

# 海绵城市建设技术适宜性分析及规划指引研究

曹万春<sup>1</sup>, 林俊雄<sup>1</sup>, 蒋彬<sup>1,2</sup>, 江心<sup>3</sup>

(1. 江苏省城市规划设计研究院, 江苏 南京 210036; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 3. 江苏省城镇供水安全保障中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 以苏州高新区为例,选择区域水文地质特征和海绵建设条件为基础因子,基于层次分析法确定权重,借助 ArcGIS 空间分析方法对区域的海绵城市建设技术适宜性进行分析。最后,依据分析结果,结合年径流总量控制率指标,提出海绵城市管控要求和指标,为城市各地块出具海绵建设要求提供指引。

**关键词:** 海绵城市; 适宜性分析; 规划指引; 评价因子

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0005-06

## Research on Construction Technology Suitability Analysis and Planning Guidelines of Sponge City

CAO Wan-chun<sup>1</sup>, LIN Jun-xiong<sup>1</sup>, JIANG Bin<sup>1,2</sup>, JIANG Xin<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Institute of Urban Planning and Design, Nanjing 210036, China; 2. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. Security Support Center for Urban Water Supply of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China)

**Abstract:** In this paper, the hydro geological characteristics and sponge city construction conditions were chosen as the basic factor. Then, based on Analytic Hierarchy Process (AHP) and the spatial analyst of ArcGIS, the suitability analysis of sponge city construction technology was analyzed. Finally, based on the evaluation results, the guidelines for sponge city construction were put forward via combination with goal of annual runoff control rate for all areas in the city.

**Key words:** sponge city; suitability analysis; planning guidelines; evaluation factor

近年,随着社会经济的不断发展和城市化进程的快速推进,城市硬化地面比例剧增,“逢雨必涝、趟水看海”似乎成了新常态,亟需深思和改变<sup>[1,2]</sup>。面对如此严峻的城市问题,海绵城市理念应运而生。以苏州高新区为例,基于影响因子分析结果,使用层次分析法确定权重,借助 ArcGIS 空间分析方法进行区域的“渗”、“蓄滞”和“净”措施的适宜性分析。最后,结合年径流总量控制率指标,提出海绵城市管控要求和指标,以期城市各地块出具海绵建设要求提供指引。

### 1 整体思路

海绵城市的核心是合理地控制城市下垫面的雨

水径流,使雨水就地消纳和吸收利用。海绵城市的六大要素,即“渗、滞、蓄、净、用、排”,既是海绵城市建设的的重要举措,也是技术本质。

在进行海绵城市技术适宜性分析时,笔者根据渗透、蓄存和净化方面的技术特征,将其分为“渗”、“蓄滞”、“净”三大模式。结合城市水文地质特征和海绵建设条件对苏州高新区的海绵城市建设技术适宜性进行分析。其中,水文地质特征主要选择场地坡度、地下水位、土壤渗透性和绿地要素为影响因子;建设条件选择各地块建设阶段、建设密度、下垫面条件和水环境污染负荷为影响因子。

在各因子评价基础上,应用层次分析法确定各

评价因子权重,并借助GIS的空间分析工具对建设地块的“渗”、“蓄滞”、“净”海绵城市建设技术适宜性进行综合分析。最后,依据分析结果,结合海绵城市建设目标进行规划指引,为出具海绵城市引导性指标提供依据。整体研究路线如图1所示。

