

## 流域土地利用分区空间管制研究与初步实践——以太湖流域为例\*

陈 雯

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**摘 要:** 流域空间开发和土地利用在推动经济社会发展的同时,对流域生态系统的健康和安全造成了剧烈影响,迫切需要在流域综合管理中充实完善土地利用分区与管制等研究内容,因而成为推动湖泊-流域相互作用研究的重要科学问题之一. 本文在回顾相关土地利用分区与管制研究基础上,从流域自然地理单元特殊性和管理目标复杂性出发,探讨了流域水陆系统相互作用机制,分析了流域土地利用分区与空间管制的研究重点与基本思路,提出了流域土地利用分区的技术路线及关键方法,并以太湖流域为例进行了初步的实践探索,提出严格保护区、适度发展区、开发利用区和保留发展区四种类型区及其空间管制要求,符合流域资源环境与经济社会发展实际,为流域可持续开发和保护提供指导. 最后,讨论了未来流域土地利用分区空间管制需要进一步研究的重点方向与关键问题.

**关键词:** 流域; 土地利用分区; 空间管制; 研究与实践; 太湖流域

### Research and preliminary practical exploration of land use zoning and spatial governance of river basin: a case study of Taihu Basin

CHEN Wen

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

**Abstract:** Spatial development and land use of river basin promote the economic and social development, at the same time cause severe impact on the health and safety of the ecosystem. It's urgent to enrich the comprehensive management of river basin with the zoning and governance of land use, which is also an important and scientific issue to promote the research of interaction between lake and basin. On the basis of review of researches on zoning and governance of land use, the paper started from the requirements that natural geographical unit of river basin is special and the management target is complicated, discussed the interaction mechanism between land and water systems of river basin, and analyzed the research priorities and basic ideas of land use zoning and space governance, then proposed technology roadmap and key methods of land use zoning of river basin. Moreover, the paper made preliminary practical exploration in Taihu Basin, and proposed four type areas of strictly protected area, moderately development area, development and utilization area, development reserved area and space governance requirements, which is in line with resource and environment of river basin, as well as economic and social development, at the same time provides guide for sustainable development and protection of river basin. Finally, the paper discussed the future research emphasis and key issues of land use zoning and space governance of river basin.

**Keywords:** River basin; land use zoning; spatial governance; research and practice; Taihu Basin

流域以水为纽带,将上、中、下游组成一个普遍具有因果联系的复合生态系统. 以流域为单元进行综合管理是实现资源开发与环境保护相协调的最佳途径<sup>[1]</sup>. 从各国各地区的流域开发来看,产生的河湖流域水土流失、土地退化、湿地破坏、水环境恶化和生物多样性破坏等问题往往与土地利用方式和空间开发不当有关. 究其原因,流域空间开发改变了下垫面条件,森林砍伐、草地过牧、建设占用等都会对水分循环产生影响,特别是农田和林地等被建设用地占用,使地表径流量增加,从而改变流域水资源量<sup>[2-4]</sup>,进而影响营养盐进入水体的输入量和输移过程. 另一方面,建设用地利用使土地承载更高密度人口和经济活动,总氮、总磷

\* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-339)和国家自然科学基金项目(41130750)联合资助.  
2011-08-26收稿;2011-10-22收修改稿. 陈雯,女,1967年生,博士,研究员;E-mail:wchen@niglas.ac.cn.

等污染物排放强度升高,降低流域河湖水质<sup>[5-6]</sup>. 因而,考虑流域水生态和环境保护要求以及经济社会发展需求,开展流域土地利用空间管制,对土地开发和保护空间进行合理划分、明确要素配置和产业准入控制,是流域综合管理的重要内容,也是推进湖泊-流域相互作用研究的一个重要科学问题.

