

## 第四届“互动出版杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

#### 承 诺 书

我们仔细阅读了第四届“互动出版杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站([www.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：1286

参赛队员（签名）：

队员 1：龚长友

队员 2：谢宇秋

队员 3：甘江玲

参赛队教练员（签名）：徐庆娟

参赛队伍组别：大学生组

## 第四届“互动出版杯”数学中国

## 数学建模网络挑战赛

### 编 号 专 用 页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：

1286

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

# 2011 年第四届“互动出版杯”数学中国 数学建模网络挑战赛

题 目 生物多样性的评估

关 键 词 评价指标 生物多样性 PSR 模型 层次分析法 优先保护

## 摘 要

生物多样性以生态环境为载体，又是生态环境的核心部分。人类活动同自然环境之间不断发生相互作用，人类活动从环境系统中获取资源和能量，通过生产、消费等环节又向环境中排放废物，从而改变资源存量和环境质量，而资源以及环境要素结构即环境状态的变化又反过来作用于人类系统，从而应系那个人的生活，如此反复，构成人类社会经济系统与环境系统之间的压力—状态—响应关系。所以，本文引入联合国经济发展组织（OECD）的一个评估模型——压力—状态—响应（PSR 模型）模型，采用层次分析方法，结果显示我国整体生物多样性虽然较为丰富，但整体生物多样性发展情况为退化。因此，建立了一个较为合理的数学模型，设计一个指标，综合各方面因素，以便评定应该优先保护哪些地区。最后得出了将濒危物种保护优先地区、物种丰富度与代表性高的地区与优先保护生态系统分布（即原生性生态系统集中分布）的地区作为生物多样性保护的优先地区。

本文在第一阶段问题的研究基础上，在对 PSR 模型进行分析的基础上，阐述了本文的研究思路。以被考察区域的生态系统为评价对象，以生态系统的基本特征为依据，运用生态评价的原理和方法，对生态系统的结构和功能以及各子系统间的相互影响机制进行的综合评价。结合被考察区域生态环境的实际状况，选取典型的可测量的指标，估计被考察区域的生物多样性发展情况，并综合各方面因素，评定优保区的优先等级。从生态系统自身的结构特点出发，构建了生态系统评价指标体系的基本框架，探讨了生态系统评价的方法和一般步骤，包括指标体系的建立、单指标的计算和分析以及各指标的综合分析。

参赛队号 1286

所选题目 B 题

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## Abstract

Ecological environment, biological diversity as a carrier, but also the core of the ecological environment. Human activities continue to occur with the interaction between the natural environment, human activities to obtain resources from the environment and energy systems, through the production, consumption and other aspects of Youxiang waste released to the environment, which changes in resource stocks and environmental quality, and resources, and environmental factors Structural changes in the state of the environment on the human system, in turn, so that human life should be lines, and so forth, constitute the human social and economic system and environmental system between the pressure - state - response relationship. Therefore, this paper introduces the United Nations Economic Development (OECD), an assessment model - pressure - state - response (PSR model) model, using hierarchical analysis showed that although China's overall biological diversity is more abundant, but the overall development of biological diversity the situation is deteriorating. Therefore, the establishment of a more reasonable mathematical model, design an indicator of various factors in order to assess which areas should be conservation priorities. Came to the conclusion of the priority areas for conservation of endangered species, species richness and representation in areas of high priority to the protection of ecosystems and the distribution (ie concentration of native ecosystems, distribution) areas as priority areas for biodiversity conservation.

This paper studies the problem in the first stage, based on the analysis in the PSR model is based on the idea of this study described. To be investigated for the evaluation of regional ecological system of the object, the basic features of an ecosystem based on the principles of ecological assessment and methods of ecosystem structure and function, as well as the interaction between subsystems comprehensive evaluation mechanism. Was investigated with the actual situation of regional ecological environment, select the typical measurable indicators, estimated to be investigated the development of regional biodiversity, and various factors, assessment of priority protected areas excellent. The structure of the ecosystem characteristics of its own, building evaluation index system of ecological systems the basic framework, the evaluation of the ecosystem approach and the general steps, including the index system, a single index calculation and analysis, and comprehensive analysis of each index

## 一、问题的重述

### 1.1 基本情况及问题背景

在生态环境中，虽然某些地区的生物多样性较为丰富，但其整体处于退化的阶段，某些地区的生物多样性则能不断进行自我更新和扩张。建立自然保护区是保护地球上生物多样性的重要方法。每年都有许多地理区域申请建立自然保护区，但我们建立保护区的经费和能力有限，不可能建立太大范围的自然保护区。

### 1.2 问题的提出

问题 1：设计一个合理的估计方法，依据可测量的指标，估计某个地区的生物多样性的发展情况。

问题 2：依据合理的数学模型，设计一个指标，综合各方面因素，以便评定应该优先保护哪些地区。并撰写一份报告，提交联合国环境规划署。要求以非专业人员能够理解的方式，确切阐明评定优先等级的方法及其合理性。

## 二、问题的分析

生物多样性一词是词组“生物的多样性”的缩写，《生物多样性公约》将其定义为“所有来源的形形色色的生物体，这些来源除其他外，包括陆地、海洋和其他水生生态系统及其所构成的生态综合体；这包括物种内部、物种之间和生态系统的多样性”。这是本文件全文所使用的定义。

