

# 上游集水區防砂壩壩體改善順序評估模式之研究 —以七家灣溪為例

葉昭憲<sup>1,2</sup>，黃立文<sup>1</sup>

<sup>1</sup>逢甲大學水利工程與資源保育學系；<sup>2</sup>通訊作者(*chyeh@fcu.edu.tw*)

**[摘要]** 基於壩體安全考量、維修成本過高、對環境生態有重大影響或是其他因素，相關管理單位可能須對河川橫向構造物進行拆除或改善。因此，如何針對數座已決定改善壩體進行改善之優先順序以獲得較大效益，已成為重要之決策問題。本研究首先綜合國內外相關文獻並透過效度分析問卷之確認，歸納出計有五項構面 17 項評估項目之上游集水區防砂壩改善順序評估模式。其次，採用分析層級程序法(Alytic Hierarchy Process, AHP)進行工程業界、政府機關及學術單位等三種不同領域合計 20 位專家學者之評估因子權重分析。最後，以七家灣溪一、三及四號防砂壩作為評估對象，分別以 AHP 法與簡單加權法進行改善順序評估，而兩種方法之壩體改善優先對象皆為七家灣溪一號防砂壩。此外，本研究亦對專家學者之背景差異在權重分配之影響、評估項目權重對排序結果之敏感度分析，以及專家問卷之最低數目進行討論。

**關鍵字：**壩體改善、多評準決策、分析階層程序法、敏感度分析

## A Study on a Removal Priority Assessment Model and its Application for Check Dams in Upstream Watershed of Chi-Chia-Wan River

Chao-Hsien Yeh<sup>1,2</sup> and Li-Wun Huang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University;

<sup>2</sup>Corresponding author (*chyeh@fcu.edu.tw*)

**ABSTRACT** A check dam may be removed or improved for safety, maintenance cost, environmental, or other concerns, therefore this study is an attempt to find a removal priority assessment model for situations in which several check dams are subjected to removal or improvement. Five perspectives and 17 criteria to determine removal or improvement priority were derived from literature review and a validity questionnaire on the Dam Removal Evaluation System for experts. Another expert questionnaire based on Analytic Hierarchy Process (AHP) was conducted for 20 responded experts from three fields, specifically professional engineers, government officers, and scholars. Finally, check dams Number One, Three, and Four of the Chi-Chia-Wan River were assessed as a case study using weights from AHP assessment and weighted summation methods. Results from both assessments indicate that Number One is the first check dam that should be removed. An analysis on criteria weights found significant variation with experts of different academic background: Professional engineers focused on "channel morphology," while government officers and scholars gave emphasis to "habitat" and "ecological prospect." A sensitivity analysis on criteria

weights showed that weight adjustments did not have any impact on removal priority. Finally, this study also found that the geometrical average weight of a criterion calculated from six randomly selected experts is very close to that from all eight experts of scholars.

**Keywords:** dam removal, multi-criteria decision making, analytic hierarchy process (AHP), sensitivity analysis

## 前言

台灣地區河流大多坡陡水急，且豐沛之降雨量大部分集中於夏、秋兩季，致使河川流量豐枯差距顯著。為增加水資源運用，政府在河川中上游的合適地點興建許多水庫，以便攔蓄降水及逕流，供應用水及發電之需。但是上游集水區常發生自然的土石崩塌現象，水庫蓄水容量將因水庫砂石淤積而逐漸減少，進而縮短水庫的使用年限。為防止大量砂石往下游輸送而增加水庫泥砂淤積，於是相關單位常在水庫或其集水區上游興建防砂壩以攔阻或調節河岸砂石外，並且兼具減緩河道坡度、穩定河床及減少河道沖蝕等功能（行政院農業委員會水土保持局 2005）。因此，在1991年全台灣有紀錄之防砂壩計有2,855座(台灣省林務局1992)。

雖然透過堰壩之構築而可達到供水(農業、民生與工業用水)、發電、防洪、航運、遊憩、廢棄物處置、河道穩定或泥砂控制等目標或功能(World Commission on Dams 2000, The Heins Center 2002)，但由於近年來專家學者已逐漸瞭解河川橫向構造物對環境生態所帶來許多負面效應，包括水質的改變及對環境與生態的嚴重破壞，更可能威脅到瀕臨絕種的動植物。所以當發現有上述問題時，主管單位可能為達到河川、生態及環境之復育目的，或是因為發現有壩體及結構之安全考量、維修成本過高而進行壩體拆除或部分壩體改善工程(Pohl 2002)。針對單一壩體改善之過程、方式及決策等議題，國內外不乏相關研究成果(段錦浩等 2000, 葉昭憲等 2002, Born et al. 1998, American Rivers and Trout Unlimited 2002, The Heins Center 2002)，然而對於眾多對象之評估

則較為少見，僅如Doyle et al. (2003)針對應考量因素之原則性說明以及Kuby et al. (2005)以最大無阻隔河段長度及最小經濟損失為目標之多目標優選模式。然而，對於如何整合生態復育觀點及工程實務考量在改善對象之排序過程中，與此重要操作關鍵之研究則鮮見於國內外研究。因此，如何針對已決定改善的數座壩體中，排出改善優先順序以獲得較大之復有效益，遂成為本研究所欲探討之決策問題。

## 材料與方法

本研究包含兩個主要階段：評估模式之建置及運用。在模式建置階段，透過相關文獻回顧所歸納之評估因子，以效度問卷針對評估模式之構面與因子加以確認，並利用分析層級程序法(Analytic Hierarchy Process, AHP)與專家問卷分配各評估因子之權重值。在模式運用階段，本研究彙整七家灣溪三座防砂壩在各項評估因子之相關資料，最後以AHP及簡單加權法進行改善順序之評估。圖 1 為本文之研究流程，而主要單元之操作方法則於下列小節中分別說明。

