

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.08.017

# 海绵城市管控单元划分与地理空间数据库构建

谢明坤<sup>1,2</sup>, 董增川<sup>2</sup>, 成玉宁<sup>3</sup>

(1. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210024; 2. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210024; 3. 东南大学 建筑学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 海绵城市管控单元的划分是海绵城市规模计算和设计布局的基础。目前,在我国现有海绵城市建设技术指南中并无该方法的详细介绍,因此初步探索了一种适用于多尺度的海绵城市管控单元划分与地理空间数据库构建的流程与方法,并以南京市河西新城中部地区为例,对其方法、流程及工具进行了实践验证,相关成果可为海绵城市规划设计提供参考。

**关键词:** 海绵城市; 管控单元; 汇水区; 地理空间数据库

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)08-0102-06

## Division of Sponge City Control Units and Construction of Geospatial Database

XIE Ming-kun<sup>1,2</sup>, DONG Zeng-chuan<sup>2</sup>, CHENG Yu-ning<sup>3</sup>

(1. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;  
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210024, China;  
3. School of Architecture, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The division of sponge city control units is the basis of scale calculation and design layout of sponge city. At present, the method is not introduced in detail in the existing technical guide of sponge city construction in China. This paper explores a process and method suitable for multi-scale sponge city control units division and geospatial database construction. Taking the central area of Hexi New City in Nanjing as an example, the method, process and tool are practically verified. The research results are expected to provide reference for sponge city planning and design.

**Key words:** sponge city; control units; catchment area; geospatial database

我国现行城乡规划分为总体规划与详细规划两个阶段:总体规划是对城乡总体发展的综合部署,详细规划则是总体规划的落实与深化,通常采用“空间+指标”的方式进行控制与引导。海绵城市规划作为城乡规划体系的重要组成部分,属专项规划类别。海绵城市规划中管控单元的科学合理划分既是海绵城市设计的基础,也是与现行城乡规划体系衔接的重要保证。目前,我国现有海绵城市建设技术

指南中并未有管控单元划分的具体方法,随着系统化全域推进海绵城市建设工作的开展,当前海绵城市建设过程也面临着实时、多元数据管理的需求。选择符合海绵城市特点的数据管理工具成为当前精细化海绵城市建设的必然要求。针对上述问题,探讨了海绵城市管控单元划分与地理空间数据库构建的基本方法,并以南京市河西新城中部地区为例,将相关方法与工具进行实证应用,探索具有可操作性

基金项目:国家自然科学基金重点项目(2017ZX07108002)

通信作者:成玉宁 E-mail: cyn999@126.com

的海绵城市管控单元划分与数据管理途径,辅助海绵城市控规编制工作。

## 1 海绵城市管控单元划分

### 1.1 管控单元概念

在我国,不同专业领域依据管控目标及对象有基于水文单元、行政区划、排水分区以及水生态区等多种汇水控制单元划分方式<sup>[1]</sup>。在自然流域水环境管理领域,通过汇水区划分可对复杂的流域水环境问题进行分解并利于各流域综合管理。而在城市建成环境,由于复杂下垫面特征与自然流域存在较大差异,在汇水区划分中地形决定了城市地表径流的基本汇流方向,同时城市人工构筑物对汇水区划分结果也具有显著影响,其影响因素包括城市道路、人工水体、建(构)筑物及人工排水设施的分布等。管控单元是海绵城市控制指标落实与管理的基本空间单元,其划分既要考虑城市自然地形影响,还要考虑灰色基础设施分布、城市控规图则划分、雨水资源利用等因素。城市不同地块的水文地质、土地利用及开发建设条件等各异,因此必须因地制宜地进行管控单元划分及控制指标确定。

### 1.2 管控单元尺度层级

海绵城市规划对象尺度既包括城市总体层面,需要从城市总体统筹考虑城市径流分布特征,同时也涉及场地设计层面,需考虑人工建设的影响与要求。考虑海绵城市建设对象及目标落地性,可将管控单元划分为城市流域、城市片区以及城市地块三个层级(见图1)。

