

引用格式: Zhang Yunqi, Gong Yingkui, Xi Xiaohuan, *et al.* Boundary Delimitation of Wolong Natural Reserve Using AHP and GIS Techniques[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(4): 886-891. [张蕴琦, 巩应奎, 习晓环, 等. 融合 AHP 和 GIS 技术的自然遗产地边界界定方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(4): 886-891.]

doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2019.4.0886

融合 AHP 和 GIS 技术的自然遗产地边界 界定方法研究

张蕴琦^{1,2}, 巩应奎¹, 习晓环^{3,4}, 杨瑞霞^{3,4}, 王 成^{3,4}

(1. 中国科学院光电研究院, 北京 100094;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094;

4. 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094)

摘要: 自然遗产地边界界定对于遗产地保护和管理具有重要的意义。已有的遗产地边界界定方法多基于先验知识和专家经验, 具有一定的主观性, 精度也有待进一步验证。以卫星遥感影像为基础数据, 提出层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 和 GIS 结合的自然遗产地边界界定方法, 并将其用于四川卧龙自然保护区边界确定。首先利用 AHP 分析并构建自然遗产地边界影响因素等级体系, 然后基于 GIS 分析建模, 通过数字化得到卧龙自然保护区的边界。与已公开的相关资料相比, 该方法划定的保护区面积和边界更加科学、客观、精确, 为珍稀动物大熊猫栖息地提供了明确的自然边界, 而且突出了人与保护区相互关系及保护区的自然和生态保护价值。

关键词: 自然遗产; 边界划分; 层次分析法; GIS; 卧龙自然保护区

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2019)04-0886-06

1 引言

自然遗产, 从科学或保护的角度, 通常指具有突出的普遍价值的地质和自然地理结构以及明确划为濒危动植物物种的栖息地, 对自然遗产进行保护及监测是确保遗产地可持续发展和科学管理的重要内容。截至 2018 年 7 月 2 日, 我国被列入联合国教科文组织《世界遗产名录》的世界遗产已达 53 项, 其中自然遗产有 13 项, 自然与文化双重遗产 4 项, 面积超过 170 000 km²。世界自然遗产的边界在首次进行遗产地申报确定后通常不再变化, 近年来在长时序气候变化、自然灾害、地区经济建设等外力作用下, 部分世界遗产地内部的景观格局出现破

碎化, 直接导致地区生态环境的失衡, 遗产地的初次边界申报范围与现有功能区出现了一定程度的差异, 亟需重新对其进行核准^[1-3]。另外我国尚有超过 30% 的地级自然遗产尚未明确其有效保护范围, 而一些遗产地由于申报时间较早, 在多种自然和人为因素的影响下, 初次申报范围与现有功能区出现了一定程度的差异, 也亟需重新对其进行核准^[4-5]。

传统的遗产边界测绘通常依赖经验丰富的专家进行野外测量, 得到的位置信息往往不够精确, 人力物力消耗大。Femenia 等^[6]为了寻找西班牙巴伦西亚一系列文化城市的范围, 在地籍地图和历史背景资料支持下, 利用手持 GPS 人工寻找、测量、标记边界。Arora 等^[7]通过在地籍地图上叠加 GPS 实

