

高風險工程專案決策管理之研究

沈勁利¹、葉根²、林樹豪²、游步上²

¹ 德霖技術學院企業管理系助理教授

² 德霖技術學院營建科技系助理教授

摘要

本文嘗試透過隧道工程風險管理案例之研究，應用多屬性效用理論 (Multiple Attributes Utility Theory, MAUT)，以施工廠商之觀點，對工程風險所採行因應措施之決策程式作一個完整的探討；其次透過敏感度分析之應用，而將模式擴展為動態解題模式，以使方案執行者不僅能事先明瞭決策者之最佳決策，同時亦能完全掌握決策者之偏好而能依現況之反應予以機動調整，並提供對多屬性效用理論進一步之瞭解及應用。

關鍵詞：決策理論、風險管理、效用理論、專案管理

A Study of Decision Making at the High Risk Construction Project Management

Jine-Lih Shen¹, Ken Yeh², Shu-Hao Lin², and Pu-Shang You²

¹ Assistant Professor, Department of Business Administration, De Lin Institute of Technology

² Assistant Professor, Department of Construction Technology, De Lin Institute of Technology

Abstract

The purpose of this paper is to present an approach to help contractors make their decisions based on multiple criteria which conflict with each other. Multiple Attributes Utility Theory (MAUT) is first employed in this study to model the decision making problems that contractors frequently encounter. This paper further makes use of sensitive analysis to extend the theory for resolving the problems of dynamic situations. To illustrate how the techniques can be used, this paper also presents a case study. As can be imagined, the approach proposed in this paper can be utilized in similar situations that may occur in the process of delivering a construction project.

Keyword: decision making theory, risk management, utility theory, project management.

壹、前言

一項重大、複雜之公共工程在進行時，經常要面對諸多不確定性之風險，例如天然災害、需求變更、工地偶發事件等。此種風險之發生，常常造成工程進度之延誤，或人身及財產上之損失，進而種種損害賠償爭議自不免發生。

但如何面對這些不確定性風險的產生，而又能夠在最低預算及預定期限內達成業主之要求，對施工廠商而言是一項重要之課題。但工程進行時之某些意外事件仍然是無法事先預知的，例如開挖隧道，由於對地層構造無法百分之百完全掌握，施工時突然產生之災害，將造成人員傷亡、機具損毀，進一步將造成工期之遲延與成本之增加。為避免災害產生時之爭議發生，風險管理於工程案件中，即為十分重要之課題。

欲施行風險管理，首先必須對專案工程可能產生之風險進行合理的預測，從而對此合理預期之風險，透過風險自承、規避或分散、轉嫁等適當之處置方式，使損失降至最低，以求工程之順利完成並減少因風險發生責任歸屬之爭議。

本文主要目的，即在建立一套可輔助施工廠商進行決策之模式，以使施工廠商在面臨未來施工風險諸多考量因素時，得以迅速獲得一個最佳之決策。

本文首先透過隧道工程案例之研究，應用多屬性效用理論 (Multiple Attributes Utility Theory, MAUT)，以施工廠商之觀點，對工程風險所採行因應措施之決策程式作一個完整的探討；其次透過敏感度分析之應用，而將模式擴展為動態解題模式，以使方案執行者不僅能事先明瞭決策者之最佳決策，同時亦能完全掌握決策者之偏好而能依現況之反應予以機動調整，並提供對多屬性效用理論進一步之瞭解及應用。

貳、多屬性效用理論之應用

多屬性效用理論，係基於決策者行為之最大效用原則 (The Principle of Utility Maximization)，而以效用函數來表示個人偏好之結構，再經由效用分解 (Utility Decomposition) 程式，綜合成為多屬性效用函數，最後依函數計算之結果來進行替代方案 (Alternatives) 或投資計畫 (Investment Project) 評估之一種決策方法 [1]。

