面向可持续发展的南京市小流域分类

谭 露[1,2],杨逸辉[3],张 嫱[4],张 雪[4],刘 霞[1,2]
(1.南京林业大学 林学院,江苏 南京 210037;2.南京林业大学南方现代林业协同创新中心,江苏 南京 210037;
3.江苏省水利厅,江苏 南京 210029;4.江苏省水文水资源勘测局,江苏 南京 210005)

摘要:构建了面向可持续发展的小流域二级分类体系,并从自然条件、人居环境、经济发展3个维度筛选了14项分类指标,利用层次分析法、逐级判别法对南京市334条小流域进行分类。结果表明,南京市334条小流域涉及17个类型,基于生态安全的一级类中,生态中敏感型和生态低敏感性数量最多,分别占41.02%和40.72%;基于主导功能的二级类中景观休闲型和城镇宜居型较多,分别占28.44%和20.66%,其次为生态保育型、绿色发展型和美丽乡村型,分别占17.37%、15.87%和13.71%。研究结果为南京市及江苏省其他城市的小流域分类提供了理论依据和实用方法。

关键词:小流域分类;可持续发展;功能识别;南京市
中图分类号:TV138 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2024)08-0037-0006

Classification of small watersheds in Nanjing for sustainable development

TAN Lu[1,2], YANG Yihui[3], ZHANG Qiang[4], ZHANG Xue[4], LIU Xia[1]
(1. *College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing* 210037, *China*;
2. *Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing* 210037, *China*; 3. *Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing* 210029, *China*;
4. *Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing* 210005, *China*)

Abstract: A two-level classification system for small watersheds oriented towards sustainable development was constructed, and 14 classification indicators were selected from three dimensions: natural conditions, living environment, and economic development. The analytic hierarchy process and step-by-step judgment were used to classify 334 small watersheds in Nanjing City. The results showed that the 344 small watersheds in Nanjing were classified into 17 types. As for the first level classification, which were classified based on ecological security, the categories of low ecological sensitivity and median ecological sensitivity were the majority, accounting for 41.02% and 40.72% respectively. As for the second level classification, categories of landscape leisure and urban livable were the most, accounting for 28.44% and 20.66% respectively, followed by the categories of ecological conservation, green development and beautiful village, accounting for 17.37%, 15.87% and 13.71%. The results provided theoretical basis and useful methods for small watershed classification in Nanjing and other cities in Jiangsu province.

Key words: small watershed classification; sustainable development; function identification; Nanjing City

收稿日期: 2024-02-27
基金项目: 江苏水利科技项目(2021061)
作者简介: 谭露(1985—),女,讲师,博士,研究方向为地理信息技术与应用。E-mail:tanlu@njfu.edu.cn

小流域是完整、独立的水文单元，地质、地貌、气候、水文、土壤、植被等各种自然因素的差异使小流域各具特点，进而导致人口密度、风俗习惯及土地利用、产业结构的显著差异。对小流域进行类型划分，因地制宜实施分类指导是提升小流域综合治理成效，实现流域可持续发展的科学途径[1-2]。目前，有学者在不同地区开展了省、市、县不同尺度的小流域分类研究[3-7]，为小流域分类提供了坚实的理论基础和技术支持，但这些研究主要从自然资源条件、水土保持要求及水资源管理需求方面表征小流域特征，缺乏对小流域社会经济发展的综合考量。可持续发展的目标是持续获取流域生态效益、经济效益和社会效益，其实质是实现生态经济系统的可持续经营。因此，在小流域特征分析中须兼顾生态保护和经济社会发展的共同需求，以有效支撑小流域类型划分，实现可持续发展目标。

基于此，本文面向小流域可持续发展目标，立足于小流域的自然承载力，综合考虑社会经济发展差异，构建小流域分类体系，对南京市334条小流域进行类型划分，为实现小流域分类指导与规划，提高小流域综合治理水平提供科学依据。

