

海绵城市建设地质条件适宜性研究

——以武汉市都市发展区为例

谢纪海, 彭汉发, 夏冬生, 张娅婷, 黄群龙, 陶良

(武汉市测绘研究院, 湖北 武汉 430022)

摘要:海绵城市建设中,地质条件对低影响开发措施的布设具有重要影响。本次研究以武汉市都市发展区为对象,在充分收集和整理武汉市城市地质调查数据基础上,分析地质条件对海绵城市建设的影响机制,根据地质条件的蓄水、渗水、净水三大功能选取地面坡度、地层岩性、第四系覆盖层厚度、地下水涌水量、表层土壤污染程度、植被覆盖率、距地表水系距离 7 个指标建立评价体系,利用层次分析法计算各指标权重,并对各单指标进行分级评分,借助 Mapgis 软件对各指标数据进行叠加分析。结果表明:武汉市都市发展区大部分为海绵城市建设地质条件适宜及较适宜区,且地层岩性和地表水系为主要影响指标,低影响开发措施布设时应该考虑地质条件的渗水和蓄水特性。

关键词:海绵城市;地质条件;低影响开发;评价体系;武汉市

中图分类号:TU992;P622 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)10-0006-05

Research on Suitability of Sponge City Construction Based on Geological Conditions—Take Metropolitan Development Area of Wuhan City as an Example/XIE Ji-hai, PENG Han-fa, XIA Dong-sheng, ZHANG Ya-ting, HUANG Qun-long, TAO Liang (Wuhan Geomatic Institute, Wuhan Hubei 430022, China)

Abstract: During the construction of sponge city, geological conditions always have an important influence on choosing suitable low impact development (LID) facilities. Based on the metropolitan development area of Wuhan City, the mechanism that geological conditions influence the construction of sponge city is analyzed through processing of the urban geological survey data. According to the abilities of water storage, seepage and purification, seven factors, including surface slope, formation lithology, Quaternary thickness, volume of groundwater, extent of soil contamination, vegetation cover rate and distance from the surface drainage, are chosen to build the evaluation systems. Each factor is weighted with the analytic hierarchy process, graded according to national standards or the situation in the study area, and stacked with Mapgis. The results show that most areas are suitable or comparatively suitable for sponge city construction. Formation lithology and the distance from surface drainage are two important influence factors, and the abilities of water storage and seepage should be also taken into account in deployment of low impact development facilities in sponge city construction.

Key words: sponge city; geological conditions; low impact development; evaluation system; Wuhan City

0 引言

海绵城市—低影响开发雨水系统(LID)构建是一种新型的城市建设理念,是基于城市雨洪管理的一种可持续的城市建设模式,已被认为是破解水生态与城市发展失衡的最佳方式^[1]。在城市地质调查工作转型发展的新时期,城市地质工作可围绕海绵城市建设规划目标及低影响设施建设可能面临的地质问题开展相应的工作。

近年来,随着我国城镇化进程不断加快以及极

端天气的频发,传统的雨洪管理出现了很多问题,如城市不透水率增加导致的城市内涝问题^[2],城市垃圾随着地表径流进入自然水体造成生态污染^[3],同时,我国很多城市存在不同程度的缺水问题^[4]。因此,寻找合理有效的雨洪管理方式已成为城市建设中的重要问题。

针对目前城市中的雨洪管理问题,我国提出了通过构建海绵城市建设来降低城市内涝和强化雨水资源利用的总体思路,并于 2014 年由住房和城乡建设

收稿日期:2018-08-13

作者简介:谢纪海,男,瑶族,1976年生,地质调查分院院长,高级工程师,水文工程地质专业,硕士,主要从事城市地质调查及地质灾害防治工作,湖北省武汉市江汉区万松园路 209 号,51344552@qq.com。

