

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)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：1421

参赛队员（签名）：

队员 1：张驰

队员 2：王兵

队员 3：刘峰

参赛队教练员（签名）： 沈亮

参赛队伍组别： 大学本科组

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）：1421

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 区域生物多样性发展情况与优先保护问题

关 键 词 移动平均值 协调性 权重分析模型 层次分析模型

摘 要：

问题一，设计一个估计方法，估计某个地区生物多样性的发展情况。

模型一：移动平均值法。首先列举出 12 个项目指标及其对应的类目总指标，分析相关近十年的数据，用移动平均值预测其类目总指标，结合协调度标准预测总指标的趋势，得到对生物多样性发展的作用。

模型二：权重分析法。分别用组合赋权法和变异系数法对该 12 个项目指标进行两次权值分析，得到对应综合评定的多组数据，把项目指标分三类：主要指标，调整指标和协调指标。协调指标对生物多样性发展作用可忽略不计，主要指标是增长进而加快生物多样性发展，调整指标则是降低反而加快生物多样性发展

问题二，设计一个指标，评定优先保护哪些地区。

模型三：生物多样性保护优先地区的分析一直以来是生物保护专家关注的议题之一，其目的是根据不同的保护目标确定出最有保护价值的地区并设计出它们的优先序列，利用有限的资源保护尽可能多的生物多样性。为了评定优先保护那些地区，在科学性和可操作性原则指导下，通过对自然保护区三层制约因素的分析，运用层次分析评定方法对最底层生物生态价值、社会经济价值、稀有性、多样性、管理经费、管理机构六个指标进行测定，构建了一套评定优先保护区的指标体系。最后通过计算得到层次权重排列前三位的指标依次为多样性、稀有性、管理经费，因此这三个指标权重值大的地区应评定为优先保护地区。

参赛队号 1421

参赛密码 _____
(由组委会填写)

所选题目 B 题

英文摘要

Problem one, design a estimation method, estimates that one area the development of biological diversity.

Model 1: moving average method model. First enumerate 12 project indicators and its corresponding categories total index, analyzing related nearly 10 years of data, with mobile average forecast the categories, combined with total index coordination degree standard trend of total index forecast for biodiversity development role.

Model 2: weight analysis. Respectively with combination weighting and variation coefficient method to the 12 project indexes weights analysis, get twice the corresponding integrated assess the multiple data project indicators can be divided into three groups: main index, adjust index and coordinate index. Coordinating role for biodiversity development index is negligible, main index is growth therefore accelerating development of biological diversity, adjust the index is lower speed up development of biological diversity instead

Question two, design an index, and evaluate which areas should be protected.

Model 3: biodiversity conservation priority area analysis has been biological conservation experts concern among the issues, its purpose is determined according to different protection targets only the most protection value area and designed their priority sequence, use of the limited resources to protect as many biological diversity. In order to assess priority conservation in those regions, scientific and operability principles guide for nature reserves, Through three layers of nature reserves, using the analysis of limited factors of level analysis method of economic value, the eco-system, diversity, management funds, management organization six indexes, this paper establishes a set of determination of evaluation index system of priority reserves. Finally calculated arranged by the weight of the three levels for diversity, eco-system in index funds, so this, management three index weights big area should be assessed as priority conservation areas.

一 问题重述

1 问题背景

生物多样性是指地球上所有生物（动物、植物、微生物等），它们所包含的基因以及由这些生物与环境相互作用所构成的生态系统的多样化程度。生物多样性是人类社会赖以生存和发展的物质基础。我们的衣、食、住、行及物质文化生活的许多方面都与生物多样性的维持密切相关。如果生物多样性遭受到破坏，对人类，乃至自然环境有重大影响，因此，生物多样性的保护变得日益重要。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，然而建立自然保护区是保护生物多样系的重要方法，因此我们要建立合适的自然保护区来保护生物多样性。

2 问题提出

据相关数据表明，在过去的十年里，某些地区的生物多样性受到严重破坏，例如在1998年，由于厄尔尼诺现象和南美洲太平洋沿岸水域持续变暖造成气候变化，引起亚马孙原始森林火灾，约有4万平方公里的林木被烧毁，几万人被烧死烧伤。在巴西境内的亚马孙原始森林中，大约75%的砍伐活动都是在柏油公路两侧50公里范围内进行的，，在仅仅15年的时间里，附近的森林就消失了近三分之一。甚至有些地区的物种已经消失，例如：英国生态学和水文学研究中心的杰里米·托马斯领导的一支科研团队在最近出版的《科学》杂志上发表的英国野生动物调查报告称，在过去40年中，英国本土的鸟类种类减少了54%，本土的野生植物种类减少了28%，而本土蝴蝶的种类更是惊人地减少了71%。一直被认为种类和数量众多，有很强恢复能力的昆虫也开始面临灭绝的命运。根据其他相关资料表明：在中国，每小时就有三个物种灭绝。而主要栖息在亚热带茂密的丛林中的台湾云豹，由于森林的大量砍伐以及人类的捕杀，在1972年灭绝。种种数据表明，为了保护生物多样性，建立自然保护区是十分必要的。

根据收集到的数据，我们了解地区的发展情况，综合各方面因素，建立优先保护自然保护区。

二 符号说明

CI	一致性指标
RI	平均随机一致性指标
CR	随机一致性指标
τ	表示预测超前期数
$M_t^{(1)}$	表示第t期的一次移动平均值
$M_t^{(2)}$	表示第t期的二次移动平均值
X	为项目指标层的历史相对指标
Y	为项目指标层的现阶段相对指标
C	为项目指标层的协和度系数
Pi	种的个体数占群落中总个体数的比例
H	为实际观察的物种多样性指数
H_{MAX}	为最大的物种多样性指数

X_{ij}	为第j 个开发区第i 个指标的特征
∂_i	为第i 项指标的变异系数;
D	为第 i 项指标特征值的均方差;
D_i	第i 项评价指标特征值的均值。
a_j	为第j 个属性的客观权重,
b_j	为第j 个属性的主观权重
w_i	即为第j 个属性的最终权重。
α	为待定系数,
G_{AHP}	为 AHP 法各分量的差异系数:
λ_{\max}	最大特征值

三 模型建立

问题一

模型一：移动平均值法

3.1.1模型分析

对估计某个地区的生物多样性发展情况的问题,明确了12个可测量的指标而且要得到相关指标近十年的数据,其算术平均虽能代表一组数据的平均水平,但它不能反映数据的变化趋势,而原始数据虽然存在某种趋势,但数据可能是杂乱无章的无法直接分析。移动平均法克服了上述弱点,其基本方法,选一个固定周期N,对数据进行平均,每递推一个周期就加上一个数据,舍去原始数据,依次类推,直到把数据处理完毕。