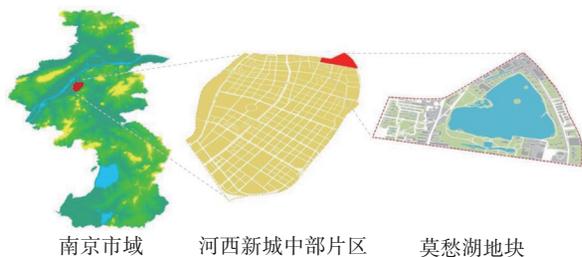


图1 城市流域-流域片区-流域地块尺度层级示意(以南京为例)

Fig.1 Schematic diagram of city-district-block level: take Nanjing as an example

#### 1.2.1 城市流域尺度

城市流域尺度通常以城市为单元,需要参考城市所在流域划分方法,依据流域自然地形分水线、河流以及行政区界线等从宏观尺度将城市划分为

若干自然汇水区,划分依据主要为流域自然地形,如果一个城市跨越两个自然流域则需将城市划分为两个管控单元。

#### 1.2.2 城市片区尺度

城市片区尺度也称为城市街区或者编制单元尺度,在城市流域划分基础上主要对应城市控规编制单元中的基本单元,其面积一般为2~10 km<sup>2</sup>,是城市流域的若干子汇水区。其划分需要在参考地形、道路、市政雨水设施及绿地分布等基础上综合考虑,同时还需参考城市控规片区划分边界进行必要调整。

#### 1.2.3 城市地块尺度

地块尺度对应规划设计层面的场地设计尺度,通常以具体项目建设为出发点,需要根据基地现状条件合理布置不同类型海绵城市系统技术措施。从汇水区等级上看,属于城市片区尺度下的次级子汇水区,其划分依据同样需考虑场地地形坡度、不同建设项目特点及人工建设条件的影响。

### 1.3 划分流程

海绵城市控制单元划分基本采用“由大到小,逐级递进”的原则<sup>[2]</sup>,为便于数据管理,可在控制单元划分的同时建立各级控制单元数据库。其技术流程主要包括4个步骤:首先,根据城市地形、自然水流方向,通过分水岭及汇水线提取城市尺度一级汇水区;其次,在城市尺度一级管控单元基础上进行二次细分,以城市主干道排水路线为界来划分城市片区尺度二级管控单元;再次,在二级管控单元划分基础上,叠加城市控规图则地块、场地内部道路、建筑、排水管网等场地人工建设要素,生成三级管控单元;最后,根据是否满足海绵城市系统规划设计要求,对生成的各级海绵城市管控单元划分范围的合理性进行人工校核与调整,例如部分管控单元可能存在跨越汇水区、面积过大或太小、用地类型单一等<sup>[3]</sup>问题,不满足条件的需对相关流程进行调整。

## 2 海绵城市管控单元地理空间数据库构建

### 2.1 管控单元数据特点和地理空间数据库

海绵城市管控单元数据具有多层级、多要素、动态性等特点,各单元之间既涉及坐标、形状等拓扑空间信息,又涉及管控指标、海绵城市绩效等属性信息。因此,海绵城市管控单元各要素需按一定

层级、规则进行存储、管理与分析。地理空间数据库具有点、线、面、属性表、几何网络等数据定义方式,可以采用分层专题图形式展示同一地理坐标系下的多尺度空间内容,符合海绵城市管控单元数据管理需求。

地理空间数据库是以地球表面一定区域内与空间地理相关、反映某一主题信息的数据集合、以空间目标作为存储对象的专业数据库。空间数据广义上包括数字、文字、影像、图形等多种表现形式,类型分为矢量数据和栅格数据。空间数据具有非结构化、空间关系、时态、多尺度等基本特征。地理空间数据库主要依托地理信息系统软件进行存储、管理、分析和描述<sup>[4]</sup>。Geodatabase数据组织包括对象类、要素类、要素集、关系类、几何网络等。数据类型上则包括矢量、栅格、网络、投影等形式,Shapefile文件、Coverage文件是Geodatabase数据的重要来源<sup>[5]</sup>。

## 2.2 管控单元地理空间数据库构建流程

基于各管控单元下垫面图形数据、基本指标数据,建立多尺度海绵城市汇水区管控单元基础数据库的基本流程如下:

首先,空间地理数据库设计。根据数据建立需求和目标,明确海绵城市管控单元层级以及各层级下所要包含的要素类、要素集、对象表、几何网络等基本数据库要素;