1 研究区及数据源

1.1 研究区概况

南京市（116°21′~121°56′ E，30°45′~35°08′ N）位于江苏省西南部，下辖11个区，总面积6 587.04 km²。地形以低山、丘陵、岗地为主，占60.8%，平原、洼地及河流湖泊占39.2%。气候为北亚热带季风气候，多年平均降水量为1 090.4 mm。水土流失类型以水力侵蚀为主，局部存在风力侵蚀。

1.2 数据来源

本文以南京市334条小流域为基本单元，基于2021年全国水土流失动态监测成果，提取土地利用、土壤侵蚀、植被覆盖等小流域特征属性，并收集整理江苏省地质灾害防治十四五规划、生态空间管控区域规划（2020年）、县级及以上集中饮用水水源地、国家级风景名胜区、中国美丽休闲乡村、江苏省乡村旅游重点村、江苏省特色田园乡村等自然资源和经济社会的相关资料作为基础数据。

2 研究方法

2.1 分类指标筛选

首先，采用频度分析法筛选文献中应用频度较高的指标，并对各分类指标的涵义进行理论分析并分类；其次，选取符合研究区特点的分类指标，邀请专家进行开放式访谈，调整并完善分类指标。

2.2 层次分析法

采用层次分析法[8]构建目标层、准则层和方案层，准则层包含若干具体指标，由专家打分法确定权重。通过加权求和计算方案的目标得分，公式如下：

$$F_i = \sum_{i=1}^{n} \omega_j S_{ij} \tag{1}$$

式中：F_i为第i个方案的目标得分；n为准则层指标个数；ω_j为第j个指标的权重，S_{ij}为第i个方案的第j个指标评分。

2.3 逐级判别法

基于若干具体的判别条件，建立逐级判别模型[9]以实现对象分类。该模型以各级判别条件作为“滤网”构建组合型“筛子”，特征各异的分类对象序次通过“筛子”，不同的“滤网”根据分类对象不同的特征筛选分类类型，达到分类目的。

3 结果与分析

3.1 小流域分类体系与指标

3.1.2 小流域分类体系

以保障生态安全为目标划分小流域一级类，包括生态高敏感型、生态中敏感型和生态低敏感型3个类型，生态敏感性越高，生态系统稳定性越弱、承载力越低。二级分类以小流域经济社会主导功能为依据，分为6个类型：（1）产业集聚型，以工业建设为主导功能；（2）绿色发展型，以农业生产为主导功能；（3）城镇宜居型，以城镇发展为主导功能；（4）美丽乡村型，以乡村振兴为主导功能；（5）景观休闲型，以文化旅游为主导功能；（6）生态保育型，以保障区域生态安全为主导功能。具体见图1。

3.2.2 小流域分类指标

从自然条件、人居环境、经济发展3个维度确定14项分类指标（表1）。其中，土壤侵蚀、植被覆盖、土地利用面积等由全国水土流失动态监测成果计算得到，人口密度、居民点密度等由经济社会统计数据计算得到，地质灾害、产业发展条件、特色农业、山水旅游等通过查阅相关资料及实地调研获得。

3.2 小流域类型划分

3.2.1 基于生态安全的一级分类

经专家打分结合实地调研，小流域生态敏感性评价指标的评分标准及权重分配如表2所示。其中，地质灾害分级依据江苏省地质灾害易发分区进行；水源保护分级依据江苏省生态空间管控区进行；土

