為高速公路系統帶來正值的效益。將拓寬工程淨現值之次數分配整理成圖 5-1，由圖 5-1 得知該次數分配為一極左端分配。

表 5-6 拓寬工程淨現值

單位：百萬元

| | | | | | | | | | |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 725.12 | -51.69 | -1,665.61 | -1,912.06 | 708.89 | -20.15 | -797.77 | -200.71 | 34.51 | 533.27 |
| 506.82 | 805.32 | -242.48 | -1,217.51 | 499.96 | -1,241.27 | -190.44 | 1,121.15 | -525.71 | -989.59 |
| 1,055.09 | -36.28 | 249.60 | 1,048.35 | 706.73 | 366.71 | 138.03 | -125.22 | 139.04 | -1,594.91 |
| 594.66 | -386.89 | -201.23 | 515.78 | -751.22 | -625.39 | -148.49 | -1,073.20 | 224.01 | 896.66 |
| 486.97 | 291.93 | 743.06 | -816.06 | -1,815.87 | 1,071.29 | 572.03 | -1,079.30 | 149.57 | -241.66 |
| -318.00 | 624.84 | 697.20 | 656.76 | -1,152.34 | 55.62 | 822.35 | 989.80 | 806.56 | 330.64 |
| 290.65 | -241.78 | 152.80 | 265.89 | 73.77 | 903.96 | 554.16 | -405.58 | 426.36 | 736.25 |
| -880.11 | 837.77 | -590.93 | -1,188.01 | -16.10 | 509.67 | 602.61 | 581.19 | 737.87 | 628.28 |
| 66.96 | 714.48 | 309.38 | 287.11 | 726.41 | 1,081.78 | 700.55 | 321.04 | 670.43 | -166.18 |
| 309.62 | 430.44 | 112.43 | 890.00 | 920.19 | -1,386.75 | -78.93 | 93.31 | 945.13 | 756.60 |

期望值：114.30 百萬

標準差：725.50 百萬

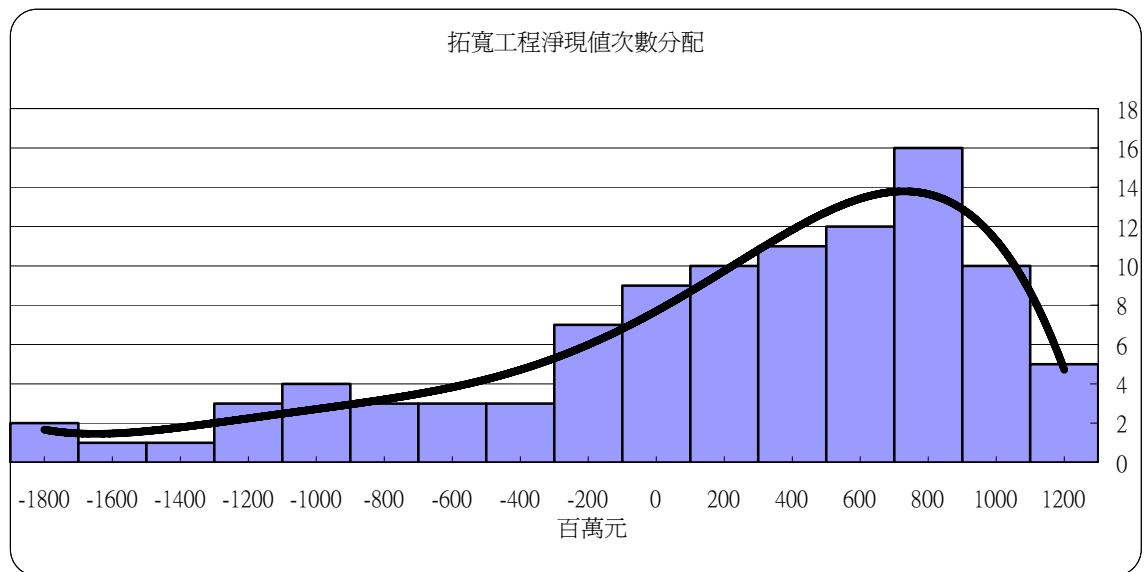


圖 5-1 拓寬工程淨現值次數分配圖

2. 拓寬工程時點選擇

最後我們要評估拓寬工程動工的時間不同，對高速公路系統的影響。我們模擬拓寬工程如果延後一年，由民國 86 年開始到民國 89 年結束，以及如果延後兩年，由民國 87 年到民國 90 年結束的情形，與原本預計的工期作比較，整理如表 5-7 所示。

由表 5-7 我們可以發現，愈晚進行拓寬工程對高速公路系統效益愈低，甚至會帶來負的效益。原因有兩方面，一方面是愈晚拓寬，我們愈晚才能捉捕到交通流成長帶來的效益，另一方面，由於營建物價指數的成長，愈晚動工也就等於會產生愈高的興建成本。因此愈早動工對高速公系統愈有利。

表 5-7 拓寬時點比較

| 施工時間 | 85 年到 88 年 | 86 年到 89 年 | 87 年到 90 年 |
|--------|------------|------------|------------|
| 淨現值期望值 | 114.30 百萬 | -91.73 百萬 | -340.32 百萬 |
| 淨現值標準差 | 725.50 百萬 | 604.01 百萬 | 529.51 百萬 |
| 內部報酬率 | 4.41% | 3.63% | 2.46% |

5.5 小結

藉由以上實際的高速公路拓寬案例，我們可以知道本研究提出的決策模型，在應用於實際決策問題時，可以略作調整後加以應用。本案例中，因為土地資源受限制，模型中不考慮額外購地。另一方面，當工程造價已有細部的評估結果時，模型中的資本支出方程 E_t 不再使用單位造價作線性估算，可直接採用工程經費評估結果。配合實際的決策環境作適當調整，本模型能更廣泛地實際運用在收費道路的投資決策評估上。

第六章 結論與建議

本章針對本研究之結果作一總結，並提出本研究後續可發展的研究方向，以供後續研究做參考。

6.1 結論

高速公路系統的發展涉及許多不可逆的投資行為，因此在實行投資決策之前需要進行嚴謹的建模及分析。本研究試圖以較實際面應用的考量修正 Zhao and Tseng 等學者於 2004 年提出的模型，以發展出一個可以在高速公路興建階段及擴張階段所使用的決策模型。本研究主要的成果在於：方案執行時點的決定、工法的可選擇性及營建物價波動的影響。傳統的高速公路規劃是政策導向的，通常沒有明確定義要如何使決策最佳化，本研究為此最佳化問題提供了一個明確而較實際可行的基本模型。

6.2 後續研究之建議

在研究過程之中，仍有未臻完善之處，在此針對本研究進行過程中因時間及能力不足而遭遇之困難及無法解決之問題做一整理。建議後續相關之研究可以朝以下幾個方向著手，俾使高速公路決策模型更加完善及客觀，建議如下：

1. 新的不確定性因子發展模型

本研究使用的隨機過程，其偏差率及 (DR) 及擴散率 (VR) 是以歷史資料求得的固定值，並相信在未來其值亦不變。實際上已經一些考慮偏差率及 (DR) 及擴散率 (VR) 隨時間變動的模型已發展出來，如 CEV 模型及 GARCH 模型等。另一方面古典學派的時間序列等預測方法亦廣泛地應用在各種商情預測上。

2. 道路維護成本的考量

道路維護的頻率及成本，隨著交通量及本身道路品質下降程度不同也異。考量生命週期內的道路維護行為，應該可以更完善的評估高速公路計畫。

3. 均衡問題

第四章提到本研究的一個隱含假設為，決策者所決定的決策不會改變三個不確定性因子的發展。此假設放寬後，決策會變成一個均衡問題。高速公路的拓寬是否誘引起超乎原本發展預期的交通量？拓寬工程作業期間，原本的交通量會受多大的衝擊？

參考文獻

中文部分

1. 戴天時，C++財務程式設計，證基會，民國九十四年。
2. 廖肇昌等編輯，國道工程實務，國道工程局，民國九十四年。
3. 謝劍平，固定收益證券投資與創新，智勝文化，民國八十八年。
4. (美)霍爾(John C. Hull)著，選擇權、期貨與其他衍生性商品，黃達業譯，普林斯頓國際，民國九十三年。
5. 「中山高速公路汐止五股段高架拓寬工程建設計畫書」，國道高速公路局，民國七十八年。
6. 「中山高速公路楊梅交流道至新竹系統交流道段拓寬工程建設計畫書」，國道高速公路局，民國八十四年。
7. 「中山高速公路新竹至員林段拓寬建設計畫書」，國道高速公路局，民國八十二年。
8. 「中山高速公路員林至高雄段拓寬建設計畫書」，國道高速公路局，民國八十四年。
9. 詹傑麟，「BOT 放棄選擇權研究—以台灣南北高速鐵路計畫為例」，國立交通大學，碩士論文，民國八十八年。

英文部分

1. Trigeorgis, L., *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, (1996), MIT Press, Cambridge, MA.
2. Baldwin, C. Y. and Clark, K. B., "Capabilities and capital investment: New perspectives on capital budgeting", *Journal of Applied Corporate Finance*, 5(2), pp.67-82, 1992.
3. de Neufville, R., "Real Options: Dealing with Uncertainty in Systems Planning and Design", *Integrated Assessment*, Vol.4, No. 1, pp. 26-34, 2003.
4. Francis, P. and Hans, C. B., "Using Real Option and Decision Analysis to Evaluate Investments in the Architecture, Construction and Engineering Industry", *Construction Management and Economics*, pp. 471-482, June 2004.
5. Hayes, R. and Garvin, D., "Managing as if Tomorrow Mattered", *Harvard Business Review*, 60(3), May-June 1963.
6. Kulatilaka, N. and Marcus, A. J., "Project valuation under uncertainty: when does DCF fail", *Journal of Applied Corporate Finance*, 5(3), pp.92-100, 1992.

7. McDonald, R. L. and Siegel, D. R., “The Value of Waiting to Invest”, The Quarterly Journal of Economics, pp.707-727, 1986.
8. Myers, S. C., “Finance Theory and Financial Strategy”, Midland Corporate Financial Journal, 5(1), Spring 1987.
9. Paddock, J., Siegel, D. and Smith, J., “Option Valuation of Claims on Physical Assets: The Case of Offshore Petroleum Lease”, The Quarterly Journal of Economics, 103(3), pp.479-508, 1988.
10. Pichayapan, P., Hino, S., Kishi, K. and Satoh, K. “Real Option Analysis (ROA) in Evaluation of Expressway Projects under Uncertainties”, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, pp. 3015-3030, October 2003.
11. Ross, S. A., “Uses, Abuses and Alternatives to the Net Present-Value Rule”, Financial Management, pp.96-102, 1995.
12. Trigeoris, L. and Mason, S. P., “Valuing Managerial Flexibility”, Midland Corporate Financial Journal, 5(1), pp.14-21, Spring 1987.
13. Zhao, T. and Tseng, C., “Valuing Flexibility in Infrastructure Expansion”, Journal of Infrastructure Systems, pp. 89-97, September 2003.
14. Zhao, T., Tseng, C. and Sundararajan, S. K., “Highway Development Decision-Making under Uncertainty: A Real Options Approach”, Journal of Infrastructure Systems, pp. 23-32, March 2004.
15. Wang, T. and de Neufville, R., “Real Options in Projects”, 9th Annual Real Options International Conference, Paris, France, June 2005.