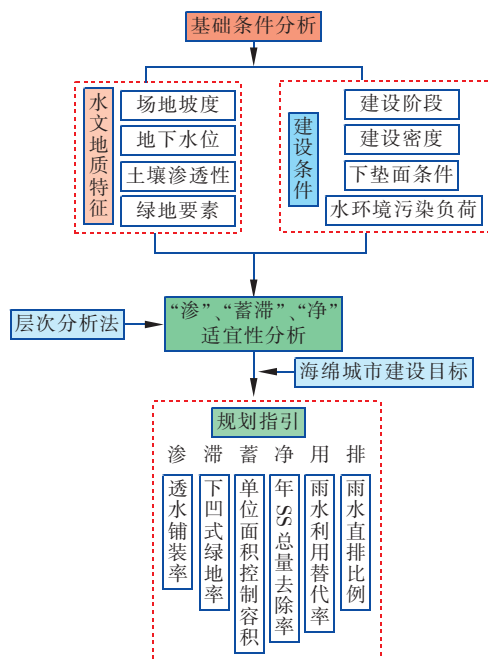


图1 研究路线

Fig. 1 Research route

## 2 基础条件分析

### 2.1 水文地质特征分析

#### ① 场地坡度

苏州高新区地处平原河网地区,地势中部高、周边低,平均坡度约1.5%。局部坡度较大,坡度超过20%,主要分布在大阳山、大石山、横山和狮山等山区丘陵区域。

#### ② 地下水位

根据《苏州城市地质调查》,高新区地下水位呈现南高北低、区域变化不大的特点,地下水位埋深约为2.0~2.5 m。总体而言,高新区地下水主要为浅层孔隙水,地下水埋深较浅,需进行土壤级配或增加多孔垫层设置以增强下渗能力。

#### ③ 土壤渗透性

根据《苏州城市地质调查》,高新区浅层工程地质类型主要包括基岩、3-1层、5-1层和6-(2+3)层。其中:3-1层以淤泥质粉质粘土、淤泥为主,渗透系数为 $(0.12 \sim 6.0) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ;5-1层以粘土和粉质

粘土为主,渗透系数为 $(0.12 \sim 6.0) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ;6-(2+3)层,以粉土和粉砂为主,渗透系数为 $(0.12 \sim 6.0) \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。全区土壤渗透性总体不佳,在进行海绵城市建设和改造中需注意土壤级配或增加多孔垫层的设置。

#### ④ 绿地要素

高新区建设用地范围内的绿地要素是指具有水源涵养、排水蓄滞和水土保持功能,包括山体、丘陵、林地、农田、公园绿地、防护绿地和生产绿地等。绿地要素可作为公共海绵空间,通过加强与非绿地用地、水体空间的衔接,可以为周边地块或道路消纳部分雨水管控指标。

### 2.2 建设条件分析

#### ① 建设阶段

根据高新区建设用地范围内各地块现状及规划用地性质、近期建设计划,将各地块分为海绵新建用地及海绵改造用地。海绵新建用地应强制海绵措施的落实,适当提高海绵指标值;海绵改造类用地适当降低指标值。

#### ② 建设密度

建设密度是指一定范围内的不透水面积占比,即用地范围内除绿地区域的用地比例。结合各片区控规绿地率管控指标,计算建设密度。结果表明,苏州高新区的浒墅关经济开发区、浒墅关镇、狮山街道、枫桥街道、东渚古镇区、通安镇建设密度较高。

#### ③ 下垫面条件

城市不同下垫面条件的产流机制和径流控制有很大差异。对高新区8 m分辨率遥感影像使用ERDAS进行下垫面解译,将高新区下垫面解译为山体、绿地、农田、水面、非绿化屋面和硬化路面等六类。

#### ④ 水环境污染负荷

近年,苏州高新区快速发展,点源及面源污染日益严重,管网错接、漏接、漏损,初期雨水污染等问题亟待解决。使用城市生活污水量计算各区域点源污染,径流系数法评估面源污染。综合点源及面源负荷,计算各区域水环境污染负荷。

### 3 海绵城市建设技术适宜性分析

层次分析法是一种将定性定量分析方法相结合的多目标决策分析方法,是通过构建判断矩阵对各评价因子重要程度两两比较,得到各影响因子权重,为适宜性分析提供依据。

采用层次分析法,优先构建层次结构指标体系,基于水文地质特征分析和建设条件分析等基础因子分析结果,采用1~9的比例标度法,创建比较判断矩阵;邀请多位相关领域专家对各影响因子的重要程度进行两两比较,并借助Yaahp软件,最终计算出各层各影响因子的权重值。

