

郑州市海绵城市建设的地质适宜性评价

王翠玲^{1,2}, 刘长礼^{1,2}, 吕敦玉^{1,2*}, 孟舒然^{1,2}, 刘松波¹

WANG Cuiling^{1,2}, LIU Changli^{1,2}, LYU Dunyu^{1,2*}, MENG Shuran^{1,2}, LIU Songbo¹

1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061;

2. 中国地质科学院第四纪年代学与水文环境演变重点实验室, 河北 石家庄 050061

1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China;*

2. *Key Laboratory of Quaternary Chronology and Hydro-Environmental Evolution, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China*

摘要: 海绵城市规划建设过程中, 自然及地质背景条件对低影响开发设施的布设具有重要影响。针对郑州市的 1945 km² 海绵城市规划区, 根据海绵城市建设要达到的蓄水、渗水、净水等功能, 分析地表植被、地形坡度、包气带及含水层等海绵特性, 构建了基于海绵城市建设的地质适宜性评价体系, 并用层次分析法进行评价, 结果表明: 郑州市海绵城市建设地质适宜性好的区域面积占规划区的 3.83%, 适宜性较好区域占 33.12%, 适宜性中等区域占 54.05%, 适宜性差区域占 9.00%; 郑州市规划的 12 个海绵城市重点建设区, 有 2 个覆盖不适宜建设区, 分布在龙湖片区西北部和双鹤湖片区; 航空港区有建设海绵城市的天然条件, 建议在东湖节点周围规划海绵重点建设区。海绵城市建设的地质适宜性评价结果对郑州市海绵城市规划建设有参考意义。

关键词: 海绵城市; 地质适宜性; 郑州市

中图分类号: TU984.11⁺3; P64 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2021)10-1626-10

Wang C L, Liu C L, Lyu D Y, Meng S R, Liu S B. Geological suitability evaluation for sponge city construction of Zhengzhou. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(10): 1626-1635

Abstract: Natural background and geological conditions have important influence on the layout of low-impact development facilities in the sponge city planning and construction. Aiming at the 1945 km² sponge city planning area of Zhengzhou city, according to the functions of water storage, seepage and water purification to be achieved by the construction of sponge city, based on the analysis of surface vegetation, topographic slope, vadose zone and aquifer, the geological suitability evaluation system was constructed suitable for the construction of sponge city, and it was evaluated with the analytic hierarchy process. The results show that geologically suitable area accounts for 3.83% of the total planning area, good suitability area for 33.12%, moderately suitable area for 54.05%, and poor fit area for 9.00%. Among the 12 key construction areas of sponge city planned in Zhengzhou, 2 cover unsuitable construction areas, which are distributed in the northwest of Longhu and Shuanghe Lake. There are natural conditions for building sponge city in Air Harbour. It is suggested to plan key sponge construction area around the Donghu ecological node. The evaluation result of geological suitability of sponge city construction is of reference significance to the planning and construction of sponge city in Zhengzhou.

Key words: sponge city; geological suitability; Zhengzhou

收稿日期: 2020-07-08; 修订日期: 2021-06-21

资助项目: 中国地质调查局项目《郑州城市地质调查》(编号: DD20189262) 和《黄河流域核心示范区(郑州)综合地质调查》(编号: DD20211309)

作者简介: 王翠玲(1986-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事城市地质调查及相关研究。E-mail: 892000808@qq.com

* 通信作者: 吕敦玉(1984-), 男, 博士, 副研究员, 从事城镇化进程中的地质环境效应研究工作。E-mail: lvdunyu@foxmail.com

城市化与城市发展是当前对生态环境影响最剧烈的人类活动,中国的快速城市化引发了一系列生态环境问题^[1]。水作为生态和环境的主导要素,是生态系统结构和功能的重要组成部分,也是保障国家可持续发展的战略性资源^[2]。而中国城市面临洪涝频繁、水资源短缺、水污染严重、地下水位下降、水生生物减少^[3-6]等水资源及水生态问题。为此,习近平总书记提出建设具有自然渗透、自然积存、自然净化功能的海绵城市,以期通过海绵城市建设解决城市发展中的水资源及水生态问题,进一步促进生态文明建设。

然而,目前国内海绵城市建设多通过规划低影响开发工程设施,达到渗透、积存、净化等功效,忽略了对雨水资源有天然调蓄、净化能力的包气带和含水层的利用。对城市原有生态系统的地下部分,特别是包气带及含水层的储、导水功能利用不足^[7-9],而大量利用工程措施容易造成规模小、造价高、效益有限等问题^[10]。片面的海绵城市规划建设偏离尊重自然、顺应自然的生态文明理念。