附錄一 推導艾多輔助定理

在本附錄，將會介紹如何將艾多輔助定理視為其他較簡單的定理之延伸。考慮一個連續且可微分的函數 $G(x)$ ， δx 為 x 的微小變動，其會導致 G 的微小變動 δG ，以下為普通微積分一有名的結論：

$$\delta G \approx \frac{dG}{dx} \delta x \quad (7.1)$$

也就是 δG 近似於 G 的變化率除以 x 的變化率再乘於 δx ，我們可以利用 Taylor series 展開 δG ，更精確的近似

$$\delta G = \frac{dG}{dx} \delta x + \frac{1}{2} \frac{d^2 G}{dx^2} \delta x^2 + \frac{d^3 G}{dx^3} \delta x^3 + \dots$$

對一連續且可微分的函數 $G(x, y)$ ，其結論會類似(7.1)式

$$\delta G \approx \frac{\partial G}{\partial x} \delta x + \frac{\partial G}{\partial y} \delta y \quad (7.2)$$

利用 Taylor series 展開 δG

$$\delta G = \frac{\partial G}{\partial x} \delta x + \frac{\partial G}{\partial y} \delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \delta x^2 + \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial y} \delta x \delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \delta y^2 + \dots \quad (7.3)$$

當 δx 及 δy 趨近於零，(7.3)式變成

$$dG = \frac{\partial G}{\partial x} dx + \frac{\partial G}{\partial y} dy \quad (7.4)$$

現在我們延伸(7.4)式，去涵蓋那些遵循艾多過程的函數。假設變數 x 遵循(7.4)的艾多過程，也就是

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)\varepsilon\sqrt{\delta t} \quad (7.5)$$

G 為 x 及 t 的函數，數推(7.3)式，我們可寫成

$$\delta G = \frac{\partial G}{\partial x} \delta x + \frac{\partial G}{\partial t} \delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \delta x^2 + \frac{\partial^2 G}{\partial x \partial t} \delta x \delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial t^2} \delta t^2 + \dots \quad (7.6)$$

(7.5)式可以改為離散型的

$$\delta x = a(x, t)\delta t + b(x, t)\varepsilon\sqrt{\delta t}$$

若自變數去掉，變成

$$\delta x = a\delta t + b\varepsilon\sqrt{\delta t} \quad (7.7)$$

此式可看出在(7.6)式與(7.3)式兩情況下的重要差異。當自變數由(7.3)式趨近於零到(7.4)式，二者的 δx^2 式將被忽略掉，由(7.7)式可得

$$\delta x^2 = b^2 \varepsilon^2 \delta t + \delta t \text{的高階項} \quad (7.8)$$

此處可看出在(7.6)式中，牽涉到 δx^2 的項目是不可以忽略掉的，因為 δx^2 的組成份子包含一階的 δt 。

標準常態的標準差為 1.0，這表示

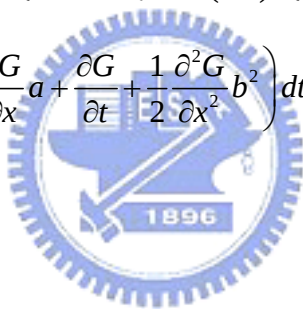
$$E(\varepsilon^2) - [E(\varepsilon)]^2 = 1$$

其中，E 為期望值。由於 $E(\varepsilon) = 0$ ，可知 $E(\varepsilon^2) = 1$ ，所以 $\varepsilon^2 \delta t$ 的期望值為 δt ，而其變異數為 δt^2 的級數。因此我們可將 $\varepsilon^2 \delta t$ 視為非隨機，而且會等於其期望值 δt ，又 δt 趨近於零，所以(7.8)式的 δx^2 變成非隨機，且當 δt 趨近於零其會等於 $b^2 \delta t$ 。再將(7.6)式的 δx ， δt 趨近於零，並使用這些新的結論，可得

$$dG = \frac{\partial G}{\partial x} dx + \frac{\partial G}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 dt \quad (7.9)$$

這便是艾多輔助定理，若將(7.5)式的 dx 代入，(7.9)式變成

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b dz \quad (7.10)$$



附錄二 高速公路興建與拓寬之成本比較

表 1 國道一號興建拓寬整理表

| | 長度(公里) | 原始車道數 | 拓寬後車道 | 增加車道數 | 中山高興建 | 汐止到五股 | 楊梅到新竹 | 員林到高雄 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 基隆端-圓山 | 23.2 | 4 | - | - | 92.8 | | | |
| 圓山-台北 | 1.9 | 6 | - | - | 11.4 | | | |
| 台北-機場系統 | 27.4 | 8 | - | - | 219.2 | | | |
| 機場系統-楊梅 | 18.9 | 6 | - | - | 113.4 | | | |
| 楊梅-新竹系統 | 28.0 | 4 | 6 | 2 | 112.0 | | 56.0 | |
| 新竹系統-彰化系統 | 93.4 | 4 | 6 | 2 | 373.6 | | | |
| 彰化系統-彰化 | 5.6 | 6 | 8 | 2 | 33.6 | | | |
| 彰化-員林 | 12.6 | 4 | 6 | 2 | 50.4 | | | |
| 員林-楠梓 | 145.2 | 4 | 6 | 2 | 580.8 | | | 290.4 |
| 楠梓-鼎金 | 6.2 | 6 | 8 | 2 | 37.2 | | | 12.4 |
| 鼎金-高雄 | 5.0 | 6 | 10 | 4 | 30.0 | | | 20.0 |
| 高雄-高雄端 | 5.4 | 4 | 6 | 2 | 21.6 | | | 10.8 |
| 汐止-環河 | 13.3 | 0 | 4 | 4 | | 53.2 | | |
| 環河-五股 | 8.0 | 0 | 6 | 6 | | 48.0 | | |
| 增加的車道*公里數 | | | | | 1676.0 | 101.2 | 56.0 | 333.6 |

資料來源：國道高速公路局

表 2 國道一號興建拓寬之成本比較表

單位：新台幣百萬元

| 年度 | 中山高
興建 | 汐止到
五股 | 楊梅到
新竹 | 員林到
高雄 | 時間因子 | 年度 | 中山高
興建 | 汐止到
五股 | 楊梅到
新竹 | 員林到
高雄 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 當年幣值 | | | | | 4% | 95 年幣 | | | | |
| 63 | 2,236.13 | | | | 3.51 | 63 | 7,844.47 | | | |
| 64 | 2,005.92 | | | | 3.37 | 64 | 6,766.24 | | | |
| 65 | 5,188.82 | | | | 3.24 | 65 | 16,829.42 | | | |
| 66 | 10,809.32 | | | | 3.12 | 66 | 33,710.51 | | | |
| 67 | 8,173.24 | | | | 3.00 | 67 | 24,509.13 | | | |
| 68 | 3,328.02 | | | | 2.88 | 68 | 9,595.89 | | | |
| 69 | 1,234.37 | | | | 2.77 | 69 | 3,422.26 | | | |
| 70 | 363.46 | | | | 2.67 | 70 | 968.93 | | | |
| 71 | 383.13 | | | | 2.56 | 71 | 982.08 | | | |
| 72 | 551.39 | | | | 2.46 | 72 | 1,359.01 | | | |
| 73 | 509.97 | | | | 2.37 | 73 | 1,208.58 | | | |
| 74 | | | | | 2.28 | 74 | | | | |
| 75 | | | | | 2.19 | 75 | | | | |
| 76 | | | | | 2.11 | 76 | | | | |
| 77 | | | | | 2.03 | 77 | | | | |
| 78 | | 5.15 | | | 1.95 | 78 | | 10.04 | | |
| 79 | | 126.60 | | | 1.87 | 79 | | 237.12 | | |
| 80 | | 284.49 | | | 1.80 | 80 | | 512.36 | | |
| 81 | | 1,162.34 | | | 1.73 | 81 | | 2,012.80 | | |
| 82 | | 3,561.44 | | | 1.67 | 82 | | 5,930.05 | | |
| 83 | | 5,573.66 | | | 1.60 | 83 | | 8,923.61 | | |
| 84 | | 5,483.79 | | 70.00 | 1.54 | 84 | | 8,442.04 | | 107.76 |
| 85 | | 3,015.82 | 100.00 | 215.00 | 1.48 | 85 | | 4,464.15 | 148.02 | 318.25 |
| 86 | | 1,765.33 | 200.00 | 200.00 | 1.42 | 86 | | 2,512.62 | 284.66 | 284.66 |
| 87 | | 1,293.64 | 2,332.30 | 723.00 | 1.37 | 87 | | 1,770.43 | 3,191.91 | 989.48 |
| 88 | | 425.52 | 1,717.70 | 6,745.00 | 1.32 | 88 | | 559.96 | 2,260.38 | 8,875.96 |
| 89 | | 597.97 | | 8,639.00 | 1.27 | 89 | | 756.63 | | 10,931.09 |
| 90 | | 74.06 | | 8,460.00 | 1.22 | 90 | | 90.10 | | 10,292.88 |
| 91 | | 116.51 | | 5,902.00 | 1.17 | 91 | | 136.30 | | 6,904.51 |
| 92 | | | | 1,978.00 | 1.12 | 92 | | | | 2,224.98 |
| 93 | | | | 452.00 | 1.08 | 93 | | | | 488.88 |
| 94 | | | | | 1.04 | 94 | | | | |
| 95 | 34,783.77 | 23,486.32 | 4,350.00 | 33,384.00 | 1.00 | 95 | 107,196.51 | 36,358.20 | 5,884.98 | 41,418.46 |

資料來源：國道興建工程局經本研究整理

中山高興建單位成本＝107,196.51 ÷ 1676.0＝ 63.96 百萬/車道公里

汐止到五股單位成本＝ 36,358.20 ÷ 101.2＝359.27 百萬/車道公里

楊梅到新竹單位成本＝ 5,884.98 ÷ 56.0＝105.09 百萬/車道公里

員林到高雄單位成本＝ 41,418.46 ÷ 333.6＝124.16 百萬/車道公里

附錄三 試擬案例數值資料

表 3 數值案例系統參數表

| 參數 | 單位 |
|----------------------|---|
| γ = 單位流量一年淨收入 | 10,000 元 |
| α = 車道設計流量 | 30,000(AT) |
| ω = 車道寬 | 3.75 公尺 |
| d = 高速公路長度 | 10 公里 |
| c_n = 單位興建成本 | 興建及有預留土地 5 萬元/車道公尺
無預留土地之拓寬 10 萬元/車道公尺 |
| T = 規劃年限 | 25 年 |

交通需求 F :

$$\frac{dF}{F} = 0.05dt + 0.02dz_F, F_0 = 100,000 \text{ (AT)}$$

土地價格 L :

$$\frac{dL}{L} = 0.1dt + 0.02dz_L, L_0 = 3000 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

營建物價指數 I :

$$\frac{dI}{I} = 0.02dt + 0.02dz_I, I_0 = 100\%$$

其中三個不確定性因子 dz 的相關係數為：

$$\begin{bmatrix} \rho_{FF} & \rho_{LF} & \rho_{IF} \\ \rho_{FL} & \rho_{LL} & \rho_{IL} \\ \rho_{FI} & \rho_{LI} & \rho_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.1 & 0.15 \\ 0.1 & 1 & 0.2 \\ 0.15 & 0.2 & 1 \end{bmatrix}$$

表 4 數值案例方案選擇表

| 興建期方案選擇： | 拓寬方案選擇： |
|------------------|------------------|
| 方案一：6 車道，22.5 公尺 | 拓寬至 8 車道，30.0 公尺 |
| 方案二：6 車道，30.0 公尺 | |
| 方案三：8 車道，30.0 公尺 | |

