doi:10.3969/j.issn.1672-4623.2018.05. 013

基于 GIS 空间分析的区域尺度人工湿地选址

袁少雄[1,2,3]，黄光庆[1,2,3]，陈文音[1]，尹小玲[1*]，刘　峰[1]

（1. 广州地理研究所 广东省地质灾害应急技术研究中心 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室，广东 广州 510070；2. 中国科学院 广州地球化学研究所，广东 广州 510640；3. 中国科学院大学，北京 100049）

摘　要：根据土地利用、地形、坡度、土壤质地、地质灾害等数据进行分类筛选，通过 GIS 空间叠加分析得到最佳用地条件、地形地貌良好、土壤质地适宜、无地质灾害风险且靠近自然河岸的，适合建设人工湿地的用地分布情况，作为最适合区域尺度人工湿地的选址地点。以广州市为例进行分析，结果表明：①各区均包含适于建设人工湿地的可利用地，但主要分布在番禺、花都、增城、白云和南沙等区；②广州市地势北高南低，地形地貌条件较好，土壤质地粘土和壤土较多，地质灾害只有少量分布，整体用地条件较好；③可用于建设区域尺度人工湿地的土地主要分布在广州市的中南部，以白坭水道、流溪河下游、增江中下游、莲花山水道东岸、沙湾水道西南侧等周边地区为主。

关键词：GIS；空间分析；人工湿地；选址；广州市

中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2018）05-0044-04

城市湿地具有调节环境、维护生态、供应资源、促进经济社会文化效益、安全防护等综合功能；然而目前城市湿地存在面积不断减少、频繁受到污染、生态系统遭到破坏的现象，这与其选址适宜程度有一定关系[1]。人工湿地的规划选址涉及环境科学和景观规划等学科知识，选址方法包括文献研究、跨学科综合分析、案例分析和实地调研等[2-4]。对于更加宏观层面的基础服务设施选址，仅靠传统方法很难体现选址条件的准确性。利用 GIS 进行空间分析是地理学当前最有价值的财富之一，其在土地利用、交通规划、环境分析和规划、服务分配等方面有非常广泛的应用[5]。目前 GIS 分析已应用于超市、公园、ATM、中小学、商业网点以及其他公共服务设施的选址中[5-6]，但将其应用于人工湿地规划选址中的研究较少。本文以广州市为例，采用 GIS 空间叠加分析功能对人工湿地建设所需要的地质、地貌、水文、土壤以及地质灾害条件等因素进行分析筛选，完成了区域尺度人工湿地的选址。

广州市经济发达，人口密集，常住人口约为 1 300 万人。广州市 1 a 产生的城镇生活污水约为 141 000 万 m^3，因此处理生活污水、防治河涌污染，是广州市政府面临的严峻问题[7-9]。近年来，广州市政府积极推行生态城市建设，为“花城、绿城、水城”建设做了大量的相关政策研究。人工湿地的功能和特点符合广州建设生态城市的总体目标，若采用人工湿地处理广州市生活污水，将面临诸多中观或宏观层面的科学问题，如区域级的人工湿地选址分布等。针对该问题，本文根据广州市的实际情况，利用 GIS 空间叠加分析功能分析了区域级人工湿地潜在选址点的分布情况，以期为生态城市建设过程中基础生态设施规划以及相关领域提供参考。

1　研究方法

1.1　人工湿地建设的基本要求

人工湿地的选址必须根据地质、地貌、水文、污水出口等自然环境状况以及市政规划等因素来确定[10-11]，选址时应利用地形图、地质图、航空摄影图、土壤调查图、水文调查图以及其他相关资料进行对比确定[12]。人工湿地应尽量靠近污染源，同时应考虑选址的自然坡度[13]，选择污染物流经的地带或没有利用的闲置土地[14]，具有足够的空间使污水有合理的停留时间，最好选择粘性土壤的底质；一般情况下，人工湿地选址应避开自然遗产保护区、考古或历史资源保护区、濒危物种保护区等[13]。人工湿地面积越大，容纳污水量越多，污水停留时间越长，处理效果越好[13]，由于本文是为以市、区为单位的区域级人工湿地选址，且广州市当前人口产生的生活污水将达 387.80 万 m^3/d，小面积的湿地无法有效处理[15]，所以本文以面积大于 0.01 km^2 的可用地为选择目标。

