

以小流域为单元的城市水空间体系生态规划方法

——以州河小流域内的达州市经开区为例

The Method of City Water Space System Planning Based on Watershed: A Case of Dazhou Economic and Technological Development Zone in Zhou Watershed

赵珂 / ZHAO Ke

夏清清 / XIA Qing-qing

摘要: 当前城市水空间体系规划,多以人为划分的行政管理区域为系统单元展开,与自然条件下所形成的水文生态系统单元的尺度不对等、边界不整合,导致规划成果不能体现自然水文生态系统的整体性和层次性。针对上述问题,研究提出将小流域单元作为城市水空间研究与管理的最佳地域尺度;并在厘清小流域生态水文过程的基础上,将城市小流域划分为小流域、次小流域和集水区等层次,以此建构出完整的水系和湿地空间体系;最后,以州河小流域内的达州市经开区为例,对该方法进行验证。本研究有助于为城市水安全、水生态、水环境、水资源等问题的综合求解,提供因循水文过程、契合自然生态环境的物质空间保障,为城市水空间系统化、生态化建设提供思路。

关键词: 风景园林;小流域单元;城市;水空间体系;生态规划

文章编号: 1000-6664(2015)01-0041-05

中图分类号: TU 986 **文献标志码:** A

收稿日期: 2014-03-09; **修回日期:** 2014-12-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(编号51478056)和中央高校基本科研业务费(编号106112014CDJZR190005)共同资助

Abstract: In the city water space system (CWSS) planning, the system unit always is administrative area, which is different with the natural eco-hydrology system units in the scale and boundary, resulting in the absence of the integrity and hierarchy existing in the natural eco-hydrological system. Pointing to the problem, the watershed which consists of three levels (watershed, sub-watershed and catchment), is proposed as the best scale in the CWSS planning. Based on the watershed, the eco-hydrology process of CWSS can be understood easily, so the integrated CWSS, including waterway and wetland system, can be eco-reconstructed better. In the planning of Dazhou economic-technological development area in Zhou watershed, we established the detail CWSS planning method based on the scale of watershed. The research should help comprehensively solve the problems of city water security, water ecology, water environment and water resources in spatial domain, and provide ideas for the eco-construction of CWSS.

Key words: landscape architecture; watershed; city; water space system; eco-planning

由水系和湿地所构成的城市水空间是城市生态系统赖以生存的关键资源和环境载体。在快速城市化进程中,城市建设对水空间的侵占,斩断了自然水循环的链条,削弱了对洪涝灾害的防御能力,加大了对水体的污染,破坏了生物多样性^[1-4]。为解决城市化进程中日益严峻的水资源、水安全、水环境和水生态等问题,拜自然为师,遵循自然生态水文过程,重塑与自然和谐的城市水空间,成为城市生态规划研究的重要内容和前沿。

当前城市水空间规划最大的缺失,是缺乏对水空间所依存的自然生态水文过程的理解和预测^[5]。其重要的原因可归结为:当前城市水空间的研究,多以行政管理区域为系统单元展开,人为划分的行政管理区域与自然条件下所形成的水文生态系统单元的尺度不对等、边界不整合,导致研究成果不能体现自然水文生态系统的整体性和层次性^[6]。为重构因循自然水文过程、契合自然生态环境、系统整体的城市水空间体系和形态,必须遵循生态水文过程发生的地域尺度,以具有相对独立性、完整性和封闭性的自然水文生态系统为城市水空间规划研究单元。

1 以小流域为单元:城市水空间研究与管理的最佳地域尺度

1.1 流域的尺度问题

尺度问题是水文学讨论的热点,传统水文学中尺度的概念十分淡薄,原因之一是传统水文学认为其研究的对象本身就是流域。但流域是一个对空间尺度不加区分的概念,小到1km²,大到数万平方千米^[7],小尺度的流域水文研究成果无法外推到大尺度的流域。20世纪90年代初,水文尺度问题被正式提出,2002年,国际水文科学协会(IAHS)专题讨论了水文尺度问题^[8]。在流域水文尺度研究中,尺度问题包括最佳尺度及不同尺度之间转换2层意义^[9],其核心是通过确定流域研究的最佳尺度,以推导其他尺度内的自然生态水文过程信息^[10]。

