

# 防护林体系空间配置优化系统的研究与应用

王春玲 王 鹏

(北京林业大学信息学院)

**摘要:**该文分析了防护林体系空间配置研究现状中存在的问题,以智能优化防护林体系空间配置为思想,结合计算机技术和层次分析法,根据信息系统的理论,在 Microsoft·net 平台下研究并实现了防护林体系空间配置优化系统。该系统结合层次分析法的基本步骤,以向导的方式,提示用户按照设定的步骤,并结合应用区域的实际情况和专家经验,完成防护林体系空间配置的优化。为进一步验证系统的功能,应用该系统对华北土石山区半城子流域的防护林体系空间配置进行了优化,结果表明,该系统具有功能设计合理、界面友好、操作简便等显著特点,并具有较好的应用价值。该系统为防护林体系空间配置研究向智能化、高效化方向迈进奠定了基础。

**关键词:**防护林体系;空间配置;智能优化;层次分析法

**中图分类号:**S759.2      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-1522(2008)04-0126-05

WANG Chun-ling; WANG Peng· **Research and application of the spatial allocation optimization for protection forest system**· *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(4) 126-130 [Ch, 10 ref.] College of Information, Beijing Forestry University, 100083, P.R.China.

Literature review was conducted on the spatial allocation of protection forest system. Based on information system theory, an optimization system for spatial allocation of protection forest system was successfully implemented. Focusing on intelligentized optimization of spatial allocation of protection forest, this system was developed under the platform of Microsoft·net with analytic hierarchy process and latest computer technology. Coupling with expert experience and local conditions, the optimization system followed standard procedures of analytic hierarchy process and guided the users step by step to achieve optimization of spatial allocation of protection forest system. In order to verify all functions of this optimization system, a case study was conducted at Banchengzi watershed in earth-rock mountainous region in northern China. Study results show that the optimization system meets the general application requirements and has user-friendly interface for easy application. This system provides a useful tool for researches on spatial allocation of protection forest system with intelligent and efficient optimization purposes.

**Key words** protection forest system; spatial allocation; intelligentized optimization; analytic hierarchy process

防护林是以森林的生态服务功能即防护效益为基本经营目标的森林类型<sup>[1]</sup>。防护林体系空间配置研究是防护林学研究的一项重要内容。防护林体系空间配置是指防护林体系的土地利用结构、林种结构和林分系统的空间布局<sup>[2]</sup>。防护林体系的空间配置是影响防护林防护效益发挥的关键因素,因此,经营防护林的最主要的目标就是调控其空间配置使之尽可能达到最优。

目前,对于防护林体系空间配置优化的研究多

关注在其林种、树种或林分所占的面积比例上,而对于空间配置优化采用的方法则存在很多种,包括理论和经验相结合的方法、层次分析法、多目标灰色局势决策法、数量化理论法、聚类分析法、综合评价模型、目标规划模型及专家系统等方法<sup>[3-6]</sup>。由此可见,由于不同研究区域的经营目的、立地类型各不相同,在进行防护林体系空间配置的优化时所选用的林种、树种也各不相同,因而并没有一个通用的防护林体系空间配置的优化方法,而且对于空间配置的

收稿日期:2008-01-01

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

**基金项目:**“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A02)、北京市科委博士论文资助专项基金(ZZ0718)。

**第一作者:**王春玲,博士生,讲师。主要研究方向:林业信息技术。电话:15811372238 Email: wangchl@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京林业大学信息学院

优化也仅仅是停留在手工计算上,不仅花费的时间长、计算的精度低,而且重复的工作量很大,在人力、物力、财力上都造成了很大的浪费。

在对以往研究进行充分分析的基础上,可以得出:在防护林体系空间配置的众多优化方法中,层次分析法是使用较为广泛、优化结果也较为合理的一种方法。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 最突出的优点是可以处理定性和定量相结合的问题,可以将决策者的主观判断与政策经验导入模型,并加以量化处理,从本质上讲是一种科学的思维方式。它把复杂问题分成若干组成因素,又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构,然后将这些因素用两两比较的方法确定层次中诸因素的相对重要性,再综合决策者的判断,确定方案中相对重要性的总排序<sup>[7]</sup>。