设部发布了《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》,指南强调海绵城市建设应遵循规划引领、生态优先、安全为重、因地制宜、统筹建设的原则^[5],通过净水、蓄水、渗水、滞水、用水、排水实现对雨洪的管理和循环利用。目前,国内很多学者开展了海绵城市建设相关研究,袁媛^[6]通过对城市内涝问题的深入研究,认为海绵城市建设应把排水与蓄滞结合起来统一考虑以解决因排水管网系统不足引发的城市内涝问题。王俊岭^[7]基于海绵城市建设中的低影响开发技术对场地开发前后自然水文状态的复原原理,分析了低影响开发技术的主要功能。郑博一^[8]根据实例情况建立海绵城市措施决策指标体系,应用模糊层次分析法对海绵城市建设措施进行比选评价。

根据国内已有的相关研究成果可知,目前国内大多数的海绵城市建设相关研究或建设实践强调低影响开发工程设施的建设,仅有少量文献强调地质条件在海绵城市建设中的重要性^[9-10],忽略了包括地质条件在内的自然环境对雨洪的处理能力,大量工程措施的投入违背了低影响开发的建设初衷。因此,本文以研究区地质条件为基础,构建海绵城市建设适宜性评价体系,为合理布设低影响开发措施提供理论基础。

1 影响海绵城市建设地质因素分析

地形和地貌决定着雨洪水的滞留时间,当地形坡度较大,地表缺少植被覆盖时,地表径流形成就容易,下渗的雨洪水量较少,地下储水空间的调蓄能力也将受到限制^[11],坡度是影响降水入渗规律的重要地貌因素;岩土体渗透性体现了雨水通过岩土体下渗的能力,即雨水的传输能力;潜水含水层是降雨入渗补给的主要储水空间,具有较强的吸水和给水能力,其储水能力由表层岩土体的整体孔隙率和厚度决定,地表水体作为降雨最直接的容纳空间对降雨也具有显著的蓄滞能力;考虑到地表径流污染问题,受污染的土体有可能作为污染地表水体和地下水体的污染源,因此海绵城市建设中应考虑水污染问题。

2 海绵城市建设地质条件适宜性评价体系

2.1 评价指标选取

本次研究通过分析地质条件影响海绵城市建设机理,结合武汉市地质特点,遵循系统性、全面性、独

立性、实用性原则,选取地面坡度、地层岩性、第四系覆盖层厚度、地下水涌水量、表层土壤污染程度、植被覆盖率、距地表水系距离共两级 7 个指标因子作为本次研究评价指标,如表 1 所示。

表 1 评价指标层次结构

目标层	一级指标	二级指标
地质条件适宜性研究(A)	蓄水潜力(B1)	第四系覆盖层厚度(C1)
		地下水涌水量(C2)
		距地表水系距离(C3)
	渗水潜力(B2)	地层岩性(C4)
		坡度(C5)
	净水潜力(B3)	植被覆盖情况(C6)
		表层土壤污染程度(C7)

2.2 权重计算

海绵城市建设地质条件适宜性研究指标相对较多,且各指标间具有一定的独立性和关联性,需要建立系统的评价体系,因此,本次研究采用层次分析法(AHP)^[12]对各指标在评价体系中的作用程度进行量化,即建立各指标的权重值。

2.2.1 根据判断值设定判断矩阵

判断值表示下一层指标两个元素相对上一层的相对权重值,两个元素可分别设为 i 、 j ,相对权重值设为 a_{ij} ,元素的数量设为 n ,则判断矩阵可设为 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,其中, a_{ij} 的赋值可采用多种方法,本次研究采用 1~9 标度进行赋值^[13],如表 2 所示。

表 2 判断矩阵标度

a_{ij}	描述
1	i 与 j 两因素相比,具有相同重要性
3	i 与 j 两因素相比,前者比后者稍重要
5	i 与 j 两因素相比,前者比后者明显重要
7	i 与 j 两因素相比,前者比后者强烈重要
9	i 与 j 两因素相比,前者比后者极端重要
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值

2.2.2 一致性检验计算权重

若判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$,具有完全一致性,则 $\lambda_{\max}=n$,当 $n < 3$ 时,判断矩阵具有完全一致性;但当 $n \geq 3$ 时,实际构建的判断矩阵不可能做到完全一致性。一般条件下,判断矩阵具有相对一致性时即可满足要求。判断矩阵一致性计算公式如下:

$$CR=CI/RI, CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$$

式中: λ_{\max} ——判断矩阵最大特征根。

当 $n=3$ 时, $RI=0.58$ 。当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性可以接受;当 $CR \geq 0.1$ 时,认为