限制條件：

$$n_{t+1} = n_t + \Delta n_t \leq 8$$

$$w_{t+1} = w_t + \Delta w_t \leq 30m$$

$$n_t \omega \leq w_t$$

表 5 交通需求量模拟结果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------|
| 100,000 | 102,506 | 108,666 | 112,112 | 119,715 | 126,743 | 135,032 | 141,425 | 150,120 | 167,838 | 175,557 | 181,366 | 192,524 | 201,074 | 209,807 | 212,679 | 217,665 | 227,284 | 238,321 | 250,970 | 265,751 | 279,856 | 300,996 | 329,809 | 344,999 | 355,856 |
| 100,000 | 105,869 | 109,830 | 117,809 | 123,000 | 128,146 | 130,142 | 134,592 | 140,057 | 142,874 | 147,931 | 151,974 | 162,584 | 173,361 | 182,887 | 191,940 | 197,317 | 208,388 | 220,743 | 231,609 | 232,597 | 247,581 | 246,440 | 250,550 | 272,681 | 284,414 |
| 100,000 | 105,452 | 110,711 | 118,491 | 126,842 | 132,239 | 136,592 | 143,914 | 149,041 | 155,263 | 167,856 | 174,405 | 178,763 | 189,632 | 192,541 | 203,577 | 212,797 | 218,661 | 225,874 | 232,751 | 247,146 | 262,135 | 269,353 | 280,693 | 299,250 | 314,299 |
| 100,000 | 107,154 | 112,127 | 115,985 | 118,498 | 127,437 | 136,456 | 143,642 | 152,951 | 154,242 | 163,805 | 170,296 | 176,108 | 180,197 | 190,971 | 202,324 | 213,434 | 217,885 | 234,500 | 239,855 | 251,672 | 264,236 | 275,938 | 287,901 | 302,273 | 328,502 |
| 100,000 | 105,280 | 112,254 | 120,249 | 123,611 | 134,124 | 141,865 | 147,458 | 157,202 | 164,577 | 164,328 | 171,424 | 173,905 | 180,965 | 192,322 | 203,841 | 211,232 | 213,280 | 224,293 | 237,874 | 250,876 | 269,300 | 284,999 | 300,822 | 312,318 | 313,799 |
| 100,000 | 105,079 | 110,454 | 121,405 | 131,277 | 139,284 | 149,701 | 156,343 | 166,787 | 172,217 | 176,953 | 192,298 | 200,091 | 215,780 | 228,632 | 236,603 | 254,689 | 265,398 | 287,007 | 287,781 | 306,724 | 324,172 | 350,413 | 359,211 | 380,176 | 403,677 |
| 100,000 | 107,140 | 109,699 | 115,141 | 123,994 | 134,841 | 141,585 | 148,938 | 156,920 | 168,826 | 171,242 | 180,965 | 185,026 | 199,334 | 208,752 | 221,983 | 229,181 | 242,980 | 247,347 | 263,801 | 274,538 | 283,348 | 292,296 | 309,458 | 323,878 | 348,514 |
| 100,000 | 103,736 | 109,109 | 118,414 | 121,415 | 128,181 | 133,910 | 136,489 | 145,642 | 149,809 | 160,895 | 165,396 | 171,846 | 182,254 | 188,862 | 198,151 | 210,342 | 215,434 | 229,826 | 238,814 | 245,704 | 251,125 | 259,948 | 284,355 | 299,475 | 323,305 |
| 100,000 | 106,023 | 111,841 | 117,300 | 123,902 | 130,487 | 136,951 | 142,597 | 147,841 | 159,867 | 167,510 | 179,326 | 189,980 | 194,661 | 208,583 | 220,338 | 227,243 | 237,137 | 242,661 | 249,952 | 267,541 | 270,234 | 283,507 | 286,973 | 303,745 | 323,784 |
| 100,000 | 112,320 | 116,212 | 120,890 | 124,146 | 132,522 | 142,079 | 155,981 | 162,714 | 170,192 | 173,886 | 182,369 | 190,919 | 202,996 | 211,535 | 221,790 | 231,020 | 247,059 | 261,711 | 271,774 | 287,738 | 297,875 | 311,457 | 330,049 | 343,594 | 360,727 |
| 100,000 | 103,140 | 111,025 | 118,015 | 125,829 | 138,815 | 142,561 | 154,003 | 167,280 | 177,715 | 181,118 | 187,985 | 201,156 | 213,172 | 227,109 | 234,126 | 246,393 | 260,811 | 277,347 | 285,015 | 297,670 | 299,932 | 312,608 | 318,951 | 340,207 | 351,494 |
| 100,000 | 104,651 | 112,259 | 117,728 | 122,179 | 124,677 | 127,275 | 127,937 | 138,383 | 148,343 | 152,747 | 161,217 | 170,952 | 172,838 | 182,407 | 195,801 | 202,378 | 210,810 | 221,480 | 230,341 | 235,812 | 250,105 | 262,237 | 277,831 | 295,624 | 308,451 |
| 100,000 | 105,159 | 111,455 | 116,935 | 122,117 | 128,316 | 130,347 | 132,430 | 134,565 | 141,842 | 151,071 | 157,036 | 168,872 | 184,430 | 193,026 | 192,796 | 204,201 | 210,802 | 216,840 | 223,405 | 239,040 | 244,941 | 256,538 | 266,840 | 272,169 | 288,240 |
| 100,000 | 104,844 | 108,630 | 112,469 | 118,524 | 124,645 | 135,359 | 141,069 | 147,562 | 157,686 | 168,175 | 170,231 | 184,788 | 192,739 | 205,930 | 211,745 | 223,905 | 233,069 | 245,860 | 258,920 | 270,196 | 282,632 | 283,474 | 294,625 | 312,116 | 330,697 |
| 100,000 | 105,375 | 114,585 | 122,674 | 128,263 | 135,480 | 140,492 | 148,233 | 155,718 | 160,722 | 172,818 | 184,898 | 197,823 | 213,024 | 225,338 | 238,789 | 265,279 | 267,720 | 285,656 | 304,696 | 318,757 | 323,215 | 342,436 | 368,300 | 384,716 | 397,695 |
| 100,000 | 107,772 | 112,310 | 120,258 | 124,415 | 129,824 | 134,616 | 141,992 | 147,777 | 146,020 | 154,219 | 164,914 | 171,626 | 181,539 | 192,203 | 209,465 | 226,101 | 239,209 | 252,024 | 264,385 | 275,829 | 289,358 | 297,212 | 299,653 | 316,461 | 338,937 |
| 100,000 | 104,349 | 111,120 | 114,443 | 121,092 | 128,402 | 139,674 | 149,201 | 158,395 | 171,533 | 183,019 | 196,808 | 203,232 | 210,558 | 220,494 | 232,097 | 249,417 | 260,900 | 272,093 | 286,486 | 315,145 | 327,079 | 363,006 | 394,447 | 400,390 | 424,075 |
| 100,000 | 104,761 | 110,235 | 113,784 | 117,425 | 124,428 | 133,079 | 139,536 | 148,847 | 157,846 | 161,295 | 171,496 | 184,838 | 192,492 | 209,439 | 218,830 | 231,274 | 248,642 | 265,911 | 285,081 | 296,593 | 308,920 | 332,127 | 352,087 | 364,841 | 383,752 |
| 100,000 | 103,097 | 108,843 | 116,243 | 125,693 | 129,117 | 133,211 | 139,801 | 145,042 | 158,891 | 165,284 | 175,634 | 187,625 | 202,571 | 211,161 | 220,186 | 230,584 | 249,529 | 256,130 | 276,637 | 291,259 | 306,463 | 324,201 | 343,272 | 361,193 | 367,160 |
| 100,000 | 104,933 | 108,720 | 112,121 | 120,494 | 122,680 | 128,133 | 136,182 | 141,120 | 148,912 | 164,757 | 174,479 | 190,001 | 201,712 | 209,677 | 218,546 | 232,988 | 254,916 | 267,786 | 278,941 | 292,183 | 300,701 | 313,894 | 328,528 | 349,575 | 384,364 |
| 100,000 | 105,133 | 110,492 | 111,053 | 113,458 | 118,135 | 121,425 | 128,443 | 133,010 | 142,307 | 153,002 | 155,539 | 165,136 | 169,166 | 176,378 | 188,285 | 193,233 | 204,856 | 209,272 | 230,567 | 238,983 | 249,801 | 255,297 | 275,127 | 287,179 | 298,785 |
| 100,000 | 103,111 | 111,252 | 117,095 | 120,122 | 122,027 | 128,386 | 134,829 | 141,373 | 145,165 | 158,105 | 165,280 | 178,581 | 183,123 | 193,175 | 200,685 | 214,740 | 223,757 | 242,827 | 251,526 | 267,001 | 285,792 | 306,057 | 319,360 | 337,098 | 346,077 |
| 100,000 | 106,494 | 111,854 | 113,858 | 122,673 | 128,367 | 135,744 | 147,127 | 152,321 | 163,592 | 168,273 | 180,838 | 192,277 | 200,284 | 213,518 | 224,822 | 233,972 | 252,367 | 261,339 | 277,842 | 298,333 | 322,463 | 344,144 | 347,553 | 364,567 | 373,062 |
| 100,000 | 104,197 | 109,122 | 114,940 | 120,211 | 126,099 | 132,730 | 140,825 | 150,055 | 153,300 | 161,628 | 166,790 | 173,924 | 187,519 | 193,331 | 202,184 | 216,572 | 229,271 | 247,516 | 265,462 | 273,984 | 299,661 | 315,545 | 344,382 | 359,442 | 372,510 |
| 100,000 | 98,355 | 105,017 | 111,527 | 119,974 | 124,163 | 127,940 | 128,741 | 136,339 | 144,000 | 155,702 | 164,007 | 173,069 | 179,820 | 190,633 | 200,860 | 213,030 | 220,063 | 229,499 | 244,147 | 254,752 | 271,854 | 287,229 | 299,436 | 317,755 | 334,361 |
| 100,000 | 107,110 | 109,923 | 114,243 | 118,370 | 118,534 | 127,507 | 130,395 | 132,617 | 137,904 | 149,485 | 159,107 | 164,262 | 171,236 | 177,560 | 190,277 | 199,739 | 208,460 | 216,561 | 232,804 | 246,252 | 269,990 | 286,171 | 309,854 | 320,918 | 343,143 |
| 100,000 | 105,563 | 108,715 | 114,521 | 121,906 | 131,975 | 142,821 | 156,962 | 160,311 | 165,209 | 177,249 | 185,525 | 193,283 | 211,196 | 221,075 | 227,521 | 243,180 | 257,903 | 271,186 | 288,063 | 310,848 | 323,778 | 341,139 | 355,714 | 369,316 | 391,028 |
| 100,000 | 105,053 | 109,499 | 115,299 | 121,968 | 128,232 | 139,455 | 151,637 | 164,859 | 172,782 | 179,215 | 190,465 | 195,664 | 197,921 | 208,913 | 231,067 | 241,009 | 257,913 | 276,989 | 297,006 | 306,651 | 330,604 | 348,718 | 370,366 | 401,143 | 418,446 |
| 100,000 | 105,368 | 112,347 | 119,877 | 125,666 | 132,009 | 134,291 | 142,350 | 150,339 | 155,420 | 160,989 | 175,702 | 178,811 | 189,389 | 195,822 | 210,389 | 219,800 | 233,272 | 244,295 | 256,268 | 271,291 | 286,516 | 315,583 | 335,438 | 349,801 | 364,723 |
| 100,000 | 104,838 | 106,508 | 109,904 | 116,123 | 121,452 | 129,385 | 135,471 | 142,465 | 152,485 | 156,664 | 161,764 | 167,029 | 171,354 | 178,956 | 186,562 | 185,519 | 203,080 | 210,262 | 217,767 | 229,961 | 250,541 | 261,244 | 268,337 | 283,790 | 303,280 |