郑州市作为“国家中心城市”及“河南省海绵城市建设试点”,急需建设与国家中心城市相匹配的生态系统,来保障其可持续及高质量发展。本次研究着重考虑郑州市海绵城市规划范围内的地质环境,以研究区自然地质条件为基础,充分考虑地表、包气带、含水层的渗水、蓄水、净水性能及对浅层地下水的污染风险,构建海绵城市建设的地质适宜性评价体系,并开展适宜性评价。评价结果为优先并充分利用自然的海绵特性、因地制宜为低影响开发雨水系统布局提供依据。

1 影响海绵城市建设的自然地质要素

自然界的水循环,从降水(大气水)形成地表径流(地表水),通过包气带(土壤水)入渗蓄存于含水层(地下水),再排泄于地表水的四水转化,都是在与自然地质介质相互作用下进行的^[11-12]。

1.1 地表条件

落于地表的降水垂向及侧向运动受地形坡度、植被类型、植被覆盖度等因素影响^[13]。地形坡度越大,降水径流流动越快,产流就会越快,产流量也越大;坡度越小,降水径流流动慢,产流慢,同时雨水径流与地表的接触时间加大,有利于雨水径流下渗。因此,地表坡度越小,越有利于雨水径流的自

然下渗,且不易导致洪峰时间过快^[14]。

植被覆盖度越大,越能延缓地表径流流动速度,地表水流与土壤充分接触,从而加大雨水径流入渗率,使产流量减少^[15]。而不同植被类型的降雨入渗系数也不同,根据研究,林地>灌木丛>草地^[16]。

1.2 包气带条件

包气带是连接土壤水、大气水、地表水和地下水的纽带。包气带的岩性不同,其渗透入渗雨水的速度就不同。包气带岩性颗粒越细,空隙越少,降雨入渗通道越少,入渗系数越小,地表能下渗的雨水越少,因此地下水可以得到的雨水径流补给量也越少。研究表明,不同岩层的渗透性也不同,中粗砂>粉细砂>粉土>粉质粘土>粘土^[17]。

下渗的雨水资源进入含水层中,一部分包气带由不饱水状态变为饱水状态。因此,包气带的厚度直接影响下渗雨水的蓄存空间,包气带越厚,能蓄存的下渗雨水越多,对下渗雨水的调蓄能力越大,海绵效能越好。

下渗雨水在包气带中运移时,包气带也会对雨水有净化作用。不同的岩性及厚度的净化能力也不同。研究表明:不同岩性有不同的净化性,粘土>粉质粘土>粉土>粉细砂^[18-19]。包气带土壤能去除城市雨水径流中的污染物,当土壤厚度达1 m时,对硫、氮、磷等的去除率能达到80%^[20]。

1.3 浅层含水层条件

海绵城市建设,需要把雨水资源渗到地下,并蓄集起来。含水层的渗透系数是反映地下水渗透性能的重要指标,含水层渗透性能越好,地下水在含水层中流动越快,越利于水资源的储存^[21-23]。

虽然海绵建设会考虑雨水净化,但在时间累积的情况下,浅层地下水也有受污染的风险^[24],从而影响海绵城市的建设功效。因此,浅层地下水水质较差区,不宜作为海绵城市的建设区。

