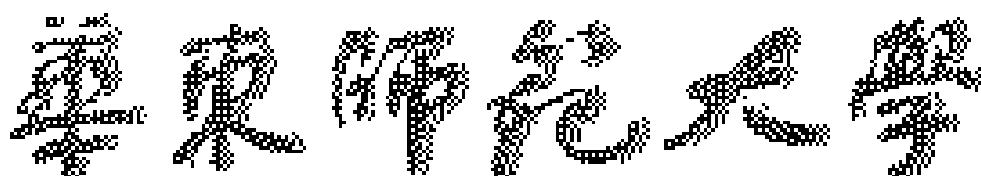


2005 届研究生硕士学位论文

学校代码：10269

学 号：YS02165002



基于 GIS 下宁波天童森林生态系统服务功能价值评估研究

院 系：资源与环境学院环境科学系

专 业：生 态 学

研 究 方 向：城 市 生 态 学

指 导 教 师：由 文 辉 教授

戚 仁 海 讲师

硕士研究生：胡 艳 琳

2005 年 5 月

Master Thesis, 2005.

University code: 10269

Student number: YS02165002

# **East China Normal University**

## **The valuation of Tiantong forest ecosystem service functions based on GIS in Ningbo**

Department & School: Dept. of Environmental Science

Major: Ecology

Research field: Urban Ecology

Supervisor: Professor Wenhui You

Lecturer Renhai Qi

Applicant: Yanlin Hu

Completed in May, 2005, Shanghai

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是我在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示谢意。

作者签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

### (2) 授权使用声明

本声明由论文作者、导师亲笔签名。

声明内容：

本人完全了解华东师范大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅。有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

日期：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_

学位论文作者签名：

导师签名：

## 胡艳琳 硕士学位论文答辩委员会成员名单

| 姓名  | 职称  | 单位     | 备注 |
|-----|-----|--------|----|
| 宋永昌 | 教授  | 华东师范大学 | 主席 |
| 陈小勇 | 教授  | 华东师范大学 |    |
| 王开运 | 教授  | 华东师范大学 |    |
| 达良俊 | 教授  | 华东师范大学 |    |
| 王希华 | 副教授 | 华东师范大学 |    |
|     |     |        |    |
|     |     |        |    |

# 基于 GIS 下宁波天童森林生态系统服务功能价值评估研究

## 目 录

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 中文摘要                               | i   |
| 英文摘要                               | iii |
| 第一章 前言                             | 1   |
| 1.1 相关概念                           | 2   |
| 1.1.1 森林生态系统服务功能                   | 2   |
| 1.1.2 地理信息系统                       | 3   |
| 1.1.3 森林生态系统服务功能评估的 GIS 空间分析       | 4   |
| 1.2 森林生态系统服务功能及其价值评估的研究进展          | 4   |
| 1.3 GIS 空间分析应用于森林生态系统服务功能及其价值评估现状  | 5   |
| 1.4 研究目的与主要研究内容                    | 6   |
| 1.4.1 研究目的                         | 6   |
| 1.4.2 主要内容                         | 8   |
| 第二章 研究区域概况与研究方法                    | 9   |
| 2.1 研究区域概况                         | 9   |
| 2.1.1 地质构造                         | 9   |
| 2.1.2 河流                           | 10  |
| 2.1.3 气候                           | 10  |
| 2.1.4 土壤                           | 10  |
| 2.1.5 旅游资源                         | 10  |
| 2.1.6 森林资源                         | 10  |
| 2.2 研究方法                           | 16  |
| 2.2.1 资源调查                         | 16  |
| 2.2.2 评估方法的确定                      | 16  |
| 2.2.3 技术路线                         | 16  |
| 第三章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估 GIS 系统的建立   | 18  |
| 3.1 森林生态系统服务功能价值评估系统的建立的目的与原则      | 18  |
| 3.1.1 目的                           | 18  |
| 3.1.2 系统的设计原则                      | 18  |
| 3.2 系统软件与硬件的选配                     | 18  |
| 3.2.1 软件配置                         | 18  |
| 3.2.2 硬件配置                         | 19  |
| 3.3 数据的采集                          | 19  |
| 3.4 空间数据的处理                        | 20  |
| 3.4.1 数据分类                         | 20  |
| 3.4.2 图形清绘                         | 21  |
| 3.5 数据的输入、编辑及系统的生成                 | 21  |
| 第四章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估指标体系及评估方法的确定 | 22  |
| 4.1 森林生态系统服务功能价值评估指标体系的构建          | 22  |
| 4.1.1 森林生态系统服务功能的分类                | 22  |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 4.1.2 评估指标的筛选—————               | 22 |
| 4.2 评估方法的确定—————                 | 23 |
| 4.2.1 评估方法的介绍—————               | 23 |
| 4.2.2 天童森林生态系统服务功能价值评估方法的确定————— | 26 |
| 第五章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估系统功能分析 ——— | 40 |
| 5.1 森林生态系统服务功能价值的 GIS 空间分析 ———   | 40 |
| 5.1.1 经济价值的 GIS 空间分析—————        | 40 |
| 5.1.2 生态价值的 GIS 空间分析—————        | 41 |
| 5.1.3 社会价值的 GIS 空间分析—————        | 44 |
| 5.1.4 小结 —————                   | 45 |
| 5.2 宁波天童森林生态系统服务功能的价值补偿—————     | 48 |
| 5.2.1 价值补偿的内涵—————               | 48 |
| 5.2.2 宁波天童森林生态系统服务功能的价值补偿方法————— | 48 |
| 5.2.3 小结 —————                   | 49 |
| 5.3 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估系统的功能————— | 50 |
| 5.3.1 数据的输入和编辑—————              | 50 |
| 5.3.2 空间信息的分析功能—————             | 51 |
| 5.3.3 其他功能—————                  | 56 |
| 第六章 结论与展望 —————                  | 58 |
| 6.1 结论—————                      | 58 |
| 6.2 展望—————                      | 59 |
| 参考文献—————                        | 60 |

致谢

# 基于 GIS 下宁波天童森林生态系统服务功能价值评估研究

## 摘 要

森林作为一种自然资源在人类生存和生活中发挥着重要的生态系统服务功能。对自然资源的核算是一个前沿性的课题，国内外尚未有重大突破。对森林生态系统服务功能价值进行计量评估是对森林资源核算的一项有益的尝试。但关于这方面的研究目前还比较少，且以大范围大尺度的居多，应用 GIS 技术的很少，导致了评估结果无法与实际情况相适应，国家补偿等措施执行困难重重，评估缺乏有力的数据支撑，最终使森林的国民经济核算不完全。

基于上述分析，本研究旨在利用 GIS 技术手段，快速、准确地描述宁波天童森林公园的森林及其环境空间信息和其他信息，并结合实测调查资料和其他辅助资料，建立森林生态系统服务功能价值评估 GIS 系统。在 GIS 系统平台下，通过对宁波天童背景资料的分析，从经济、生态、社会三方面构建价值评估模型，探讨这三类服务功能价值及补偿机制的评估方法。运用数据库和 GIS 编程语言，将估算模型与基础 GIS 系统数据库连接并实现可视化界面，完成了对宁波天童森林生态系统服务功能价值及补偿量的计算。并利用 GIS 强大的空间分析和管理数据的能力，结合计算机可视化技术，将评估与补偿结果落实到每个区域。

本研究可为管理部门的决策提供一个可操作性的科学依据，为以后森林生态系统服务功能评估提供一个评估方法、技术和数据借鉴，同时也为实现林业的数字化奠定基础。

研究结论为：

(1) 对宁波天童森林生态系统服务功能价值、货币量及价值补偿量的进行评估。比较经济、生态和社会价值，说明森林生态系统的无形价值（生态价值和社会价值）与有形价值（经济价值）基本持平。在对森林资源的经济价值进行核算的同时，也应对生态及社会价值加以计量，这样才能如实反映森林生态系统所提供的全部服务功能价值。

(2) 利用 GIS 技术对研究区域的森林资源进行监测和评估，并应用 GIS 强大的空间分析处理和管理数据的能力，将评估结果落实到了每个单元小班，实现空间分析，为管理者和决策者提供数据支持，和更为直观的图形分析，有利于森林资源的可持续发展。

(3) 在模型中引入了“有效面积系数”和“市场转换系数”两个参数，使货币评估结果更接近现实的市场价值，以避免过度夸大生态价值和社会价值的弊端。其次，在价值补偿中考虑研究区域的社会发展水平，以便计算出更为合理和

可行的货币补偿量。

(4) 通过评估结果及其 GIS 空间分析，得出：

1) 天童森林生态系统服务功能价值的总量为 219626 万元，货币价值总量为 107180 万元，价值补偿总量为 30009 万元，价值补偿远远低于其价值量。

2) 各服务功能指标类型价值量间存在着明显差异。其中，经济货币价值为 55414 万元；生态货币价值为 32467 万元；社会货币价值为 19299 万元。

3) 在生态价值评估中，各类生态价值货币量差异明显。森林涵养水源和改善大气占主导价值，占总货币价值的 96%。

4) 森林生态系统服务功能价值评估明显依附于森林资源，且森林资源的空间分布控制着价值的空间分布，空间分布上表现出明显的空间异质性。

关键词：

宁波天童 生态系统 服务功能 价值评估 补偿 GIS 空间分析



# The valuation of Tiantong forest ecosystem service functions based on GIS in Ningbo

## **Abstract**

**The forest as a nature resource plays important ecosystem service functions in people's survival and daily life. Assessment of nature resource is a foreland topic, since there is no breakthrough in China and other countries. The currency measurement valuation of forest ecosystem service functions is a favorable attempt for assessment of forest resource. Few researches in this aspect have been done and most of the measure valuation scales are in a wide range. The advanced technologies such as GIS have been applied so scarcely that valuation results cannot consistent with the facts. There is also no enough data to support the outcome, which subsequently leads to the ecosystem service functions assessment could not be included in domestic economic assessment system entirely.**

**Some information of forest resource and space environment in Tiantong forest park could be acquired rapidly and accurately by the advanced technologies such as GIS. GIS of forest ecosystem service functions valuation was established by combining some measured and investigated information with other aided data. On the platform of GIS, the model of measurement valuation was built up and the calculation method of ecosystem service functions as well as compensation fee was studied both on economic, ecological and social aspects after analyzing the background of forest resource in Tiantong. Estimation model and basic GIS database were connected and visible interface was developed by using the database and GIS programming language. The ecosystem service functions value and the amount of compensation fee were calculated in Tiantong. Further more, utilizing the abilities of strong spatial analysis, data management of GIS and visibility technologies of computer, the investigation results could be extended to each area.**

**The research will supply a scientific basis for the decision of administration, will provide methods, techniques and data supports for assessment of ecosystem service functions in the future, and will lay the foundation for realizing the digital forest.**

**The results were as follow:**

- (1) The paper evaluated the amount of valuation, currency and compensation fee of the Tiantong forest ecosystem service functions in Ningbo. The results indicated that the values of incorporeal products were the same as the values of real products in Tiantong. And assessing the whole forest ecosystem service functions value should include economic value, ecological value and social value.**
- (2) Utilizing the abilities of strong spatial analysis and data management of GIS, the paper put the results of valuation and compensation fee on each sub-compartment which supplied the data for the managers.**
- (3) In assessing models, the paper supplied “effective area coefficient” and “market transform coefficient” in order to make the results approach to the market values.**
- (4) Though the analysis of results and GIS, the conclusions were:**
  - 1) In Tiantong, the amount of total valuation was 21.9626 billion yuan, the amount of currency was 10.7180 billion yuan, and the amount of compensation fee was 3.0009 billion yuan. At present the amount of the compensation fee was much lower than total valuation of ecosystem service functions.**
  - 2) There were great differences between the values of various ecosystem service functions. Economic value was 5.5414 billion yuan, ecological value was 3.2467 billion yuan, and social value was 1.9299 billion yuan.**
  - 3) There were great differences between the values of various ecological service functions. The values of forest water resource and air improved function played a master role in the ecological value which accounted for 96% of the total.**
  - 4) The forest ecosystem service functions valuation were adherent to the forest resource obviously. The space distribution of forest resource controlled that of forest ecosystem service functions valuation.**

**Key words: Ningbo, Tiantong, Ecosystem, Service function, Valuation, Compensation, GIS spatial analysis**

## 第一章 前言

森林生态系统作为陆地生态系统的主体之一,不仅为人类生存和发展提供了巨大的物质产品和服务功能,而且在维护全球生态平衡和生物多样性、支持人类生命系统中发挥着不可取代的基础作用。人与森林关系的认识综合起来有两个方面,其一是对森林在人类生存和发展过程中所起作用的认识,其二是人类对森林经营和森林保护的探讨<sup>[1]</sup>。在此基础上,研究森林生态系统的结构、功能、动态演化规律;认识和处理人与森林的相互作用机理;不断完善森林经营理论体系、经营森林的效益准则和行为规范,最终实现人与森林的和谐共存。

中国既是最大的发展中人口大国,又是一个自然生态环境先天脆弱、人类活动强度大、开发历史久远的文明古国。数千年的社会经济活动,致使中国森林资源在总量、结构、分布,以及现有森林生态系统生态服务功能上,远不能满足社会经济快速发展的客观需要。在某种程度上,林业发展相对滞后,已成为影响和制约社会经济发展的瓶颈。1991 年我国森林面积为 12863 万公顷,森林覆盖率为 13.4%,人均森林面积不到世界水平的 15%。2002 年,我国的森林覆盖面积为 15867 万公顷,森林覆盖率为 16.55%。森林蓄积量由 80 年代初的每年 0.3 亿立方米“赤字”,增加到现在的 0.39 亿立方米盈余,虽然这表明我国森林的可持续发展已有良好的势头,但是,木材的消耗量仍然高于生长量,森林质量不高,郁闭度偏低(全国平均为 0.52),大片的森林继续受到无法控制的退化、任意改作其它用途、农村能源短缺以及森林病虫害的危害<sup>[2]</sup>。森林不仅为社会提供木材经济价值,而且还具有保护环境、防风固沙、蓄水保土、涵养水源、净化大气、保护生物栖息地和多样性、维持碳氧平衡等功能<sup>[3]</sup>。我国传统的森林开发与管理缺乏对森林资源的这种多功能作用特性的认识,只注重森林的直接经济价值,而忽视了其巨大的生态价值,以致出现林地逆转、森林生产力降低、质量下降和病虫害蔓延等森林退化结果。

实现森林资源的合理利用,促进林业的可持续发展是中国可持续发展战略的重要组成部分,而多样化、健康、稳定的森林生态系统,是林业可持续发展的物质基础和前提条件。目前的林业同样也面临着市场的竞争和可持续发展的机遇和挑战,因此,进行森林生态系统生态服务价值评估,确定其物理量和货币量,保证森林资源消耗量得到及时足额的补偿,保障其资产所有者和经营者的合法权益,实现资源的优化配置。价值评估是林业参与市场的基本条件,也是运用市场机制,推动林业经济的可持续发展的保证。在市场经济条件下开展森林经营管理、促进资源优化配置和产权合理转移的一项重要基础工作,评估工作的重要性和紧

迫性也日益明显。

国家国有资产管理局、原林业部于 1996 年颁布了《森林资源资产评估技术规范（试行）》，1997 年又发出了《关于加强森林资源资产评估管理工作若干问题的通知》，指导森林资源的正确而合理的评估，实现增加森林资源、保障森林生态系统的健康和活力，完成环境优化和经济发展的双重目标，并在实践中借鉴和吸收国际上森林可持续经营的最新成果，走出一条符合中国国情、林情，同时适应世界林业发展趋势的林业发展道路。

## 1.1 相关概念

### 1.1.1 森林生态系统服务功能

#### （1）森林

森林是以多年生木本植物为主体并包括以森林环境为生存条件的林内动物、植物、微生物等在内的生物群落。它既是国民经济持续发展的重要物质资源，又是保障人类生存环境的重要生态资源<sup>[4]</sup>。

#### （2）生态系统服务功能

生态系统服务功能是近几年才发展起来的生态学研究领域，并取得了令人瞩目的进展。目前被普遍认可的是 Daliy 等人提出的生态系统服务功能的概念。Daliy 在 1997 年主编的《Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems》<sup>[5]</sup>一书中介绍了生态系统服务功能的概念、研究简史、服务价值评估以及区域生态系统服务功能等专题研究。他认为，生态系统服务是指“自然生态系统及其物种所提供的能满足和维持人类生活所需要的条件和过程”。Costanza 等学者(1997)对全球生态系统服务功能进行了划分和评估<sup>[6]</sup>。我国的欧阳志云、王如松等对生态系统服务功能的概念作了如下的概括：生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[6]</sup>。

#### （3）森林生态系统服务功能

森林生态系统服务功能是指森林生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[7]</sup>。森林生态系统不仅为人类提供林产品和生物资源，更重要的是它在维持生物多样性，调节水文，净化环境，维持土壤肥力等方面的功能，森林生态系统创造了适合于人类及其它生物生存繁衍的条件(图 1-1)。

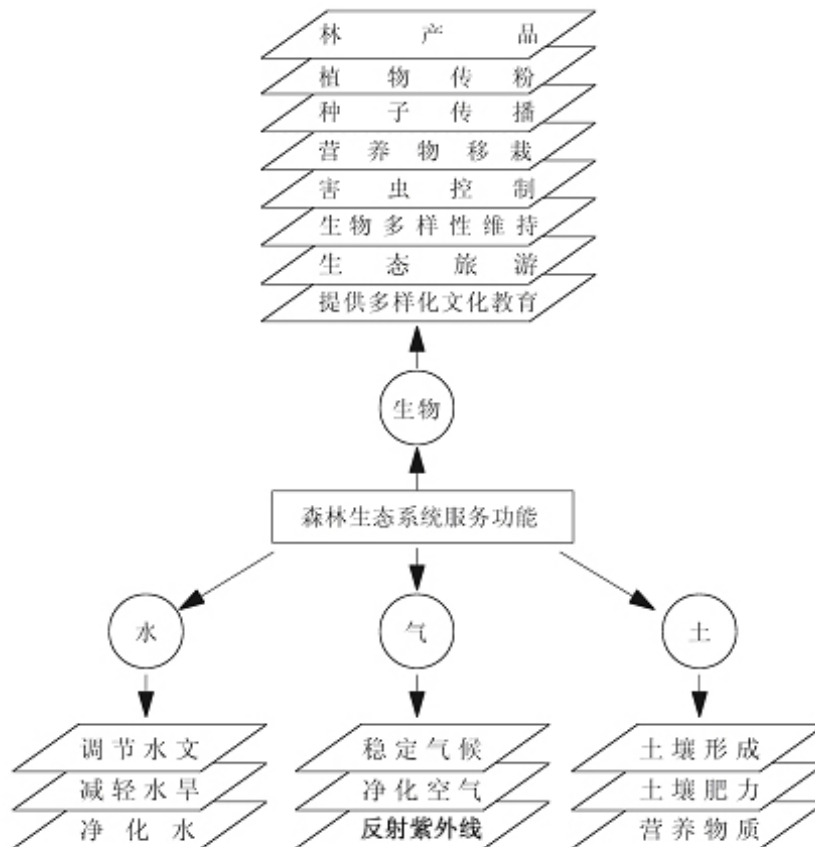


图 1-1 森林生态系统功能分析图

(引自李少宁等“森林生态系统服务功能研究进展”<sup>[7]</sup>，并修改)

#### (4) 森林生态系统服务功能的价值

森林生态系统是具有最丰富的类型多样性和显著的生产力的陆地生态系统类型，与人类社会的关系极为密切，按照现在国际流行的观点，广义上的生态系统服务功能包括生态系统商品和生态系统服务功能，因此森林生态系统服务功能的价值主体是森林生态系统功能的价值，同时应当包括森林的物质产品的经济价值，即森林生态系统与生态系统过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用的货币化表示<sup>[8, 9]</sup>。

#### 1.1.2 地理信息系统

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS)，它是一种应用领域广泛的综合性技术，也是一门正在发展成熟的介于信息科学、计算机科学、现代地理学、空间科学、环境科学之间的新兴边缘学科。GIS 是在计算机软件 and 硬件的支持下，运用系统工程和信息科学理论，科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据，以提供对规划、管理、决策和研究所需信息的空间信息系统

<sup>[10]</sup>。GIS 集地图、数据库与空间分析的优点，具有空间数据处理能力和空间信息分析能力，属性数据和图形数据并存的特点，可根据用户的要求迅速地获取满足需要的各种信息，并能以地图、图形或数据的形式表示处理的结果<sup>[11]</sup>。

### 1.1.3 森林生态系统服务功能评估的 GIS 空间分析

在 GIS 支持之下通过对森林资源空间数据的提取、加工、管理，建立一个与空间地理位置有关的森林生态效益专业分析模型，并将计算结果用 GIS 技术在空间上进行表达<sup>[10]</sup>。由森林生态服务功能的各种定义中，我们不难看出，森林的各种生态服务功能是森林与其周围环境（包括大气环境、土壤环境和生物环境）相互作用，相互影响的共同产物，该产物无论在物理量上还是在空间分布上都与森林资源本身及其环境因素的性质、状况、空间分布有着密切的关系，这为遥感数据的空间采集及实现 GIS 的空间分析提供了可能。

## 1.2 森林生态系统服务功能及其价值评估的研究进展

迄今为止，全世界还没有统一的森林生态系统服务功能的评估指标体系，各国使用的体系都有一定差异，大多只是对森林资源的评估。在自然资源中，森林属于耗竭性资源中一种重要的可更新资源。在很长一段时间里，森林资源被看成木材资源，而在各种环境问题威胁到人类生存的当代，人们越来越发现对森林的真正内涵需要重新审视，把森林看成重要环境资源的呼声日益高涨。实际上，森林资源的意义已经从单一的木材资源变化到包括环境资源在内的多资源，如包括生产资源、环境资源和文化资源<sup>[12]</sup>，而依据自然资源学研究，自然资源的基本属性包括稀缺性、整体性、地域性、多用性、变动性、社会性等。表述森林资源的内容还包括很多，如“生态资源”的提法<sup>[13]</sup>。

现代社会对森林价值的认识大致经过了三个阶段，发达国家自 17 世纪中叶资本主义在欧洲兴起开始，对森林的经营一直是以生产木材为目的，往往视森林的防护与环境功能理所当然，此阶段为森林的木材价值论阶段。到二战后，德国于 20 世纪 50 年代确定了森林多功能理论，美国、瑞典、奥地利等也都相继采用了森林多效益理论，为森林的多效益价值论阶段。20 世纪 80 年代末 90 年代初，理论界出现对森林未来价值的思考，开始进入森林的全面价值论阶段<sup>[12]</sup>。近年来，美国生态学会组织了以 Daily 负责的研究小组，对生态系统服务进行了系统研究，并形成了反映这一课题研究最新进展的论文集<sup>[8]</sup>，Constanza 等 10 多位著名科学家对全球生态系统服务评价的研究结果的发表在《Nature》上<sup>[9]</sup>，在国内外引起了广泛关注，也引发了一些研究。Ayensu(1999)等 20 余位科学家在《Science》上发表文章<sup>[6]</sup>，呼吁进行国际生态系统评价，尤其增加生态系统服

务方面的信息。“中国生物多样性国情研究报告”(1995~1997)<sup>[14]</sup>提出生物多样性的总经济价值应包括直接使用价值、间接使用价值、潜在使用价值和存在价值,这里的生物多样性概念相当于生物自然资源。另外,薛达元(1997)<sup>[15]</sup>提出选择价值介于使用价值和非使用价值之间的观点,崔丽鹃(2001)<sup>[13]</sup>提出“目前非使用类价值”的概念等。国际上也提出了不同的价值分类体系<sup>[15, 16, 17]</sup>。对于森林资源的总经济价值,现代多数研究认为可以表示为<sup>[15, 18, 19]</sup>:

总经济价值=使用价值+非使用价值=直接使用价值+间接使用价值+选择价值+遗产价值+存在价值。

在中国林业史上,对森林价值的认识并由此对林业的定位发生多次变化<sup>[12]</sup>。第一次是20世纪50年代,当时生产木材是国家建设对林业的主导需求,林业定位为国民经济的基础产业,形成了以木材生产为中心的林业建设指导思想;第二次是20世纪70年代末以后,生态建设日益受到重视,林业被重新定位为“既是重要的基础产业,又是重要的公益事业”。这一时期中国开展了规模宏大的生态工程建设,但由于林业体制的惯性和木材需求居高不下等原因,林业仍然没有脱离以生产木材为主的轨道。进入20世纪90年代,随着中国可持续发展战略的确立,对森林诸多服务功能的逐步认识,加强了人类对森林资源保护与科学利用的意识,引发了林业主导需求的改变,中国林业定位随之发生了重大转变。在新的定位下,林业将承担培育、管护和发展森林资源,保护生物多样性、森林景观、森林文化遗产和提供多种森林产品的根本任务,肩负着优化生态环境、促进经济发展的双重使命。如:欧阳志云和王效科等人(1999)<sup>[21]</sup>对中国陆地生态系统服务功能进行了评估和生态经济价值的分析;以李金昌、孔繁文<sup>[25]</sup>为代表,对生态系统评估,特别是对森林生态系统生态价值方面进行了开创性研究;蒋延玲、周广胜等(1999)估算了我国38种主要森林类型生态系统服务的总价值;吴钢、肖寒等(2001)对长白山森林生态系统服务功能进行了评估;关文彬等(2002)对贡嘎山地区森林生态系统服务功能进行了价值评估;石培礼、李文华等(2002)估算了川西天然林生态服务功能的经济价值等。另外,国内一些学者还对生态经济价值评估提出了不同的看法<sup>[20-25]</sup>。