表 6 土地價格模擬結果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,000 | 3,357 | 3,738 | 4,009 | 4,620 | 5,173 | 5,669 | 6,184 | 6,584 | 7,285 | 8,064 | 8,623 | 9,766 | 10,721 | 11,489 | 12,621 | 13,506 | 14,441 | 15,781 | 17,343 | 19,468 | 22,221 | 24,740 | 27,748 | 30,270 | 33,152 |
| 3,000 | 3,398 | 3,735 | 4,151 | 4,510 | 4,940 | 5,344 | 5,862 | 6,326 | 6,981 | 7,418 | 8,077 | 9,120 | 10,176 | 11,156 | 11,857 | 13,269 | 14,361 | 15,479 | 17,041 | 19,236 | 21,156 | 23,098 | 24,809 | 28,140 | 31,671 |
| 3,000 | 3,196 | 3,570 | 3,922 | 4,292 | 4,804 | 5,266 | 5,860 | 6,439 | 7,011 | 7,707 | 8,516 | 9,432 | 10,557 | 11,952 | 13,156 | 14,940 | 16,616 | 18,448 | 20,509 | 22,694 | 25,504 | 28,322 | 30,735 | 32,990 | 35,986 |
| 3,000 | 3,313 | 3,637 | 4,044 | 4,386 | 4,933 | 5,332 | 5,982 | 6,610 | 7,383 | 8,031 | 8,923 | 9,861 | 10,812 | 12,343 | 13,783 | 15,490 | 16,698 | 17,800 | 19,592 | 20,964 | 23,732 | 26,339 | 29,278 | 31,861 | 34,629 |
| 3,000 | 3,342 | 3,635 | 3,990 | 4,392 | 4,903 | 5,308 | 5,942 | 6,348 | 6,930 | 7,506 | 8,378 | 9,317 | 10,420 | 11,962 | 13,644 | 14,567 | 16,624 | 19,212 | 21,565 | 24,553 | 26,842 | 29,745 | 32,542 | 34,712 | 37,520 |
| 3,000 | 3,286 | 3,720 | 4,232 | 4,729 | 5,234 | 5,949 | 6,793 | 7,442 | 7,958 | 8,861 | 9,582 | 10,267 | 11,212 | 12,628 | 13,778 | 14,819 | 16,315 | 18,140 | 19,884 | 22,273 | 24,303 | 27,126 | 30,104 | 32,507 | 36,333 |
| 3,000 | 3,261 | 3,606 | 3,994 | 4,509 | 5,194 | 5,626 | 6,210 | 6,862 | 7,859 | 8,662 | 9,609 | 10,543 | 12,032 | 12,962 | 13,938 | 15,337 | 17,030 | 18,357 | 20,272 | 21,967 | 24,427 | 26,650 | 29,026 | 32,304 | 35,803 |
| 3,000 | 3,327 | 3,555 | 3,936 | 4,412 | 4,908 | 5,296 | 5,694 | 6,294 | 7,118 | 8,007 | 8,777 | 9,334 | 10,363 | 11,356 | 12,431 | 14,246 | 15,596 | 17,063 | 18,482 | 20,407 | 22,729 | 24,994 | 28,047 | 31,356 | 34,078 |
| 3,000 | 3,369 | 3,790 | 4,185 | 4,531 | 4,927 | 5,347 | 5,829 | 6,532 | 7,295 | 8,050 | 8,975 | 9,686 | 10,649 | 11,827 | 13,001 | 14,352 | 16,327 | 17,443 | 19,432 | 21,391 | 23,316 | 25,237 | 27,974 | 29,803 | 33,484 |
| 3,000 | 3,359 | 3,806 | 4,289 | 4,827 | 5,251 | 5,924 | 6,676 | 7,758 | 8,948 | 9,879 | 11,263 | 12,434 | 13,682 | 15,135 | 16,779 | 18,549 | 20,032 | 22,005 | 23,863 | 26,476 | 29,069 | 32,306 | 34,373 | 39,296 | 43,856 |
| 3,000 | 3,250 | 3,636 | 4,089 | 4,485 | 5,030 | 5,406 | 5,753 | 6,423 | 7,029 | 7,796 | 8,742 | 9,536 | 10,611 | 11,786 | 12,633 | 13,990 | 14,875 | 16,706 | 18,456 | 20,508 | 21,868 | 24,224 | 26,868 | 29,246 | 31,753 |
| 3,000 | 3,425 | 3,915 | 4,493 | 5,092 | 5,356 | 6,018 | 6,474 | 7,256 | 8,065 | 8,792 | 9,555 | 10,788 | 11,652 | 13,428 | 14,340 | 16,232 | 17,555 | 19,626 | 21,254 | 23,861 | 25,845 | 29,962 | 32,831 | 35,609 | 39,821 |
| 3,000 | 3,378 | 3,678 | 4,070 | 4,463 | 5,086 | 5,633 | 6,168 | 6,790 | 7,268 | 8,088 | 9,240 | 9,930 | 11,033 | 11,999 | 13,197 | 14,285 | 15,535 | 16,695 | 18,761 | 21,178 | 23,493 | 26,169 | 29,860 | 32,881 | 35,522 |
| 3,000 | 3,289 | 3,555 | 3,818 | 4,266 | 4,627 | 5,032 | 5,717 | 6,431 | 7,122 | 7,961 | 8,785 | 9,698 | 10,509 | 11,359 | 12,857 | 14,113 | 15,719 | 17,369 | 19,501 | 20,654 | 23,188 | 25,904 | 28,555 | 30,894 | 33,953 |
| 3,000 | 3,290 | 3,684 | 4,199 | 4,607 | 5,135 | 5,744 | 6,333 | 6,838 | 7,473 | 8,654 | 9,421 | 10,753 | 11,761 | 12,958 | 14,998 | 17,028 | 18,491 | 20,701 | 22,085 | 24,699 | 27,352 | 29,908 | 32,834 | 36,248 | 39,403 |
| 3,000 | 3,273 | 3,589 | 4,086 | 4,328 | 4,719 | 5,258 | 5,886 | 6,749 | 7,447 | 8,214 | 9,378 | 10,110 | 11,244 | 12,811 | 14,237 | 16,243 | 18,548 | 20,722 | 23,022 | 25,040 | 26,783 | 29,371 | 31,972 | 35,783 | 39,890 |
| 3,000 | 3,233 | 3,591 | 3,946 | 4,434 | 4,942 | 5,578 | 6,208 | 7,024 | 7,772 | 8,929 | 10,012 | 10,826 | 11,846 | 13,192 | 15,155 | 16,534 | 18,651 | 21,126 | 23,430 | 25,342 | 28,132 | 31,459 | 35,760 | 38,491 | 41,756 |
| 3,000 | 3,439 | 3,758 | 4,176 | 4,659 | 5,082 | 5,661 | 6,211 | 6,901 | 7,738 | 8,595 | 9,496 | 10,468 | 11,419 | 12,313 | 13,658 | 14,685 | 16,120 | 17,727 | 19,467 | 21,480 | 23,335 | 25,656 | 28,865 | 32,833 | 36,748 |
| 3,000 | 3,317 | 3,689 | 4,050 | 4,559 | 4,949 | 5,591 | 6,084 | 6,722 | 7,348 | 8,248 | 9,063 | 10,012 | 11,150 | 11,924 | 13,037 | 14,163 | 16,041 | 18,371 | 20,379 | 23,252 | 25,078 | 27,587 | 30,301 | 33,996 | 38,189 |
| 3,000 | 3,288 | 3,691 | 4,105 | 4,553 | 4,980 | 5,616 | 6,125 | 7,000 | 7,829 | 8,825 | 9,653 | 10,597 | 11,569 | 12,304 | 13,170 | 15,060 | 16,112 | 17,022 | 18,514 | 19,854 | 22,172 | 24,429 | 27,262 | 31,204 | 35,246 |
| 3,000 | 3,344 | 3,606 | 3,870 | 4,229 | 4,665 | 5,011 | 5,358 | 5,971 | 6,817 | 7,475 | 8,440 | 9,616 | 10,751 | 11,655 | 13,042 | 14,804 | 16,417 | 18,027 | 20,080 | 21,886 | 24,489 | 26,788 | 29,470 | 33,320 | 36,398 |
| 3,000 | 3,369 | 3,720 | 4,101 | 4,435 | 4,701 | 5,299 | 5,860 | 6,475 | 6,903 | 7,647 | 8,416 | 9,365 | 10,019 | 11,355 | 12,892 | 14,304 | 15,729 | 17,815 | 19,696 | 22,190 | 24,365 | 27,266 | 30,564 | 33,530 | 36,936 |
| 3,000 | 3,303 | 3,774 | 4,162 | 4,532 | 4,974 | 5,629 | 6,392 | 7,060 | 7,622 | 8,272 | 9,214 | 10,577 | 11,632 | 12,960 | 14,455 | 15,400 | 17,174 | 19,166 | 21,603 | 23,887 | 26,184 | 29,072 | 31,631 | 34,544 | 38,806 |
| 3,000 | 3,262 | 3,540 | 3,914 | 4,414 | 4,955 | 5,575 | 6,244 | 6,803 | 7,437 | 8,228 | 9,011 | 10,193 | 11,320 | 12,444 | 13,822 | 15,286 | 16,406 | 18,748 | 20,547 | 22,789 | 25,526 | 28,792 | 31,714 | 36,344 | 39,494 |
| 3,000 | 3,271 | 3,525 | 3,818 | 4,143 | 4,650 | 5,032 | 5,451 | 5,728 | 6,063 | 6,705 | 7,180 | 7,941 | 8,811 | 9,724 | 10,709 | 11,827 | 13,371 | 14,861 | 16,731 | 18,411 | 20,474 | 22,492 | 25,809 | 27,564 | 30,154 |
| 3,000 | 3,381 | 3,690 | 4,006 | 4,459 | 4,854 | 5,515 | 6,326 | 6,918 | 7,719 | 8,496 | 9,251 | 10,354 | 11,361 | 12,487 | 14,223 | 15,682 | 18,006 | 19,575 | 21,633 | 23,770 | 27,216 | 29,996 | 33,019 | 37,036 | 41,647 |
| 3,000 | 3,208 | 3,426 | 3,645 | 3,927 | 4,559 | 4,954 | 5,622 | 6,124 | 6,726 | 7,533 | 8,463 | 9,152 | 10,345 | 10,960 | 12,530 | 13,515 | 15,258 | 16,662 | 18,785 | 20,430 | 23,028 | 24,252 | 27,022 | 30,418 | 33,210 |
| 3,000 | 3,253 | 3,648 | 4,024 | 4,481 | 4,800 | 5,292 | 5,900 | 6,544 | 7,464 | 8,189 | 8,752 | 9,943 | 10,925 | 12,266 | 13,616 | 15,358 | 17,241 | 19,589 | 21,282 | 23,018 | 25,333 | 27,767 | 29,710 | 32,942 | 37,229 |
| 3,000 | 3,341 | 3,773 | 4,290 | 4,687 | 5,277 | 5,924 | 6,366 | 6,910 | 7,617 | 8,320 | 9,206 | 10,181 | 11,471 | 12,957 | 13,976 | 15,545 | 17,039 | 18,828 | 20,474 | 23,602 | 25,667 | 28,052 | 31,068 | 35,061 | 38,948 |
| 3,000 | 3,340 | 3,642 | 3,901 | 4,341 | 4,754 | 5,190 | 5,747 | 6,498 | 7,259 | 7,654 | 8,584 | 9,182 | 10,249 | 11,358 | 11,981 | 12,883 | 14,486 | 15,798 | 18,079 | 19,736 | 21,759 | 24,295 | 27,019 | 29,882 | 33,561 |