已有的土地利用空间配置理论模型,是经济学根据土地资源经济供给的稀缺性以及竞租比较优势,按照成本最小化和效益最大化原则构建的,但没有考虑自然环境的本底条件,影响了现实操作的可行性. 结合土地利用自然属性和经济适宜性,土地综合性评价分区得到发展. GIS 也支持基于区域土地利用调查的土地利用分区与优化决策的研究广泛开展. 国内外相继开展了水(环境)功能区划<sup>[7-8]</sup>、生态功能区划<sup>[9-11]</sup>、农业区划<sup>[12]</sup>、经济区划<sup>[13-14]</sup>等. 在此基础上,一些空间功能识别的分区方法在空间规划中得到广泛应用. 考虑生态产品(自然生态保护和农业利用)和经济产品生产(非农业利用)的比较优势,通过选择生态重要性、灾害易损性、环境容量等自然要素以及经济发展水平和发展潜力等经济社会要素<sup>[15]</sup>,判定农业空间、生态空间和建设空间的最优区位. 根据土地合理分区(Zoning)制定分类政策和引导,是空间管制内容. 对土地利用的管制主要集中在开发强度和类型等方面,如城市空间形态与密度控制<sup>[16]</sup>、建设空间利用效率与农业空间保护<sup>[17]</sup>、人口流动与均衡分布<sup>[18]</sup>、生态空间保护与污染排放控制<sup>[19]</sup>等,涉及的要素主要包括建设用地、人口规模、环境容量准入和产业门槛等方面.

从现有研究看,绝大部分的土地利用分区为认识和了解区域内人口、经济、资源、环境等要素提供了有力的科学工具,并且能够合理确定区域内不同地区未来所能承载的空间功能,但是基本上以行政区为单元,缺乏以流域为对象的土地利用功能分区的总体构思. 对土地利用的管制,也是出于城市精明增长和城市边界控制而进行的,缺乏从流域特点出发,按照水环境保护和改善需求的管制研究.

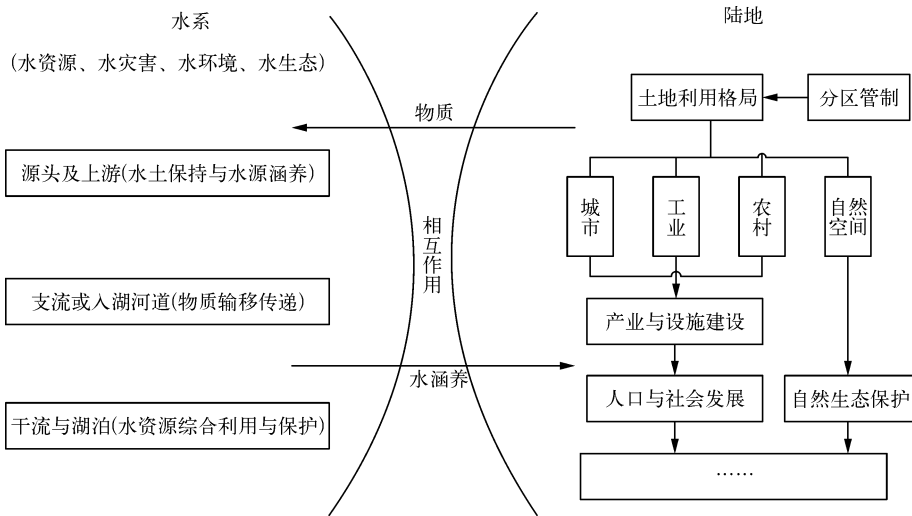


图1 流域水陆系统相互作用机制

Fig. 1 Interaction mechanism between land and water systems of river basin

### 1 流域土地利用分区管制的重点

流域综合管理,建立在区域可持续发展的基础上,面临着从综合开发向开发与环境保护双重目标转变. 流域开发目标也从防治洪涝灾害、发展航运及灌溉水利工程的单一管理转向水资源综合利用、生态环境及灾害综合整治以及经济社会统筹发展,目标更多元化. 因此针对流域自然、生态、经济和社会的复杂性,研究内容呈现出向微观更加细化和宏观更加综合的方向发展<sup>[1]</sup>. 以干流或湖泊为中心,围绕源头(上游水源涵养区)-汇水区域-支流(入湖河流)-干流以及流域陆域的生态系统变化和物质输移过程开展研究,对源头区针对水土保持和涵养,不仅仅研究土壤侵蚀、土地退化,而且包括土壤侵蚀产生的非点源污染物导致的环境