3.1.2模型原则

1. 准确性：处理后的数据能正确反映事物发展的未来趋势和状况;
2. 适用性：处理的数据能满足建模的需要
3. 一致性：处理的数据在整个比较性。使用期间必须三一致的,具有可比较性

模型建立原则。

3.1.3模型建立及数据

$$M_t^{(1)} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-N+1}}{N}$$

第t期的一次移动平均值作为t+1期的预测值即

$$\mu_{t+1} = M_t^{(1)} \text{ 其一般公式}$$

$$M_t^{(1)} = M_{t-1}^{(1)} + \frac{Y_t - Y_{t-N}}{N}$$

$$M_t^{(2)} = M_{t-1}^{(2)} + \frac{M_t^{(1)} - M_{t-N}^{(1)}}{N},$$

在二次移动平均值的基础上，可建立线性模型：

$$\mu_{t+\tau} = a_t + b_t \tau, \text{ 式中 } \tau \text{ 表示预测超前期数}$$

$$a_t = 2M_t^{(1)} - M_t^{(2)}$$

$$b_t = \frac{2}{N-1}(M_t^{(1)} - M_t^{(2)})$$

某地区生物多样性指标体系（表一）

目标层	类目标层(n)	项目指标层(m)
森林生物多样性	A1:森林生态系统多样性丰富度	B1: 森林破碎化
		B2: 森林类型多样性
		B3: 公益林占森林总面积比重
		B4: 严重的污染事件
	A2森林自然度	B5: 森林总蓄积量
		B6: 森林蓄积结构
	A3森林分布	B7: 森林龄组结构多样性
		B8: 森林覆盖度
	A4森林植物物种多样性丰富度	B9: 外来物种的入侵
		B10: 森林植物物种多样性
		B11: 植物物种多样性指数
		B12: 珍稀植物物种丰富度

协调性判定标准（表二）

X	Y	C	协调类型	特征
$X \geq 0$	$Y \geq 0$	$C \leq 0$	极不协调	历史指标与先阶段指标较低，生物多样性水平发展极其缓慢
$X \leq 0$	$Y \geq 0$	$C \leq 0$	不协调	历史指标高于先阶段指标，生物多样性水平发展处于恶性循环
$X \geq 0$	$Y \leq 0$	$C \leq 0$	不协调	历史指标较高于先阶段指标，生物多样性水平发展相对缓慢
$X \leq 0$	$Y \geq 0$	$C \leq 0$	基本协调	先阶段指标较高于历史指标，该多样性水平发展相对较快
$X \geq 0$	$Y \leq 0$	$C \geq 0$	基本协调	先阶段指标高于历史指标生物多样性水

参赛队号#1421

				平发展良性循环
$X \geq 0$	$Y \geq 0$	$C \geq 0$	协调	历史指标与先阶段指标较高生物多样性 水平发展处于高速发展阶段

相关项目指标数据（表三）

项目	公益林 比重/%	公益 林合 理比 重/%	公益林 相关指 标值	森林类型 多样性指 标值	森林破碎 化指标值	森林覆盖率
2000	6. 5 %	23%	0. 1203	0. 678	0. 236	92. 4 %
2001	6. 4 %	22 %	0. 1193	0. 685	0. 240	92. 1 %
2002	6. 5 %	23 %	0. 1211	0. 685	0. 260	91. 5 %
2003	6. 6 %	24 %	0. 1261	0. 683	0. 278	91. 0 %
2004	6. 5 %	23 %	0. 1205	0. 679	0. 295	90. 3 %
2005	6. 4 %	23 %	0. 1210	0. 676	0. 310	90. 1 %
2006	6. 5 %	25 %	0. 1431	0. 667	0. 343	91. 1 %
2007	6. 6 %	27 %	0. 1655	0. 650	0. 360	92. 1 %
2008	6. 6 %	30 %	0. 1811	0. 643	0. 383	93. 7 %
2009	6. 6%	32 %	0. 2030	0. 638	0. 457	95. 4 %
增减趋势	稳定	递增	递增	递减	递增	先减后增

对周期N的选择分析（表四）

水平式	其趋势保持不变，移动平均值是无偏差的，M值与N值无关
脉冲式	其趋势仅在某一时间段突然增加或减少，随后又保持不变，N取的越大，M的误差 $\frac{\overline{S^2}}{a}$ 越小，因此N应取得较大些
阶梯式	其趋势仅在开始一段时间保持不变，然后增加或减少到一个新的水平后又保持不变，N取得越小，M的误差 $\frac{\overline{S^2}}{a}$ 越小，因此N应取得较小
斜坡式	其趋势周期的递增或递减，M总是比实践趋向落后，因此N应取越小越好

3.1.4 模型指标值测算结果与分析

3.1.4.1 森林破碎化(B1)

近10 年来, 森林破碎化比较严重, 不利于某些森林生物生存和发展. 从2000 年到2009年来森林破碎化指标值不断上升. 但森林破碎化程度有减少。

3.1.4.2 森林类型多样性(B2)

森林类型以阔叶混交林和针阔叶混交林占优势. 森林类型从2000 年到2009 年的变化, 减少的森林类型是珍贵树种占优势的水曲柳林和胡桃楸林. 经测算, 森林类型多样性指标值:2000 年为0. 678 到2009 年为0. 638 , 呈下降的趋势但幅度不是很大. 该主要原因是由于不合理采伐减少了森林类型, 或过度择伐改变了某些森林群落的优势种,

参赛队号#1421

从而各类型面积分布发生变化但相关政策对上述行为有所制止而导致指标小幅度的减小。

3.1.4.3 公益林占森林总面积比重 (B3)

公益林比重, 2000 到 2009 年基本保持不变, 但公益林比重指标值从 0.1203 到 0.203 有所增加 可是公益林的比重很低. 该局森林分类经营研究结果表明, 合理公益林比重为 32%. 这表明, 在计划经济体制下不重视公益林建设. 其原因有国家的、社会的和企业自身的, 但主要原因是缺乏合理区划和对公益林的经济补偿, 经营公益林得不到相应的补偿, 使企业不愿意经营公益林。

3.1.4.4 严重的污染事件 (B4)

在过去的十年里, 该地区森林采伐正在加快速度, 连年发生多起污染事件, 污染事件发生概率逐年第增, 对生态系统破坏严重。在最近的几年里, 由于各种污染事件, 导致了被破坏的森林面积占整个森林区域减少面积的 45%。

对 A1: 森林生态系统多样性丰富度的预测如下表

N 取 3 时 森林生态系统多样性丰富度的总指标 (表五)

