

# 层次分析法在小流域规划中的应用

崔文秀

(河北省石家庄地区水利局)

## 提 要

层次分析法,是现代最新的系统分析诊断方法,也是一种定量和定性相结合的分析方法。我们在进行北河小流域系统分析时,将众多的因素聚类组合,建立了层次分析模型。根据层次分析结果表明,九种主要因素对北河小流域环境恶化、水土流失严重和经济贫困的影响程度:土地利用状况>土壤结构>气候条件>植被状况>动物资源>劳力资源>文化教育>地貌类型>地质构造。因此,在制定综合治理规划时,应首先调整农林牧副业占地比例,改善土壤结构,提高土地生产力;其次是兴建水利设施,加快绿化步伐,增加大地植被。

层次分析方法,是现代最新的系统分析诊断方法,也是一种定量和定性相结合的分析方法。它首先把问题层次化,根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解为不同的组成因素,并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系,将因素按不同层次聚集组合,形成一个多层次的分析结构模型,并最终把系统分析归结为最低层(供决策的方案、措施等),相对于最高层(总目标)的相对重要性权值的确定或相对优劣次序的排序问题。这能帮助决策者找出主要问题,明确发展战略,因此,此法应用比较广泛。本文拟将此法应用到北河小流域综合治理规划中,找出影响北河小流域经济贫困、生态失调的主要因素,明确治理方向,制定综合治理规划。

## 一、北河小流域基本情况

(一) **自然状况。**北河小流域位于行唐县北部的北河乡,属沙河二级支流。流域面积10.171平方公里,海拔最高点为260米,最低点为145米,相对高差115米。流域长5.5公里,平均宽2.0公里,有1,000米以上的主沟5条,500米以上支沟18条。沟道切割破碎,沟壑密度为2.65公里/平方公里。岩石以石灰岩、白云岩为主,解理发育,结构破碎;表层风化严重,风化厚度一般在0.5—2.5米之间。土壤主要以石灰性褐土为主,颜色绝大部为棕色,pH值为7.8—8.0。气候属暖温带大陆性季风气候,多年平均气温11.8℃。多年平均降雨量429.5毫米,年雨量分配不均,多集中在7—9三个月,约占全年降雨量的77.2%。无霜期188天。全流域除村庄四旁有少量的树木外,几乎全是光山秃岭,植被度约20%。树种主要以刺槐、椿树、青杨和侧柏为主,灌草主要以酸枣、荆条、白毛草、黄背草和胡枝子为主。

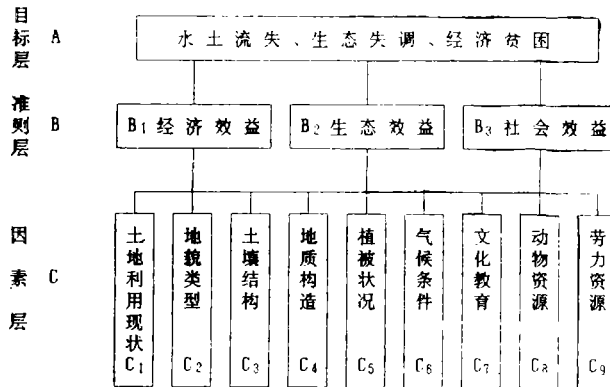
(二) **社会情况。**该流域为三个行政村,392户,总人口1,479人,人口密度145人/平方公里。总面积为1,017公顷多,其中农业用地238.9公顷,占总面积的23.5%;现有疏林地96.9公

顷，占总面积的9.5%；封山育林育草面积50公顷，占总面积的4.92%；非生产用地35.1公顷，占总面积的3.44%。没有确定的牧场。现有大牲畜263头，羊230只，猪405头。1988年粮食总产25.74万公斤，每人平均产粮174公斤，果品产量4,000公斤，全年总收入27.54万元，其中：农业收入18.00万元，占总收入的65.36%；林业收入0.33万元，占总收入的1.2%；牧业收入3.61万元，占总收入的13.11%；副业收入5.6万元，占总收入的20.33%。每人平均收入186.2元，纯收入为95元。

