

防砂壩景觀美質評估方法之研究—以模糊專家系統為例

彭思顯^{[1]*} 林煥鈞^[2] 陳樹群^[2]

摘 要 防砂壩為集水區重要之橫向構造物，目的為減輕上游土砂問題對下游人類生活環境影響，其設置常對自然環境生態及視覺景觀造成一定程度衝擊。本研究回顧景觀評估相關文獻後，以專家模式常用之造型、色彩、質感等因子為防砂壩體美學主要構成要件，輔以心理模式中景觀美質評估法 (SBE) 之照片評估方法，做為景觀美質評估之基礎，將其內容藉由德菲法 (Delphi Method) 及層級分析法 (AHP) 建構專家問卷，刪減不必要之因子，訂定防砂壩景觀美質評估之初步基準與權重，再以模糊專家系統 (Fuzzy Logical System) 建置為一完整評估模式，最後以三個案例進行測試，初步結果證明該模式具專家模式之節省時間之優點，亦兼具心理模式之客觀性，希望成果能提供工程設計者在考量防砂壩體與自然環境景觀融合時之設計參考。

關鍵詞：模糊專家系統、層級分析法、防砂壩、景觀美學。

Landscape Aesthetics Quality Estimation Method for Check Dams—Application of the Fuzzy Logic System

Szu-Hsien Peng^{[1]*} Huan-Chun Lin^[2] Su-Chin Chen^[2]

ABSTRACT The check dam is one of the primary constructions across rivers in watersheds. Its main purpose is to decrease the effects of sediment yield from upper areas to lower areas populated by human beings and buildings. However, the existence of these dams usually runs counter to the natural ecological environment and visual landscape. Based on the three major elements of check dam formation- form, color and texture- which are derived from the expert model- this study aims to determine the evaluation criteria and weight for the landscape aesthetics quality of check dams with the Delphi Method, Analytic Hierarchy Process (AHP), and expert questionnaires. It further combines the Fuzzy Logic System to establish the evaluation model. Three cases were used to test our model, and the preliminary results showed it had the advantages of both the expert and psychophysical model. We expect it will provide engineering designers with an integrated model to combine check dam design and natural landscape aesthetics for future reference.

Key Words : Fuzzy logical system, analytic hierarchy process, check dam, landscape aesthetics.

一、前 言

台灣山林資源豐富，集水區中上游經營策略一般多以森林及水源保護為主，然因山高坡陡、地質脆弱，

加上颱風豪雨及地震經常發生，使得天然災害頻仍，為保護森林及中下游居民生命財產安全，遂有設置防砂壩之必要。依據水土保持技術手冊 (2005) 之定義：「防砂壩為攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床

[1] 建國科技大學空間設計系

Dept. of Spatial Design, Chienkuo Technology University, Changhua, Taiwan.

[2] 國立中興大學水土保持學系

Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

* Corresponding Author. E-mail : shpeng@cc.ctu.edu.tw

及兩岸崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑止土石流所構築高度五公尺以上之橫向構造物。」早期台灣山區常以重力式之混凝土壩或半重力式鋼筋混凝土壩為主要之防砂壩類型，隨著環境生態需求，近年來逐漸開始應用透水性之箱籠壩或特殊需求之梳子壩、鋼管壩等，然而其設計以森林保全及防災為主要功能，鮮少考量與自然環境融合，因此常對整體環境之視覺景觀美質產生衝擊。

本文透過文獻回顧，以陳樹群等 (2010) 提出有關防砂壩美學的原則中之質感、顏色及造型等描述物體視覺感受之三個面向，並假設工程構造物與環境融合為達成美學設計的基本要求，探討壩體與山林背景融合之設計手法，藉由建立模糊專家系統及問卷協助修正防砂壩之美學設計原則，文末以案例檢核，希望成果可提供相關人員未來在設計時之參考。

二、文獻回顧

1. 德菲法

德菲法 (Delphi) 是 1960 年代由美國蘭德公司 (Rand Corporation) 發展出來的長期預測技術，主要是克服專家會議方式的缺點，研究出完全採用人類智慧直覺感應的技術預測法。優點是能夠周密且有系統的引出專家們的意見，並能對預測未來的意見，得到快速的收斂，並為決策者樂於採用的效果。德菲法之特徵如下 (張保隆等, 2007)：

- (1) 思考獨立性：本法排除委員或會議方式的集體討論，避免參加者受到他人心理影響，重複採用匿名的質問，以取代集體討論方式。而匿名方式是採問卷方式，雖是依賴眾人的智慧，參加者被要求回答的負擔會大為減少。
- (2) 立即回饋性：將問卷的統計結果立即性的分析，並反覆多次回饋給專家們做參考意見，以利進行下一回合的意見討論。
- (3) 意見收斂性：對於抱持著離開中間值很遠的意見者，請他們申訴為什麼會有這麼大差異的理由。若是該見解有超過半數人表示不反對時，則下次回答時，盡量的將意見納入四分之一值的範圍內，已達到意見收斂的效果。
- (4) 方法優異性：由於德菲法可以把多數專家的意見收斂，很容易歸結出一個滿意的結論，使結果更容易被決策者直接採用，並有進一步的應用，因而比其他預測方法的表現更為優異。

本研究在擬定專家問卷時使用德菲法的概念，將問卷分為二階段實施，經回收第一階段問卷彙整後，將各專家意見整合後在填寫第二階段問卷時提供參考，儘量使各專家之意見能做有效整合。

2. 層級分析法

層級分析法 AHP (analytic hierarchy process) 於 1971 年由 Thomas Saaty 所提出，經過三十多年之發展，已成為現今決策領域中常見之決策工具。AHP 法在使用上，分為兩部分，一個是層級的建立，另一個是層級評估，AHP 法是將複雜的問題，交由專家學者評估出要素之後，再以簡單層級結構表示，接著再以尺度評估來做成要素的成對比較且建立矩陣，然後求得特徵向量，再比較出層級要素的先後順序；之後在檢驗成對比較矩陣的一致性，看看有無錯誤，是否可以作為參考。依據兩兩比較結果建構成對比較矩陣 \mathbf{A} ，其中 a_{ij} 為 i 要素與 j 要素比較的數值，主對角線為要素自身比較，故數值為 1，成對比較矩陣中右上角數值為問卷比較結果，而左下角數值則恰為右上角數值的倒數，即 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ，如下所示：