其次,数据加载导入。将划分的城市汇水单元地理信息数字化,利用ArcCatalog输入或批量导入方式分级加载进入ArcGIS Geodatabase数据库;

再次,管控单元空间编码。对细分后的各层级汇水管控单元的栅格数据以及空间矢量数据进行空间编码,在文件属性表中赋予各级管控单元基本空间属性信息;

最后,指标计算。获取编码后的各汇水单元下垫面属性,以下垫面汇流计算分类标准概化其下垫面构成,利用相关公式计算各管控单元下垫面基本指标。

## 3 南京市河西新城中部地区案例

### 3.1 研究区概况

河西新城位于南京主城区西南部,总陆地面积约56 km<sup>2</sup>。本次研究范围为河西新城中部区域,北至汉中门大街,南至江山大街,西至长江,东至秦淮

河,面积约44.74 km<sup>2</sup>。研究区属宁镇扬丘陵区地形,场地内高程为5.0~7.5 m(吴淞高程),总体地势平坦低洼,属长江漫滩地貌区。该区域属北亚热带湿润气候,四季分明,雨水充沛,常年平均降雨天数为117 d,年均降雨量1 106.5 mm。

## 3.2 海绵城市管控单元划分

### 3.2.1 数据和工具

前期获取的研究区基础数据类型包括CAD文件、卫星遥感影像、数字高程模型、栅格图像、规划设计文本等(见表1),通过对基础数据进行地理配准、地物提取及矢量化等操作,初步构建研究所需的基础数据集。

表1 基础数据类型及来源

Tab.1 Basic data types and data sources

数据类型	数据名称	数据来源
卫星影像	研究区IKonos2.5 m分辨率卫星影像	Google earth 谷歌影像
数字栅格	研究区天地图(墨卡托投影图层)	国家地理信息公共服务平台 <a href="https://www.tianditu.cn">https://www.tianditu.cn</a>
数字高程模型	研究区ALOS12.5 m分辨率DEM	美国航空航天局(NASA) <a href="https://earthdata.nasa.gov/">https://earthdata.nasa.gov/</a>
CAD文件	研究区1:1 000路网及排水管网CAD图件	城市规划部门
文本	《南京市河西新城中部地区控制性详细规划》《河西新城总体规划》《南京河西新城整体城市设计》等规划文本	城市规划部门、互联网

研究工具主要采用美国环境系统研究所(ESRI)的地理信息系统软件ArcGIS平台,其版本为ArcGIS 10.2.0.3348。

### 3.2.2 海绵城市管控单元划分

研究区为河西新城中部地区,属城市片区尺度,因此将研究区划分为城市片区、地块两个管控单元等级并建立海绵城市管控单元数据库。

#### ① 二级管控单元划分

南京河西新城中部地区自然汇水区划分过程见图2。

基于美国航空航天局(NASA)地球数据共享网站(<https://earthdata.nasa.gov/>)12.5 m分辨率ALOS(Advanced Land Observing Satellite)数字高程模型及国家地理信息公共服务平台的我国市级行政区划、研究区范围文件,对获取的数字高程模型DEM文件

进行裁剪,获得研究区 12.5 m 分辨率 DEM 原始文件。在获取基础数据并进行处理后,利用 ArcGIS 水文分析工具箱中的基础工具,通过构建的 Model Builder 水文分析模型,对基础 DEM 数据进行批处理。

具体水文分析处理流程包括:填洼-流向分析-汇流累积量计算-河网提取-汇水区划分-栅格要素转换。通过 Model Builder 流程处理后,研究区共划分为 15 个自然汇水区,对各汇水区的基础信息进行分类、统计。

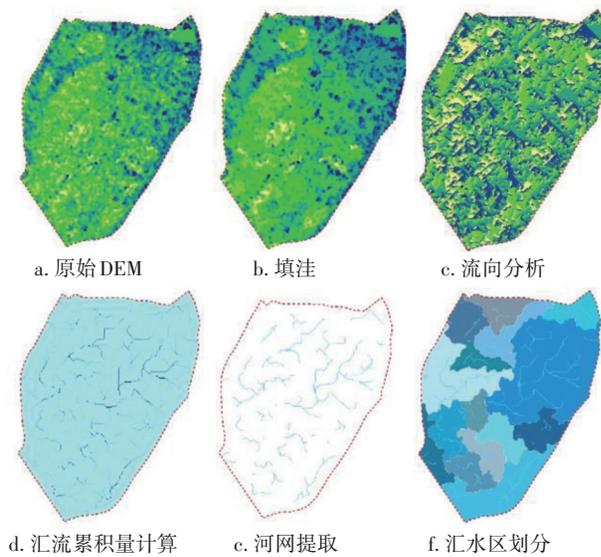


图2 南京河西新城中部地区自然汇水区划分过程  
Fig.2 Process of zoning the catchment area in the central part of Hexi New City in Nanjing