### 1.3 GIS空间分析应用于森林生态系统服务功能及其价值评估现状

GIS从20世纪60年代发展以来,已广泛应用于各行业和部门。目前,随着个人计算机的更新换代,单机、工作站地理信息系统的技术已日趋成熟,无论是地理信息属性的空间分析还是附以地理信息反映的专题属性数据分析,乃至三维数字地图,都有了较好的应用案例和开发平台。GIS技术在林业上的研究目前主要应用于森林资源清查及灾害监测和林业生产规划,同时在生态景观的调查规划

和评价及固土保肥和荒漠化防治中的应用也有很多。但是 GIS 技术用于森林生态服务价值的评估研究至今不太多见，仅有的一些研究集中在森林固土保肥效益上。如比利时、法国利用 GIS 进行固土保肥、森林资源监测研究；1997 年瑞典隆德大学德 Jonas Ardo 利用 GIS 结合 RS（遥感）和 GPS（全球定位系统）对被破坏的森林进行了评估，探讨了森林破坏与海拔高度和坡向的关系、森林破坏与林区相对于点污染源的距離和方向的关系<sup>[10]</sup>；马晓微等<sup>[26]</sup>在 GIS 技术支持下对中国潜在的水土流失的评价指标的研究，并对其作了宏观的分析评价；卜兆宏等<sup>[27, 28]</sup>对水土流失监测及定量计算的遥感方法进行了比较系统的研究；周斌<sup>[29]</sup>介绍了基于 GIS 下的遥感定量调查水土流失方法中的评价模型及其参数构成和算法；肖寒<sup>[30]</sup>在 GIS 支持下，对海南岛生态系统土壤侵蚀的空间分布特征及其生态效益经济价值的评估等等。以上所述的研究都是就森林生态服务功能的某项指标的单一研究，对森林生态服务功能多指标的综合研究还很少见。如：郎璞玫<sup>[31]</sup>通过建立黑龙江省森林资源的 GIS 空间图形，最终估算出黑龙江省 12 种森林生态效益的货币值为  $986 \times 10^8$  元。

由于 GIS 具有综合分析和管理各种空间数据的能力，并将其直接用于规划设计、预测及决策等重要工作之中，最大优点是可以清晰明了地了解研究区域的各种情况，还可以分析各种森林类型的立地条件，这就为森林生态服务功能及其价值评估的 GIS 空间分析打下了基础。又由于森林资源是森林各类生态服务功能的载体，森林资源的分布也决定了各类生态服务功能的空間分布，因此，将地理信息系统与森林各类生态服务功能的计量模型相结合具有明显的优势。

## 1.4 研究目的与主要研究内容

### 1.4.1 研究目的

综合以上分析可以看出，目前无论是国内还是国外，对森林生态系统服务功能及其价值的认识越来越深刻，核算工作相关成果也逐渐增多，这些成就虽然各有特色，甚至在某些发面有一定的创新，但要很好地解决森林生态系统服务功能及其价值计量，依然存在一些问题，如：①从森林生态系统服务功能及其价值计算技术层次而言，核算指标不统一，造成其结果不具有可比性；②核算方法种类繁多，许多方法是从理论上提出的，在实际中行不通，并且各种方法考虑角度不同，使得计算结果偏差较大；③传统的森林资源管理的方法已无法有效的发挥作用，重复性工作多而不规范，精度不高，浪费了许多的人力、物力和财力；④虽然不少地区对森林生态系统服务功能及其价值进行了核算，但其核算结果在实际工作中应用不是很多；⑤多数评估仅限于静态，动态评估研究还很少，等等。如何更好地解决上述问题，实现森林资源的可持续发展已成为迫在眉睫的课题。



首先,解决问题应明确为什么要对森林生态系统服务功能进行评价? ①由于公众对森林生态系统的价值观的改变。面临全球环境问题严重威胁,自然资源有价论的呼声越来越高,公众对于实现森林生态系统的多种用途的价值比以往要敏感的多。对于公众而言,森林生态系统的经济评价能使他们更容易和准确地了解森林的作用。②正确评价森林生态系统的价值,有助于为政府做出合理决策并建立和健全有关法律法规提供科学依据。对林业工作者而言,评价重要是因为它是如何更好管理森林生态系统的前提。因为,“如果说 20 世纪的林业面对的是简单化系统、生产木材及在林分水平进行管理,那么 21 世纪的林业可定义为理解和管理森林的复杂性、提供不同种类的生态产品和服务、在景观尺度进行管理”<sup>[32]</sup>,“林业工作者和自然资源管理者面临的最大挑战不是来自技术方面,而是公众对他们工作方式的接受与否”<sup>[33]</sup>。森林生态系统服务功能评价在森林保护中有着重要的地位和广泛的应用前景。森林保护工程核心是制定实施因地制宜的生态系统管理策略,目标是充分发挥森林多样化的生态系统服务功能,那么前提就是森林生态系统服务功能的评价。理论上讲,森林生态系统的价值决定于森林所处的空间位置、森林的质量和森林的破坏程度<sup>[15]</sup>,仅就森林本身而言,不同类型的森林生态系统其在正常状况下所能提供的生态系统服务的质和量也有很大差别,这种差别正是分类的依据所在,反过来讲,灾害造成的损失正体现了森林和其他生态系统服务功能的价值,而分析现实森林生态系统服务功能的价值发挥的程度与理论上距离,才能找出科学合理的森林管理对策。

其次,由于森林生态系统具有可再生性、公益性、动态性和多样性等特点,采用什么样的技术手段和方法对其进行准确地评估,为决策者提供有用的定量数据,使森林资源发挥最大效用,就显得格外重要了。尽管各类森林生态服务功能价值的评估已有大量的专家学者进行的研究,但大部分都在较为宏观的层次上,导致评估结果与实际应用的脱节。考虑到森林结构的复杂性、多样性,使得森林的种类、数量、结构、功能千变万化,用于描述它们的因子不计其数,要准确对森林进行货币化价值评估,必须获得这些森林的连续空间信息,因此评估指标体系必须落实到每个小班(文中所指小班是指具有相似属性,包括植被、高程、坡度、坡向,由 GIS 进行属性叠加,从而形成的斑块,以此为统计单位)。但如此一来,这些连续而多样的森林信息数据量是非常庞大的,依靠传统的方法不仅耗时耗费,而且无法做到动态信息的可视化。

因此,本研究希望通过应用现有的森林生态系统服务功能价值评估方法,结合 GIS 技术与方法,快速、准确获得研究区域森林及其生态环境的空间和属性数据,在实地森林资源的调查资料的基础上,建立研究区域森林生态系统服务功能及其价值的 GIS。在此平台上,科学地、较为准确地计算出森林生态系统的各类

服务功能的价值，并且利用 GIS 强大的空间分析和管理数据的能力，对各类服务功能的价值进行动态评估并将其落实到每个小班上，最终为人们提供一个较为准确地计量森林生态系统服务功能价值并达到图文并茂、形象生动且易于操作的评估系统。

#### 1.4.2 主要内容

(1) 建立森林生态系统服务功能价值评估 GIS。利用 RS、森林资源调查及各类相关文献等数据作为数据源，将所有数据集合以小班为地理分析单位的空间分析系统。

(2) 在 GIS 下建立森林生态系统服务功能价值评估指标体系。参阅国内外文献<sup>[6,9,31,32]</sup>，利用软系统归纳集成法 (SSMII)<sup>[9]</sup>作为研究区域森林生态系统服务功能价值评估指标体系的方法和软件支持。在选择指标时，不仅考虑所选指标的典型性、代表性、可物理量化性，还应考虑指标的可货币量化性和效益独立性，从而使森林的外部经济性的“内部化”更为科学化。根据以上原则、方法构建该评估指标体系。

(3) 确定评估方法和 GIS 模型。根据 GIS 系统提供的小班空间属性信息，结合以上的评估指标，建立森林生态系统服务功能物理量计量方法和模型，在物理量模型计量的基础上构建货币量模型。将估算模型与基础 GIS 系统数据库挂接并形成可视化界面，在研究区域完成森林生态系统服务功能价值量和市场货币量的计算，将其落实到单元小班。

(4) 确定价值补偿。根据货币价值计算结果，探讨研究区域森林生态系统服务功能价值补偿机制，并将其补偿量落实到小班中。

## 第二章 研究区域概况与研究方法

### 2.1 研究区域概况

本研究中，将宁波天童国家森林公园当成一个的森林生态系统整体，作为研究区域进行评估。

天童国家森林公园（见图 2-1）位于浙江省鄞县东南部，据宁波市 28km，地处北纬  $29^{\circ} 48'$ ，东经  $121^{\circ} 47'$ ，面积 394 公顷。东南名刹天童寺坐落其中，该寺开创于西晋永康元年，迄今已有 1600 年的历史，占地约 58000m<sup>2</sup>，属全国著名五大丛林寺宇之一。寺院东、北、西三面环山，森林植被保存良好，是浙江省东部丘陵地区地带性植被类型的一块难得的代表性地段。1981 年经林业部批准建立国家森林公园。



图 2-1 天童国家森林公园区位图（引自：宁波 2004 年交通地图）

#### 2.1.1 地质构造

本区在地质构造上属于华夏陆台范围，位于闽浙地盾北部，为四明山、天台山的余脉，处于浙东丘陵与滨海平原的交错地带。第四纪以来，本区一直表现为下降运动。公园所在地形似座椅，三面环山，南向一面宽谷，主峰太白山海拔 653.3m，一般山峰海拔 300m 左右。坡度多在  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，很少有  $45^{\circ}$  以上的山坡。公园入口处的伏虎亭海拔 70m。

### 2.1.2 河流

境内有两条溪流，一条来自太白山经天童寺往南流，长约 1.8km；另一条从放羊山经古天童流向西南，长约 1.3km，集水面积 300 公顷，由于森林植被涵养水源，终年不绝。

### 2.1.3 气候

区域为温暖湿润的亚热带季风气候。全年温和多雨，四季分明，据鄞县气象台纪录，年平均温度为 16.2℃；最热月为 7 月，平均温度为 28.1℃；最冷月为 1 月，平均温度为 4.2℃；大于 10 的年积温为 5166.2℃，Kira 的温度指数是 135℃，寒冷指数是-0.8℃，无霜期 237.8 天，全年稳定通过 10℃ 初终日间隔日数为 235.1 天。年平均降雨量为 1374.7mm，多集中在夏季（6~8 月），占全年雨量的 35%~40%，冬季（12~2 月）冷而干燥，雨量仅占全年的 10%~15%，春季雨量一般大于秋季。因受梅雨锋系和台风影响，年内降水主要有两个高峰，各在 5、6 月和 7、8 月。年平均相对湿度达 82%，变率不大，各季之间最大变率在 5%以下。年蒸发量为 1320.1mm，小于降水量，只有 7~10 月蒸发量稍大于降水量。雨量充沛，热量充沛，水热同季有利于植物生长。

### 2.1.4 土壤

公园内的土壤主要为山地黄红壤，成土母质主要是中生代的沉积岩和部分酸性火成岩以及石英砂岩和花岗岩残积风化物。土层厚薄不一，一般在 1m 左右，质地以中壤至重壤为主，全氮和有机质含量较高，一般在 0.2%~0.4%和 3%~5%之间，磷、钾含量约为 0.15%~0.30%之间，土壤 pH 值多为 4.5~5.0。

### 2.1.5 旅游资源

天童国家森林公园已形成拥有 8 个植物群的天然植物园，其中不少是国家珍贵树木。天童森林公园文物古迹众多，主要有听涛亭、水月亭、甲寿泉、甲寿坊、玲珑岩、盘陀石、飞来峰、观音洞、洞外天、拜经台、密祖塔等风景点组成。

### 2.1.6 森林资源<sup>[33]</sup>

天童国家森林公园的植被并非原生林，现存的都是次生植被，从恢复较好发育成熟的森林性质来看，这里的地带性植被，或者说气候顶级应是常绿阔叶林。在沟谷和山脊土壤瘠薄的立地条件下，分布有小片的常绿阔叶落叶阔叶混交林，山麓地带生长着人工马尾松林、杉木林和毛竹林，山脊上还分布有次生灌丛(图 2-2)。按主要类型分类如下：

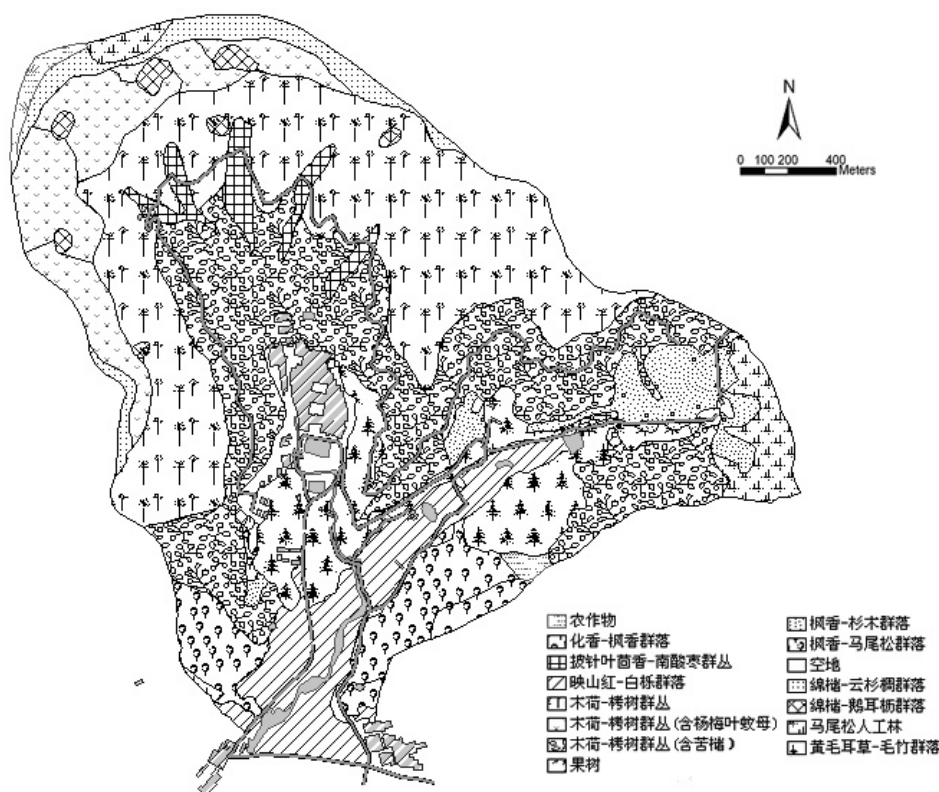


图 2-2 宁波天童森林公园植被分布图

### (1) 常绿阔叶林

根据多年的研究统计资料统计，组成天童常绿阔叶林共有维管植物 262 种，隶属于 78 科，162 属；其中蕨类植物 13 科、18 属、27 种；裸子植物 3 科、3 属、3 种；被子植物 62 科、141 属、232 种。可划分为两个群丛：

#### 1) 木荷’栲树群丛 (*Schimeto-Castanopsietum fargesii* Association)

该群丛是森林公园内代表性的常绿阔叶林，是构成森林公园景观的主要成分。群落分层结构明显，一般可划分出两个乔木层，一个灌木层和一个草本地被层。第一林木亚层一般高 10-20 米，盖度 50%-75%，第二林木亚层高 6-8 米，盖度 40%-70%。优势树种及标志种为栲树 (*Castanopsis fargesii*)、木荷 (*Schima superba*)、米槠 (*Castanopsis carlesii*)、黑山山矾 (*Symplocos heishanensis*)，主要伴生树中有石栎 (*Lithocarpus glaber*) 等。灌木层一般高 2-3 米，盖度一般在 25%-50%，组成的种类除见之于乔木层者外，主要由连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、浙江新木姜子 (*Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*)、山矾 (*Symplocos sumuntia*)、老鼠矢 (*Symplocos stellaris*) 等。草本层视不同地段疏密不一，盖度 25%-60%，主要种类为里白 (*Diplopterygium glaucum*)、狗脊 (*Woodwardia Japonica*) 以及苔草 (*Carex spp.*) 等。

#### 2) 绵槠’云山栎群丛 (*Lithocarpeto-Cyclobalanopsietum nubii* Association)

该群丛主要分布在海拔 500-550 米左右的太白山山脊进山顶部分。地面多裸

露岩石，土层浅薄，一般为 30 厘米。群落分层明显，第一林木亚层高 9-20 米，盖度 50%-80%，优势种和标志种为云山栲 (*Cyclobalanopsis nubium*)、绵槲 (*Lithocarprus henryi*)、四照花 (*Cornus kousa* var. *chinensis*)，伴生的主要种类有木荷 (*Schima superba*)、小叶青冈 (*Cyclobalanopsis gracilis*)、四川山矾 (*Symplocos setchuensis*)、鹅耳枥 (*Carpinus fargesii*)、杨桐 (*Cleyera japonica*) 等。第二林木亚层高 4-8 米，盖度 15% 左右，主要树种除常见于第一林木亚层的种类外，重要值和存在度较大的还有老鼠矢 (*Symplocos stellaris*)、栲树 (*Castanopsis fargesii*) 以及薄叶山矾 (*Symplocos anomala*) 等。灌木层高约 2 米左右，盖度 40%-70%，主要种类除除见之于林木层者外，还有连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、映山红 (*Rhododendron simsii*)、苦竹 (*Pleiolobatus amarus*) 以及山矾 (*Symplocos sumuntia*)、宜昌莢迷 (*Viburnum erosum*) 等。草本层高 1 米左右，盖度多在 15%-25%，主要种类有苔草 (*Carex spp.*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、朱砂根 (*Ardisia crenata*)、两色鳞毛蕨 (*Dryopteris bissetiana*)、狗脊 (*Woodwardia Japonica*)、求米草 (*Oplismenus undulatifolius*) 等。

## (2) 常绿落叶阔叶混交林

在森林公园的沟谷中，以及海拔较高的局部地段，常绿阔叶林中的落叶成分增加，而且它们多占据着最高的林木层，形成外貌明显的常绿落叶阔叶混交林。这些地方虽常有流水，但土层浅薄，地面多巨大石块，植物根多扎于石隙之中。可划分为两个群丛：

### 1) 披针叶茴香'南酸枣群丛 (*Illicio lanceolati-Choerospondiaetum axillarii* Association)

这个群丛主要分布在海拔 270-330 米的山沟中，这里地下水位较高，生境较湿润，但土层浅薄，且多石块，局部地点土层亦可深达 45 厘米，属山地黄棕壤，表层有机质含量较高，pH=4.5。第一林木亚层高 18-25 米，盖度 40%-60%，主要种类为南酸枣 (*Choerospondias axillaris*)，此外尚有华东野(胡)核桃 (*Juglans cathayensis* var. *formosana*)、青钱柳 (*Cyclocarya paliurus*)、橄榄槭 (*Acer olivaceum*)、枳椇 (*Hovenia dulcis*) 等，均为落叶种类；第二林木亚层高 8-16 米，盖度 40%-50%，以常绿阔叶树为主，且多为樟科植物，主要种类有薄叶润楠 (*Machilus leptophylla*)、红楠 (*Machilus thunbergii*)、紫楠 (*Phoebe sheareri*)、天竺桂 (*Cinnamomum japonicum*)、披针叶茴香 (*Illicium lanceolatum*)、绵槲 (*Lithocarprus henryi*) 等。灌木层高 1-3 米，盖度 50%-80%，主要种类除上层林木幼树外，尚有连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、浙江新木姜子 (*Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*)、三尖杉 (*Cephalotaxus fortunei*)、虎刺 (*Damnacanthus indicus*)、

桫欏木(*Eurya japonica*)等;草本层高 0.2-1.0 米,盖度 5%-10%,主要由苔草(*Carex spp.*)、天南星(*Arisaema heterophyllum*)、鳞毛蕨(*Dryopteris spp.*)、斜方复叶耳蕨(*Arachniodes rhomboidea*)、凤丫蕨(*Coniogramme japonica*)、狗脊(*Woodwardia Japonica*)、山麦冬(*Liriope spicata*)等;藤本附生植物主要有络石(*Trachelospermum jasminoides*)、白花野木瓜(*Stauntonia leucantha*)、单叶铁线莲(*Clematis henryi*)等。

## 2) 绵楮' 鹅耳枥群落(*Lithocarpus henryi*-*Carpinus fargesii* Community)

这个群落多分布在海拔 400-500 米左右的山坡上部,土壤为黄棕壤,土层较浅薄,一般为 50 厘米左右,少数可达到 1 米以上。地面枯枝落叶层厚约 3 厘米,表层有机质含量较高, pH=4.7。第一林木亚层高 9-16 米,盖度 50%-70%,主要树种是鹅耳枥(*Carpinus fargesii*),伴生着绵楮(*Lithocarpus henryi*)、腺叶樱(*Prunus phaeosticta*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、油桐(*Vernicia fordii*)等,除绵楮(*Lithocarpus henryi*)外,均为落叶种;第二林木亚层高 4-9 米,盖度 30%-70%,主要有鹅耳枥(*Carpinus fargesii*)外,尚有绵楮(*Lithocarpus henryi*)、云山栲(*Cyclobalanopsis nubium*)、红楠(*Machilus thunbergii*)、浙江新木姜子(*Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*)、四川山矾(*Symplocos setchuensis*)、木荷(*Schima superba*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)等,既有常绿阔叶林中常见的种类,也有沟谷混交林的种类;灌木层高 0.5-1.0 米,盖度 60%-70%,主要有山矾(*Symplocos sumuntia*)、苦竹(*Pleuroblastus amarus*)、桫欏木(*Eurya japonica*)、连蕊茶(*Camellia fraterna*)、四川山矾(*Symplocos setchuensis*)、豺皮樟(*Litsea coreana* var. *sinensis*)等;草本层稀疏,一般高 0.2-0.5 米,盖度 10%-30%,主要有鳞毛蕨(*Dryopteris spp.*)和苔草(*Carex spp.*);藤本植物常见的是菝葜(*Smilax china*)和白花野木瓜(*Stauntonia leucantha*)。

## (3) 落叶阔叶林

在森林公园的范围内山麓地带人类经常活动的地方,常绿阔叶林屡遭砍伐,也会在它的恢复阶段出现以落叶成分占优势的次生落叶阔叶林。目前暂划分为一个群落:

## 化香' 枫香群落(*Platycarya strobilacea*-*Liquidambar formosana* Community)

这个群落是常绿阔叶林遭破坏后的一个衍生群落,在人为干预下,目前仍较稳定。第一林木亚层高 15-25 米,盖度 60%-70%,主要种类为枫香(*Liquidambar formosana*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、白栎(*Quercus fabri*)等;第二林木亚层高 9-14 米,盖度 30%-40%,主要种类除枫香(*Liquidambar formosana*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、白栎(*Quercus fabri*)外,

常见的还有苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)、木荷 (*Schima superba*)、青钱柳 (*Cyclocarya paliurus*) 以及少量的赤皮栲 (*Cyclobalanopsis gilva*)、糙叶树 (*Aphananthe aspera*) 等；灌木层一般高 2 米，盖度 60%–90%，常见有柃木 (*Eurya japonica*)、山矾 (*Symplocos sumuntia*)、山胡椒 (*Lindera glauca*)、枸骨 (*Ilex cornuta*)、蔓胡颓子 (*Elaeagnus glabra*)、八角枫 (*Alangium chinense*)、山茶 (*Camellia japonica*) 以及林木层中的幼木；草本层高 0.5–1.0 米，盖度约为 5% 左右，常见种类有狗脊 (*Woodwardia Japonica*)、鳞毛蕨 (*Dryopteris spp.*)、杏叶兔儿风 (*Ainsliaea frangans*)、太平莓 (*Rubus pacificus*)、山姜 (*Alpinia japonica*)、苔草 (*Carex spp.*)、天南星 (*Arisaema heterophyllum*)、七叶一枝花 (*Paris polyphylla var. chinensis*) 等。