(三) **水土流失**。该流域水土流失类型主要以鳞片状面蚀和细沟状面蚀为主，海拔180米以上的山场面积水土流失比较严重，A、B层土壤流失殆尽，只剩C层出露，局部砂化特别严重，5毫米以上砂石颗粒占60%以上；海拔180米以下的沟谷坡地，土层较厚，质地疏松，土壤极易水蚀和风蚀，多为细沟状面蚀，A层土壤流失殆尽。全流域人畜活动频繁，缺乏整体规划和综合治理，土地资源利用很不合理。林牧业用地少，林业用地占9.5%，没有确定的牧场；树草种单调，管理混乱，饲草、燃料求过于供，有的社员还把牛粪作为燃料，使作物秸秆、粪便不能还田，土壤有机质减少，造成小雨小冲，大雨成灾，无雨旱灾的恶性局面。社员生活相当困难，据实地调查和分析计算，全流域水土流失面积为943.1公顷，占流域总面积的92.7%；多年平均侵蚀模数为1,853吨/平方公里。

## 二、北河小流域层次分析模型的建立

影响水土流失、生态失调的因素众多，关系比较复杂。在这众多因素关系相互交织的情况下，如何定性定量地找出这些因素的相互关系是值得探讨的问题。为此，我们组织了五人的专家组对北河小流域进行了系统分析，并将众多因素聚类组合，建立了北河小流域层次分析模型。



北河小流域层次分析模型

## 三、建立判断矩阵

根据层次分析模型，对每一层中各单元相对重要性给出一定的判断。这些判断通过引入合适的标度，用数值表示出来，写成判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层某单元，本层次与之有关单元之间相对重要性的比较。假定C层元素中 $C_i$ 与下一层次中 $P_1$ 、 $P_2$ …、 $P_n$ 有联系，则构造成判断矩阵，一般可取如下的形式：

$C_s$	$P_1$	$P_2$	...	$P_n$
$P_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1n}$
$P_2$			...	
$\vdots$				
$P_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	...	$b_{nn}$

矩阵中单元 $b_{ij}$ 是两两单元相对于 $C_s$ 的优劣程度，一般称为标度，可参见表1确定。

表1 标度的含义

1	表示两个元素相比，具有同样重要性
3	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素稍微重要
5	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素极端重要

2、4、6、8为上述相邻判断的中值。若因素 $i$ 与 $j$ 比较得 $a_{ij}$ ，则因素 $j$ 与 $i$ 比较的判断为 $1/a_{ij}$ 。根据现状调查和专家咨询意见，北河小流域目标层与准则层、因素层之间以及各因素之间相对影响程度的定量分析如下：

1、判断矩阵A—B（相对于目标层，准则层各因素之间的相对影响程度比较）：

A	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$B_1$	1	2	4
$B_2$	1/2	1	3
$B_3$	1/4	1/3	1

2、判断矩阵 $B_1$ —C（相对于该流域经济效益准则，各因素之间相对影响程度比较）：

$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
$C_1$	1	7	3	5	5	4	7	4	2
$C_2$	1/7	1	1/5	3	3	1/3	1/3	1/2	1/2
$C_3$	1/3	5	1	5	5	3	7	5	3
$C_4$	1/5	1/3	1/5	1	1/3	1/5	1/2	1/2	1/3
$C_5$	1/5	1/3	1/5	3	1	1/2	3	1/2	1/2
$C_6$	1/4	3	1/3	5	2	1	5	3	2
$C_7$	1/7	3	1/7	2	1/3	1/5	1	1/3	1/2
$C_8$	1/4	2	1/5	2	2	1/3	3	1	1/2
$C_9$	1/2	2	1/3	3	2	1/2	2	2	1