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

當成對比較矩陣建立後，則需計算該矩陣之特徵向量與最大特徵值以推求權重，Saaty (1980) 提出以下四種近似法求取特徵向量：(1) 行向量平均值標準化法；(2) 列平均值的標準化法；(3) 行向量和倒數的標準化法；(4) 列向量幾何平均值標準化法。本研究利用 MatLAB 軟體適合向量矩陣運算的特性，自行開發視窗介面程式碼，利用 MatLAB 內建函數直接計算特徵值及特徵向量，並取出最大特徵值及其對應的特徵向量做為欲評估要素之權重。在計算完向量後，尚需進行「一致性檢定」，包含計算一致性指標 $C.I.$ (consistency index) 及一致性比率 $C.R.$ (consistency ratio)，其公式為：

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (3)$$

式中： λ_{\max} 為最大特徵值， n 為矩陣的階數， $R.I.$ (random index) 為隨機指數，是隨機產生之矩陣的一致性指

標，*R.I.*值與矩陣階數有關，Saaty (1990) 建議如表 1。Saaty 認為當 *C.R.*值趨近於 1，表示該次評比是隨機產生的；當 *C.R.*值愈趨近於 0，表示前後判斷的一致性愈高。原則上， $C.R. \leq 0.1$ 是可接受的範圍。各層級要素間的相對權重計算得出後，則可再進行整體層級的權重計算及一致性檢定。

3. 模糊專家系統

傳統的布林邏輯經常都有明顯的界限，例如說：60 分為及格標準，於是低於 60 分的均不及格。然而 61 分與 59 分實質的差異並不大，因此，專家在解決問題時通常都會運用常識，也會用到含糊和模稜兩可的

語言。使用模糊控制的優點有：一方面不需要精確的數學模型，二方面可以將人類專家的知識結合至電腦的專家系統設計流程上。在進行模糊控制時，系統是以一組模糊規則來加以描述，而這些模糊規則使用的是語意式的模糊資訊，而不是數學方程式。因此可以將人類專家的知識轉換成模糊控制規則，減低了設計專家評估系統的複雜度。

表 1 隨機指數值 *R.I.* (Saaty, 1990)

Table 1 Values of random index *R.I.*

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>R.I.</i>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

表 2 四類景觀評估模式綜合比較表

Table 2 Comparisons on 4 types of landscape assessment models

說明	方法	專家模式	非專家模式		
			生心理模式	心理模式	
				認知模式	體驗模式
對象	經專業訓練且具高度環境敏銳度之觀察者	非專家之一般大眾	非專家之一般大眾	非專家之一般大眾	
理論基礎	1.美學層面：以景觀建築之藝術眼光評估自然之景觀品質 2.生態層面：認為自然之生態體系具最高價值	以心理學中刺激-反應為基礎，將環境視為刺激來源之一，景觀為其一部分，認為人們對景觀的評估係經由刺激認知過程之直接反應。	將景觀視為由意念建構而成的，強調觀察者文化背景及個人特質影響。	著重觀察者個人主觀感受，強調個人情緒體驗景觀美質存在事實的過程	
操作方法	以藝術原則、設計理論及生態等立場分析，例如形狀、平面、對比等，由專家擇定標準或準則操作	可由管理及設計方法分析景觀特質，例如植被、水、結構及地形等，以照片及問卷操作後加以分析	綜合已知資料和定義進行分析空間之神秘性、易辨性、一致性等特性，以問卷操作後加以分析	從每天之經驗與習慣分析，例如親密性等，將體驗的感受以各種方式紀錄後加以分析	
優點	1.須少數具備相關專業之專家操作即可 2.節省時間及經費	評估主體為使用者，並運用統計方法分析，較專家模式客觀	1.直接分析人的價值觀 2.信度及效度高	能反應出使用者對景觀的喜好	
缺點	1.少數專家無法代表大多數觀察者意見 2.專家評定標準不一 3.忽略精神層面的社會需求 4.評估標準難以量化 5.未考慮時間及季節的變化，評估時資訊不足	1.影像僅能提供某固定時間景觀擷取效果，不具景觀常時外觀之代表性 2.常因氣候、拍照技術等限制，無法涵蓋所有景觀及情境 3.評估者僅根據所見影像進行評估，易產生對整體景觀評斷之偏差	1.費時費力，缺乏標準 2.常因評估者背景差異產生結果矛盾 3.評估者對文字意義之認知程度，常影響回答的一致性 4.常忽略環境提供之負面感受	信度低，影響因子複雜不易控制，結果	
應用範圍	林地、河川流域、農村規劃、戶外遊憩區、都市景觀、城鄉景觀等	小區域森林景觀、鄉村景觀、戶外遊憩場所等	較難應用在實質環境規劃上	較難應用在實質環境規劃上	
代表性模式	Leopold評估法 (1969)、Litton評估法 (1968)、視覺管理系統 (VMS) (USDA, 1974)、視覺資源管理評估法 (VRM)(USBLM, 1975)	景觀美質評估法(SBE)(Daniel T.C. et al, 1976)	瞭望—庇護理論 (Prospect-refuge)(Appleton, 1975)、風景審美模式 (LRM) (Kaplan and Kaplan, 1975)、情感—喚起反應理論 (affective/arousal)(Ulrich, 1977)	行為認知圖 (Appleyard, 1982)	
供決策性	適於提供決策	適於提供決策	僅適供決策參考	僅適供決策參考	

資料來源：整理自張隆勛 (2008)、范文怡 (2008)