收稿日期: 2018-06-26; 修订日期: 2019-06-11

基金项目: 中国科学院 A 类先导专项“自然遗产地价值要素时空变化监测与认知”(XDA19030501)。

作者简介: 张蕴琦 (1996—), 女, 四川南充人, 硕士研究生, 主要从事遥感图像处理与应用研究。E-mail: Zhangyq@aoc.ac.cn。

通讯作者: 习晓环 (1972—), 女, 陕西乾县人, 硕士、副研究员, 主要从事激光雷达遥感与应用研究。E-mail: xixh@radi.ac.cn。

地采集的坐标数据,证明了某村庄的实际边界与历史记录资料间的差异。遥感技术和GIS技术的发展为大区域的地理边界测绘提供了重要的数据源和分析手段,也成为地理区域调查研究的新趋势。杨琴等^[8]以3S技术为基础,从中国喀斯特地貌的发育过程、生态系统完整性、濒危物种栖息地等多个方面进行了科学探讨,指出该地区的边界范围受到多个自然因素的共同影响,并将各因素的数字化矢量图叠合、修订,输出了喀斯特遗产地边界专题图;该方法考虑了多种自然因素,但未提及人类活动的影响。胡斌斌等^[9]提出了适用于城市背景下的居民地边界提取方法,利用已有的基础地理数据矢量线段作为约束,通过聚合计算获得居民地的边界提取范围。Liu等^[10]在理论分析的基础上利用RS和GIS对喀纳斯自然保护区进行范围划定,强调了社会经济活动对保护区的重要影响,并指出应考虑人类活动和保护区价值对边界的影响,具有一定的普适性,但并未明确影响因子应该如何量化以及其综合影响如何表达。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是Saaty^[11]在20世纪70年代提出用于处理复杂决策问题的一种手段,根据问题的性质和总目标将其分解为一个由多个简单问题组成的多层次结构模型,并通过解决不同层次的简单问题进行决策分析。很多学者将AHP用于地理环境的综合分析,Xiong等^[12]将AHP与GIS相结合,对我国湖南省的生态环境进行综合评价研究。杨宇等^[13]对某地区的能矿资源开发利用的可持续能力进行评价。Li等^[14]在对盐城生物圈保护区进行缓冲区范围设计时,利用AHP分析了不同环境因素对保护区周边环境的影响,梳理了自然保护区的环境要素,将复杂的地理环境抽象化,进而设计了保护区的缓冲区范围,但其结果没有明确缓冲区地带的区划位置,也未突出该地区的保护价值。

本文在前人研究的基础上,针对自然遗产所具有的功能多样和属性复杂等特点,以四川卧龙大熊猫自然保护区为例,利用卫星遥感数据、基础地理背景数据和社会经济数据等,提出融合AHP和GIS技术进行自然遗产地边界界定方法,并与公开的资料进行对比,验证了此方法的科学性和合理性。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

卧龙自然保护区始建于1963年,地跨四川盆地

和青藏高原(102°52′~103°25′E, 30°45′~31°25′N),地理位置独特,地形和植被类型复杂多样,拥有5个植被型组、15个植被型、39个群系组、69个群系和71个群丛组^[15]。1980年保护区建成世界上最大的大熊猫圈养繁殖中心,使之成为保存濒危大熊猫及其生物多样性遗产的关键地区之一。根据《四川省世界遗产地保护规划》相关规定,该保护区被划为3个功能区,即核心区、缓冲区和外围保护区,其中核心区以大熊猫栖息地为核心,拥有保存较为完好的原始生态景观,人口密度小于0.2人/km²;缓冲区为除核心区以外的人文因素影响区,人口密度小于5.0/km²;外围保护区为保护核心区和缓冲区不受影响,根据该地区的行政边界及历史因素确定的保护范围。

2.2 数据源

遥感数据包括2幅空间分辨率为30 m的Landsat8-OLI影像,获取时间均为2016年3月18日,以及6幅空间分辨率为90 m的SRTM DEM数据。结合该地区的保护价值和地理位置,此外还选取了2015年全国1:400万基础地理数据、人口密度分布数据、第三次全国大熊猫调查数据等3种社会数据对划定的边界范围进行修正和完善。

3 研究方法

利用AHP对卧龙自然保护区的3个功能区分别进行指标选取并计算每个指标的权重,构建边界影响因子等级体系,再利用ENVI5.2从遥感影像和DEM中提取、量化这些指标,然后利用ArcGIS10.2重构大熊猫生境范围,最后结合社会经济数据、第三次大熊猫调查数据进一步数字化、修正边界范围。具体流程如图1。

3.1 层次分析法(AHP)