生物多样性测评指标体系由三类指标构成，即压力指标、状态指标和响应指标。压力指标表明引起环境变化的人类活动的状态，即环境问题产生的原因，它用来衡量人类活动对环境造成的压力。状态指标表征环境的物理变化（或生物变化）或趋势以及响应的社会经济发展趋势，它用来衡量环境质量或环境状态对人类福利的影响。响应指标表明人类对环境问题所采取的对策，它衡量的是环境政策实施的状况。《云南\_\_生物多样性评估方法》

## 三、模型假设

- 1、研究年份内没有重大自然灾害或疾病
- 2、国家政治局面稳定，没有重大政治决策活动
- 3、自然能源短期不发生重大改变

## 四、符号及概念的说明

$A$ ——生物多样性发展情况

$E_1$ ——压力指标

$E_2$ ——状态指标

$E_3$ ——响应指标

$E_{1j}$ ——压力指标下的各指标

$E_{2j}$ ——状态指标下的各指标

$E_{3j}$ ——响应指标下的各指标

$F_1$ ——退化

$F_2$ ——稳定

$F_3$ ——自我更新和扩张

$D_1$ ——珍稀濒危物种分布

$D_2$ ——物种丰富度与代表性

$D_3$ ——优先保护生态系统分布

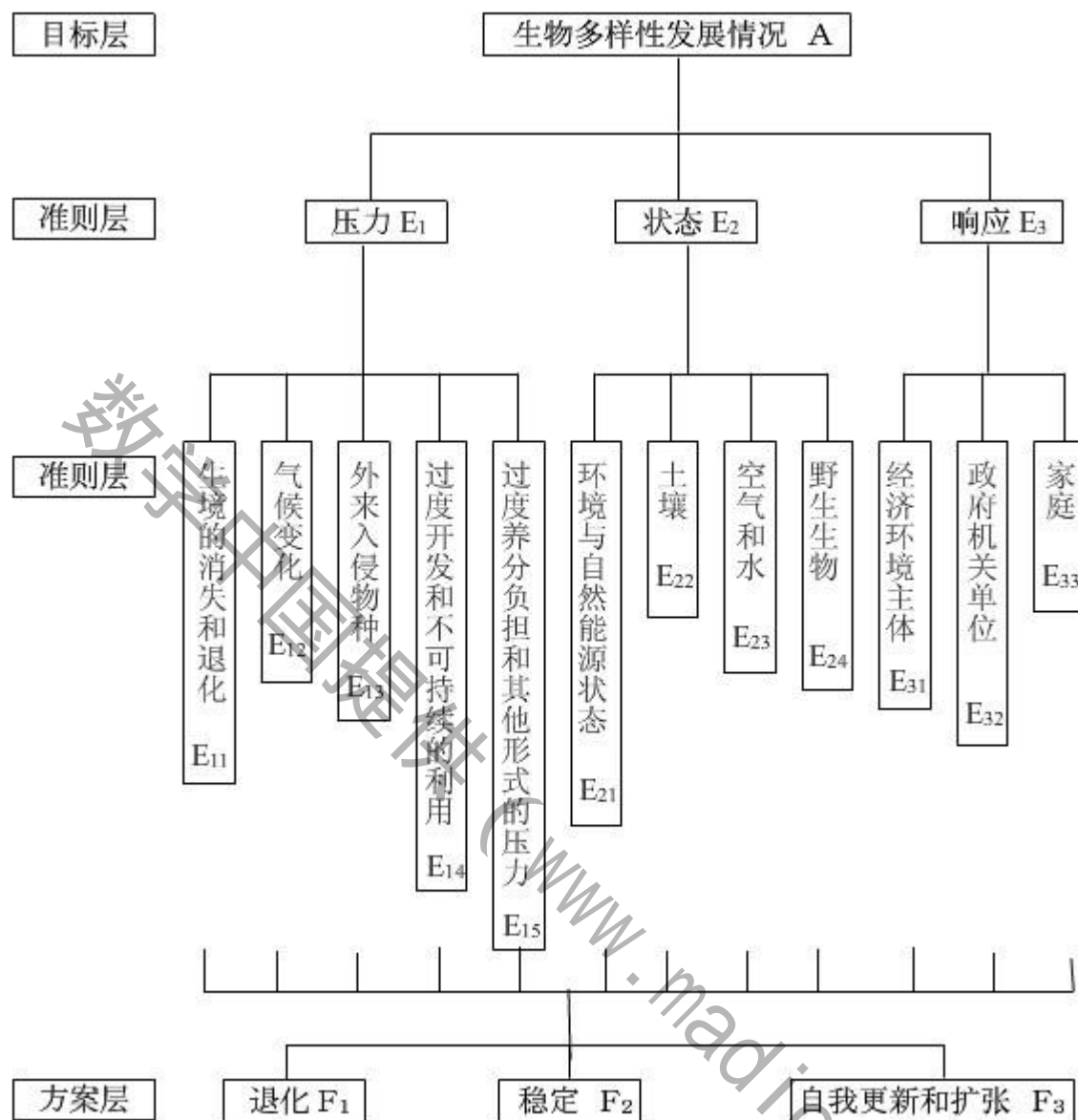
## 五、模型的建立与求解

### 5.1 模型一：压力—状态—响应（PSR）概念模型

20 世纪80 年代末，经济合作与发展组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出了环境指标的PSR 概念模型，即压力(Pressure)—状态(State)—响应(Response)模型。在PSR 框架内，生态环境问题可以表述为3 个不同但又相互联系的指标类型：压力指标反映人类活动给环境造成的负荷；状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况；响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。《基于PSR 模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价》

利用层次分析法（AHP）对模型进行求解：

画出如下的层次分析图：



层次分析法的大概思路：

采取对  $n$  个因子  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  进行两两比较建立成对比较矩阵的办法<sup>[4]</sup>，用矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  表示， $x_i$  与  $x_j$  对  $Z$  的影响之比为  $a_{ij}$ ，全部比较结果可以用判断矩阵来表示，

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, a_{ij} > 0, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$$

即：

$x_i$  与  $x_j$  对  $Z$  的影响之比可用 1—9 标度法来判断。

比较尺度（1—9 标度法）：当需要比较两个可能具有不同性质的因素对于同一个上层因素的影响时，采用 1—9 尺度，即  $a_{ij}$  的取值范围  $-+*$

+6 是.

