



## 專題

# 集水區科學管理 資訊系統(下)

◎李錦育／國立屏東科技大學

水土保持系教授

(本文上篇刊載於本刊第 26 卷第 6 期)

### 八、集水區數值地形模式子系統

集水區數值地形模式 (Digital Terrain Model, DTM) 是定義於二維區域上的一個有限項的向量序列，它以離散分布的平面點來模擬連續分布的地形，按地面上等間距規則內插所建立的數值地形模式為網格資料的數值地形模式，可用矩陣表示為：

$$DTM: \{Z_{ij}\}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m-1, m$$

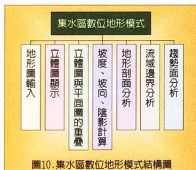
$$j = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$$

其中  $Z_i, j$  為網格結點  $(i, j)$  上的地形屬性資料，當該屬性資料為海拔高程時，則該模式稱為數值高程模式 (Digital Elevation Model, DEM)。在集水區科學管理工作中，地貌型態是影響土壤沖蝕的重要因素，如何用電腦技術定量地描述集水區的地表型態及其分布特性，並計算相關的地形因素，如坡度及坡向等，對於分析水土流失定律有相當大的助益。此外，將三維圖形作為基本圖形，在其上套疊各種主題圖（如土壤圖、地質圖、水系圖等），就可得

到完整的三維主題圖，將能更客觀、更生動地反映出集水區山巒起伏的地貌特性。

#### (一) 集水區數值地形模式子系統

由圖 10 可表示集水區數值地形模式的結構。



#### (二) 集水區數值地形模式子系統建立的過程

集水區數值地形模式是由數位板輸入地形圖，經等高線線性插值而成的，其建立過程如圖 11 所示。

##### 1. 資料來源

建立三維立體模式最基本的資料就



是等高線圖（地形圖），地形圖可以從有關機關（中央大學航太中心或農林航測所）購買或自己繪製。

## 2. 資料輸入

將等高線以數位板逐段輸入電腦，形成向量圖形；在輸入時，應防止線段遺漏的現象。

## 3. 等高線插值

由於形成的等高線置離散分布型式，但網格密度無法滿足使用要求時，必須以輸入點為基礎進行插值計算。

## 4. 圖形顯示

將得到的三維地形模式按各點座標重新繪製時，即可得到 3D 立體地形圖。

## 5. 地形因素的擷取

### (1) 坡度計算

坡度計算的原理，是由任一點相鄰

的四個點作分析，求出空間平面方程中法線的傾向；將計算結果分為 91 級（0～90），0 代表水平面，如果將相鄰的坡度分為新級別，即可得到坡度分級圖。

### (2) 坡向計算

按正北方為零，順時針到分，共有 360 個方位角，也可以重新分類，得到坡向分級圖。

### (3) 陰影計算

根據太陽的高度角來計算地面上光照情況。

## 6. 典型剖面的繪製和分析

根據典型剖面線在平面的位置，將剖面線以通過點的高程按一定的縱橫比例尺，以圖形方式顯示在螢幕上或用繪圖機輸出，水平方向代表實際的水平距離，剖面線的轉折點對應地標在剖面圖上，以利於分析。

### 7. 趨勢分析

用數學方法，以數值模式來模擬地理資料的空間分佈及其區域性變化趨勢的方法，它能集中地代表地理資料在大範圍內的空間變化趨勢。

### 8. 集水區邊界分析

根據數值地形模式及坡圖，可確定集水區的邊界。

## 九、集水區科學管理的一般分析模式

在分析評估集水區的各個自然因素及資料處理中，經常用到一些數理統計

的方法；因此將此類分析方法設計成套裝模式，其資料的輸入及輸出格式都是相同的，使用者可以隨意地選取任一模式來進行資料處理。

#### (一) 一般分析模式概述

##### 1. 系統群團分析

根據多種要素對點體劃分類別的方法，對不同要素劃分不同類別，往往反映不同目標的等級系列，例如土地用分類、土壤沖蝕強度分級等。而系統群團是根據實體間的相似程度，逐步合併為若干類別，其相似程度由距離或相似係數定義，主要有絕對值距離、相似係數、指標相似係數和定性指標的距離等。