#### (4) 常绿针叶林

森林公园内的针叶林，主要分布在低海拔的山麓，山脊上也偶有小片，是人为影响下的次生类型。划分为二个群落：

##### 1) 枫香’ 马尾松群落 (*Liquidambar formosana-Pirus massoniana* Community)

本群落多分布在山坡下部，多为常绿阔叶林演替过程中的一个阶段。第一林木亚层高 18–25 米，盖度在 30%–50% 左右，由高大的马尾松 (*Pinus massoniana*) 组成；第二林木亚层高 6–15 米，盖度 40%–50%，主要有木荷 (*Schima superba*)、杨梅 (*Myrica rubra*)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)、黑山山矾 (*Symplocos heishanensis*)、化香 (*Platycarya strobilacea*)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、白栎 (*Quercus fabri*)、黄檀 (*Dalbergia hupeana*) 等；灌木层高 1–2 米，盖度 40%–80%，组成种类除林木层中木荷 (*Schima superba*)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*) 外，主要有继木 (*Loropetalum chinense*)、山矾 (*Symplocos sumuntia*)、老鼠矢 (*Symplocos stellaris*)、马银花 (*Rhododendron ovatum*)、连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、椴木 (*Aralia chinensis*)、窄基红褐柃 (*Eurya rubiginosa var. attenuata*) 等；草本层稀疏，高度 0.2–1.0 米，常见有铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、狗脊 (*Woodwardia Japonica*)、苔草 (*Carex spp.*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、假异鳞毛蕨 (*Dryopteris immixta*)、金星蕨 (*Parathelypteris angustifrons*)、大吴风草 (*Farfugium japonicum.*)、太平莓 (*Rubus pacificus*)、蕨 (*Pteridium aquilinum var. latiusculum*)、芒 (*Miscanthus sinensis*) 等；藤本植物有菝葜 (*Smilax china*)、鸡血藤 (*Millettia reticulata*)、日本薯蓣 (*Dioscorea japonica*)、鸡矢藤 (*Paederia scandens*)、羊角藤 (*Morinda umbellata*) 以及络石 (*Trachelospermum jasminoides*)、紫藤 (*Wisteria sinensis*)、华中五味子 (*Schisandra sphenanthera*)、爬山虎 (*Pathenocissus tricuspidata*)、蛇葡萄 (*Ampelops brevipedunculata*) 等。



## 2) 枫香' 杉木群落 (*Liquidambar formosana*-*Cunninghamia lanceolata* Community)

天童的杉木林均为人工林，林木层高 8 米左右，盖度约为 40%–50%，林木层除杉木外，尚有枫香(*Liquidambar formosana*)；灌木层高 1–2 米，盖度 30%–40%，主要有木荷(*Schima superba*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、油茶(*Camellia oleifera*)、细枝桉(*Eurya loquiana*)、野漆树(*Toxicodendron succedaneum*)、华紫珠(*Callicarpa cathayana*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、箬竹(*Indocalamus tessellates*)等；草本层高 0.5–1.0 米，盖度为 10%–60%，主要有狗脊(*Woodwardia Japonica*)、乌蕨(*Sphenomeris chinensis*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、铁芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、雀稗(*Paspalum thunbergii*)、苔草(*Carex spp.*)等。

## (5) 竹林

森林公园内的竹林多系人工栽植。目前暂定为一个群落——黄毛耳草' 毛竹群落 (*Hedyotis auricularia*-*Phyllostachys pubescens* Community)。这个群落的林木层纯为毛竹(*Phyllostachys pubescens*)，群落的边缘地段有时混生有马尾松(*Pinus massoniana*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、青桐(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、木荷(*Schima superba*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)等。毛竹(*Phyllostachys pubescens*)一般高 10–13 米，盖度在 60%–70%，密度约为每公顷 5000 株，胸径在 9–10 厘米。灌木低矮在 1 米以下，和草本层同处于一个层次，盖度在 60%–90%，其中木本有青桐(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、红楠(*Machilus thunbergii*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)、珍珠栗(*Castanea henryi*)、红枝柴(*Meliosma oldhamii*)、白栎(*Quercus fabri*)、野漆树(*Toxicodendron succedaneum*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、刺楸(*Kalopanax septemlobus*)等；草本植物有黄毛耳草(*Hedyotis auricularia*)、三脉叶紫菀(*Aster ageratoides*)、珍珠菜(*Lysimachia cletheoides*)、山莴苣(*Lactuca indica*)、杏叶兔儿风(*Ainsliaea frangans*)、橐吾(*Ligularia fischeri*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、苔草(*Carex spp.*)、鱼腥草(*Houttuynia cordata*)、红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)、金星蕨(*Parathelypteris angustifrens*)等；藤本有鸡矢藤(*Paederia scandens*)、野山药(*Dioscorea japonica*)、鸡血藤(*Millettia reticulata*)、菝葜(*Smilax china*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)、蛇葡萄(*Ampelops brevipedunculata*)、常春藤(*Hedera nepalensis* var. *sinensis*)等。

## (6) 次生山地灌丛

本类型主要分布在海拔 590–640 米的山脊，多沿防火线呈带状延伸，风大，土壤较贫瘠，群落高仅 2 米左右，盖度可达 95% 以上。目前仅分为映山红’白栎群落 (*Rhododendron simsii*-*Quercus fabri* Community)。灌木层主要有白栎 (*Quercus fabri*)、映山红 (*Rhododendron simsii*)、云山栲 (*Cyclobalanopsis nubium*)、绵槲 (*Lithocarpus henryi*)、山矾 (*Symplocos sumuntia*)、化香 (*Platycarya strobilacea*)、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、箬竹 (*Indocalamus tessellates*)、山胡椒 (*Lindera glauca*)、茶 (*Camellia sinensis*) 和乌饭 (*Vaccinium bracteatum*) 等；草本层稀疏，高约 0.3–1.5 米，盖度在 20% 以下，常见的有芒 (*Miscanthus sinensis*)、苔草 (*Carex spp.*)、三脉叶紫菀 (*Aster ageratoides*)、狗脊 (*Woodwardia Japonica*)、蕨 (*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)；藤本植物和蔓生植物数量多，主要有菝葜 (*Smilax china*)、野山药 (*Dioscorea japonica*)、藤黄檀 (*Dalbergias hencei*)、葛藤 (*Pueraria lobata*)、金樱子 (*Rosa laevigata*)、木防己 (*Cocculus trilobus*)、鸡矢藤 (*Paederia scandens*)、南蛇藤 (*Celastrus orbiculatus*) 等。

## 2.2 研究方法

本论文的研究工作是在参考现有森林生态系统服务功能价值评估方法的基础上，寻找适合宁波天童森林生态系统的评估方式，筛选评估指标，通过实地调查、专家咨询等途径确定各项服务功能合理的评分标准，建立一套适合宁波天童森林生态系统可持续发展的评估体系。

### 2.2.1 资源调查

自 2003 年 6 月份开始，对宁波天童国家森林公园进行多次的现场勘察、植物样方调查、林业资源调查数据与现场的核对。对森林公园的基础资料、调查资料、图面资料与现状进行详细核对，并结合了 1997 年 4 月 11 日美国 Landsatellite TM 数字影像资料。

### 2.2.2 评估方法的确定

根据不同生态服务功能确定不同的评估计量方法。水源涵养、固土保肥价值采用“市场替代法”；景观采用“旅游费用法”；林产品、林地、森林固土保肥、固定 CO<sub>2</sub> 和释放 O<sub>2</sub> 价值采用“市场价值法”，“生产成本法”来计算<sup>[1, 7, 20, 34–37]</sup>。

### 2.2.3 技术路线

结合 GIS 功能，将庞大、繁杂的数据处理工作程序化、自动化。利用 GIS 技术在分析、获取和管理空间信息的优势，实现计算机可视化技术，把研究区域

的图像直观的展现出来，达到人在三维视觉效果中对有形信息进行操作交流，见图 2-3。

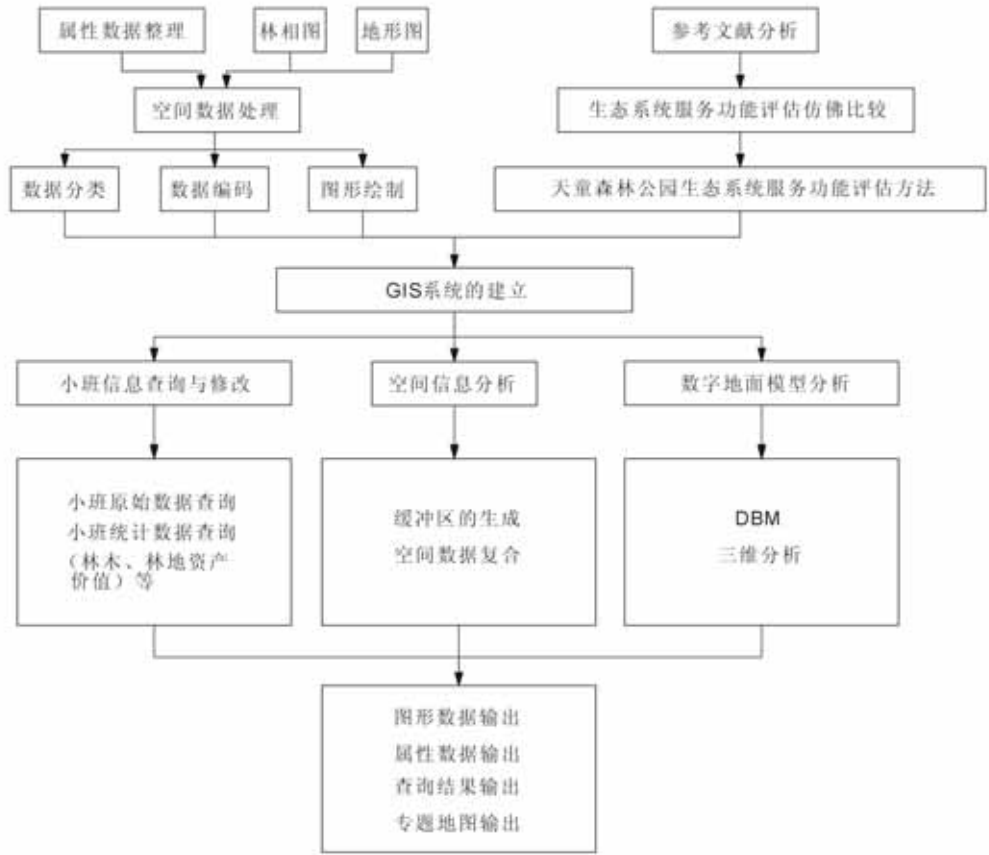


图 2-3 技术路线示意图

### 第三章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估 GIS 系统的建立

#### 3.1 森林生态系统服务功能价值评估系统的建立的目的与原则

##### 3.1.1 目的

本系统是以地理信息系统应用软件 ARC/INFO 和 Windows 操作系统为支撑平台, 建立宁波天童森林公园生态服务功能价值评估管理系统, 并可进行森林资源管理和森林资源方面的专题图制作。该系统汇总了宁波天童森林公园内的自然环境数据及天童实验站长期以来积累的部分生态学资料。通过系统的建立, 可以方便地对各种森林信息进行空间信息的查询、分析、更新和输出, 并较为准确的计算出小班的服务功能价值。

该系统由 6 空间数据库组成, 每个空间数据库都由一个图层和一个与之对应的属性数据库组成。即: 植被分布、河流、道路、地形、区域自然环境状况、服务功能价值。

##### 3.1.2 系统的设计原则

(1) 系统性与结构性原则。从整体需求出发, 把系统的各个功能分成相对独立的模块, 各个模块之间数据参数相互传递, 结合为一个有机的整体。

(2) 独立性和扩充性原则。系统各模块相对独立性强时, 数据存储和程序运行的独立性就较强, 数据的存取和程序运行对系统影响就小, 便于提高运行速度和扩充完善系统。

(3) 通用性和开放性原则。系统适用于不同层次知识结构的用户, 灵活简便, 非本专业和非计算机专业的人员均能使用操作。同时, 系统还容易继续开发, 增强其专业性。

(4) 适用性原则。系统建立的最终目的是为天童国家森林公园的森林资源管理、生产经营、森林资源保护、开发和利用服务, 以满足实际需要。

#### 3.2 系统软件与硬件的选配

系统软件与硬件选配的是否合理将直接影响到森林生态系统服务功能价值评估系统的建立和功能。

##### 3.2.1 软件配置<sup>[10, 38]</sup>

本系统主要以 Windows 为工作平台, 以 ARC/INFO 为地理信息系统软件支持。ARC/INFO 软件功能齐全。其中有图形和数据库编辑器 ARCCEDIT, 交互式制图和制图软件 ARCPLOT, 完全的关系数据库管理 DBMS 和 INFO 以支持应用开发(二次开发)功能的程序设计语言 AML。

### 3.2.2 硬件配置（图 3-1）

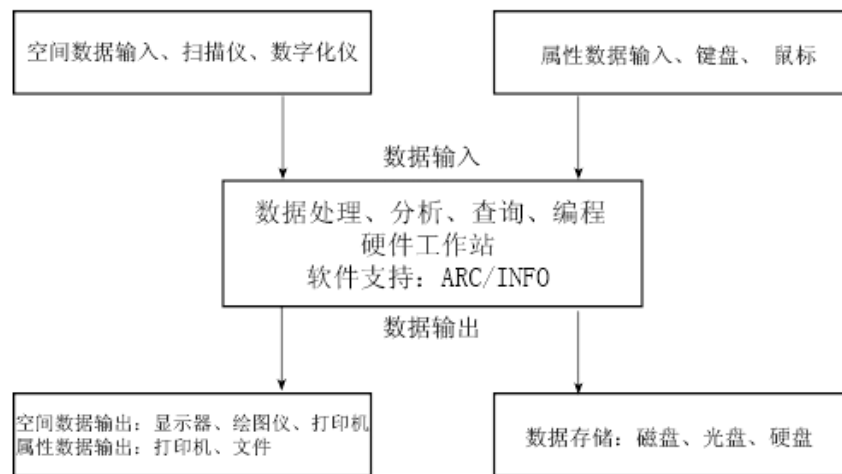


图 3-1 硬件配置图

### 3.3 数据的采集

建立天童森林公园生态服务功能价值评估系统所需的数据源，包括森林资源的各种属性数据和图形数据，即指各种空间数据。

#### （1）属性数据

属性数据表示实际地物或特征的非位置关系的统计数据，它们通常以文本的形式存在，如：分类、数量特征、名称、代码等。属性数据包括专业数据和区域自然环境数据。

##### 1) 专业数据

专业数据是指与天童森林公园的群落分布图的相关属性数据。

##### 2) 区域自然环境数据

区域自然环境数据是指天童森林公园内的地形、土壤、海拔及植被分布等数据，其来源于文献、实地调查。

#### （2）图形数据

图形数据是指数字化底图的图件，它主要包括植被分布图和地形图。

##### 1) 植被分布图

植被分布图是根据天童实验站长期的调查资料，以群落为单位绘制的。它的主要特点是按不同的群落、不同的优势树种，分别绘不同的颜色。因此，群落分布图能清楚地反映整个天童森林公园的地物、地类及森林按优势树种的分布特征。本论文中的图形数据材料——植被分布图来源于《浙江天童国家森林公园的植被与区系》<sup>[33]</sup>。

## 2) 地形图

选取比例尺为 1 : 10000 的宁波电子地图。

### 3.4 空间数据的处理

#### 3.4.1 数据分类<sup>[10, 38]</sup>

数据分类的目的是为了计算机存储、编码和检索等的需要。将大量的分散数据组织成系统数据库,必须要有一个较好数据分类体系。分类体系划分是否合理,直接影响到系统数据的组织,系统间数据的联接、传输和共享,以及系统的质量。因此,它是信息系统设计和数据库建立的一项极为重要的基础工作。

##### (1) 数据分类的范围

###### 1) 区域基本环境数据

区域基本环境数据包括自然环境和自然资源数据。

###### 2) 专业数据

专业数据指的是经野外调查后,综合处理、分析所获得到的森林资源方面的专业数据,如:群落调查数据。

##### (2) 数据分类的原则

1) 在 ARCINFO 支持下,数据分类结果的一个类别就是一个子数据库(数据层),该数据库必需由同一个图层(即:图形数据库)和一个属性数据库构成,二者要形成一一对应关系;

2) 坚持同一专题所包含数据相对集中的原则,每类数据库由属性相近或相关的字段组成;

3) 分类的确定应充分考虑数据分析运算及数据库间数据连接的方便程度,尽可能减少分类的级别和数量;

4) 数据更新的同频性原则。在信息管理系统中,数据包含在特定的数据库中,数据库内数据字段的更新频率相同与否,直接影响更新周期、录入差错率和更新数据的工作量。因此,将更新频率相同的数据录入同一数据库,将更新频率不同的数据录入不同的数据库。

##### (3) 数据分类体系

根据以上数据分类的目的、范围和原则,以确定天童森林公园生态服务功能价值评估系统的数据分类体系和数据库结构设计,见表 3-1。

表 3-1 宁波天童森林公园生态系统服务功能价值评估数据分类体系表

| 数据类型和数据库 | 数据项                  |
|----------|----------------------|
| 植被分布     | 面积、树种组成、下木组成、地被物组成等  |
| 河 流      | 河流长度                 |
| 道 路      | 道路长度、道路性质（如：公路、集材道等） |
| 地 形      | 高程                   |
| 区域自然环境状况 | 区域面积、海拔、坡向、坡度、土壤等    |
| 生态服务功能价值 | 经济价值、生态价值、社会价值       |

#### 3.4.2 图形清绘

图形清绘是指对要数字化的原图进行地物识别，清除影响数字化的图斑图块等，并对需要数字化的地物进行标记和编号，以便于数字化的进行，同样也避免了图形输入后再进行修改编辑的繁琐工作。

##### （1）群落分布图的清绘

群落分布图在数字化之前，先对群落、道路、河流和建筑等进行编号，这样可分层按顺序输入，减少了重复和错误操作。

##### （2）地形图的清绘

地形图在数字化之前，对一些不清晰的等高线进行勾绘，并记录等高线的高程值，以便在输入等高线的过程中，输入高程值。

#### 3.5 数据的输入、编辑及系统的生成

天童森林公园生态服务功能价值评估系统的数据主要来源于群落分布图和实地考察，将数据进行数字化，包括属性数据和图形数据的输入与编辑。属性数据和图形数据经过输入和编辑之后，就形成了属性数据库和图形数据库。属性数据是以文本的形式来表示研究对象的属性特征；图形数据库表示了研究对象的几何位置关系，一个图形数据库就是一个几何图层。在属性数据库和图形数据库输入过程中，两者便联系在一起。因此，属性数据库和图形数据库是一一对应的。在空间分析模块中，由一个图形数据和一个与之连接的属性数据库就构成了一个空间数据层，所有数据层的集合就构成了天童森林公园生态服务功能价值评估系统的基础，再根据不同森林资源资产评估方法对小班进行价值评估，最终完成整个系统。

## 第四章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估指标体系及评估方法的确定

### 4.1 森林生态系统服务功能价值评估指标体系的构建

森林生态系统本身及其评估指标系统均为软系统，选择评价指标和标准时，既要体现森林生态系统自身的结构和发展规律，还要体现其对生态、经济、社会环境的保护、增益和调节功能。同时，还要考虑评价指标的社会服务功能。在这个总体原则的基础上，考虑到本研究是在 GIS 下完成的森林生态系统服务功能价值评估系统，因此评价指标选择不仅要遵循以上的总体原则，即典型性、代表性、可物理量化性，还要考虑指标的独立性和可货币量化性。

#### 4.1.1 森林生态系统服务功能的分类

森林生态系统服务功能的类型多种多样，Costanza 等<sup>[9]</sup>总结了包括森林生态系统在内的 16 个生态系统的分类系统，提出了 17 大类生态系统服务功能：气体调节、气候调节、干扰调节、水分调节、水分供给、侵蚀控制和沉积物保持、土壤形成、养分循环、废弃物处理、授粉、生物控制、庇护、食物生产、原材料、遗传资源、休闲等。侯元兆<sup>[20]</sup>总结制定出森林的涵养水源、保护土壤、促进营养物质积累、维持大气平衡、调节气候、吸收分解污染物、完善生态系统生殖功能，促进生态系统进化和发展、保护野生生物、森林游憩及其他社会价值等 10 种生态系统服务类型。还有其他研究提出各种森林生态系统服务的分类<sup>[34, 41, 42]</sup>。应当注意的是，森林生态系统服务的类型与森林生态系统的功能并不是一一对应的。从方便理解和操作的角度，森林生态系统服务功能可以概略地分为三大类<sup>[1, 6]</sup>，第一类是生态系统产品，主要是木材和非木材林产品等可以商品化的功能；第二类是改善人类生存环境的公益功能，主要包括：涵养水源、保持水土、合成有机物质、净化环境、其他维持生态系统平衡与进化的功能等；第三类是为人类娱乐、美学、科学、教育、精神和文化方面提供自然环境的社会价值类型，主要是游憩和科研等。因此，森林生态系统服务功能价值的评估也应包含三部分，即：生态系统产品功能价值——经济价值；环境公益功能价值——生态价值；景观游憩功能价值——社会价值。

#### 4.1.2 评估指标的筛选

森林生态系统服务功能价值评估应该是站在可持续的发展高度处理资源资产问题，它不仅考虑现代人的利益，而且考虑后代人的利益，并且将两者有机地结合起来，以“善待自然，保护环境”为理念，以高效可持续利用和适宜的补偿为手段，通过价值杠杆与政府的宏观调控，实现森林资源的永续利用。指标的构



建利用专家咨询表的定量信息和定性信息进行统计分析,如果有 1/3 以上的专家认为某项指标一般或不重要,该指标即被淘汰,此外,对于权重很小的指标,并入相近指标中。经过几轮专家咨询,群组决策 AHP 法、AHP-Delphi 法主分量分析、灰色系统理论<sup>[20, 43, 44]</sup>等定量和定性相结合的方法,筛选出评估指标体系,直到 70%以上的专家认同,才列入指标体系,形成评估指标。按照上述方法,考虑现阶段森林生态系统服务功能价值评估系统的可行性对已有的各类评估指标的筛选,建立了一套适合于 GIS 下的森林生态系统服务功能价值评估指标体系,其具体指标体系见表 4-1。

表 4-1 森林生态系统服务功能价值评估指标体系表

|      |      |               |                                                                       |        |                   |
|------|------|---------------|-----------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|
| 指标体系 | 功能指标 | 有形            | 生物                                                                    | 林木     | 林种结构（蓄积量、生长量、面积等） |
|      |      |               |                                                                       |        | 龄级结构（蓄积量、生长量、面积等） |
|      |      |               |                                                                       |        | 树种结构（蓄积量、生长量、面积等） |
|      |      |               |                                                                       | 动物、微生物 |                   |
|      |      |               | 其它                                                                    |        |                   |
|      |      | 土地            | 有林地、经济林地、无林地                                                          |        |                   |
|      | 无形   | 环境产品          | 水源涵养、固土保肥、固碳制氧、净化大气等                                                  |        |                   |
|      |      | 社会产品          | 森林景观、其它                                                               |        |                   |
|      | 价值指标 | 经济价值          | 林木价值、林地价值                                                             |        |                   |
|      |      | 生态价值          | 水源涵养——林冠截留、枯落物持水、林地土壤持水                                               |        |                   |
|      |      |               | 固土保肥——固土、保肥                                                           |        |                   |
|      |      |               | 改善大气——固定 CO <sub>2</sub> 、释放 O <sub>2</sub> 、净化 SO <sub>2</sub> 、净化粉尘 |        |                   |
|      | 社会价值 | 森林景观游憩价值、其它价值 |                                                                       |        |                   |

#### 4.2 评估方法的确定

##### 4.2.1 评估方法的介绍

森林生态系统服务功能价值的评估方法中,能够在传统经济学真正获得规范和恰当的价值计量的仅占少数,他们主要集中于承载功能和生产功能的一些内容<sup>[7, 45]</sup>。森林生态系统服务功能的绝大部分功能,尤其是调节功能和信息功能,都未能得到价值评价。森林生态系统的调节功能和信息功能的发挥,不仅不会影响森林的存在质量,有时甚至会提高其承载功能和生产功能;但承载功能和生产功能的盲目发挥,却会导致森林不同程度的破坏,削弱或毁灭其他功能。这样,在进行价值计量中,必须考虑功能之间的不同相互影响。根据生态经济学、环境经济学和资源经济学的研究成果,森林生态系统服务功能价值评估方法可分为两类:

##### (1) 替代市场技术<sup>[6, 24, 46-49]</sup>

替代市场技术是以“影子价格”和消费者剩余来表达生态服务功能的经济价值,评价方法多种多样,其中有费用支出法、市场价值法、机会成本法、旅行费

用法和享乐价格法;

### 1) 费用支出法

费用支出法是从消费者的角度来评价生态服务功能的价值,是一种古老又简单的方法,它以人们对某种生态服务功能的支出费用来表示其经济价值。如生态游憩价值,以游憩者支出的费用总和(包括往返交通费、餐饮费、住宿费、门票费、入场券、设施使用费、摄影费、购买纪念品和土特产品的费用,购买或租借设备费用以及停车费和电话费等一切支出的费用)作为生态游憩的经济价值。费用支出法通常有三种形式:总支出法,以游客的费用总支出作为游憩价值;区内支出法,仅以游客在游憩区内支出的费用作为游憩价值;部分费用法,以游客支出的部分费用如以交通费、门票费、餐饮费和住宿费四项作为游憩价值。