### 一、評估因子之擬定

由於考量壩體改善後所可能產生之生態及環境衝擊影響，本文首先蒐集近年來此類相關研究。例如，Doyle et al. (2003)歸納堰壩移除之衝擊包含河道地形影響(泥砂運移)與生態系統影響(魚類、巨型無脊椎動物、植物族群、生物演化)；Thomas (2005)認為並非所有堰壩移除皆需要泥砂分析，但若無詳細泥沙調查是不可能預測移除對泥砂過程所造成之影響如何；Loranga et al. (2005)以水流能力

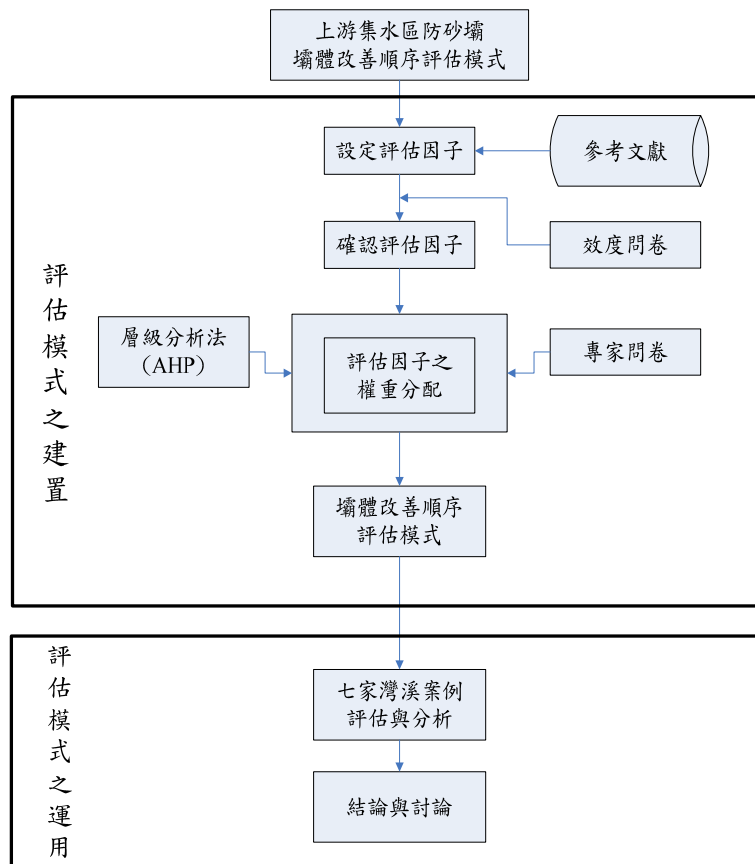


圖 1. 研究流程圖

法(flow-competence approach)估計數座已廢棄壩體的移除，在沖刷泥砂與重建河道特性之河川復育潛力；Roberts et al. (2007) 發現堰壩所有人除關注法律責任議題外，特別關心洪泛區之潛在改變、壩後污染土壤之出現、以及壩體泥砂之下游輸送；Riggsbee (2007)之研究發現壩體移除後之懸浮值可達約等同於滿岸洪水時泥砂濃度；Doyle et al.(2005)綜合一連串低壩移除研究以檢視河道型態改變如何影響濱岸植生、魚類、巨型無脊椎動物、被類及養分動力，結果發現每個生態系屬性以不同之方式反應壩體移除的干擾，而恢復速率亦具極大差異，其範圍從數月到數十年不等：濱岸植生需要最長恢復時間、巨型無脊椎動物最短，被類群落則是最受負面影響的物種而在觀察期間無恢復之跡象。

而對於壩體改善決策之討論及研究，近年逐漸獲致原則性之共識，本文亦將較具代表性之研究予以歸納：Born et al. (1998) 從威斯康辛州在 1965 至 1998 期間所移除 30 個堰壩中挑選 14 案例進行分析後發現，這些堰壩的移除費用約為平均修復經費的三分之一；Whitelaw & MacMullan (2002)建議堰壩存廢的效益成本估算，朝「效益與成本」及「就業衝擊」兩個主要原則及「後果的分擔」、「權利與義務」、「不確定性」及「永續性與生態保育外的邊際效應」等四個次要分析原則進行評估；The Heins Center (2002)除針對壩體改善之各類型衝擊、考量因素及決策流程有詳細之描述與討論外，亦建議一套堰壩保留或移除之決策步驟；美國墾務局(US Bureau of Reclamation)與加州水資源控制委員會合作之 Battle Creek 復育計畫 (Bureau of

Reclamation and California State Water Resources Control 2005)曾為解決該流域內之十一座攔河堰對 Chinook 鮭魚等生態影響，故對零方案、移除三座、移除五座及移除六座等四種方案，於魚類、植物溼地與野生資源、水文、水質、視覺資源及文化資源等面向進行評估。

本研究經由彙整前述文獻之主要考量因素，並參考過去國內案例及研究成果(段錦浩

等 2000, 葉昭憲等 2002, 葉昭憲 2007)而初步擬定上游集水區防砂壩壩體改善順序評估模式之指標與準則後，以生態評估或曾參與壩體改善研究之四位專家學者進行效度分析問卷。