多屬性效用理論之兩個基本概念為偏好獨立性 (preferential Independence) 與效用獨立性 (utility Independence) [2]。依據 Keeny 與 Sicherman [3] 之研究，在決策者的偏好結構為偏好獨立性 (Preference Independence) 與效用獨立性 (Utility Independence) 之前提下，則決策者的多屬性效用函數可以加法型 (additive) 或乘法型 (multiplicative) 來表示，其推導而得之兩個理論數學式表示如下：

定理 1：

在屬性數 $n \geq 3$ 時，對某一屬性 x_i ，存在有 $\{x_i, x_j\}$ 為偏好獨立，其中 $i, j \in n$ 且對所有 $j \neq i$ 均成立；同時 x_i 與其他所有屬性為效用獨立，則：

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot u_i(x_i) \dots\dots\dots (1)$$

或
$$1 + k \cdot u(x) = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i u_i(x_i)] \dots\dots\dots (2)$$

其中 u 為多屬性效用函數，且 $0 \leq u \leq 1$ ；

u_i 為單一屬性效用函數，且 $0 \leq u_i \leq 1$ ；

k_i 為尺度常數 (Scaling Constants)，且 $0 < k_i < 1$ ； k 為尺度常數， $k > -1$ 且 $k \neq 0$ ，並滿足：

$$1 + k = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i] \dots\dots\dots (3)$$

此一結論之推導過程可參考 Keeny (1974) [4]。其中(1)式為加法型效用函數，(2)式為乘法型效用函數。

定理 2：

在屬性數 $n = 2$ 時，若屬性 x_1 與 x_2 相互為效用獨立，則效用函數 $u(x_1, x_2)$ 既為加法型亦為乘法型。

以 Keeney 模式建立多屬性效用函數之步驟可歸納如下：

(1)決定評估方案的各項屬性；

(2)定義 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 及 $x^o = (x_1^o, x_2^o, \dots, x_n^o)$ ，同時設定各個屬性最低與最高的水

準分別為 x_i^o 與 x_i^* ；此時：

$$u(x^*) = 1, \quad u(x^o) = 0, \dots\dots\dots (4)$$

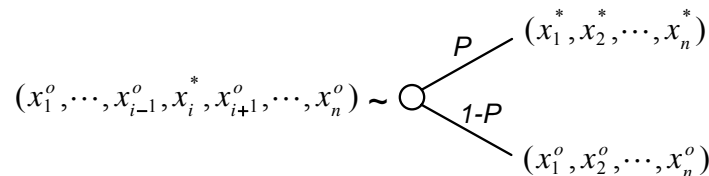
且

$$u_i(x_i^*) = 1, \quad u_i(x_i^o) = 0, \\ i = 1, 2, \dots, n. \dots\dots\dots (5)$$

(3)求各單一屬性之效用值(利用訪談或問卷調查)，並以圖形或適當之函數型式表示之；

(4)求機率 P (利用訪談或問卷調查)：

機率 P 為第 i 項屬性尺度常數 k_i 之值，其評估方式為取第 i 項屬性最高水準 x_i^* 與其他屬性之最低水準 x_j^o ($j \neq i$) 合併為評估基項，與各屬性最高水準 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 與最低水準 $(x_1^o, x_2^o, \dots, x_n^o)$ 之組合機率 $(P, 1-P)$ ，具有相同效用，即下式所示：



此時可得 $k_i = P$ ；

(5)求替代當量 (Certainty Equivalent) x_i^{CE} 之值：

$$(x_1^*, x_2^o) \sim (x_1^o, x_2^{CE})$$

(6)若 $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ ，則為加法型多屬性效用函數，如(1)式所示。

若 $\sum_{i=1}^n k_i \neq 1$ ，則為乘法型多屬性效用函數，由(3)式可解得 k 值。此時，多屬性效用函數可表為：

$$u(x) = \frac{1}{k} \left\{ \prod_{i=1}^n [1 + k \cdot k_i \cdot u_i(x_i)] - 1 \right\} \dots\dots\dots(6)$$