随着描述生态格局和生态过程水文学机制的生态水文学的诞生与发展,生态水文过程的尺度明确为大尺度、中尺度和小尺度^[11-12]。大尺度是指流域(basin),包括大流域、流域和次流域3个尺度层次;中尺度是指小流域(watershed),包括小流域和次小流域2个尺度层次;小尺度是指集水

区(catchment), 包括集水区和集水单元2个尺度层次^[13]。

1.2 小流域是生态水文研究与管理的最佳地域尺度

景观生态学认为: 作为自然地域综合体的景观单元, 是生态过程发生的最小地域尺度^[14]。生态水文学进一步提出: 一组景观单元的地域综合形成坡面, 坡面组合形成集水区, 是水文发生的最小地域尺度, 集水区组合形成小流域, 小流域再在更高层次上组合形成流域^[15], 集水区、小流域和流域构成了生态水文研究的三大主要尺度。

在这三大尺度中, 从水土保持和生态环境保护的角度, 小流域是一个将径流汇到一个共同点的、完整的、相对独立和封闭的自然集雨面或集流区域, 既是降雨径流汇集的最小单元, 又是水土流失发生发展过程和河流水系水产产沙的最小单元; 是具有独立生态系统功能和性质的自然地理单元^[16-18]。在国土规划领域, 小流域是“以分水岭为界, 以小溪为地貌特征的一个集水区域”, 它是一个水文单元, 又是一个自然生物单元, 同时还是一个社会—经济—政治单元, 是一个资源管理和规划的综合单元^[19]。

由此, 将小流域作为最佳地域尺度, 不仅可以完善地获取其内的生态水文信息, 摸清其内的生态水文过程情势, 更可以在流域等高层次尺度上进行综合, 从而实现对全流域生态水文过程及环境的可持续调控。

1.3 城市小流域单元及层次

不同于自然生态水文过程, 城市水空间的形成不仅受水文过程、生态过程的制约, 还受到社会组织过程的影响。在城市空间的社会组织过程中, 道路将城市空间划分为街区, 街区通过邻里关系组合成社区, 社区通过行政管理组合成城市规划区。在城市中, 对应于自然流域中的小流域、次小流域和集水区三大层次尺度, 街区与集水区的尺度相当、社区与次小流域的尺度相当、城市规划区与小流域的尺度相当。

在城市水空间的管理中, 以小流域为最佳地域尺度单元, 进一步对其进行次小流域和集水区的层次划分, 不仅可以保证水文过程的完整性、生态系统的相对独立性和封闭性, 还能有效地引导与自然生态和谐的街区、社区及城市规划区的划定和组织。

因此, 在城市水空间的规划研究中, 以小流域为单元, 有助于充分理解自然生态水文过程, 促进城市水空间体系的整体重构, 并使其有效地因循水文过程、契合自然生态环境, 为城市水安全、水生态、水环境、水资源等问题的综合求解, 提供物质空间保障, 为城市水空间的系统化、生态化建设提供思路。

2 以小流域为单元的城市水系重构

2.1 流域划分是水系重构的基础, 对地貌认识是流域划分的前提

水系重构与流域的划分密切相关。在自然流域内, 流域本身由山坡和水系所组成, 地貌主导自然水系空间的形成^[20]; 水系可被视为发生于流域内部径流产生机制的一个缩影, 水系形态深刻揭示了对应于水文响应的地貌发育结果, 而此结果又反过来影响水文响应过程^[21]; 同时, 依附于水文过程, 地貌所承载的自然生态要素, 作用于水文的生态过程。所以, 流域划分是厘清水文过程的基础, 而流域划分和生态系统维系的前提是对地貌的认识。