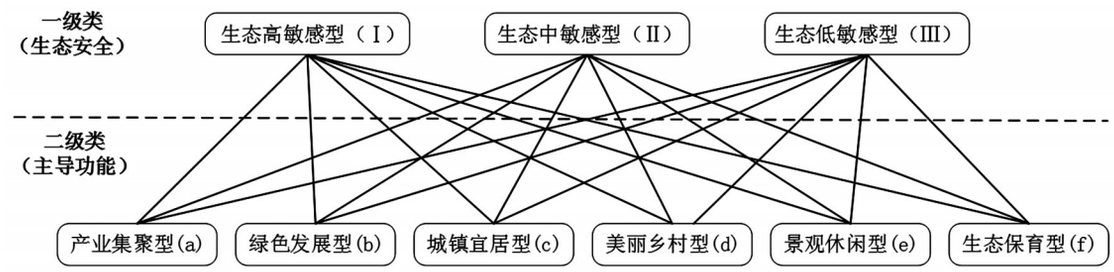

图1　面向可持续发展的小流域二级分类体系

表1　面向可持续发展的小流域分类指标

维度	指标	计算方式或获得方式
自然条件(I_1)	地质灾害(I_{11})	滑坡、泥石流等地质灾害易发区范围
	水源保护(I_{12})	饮用水水源保护区、清水通道水质维护区等范围
	土壤侵蚀(I_{13})	轻度及以上土壤侵蚀面积/小流域面积
	植被覆盖(I_{14})	园地、林地、草地平均植被覆盖度
	山水旅游资源(I_{15})	国家级风景名胜区名录、水利风景区名录等
人居环境(I_2)	人口密度(I_{21})	人口数量/小流域面积
	城镇化水平(I_{22})	城镇建设用地面积/小流域面积
	农村居民点密度(I_{23})	农村居民点个数/小流域面积
	农村环境(I_{24})	生态宜居美丽乡村名录、国家森林乡村名录等
	特色村庄(I_{25})	特色田园乡村名录、乡村旅游重点村镇名录、中国传统村落名录等
经济发展(I_3)	工业集群(I_{31})	产业园区的数量
	交通条件(I_{32})	机场、港口、车站等重要交通设施的数量
	农业生产条件(I_{33})	(耕地面积+园地面积)/小流域面积
	特色农业(I_{34})	全国“一村一品”示范村镇名录等

表2　生态敏感性指标权重与评分标准

定性指标				定量指标			
地质灾害(I_{11})		水源保护(I_{12})		土壤侵蚀(I_{13})		植被覆盖(I_{14})	
权重:0.28		权重:0.32		权重:0.21		权重:0.19	
分级区间	评分标准	分级区间	评分标准	分级区间	评分标准	分级区间	评分标准
高易发区	10	饮用水水源保护区	10	≥35%	10	<30%	10
				20%~35%	8	30%~45%	8
中易发区	6	清水通道水质维护区	6	10%~20%	6	45%~60%	6
				3%~10%	4	60%~75%	4
低易发区	2	重要水源涵养区	2	<3%	2	≥75%	2

壤侵蚀以小流域内轻度及以上土壤侵蚀面积占比来衡量;植被覆盖以小流域内园地、林地、草地平均植被覆盖度来衡量。

采用自然间断点法确定得分区间,划分小流域这一级类型(图2)。其中,生态低敏感型小流域136条,占40.72%,主要分布在平原区;生态中敏感型小流域137条,生态高敏感型小流域136条,分别占41.02%和18.26%,主要分布在滑坡、崩塌等地质灾