广州市地势东北高、西南低，地貌类型包括中低山、丘陵、台地和平原等，受岩性、构造控制较为明显。广州市位于珠江三角洲顶部，水系发达，外有东江北干流、珠江前后西航道以及虎门、蕉门、洪奇门 3个出海通道；内有流溪河、增江以及三角洲河网水道、山区小溪，建成区共有河涌 231 条、河道总长 913 km，

收稿日期：2017-02-15。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41271029）；广东省自然科学基金资助项目（2015A030313852）；广东省科技计划资助项目（2015B070701020）。
（* 为通讯作者）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

因此广州市具有较理想的建设人工湿地的自然环境。但是作为特大城市，广州市的城市、建制镇以及村庄面积占了绝大部分主城区，密集的城市建设使人工湿地的选址受限。

1.2　人工湿地选址方法

本文利用广州市土地利用、地形、坡度、土壤质地、地质灾害等数据，通过 GIS 筛选分析，获取了广州市区域尺度人工湿地选址点。首先在土地利用类型中，将坑塘水面、裸地、其他草地以及其他园地等作为湿地建设的可利用地，可排除与自然遗产保护区、考古或历史资源保护区以及濒危物种保护区的冲突；然后通过 GIS 对面积大于 0.01 km^2 的可利用地进行筛选，按邻近河流水系 1 km，土壤底质为粘土和壤土，坡度小于 5° ，避开地质灾害等条件进行选址分析。选址分析技术路线见图 1，具体筛选条件见表 1。

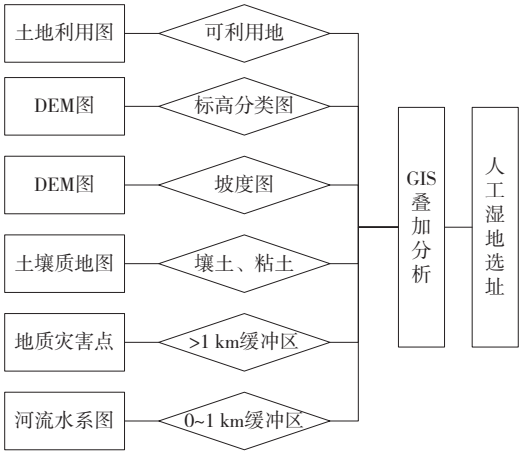

图 1　基于 GIS 的人工湿地选址技术路线

表 1　人工湿地选址条件

代码	选址筛选因素	筛选条件	筛选	赋值
A	坑塘水面、裸地、其他草地、其他园地	面积 >0.01 km^2	保留	1
		面积 <0.01 km^2	舍弃	0
B	地形	2 m< 标高 <25 m	保留	1
		其他	舍弃	0
C	坡度	0< 坡度 <5°	保留	1
		其他	舍弃	0
D	土壤质地	壤土、粘土	保留	1
		其他土壤	舍弃	0
E	地质灾害	缓冲区 >1 km	保留	1
		缓冲区 <1 km	舍弃	0
F	河流缓冲区	0< 缓冲区 <1 km	保留	1
		缓冲区 >1 km	舍弃	0

按照筛选条件对筛选因素进行重新分类并赋值，再对筛选因素 A~F（图 2~7）进行叠加分析，获取各因素的加权值，最后取最高值作为最佳人工湿地选址点。

1.3　数据来源

本文采用的土地利用图、河流水系图来源于第二次全国土地调查广州地区数据，精度为 1 ： 10 000；DEM 来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云 GDEMV2 30 m 分辨率的 DEM 数据；土壤质地图来源于广东省生态环境与土壤研究所广东省数字土壤 V2.0 土壤质地数据，精度为 1 ： 100 万；地质灾害图来源于广东省 2015 年度地质灾害防治方案《广东省 2015 年威胁 100 人以上地质灾害隐患点一览表》中的广州地区数据。

