

# 汀江上游流域生态水文分区研究

林蔚<sup>1,3</sup>, 徐建刚<sup>2</sup>, 杨帆<sup>3</sup>

(1. 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广州 510640; 2. 南京大学 建筑与城市规划学院, 南京 210093; 3. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023)

**摘要:**为反映生态水文系统的相似性和差异性规律,理解人类活动对生态水文系统的干扰规律,为流域资源开发、灾害预防和生态调控提供科学依据。以汀江上游流域为例,以地形、土壤、植被、水文、水资源与人口统计资料为基础,从生态现状、水文条件、生态背景和人类活动4个方面共14个指标统计各个子流域指标的特征值。采用主成分分析和聚类分析的方法将汀江上游流域内35个子流域划分为五类生态水文分区,并对每个分区的特征指标进行分析并命名,同时基于分区结果提出了相应的生态调控措施。分区结果能够揭示汀江上游流域生态水文特征空间上的差异性和相似性以及人类活动的影响,能够指导具有不同生态水文特征的区域进行因地制宜的发展。

**关键词:**生态水文分区; 主成分分析; 聚类分析; 生态调控; 汀江上游流域

中图分类号: P344

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0227-06

## Research on Eco-hydrological Regions of Upper Reaches of the Tingjiang River

LIN Wei<sup>1,3</sup>, XU Jiangang<sup>2</sup>, YANG Fan<sup>3</sup>

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** The similarities and differences of eco-hydrological system and the influences of anthropogenic activities on eco-hydrological system were investigated in order to provide scientific basis for resources development, disaster prevention and ecological regulation of basin. Taking the upper reach of the Tingjiang River (URTR) as the study area, based on the dataset of terrain, soils, vegetation, hydrology, water resources and population statistics, according to ecological status, hydrology condition, ecological background and anthropogenic activities of the URTR, we constructed the indicator system including 10 indexes of regionalization. Using principal component analysis and cluster analysis, 35 sub-catchments of the URTR were assigned to 5 eco-hydrological regions (EHR), the characteristics of each EHR were analyzed and corresponding ecological regulation measures were proposed. The similarities and differences as well as the influences of anthropogenic activities on the URTR were revealed by regionalization results, which could provide fundamental basis for sustainable development for different EHR.

**Keywords:** eco-hydrological regions; principal component analysis; cluster analysis; ecological regulation; upper reach of the Tingjiang River

作为反映自然条件及生态环境在空间上分异特征的空间单元,目前的水文区划<sup>[1]</sup>、生态分区<sup>[2]</sup>、水生生态分区<sup>[3-5]</sup>和水生态功能分区<sup>[6-7]</sup>等方面的研究已经比较成熟,在分区方法和指标体系上业已比较完善。但是针对流域尺度上生态系统和水文系统相互依赖和制约的特点,人类活动逐渐强化生态系统和水文系统的联系,如何协调二者日益成为流域管理的重要议

题<sup>[8]</sup>。而现有的分区体系对于生态水文复合系统分异规律的研究还比较欠缺<sup>[9]</sup>,需要一个合适的空间单元进行流域生态水文进行综合管理。因此,流域生态水文分区应运而生,生态水文分区是指在对流域生态水文系统客观认识的基础上,以流域自然生态水文系统的相似性和差异性规律以及人类活动对流域生态水文系统干扰的规律作为划分生态水文空间单元的