1, 2, ..., 9 及其倒数.

判断矩阵 1—9 尺度表如下:

尺度 $a_{ij}$	含义
1	影响相同
3	影响稍强
5	影响强
7	影响明显的强
9	影响绝对的强
2, 4, 6, 8	影响之比在上述两个相邻等级之间
1, 1/2, 1/3, ..., 1/9	影响之比为上面 $a_{ij}$ 的倒数

建立相应的判断矩阵  $A$ :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\alpha_1}{\alpha_1} & \frac{\alpha_1}{\alpha_2} & \cdots & \frac{\alpha_1}{\alpha_n} \\ \frac{\alpha_2}{\alpha_1} & \frac{\alpha_2}{\alpha_2} & \cdots & \frac{\alpha_2}{\alpha_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\alpha_n}{\alpha_1} & \frac{\alpha_n}{\alpha_2} & \cdots & \frac{\alpha_n}{\alpha_n} \end{pmatrix}$$

### (3) 一致矩阵和一致性检验

有:  $A\alpha = n\alpha \Rightarrow (A - nI)\alpha = 0$

由矩阵理论可知, 若判断矩阵  $A$  满足:

1、  $a_{ii} = 1, i = 1, 2, \dots, n$ ;

2、  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \forall i, j$ ;

3、  $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}, \forall i, j, k$ 。

则  $A$  有唯一非零的最大特征值  $\lambda_{\max} = n$ , 且最大特征值  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量就是各评价因素的权系数的分配。此时  $A$  为一致阵。即若判断矩阵  $A$  满足条件 1、2、3、, 则可如下



计算权向量：

I、令  $|A - \lambda I| = 0$ ，计算最大特征值  $\lambda_{\max}$ ；

II、令  $(A - \lambda_{\max} I)\alpha = 0$ ，求出  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量  $\bar{\alpha}$ ，则  $\bar{\alpha}$  即为权向量。

若判断矩阵  $A$  不满足条件 3，则衡量  $A$  一致性指标：

一致性指标：
$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$
， $CI$  越大， $A$  的不一致性越严重。

为了确定  $A$  的不一致程度的容许范围，需要找出衡量  $A$  的一致性指标  $CI$  的标准，也就是所谓的随机一致性指标。

平均随机一致性指标：
$$RI = \frac{\lambda'_{\max} - n}{n-1}$$

$\lambda'_{\max}$  是随机产生的  $n$  阶判断矩阵的最大特征值的平均值。

随机一致性指标  $RI$  的数值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

为了评判  $A$  的不一致程度是否在容许的范围之内，则引入了一致性比率。即：

随机一致性比率：
$$CR = \frac{CI}{RI}$$

规定：当  $CR \leq 0.1$  时，判断矩阵  $A$  的一致性可以接受；

当  $CR > 0.1$  时，需调整判断矩阵  $A$

## 压力—状态—响应模型

生物多样性面临的各种压力长期存在，有时还会加剧，这进一步证明，生物多样性丧失的速度没有显著下降。

生物多样性所涉及的指标都具有一定的复杂性与特殊性，缺少定量数据，难以量化，给问题的定量分析带来了困难，因此，可以综合各方面因素，得出评价生物多样性的指标，根据各个指标之间的关系，可以利用层次分析法，列出层次分析图。

首先，将压力指标体系根据指标选择的全面性、可比性及可操作性，再将压力指标进行细分，即：生境的消失和退化、气候变化、外来入侵物种、过度开发和不可持续的利用五个方面。

然后，将状态指标体系根据选择的合理性和全面性，将状态指标体系进行细分，即：

环境以及自然能源状态、土壤、空气和水、野生生物四个方面。

最后，将响应指标体系进行细分为：经济环境主体、政府机关单位、家庭三个方面。

根据上面给出的层次结构分析图，并通过借鉴相关文献及综合多方面的考虑，建立层次模型各个层次的判断矩阵如下：

表 1—— $A - E_j$  的判断矩阵

$A$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$W(A)$
$E_1$	1	5	2	0.5954
$E_2$	1/5	1	1/2	0.1283
$E_3$	1/2	2	1	0.2764
$\lambda=3.0055$ $CI=0.0028$ $CR=0.0048$				

表 2—— $E_1 - E_{1j}$  的判断矩阵

$E_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	$E_{13}$	$E_{14}$	$E_{15}$	$W(E_1)$
$E_{11}$	1	1/2	4	3	3	0.2636
$E_{12}$	2	1	7	5	5	0.4758
$E_{13}$	1/4	1/7	1	1/2	1/3	0.0538
$E_{14}$	1/3	1/5	2	1	1	0.0981
$E_{15}$	1/3	1/5	3	1	1	0.1087
$\lambda=5.0721$ $CI=0.0180$ $CR=0.0161$						