在屬性較多時，乘法型效用函數之計算顯得繁複。惟依據 Veldhuisen 與 Timmermans (1984) [5] 之研究，加法型與乘法型之結果雖同樣令人滿意，但乘法型略優於加法型，其間之差異甚小。因此本文採用乘法型效用函數來進行計算，問題分析架構如圖1所示。

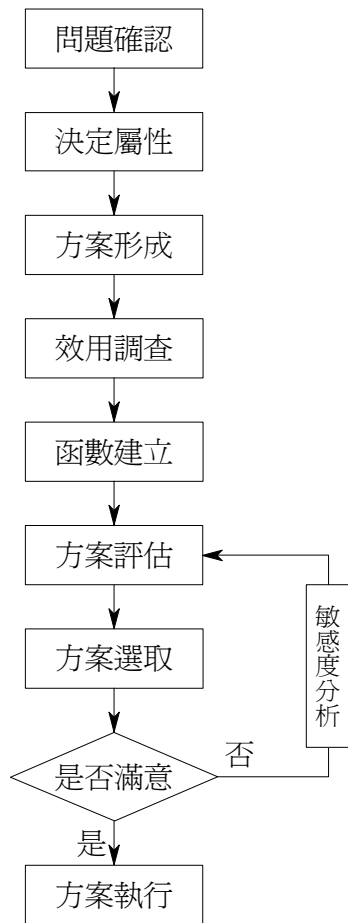


圖 1 決策問題分析架構

參、隧道工程風險管理決策案例

為說明多屬性效用理論在隧道工程風險管理之決策應用，本文擬以下面之案例來加以說明。

3-1 問題描述

某工程公司參與某項重大交通建設工程之投標，此交通建設之主體為隧道工程，施工方式採隧道鑽掘機 (TBM) 進行隧道體全斷面開挖，此 TBM 價值為 8,000 千-美元 (USD)，施工時面臨遇到地層破碎帶崩坍而導致機具遭受掩埋之風險，不發生破碎帶崩坍即沒有損失，但若發生破碎帶崩坍將造成 TBM 之全部損失。

工程公司於得標後，依規定辦理工程保險，惟如按契約給予之工程保險費用額度投保，保險公司對 TBM 之損害最高僅能提供 3,000 千-美元之理賠，而依據規定無法向業主要求追加工程契約給予之保險費用。

工程公司為確保未來施工時，不致因遇地層破碎帶崩坍而須承受鉅大損失之風險，在進行詳細之風險評估後，進一步檢討此一風險有四個可行之處理方案：

方案 I：風險自承，如發生破碎帶崩坍，除了保險公司給付之 3,000 千-美元理賠外，尚有直接損失 5,000 千-美元，此外另有間接損失預估為 1,500 千-美元；破碎帶崩坍發生機率為 0.05。

方案 II：風險自承但安裝預防設備，設備成本為 500 千-美元，此設備可回收使用，因此成本為每年之折舊費 50 千-美元。使用預防設備，發生破碎帶崩坍的機率為 0.03，直接損失降為 4,000 千-美元，間接損失降為 1,000 千-美元。

方案 III：加保為全額保險，需增加額外負擔之保險費為 120 千-美元。

方案 IV：加保至自負額為 1,000 千-美元之保險，額外負擔保險費為 90 千-美元。

(註：依據郭斯傑等研究，非明挖隧道工程所適用之保險費率在 2.0~2.5% 之間 [6])

3-2 決策樹法

若僅考慮金錢損失之期望值，可採決策樹法分析。決策者可先將上述資料整理成如表1。

表1 隧道施工遇到地層破碎帶崩坍風險處理資料表（單位：千-美元）

可能發生的 情況	可能出現的結果	
	崩坍	未崩坍
機 率	不安裝預防設備：5 %	95 %
	安裝預防設備：3 %	97 %
處理方案 / 損失		
方案 I： 風險自承	直接損失 5,000 間接損失 1,500 6,500	損失 0
方案 II： 風險自承 但安裝預防設備	直接損失 4,000 間接損失 1,000 預防設備支出 50 5,050	預防設備支出 50
方案 III： 加保至全額保險	間接損失 1,500 保險費支出 120 1,620	保險費支出 120
方案 IV： 加保至自負額為 1,000 萬美元之保險	自負額支出 1,000 間接損失 1,500 保險費支出 90 2,590	保險費支出 90