依据层次分析法所确定的各影响因子权重值,借助ArcGIS的空间分析工具,分别进行“渗”、“蓄滞”和“净”海绵城市建设技术适宜性分析,并为高新区各地块海绵城市建设提出指引。

海绵城市建设适宜性分析技术路线见图2。

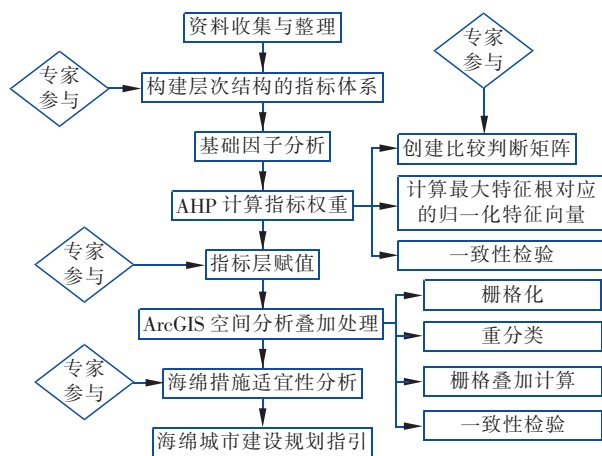


图2 海绵城市建设适宜性分析技术路线

Fig. 2 Technology roadmap of the suitability analysis of sponge city construction

### 3.1 “渗”措施适宜性分析

“渗”措施,包括透水铺装、绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留池、渗透塘等,既可减少地表径流,也可涵养地下水、缓解面源污染和改善城市微气候。

根据“渗”措施的技术特征,地下水位及土壤渗透性直接影响着“渗”措施的应用。城市建设条件、建设阶段和建设密度影响着措施落实的难易,绿地要素反映了地块中可采用“渗”措施的空间,场地坡度较小有利于“渗”措施的效能发挥,地块下垫面情况影响着该地块“渗”措施适宜应用的比例,区域水体环境较差建议采用“渗”措施对雨水水质进行净化后排入水体。

应用层次分析法结合统计学方法确定“渗”措施各评价因子权重如表1所示,借助GIS空间分析工具做叠加分析,结果如图3所示。结果表明,苏州高新区阳山以西“渗”措施应用适宜性相对较好,但因为总体地下水水位高、土壤渗透性不佳的特点,在

进行海绵城市建设和改造中仍需要注意土壤级配或增加多孔垫层的设置。

表1 “渗”措施适宜性分析参数选取

Tab. 1 Parameter selection of infiltration measures in suitability analysis

影响因子		评价赋分/分			权重
		5	3	1	
水文地质特征	场地坡度/%	0~2.0	2.0~8.0	8.0~20.0	0.05
	地下水位/m	2.5	2~2.5	—	0.25
	土壤渗透性	以粉土、粉砂为主	以粉土、粉质黏土、淤泥为主	以坚硬岩石为主	0.25
	绿地要素	有	—	无	0.08
建设条件	建设阶段	新建	改造	—	0.05
	建设密度/%	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9	0.05
	下垫面条件	绿地、农田	山地	路面、屋面	0.10
	水环境污染负荷	高	低	—	0.17