划分依据<sup>[8-9]</sup>。进行流(区)域的生态水文综合区划是区域资源开发、灾害预防的重要依据,是对流域生态水文系统进行科学调控的基础。

生态水文分区研究最早应用于河流层面<sup>[10]</sup>,尹民等基于河流生态环境需水量研究的需要将全国河流划分为一级到三级的分区,揭示不同分区单元的生态、水文特征<sup>[11]</sup>,但侧重反映河流的形态结构、水体的水力联系和水利工程对生境的影响<sup>[8]</sup>;杨爱民等根据我国不同流域或区域的生态水文特征,将全国划分为 3 个生态水文大区 and 36 个生态水文区<sup>[9]</sup>,该研究可以较全面地反映生态和水文系统的空间特征,但用于指定流域内具体的管理目标时尺度偏大<sup>[8]</sup>。蔡燕等以黄河流域行政县为基本单元划分生态水文分区,并依据分区的生态重要性识别需要优先保护的分区<sup>[8]</sup>;尹晔对长江上游的大渡河流域、云南省分别进行了生态水文区的划分<sup>[12]</sup>;张璐等根据南水北调受水区 89 个县(市、区)生态水文特征进行了相应区划<sup>[13]</sup>;王韶伟等以福建省泉州市为例进行了生态水文区划研究<sup>[14]</sup>。综上所述,已有的生态水文分区研究主要侧重于大流域或省市尺度,缺少对我国大量山区范围内的中小河流开展类似分析,尤其缺少生态水文分区结果为山区流域中的城市与区域发展提供生态调控策略的应用。

分区指标是生态水文区划的基础,指标确定的是否合理,对于后续的分区工作有决定性的影响。一方面为准确揭示流域空间特征,指标应尽量全面。分区指标有影响因素和现状特征两种,前者包括影响背景的指标(如气候、地势等)和影响现状的指标(人类活动等),现状特征包括生态现状和水文现状<sup>[8]</sup>。已有的大型河流流域尺度生态水文分区指标主要包含气候、地形、水文、植被和人类经济活动等方面<sup>[9]</sup>。另一方面应立足于研究目的,指标需要着重反映研究区域的主要问题<sup>[8]</sup>。选择指标后,针对仍然存在涉及因素过多,资料收取不易的问题,需要降维的方法来对过多的指标进行简化,遗传算法、多元统计等方法的大量研究为指标筛选提供了良好的基础;主成分分析、系统聚类分析、模糊聚类分析等方法为生态水文区划提供了有效的方法<sup>[12]</sup>。

长汀县是福建省水土流失历史最久、面积最大、程度最严重的区域,2000 年以后开展的新一轮大规模水土流失治理初见成效,但治理任务还相当艰巨,应继续加大自然生态修复的力度<sup>[15]</sup>。作为生态治理保育的重点,汀江上游流域属于低山轻度水土流失区,但是由于土壤多由风化发育而成,一旦植被遭到破坏,极易造成严重的水土流失。该区以水源涵养林

和商品用材林为主,维护着区域森林生态系统的水源涵养和调节功能,对全县水资源供给和水文状况的改善有着重要的意义。本研究以长汀古城区上游的汀江流域为研究区域,通过 GIS 平台以子流域为划分单元,利用主成分分析及聚类分析方法,对汀江上游流域进行生态水文分区划分。根据生态水文分区结果为流域水生态环境保护、恢复和改善提供指导。

## 1 研究区概况

汀江上游流域(长汀古城上游)地处东经 116°15′—116°33′,北纬 25°45′—26°5′,位于福建省长汀县北部,覆盖大同镇、铁长乡、庵杰乡与新桥镇等行政区,东北部为宁化县治平畬族乡,西北部与江西省接壤。研究区面积为 472 km<sup>2</sup>,高程范围为 297~1 350 m,坡降为 5‰,主要支流包括七里河、郑坊河和铁长河。汀江上游流域多年平均降雨量超过 1 700 mm,其中 4—9 月是主要的降雨季节,约占全年降雨量的 70%。由于气候和地形等因素的影响,研究区极易受到锋面雨和台风雨的影响,最大日降雨量可达 200~400 mm,位于研究区下游的国家历史文化名城长汀古城已遭遇若干次流域性特大洪水,给当地的社会经济造成了毁灭性打击,文化遗产和生态建设项目损失巨大。