本文将计算机技术应用于防护林体系空间配置的优化中,研究并建立防护林体系空间配置优化系统,可以充分利用数据库强大的数据存储空间,对纷繁复杂的各类数据进行输入、存储、修改、删除等统一、有效的管理;利用计算机快速、准确的计算能力,对防护林空间配置进行各植被类型比例和各树种比例的优化计算;利用系统的友好界面,用户根据实际

需要可以对高效空间配置所需林种、树种进行选择或添加,对各植被类型、树种的相对重要性判断值 (即权重) 进行输入,构造出判断矩阵;可以及时地进行层次单排序、总排序,并做出一致性检验。这就使得防护林体系低效的手工优化变为高效的计算机优化,既可以使更多的专家参与优化决策,增加了科学民主气氛,又可以针对不同地区的防护林进行优化,突出了地域特性,使得优化方法的通用性和实用性大大提高,从而实现防护林体系空间配置优化向智能化、高效化方向迈进,为推动防护林体系经营理论的向前发展奠定基础。

### 1 系统的设计与实现

本文以智能优化防护林体系空间配置为思想,结合计算机技术和层次分析法,根据信息系统理论<sup>[8]</sup>,在 Microsoft . net 平台上采用 VB 语言,并结合 SQL Server 2000 设计并实现了防护林体系空间配置优化系统。系统主要是结合层次分析法的基本步骤,以向导的方式,提示用户按照设定的步骤,并结合应用区域的实际情况和专家的经验,完成防护林体系空间配置的优化。系统的结构图如图 1 所示。

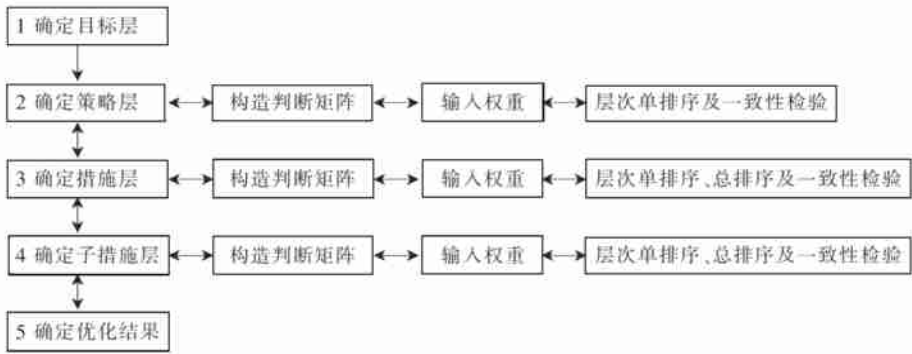


图 1 防护林体系空间配置优化系统的结构图

FIGURE 1 The structure of spatial allocation optimization for protection forest system

合理的森林类型、树种的面积比例是防护林体系发挥最佳效益的前提。本系统根据层次分析法思想,对高效防护林体系空间配置与森林类型、树种的面积比例的内在联系进行系统分析,将系统分为 5 个步骤:

- 1) 确定防护林体系空间配置优化的目标层,即防护林体系的总效益——高效防护林体系。
- 2) 确定防护林体系空间配置优化的策略层,即防护林体系的分效益——生态效益、经济效益和社会效益。由于不同地区的防护林体系的经营目的不同,防护林体系所发挥的主要作用也有所不同,因此对这三大效益可以进行有目的的选择。在确定了分效益的同时,就可以对分效益相对于总效益的重要

性进行决策,即输入相应的权重,并进行层次单排序及一致性检验。如果一致性检验的结果不满意,还可以重新对权重进行调整,直到满意为止。

- 3) 确定防护林体系空间配置优化的措施层,即防护林体系的森林类型。针对防护林体系本身的特点,本系统中预设了一些森林类型,如针叶林、阔叶林、针阔混交林(以下简称混交林)等。同样,对于森林类型也可以进行选择、添加、删除等操作。在确定了森林类型以后,要进行措施层各元素相对于策略层的各元素、策略层总体的重要性的决策,即输入相应的权重,并进行层次单排序、总排序及一致性检验。如果一致性检验的结果不满意,可以重新对权重进行调整,直到满意为止。