在本研究中，利用前述之德菲法及層級分析法整理受訪專家填寫之專家問卷，以建立相關之模糊規則，在模糊規則確立後即可進行模糊推理。模糊推理技術中最常用的方法是 Mamdani 法，Mamdani-style 模糊推理過程主要依 4 個步驟進行：(1) 輸入變數的模糊化；(2) 規則評估；(3) 聚合規則的輸出；(4) 最終的逆模糊化 (Negnevitsky, 2002)。而本研究利用 MatLAB 之 Fuzzy Logic Toolbox 建立模糊專家系統，亦採用 Mamdani 法，其主要過程為：(1) 確立問題並定義變數；(2) 確定模糊集；(3) 建構模糊規則；(4) 進行模糊推理；(5) 評估並調整系統，其詳細建置內容將於後續章節說明。

4. 景觀美質評估與設計

景觀 (landscape) 一詞涵意極廣，其原意為鄉村風景畫，後轉變為鄉野或山丘風景等意，即傳至德文時，景觀 (landschaft) 專指用來描述環境中視覺間所有實體的美感及空間特性，一般認為包含了自然生態、人文及美學等面向，其內涵會依觀察主體及時間而有差異。

為落實環境管理及了解自然景觀的特性，各種景觀評估之理論開始發展。景觀評估 (landscape assessment) 一般係指經由視覺感受評定物體視覺品質的高低，視覺品質主要為美學層面，其目的在於瞭解景觀功能及價值，作為區域發展或保存之依據。Zube et al 將常用的景觀評估方法分成四類模式 (張隆勛, 2008; 范文怡, 2008)：即專家模式 (expert paradigm)、生心理模式 (psychophysical paradigm)、認知模式 (cognitive paradigm) 及體驗模式 (experiential paradigm)，其特性如表 2。

相對於景觀評估方法不論在專家模式或是非專家模式領域的多樣化，探討景觀設計方法的科學研究並不多，Eder (1995) 認為「設計」的目的是在瞭解需求後將其轉成實體的過程，「設計」並非在科學或藝術二選一，而是一個整合的系統，系統化的方法使「設計」是可以學習的並使其具備豐富的內涵包括了社會性、經濟性、工業化等層面，系統化訓練的專業人員之教育背景差異仍會影響設計內涵，此為設計之多樣性保留極佳的彈性。在設計中創造力及美學層面占很重要的角色，Garcia et al. (2006) 提出任何物體之視覺美學都可用色彩 (color)、造型 (form)、線條 (line) 及質感 (texture) 4 個因子予以定義，陳樹群等人 (2010) 將其簡化色彩 (color)、造型 (form) 及質感 (texture)

3 個因子，並參考 Clark & Pause (1985) 之 11 項構形意念分析方法 (analysis method of formative idea)、施淑文 (1994) 之與自然環境融合之色彩系統及 Garcia et al. (2006) 之物體質感規則性 (regularity)、密度 (density)、粗糙度 (grain size) 三項特徵，建立防砂壩美學設計可操作性原則，並以「調和性」、「韻律性」及「單純性」等三項感覺因子進行討論。

本文延續陳樹群等人 (2010) 建立之防砂壩美學設計原則，配合專家問卷分析設計原則中各項因子關係，將防砂壩與自然環境融合(調和性)的質化內涵進行量化檢測，修正相關因子權重，期能使設計原則更具參考性。

三、專家問卷調查

1. 設計專家問卷

防砂壩肩負攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床及兩岸崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑止土石流等多項功能，為集水區重要構造物之一，其視覺衝擊一直以來都是亟待解決的問題。本研究之理論基礎主要依據陳樹群及林煥鈞 (2010) 提出之防砂壩美學設計之三主要獨立因子：造型、色彩及質感。其中造型因子主要包含：(1) 量體變化 (massing)；(2) 平面對剖面的關係 (plan to section)；(3) 動線與使用空間的關係 (circulation to usespace)；(4) 單元對整體的關係 (unit to whole)；(5) 重複單元對獨立個體的關係 (repetitive to unique)；(6) 幾何 (geometry)；(7) 對稱與平衡 (symmetry and balance)；(8) 加成與減成 (additive and subtractive)；(9) 層級 (hierarchy) 等。而色彩與質感因子則分別為：色彩部份主要以砂土地、樹林地及草生地來區分；質感部份分為紋理、規則性、密度 (面積比例) 及粗糙度 (影像畫素) 等。因此，參考前人研究 (陳樹群、林煥鈞, 2010; Juan et al., 2010) 透過專家群以專家問卷決定出防砂壩景觀美學評估之基準，並初步研擬出評估因子之層級架構如圖 1 所示。

因此，本研究之專家問卷分兩階段實施，第一階段主要為釐清各因子之重要性程度，設計之問卷內容說明如下：

- (1) 針對「防砂壩景觀美學評估」之建立，就防砂壩美學設計原則而言，下列因子之重要性如何？
 - ① 質感：質感可分無色彩及有色彩，無色彩就是常稱的紋理；有色彩的質感除視覺效果

外，也有觸覺感受的效果，例如木造有令人柔軟、溫暖；距離近時我們可以分辨出防砂壩的表面粗糙程度等細部質感，距離遠些我們可以看出表面紋理。

- ② 色彩：物理、生理、心理三要素為人們感知色彩的必要條件，表示方法為色相 (hue, H)、明度 (value, V)、彩度 (chroma, C)，其標準色相以藍 (blue)、綠 (green)、黃 (yellow)、紅 (red)、紫 (purple) 等 5 色作為代表；明度為 0~10 (黑色為 0 白色為 10 標準灰為 5)；彩度的級數為 0~20 (級數愈大愈鮮艷)，在各色相中分別有不同的級數，本研究將臺灣常見之自然環境背景歸納為 3 種，為樹林、草地及砂土地。
- ③ 造型：建築學造型要領為比例、對稱、裝飾、模距、均衡等，本研究採此要領分析歸納防砂壩壩體構型與空間美質的關係，如量體變化、平面對剖面的關係 (上下游鄰近空間)、動線與空間的關係、單元對整體的關係等。