流域内主要的下垫面类型是林地,占总面积比例近 90%,其他的下垫面类型主要是建设用地(3.33%)和耕地(6.66%)。林地类型包括阔叶林、针叶林、毛竹和灌木,具体比例见表 1。研究区内的林地虽多为水源涵养林,但受人类活动的影响,现有林分以针叶林和毛竹为主,针叶林主要分布在海拔 400~800 m 范围内(随海拔高度上升而减少),毛竹则分布于 500~1 000 m 的海拔区间(随海拔高度上升而增多);幼、中林比重大,天然阔叶林、混交林比重小,水源涵养能力较差。汀江上游流域内主要的土壤类型包括红壤、黄壤和水稻土,其他土壤类型包括潮土、紫色土和石灰土,具体组成比例见表 2。

表 1 汀江上游流域林地类型组成

林地类型	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
灌木	18.39	3.9
针叶林	209.08	44.4
阔叶林	28.65	6.09
毛竹	164.06	34.84

## 2 数据与方法

### 2.1 基础数据及来源

研究所需的基础数据包括数字高程模型、遥感影

像、土地利用现状图、土壤类型图、植被统计资料以及水文水资源资料和人口统计数据。数字高程模型基于 1 : 50 000 数字地形图生成;遥感影像选择 2013 年 Landsat 8 遥感影像,用于研究区植被覆盖度的提取;林地类型分布图利用 2012 年福建省森林资源二类调查数据结合 2015 年福建省林地变更调查结果得到,根据《国家森林资源连续清查技术规定》将林班资料进行归纳整理;研究区土壤类型分布图通过长汀县土壤资源调查图数字化得到。人口数据来自于长汀县第六次人口普查,水文水资源资料均来源于 2013 年《长汀县水资源综合规划》。

表 2 汀江上游流域土壤类型组成

土壤类型	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
红壤	162.57	34.44
黄壤	199.92	42.36
水稻土	74.3	15.74
潮土	31.87	6.75
石灰土	3.18	0.67
紫色土	0.91	0.19

2.2 生态水文分区区划方法

为更好地认识流域生态水文特征及空间分布规律,为流域可持续发展提供必需的决策,根据汀江上游流域的地形、土壤、植被、水文、水资源与人口资料,采用主成分分析和聚类分析的方法将子流域划分为不同的生态水文分区。具体步骤为:

- (1) 将汀江上游流域划分为 35 个子流域,子流域面积 7~23 km<sup>2</sup>,平均面积为 13.5 km<sup>2</sup>。
- (2) 以汀江上游流域内的 35 个子流域作为生态水文分区的划分单元,选取能够反映流域生态系统和水文系统二者相互影响机制以及人类活动干扰规律的指标,统计各个子流域指标的特征值。
- (3) 根据各子流域生态水文系统的相似性和差异性规律,利用主成分分析和聚类分析,对所有子流域进行分组,得到生态水文分区结果。

2.3 生态水文分区指标选择

汀江上游流域生态水文分区应遵循以下两个原则:(1) 生态系统和水文系统的整体性原则。二者不仅在地理位置上重叠,而且在结构和功能上不可分割。两种系统具有天然的联系,相互依存、相互制约,人类活动使二者的联系更加突出<sup>[8]</sup>。(2) 生态水文系统的等级性原则。与生态系统分区的等级性原则不同<sup>[2]</sup>,该原则主要体现在生态系统重要性大小、水文系统水量丰枯和人类影响的强弱等<sup>[8]</sup>。

生态水文分区涉及到生态系统和水文系统,在指标选择时还需要考虑到现状指标和影响因素指标。根据汀江上游流域生态区位的重要性,主要的下垫面

类型为林地,水资源量比较充沛但容易遭受洪涝灾害影响的特点,在选择指标时要突出重要的生态系统,造成洪涝灾害或水土流失的原因及问题的严重程度等。本研究所选的生态水文分区指标包含生态现状、水文特征、生态背景和人类活动 4 类指标,每类指标特征值获取方法及数据来源见表 3。