### 2) 市场价值法

市场价值法与费用支出法类似,但它可适合于没有费用支出的但有市场价格的生态服务功能的价值评估。例如没有市场交换而在当地直接消耗的生态系统产品,这些自然产品虽没有市场交换,但它们有市场价格,因而可按市场价格来确定它们的经济价值。市场价值法先定量地评价某种生态服务功能的效果,再根据这些效果的市场价格来评估其经济价值。根据生态效益的正负划分,市场价值法可分为两类:①环境效益评价法,它可分为3个步骤:先计算某种生态系统服务功能的定量值,如涵养水源的量、CO<sub>2</sub>固定量、农作物增产量;再研究生态服务功能的“影子价格”,如涵养水源的定价可根据水库工程的蓄水成本,固定CO<sub>2</sub>的定价可以根据CO<sub>2</sub>的市场价格;最后计算其总经济价值。②环境损失评价法,它与环境效果评价法类似的一种生态经济评价方法。例如,评价保护土壤的经济价值时,用生态系统破坏所造成的土壤侵蚀量及土地退化、生产力下降的损失来估计。环境效益评价法与环境损失评价法是一个问题的两个方面,一是从公益效益的效果上考虑,一是从失去公益效益的损失上考虑,但生态破坏的公益损失比较明显和容易定量时,就可用环境损失评价法。理论上,市场价值法是一种合理方法,也是目前应用最广泛的森林生态系统服务功能价值的评价方法。

### 3) 边际机会成本法

边际机会成本法由边际生产成本、边际使用成本和边际外部成本组成的。机会成本是指在其它条件相同时,把一定的资源用于生产某种产品时所放弃的生产另一种产品的价值,或利用一定的资源获得某种收入时所放弃的另一种收入。对于具有稀缺性的自然资源和生态资源而言,其价格不是由其平均机会成本决定的,而是由边际机会成本决定,它在理论上反映了收获或使用一单位自然和生态资源时全社会付出的代价。边际机会成本法主要针对自然资源,在核算时既考虑使用者本人开发资源所付出的代价和资源开发对他人的影响以及后代人由于不

能使用该种资源所需付出的代价,比较客观全面地体现了某种资源系统的生态价值。

#### 4) 旅行费用法

旅行费用法属于间接性经济评价法,是利用游憩的费用(常以交通费和门票费作为旅行费用)资料求出“游憩商品”的消费者剩余,并以其作为生态游憩的价值。游憩是一种“公共商品”,不能确定市场价格并进行市场交换,因而其市场价格资料和需求信息很难获得。其次,象游憩这样的“公共商品”给人们提供的并不是物质,而是一种心理满足或精神享受。因此,游憩效益是一种无形效益,必须采用一些特殊的计量指标或特殊方法进行评价。旅行费用法的最大贡献是对消费者剩余的创造性应用,其主要原因有:人们常用市场价格表示商品的经济价值,但象游憩这样的“公共商品”不仅没有市场交换,而且也没有市场价格;消费者剩余是根据商品市场价格资料计算出来的,但由于游憩没有市场交换和市场价格,因而其消费者剩余也没法直接计算。因此,旅行费用法的优点就在于不仅首次提出“游憩商品”可以用消费者剩余作为其价值的评价指标,而且首次计算出“游憩商品”的消费者剩余。游憩价值可分为使用价值和非使用价值,游憩的使用价值是指供人们现时现地的游憩使用价值,它有与私有商品类似市场交换的“替代市场”和“影子价格”,并能够以此来评价其价值;游憩的非使用价值是指供以后游憩使用的价值,或者供子孙后代游憩使用的价值,或者客观存在本身的价值,没有交换市场和“替代市场”,只有通过特殊的方法计算其价值。

#### 5) 享乐价格法

享乐价格与很多因素有关,如可提供使用的房产本身数量与质量,距中心商业区、公路、公园和森林的远近,当地公共设施的水平,周围环境的特点等。享乐价格理论认为:如果人们是理性的,那么他们在选择时必须考虑上述因素。西方国家的享乐价格法研究表明:树木可以使房地产的价格增加 5%~10%;环境污染物(如硫化物、氮氧化物和尘埃)每增加一个百分点,房地产价格将下降 0.05%~1%。

### (2) 模拟市场技术<sup>[6, 46-48]</sup>

模拟市场技术(又称假设市场技术)它以支付意愿和净支付意愿来表达森林生态服务功能的经济价值,其评价方法只有一种,即条件价值法,也称调查法和假设评价法。它是生态系统服务功能价值评估中应用最广泛的评估方法之一。条件价值法适用于缺乏实际市场和替代市场交换商品的价值评估,是“公共商品”价值评估的一种特有的重要方法,它能评价各种生态系统服务功能的经济价值,包括直接利用价值、间接利用价值、存在价值和选择价值。支付意愿可以表示一切商品价值,也是商品价值的唯一合理表达方法。西方经济学认为;价值反映了

人们对事物的态度、观念、信仰和偏好，是人的主观思想对客观事物认识的结果；支付意愿是“人们一切行为价值表达的自动指示器”，因此商品的价值可表示为：商品的价值=人们对该商品的支付意愿，支付意愿又由实际支出和消费者剩余两部分组成。对于商品，由于商品有市场交换和市场价格，其支付意愿的两个部分都可以求出。实际支出的本质是商品的价格，消费者剩余可以根据商品的价格资料用公式求出。因此，商品的价值可以根据其市场价格资料来计算。理论和实践都证明：对于有类似替代品的商品，其消费者剩余很小，可以直接以其价格表示商品的价值。对于公共商品而言，因公共商品没有市场交换和市场价格，因此支付意愿的两个部分（实际支出和消费者剩余）都不能求出，公共商品的价值也因此无法通过市场交换和市场价格估计。目前，西方经济学发展了假设市场方法，即直接询问人们对某种公共商品的支付意愿，以获得公共商品的价值，这就是条件价值法。条件价值法属于模拟市场技术方法，它的核心是直接调查咨询人们对生态服务功能的支付意愿，并以支付意愿和净支付意愿来表达生态服务功能的经济价值。在实际研究中，从消费者的角度出发，在一系列假设问题下，通过调查、问卷、投标等方式来获得消费者的支付意愿和净支付意愿，综合所有消费者的支付意愿和净支付意愿来估计生态系统服务功能的经济价值。

#### 4.2.2 天童森林生态系统服务功能价值评估方法的确定

##### （1）经济价值评估

森林的经济价值主要表现在森林的林木和林地收益两方面，虽然天童森林公园中的植被的主要利用方式是为社会提供其巨大的无形产品的价值的公益林，但森林的实物产品仍然存在，其实物价值只是还未到市场上得以实现。林木资本是国家投入，随着森林的形成、生长、其林木及林地价值也在增值，它是以自然增值为主，增长速度和大小取决于林地质量、树种和气候条件等，而且，还伴有各类管理及培育费用，人们在享用其无形产品的同时也应对其实物价值进行补偿。考虑到价值的可比性和实用性，天童森林公园生态服务功能的经济价值估算仍采用传统用材林的价值评估方法，以便更好的为相关部门决策提供依据，合理规划森林的利用方式。

##### 1) 林木价值评估

##### ①不同群落（经济林除外）林木价值的评估

公式的确定：由于天童森林公园中的植物群落大都是天然形成，已有相当长年份，林木生长旺盛，林分有一定的蓄积量，林分生长质量也基本表现出来，已能反映林分的经营效果，考虑到现有条件和计算结果，用市场价倒算法<sup>[35, 43, 50, 51]</sup>计算比较符合实际。根据天童的实地资料，计算出各优势种的单位立木价以此来

代替各植被类型的立木价，再由单位立木价乘各小班蓄积计算出林木价值加入 GIS 数据库中，其中立木价的计算公式如下：

$$G = T(1-c)-F(1+Q) \cdots \cdots \cdots (1)$$

G—立木价(元/m³)；T—木材销售价；c—税率(本文中按 10%计算)；  
F—采运成本；Q—成本利润率(本文中按 20%计算)。

例：(如图 4-1) 该小班为落叶阔叶林 84977 平方米，蓄积量为 45 立方米/亩；落叶阔叶林销售价为 800 元/立方米；采运成本按 85 元/立方米，代入公式 (1)：

$G = 800(1-10\%)-85(1+20\%) = 618$  元/立方米，该小班的总林木价值为 3547044 元。

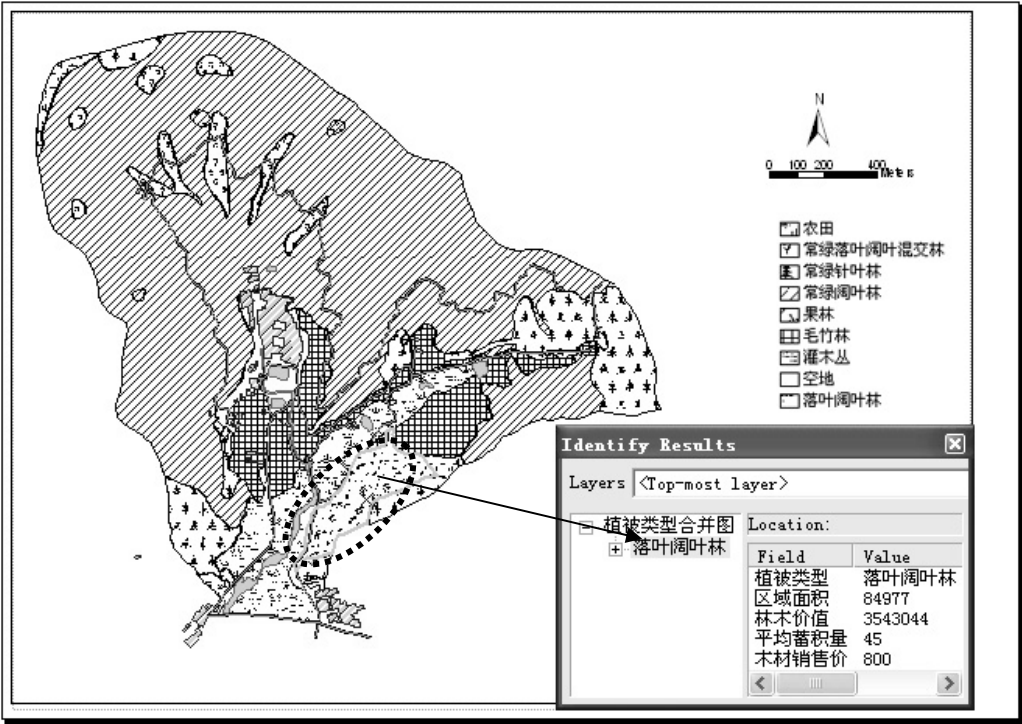


图 4-1 林木价值示意图

### ② 经济林资产评估

对经济林(竹林)的评估主要运用年净现值法<sup>[35, 47, 50, 51]</sup>，天童森林公园也不例外，通过估算经济林资产在未来经营期内各年的预期净收益，并累计求和得出经济林资产评估值加入 GIS 数据库中。

公式为：

$$En = \sum_{i=1}^u \frac{(Ai - Ci)}{(1+P)^{u-i+1}} \cdots \cdots \cdots (2)$$

En—各小班林木资产评估值；u—经营期；P—利率；Ci—第 i 年的总支出；  
Ai—第 i 年的总收入。

参数 P 确定：

通常来说，利率包含了无风险利率，风险报酬率和通货膨胀率。在森林生态系统服务功能评估中，由于涉及到的成本均为重置成本，即现实物价水平上的成本，其收入与支出的物价是在同一时点上，不存在通货膨胀因素，因此，利率由纯利率和风险率组成。

经济利率：也称纯利率，它随资金市场的供需关系而变化。在允许资金自由流动的条件下，经济利率是相当稳定的，近百年来随着货币资本的积累，经济利率在缓慢地下降。世界上许多国家确定经济利率的方法是，将一个稳定的政府发行国债的年利率(风险率为 0)扣除当年的通货膨胀率，剩余部分则为经济利率，大约为 3.5%。我国政府政策性贷款利率也接近这个水平。

风险率：营林生产的风险主要由造林失败、火灾、病虫害、风灾、雪灾、旱灾等自然灾害及人畜破坏产生。根据营林生产的实际，商品林经营中年风险率一般不超过 1%。

所以，一般利率 P 在森林资产评估中，利率定为 4%—6%之间。本文取世界银行的贷款利率 6%为 P 值。

例：(如图 4-2)天童森林公园共有毛竹林 3 块，面积合计 254014 平方米，其经营期为 5 年，每年收益为 75000 元/公顷，年成本 27000 元/公顷，代入公式(2)： $E_n = 202200$  元/公顷，则该小班的林木价值 5133429 元。

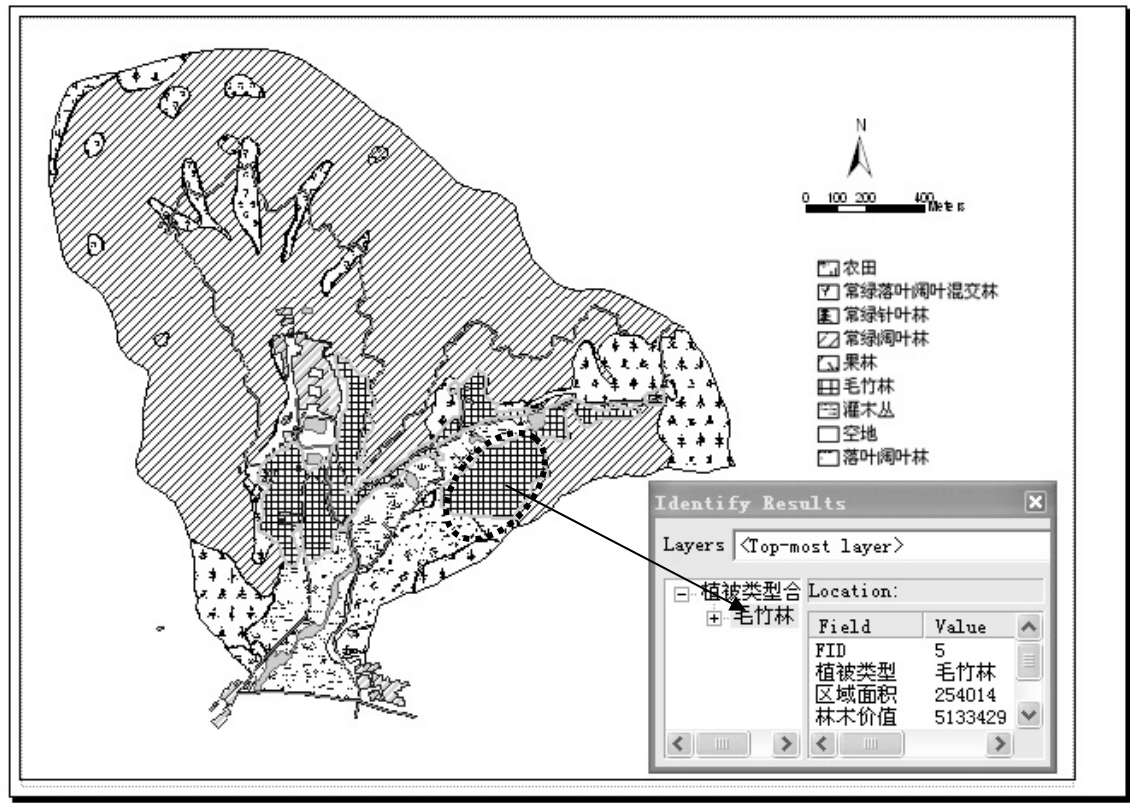


图 4-2 经济林价值示意图

## 2) 林地价值

林地评估<sup>[35, 47, 52-55]</sup>总的原则是按质论价, 由于林地的自然条件及经济条件的差异, 其评估会有所不同。总的说来, 自然条件和经济条件两者等级愈高(地利级), 纯收益就愈大, 故其地价愈高。通过林地资产评估方法适用林地类型的比较, 确定采用现行市价法<sup>[43-45]</sup>对天童森林公园的林地资源进行评估。公式为:

$$Bu = K \times G \times S \cdots \cdots \cdots (3)$$

Bu—被评估小班林地评估值; K—地位级调整系数; S—被评估小班的面积;  
G—参照物单位面积的交易价格(元/公顷)。

### ① 参数的确定——地位级调整系数K的确定

参考相关文献<sup>[42, 46, 47]</sup>, 并结合天童森林公园的实际情况编制成地利级评分表。地位级划分: 按小班的相对高程、坡度、坡向、距道路距离四个因子的差异来划分。根据植被分布空间数据从地利级评分表中查出每个因子的得分值, 用各个因重加权平均而得确定各小班和参照地的地利级得分, 见表 4-2。

表 4-2 森林生态服务功能价值评估系统地利级评分表

| 高程<br>(权重=40) |    | 坡度<br>(权重=30) |    | 坡向<br>(权重=10) |    | 距道路距离<br>(权重=20) |    |
|---------------|----|---------------|----|---------------|----|------------------|----|
| 分类            | 得分 | 分类            | 得分 | 分类            | 得分 | 分类               | 得分 |
| <200 米        | 10 | <15°          | 10 | 南坡            | 10 | <50 米            | 10 |
| 200-350 米     | 8  | 15° -30°      | 6  | 东坡            | 8  | 50-100 米         | 8  |
| 350-500 米     | 4  | 30° -45°      | 2  | 西坡            | 4  | 100-400 米        | 2  |
| >500 米        | 1  | >25°          | 1  | 北坡            | 1  | >400 米           | 1  |

根据地利级评分表, 结合 GIS 空间分析功能, 将高程、坡度、坡向、道路图层重叠分析, 从而得将研究区域分割成若干区域, 形成小班, 利用各小班属性不同从而形成不同的地利级, 最终落实到植被分布图层上, 由于空间属性的不同, 林地价值也随之不同, 其中参照地块的地利级得分为满分 1000 分。GIS 空间属性的合成过程如图 4-3 所示。

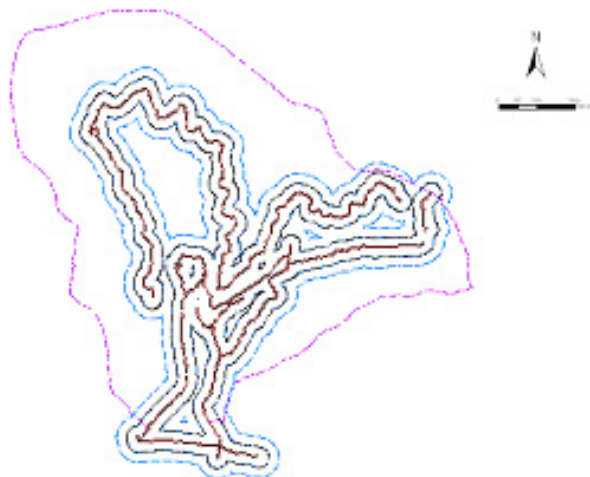


图 4-3-1 道路分级分析图(注: 以 50 米为一个缓冲带)



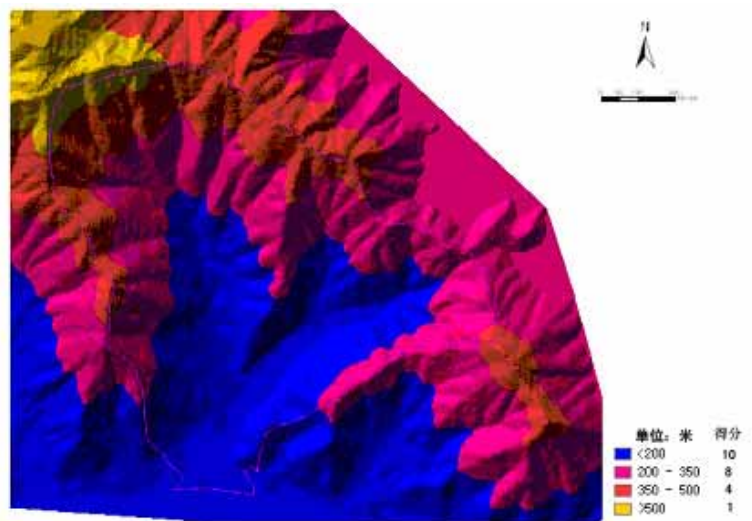


图 4-3-2 高程分析图

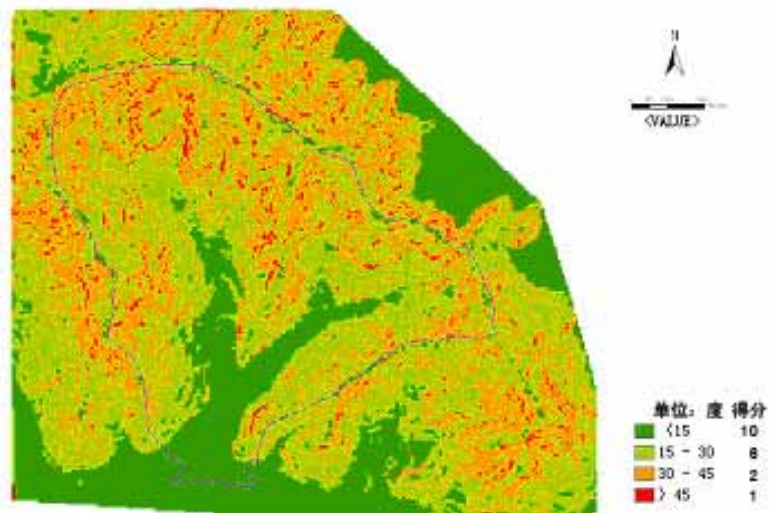


图 4-3-3 坡度分析图

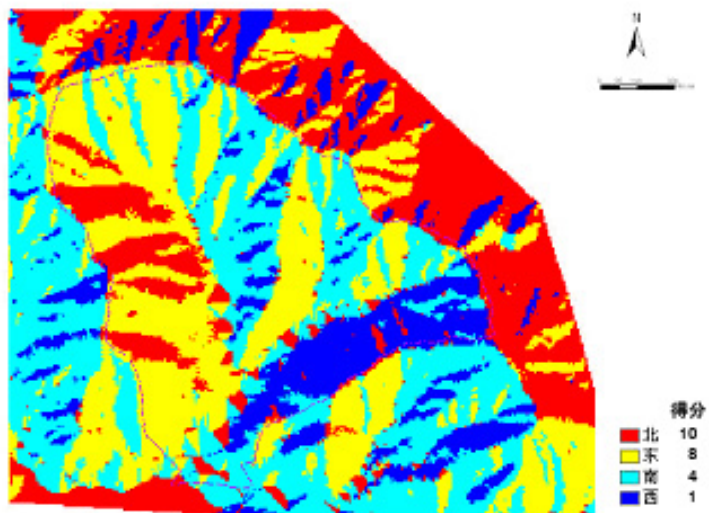


图 4-3-4 坡向分析图



根据天童实际调查所得，天童山地地区的地价一般在 75 万元/公顷至 225 万元/公顷，参考地价在本研究中属于保护区故取地块的价格为 225 万元/公顷，根据地利级得分从而计算出该地块的林地价值。

例：（如图 4-4）该小班坡向西，坡度在 15-30 度之间，高程在 200 米之内，距道路的距离小于 50 米，根据地利级评分表得出该小班的地利级得分为 740 分，由于参考地块为 1000 分，则该小班地位级调整系数  $K=740/1000=0.74$ ，林地价格为： $Bu=0.74 \times 184516/10000 \times 225 = 3072$  万元。

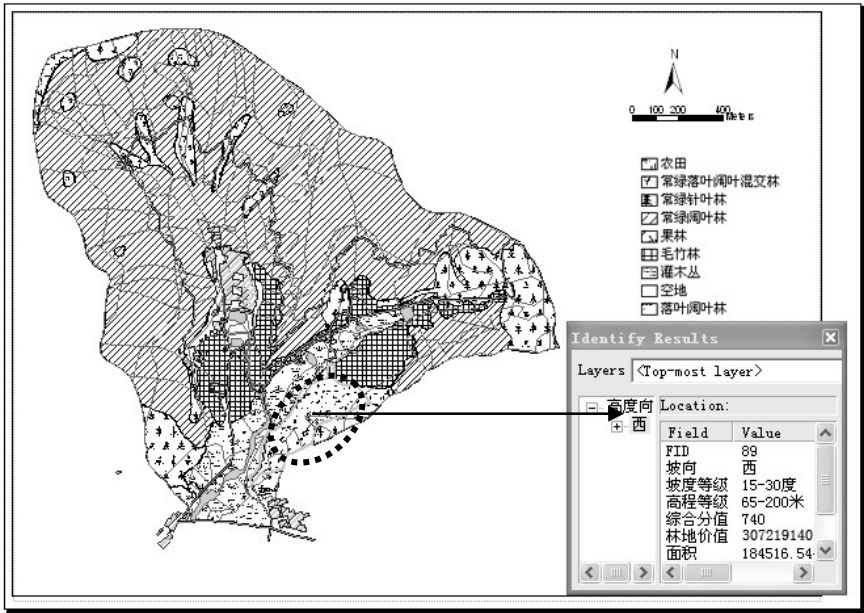


图 4-4 林地价值示意图(单位：万元)