2.2 自然流域层次划分方法

自然流域层次划分的基础是对水系分级形态的认识。Horton水系三大定律是对水系分级形态的最早阐释。Horton认为水系在数量、长度及流域面积三大方面均呈现为指数增长的等级秩序^[22]。其学生Strahler修正了Horton的水系方法, 所形成的Strahler—Horton定律, 得到了Rodriguez—Iturbe、Rinaldo等人的验证, 使其成为当前水系分级的最优方法。该方法认为水系分级呈现的规律是: 1)没有支流源头水系是第一级水系; 2)2个相同等级的水系交汇, 形成更高级别的水系; 3)2个不同等级的水系交

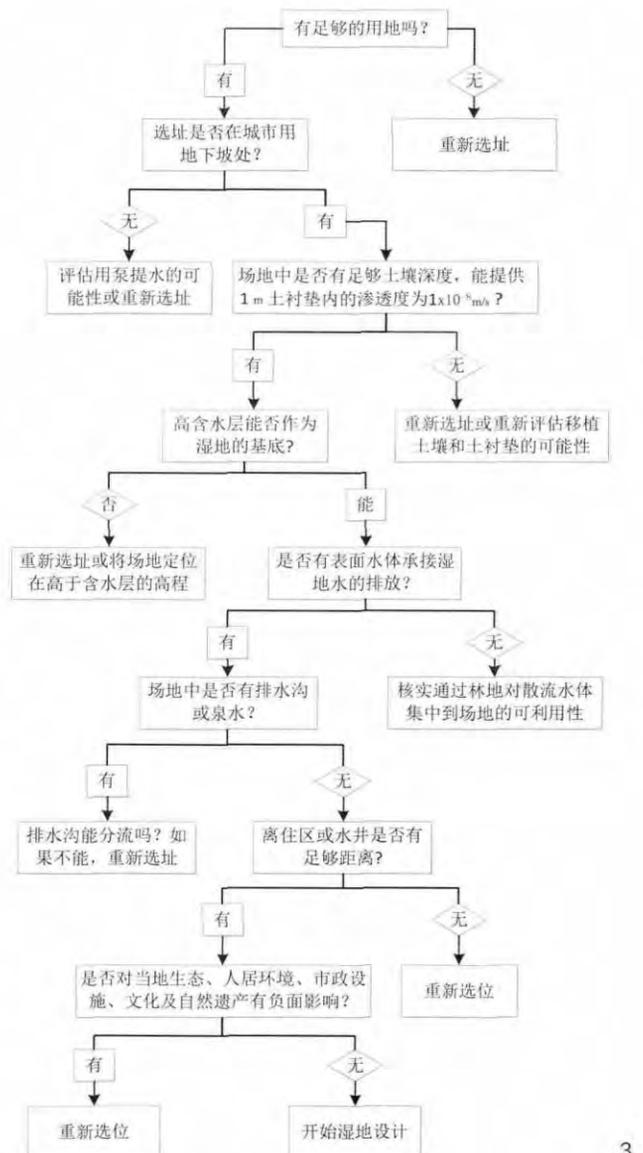
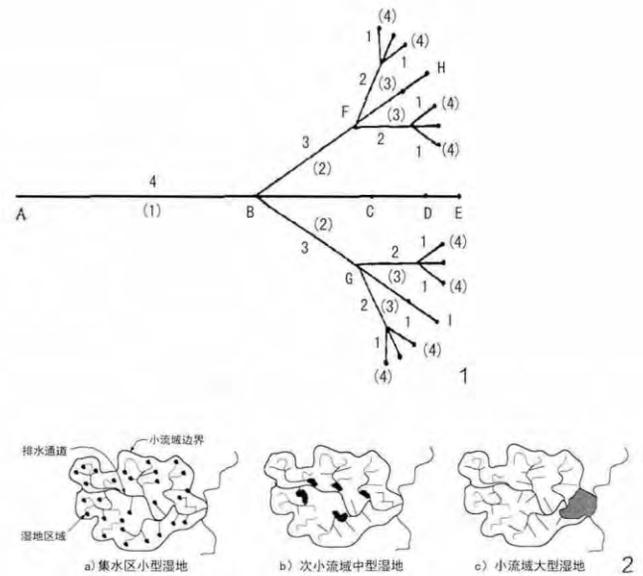