表 3—— $E_2 - E_{2j}$  的判断矩阵

$E_2$	$E_{21}$	$E_{22}$	$E_{23}$	$E_{24}$	$W(E_2)$
$E_{21}$	1	4	3	3	0.5105
$E_{22}$	1/4	1	1/2	1/3	0.0948
$E_{23}$	1/3	2	1	1	0.1857
$E_{24}$	1/3	3	1	1	0.2090
$\lambda=4.0623$ CI=0.0208 CR=0.0231					

表 4—— $E_3 - E_{3j}$  的判断矩阵

$E_3$	$E_{31}$	$E_{32}$	$E_{33}$	$W(E_3)$
$E_{31}$	1	2	5	0.5954
$E_{32}$	1/2	1	2	0.2764
$E_{33}$	1/5	1/2	1	0.1283
$\lambda=3.0055$ CI=0.0028 CR=0.0048				

由于第三层有 12 个指标，第四层有 3 个指标，所形成的判断矩阵的数量比较多，因此不以上面的表格形式一一给出相关的数据，而是仅给出  $E_{ij}$ -F 的判断矩阵：

$$\begin{aligned}
 E_{11} &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}, E_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/8 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 8 & 3 & 1 \end{pmatrix}, E_{13} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, E_{14} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 E_{15} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/4 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, E_{21} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 6 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/6 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}, E_{22} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, E_{23} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \\
 E_{24} &= \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}, E_{31} = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 8 \\ 1/6 & 1 & 2 \\ 1/8 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}, E_{32} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, E_{33} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

根据上面所给出的  $E_{ij}$ -F 判断矩阵, 放入到程序中, 计算出权向量  $W_{E_{ij}}^4$ , 最大特征根  $\lambda_{E_{ij}}$  和一致性指标  $CI_{E_{ij}}$  以及可以得到数据如下表:

表 5—— $E_{ij}$ - $F_l$  的判断矩阵

	$W_{E_{ij}}^4$			$\lambda_{E_{ij}}$	$CI_{E_{ij}}$	$CR_{E_{ij}}$
$E_{11}$	0.5956	0.2764	0.1283	3.0055	0.0028	0.0048
$E_{12}$	0.0819	0.2363	0.6817	3.0015	7.7081e-004	0.0013
$E_{13}$	0.4286	0.4286	0.1429	3.0000	-4.4409e-016	-7.6567e-016
$E_{14}$	0.6337	0.1919	0.1744	3.0092	0.0046	0.0079
$E_{15}$	0.4806	0.4054	0.1140	3.0291	0.0145	0.0251
$E_{21}$	0.5876	0.3234	0.0890	3.0092	0.0046	0.0079
$E_{22}$	0.5816	0.3090	0.1095	3.0038	0.0018	0.0032
$E_{23}$	0.5584	0.3196	0.1220	3.0183	0.0091	0.0158
$E_{24}$	0.6250	0.2385	0.1365	3.0183	0.0091	0.0158
$E_{31}$	0.7692	0.1468	0.0840	3.0183	0.0091	0.0158
$E_{32}$	0.7306	0.1884	0.0810	3.0649	0.0324	0.0559
$E_{33}$	0.4054	0.4806	0.1140	3.0291	0.0145	0.0251

由于以上矩阵的一致性比率  $CR$  都是小于 0.1, 可认为这些矩阵的不一致程度在容许的范围之内。

表 6——层次  $E_{ij}$  的总排序

$A$ $E_{ij}$	$A$			层次 $E_{ij}$ 的总排序结果
	$E_1$	$E_2$	$E_3$	
	0.5954	0.1283	0.2764	
$E_{11}$	0.2636	0	0	0.1565

$E_{12}$	0.4758	0	0	0.2833
$E_{13}$	0.0538	0	0	0.0320
$E_{14}$	0.0981	0	0	0.0584
$E_{15}$	0.1087	0	0	0.0647
$E_{21}$	0	0.5105	0	0.0655
$E_{22}$	0	0.0948	0	0.0122
$E_{23}$	0	0.1857	0	0.0238
$E_{24}$	0	0.2090	0	0.0268
$E_{31}$	0	0	0.5954	0.1646
$E_{32}$	0	0	0.2764	0.0764
$E_{33}$	0	0	0.1283	0.0355

表 7——目标层  $F$  的总排序

$E \backslash F$		$F_1$	$F_2$	$F_3$
$E$	$E_{11}$	0.1565	0.5956	0.2764
	$E_{12}$	0.2833	0.0819	0.2363
	$E_{13}$	0.0320	0.4286	0.4286
	$E_{14}$	0.0584	0.6337	0.1919
	$E_{15}$	0.0647	0.4806	0.4054
	$E_{21}$	0.0655	0.5876	0.3234
	$E_{22}$	0.0122	0.5816	0.3090
	$E_{23}$	0.0238	0.5584	0.3196
	$E_{24}$	0.0268	0.6250	0.2385

	$E_{31}$	0.1646	0.7692	0.1468	0.0840
	$E_{32}$	0.0764	0.7306	0.1884	0.0810
	$E_{33}$	0.0355	0.4054	0.4806	0.1140
目标层 $F$ 的总排序结果			0.4707	0.2559	0.2731