(2) 針對「防砂壩景觀美質評估」之建立，就**質感**而言，下列因子之重要性如何？

- ① 紋理：壩體上的紋路特性。
- ② 密度：區間尺度表示參數值為 0,1,2,3,4,5，當物體與背景密度參數級距=0 時產生連續感，參數級距=1 (分散) 時視覺不連續多樣性，參數級距>=2 時產生視覺相容性對比。
- ③ 粗糙度：區間尺度表示參數值為 0,1,2,3,4,5，當物體與背景粗糙度參數級距=0 時產生連續感 (平滑)，參數級距=1 (細緻) 時視覺不連續多樣性，參數級距>=2 時產生視覺相容性對比。
- ④ 規則性：隨機、群組性、秩序，當物體的規則性與背景相似時及產生視覺連續性。

(3) 針對「防砂壩景觀美質評估」之建立，就**色彩**而言，下列因子之重要性如何？

- ① 色相：以藍 (blue)、綠 (green)、黃 (yellow)、紅 (red)、紫 (purple) 等 5 色作為代表，樹林色相：5G、7.5R、10G、7.5B；草原色相：2.5GY、5R、7.5G、5B；砂土地色相：2.5GY、10G、10R、10B。
- ② 明度：為 0~10 (黑色為 0 白色為 10 標準灰為

5)；樹林明度 7.5~8.5；草原明度 7~8；砂土地明度 7.5~9。

- ③ 彩度：級數為 0~20 (級數愈大愈鮮艷)，在各色相中分別有不同的級數，樹林彩度 2~4；草原彩度 1~4；砂土地彩度 1~4。
- (4) 針對「防砂壩景觀美質評估」之建立，就**造型**而言，下列因子之重要性如何？
 - ① 植栽減低量體視覺：利用植栽減低量體的視覺衝擊，將河濱植栽疏密程度分成極密、密、中等、疏、無等 5 級。
 - ② 對稱與平衡：對稱為在軸線兩側視覺造型相同，平衡為在軸線兩側造型不相同，但符合造型力場的調和狀態，其關係可分為完全對稱、部分對稱+部分平衡、部分對稱+部分隨機、部分平衡+部分隨機、部分對稱+部分平衡+部分隨機、完全不對稱且不平衡 (隨機) 等 6 種。
 - ③ 重複單元對獨立個體壩體設計：當構型僅由許多相同單元重複組成時，較顯單調，故設計時常利用與重複單元造型不同之獨立個體可創造具變化性之美學價值。評估時應視重複單元 (造型元素) 類別總數及其出現頻率決定單調或具變化，可分為極單調、單調、中等、稍具變化、極具變化等 5 級。

階層一：目標	階層二：評估項目	階層三：影響因素
防砂壩美學設計原則評估	質感	紋理 密度 粗糙度 規則性
	色彩	色相 明度 彩度
	造型	植栽減低量體視覺 對稱與平衡 重複單元對獨立個體壩體設計 壩體與自然天際線融合 動線與使用空間的關係

圖 1 防砂壩景觀美質評估因子之層級架構
Fig.1 Structure of landscape assessment factors on check dam

- ④ 壩體與自然天際線融合：壩體輪廓線若與遠景之優美天際線相互呼應，其與環境高度融合之視覺效果甚至可減低對稱結構之單調感，可依壩體輪廓線與天際線之相似性或平衡性分為極融合、融合、中等、突兀、極突兀等 5 級。
- ⑤ 動線與使用空間的關係：動線為使用空間之線性路徑，例如人車動線，使用空間為特定目的停留及使用場合，例如壩址或河岸空間，二者皆為視覺評估時可能之觀景點，可依觀景者與防砂壩距離將其關係分為近景 (500 公尺以內)、中景 (500-2000 公尺以內) 及遠景 (2000 公尺以上) 三種。

而第二階段之專家問卷則為評估項目間相對重要程度，藉以決定層級分析法 (AHP) 中之層級結構矩陣，本研究利用 MatLAB 程式語言自行開發撰寫視窗程式計算成對比較矩陣之特徵值 (eigen value)、特徵向量 (eigen vector)、一致性指標 *C.I.* (consistency index) 及一致性比率 *C.R.* (consistency ratio) 等，並可直接計算得到各層級因子間之權重。

2. 問卷調查結果

本研究之問卷調查共分為兩階段，目的為釐清前節各項影響因素之間的關係，作為防砂壩景觀美學研究評估之參考。第一階段之專家問卷，目的在確立「防砂壩景觀美質評估研究」時所需考量之評估因子指標的重要性次序等級，評定方式採 0~10 個等級，分數愈高表示愈重要。本研究回收整理 10 份專家問卷，其專家專長領域涵蓋了土木水利、景觀、建築、都市計畫、社區營造、水土保持及環境等背景，平均工作年資超過 10 年。針對第一階段問卷之統計結果如表 3~表 6 所示，第一階段主要為了解各評估因子指標之重要性及次序等級，如表 3~表 6 提供空白表格及各因子釋義如前節所述，讓專家評分並計算各專家之算術平均，且將結果提供給各專家填寫第二階段時參考，以收斂各專家之意見。

從第一階段之評估結果可提供給第二階段專家評估時之參考，在經過第一階段專家問卷調查整合後之結果，可作為第二階段問卷參考基準，在本研究中各專家在評估第二階段時從各因子間兩兩因子比較其相對重要性後獲得各層級之比較矩陣如表 7~表 10 所示。以表 7 為例，為評估階層二中「質感」、「色彩」及「造型」三項因子之相對權重，分別以「質感」與

表 3 「防砂壩景觀設計原則」各評估因子之重要性

Table 3 Importance of assessment factors on landscape aesthetics consideration of check dam