##### 2. 模糊群團分析

由於在集水區科學管理工作中，許多分類往往帶有模糊性，因此可以用模糊群團分析方法來確定分類樣本的親疏關係，可以得到更合理的分類。模糊群團分析是根據樣本內的相似程度進行分類的，計算相似係數的方法相當多，例如：絕對值指數法、夾角餘弦法、相關係數法、指數相關係數法等，在應用時又以按照實際情況，採用不同的方法來計算。

##### 3. 迴歸分析

迴歸分析是確定相互關聯的要素間的數學關係，常用於定量分析，一般可分為簡單迴歸分析及複迴歸分析。

#### 4. 主成分分析

在集水區科學管理中，往往涉及大量相互關聯的自然社會要素，眾多的要素給模式的構造造成很大的困難，同時也增加運算的複雜性。主成分分析法乃通過數理統計，求得各要素間線性關係有實際意義的表現式，將眾多要素的資訊壓縮為若干具有代表性的變量，後選擇資訊最豐富的少數因素，進行各種群團分析。

#### 5. 層次分析法

在涉及大量相互關聯、相互限制複雜因素的情況下，各因素對問題的分析有著不同的重要性。層次分析法將相互關聯的要素劃分為若干層次，對各層次各要素的相對重要性制定出定量指標，利用數學方法研討各層次各要素的相對重要性權重值，作為綜合分析的基礎。

#### 6. 專家研判

專家研判是一種定性與定量相結合研究複雜問題的方法，在集水區科學管理中，涉及大量的複雜因素，這些因素既有其獨立性又聯繫和限制；因此，很難建構出精確的數學模式，專家研判模式，就是將這些相互關聯、相互限制的因素，按其相對重要性排列，研討出各因素所在的權重值，對每一個要再接其內部的分類進一步排列，即按內部的重要性再一次賦予權重值，因此可得到各類結果的影響量；最後，系統進行複

合，得出排序結果，以作為決策的依據。

其數學式如下：

$$G = \sum W_i C_i$$

式中：

G：最終的複合結果；

$W_i$ ：第  $i$  個要素的權重值；

$G_i$ ：第  $i$  個要素中第  $j$  類專家評分值。

## (二) 一般分析模式的應用

一般分析模式是為了處理資料而建立的，為了方便地使用此模式，可將輸入及輸出資料設計為相同的文件格式，其應用流程如圖 12 所示。



圖 12-一般分析模式應用流程圖

## 十、集水區科學管理應用模式

### (一) 集水區土壤沖蝕量計算模式

#### 1. 土壤沖蝕量研究概述

土壤沖蝕是指在陸地表面，在水力、風力及重力等外力的作用下，土壤及其母岩和其他地面物質被破壞、剝蝕、運搬和沉積的整個過程。

土壤沖蝕的危害是極其嚴重的，它導致土壤生產力的下降，惡化環境條件，並直接造成貧窮及落後（如未開發及開發中國家），目前，此一問題已為世界性的環境問題。土壤沖蝕一般可分為正常沖蝕（Normal erosion）和加速沖蝕（Accelerated erosion）；正常沖蝕是指土壤沖蝕的速度接近成土速度，流失的土壤又由土壤形成過程來彌補，這種沖蝕不

僅不破壞土壤，而且可以促進土壤更新和提高土壤肥力；加速沖蝕則是由於人類不合理的經濟活動，改變自然植被和

土壤條件引起的，例如濫墾、濫伐、過度放牧，促使土壤沖蝕加劇，流失量大於土壤的形成速度。

土壤沖蝕的強弱是可以用量指標來衡量的，亦即土壤沖蝕量；它是衡量一個地區土壤沖蝕的嚴重程度、土壤沖蝕措施落實的好壞、土壤沖蝕控制是否有效以及合理利用土地的一個重要指標，也是指導水土保持工作的一

個參考依據。集水區土壤沖蝕量是正確評估綜合治理對控制水土流失的作用，衡量集水區綜合治理好壞的一個重要指標，也是配置水土保持措施，制定合理規劃的依據。近年來國內外許多專家學者對於土壤沖蝕量的預測研究已有相當大的進展，對於影響土壤沖蝕的因素，也進行許多的研究。由於土壤沖蝕量受眾多因素的交互影響，很難建構出精確的數學模式。綜觀土壤沖蝕量的計算模式，主要有以下幾種類型。