AHP是使用范围最广的多准则决策工具之一,常用于进行规划、最佳方案选择、资源分配等^[16]。在利用AHP分析一个复杂问题时,通常把待决策的问题分解成若干个层次,然后梳理每个层次的指标组成并建立一个等级体系,从而将一个复杂的问题分解为若干个具有一定相关关系的简单问题而解决^[17-18]。根据卧龙保护区历史资料中相关功能区划规定,考虑到该地区大熊猫的生存环境和地理位置,结合已有的遥感数据和社会数据人为选取生态和社会指标,以海拔、植被指数、人口密度和坡度等作为核心区的影响指标;以人口密度和道路作为缓

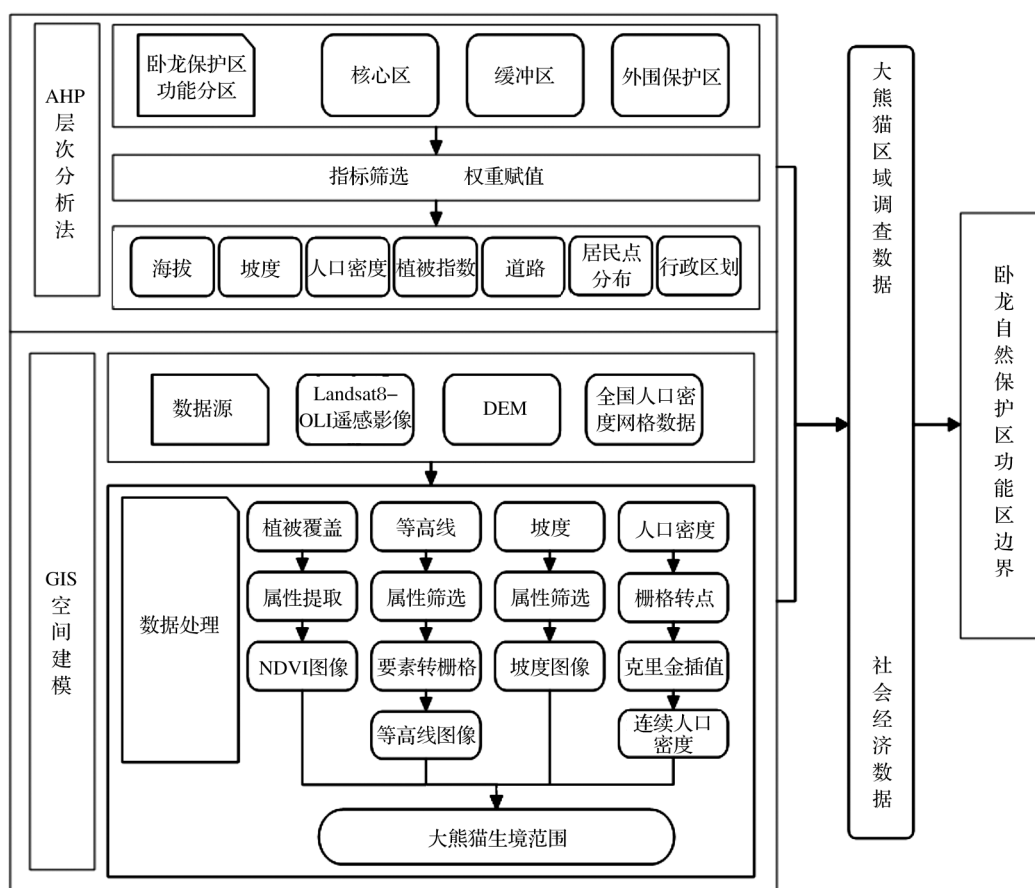


图1 方法流程

Fig.1 The flow chart of the study

缓冲区划分的影响指标;以居民点和行政区划作为外围保护区的影响指标,最后构建的边界影响因子等级体系如表1所示。

表1 边界影响因子等级体系

Table 1 Boundary influence factor hierarchy system

Layer A	Layer B	Layer C
卧龙保护区(A)	I 核心区(B1)	海拔(C1)
		植被指数(C2)
		坡度(C3)
		人口密度(C4)
	II 缓冲区(B2)	道路(C5)
		人口密度(C6)
	III 外围保护区(B3)	居民点(C7)
		行政区划(C8)