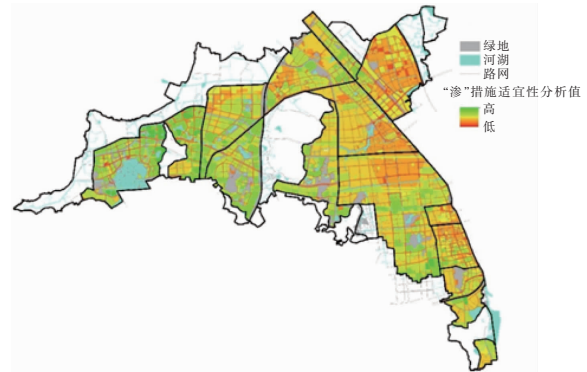


图3 “渗”措施适宜性分析结果

Fig. 3 Suitability analysis results of infiltration measures

### 3.2 “滞、蓄”措施适宜性分析

“滞、蓄”措施包括湿塘、雨水湿地、蓄水池、雨水罐、调节塘等,通过微地形调节,使降雨得到自然散落,用空间换时间,达到调蓄和错峰的目的。

根据“滞、蓄”措施的技术特征,绿地要素影响措施的布置应用及规模;建设密度反映了地块对“滞、蓄”措施的应用需求和空间问题;建设阶段影响着海绵化改造的难易程度;“滞、蓄”措施具有初期雨水净化功能,区域水体水质污染情况影响着措施的使用倾向;海绵措施在建设过程会进行结构层的改造,所以地下水水位和土壤渗透性影响较小;另外,海绵方案设计时会进行对场地进行竖向设计,所以场地坡度对该措施的影响较小。

应用层次分析法结合统计学方法确定“滞、蓄”措施各评价因子权重如表2所示,借助GIS空间分析工具做加权分析,结果如图4所示。结果表明,苏



州高新区总体滞蓄海绵建设条件较好,已建老城区建设密度高、改造难度大的区域,可积极利用场边水绿空间落实滞蓄相关措施。

表 2 “滞、蓄”措施适宜性分析参数选取

Tab. 2 Parameter selection of hysteresis and accumulation measures in suitability analysis

影响要素		评价赋分/分			权重
		5	3	1	
水文地质特征	场地坡度/%	0~2.0	2.0~8.0	8.0~20.0	0.10
	地下水位/m	2~2.5	2.5	—	0.05
	土壤渗透性	以粉土、粉质黏土、淤泥为主	以粉土、粉砂为主	以坚硬岩石为主	0.05
	绿地要素	有	—	无	0.25
建设条件	建设阶段	新建	改造	—	0.12
	建设密度/%	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9	0.18
	下垫面条件	绿地、农田	山地	路面、屋面	0.15
	水环境污染负荷	高	低	—	0.10

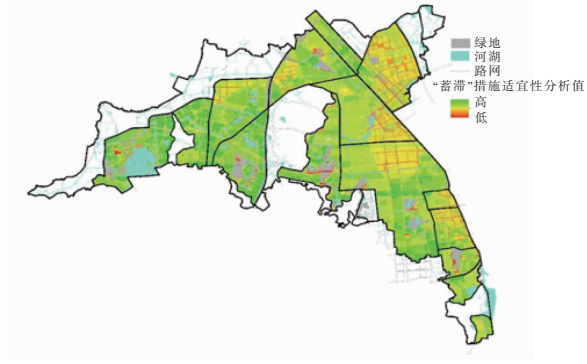


图 4 “滞、蓄”措施适宜性分析

Fig. 4 Suitability analysis of hysteresis and accumulation measures

3.3 “净”措施适宜性分析

“净”措施,包括植被缓冲带、初期雨水弃流设施、人工土壤渗滤等,通过生物滞留池、雨水湿地等的设计,强化对地块内雨水的净化作用。

“净”措施的应用,改建区域应以区域水环境问题为导向,新建区以目标为导向。当然,根据“净”措施的技术特征,还可结合“滞、蓄”措施进行布设,达到雨水净化的作用,与绿地要素和下垫面具有相关性。区域水体水质情况直接影响着水环境目标与需求;建设密度影响地块“净”措施的应用需求和空间;建设阶段影响海绵化改造的难易程度;同样,海绵措施在建设过程中会带有结构层的改造以及竖向调整,所以地下水水位、土壤渗透性和场地坡度对“净”措施方式的选择影响不大。

应用层次分析法确定“净”措施各评价因子权重如表 3 所示,借助 GIS 空间分析做加权分析,结果如图 5 所示。结果表明,“净”措施适用性较好区域为科技城、生态城等新建区,已建老城区各地块建设条件各有不同,需结合水环境需求和地块年径流总量控制率管控指标要求选择适宜的“净”措施。