问题;从源头到支流(入湖河流)到河湖,单纯水文过程研究转为流域内包括水、沙、营养元素、重金属污染的物质输移过程研究;对河湖利用,也转向综合防洪、水资源保护、水环境治理和水生态保护等要求的综合研究,传统的经济和区域发展规划转向从保护和优化人类赖以生存发展的流域生态环境和生态资源出发,对江河湖海上中下游的生态系统和社会经济结构进行科学合理、动态协调的整体规划、布局和建设。其中,土地利用分区管制是进行经济社会空间结构规划的重要基础。该方面研究需要在流域复合生态系统中关注河流(湖泊)-流域的相互作用关系(图1),依照地理区域的自然属性和自然生态规律以及“道法自然”的原则,以江河湖海区域为生态经济区域单元来展开,更加寻求对功能导向具有决定影响的分区要素及其逻辑机理,借鉴区域土地利用空间管制方法,完善土地利用分区指标体系及其管制内容。

流域土地利用分区,首先确定分区的评价单元,需要根据水系格局特征以及河湖周边区域汇水关系,划分小流域空间,采用小流域和县市行政边界叠加,确定基本空间单元。其次,确定分区指标体系,在区域层面主要考虑土地利用的比较优势,包括经济发展竞租能力和生态保护的约束要求。代表着区位引致的土地开发的经济-生态成本和收益;从流域管理出发,需要综合防洪、水资源保护、水环境治理和水生态保护等要求,在已有生态-经济导向分区基础上,增加水源地管制、水资源丰度与调控、河湖水环境容量及承载力以及洪水风险的分区指标要素,从全流域和重点区域两个空间尺度进行水安全要求的流域土地利用功能管制分区。

将水资源、水环境以及水安全的分区纳入流域土地利用分区之中,可以把对河湖的水功能要求转化为流域土地开发的引导和约束。水资源供给分区主要是根据小流域内主要河湖水资源量及河湖功能判别水资源对于人类活动的保障作用;水环境风险分区根据主要河湖的功能、水体容纳量以及小流域地形地势和水系贯通状况,评价基本空间单元的环境风险,其中尤其要突出水源地的保护。水灾害风险分区主要是根据河湖功能及防洪规划、小流域地形地势以及城镇分布状况进行划分。可以看出这些分区的前提是需要做好河湖的水功能分区。河湖水功能区划是以河湖湿地、水源地、调水水源区等重要生态功能区的生态保护和恢复为核心,研究河湖开发整治对提高流域防洪除涝能力以及改善流域供水和水环境水生态等方面的作用,综合考虑流域水系的防洪、供水、生物多样性、航运、水产、旅游等生态系统服务功能,确定河湖水系布局、河湖在水系格局中的功能分类和定位,划分出河流开发与保护等级(图2)。