評估因子	重要性程度	可接受的範圍	
	最有可能之單一直值 (0-10)	可接受的最大值	可接受的最小值
質感	6.8	8.1	4.5
色彩	6.1	7.1	3.3
造型	8	9	4.8

填表說明：請依照個人之專業素養評定每個評估因子的重要性，並填入整數值，每一評估因子包括三個部份：

1. 重要性程度：請評估此因子對上一層級因子之重要性程度，並請填入對此因子重要性程度的單一直值。
2. 可接受範圍：請評估此因子對上一層級因子重要性程度受範圍，並請填入最大值與最小值。
3. 專家值：請填入個人對於此評估因子的專業性程度，其評值為單一直值。

表 4 「質感」各評估因子之重要性

Table 4 Importance of assessment factors on texture

評估因子	重要性程度	可接受的範圍	
	最有可能之單一直值 (0-10)	可接受的最大值	可接受的最小值
紋理	7.9	9.2	4
密度	6.4	7.5	4.2
粗糙度	6.5	7.7	4
規則性	6.5	7.5	4.5

表 5 「色彩」各評估因子之重要性

Table 5 Importance of assessment factors on color

評估因子	重要性程度	可接受的範圍	
	最有可能之單一直值 (0-10)	可接受的最大值	可接受的最小值
色相	5.9	7.2	3.6
明度	5.5	7.1	3.1
彩度	5.4	7	3

表 6 「造型」各評估因子之重要性

Table 6 Importance of assessment factors on form

評估因子	重要性程度	可接受的範圍	
	最有可能之單一直值 (0-10)	可接受的最大值	可接受的最小值
植栽減低量體視覺	8.2	9.1	5.6
對稱與平衡	6.6	7.6	3.7
重複單元對獨立個體壩體設計	6.2	7.4	2.9
壩體與自然天際線融合	7.7	8.3	4.8
動線與使用空間的關係	7.4	8.3	4.7

「色彩」、「造型」作相互比較，由專家勾選相對重要性由 9:1~1:9，再計算各專家之幾何平均值。因此，表 7 中之比較矩陣第 1 行第 1 列 a_{11} 值當然為 1，而 $a_{12}=1.5543$ 表示專家問卷調查統計結果為「質感」比較「色彩」相對重要性為 1.5543 倍，餘此類推，然後再利用此比較矩陣計算相對權重。同時，由表 7 階層二各評估項目中的相對權重再分別乘以表 8~表 10 階層三各項影響因素之相對權重，可獲得最後各因子之權重如表 11。從表 11 中可看出在評估項目「質感」中所佔權重最高的是「紋理」因素；而在評估項目「色彩」中所佔權重最高的則為「色相」因素；最後在評估項目「造型」中所佔權重最高的則為「壩體與自然天際線融合」。因此，透過專家問卷之層級分析可將防砂壩景觀美學評估之主要項目依權重篩選出來，並配合各專家平均之各因子重要性之上下限值 (表 3~6)，可作為後續研擬模糊專家系統判定規則參考之依據。

四、模糊專家系統建置與應用

1. 模糊專家系統建置

參考前人研究 (陳樹群、林煥鈞, 2010; Juan et al., 2010) 及專家問卷調查結果可決定出防砂壩景觀美質評估之基準與模糊邏輯之判定規則，並以 MatLAB 之 Fuzzy

表 7 階層二各評估項目間相對重要程度表

Table 7 Relatively important degree of assessment factors in hierarchy 2

評價基準	質感	色彩	造型	相對權重
質感	1	1.5543	0.6692	32.06%
色彩	0.6434	1	0.4611	21.11%
造型	1.4944	2.1689	1	46.83%

註： $\lambda_{max} = 3.00$; C.I. = 0.0003 ; C.R. = 0.0005

表 8 「質感」的各項影響因素相對重要程度表

Table 8 Relatively important degree of assessment factors in texture

評價基準	質感	色彩	造型	相對權重
紋理	1	1.3904	1.7863	0.6673
密度	0.7192	1	1.5060	1.2129
粗糙度	0.5598	0.6640	1	1.3314
規則性	1.4986	0.8245	0.7511	1

註： $\lambda_{max} = 4.18$; C.I. = 0.0588 ; C.R. = 0.0653

表 9 「色彩」的各項影響因素相對重要程度表

Table 9 Relatively important degree of assessment factors in color

評價基準	質感	色彩	造型	相對權重
色相	1	2.2072	2.1734	52.17%
明度	0.4531	1	0.7659	21.74%
彩度	0.4601	1.3057	1	26.10%

註： $\lambda_{max} = 3.01$; C.I. = 0.0035 ; C.R. = 0.0061

表 10 「造型」的各項影響因素相對重要程度表

Table 10 Relatively important degree of assessment factors in form

評價基準	植栽減低量體視覺	對稱與平衡	重複單元對獨立個體壩體設計	壩體與自然天際線融合	動線與使用空間的關係	相對權重
植栽減低量體視覺	1	1.7188	3.1673	0.7659	1.0049	24.49%
對稱與平衡	0.5818	1	1.4963	0.4312	0.4418	12.84%
重複單元對獨立個體壩體設計	0.3157	0.6683	1	0.3879	0.4877	9.70%
壩體與自然天際線融合	1.3057	2.3191	2.5779	1	1.4051	29.60%
動線與使用空間的關係	0.9951	2.2634	2.0503	0.7117	1	23.37%

註： $\lambda_{max} = 5.04$; C.I. = 0.0099 ; C.R. = 0.0089

表 11 經由層級分析法 (AHP) 評估各因子之權重

Table 11 Weight of assessment factors using analytic hierarchy process (AHP)

階層一：目標	階層二：評估項目	階層三：影響因素	權重
防砂壩美學設計原則評估	質感	紋理	9.07%
		密度	8.29%
		粗糙度	6.69%
		規則性	8.01%
		色相	11.01%
	色彩	明度	4.59%
		彩度	5.51%
		植栽減低量體視覺	11.47%
	造型	對稱與平衡	6.01%
		重複單元對獨立個體壩體設計	4.54%
壩體與自然天際線融合		13.86%	
		動線與使用空間的關係	10.94%