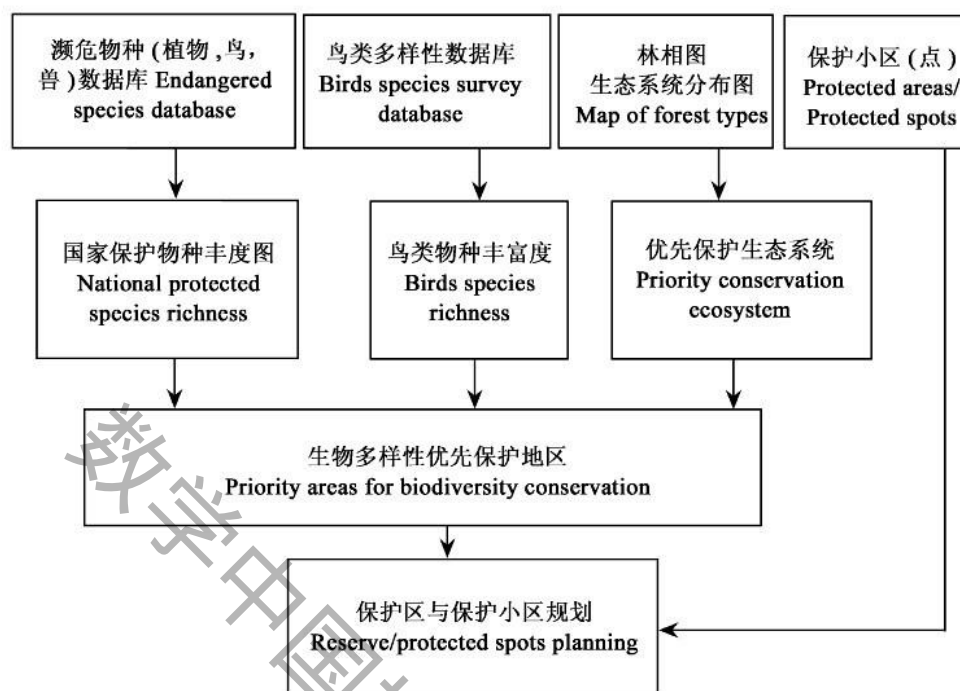
通过层次分析法并且结合 MATLAB，该生很容易便能作出了决策，选择  $F_1$ 。即生物多样性整体发展情况为退化。而且容易得出如上表的层次总排序：

## 5.2 模型二：优先保护区的评估

保护生物多样性已经成为迫在眉睫的任务，建立自然保护区已经被证实是保护自然资源和生态环境最重要、最有效的措施和方法。每年都有许多地理区域申请建立自然保护区，但我们建立保护区的经费和能力有限，不可能建立太大范围的自然保护区。并且，被保护的陆地面积越来越大，但保护区并没有有效的保护全部的生物多样性。如何科学地评定优先保护区，是摆在我们面前非常现实的问题。

生物多样性保护的优先地区为珍稀濒危物种分布的集中地区，物种多样性丰富的地区和人为活动相对较少，天然林集中分布的地区。

生物多样性保护的优先地区为珍稀濒危物种分布的集中地区，物种多样性丰富的地区和人为活动相对较少，天然林集中分布的地区。从以上 3 个方面可以综合分析生物多样性保护的优先地区。根据国内外专家学者开展的野外调查资料和历史资料，建立了基于地理信息系统的生物多样性信息系统，包括野生动植物数据库，主要根据地区保护动植物分布点，利用鸟类作为生物多样性丰富度的指示，利用森林分布图作为生态系统指示，按照以下流程，将濒危物种保护优先地区，物种丰富度与代表性高的地区与原生性生态系统集中分布的地区作为生物多样性保护的优先地区。



生物多样性保护的一个重要原则就是要设法利用有限的资源（人力经费及土地或水域）保护尽可能多的生物多样性。

### 5.2.1、指标的选取：

#### 5.2.1.1、珍稀濒危物种分布

在将各物种归入不同灭绝风险类别时，采用了具有量化临界值的标准，根据种群生存力模型测试的结果，确定了种群数量和结构、种群减少速度、分布范围和结构以及灭绝风险的量化临界值。

《国际自然保护联盟濒危物种危急清单》的类别显示，如果目前的状况持续下去，某种物种就可能灭绝。物种的风险状况根据全世界几千名物种科学家开展的工作所获得的资料而确定的。

评估采用了严格的体系，该体系将所有物种分成八个类别，即：灭绝、野外灭绝、极危、濒危、易危、近危、无危和数据缺乏。极危、濒危或易危类别的物种属于受威胁物种。

生物分类组别中属于不同灭绝风险类别物种的数量和比例，对这些分类组别进行全面评估，或是从每个物种中随机抽取样本进行了估算。

截至 2009 年，已经对 47,677 种物种进行了评估，其中有 36% 的物种被认为面临灭绝的威胁；而在得到完全评估的种群的 25,485 种物种（哺乳动物、鸟类、两栖动物、珊瑚、淡水蟹、苏铁和针叶林）中，有 21% 被认为面临威胁。在已经评估的 12,055 种植物物种中，70% 面临威胁。

#### 5.2.1.2、物种丰富度与代表性

衡量和选择优先保护区域最常用也是最直观的指标是物种丰富度（species richness）

在考虑物种丰富度的基础上结合区系成分的互补性提出的关键区系分析方法（critical faunas analysis）被用来为保护某一特定类群的全部物种设计保护区优先序和确定最低保护区组合（the minimum set of areas）