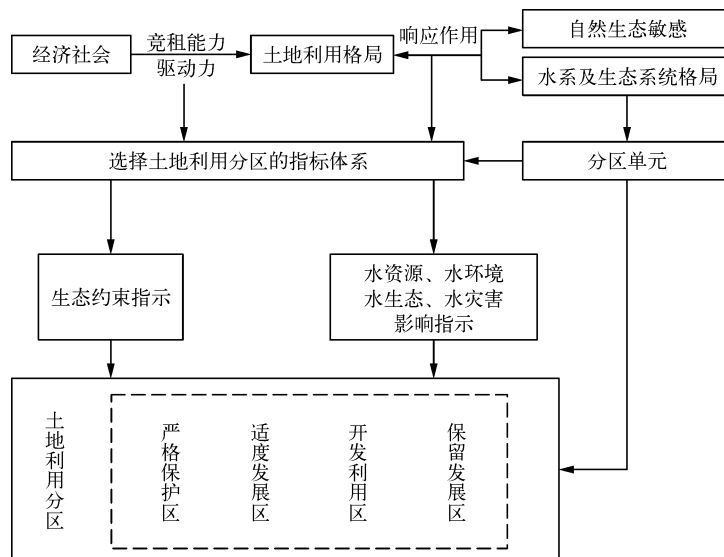


图2 流域土地利用分区的基本思路

Fig. 2 Basic ideas of land use zoning of river basin

综合各要素的分区内涵,尤其是考虑各空间单元的供水水源地管制、水量保障、水环境控制以及防洪要求,需要进一步研究和确定空间单元的土地利用功能分区。一般来说,流域土地利用可以考虑分为以下几种类型:第一,严格保护区:指对水资源、水环境、水安全以及生态保护具有重要意义的区域;第二,适度发展区,主要指能够满足农业、渔业和景观娱乐等适度用水需求,但对水环境和水安全有一定影响,需有限制进行开发利用的地区;第三,开发利用区:主要指能够满足工业化和城市化高强度发展等多种需水以及水环境容量占用要求的区域;第四,保留发展区:指目前开发利用程度不高的区域或者为今后开发利用和保护水资源而预留的区域。当然这样的分区类型可以根据研究内容的深入而不断调整和深化。

根据不同的功能分区,需要研究和制定一系列的资源配置标准和准入规则,成为空间规划或管制政策的内容加以实施。管制的核心在于把握流域不同空间区域的开发和保护地点、强度、类型和时机。在不该生长的地方坚决制止生长,在可以生长的地方控制开发的量和度,两个方面相辅相成。为此,需要通过明确建设用地边界,明确可开发地点和保护空间;明确建设用地开发强度,可以控制各个区域的开发规模;规定水环境容量,可以管理各个区域的开发容量和开发类型。此外,可依据具体状况,规定区域的人口准入量、水资源量、产业准入政策等。

不同类型的区域实施不同的管制措施。需要进一步研究不同的水土开发强度、水环境容量和人口及产业准入对土地利用分区的支撑作用,进而对河湖功能以及流域生态系统的响应作用。一般来说,严格保护区,实施最严格的管制政策,以自然保护为主体,最低的开发强度,基本为零的环境容量,只允许少量的与自然保护功能相关的建设开发;以调减人口为主,除原生态绿色农业和旅游外,基本上禁止开发型产业进入。适度发展区和保留发展区,实施较为严格的管制政策,以农业和乡村建设为主体,较低的开发强度和较少的环境容量,不鼓励人口过多、过快增长,允许以资源开发和无污染企业进入。开发利用区,以工业化和城市化的建设开发为主体,开发强度和容量给予相对较大,但也可以根据区域水安全分区制定更为细致的管制条目。

## 2 流域土地利用分区管制的技术方法

开展以上议题研究,必须遵循科学研究方法以及数据监测-模型模拟-调控预警等技术路线(图3)。

数据监测获取:采用文献回顾法、问卷调查法、经验参照法等确定流域开发格局健康与否的测度指标体系及标准;以指标数据获取为目标,采用遥感、台站、统计、调查等手段建立多时相、多元数据监测采集平台,通过GIS空间分析、数据挖掘、空间一致化、数据融合等方法,建立以探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)为框架的分析数据库;建立流域开发健康指数算法和分级阈值,测度不同时间断面河湖-流域开发格局的协调与健康程度<sup>[20]</sup>。

模型评估模拟:在测度流域开发格局的基础上,应用冷热点法、核密度法和空间相关分析法等判断流域开发过程中人口、建设用地、产业布局、污染排放等要素空间演化过程、方向、速度和强度等,应用ArcGIS空间统计分析提取要素迁移与扩张的一般规律和特征;建立单要素空间格局演化与流域开发健康程度变化的效果关联模拟模型,通过模型系统集成,建立流域开发经济、社会和生态效应的多要素综合评估模型系统;集成系统动力学、BP神经网络、元胞自动机等技术,重构流域开发过程模拟模型,模拟还原流域综合开发及各要素演化过程;依据对实证区域的定性认识并结合文献梳理,总结影响流域开发的主要驱动因素,并通过调研和访谈进一步完善驱动因素的指标体系,通过回归分析和主成分分析判别主要驱动因子及其贡献程度。

情景调控预警:从驱动机理确定的影响要素着手,从资源环境承载力和发展潜力优化和确定土地利用分区指标序列;考虑流域开发与管理以及相关自然指标的赋值要求,探索构建流域单元划分方法以及流域与人文单元转换方法;结合层次分析法与熵值法确定各要素影响权重,构建以综合评价模型为基础的单序列指数评价方法和以矩阵向量模型为基础的双序列指数综合法;以土地利用分区为基础,建立基于适宜性指数的建设用地、水环境容量、人口等要素多情景分配调控方法;通过采用修正DEA(数据包络分析)模型和基尼系数模型,建立效率目标函数和公平目标函数于一体的综合目标函数满足程度估计方法,遴选要素调控的优选方案;在此基础上,应用上述模拟模型和综合评估模型系统,对各要素空间配置格局及其影响效果