按照以上資料，繪製決策樹並計算期望值：

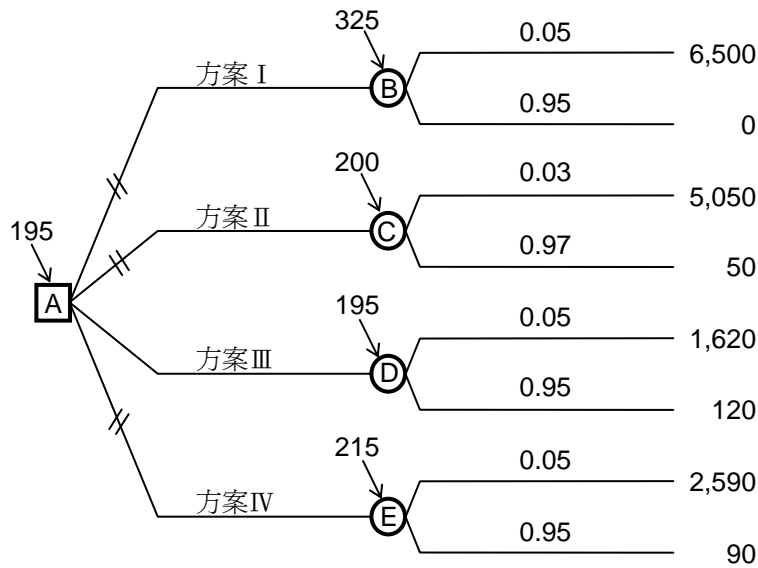


圖 2 決策樹分析

機會點 B 之期望值： $6,500 \times 0.05 + 0 \times 0.95 = 325$ (千-美元)

機會點 C 之期望值： $5,050 \times 0.03 + 50 \times 0.97 = 200$ (千-美元)

機會點 D 之期望值： $1,575 \times 0.05 + 75 \times 0.95 = 150$ (千-美元)

機會點 E 之期望值： $2,550 \times 0.05 + 50 \times 0.95 = 175$ (千-美元)

計算結果顯示，方案Ⅲ購買保險的損失期望值最少，可選為風險處理方案。

但由於決策時決策者的風險處理目標不同，對風險的態度不同，對期望值選擇的原則也不同。有的以最大潛在損失最少 (To Minimize Maximum Potential Dollar Loss) 為目標，採取大中求小原則；有的以最小潛在損失最少 (To Minimize Minimum Potential Dollar Loss) 為目標，採取小中取小原則。

如決策者較偏好於損失之大小，則按大中取小原則，決策者會選擇購買保險方案 (1,620千美元比6,500千-美元、5,050千-美元、2,590千-美元小)，按小中取小原則，決策者會取風險自承方案 (0比50千-美元、75千-美元、50千-美元小)。

決策樹法的優點是能用決策樹把複雜的經濟關係形象化，圖像簡明，思路清晰，比較簡單容易。因此，它是一種十分有用的風險管理決策工具。惟其缺點為僅能就給予之數據進行表面分析，無法反應出決策者之效用偏好。且在非單一之多屬性決策項目時，無法充分反映出最適之決策觀點。

以本案例而言，工程災害除產生“成本增加”之影響外，若加入“工期改變”之影響因素，即整合決策者對“金錢”與“時間”之感受而產生之綜合效用偏好，將導致不同之評估結果。

3-3 效用模式之建立

(一)方案確立

方案 I 風險自承時，如發生破碎帶崩坍，不僅將造成施工廠商鉅額之財務損失，且使施工廠商之復員能力降低，加上 TBM 機具之重置費時，估計將產生嚴重之工期延誤達 270 天。