經過整合專家學者意見彙整並進行模式調整及修改，壩體改善順序評估模式之層級結構共包含五個評估構面及十七個評估項目(參見表1)。

表 1. 上游集水區防砂壩壩體改善順序評估因子及層級關係

評估構面	評估項目	評估方式說明
棲息環境	棲地類型之多樣性	以棲地多樣性為比較基準，即棲地類型越是單一，越需要進行壩體改善。
河道地形	自由流動河段增加之長度	改善河川構造物將使原被阻斷之河川空間得以連接，故改善後河川能自由流動之長度越長者為佳。
	淤砂量評估	改善之壩體越大、坡度越緩，改善後原淤砂被帶走之淤砂量就越大。
	對壩體下游之影響(沖刷或淤積)	壩體改善後，原本的淤砂會被水流帶往下游，影響下游河道，輸砂特性可能會有變化；考量壩體周遭及下游河道之地質與環境，如環境多為岩盤地質，則影響之程度可能較低。
	下游濁度增加之程度	因為濁度與河中之細顆粒泥砂有關，所以此因子考慮河道中棲地底質之比例(細顆粒泥砂之多寡)。
生態觀點	穩定時間	壩體改善後，原本的淤砂會被水流帶往下游，當河床底質越小，所需要的穩定時間就越久。
	保育物種	此區域是否有保育物種或是保育物種族群在此區域之數量比例。
	魚類 水棲昆蟲 藻種組成	評估各區域的魚群數量比例與組成多樣性。以各區域水棲昆蟲之數量與組成多樣性進行評估。由於藻類是溪流生態系的初級生產者，故判斷藻種組成可得知溪流環境之優劣。
操作考量	施工難易度	壩體大小與主要材質會影響施工之難易，故施工難易度越低的壩體越可提早改善。
	改善費用	單純考量壩體改善而不進行其它生態輔助措施，則所需費用來自施工費用及原淤砂處理費用，故計算壩前淤積泥砂量與壩體預計改善之體積(若壩體改善仍保留防砂壩兩側翼牆，且壩基部份也保留)。
	對周遭建築或設施影響之可能性 施工工區	壩體改善時，需考慮是否會影響四周建築物或周遭設施，在安全上是否有危害。考量施工便道與臨時放置地。施工便道之長度通常與干擾程度有正相關，即為施工便道越長干擾越大，且由於壩體改善前需對原淤積泥砂進行處理，所以需要可容納挖除淤積泥砂的臨時放置地。
	壩體損毀程度	若壩體結構有損毀，但無危害且成為生態廊道，可以暫時不予處理；但若有安全考量，則為優先改善對象。
社會環境	對農業或其他經濟活動影響之可能性	壩體改善前後可能會影響此區域農業活動或其他經濟活動，所以需考量影響性。
	對下游水庫之影響	考量壩體原淤砂量，對水庫平均年淤砂量的影響。

表 2. 各領域專家學者之背景及服務單位

領域	工程業界	政府機關	學術單位
背景經歷	河工構造物規劃設計	河工構造物或生態保育之管理或研究單位	曾參與河川工程規劃、壩體改善或生態保育研究
服務單位	中興工程顧問、京華工程顧問、黎明工程顧問	林務局各林管處、水利署、國家公園管理處、特生中心、生物多樣性研究中心	逢甲大學水利系、中興大學水保系及生科系、清華大學生科系、中華大學土木系、海洋大學河海系

## 二、問卷設計

本研究之問卷分為效度問卷及 AHP 專家問卷兩部分。在效度問卷部分，其目的為藉由專家學者之意見及建議，以修正本研究之評估因子及架構，提升架構之適用性；因此，本研究邀請四位對生態評估或壩體改善案例有所研究之專家學者進行效度分析問卷之填答。而 AHP 專家問卷之目的，則是希望彙集各界專家學者之知識及經驗，由學者專家對於評選因子之相對重要性進行評估，而決定各評選因子之權重。

由於 AHP 原為反應單一決策者之偏好及選擇，但考慮不同領域之專家學者因為知識背景及工作環境的不同，對於各項評估準則所重視之程度及方向可能有所差異，因此本研究分別以學術界、工程業界、政府單位與全體共識值等四種領域進行權重分析，其各領域專家學者之背景、經歷及服務單位如表 2。

## 三、分析層級程序法(AHP)

AHP 法為 Thomas L. Saaty 所創，原用以解決埃及國防部之應變計畫問題(Saaty 1980)。該方法分為兩大操作階段，第一是層級的建立，第二是層級評估。其精神在於利用層級結構關係，將複雜的問題由高層次(high level)往下層次(low level)逐步分解，並彙集有關決策人員進行評估，透過量化的判斷，以求得各方案之優勢比重值(Priority)，凡該值愈大之方案，表示被採納之優先順序愈高，同時減少決策錯誤發生的風險。由於此方法可將複雜的多目標決策問題予以轉化，因而近年來第一作者參與許多運用 AHP 於環境或災害管理之

相關研究(周天穎等 2001, 張志益等 2004, 許盈松等 2005, 劉哲旻等 2007, 陳怡如等 2008)。

AHP法之主要步驟(鄧振源等 1989)，包括確定評估問題、決定評估因素、建立層級架構、建立成對性比較矩陣、計算特徵值與特徵向量、一致性的檢定、專家偏好整合及最適計劃或方案的決定等。其中在整合眾多決策者意見之群體決策時，由於專家的偏好不同，因此所得到的可行計畫或方案的優勢權重也不同，此時須進行專家偏好整合，並常以幾何平均法、算術平均法或多數決法進行統整。本研究主要是利用幾何平均數來統合各專家之意見後，再以 Saaty 和他的研究團隊共同開發完成的 Super Decisions (公開、免費下載軟體，[http://www.superdecisions.com/index\\_tables.php](http://www.superdecisions.com/index_tables.php)) 進行分析階層程序法之運算分析，因此本研究於 Super Decision 軟體中之評估架構圖如圖 2 所示，包含最上層之評估模式、第二層之五個評估構面、第三層之 17 個評估項目以及最底層之三個評選方案。