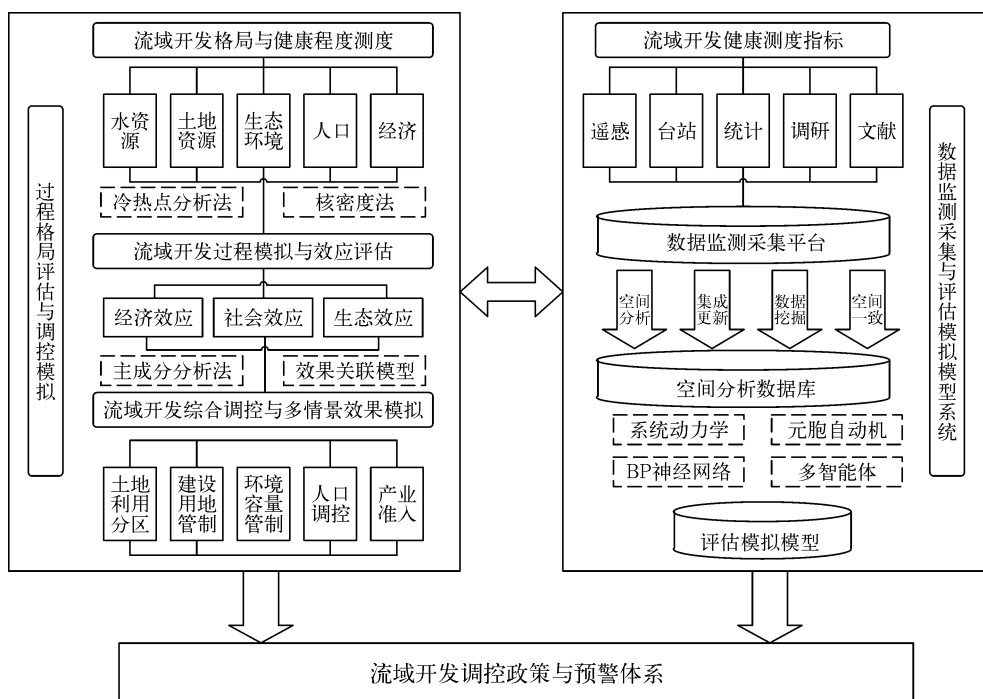


图3 流域土地利用空间管制技术路线

Fig. 3 Technology roadmap of space governance on land use of river basin

进行模拟,评估不同空间配置格局所产生的综合效应;提出不同配置格局下的调控政策及预警体系。

### 3 太湖流域土地利用分区与管制

2007年因太湖富营养化引起的无锡市饮用水危机受到了各级政府、企业和居民的广泛关注,江苏省实施的“铁腕治太”的政策以及《江苏省太湖水污染防治条例》、《江苏省人民代表大会常务委员会关于加强饮用水源地保护的決定》中大部分内容也是针对流域的综合管理而制定的管制规则,包括土地利用调整、产业结构调整、产业准入门槛、污水排放要求等。其中对土地利用和产业结构的调整,都需要建立在土地利用分区基础上。

按照流域土地利用分区的基本思路和目标要求,需要划分以小流域为核心的基本空间评价单元,并以此为基础解决指标选择与赋值、综合评价等技术问题,据此确定流域土地利用分区管制方案。

评价单元是基于SRTM DEM数据生成的集水区划定的,空间精度约为90 m分辨率。利用DEM数据,经过填洼、流向生成、流量分析等步骤的处理,划定太湖流域集水区。在此基础上,结合太湖流域水系分布格局进行人工调整,将太湖流域划分为128个小流域空间评价单元。

评价指标<sup>①</sup>主要由生态重要性、水灾害风险、水环境容量和水资源丰度四类要素构成。其中,生态重要性选择饮用水源地、清水通道维护区、水源涵养区(山体)、湿地和大型水面等对水源涵养、水质维护、水灾调节等具有重要生态功能的保护区分布来反映,通过各类保护区占所在流域单元的面积比例,计算各单元水生