(1) 生态现状。选择林地类型组成、植被覆盖度和土壤可侵蚀性三个指标。林地类型组成能够直接说明流域的生态现状,原生阔叶林可有效增加土壤入渗、减少径流量与泥沙量,生态重要性最高,而次生的针叶林和毛竹生态价值和水文效应较差。植被覆盖度表明森林的生长状态,一定程度上能够表征生态功能和涵养水源能力。土壤可侵蚀性(K 值)是一项评价土壤被降雨侵蚀力分离、冲蚀和搬运难易程度的指标<sup>[16]</sup>。K 值越大,在相同条件下,土壤受侵蚀的潜在危险就越大,反之越小<sup>[17]</sup>。

(2) 水文条件。水文条件既是影响汀江上游流域生态系统的因素,也是造成洪涝灾害的直接原因。降雨量是直接的径流来源,蒸发是径流形成过程中的主要损失,由于汀江上游流域内只有一个水文站对蒸发量进行长期观测,因此选择年平均降雨量和年平均径流深度反映研究区的水文条件。根据福建省水文图集多年平均径流深等值线图查得长汀县年平均径流深为 900~1 100 mm,年平均降雨量同样来源于福建省多年平均降水量等值线图。

(3) 生态背景。生态系统主要由气候、地形、植被、土壤等因素决定。由于研究区内的气候变化较小,植被和土壤因素在生态现状中已有考虑,因此选择受人类活动影响较少的地形作为影响因素指标。

(4) 人类活动。人类对水资源的开发强度是生态水文系统空间差异的一个重要原因,由于人类过度开发导致生产和生活用水量大幅上升,从而造成生态系统可用水量减少。选择人口密度、人均生产用水和生活用水作为衡量开发强度的指标。同时选择建设用地比例和耕地比例作为反映人为作用影响的指标。

3 结果与分析

3.1 生态水文分区划分

采用主成分分析与 k-means 聚类分析方法,对汀江上游流域进行生态水文分区划分。为剔除原始因子间的相关性,得到不包含重合信息的新变量,将提取出的汀江上游流域的地形、土壤、植被、水文水资源与人口指标经过标准差标准化处理后,在 SPSS 平台上进行主成分分析。抽取出特征值大于 1 的 3 个主成分来解释所有的原始变量,为使主成分便于解释各

原始变量,采用最大方差法实现正交旋转。由主成分分析结果(表 4)可见,第一主成了解释了人口密度、人均生产用水、毛竹比例、针叶林比例和建设用地比例五个变量,第二主成了解释了覆盖度、平均坡度、土壤可侵蚀性三个变量,第三主成了解释了径流深度、降雨量、两个变量。在主成分分析结果的基础上,针对 35 个子流域分别计算抽取出的三个主成分的得分,并根据各子流域各主成分的得分在 SPSS 平台上进行 k-means 聚类

分析。在聚类分析中以类中心点不再发生变化、或变化小于给定阈值作为收敛条件,由此得到每个子流域的聚类划分结果。经过 16 次迭代,聚类中心不再发生变化而达到收敛条件,通过上述聚类分析,根据各子流域的主成分得分,将 35 个子流域划分为五类生态水文分区,将聚类划分结果载入 ArcGIS 中生成生态水文分区分布图(图 1),并统计各生态水文分区的各项指标的均值(表 5)。

表 3 不同特征值获取方法及数据来源

子流域特征值	获取方法	数据来源
植被状况—林地类型(阔叶林、针叶林、毛竹、灌木)所占比例	GIS 叠置分析+统计分析	林地类型分布图
植被状况—覆盖度	波段计算+特征值统计	30 m 分辨率 Landsat 8 遥感影像
土壤可侵蚀性	已有研究 <sup>[18]</sup>	《长汀县土壤志》
年平均降雨量	GIS 插值分析	《长汀县水资源综合规划》
年平均径流深度	GIS 插值分析	《长汀县水资源综合规划》
地形—平均坡度	GIS 地表分析	25 m 分辨率数字高程模型
地形—最大高程差	GIS 地表分析+统计分析	25 m 分辨率数字高程模型
人口密度	GIS 统计分析	《长汀县第六次人口普查》
人均生产用水	GIS 统计分析	《长汀县水资源综合规划》
人均生活用水	GIS 统计分析	《长汀县水资源综合规划》
建设用地比例、耕地比例	GIS 统计分析	土地利用现状图