判断矩阵的一致性不满足要求,需要对各元素的相对重要性进行调整,直至 $CR < 0.1$ 。

按照上述步骤首先建立第一层级指标(B)对目标层(A)的判断矩阵(表3)求得第一层级指标对目标层的权重,然后建立第二层级指标(C)相对第一层级(B)的判断矩阵(表4~6)求得第二层级各指标对第一层级的权重,最终通过逐级计算获得第二层级指标(C)各元素相对目标层(A)的权重值。

表3 B-A 判断矩阵

指标	B1	B2	B3
B1	1	1/2	4
B2	2	1	5
B3	1/4	1/5	1

表4 C-B1 判断矩阵

指标	C1	C2	C3
C1	1	1/2	1/5
C2	2	1	1/3
C3	5	3	1

表5 C-B2 判断矩阵

指标	C4	C5
C4	1	4
C5	1/4	1

表6 C-B3 判断矩阵

指标	C6	C7
C6	1	2
C7	1/2	1

根据计算要求,判断矩阵 B-A 和 C-B1 需要进行一致性计算,一致性指标 CR 分别为 0.0212 和 0.0032,满足一致性要求。对以上 4 个判断矩阵求解最大特征根及对应的特征向量,特征向量进行归一化后即各指标的权重值,如表 7 所示。

表7 各评价指标权重

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
权重	0.041	0.076	0.216	0.456	0.114	0.065	0.032

3 武汉市海绵城市建设地质条件适宜性评价

3.1 研究区概况(参见图 1)

本次研究以武汉市都市发展区为研究对象,地质资料主要来源于武汉市城市地质调查工作。武汉市地理位置在东经 $113^{\circ}41'$ ~ $115^{\circ}05'$ 、北纬 $29^{\circ}58'$



图1 研究区范围

~ $31^{\circ}22'$, 全境面积 8494 km^2 , 为湖北省面积的 4.6%, 其中, 都市发展区范围面积为 3469 km^2 。研究区位于江汉平原东部, 属平原边缘隆起地带, 北靠大别山, 区内地形北高南低, 总体地貌表现为平原上残丘突露景观(约占总面积的 5%), 水系发达(约占总面积的 25%), 其余为剥蚀堆积低岗和冲洪积平原。区内地层浅部为剥蚀堆积、冲洪积成因的第四系粘性土、砂层, 深部基岩为古生界—新生界地层, 岩性包括泥岩、砂岩、灰岩、页岩、硅质岩等。武汉市第四系覆盖地层薄, 除武昌洪山广场、汉阳王家湾古河道段外, 厚度一般 $20\sim 50 \text{ m}$, 在低丘地段(如武汉大学、龟山、蛇山), 基岩直接出露地表^[14]。

3.2 适宜性评价

结合武汉市海绵城市建设实际情况, 针对 7 个评价指标, 分别建立单指标评价指数分级标准, 评分按 10 分制, 如表 8~14 所示。

表8 第四系覆盖层厚度适宜性评判指数

厚度/m	评价指数	厚度/m	评价指数
>30	(8,10]	5~10	(2,4]
20~30	(6,8]	<5	(0,2]
10~20	(4,6]		

表9 地下水涌水量适宜性评判指数

分级	单孔涌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	评价指数
丰富	>1000	(8,10]
较丰富	500~1000	(6,8]
中等	100~500	(4,6]
贫乏	10~100	(2,4]
极贫乏	<10	(0,2]

表 10 水体适宜性评判指数

距水体距离/m	评价指数	距水体距离/m	评价指数
<100	(8,10]	500~1000	(2,4]
100~200	(6,8]	>1000	(0,2]
200~500	(4,6]		