3、判断矩阵B<sub>2</sub>—C（相对于该流域生态效益准则，各因素之间相对影响程度比较）：

B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
C <sub>1</sub>	1	2	3	5	1/5	1/3	3	1/3	3
C <sub>2</sub>	1/2	1	2	2	1/5	1/3	3	1/3	5
C <sub>3</sub>	1/3	1/2	1	2	1/3	1/3	3	1/3	3
C <sub>4</sub>	1/5	1/2	1/2	1	1/3	1/3	4	1/2	3
C <sub>5</sub>	5	5	3	3	1	3	5	3	5
C <sub>6</sub>	3	3	3	3	1/3	1	5	2	3
C <sub>7</sub>	1/3	1/3	1/3	1/4	1/5	1/5	1	1/3	1/2
C <sub>8</sub>	3	3	3	2	1/3	1/2	3	1	3
C <sub>9</sub>	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/3	2	1/3	1

4、判断矩阵B<sub>3</sub>—C（相对于该流域社会效益准则，各因素之间相对影响程度比较）：

B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
C <sub>1</sub>	1	3	2	3	2	3	1/3	2	1/2
C <sub>2</sub>	1/3	1	1/3	3	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2
C <sub>3</sub>	1/2	3	1	3	1/4	1/3	1/4	1/2	1/2
C <sub>4</sub>	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3
C <sub>5</sub>	1/2	4	4	3	1	3	1/3	2	1/3
C <sub>6</sub>	1/3	4	3	3	1/3	1	1/3	4	1/2
C <sub>7</sub>	3	4	4	4	3	3	1	3	2
C <sub>8</sub>	1/2	3	2	4	1/2	1/2	1/3	1	1/3
C <sub>9</sub>	2	2	2	3	3	2	1/2	3	1

判断矩阵具有如下特性

1、 $b_{ij} = 1$

2、 $b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}$  (i, j, k = 1, 2, ..., n)

3、 $b_{ij} = b_{ik} / b_{jk}$

一般判断矩阵不可能具有完全一致性，这是由于客观事物的复杂性和人们认识的多样性、差异性以及可能产生的片面性，因此，为了保证应用层次分析得到的结论合理化，还需要检验判断矩阵的一致性。

1、计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{max}$

2、计算一致性指标， $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$

3、计算平均随机一致性指标RI, 对于n=1-9阶判断矩阵的RI值, 其数值见表2:

表2

级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

4、计算随机一致性比率CR:

$$CR = CI / RI$$

当CR < 0.10, 便认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要调整判断矩阵, 使其满足CR < 0.10, 从而使它具有满意的一致性。

#### 四、层次单排序计算

前面所列出的判断矩阵, 是针对上一层次而言进行评比的评定数据。层次单排序就是把本层所有各元素对上层次来说, 排出评比顺序。这就要在判断矩阵上进行计算。最常用的计算方法有和积法和方根法, 本文采用方根法。

计算步骤是:

1、计算判断矩阵每一行元素的乘积  $m_i$ ;  $m_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ );

2、计算  $m_i$  的几次方根  $\bar{W}_i$ ;

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{m_i}$$

3、对向量  $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$  归一化,  $W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j}$

则  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$  为所求的特征向量。

4、计算判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{max}$ ;

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

各判断矩阵各种指标计算如下:

对于判断矩阵A—B;

$$\bar{W} = [0.558, 0.319, 0.121]^T$$

$$\lambda_{max} = 3.016; CI = 0.008; CR = 0.013 < 0.10;$$

对于判断矩阵B<sub>1</sub>—C;