而方案 II 風險自承但安裝預防設備，雖然災害產生後仍有鉅額之財務損失，但因安裝預防設備而提高復員能力，估計產生之工期延誤為 60 天。

方案 III 加保為全額保險，災害產生時造成之財務損失為最小，因此復員能力比方案 I 為高，估計產生之工期延誤為 120 天。

方案 IV 加保至自負額為 1,000 千-美元之保險，災害產生時造成之財務損時較小，復員能力比方案 I 高但低於方案 III，估計產生之工期延誤為 180 天。

依據以上資訊，綜整可得各方案如表 2。

表2 各方案及屬性值

	方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
	風險自承	安裝預防設備	加保為全額保險	加保至自負額為 1,000
增加工期 (日曆天)	-270 (x_1^o)	-60 (x_1^*)	-120	-180
損失金額期望值(千 -美元)	-325 (x_2^o)	-200	-195 (x_2^*)	-215

表 2 中「損失金額期望值」一列所示之值為期望值，其大小隨投入金額不同而改變，故取期望值，因為乃損失值，故取負值；而「增加工期」一列所示，為發生災害時將對工期產生之影響，其不隨方案中投入之值而改變，故不取期望值，由於增加工期愈多，效用愈低，故亦取負值。

(二)訂定各屬性之 x_i^o 與 x_i^* ，並求效用函數

(1)首先設定各個屬性之最低與最高的水準 x_i^o 、 x_i^* 如表示。

表3 各屬性最低與最高值

工期效用	$x_1^* = -60$ $u_1(-60) = 1$	$x_1^o = -270$ $u_1(-270) = 0$
成本效用	$x_2^* = -195$ $u_2(-195) = 1$	$x_2^o = -325$ $u_2(-325) = 0$
組合效用	$u(-60, -195) = 1$	$u(-270, -325) = 0$