表 4 主成分载荷矩阵

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
覆盖度( $X_1$ )	0.295	0.834	-0.198
平均坡度( $X_2$ )	0.344	0.725	0.028
高程差( $X_3$ )	0.57	0.556	0.156
土壤可侵蚀性( $X_4$ )	0.215	-0.89	0.069
径流深度( $X_5$ )	0.047	-0.181	0.935
降雨量( $X_6$ )	0.039	0.02	0.94
人口密度( $X_7$ )	-0.751	-0.265	0.246
人均生活用水( $X_8$ )	0.386	0.361	0.416
人均生产用水( $X_9$ )	0.747	-0.064	0.254
阔叶林比例( $X_{10}$ )	0.482	0.303	0.342
毛竹比例( $X_{11}$ )	0.745	0.449	-0.294
针叶林比例( $X_{12}$ )	-0.744	-0.475	0.102
耕地比例( $X_{13}$ )	-0.342	-0.482	0.544
建设用地比例( $X_{14}$ )	-0.862	0.032	-0.094
方差/%	40.145	20.121	11.212
特征根	5.62	2.82	1.57

3.2 生态水文分区特征分析

分区一主要分布在七里河下游和郑坊河下游流域。该分区行政区划主要为大同镇,人口密度为五类分区之首。该分区人均生活用水和生产用水量为最低值。该分区有着最低的毛竹比例(3.3%)和最高的针叶林比例(73.64%),植被覆盖度属于中值。土壤可侵蚀性和最大高程差均为五类分区中的最低值。分区二主要包括铁长河中上游和郑坊河上游,在行政区划上包括铁长乡和庵杰乡西部区域及大同镇部分区域。由于铁长乡和庵杰乡是汀江上游流域主要的毛竹产区,林地结

构中毛竹超过 45%,该区域以毛竹的加工制造业为主,人口密度最小,人均生产用水量较大。地形方面,该分区的平均坡度和最大高程差均为五类分区中的最大值。分区二有着次高的平均径流深度和最高的降雨量,说明该分区位于汀江上游流域的多雨区。分区三包括大部分七里河流域。该分区的平均径流深和降雨量为五类分区中最低。分区三有着五类分区中最高的毛竹比例,同时植被覆盖度也是最高(约 70%),土壤可蚀性在五类分区中较小,说明良好的植被结构能够有效地降低土壤受侵蚀的风险(图 1,表 5)。