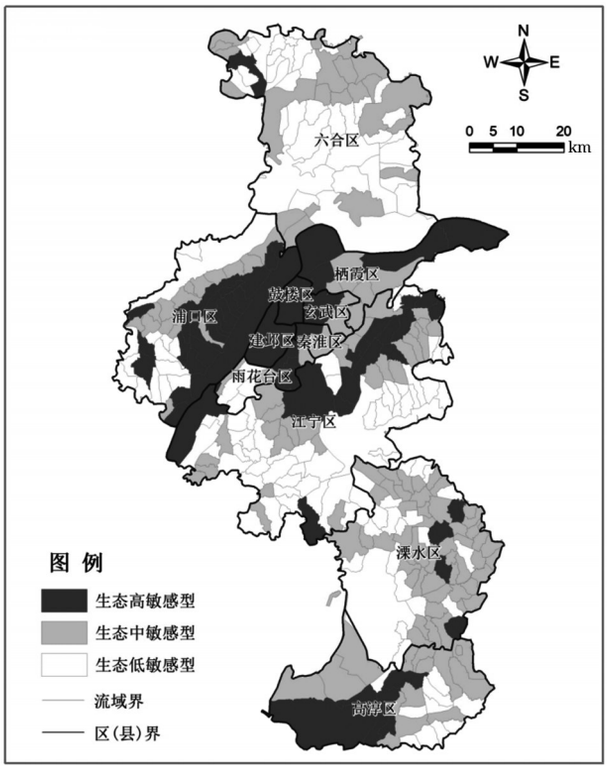

图2 基于生态安全的小流域一级类空间分布

害高发的丘陵地区以及长江沿岸。

3.2.2 基于主导功能的二级分类

根据主导功能定位,构建逐级判别模型识别小流域二级类型(图3),将小流域分为6个二级类(图4,表3)。其中,景观休闲型和城镇宜居型小流域数量较多,分别占28.44%和20.66%。景观休闲型包括涉及全国乡村旅游重点村的石塘小流域、牌坊小流域、新塘小流域等,以及涉及风景名胜区的金牛山小流域、沛桥小流域、方便小流域、胜利小流域等;城镇宜居型主要分布在主城区,包括南京市市区小流域、大厂区小流域、尧化小流域、燕子矶小流域、马群小流域等。生态保育型、绿色发展型、美丽乡村型主要分布在六合区、浦口区、江宁区、溧水区、高淳区。其中,生态保育型占17.37%,包括大方冲小流域、新金冲小流域、老山林场小流域、排驾口水库小流域等;绿色发展型占15.87%,包括荆山林场小流域、傅家边小流域、西塘小流域、八卦洲小流域等;美丽乡村型占13.71%,包括顾陇小流域、同进河小流域、东泉小流域等。产业集聚型小流域较