年份	相关指标	第一次移动平均 值 $M^{(1)}$	第二次移动平均 值 $M^{(2)}$
2000	0.5600		
2001	0.5796		
2002	0.5930	0.5775	
2003	0.6092	0.5939	
2004	0.6257	0.6093	0.5935
2005	0.6567	0.6305	0.6112
2006	0.6851	0.6558	0.6318
2007	0.7141	0.6853	0.6572
2008	0.7436	0.7142	0.6851
2009	0.7738	0.7438	0.7144

$$a_{11}=0.7732$$

$$b_{11}=0.0294$$

$$\mu_{11}=0.8026 \text{ 即 2010 年的森林生态系统多样性丰富度总指标}$$

$$\mu_{12}=0.8320 \text{ 即 2011 森林生态系统多样性丰富度总指标}$$

$$\mu_{13}=0.8614 \text{ 即 2012 森林生态系统多样性丰富度总指标}$$

对未来三年森林生态系统多样性的预测其丰富度上升趋势,

$$X=(0.5600-0.5775)+(0.5600-0.5935)<0$$

$$Y=(0.7738-0.7438)+(0.7738-0.7144)>0$$

$$C=0.0294>0$$

可以看出森林生态系统多样性丰富度对该地区的生物多样性发展基本协调, 可见先阶段指标会保持该生物多样性处发展相对较快水平。

参赛队号#1421

3.1.4.5 森林总蓄积量 (B5)

在最新的森林总蓄积统计中，森林蓄积，疏林蓄积不明显的增减变化，散生木蓄积，四旁树蓄积增加明显，原因由于社会的发展对公路建设相关。

森林总蓄积按组成树种分：松木类，杉木类有所减少，阔叶树类，灌木树种类 765.28 明显增多，原因在于人们对树木价值的利用相关。

3.1.4.6 森林蓄积结构 (B6)

森林林种结构中：防护林面积，占27.80%；蓄积，占37.06%。特用林面积占1.58%；蓄积占5.35%。用材林面积占51.78%；蓄积占57.59%。经济林面积占18.84%。

乔木林树种类型结构 乔木林面积、蓄积按树种类型分：针叶林面积占11.62%；蓄积，占12.83%。阔叶林面积占29.94%；蓄积占21.83%。针阔混交林面积占58.44%；蓄积占65.34%。该区域以阔叶混合林为主体。

对 A2：森林自然度的预测如下表（表六）

当N取3时 森林自然度的总指标（表六）

年份	相关指标	第一次移动平均 值 $M^{(1)}$	第二次移动平均 值 $M^{(2)}$
2000	0.200		
2001	0.135		
2002	0.195	0.176	
2003	0.197	0.175	
2004	0.310	0.234	0.207
2005	0.175	0.227	0.202
2006	0.155	0.213	0.206
2007	0.130	0.153	0.193
2008	0.220	0.168	0.198
2009	0.277	0.209	0.191

$$a_{11}=0.227$$

$$b_{11}=0.018$$

$$\mu_{11}=0.245 \text{ 即 2010 年的森林自然度的总指标}$$

$$\mu_{12}=0.263 \text{ 即 2011 森林自然度的总指标}$$

$$\mu_{13}=0.281 \text{ 即 2012 森林自然度的总指标}$$

对未来三年森林自然度的预测其总指标有上升趋势，

$$X=(0.200-0.176)+(0.200-0.207)<0$$

$$Y=(0.277-0.209)+(0.277-0.191)>0$$

$$C=0.018$$

可以看出森林自然度对该地区的生物多样性发展基本协调，可见先阶段指标会保持该生物多样性处发展相对快的水平。

3.1.4.7 森林龄组结构多样性 (B7)

参赛队号#1421

森林龄组结构多样性测算结果（表七）

龄组	2000年面积 百分比/%	2005年面积 百分比/%	2007年面积 百分比/%	2009年面积百 分比/%	增减
幼龄林	13.2	17.5	26.3	40.65	递增
中龄林	62.5	59.2	51.2	38.65	递减
近熟林	19.2	11.3	16.7	14.34	变化
成过熟林	5.1	12.0	5.8	6.36	变化
合计	100	100	100	100	稳定
指标值	0.707	0.633	0.659	0.678	先减后增

有关森林龄组结构的调查,以幼龄林与中龄林为主体,四阶段从占75.7%,76.7%,77.5%到79.3%,呈增加趋势。成过熟林面积比重很小,且呈下降趋势。主要原因是由于长期不合理采伐,对森林的大量掠夺,造成了成过熟林资源的减少和中幼龄林的增加,森林质量下降,不利于生物多样性保护。森林龄组结构多样性指标值总的呈下降趋势,后期略微回升的趋势。

3.1.4.8森林覆盖率(B8)

森林覆盖率:2000到2009年间呈现先降后增的趋势。主要原因是在20世纪90年代末以来,采伐方式以皆伐为主,造成了20世纪末后期森林覆盖率略有下降。但是2005年以来,转变主伐方式,从皆伐转变为以择伐为主,并且注重迹地的更新,故2005年后森林覆盖率呈增长趋势。总的来说,该局森林覆盖率高,有利于保护森林生物多样性,生物多样性丰富。

对A3:森林分布的预测如下表(表八)

取N=3 森林分布总指标(表八)

年份	相关指标	第一次移动平均 值 $M^{(1)}$	第二次移动平均 值 $M^{(2)}$
2000	0.707		
2001	0.701		
2002	0.696	0.701	
2003	0.679	0.692	
2004	0.651	0.677	0.688
2005	0.633	0.656	0.673
2006	0.646	0.645	0.657
2007	0.659	0.648	0.648
2008	0.661	0.657	0.638
2009	0.678	0.668	0.646

$$a_{11}=0.690$$

$$b_{11} = -0.007$$

$\mu_{11} = 0.697$ 即 2010 年的森林分布的总指标

$\mu_{12} = 0.704$ 即 2011 森林分布的总指标

$\mu_{13} = 0.713$ 即 2012 森林分布的总指标

对未来三年森林自然度的预测其总指标有下降趋势

$$X = (0.707 - 0.701) + (0.707 - 0.688) > 0$$

$$Y = (0.678 - 0.668) + (0.678 - 0.646) > 0$$

$$C = -0.007 < 0$$

可以看出森林分布对该地区的生物多样性发展极不协调，可见先阶段指标会阻滞该生物多样性的发展，只能采取有效措施对森林分布进行调整。

3.1.4.9 外来物种的入侵 (B9)