## 四、七家灣溪防砂壩之環境調查及資料收集

本研究除對七家灣溪流域之整體性地形、地質、水文、人文等資料(葉昭憲等 1998-2002, 于淑芬等 2006, 林幸助等 2006, 林幸助等 2007)加以收集整理外，並針對七家灣一號、三號及四號防砂壩進行壩體周圍現況調查(上下游河道、水流、底質、坡度、道路或建物)及壩體量測(材質及長、寬、高)，圖 3 為七家灣溪各防砂壩之空間分佈以及三個改善對象之現況照片。

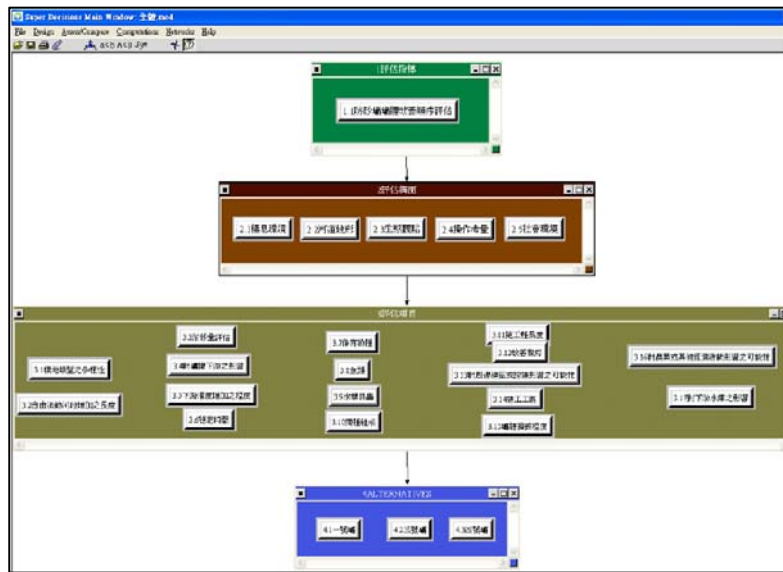


圖 2. 以 Super Decision 呈現之本研究模型

## 結果與討論

### 一、評估因子之權重分析

本研究發出問卷總數為 28 份，共回收 20 份，其回收率為 69%。其中，政府機關回收 8 份問卷，學界回收 7 份問卷，業界回收 5 份問卷；而各領域所回收之問卷經一致性檢定後發現，各專家之 C.R. 值皆小於 0.1，故有效問卷統計結果如表 3 所示。

若將問卷依照不同領域及全體專家分別彙整後，將其「評估構面」之成對比較值利用幾何平均數予以來統合，則各領域專家及全體

之「評估構面」加權值如表 4 所示。由該表可知，不同領域專家對各評估構面之重要性具有認知之差異，例如工程業界專家最重視「河道地形」，政府機關專家兼顧「棲息環境」與「生態觀點」兩構面，而學術單位專家則顯著關注「棲息環境」。

由於 AHP 分析為表達決策者偏好之一種工具，決策輔助團隊可透過分析結果，以確認決策參與者之領域背景是否影響最後評估結果。以本研究為例，若某一座防砂壩之改善可造就較良好棲息環境與有助生態系統，則將較易獲得優先改善之序位。

表 3. AHP 專家問卷之發放、回收及有效份數

領域	發放份數	回收份數	有效份數
政府機關	14	8	8
學術單位	9	7	7
工程業界	5	5	5
合計	28	20	20





圖 3. 七家灣溪各防砂壩之空間分佈(左)及一號防砂壩(右上)、三號防砂壩(右中)及四號防砂壩(右下)之現場狀況

表 4. 各領域專家之「評估構面」權重值

評估構面	全體專家	工程業界	政府機關	學術單位
棲息環境	0.305	0.195	0.275	0.412
河道地形	0.172	0.337	0.144	0.119
生態觀點	0.258	0.183	0.280	0.271
操作考量	0.140	0.158	0.166	0.096
社會環境	0.125	0.128	0.134	0.102

相同地，若將「評估項目」之因子成對比較值，分別依照不同領域及全體專家之幾何平均數彙整後，則各評選因子之加權值如表 5 所示。由該表可知，工程業界專家重視「棲地類型之多樣性」、「淤砂量評估」與「對壩體下游之影響」，其可能原因在於逐漸瞭解到工程設施需兼顧到生態環境，故在進行某項工程時需注意工程操作對環境的影響；而政府機關專家與學術單位專家之看法則較為相近，均認為「棲地類型之多樣性」、「自由流動河段增加之長度」與「保育物種」等評估項目較為重要，

可能是因為他們對於生態保育之觀念相較於一般人完整與重視，因而對於保育物種與生物之棲息環境較為關注。而各界較不重視之評估因子有「施工難易度」、「改善費用」、「壩體損毀程度」與「施工工區」，可能原因是壩體改善有其主要目的，但這些評估因子大多與費用或施工方法相關，所以相較之下較不重視。