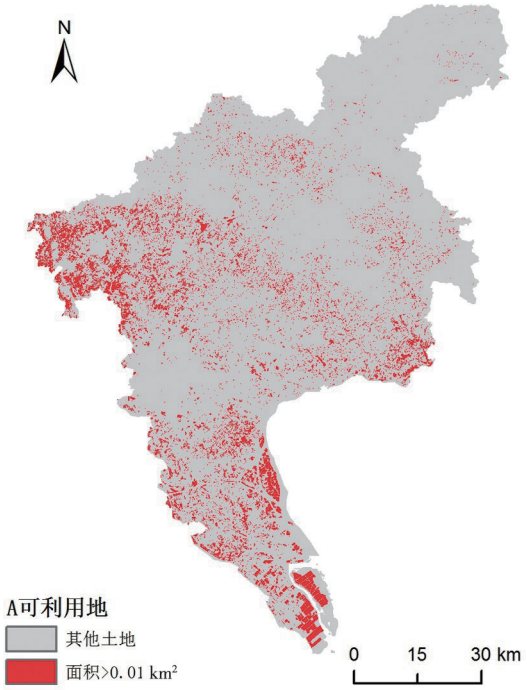

图 2　GIS 人工湿地选址筛选因素“A 可利用地”示意图（审图号：GS(2015)2583）

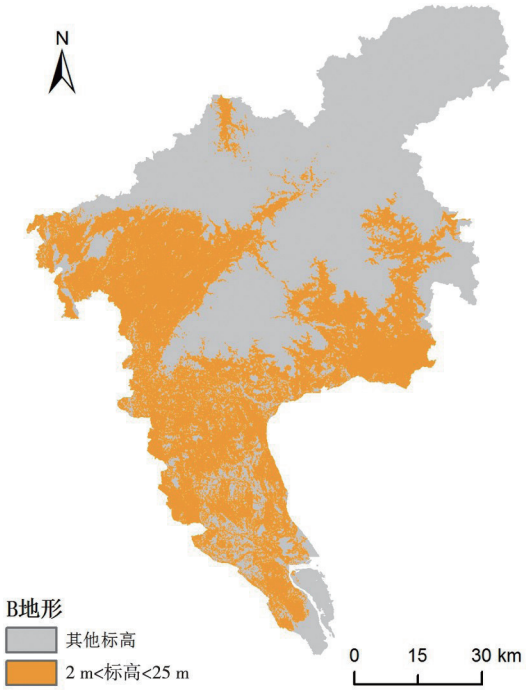

图 3　GIS 人工湿地选址筛选因素“B 地形”示意图（审图号：GS(2015)2583）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