表 11 岩土类型适宜性评判指数

岩层代号	岩性	评价指数
Qp ₂ w ^{al} 、Qp ₁ y ^{al}	半固结—松散砂砾、泥砾	(8,10]
Qh _z ^{al} 、Qp ₃ q ^{al} 、Qp ₃ x ^{al} 、Qp ₂ w ^{al}	松散—密实砂土	(6,8]
Qh _z ^{lal} 、Qp ₃ x ^{lal} 、Qp ₂ w ^{lal}	可—硬塑、中—低压缩性粘土	(4,6]
Qh _z ^l	软—流塑、高压缩性淤泥类软土	(2,4]
基岩	各类出露基岩地区	(0,2]

表 12 坡度适宜性评判指数

坡度/(°)	评价指数	坡度/(°)	评价指数
<2	(8,10]	10~15	(2,4]
2~5	(6,8]	>15	(0,2]
5~10	(4,6]		

表 13 植被覆盖率适宜性评判指数

分级	植被覆盖率/%	评价指数	分级	植被覆盖率/%	评价指数
高覆盖	>60	(8,10]	低覆盖	10~30	(2,4]
中覆盖	45~60	(6,8]	裸地	<10	(0,2]
中低覆盖	30~45	(4,6]			

表 14 表层土壤污染程度适宜性评判指数

分级	P _n	评价指数	分级	P _n	评价指数
安全	<0.7	(8,10]	中度污染	2~3	(2,4]
警戒线	0.7~1.0	(6,8]	重度污染	>3	(0,2]
轻污染	1.0~2	(4,6]			

武汉都市发展区海绵城市建设适宜性综合评价指数按下式计算:

$$Z_q = \sum T_i A_i$$

式中: T_i ——各评价因子的评价指数; A_i ——各评价因子的权重

3.3 基于 GIS 的矢量单元评价

以往的评价分析方法多为基于栅格运算的模糊综合评价法,是将矢量数据人为的划分为若干标准的栅格单元进行分析,评价单元的误差除了原始录入的矢量数据的误差外,在矢量数据划分为栅格时也会引入误差,评价的结果往往不够精确,需要反复调整来确定。因此,为了提高评价的精度,本次拟采用基于 GIS 矢量单元法进行评价^[15],即直接在单一要素矢量图的基础上进行多层空间数据的叠加运算,得到的评价单元,表现为实际的空间属性边界。利用 Mapgis K9 将各因子集权重进行叠加运算,对

空间属性进行统计分析,对综合图进行聚类归并,即可得到武汉市都市发展区海绵城市建设地质条件适宜性分区图(见图 2)。

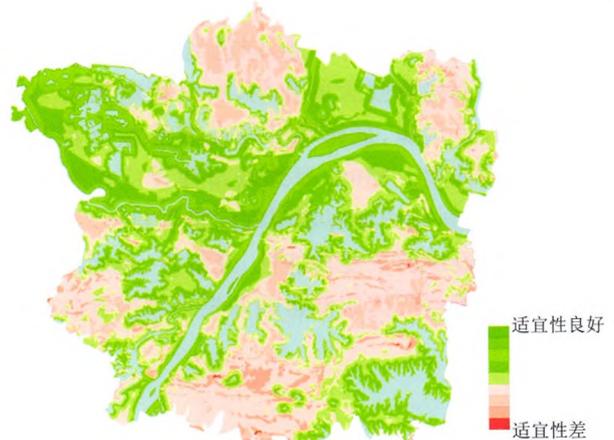


图 2 武汉都市发展区海绵城市建设地质条件适宜性分区

3.4 评价结果分析

本次评价结果仅考虑天然的地质条件对海绵城市建设影响,未考虑城区大量的不透水面积对海绵城市建设的制约,同时,研究数据为区域性城市地质调查资料(精度 1:2.5 万~1:5 万),可提供区域性海绵城市建设指向性建议,针对局部海绵城市低影响开发措施的具体布设,应结合详细勘察资料考虑。

根据适宜性评价结果,武汉市都市发展区范围大部分为海绵城市建设地质条件适宜区或较适宜区(综合评分 7 分以上),主要分布于长江一级阶地、二级阶地及江、湖周边。一方面由于武汉市都市发展区地表水系多发育,对雨洪具有天然和可观的蓄滞空间,另一方面,长江一级阶地和二级阶地分布有较厚的松散砂—砾石层,具有较大的地下储水空间和渗透性。丘陵和残丘地带适宜性一般较差,虽然该区域植被覆盖率较高,但由于第四系覆盖层较薄及基岩出露,储水空间有限,加之坡度相对较大,导致雨水渗透时间短,渗透量小。