该区域据统计自2000以来外来入侵动植物升至达9种，其中水生动植物中外来入侵动植物居多，其造成的对森林植被破坏稍有，但对其生态系统，外来物种的入侵带来恶化和生物多样性破坏，也将严重影响生态环境的安全。

3.1.4.10 森林植物物种丰富度 (B10)

经调查，该地区共有植物物种2245种，依相关指标该地区植物物种丰富度指标值为0.686与往年比下降。主要原因还是环境的破坏，以及外来入侵生物对生态系统的破坏。

3.1.4.11 森林植物物种多样性指数 (B11)

选取部分植物多样性较明显的地区进行调查计算得到乔木层、灌木层和草本层的物种多样性指数。

Simpson指数：

$$D = 1 - \sum p_i$$

Pielou均匀度指数

$$E = H / H_{MAX}$$

$$H_{MAX} = \ln S \quad (S \text{ 为群落中的总物种数})$$

森林植物物种多样性指标值 (表九)

项目	层次	植物物种数量	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数	植物物种丰富度指标值
2000	乔木层	6.8	0.288	0.099	0.751
	灌木层	4.5	0.296	0.146	
	草本层	8.6	0.323	0.146	
2005	乔木层	5.8	0.228	0.079	0.716
	灌木层	6.5	0.326	0.156	
	草本层	9.6	0.413	0.196	

参赛队号#1421

2009	乔木层	3.8	0.188	0.069	0.676
	灌木层	7.5	0.396	0.176	
	草本层	11.6	0.513	0.246	

注：表中各指标值为各样地的平均值，

测算森林植物物种多样性指标值。根据乔木层、灌木层和草本层在森林生态系统中生态功能的大小，权重分别0.5，0.3，0.2采用则植物物种多样性指标

2000年，

$$B_{11} = \{ (0.288 + 0.099) \times 0.5 + [1 - (0.296 + 0.146) \times 0.3] + [1 - (0.323 + 0.146)] \} / 3 = 0.751$$

同理得2005年和2009年分别为0.716，0.686。

3.4.12 珍稀植物物种丰富度 (B12)

经调查，地区共有珍稀植物种17种，以长白山自然保护区内珍稀植物种25种为参照值，则珍稀植物物种丰富度指标值为0.7。由此可见，该地区的珍稀植物种类较多，间接反映生态系统的物种多样性也比较丰富。

对A4：森林植物物种多样性丰富度的预测如下表（表十）

取N=3时森林植物物种多样性丰富度总指标（表十）

年份	相关指标	第一次移动平均值 $M^{(1)}$	第二次移动平均值 $M^{(2)}$
2000	0.751		
2001	0.749		
2002	0.747	0.749	
2003	0.736	0.744	
2004	0.724	0.736	0.743
2005	0.716	0.726	0.731
2006	0.707	0.716	0.722
2007	0.696	0.707	0.712
2008	0.689	0.698	0.703
2009	0.676	0.688	0.694

$$a_{11} = 0.682$$

$$b_{11} = -0.006$$

$\mu_{11} = 0.676$ 即 2010 年的森林植物物种多样性丰富度总指标

$\mu_{12} = 0.670$ 即 2011 森林植物物种多样性丰富度总指标

$\mu_{13} = 0.664$ 即 2012 森林植物物种多样性丰富度总指标

对未来三年森林自然度的预测其总指标有下降趋势

$$X = (0.751 - 0.749) + (0.751 - 0.743) > 0$$

$$Y = (0.676 - 0.688) + (0.676 - 0.688) < 0$$

$$C = -0.006 < 0$$

可以看出森林分布对该地区的生物多样性发展不协调，可见先阶段指标会使得该生物多样性处发展缓慢的水平。

模型二 权重分析模型

3.2.1 模型分析

估计某个地区的生物多样性发展情况的问题，对 4 个类目标指标以及其下的 12 个项目指标分别求其对应的权重，用组合赋权法与变异系数法类求出两组数据，将 12 个项目指标归类

3.2.2 模型建立

3.2.2.1 组合赋权法模型建立

$$\text{公式: } w_i = \alpha a_j = (1 - \alpha) b_j$$

如何合理地取值有很多讨论。本研究取如下公式计算：

$$\alpha = \frac{n}{n-1} G_{AHP}$$

$$G_{AHP} = \frac{2}{n} (1 B_1 + 2 B_2 + \dots + n B_n) - \frac{n+1}{n}$$

其中，n 为指标个数，B1、B2、…、Bn

为层次分析法中 W1、W2、…、Wn 各分量从小到大的重新排序。经计算本研究待定系数为 0.30，组合权重的结果。

得到相关权重如下表（表十一）

类目标指标层	权重值	项目指标层	权重值
森林生态系统多样性丰富度	0.40	森林破碎化	0.29
		森林类型多样性	0.40
		公益林占森林总面积比重	0.12
		严重的污染事件	0.19
森林自然度	0.17	森林总蓄积量	0.37
		森林蓄积结构	0.63
森林分布	0.22	森林龄组结构多样性	0.43
		森林覆盖度	0.57
森林植物物种多样性丰富度	0.21	外来物种的入侵	0.25
		森林植物物种多样性	0.35
		植物物种多样性指数	0.25
		珍稀植物物种丰富度	0.15

****项目指标根据组合赋权法求得的权重得出结论****

最高Z1=A1*B2+A2*B6+A3*B8+A4*B10=0.4660

森林类型多样性，森林蓄积结构，森林覆盖度，森林植物物种丰富度是为主要指标

最低Z2=A1*B3+A2*B5+A3*B7+A4*B12=0.2330

公益林占森林总面积比重，森林总蓄积量，森林龄组结构多样性，珍稀植物物种丰富度为调整指标

严重的污染事件，森林破碎化，外来物种的入侵，植物物种多样性指数为协调指标

3.2.2.2 变异系数法模型建立

(1) 构造评价指标特征值矩阵

设有 n= 个类目标指标层，每个类目标指标层的项目指标层有 m 个，则有评价指标特征

$$\text{值矩阵: } X = [X_{ij}]_{m \times n}$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

(2) 计算第 i 项指标的变异系数

$$\partial_i = D / \bar{X}_i$$

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

(3) 计算第 i 项评价指标的权重

$$A_i = \partial_i / \sum_{i=1}^m \partial_i$$

得到相关权重如下表（表十二）

类目标层	权重值	项目指标层	权重值
森林生态系统多样性丰富度A1	0.42	森林破碎化B1	0.19
		森林类型多样性B2	0.41
		公益林占森林总面积比重B3	0.22
		严重的污染事件B4	0.18
森林自然度A2	0.19	森林总蓄积量B5	0.40
		森林蓄积结构B6	0.60
森林分布A3	0.19	森林龄组结构多样性B7	0.30
		森林覆盖度B8	0.70
森林植物物种多样性丰富度A4	0.20	外来物种的入侵B9	0.15
		森林植物物种丰富度B10	0.35
		植物物种多样性指数B11	0.25
		珍稀植物物种丰富度B12	0.25