Logic Toolbox (MathWorks, 2010) 建立景觀美學評估之模糊專家系統，其建置流程如圖 2 所示。此處依照前節專家問卷調查結果擬出景觀美學評估之基準，依照質感、色彩及造型之權重 (分別為 32.06%、21.11% 及 46.83%)，給出模糊專家系統之評分範圍為質感 (0~32 分)、色彩 (0~21 分) 及造型 (0~47 分)，並分別給予 Poor、Good 與 Excellent 等三種評價，以及景觀美學評估 (0~100 分) 之 Very Poor、Poor、Medium、Good 及 Very Good 等五種等級，其質感、色彩、造型及景觀美學評估等之模糊集依據 AHP 結果之比例分配評分範圍，並分別以 3 等或 5 等平均分配各等級之範圍，重疊區之模糊空間亦參考專家意見斟酌調整，如圖 3 所示。

接著開始訂定模糊規則，因為本研究是屬於三個輸入變數及一個輸出變數之應用，對於這種三對一的系統使用 $M \times N \times K$ 的矩陣形式來表示模糊規則相當方便 (Negnevitsky, 2002)。由於 AHP 之分析得知「造型」因素之權重最重，因此優先考慮「造型」而定出 3 條規則如下：

- If (造型 is Excellent) then (景觀美學評估 is Good)
- If (造型 is Good) then (景觀美學評估 is Medium)
- If (造型 is Poor) then (景觀美學評估 is Poor)

然後可用 3*3 的 FAM (模糊關聯記憶) 考慮剩下的規則如圖 4(a)，可以得到 9 條規則，連同上面 3 條合計有 12 條規則形成了 Rule Base 1。再使用立方體 (3*3*3) FAM 可以導出描述專家系統中使用的所有變數之間的複雜關係的 27 條規則如圖 4(b)，因此 Rule Base 2 也建立完成，至此模糊專家系統之模糊規則已建置成功。

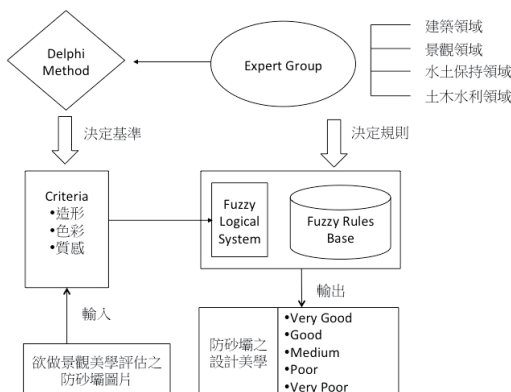
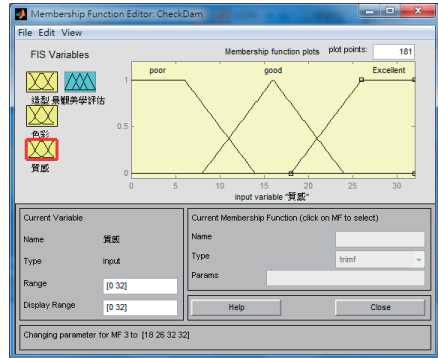
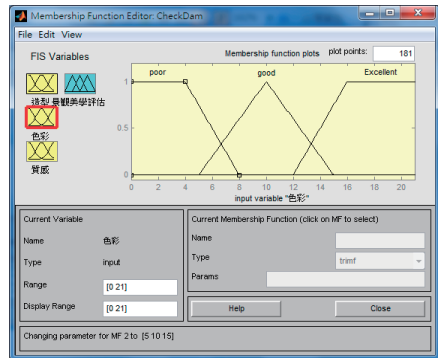


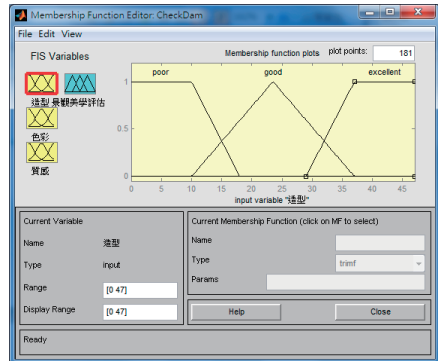
圖 2 模糊專家系統建置流程
Fig.2 Flow chart of fuzzy logic expert system



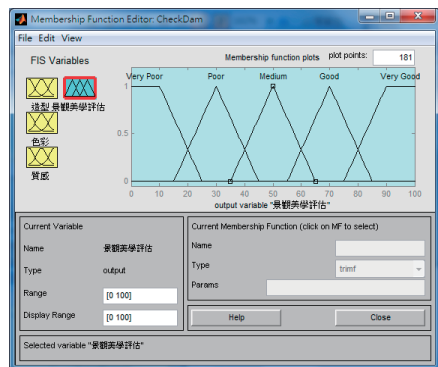
(a) 質感的模糊集



(b) 色彩的模糊集



(c) 造型的模糊集



(d) 景觀美學評估的模糊集

圖 3 模糊專家系統由模糊集
Fig.3 Fuzzy sets of fuzzy logic expert system

當專家系統之模糊規則確立後，即可利用 MatLAB 之 Fuzzy Logic Toolbox 計算「質感」、「色彩」及「造型」三項因素與「景觀美學評估」之間的關係 (圖 5)。於是，一旦需要進行評估時，則僅需將對「質感」、「色彩」及「造型」之評分結果輸入專家系統，模糊專家系統即可計算出評估結果。因為 MatLAB 之 Fuzzy Logic Toolbox 的 Surface 功能僅能呈現二組輸入因子與輸出變數之立體圖 (圖 5)，所以必須分別以不同的輸入值觀察輸出變化，可初步了解系統之反應。而 Rule Viewer 功能則可同時得到所有輸入因子與輸出變數之關係，將於下節專家系統應用說明。