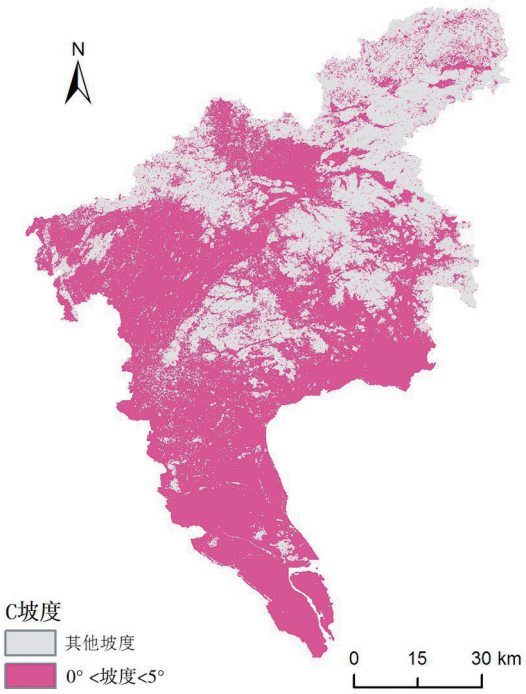

图 4 GIS 人工湿地选址筛选因素“C 坡度”示意图
（审图号：GS(2015)2583）

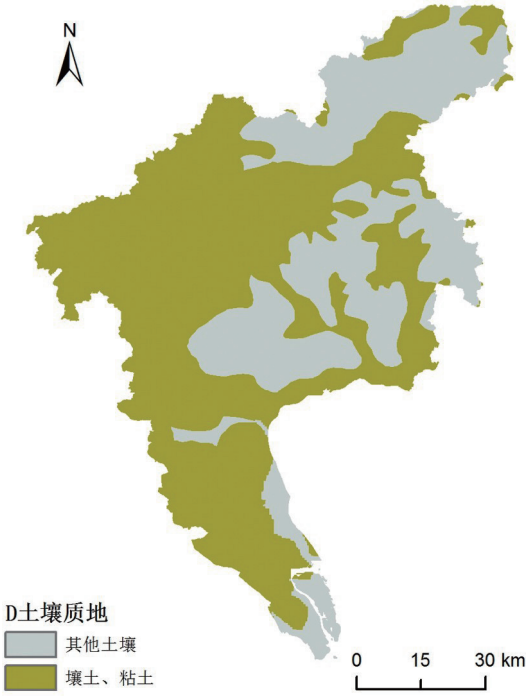

图 5 GIS 人工湿地选址筛选因素“D 土壤质地”示意图
（审图号：GS(2015)2583）

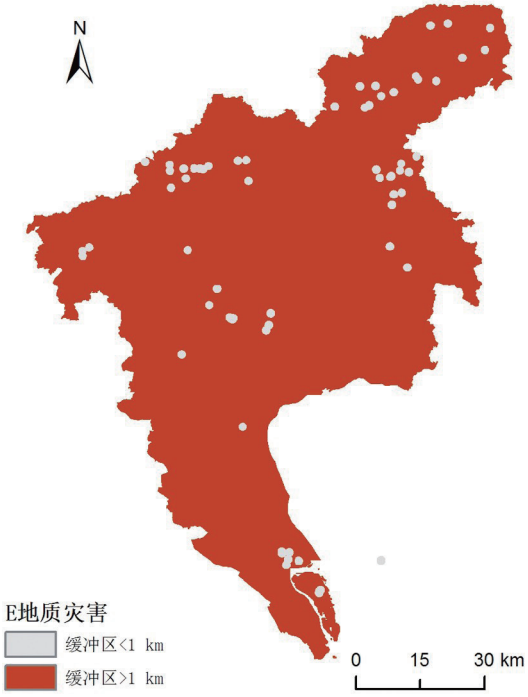

图 6 GIS 人工湿地选址筛选因素“E 地质灾害”示意图
（审图号：GS(2015)2583）

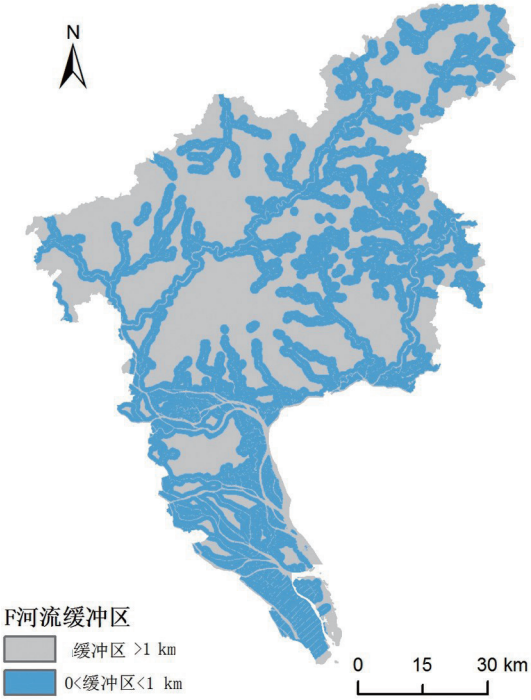

图 7 GIS 人工湿地选址筛选因素“F 河流缓冲区”示意图
（审图号：GS(2015)2583）

2 结果分析

2.1 可利用地面积

首先通过土地利用因素对面积大于 0.01 km^2 的可用地进行分析，广州市海珠、黄埔、荔湾、天河和越秀等 5 个主城区可用于人工湿地建设的土地较少，其余各区均有大量可用于区域人工湿地建设的土地；再通过 GIS 对地形、坡度、土壤质地、地质灾害、河流缓冲区等因素进行叠加分析，除越秀区没有任何适建土地外，从化、海珠、黄埔、荔湾、萝岗以及天河 6个区中仍有少量适于建设区域级人工湿地的土地，白云、番禺、花都、南沙和增城均有大量适建土地；若考虑污水（中水）的跨区湿地处理，总体而言，广州市有足够适于建设区域级人工湿地的土地（表 2）。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　广州市各区坑塘水面、裸地、其他草地、其他园地等可利用地面积 / km^2

行政区	分析前可利用地面积	分析后适建土地面积
白云区	61.20	23.13
从化市	15.24	2.12
番禺区	106.00	52.68
海珠区	0.76	0.59
花都区	131.12	47.70