构建等级体系后,对于体系中不同的决策层,需要进一步明确指标之间相对上一决策层的相对重要性并分配权重。假设功能区边界相互独立,各自选择的指标互不影响。首先,核心区边界范围影响因子为C1、C2、C3和C4,若C1相对C2的重要程

度为 a_{12} ,则C2相对C1的重要程度为 $\frac{1}{a_{12}}$,假设4个因子对核心区范围共同作用的总权重为1,海拔C1与坡度C3相互独立,则C1与C3的相对重要性为1;植被指数C2受到海拔C1和坡度C3的影响,则C1和C3相对C2的重要程度是2,反之C2相对C1、C3的重要程度则为 $\frac{1}{2}$;人口密度C4受到C1、C2和C3的共同影响,则对于核心区,C4相对C1、C2、C3的重要性则为 $\frac{1}{3}$ 。由此可知,对核心区范围影响程度 $C1=C3>C2>C4$,比例为 $1:\frac{1}{2}:1:\frac{1}{3}$,在总权重值为1的情况下,根据比值分配C1、C2、C3、C4各自的权重为0.35、0.18、0.35、0.12。缓冲区和外围保护区每一层的指标均为两个,假设这两个指标对边界范围的影响相同,则对缓冲区,C5道路和C6人口密度相对强度之比为1:1,则C5、C6的权重均为0.5。同理对外围保护区而言,C7居民点分布和C8行政区划各自分配的权重也均为0.5。由此构建指标权重分配体系如图2所示。

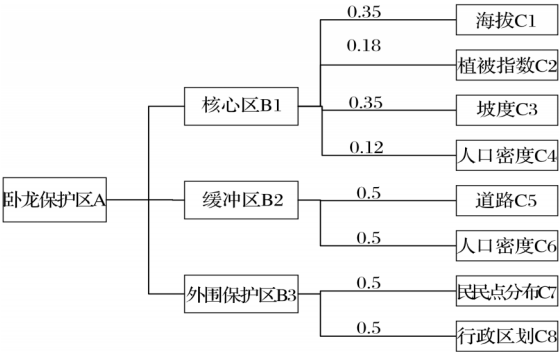


图 2 指标权重分配

Fig.2 Index weight assignment

3.2 GIS 建模

基于 ArcGIS10.2 建模功能,首先对获得的遥感

数据进行预处理,对 Landsat8-OLI 影像进行波段合成和图像融合,然后根据大熊猫的生活习性、栖息环境等信息总结大熊猫潜在适宜环境,再对研究区的数字高程模型进行坡度、等高线等信息的提取。同时对研究区人口分布栅格图进行转点,利用克里金插值法获得连续的人口密度分布。为了获得研究区的植被覆盖情况,利用 ENVI5.2 对遥感影像提取 NDVI 植被指数,得到植被覆盖分级图,将所有图像数据作为输入因子,根据 AHP 构建的边界影响因子等级体系(表 1)和指标权重赋值分配(图 2),建立卧龙保护区大熊猫生境范围决策模型,最后输出大熊猫生境范围(图 3),其中数字越大代表越适合大熊猫生存。

表 2 大熊猫潜在适宜环境因素

Table 2 Potential environmental factors for panda

因素	适宜性选择
海拔	卧龙保护区平均海拔高度为 3 000 m,根据 2002 年自然遗产申报文本,选择大熊猫生存区域海拔范围为 1 650~3000 m
坡度	大熊猫主要栖息在坡度较缓的地区,本研究中划定 50°以下的范围均为适宜区
植被	保护区林地范围占 50% 左右,大熊猫以箭竹、方竹或其他竹丛的针阔混交林地区最为常见
人口分布	根据卧龙保护区规划条例,人口密度小于 0.2 人/km²和 5 人/km²分别划为核心区和缓冲区