(2)其次，對施工廠商管理部經理及工地專案經理訪談，進行各單一屬性效用值之調查，並經運算而建立適當之效用函數如下：

$$u_1(x_1) = -0.140 + 2.077e^{0.01 \cdot x_1} \dots\dots\dots(7)$$

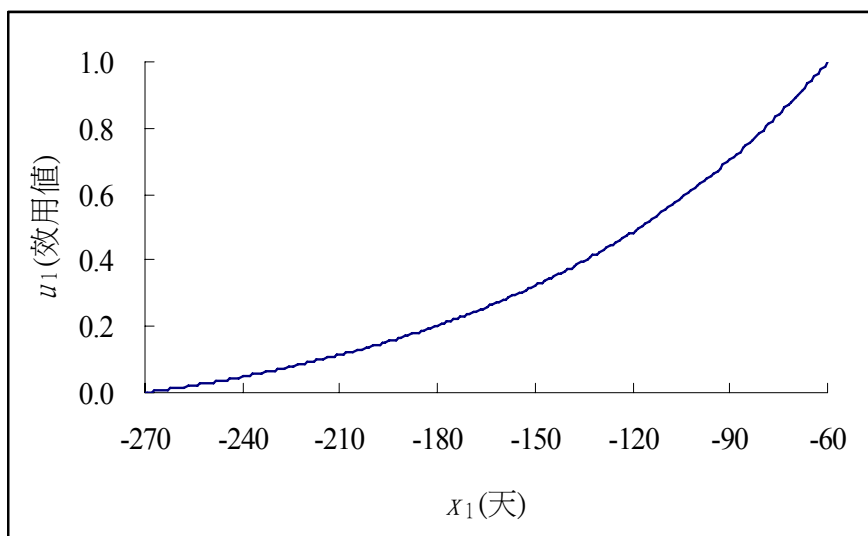


圖 3 工期效用曲線

$$u_2(x_2) = 1.849 - 0.263e^{-0.006 \cdot x_2} \dots\dots\dots (8)$$

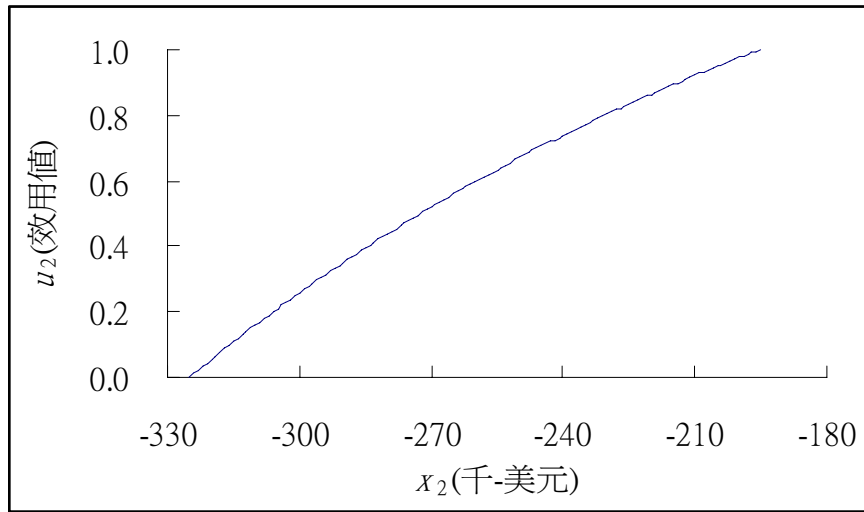


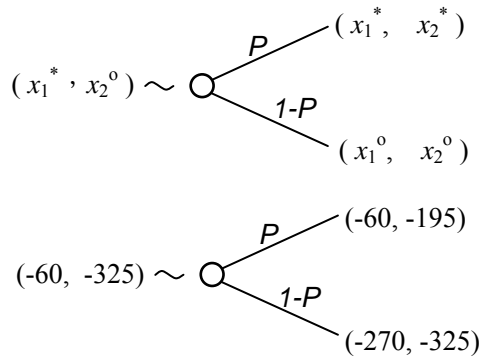
圖 4 成本效用曲線

其中 $u_1(x_1)$ 與 $u_2(x_2)$ 之函數為便於後續的運算，已經過適當簡化。

(三)建立多屬性效用函數

(1)同樣對施工廠商管理部經理及工地專案經理訪談，進行 P 值與 x_i^{CE} 值之調查結果

如下：(I)



獲得答案 $P = 0.7$

(II)

$$(x_1^*, x_2^o) \sim (x_1^o, x_2^{CE})$$

$$(-60, -325) \sim (-270, x_2^{CE})$$

獲得答案 $x_2^{CE} = -180$

(2)尺度常數 k 、 k_1 、 k_2 值之計算過程及結果如下：

$$\begin{aligned} \text{a) } & 1 + k \cdot u(-60, -325) = [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-60)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-325)] \\ & \therefore u(-60, -325) = 0.7 \times u(-60, -195) + 0.3 \times u(-270, -325) = 0.7 \times 1 + 0.3 \times 0 = 0.7 \\ & \therefore 1 + k \cdot 0.7 = (1 + k \cdot k_1 \cdot 1) \cdot (1 + k \cdot k_2 \cdot 0) = 1 + k \cdot k_1 \\ & \Rightarrow k_1 = 0.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } & u(-60, -325) = u(-270, -180) \\
 & 1 + k \cdot u(-270, -180) = [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-270)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-180)] \\
 & \text{由(8)得知 } \quad u_2(-180) \cong 1.07 \\
 & \therefore 1 + k \cdot u(-60, -325) = (1 + k \cdot 0.7 \cdot 0) \cdot (1 + k \cdot k_2 \cdot 1.07) \\
 & \therefore 1 + k \cdot 0.7 = 1 + k \cdot k_2 \cdot 1.07 \\
 & \Rightarrow k_2 = 0.654 \\
 \text{c) } & 1 + k \cdot u(-60, -195) = [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-60)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-195)] \\
 & \therefore 1 + k \cdot 1 = (1 + k \cdot 0.7 \cdot 1) \cdot (1 + k \cdot 0.654 \cdot 1) \\
 & \therefore 1 + k = 1 + (0.7 + 0.654) \cdot k + 0.7 \cdot 0.654 \cdot k^2 \\
 & \Rightarrow k = -0.773
 \end{aligned}$$