表 7 營建物價指數模擬結果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------|
| 100.00% | 103.94% | 110.12% | 110.82% | 111.03% | 121.51% | 126.71% | 129.99% | 132.67% | 135.40% | 137.05% | 141.37% | 140.91% | 137.34% | 139.27% | 142.11% | 141.80% | 146.93% | 154.10% | 153.88% | 158.39% | 162.92% | 157.60% | 170.96% | 175.47% | 176.04% |
| 100.00% | 99.97% | 106.15% | 108.78% | 108.27% | 114.51% | 113.24% | 113.32% | 118.63% | 124.90% | 124.20% | 126.00% | 131.12% | 134.78% | 140.62% | 143.38% | 142.46% | 140.35% | 142.12% | 148.19% | 148.28% | 147.10% | 148.57% | 150.13% | 153.67% | 157.59% |
| 100.00% | 98.50% | 100.75% | 104.07% | 105.75% | 107.66% | 112.64% | 112.95% | 116.32% | 118.03% | 119.01% | 115.90% | 118.11% | 117.60% | 119.88% | 121.80% | 125.65% | 125.29% | 128.62% | 133.35% | 133.74% | 134.61% | 140.39% | 145.34% | 142.45% | 148.88% |
| 100.00% | 101.66% | 104.85% | 104.84% | 107.34% | 111.57% | 112.90% | 114.14% | 118.27% | 119.50% | 123.28% | 122.47% | 129.82% | 133.64% | 135.11% | 135.86% | 141.80% | 141.78% | 145.29% | 147.17% | 145.20% | 150.03% | 152.85% | 158.07% | 162.69% | 166.79% |
| 100.00% | 101.74% | 103.67% | 106.30% | 110.75% | 113.72% | 117.69% | 120.96% | 123.69% | 124.30% | 127.36% | 127.14% | 132.75% | 133.19% | 136.21% | 140.54% | 144.73% | 145.12% | 154.21% | 156.27% | 156.51% | 161.23% | 162.61% | 168.16% | 177.05% | 180.10% |
| 100.00% | 102.42% | 105.62% | 105.48% | 105.50% | 107.77% | 106.91% | 105.18% | 106.76% | 108.69% | 112.47% | 115.78% | 119.85% | 123.80% | 131.71% | 138.40% | 139.84% | 141.44% | 147.36% | 151.83% | 152.69% | 157.83% | 158.13% | 160.22% | 165.89% | 163.77% |
| 100.00% | 102.03% | 104.73% | 106.17% | 107.15% | 108.61% | 109.95% | 110.04% | 109.40% | 115.09% | 120.76% | 123.63% | 126.17% | 130.03% | 133.66% | 134.50% | 133.95% | 137.19% | 140.28% | 141.43% | 143.56% | 144.32% | 145.65% | 149.12% | 151.10% | 154.61% |
| 100.00% | 101.93% | 104.21% | 105.65% | 107.94% | 107.25% | 105.55% | 106.40% | 106.84% | 107.37% | 109.45% | 113.08% | 112.31% | 111.73% | 113.13% | 118.29% | 121.15% | 122.20% | 126.75% | 126.80% | 132.18% | 132.22% | 135.43% | 137.49% | 143.82% | 148.17% |
| 100.00% | 100.69% | 101.25% | 104.64% | 106.02% | 108.63% | 111.73% | 111.12% | 113.23% | 113.70% | 119.35% | 118.66% | 121.51% | 124.47% | 127.79% | 129.34% | 129.84% | 129.18% | 128.17% | 128.88% | 135.25% | 138.64% | 145.52% | 148.30% | 150.99% | 158.80% |
| 100.00% | 105.74% | 110.92% | 111.93% | 119.94% | 121.12% | 123.89% | 125.20% | 129.82% | 133.88% | 139.56% | 145.46% | 153.56% | 153.75% | 155.39% | 162.46% | 164.41% | 171.12% | 172.04% | 175.81% | 170.86% | 169.19% | 174.87% | 181.32% | 183.37% | 190.16% |
| 100.00% | 100.00% | 102.10% | 104.09% | 104.12% | 106.12% | 109.17% | 108.28% | 109.74% | 110.18% | 114.02% | 113.04% | 117.12% | 118.86% | 122.24% | 130.29% | 131.36% | 137.94% | 140.65% | 141.73% | 148.08% | 146.58% | 154.23% | 151.40% | 155.30% | 156.55% |
| 100.00% | 103.03% | 107.84% | 110.39% | 111.10% | 111.37% | 112.16% | 113.50% | 113.87% | 116.85% | 119.95% | 122.87% | 124.88% | 124.36% | 125.69% | 131.04% | 130.16% | 131.28% | 133.43% | 138.45% | 139.56% | 146.46% | 153.73% | 156.23% | 157.55% | 167.83% |
| 100.00% | 99.69% | 103.10% | 103.23% | 107.45% | 108.78% | 112.07% | 114.75% | 118.72% | 123.73% | 123.06% | 126.91% | 130.29% | 138.70% | 139.16% | 143.53% | 150.89% | 154.67% | 154.52% | 154.55% | 151.80% | 157.02% | 164.37% | 171.90% | 176.08% | 180.89% |
| 100.00% | 101.16% | 99.32% | 100.42% | 103.53% | 106.21% | 107.06% | 105.78% | 105.33% | 108.96% | 111.12% | 115.46% | 117.30% | 119.98% | 122.19% | 124.41% | 126.73% | 130.15% | 137.61% | 139.01% | 142.46% | 148.20% | 145.44% | 145.76% | 139.00% | 144.52% |
| 100.00% | 102.15% | 104.88% | 106.86% | 112.86% | 119.39% | 120.98% | 122.16% | 123.69% | 126.15% | 125.45% | 127.43% | 128.70% | 129.52% | 131.60% | 136.82% | 142.63% | 148.79% | 147.84% | 149.40% | 153.75% | 155.22% | 158.48% | 160.31% | 159.89% | 166.62% |
| 100.00% | 100.10% | 98.29% | 101.62% | 105.52% | 100.32% | 100.09% | 101.50% | 103.47% | 105.48% | 108.42% | 109.35% | 114.14% | 121.83% | 125.00% | 127.45% | 132.89% | 133.43% | 132.36% | 137.90% | 139.39% | 140.99% | 151.64% | 145.43% | 147.41% | 152.88% |
| 100.00% | 104.07% | 101.97% | 103.53% | 108.22% | 106.45% | 111.99% | 116.43% | 115.71% | 114.34% | 119.63% | 122.69% | 122.66% | 124.16% | 123.80% | 126.32% | 132.27% | 139.68% | 143.52% | 143.20% | 148.89% | 156.15% | 160.85% | 165.61% | 168.33% | 170.77% |
| 100.00% | 105.62% | 107.43% | 108.21% | 110.80% | 113.22% | 112.59% | 116.82% | 118.01% | 121.00% | 124.85% | 133.38% | 136.17% | 142.29% | 145.22% | 148.71% | 149.97% | 156.48% | 158.59% | 159.13% | 165.09% | 170.64% | 170.22% | 171.07% | 181.59% | 180.76% |
| 100.00% | 102.34% | 103.24% | 107.41% | 109.15% | 109.25% | 112.32% | 115.60% | 116.07% | 119.51% | 120.53% | 126.22% | 123.89% | 125.21% | 128.85% | 133.31% | 132.89% | 138.27% | 140.39% | 144.20% | 152.05% | 153.11% | 156.35% | 157.29% | 159.00% | 161.36% |
| 100.00% | 102.26% | 104.41% | 105.94% | 105.79% | 107.19% | 107.76% | 109.08% | 110.98% | 114.90% | 116.67% | 121.59% | 121.15% | 125.63% | 127.81% | 128.88% | 130.20% | 135.10% | 132.27% | 135.80% | 141.07% | 142.46% | 146.96% | 147.86% | 146.11% | 149.43% |
| 100.00% | 101.58% | 102.48% | 106.76% | 111.06% | 113.11% | 118.63% | 125.45% | 128.58% | 131.40% | 132.11% | 133.52% | 134.19% | 135.16% | 132.18% | 130.87% | 134.75% | 138.61% | 138.41% | 139.77% | 144.59% | 145.54% | 151.12% | 155.18% | 155.94% | 164.33% |
| 100.00% | 101.97% | 103.35% | 106.07% | 109.35% | 112.23% | 115.34% | 119.91% | 125.47% | 124.09% | 123.04% | 125.04% | 127.47% | 128.69% | 130.25% | 134.66% | 140.67% | 142.90% | 145.40% | 150.04% | 153.79% | 159.16% | 164.08% | 166.73% | 171.19% | 174.07% |
| 100.00% | 102.07% | 103.87% | 106.59% | 108.54% | 113.66% | 120.15% | 124.01% | 128.48% | 133.01% | 135.76% | 136.71% | 143.21% | 149.76% | 153.88% | 153.12% | 155.54% | 160.43% | 160.92% | 167.35% | 167.03% | 173.72% | 176.46% | 180.83% | 179.85% | 181.63% |
| 100.00% | 103.33% | 106.91% | 107.62% | 110.51% | 112.21% | 113.51% | 118.74% | 121.24% | 125.61% | 124.50% | 130.27% | 132.36% | 134.43% | 136.23% | 140.04% | 145.14% | 151.76% | 159.14% | 164.66% | 163.24% | 165.68% | 164.22% | 167.66% | 171.32% | 169.47% |
| 100.00% | 98.39% | 97.59% | 100.61% | 97.68% | 100.64% | 102.37% | 105.39% | 105.74% | 106.68% | 106.47% | 106.28% | 104.74% | 108.84% | 112.03% | 111.49% | 114.62% | 114.57% | 118.56% | 120.70% | 129.22% | 135.76% | 136.66% | 137.12% | 141.06% | 141.53% |
| 100.00% | 104.04% | 106.02% | 108.19% | 112.53% | 114.87% | 116.17% | 121.85% | 125.09% | 129.62% | 130.32% | 136.76% | 137.33% | 140.78% | 142.42% | 139.02% | 143.45% | 142.12% | 145.02% | 149.73% | 149.10% | 156.71% | 154.95% | 164.22% | 166.57% | 171.90% |
| 100.00% | 100.98% | 100.38% | 102.01% | 105.46% | 109.45% | 113.07% | 116.25% | 120.55% | 122.23% | 123.88% | 125.82% | 128.79% | 134.56% | 138.51% | 138.22% | 144.77% | 149.34% | 152.87% | 153.27% | 158.20% | 156.83% | 155.45% | 159.15% | 164.19% | 160.36% |
| 100.00% | 104.37% | 104.98% | 109.09% | 109.04% | 112.05% | 113.16% | 114.99% | 115.62% | 115.43% | 120.75% | 121.81% | 123.45% | 120.64% | 125.10% | 126.19% | 124.88% | 126.76% | 132.00% | 137.31% | 145.44% | 146.29% | 145.39% | 144.64% | 146.91% | 148.77% |
| 100.00% | 102.85% | 108.99% | 112.14% | 113.17% | 114.77% | 118.45% | 124.73% | 130.32% | 131.07% | 133.72% | 133.89% | 137.11% | 139.46% | 142.47% | 145.58% | 148.69% | 150.63% | 148.22% | 152.66% | 154.98% | 154.99% | 164.31% | 170.58% | 186.09% | 186.21% |
| 100.00% | 101.85% | 103.21% | 105.38% | 103.81% | 102.10% | 104.83% | 108.01% | 110.98% | 113.22% | 118.44% | 121.32% | 124.97% | 129.19% | 132.28% | 132.38% | 132.12% | 131.76% | 137.96% | 142.04% | 143.60% | 147.99% | 150.80% | 155.09% | 161.78% | 161.52% |