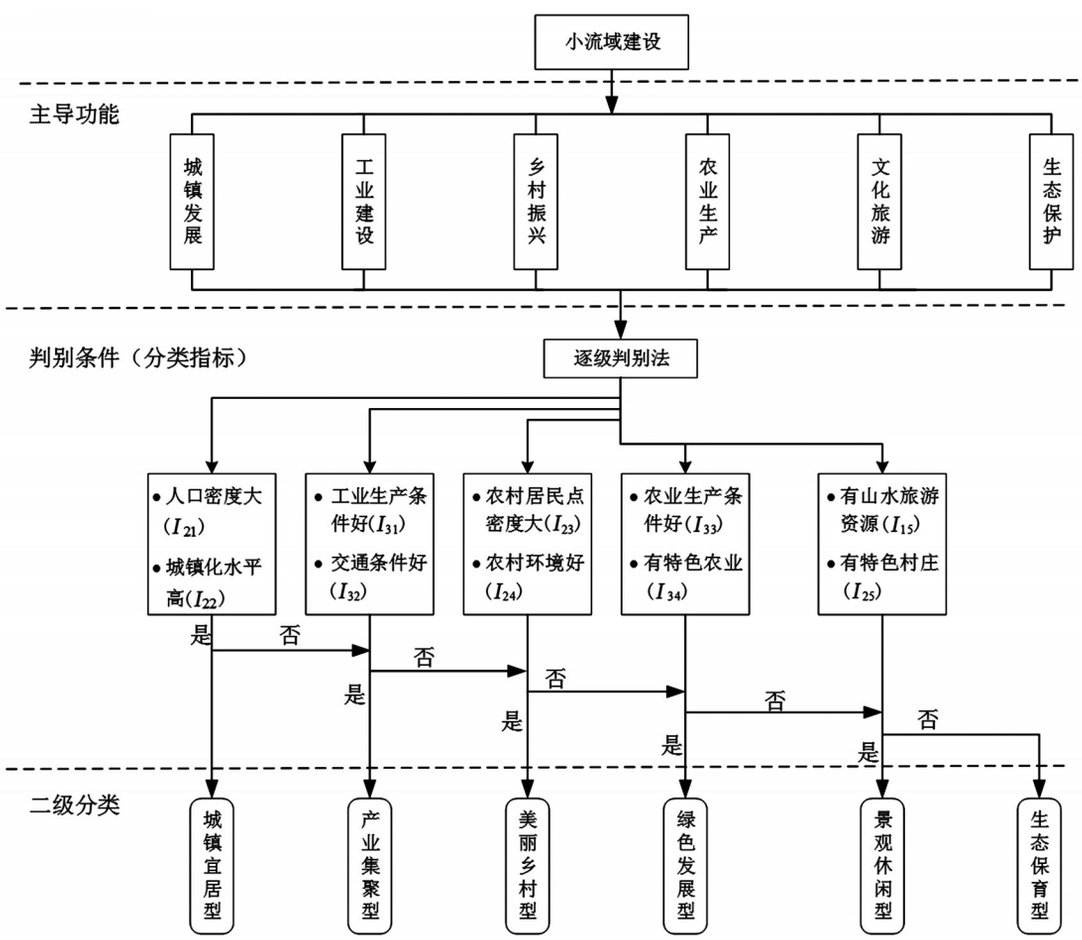

图3 基于主导功能的小流域二级分类流程

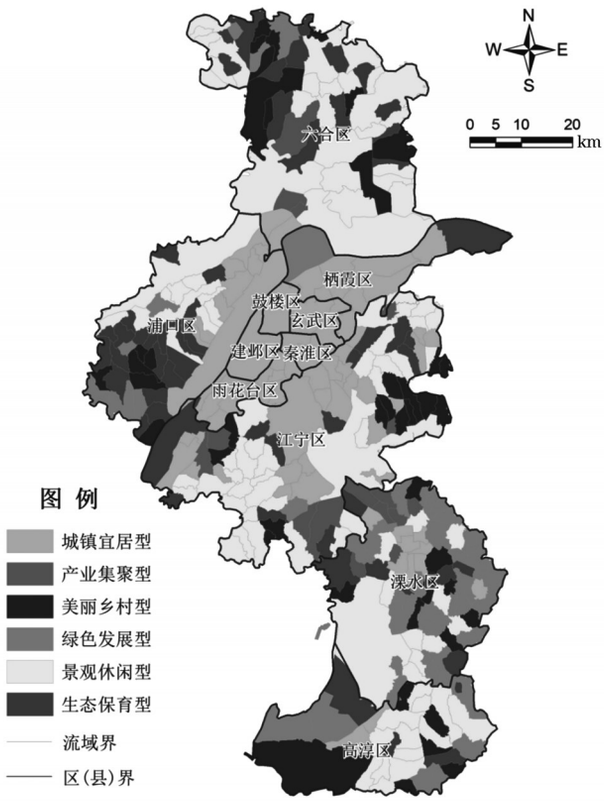

图4　基于主导功能的小流域二级类空间分布

少,占4.79%,包括水家湾小流域、驻架山小流域、藏军营小流域等。

3.3　小流域分类可持续发展建议

面向可持续发展的小流域综合分类统计如表3所示,334条小流域涉及17个类型。其中,Ⅱa生态中敏感产业集聚型和Ⅲa生态低敏感产业集聚型占4.8%,应统筹工业发展与生态保护,以污染防治、环境提升为重点;Ⅰb生态高敏感绿色发展型、Ⅱb生态中敏感绿色发展型、Ⅰc生态高敏感城镇宜居型、Ⅱc生态中敏感城镇宜居型、Ⅰd生态高敏感美丽乡村型、Ⅱd生态中敏感美丽乡村型占26.65%,需以生态保护为前提,统筹经济发展与生态安全;Ⅲb生态低敏感绿色发展型、Ⅲc生态低敏感城镇宜居型、Ⅲd生态低敏感美丽乡村型占23.06%,需以城市发展和乡村振兴为重点,大力发展绿色产业,积极推进美丽乡村建设;Ⅰe生态高敏感景观休闲型、Ⅱe生态中敏感景观休闲型占17.67%,主要分布在具有山水旅游资源优势但生态稳定性较弱的地区,以防洪减灾、保护原生态为重点;Ⅲe生态低敏感景观休闲型占10.48%,分布在生态稳定性较强的地区,以提升山水环境、挖掘民俗文化为重点。Ⅰf生态高敏感生态保育型、Ⅱf生态中敏感生态保育型、Ⅲf生态低敏感生态保育型占17.36%,主要分布在地质灾害易发区、河湖密集地区,需统筹区域保护和流域治理,以区域安全、水土流失防治、生态系统保护为重点。