#### (1) 經驗模式

根據某一地區實測的土壤沖蝕量及其影響因素，運用數理統計方法建立的一種經驗模式，例如：Neal (1938) 提出坡面沖蝕綜合因素經驗公式：

$$E = AS^{0.5}PI^{1.2}$$

式中：

E：沖蝕量（t/ha）；

A：係數；

S：坡度（%）；

P：總降雨量（mm）；

I：降雨強度（mm/hr）。

### (2) 半經驗模式

也是根據大量的試驗資料，運用統計分析和要素分析結合的方法，建構而成的半經驗式，例如通用土壤沖蝕公式（USLE）。

### (3) 數理模式

根據簡化的土壤流失方程式，經過嚴謹的推導，得到土壤沖蝕的數理模式；但由於在推導過程中對一些過程進行簡化，因此其精度受到一定的影響。

## 2. 集水區土壤沖蝕量計算模式

為儘量使土壤沖蝕量所需的資料比較少，適用性強，精度高，以及考慮到資訊系統本身的特點，本文將介紹上述的 USLE 和高程差法。

### (1) 點圖適用土壤流失方程式

由於該方程式可靠性大、適用性強、精度高、區域限制也比較少，因而在世界上受到廣泛的應用。USLE 即

$$A = RKLSCP$$

式中：

A：土壤沖蝕量（kg/cm<sup>2</sup>, a）；

R：降雨沖蝕力（J/m<sup>2</sup>）；

K：土壤可蝕性；

L：坡長（m）；

S：坡度（%）；

C：作物因子；

P：水土保持因子。

可以圖 13 的流程圖來計算土壤沖蝕量。



圖13. 土壤沖蝕量計算流程圖

### (2) 高程差法

所謂高程差法，就是利用集水區內

某時段各點的高程變化來估計小集水區在這一時段內，年平均土壤沖蝕量的方法。因為土壤沖蝕量是在同一區域土體體積的變化量，可用公式表為：

$$S = \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n [(Z_{ij})_1 - (Z_{ij})_2]$$

式中：

S：年平均土壤沖蝕量（ $m^3$ ）；

DX, DY：網格的實際長和寬（m）；

m, n：網格的行列數；

$Z_{ij}$ ：網格的高程值（m）。

利用集水區不同時期的兩幅地形圖，通過圖形減法運算，得到該時段集水區的高程差圖，將該圖與每一圖形網格的代表的實際面積相乘，得到此一時段的土壤沖蝕量，而後再換算為年平均單位面積的土壤沖蝕量。

根據土壤沖蝕量分級圖，可以明確地瞭解治理的重點範圍，以便於未來的工作。如果能確定集水區每一區域的允許土壤沖蝕量，則可用土壤沖蝕量圖扣除允許土壤沖蝕量圖，即可得到土壤沖蝕超限區域分布圖，這對解整個集水區的土壤沖蝕狀況具有重要的意義。

## （二）土地資源評估模式

土地資源評估是合理利用土地的依據，是土地利用規劃的基礎，也是提高土地生產力，有效控制土壤沖蝕的關

鍵。

### 1. 土地資源評估研究概述

土地是個自然產物，它是氣候、土壤、地貌及地下水等綜合作用的結果，土地評估是土地利用規劃和合理利用土地的重要手段，根據其特點，可細分為三個階段。

#### （1）初期階段

早期的土地評估主要用於賦稅，而以合理利用土地為目的的土地評估則從1941年開始，它以土地分類為基礎，按土壤、坡度、沖蝕類型和沖蝕強度劃分土地利用潛力，它以農業生產為目的，主要從土壤特徵進行土地潛力評估，分為潛力級、潛力亞級和潛力單位三級。

#### （2）中期階段

1981年起，土地評估開始從土地清查走向土地評估，從一般目的的土地評估過渡到針對性的專門評估，聯合國糧農組織（1967）頒佈了“土地評估綱要”，乃由土地適宜性的角度出發，分為綱、類、亞類和單元四級；該系統彌補土地潛力分類系統的不足，反映土地適宜性程度土地限制性因素和改良管理措施，並針對某種土地利用方式來進行經驗分析和效益比較，能充分反映土地的最佳利用方式，適宜性程度和改良利用的可能性。