图1 Strahler-Horton水系分级方法^[23]
图2 湿地体系空间结构图^[24]
图3 综合湿地选址决策树^[25]

汇, 依旧形成交汇水系中高等级的水系^[23](图1)。基于这样的水系分级形态, 自然流域层次也得到相应的划分。随着地理信息技术的发展, 基于Strahler—Horton水系分级定律, 运用对地形地貌具有强大虚拟模拟能力的数字高程模型(DEM), 在GIS平台中, 对自然流域的层次划分已是成熟的技术^[25]。

2.3 城市小流域单元层次划分方法

在城市中, 不同于以小溪为特征的自然小流域, 城市小流域可能以季节性水道为特征; 不同于原始的自然地貌, 道路修建、场地平整等往往改变原始地貌。究其原因, 城市建设对自然地貌的改变, 是导致城市水系具有与自然水系不同特征的主要因素。由此, 以城市地貌替代自然地貌, 模拟城市水系分级形态, 是城市小流域层次划分的有效途径。

综合F. Rodriguez运用城市数据银行(Urban Databank)^[26]及H. Amaguchi等人基于城市景观GIS描绘^[27]对城市小流域水文的研究成果, 在GIS平台中, 我们首先将与城市水文相关的城市地貌要素分为地块、道路和溪流3个大类, 其中, 地块是城市季节性水道产生的源头; 溪流是城市水文流动的主要自然通道; 道路是以地下管道组织城市季节性排水的人工通道。进一步, 在GIS平台中, 将高程赋值于三大类城市地貌要素, 形成城市数字高程模型(Urban Digital Elevation Model, UDEM), 为水文过程的虚拟模拟奠定基础。最后, 基于UDEM, 运用ArcGIS中的水文分析工具, 实现对小流域、次小流域和集水区等城市小流域单元的层次划分。

2.4 以小流域为单元的城市水系重构

在城市水系重构中, 起主导作用的是水文功能重要的主体水系。但不能简单地认为, 在水系分级形态中级别越高的水系, 其生态水文功能越重要。而应综合考虑各级水系所在小流域的面积及其内的地貌特征, 方能确定其生态水文功能的重要性。因此, 在水系分级的基础上, 厘清水文、生态功能重要的主体水系成为最终小流域单元确立的关键。

在城市水空间体系生态化构建中, 基于自然水系形态模拟技术, 以城市地貌替代自然地貌, 在GIS平台中, 城市水空间体系构建模型为: 1) 基于城市数字高程模型, 模拟水系, 划分集水区; 2) 运用Strahler水文模型对水系进行分级, 明确水文功能重要的主体水系, 整合集水区, 划分次小流域; 3) 分析各次小流域内水系的水文和生态功能, 进一步明确主体水系, 进而整合次小流域, 划分出小流域。

3 以小流域为单元的湿地体系重构

3.1 湿地体系重构模式

在城市中, 湿地的构建对暴雨径流的管理、面源污染的处理具有重要意义。但单一的湿地远远不及湿地体系对城市环境所发挥的作用, 由此, 在城市小流域内, 因循城市水文过程, 重构湿地体系能提高城市对水安全、水生态、水环境、水资源等问题的综合求解^[28]。而湿地体系重构的关键是湿地选址。

自然状况下, 形成湿地的主要条件是: 1) 地势低洼、排水不畅; 2) 多条径流汇集。在城市小流域中, 湿地的选址不仅要因循水系分级形态, 还要遵循功能需求。美国学者Van der Valk和Jolly提出小型湿地可设置在