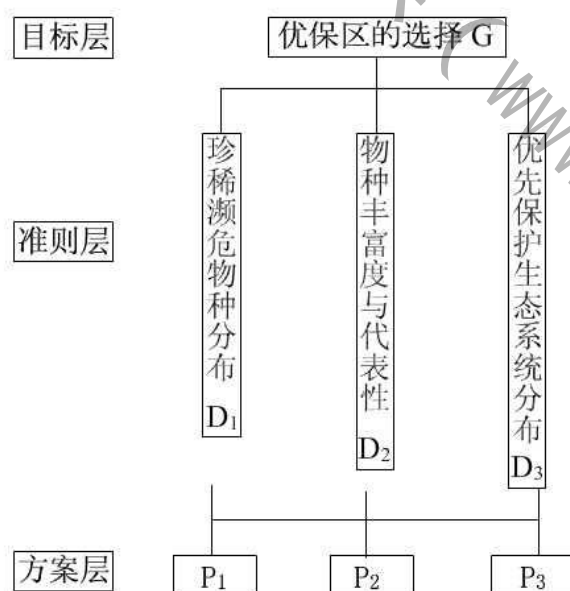
客观测度和评价各有关区域的物种多样性，对各个区域按物种多样性高低进行排序，然后结合区系组成差异的互补性，设计保护区域优先序或保护区网络，达到利用有限数目的区域来保护最多的物种多样性或全部的物种多样性的目的。

#### 5.2.1.3、优先保护生态系统分布（原生性生态系统集中分布）

优先保护生态系统分布指标主要从生态系统服务功能、生物多样性丰富程度、人类活动干扰程度等3个指标定义。其中，生态系统服务功能主要根据森林调查的小班资料中土壤、蓄积量、坡度、坡向等比较在水土保持和水源涵养重要性与碳储存的重要性，进行比较排序。生物多样性重要等级的划分结合生物指示物种实地调查资料及物种在不同森林类型物种的分布，定义出不同森林生态系统类型的生物多样性保护优先程度。人为干扰程度，根据人为实际进行生产活动，离村庄距离等进行比较，给出优先等级。

#### 5.2.2、建立层次结构模型

以优先保护区的选择（G）为目标层，以珍稀濒危物种分布（D<sub>1</sub>）、物种丰富度与代表性（D<sub>2</sub>）、优先保护生态系统分布（D<sub>3</sub>）为准则层（指标层），方案层为各申请成为自然保护区的地理区域。



#### 5.2.2、构造成对比较阵

该模型只有3层，从层次结构模型的第2层开始，对从属于上层每个因素的同一层诸因素，用公式法、成对比较法、专家打分法或1—9比较尺度，构造成对比较阵，到第三层（即方案层）。

成对比较法：即对各因素两两成对比较，计算其比值。

1—9 标度法：为了两两比较得到量化的判断矩阵，可将比较尺度定为9个等级。

数据分析：

在此，我们采用可测量的指标，来计算各指标的权重值。由于我们建立保护区的经



费和能力有限，不可能建立太大范围的自然保护区。所以，我们将各指标的度量都从被考察区域的面积上考虑，计算结果。

1、珍稀濒危物种分布，可采用公式：

$$\text{珍稀濒危物种分布 } D_1 = \text{濒危物种数 } N_1 / \text{面积 } S$$

根据被考察区域测量的濒危物种数、考察面积及上面的公式，得出指标结果。

2、物种丰富度与代表性，可采用公式：

$$\text{物种丰富度与代表性 } D_2 = \text{物种数 } N_2 / \text{面积 } S$$

采取全国野生动植物研究与发展中心的调查数据为基础，根据被考察区域测量的物种数、考察面积及上面的公式，得出指标结果。

3、优先保护生态系统分布（原生性生态系统集中分布）

以林相图作为生态系统划分的基础数据，根据生态系统服务功能F的相对大小，生物多样性丰富程度R 划分为5级，最优先的为5，最小为1，人类活动干扰程度D 按照最严重为5，干扰最小为1，根据3个指标定义出生态系统优先指标  $D_3$ ：

$$D_3 = F \cdot R / D$$

根据  $D_3$  的大小将生态系统优先保护程度分为3级，最优先（I级），优先（II级），一般（III级）和其它（不适宜进行保护的农田和经济林生态系统，IV级）。

假设参与评选建立自然保护区的地区共有3个，数据调查，对参评的三个地区  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  所提交的相关数据进行汇总分析。

	P1	P2	P3
面积 S （平方公里）	10	20	40
濒危物种数 $N_1$ （种）	6	4	12
物种数 $N_2$ （种）	2000	3000	3600
生态系统服务功能 F （等级：1—5）	2	4	4
生物多样性丰富程度 R （等级：1—5）	4	2	5
人类活动干扰程度 D （等级：1—5）	4	2	4
珍稀濒危物种分布 $D_1$	0.6	0.2	0.3
物种丰富度与代表性 $D_2$	200	100	90
优先保护生态系统分布 $D_3$	2	4	5

表 8

成对比较阵如下：

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

即在优保区的选择上，珍稀濒危物种分布因素最重，物种丰富度与代表性次之，优先保护生态系统分布再次。

再根据上表数据结果得出，准则层对方案层的成对比较阵：

$D_1 - P_i$  的判断矩阵：

$$D_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2/3 \\ 1/2 & 3/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$D_2 - P_i$  的判断矩阵：

$$D_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 20/9 \\ 1/2 & 1 & 10/9 \\ 9/20 & 9/10 & 1 \end{pmatrix}$$

$D_3 - P_i$  的判断矩阵：

$$D_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 2/5 \\ 2 & 1 & 4/5 \\ 5/2 & 5/4 & 1 \end{pmatrix}$$