## (2) 生态价值评估

根据生态经济学、环境经济学和资源经济学的研究成果，生态系统服务功能的生态价值评估一般采用效益评估法即先定量地评估某种生态服务功能的效果，再根据这些效果的市场价格来评估其经济价值<sup>[23, 56-58]</sup>。效益评估法又分为两类：第一、环境效益评估法：它可分为 3 个步骤：先计算某种生态系统服务功能的定量值，如涵养水源的量、CO<sub>2</sub>固定量、农作物增产量；再研究生态服务功能的“影子价格”，如涵养水源的定价可根据水库工程的蓄水成本，固定 CO<sub>2</sub> 的定价可以根据 CO<sub>2</sub> 的市场价格；最后计算其总经济价值。第二、环境损失评估法：它与环境效果评估法类似的一种生态经济评估方法。例如，评估保护土壤的经济价值时，用生态系统破坏所造成的土壤侵蚀量及土地退化、生产力下降的损失来估计。环境效益评估法与环境损失评估法是一个问题的两个方面，一是从公益效益的效果上考虑，另一个是从失去公益效益的损失上考虑，但当生态破坏的公益损失比较明显和容易定量时，就可用环境损失评估法。

### 1) 森林涵养水源价值评估

森林涵养水源功能是指森林对降水的截留、吸收、贮存，将地表水转化为地

下水，调节河川径流丰枯水平的作用<sup>[34, 59-61]</sup>。其主要表现在消减洪峰和增加水资源量两个方面。讲到森林的大气降水受到影响大气降水各因素的作用，同时经过森林的三个作用层即森林植被层、枯枝落叶层和森林的土壤层的截留拦蓄作用，使得大气降水在森林内重新分配。森林不但以其覆盖层保护着土壤表层免受水蚀和风蚀，同时以其高耸茂密的枝叶组成林冠层和疏松而深厚的枯枝落叶层截持大气降水，对大气降水进行调节，见图 4-5。

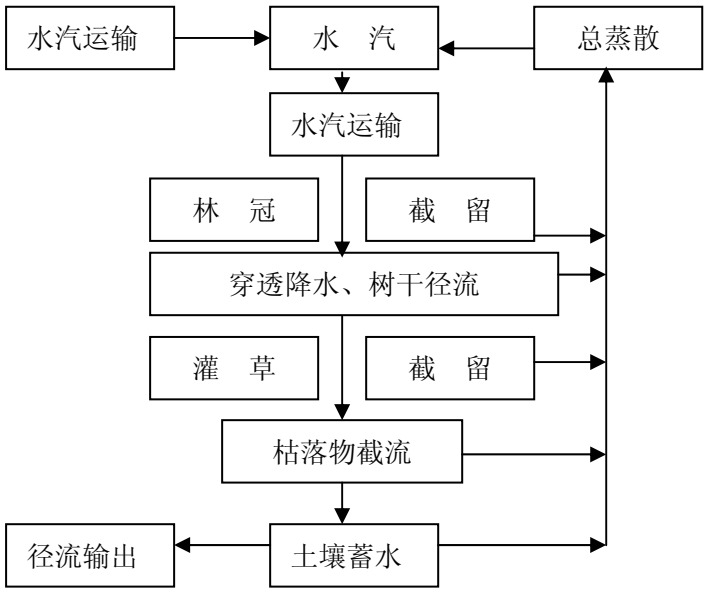


图 4-5 森林涵养水源功能示意图

森林生态系统服务功能涵养水源价值评估方法有截留算法、径流算法、蒸腾率算法、土壤蓄水算法、河川径流量法、水量平衡法<sup>[ ]</sup>等，由上述方法计算出年森林涵养水源量乘以水价等于森林涵养水源的价值，水价可用影子工程价格替代，即以目前的单位库容造价代替，最终估算出森林涵养水源价值。在实际中，一般情况采用水量平衡法来表示森林的水源涵养量<sup>[34, 59, 61]</sup>。

#### ① 方法介绍——水量平衡法

某小班年森林水源涵养价值

$$\begin{aligned}
 &= (\text{平均年降雨量} - \text{平均年蒸散量}) \times \text{面积} \times \text{林分调整系数} \times \text{水价} \\
 &= \text{径流系数} \times \text{平均年降雨量} \times \text{面积} \times \text{林分调整系数} \times \text{水价} \cdots \cdots (4)
 \end{aligned}$$

#### ② 参数的确定

i) 水价可用影子工程价格替代，据调查，目前的单位库容造价为 5.714 元/ $\text{m}^3$ <sup>[12]</sup>。

ii) 平均蒸散量的确定：目前流行的划分是大尺度气候带用干燥度，大中尺度气候区用干燥性指数(湿润指数)。联合国教科文组织提出了按彭曼公式计算蒸散潜力  $E_{tp}$  的湿润指数  $H_m$ ，并以此划分气候环境区，见式：

$$Hm=r \div Etp \dots\dots\dots (5)$$

式中：Hm 为湿润指数；r 为区域年降水量(mm)；Etp 为蒸散潜力(mm)。

根据彭曼公式变形的平均蒸散量的计算公式： $Etp=r \div Hm$ 。其中湿润指数为 1.83，平均年降水量 1374.7mm<sup>[33]</sup>，则天童森林公园平均蒸散量=1374.7÷1.83=751.2mm，径流系数 = 1374.7-751.2 = 623.5 mm。

iii)林分调整系数的确定：不同林分的水源涵养能力的大小除了与林分类型、林分年龄、郁闭度以及一次性降雨量和降雨强度有关，还与其所处的空间位置（坡度、高度）有关。本研究通过对天童森林公园不同林分类型典型样地的调查数据的相关分析，同时结合类似区域森林水源涵养能力的研究结构，建立了天童不同林分森林水源涵养功能调整系数表，见表 4-3：

表 4-3 天童不同林分森林水源涵养功能调整系数表

| 林分        |    |      | 坡度      |    |      | 高程        |    |      |
|-----------|----|------|---------|----|------|-----------|----|------|
| 分类        | 系数 | 系数值  | 分类      | 系数 | 系数值  | 分类        | 系数 | 系数值  |
| 常绿落叶阔叶混交林 | A1 | 1.00 | <15 度   | B1 | 1.00 | <200 米    | C1 | 0.54 |
| 常绿阔叶林     | A2 | 0.84 | 15-30 度 | B2 | 0.57 | 200-350 米 | C2 | 0.79 |
| 落叶阔叶林     | A3 | 0.76 | 30-45 度 | B3 | 0.31 | 350-500 米 | C3 | 0.85 |
| 常绿针叶林     | A4 | 0.71 | >45 度   | B4 | 0.17 | >500 米    | C4 | 1.00 |
| 毛竹林       | A5 | 0.42 |         |    |      |           |    |      |
| 灌木林       | A6 | 0.35 |         |    |      |           |    |      |
| 果园        | A7 | 0.11 |         |    |      |           |    |      |
| 农田        | A8 | 0.07 |         |    |      |           |    |      |

例：（如图 4-6）该小班的水源涵养功能的价值为 12.8 万元/年。

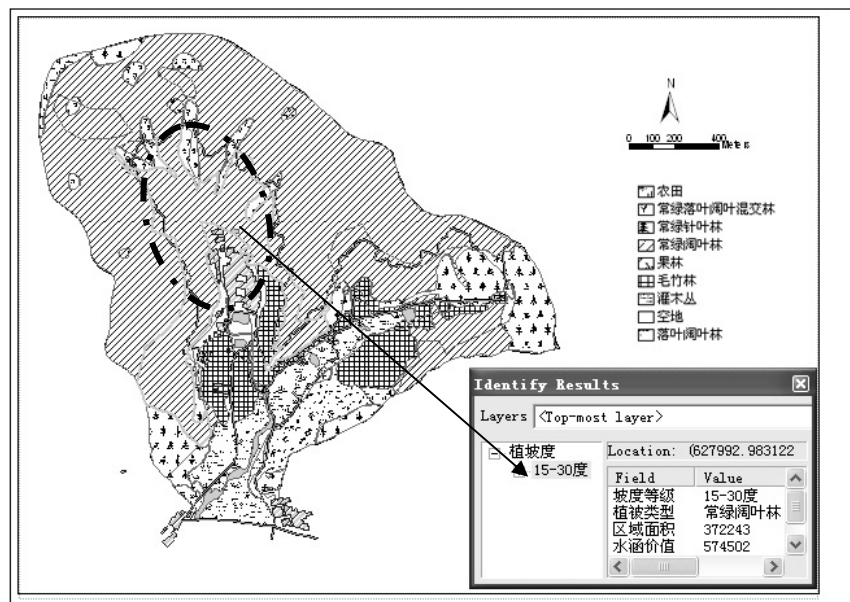


图 4-6 水源涵养价值示意图

## 2) 森林固土保肥价值评估

森林的固土保肥的价值体现在减少土壤侵蚀、保持土壤肥力及减少泥沙淤积

总量。其效益评估一般主要是以计量土壤流失、土壤肥力丧失和泥沙淤积所造成的经济损失，以此替代森林的固土保肥的价值<sup>[34, 61, 62]</sup>。

① 方法的介绍

森林固土保肥价值= (减少土壤侵蚀价值 + 减少土壤肥力损失价值 + 减少泥沙淤积价值) × 林分调整系数…………… (6);

包括:

减少土壤侵蚀总量 = 有林地与无林地侵蚀差异量 × 小班林地面积……(7);

有林地与无林地侵蚀差异量 = 土壤侵蚀模数 ÷ 林地土壤平均容重……(8);

其中天童土壤侵蚀模数来源于中国水利网长江流域中下游丘陵地区平均土壤侵蚀模数 0.5t/m<sup>2</sup> · a，林地土壤平均容重为 1.10t/ m<sup>2</sup>;

减少土地侵蚀总量价值

= 减少土壤侵蚀总量 ÷ 林地土壤层的平均厚度 × 林业平均收益…………… (9)

其中林业平均收益根据国家统计局的资料，我国林业生产的平均收益为 2.82 元/m<sup>2</sup> · a(1990 年不变价) 计算价值;

减少土壤肥力损失价值=各肥力元素保肥之和…………… (10)

各肥力元素价值 =减少土壤侵蚀总量 × 各肥力元素含率 × 折算肥料比例 × 单价… (11)。

其中制作化肥的比例：N79/14、P506/62、K174/78，有机质全部为肥料。肥料的价格，有机质 102.6 元/t、N 肥 387 元/t、P 肥和 K 肥均为 365 元/t，

森林减少泥沙淤积的价值 = 减少土壤侵蚀总量 × 泥沙淤积百分比 (33%) × 每 m<sup>3</sup>库容成本，目前单位库容造价为 5.714 元/m<sup>3</sup> <sup>[12]</sup>。

② 林分调整系数的确定：不同林分的固土保肥能力的大小除了与林分类型有关，还与其所处的空间位置（坡度、高程）有关。本研究通过对天童森林公园不同林分类型典型样地的调查数据的相关分析，同时结合类似区域森林固土保肥能力的研究结构，建立了天童不同林分森林固土保肥功能调整系数表，见表 4-4:

表 4-4 森林固土保肥功能调整系数表

| 林分        |    |       | 坡度    |    |      | 高程      |    |      |
|-----------|----|-------|-------|----|------|---------|----|------|
| 分类        | 系数 | 系数值   | 分类    | 系数 | 系数值  | 分类      | 系数 | 系数值  |
| 常绿落叶阔叶混交林 | D1 | 0.013 | <15   | E1 | 0.33 | <200    | F1 | 0.54 |
| 常绿阔叶林     | D2 | 0.018 | 15-30 | E2 | 0.54 | 200-350 | F2 | 0.79 |
| 落叶阔叶林     | D3 | 0.021 | 30-45 | E3 | 0.73 | 350-500 | F3 | 0.85 |
| 常绿针叶林     | D4 | 0.022 | >45   | E4 | 1.00 | >500    | F4 | 1.00 |
| 毛竹林       | D5 | 0.037 |       |    |      |         |    |      |
| 灌木林       | D6 | 0.445 |       |    |      |         |    |      |
| 果园        | D7 | 0.907 |       |    |      |         |    |      |
| 农田        | D8 | 1.000 |       |    |      |         |    |      |

例：（如图 4-7）该小班的固土保肥功能的价值为 2.55 万元/年。

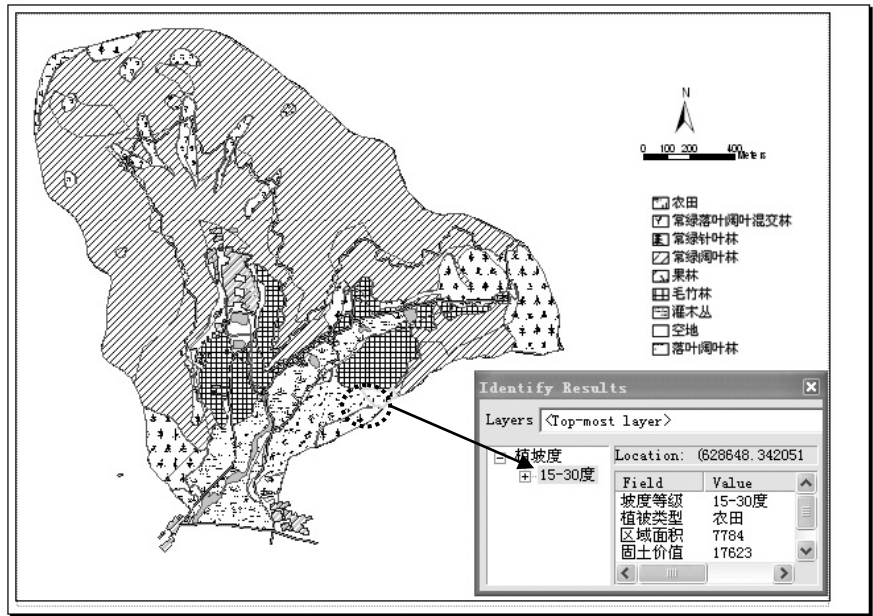


图 4-7 固土保肥价值示意图

### 3) 森林改善大气价值评估

森林改善大气价值 = 森林固碳制氧价值+森林净化大气价值…… (12);

#### ① 森林固碳制氧价值评估

森林具有吸收  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  利用太阳能进行光合作用生成单糖等碳水化合物的特殊功能，并释放出  $\text{O}_2$ ，因此森林是大气中  $\text{CO}_2$  的消耗者，又是  $\text{CO}_2$  的固定者。根据光合作用原理：

即：  $\text{CO}_2 (264\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (108\text{g}) \rightarrow \text{葡萄糖} (180\text{g}) + \text{O}_2 (192\text{g})$

↓

多糖 (162g)

森林这一特殊功能维持地球大气中的  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  的动态平衡，减少温室效应及提供人类生存基础，有巨大而不可替代的作用，从而产生很大的经济价值。按上述方程式以及不同林种固碳制氧能力的区别，推算出森林固定  $\text{CO}_2$  和制出  $\text{O}_2$  量。再根据市场价值法来衡量森林固碳制氧价值<sup>[34, 63-66]</sup>。

包括：

各区域森林年制  $\text{O}_2$  价值 = 林地面积 × 制  $\text{O}_2$  能力 × 制  $\text{O}_2$  成本… (13);

其中按树种分类针叶林制  $\text{O}_2$  能力为 240 吨/公顷·年；阔叶林制  $\text{O}_2$  能力 157 吨/公顷·年；制  $\text{O}_2$  成本参照 1995 年《中国生物多样性国情》<sup>[14]</sup> 研究报告中工业生产氧气的价格 400 元/吨进行估算。

各小班森林年固  $\text{CO}_2$  价值 = 小班林地面积 × 固  $\text{CO}_2$  能力 × 固  $\text{CO}_2$  成本… (14);

其中按树种分类针叶林固  $\text{CO}_2$  能力为 296.45 公斤/公顷·年；阔叶林固  $\text{CO}_2$

能力 198 公斤/ 公顷•年；固 CO<sub>2</sub>成本采用碳税法计算，碳税率的确定参照《中国多样性国情研究报告》<sup>[14]</sup>，使用瑞典的碳税率 0.15 美元/吨(c)，将其转化成固定 CO<sub>2</sub>率，即固 CO<sub>2</sub>成本为 339.8 元/吨(co<sub>2</sub>)来进行估算。

② 森林净化大气价值评估方法

森林有着显著的净化大气和保护人类健康的作用，森林以其独特的光合作用等生理功能，通过叶片的气孔和枝条下的皮孔吸收和转化 SO<sub>2</sub>等有害物质或由根系排出体外，林木吸收、降解、积累和迁移有害物质就是对大气的净化过程。此外，林木的滞尘效果也很明显，能显著减弱飘尘，从森林的这些功能而言，产生很大的经济价值，常采用影子工程法来估算森林净化大气效益。包括：

森林年降解 SO<sub>2</sub> 价值 = 小班林地面积×针叶林吸收×削减 SO<sub>2</sub> 工程成本………… (15)；

其中按树种分类针叶林吸收 SO<sub>2</sub>能力 251.6 公斤/ 公顷•年，阔叶林吸收 SO<sub>2</sub>能力 88.65 公斤/ 公顷•年，削减 SO<sub>2</sub>工程成本 600 元/吨。

森林滞尘价值 =小班林地面积×阔叶林滞尘能力×削减粉尘成本……(16)；

其中按树种分类针叶林滞尘能力 33.2 吨/公顷，阔叶林滞尘能力 10.11 吨/公顷，工业消减粉尘成本为 170 元/吨，参照《中国多样性国情研究报告》<sup>[14]</sup>。

例：(如图 4-8) 该区域的改善大气总价值为 60 万元/年。

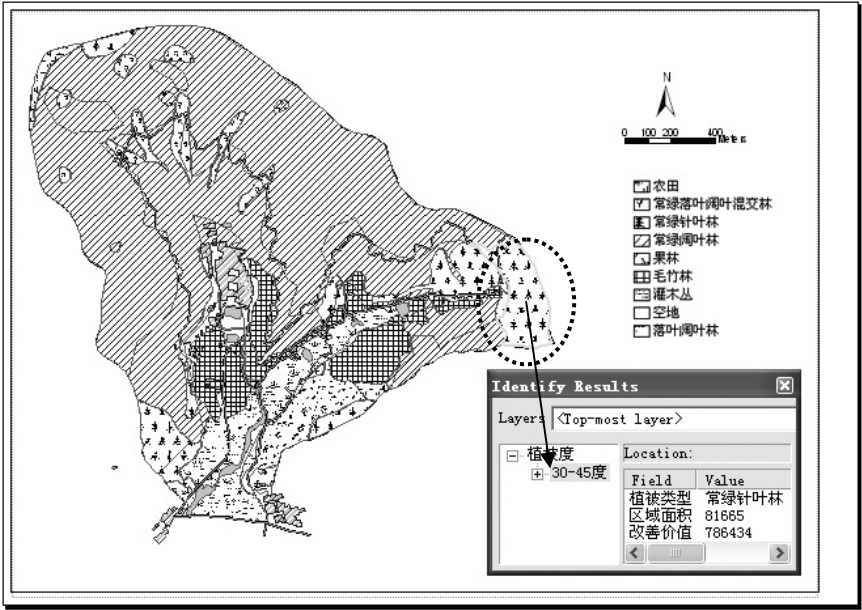


图 4-8 改善大气价值示意图

(3) 森林资源社会价值评估

森林社会价值评估主要是森林景观资产评估。森林景观资源是指具有游览、观光、休闲等价值的森林资源<sup>[68]</sup>。森林景观资产是指通过经营能带来经济收益的森林景观资源，主要包括风景林(含森林公园)、森林游憩地、部分名胜古迹和革

命纪念林、古树名木等<sup>[46, 69]</sup>。

1) 公式的确定

由于数据的限制,在宁波天童森林公园社会价值评估中只考虑其森林景观资产价值。运用现行市价法<sup>[6, 70]</sup>是一种最简单、有效的方法,因为评估过程中的资料直接来源于市场,同时又为即将发生的资产行估价,能够比较客观地反映资产目前的市场情况,其评估的参数、指数直接从市场获得评估值可能反映市场现实价格,评估结果较为公正、客观、易为各方面所理解和接受。同时,景观具有整体性不适于分割成小班进行评估,故在社会价值评估时先用现行市价法对天童森林公园的景观进行整体评估,然后根据不同小班的景观重要性将评估价值分配到给各小班。现行市价法公式为:

$$E=K\times K_b\times G\times S \dots\dots\dots (17)$$

E—森林景观资产评估值; K—景观质量调整系数;  $K_b$  —物价指数调整系数;  
G—参照地单位面积的市场价格; S—被评估森林景观资产的面积。

2) 参数的确定——景观质量调整系数 K 的确定

森林景观调整系数主要从两方面考虑:一是从森林景观质量角度出发,首先分析评估森林景观资源范围内或森林区域的森林景观质量,对森林景观的风景吸收力等分别计量,其次与参照物分别各项因子进行分析评价,得出森林景观质量调整系数。公式为:

$$K=K_1\times P_1+K_2\times P_2\dots\dots\dots (18)$$

$K_1$  为森林景观质量调整系数;  $K_2$  为经济地理指数;  $P_1$ 、 $P_2$  分别为  $K_1$ 、 $P_2$  的权重。

参照先前的森林景观质量评估体系,可以看出森林景观质量调整系数  $K_1$ ,是构成景观的各种评价因子如山体、水体、气象得分值的比值,即:

$$K_1=f_1(X_1, X_2, X_3, \dots)/f_2(X_1, X_2, X_3, \dots) \dots\dots\dots (19)$$

$K_2$  值即经济地理指数的获得,则可以从景观资产的特点出发,结合《中国森林公园风景资源质量等级评定》(国标 GB/T18005—1999),可以得到一个森林景观调整的经济地理指数构成表见表 4-5)。权重值则可以通过 Delphi 法来获得,参照专家意见,其权重值分别为:  $P_1$  的值取 0.4,  $P_2$  为 0.6。

表 4-5 经济地理指数构成表(满分 100 分)

| 评估项目  | 评估指标                                                     | 得分值 |
|-------|----------------------------------------------------------|-----|
| 公园面积  | 森林公园规划面积大于 500 h m <sup>2</sup>                          | 10  |
|       | 森林公园规划面积小于 500 h m <sup>2</sup> , 大于 50 h m <sup>2</sup> | 5   |
|       | 森林公园规划面积小于 50 h m <sup>2</sup>                           | 1   |
| 旅游适游期 | 大于或等于 240 天/年                                            | 20  |
|       | 在 150 天/年至 240 天/年之间                                     | 10  |
|       | 小于 150 天/年                                               | 5   |

|        |                                                                              |                              |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----|
| 外部交通   | 铁 路                                                                          | 50 k m内通铁路，在铁路干线上，中等或大站，客流量大 | 10 |
|        |                                                                              | 50 k m内通铁路，不在铁路干线上，客流量小      | 5  |
|        |                                                                              | 50 k m内不通铁路                  | 0  |
|        | 公 路                                                                          | 国道或省道，有交通车随时可达，客流量大          | 10 |
|        |                                                                              | 省道或县级道路，交通车较多，有一定客流量         | 5  |
|        |                                                                              | 县级道路，客流量较少                   | 2  |
|        | 水 路                                                                          | 水路较方便，客运量大，在当地交通中占有重要地位      | 10 |
|        |                                                                              | 水中较方便，有客运                    | 5  |
|        |                                                                              | 水路不通或水路只有货运，没有客运             | 0  |
|        | 航 空                                                                          | 100 k m内有国际空港                | 10 |
|        |                                                                              | 100 k m内有国内空港                | 5  |
|        |                                                                              | 100 k m内无航空港                 | 0  |
|        | 知名度                                                                          | 国际级或国家级                      | 10 |
|        |                                                                              | 省级                           | 7  |
|        |                                                                              | 地、市级                         | 3  |
| 区位条件   | 距省会城市(含省级市)小于 100 k m，或以公园为中心、半径 100 k m内有 100 万人口规模的城市，或 100 k m内有著名的旅游区(点) |                              | 10 |
|        | 距省会城市(含省级市)或著名旅游区(点) 100~200 k m                                             |                              | 5  |
|        | 距省会城市(含省级市)或著名旅游区(点)超过 200 k m                                               |                              | 2  |
| 市场需求状况 | 强烈                                                                           |                              | 10 |
|        | 较强烈或一般                                                                       |                              | 7  |
|        | 较差                                                                           |                              | 3  |

将宁波天童森林公园的各项数据通过上表计算出经济地理指数得分为 90 分，则  $K_2=0.92$

### 3) 物价指数调整系数 $K_b$ 的确定

物价指数的调整主要是用以反映资产在不同时期价格涨落幅度。在我国，物价指数的计算采用定期物价指数，其公式如下：

定基物价指数为：

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \times Q_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{i0} \times Q_{ij}} \quad (j=1-n) \quad \dots\dots\dots (20)$$