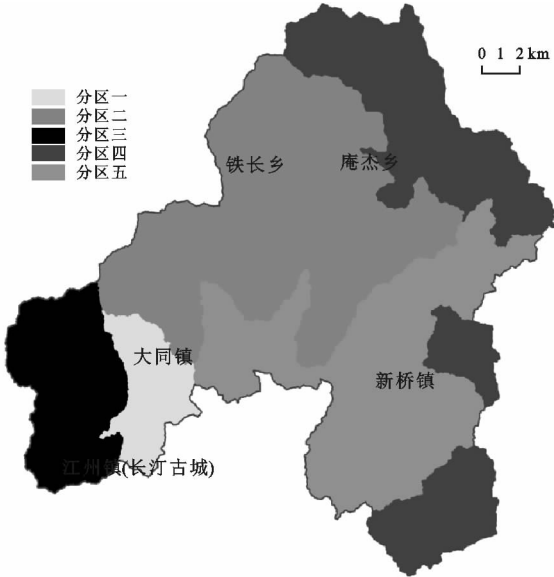


图 1 汀江上游流域生态水文分区

表 5 生态水文分区各项指标的平均特征值

指标	生态水文分区				
	一	二	三	四	五
覆盖度( $X_1$ )/%	63.38	68.38	69.97	60.55	53.84
平均坡度( $X_2$ )/(°)	20.61	23.26	21.38	20.39	18.28
高程差( $X_3$ )/m	447.67	767.10	610.00	625.63	518.2
土壤可侵蚀性( $X_4$ )/ ( $t \cdot hm^2 \cdot hm^{-2} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ )	0.20	0.22	0.21	0.27	0.27
径流深度( $X_5$ )/mm	988.65	1022.31	901.97	979.20	1029.76
降雨量( $X_6$ )/mm	1698.73	1727.13	1608.43	1673.89	1716.43
人口密度( $X_7$ )/(pop $km^{-2}$ )	272.35	52.21	58.29	76.10	181.3
人均生活用水( $X_8$ )/ $m^3$	41.01	110.79	41.01	64.31	63.96
人均生产用水( $X_9$ )/ $m^3$	421.25	712.27	421.25	820.85	537.95
阔叶林比例( $X_{10}$ )/%	3.46	9.60	2.11	5.83	4.49
毛竹比例( $X_{11}$ )/%	3.30	45.79	49.16	45.95	7.36
针叶林比例( $X_{12}$ )/%	73.64	31.17	38.86	38.05	66.22
耕地比例( $X_{13}$ )/%	4.48	5.41	3.46	4.30	12.75
建设用地比例( $X_{14}$ )/%	6.97	1.87	5.38	1.13	3.96

此外,该分区人口密度、人均生产、生活用水量均比较低,说明该分区人类开发活动的强度较低。分区四行政区划上主要包括庵杰乡以东和新桥镇的东部、南部。该分区地处汀江干流上游区域。该区域的土壤可侵蚀性为五类分区之首,植被覆盖度较低。该分区的建设用地比例为五类分区中的最低值,毛竹与针叶林比例均比较大,人均生产用水量最高。分区五地处铁长河下游和汀江干流部分区域,行政区划主要包括大同镇东部和新桥镇西部。由于地处汀州镇(长汀古城)的外围,因此人口密度较大。分区五有着最高的平均径流深度和次高的降雨量,说明该分区位于汀江上游流域的多雨区。另一方面,该分区的林地比例是五类分区中最小的(78%),针叶林比重超过 66%,植被覆盖度也是最低值(54%),表明分区五的植被结构较差,同时该分区土壤可侵蚀性很大(0.27)。

表 6 汀江上游流域生态水文分区指标特征

分区	地理位置	水文条件	生态现状	开发程度
一	七里河和郑坊河下游	平水	中植被覆盖低土壤侵蚀	低
二	铁长河和郑坊河上游	多水	高植被覆盖低土壤侵蚀	高
三	七里河流域	少水	高植被覆盖低土壤侵蚀	低
四	汀江干流上游	平水	低植被覆盖高土壤侵蚀	高
五	汀江干流下游	多水	低植被覆盖高土壤侵蚀	高

根据各个分区的生态水文特征,采用具体地理位置+水文条件+生态现状+开发程度对生态水文分区进行命名,并提出相应的生态调控策略:分区五为汀江干流下游多水+低植被覆盖高土壤侵蚀+高开发强度区;分区四为汀江干流上游平水+低植被覆盖高土壤侵蚀+高开发强度区;分区三为七里河少水+高植被覆盖低土壤侵蚀+低开发强度区;分区二为铁

长河和郑坊河上游多水+高植被覆盖低土壤侵蚀+高开发强度区;分区一为七里河和郑坊河下游流域平水+中植被覆盖低土壤侵蚀+低开发强度区。

3.3 基于分区结果的生态调控策略

植被破坏是导致水土流失加剧的主要原因,同样也可能造成洪涝灾害风险提高。针对汀江上游流域的下垫面特征和分区结果,保护并进一步发挥森林的生态价值和水文效应是流域层面重要的生态调控措施,有助于流域生态系统的高效与优化。通过流域层面森林类型的逐步改造,发挥森林—土壤结构在一定降雨强度下对洪水的削减作用,不仅可以保持汀江上游流域生态系统的稳定,还可以减小流域内城市与区域遭受洪涝灾害的冲击。