### 5.2.3、计算权向量并作一致性检验

使用 MATLAB 软件计算权向量并作一致性检验，当  $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$  时认为判断矩阵的一致性是可以接受的，结果如下：

$w^{(2)}$	0.5396
	0.2970
	0.1634
$\lambda^{(2)}$	3.0092
$CI^{(2)}$	0.0046
$CR^{(2)}$	0.0079
是否通过一致性检验	通过

表 9：第 2 层的计算结果

$k$	1	2	3
-----	---	---	---

$w_k^{(3)}$	0.5455	0.5128	0.1818
	0.1818	0.2564	0.3636
	0.2727	0.2308	0.4545
$\lambda_k^{(3)}$	3	3.0000	3
$CI_k^{(3)}$	0	4.4409e-016	0
$CR_k^{(3)}$	0	7.6567e-016	0
是否通过一致性检验	通过	通过	通过

表 10：第 3 层的计算结果

## 五、计算组合权向量并作组合一致性检验

### 1、计算组合权向量

第三层对第一层的组合权向量计算式为

$$w_{k1}^{(3)} \times w_k^{(2)} + w_{k2}^{(3)} \times w_k^{(2)} + w_{k3}^{(3)} \times w_k^{(2)}, k=1,2,3$$

即得， $W = (0.4764, 0.2337, 0.2899)^T$

### 2、组合一致性检验

组合一致性检验可逐层进行。若第  $p$  层的一致性指标为  $CI_1^{(p)}, \dots, CI_n^{(p)}$  ( $n$  是第  $p-1$  层因素的数目)，随机一致性指标为  $RI_1^{(p)}, \dots, RI_n^{(p)}$ ，定义

$$CI^{(p)} = [CI_1^{(p)}, \dots, CI_n^{(p)}] w^{(p-1)}$$

$$RI^{(p)} = [RI_1^{(p)}, \dots, RI_n^{(p)}] w^{(p-1)}$$

则第  $p$  层的组合一致性比率为  $CR^{(p)} = \frac{CI^{(p)}}{RI^{(p)}}$ ,  $p=3,4,\dots$

第  $p$  层通过组合一致性检验的条件是  $CR^{(p)} < 0.1$

定义最下层（第  $s$  层）对第一层的组合一致性比率为

$$CR^* = \sum_{p=2}^s CR^{(p)}$$

根据计算，结果表明地区  $P_1$  在选择中占权重近于 1/2，远大于  $P_2$ ， $P_3$ ，应作为优先保护的地区。

## 六、模型的评价

生物多样性的发展情况与优先保护地区的估算中,指标及其参数的选取是一个非常重要的环节。尽管本文努力包容可能影响优先保护的所有指标,但考虑到可操作性,在指标选取上还有进一步改进的可能。所涉及的参数来源于实地调查、资料统计和文献调研,在以后的研究中,应尽量增加实地调查和资料统计,可以大幅度地提高计算精度,从而增加结论的可信性。

1) 没有结合实例做出具体分析

2) 在考虑指标本身权重时,由于指标本身权重的客观计算在目前并没有解决,模型识别的计算精度受到了一定的限制。该模型有待进一步完善。

## 七、模型的改进

1、模糊综合评判模型可以考虑多种因素下复杂问题的综合评价问题,可以用于生物多样性的综合评价。

2、建议采用 BP 神经网络来确定各因素的权重分配,这样可以避免确定权重的主观性。

3、鉴于本文模型的广度和算例调查数据的局限性,本文方法还有待更多、更广泛的调查数据的验证。

4、由于生物多样性涉及多领域、多学科的各种因素指标,关系错综复杂,本文所确定的评价指标有待进一步考究。

## 八、附录

附录一:

```
function[maxeigval,w]=maxeigvalvec(A) %求最大特征值及对应的归一化特征向量
%A 为判断矩阵
```

```
[eigvec,eigval]=eig(A);
```

```
eigval=diag(eigval); %特征向量
```

```
eigvalmag=imag(eigval);
```

```
realind=find(eigvalmag<eps);
```

```
realeigval=eigval(realind); %实特征根
```

```
maxeigval=max(realeigval) %最大特征值
```

```
index=find(eigval==maxeigval);
```

```
vecinit=eigvec(:,index); %最大特征值对应的特征向量
```

```
w=vecinit./sum(vecinit) %特征向量归一化
```

```
A=[1 5 2;1/5 1 1/2;1/2 2 1];
```

```
E1=[1 1/2 4 3 3;2 1 7 5 5;1/4 1/7 1 1/2 1/3;1/3 1/5 2 1 1;1/3 1/5 3 1 1];
```

```

E2=[1 4 3 3;1/4 1 1/2 1/3;1/3 2 1 1;1/3 3 1 1];
E3=[1 2 5;1/2 1 2;1/5 1/2 1];
[max(1),wA]= maxeigvalvec(A);
[max(2),wE1]= maxeigvalvec(E1);
[max(3),wE2]= maxeigvalvec(E2);
[max(4),wE3]= maxeigvalvec(E3);

```

附录二：

调用函数：

```

function [RI, CI]=sglsortexamine(maxeigval, A)
%层次分析法单排序一致性检验
%maxeigval 为最大特征值，A 为判断矩阵
n=size(A, 1);
RIT= [0, 0, 0.58, 0.90, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45, 1.49, 1.51];
RI=RIT(n);
CI=(maxeigval-n)/(n-1);
CR=CI/RI;
if CR>=0.10
    disp([input('矩阵没通过一致性检验，请重新调整判断矩阵')])
else
    disp([input('矩阵通过一致性检验')]);
end
CR
主函数：
[RIA, CIA]= sglsortexamine(max(1), A);
[RIP1, CIP1]= sglsortexamine(max(2), E1);
[RIP2, CIP2]= sglsortexamine(max(3), E2);
[RIP3, CIP3]= sglsortexamine(max(4), E3);