表 8 方案一現金流評估結果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| 18,413,497,960 | 1,025,058,140 | 1,086,663,036 | 1,121,123,459 | 1,197,154,372 | 1,267,429,607 | 1,350,322,845 | 1,414,249,045 | 1,501,204,572 | 1,678,375,166 | 1,755,574,820 | (1,674,173,537) | 1,925,238,789 |
| 17,240,224,961 | 1,058,689,213 | 1,098,299,692 | 1,178,088,042 | 1,230,004,760 | 1,281,462,947 | 1,301,423,125 | 1,345,916,498 | 1,400,565,037 | 1,428,743,123 | 1,479,313,648 | (1,606,096,232) | 1,625,838,475 |
| 18,371,812,063 | 1,054,521,461 | 1,107,110,990 | 1,184,913,495 | 1,268,415,100 | 1,322,393,055 | 1,365,918,197 | 1,439,138,507 | 1,490,409,177 | 1,552,625,520 | 1,678,559,351 | (1,212,641,583) | 1,787,631,378 |
| 18,130,971,147 | 1,071,539,095 | 1,121,267,389 | 1,159,851,058 | 1,184,980,991 | 1,274,366,256 | 1,364,564,704 | 1,436,417,154 | 1,529,505,827 | 1,542,420,949 | 1,638,047,347 | (1,415,728,289) | 1,761,079,398 |
| 18,313,082,247 | 1,052,799,567 | 1,122,540,627 | 1,202,489,199 | 1,236,110,533 | 1,341,238,278 | 1,418,646,193 | 1,474,584,124 | 1,572,020,708 | 1,645,774,980 | 1,643,284,474 | (1,456,918,836) | 1,739,053,002 |
| 19,845,246,573 | 1,050,792,997 | 1,104,538,053 | 1,214,046,132 | 1,312,767,937 | 1,392,836,711 | 1,497,010,346 | 1,563,428,592 | 1,667,870,544 | 1,722,166,785 | 1,769,533,524 | (1,234,210,505) | 2,000,913,276 |
| 18,987,924,038 | 1,071,398,816 | 1,096,987,700 | 1,151,408,780 | 1,239,935,045 | 1,348,407,792 | 1,415,850,525 | 1,489,383,532 | 1,569,203,707 | 1,688,264,403 | 1,712,423,594 | (1,393,234,929) | 1,850,260,539 |
| 17,951,813,347 | 1,037,359,920 | 1,091,089,620 | 1,184,139,817 | 1,214,154,433 | 1,281,814,913 | 1,339,097,968 | 1,364,888,045 | 1,456,422,808 | 1,498,091,052 | 1,608,953,080 | (1,265,869,157) | 1,718,464,763 |
| 18,813,313,151 | 1,060,232,328 | 1,118,408,066 | 1,172,995,053 | 1,239,019,257 | 1,304,870,851 | 1,369,507,112 | 1,425,967,557 | 1,478,408,777 | 1,598,669,317 | 1,675,103,469 | (1,253,135,224) | 1,899,802,819 |
| 18,993,069,443 | 1,123,204,586 | 1,162,121,816 | 1,208,895,927 | 1,241,464,040 | 1,325,216,780 | 1,420,786,300 | 1,559,809,922 | 1,627,142,403 | 1,701,923,992 | 1,738,859,326 | (1,953,860,010) | 1,909,187,862 |
| 19,783,173,167 | 1,031,395,699 | 1,110,252,522 | 1,180,146,005 | 1,258,288,283 | 1,388,149,558 | 1,425,611,465 | 1,540,033,357 | 1,672,804,250 | 1,777,148,994 | 1,800,000,000 | (1,116,328,585) | 2,011,558,139 |
| 17,330,592,780 | 1,046,507,364 | 1,122,594,100 | 1,177,283,834 | 1,221,789,221 | 1,246,773,891 | 1,272,747,922 | 1,279,368,809 | 1,383,829,640 | 1,483,430,045 | 1,527,471,351 | (1,561,815,642) | 1,709,524,747 |
| 17,330,986,191 | 1,051,592,784 | 1,114,552,142 | 1,169,346,649 | 1,221,170,045 | 1,283,160,461 | 1,303,467,836 | 1,324,295,314 | 1,345,652,857 | 1,418,417,401 | 1,510,713,119 | (1,660,910,871) | 1,688,721,016 |
| 18,472,356,550 | 1,048,444,530 | 1,086,304,560 | 1,124,690,116 | 1,185,241,319 | 1,246,450,761 | 1,353,586,836 | 1,410,692,760 | 1,475,616,756 | 1,576,860,865 | 1,681,752,989 | (1,265,769,702) | 1,847,881,662 |
| 19,378,609,697 | 1,053,747,263 | 1,145,850,424 | 1,226,740,583 | 1,282,634,614 | 1,354,801,744 | 1,404,916,759 | 1,482,329,754 | 1,557,181,280 | 1,607,216,778 | 1,728,178,938 | (1,455,135,663) | 1,978,232,315 |
| 18,369,760,654 | 1,077,723,200 | 1,123,095,188 | 1,202,579,375 | 1,244,150,062 | 1,298,239,456 | 1,346,160,265 | 1,419,921,119 | 1,477,767,002 | 1,460,200,621 | 1,542,190,277 | (1,241,204,145) | 1,716,264,272 |
| 19,274,431,240 | 1,043,487,479 | 1,111,195,820 | 1,144,430,552 | 1,210,921,888 | 1,284,022,396 | 1,396,740,940 | 1,492,010,900 | 1,583,953,991 | 1,715,328,962 | 1,800,000,000 | (1,404,650,347) | 2,032,316,616 |
| 18,307,738,137 | 1,047,611,621 | 1,102,352,011 | 1,137,838,293 | 1,174,252,566 | 1,244,279,919 | 1,330,790,499 | 1,395,364,016 | 1,488,470,826 | 1,578,464,625 | 1,612,948,876 | (1,664,881,420) | 1,848,378,021 |
| 18,621,530,050 | 1,030,973,992 | 1,088,434,426 | 1,162,425,071 | 1,256,931,291 | 1,291,172,860 | 1,332,110,491 | 1,398,007,592 | 1,450,423,098 | 1,588,907,659 | 1,652,840,147 | (1,447,834,901) | 1,876,246,212 |
| 18,377,239,187 | 1,049,325,031 | 1,087,199,873 | 1,121,207,533 | 1,204,940,535 | 1,226,797,020 | 1,281,327,908 | 1,361,822,668 | 1,411,196,792 | 1,489,124,874 | 1,647,572,567 | (1,410,937,286) | 1,900,010,260 |
| 16,691,640,658 | 1,051,328,798 | 1,104,919,856 | 1,110,534,363 | 1,134,579,574 | 1,181,349,623 | 1,214,254,106 | 1,284,434,797 | 1,330,097,584 | 1,423,070,332 | 1,530,024,937 | (1,748,016,045) | 1,651,355,203 |
| 17,820,803,349 | 1,031,108,978 | 1,112,524,805 | 1,170,948,122 | 1,201,223,961 | 1,220,274,113 | 1,283,857,954 | 1,348,290,781 | 1,413,730,142 | 1,451,647,298 | 1,581,051,808 | (1,479,271,217) | 1,785,812,581 |
| 18,758,548,356 | 1,064,942,762 | 1,118,538,757 | 1,138,581,719 | 1,226,730,016 | 1,283,669,824 | 1,357,444,341 | 1,471,272,383 | 1,523,205,053 | 1,635,924,903 | 1,682,728,012 | (1,625,235,799) | 1,922,773,524 |
| 17,993,113,204 | 1,041,968,735 | 1,091,217,118 | 1,149,399,518 | 1,202,111,814 | 1,260,988,490 | 1,327,303,044 | 1,408,252,296 | 1,500,552,902 | 1,533,002,750 | 1,616,276,528 | (1,613,382,409) | 1,739,242,891 |
| 17,721,839,968 | 983,550,950 | 1,050,170,481 | 1,115,265,523 | 1,199,744,526 | 1,241,628,651 | 1,279,397,865 | 1,287,414,612 | 1,363,390,552 | 1,439,996,422 | 1,557,015,210 | (1,023,996,567) | 1,730,693,251 |
| 16,840,579,936 | 1,071,100,974 | 1,099,232,834 | 1,142,434,871 | 1,183,703,057 | 1,185,338,506 | 1,275,067,579 | 1,303,947,136 | 1,326,174,644 | 1,379,042,763 | 1,494,845,207 | (1,837,986,962) | 1,642,616,479 |
| 19,293,714,918 | 1,055,634,175 | 1,087,148,086 | 1,145,212,318 | 1,219,064,353 | 1,319,747,819 | 1,428,209,724 | 1,569,619,388 | 1,603,109,600 | 1,652,093,044 | 1,772,491,783 | (1,351,112,549) | 1,932,828,732 |
| 19,235,315,191 | 1,050,529,211 | 1,094,992,312 | 1,152,985,686 | 1,219,682,462 | 1,282,323,742 | 1,394,549,914 | 1,516,370,303 | 1,648,590,547 | 1,727,816,126 | 1,792,153,907 | (1,292,532,767) | 1,956,639,680 |
| 18,324,215,470 | 1,053,683,725 | 1,123,465,805 | 1,198,765,713 | 1,256,655,217 | 1,320,089,950 | 1,342,914,182 | 1,423,500,668 | 1,503,392,104 | 1,554,204,631 | 1,609,885,897 | (1,611,173,111) | 1,788,111,553 |
| 17,028,164,676 | 1,048,381,312 | 1,065,083,192 | 1,099,042,428 | 1,161,234,595 | 1,214,515,062 | 1,293,849,580 | 1,354,706,725 | 1,424,645,036 | 1,524,849,972 | 1,566,637,782 | (1,452,447,110) | 1,670,288,431 |

期望值：18,333,843,610 元＝18,334 百萬元

(第十一年拓寬至 8 車道，30 公尺)

標準差：835,888,568 元＝835 百萬元

表 8 方案一現金流評估結果（續）

| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2,010,735,451 | 2,098,067,925 | 2,126,792,539 | 2,176,652,162 | 2,272,841,595 | 2,383,206,259 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,733,612,089 | 1,828,873,190 | 1,919,404,381 | 1,973,174,411 | 2,083,880,242 | 2,207,425,570 | 2,316,091,297 | 2,325,971,613 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,896,324,807 | 1,925,410,978 | 2,035,767,674 | 2,127,970,043 | 2,186,614,194 | 2,258,740,725 | 2,327,506,082 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,801,972,022 | 1,909,706,825 | 2,023,238,871 | 2,134,339,255 | 2,178,845,741 | 2,345,002,268 | 2,398,546,585 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,809,646,043 | 1,923,221,140 | 2,038,412,760 | 2,112,316,075 | 2,132,802,846 | 2,242,929,787 | 2,378,736,770 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,157,803,291 | 2,286,315,989 | 2,366,025,135 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,993,337,510 | 2,087,516,873 | 2,219,831,415 | 2,291,811,677 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,822,544,879 | 1,888,624,324 | 1,981,511,244 | 2,103,424,258 | 2,154,339,772 | 2,298,261,519 | 2,388,143,226 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,946,613,257 | 2,085,831,230 | 2,203,377,789 | 2,272,426,853 | 2,371,367,694 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,029,956,549 | 2,115,346,284 | 2,217,898,127 | 2,310,202,805 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,131,717,884 | 2,271,089,726 | 2,341,260,997 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,728,377,129 | 1,824,066,737 | 1,958,008,657 | 2,023,783,721 | 2,108,100,031 | 2,214,803,458 | 2,303,408,740 | 2,358,120,596 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,844,303,906 | 1,930,257,072 | 1,927,955,993 | 2,042,008,426 | 2,108,015,527 | 2,168,403,733 | 2,234,050,658 | 2,390,401,502 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,927,392,454 | 2,059,296,552 | 2,117,446,882 | 2,239,050,728 | 2,330,689,290 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,130,243,996 | 2,253,379,812 | 2,387,887,831 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,815,388,418 | 1,922,032,298 | 2,094,646,922 | 2,261,010,888 | 2,392,094,035 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,105,583,984 | 2,204,939,269 | 2,320,969,718 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,924,915,940 | 2,094,386,269 | 2,188,304,442 | 2,312,736,617 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,025,706,173 | 2,111,609,102 | 2,201,855,406 | 2,305,835,039 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,017,115,923 | 2,096,771,001 | 2,185,464,854 | 2,329,875,863 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,691,658,300 | 1,763,778,206 | 1,882,853,812 | 1,932,330,593 | 2,048,563,737 | 2,092,719,616 | 2,305,668,085 | 2,389,832,076 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,831,233,210 | 1,931,746,931 | 2,006,854,852 | 2,147,399,060 | 2,237,568,623 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,002,840,035 | 2,135,180,757 | 2,248,223,147 | 2,339,724,961 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,875,188,015 | 1,933,308,052 | 2,021,840,951 | 2,165,717,340 | 2,292,706,793 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,798,199,005 | 1,906,332,946 | 2,008,604,178 | 2,130,303,984 | 2,200,628,886 | 2,294,993,116 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,712,358,786 | 1,775,603,257 | 1,902,769,256 | 1,997,389,646 | 2,084,595,548 | 2,165,605,873 | 2,328,041,920 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,111,961,439 | 2,210,749,329 | 2,275,209,269 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,979,210,604 | 2,089,128,112 | 2,310,674,860 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,893,888,212 | 1,958,219,329 | 2,103,891,948 | 2,198,000,330 | 2,332,722,274 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,713,543,545 | 1,789,558,197 | 1,865,615,038 | 1,855,192,985 | 2,030,800,115 | 2,102,618,267 | 2,177,673,185 | 2,299,613,232 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |

表 9 方案二現金流評估結果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| 19,393,196,708 | 1,025,058,140 | 1,086,663,036 | 1,121,123,459 | 1,197,154,372 | 1,267,429,607 | 1,350,322,845 | 1,414,249,045 | 1,501,204,572 | 1,678,375,166 | 1,755,574,820 | 386,270,147 | 1,925,238,789 |
| 18,106,120,646 | 1,058,689,213 | 1,098,299,692 | 1,178,088,042 | 1,230,004,760 | 1,281,462,947 | 1,301,423,125 | 1,345,916,498 | 1,400,565,037 | 1,428,743,123 | 1,479,313,648 | 259,705,594 | 1,625,838,475 |
| 19,197,882,062 | 1,054,521,461 | 1,107,110,990 | 1,184,913,495 | 1,268,415,100 | 1,322,393,055 | 1,365,918,197 | 1,439,138,507 | 1,490,409,177 | 1,552,625,520 | 1,678,559,351 | 585,044,804 | 1,787,631,378 |
| 19,013,320,306 | 1,071,539,095 | 1,121,267,389 | 1,159,851,058 | 1,184,980,991 | 1,274,366,256 | 1,364,564,704 | 1,436,417,154 | 1,529,505,827 | 1,542,420,949 | 1,638,047,347 | 478,214,560 | 1,761,079,398 |
| 19,198,828,329 | 1,052,799,567 | 1,122,540,627 | 1,202,489,199 | 1,236,110,533 | 1,341,238,278 | 1,418,646,193 | 1,474,584,124 | 1,572,020,708 | 1,645,774,980 | 1,643,284,474 | 442,833,905 | 1,739,053,002 |
| 20,717,351,584 | 1,050,792,997 | 1,104,538,053 | 1,214,046,132 | 1,312,767,937 | 1,392,836,711 | 1,497,010,346 | 1,563,428,592 | 1,667,870,544 | 1,722,166,785 | 1,769,533,524 | 642,211,376 | 2,000,913,276 |
| 19,907,112,631 | 1,071,398,816 | 1,096,987,700 | 1,151,408,780 | 1,239,935,045 | 1,348,407,792 | 1,415,850,525 | 1,489,383,532 | 1,569,203,707 | 1,688,264,403 | 1,712,423,594 | 563,715,854 | 1,850,260,539 |
| 18,772,828,890 | 1,037,359,920 | 1,091,089,620 | 1,184,139,817 | 1,214,154,433 | 1,281,814,913 | 1,339,097,968 | 1,364,888,045 | 1,456,422,808 | 1,498,091,052 | 1,608,953,080 | 523,172,395 | 1,718,464,763 |
| 19,675,666,723 | 1,060,232,328 | 1,118,408,066 | 1,172,995,053 | 1,239,019,257 | 1,304,870,851 | 1,369,507,112 | 1,425,967,557 | 1,478,408,777 | 1,598,669,317 | 1,675,103,469 | 606,608,387 | 1,899,802,819 |
| 20,112,410,640 | 1,123,204,586 | 1,162,121,816 | 1,208,895,927 | 1,241,464,040 | 1,325,216,780 | 1,420,786,300 | 1,559,809,922 | 1,627,142,403 | 1,701,923,992 | 1,738,859,326 | 345,419,650 | 1,909,187,862 |
| 20,602,397,288 | 1,031,395,699 | 1,110,252,522 | 1,180,146,005 | 1,258,288,283 | 1,388,149,558 | 1,425,611,465 | 1,540,033,357 | 1,672,804,250 | 1,777,148,994 | 1,800,000,000 | 669,649,028 | 2,011,558,139 |
| 18,242,981,033 | 1,046,507,364 | 1,122,594,100 | 1,177,283,834 | 1,221,789,221 | 1,246,773,891 | 1,272,747,922 | 1,279,368,809 | 1,383,829,640 | 1,483,430,045 | 1,527,471,351 | 383,504,252 | 1,709,524,747 |
| 18,253,210,906 | 1,051,592,784 | 1,114,552,142 | 1,169,346,649 | 1,221,170,045 | 1,283,160,461 | 1,303,467,836 | 1,324,295,314 | 1,345,652,857 | 1,418,417,401 | 1,510,713,119 | 301,232,711 | 1,688,721,016 |
| 19,307,651,744 | 1,048,444,530 | 1,086,304,560 | 1,124,690,116 | 1,185,241,319 | 1,246,450,761 | 1,353,586,836 | 1,410,692,760 | 1,475,616,756 | 1,576,860,865 | 1,681,752,989 | 547,694,897 | 1,847,881,662 |
| 20,311,779,019 | 1,053,747,263 | 1,145,850,424 | 1,226,740,583 | 1,282,634,614 | 1,354,801,744 | 1,404,916,759 | 1,482,329,754 | 1,557,181,280 | 1,607,216,778 | 1,728,178,938 | 525,726,913 | 1,978,232,315 |
| 19,195,349,392 | 1,077,723,200 | 1,123,095,188 | 1,202,579,375 | 1,244,150,062 | 1,298,239,456 | 1,346,160,265 | 1,419,921,119 | 1,477,767,002 | 1,460,200,621 | 1,542,190,277 | 555,659,123 | 1,716,264,272 |
| 20,205,802,993 | 1,043,487,479 | 1,111,195,820 | 1,144,430,552 | 1,210,921,888 | 1,284,022,396 | 1,396,740,940 | 1,492,010,900 | 1,583,953,991 | 1,715,328,962 | 1,800,000,000 | 573,137,776 | 2,032,316,616 |
| 19,279,011,837 | 1,047,611,621 | 1,102,352,011 | 1,137,838,293 | 1,174,252,566 | 1,244,279,919 | 1,330,790,499 | 1,395,364,016 | 1,488,470,826 | 1,578,464,625 | 1,612,948,876 | 381,152,571 | 1,848,378,021 |
| 19,531,954,609 | 1,030,973,992 | 1,088,434,426 | 1,162,425,071 | 1,256,931,291 | 1,291,172,860 | 1,332,110,491 | 1,398,007,592 | 1,450,423,098 | 1,588,907,659 | 1,652,840,147 | 494,126,410 | 1,876,246,212 |
| 19,286,417,663 | 1,049,325,031 | 1,087,199,873 | 1,121,207,533 | 1,204,940,535 | 1,226,797,020 | 1,281,327,908 | 1,361,822,668 | 1,411,196,792 | 1,489,124,874 | 1,647,572,567 | 528,892,800 | 1,900,010,260 |
| 17,617,404,274 | 1,051,328,798 | 1,104,919,856 | 1,110,534,363 | 1,134,579,574 | 1,181,349,623 | 1,214,254,106 | 1,284,434,797 | 1,330,097,584 | 1,423,070,332 | 1,530,024,937 | 220,180,260 | 1,651,355,203 |
| 18,695,955,614 | 1,031,108,978 | 1,112,524,805 | 1,170,948,122 | 1,201,223,961 | 1,220,274,113 | 1,283,857,954 | 1,348,290,781 | 1,413,730,142 | 1,451,647,298 | 1,581,051,808 | 402,362,501 | 1,785,812,581 |
| 19,736,900,557 | 1,064,942,762 | 1,118,538,757 | 1,138,581,719 | 1,226,730,016 | 1,283,669,824 | 1,357,444,341 | 1,471,272,383 | 1,523,205,053 | 1,635,924,903 | 1,682,728,012 | 432,904,832 | 1,922,773,524 |
| 18,924,929,214 | 1,041,968,735 | 1,091,217,118 | 1,149,399,518 | 1,202,111,814 | 1,260,988,490 | 1,327,303,044 | 1,408,252,296 | 1,500,552,902 | 1,533,002,750 | 1,616,276,528 | 365,165,543 | 1,739,242,891 |
| 18,433,082,029 | 983,550,950 | 1,050,170,481 | 1,115,265,523 | 1,199,744,526 | 1,241,628,651 | 1,279,397,865 | 1,287,414,612 | 1,363,390,552 | 1,439,996,422 | 1,557,015,210 | 577,295,078 | 1,730,693,251 |
| 17,820,859,750 | 1,071,100,974 | 1,099,232,834 | 1,142,434,871 | 1,183,703,057 | 1,185,338,506 | 1,275,067,579 | 1,303,947,136 | 1,326,174,644 | 1,379,042,763 | 1,494,845,207 | 223,450,542 | 1,642,616,479 |
| 20,175,467,060 | 1,055,634,175 | 1,087,148,086 | 1,145,212,318 | 1,219,064,353 | 1,319,747,819 | 1,428,209,724 | 1,569,619,388 | 1,603,109,600 | 1,652,093,044 | 1,772,491,783 | 541,809,198 | 1,932,828,732 |
| 20,106,272,177 | 1,050,529,211 | 1,094,992,312 | 1,152,985,686 | 1,219,682,462 | 1,282,323,742 | 1,394,549,914 | 1,516,370,303 | 1,648,590,547 | 1,727,816,126 | 1,792,153,907 | 581,925,602 | 1,956,639,680 |
| 19,285,707,340 | 1,053,683,725 | 1,123,465,805 | 1,198,765,713 | 1,256,655,217 | 1,320,089,950 | 1,342,914,182 | 1,423,500,668 | 1,503,392,104 | 1,554,204,631 | 1,609,885,897 | 418,130,633 | 1,788,111,553 |
| 17,888,873,606 | 1,048,381,312 | 1,065,083,192 | 1,099,042,428 | 1,161,234,595 | 1,214,515,062 | 1,293,849,580 | 1,354,706,725 | 1,424,645,036 | 1,524,849,972 | 1,566,637,782 | 404,483,603 | 1,670,288,431 |

期望值：19, 233, 224, 221 元=19, 233 百萬元

(第十一年拓寬至 8 車道，30 公尺)

標準差： 841, 867, 773 元= 842 百萬元

表9 方案二現金流評估結果（續）

| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2,010,735,451 | 2,098,067,925 | 2,126,792,539 | 2,176,652,162 | 2,272,841,595 | 2,383,206,259 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,733,612,089 | 1,828,873,190 | 1,919,404,381 | 1,973,174,411 | 2,083,880,242 | 2,207,425,570 | 2,316,091,297 | 2,325,971,613 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,896,324,807 | 1,925,410,978 | 2,035,767,674 | 2,127,970,043 | 2,186,614,194 | 2,258,740,725 | 2,327,506,082 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,801,972,022 | 1,909,706,825 | 2,023,238,871 | 2,134,339,255 | 2,178,845,741 | 2,345,002,268 | 2,398,546,585 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,809,646,043 | 1,923,221,140 | 2,038,412,760 | 2,112,316,075 | 2,132,802,846 | 2,242,929,787 | 2,378,736,770 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,157,803,291 | 2,286,315,989 | 2,366,025,135 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,993,337,510 | 2,087,516,873 | 2,219,831,415 | 2,291,811,677 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,822,544,879 | 1,888,624,324 | 1,981,511,244 | 2,103,424,258 | 2,154,339,772 | 2,298,261,519 | 2,388,143,226 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,946,613,257 | 2,085,831,230 | 2,203,377,789 | 2,272,426,853 | 2,371,367,694 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,029,956,549 | 2,115,346,284 | 2,217,898,127 | 2,310,202,805 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,131,717,884 | 2,271,089,726 | 2,341,260,997 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,728,377,129 | 1,824,066,737 | 1,958,008,657 | 2,023,783,721 | 2,108,100,031 | 2,214,803,458 | 2,303,408,740 | 2,358,120,596 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,844,303,906 | 1,930,257,072 | 1,927,955,993 | 2,042,008,426 | 2,108,015,527 | 2,168,403,733 | 2,234,050,658 | 2,390,401,502 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,927,392,454 | 2,059,296,552 | 2,117,446,882 | 2,239,050,728 | 2,330,689,290 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,130,243,996 | 2,253,379,812 | 2,387,887,831 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,815,388,418 | 1,922,032,298 | 2,094,646,922 | 2,261,010,888 | 2,392,094,035 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,105,583,984 | 2,204,939,269 | 2,320,969,718 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,924,915,940 | 2,094,386,269 | 2,188,304,442 | 2,312,736,617 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,025,706,173 | 2,111,609,102 | 2,201,855,406 | 2,305,835,039 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,017,115,923 | 2,096,771,001 | 2,185,464,854 | 2,329,875,863 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,691,658,300 | 1,763,778,206 | 1,882,853,812 | 1,932,330,593 | 2,048,563,737 | 2,092,719,616 | 2,305,668,085 | 2,389,832,076 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,831,233,210 | 1,931,746,931 | 2,006,854,852 | 2,147,399,060 | 2,237,568,623 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,002,840,035 | 2,135,180,757 | 2,248,223,147 | 2,339,724,961 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,875,188,015 | 1,933,308,052 | 2,021,840,951 | 2,165,717,340 | 2,292,706,793 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,798,199,005 | 1,906,332,946 | 2,008,604,178 | 2,130,303,984 | 2,200,628,886 | 2,294,993,116 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,712,358,786 | 1,775,603,257 | 1,902,769,256 | 1,997,389,646 | 2,084,595,548 | 2,165,605,873 | 2,328,041,920 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,111,961,439 | 2,210,749,329 | 2,275,209,269 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,979,210,604 | 2,089,128,112 | 2,310,674,860 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,893,888,212 | 1,958,219,329 | 2,103,891,948 | 2,198,000,330 | 2,332,722,274 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,713,543,545 | 1,789,558,197 | 1,865,615,038 | 1,855,192,985 | 2,030,800,115 | 2,102,618,267 | 2,177,673,185 | 2,299,613,232 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |

表 10 方案三現金流評估結果

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 19,227,759,391 | 1,025,058,140 | 1,086,663,036 | 1,121,123,459 | 1,197,154,372 | 1,267,429,607 | 1,350,322,845 | 1,414,249,045 | 1,501,204,572 | 1,678,375,166 | 1,755,574,820 | 1,813,655,550 | 1,925,238,789 |
| 17,842,837,477 | 1,058,689,213 | 1,098,299,692 | 1,178,088,042 | 1,230,004,760 | 1,281,462,947 | 1,301,423,125 | 1,345,916,498 | 1,400,565,037 | 1,428,743,123 | 1,479,313,648 | 1,519,741,387 | 1,625,838,475 |
| 18,875,528,639 | 1,054,521,461 | 1,107,110,990 | 1,184,913,495 | 1,268,415,100 | 1,322,393,055 | 1,365,918,197 | 1,439,138,507 | 1,490,409,177 | 1,552,625,520 | 1,678,559,351 | 1,744,050,417 | 1,787,631,378 |
| 18,729,402,180 | 1,071,539,095 | 1,121,267,389 | 1,159,851,058 | 1,184,980,991 | 1,274,366,256 | 1,364,564,704 | 1,436,417,154 | 1,529,505,827 | 1,542,420,949 | 1,638,047,347 | 1,702,957,574 | 1,761,079,398 |
| 18,942,191,929 | 1,052,799,567 | 1,122,540,627 | 1,202,489,199 | 1,236,110,533 | 1,341,238,278 | 1,418,646,193 | 1,474,584,124 | 1,572,020,708 | 1,645,774,980 | 1,643,284,474 | 1,714,237,927 | 1,739,053,002 |
| 20,466,188,000 | 1,050,792,997 | 1,104,538,053 | 1,214,046,132 | 1,312,767,937 | 1,392,836,711 | 1,497,010,346 | 1,563,428,592 | 1,667,870,544 | 1,722,166,785 | 1,769,533,524 | 1,922,975,771 | 2,000,913,276 |
| 19,635,582,970 | 1,071,398,816 | 1,096,987,700 | 1,151,408,780 | 1,239,935,045 | 1,348,407,792 | 1,415,850,525 | 1,489,383,532 | 1,569,203,707 | 1,688,264,403 | 1,712,423,594 | 1,809,647,346 | 1,850,260,539 |
| 18,433,975,291 | 1,037,359,920 | 1,091,089,620 | 1,184,139,817 | 1,214,154,433 | 1,281,814,913 | 1,339,097,968 | 1,364,888,045 | 1,456,422,808 | 1,498,091,052 | 1,608,953,080 | 1,653,957,106 | 1,718,464,763 |
| 19,369,475,709 | 1,060,232,328 | 1,118,408,066 | 1,172,995,053 | 1,239,019,257 | 1,304,870,851 | 1,369,507,112 | 1,425,967,557 | 1,478,408,777 | 1,598,669,317 | 1,675,103,469 | 1,793,257,202 | 1,899,802,819 |
| 19,976,724,335 | 1,123,204,586 | 1,162,121,816 | 1,208,895,927 | 1,241,464,040 | 1,325,216,780 | 1,420,786,300 | 1,559,809,922 | 1,627,142,403 | 1,701,923,992 | 1,738,859,326 | 1,823,689,379 | 1,909,187,862 |
| 20,316,840,108 | 1,031,395,699 | 1,110,252,522 | 1,180,146,005 | 1,258,288,283 | 1,388,149,558 | 1,425,611,465 | 1,540,033,357 | 1,672,804,250 | 1,777,148,994 | 1,811,177,776 | 1,879,852,037 | 2,011,558,139 |
| 17,961,353,834 | 1,046,507,364 | 1,122,594,100 | 1,177,283,834 | 1,221,789,221 | 1,246,773,891 | 1,272,747,922 | 1,279,368,809 | 1,383,829,640 | 1,483,430,045 | 1,527,471,351 | 1,612,165,527 | 1,709,524,747 |
| 17,995,242,798 | 1,051,592,784 | 1,114,552,142 | 1,169,346,649 | 1,221,170,045 | 1,283,160,461 | 1,303,467,836 | 1,324,295,314 | 1,345,652,857 | 1,418,417,401 | 1,510,713,119 | 1,570,359,061 | 1,688,721,016 |
| 18,982,728,393 | 1,048,444,530 | 1,086,304,560 | 1,124,690,116 | 1,185,241,319 | 1,246,450,761 | 1,353,586,836 | 1,410,692,760 | 1,475,616,756 | 1,576,860,865 | 1,681,752,989 | 1,702,305,060 | 1,847,881,662 |
| 20,085,456,234 | 1,053,747,263 | 1,145,850,424 | 1,226,740,583 | 1,282,634,614 | 1,354,801,744 | 1,404,916,759 | 1,482,329,754 | 1,557,181,280 | 1,607,216,778 | 1,728,178,938 | 1,848,977,504 | 1,978,232,315 |
| 18,834,686,567 | 1,077,723,200 | 1,123,095,188 | 1,202,579,375 | 1,244,150,062 | 1,298,239,456 | 1,346,160,265 | 1,419,921,119 | 1,477,767,002 | 1,460,200,621 | 1,542,190,277 | 1,649,142,656 | 1,716,264,272 |
| 20,039,934,671 | 1,043,487,479 | 1,111,195,820 | 1,144,430,552 | 1,210,921,888 | 1,284,022,396 | 1,396,740,940 | 1,492,010,900 | 1,583,953,991 | 1,715,328,962 | 1,830,193,632 | 1,968,082,700 | 2,032,316,616 |
| 19,058,861,425 | 1,047,611,621 | 1,102,352,011 | 1,137,838,293 | 1,174,252,566 | 1,244,279,919 | 1,330,790,499 | 1,395,364,016 | 1,488,470,826 | 1,578,464,625 | 1,612,948,876 | 1,714,960,016 | 1,848,378,021 |
| 19,269,946,204 | 1,030,973,992 | 1,088,434,426 | 1,162,425,071 | 1,256,931,291 | 1,291,172,860 | 1,332,110,491 | 1,398,007,592 | 1,450,423,098 | 1,588,907,659 | 1,652,840,147 | 1,756,342,481 | 1,876,246,212 |
| 18,997,324,687 | 1,049,325,031 | 1,087,199,873 | 1,121,207,533 | 1,204,940,535 | 1,226,797,020 | 1,281,327,908 | 1,361,822,668 | 1,411,196,792 | 1,489,124,874 | 1,647,572,567 | 1,744,785,064 | 1,900,010,260 |
| 17,398,073,588 | 1,051,328,798 | 1,104,919,856 | 1,110,534,363 | 1,134,579,574 | 1,181,349,623 | 1,214,254,106 | 1,284,434,797 | 1,330,097,584 | 1,423,070,332 | 1,530,024,937 | 1,555,389,712 | 1,651,355,203 |
| 18,427,057,807 | 1,031,108,978 | 1,112,524,805 | 1,170,948,122 | 1,201,223,961 | 1,220,274,113 | 1,283,857,954 | 1,348,290,781 | 1,413,730,142 | 1,451,647,298 | 1,581,051,808 | 1,652,795,357 | 1,785,812,581 |
| 19,541,110,201 | 1,064,942,762 | 1,118,538,757 | 1,138,581,719 | 1,226,730,016 | 1,283,669,824 | 1,357,444,341 | 1,471,272,383 | 1,523,205,053 | 1,635,924,903 | 1,682,728,012 | 1,808,376,239 | 1,922,773,524 |
| 18,686,612,063 | 1,041,968,735 | 1,091,217,118 | 1,149,399,518 | 1,202,111,814 | 1,260,988,490 | 1,327,303,044 | 1,408,252,296 | 1,500,552,902 | 1,533,002,750 | 1,616,276,528 | 1,667,901,697 | 1,739,242,891 |
| 18,054,464,031 | 983,550,950 | 1,050,170,481 | 1,115,265,523 | 1,199,744,526 | 1,241,628,651 | 1,279,397,865 | 1,287,414,612 | 1,363,390,552 | 1,439,996,422 | 1,557,015,210 | 1,640,069,172 | 1,730,693,251 |
| 17,620,478,694 | 1,071,100,974 | 1,099,232,834 | 1,142,434,871 | 1,183,703,057 | 1,185,338,506 | 1,275,067,579 | 1,303,947,136 | 1,326,174,644 | 1,379,042,763 | 1,494,845,207 | 1,591,070,293 | 1,642,616,479 |
| 19,943,411,101 | 1,055,634,175 | 1,087,148,086 | 1,145,212,318 | 1,219,064,353 | 1,319,747,819 | 1,428,209,724 | 1,569,619,388 | 1,603,109,600 | 1,652,093,044 | 1,772,491,783 | 1,855,254,116 | 1,932,828,732 |
| 19,879,638,888 | 1,050,529,211 | 1,094,992,312 | 1,152,985,686 | 1,219,682,462 | 1,282,323,742 | 1,394,549,914 | 1,516,370,303 | 1,648,590,547 | 1,727,816,126 | 1,792,153,907 | 1,904,645,125 | 1,956,639,680 |
| 19,068,525,714 | 1,053,683,725 | 1,123,465,805 | 1,198,765,713 | 1,256,655,217 | 1,320,089,950 | 1,342,914,182 | 1,423,500,668 | 1,503,392,104 | 1,554,204,631 | 1,609,885,897 | 1,757,015,708 | 1,788,111,553 |
| 17,598,180,001 | 1,048,381,312 | 1,065,083,192 | 1,099,042,428 | 1,161,234,595 | 1,214,515,062 | 1,293,849,580 | 1,354,706,725 | 1,424,645,036 | 1,524,849,972 | 1,566,637,782 | 1,617,638,249 | 1,670,288,431 |

期望值：18, 975, 319, 764 元＝18, 975 百萬元

標準差： 857, 651, 730 元＝ 858 百萬元

表 10 方案三現金流評估結果（續）

| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2,010,735,451 | 2,098,067,925 | 2,126,792,539 | 2,176,652,162 | 2,272,841,595 | 2,383,206,259 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,733,612,089 | 1,828,873,190 | 1,919,404,381 | 1,973,174,411 | 2,083,880,242 | 2,207,425,570 | 2,316,091,297 | 2,325,971,613 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,896,324,807 | 1,925,410,978 | 2,035,767,674 | 2,127,970,043 | 2,186,614,194 | 2,258,740,725 | 2,327,506,082 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,801,972,022 | 1,909,706,825 | 2,023,238,871 | 2,134,339,255 | 2,178,845,741 | 2,345,002,268 | 2,398,546,585 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,809,646,043 | 1,923,221,140 | 2,038,412,760 | 2,112,316,075 | 2,132,802,846 | 2,242,929,787 | 2,378,736,770 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,157,803,291 | 2,286,315,989 | 2,366,025,135 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,993,337,510 | 2,087,516,873 | 2,219,831,415 | 2,291,811,677 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,822,544,879 | 1,888,624,324 | 1,981,511,244 | 2,103,424,258 | 2,154,339,772 | 2,298,261,519 | 2,388,143,226 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,946,613,257 | 2,085,831,230 | 2,203,377,789 | 2,272,426,853 | 2,371,367,694 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,029,956,549 | 2,115,346,284 | 2,217,898,127 | 2,310,202,805 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,131,717,884 | 2,271,089,726 | 2,341,260,997 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,728,377,129 | 1,824,066,737 | 1,958,008,657 | 2,023,783,721 | 2,108,100,031 | 2,214,803,458 | 2,303,408,740 | 2,358,120,596 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,844,303,906 | 1,930,257,072 | 1,927,955,993 | 2,042,008,426 | 2,108,015,527 | 2,168,403,733 | 2,234,050,658 | 2,390,401,502 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,927,392,454 | 2,059,296,552 | 2,117,446,882 | 2,239,050,728 | 2,330,689,290 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,130,243,996 | 2,253,379,812 | 2,387,887,831 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,815,388,418 | 1,922,032,298 | 2,094,646,922 | 2,261,010,888 | 2,392,094,035 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,105,583,984 | 2,204,939,269 | 2,320,969,718 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,924,915,940 | 2,094,386,269 | 2,188,304,442 | 2,312,736,617 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,025,706,173 | 2,111,609,102 | 2,201,855,406 | 2,305,835,039 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,017,115,923 | 2,096,771,001 | 2,185,464,854 | 2,329,875,863 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,691,658,300 | 1,763,778,206 | 1,882,853,812 | 1,932,330,593 | 2,048,563,737 | 2,092,719,616 | 2,305,668,085 | 2,389,832,076 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,831,233,210 | 1,931,746,931 | 2,006,854,852 | 2,147,399,060 | 2,237,568,623 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,002,840,035 | 2,135,180,757 | 2,248,223,147 | 2,339,724,961 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,875,188,015 | 1,933,308,052 | 2,021,840,951 | 2,165,717,340 | 2,292,706,793 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,798,199,005 | 1,906,332,946 | 2,008,604,178 | 2,130,303,984 | 2,200,628,886 | 2,294,993,116 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,712,358,786 | 1,775,603,257 | 1,902,769,256 | 1,997,389,646 | 2,084,595,548 | 2,165,605,873 | 2,328,041,920 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 2,111,961,439 | 2,210,749,329 | 2,275,209,269 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,979,210,604 | 2,089,128,112 | 2,310,674,860 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,893,888,212 | 1,958,219,329 | 2,103,891,948 | 2,198,000,330 | 2,332,722,274 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |
| 1,713,543,545 | 1,789,558,197 | 1,865,615,038 | 1,855,192,985 | 2,030,800,115 | 2,102,618,267 | 2,177,673,185 | 2,299,613,232 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 | 2,400,000,000 |

作者簡歷

姓名：林嘉正

籍貫：台灣省苗栗縣

出生日期：民國 72 年 5 月 2 日

通訊住址：苗栗縣竹南鎮照南里 10 鄰三泰街 74 號

電話：(037) 478272

學歷：國立新竹高級中學畢業

國立交通大學土木工程學系畢業

國立交通大學土木工程學系營建管理組碩士班畢業