4) 确定防护林体系空间配置优化的子措施层,即防护林体系的树种。其具体功能与 3) 相类似。

5) 生成优化结果,即高效防护林体系空间配置的森林类型的面积比例以及树种的面积比例。结合专家的经验以及生产部门的实际情况,如果对于优化的结果不满意,可以返回到上一步或多步进行重新优化,直到对优化结果满意为止。

构造判断矩阵是层次分析法的基础。判断矩阵表示针对上一层次某元素,本层次有关元素之间的相对重要性。假定 A 层中元素  $A_k$  与下一层次中元素  $B_1, B_2, \dots, B_n$  有联系,构造的判断矩阵取如下形式:

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

式中,  $b_{ij}$  表示对于  $A_k$  而言,  $B_i$  对  $B_j$  相对重要性的数值表现,通常  $b_{ij}$  取 1, 2,  $\dots$ , 9 及其倒数,其含义如下:

1 表示两个因素相比,一个因素和另一个因素同等重要。

3 表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要。

5 表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要。

7 表示两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要。

9 表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要。

2、4、6、8 表示上述两相邻判断的中值。

倒数表示若因素  $i$  与  $j$  比较的判断为  $b_{ij}$ , 则因素  $j$  与  $i$  比较的判断  $b_{ji} = 1/b_{ij}$ 。

这里,两个因素相比是指列因素比行因素。显然,任何判断矩阵都应满足:

$$b_{ii} = 1$$
$$b_{ij} = 1/b_{ji} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

因此,对于  $n$  阶判断矩阵仅需要对对角线一侧的元素给出数值即可。

本系统具有两个突出特点:一是智能化。行业专家或实际生产者可以直接参与优化的决策,生成多种优化结果,且操作简单,计算的速度快、精度高。二是通用性。本系统不仅是一个通用的防护林体系空间配置优化系统,同时也可以作为其他林种(如经济林、用材林等)的空间配置优化系统,同样可以应用于利用层次分析法解决各类优化问题。系统中可以对目标层、策略层、措施层、子措施层进行已有项目的选

择,也可以添加新的项目、删除已有的项目,从而实现动态的构建层次分析法的层次结构模型。

2 系统的应用与分析

2.1 研究区现状

华北土石山区主要分布在太行山脉的永定河上游、漳卫河上游、滦沱河和大清河流域山区及燕山山脉的滦河、潮白河流域山区,面积 8.92 万  $\text{km}^2$ 。本区域林龄结构中,中幼龄林比重大,近熟、成熟林少,且林种、树种的空间分布结构极不合理,不利于华北森林资源和区域经济的持续发展。

潮白河流域山区是华北土石山区的典型代表地区,而北京山区的半城子流域是潮白河流域的典型流域,同时也是北京地区重要的水源区。半城子村位于密云县北部山区,密云水库北部的牯牛河流域上游的半城子水库周边(117°02'00"E、40°37'30"N),属于密云水库二级保护区,控制牯牛河上游 66.1  $\text{km}^2$  的流域。该村属于北京市贫困村之一。

根据对半城子流域 2005 年二类调查数据进行分析,发现半城子流域防护林体系主要存在以下问题:

1) 森林类型的面积比例不合理。植被类型的分布多为纯林,针叶林占 39.3%,混交林占 23.6%,阔叶林占 13.7%,灌木林占 11.5%,经济林占 10.5%,其他(未成林造林地和宜林地)占 1.4%。

2) 人工林地面积中,中、幼龄林面积占 92.5%,近熟林仅占 7.5%,没有成熟林。抚育管理任务艰巨。

3) 林种的总体结构大体合理与局部的不合理并存。现有林种中水源涵养林占 84.4%,经济林占 12.0%,一般用材林占 2.4%,环境保护林占 1.2%。其中经济林树种只有板栗(*Castanea mollissima*),且全部为幼树。

4) 树种资源贫乏,以油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、柞树(*Quercus mongolica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacis*)、落叶松(*Larix gmelinii*)、杨树(*Populus sp.*)为主,其中优势树种中油松占 33.9%、侧柏占 33.7%、柞树占 22.5%、刺槐占 3.8%、落叶松占 3.3%、杨树占 2.7%。面积达 5% 以上的树种仅有油松、侧柏和柞树 3 个树种,且这 3 个树种的总面积达 90%。