① 重要生态功能区数据根据2007年太湖流域SPOT4遥感影像数据、1:25000地形图、DEM数据和《江苏省重要生态功能区规划》、江苏省、浙江省和上海市相关专项规划整理获取;洪涝灾害和台风风险根据太湖流域地图集以及江苏省、浙江省和上海市灾害防治规划综合确定;水环境容量评价中的地貌特征、通达性根据DEM数据和地形图获得,水质目标、使用功能根据江苏省、浙江省和上海市地表水环境功能区划数据整理,清水通道根据相关水利及生态功能区保护规划获得;水资源相对丰度参照相关水资源规划结合专家经验确定。

态重要性程度;水灾害风险主要选择洪涝灾害以及易引致太湖流域水灾害的台风风险综合评价;水环境容量主要通过流域自然本底容量特征因子反映,表征了无人为措施条件下各单元水环境纳污能力的大小,包括地貌特征、水质目标、使用功能、通达性、清水通道等;水资源丰度通过水网密度,即流域单元内水面面积占比表征,另一方面是各区域淡水资源相对丰度,总体上沿江地区水资源相对丰富,沿太湖地区次之,西南部山地区及东南部沿海地区总体上淡水资源较为缺乏(图4).对上述各指标进行综合加权,确定流域单元进行土地开发利用的资源环境承载能力.