#### （3）發展階段

1991年後，隨著電腦在資源調查與

評估中的廣泛使用，土地評估的理論與方法不斷改進和完善，向著綜合化及精確化的方向發展。近年來，景觀生態學(Landscape Ecology)的迅速發展，使土地生態評估成為土地評估的新方向；土地生態評估是以土地生態類型為基礎著重生態價值和功能的評估。

綜觀土地評估的歷史與現狀，它的發展趨勢可概括為：

#### A、綜合性

土地評估是項綜合的研究工作，它不僅涉及土地的自然屬性，還必須考慮土地利用的經濟背景、土地的立地條件、經濟效益和社會效益。

#### B.精確化

隨著土地評估工作的分工愈來愈細，針對多種土地利用類型或某種作物而進行；在小區域典型地段詳細的土地評估工作愈來愈多，其實用性更強。

#### C、定量化

土地評估的發展不僅表現在評估系統和理論的不斷完善，而且也表現在評估方法和技術手段更新。近年來，模式方法在土地評估中的應用以及土地資源資訊系統的建立與發展使土地評估更加科學化。目前的方向是將資訊系統與模

式方法相結合，建立土地資源資訊系統中的資料庫、模式庫和知識庫，使土地評估的成果既能反映土地質量的時間變異，又能表現土地質量的空間分布。土地資源資訊系統將土地評估和規劃過程相結合，並適用於土地管理，具有綜合性和實用性，為土地評估和土地規劃與管理開闢寬闊的遠景。

## 2. 國內外土地適宜性評估方法簡介

綜觀國內外土地適宜性評估方法，可分為直接法和間接法。直接評估方法是指通過試驗瞭解土地質量對某種用途影響的大小，從而確

定其適宜性和適宜程度；間接評估方法是對影響土地生產力的各種性質做出診斷並推論土地的質量，此一方法又可分為歸類法和數值法。歸類法是以一定利用方式的土地質量優劣為依據，推斷其適宜性程度，此方法以定性為主。綜合考慮各項土地質量因素對土地進行適宜性評估，該法簡明、通俗、實用，但由於在評估分級時靈活性大，受主觀影響也大。數值法是將影響土地的要素根據作物生長的適宜性程度求得不同的指數，最後對各項指標進行運算求出總指數。其主要特點是評估標準和方法容易掌握，有定量涵義，受主觀影響小，適



用於電腦處理；缺點是選擇因素和分配指數值時，依然存在主觀的因素，且簡單的運算亦無法很好處理諸多因素間的相互關係。

由上述兩類方法中，截長補短，並應用系統理論和模糊數學的基本原理，建立土地評估模式，其基本結構是由單因素權重分析、多因素權重分析和多因素綜合分析三個子模式以組成（如圖 14 所示）。

#### (1) 單因素土地評估模式

其關鍵主要在瞭解單因素的變化與土地質量的變化之間的相互關係。一般認為單因素的變化對土地質量的影響呈現出比較複雜的非線性關係，可以公式表示如下：

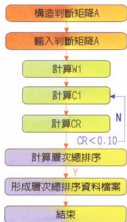


圖15. 多因素權重分析數字模式

$$\begin{aligned}
 &0 & u_i \leq c_j 0 \\
 (1) E_i &= 1 / [1 + a_i (u_i - c_i)^2] & c_i 0 < u_i < c_i \quad (j=1, 2, \dots, p) \\
 &1 & c_i \leq u_i \\
 &0 & u_i \geq c_j 0 \\
 (2) E_i &= 1 / [1 + a_i (u_i - c_i)^2] & c_i 0 > u_i > c_i \quad (j=1, 2, \dots, p) \\
 &1 & c_i \geq u_i \\
 &0 & u_i \geq c_i 1, u_i \leq c_i 2 \\
 (3) E_i &= 1 / [1 + a_i (u_i - c_i)^2] & c_i 1 < u_i < c_i 2 \quad (j=1, 2, \dots, p) \\
 &1 & c_i = u_i
 \end{aligned}$$