$K_j$ —第  $j$  后与基年相比的物价变动指数； $P_{ij}$ —商品  $i$  在年度的价格；

$Q_{ij}$ —商品  $i$  在年度  $j$  的销售量； $P_{i0}$ —商品  $i$  在基年的价格； $n$ —被考察的商品总数。

表 4-6 物价指数调整系数  $K_b$

| 指标名称      | 单位     | 1985 年 | 1990 年 | 1995 年 | 1997 年 | 2000 年 | 2002 年 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 居民消费价格总指数 | 上年=100 | 116.6  | 104.0  | 119.1  | 103.9  | 100.3  | 99.2   |
| 商品零售价格总指数 | 上年=100 | 116.9  | 103.2  | 112.6  | 100.8  | 98.3   | 98.6   |

注：数据来源于 2004 年宁波市统计年鉴

假设宁波天童森林公园景观质量调整系数  $K_1 = 1$ ，参照地单位面积的市场价格  $G$  为 225 万元/公顷（同林地参考地价）。经济地理指数  $K_2 = 0.9$ ，物价指



数调整系数  $K_b = 1.149$  (2000 年与 1995 年相比较), 森林公园总面积为 394 公顷, 则:

质量调整系数  $K = 1 \times 0.4 + 0.9 \times 0.6 = 0.94$

宁波天童森林公园总社会价值 =  $0.94 \times 1.149 \times 225 \times 394 = 64331$  万元

再根据景观重要性评比表, 落实各小班的景观效益。

景观重要性评估分三个主要方面, 即景观敏感度、景观特异性和景观便捷度。将距山顶的距离作为景观敏感度评价指标, 因距山顶越近, 破坏后景观损失越大。景观特异性是指距离景点的距离, 离景点越近其景观价值就越高。将距离主干道的距离作为景观便捷度的评价指标, 主要考虑游人到达景观的容易程度, 离主干道越近游人越多, 从而建立森林资源资产评估系统景观重要性评分表, 见表 4-7。通过小班的空间位置的不同, 形成景观价值的差异, 计算出各小班的景观价值。

表 4-7 森林资源资产评估系统景观重要性评分表

| 景观敏感度            |    | 景观特异性              |    | 景观便捷度           |    |
|------------------|----|--------------------|----|-----------------|----|
| 距山顶的距离<br>(权重=4) |    | 距主要景点距离<br>(权重=10) |    | 距道路距离<br>(权重=6) |    |
| 分类               | 得分 | 分类                 | 得分 | 分类              | 得分 |
| <25 米            | 40 | <50 米              | 50 | <50 米           | 50 |
| 25-50 米          | 20 | 50-100 米           | 20 | 50-100 米        | 30 |
| >50 米            | 1  | 100-200 米          | 5  | 100-400 米       | 10 |
|                  |    | >200 米             | 1  | >400 米          | 1  |

例: (如图 4-9) 该小班的景观总价值为 257 万元。

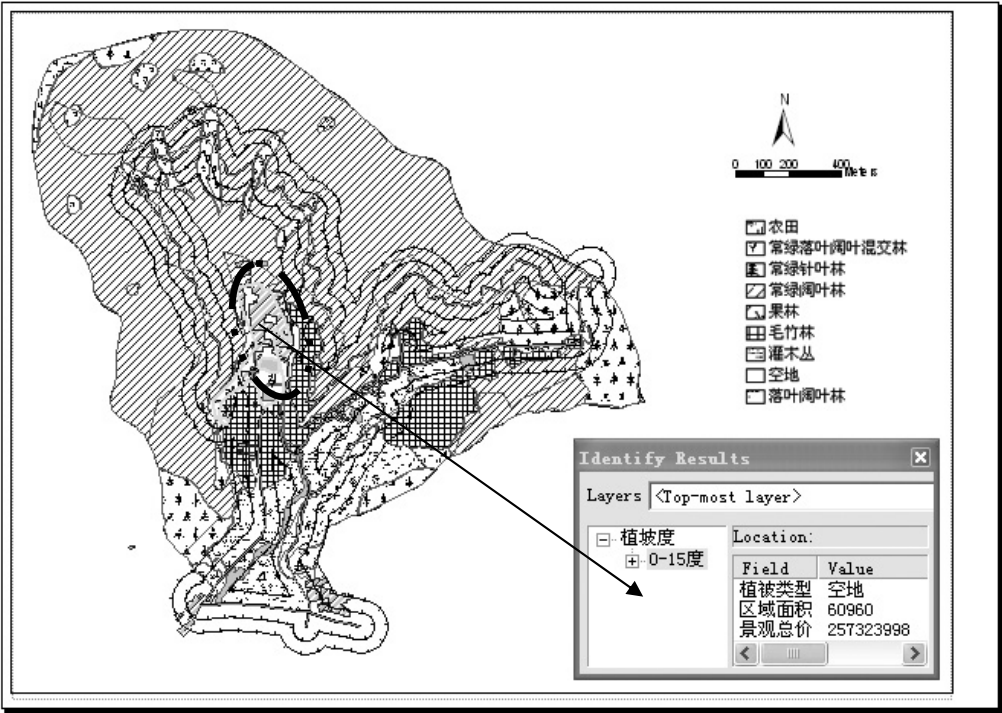


图 4-9 社会价值示意图

## 第五章 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估系统功能分析

### 5.1 森林生态系统服务功能价值的 GIS 空间分析

#### 5.1.1 经济价值的 GIS 空间分析

##### (1) 林木价值 GIS 空间分析

根据 GIS 系统统计分析，宁波天童森林公园生态服务功能中林木价值共计 11255 万元，在有林地中，林木价值最大为 542790 元/公顷，林木价值最小为 202092 元/公顷，平均为 414650 元/公顷，其空间分布见图 5-1。

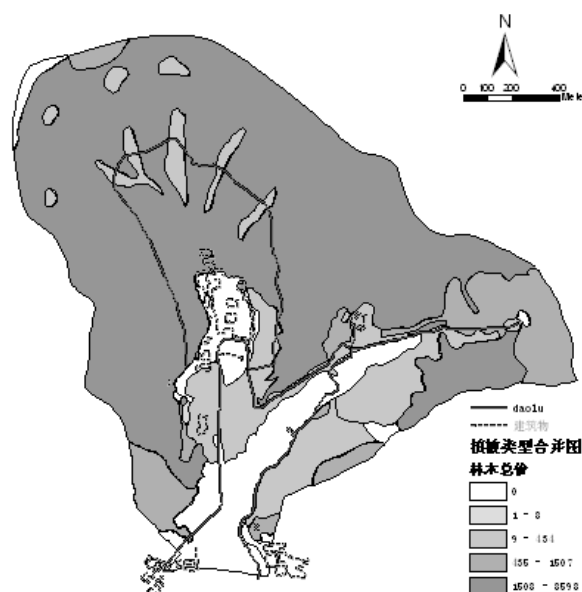


图 5-1 林木价值空间分布图（单位：万元）

##### (2) 林地价值 GIS 空间分析

宁波天童森林公园生态服务功能中林地价值共计 44159 万元，林地价值最大为 207 万元/公顷，林地价值最小为 92 万元/公顷，平均为 150 万元/公顷，其空间分布见图，空间分布如下（图 5-2）。

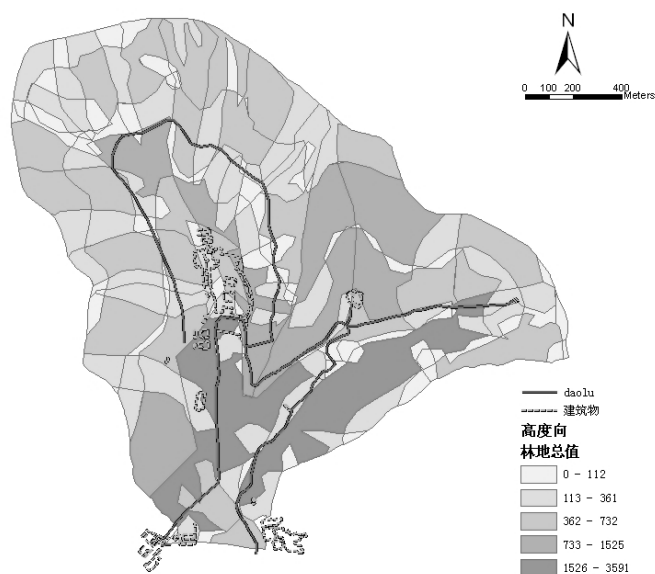


图 5-2 林地价值空间分布图（单位：万元）

### 5.1.2 生态价值的 GIS 空间分析

#### (1) 有效面积系数

在森林生态效益的总体计量中，还牵涉一个森林生态效益关于“资源背景”的全局性和非全局性问题。因为从使用价值角度来看，并不是所有的森林都在发挥着具有该使用价值的作用。如森林的游憩价值，并不是所有的森林都适合森林旅游。也就是说使用价值的主体是人，只有对人们有用的东西人们才会付钱。由此可见森林的生态效能与它的效益优势并不是完全统一的。为此产生了区分能产生和不能产生某种效益使用价值的“有效面积系数”。

郎璞玫（2001）<sup>[31]</sup>将有效面积系数定义为：在森林生态效益的总体估量中，能产生具有使用价值的某种生态效益的森林面积（或蓄积）与森林面积（或蓄积）之比。我们把它的范围定在： $0 < P \leq 1$ ， $P$  为有效面积稀疏，当  $P=1$  时，表示能产生具有使用价值的某种生态效益的森林面积（或蓄积）与总森林面积（或蓄积）相等，此时森林生态的效能和效益是统一的。

森林生态效益的“有效面积系数”在现实经济评价中显得更有意义，可以避免林学工作者或环保主义者夸大森林的生态效益。因为在现实的市场经济中，人们首先会考虑某产品是否具有为自己所用的使用价值后，才会考虑是否愿意支付一定的金额去维持它。森林的效能再大，也就是说它的价值再大，但如果这种效能并没有被人们所使用，人们是不会为它“掏腰包”的。例如，森林消除噪音的效能也只对城市森林而言才具有该使用价值。对那些远离城市的森林来讲，尽管它具备上述效能，但城市的人们并没有享受到，这种森林的效益并没有被城市的人们认同，人们当然不会为它付费。

有效面积系数如何确定呢？本研究根据“有效面积系数”的概念及上述分析，考虑到森林产生的主要生态效能和效益，确定森林涵养水源、保持土壤、固定二氧化碳、释放氧气等 5 种效益的“有效面积系数”均等于 1。因为这 5 种生态效益在所有的森林中均具有使用价值，不管人们主观上是否承认它，客观上人们已经在使用和享受了，此时的效能与效益是统一的。

## （2）森林生态系统服务功能价值的“市场转换系数”

由于森林生态价值是一种无形产品，没有现实的市场作为交换媒介来使其价值得到补偿，因而也没有现实的市场价值。为了科学地计量其货币价值，在用替代市场法进行森林生态效益物理量向货币量转换的过程中，由于替代商品的功能与该生态效益功能上存在一定差异以及森林生态效益的公共性，从使用价值的角度出发，有必要构造一个系数，使得森林生态效益的货币计量更接近现实“市场”。我们将该系数称为“市场转换系数”。假设它的范围在： $0 < J_1 \leq 1$ ， $J_1$  为市场转换系数。当  $J_1=1$  时，表示森林生态效益的货币价值与替代产品的市场价值相等。但现实中， $J_1$  值不可能等于 1，这是因为替代商品与生态效益产品功能的差异，使它们的价格永远不可能相等。

由森林生态效益的定义及其货币计量的方法（替代市场法）来看，森林生态效益产品的货币计量不同于森林木材等产品的计量，它是通过构建一些参数，建立数学模型来计量的。“市场转换系数”也可称为“市场接近系数”，它是一种使生态效益产品更加向现实市场产品价值接近的参数，因此它只能作出定性的判定，不能作出定量的决策，具有一定的“主观性”和“模糊性”。这也是生态效益产品货币价值难以科学计量的一个主要原因。

研究对象在涵养水源、固土保肥，改善大气中发挥着重要的作用，成为该区域生态环境绿色安全屏障。因此在参阅文献<sup>[40, 43, 73]</sup>的基础上，构造出个生态效益的“市场转换系数”分别为：

森林涵养水源的“市场转换系数”为 0.95，这是因为森林涵养水源相当于水库的作用，但又与水库储水作用有所不同的是水库蓄水可以人为调节，而森林蓄水完全是自然行为，有些水会白白地流走，所以它的“市场转换系数”不能等于 1，只能比 1 小。

森林固土保肥功能中森林的固土价值是主导价值。随着我国生态环境的恶化，水土流失日益严重，森林对保持土壤不被侵蚀、防止塌方、泥石流等灾害的发生显得尤为重要，价值较高，而森林保肥价值是固土价值派生的，价值较小，考虑两者叠加将其的“市场转换系数”定为 0.7。

森林吸收二氧化碳同时释放氧气的效益是最广泛、最典型的“公共产品”，地球上每个人都在无偿地享有它，而且森林固碳效益对平衡大气中二氧化碳，缓

解全球气候变暖，为人类的生存和发展起着举足轻重的作用。由于它们的经济转换是根据人工制造二氧化碳和氧气成本估算的，考虑该效益的广泛性，将“市场转换系数”定为 0.2。

(3) 各项生态服务功能的 GIS 空间分析

1) 水源涵养价值的空间分析

根据 GIS 系统统计分析，宁波天童森林公园生态服务功能中水源涵养价值共计 309.81 万元，依据其“市场转换系数” 0.95，其实际货币量为 294.32 万元，有林地中，货币价值最大为 28500 元/公顷·年，货币价值最小为 734 元/公顷·年，平均为 12694 元/公顷·年，其空间分布见图 5-3。

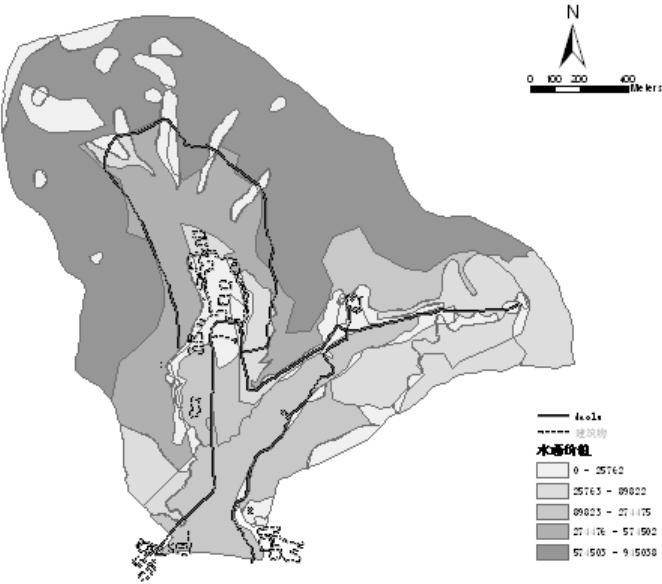


图 5-3 水源涵养价值空间分布图（单位：元/年）

2) 固土保肥价值的空间分析

根据 GIS 系统统计分析，宁波天童森林公园生态服务功能中固土保肥价值共计 34.88 万元，依据其“市场转换系数” 0.7，其实际货币量为 24.42 万元，有林地中，货币价值最大为 21424 元/公顷·年，价值最小为 174 元/公顷·年，平均为 1436 元/公顷·年，其空间分布见图 5-4。

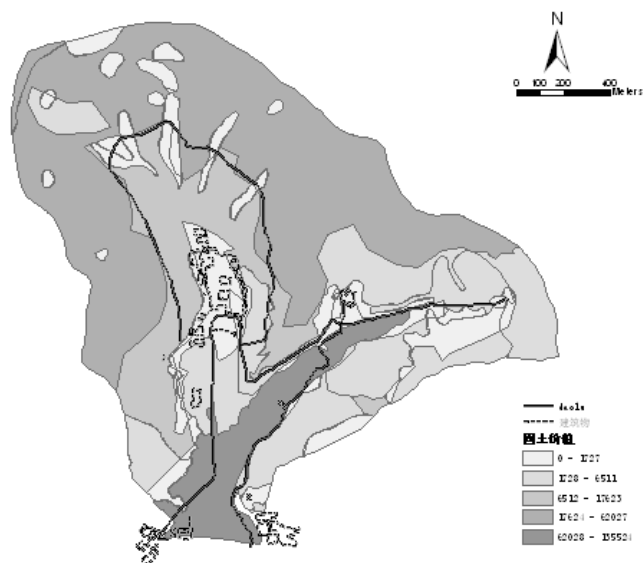


图 5-4 固土保肥价值空间分布图（单位：元/年）

### 3) 改善空气价值的空间分析

根据 GIS 系统统计分析, 宁波天童森林公园生态服务功能中改善空气价值共计 1652.9 万元/年, 依据其“市场转换系数”0.2, 其实际货币量为 330.59 万元, 有林地中, 货币价值最大为 20379 元/公顷·年, 价值最小为 4400 元/公顷·年, 平均为 12282 元/公顷·年, 其空间分布见图 5-5。

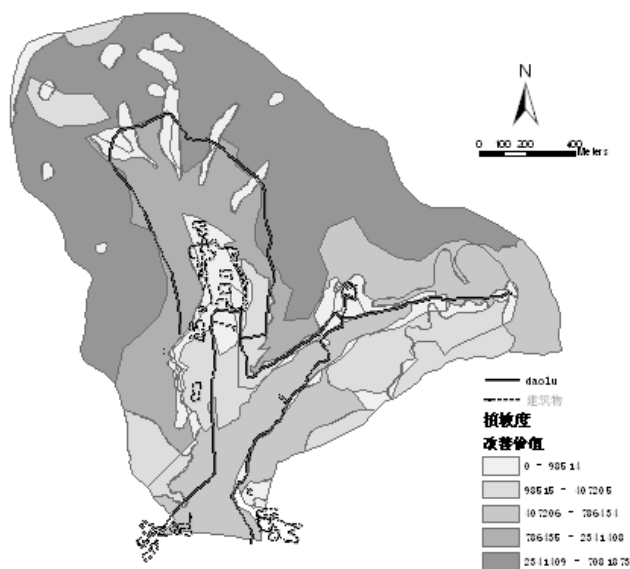


图 5-5 改善大气价值空间分布图（单位：元/年）

### 5.1.3 社会价值的 GIS 空间分析

由于社会价值与生态价值同属无形产品的一种, 没有现实的市场作为交换媒

介来使其价值得到补偿，因而也没有现实的市场价值。为了科学地计量其货币价值，也有必要采用“市场转换系数”，考虑人们的愿意支付能力，将“市场转换系数”定为 0.3。

根据 GIS 系统统计分析，宁波天童森林公园生态服务功能中社会价值共计 64331 万元，依据其“市场转换系数” 0.3，其实际货币量为 19299 万元，货币价值最大为 119 万元/公顷，价值最小为 2 万元/公顷，平均为 50 万元/公顷，其空间分布见图 5-4。

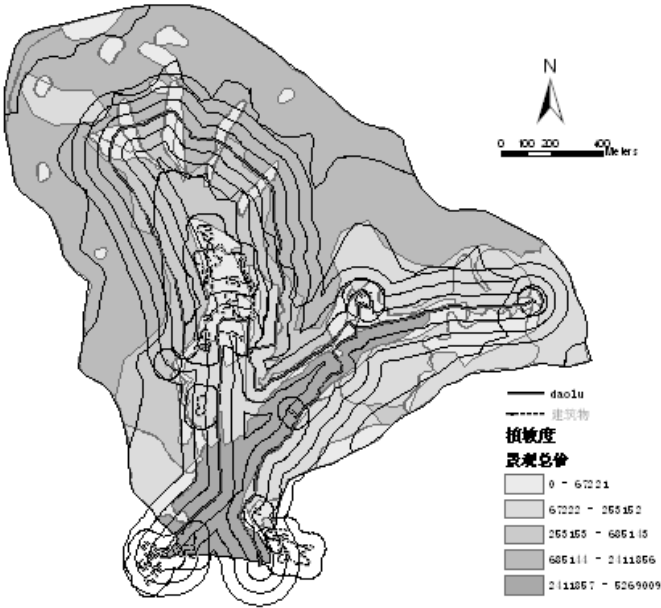


图 5-6 景观价值空间分布图（单位：元）

5.1.4 小结

（1）总量分析

宁波天童森林公园生态系统服务功能价值总量评估（表 5-1），其中由于经济价值和社会价值是以常规土地交易的价格作为参考，一般是以 50 年为一个周期，为了可比性，故生态价值应在总数上乘以 50 这个周期，才具有可比性，因此表中数据已做上述处理。

表 5-1 宁波天童森林生态系统服务功能价值总量分析表

|      | 生态系统服务功能价值指标 | 生态系统服务功能价值总量（万元） | 生态系统服务功能市场价值总量（万元） |
|------|--------------|------------------|--------------------|
| 经济价值 | 林产品价值        | 11255            | 11255              |
|      | 林地价值         | 44159            | 44159              |
|      | 小 计          | 55414            | 55414              |
| 生态价值 | 森林涵养水源价值     | 15490            | 14716              |
|      | 森林固土保肥价值     | 1744             | 1221               |
|      | 森林改善大气价值     | 82647            | 16530              |
|      | 小 计          | 99881            | 32467              |
| 社会价值 | 景观价值         | 64331            | 19299              |
| 合 计  |              | 219626           | 107180             |

(2) 分量分析

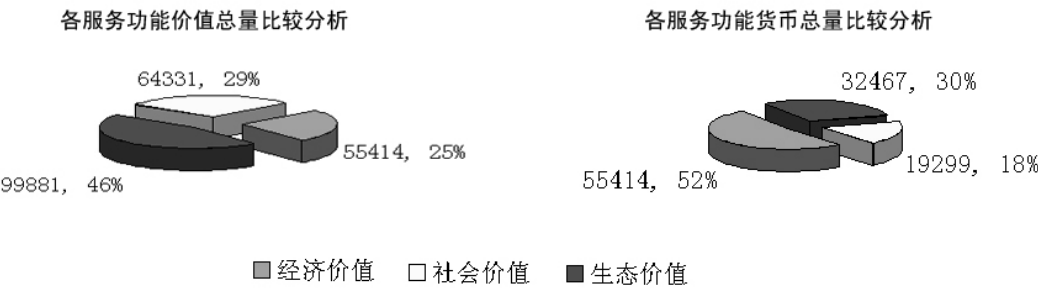


图 5-7 各服务功能总量分析图

从表 5-1 和图 5-7 所示，构成天童森林生态系统服务功能各指标总量之间差异显著，就价值总量而言，生态价值最高占总额的 46%，经济价值其次占 29%，社会价值最低占 25%。而从货币价值量比较可以看出，经济价值最高占总额的 52%，生态价值其次占 30%，社会价值最低占 18%。两者相比较，由于市场的作用，生态价值的货币总量远小于其价值总量，可见市场对于森林的生态服务功能的重要性还未完全重视，采用货币计量不能真正反映森林资源的稀缺性，生态结构和功能的必要性和价值。

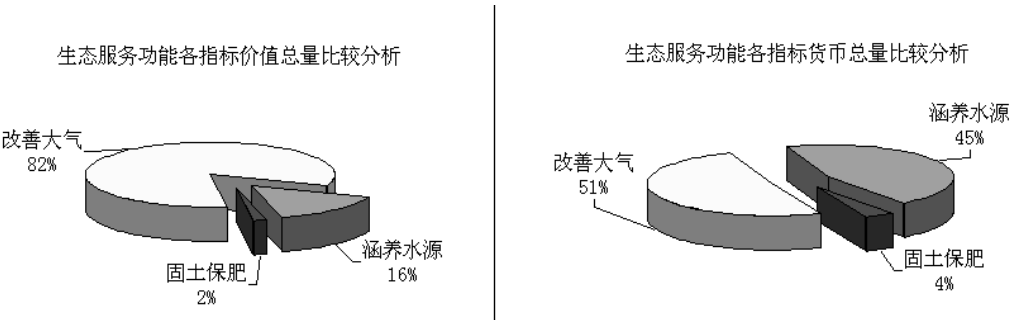


图 5-8 生态价值各指标总量分析图



从表 5-1 和图 5-8 所示，构成天童森林生态系统生态服务功能各指标价值总量之间差异显著，以固土保肥保持功能的价值最低，仅占 2%，改善大气功能的价值最大，占 82%，水源涵养功能占 16%。通过“市场转换系数”其货币量发生了变化，水源涵养功能所占的比例上升至 45%，而改善大气功能所占的比例下降到了 52%，固土保肥占 4%。