表 3 “净”措施适宜性分析参数选取

Tab. 3 Parameter selection of purification measures in suitability analysis

影响要素		评价赋分/分			权重
		5	3	1	
水文地质特征	场地坡度/%	0~2.0	2.0~8.0	8.0~20.0	0.05
	地下水位/m	2~2.5	2.5	—	0.05
	土壤渗透性	以粉土、粉质黏土、淤泥为主	以粉土、粉砂为主	以坚硬岩石为主	0.05
	绿地要素	有	—	无	0.19
建设条件	建设阶段	新建	改造	—	0.09
	建设密度/%	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9	0.13
	下垫面条件	绿地、农田	山地	路面、屋面	0.14
	水环境污染负荷	高	低	—	0.30

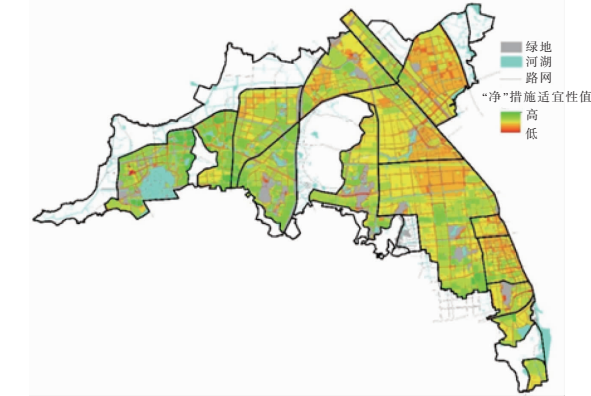


图 5 “净”措施适宜性分析示意

Fig. 5 Suitability analysis of purification measures

4 海绵城市规划指引

在每个城市、区域或项目选择的海绵城市建设模式中,应根据所需解决的水系统关键问题和建设条件,对“渗、滞、蓄、净、用、排”等不同的海绵城市技术措施有所侧重<sup>[3]</sup>。以“渗”、“滞、蓄”和“净”海绵措施适宜性分析结果为依据,参照各海绵城市技术特征,结合各地块的海绵城市建设目标,分别进行规划指引,为出具海绵城市引导性指标提供依据。

4.1 “渗”措施——透水铺装率

“渗”措施的使用可以有效改善传统硬质开发模式,降低地表径流,净化初期雨水,并可以对地下

水进行涵养。雨水渗透的方法多样,主要包括通过改变路面铺装材料的透水铺装,改造屋面构成的绿色屋顶。优选透水铺装率作为“渗”措施技术代表,以“渗”海绵措施适宜性分析结果为依据,进行地块海绵城市建设的规划指引,具体如图6所示。

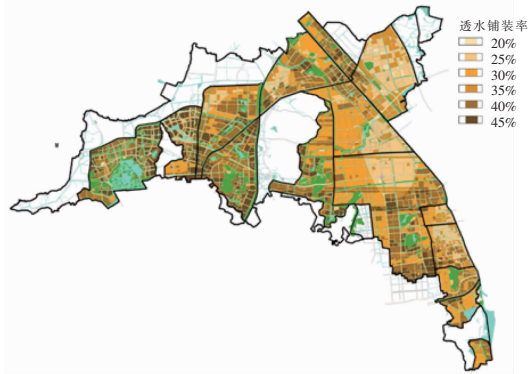


图6 “渗”措施规划指引

Fig. 6 Infiltration measures planning guidelines

#### 4.2 “滞”——下凹式绿地率

“滞”措施主要是用于延缓短时间内形成较大的雨水径流量,如通过下凹式绿地海绵化改造,进行区域微地形调节,使雨水缓慢汇集至此,用时间换空间,进行削峰和错峰。下凹式绿地包括雨水花园、生态滞留区、雨水湿地、湿塘等形式,优选其作为“蓄”措施技术代表,以“滞、蓄”海绵措施适宜性分析结果为依据,进行地块海绵城市建设的规划指引,具体如图7所示。