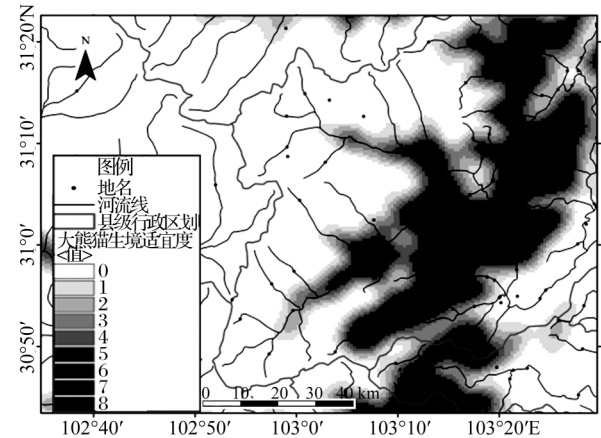


图 3 大熊猫生境适宜范围

Fig.3 Panda habitat area

4 结果与分析

通过叠加居民点、水系、第三次全国大熊猫分布等矢量数据,进一步修正核心区边界范围,同时参考保护区功能区划、县级行政区划和居民点分布情况,对缓冲区和外围保护区边界进行完善,得到保护区边界全貌,如图 4 所示。

由《卧龙国家级自然保护区总体规划(2008~2020)》可知,保护区的总面积约为 2 000 km²,包括核心区和缓冲区,面积分别为 1 720 km²、280 km²,对外围保护区并无明确规定。本研究划定的卧龙

保护区总面积为 2 766 km²,其中核心区面积为 992 km²,缓冲区面积为 783 km²,外围保护区为 991 km²,总面积比原规划增加了 766 km²,核心区面积减少了 728 km²。

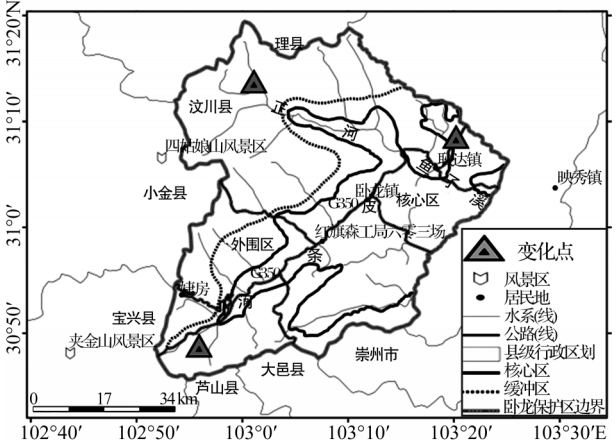


图 4 卧龙自然保护区边界划分

Fig.4 Boundary delimitation of Wolong Natural Reserve

可以看出,核心区包含了大熊猫生境适宜区的全部范围,区内有皮条河由北向南贯穿,同时分布有正河、鱼子溪等水系,以及卧龙镇、原红旗森公局六零三场(后建立卧龙林管站)等居民点;缓冲区包含三大河流及其大部分支流。从最外围边界来看,保护区北与理县接壤,南与芦山县、大邑县、崇州市

毗邻,西与小金县、宝兴县邻接,整个卧龙保护区全部位于汶川县境内。

与国家林业局颁布的卧龙保护区位置示意图相比,本文研究结果有3处变化(图4三角符号标注),具体原因如下:

(1)卧龙地区所处地理位置特殊,其相邻地区四姑娘山保存有第四纪冰川作用形成的系列典型地貌和现代冰川过程。本文的最外围边界将四姑娘山风景区划出保护区范围,考虑到保护区左上变化点处受第四纪冰川作用较小且距大熊猫栖息地范围较远,原为林业局所划定的核心区域,本研究将其划出核心区 and 缓冲区范围。