$$\bar{W} = [0.300, 0.047, 0.253, 0.028, 0.051, 0.132, 0.039, 0.068, 0.095]^T$$

$$\lambda_{max} = 9.999; CI = 0.124; CR = 0.086 < 0.10$$

对于判断矩阵B<sub>2</sub>—C

$$\bar{W} = [0.106, 0.083, 0.068, 0.059, 0.290, 0.183, 0.029, 0.142, 0.035]^T$$

$$\lambda_{max} = 10.007; CI = 0.125; CR = 0.08 < 0.10;$$

对于判断矩阵B<sub>3</sub>-C

$$\bar{W} = [0.137, 0.041, 0.060, 0.032, 0.125, 0.102, 0.257, 0.075, 0.167]^T$$

$$\lambda_{\max} = 10.112; CI = 0.139; CR = 0.095 < 0.10;$$

### 五、层次总排序计算

利用以上计算的层次单排序的结果，计算层次总排序，结果如表3；

表3

B	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	总排序结果
		0.558	0.319	0.121	
B <sub>1</sub>		0.300	0.106	0.137	$A_1^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_1^j = 0.217$
B <sub>2</sub>		0.047	0.083	0.041	$A_2^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_2^j = 0.057$
B <sub>3</sub>		0.253	0.068	0.060	$A_3^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_3^j = 0.170$
B <sub>4</sub>		0.028	0.059	0.032	$A_4^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_4^j = 0.038$
B <sub>5</sub>		0.051	0.290	0.125	$A_5^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_5^j = 0.136$
B <sub>6</sub>		0.132	0.183	0.102	$A_6^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_6^j = 0.144$
B <sub>7</sub>		0.039	0.029	0.257	$A_7^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_7^j = 0.062$
B <sub>8</sub>		0.068	0.142	0.075	$A_8^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_8^j = 0.092$
B <sub>9</sub>		0.095	0.035	0.167	$A_9^1 = \sum_{j=1}^3 A_j W_9^j = 0.084$

### 六、结论

根据层次分析结果，表明9种主要因素对北河小流域生态环境恶化、水土流失严重和经济贫困的影响程度为：

1—土地利用状况，影响程度为0.217；

2—土壤结构，影响程度为0.170；

3—气候条件，影响程度为0.144；

- 4—植被状况, 影响程度为0.136;
- 5—动物资源, 影响程度为0.092;
- 6—劳力资源, 影响程度为0.084;
- 7—文化教育, 影响程度为0.062;
- 8—地貌类型, 影响程度为0.057;
- 9—地质构造, 影响程度为0.038。

因此在制定综合治理规划时,应首先调整农林牧副业占地比例,改善土壤结构,提高土地利用的生产力;其次是兴建水利设施,加快绿化步伐,增加大地植被。为此,根据北河小流域水土流失状况、自然条件和社会生产状况,以总体效益最优为目的,建立土地利用线性规划模型,选择了23个变量,设置了19个约束方程,经苹果Ⅰ计算机计算,得出北河小流域农林牧副业占地比例为:农业用地150.7公顷,占总面积的14.81%;林业用地329.1公顷,占总面积的32.36%;牧业用地502.3公顷,占总面积的49.38%;其它用地35.1公顷,占总面积的3.45%。流域综合治理后,每人平均收入可达327元,每年水土流失程度低于1,000吨/平方公里,生态效益和社会效益最好。

## Application of level analysis in the planning of comprehensive harness for small watershed

*Cui Wenxiu*

*(Water Conservancy Bureau of Shijiazhuang Prefecture, Hebei Province)*

### Abstract

The level analysis is the modern and new method to analyse and diagnose a system, which is a combination of qualification with quantification. When analysing Beihe small watershed systematically we cluster and group all the factors and establish models of level analysis. The analysing results show that the effecting extent of nine factors to environment worsenning of the watershed, soil and water loss and poorness of economy could be lined as, condition of land utilization>soil texture>climatic condition>vegetation condition>animal resource>resoure of labour power>culture and education>geomorphorlogical type>geological tectonic. Thus, it is suggested, firstly, to adjust the proporiton of lands for farming, forestry, husbandry and sideline production, to improve soil structure and raise land productivity; meanwhile, to construct installations of water conservancy, to accelarate greening and to enlarge vegetation when drawing up harnessing plan.