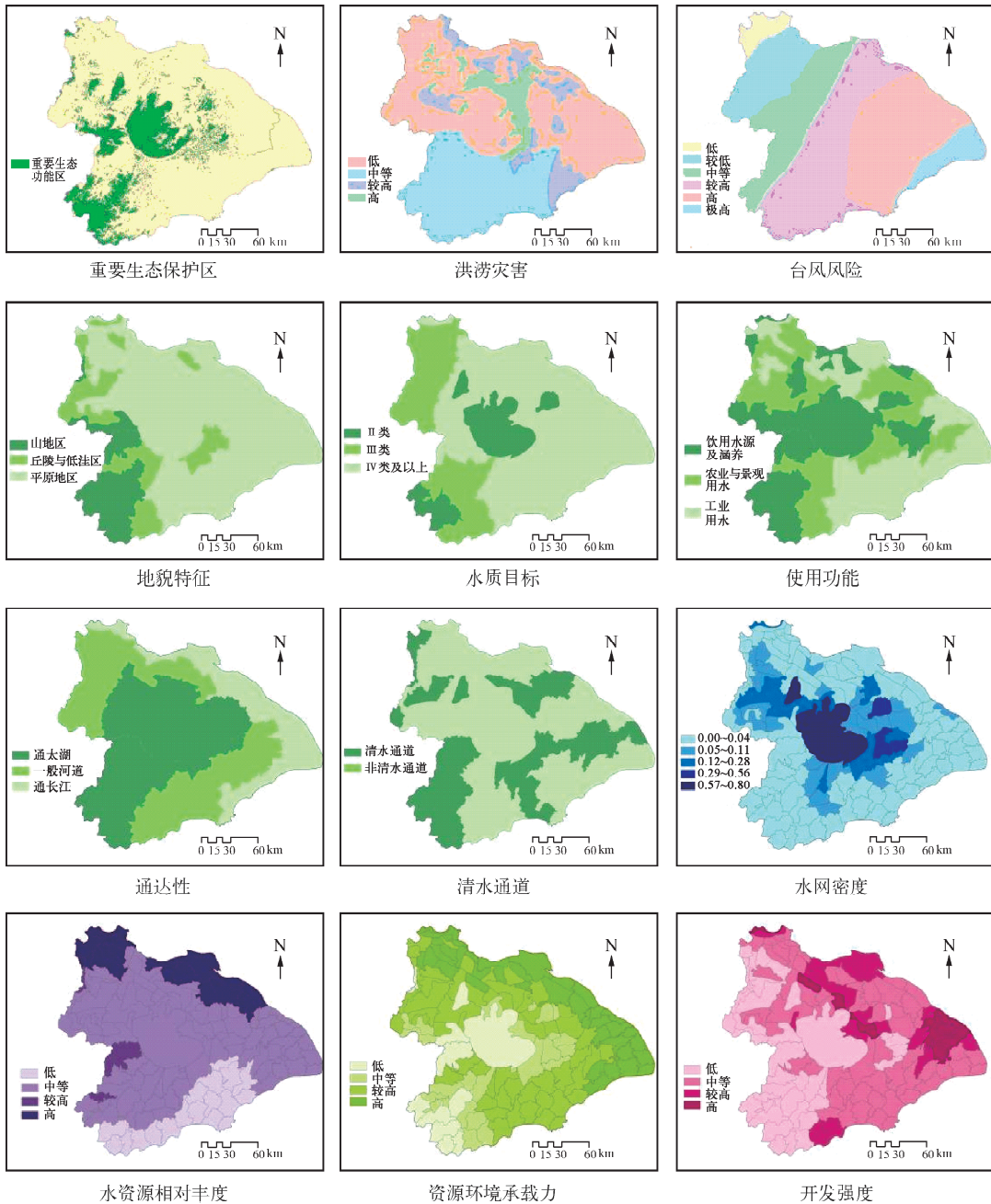


图4 流域土地利用分区指标及计算结果

Fig. 4 Indicators and results of land use zoning of river basin

流域土地利用分区除了考虑本底的资源环境承载能力,还需要兼顾现状开发利用程度,通过二者的综合矩阵分析,判断各流域单元所属的开发类型.严格保护区即上述各类重要生态功能保护区,主要分布在太湖及其上游的水源涵养区,不宜在该区内进行任何有损生态环境的建设活动,山区加大森林生态系统的保护和建设力度,增强生物群落的多样化和水源涵养能力,严格保护太湖等重要水源地,防止饮用水水源地及其汇水区域被污染.适度发展区是指资源环境承载力指数低的区域,这些区域主要分布在严格保护区周边,生态环境较为敏感,从维护流域生态系统结构和功能稳定性出发,应将这些区域作为严格保护区的缓冲区,严格控制开发规模和功能.开发利用区是指资源环境承载能力较强的区域,该类地区水环境容量较大,同时受生态环境约束较低,适宜进行适度规模的工业开发和城镇建设,但是仍需根据内部水环境功能和质量要求的细微差异,合理确定发展方向和管制规则.保留发展区是指具有一定资源环境承载能力,且现状开发程度较低的区域,该类地区主要分布在太湖流域西部,近期以发展环境友好型产业为主,控制开发规模和强度,远期根据需要可以适度扩大开发规模,作为流域土地开发利用的储备区(图5).

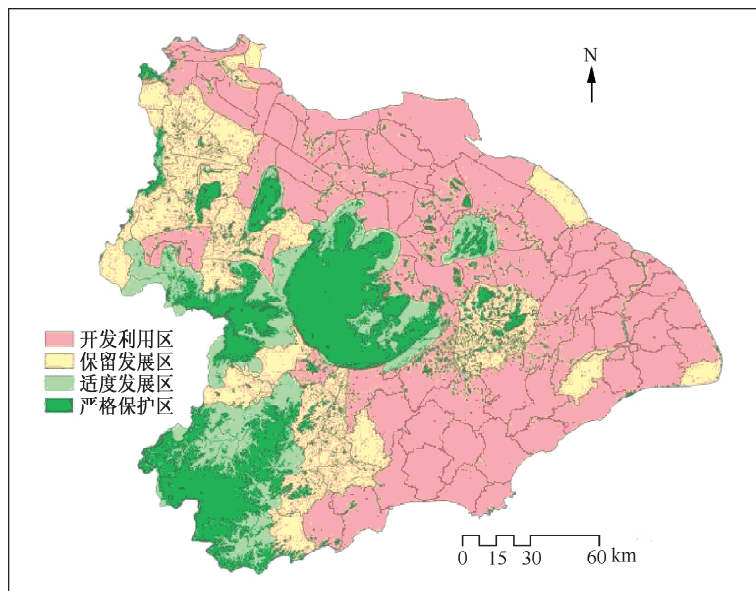


图5 太湖流域土地利用分区

Fig. 5 Land use zoning of Taihu Basin

#### 4 未来进一步研究的重点方向

从水生态、水资源、水灾害、水环境出发,探讨流域土地利用分区及管制要求,可以更有效地指导流域可持续开发和保护.需要在现有工作基础上,做好土地利用分区和管制工作,在河湖-流域相互作用过程中针对流域生态系统安全开展大量研究,尤其要加强以下几方面的工作:

1) 各类功能分区的指标体系及其控制因素确定:针对流域自然资源、生态环境和经济社会发展特点,围绕流域生态健康和经济社会可持续发展目标,选择影响土地利用分区的比较优势要素,确定其关键因子.