汀江上游流域的林地由于长期受到人为影响,原有的基带性植被已大量破坏,林分质量较差,出现了严重的水土流失问题。近 20 a 来政府高度重视汀江上游流域的生态环境建设,持续进行有规模的造林并取得了一定的成果,但是补种的多为针叶林,分区一、五的针叶林比例分别达到 66%和 73%。由于次生的针叶林群落结构不稳定,水源涵养能力与天然阔叶林相差较大,对应的生态价值和防洪效应均较差<sup>[19]</sup>。故有必要通过增加阔叶林的比例逐步改善林分结构,改善林地蓄水和保水能力,降低土壤受侵蚀的风险。分区五针叶林比例大,植被覆盖度也是五类分区中最低,作为汀州城区外围的屏障区,由于人口密度较高且开发强度大,在未来应该注意开发建设与生态调控相协调,大力推进林分改造的工作,将针叶林逐步改造为阔叶林或针叶阔叶混交林。

毛竹是研究区主要的经济作物,分区二、三、四的毛竹比例均超过 45%,以毛竹加工制造业为主的经济在带来一定经济效益的同时也提高了生产用水量,甚至可能会给下游地区带来水污染的问题。尤其是分区二和分区四位于汀江干、支流的上游,应该注意避免对毛竹加工制造业的依赖,减小对下游流域的影响。同时需要注意的是,毛竹为单一林分会造成林地多样性急剧下降、生态退化等负面效应<sup>[20]</sup>。毛竹与阔叶林混交具备生态和经济的双重优势,因此可考虑将原有的毛竹纯林逐步改造为毛竹阔叶混交林,发挥混交林涵养水源的优势,提升汀江上游流域林地的生态价值。分区二虽然同时拥有五类分区中最高的阔叶林比例(9.6%),但由于较高的毛竹比例,仍建议将大量的毛竹进行改造。

五类分区中,分区五的土壤可蚀性最低,主要受益于相对较好的植被结构和最小的平均坡度。分区三的阔叶林比例在五类分区中最小,但植被覆盖度和

林地比例均是五类分区的最高值,在土壤可蚀性、水文条件和开发强度均较低的背景下,建议通过提高阔叶林的比例增强生态价值和防洪效应。汀江上游流域虽然属于长汀县内水土流失轻度地区,但由于其生态区位重要性,除了林分改造,还需要其他辅助的水土保持措施来降低土壤遭受侵蚀的风险。分区一和四的土壤受侵蚀风险最高,主要受到植被结构的影响,应该在该分区实施生物措施和工程措施综合的生态调控策略<sup>[21]</sup>,降低土壤受侵蚀的风险。

## 4 结论

通过分析汀江上游流域生态水文系统的相似性和差异性规律,生态系统和水文系统二者之间相互影响机制以及人类活动干扰规律的指标,从生态现状、水文条件、生态背景和人类活动4个方面统计各个子流域指标的特征值;将以上具有一定相关关系的指标进行主成分分析得到3个相互独立且不含重叠信息的主成分,利用k-means聚类分析方法将汀江上游流域内35个子流域划分为五类生态水文分区,并对其空间分布规律及其生态水文特征进行描述和分析。

分区结果能够揭示流域生态水文特征空间上的差异性和相似性以及人类活动干扰程度,能够指导具有不同生态水文特征的区域进行因地制宜的发展,为汀江上游流域提升生态功能,保证城市与区域的防洪安全提供必需的决策依据。我国东南部大多数山地城市自然生态环境条件优越,林业资源和生物多样性丰富,但自然生态系统十分脆弱,容易发生水土流失和山洪灾害,本研究所用的生态水文分区方法及相应的生态调控措施可为类似区位的山地城市的生态建设与防洪减灾所借鉴。