式中：

$E_i$ ：第  $j$  種因素的土地評估值；

$c_{i0}, c_{i1}, c_{i2}$ ：第  $j$  種因素適宜某種土地利用的下限指標；

$c_i$ ：第  $j$  種因素適宜某種土地利用的標準指標；

$u_i$ ：第  $j$  種因素的實測值；

$a_i$ ：常數。

#### (2) 多因素權重分析模式

在影響土地適宜性的多種因素中，有一種或多種因素起主導作用，確定這些因素的作用，也是土地評估中必須解決的問題之一。採用層次分析法確定各因素權重的步驟如下（如圖 15 所示）。

A、確定土地評估目的和各因素的層次結構

土地評估中各層次間的相互關係，是過層次中的元素之間聯繫表現出來的，層次結構可由結構圖表示。

#### B、構造判斷矩陣

判斷矩陣表示針對上一層次某元素，本層次有關元素之間的相對重要性，判斷矩陣的一般形式為：

$A_i$	$B_1$	$B_2$	$\dots$	$B_n$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	$\dots$	$b_{1n}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	$\dots$	$b_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$B_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	$\dots$	$b_{nn}$



其中  $b_{ij}$  表示對  $A_k$  而言,  $B_i$  對  $B_k$  的相對重要性的數值表現型式。

### (3) 多因素綜合土地評估模式

在單因素土地評估的基礎上, 多因素土地評估的關鍵是處理各因素之間的相互關係, 其公式為:

$$0 \quad (E_i = 0)$$

$$V_i = W_1 E_{i1} + W_2 E_{i2} + \dots + W_n E_{in}$$

$$(j = 1, 2, \dots, 9)$$

式中:

$V_i$ : 第  $i$  個地塊的綜合評估結果;

$E_{ij}$ : 第  $i$  個地塊第  $j$  種因素的評估結果;

$W_j$ : 第  $i$  個地塊第  $j$  種因素的權重值。

在綜合土地評估結果的基礎上, 定出土地評估結果:

$$S_i \quad k_1 \leq V_i$$

$$S_2 \quad k_2 \leq V_i < k_1$$

$$S_i = : \quad :$$

$$S_n \quad k_n \leq V_i < V_{n-1}$$

$$S_o \quad V_i \leq k_n$$

式中:

$S_i$ : 土地評估等級;

$V_i$ : 綜合土地評估等級界線指標;

$S_o$ : 不適宜土地。

多因素綜合土地評估流程, 如圖 16

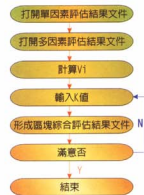


圖 16. 多因素綜合土地評估流程圖

所示。

### (三) 土地利用規劃模式

集水區土地利用規劃是合理利用土地, 充分發揮土地生產力, 以求得達到生態、經濟及社會效益最大為前提, 對於依靠經驗制訂的土地利用規劃, 必須借重數學方法來解決。

系統工程是一門具有

高度綜合分析能力的科學, 近年來, 許多集水區科學管理工作人員已將系統工程應用於集水區綜合治理, 並已有良好的成效。

線性規劃則是用來尋求如何合理利用有限的資源, 獲得最優效益方案的一種定量分析方法, 是近代管理科學的重要基礎和手段。而所謂最優方案, 指在付出的代價一定時, 取得的效益最大, 土地利用規劃就是要求合理利用有限的土地資源, 對農林牧各業進行土地分配, 使之獲得最優效益。

在線性規劃模式中, 目標函數的係數和資源限制量均是作為係數和常數輸入; 但由於這些係數是人為給定的, 一般都存在誤差, 而且這些常數也會隨著時間的改變而改變, 所以人類常常更關心這些係數或常數的變動, 對結果的影響。

響有多大，可根據實際情況靈活調整各係數，使得結果是在實際可行基礎上達到最優化。因此在線性規劃的最優化解後，應該計算這些係數和常數的上下限，即求出其允許變化範圍，此即為線性規劃中的影子價格計算和敏感度分析。

### 1. 影子價格計算

影子價格計算就是確定約束方程的係數變化對總目標函數值的影響。每個線性規劃問題都有一個對應問題（對偶），如線性規劃是求 Max，則對偶問題則求 Min；因此，對偶問題最優解的值即為“影子價格”，影子價格即可反映線性規劃模式中約束方程的係數對總目標函數值的影響。