(2)夹金山南翼是研究东亚大地构造和东特提斯海构造的典型场所,夹金山风景区位于卧龙保护区外西南方(图4),距卧龙保护区外围边界距离大于10 km,图中左下变化点(原核心区)西侧为夹金山脉,又背靠大熊猫栖息地,故本研究将其划入缓冲区范围中。

(3)右上变化点属于国家林业局划定的原缓冲区范围,靠近G350公路,但又属于大熊猫栖息地范围,故将居民地——耿达镇划出核心区,而将其部分划入核心区加以保护,以确保大熊猫栖息地的完整性。

5 结 语

本研究基于AHP和GIS空间分析,将保护区划分为3个功能层次并建立各自的指标体系,实现了3个区域的边界划分,为自然遗产地的边界划分提供了一个典型案例。

核心区范围突显了卧龙保护区的珍稀价值——大熊猫栖息地,缓冲区界定了保护区人类活动最大范围,外围保护区边界和县级行政区划相适应,直观表达了卧龙保护区的行政范围,既突显了该地区的珍稀价值,又保证了其普遍价值和完整性,具有一定的理论研究和实际应用价值。本文建立的包含生态和社会指标的边界影响因子体系对遗产地边界的界定具有一定的普适性,而对于自然与文化双重遗产和山地系统类自然遗产等无明显珍稀生物价值的区域的范围界定,本文方法的有效性有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] Sun K Q. Study on Protection and Sustainable Development of the World Heritage in China[J]. Journal of China University of Geosciences, 2008, 8(3): 36-40.
- [2] Han Xin, Liu Chuansheng, Hu Jiangling, *et al.* Dynamic Evolution of Landscape Pattern and Ecological Health Assessment of Tianshan Natural Heritage Site in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2019, 42(1): 195-205. [韩鑫, 刘传胜, 胡江玲, 等. 新疆天山自然遗产地景观格局动态演化及其生态健康评价[J]. 干旱区地理, 2019, 42(1): 195-205.]
- [3] Zhu Qi, Zhou Wangming, Jia Xiang, *et al.* Ecological Vulnerability Assessment on Changbai Mountain National Nature Reserve and Its Surrounding Areas, Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(5): 1633-1641. [朱琪, 周旺明, 贾翔, 等. 长白山国家自然保护区及其周边地区生态脆弱性评估[J]. 应用生态学报, 2019, 30(5): 1633-1641.]
- [4] Xu Wanggu, Wang Zhi, Qian Zhedong, *et al.* Current Status of the Range and Effective Protection Area of Nature Reserve in China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(6): 791-795. [徐网谷, 王智, 钱者东, 等. 我国自然保护区范围界定和有效保护面积现状研究[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 791-795.]
- [5] Cao Peiju, Wu Li. Space Observation and Characteristic Analysis of Chinese World Heritage [J]. Resource Development & Market, 2016, 32(5): 546-549. [曹佩菊, 吴立. 中国世界遗产的空间观察与特征分析[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(5): 546-549.]
- [6] Femenia R C, Benitez A E, Mora N G, *et al.* Method of Recovering Municipal Boundary Lines in Province of Valencia (Spain) by Means of Historical Cadastral Maps [J]. Empire Survey Review, 2014, 46(337): 255-266.
- [7] Arora P K, Bhatia R, Parkash S, *et al.* Web based GPS and GIS Model for Rural Areas [C]// International Conference on Reliability, INFOCOM Technologies and Optimization. IEEE, Conference Date(s): 2-4 Sept. 2015, Conference Location: Noida.
- [8] Yang Qin, Zhou Zhongfa. 3S Technology and Scientific Discussion of Boundary Identification of Nominated Site for the World Heritage [J]. Journal of Guizhou Normal University, 2007, 25(2): 30-32. [杨琴, 周忠发. 3S技术与世界自然遗产提名地边界认定的科学性探讨[J]. 贵州师范大学学报, 2007, 25(2): 30-32.]
- [9] Hu Binbin, Wang Hong. The Method of Street-block Settlement Boundary Extraction based on Geographic Name Annotation [J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(8): 60-65. [胡斌斌, 王红. 地名注记的街区式居民地边界提取方法[J]. 测绘科学, 2018, 43(8): 60-65.]
- [10] Liu X Y, Yang Z P. Border Demarcation of Nominated Site for World Natural Heritage based on RS and GIS Technology: A Case Study for Kanas [C]// International Conference on Multimedia Technology. IEEE, Conference Location: Ningbo, China, 29-31 Oct. 2010.
- [11] Saaty T L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process [J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83-98.