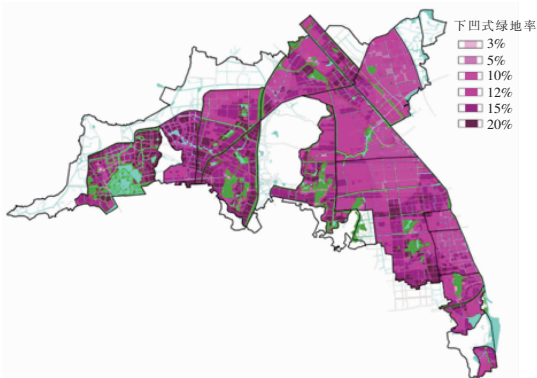


图7 “滞”措施规划指引

Fig. 7 Hysteresis measures planning guidelines

#### 4.3 “蓄”——单位面积控制容积

“蓄”措施常用形式有两种:塑料模块蓄水、地下蓄水池,除了可以用于雨水的收集利用,“蓄”还可以通过对雨水的有效蓄留,达到调蓄和错峰的目的,

防止短时间雨水集中汇集产生的内涝风险,提高地区的除水防涝能力。单位面积控制容积表征了地块单位面积雨水调蓄能力,与“蓄”息息相关,所以优选其为“蓄”措施技术代表,以“滞、蓄”海绵措施适宜性分析结果为依据,进行地块海绵城市建设的规划指引,具体如图8所示。

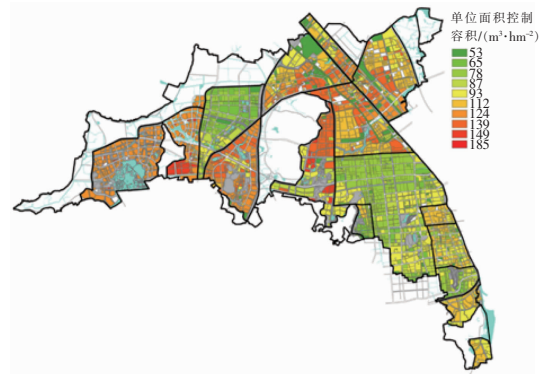


图8 “蓄”措施规划指引

Fig. 8 Accumulation measures planning guidelines

#### 4.4 “净”——年SS总量去除率

多种海绵城市技术措施对雨水净化都能起到不同程度的效果,“净”措施可以通过土壤渗滤、人工湿地和生物处理等过程实现对雨水的净化。SS往往与其他污染物指标有一定的相关性,所以优选年SS总量去除率作为“净”措施技术代表,以“净”海绵措施适宜性分析结果为依据,进行地块海绵城市建设的规划指引,具体如图9所示。