### 2. 敏感度分析

影子價格反映了約束方程的係數變化對總目標的影響，而反映約束方程的資源限制量和目標函數的係數發生變化後，對總目標函數值影響即為敏感度分析，這在實際問題中且有相當重要的意義。經由上述影子價格計算和敏感度分析，可得到線性規劃模式中各係數和常數的可行變化範圍，提供實際可行的理論依據。此外，根據影子價格的計算和敏感度分析，可以調整約束程式和目標函數係數和常數，得到多種不同的規劃方案。

## (四) 野溪分類模式

野溪是集水區治理中的最小單元，查明各類野溪的數量和分布情形，繪製危險區域圖，可提供治山防洪，土石流防治及充分利用山坡地自然資源的依據。

### 1. 野溪分類指標

#### (1) 土石流和洪水災害

A、調查野溪河道內和河口處有特別嚴重的破壞和人員傷亡，或無人居住的地方遭受嚴重破壞。

B、調查野溪內只有財產損失，無嚴重的房屋或建築物破壞。

C、調查野溪內新建築物遭受嚴重破壞。

#### (2) 一日可能最大降雨量

A、 $P_{max} > 200\text{mm/day}$ ，或 $P_{max} > 2\text{mm/min}$ ，持續 1hr 以上。

B、 $150 \sim 200\text{mm/day}$ ，或 $1.5 \sim 2.0\text{mm/min}$ ，持續 1hr 以上。

C、 $100 \sim 200\text{mm/day}$ ，或 $1.0 \sim 1.5\text{mm/min}$ ，持續 1hr 以上。

D、 $P_{max} < 1\text{mm/day}$ ，或 $P_{max} < 1\text{mm/min}$ 持續 1hr 以上。

#### (3) 調查野溪內可能輸沙量

A、大量的砂礫從河道出口一直延伸到河道上游，河道縱斷面平均坡度大於 20%，或可能輸沙量大於 $10^5\text{m}^3$ ；無基岩裸露，橫斷面呈三角形，河段較窄。

B、河道內有大量砂礫沉積在接近

山谷的上半部，河床縱坡雖陡，但河道不太窄，可能輸沙量為  $10^4 \sim 105\text{m}^3$ 。

C、河道上半部有砂礫沉積，河道中沉積面積較大，可能輸沙量為  $10^3 \sim 10^4\text{m}^3$ 。

D、砂礫主要沉積在河口的沖積扇處，其可能輸沙量小於  $10^3\text{m}^3$ 。

(4)河道中由流木造成野溪堵塞的可能性

A、因河岸淘刷作用，可能將一定量的大樹置於河道中。

B、只有少量的大樹可能置於河道中。

C、只有根莖或短的流木有可能置於河道中。

D、只有  $\text{DBH} < 12\text{cm}$  的小樹有可能置於河道中。

(5)調查野溪內土壤及岩石的透水性

A、沒有沖積層覆蓋的大塊母岩或泥灰質板岩，或地表以細粒為主的粘壤表面。

B、少量風化母岩，岩層傾斜陡峭的頁岩，泥灰質或表層為長年堆積的粘性沙和粘土。

C、破裂岩石，或沙、礫，沒有粘土，中度的透水性。

D、強裂破碎的岩石，有滲漏洞的岩石，沒有細粒物質，具很強的透水

性。

## 2. 計算野溪分類綜合指數

合指數

計算此指數為(各項指數總分和)/項目數。

## 3. 野溪分類(如圖 17 所示)

(1)沖擊力強的土石流野溪；

(2)土石流野溪；

(3)高含沙洪水野溪；

(4)一般洪水野溪。

(五)洪水、土石流危險區域繪製輔助模式

洪水及土石流山區的主要自然災害，它直接威脅山區人民的生命及財產的安全。因此，高效率且準確地確定洪水及土石流的危險區域的範圍，對於採取有效的防止措施，減少洪水及土石流災害帶來