黄埔区	1.55	0.90
荔湾区	2.63	1.18
萝岗区	17.07	1.14
南沙区	81.24	20.90
天河区	3.25	0.11
越秀区	0.02	0.00
增城市	67.23	34.14
总计	487.32	184.60

2.2　人工湿地选址条件分析

各区均存在适建人工湿地的可利用地，但主要分布在番禺、花都、增城、白云和南沙等区。广州全市地势北高南低，标高在 2~25 m 的土地主要分布在花都、增城以及白云山以南的区域；0~5° 的坡度与地形分布较相近，但从化区域沿 S355 线两边坡度变化较小；主要土壤质地包括中壤土、中粘土、轻壤土、轻粘土、重壤土和砂壤等，完全沙质的土壤较少，多数可利用地适建人工湿地，壤土和粘土主要分布在流溪河下游、花都区、增江河两岸、荔湾区和海珠区以南的区域；地质灾害类型主要为滑坡、崩塌，分布在北部以及白云山周边，亦有少量岩溶塌陷，分布在白坭水、琶江河以及增城北部等区域。总体而言，广州市可用于区域级人工湿地建设的土地较多，地形地貌、土壤条件较好，地质灾害不多，用地条件较好。

2.3　人工湿地选址分布分析

经过叠加分析可知，适建区域尺度人工湿地的土地主要分布在广州市中南部，多分布在花都、增城、番禺、南沙和白云等区。按流域来看，其主要分布在琶江河上游、白坭水道、流溪河下游、增江中下游、珠江南河道以南、砺江上游、莲花山水道东岸沙湾水道西南侧等周边地区。由图 8 可知，可用于人工湿地建设的土地在广州市整体分布不均匀，主要分布在花都、增城、番禺、南沙等远郊人少的区域，而荔湾、越秀、天河、海珠等人口集中的区域内只有极少分布。

3　结　语

本文根据土地利用、地形、坡度、土壤质地、地质灾害等数据进行分类筛选，再通过 GIS 空间叠加分析得到最佳用地条件、地形地貌良好、土壤质地适宜、无地质灾害风险且靠近自然河岸的，适合建设人工湿地的可利用地分布情况，以本文所限的条件，该类可利用地为最适合区域尺度人工湿地选址的地点。通过