整體而言，在壩體改善順序的決策中，各領域專家多以生態與自然環境之角度進行考量，而施工操作或經費考量等因子之重要性則較低。

表 5. 各領域專家之「評估因子」之權重值

評估因子		全體專家	工程業界	政府機關	學術單位
棲息環境	棲地類型之多樣性	0.206	0.132	0.186	0.280
	自由流動河段增加之長度	0.099	0.063	0.089	0.132
河道地形	淤砂量評估	0.038	0.121	0.031	0.017
	對壩體下游之影響（沖刷或淤積）	0.053	0.082	0.041	0.044
	下游濁度增加之程度	0.044	0.076	0.041	0.027
	穩定時間	0.038	0.059	0.030	0.030
生態觀點	保育物種	0.110	0.060	0.149	0.101
	魚類	0.059	0.048	0.052	0.066
	水棲昆蟲	0.046	0.038	0.048	0.044
	藻種組成	0.043	0.037	0.031	0.61
操作考量	施工難易度	0.021	0.031	0.022	0.014
	改善費用	0.023	0.022	0.029	0.017
	對周遭建築或設施影響之可能性	0.045	0.045	0.059	0.029
	施工工區	0.025	0.032	0.028	0.017
	壩體損毀程度	0.026	0.027	0.029	0.020
社會環境	對農業或其他經濟活動影響之可能性	0.055	0.073	0.060	0.036
	對下游水庫之影響	0.070	0.055	0.074	0.066



二、七家灣溪案例評估

在確定壩體改善順序評估因子之權重後，本研究以大甲溪上游之七家灣溪防砂壩為實際案例進行研究分析。再經過前一章所述之環境調查及資料收集後，三座防砂壩在各項評估項目之表現，整理如表 6 所示。

本文針對該表之資料，採用兩種多評準評估方法(multi-criteria evaluation method)以針對三個防砂壩進行改善排序，即簡單加權法(weighted summation)法及 AHP 法，而其操作結果則於接續兩小節中分別說明。

表 6. 七家灣溪三座防砂壩在本模式評估項目之表現整理表

評估因子		一號壩	三號壩	四號壩
棲息環境	棲地類型之多樣性	0.42	0.35	0.56
	漬由流動河段增加之長度	2794 m	209 m	431 m
河道地形	淤砂量評估	約27萬m3	約17.4萬m3	約11.1萬m3
	對壩體下游之影響(沖刷或淤積)	岩盤		
	下游濁度增加之程度	較小	較小	較大
	穩定時間	較短	較短	較長
生態觀點	保育物種(鮭魚族群之比例)	68.3%	84%	30.8%
	魚類	較多	極少	極少
	水棲昆蟲	較大	較大	一般
	藻種組成	相似		
操作考量	施工難易度 壩體大小	1,358 m3	2,561 m3	924 m3
	主要材質	混凝土和卵石		
	改善費用 壩體預估改善體積	1,358 m3	2,561 m3	924 m3
	泥砂處理費用	8,490 m3	8,832 m3	3,696 m3
	對周遭建築或設施影響之可能性	有		
	施工工區 施工便道長度	37m	390m	290m
	淤積泥砂移置處	壩前60、70m 處灘地	壩前50m 右岸	壩前約50m 左右岸
壩體損毀程度	無明顯損毀	無明顯損毀	有缺口	
社會環境	對農業或其他經濟活動影響之可能性	無		
	對下游水庫之影響	最大	次之	較小

1. 簡單加權法

此法利用一套標準化原則，逐一確認各評估因子下具備最佳表現之方案，並將此方案在該項評估因子之評值為設為「1」，再以此最佳表現為基準，計算其它方案之相對評值。而各方案在該項目之得分，則是其評值與該評估項目權重值之乘積（張志益、葉昭憲, 2004）。例如在「自由流動河段增加之長度」項目中，改善一號壩可獲最佳效果(增加 2,794 公尺)故其評值為 1，而三、四號壩之相對評值即為 0.0748(=209/2794)與 0.1526(=431/2794)，當乘

上該項目權重 0.099 後，三個方案在此項目分別獲取 0.099、0.007 及 0.015 得分。如此，各方案在 17 個項目之得分狀況如表 7 所示。

當將各方案之所有項目得分予以累計即為總得分，分數越高之方案代表其壩體改善之排序越優先。若依不同領域背景與全體之專家權重組合分別計算，則最後評選順序結果如表 8 所示。

由該表可知，使用不同領域專家的偏好在評選結果並無差異，皆以一號壩為優先改善對象，三號壩次之，而四號壩最後。

表 7. 將各防砂壩於評估項目表現標準化後之得分

評估因子(權重值)		一號壩	三號壩	四號壩
棲息環境	棲地類型之多樣性 (0.206)	0.172	0.206	0.128
	自由流動河段增加之長度 (0.099)	0.099	0.007	0.015
河道地形	淤砂量評估 (0.03)	0.016	0.024	0.038
	對壩體下游之影響(沖刷或淤積) (0.053)	0.053	0.053	0.053
	下游濁度增加之程度 (0.044)	0.044	0.044	0.035
	穩定時間 (0.038)	0.038	0.038	0.030
生態觀點	保育物種(鮭魚族群之比例) (0.110)	0.089	0.110	0.040
	魚類 (0.059)	0.059	0.006	0.006
	水棲昆蟲 (0.046)	0.046	0.046	0.023
	藻種組成 (0.043)	0.043	0.043	0.043
操作考量	施工難易度 (0.021)	0.018	0.014	0.021
	改善費用 (0.023)	0.013	0.009	0.023
	對周遭建築或設施影響之可能性 (0.045)	0.023	0.023	0.023
	施工工區 (0.025)	0.025	0.014	0.014
	壩體損毀程度 (0.026)	0.013	0.013	0
社會環境	對農業或其他經濟活動影響之可能性 (0.055)	0.055	0.055	0.055
	對下游水庫之影響 (0.070)	0.007	0.035	0.07