研究区二级管控单元见图 3。

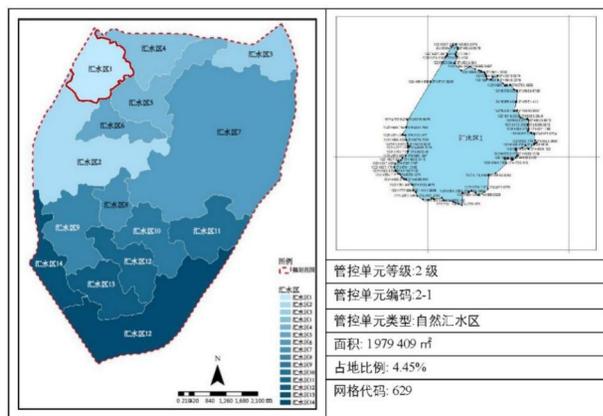


图3 研究区二级管控单元  
Fig.3 Basic information about the secondary control units in the study area

研究区二级海绵城市管控单元基本属性信息如表 2 所示。

表 2 南京河西新城中部地区二级海绵城市管控单元(自然汇水区)基本属性信息

Tab.2 Basic attributes of the secondary sponge control units in the central area of Hexi New City in Nanjing

管控单元编码	面积/m <sup>2</sup>	占地面积比例/%	网格编码
1	1 979 409	4.45	629
2	5 191 315	11.66	627
3	1 768 221	3.97	247
4	1 935 236	4.35	513
5	2 419 985	5.44	655
6	1 356 762	3.05	810
7	12 500 236	28.08	963
8	1 062 328	2.39	1 061
9	2 451 507	5.51	981
10	1 828 950	4.11	1 127
11	2 098 304	4.71	1 142
12	1 716 553	3.86	1 140
13	1 749 506	3.93	1 236
14	1 532 914	3.44	1 284
15	4 925 251	11.06	1 331

② 三级汇水区划分

研究区道路图层提取及矢量化过程如图 4 所示。

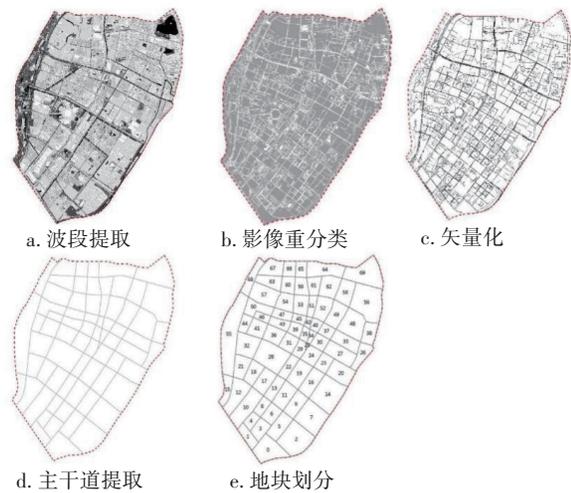


图4 研究区道路图层提取及矢量化过程  
Fig.4 Process of extracting and vectorising the road layers in the study area

在二级管控单元划分基础上,通过 ArcGIS 对场道路栅格图进行波段提取函数、二值化处理等影像分析,再对提取的道路栅格图像进行重分类,运

用 Arcscan 工具箱对重分类后的道路栅格图像矢量化处理后,得到研究区现状主干道路矢量图层。基于矢量道路图层提取道路中线并对研究区进行地块划分,结合前期从《南京河西中部地区控制性详细规划》中获取的雨水管网布局及控规路网地块划分图,将其进行空间叠加,在综合自然汇水特征、地块布局及控规地块划分后初步得到研究区三级管控单元。