****变异系数法求得的权重****

最高 $Z_3 = A_1 \cdot B_2 + A_2 \cdot B_6 + A_3 \cdot B_8 + A_4 \cdot B_{10} = 0.4892$ 森林类型多样性，森林蓄积结构，森林覆盖度，森林植物物种丰富度是为主要指标

最低 $Z_4 = A_1 \cdot B_4 + A_2 \cdot B_5 + A_3 \cdot B_7 + A_4 \cdot B_9 = 0.2386$

严重的污染事件，森林总蓄积量，森林龄组结构多样性，外来物种的入侵为调整指标公益林占森林总面积比重，森林破碎化，植物物种多样性指数，珍稀植物物种丰富度为协调指标。

3.2.2.3模型不足

由于时间等诸多原因，还存在以下不足：

指标权重问题。本文确定的指标权重虽有一定依据，但是理由不是很充分。因此，今后需要采用如投影寻踪技术等多种方法测算指标的权重，构建更好的综合指标监测评价相关指标。

3.2.3问题一估计某个地区的生物多样性发展情况：

未来几年森林类型多样性、森林蓄积结构趋势上升，公益林占森林总面积比重、森林总蓄积量趋势减慢，会加快生物多样性发展；森林覆盖度趋势上升以及森林龄组结构多样性趋势下降，会阻滞生物多样性发展森林龄组结构多样性，趋势下降进而会减

慢但不会阻滞该地区生物多样性发展。

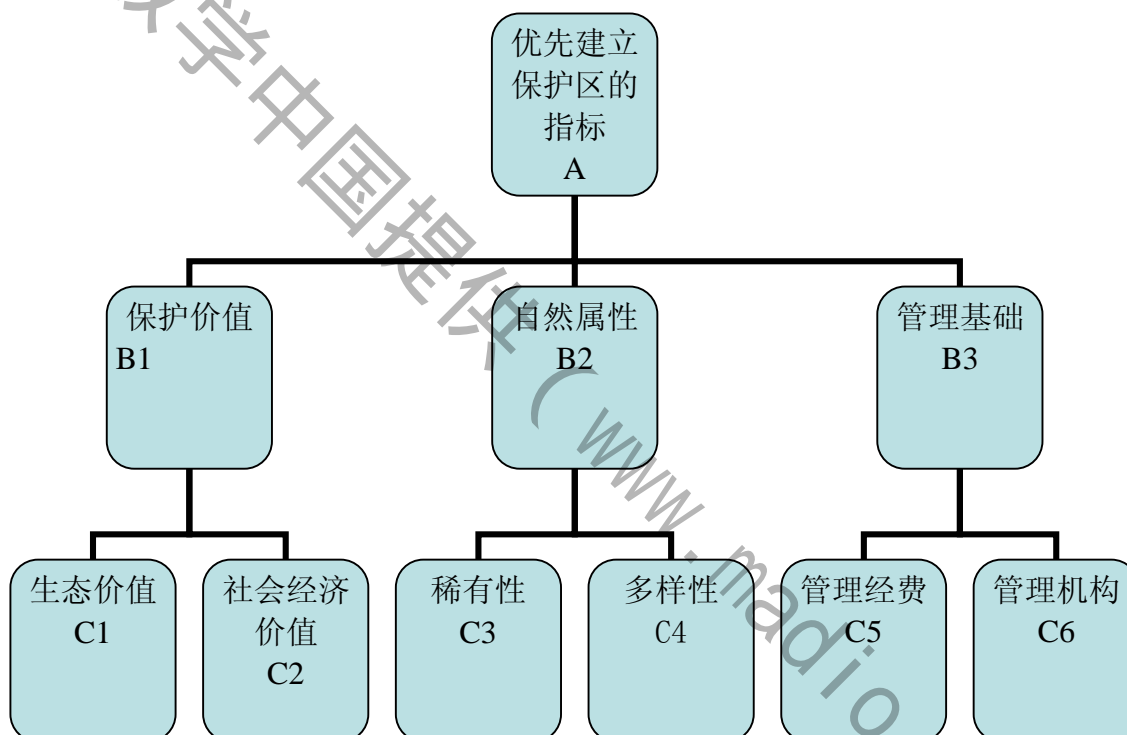
问题二

模型三. 层次分析模型

3.3.1 模型背景

生物多样性保护优先地区的分析一直以来是生物保护专家关注的议题之一，其目的是根据不同的保护目标确定出最有保护价值的地区并设计出它们的优先序列，利用有限的资源保护尽可能多的生物多样性。为了评定优先保护那些地区，本模型在科学性和可操作性原则指导下，通过对自然保护区三层制约因素的分析，得出中间层生物保护价值、生物自然属性、人类管理能力是评定自然保护区的重要准则。运用层次分析模型对最底层生物生态价值、社会经济价值、稀有性、多样性、管理经费、管理机构六个指标进行测定，构建了一套评定优先保护区的指标体系。

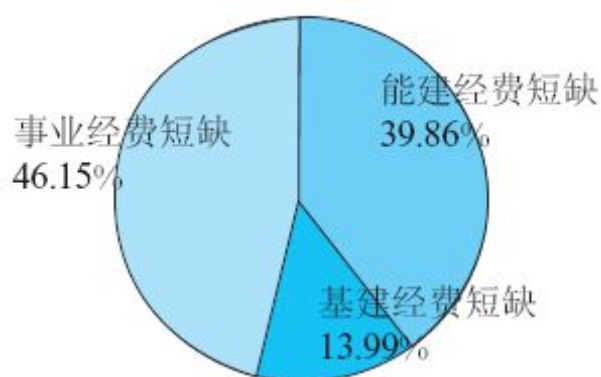
图一 优先保护区评价指标层次结构



3.3.2 制约因素分析

一. 管理基础

(1) 经费方面有不少保护区的经费来源难以得到落实，大多依靠保护区自身筹集资金来实现，保护区建设发展经费投入不足，成为了制约保护区发展的重要瓶颈。自然保护区经费短缺主要集中在事业运行经费、能力建设经费和基础设施建设经费上，分别占了该制约因素的46.15%、39.86%和13.99%。（见图二）