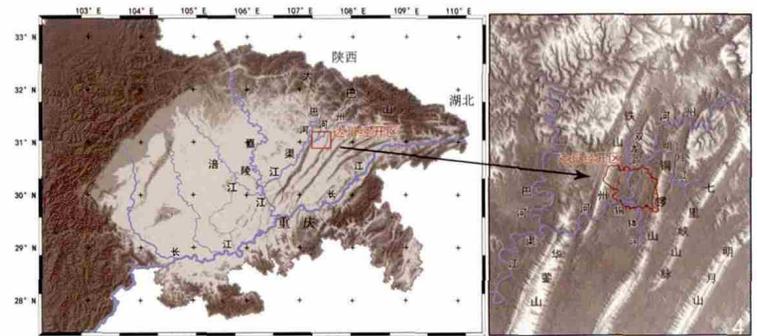
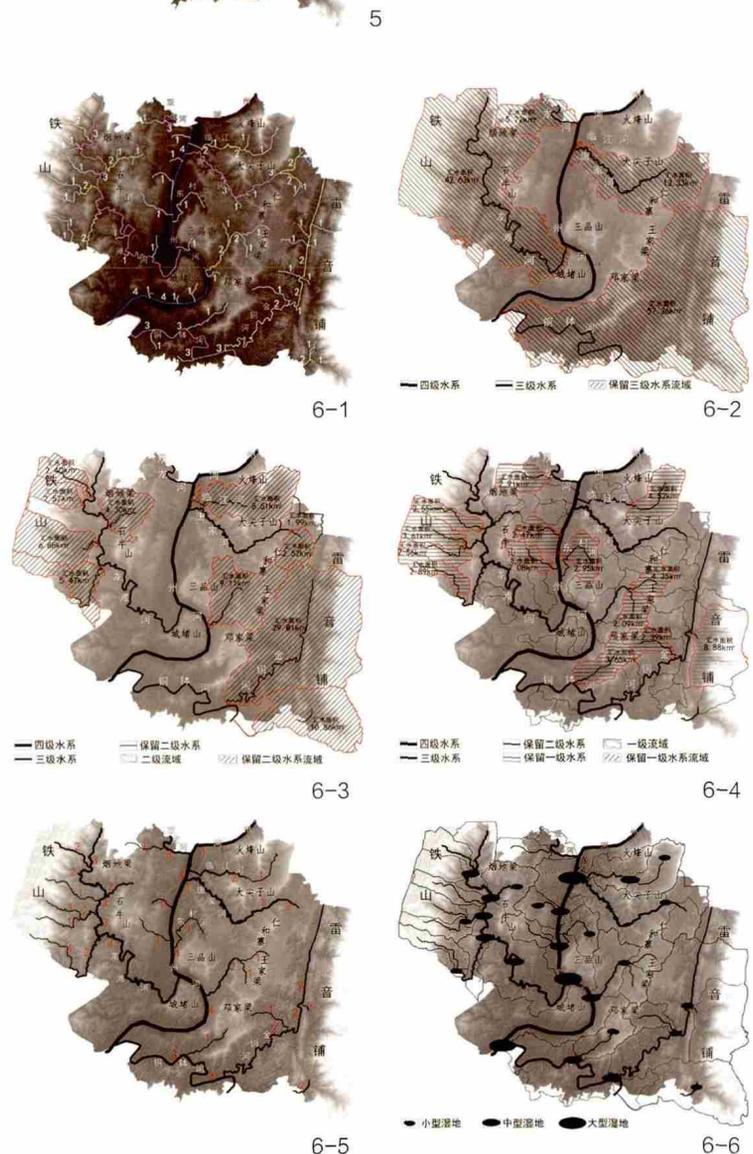


图4 达州市经开区所在州河小流域区位图
图5 山水体系现状图
图6 水系及湿地体系构建
图6-1 水系分级
图6-2 三级水系保留
图6-3 二级水系保留
图6-4 一级水系保留
图6-5 规划保留水系
图6-6 湿地体系构建