2. 防砂壩景觀美質評估專家系統應用

本研究參照專家問卷調查結果，選出權重較重之項目訂出評分標準 (表 12)，並使用 3 個案例測試模糊專家系統 (圖 6)。以案例 1 (位於雲林縣古坑鄉華山村) 為例說明評分標準：(1) 質感—紋理：壩體表面材質使用造型模板，太過於人工化；密度：壩體與背景沒有互相協調；規則性：壩體合成單元體積大，與背景較不能產生連續性。(2) 色彩—以色相為主要考量，壩體顏色屬於灰色系。(3) 造型—壩體與自然天際線融合：壩體切線與天際線的切線方向多數一致；植栽減低量體視覺：壩體運用少量植栽遮蔽；動線與使用空間的關係：可以近距離觀賞壩體，但並無親水設施。案例 2 及案例 3 評分標準亦同，結果如表 12 所示。

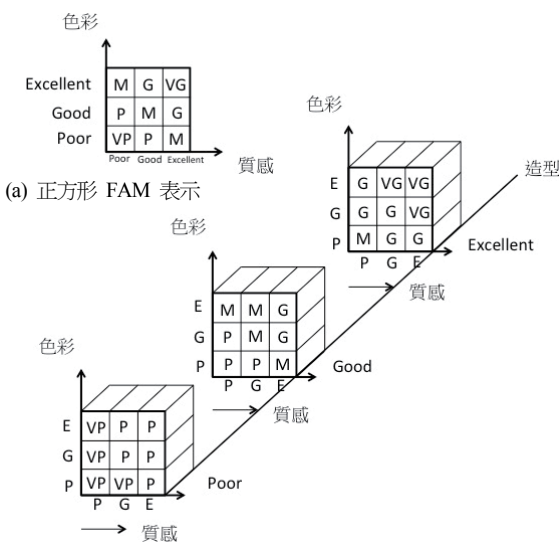


圖 4 建立模糊專家系統的模糊規則
Fig.4 Set up rules of fuzzy logic expert system

表 12 中之景觀美學評估乃是依據模糊專家理論利用前述之模糊規則計算而得，並非直接將質感、色彩及造型分數相加所得。在模糊理論中，在評分等第之間均留下了模糊空間，因此在各項評分時評分者可以參考評分表中項目大致評分，專家系統會再調整，而不必擔心一些誤差影響結果。例如在圖 7 中，以案例 3 為例，將質感 29 分、色彩 16 分、造型 22 分輸入本專家系統，系統會依照模糊理論演算法計算出景觀美學評估值 (71.8)，並且顯示出每一條規則計算成果，最後會將所有規則之成果彙整成一張圖 (圖 7 中第 4 行最後一列的圖)，從該圖之平均值 (粗線) 即可看出對應之評價為 Good。

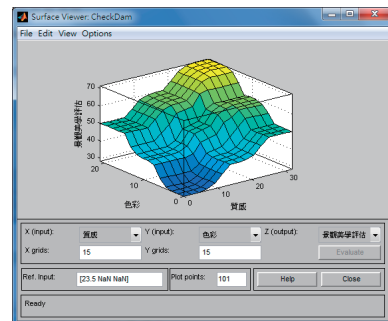
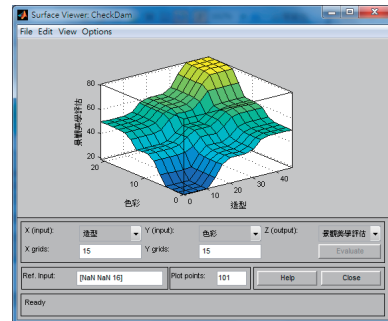
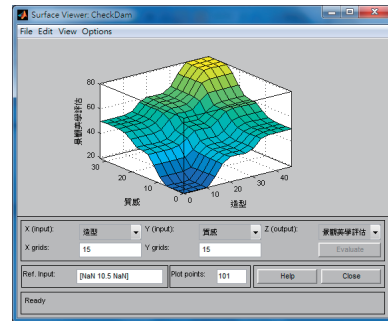


圖 5 「質感」、「色彩」及「造型」三項因素與「景觀美學評估」之關係

Fig.5 Relationship of texture, color, form and landscape aesthetics assessment

表 12 防砂壩景觀美學評估分表

Table 12 Criteria of landscape aesthetics assessment on check dam

分項	細項	評分準則	案例1	案例2	案例3
紋理 (0~11分): 壩體上的紋路特性		壩體材質選用與當地地景相近的天然材料 (7~11分)	2	6	11
		壩體材質使用與天然材質類似之質感 (4~6分)			
		壩體紋路過於人工化與環境產生不協調感 (0~3分)			
質感 (0~32分)	密度 (0~11分): 物體與背景密度差距	物體與背景有連續感 (7~11分)	5	4	9
		物體與背景有不連續多樣性 (4~6分)			
		物體與背景產生相容性對比 (0~3分)			
規則性 (0~10分): 物體的規則性與背景相似情形		視覺有連續感 (7~10分)	5	5	9
		視覺有不連續多樣性 (4~6分)			
		視覺產生相容性對比 (0~3分)			
質感小計			12	15	29
色彩 (0~21分)	色相 (0~21分): 以藍、綠、黃、紅、紫等5色作為代表	黃褐色系、綠色系 (16~21分)	9	16	16
		紅黃色系 (10~15分)			
		其他色系 (0~9分)			
色彩小計			9	16	16
造型 (0~47分)	壩體與自然天際線融合 (0~18分): 壩體輪廓線之垂直與水平線與背景 (山景) 差異性大者分數低, 反之分數高	壩體輪廓線形勢與天際線類似且輪廓線的切線方向4個以上 (12~18分)	15	3	6
		壩體輪廓線形勢與天際線類似且輪廓線的切線方向1-3個 (6~11分)			
		壩體輪廓線形勢與天際線類似度低 (0~5分)			
	植栽減低量體視覺 (0~15分): 植栽佔百分比	植栽茂盛足以遮蔽大部分壩體 (11~15分)	2	12	4
		有植栽可遮蔽小部分壩體 (5~10分)			
		植栽少難以遮蔽壩體 (0~4分)			
動線與使用空間的關係 (0~14分): 視覺可視範圍內人、車動線與壩址、兩岸使用空間之關係	人車動線可達近距離賞壩體且兩岸使用空間有親水設施或景觀規劃者 (10~14分)	8	9	12	
	人車動線無法達近距離賞壩體但兩岸使用空間有親水設施或景觀規劃者或人車動線可達近距離賞壩體但兩岸使用空間無親水設施或景觀規劃者 (4~9分)				
	人車動線達無法近距離賞壩體且兩岸使用空間無親水設施或景觀規劃者 (0~3分)				
造型小計			25	24	22
景觀美學評估			44.2	59.9	71.8