表 8. 以「簡單加權法」計算各防砂壩之總評分及排序

防砂壩	工程業界		政府機關		學術單位		全體專家	
	總分	排序	總分	排序	總分	排序	總分	排序
一號壩	0.80	1	0.82	1	0.83	1	0.81	1
三號壩	0.74	2	0.72	2	0.72	2	0.73	2
四號壩	0.68	3	0.62	3	0.56	3	0.61	3

2. AHP 法

由於 AHP 除可求解各項目權重外，並可運用於定義各方案間之相對優勢，進而排列方案之優先順序 (Saaty 1980)。因此，本研究在進行問卷調查時，同時將表 6 之相關資料提供給評估者，再藉由成對比較(paired comparison)方式，請答卷者針對各評估項目評定任兩個方案間之相對喜好程度，經過計算成對比較矩陣之特徵向量(eigenvector)，即可得知答卷者在各方案之偏好。

例如在「自由流動河段增加之長度」項目中，若專家認為一號壩與三號壩之間，他絕對偏好前者而填選 9:1，而一、四號壩間之偏好比較為 6:1，而三、四號壩間之偏好比較則為 1:2，故此專家對三個方案在此項目之偏好比例則為 0.77 : 0.08 : 0.15。

由於其操作方式及計算方式皆與求算權重值之過程相同，因而利用電腦輔助決策軟體 Super Decision 即可計算出各方案之優先順序，其流程圖如圖 4 所示。經由 Super Decision 計算出各方案之偏好列於圖 5：一號防砂壩依舊得分最高，但三號壩與四號壩之得分幾乎相同，顯示以 AHP 呈現全體專家觀點時，改善三號壩或四號壩之效果相當。若將簡單加權法與 AHP 法之評選結果相比較(表 9)，兩種評選方法之結果皆為一號壩最適合優先進行壩體改善，但 AHP 法所得之結果分數差距較為明顯。

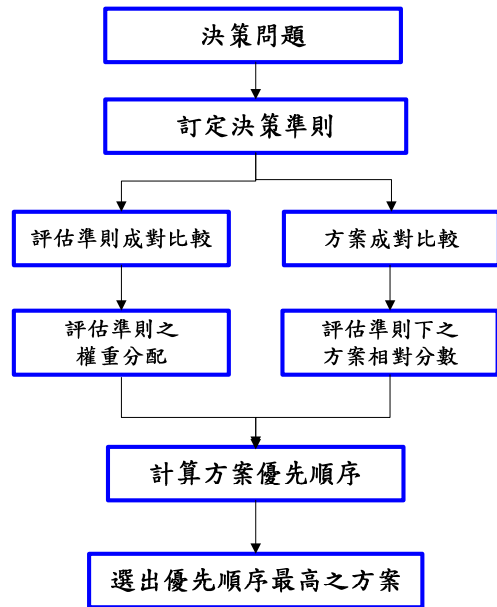


圖 4. 運用 AHP 於權重分配及方案評估之操作流程

3. 敏感度分析

由於評估項目之權重分配將對方案之最後評分產生直接影響作用，因此項目權重之調整可能使整體排序結果產生變化 (劉哲旻等 2007)，是以本文針對權重分配進行敏感度分析。本研究以全體共識值分析之權重結果，分別調整五項評估構面、評估項目中最重要三個項目與各構面下最重要一個項目進行敏感度分析，以增減 10%、增減 25%及增減 50%等六種調整幅度，來作進一步的分析與比較其敏