为实现半城子流域防护林体系的可持续经营利用,应及时优化现有的空间配置结构,尤其是森林类型的面积比例,使之趋于合理。不仅要充分发挥其防护功能,也应考虑利用库区的小气候环境,发展部分经济林,使该区人民尽快脱贫致富<sup>[9-10]</sup>。

2.2 层次结构模型

根据半城子流域的实际情况,本文在构建层次

模型结构过程中,重点考虑的问题如下:

- 1)高效防护林体系空间配置以发挥防护林体系的防护效益(生态效益)最大为主要目标,兼顾经济效益和社会效益的持续增长。
- 2)在该区防护林体系的建设中应大力发展针阔混交林。
- 3)树种主要选择的是乡土树种,一方面造林最可靠,另一方面种源也有保证。
- 4)适当增加经济树种,如核桃(*Juglans regia*)等,不但可以增加经济收入,同时也能达到水源涵养和水土保持的目的。

根据以上分析,构建半城子流域防护林体系空间配置的层次结构模型如图 2 所示。

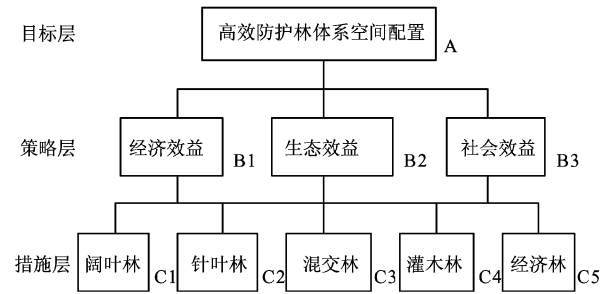


图 2 层次结构模型  
FIGURE 2 The hierarchical model

2.3 优化结果与分析

依据前面构建的半城子流域防护林体系空间配置优化的层次结构模型,通过征求专家和流域实际

工作人员的意见,并结合该区调查和科研成果,采用 9 分制;对各元素的相对重要性进行评价,得到每一层次元素相对于上一层次各元素重要性比较的判断矩阵,并进行层次单排序、总排序及一致性检验。由于篇幅有限,这里仅列出 A~B 层的判断矩阵、层次单排序及一致性检验的系统运行结果(图 3)。

从图 3 中可以看出,半城子流域防护林体系建设的总目标是以生态效益为第一位(占 65.22%),经济效益作为第二目标(占 23.08%)来考虑,同时也要使防护林体系建设发挥一定的社会效益(占 11.11%),这一结果符合半城子流域防护林体系的建设和造林营林的原则。

通过系统对半城子流域防护林体系空间配置的优化,可以得出以下森林类型的面积比例:针叶林占 21.5%,混交林占 41.2%,阔叶林占 16.0%,灌木林占 13.2%,经济林占 8.1%。森林类型的面积比例现状与优化结果如表 1 所示。

表 1 森林类型的面积比例现状与优化结果 %

TABLE 1 The status and optimization results of vegetation types structure

	针叶林	混交林	阔叶林	灌木林	经济林
现状	39.3	23.6	13.7	11.5	10.5
优化结果	21.5	41.2	16.0	13.2	8.1

注:现状中的其他土地占 1.4%。

从现状和优化结果的比较中不难看出,针叶林的比例减少了约 45%,经济林的比例减少了约 23%;灌木林、阔叶林的比例也有小幅度的提高;混



交林的比例提高了约 75%。结合半城子流域实际的立地情况,本文的优化结果是可行的。优化后的结果与现状相比,主要解决了以下问题:

- 1)森林类型的面积比例趋于合理。混交林的比例得到了提高,纯林的比例大幅度减少。
  - 2)林种的局部不合理得到改善。在经济林种中增加了核桃等经济树种。
  - 3)树种资源进一步丰富。通过纯林比例的减少、混交林比例的提高,可使树种资源得到进一步丰富。
- 因此,半城子流域防护林体系空间配置优化后的结果更符合当地目前的实际情况,对该流域防护林体系的经营具有实际的指导意义。