③ 汇水区调整

在初步划分的三级汇水区基础上,将其与自然汇水区以及研究区遥感影像进行叠加对比,利用 ArcGIS 编辑工具对初步三级汇水区进行合并、裁剪、删除等调整,最终获得三级管控单元划分结果及三级管控单元基本属性信息。

研究区三级海绵城市管控单元如图 5 所示。

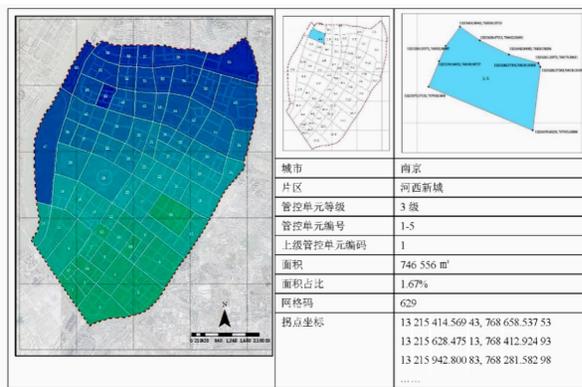


图 5 研究区三级海绵城市管控单元

Fig.5 Illustration of the level 3 sponge city control units in the study area

3.3 海绵城市管控单元地理空间数据库构建

3.3.1 数据库设计

基于获取的研究区海绵城市相关基础数据,研究区海绵城市管控单元地理数据库包含基础数据、管控单元数据及降雨-径流数据三大部分。

① 基础数据:包括研究区卫星影像、数字高程模型、边界范围、气象水文特征、城市规划、管网基础数据等;

② 管控单元数据:包括不同等级的管控单元面、线、坐标要素、单元卫星影像等基本空间信息以及城市、片区、下垫面类别、面积、编码等基础属性信息;

③ 降雨-径流数据:主要包括基本降雨量、地块综合径流系数、雨水径流量、设计调蓄容积等基

础数据。

海绵城市管控单元地理数据库要素构成如表 3 所示。

表 3 海绵城市管控单元数据库要素构成  
Tab.3 Elements of sponge city control units database

数据集	要素类	数据
基础数据集	研究区卫星影像	研究范围影像栅格图像
	数字高程模型	12.5 m 分辨率数字高程栅格
	研究区边界	坐标、面要素、线要素集合
	气象水文特征	降雨、水系、地质条件等描述属性表
	上位规划资料	控规用地地块面要素集合
	基础管网数据	管网管线、排放口
管控单元数据集	管控单元划分	管控单元边界、面要素集合
	单元影像	各管控单元卫星影像栅格
	下垫面构成	各类型用地面要素集合
	编码信息	城市、片区名称及管控单元编码信息
降雨-径流数据集	综合径流系数	各管控单元综合径流系数属性数据
	雨水径流量	各管控单元雨水径流属性数据
	暴雨强度	暴雨强度属性数据
	设计调蓄容积	设计调蓄容积属性数据

3.3.2 命名与编码

为方便统一命名管理,海绵城市管控单元完整命名采取“城市+片区+管控单元编码”的形式,即××市××片区××海绵城市管控单元。海绵城市管控单元编码采用 2~3 位数字,第 1 位为第 1 级管控单元编号,第 2 位为第 2 级管控单元编号,依次类推。

本次研究区管控单元直接划分为 2、3 两级,因此采用 2 位数字编码,例如 2 级 5 号汇水区下第 15 号管控单元编码为:2-5-15(管控单元等级为第 3 级)<sup>[1]</sup>。

3.3.3 数据库实现

基于研究区基础地理数据,运用 ArcCatalog 平台创建、导入研究区海绵城市相关要素集、要素类和表、栅格等数据构建“南京河西海绵城市管控地理空间数据库”,在统一地理空间坐标系、关联研究相关属性表后完成数据库构建,进而实现对研究区海绵城市管控单元地理空间数据的存储、组织、查询及管理等功能。