(3)建立函數

$$\begin{aligned}
 1 + k \cdot u(x_1, x_2) &= [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(x_1)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(x_2)] \\
 \because k &= -0.773; \quad k_1 = 0.7; \quad k_2 = 0.654; \\
 \therefore 1 - 0.773 \cdot u(x_1, x_2) &= 1 - 0.773 \cdot 0.7 \cdot u_1(x_1) \cdot [1 - 0.773 \cdot 0.654 \cdot u_2(x_2)] \\
 \Rightarrow u(x_1, x_2) &= 1.2937 \cdot \\
 & \{1 - [1 - 0.5411 \cdot u_1(x_1)] \cdot [1 - 0.5055 \cdot u_2(x_2)]\} \\
 & \text{函數值及圖形詳文後之表 5、圖 5。}
 \end{aligned}$$

3-4 方案評估

(一)方案 I :

方案 I 為施工廠商風險自承，此時災害之損失金額期望值為 325 千-美元，增加工期預估為 270 天，皆為最大，所求為 $u(-270, -325)$ 之效用值。計算如下：

$$\begin{aligned}
 1 + k \cdot u(-270, -325) &= [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-270)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-325)] \\
 1 - 0.773 \cdot u(-270, -325) &= (1 - 0.773 \cdot 0.7 \cdot 0) \cdot (1 - 0.773 \cdot 0.654 \cdot 0) \\
 \Rightarrow u(-270, -325) &= 0
 \end{aligned}$$

(二)方案 II :

方案 II 為施工廠商風險自承但安裝預防設備，此時災害產生後之損失金額期望值為 200 千-美元之損失，但因安裝預防設備而提高復員能力，估計產生之工期延誤為 60 天。所求為 $u(-60, -200)$ 之效用值。計算如下：

$$\begin{aligned}
 1 + k \cdot u(-60, -200) &= [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-60)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-200)] \\
 \text{其中 } u_1(-60) &= 1; \quad u_2(-200) = 0.976; \\
 \Rightarrow 1 - 0.773 \cdot u(-60, -200) &= (1 - 0.773 \cdot 0.7 \cdot 1) \cdot (1 - 0.773 \cdot 0.654 \cdot 0.976) \\
 \therefore u(-60, -200) &= 0.993
 \end{aligned}$$

(三)方案 III :

方案 III 為施工廠商加保為全額保險，此方案災害產生時造成之財務損失最小，期望值為 195 千-美元，但仍估計可能造成工期延誤為 120 天。所求為 $u(-120, -195)$ 之效用值。計算如下：

$$1 + k \cdot u(-120, -195) = [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-120)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-195)]$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } u_1(-120) &= 0.486; & u_2(-195) &= 1; \\ \Rightarrow 1 - 0.773 \cdot u(-120, -195) &= (1 - 0.773 \cdot 0.7 \cdot 0.486) \cdot (1 - 0.773 \cdot 0.654 \cdot 1) \\ \therefore u(-120, -195) &= 0.822 \end{aligned}$$