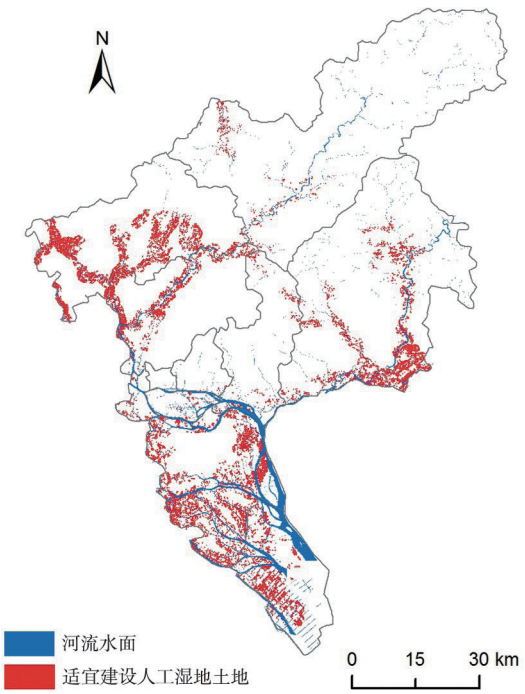

图 8　广州市区域尺度人工湿地选址分析示意图
（审图号：GS(2015)2583）

广州市的实例分析，得到以下结论：

1）各区均有适建人工湿地的可利用地，但主要分布在番禺、花都、增城、白云和南沙等区。

2）广州市地势北高南低，地形地貌条件较好，粘土和壤土较多，地质灾害只有少量分布，整体用地条件较好。

3）适建区域尺度人工湿地的土地主要分布在广州市中南部，以白坭水道、流溪河下游、增江中下游、莲花山水道东岸、沙湾水道西南侧等周边地区为主。

相对于传统污水厂，人工湿地具有投资费用少，建设、运营成本低廉，经济效率显著，污水处理效果好，可作为城市湿地景观等特点，可为城市增加极好的生态环境效益[16-18]，对提升城市水环境质量有重要作用。近年来，广州市的白云区、海珠区通过人工造湖，分别新增湖泊湿地面积 2.07 km^2 和 1.5 km^2，尽管人工湿地的建设比湖泊开挖难度更大，但从工程量和工程措施上来看，区域级人工湿地的建设具有一定可行性。

参考文献

[1] 黄利 . 武汉市湖泊型城市湿地公园选址适宜性研究 [D]. 武汉：华中农业大学 ,2015:1-2
[2] 戴利斌 . 分布式景观型污水处理厂景观规划设计研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学 ,2014:10-12
[3] 刘婷璐 . 湿地公园服务设施的研究 [D]. 北京：北京林业大学 ,2015:5-6
[4] 孙贺 . 滨海湿地实验区生态化规划设计策略研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学 ,2013:20-21
[5] 闫常鑫 . 基于 GIS 的超市选址规划研究 [D]. 西安：西安建筑科技大学 ,2004:1-6

（下转第 56 页）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

驶态势不同。综上所述，基于车道驾驶态势的变化和分布，构建 lanezone 级别及其内部的车道拓扑关系，可实现顾及变道信息在内的车道级路径规划，为自动驾驶提供更为精确的车道级感知和认知基础。

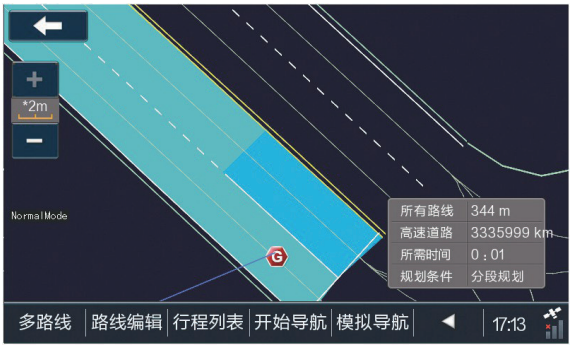

图 8　车道级路径规划展示

4　结　语

针对高精度地图在自动驾驶中的应用，本文提出了一种基于车道驾驶态势的拓扑构建和路径规划方法，并进行了实验验证；实现了车道级导航功能和自动驾驶一次规划，并为自动驾驶二次规划提供可驾驶道路区间。在 lanezone 内允许车辆直行或左右变道，且保持横向水平。lanezone 之间的拓扑关系以区间纵向长度为通行代价之一，构成含权重的有向图；运用 Dijkstra 算法进行最优路径规划，完成自动驾驶一次规划。本文通过驶入和驶出接口来表达 lanezone 内部拓扑关系，可快速完成车道级路径规划，为自动驾驶二次规划提供依据。未来还需大范围实验和测试以评估和优化该方法的应用效率，并深入融合多源传感器数据，系统验证自动驾驶二次规划功能。