流域源头,大型湿地则设置在流域下游^[29]。美国学者Knight认为湿地的选址应遵循其需发挥的功能,如仅考虑减小通常的洪水灾害和保障水质,小型湿地的设置可能是最好的选择;而如果考虑到极端状况下的洪水灾害防治或为野生动植物提供栖息地,则设置大型的流域下游湿地更有效^[30]。美国学者Tilley在Kendall^[31]和Mitsch^[32]研究的基础上,发展出了城市小流域内湿地设置的较完整体系^[33]。该湿地体系的空间结构为:小型湿地散布在集水区的源头;中型湿地存在于集水区水系与次小流域主水系交汇处;大型湿地则分布在次小流域水系与小流域主水系交汇处(图2)。

3.2 湿地选址要素及决策

在欧盟水框架指令(Water Framework Directive, WFD)下,经过近20年的研究和实践,爱尔兰发展了综合人工湿地(Integrated Constructed Wetland, ICW)的概念^[34],运用生态系统的方法,综合解决土地可持续管理、水和生物资源保护、生物多样性保育以及生态系统服务功能提高,如洪水防御、休闲空间营造等。在ICW中,湿地选址需综合考虑社会、经济和自然要素,如地形、气候、地表水、地下水、水文地质、文化遗产、自然遗产、人居环境(土地利用,与最近住房、学校、社区中心距离,与道路距离等)、市政设施、底土类型、岩石深度、含水层深度等。在厘清影响湿地选址的要素后,ICW构建出综合湿地选址决策树方法(图3)^[35]。

4 达州市经开区水空间体系生态化构建

4.1 研究区域概况

州河小流域,地处北纬 $30^{\circ}49' \sim 31^{\circ}33'$,东经 $106^{\circ}59' \sim 107^{\circ}50'$,隶属嘉陵江支流渠江的上游,华蓥山脉东部、明月山脉西部,流域面积 1494km^2 ,地属中亚热带季风性湿润气候,年降水 $1144 \sim 192.5\text{mm}$ 。州河小流域内流域面积 300km^2 以上的河流有明月江和铜钵河两大支流(图4)。

达州市经开区地处州河小流域中部,由华蓥山脉中的铁山和明月山脉中的雷音铺山所夹形成的槽谷地带,面积 149km^2 ,呈现为“低山丘陵岭谷”的地貌特征。火峰山、大尖子山、三品山、石牛山、仁和寨、王家梁、邓家梁、烟地梁等低山之间是广阔的浅丘,也是水系富集地区,其中,常年水系有7条:铜钵河、金铜河、东村河、唐家河、临江河、双龙河和龙滩河,常年水塘面积达到 1.5km^2 (图5,表1)。

4.2 水系构建

在ArcGIS平台中,将达州市经开区1:500地形图转化为数字高程模型,用规划已确定道路、用地等信息替换自然地貌,构建出城市数字高程模型。运用ArcGIS的Hydro水文分析工具,模拟出达州市经开区内的水系为:以州河为四级水系,双龙河、唐家河、龙滩河和铜钵河4条三级水系,临江河、金铜河与7条季节性水道为二级水系,东村河与51条冲沟为一级水系(图6-1)。其中,三级水系的汇水面积均大于 13.3km^2 (图6-2);二级水系中,除汇入唐家河的1条季节性水道外,其余水系汇水面积均大于 2km^2 ,特别是,金铜河的汇水面积大于 20km^2 (图6-3);一级水系中,汇水面积大于 2km^2 的有东村河和10条季节性水道,其余季节性水道汇水

表1 达州市经开区内常年水系汇水面积

| 常年水系 | 水系分级 | 汇水面积/ km^2 |
|------|------|---------------------|
| 东村河 | 一级 | 3.50 |
| 临江河 | 二级 | 8.51 |
| 双龙河 | 三级 | 14.71 |
| 唐家河 | 三级 | 13.30 |
| 龙滩河 | 三级 | 42.63 |
| 铜钵河 | 三级 | 57.36 |
| 金铜河 | 二级 | 29.81 |