- [12] Xiong Y, Zeng G M, Chen G Q, *et al.* Combining AHP with GIS in Synthetic Evaluation of Eco-environment Quality—A Case Study of Hunan Province, China[J]. *Ecological Modelling*, 2007, 209(2): 97–109.
- [13] Yang Yu, Dong Wen, Liu Yi, *et al.* Assessment of Sustainable Ability of Energy and Mineral Resources Exploitation in Wuchang Region[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2011, 28(3): 328–335.[杨宇,董雯,刘毅,等. 乌昌地区能矿资源开发利用的可持续能力评价[J]. 中国科学院大学学报, 2011, 28(3): 328–335.]
- [14] Li W, Wang Z, Tang H. Designing the Buffer Zone of a Nature Reserve: A Case Study in Yancheng Biosphere Reserve, China[J]. *Biological Conservation*, 1999, 90(3): 159–165.
- [15] Yang Ya'nan, Xi Xiaohuan, Wang Cheng, *et al.* Image Classification for Giant Panda Habitat Using Tasseled Cap and Matched Filtering Methods[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 32(6): 797–802.[杨娅楠, 习晓环, 王成, 等. 基于缨帽变换与匹配滤波的大熊猫生境影像分类[J]. 中国科学院大学学报, 2015, 32(6): 797–802.]
- [16] Chaudhary P, Chhetri S K, Joshi K M, *et al.* Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS Interface for Suitable Fire Site Selection: A Case Study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2016, 53: 60–71.
- [17] Asmawi M Z, Ngaimin N, Mahamod N Z, *et al.* Assessing the Forestry Environmental Condition Using GIS-AHP Approach in the Forest Research Institute Malaysia (FRIM) Campus, Malaysia[J]. *Advanced Science Letters*, 2017, 23(7): 6372–6376.
- [18] Veisi H, Liaghati H, Alipour A. Developing an Ethics-based Approach to Indicators of Sustainable Agriculture Using Analytic Hierarchy Process[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 644–654.

Boundary Delimitation of Wolong Natural Reserve Using AHP and GIS Techniques

Zhang Yunqi^{1,2}, Gong Yingkui¹, Xi Xiaohuan^{3,4}, Yang Ruixia^{3,4}, Wang Cheng^{3,4}

(1. *Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

4. *International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage Under the Auspices of UNESCO, Beijing 100094, China)*

Abstract: Boundary delimitation of natural heritage is very important for its protection and management. The existing methods for boundary delimitation generally rely on the prior knowledge and expert experience, and their results are not accurate enough. To better determine the boundary of natural heritage, a new method was proposed in this study. With the support of remote sensing images and GIS (Geographic Information System) technique, Wolong National Nature Reserve was chosen to be the research object to map its scientific and reasonable boundaries. Firstly, AHP (Analytic Hierarchy Process) was applied to analyze and build the hierarchy system of boundary influence factors, and then with the support of GIS model builder, the reconstruction model of giant panda habitat was established, finally the boundaries of Wolong Natural Reserve were digitized with GIS modeling analysis. Compared with the published documentations, the area extracted by the proposed method is more scientific, objective and accurate. Furthermore, the boundary delimitation method proposed in this paper explores the influence of ecological and humanistic factors on natural heritage and provides a clearer boundary for the habitat of giant panda, which also highlights the relationship between humans and nature reserve.

Key words: Natural heritage; Boundary delimitation; Analytic hierarchy process; GIS; Wolong Natural Reserve