3 结 论

本系统是以层次分析法为理论依据,以先进的计算机技术(Microsoft·net 平台、VB 语言、SQL Server 2000 数据库管理系统等)为工具,并结合防护林体系空间配置优化的特点和生产实践的要求,设计完成的,是一个直接为防护林体系空间配置优化决策服务的计算机应用软件。应用该软件,对华北土石山区典型流域——半城子流域的防护林体系空间配置进行了优化,优化的结果与研究区域的实际情况基本吻合,得到了使用单位的肯定。这也表明了系统具有良好的可操作性和实用性。总之,本系统的界面友好、设计合理、操作简便、运行可靠、维护方便,基本达到了防护林体系空间配置优化的要求。

本文将智能优化防护林体系空间配置的思想应用于防护林体系空间配置的优化过程中,其工作还只是一个起步。围绕防护林体系经营的特点和计算机软硬件的发展,还需进一步完善系统的功能,如对优化结果的定量评价、将优化的结果与 GIS 技术相结合进一步落实到具体的经营单位、以可视化的方式将防护林体系空间配置的调整过程显示出来等。

参 考 文 献

[ 1 ] 姜凤岐,朱教君,曾德慧,等. 防护林经营学[M]. 北京:中国林业出版社,2003.

JIANG F Q,ZHU J J,ZENG D H, et al. *Management for protective plantations*[M]. Beijing:China Forestry Publishing House, 2003.

[ 2 ] 饶良懿,朱金兆. 防护林空间配置研究进展[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):102-106.

RAO L Y,ZHU J Z. Advance of spatial allocation for protection forest[J]. *Science of Soil and Water Conservation*,2005,3(2):102-106.

[ 3 ] 宋西德,罗伟祥,侯琳. AHP 法在防护林体系优化结构研究中的应用[J]. 西北林学院学报,1997,12(4):41-47.

SONG X D,LUO W X,HOU L. On optimum structure of an eco-economical type of protection forest system on Weiwei Loess Plateau [J]. *Journal of Northwest Forestry College*,1997,12(4):41-47.

[ 4 ] 高甲荣,刘德高,吴家兵. 密云水库北庄示范区水源保护林林种配置研究[J]. 水土保持学报,2000,14(1):12-19.

GAO J R,LIU D G,WU J B. Collocation of forest types of watershed protection forest in Beizhuang Demonstration Region of Miyun Reservoir[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2000,14(1):12-19.

[ 5 ] 孙枫,李生宝,蒋齐. 宁夏盐池沙区生态经济型防护林体系林种树种优化比例研究[J]. 林业科学研究,2003,16(4):459-464.

SUN F,LI S B,JIANG Q. Study on forest type/tree species structure optimization of Yanchi sandy area eco-economical shelterbelt system in Ningxia[J]. *Forest Research*,2003,16(4):459-464.

[ 6 ] 朱金兆,魏天兴,张学培. 基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5/6):5-13.

ZHU J Z,WEI T X,ZHANG X P. Arrangement of protective forest system in Gullied-hilly Loess Area based on water balance [J]. *Journal of Beijing Forestry University*,2002,24(5/6):5-13.

[ 7 ] 洪毅,林健良,陶志穗. 数学模型[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

HONG Y,LIN J L,TAO Z S. *Mathematical model*[M]. Beijing: Higher Education Press,2004.

[ 8 ] 姜同强. 信息系统分析与设计教程[M]. 北京:科学出版社,2004.

JIANG T Q. *Information system analysis and design*[M]. Beijing: Science Press,2004.

[ 9 ] 孙鹏森,马履一,蔡永茂. 京北山区水源保护林的现状与发展策略[J]. 北京林业大学学报,1999,21(6):58-64.

SUN P S,MA L Y,CAI Y M. Present situation and development strategy of water conservation forests in North Beijing Mountain Area [J]. *Journal of Beijing Forestry University*,1999,21(6):58-64.

[ 10 ] 高甲荣. 北京密云水库集水区水源保护林建设与发展对策[J]. 水土保持通报,1999,19(5):1-6.

GAO J R. Construction and countemeasures of water protection forest in Miyun Reservoir Watershed of Beijing City[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*,1999,19(5):1-6.

(责任编辑 冯秀兰)