圖 6 防砂壩照片

Fig.6 Photos of check dams

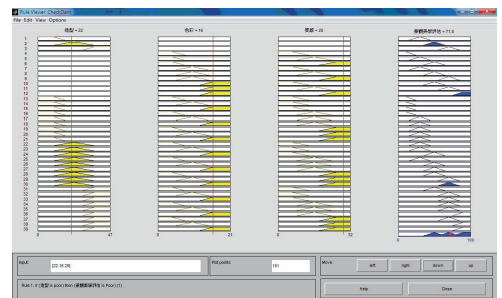


圖 7 模糊專家系統運算結果

Fig.7 Result of fuzzy logical system

五、結 論

本研究主要為參考前人研究之防砂壩設計美學原則進行專家問卷調查研究，並利用問卷調查結果建置防砂壩景觀美質評估之模糊專家系統。目的是希望能藉由科學方法釐清防砂壩景觀美質評估相關因子間之關係，透過來自不同領域之專家問卷分析以獲得各評估因子之權重，並篩選出較重要之評估項目，以建立一較科學、客觀之評估模式，此部份亦是以往文獻較少論述之處。在本研究中使用 3 個案例應用此模糊專家系統進行防砂壩景觀美質評估，測試結果顯示此方法應為可行，且該專家系統確實可資應用，此結果可提供作為相關人員後續規劃防砂壩美學設計時之參考。本方法之優點為藉由照片與問卷評估，節省現場調查之時間，方便快捷，統計資料具信度 (Reliability) 及效度 (Validity)，且只要少數專家即可完成。缺點是照片無法完全代表實際景觀美質，且專家所定之權重是否具有代表性仍有疑義，建議日後可請更多不同領域專家進行權重修定，以減少主觀判斷。在未來應用上，因本模式具專家模式及 SBE 的生心理模式優點，較現行之景觀美質模式更適用於規劃設計階段，未來可在規劃設計階段以 3D 模擬圖或虛擬實境方式搭配問卷，事先評估防砂壩型式對環境景觀之衝擊程度。

參考文獻

- [1] 行政院農委會水土保持局 (2005)，「水土保持技術手冊」。(Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan (2005). *Soil and Water Conservation Technical Manual*. (in Chinese))
- [2] 施淑文 (1994)，「建築環境色彩設計」，淑馨出版社，台灣，134-135。(Shi, S.W. (1994). *Color Design of the Built Environment*, Shuxin Press, Taiwan, 134-135. (in Chinese))
- [3] 范文怡 (2008)，「城鄉地區道路景觀評價之研究」，銘傳大學建築與都市防災研究所碩士論文。(Fan, W.Y. (2008). *Landscape Evaluation of Road Scenes on Urban and Rural Areas*, Master thesis, Ming Chuan University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [4] 張保隆、翁振益、周瑛琪 (2007)，「決策分析:方法與應用」，華泰文化，台灣，445-451。(Chang, P.L., Wong, J.Y., and Chou, Y.C. (2007). *Decision Analysis: Methods and Applications*, Hwa Tai Publishing, Taiwan, 445-451. (in Chinese))
- [5] 張隆勛 (2008)，「多元環境屬性都市地區景觀評估方法之研究—以台南市為例」，國立成功大學都市計劃研究所碩士論文。(Chang, L.H. (2008). *A Study of the Landscape Assessment Methodology for the Multiple-Environmental- Characteristics Metropolitan Area*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
- [6] 陳樹群、林煥鈞 (2010)，「防砂壩美學設計原則之探討」，中華水土保持學報，41(2)，109-121。(Chen, S.C., and Lin, H.C. (2010). "Visual aesthetic design principles of check dams." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 41(2), 109-121. (in Chinese))
- [7] Clark, R.M., and Pause, M. (1985). *Precedents in architecture*, John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Eder, W. E. (1995). "Engineering design- art, science and relationships." *Design Studies*, 16, 117-127.
- [9] Garcia, L., Hernandez, J., and Ayuga, F. (2006). "Analysis of the materials and exterior texture of agro-industrial buildings: a photo-analytical approach to landscape integration." *Landscape and Urban Planning*, 74, 110-124.
- [10] Juan, Y.K., Castro, D., and Roper, K. (2010). "Decision support approach based on multiple objectives and resources for assessing the relocation plan of dangerous hillside aggregations." *European Journal of Operational Research*, 202(1), 265-272.
- [11] MathWorks. (2010). *Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide*, The MathWorks, Inc., Natick.
- [12] Negnevitsky, M. (2002). *Artificial Intelligence: a Guide to Intelligent Systems*, Pearson Education Limited, Harlow, England.
- [13] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- [14] Saaty, T.L. (1990). *Decision making for leaders-the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*, RWS Publications, Pittsburgh.

2011 年 12 月 05 日 收稿

2012 年 03 月 01 日 修正

2012 年 04 月 12 日 接受

(本文開放討論至 2013 年 6 月 30 日)