参考文献

[1] TAO Z, Bonnifait P, Fremont V, et al. Mapping and Localization Using GPS, Lane Markings and Proprioceptive Sensors[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems,2013,8 215(2):406−412

[2] Nedevschi S, Popescu V, Danescu R, et al. Accurate Ego−vehicle Global Localization at Intersections Through Alignment of Visual Data with Digital Map[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2013,14(2):673−687

[3] Ziegler J, Bender P, Schreiber M, et al. Making Bertha Drive: an Autonomous Journey on a Historic Route[J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine,2014,6(2):8−20

[4] LIU L M, WU T, FANG Y Q, et al. A Smart Map Representation for Autonomous Vehicle Navigation[C].International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery,2015:2 308−2 313

[5] Geiger A, Lauer M, Moosmann F, et al. Team AnnieWAY's Entry to the 2011 Grand Cooperative Driving Challenge[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2012,13(3): 1 008−1 017

[6] Bétaille D, Toledo−Moreo R. Creating Enhanced Maps for Lane−level Vehicle Navigation[J]. IEEE Transactions on Intelligent transportation systems,2010,11(4):786−798

[7] Amano H, Uchimura T. A National Project in Japan: Innovation of Automated Driving for Universal Services[M].Road Vehicle Automation 3. Springer International Publishing,2016:15−26

[8] 渡辺陽介，高田広章．運転支援・自動運転のための高精度デジタルマップ [J]. 日本ロボット学会誌 ,2015,33(10):754−759

[9] Bender P, Ziegler J, Stiller C. Lanelets: Efficient Map Representation for Autonomous Driving[C]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings,2014:420−425

第一作者简介：祖似杰，高级工程师，主要从事智能化汽车技术与管理工作。

（上接第 47 页）

[6] 张霄兵．基于 GIS 的中小学布局选址规划研究 [D]. 上海：同济大学 ,2008:1−6

[7] 金腊华，梁志宏，万雨龙，等．城市河涌水污染特征及治理措施 [J]. 城市环境与城市生态 ,2005(5):6−8

[8] 叶恒朋．广州市河涌磷污染及控制研究 [D]. 北京：中国科学院研究生院（广州地球化学研究所),2006:1−5

[9] 刘劲松，郭凌川，罗宪林，等．广州城区“雨水 − 雨水径流 − 河涌”污染链的特征 [J]. 环境化学 ,2014(6):1 040−1 041

[10] 谌柯．南充市人工湿地的规划研究 [J]. 湿地科学 ,2004(4):314−319

[11] 李杨，高华，张方方．济宁市截污导流蓄水区人工湿地规划 [J]. 山东水利 ,2014(2):40−41

[12] Hammer D A. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultura[M]. CRC Press,1989:314

[13] White S A, Taylor M D, Polomski R F, et al. Constructed Wetlands: a How to Guide for Nurseries[M]. United States Department of Agriculture,2011:13−14

[14] 臧守华．人工湿地的功能及其规划设计 [J]. 广东化工 ,2011,38(6):136−137

[15] YUAN S X,TANG G L,XIONG H X, et al. Area Estimation and Distribution Analysis of Subsurface Flow Constructed Wetlands at Regional[J]. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science,2017,51(1):12−25

[16] 白晓慧，王宝贞，余敏，等．人工湿地污水处理技术及其发展应用 [J]. 哈尔滨建筑大学学报 ,1999(6):88−92

[17] Drizo A, Frost C A, Grace J, et al. Physico−chemical Screening of Phosphate−removing Substrates for Use in Constructed Wetland Systems[J]. Water Research,1999,33(17):3 595−3 602

[18] 吴杰．城市人工湿地景观 [D]. 南京：南京林业大学 ,2012:6−7

第一作者简介：袁少雄，博士研究生，助理研究员，主要从事地理信息应用、环境科学研究。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net