的損失，具有實質的意義。

洪水及土石流危險區劃為紅色、黃色及綠色三區；其劃分方法如下(如圖 18 所示)：

1. 判斷野溪類型；

2. 計算保安對象的最大洪峰流量；

3. 計算保安對象的斷面通過流速；

4. 確定保安對象的危險區及其範圍；



圖17. 野溪分類流程圖

## 5. 確定保安對象所處區域。

### (六) 生態效益計算模式

集水區科學管理的生態效益，主要是指通過生物、工程和農藝措施來攔蓄坡面逕流、減少地表逕流、防止土壤沖蝕、減少洪峰流以及改善水質等，它是評估集水區科學管理的一個主要指標。

環境的影響是多方面的、複雜的，如何較準地、定量地評估集水區科學管理的生態效益就顯得比較困難。基於對生態效益的理解和制定指標的可操作性，可採用以下幾個指標來衡量生態效益。

#### 1. 光能利用率

是指在一定期間內，單位土地面積上，作物累積的化學潛能與同期投入該面積上的太陽輻射能之比；可以下式表示：

$$E = 10^4 YH / (666.7 \times 10^4 \Sigma Q) \times 100\%$$

式中：

E：光能利用率（%）；

Y：生物量（Kg / ha）；

H：燃燒 1g 物質所釋放的能量（KJ / g）；

$\Sigma Q$ ：太陽輻射能（KJ / cm<sup>2</sup>）。

#### 1. 能量投入產出比

是指有用能量產出量與總投入能量之比，它可反映集水區的能量利用效率，可以下式表之：

$$\text{能量投入產出比} = (\text{有用能量產出量} / \text{總投入能量}) \times 100\%$$

#### 2. 土壤沖蝕模式

可直接反映集水區科學管理時，集水區環境的影響程度和集水區的治理狀況；可以單位面積上年土壤沖蝕量（t / km<sup>2</sup>.ha）來表示。

#### 3. 土壤有機質含量

是指某土壤耕作屬有機質重量與該種土壤耕作屬土壤總重量之比。

#### 4. 逕流量

集水區科學管理的另一目標是減少地表逕流量，使降水變為土壤水，土內逕流及地下水，減少

因地表逕流的迅速匯集而形成的洪水災害；逕流指標是以年平均逕流量來表示。

#### 5. 水質

集水區水質反映出集水區科學管理對水質淨化的改善程度，主要包括水流的 pH 值及電導度等。

以上幾種指標可分別由不同層面反



圖18. 山洪、土石流危險區繪製流程圖

映集水區科學管理對資源及環境的影響；為表示其對環境的綜合影響可將之整合為一綜合指標，亦即：

$$S = \sum W_i X_i$$

式中：

S：綜合指數；

$W_i$ ：生態效益指標；

$X_i$ ：權重。

由於每個生態效益指標的單位不同；因此，必須先對其進行標準化處理，亦即：

$$X_i = (R_i - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})$$

式中：

$X_i$ ：標準化值；

$R_i$ ：未標準化值；

$R_{min}$ ：未標準化最小值；

$R_{max}$ ：未標準化最大值。

生態效益計算流程如圖 19 所示。

## 十一、結論

本系統是在資訊管理系統理論的指導下，按照資訊系統的設計流程，並結合集水區科學管理的特點和生產實踐精心設計而成；它是一個直接為集水區科學管理生產和決策部門服務的資訊系



圖19.生態效益計算模式流程圖

統，並透過各項功能的檢驗，可得到以下的結論：

1. 本系統是為輸入、貯存、處理、分析和評估集水區內各種資源與環境資訊而建立的主題性的資訊系統；它的開發為實現集水區科學管理邁向科學化、決策化和模式化方向發展，提供理論的依據。

2. 經過研究證明，集水區科學管理資訊系統是一個由屬性資料管理子系統、圖形資料管理子系統、數位地形管理子系統、一般分析模式子系統和應用模式子系統所構成

的有機資訊系統。

3. 本集水區科學管理資訊系統可應用於集水區土壤沖蝕量計算、土壤資源評估、土地利用規劃、野溪分類及洪水、土石流危險區域的繪製，可提高工作效率以及工作成果的精度。

總而言之，本系統已達基本設計的要求，亦即：設計合理、操作簡便、功能齊全、運轉可靠、維護方便；可將此資訊系統研發的理念與成果，透過技術轉移，廣泛地運用在相關集水區科學管理的調查與規劃工作上，當可收事半功倍之效。