```

附录三：

```

E11=[1 2 5;1/2 1 2;1/5 1/2 1];
E12=[1 1/3 1/8;3 1 1/3;8 3 1];
E13=[1 1 3;1 1 3;1/3 1/3 1];
E14=[1 3 4;1/3 1 1;1/4 1 1];
E15=[1 1 5;1 1 3;1/5 1/3 1];
E21=[1 2 6;1/2 1 4;1/6 1/4 1];
E22=[1 2 5;1/2 1 3;1/5 1/3 1];
E23=[1 2 4;1/2 1 3;1/4 1/3 1];
E24=[1 3 4;1/3 1 2;1/4 1/2 1];
E31=[1 6 8;1/6 1 2;1/8 1/2 1];
E32=[1 5 7;1/5 1 3;1/7 1/3 1];
E33=[1 1 3;1 1 5;1/3 1/5 1];

```

```

[max(1),wE11]= maxeigvalvec(E11);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(1),E11);
[max(2),wE12]= maxeigvalvec(E12);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(2),E12);
[max(3),wE13]= maxeigvalvec(E13);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(3),E13);
[max(4),wE14]= maxeigvalvec(E14);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(4),E14);
[max(5),wE15]= maxeigvalvec(E15);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(5),E15);
[max(6),wE21]= maxeigvalvec(E21);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(6),E21);
[max(7),wE22]= maxeigvalvec(E22);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(7),E22);
[max(8),wE23]= maxeigvalvec(E23);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(8),E23);
[max(9),wE24]= maxeigvalvec(E24);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(9),E24);
[max(10),wE31]= maxeigvalvec(E31);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(10),E31);
[max(11),wE32]= maxeigvalvec(E32);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(11),E32);
[max(12),wE33]= maxeigvalvec(E33);
[RIA,CIA]= sglsortexamine(max(12),E33);

```

附录四：

```

function [RI,CI]=sglsortexamine(maxeigval,A)
%层次分析法单排序一致性检验
%maxeigval 为最大特征值，A 为判断矩阵
n=size(A,1);
RIT= [0,0,0.58,0.90,1.12,1.24,1.32,1.41,1.45,1.49,1.51];
RI=RIT(n);
CI=(maxeigval-n)/(n-1)
CR=CI/RI
if CR>=0.10
    disp([input('矩阵没通过一致性检验，请重新调整判断矩阵')])
else
    disp([input('矩阵通过一致性检验')]);
end

```

```

function[maxeigval,w]=maxeigvalvec(A) %求最大特征值及对应的归一化特征向量
%A 为判断矩阵
[eigvec,eigval]=eig(A);

```

```

eigval=diag(eigval);           %特征向量
eigvalmag=imag(eigval);
realind=find(eigvalmag<eps);
realeigval=eigval(realind);    %实特征根
maxeigval=max(realeigval)      %最大特征值
index=find(eigval==maxeigval);
vecinit=eigvec(:, index);      %最大特征值对应的特征向量
w=vecinit./sum(vecinit)        %特征向量归一化

```

```

G=[1 2 3;1/2 1 2;1/3 1/2 1];
D1=[1 3 2;1/3 1 2/3;1/2 3/2 1];
D2=[1 2 20/9;1/2 1 10/9;9/20 9/10 1];
D3=[1 1/2 2/5;2 1 4/5;5/2 5/4 1];
[max(1),wG]= maxeigvalvec(G);
[RIA,CIG]= sglsortexamine(max(1),G);

[max(2),wD1]= maxeigvalvec(D1);
[RIP1,CIP1]= sglsortexamine(max(2),D1);
[max(3),wD2]= maxeigvalvec(D2);
[RIP2,CIP2]= sglsortexamine(max(3),D2);
[max(4),wD3]= maxeigvalvec(D3);
[RIP3,CIP3]= sglsortexamine(max(4),D3);

```

## 九、参考文献

- [1] 5 层次分析 <http://wenku.baidu.com/view/c4d12cdbad51f01dc281f1bf.html>。
- [2] 姜启源, 谢金星, 数学模型 (第三版) [M], 北京: 高等教育出版社, 2003 年。
- [3] 《尤溪县生物多样性保护优先地区分析》[J]第 22 卷第 8 期, 2002 年 8 月
- [4] 《云南生物多样性评估方法与评测指标体系研究》[J], 西南林学院,
- [5]《东北林区自然保护区管理有效性初步评估》《自然资源学报》 第 24 卷第 4 期 2009 年 4 月
- [6] 《基于 MATLAB 的 AHP 实现》, 湖南人文科技学院毕业论文设计
- [7] 朱道元, 数学建模案例精选[M], 北京: 科学出版社, 2003 年。
- [8] 刘满凤, 陶长琪, 柳键, 运筹学教程[M], 北京: 清华大学出版社, 2010 年。
- [9] 高会生, 李新叶, 胡智奇, MATLAB 原理与工程应用[M], 北京: 电子工业出版社, 2006 年。
- [10] 韩中庚, 数学建模方法及其应用[M], 北京: 高等教育出版社, 2005 年 6 月。