研究区海绵城市管控单元地理空间数据库示意如图 6 所示。

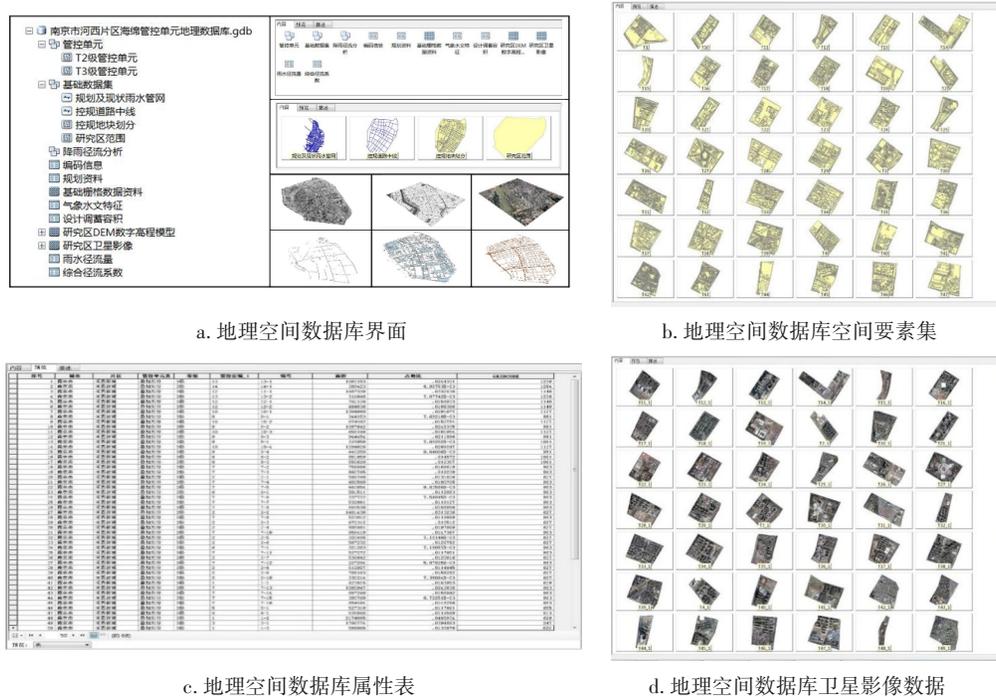


图6 研究区海绵城市管控单元地理空间数据库示意

Fig.6 Schematic of the geospatial database of sponge control units in the study area

#### 4 结论

海绵城市管控单元划分是海绵城市规划设计、建设落地与后期运维的基础,其结果直接影响海绵城市规划设计及绩效评价的精准性。借助地理空间数据库对海绵城市管控单元进行划分与管理可为海绵城市建设提供基础数据工具。以南京市河西新城中部地区为例,从海绵城市下垫面单元分割、概化分类、管控单元划分、数据库构建等方面介绍了海绵城市地理空间数据库的构建方法,可为相关实践案例海绵城市建设提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 邓富亮,金陶陶,马乐宽,等. 面向“十三五”流域水环境管理的控制单元划分方法[J]. 水科学进展,2016,27(6):909-917.  
DENG Fuliang, JIN Taotao, MA Lekuan, *et al.* Dividing method of control units for watershed environmental management in the 13th national five-year plan[J]. *Advances in Water Science*, 2016, 27(6): 909-917(in Chinese).
- [2] 王玉芳. 基于GIS的城市雨水汇水区优化研究[D]. 南京:南京师范大学,2007.  
WANG Yufang. GIS-based Urban Stormwater

- Catchment Area Optimization Study [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007(in Chinese).
- [3] 郭羽. 上海市海绵城市规划方法与控制指标研究[J]. 城乡规划,2019(2):25-32.  
GUO Yu. Study on planning method and control index of Shanghai sponge city [J]. *Urban and Rural Planning*, 2019(2):25-32(in Chinese).
- [4] 龚健雅. 空间数据库管理系统的概念与发展趋势[J]. 测绘科学,2001(3):4-9.  
GONG Jianya. Concepts and development of spatial database management [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2001(3):4-9(in Chinese).
- [5] 汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 2版. 北京:科学出版社,2012.  
TANG Guo'an, YANG Xin. Experimental Tutorial on Spatial Analysis of Geographic Information Systems [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2012 (in Chinese).

作者简介:谢明坤(1988- ),男,湖南永州人,博士,讲师,主要研究方向为海绵城市规划与设计、景观水文等。

E-mail:304645973@qq.com

收稿日期:2023-01-14

修回日期:2023-02-02

(编辑:衣春敏)