### (3) 空间分析

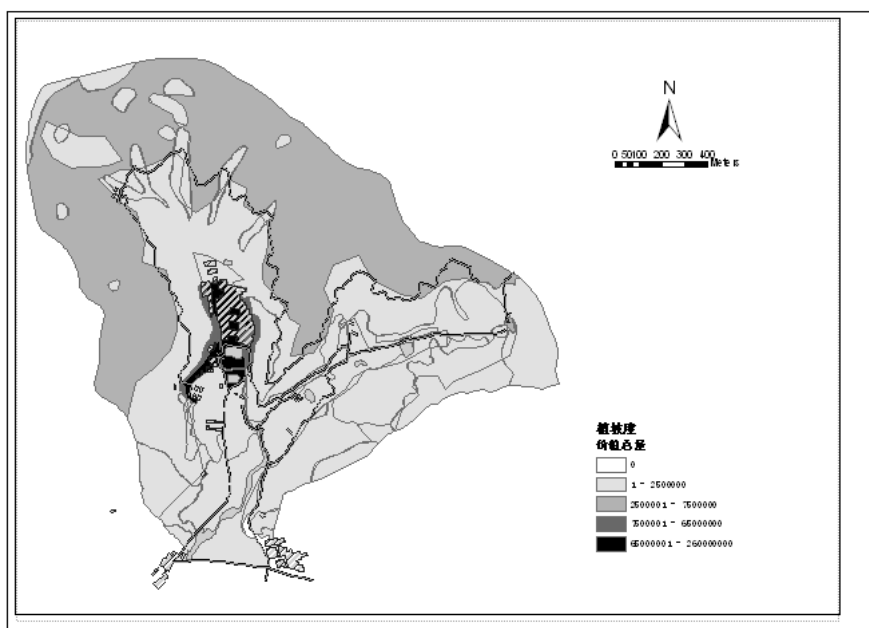


图 5-9 价值总量空间分布图（单位：元）

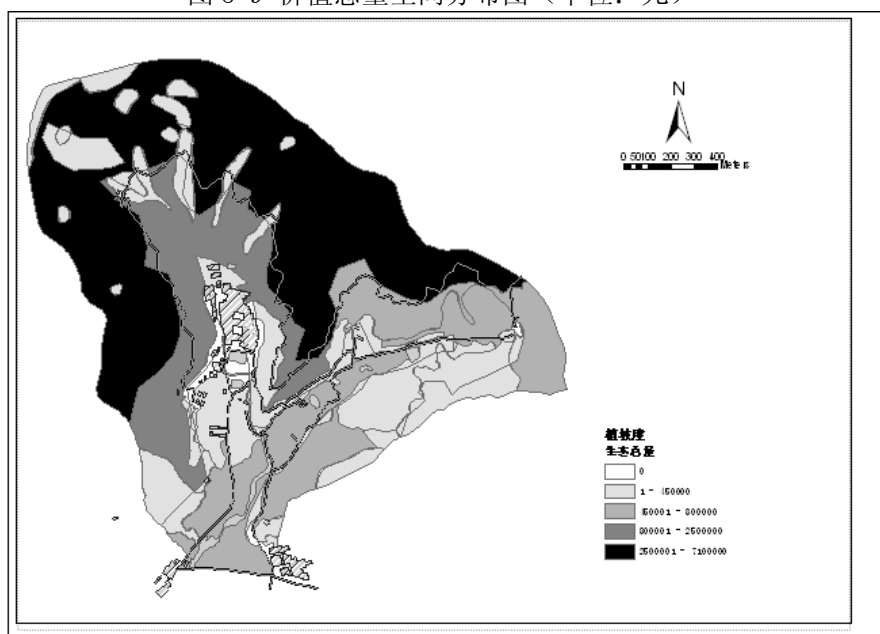


图 5-10 生态价值总量空间分布图（单位：元/年）

从图 5-9 和 5-10 可以明显的看出，生态系统服务功能价值在空间分布上存在明显异质性。从天童森林公园生态服务功能价值总量的 GIS 空间分布图可以看出，在研究范围内价值分布式不均匀的。

由于森林资源的空间分布具有明显的差异性,使得森林生态服务功能价值也呈现出明显的空间异质性。森林生态系统服务功能价值的空间分布反应了森林资源空间分布的特征,从生态价值的空间分布情况来看,任何一项价值的产生都是依附在森林资源上的,既是有了森林资源才会有森林的生态服务功能。有森林的地方必然会产生诸如水源涵养、净化大气等的生态服务功能,不管人们愿不愿意承认它,这是一种客观存在的事实。另外,森林资源的空间分布,也控制着森林生态服务功能的空间分布,这点从前面各指标价值空间分布图也可以看出,而且森林林分的类型、面积等属性也影响着森林生态系统服务功能价值的空间分布和性质。

由于各类服务功能在空间的分布各不相同,所以生态价值分布与总的服务功能价值分布是不相同的,有明显的差异。

## 5.2 宁波天童森林生态系统服务功能的价值补偿

### 5.2.1 价值补偿的内涵

森林生态系统服务功能价值的补偿实质上是消除林业“外部性”的一种手段。通过补偿使私人收益(成本)与社会收益(成本)趋于一致,从而纠正“市场失灵”。因此,完善市场经济结构,实现资源最优配置的有效方法之一就是“外部经济”的“内部化”。对“外部经济”进行正确评估主要就是对森林生态服务功能价值进行正确评估。因为过高估计其价值会远远超过社会经济的承受能力,补偿落实不到实处将是毫无实际意义的。

目前对森林这种特殊资源的“外部经济”“内部化”国内外已探索出一些有效的方法和途径。如通过补贴、贴贷、减税、免税等形式对象社会提供了服务功能价值的森林经营者给予合理的补偿,而通过征税或收费等手段来使污染者强加给他人的外部成本“内部化”,如英国经济学家庇古提出的“庇古税”或“庇古费”,就是向污染制造者收取一定的税或费<sup>[6, 73-76]</sup>。

### 5.2.2 宁波天童森林生态系统服务功能的价值补偿方法

补偿标准是森林生态系统服务功能价值补偿的核心问题,关系到补偿的效果、依据及支付补偿者的承受能力。因此应该本着公平、公正、合理的补偿原则,经营者不能加重受益者的补偿量,受益者也不能随意降低经营者的被补偿量。那么,如何确定一个合理的补偿量呢?根据“庇古税”理论,补偿额等于私人成本与社会成本的差额。从环境经济学的角度来说,当边际外部成本与边际外部效益一致时,可实现各类价值的最大化。因此,从理论上说,最佳补偿额就是以森林提供的服务功能价值作为补偿标准。但是在现实中,天童森林公园是以公益林为主,使得森林经营者的边际外部成本要小于边际外部效益,所以应考虑之相对应

的补偿特征系数。

本研究中采用最近（2003 年）宁波市的平均恩格尔系数 38.1%来计算补偿特征系数，其倒数为 2.62，根据所对应的皮尔曲线值为 0.28，即宁波天童森林公园生态系统服务功能价值的补偿特征系数为 0.28。

森林生态系统服务功能价值补偿费

= 森林生态系统服务功能货币价值总量 X 0.28 。

在 GIS 平台下，将此上面的公式结合前面货币价值进行计算，并将结果与 GIS 空间图形数据库连接，实现属性数据与空间数据的连接，真正将补偿落实到每个区域，并可分别制图。

5.2.3 小结

表 5-2 宁波天童森林生态系统服务功能价值补偿分析表

|      | 生态系统服务功能价值指标 | 生态系统服务功能<br>价值补偿总量（万元） |
|------|--------------|------------------------|
| 经济价值 | 林产品价值        | 3151                   |
|      | 林地价值         | 12364                  |
|      | 小 计          | 15515                  |
| 生态价值 | 森林涵养水源价值     | 4120                   |
|      | 森林固土保肥价值     | 342                    |
|      | 森林改善大气价值     | 4628                   |
|      | 小 计          | 9090                   |
| 社会价值 | 景观价值         | 5404                   |
| 合 计  |              | 30009                  |

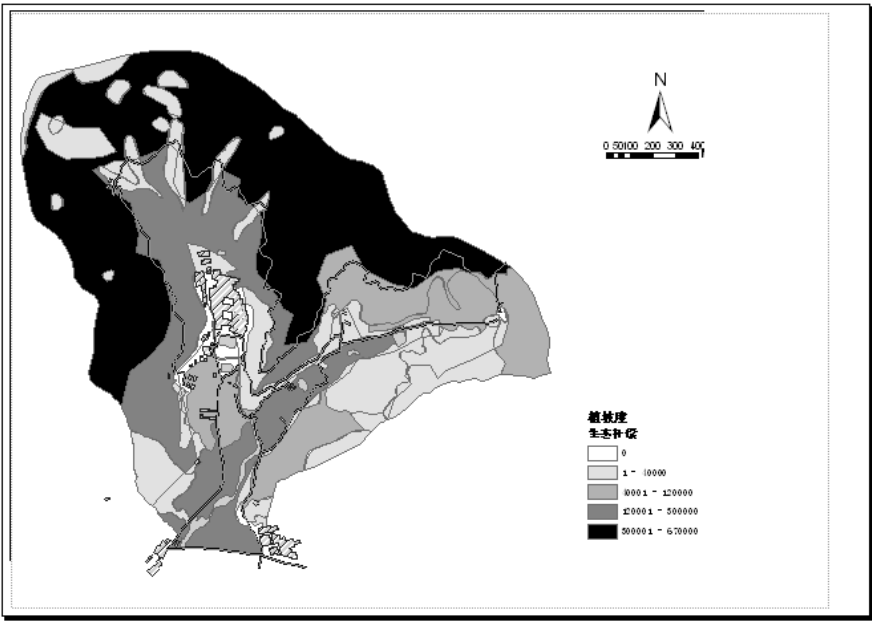


图 5-11 生态价值补偿空间分布图（单位：元/年）

从表 5-1 和 5-2 相比较，补偿量与其价值量相差较大。这是因为森林补偿量的定量标准与恩格尔系数有关，即与社会发展水平有关。社会经济发展水平越高，社会越容易接受森林服务功能所产生的价值，补偿量才会更加接近于货币价值。

从图 5-11 来看，生态价值的补偿量的空间分布有明显的空间异质性，不仅与林地面积有关，而且还和环境因子如树种、地形等有相当大的关系。

总之，处于不同发展阶段的人们对森林生态系统服务功能价值的认识是不一致的，同样的价值受支付意愿以及认识水平所左右，得到不同的价值补偿。但人们对森林生态系统服务功能价值的认识是一个逐渐的过程，虽然以价值理论求得的结果是人们对森林生态系统服务功能价值的全面认同，但它只有当社会发展到很高的阶段才能得到社会的承认，所以，价值补偿必须根据当地经济发展水平给予调整，这样才可以得到人们能接受的价值，使价值补偿更趋于合理性和实用性。

### 5.3 宁波天童森林生态系统服务功能价值评估系统的功能

#### 5.3.1 数据的输入和编辑

在宁波天童森林公园生态服务功能价值评估系统下，可进行属性数据和图形数据的输入和编辑。利用键盘可直接输入几何图形所对应的属性数据，或者调用外部数据库文件形成该信息管理系统所特有的属性数据库。属性数据库形成之后，可对其中的属性字段或属性数据执行删除、修改、拷贝等功能。以植被分布图输入为例，见图 5-12。

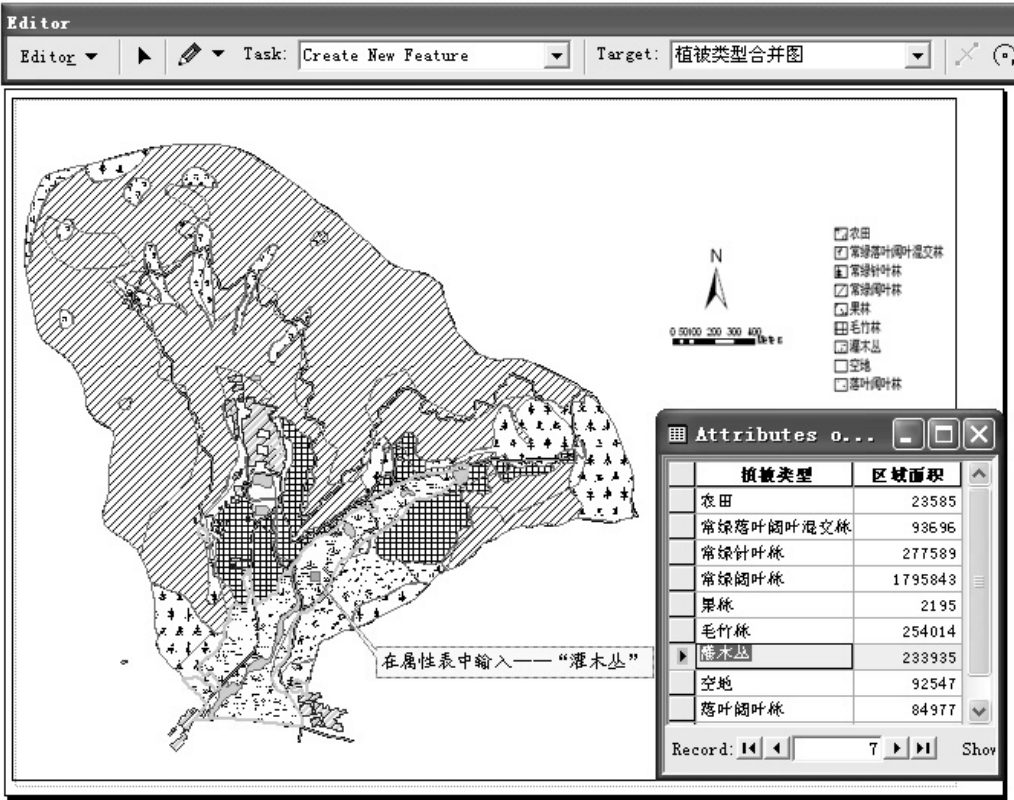


图 5-12 属性数据输入与编辑图

### 5.3.2 空间信息的分析功能

空间数据的复合分析是以空间层次理论为基础的,而空间层次分析理论的发展同空间复合分析的应用直接相关。空间数据的复合分析主要是将同一空间上两个或两个以上不同含义的地理要素的重合点之间进行分析处理,它是地理信息系统中最重要的分析功能之一。它包括视觉信息复合和叠置分析两个方面。

#### (1) 视觉信息复合

视觉信息复合是将同一地区的同一比例尺的不同含意的图象进行叠合,从而获取更多的空间信息,以使用户判断不同地理实体的空间关系(图 5-13)。地理信息系统中视觉信息复合通常有以下几种类型:

##### 1) 点、线和面状图之间的相互复合

通过点、线和面状图之间的相互复合,以寻求特征信息在空间上的关联性。它强调的是复合图之间的关系,而不是强调生成新的目标。

##### 2) 专题图和数字高程图复合生成立体专题图

数字高程模型的立体彩色显示具有高度的真实感,而在实际使用中专题图通常用平面图来表示。因此,如果把各种专题图的数字高程图复合,生成立体专题图可大大增加视觉效果,便于人类认识自然资源,改造和利用自然资源。

##### 3) 遥感信息和专题图的视觉复合

遥感信息的非遥感信息相结合是地理信息系统和遥感相结合的基础,它涉及的内容较多,其主要原因是遥感和地理信息系统所处理的问题具有互补性。空间数据复合分析的数学方法包括:逻辑关系分析、算术关系分析及统计关系分析等。

#### (2) 叠置分析

叠置分析同视觉信息复合的主要区别在于视觉信息复合后,参加复合的各图层均不改变数据结构,也不形成新的数据类型,它只给用户带来视觉上的效果。而通常所说的叠置分析,叠置的结果不仅产生视觉上的效果,而更主要的是它会形成一个新的目标。其中,对空间数据的区域进行了重新的划分,属性数据中包含了参加叠置的多种数据项。从数据结构的角度来看,叠置分析有栅格叠置和矢量叠置分析。它们分别针对栅格数据结构和矢量数据结构,两者都用来求解两层或两层以上数据的某种集合。只是栅格叠置后,得到的是新的栅格数据结构,而矢量叠置实质上是实现拓扑叠置,叠置后得到的是具有空间特性和属性关系的数据结构。在拓扑叠置时,如多边形叠置时可能会产生许多较小的多边形其中有些多边形是由于同一线段多次输入时引入的误差而产生的。这些多边形并不代表空间实际的变化,称为多边形,通常由用户指定一些容差值来消除。在栅格叠置时,尤其是当叠加要素较多时,可能会产生很多组合,这些组合其数量可能很大,使

用户无法接受。这时往往希望在叠置前或叠置后先进行聚类处理，这样就引入了叠置条件的概念。

从叠置条件来，叠置分析分为条件叠置和无条件叠置两种。无条件叠置也称全叠置，它适用于叠置要素较少的情况。条件叠置是以特定的逻辑、算术表达式为条件，对两组或两组以上的图形中相关的要素进行叠置。地理信息系统中的叠置分析主要是条件叠置。在地理信息系统的空间分析中广泛使用空间查询、空间聚类、空间聚合的区域信息提取等操作，这些操作主要都是用来条件叠置方法来实现的，见图 5-14。

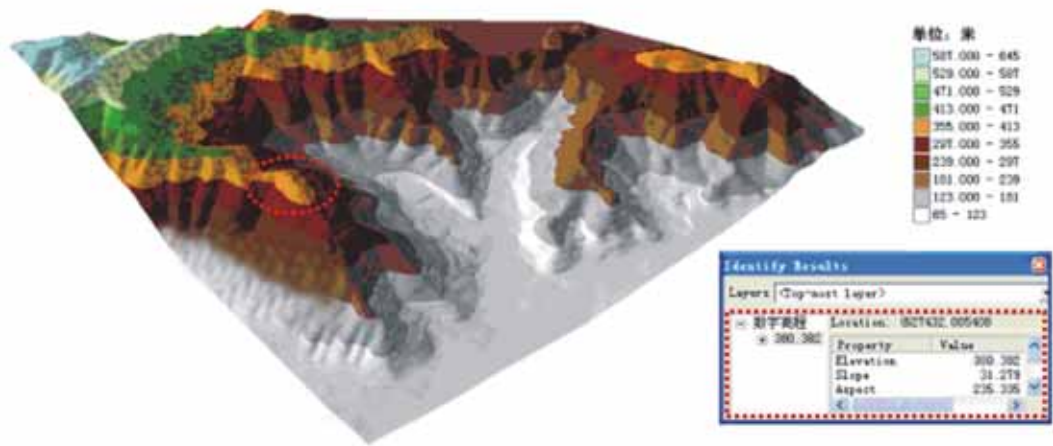


图 5-13 宁波天童森林公园立体高程示意图

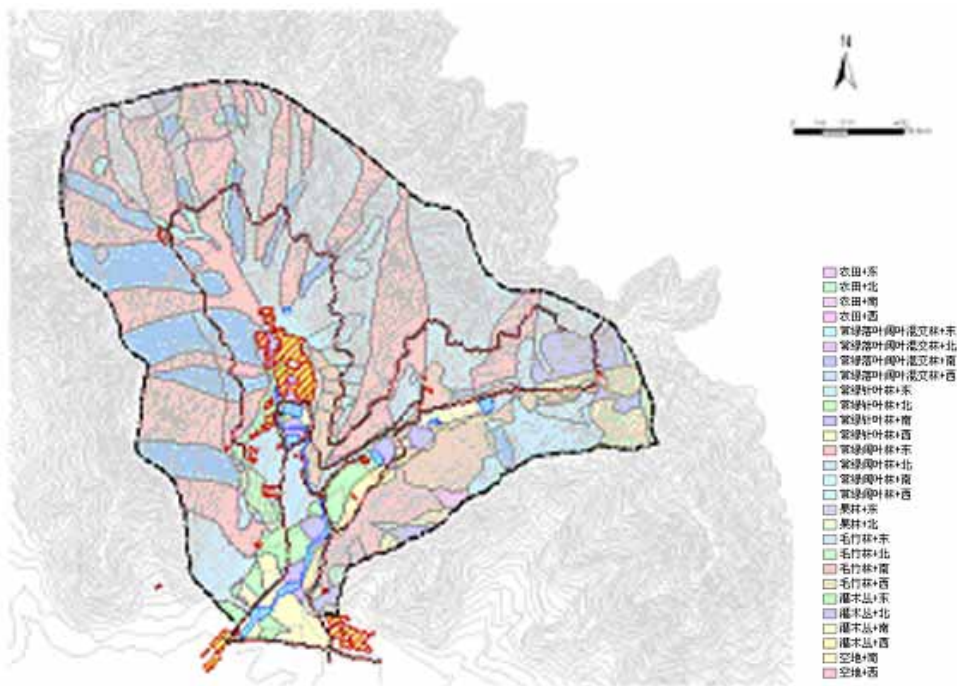


图 5-14 天童高程、群落分布与空间信息（坡向）的叠加示意图

### （3）数字地面模型生成及三维分析

宁波天童森林公园生态服务功能价值评估系统具有数字高程模型（DEM）和数字地面模型（DTM）生成的功能。应用不规则格网（TIN）模型。TIN 模型实质上是将原始数据点，按一定规则分解成三角形剖分，然后在此基础上追踪出等值线图或进行其它分析，直接对非网格化数据或网格化数据进行等值线追踪或分析。

利用宁波天童森林公园生态服务功能价值评估系统，可以由数字高程模型（DEM）和数字地面模型（DTM）直接生成三维立体图，进行空间信息的分析查询，并可在三维图的显示过程中迭加专题图形。利用数字高程模型（DEM）查询功能，可查询三维图象上任意坐标值、高程值、坡度、坡向等。利用叠加功能可以在三维图上叠加图象和矢量线、进行信息复合显示。例如，可以在三维图上叠加虞山小班图，就能很方便地查询出各个林班，小班的地形、高程情况，这对进一步确定小班的森林可持续发展具有重要意义。以宁波三维图为例，见图 5-15。

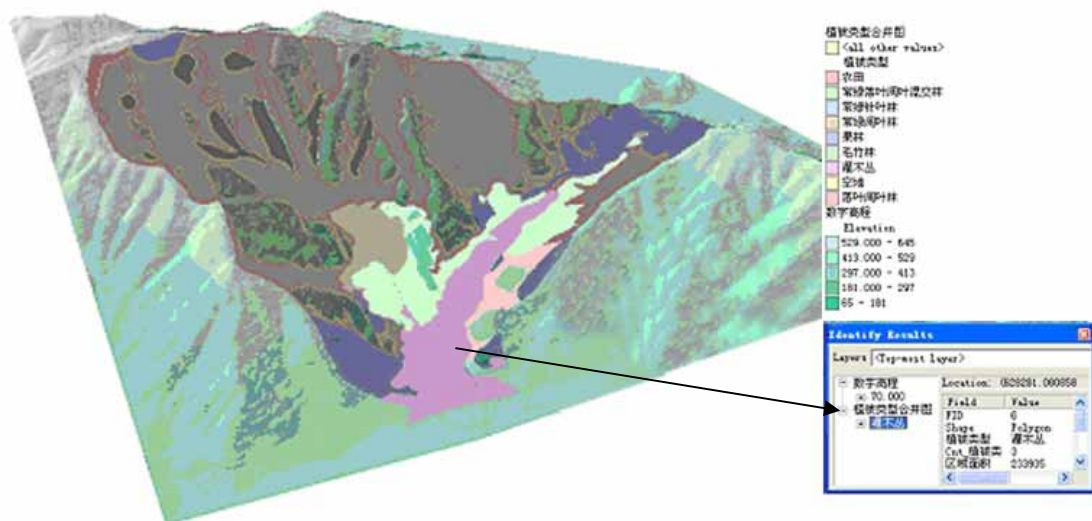


图 5-15 植被分布三维示意图

### （4）小班数据的查询、更新和修改

宁波天童森林公园生态服务功能价值评估系统具有强大的空间信息查询和检索功能，查询方式丰富多样，信息提取方，由于在空间信息查询中，有时要涉及若干图层，所以把要查询的图层设置为当前图层，且每次操作只有一个当前图层。它可分为：

#### 1) 基于属性数据图形数据的相互查询：

基于属性数据与图形数据的相互查询即为基于矢量图层的属性数据表查询并研究对象的空间位置。利用当前图层的属性数据库中数据相关联的逻辑表达式，对当前图层中的矢量地物进行查询，选中那些属性数据满足逻辑表达式的小



Figure 1 is a map of the study area showing various vegetation types. A legend at the bottom identifies symbols for crops, different types of evergreen and deciduous forests, coniferous forests, and specific tree species like *Pinus massoniana* and *Pinus yunnanensis*. A scale bar indicates 0 to 400 meters, and a north arrow is present. An inset map shows the location within China. A table titled "Attributes of 植被层" (Vegetation Layer Attributes) lists vegetation types and their corresponding community names, with a red box highlighting the "常绿阔叶林" (Evergreen Broadleaf Forest) entry.

| 植被类型      | 群落类型          |
|-----------|---------------|
| 常绿针叶林     | 马尾松人工林        |
| 常绿阔叶阔叶混交林 | 被针叶阔叶-南酸枣     |
| 常绿阔叶阔叶混交林 | 被针叶阔叶-南酸枣     |
| 常绿阔叶阔叶混交林 | 被针叶阔叶-南酸枣     |
| 常绿阔叶阔叶混交林 | 被针叶阔叶-南酸枣     |
| 常绿针叶林     | 枫香-马尾松群落      |
| 常绿针叶林     | 枫香-马尾松群落      |
| 常绿针叶林     | 枫香-马尾松群落      |
| 农田        | 农作物           |
| 常绿针叶林     | 枫香-马尾松群落      |
| 毛竹林       | 黄毛耳草-毛竹群落     |
| 常绿阔叶林     | 木荷-栲栳树群落(含苦槠) |
| 常绿针叶林     | 马尾松人工林        |
| 常绿阔叶林     | 木荷-栲栳树群落      |
| 毛竹林       | 黄毛耳草-毛竹群落     |
| 落叶阔叶林     | 化香-枫香群落       |
| 常绿针叶林     | 枫香-杉木群落       |
| 常绿针叶林     | 枫香-杉木群落       |