2) 应对区域功能分区的管制要素空间配置:根据不同类型区,确定建设用地开发强度、人口、水资源、可利用水环境容量以及产业准入的配置方法、标准等.

3) 土地利用格局变化对流域生态系统安全效应及其调控:预估不同管制准入规则下的土地利用格局的未来趋势,根据土地利用状况变化的增长态势和环境效应,建立土地利用格局变化对流域生态系统安全效应,继而对分区指标体系和管制方法进行调控.

## 5 参考文献

- [ 1 ] 杨桂山, 于秀波, 李恒鹏等. 流域综合管理导论. 北京: 科学出版社, 2004.
- [ 2 ] 王艳君, 吕宏军, 施雅凤等. 城市化流域的土地利用变化对水文过程的影响——以秦淮河流域为例. 自然资源学报, 2009, **24**(1): 30-36.
- [ 3 ] 姚允龙, 吕宪国, 王 蕾. 流域土地利用/覆被变化水文效应研究的方法评述. 湿地科学, 2009, **7**(1): 83-88.
- [ 4 ] 胡 建, 刘茂松, 周 文. 太湖流域水质状况与土地利用格局的相关性. 生态学杂志, 2011, **30**(6): 1190-1197.
- [ 5 ] 张殷俊, 陈 爽, 相景昌. 河流近域土地利用格局与水质相关性分析——以巢湖流域为例. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(9): 1054-1061.
- [ 6 ] 黄金良, 李青生, 洪华生等. 九龙江流域土地利用/景观格局——水质的初步关联分析. 环境科学, 2011, **32**(1): 64-72.
- [ 7 ] Hughes RM, Larsen DP. Ecoregion: An approach to surface water projection. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 1988, **60**: 486-493.
- [ 8 ] 阳平坚, 吴为中, 孟 伟等. 基于生态管理的流域水环境功能区划——以浑河流域为例. 环境科学学报, 2007, **27**(6): 944-952.
- [ 9 ] Bailey RG. Delineation of ecosystem regions. *Environment Manage*, 1983, **7**: 365-373.
- [ 10 ] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶等. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, **21**(1): 1-6.
- [ 11 ] 欧阳志云. 中国生态功能区划. 中国勘察设计, 2007, **3**: 70-75.
- [ 12 ] 周立三. 中国农业区划的理论与实践. 合肥: 中国科技大学出版社, 1993.
- [ 13 ] 杨树珍. 中国经济区划研究. 北京: 中国展望出版社, 1990.
- [ 14 ] 胡序威. 中国经济区类型与组织. 地理学报, 1993, **48**(3): 193-202.
- [ 15 ] 陈 雯, 孙 伟, 段学军等. 以生态-经济为导向的江苏省土地开发适宜性分区. 地理科学, 2007, **27**(3): 312-317.
- [ 16 ] Lindholm AC. Improving contract design and management for urban green-space maintenance through action research. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2008, **7**(2): 77-91.
- [ 17 ] Atkinson R. Domestication by cappuccino or a revenge on urban space? Control and empowerment in the management of public spaces. *Urban Studies*, 2002, **40**(9): 1829-1843.
- [ 18 ] Bencivenga VR, Smith BD. Unemployment, migration and growth. *Journal of Political Economics*, 1997, **105**(3): 582-608.
- [ 19 ] Blomquist W, Schlager E. Political pitfalls of integrated watershed management. *Society and Natural Resources*, 2005, **18**(2): 101-117.
- [ 20 ] 李恒鹏, 陈 雯, 刘晓玫. 流域综合管理方法与技术. 湖泊科学, 2004, **16**(1): 85-90.