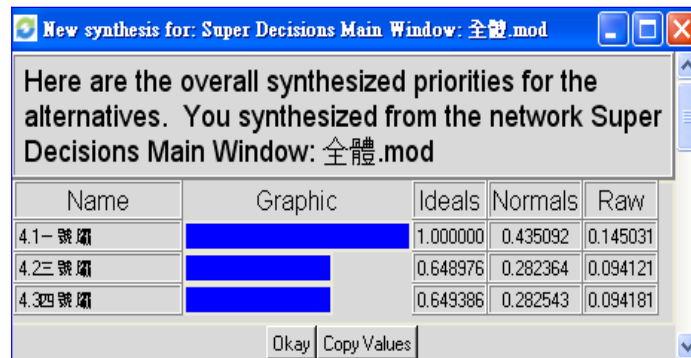


圖 5. AHP 呈現全體專家之方案順序

表 9. 簡單加權法與 AHP 法評選結果之比較

	一號壩	三號壩	四號壩
簡單加權法	0.377	0.339	0.284
AHP 法	0.435	0.282	0.283

註：簡單加權法中各壩體之相對比例為其總得分除以三項方案之總和。

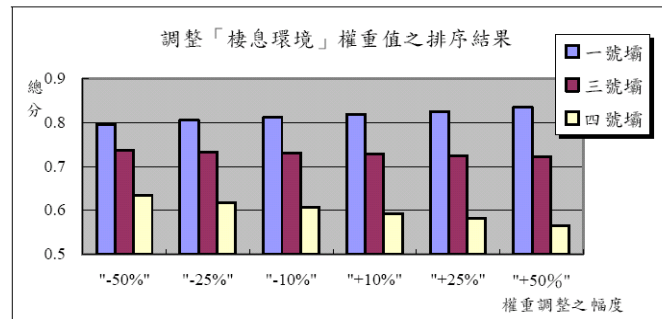


圖 6. 調整「棲息環境」權重值之排序結果

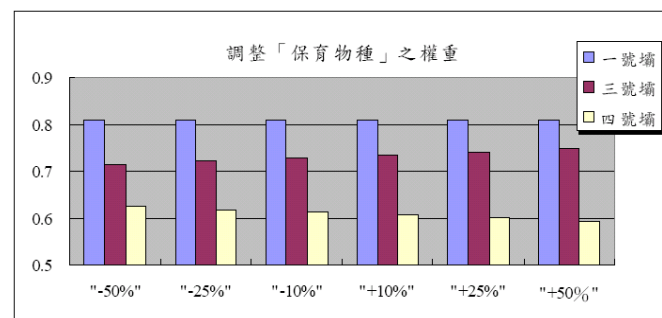


圖 7. 調整「保育物種」權重值之排序結果

感度。

由於增減某項評估之權重時，其他評估因子權重也隨之變動，以增減「棲息環境」之權重為例，當加重「棲息環境」之權重時，其他評估構面之權重則依比例縮小。以調整評估構面「棲息環境」之權重值為例（圖 6），當此構面權重增加時，一號壩之總分相對增加，二、三號壩之總分則減少，變動幅度則以三號壩之減少趨勢最為顯著，而排序結果皆保持原狀。最後得出在此案例下，無論評估構面或評估項目（圖 7）之權重如何增減，僅會改變方案間之得分差距，但方案排序則不受權重改變而有所影響。

#### 4. 專家問卷數之適宜性

由於 AHP 專家問卷之目的在於呈現某一專家對該決策問題之個人看法，且因決策問題之專業性而導致僅有少數專家具備經驗或學術背景足以填寫問卷，因而此類研究不會刻意強調問卷數目，而考量是否兼顧各領域之意見。但是在同一領域中，多少份問卷才足以代表此領域之共識值？因此，本研究以「政府機關」專家所填之問卷進行探討。

若將政府機關之有效問卷，依份數由少至多進行排列組合，即在政府機關之 8 份問卷中隨機選取三封求取「河道地形：操作考量」比

值之共識值，故有 56 種組合，接著隨機選取 4 封(70 種組合)、5 封(56 種組合)、6 封(28 種組合)與 7 封(8 種組合)分別求取其共識值，依不同份數下之共識值以盒形圖表達其分佈狀況（圖 8）。由該圖可知，隨著專家數之增加，變異差距隨之減小，共識值漸漸趨於收斂。當以政府機關全體共識值作為比較基準，將各組合共識值與全體共識值求取平均絕對誤差百分比(Mean Absolute Percentage Error，

$$MAPE = \left( \frac{1}{M} \sum_{i=1}^7 \frac{(Z_a - \hat{Z}_i)}{Z_a} \right) \times 100\% \text{ ) ,}$$

並繪製成折線圖（圖 9）。如圖所示，當問卷數達到 6 份以上時，MAPE 值低於 5%（圖中之水平直線），表示以 6 份卷獲得共識值來代表全體 8 份問卷結果之誤差值是在可接受的範圍內。

針對本研究之政府機關專家問卷進行分析，僅有五種因子比值只需 4 封問卷所得共識值，其誤差值就可達到可接受之範圍，而大部分之因子比值需超過 5 封問卷以上，其共識值才達到可接受範圍。故在此議題下，當所有因子比值皆以 6 封以上問卷分析共識值，則可確保其 MAPE 皆低於 5%。

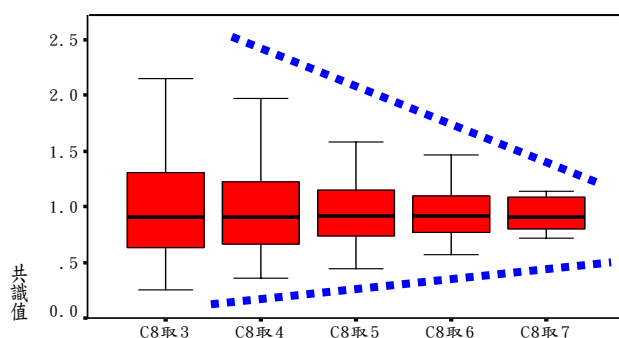


圖 8. 隨機選取不同份數「河道地形：操作考量」之共識值分佈盒形圖

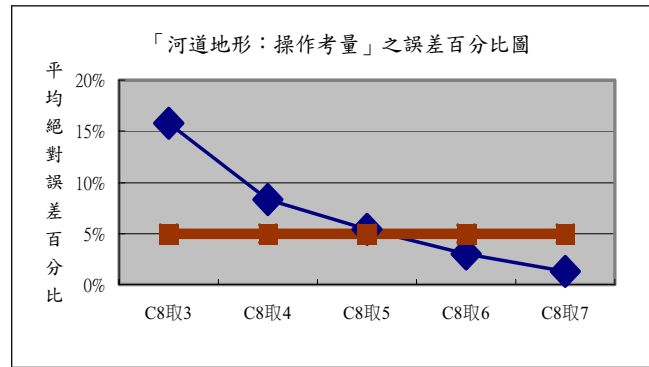


圖 9. 隨機選取不同份數「河道地形：操作考量」之絕對誤差百分比圖

## 結論與建議

本研究經相關文獻回顧及理論分析後，建立一套壩體改善順序評估模式，並應用此模式於七家灣溪之防砂壩，本章節就成果整理與結論陳述如下，並對部份不足之處提出建議。

### 一、結論

1. 本研究係以建立上游集水區防砂壩壩體改善順序評估模式為主要目標，利用相關文獻及考量資料蒐集之易得性為原則，初步歸納壩體改善順序之評估因子，在經過效度問卷分析後，確定評估因子，主要分為五大構面與 17 項評估項目。
2. 藉由效度問卷以及專家問卷，以加強本研究結果的可信度，且在問卷調查中，受訪者包括工程業界、政府機關以及學術界之專家學者，使評估因子更客觀，研究成果更具理論及實務之價值。
3. 就各領域之專家學者權重分配差異來看，工程業界在權重分配上較偏重「河道地形」，政府機關與學術界則較偏重「棲息環境」與「生態觀點」，特別是學術界偏重「棲息環境」之權重值高出其他評選因子許多。其原因可能是工程業界之工作性質偏向實務方面，因此對於壩體改善較著重於改善後對河道之影響；而政府機關與學術單位可能對於生態保育之觀念較其他領域來的重視，所以才有如此差異。
4. 本研究案例是選定七家灣溪流流域之防砂壩作為評估對象，以簡單加權法與 AHP 法分別