## 2) 统计分析

| Attributes of 植被类型合并图 |           |            |         |
|-----------------------|-----------|------------|---------|
| FID                   | 植被类型      | Count_植被类型 | 区域面积    |
| 0                     | 农田        | 2          | 23585   |
| 1                     | 常绿落叶阔叶混交林 | 11         | 93696   |
| 2                     | 常绿针叶林     | 11         | 277589  |
| 3                     | 常绿阔叶林     | 12         | 1795843 |
| 4                     | 果林        | 1          | 2195    |
| 5                     | 毛竹林       | 3          | 254014  |
| 6                     | 藤木丛       | 3          | 233935  |
| 7                     | 空地        | 2          | 92547   |
| 8                     | 落叶阔叶林     | 1          | 84977   |

- 54 -



### 3) 基于数字高程模型 (DEM) 查询;

该功能用于查询矢量图层中选中的矢量地物所对应的数字高程模型 (DEM) 参数, 即: 基于矢量图层查询数字高程模型 (DEM) 图层。执行数字高程模型 (DEM) 查询命令, 选择一个要基于进行查询的、具有选中地物的矢量图层中, 再选择要查询的矢量地物的数字高程模型 (DEM) 参数, 以便获得所需图形数据或属性数据。

### (5) 信息的输出功能

宁波天童森林公园生态服务功能价值评估系统具有强大的信息输出功能。能真正实现所见即所得, 所有结果显示均能打印输出。信息输出具体包括:

#### 1) 属性数据输出:

① 可系统、全面地打印输出系统所含有各个子数据库的所有属性数据。

② 可打印输出所有的空间信息查询结果所显示的属性数据列表, 即满足某一逻辑条件的小班 (记录) 的属性数据; 也可只选择部分属性字段进行输出: 以不同坡向植被分布属性数据表为例, 见图 5-18。



|  | 坡向 | 植被类型      | 植被_坡向     | 面积   | Cnt_坡向 |
|--|----|-----------|-----------|------|--------|
|  | 北  | 灌木丛       | 灌木丛+北     | 9900 | 15     |
|  | 北  | 灌木丛       | 灌木丛+北     | 9859 | 15     |
|  | 东  | 常绿阔叶林     | 常绿阔叶林+东   | 9446 | 11     |
|  | 东  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+东   | 9155 | 11     |
|  | 南  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+南   | 9111 | 13     |
|  | 北  | 常绿阔叶林     | 常绿阔叶林+北   | 9030 | 15     |
|  | 北  | 灌木丛       | 灌木丛+北     | 8511 | 15     |
|  | 北  | 灌木丛       | 灌木丛+北     | 8269 | 15     |
|  | 南  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+南   | 8068 | 13     |
|  | 西  | 农田        | 农田+西      | 7810 | 5      |
|  | 南  | 常绿落叶阔叶混交林 | 常绿落叶阔叶混交林 | 7731 | 13     |
|  | 西  | 灌木丛       | 灌木丛+西     | 7525 | 5      |
|  | 南  | 灌木丛       | 灌木丛+南     | 7511 | 13     |
|  | 北  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+北   | 7344 | 15     |
|  | 东  | 常绿落叶阔叶混交林 | 常绿落叶阔叶混交林 | 7168 | 11     |
|  | 西  | 毛竹林       | 毛竹林+西     | 7039 | 5      |
|  | 东  | 毛竹林       | 毛竹林+东     | 6800 | 11     |
|  | 西  | 常绿阔叶林     | 常绿阔叶林+西   | 6777 | 5      |
|  | 北  | 灌木丛       | 灌木丛+北     | 6688 | 15     |
|  | 南  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+南   | 6632 | 13     |
|  | 西  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+西   | 6472 | 5      |
|  | 东  | 灌木丛       | 灌木丛+东     | 6303 | 11     |
|  | 南  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+南   | 6073 | 13     |
|  | 南  | 常绿落叶阔叶混交林 | 常绿落叶阔叶混交林 | 5353 | 13     |
|  | 西  | 毛竹林       | 毛竹林+西     | 5241 | 5      |
|  | 东  | 常绿针叶林     | 常绿针叶林+东   | 4923 | 11     |
|  | 南  | 毛竹林       | 毛竹林+南     | 4718 | 13     |

图 5-18 群落分布属性数据表示意图

③ 打印输出所有查询结果的统计直方图。例如植被类型面积分布为例，见图 5-19。

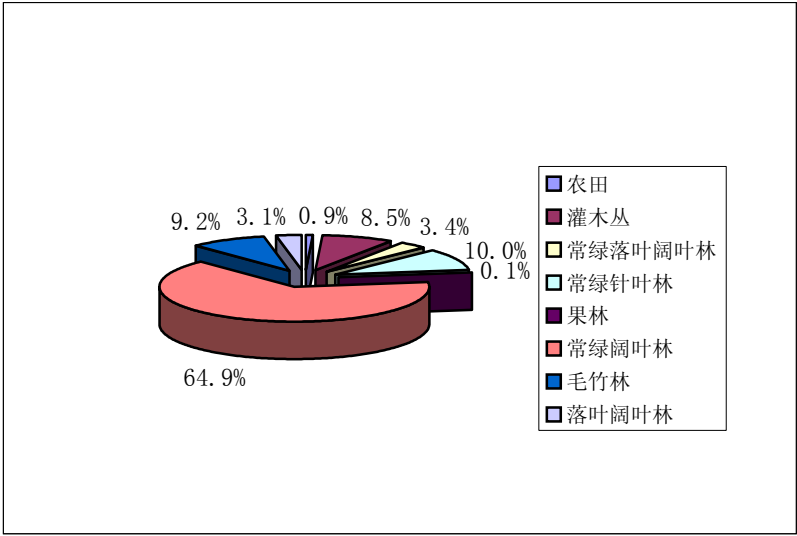


图 5-19 植被类型分布示意图

2) 图形数据输出

森林资源信息管理系统可输出各种专题彩图，包括以下两种输出方式：

① 查询结果输出：森林资源信息管理系统可将在空间信息查询中图层所能显示的图件完整地打印出来，打印输出图件的大小或比例可由用户任意控制。资源信息管理系统还可打印输出单个专题图层的信息，也可打印出多个专题图层叠加所显示的信息、林场区划与等高线叠加等。

② 专题制图输出：森林资源信息管理系统具有强大的专题图制作子系统，它能完成图形输入和编辑成果的整饰和输出，客观存在集显示、编辑、制图于一体。另外，系统还提供了大量常用的点符号、线符号及填充符号，支持用户方便、快捷地定制符号库。利用天童森林生态系统服务功能价值评估系统制作和输出的专题图如下：各类服务功能价值分布图、林场区划与等高线复合图、DTM 图、三维图、林相图、数字高程图等（如图 5-6 社会价值分布图）。

5.3.3 其他功能

除了在资源资产评估外，还可以借助本系统地 GIS 平台，通过进一步的开发，还可以具有以下几方面的功能：

(1) 林业规划设计中的应用

1) 小班利用方式的规划设计：通过对各小班之间各项效益的比较，使决策者能在定量的基础上对现有小班利用方式进行合理的规划设计，以追求最大利益，实现林业的可持续发展。

2) 森林分类区划: 由于 GIS 提供了形象直观的图面资料, 区划工作可以直接在计算机上进行, 利用 GIS 即时成图、随意缩放的功能, 可以及时检查各林种分布的合理性, 对不符合要求的小班地块可及时进行布局调整。

3) 造林规划: 利用 GIS 分析功能, 可以提供宜林地数量及分布情况、宜林地立地类型图表, 分析宜林地各立地类型最适宜的造林树种, 为造林规划选地、选树提供参考。

4) 林分改造: 结合遥感技术, GIS 可以把林分分布和生长情况直观地反映到小班或山头地块上, 从而为林分改造提供直观资料和图件, 方便改造设计。

5) 伐区设计: GIS 可以提供现有林分的资源数据(如单位面积蓄积、龄组、树种结构等)及其分布区域, 从而进行伐区设计。GIS 在规划设计中的应用, 是最接近基层林业生产的新技术之一, 图表、数据一应俱全, 简单明了、实用, 可以免除以往规划设计中繁琐的求积、计算等工作, 并可任意修改规划设计。而且可以利用 GIS 进行造林效果模拟显示及造林设计的效果预测等。

## (2) 实现基础资料的计算机管理

1) 实现档案管理计算机一体化: 森林资源档案管理包括整理调查卡片、计算统计报表、编绘各种林业专题图等工作。利用计算机进行森林资源的统计、制表、查询等, 并且每年的数据更新和报表等均采用这一系统, 实现了资源档案管理从手工卡片统计到数据库统计, 是一次质的飞跃。但由于林业各种专题图仍然采用手工制作, 图形档案的更新无法与数据更新同步, 从而使得这种资源档案管理仍然是“半自动化”。采用 GIS 可将图形与数据库有机结合, 实现资源档案管理计算机一体化, 使森林资源档案的管理和应用达到一个新的水平。

2) 实现数据、图形一体化查询: 由于 GIS 解决了数据、图形的联接问题, 使得档案管理的查询功能更加强大, 既可以根据数据查询图形, 也可根据图形查询数据, 并以统计图表的方式表现, 使档案管理工作更趋于人性化。

3) 实现数据、图形一体化更新和输出: 在 GIS 中, 地图图元和属性数据库可以随时修改, 当资源发生变化时, 可对图形和数据库进行及时同步更新和输出, 克服了过去只能对数据库更新, 而图形难于更新的最为薄弱、难于指导生产的缺点。GIS 的及时更新功能可延长调查数据的使用年限, 从而延长调查间隔期。若 GIS 与 RS(遥感)相结合, 通过对比分析, 只需对一些局部的样本进行补充和专题调查即可达到调查规定的精度, 大大节省了人力、物力和时间, 其长远的经济效益非常明显。

## 第六章 结论与展望

### 6.1 结论

森林作为一种自然资源在人类生存和生活中发挥着不可替代的重要作用。应用 GIS 技术对森林生态系统服务功能价值的评估是一个前沿性的课题,国内外尚未有重大突破。本研究对宁波天童森林公园的森林生态系统服务功能进行了价值评估,是对森林资源核算的一项有益的尝试,主要取得了以下一些结论:

(1) 首次将宁波天童森林公园作为一个森林生态系统进行服务功能价值、货币价值及价值补偿量的计量评估。比较了森林经济、生态和社会价值,从而给出了森林的无形价值(生态价值和社会价值)与有形价值(经济价值)基本持平,说明了不仅要对森林资源的经济价值进行核算,而且也应对生态及社会价值加以计量。只有这样,才能如实反映森林所做的全部贡献,从而将两者均纳入国民经济核算体系,实现整个森林资源的资产化管理,实现林业的可持续发展。

(2) 首次利用 GIS 技术对研究区域的森林资源进行了监测和评估,并利用 GIS 强大的空间分析处理和管理数据的能力,将评估结果落实到了每个单元小班,实现空间分析,这是常规手段无法实现的。同时,利用了 GIS 和计算机可视化技术,使研究区域的每个小班的的服务功能价值在图形中展现,使管理者能更为直观的进行分析和决策,与常规方法相比,这是本研究的先进性所在。

(3) 通过对森林生态系统服务功能价值外部经济性分析,指出了森林生态系统服务功能价值货币计量的实质是对森林外部经济性的评价,构建了模型。在模型中引入了“有效面积系数”和“市场转换系数”两个参数,使评估结果更接近现实的市场价值,以避免过度夸大生态价值和社会价值的弊端。

(4) 根据社会发展水平调整补偿系数,提供合理的货币补偿,为制定补偿政策提供更为科学的依据以及更强的可操作性和现实性。建立各小班价值补偿评估账户,当涉及到森林资源资产租赁、转让、转性的过程中,根据不同经济活动情况评估对资产的进行合理定位和为交易双方提供一个客观合理的价格补偿,实现森林资源可持续发展。

(5) 通过评估结果及其 GIS 空间分析,得出:

1) 天童森林生态系统服务功能价值的总量为 219626 万元,货币价值总量为 107180 万元,价值补偿总量为 30009 万元,价值补偿远远低于其价值量。

2) 各服务功能指标类型价值量间存在着明显差异。其中,经济货币价值为 55414 万元;生态货币价值为 32467 万元;社会货币价值为 19299 万元。

3) 在生态价值评估中,各类生态价值货币量差异明显。森林涵养水源和改

善大气占主导价值，占总货币价值的 96%。

4) 森林生态系统服务功能价值评估明显依附于森林资源，且森林资源的空间分布控制着价值的空间分布，空间分布上表现出明显的空间异质性。

## 6.2 展望

1) 关于森林生态系统服务功能价值核算方法问题，目前已经提出一些计量方法，但很多公式是从理论上提出的，在许多假设条件下成立，而那些假设条件还有待于确定，因此，这些方法的可操作性、可对比性不强，在这方面还需进一步研究。探索合理的评估价值的方法和途径，以适应我国林业可持续发展和改革的客观需要。

2) 关于森林生态系统的生态服务功能价值类型复杂多样，本研究仅仅是涉及其中的一部分。由于目前尚缺少合适的评估方法和参数，尚有不少生态价值未能评估，例如：调节气候的价值、防风固沙价值、改善环境价值、保护野生动植物价值、保护农田价值、防止噪音价值，以及生物多样性和基因保存价值等等。这些均有待于今后继续探索，以便进一步完善整个森林生态系统的间接经济价值的评估。

3) 森林生态系统服务功能价值越来越受到人们的关注，不少专家学者对不同地方的森林生态系统服务功能价值进行了价值核算，但是各个专家使用的指标体系不尽相同，其核算结果不具有可比性。因此建立统一的、成熟的森林生态系统服务功能价值核算内容指标体系，将对森林生态系统服务功能价值核算工作有很大的帮助。

4) 对宁波天童森林生态系统服务功能价值评估的结果还比较粗，尤其是生态价值和社会价值的货币评估。由于各类价值指标的评估方法的多样性，使得评估结果的可比性不强。另外，在构建价值评估模型时，引入了“有效面积”、“市场转换系数”和“补偿系数”等参数，具有一定的主观性和模糊性，因此计量结果难以精确，只能代表一种趋势。

5) 森林生态系统服务功能价值 GIS 的建立是一项庞大的工程，各种专业模型的开发，不同来源数据的集成，需要投入巨大的人力和时间。本文只对实现的方法及涉及的关键技术进行探讨，其中有很多关键技术需要突破。由于时间和精力有限，本文只是对实现的方法进行探讨，若要建立一个 GIS 一体化的实用系统，有待以后进一步开发研究。

## 参考文献

- [1] 陈平留. 森林资产评估. 成都. 电子科技大学出版社. 1996
- [2] 李金昌. 要重视森林资源价值的计量和应用. 林业资源管理. 1999(5):43-46
- [3] 蔡剑辉等. 论森林生态服务的经济补偿. 林业经济 2001(5):43-45
- [4] 姜文来等. 资源资产论. 北京. 科学出版社. 2003
- [5] DailyG(ed). Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997(2): 185-258
- [6] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报. 1999. 10(5):635~640
- [7] 李少宁, 王兵, 赵广东, 崔向慧, 白秀兰. 森林生态系统服务功能研究进展——理论与方法. 世界林业研究. 2004. 17(4):14-18
- [8] Daily G. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press. Washington. 1997:396-415
- [9] Costanza, Robert, et al. The Value of the World's ecosystem services and natural capital. Nature. 1997(387):258-260
- [10] 李芝喜等. 林业 GIS (地理信息系统技术在林业中的应用). 北京. 中国林业出版社. 2000
- [11] 刘惠明等. 3S 技术及其在林业上的应用. 广东林业科技. 2002(2):44-47
- [12] 郑小贤. 森林资源管理. 北京. 中国林业出版社. 1999.
- [13] 崔丽鹃. 湿地评价. 北京. 科学出版社. 2001.
- [14] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告(1998). 北京. 中国环境科学出版社. 1998
- [15] 薛达元. 生物多样性的经济评价——长白山自然保护区实例研究. 北京. 中国环境出版社. 1997.
- [16] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统服务价值. 科学通报. 2000. 45(1):17-22.
- [17] VitouDrkpm, et al. Human domination of Earth's ecosystem. Science. 1997(277):494-499
- [18] Simpsonrd. Ecosystem Function and Human Activities. Chapman & hall. Washington. 1997.
- [19] Adgerwn, et al. Total economic value of forests in Mexico. Ambio. 1995, 24(5):286-296.
- [20] 侯元兆, 张佩昌, 王琦等. 中国森林资源核算研究. 北京. 中国林业出版社. 1995
- [21] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报. 1999. 19(5):607~613
- [22] 赵同谦等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报. 2004. 19(4):480-491
- [23] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱等. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带林为例. 应用生态学报. 2000. 11(4):481-484
- [24] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的质量与价值量评价方法比较. 应用生态学报. 2000. 11(2):290-292
- [25] 李金昌, 孔繁文. 资源统计与可持续发展. 北京. 中国环境出版社. 1991
- [26] 马晓微等. 基于 GIS 的中国潜在水土流失评价指标研究. 水土保持通报. 2001(4):41-44
- [27] 卜兆宏等. 水土流失定量遥感及应用研究. 土壤学报. 1997(3):235-245
- [28] 卜兆宏等. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究. 土壤学报. 1999(1):1-8
- [29] 周斌. 浅谈水土流失遥感定量模型及其因子算法. 地质地球化学. 2001(1):72-77
- [30] 肖寒等. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征. 土壤侵蚀与水土保持学报. 1999(4):258-264
- [31] 郎璞玫. 基于 GIS 的森林生态效益空间模型分析研究 (博士论文), 北京林业大学, 2001
- [32] Zhongwei guo, et al, Ecosystem functions, services and their values - a case study in Xingshan County of China, Ecological Economics, 2001(38):141-154
- [33] 宋永昌, 王祥荣等. 浙江天童国家森林公园的植被与区系. 上海科学技术文献出版社. 1995

- [34] 郎奎建, 李长胜, 殷有等. 森林生态工程中 10 种森林生态效益的估测理论与方法. 东北林业大学学报. 2000. 28(1):1-7
- [35] 森林资源资产评估技术规范(试行). 林业财务与会计(法规介绍). 1997(5):9-12
- [36] Eganaf, et al. Ecosystem management in the Northeast. Journal of Forestry, 1999(9):24-29
- [37] Kohmak, Franklin J F. Creating a Forestry for the 21st Century -The Science of Ecosystem Management. Washington. Island Press, 1996:175-187
- [38] 党安荣等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南. 清华大学出版社. 2003.
- [39] 赵士洞, 张永民. 生态系统评估的概念, 内涵及挑战——介绍《生态系统与人类福利: 评估框架》. 地球科学进展. 2004. 19(4):650-657
- [40] 郎璞玫. 广义森林生态效益货币量的空间模型分析. 生态学报. 2003. 23(7):1356-1362
- [41] 陈应发, 陈放鸣. 国外森林资源环境效益的经济价值与评估. 林业经济. 1995(4):65-73
- [42] 宋萍等. 福建省森林生态系统服务价值及其空间分布. 福建林学院学报. 2003. 23(3):202-205
- [43] 于桂娥. 中国森林资源综合核算体系研究(硕士论文). 东北林业大学. 2001
- [44] 吴伟光. 森林环境价值评价与实现问题研究(硕士论文). 浙江大学. 2002
- [45] Chopra, K. The value of non-timber forest products: an estimation for tropical deciduous forests in India. Economic Botany. 1993(47):251-257.
- [46] 余新晓等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究. 生态学报. 2002(5):783-786
- [47] 滕起和等. 雾灵山自然保护区森林资源资产评估的研究. 林业资源管理. 1999(6):47-52
- [48] 周晓峰, 蒋敏元. 黑龙江省森林效益评价及补偿. 林业科学. 1999. 35(3):97-102
- [49] 陈应发等. 国外森林资源环境效益的经济价值及其评估. 林业经济. 1995(4):65-73
- [50] 王广建. 林木资产动态评估系统模型的建立. 东北林业大学学报. 2002. 30(4):67-70
- [51] 金丽娟, 高岚. 森林林木资源定价理论与方法的研究综述. 江苏林业科技. 2004. 31(4):40-49
- [52] 单胜道, 吴次芳. “影子地块”及其在林地评估中的应用——以温州茶山森林公园为例. 自然资源学报. 2002. 17(1):102-109
- [53] 单胜道. 林地价格及其形成. 林业经济问题. 2000. 20(3):60-165
- [54] 李传林. 林地价值评估问题研究. 中国林业企业(CFB). 2000(1):8-9
- [55] 倪里奋. 林地资产价值计算的探讨. 林业财务与会计. 2000(12):16-17
- [56] 张伟明. 李子园林场森林环境资源资产评估的研究(硕士论文). 甘肃农业大学. 2000
- [57] 薛达元等. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学. 1999. 19(3):247-252
- [58] 薛达元. 长白山自然保护区生物多样性非使用价值评估. 中国环境科学. 2002. 20(2):141-145
- [59] Guo, Z., Xiao, X., Li, D., An assessment of ecosystem service supplied by a Yangtze river watershed: water flow regulation and hydroelectric power production. Ecological Applications 2000. 10(3):925-936.
- [60] 蒋延玲等. 中国主要森林生态系统公益的评估. 植物生态学报. 1999(5):426-432
- [61] B. Y. Liu, Nearing. M. A. Slope gradient effects in soil loss for steep slopes. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1997. 37(6):1827-1840
- [62] 张金恒. 基于 RS 和 GIS 的水库流域森林涵养水源功能评价的研究(硕士论文). 东北林业大学. 2001
- [63] 史志华等. GIS 在三峡库区土壤肥力综合评价中的应用. 土壤侵蚀与水土保持学报. 1999(1):54-62
- [64] 陈克平, 宁大同. 基于 GIS 非点源污染模型的地形因子分析. 北京师范大学学报(自然科学版). 1997(2):281-284
- [65] 张三焕等. 长白山森林生态效益资产评估研究——以汪清林区为例. 资源科学. 2002. 24(6):74-79
- [66] 朱绍文等. 八达岭林场森林资源价值评估及生态效益经济补偿的初步探讨. 北京林业大学学报. 2003. 25(特刊):71-74
- [67] Krankina O. N, et al. Carbon storage and sequestration in Russian forest sector. Ambio.

1996. 25(4):284-288

[68] 郑新奇, 王爱萍. 基于 RS 与 GIS 的区域生态环境质量综合评价研究-以山东省为例. 环境科学学报. 2000(4):489-493

[69] 薛达元等. 长白山自然保护区生物多样性旅游价值评估研究. 自然资源学报. 1999. 14(2):140-145

[70] 张维梅等. 雾灵山森林公园旅游资源评价. 河北林果研究. 2003. 18(2):184-189

[71] 兰思仁. 森林景观资产评估的实证研究(硕士论文). 厦门大学. 2001

[72] 张运来等. 乌龙国家森林公园生态旅游资源评价与开发. 东北林业大学学报. 2002. 30(1):51-53

[73] 赵景柱等. 基于可持续发展综合国力的生态系统服务评价研究——13个国家生态系统服务价值的测算. 系统工程理论与实践. 2003(1):121-127

[74] 周冰冰, 李忠魁. 北京森林资源的价值研究. 北京. 中国林业出版社, 2000.

[75] DeGrootR. Functions of Nature:Evaluation of Naturein Environmental Planning. Managementand Decision Making. Groningen. Netherlands:Wolters-Noordhoff. 1993.

[76] 李意德等. 海南岛热带天然林生态环境服务功能价值核算及生态公益林补偿探讨. 林业科学研究. 2003. 16(2):146-152



## 致 谢

在此特别要感谢我尊敬的导师由文辉教授和戚仁海讲师。一直以来，由老师和戚老师不断地给予我耐心的教诲和指导，他们缜密敏锐的思维、一丝不苟的治学态度对我影响至深。虽然老师们工作繁忙，却不惜宝贵的时间和精力，从文章的结构安排到语言文字的表述，都对本文进行了悉心的指导。三年来，我取得的每一个进步都凝结着老师们辛勤的汗水，他们不仅在学术上引导我进入科学的殿堂，而且还教导我积极乐观地面对人生。在此论文完成之际，向由文辉教授和戚仁海讲师表达最衷心的感谢！

衷心感谢环境科学系各位老师曾给予我的无私的协助和教导，特别是王希华老师、达良俊老师在论文上给予我诸多的帮助。同时也要感谢我的同学们和朋友们在生活和学习上给予我的关心和帮助。

感恩于我的父母，是他们一直激励着我努力完成学业，积极向上，不仅在生活上给了我无微不至的关心和呵护，而且也给了我无比的宽容、理解和支持。

最后，再次向这三年来给予我帮助的老师朋友们致以最由衷感谢！

胡艳琳

2005 年 5 月