因此,结合分区评价结果,海绵城市建设可针对不同的地质条件采取不同的低影响开发措施。例如,针对距离地表水系较近的适宜区与较适宜区,需要着重考虑利用截污净化技术对雨洪地表径流净化后排入地表水体;针对岩土体渗透性相对较高区域,可考虑强入渗能力的低影响开发措施,包括渗透塘、渗井等;针对入渗量较低的适宜性差区域,可考虑透水铺装结合调节塘等调节类设施以及植草沟等传输

类措施对雨洪进行就地消纳和区外传输。同时,由于城市污染源较多,无论采取何种低影响开发措施,应根据实际情况对雨洪径流进行净化处理。

在城市用地越来越紧张的前提下,向里面、向屋顶要绿色已经变成一种趋势,绿色建筑在阻滞雨水、净化雨水方面也有强大的作用,所以更应该大力推广低影响开发设施,低影响开发在海绵城市建设中起基础性的作用。同时,海绵城市建设应根据城市总规、专项规划及详细规划明确的控制目标,结合汇水区特征及设施的主要功能性、经济性、适用性及景观效果选择效益最优的低影响开发单项措施及综合措施。

4 结论与建议

(1)武汉市都市发展区地质条件对海绵城市建设具有显著影响,海绵城市建设应针对地质条件合理布设低影响开发措施;

(2)岩土体渗透性和地表水系是武汉市都市发展区海绵城市建设中重要因素,分别影响雨洪入渗和储存能力;

(3)海绵城市建设中低影响开发措施布设时应考虑区域性地质条件和场地勘查地质资料,同时根据城市总规、专项规划及详细规划明确的控制目标,结合汇水区特征及设施的主要功能性、经济性、适用性及景观效果选择效益最优的低影响开发单项措施及综合措施。

参考文献:

- [1] 安守林,黄敬军,张丽,等.海绵城市建设下城市地质调查工作方向与支撑作用——以徐州市为例[J].城市地质,2015,10(4):6-10.
- [2] 孙芳.基于海绵城市的城市道路系统设计研究[D].陕西西安:西安建筑科技大学,2015.
- [3] 王一帆.天津市东厂引河湿地公园在海绵城市背景下的设计研究[D].北京:中国林业科学研究院,2017.
- [4] 郑斐冉.基于低影响开发的城市雨水利用研究[D].河南郑州:华北水利水电大学,2017.
- [5] 住房和城乡建设部.海绵城市建设指南:低影响开发雨水系统构建(试行)[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [6] 袁媛.基于城市内涝防治的海绵城市建设研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [7] 王俊岭,魏江涛,张雅君.基于海绵城市建设的低影响开发技术的功能分析[J].环境工程,2016,(9):56-60.
- [8] 郑博一,谢玉霞,刘洪波,等.基于模糊层次分析法的海绵城市措施研究[J].环境科学与管理,2016,41(5):183-186.
- [9] 冶雪艳,李明杰,杜新强,等.基于地质条件的海绵城市适宜设施类型选择[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(3):827-835.
- [10] 宋子龙.城市硬化背景下潜水含水层的海绵效应和净化作用[J].湖北理工学院学报,2016,32(2):9-12.
- [11] 刘中培.大连市地下储水空间雨洪资源利用模式研究[D].吉林长春:吉林大学,2007.
- [12] 申志东.运用层次分析法构建国有企业绩效评价体系[J].审计研究,2013,(2):106-112.
- [13] 郑先昌,郑伟峰,刘伟,等.基于矢量单元法的城市地质综合评价原理及应用[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2014.
- [14] 谢纪海,夏冬生,陶良,等.武汉都市发展区浅层地热能应用潜力评价与研究[J].资源环境与工程,2018,32(2):254-258.
- [15] 黄于新,郑先昌,刘洪文,等.城市地下空间资源质量评估的矢量单元法研究——以深圳市宝安区为例[J].资源与产业,2013,(5):75-80.