图二

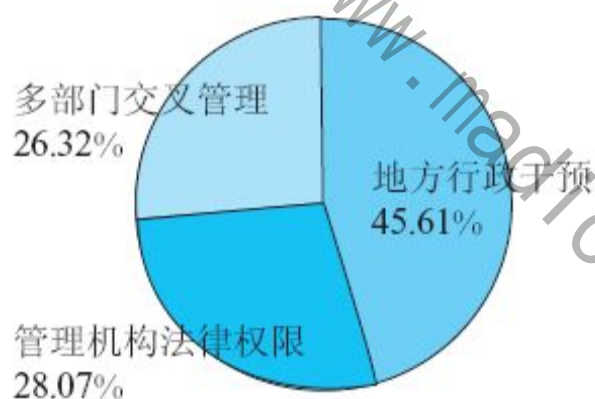
据统计各个国家对保护区的经费投入量有不足见表（十三）：

我国 53 美元/平方公里；发达国家 2058 美元/平方公里；其他发展中国家也有 157 美元/平方公里。

表（十三） 各国对保护区的经费投入

地区	太平洋	欧洲	北美洲	中美洲	东非	非洲西部	东南亚	中国
经费投入	2838	2033	1923	559	257	23	433	52.7

（2）管理机构方面：目前，我国涉及自然保护区管理的法律法规仅有一部于1994年颁布的《自然保护区条例》，由于该条例制定时间较早，部分条款内容已无法适应现阶段保护区的管理。保护区法律与体制缺陷主要表现为地方行政干预较大、管理机构执法权限不够、多部门管理，分别占该制约因素的45.61%，28.07%和26.32%。（见图三）

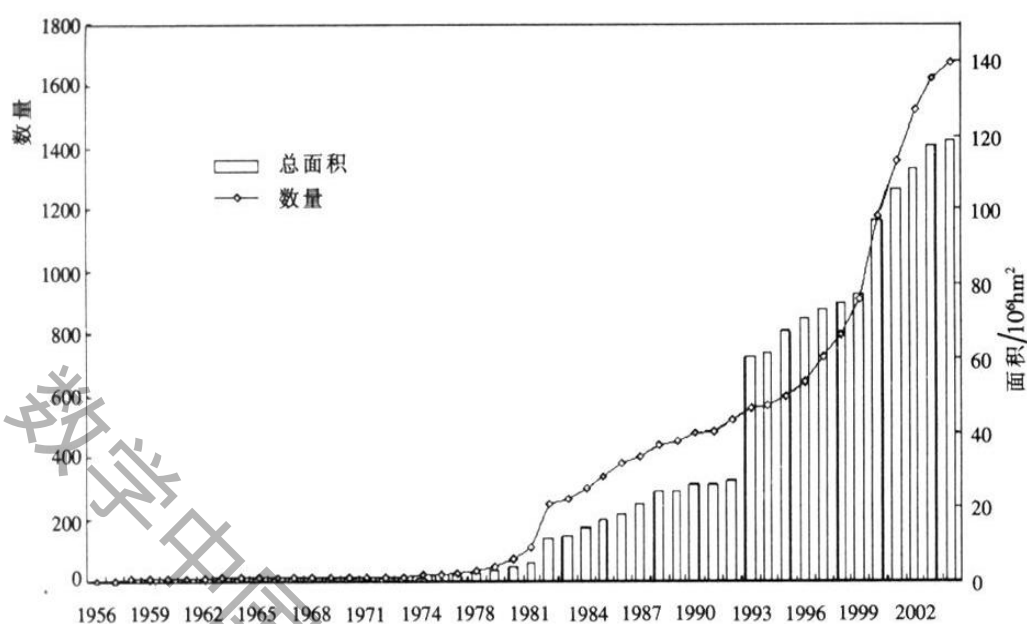


图三

二. 保护价值

据资料统计，从 1956 年至 2002 年，我国林业系统自然保护区数量和面积的发展呈逐渐增长趋势。（见图四）

图四 林业系统自然保护区数量和面积的发展变化



根据九宫山自然保护区数据资料，作出表（十四），可以看出该保护区的生态服务价值比较高，对其建立优先保护区有着重要意义。

表（十四） 各生态价值及生态服务总价值

生产有机物价值	$58.81 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
固碳价值	$108.04 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
释放氧的价值	$107.59 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
涵养水源总价值	$9.30 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
土壤保持总价值	$15.025 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
其余 12 种生态服务价值总和	$195.12 \times 10^6 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$
生态服务总价值	$4.939 \times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$

其中常绿落叶阔叶混交林生态服务价值高达 $3.724 \times 10^8 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ ，占九宫山自然保护区森林植被生态服务总价值的 75.4%；其次是常绿阔叶林，占总价值的 6.29%，黄山松林占总价值的 5.61%，其他森林植被类型均在 3% 以下。（见表十五）

表（十五） 不同森林植被类型的生态服务价值比例

	在森林植被生态服务总价值中的比例
常绿落叶阔叶混交林	75.4%
常绿阔叶林	6.29%
黄山松林	5.61%
其他森林植被类型	均在 3% 以下

三. 自然属性

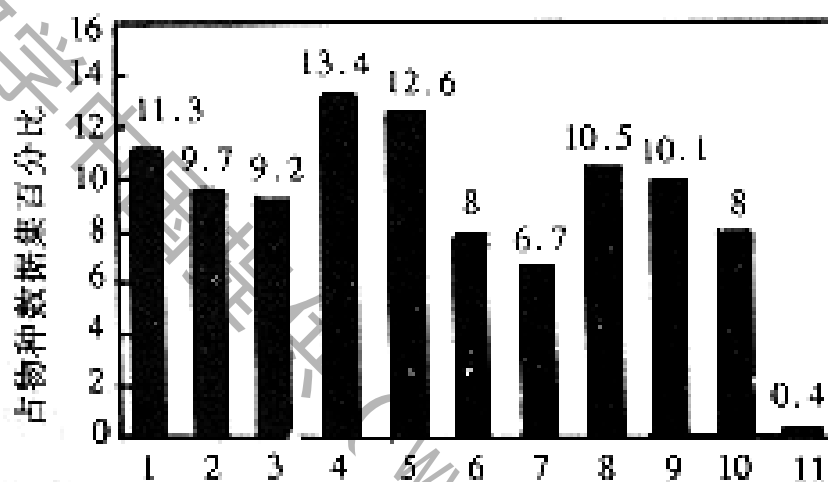
随着全球人口的快速增长和经济的快速发展，自然保护区的生物多样性保护已愈来愈受到国家的重视。加强对稀有生物的保护是保护生物多样性有效途径之一。自然界大量的物种及其栖息地遭到破坏，生物多样性正以前所未有的速度丧失，保护稀有生物和生物多样性已成为人类共同面临的全球性问题，世界各国为此都展开了积极的工作。据统计，目前世界珍稀动物的数量呈下降趋势（见表十六），各种生物类群多样性各具差