虽然研究区范围属于较小的流域尺度,但由于分区特征指标和子流域单元的尺度较为匹配,因此生态水文分区结果较为连续。未来可考虑结合流域范围内长时间土地利用变化的情况对生态水文分区的结果进行比较,将能够更为深入探讨人类活动对流域生态水文特征的影响;同时可借鉴“景观安全格局”理论,寻找对于流域水文过程具有重要意义的生态要素,通过城市与区域规划落实为水生态基础设施,可持续地解决流域的生态与水文问题。

### 参考文献:

- [1] 冯平,魏兆珍,李建柱.基于下垫面遥感资料的海河流域水文类型分区划分[J].自然资源学报,2013,28(8):1350-1360.
- [2] 傅伯杰,刘国华,陈利顶,等.中国生态区划方案[J].生态学报,2001,21(1):1-6.
- [3] 孟伟,张远,郑丙辉.辽河流域水生态分区研究[J].环境科学学报,2007,27(6):911-918.
- [4] 刘星才,徐宗学,徐琛.水生态一、二级分区技术框架[J].生态学报,2010,30(17):4804-4814.
- [5] 孙小银,周启星.中国水生态分区初探[J].环境科学学报,2010,30(2):415-423.
- [6] 孙然好,汲玉河,尚林源,等.海河流域水生态功能一级二级分区[J].环境科学,2013,34(2):509-516.
- [7] Gao Y N, Gao J F, Cao J F, et al. Regionalizing aquatic ecosystems based on the river sub-basin taxonomy concept and spatial clustering techniques [J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2011,8(11):4367-4385.
- [8] 蔡燕,鱼京善,王会肖,等.黄河流域生态水文分区及优先保护级别[J].生态学报,2010,30(15):4213-4220.
- [9] 杨爱民,唐克旺,王浩,等.中国生态水文分区[J].水利学报,2008,39(3):332-338.
- [10] Snelder T H, Biggs B J, Woods R A. Improved eco-hydrological classification of rivers[J]. River Research & Applications, 2005,21(6):609-628.
- [11] 尹民,杨志峰,崔保山.中国河流生态水文分区初探[J].环境科学学报,2005,25(4):423-428.
- [12] 尹晔.长江上游典型流(区)域生态水文区划分的研究[D].成都:四川大学,2006.
- [13] 张璐,杨爱民,吴赛男,等.南水北调中线一期工程受水区生态水文分区[J].水利水电技术,2009,40(12):8-11.
- [14] 王韶伟,许新宜,陈海英,等.基于SOFM网络的生态水文区划[J].生态学杂志,2010,29(11):2302-2308.
- [15] 王维明,陈明华,林敬兰,等.长汀县水土流失动态变化及防治对策研究[J].水土保持通报,2005,25(4):73-77.
- [16] 梁音,史学正.长江以南东部丘陵区土壤可蚀性K值研究[J].水土保持研究,1999,6(2):47-52.
- [17] 邓玉娇,薛重生,林锦祥.基于3S技术实现湖北房县土壤侵蚀定量研究[J].水土保持研究,2006,13(6):208-209.
- [18] 曾慧娟,潘文斌.基于RS/GIS和RUSLE的福建武步溪流域土壤侵蚀研究[J].安全与环境学报,2007,7(5):88-92.
- [19] 韩永刚,杨玉盛.森林水文效应的研究进展[J].亚热带水土保持,2007,19(2):20-25.
- [20] 刘蔚漪,范少辉,漆良华,等.闽北不同类型毛竹水源涵养功能研究[J].水土保持学报,2011,25(2):92-96.
- [21] 丁文峰,张平仑,任洪玉,等.秦巴山区小流域水土保持综合治理对土壤入渗的影响[J].水土保持通报,2007,27(1):11-14.