图7 水系、湿地、山体与建设用地单元的契合

面积均小于 2km^2 (图6-4)。

由此,以4条三级水系,汇水面积大于 2km^2 的11条二级水系,汇水面积大于 2km^2 的14条一级水系为规划保留水系(图6-5),进一步通过“理水循山”,反控需要保护的山体。从而,保障各保留水系的次小流域内生态水文过程的相对独立和完整,便于经开区建设中,与相对独立、完整的自然生态水文单元相契合的城市建设用地单元划定。

4.3 湿地体系构建

运用ArcGIS的Hydro水文分析工具,找出地势低洼、排水不畅的洼地,结合现状水塘,在分级水系体系构建及建设用地单元划定的基础上,依据Tilley的城市小流域湿地体系设置方法及ICW的湿地选址决策方法,可在二级水系源头设置小型湿地12处;在一级水系与二级、三级、四级水系交汇处,二级与三级水系交汇处设置中型湿地11处;在三级水系与四级水系(州河)交汇处设置大型湿地3处(图6-6)。

与达州市经开区建设用地单元划分相匹配,大型湿地的功能不仅防洪、为野生动植物提供栖息地,也是经开区内重要的休憩中心。依据建设用地单元的土地利用性质,工业组团内的中型湿地被赋予公用工程岛的功能,以局部消解工厂所带来的水体污染;居住组团内的中型湿地除承担保障水质的功能外,更重要的是通过野生动植物栖息地的营建,为“生态”与“业态”合一、服务于该居住组团的商业及公共服务中心的设置,提供和谐优美的生态环境。小型湿地主要承担蓄水保水的功能,以调蓄丰水和

枯水期间水系的水量,保障季节性水系生境的生态系统不会因长期枯水而遭到破坏(图7)。

5 结语

在城市水空间的研究和管理中,以小流域为单元,其实质是将相对完整的水文单元、相对封闭独立的生态单元与城市社会—经济—政治单元进行耦合,以更好地理解 and 预测城市水空间所依存的生态水文过程。本文虽然在阐述小流域单元的概念及其层次关系的基础上,厘清了小流域层次划分和水分级形态、湿地体系形态之间的关系,并依托GIS平台,建立了城市水系及湿地体系空间重构的方法,但关于城市水空间体系中各水系及湿地的规模及形态等生态化重构的研究还需在后续中进一步展开。

参考文献:

- [1] Fletcher T D, Andrieu H, Hamel P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art[J]. *Advances in Water Resources*, 2013, 51: 261-279.
- [2] Braud I, Fletcher T D, Andrieu H. Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 485: 1-4.
- [3] 吴学鹏, 林俊伟, 李朝忠. 都市化对小流域水文影响的研究[J]. *水科学进展*, 1992(2): 155-160.
- [4] 王紫雯, 张向荣. 新型雨水排放系统: 健全城市水文生态系统的新领域[J]. *给水排水*, 2003(5): 17-20.
- [5] Konyha K D, Shaw D T, Weiler K W. Hydrologic design of a wetland: advantages of continuous modeling[J]. *Ecological Engineering*, 1995, 4(2): 99-116.
- [6] 董哲仁. 河流生态系统研究的理论框架[J]. *水利学报*, 2009(2): 129-137.
- [7] Klemeš V. Conceptualization and scale in hydrology[J]. *Journal of Hydrology*, 1983, 65(1-3): 1-23.
- [8] 于翠松. 水文尺度研究进展与展望[J]. *水电能源科学*, 2006(6): 17-19.
- [9] 刘贤赵. 论水文尺度问题[J]. *干旱区地理*, 2004(1): 61-65.
- [10] 刘建梅, 裴铁璠. 水文尺度转换研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003(12): 2305-2310.
- [11] 赵文智, 程国栋. 生态水文学: 揭示生态格局和生态过程水文学机制的科学[J]. *冰川冻土*, 2001(4): 450-457.
- [12] 夏军, 丰华丽, 谈戈, 等. 生态水文学概念、框架和体系[J]. *灌溉排水学报*, 2003(1): 4-10.
- [13] 龚清宇, 王林超, 唐运平. 中小流域尺度内雨水湿地规模模拟与设计引导[J]. *建筑学报*, 2009(2): 48-51.
- [14] 傅伯杰, 徐廷达, 吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法[J]. *地球科学进展*, 2010(7): 673-681.
- [15] 严登华, 何岩, 邓伟. 流域生态水文格局与水环境安全调控[J]. *科技导报*, 2001(9): 55-57.
- [16] 陆鼎言. 小流域综合治理开发技术初探[J]. *水土保持通报*, 1999(1): 36-40.
- [17] 郭廷辅, 段巧甫. 径流调控理论是水土保持的精髓: 四论水土保持的特殊性[J]. *中国水土保持*, 2001(11): 4-8.
- [18] Chapter I: The Drainage Basin as a System Unit[M]//Ion Z. *Developments in Water Science*. Elsevier, 1985: 9-25.
- [19] 卢剑波, 王兆骞. GIS支持下的青石山小流域农业生态信息系统(QWAEIS)及其应用研究[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 703-706.
- [20] Lhomme J, Bouvier C, Perrin J. Applying a GIS-based geomorphological