异（见图五）。

表（十六）世界珍稀动物数量

塞舌尔鞘尾鼠	少于 50 只
昆士兰毛鼻袋鼠	大约 67 只
爪哇犀	约 50 只
白鳍豚	少于 150 只
黑面狨	不超过 260 只
埃塞俄比亚胡狼子	低于 400 只
曲角羚	不超过 500 只
大熊猫	1000 头

图五 各种生物类群生物多样性数据集分布状况



1.哺乳动物 2.爬行动物 3.两栖动物 4.鱼类 5.鸟类 6.昆虫
7.其他无脊椎 8.高等植物 9.低等植物 10.菌类 11.病毒类

通过图形可得出，在占绝对优势的物种类数据集信息中，除病毒类极少（占 0.4%）外，其余各生物类群的数据集数目都占有一定比例，但也存在一些差别。哺乳动物、鱼类、鸟类、高等植物及低等植物的数据集约占 10%~14%，其它各生物类群约占 6%~10%（图 2）。这表明保护生物多样性对自然保护区有着极其重要的作用。

3.3.3 模型建立与求解

一．构造层次分析模型

根据优先保护区评价指标评，层次结构分为最高层（A 层）、中间层（B 层）和最低层（C 层）3 个层次（见图 1）。

二．构造各层判断矩阵、权重W 的确定各层一致性检验

（1）B层相对于A 层的权重及一致性检验。 B_i 相对于最高层A 的判断矩阵按列归一化：

$D_{ij} = B_{ij} / \sum_j B_{ij}$ ，将得到的矩阵按行求和： $E_i = \sum_j D_{ij}$ 得到E，然后再归一化：

$V_i = E_i / \sum E_i (i=1,2,\cdots,n)$ ，所得的 V_i 即为B 层相对于A 层的权重。

$$B = (B_{ij})_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 0.111 & 0.130 & 0.076 \\ 0.555 & 0.652 & 0.692 \\ 0.333 & 0.217 & 0.230 \end{pmatrix}$$

$$E_i = \begin{pmatrix} 0.317 \\ 1.899 \\ 0.780 \end{pmatrix}$$

$$V_i = \begin{pmatrix} 0.105 \\ 0.637 \\ 0.258 \end{pmatrix}$$

$$(BV)_i = B_j \times V_i = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.105 \\ 0.637 \\ 0.258 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.318 \\ 1.938 \\ 0.786 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^s \frac{(BV)_i}{3 \times V_i} = 3.038,$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.038 - 3}{3 - 1} = 0.019$$

查找相应的平均随机一致性指标RI。对n=1, ..., 15, Saaty 给出了RI 的值, 如

表(十七)所示: $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.019}{0.58} = 0.033 < 0.1$, 可见中间层(B层) 相对于最高层

(A层) 判断矩阵的一致性良好, 因而所得到的指标权重也是令人满意的。

表5 随机一致性指标值(十七)

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

(2) C层相对于B层的权重及一致性检验。建立起C 层相对于B 层的判断矩阵 B_i 后, 用上述同样的计算方法可得出最低层C 层相对于B 层的权重 N_i 及一致性指标CR。

$$B1 = (C_{ij})_{2 \times 2} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B2 = (C_{ij})_{2 \times 2} = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B3 = (C_{ij})_{2 \times 2} = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$N1 = (0.667, 0.333)^T, \lambda_{\max} = 2, CI = 0, CR = 0 < 0.1;$$

$$N2 = (0.333, 0.667)^T, \lambda_{\max} = 2, CI = 0, CR = 0 < 0.1$$

$$N3 = (0.750, 0.250)^T, \lambda_{\max} = 2, CI = 0, CR = 0 < 0.1;$$

(3) 最低层 C_i 层相对于最高层A 层的权重 W_i 的确定。

$$W_i = \begin{pmatrix} 0.667 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0 \\ 0 & 0.667 & 0 \\ 0 & 0 & 0.750 \\ 0 & 0 & 0.250 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.105 \\ 0.637 \\ 0.258 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0700 \\ 0.0350 \\ 0.2121 \\ 0.4249 \\ 0.1935 \\ 0.0645 \end{pmatrix} \quad \text{可以得出C层总排序权重及}$$

位次，如表（十八）

表（十八） C层总排序权重及位次

C层名称	C1	C2	C3	C4	C5	C6
权重	0.070	0.035	0.212	0.424	0.193	0.064
位次	4	6	2	1	3	5

3.3.4模型三结论

问题二中依据层次分析模型，综合各方面因素，评定应该优先保护哪些地区得出的结论：通过计算得到层次权重排列前三位的指标依次为多样性、稀有性、管理经费。分析结果突出了保护珍稀濒危生物，经检验各层判断矩阵总排序一致性比例CR 均 < 0.10 ，层次总排序一致性比例远小于0.10，表明各层排序结果具有高的一致性并接受该分析结果，因而所得到的遗传损失、多样性、国家投入的管理经费等的重要性，这些指标是评价优先保护区或优先保护小区价值的大小的指标。权重也是令人满意的（见表十八）。

四. 参考文献

- [1] 李建明, 曲成毅, 刘庆欧. 主客观赋权合成指标权重及其在公共卫生综合评价中的应用[J] 数学的实践与认识, 2007. 5
- [2] 时光新, 王其昌, 刘建强. 变异系数法在小流域治理效益评价中的应用[J] 水土保持通报, 2000. 6
- [3] 曾志新, 罗军, 颜立红等. 生物多样性的评价指标和评价标准[J] 湖南林业科技, 1999. 2:26-29
- [4] 层次分析法在综合评分中的应用[J] 农业技术经济. 1988. 7:6-8
- [5] 刘世荣, 森林生物多样性监测评价指标系统构建. 见: 中国林学会森林生态分会编. 森林生态学论坛. 北京: 中国农业科技出版社, 1999:222-228
- [6] 李迪强, 宋延龄. 热点地区与 GAP 分析研究进展[J]. 生物多样性, 2000, 8(2):208-214
- [7] 马克平. 中国生物多样性热点地区评估与优先保护重点的确定应该重视[J]. 植物生态学报, 25(1):125-126
- [8] 汤萃文, 孙学刚, 肖笃宁. 甘肃省中国种子植物特有属物种多样性保护优先地区分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(10):1127-1133
- [9] 国家环境保护局. 中国生物多样性保护行动计划[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994