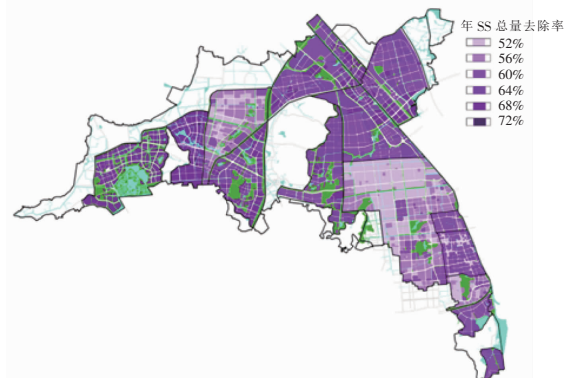


图9 “净”措施规划指引

Fig. 9 Purification measures planning guidelines

#### 4.5 “用”——雨水利用替代率

“用”措施主要表达地区对雨水的利用比例,不管是丰水地区还是缺水地区,雨水经过土壤渗滤净化、人工湿地净化、生物处理多层净化后都可以再被

利用。如此,不仅能缓解洪涝灾害,还可以充分发挥水资源的效能。选择雨水利用替代率作为“用”措施代表进行海绵城市建设的规划指引,具体如图10所示。

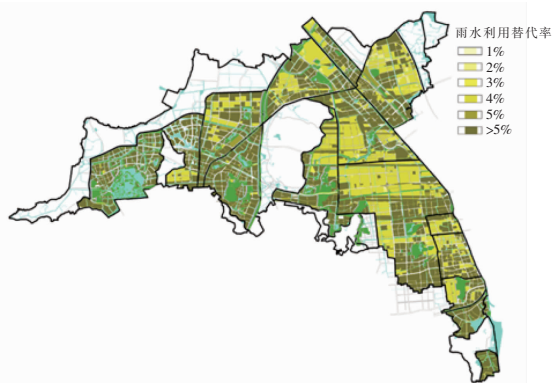


图10 “用”措施规划指引

Fig. 10 Application measures planning guidelines

#### 4.6 “排”——雨水径流直排比例

除了以上“渗、滞、蓄、净、用”措施,还可采用“排”措施,充分利用城市竖向与工程设施相结合,排水防涝设施与天然水系河道相结合,地面排水与地下雨水管渠相结合的方式,采用适宜的城市雨水管渠设计标准、城市内涝防治标准,实现一般排放和超标雨水的排放,避免内涝等灾害。

选择雨水径流直排比例高低作为“排”措施代表,以“渗”、“滞蓄”和“净”海绵措施适宜性分析结果为依据,进行地块海绵城市建设的规划指引,具体如图11所示。雨水径流直排比例高说明相关雨水管渠、排涝设施等设计标准较高。

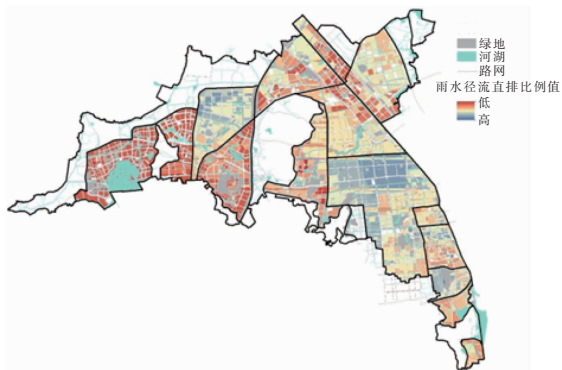


图11 “排”措施规划指引

Fig. 11 Emission measures planning guidelines

#### 5 结语

为实现城市或区域的海绵城市规划目标,具体项目落实时需对区域各地块提出年径流总量控制率

目标及引导性管控要求。海绵城市建设技术适宜性分析可以为出具区域或地块引导性指标提供依据。评价时,通过层次分析法确定权重,借助 ArcGIS 分析方法,考虑当地水文地质特征和海绵城市建设条件为评价因子具有合理性科学性。

#### 参考文献:

- [1] 车伍,赵杨,李俊奇,等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水,2015,31(8): 1-5.  
Che Wu,Zhao Yang,Li Junqi,et al. Explanation of sponge city development technical guide: Basic concepts and comprehensive goals [J]. China Water & Wastewater, 2015,31(8): 1-5 (in Chinese).
- [2] 王文亮,李俊奇,车伍,等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水,2015,31(8): 18-23.  
Wang Wenliang,Li Junqi,Che Wu,et al. Explanation of sponge city development technical guide: Planning index for urban total runoff volume capture [J]. China Water & Wastewater, 2015,31(8): 18-23 (in Chinese).
- [3] 陆峥嵘,郭平. 浅谈“因地制宜”建海绵城市——海绵城市建设模式的思考与探索[J]. 中国市政工程, 2016,(8): 28-31.  
Lu Zhengrong,Guo Ping. Discussion on sponge city according to adjust measures to local conditions: Thoughts & explorations of sponge city construction modes [J]. China Municipal Engineering, 2016,(8): 28-31 (in Chinese).



作者简介:曹万春(1980-),男,湖北秭归人,学士,高级工程师,长期从事给排水、海绵城市规划及方案设计等方面工作。

E-mail: 55824132@qq.com

收稿日期:2017-09-06