routing model in urban catchments[J]. *Journal of Hydrology*, 2004, 299(3-4): 203-216.

[21] 任立良, 刘新仁, 郝振纯. 水文尺度若干问题研究述评[J]. *水科学进展*, 1996: 87-99.

[22] E H R. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative morphology[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1945, 56: 275-370.

[23] Miyamoto H, Hashimoto T, Michioku K. Basin-Wide Distribution of Land Use and Human Population: Stream Order Modeling and River Basin Classification in Japan[J]. *Environmental Management*, 2011, 47(5): 885-898.

[24] 陈彦光, 刘继生. 水系结构的分形和分维: Horton水系定律的模型重建及其参数分析[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 178-183.

[25] Oldroyd D R. 1.5 Geomorphology in the First Half of the Twentieth Century[M]//Shroder J F. *Treatise on Geomorphology*. San Diego: Academic Press, 2013: 64-85.

[26] Rodriguez F, Andrieu H, Creutin J. Surface runoff in urban catchments: morphological identification of unit hydrographs from urban databanks[J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 283(1-4): 146-168.

[27] Amaguchi H, Kawamura A, Olsson J, et al. Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation[J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 420-421: 205-215.

[28] Fan X, Cui B, Zhang Z, et al. Research for wetland network used to improve river water quality[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 2353-2361.

[29] Van der Valk A G, Jolly R W. Recommendations for research to develop guidelines for the use of wetlands to control rural nonpoint source pollution[J]. *Ecological Engineering*, 1992, 1(1-2): 115-134.

[30] Knight R L. Ancillary benefits and potential problems with the use of wetlands for nonpoint source pollution control[J]. *Ecological Engineering*, 1992, 1(1-2): 97-113.

[31] Kendall A L. Integrating Constructed Wetlands Into an Ecological Stormwater Management Plan for an Urban Watershed in Miami, Florida[D]. University of Florida, 1997.

[32] Mitsch W J. Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution[J]. *Ecological Engineering*, 1992, 1(1-2): 27-47.

[33] Tilley D R, Brown M T. Wetland networks for stormwater management in subtropical urban watersheds[J]. *Ecological Engineering*, 1998, 10(2): 131-158.

[34] Scholz M, Harrington R, Carroll P, et al. The Integrated Constructed Wetlands (ICW) concept[J]. *Wetlands*, 2007, 27(2): 337-354.

[35] Department of the Environment H A L G. Integrated Constructed Wetlands: Guidance Document for Farmyard Soiled Water and Domestic Wastewater Applications[R]. Department Of The Environment, Heritage And Local Government, Ireland, 2010.

(编辑/王媛媛)

作者简介:

赵珂/1974年生/男/四川华蓥人/博士/重庆大学建筑城规学院城市规划系、山地城镇建设与新技术教育部重点实验室副教授, 博士生导师(重庆400045)

夏清清/1991年生/女/四川广安人/重庆大学建筑城规学院城市规划系在读硕士研究生(重庆400045)