(四)方案IV：

方案IV為施工廠商加保至自負額為 1,000 千-美元之保險，災害產生時造成之財務損時較小，期望值為 215 千-美元，復員能力比方案 I 高但低於方案III，估計可能造成工期延誤為 180 天。所求為 $u(-180, -215)$ 之效用值。計算如下：

$$\begin{aligned} 1 + k \cdot u(-180, -215) &= [1 + k \cdot k_1 \cdot u_1(-180)] \cdot [1 + k \cdot k_2 \cdot u_2(-215)] \\ \text{其中 } u_1(-180) &= 0.203; & u_2(-215) &= 0.894; \\ \Rightarrow 1 - 0.773 \cdot u(-180, -215) &= (1 - 0.773 \cdot 0.7 \cdot 0.203) \cdot (1 - 0.773 \cdot 0.654 \cdot 0.894) \\ \therefore u(-180, -215) &= 0.663 \end{aligned}$$

3-5 結果分析

整理前面計算結果如表 4 所示。

表 4 各方案之多屬性效用值

	方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
	風險自承	安裝預防設備	加保為全額保險	加保至自負額為 1,000
增加工期 x_1 (日曆天)	-270	-60	-120	-180
損失金額期望值 x_2 (千-美元)	-325	-200	-195	-215
$u(x_1, x_2)$	0	0.993	0.822	0.663

由上表可知，對決策者而言，採用方案 II 之效用最高，即施工廠商自承風險但安裝預防設備之方案為最佳。此與採決策樹分析之結果不同，乃因決策樹分析並未加入決策者之效用偏好，而多屬性效用分析則將決策者偏好於減少工期延誤之效用明顯地表現出來，以致於工期延誤較少之方案 II 得以中選。

3-6 敏感度分析

對於其他方案而言，其效用皆小於方案 II 之 0.993，故應不予考慮，但觀察表 5，如以方案 III 而言，將 $x_2 = -195$ 固定，而以 x_1 進行調整，可發現 $u(x_1, -195)$ 在 $x_1 \geq -62$ 時，其值皆大於 0.993；故方案 III 如能控制工期延誤在 62 天以內時，亦為可行之方案。即觀察表 5 中 $u(x_1, x_2)$ 值大於 0.993 者（表中灰色底數字），皆為可採行之方案。

肆、結論與建議

管理者在進行決策時，經常面對的並非單一項目之考量因素，而需在多重且複雜之因素下作選擇，因此往往無法明確而迅速地評估出各方案之差異。運用多屬性效用理論，便可在多重考量因素下，對各決策考量因素逐一進行評估後加以整合，而獲致極為明確之量化結果，以幫助決策者進行方案之評估選擇。

此外，由於在方案的選取上，亦可由變動方案中某些條件來進行分析比較，而引申出方案中之其他可行狀況，進而確立其執行之準則。因此，配合敏感度分析之運用，可將多屬性效用理論進一步擴充為一種動態之決策模式。本文即以隧道工程之風險管理為案例，來說明多屬性效用理論在工程決策上之應用。

基於本文乃屬「決策程式」之研究，為便於說明程式之應用，乃選取具有實用價值之一般性案例來加以模擬。而在實際案例應用時，決策考量因素往往不僅二項而已，此時仍可應用本文所介紹之決策程式進行方案之分析，惟在敏感度分析時，則因為變動因素之組合情況較為複雜，而需從分析結果中，研判較為敏感之因素，以作為決策之參考。

伍、參考文獻

1. Keeny, R. L. and Raiffa, H., *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons, New York, U.S.A. (1976).
2. Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York, p.420 (1982).
3. Keeny, R. L. and Sicherman, A., *Assessing and Analyzing Preferences Concerning Multiple Objectives: An Interactive Computer Program*. *Behavioral Science*, 21, pp.173-182 (1976).
4. Keeny, R. L., *Multiplicative utility functions*. *Oper. Res.*, 22, pp.22-34 (1974).
5. Veldhuisen, K. J. and Timmermans, H. J. P., *Specification of individual residential utility functions: a comparative analysis of three measurement procedures*. *Environment and Planning A*, 16, pp.1573-1582 (1984).
6. 郭斯傑、邱必洙、張嘉仁，「隧道工程保險自負額上限之決策分析」，*中國土木水利工程學刊*（臺北），第十三卷，第一期，第171-179頁(2001)。