進行方案評估，此兩種方法最後評估結果皆為一號壩最適合優先進行壩體改善。

5. 由敏感度分析結果可知，在此案例中，無論增減評估構面或是評估項目之權重均不影響評選結果，其原因可能是方案條件差異較大，某一方案極具優勢，故其排名順序不易權重改變而影響。
6. 就專家問卷數之適宜性而言，當問卷數到達 6 份以上時，其共識值之平均絕對誤差百分比會低於 5%。因此，在進行 AHP 專家問卷時，建議可將 6 份設為最低所需問卷數。

### 二、建議

綜合以上結論，本研究提出以下幾點建議，以供後續研究參考。

1. 由於國內壩體改善案例較少，無法將評估準則予以分級評分，因此本研究在進行壩體評分時，僅能將各壩體之資料標準化以產生相對評值。當未來若有更多壩體改善之相關資料時，建議將評估準則分級，將使評估模式能更加完善及便利。
2. 由於本研究評估因子之權重仍是由分析層級程序法(AHP)所計算而得，未來期望能將不同構面下各因子間之相互影響性納入考慮，並透過分析網路程序法(ANP)所計算，使其權重更能符合現實狀況。
3. 後續研究可針對不同目的之壩體改善，其考量及評估權重是否會有所不同，並對本評估模式進行加強與修正。



## 誌謝

本研究由內政部營建署雪霸國家公園管理處部分經費補助(計畫案號 SP9705),研究期間,雪霸國家公園管理處在壩址現場勘查以及櫻花鉤吻鮭生態習性等方面提供許多寶貴意見及建議,促使該計畫順利進行,謹此致謝。此外,針對兩位匿名審查委員對論文結構及呈現細節之建議,使得本文之易讀性及完整性增加許多,一併表達誠摯謝意。

## 引用文獻

- 于淑芬、林幸助、陳伯中, 2006。武陵地區溪流石附生藻類時間及空間分佈,特有生物研究, 8(2):39~51 頁。
- 台灣省林務局, 1992。台灣省近期防砂壩現況調查報告, 台灣省林務局。
- 行政院農業委員會水土保持局, 2005。水土保持手冊, 中華水土保持學會, 工 2-1 頁。
- 周天穎、葉昭憲、洪正民, 2001。集水區優先整治區域評選之研究, 台灣水利49(1): 54-63。
- 林幸助、葉昭憲等, 2006。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立, 雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 林幸助、葉昭憲等, 2007。武陵地區長期生態監測暨生態模式建(二), 雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 段錦浩、連惠邦、葉昭憲, 2000。系列防砂壩改善工程對七家灣河床形態之影響研究, 國家公園學報, 10(1): 1-14。
- 張志益、葉昭憲, 2004。土石流觀測站優先設置區位評選之研究, 中華水土保持學報 35(1):35-44。
- 許盈松、劉家豪、鄧慰先、葉昭憲、吳中興, 2005, 河川流域淹水指數評估研究, 台灣水利 53(2):65-85。
- 陳怡如、葉昭憲、許盈松、李秉乾、駱佩婷, 2008。應用AHP與GIS評估都市水災風險度—以台中市筏仔溪為例, 台灣水利 56(4):64-78。

- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦, 1998-2002。七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(一)~(五), 雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦, 2002。高山溪防砂壩改善工程之實施與現況, 國家公園學報, 12(2): 191-203。
- 葉昭憲, 2007。七家灣溪壩體改善研究評估, 雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 劉哲旻、葉昭憲、林新皓, 2007。集水區環境評析方法及其應用於生態工法規劃之研究, 中華水土保持學報 38(3):227-241。
- 鄧振源、曾國雄, 1989。層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下), 中國統計學報 27(7): 13707-13724。
- American Rivers and Trout Unlimited. 2002. Exploring Dam Removal: A Decision-Making Guide, Washington D.C.: American Rivers and Trout Unlimited, 80pp.
- Born SM, KD Genskow, TL Filbert, N Hernandez-Mora, ML Keefer, and KA White. 1998. Socioeconomic and Institutional Dimensions of Dam Removals: The Wisconsin Experience, Environmental Management 22(3): 359-370.
- Doyle MW, JM Harbor, and EH Stanley. 2003. Toward Policies and Decision-Making for Dam Removal, Environmental Management 31(4): 453-465.
- Kuby MJ, WF Fagan, CS ReVelle, and WL Graf. 2005. A multiobjective optimization model for dam removal: an example trading off salmon passage with hydropower and water storage in the Willamette basin, Advances in Water Resources 28: 845-855.
- Pohl MM. 2002. Bringing down our dams: Trends in American dam removal rationales, Journal of the American Water Resources Association 38(6): 1511-1519.
- Saaty TL. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- The Heins Center. 2002. Dam Removal: Science and Decision Making, Washington, D.C., USA, 221pp.
- Whitelaw ED and ED MacMullan. 2002. A framework for estimating the costs and benefits of dam removal, Bioscienc 52(8):724-730.
- World Commission on Dams. 2000. Dams and development: A new framework for decision-making, Earthscan Publications Ltd., London, 404 pp