表3　面向可持续发展的小流域综合分类统计

	生态高敏感型(Ⅰ)		生态中敏感型(Ⅱ)		生态低敏感型(Ⅲ)	
	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%
产业集聚型(a)			8	2.40	8	2.40
绿色发展型(b)	1	0.30	27	8.08	25	7.49
城镇宜居型(c)	21	6.29	30	8.98	18	5.39
美丽乡村型(d)	3	0.90	7	2.10	34	10.18
景观休闲型(e)	20	5.99	39	11.68	35	10.48
生态保育型(f)	16	4.79	26	7.78	16	4.79

4　结　语

本文从自然条件、人居环境、经济发展3个维度确定了14项分类指标,建立了面向可持续发展的小流域建立二级分类体系。一级分类从生态安全角度出发,分为生态高敏感型、中敏感型和低敏感型;二级分类以小流域经济社会发展的主导功能为依据,分为产业集聚型、绿色发展型、城镇宜居型、美丽乡村型、景观休闲型和生态保育型。基于上述分类体系与指标,将南京市334条小流域分为17类。一级分类中,小流域数量占比从高到低分别为生态中敏感型、生态低敏感型和生态高敏感型;二级分类中,景观休闲型和城镇宜居型小流域较多,其次为生态保育型、绿色发展型和美丽乡村型小流域,产业集聚型小流域较少。研究结果为南京市及江苏省其

他城市的小流域分类提供了理论依据和实用方法，对于因地制宜地实施分类指导具有实践价值。

参考文献：

[1] 段文标，任翠梅，颜永强，等. 关于小流域可持续发展几个问题的思考[J]. 水土保持通报，2006(3)：132-135.

[2] 陈建卓，田素萍，葛茂杭，等. 河北省太行山区小流域综合治理模式研究[J]. 水土保持通报，1999(4)：41-44.

[3] 张利超，谢颂华. 基于功能的江西省生态清洁小流域分类研究[J]. 中国水土保持，2018(1)：7-10.

[4] 杨坤，李世荣. 北京市生态清洁小流域分类分级建设对策研究[J]. 中国水土保持，2012(2)：7-9.

[5] 柳金杰. 河北省邢台县不同型式生态清洁小流域建设成效分析[J]. 地下水，2015，37(5)：172-173.

[6] 汪发勇，蔡雄飞，张琦，等. 县级水土保持规划中生态清洁小流域分类研究——以贵州省修文县为例[J]. 湖北农业科学，2016，55(24)：6436-6441.

[7] 陈进红，王兆骞，张贤林. 浙江省红壤小流域生态系统的分类研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版)，1999，25(5)：479-483.

[8] 郭金玉，张忠彬，孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报，2008(5)：148-153.

[9] 李裕瑞，卜长利，曹智，等. 面向乡村振兴战略的村庄分类方法与实证研究[J]. 自然资源学报，2020，35(2)：243-256.

(上接第36页)

[10] 彭红霞，候清芹，曾敏，等. 雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析[J]. 环境科学，2021，42(11)：5375-5383.

[11] 郑涛，焦团理，胡波，等. 涡河流域中部地区地下水化学特征及其成因分析[J]. 环境科学，2021，42(2)：766-775.

[12] 王瑞久. 三线图解及其水文地质解释[J]. 工程勘察，1983(6)：6-11.

[13] 吴璇，宋一心，王金晓，等. 山东省柴汶河上游地区地下水化学特征分析[J]. 环境化学，2021，40(7)：2125-2134.

[14] 栾凤娇，周金龙，贾瑞亮，等. 新疆巴里坤-伊吾盆地地下水水化学特征及成因[J]. 环境化学，2017，36(2)：380-389.

[15] 王卓微，赵新锋，庞园，等. 流溪河流域地下水化学时空特征及源辨析[J]. 环境化学，2017，36(12)：2701-2710.

[16] 许畅畅，温瑶，成思，等. 长江口滨岸浅层地下水化学组分时空分布特征及影响机制[J]. 水资源保护，2022，38(3)：181-188.