《关于评定自然保护区优先保护的报告》

一 问题背景

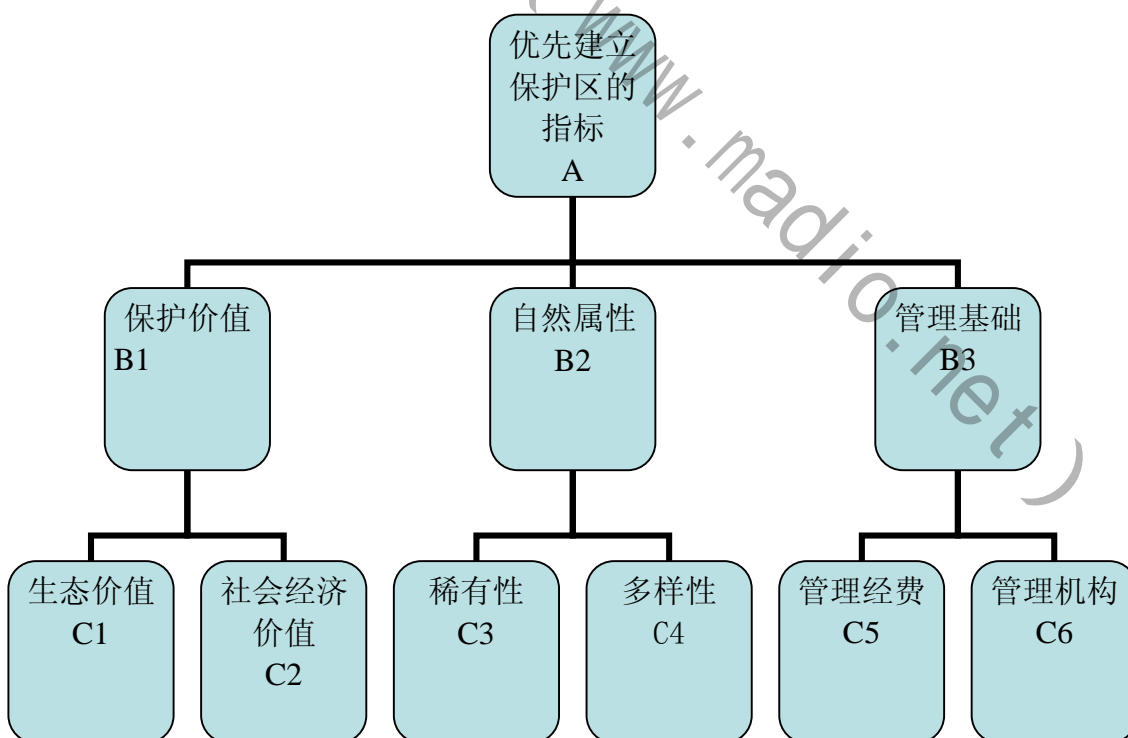
生物多样性优先保护地区的分析一直以来是生物保护专家关注的议题之一，其目的是根据不同的保护目标确定出最有保护价值的地区并设计出它们的优先序列，以及利用有限的资源保护尽可能多的生物多样性。选取优先自然保护区，将所能得到的相关要素进行分析，因此评价指标的选取非常关键，要尽量在主要因素中经过综合分析、判断，逐级筛选出最重要、最灵敏、最具概括性而又简洁易度量的概念或参数作为评价指标，才能达到在同一评价标准下比较不同地区自然保护区的发展状况。

二 模型分析

为了评定优先保护那些地区，层次分析模型在科学性和可操作性原则指导下，通过对自然保护区三层制约因素的分析，得出中间层生物保护价值、生物自然属性、人类管理能力是评定自然保护区的重要因素。运用层次分析模型对最底层生物生态价值、社会经济价值、稀有性、多样性、管理经费、管理机构六个指标进行测定，构建了一套评定优先保护区的指标体系。层次分析模型就是将目标分解成各个小的因素。采用了层次分析法来评定优先保护的地区，所谓层次分析法，就是对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化，从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法，这是一种层次权重决策分析方法。简单地说，层次分析法就是一种定量与定性相结合，将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法。

三 思路步骤

1. 确定优先保护区评价指标层次结构，画出框架。



2. 通过对保护区系统的深刻认识，确定该系统的总目标，弄清规划决策所涉及的范围、所要采取的措施方案和政策、实现目标的准则、策略和各种约束条件等，广泛地收集信息。

3. 模型建立与求解

参赛队号#1421

(1) 建立一个多层次的递阶结构，按目标的不同、实现功能的差异，将系统分为几个等级层次。例如：图 1 就是以递阶层次表示的保护区的指标一般结构。根据优先保护区评价指标评，层次结构分为最高层（A 层）、中间层（B 层）和最低层（C 层）3 个层次（见图 1）。

(2) 确定以上递阶结构中相邻层次元素间相关程度称计算标度即各层指标对整体评价中的相对重要程度（即 B 层对 A 层，C 层对 B 层）。通过将对应标度构造两组判断矩阵及相关矩阵运算，来确定对于上一层的某个元素而言，本层次中与其相关元素的重要性排序--相对权值。

(3)，对 C 层相对 B 层进行进行层次总排序即计算同一层所有因素对总目标相对重要性排序权值的过程，该过程是从最高层到最底层逐层进行的，对 C 层相对 B 层进行总排序一致性检验，以确定递阶结构图中最底层各个元素的总目标中的重要性程度。

(4) 分析结果突出了保护珍稀濒危生物，经检验各层判断矩阵总排序随机一致性比率 CR 均 < 0.10 ，层次总排序一致性比率远小于 0.10 ，表明各层排序结果具有高的一致性并接受该分析结果。因而得到遗传损失、多样性、国家投入的管理经费等的重要性，这些指标是评价优先保护区或优先保护小区价值的大小的一个重要指标。权重也是令人满意的。

C层名称	C1	C2	C3	C4	C5	C6
权重	0.070	0.035	0.212	0.424	0.193	0.064
位次	4	6	2	1	3	5

四 层次分析模型的优点：

- 1) 面对具有层次结构的整体问题综合评价，采取逐层分解，变为多个单准则评价问题，在多个单准则评价的基础上进行综合；
- 2) 为解决定性因素的处理及可比性问题，Saaty 建议：以“重要性”（数学表现为权值）比较作为统一的处理格式，并将比较结果按重要程度以 1 至 9 级进行量化标度。
- 3) 检验与调整比较链上的传递性，即检验一致性的可接受程度；
- 4) 对汇集全部比较信息的矩阵集，使用线性代数理论与方法加以处理，挖掘出深层次的、实质性的综合信息作为决策支持。

论文运用层次分析模型解决问题遵循了可操作性、科学性、合理性原则。分三个层次，提出的自然保护区优先保护指标体系，对评定自然保护区优先保护问题有一定的指导意义，更利于建立自然保护区的可持续发展。