2 郑州市海绵规划建设区自然地质环境特征

根据郑州市人民政府发布的关于海绵城市的规划,共规划1945 km²海绵建设区及12个海绵重点建设区(图1)。

郑州市属暖温带半干旱气候,降雨季节变化明显。地势西高东低,西部为低山丘陵,东部为黄河冲洪积平原。低山丘陵地区包气带岩性主要为粉

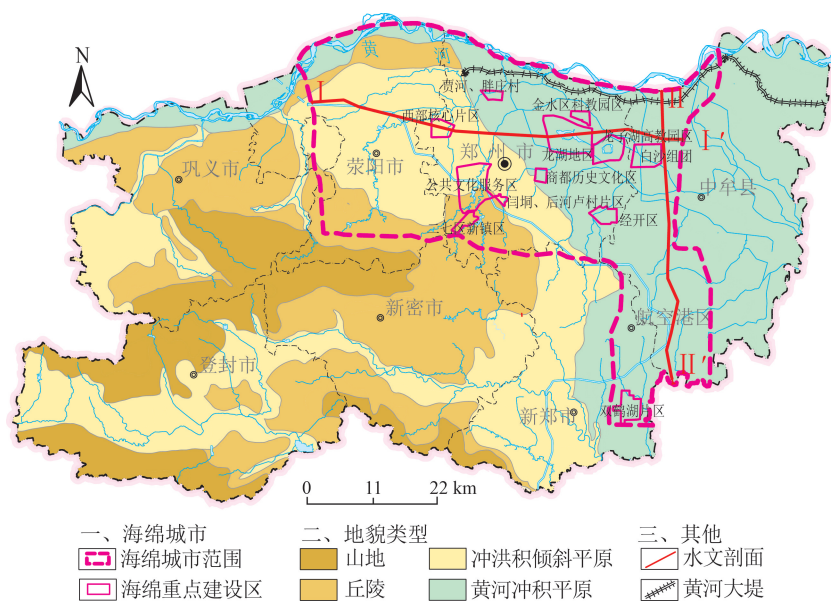


图1 郑州市海绵城市规划略图

Fig. 1 Map of sponge planning for Zhengzhou

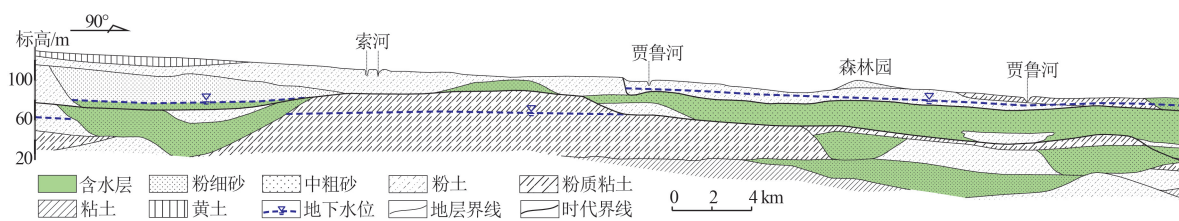


图2 I-I' 水文地质剖面图

Fig. 2 I-I' hydrogeological profile

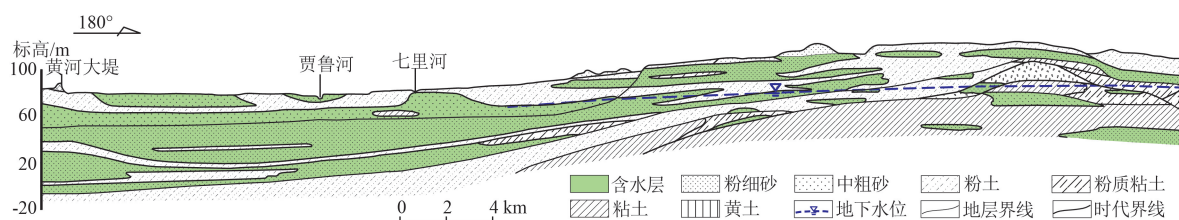


图3 II-II' 水文地质剖面图

Fig. 3 II-II' hydrogeological profile

土,水位埋深大于 20 m,浅层地下水主要为碎屑岩孔隙水,水质较好但富水性不高;东部冲洪积平原水位埋深 10 m 左右,包气带主要为粉砂、粉细砂,含水层较多但水质较差。由西向东含水层颗粒由粗变细,厚度由厚变薄,层数变多。工作区横向及纵向水文地质剖面见图 2、图 3。

将郑州市 1945 km²的海绵城市规划区作为评价范围,分析郑州市海绵规划建设区的自然地质环

境特征。

2.1 地形坡度

郑州横跨中国第二级和第三级阶地,工作区地形整体呈西高东低、南高北低的状态(图 4)。工作区西部最高海拔 239 m,沟壑发育,地形切割强烈,坡度大;工作区东部最低海拔 75 m,广阔平坦,地形坡度小。根据统计,平缓区($\leq 2^\circ$)占工作区总面积的 37%,较缓区($2^\circ \sim 6^\circ$)占 49%,较陡区($6^\circ \sim 15^\circ$)

占12%,陡峭区($>15^\circ$)占2%。

2.2 植被覆盖度

郑州市植被资源丰富(图5),但由于城市发展,城区的植被覆盖率较低,覆盖率较高的区域分布在工作区西部、航空港东部及沿黄河区域。根据统计,无植被区(植被覆盖率 $\leq 10\%$)占工作区总面积的7%,低覆盖度区($10\% \sim 40\%$)占30%,中覆盖度区($40\% \sim 70\%$)占36%,高覆盖度区($>70\%$)占27%。

2.3 包气带渗透性

评价区西部为低山丘陵区,包气带表层多为黄土状粉土,下层为粉土及粉质粘土;东部冲洪积平原包气带为砂层和粉土相间地层;在航空港东部,包气带地层以粉砂、细砂为主,渗透性较强。包气带渗透性如图6所示。

2.4 包气带厚度

工作区西部的低山丘陵区,包气带厚度较大,大面积的包气带厚度超过20 m,在东部沿黄边界,包气带厚度在5~10 m之间,航空港西北部及东部新城区东北部,包气带厚度在10~20 m之间。包气带厚度如图7所示。

2.5 包气带中非砂性土层厚度

工作区西北部包气带主要为粉土及粉质粘土,东部冲洪积平原包气带为砂层和土层相间地层,在龙湖地区、象湖片区及航空港东部零星区域包气带

全部为砂层。当包气带全部为砂层时,非砂性土层厚度为零,包气带对下渗的雨水径流的净化作用几乎为零^[25],因此选用非砂性土层厚度作为判断包气带净化能力的指标。在航空港及东部新城区东南部,包气带中非砂性土层厚度在1~5 m之间;航空港南部及东部新城区东北部,包气带中非砂性土层厚度在5~10 m;在工作区西部大部分区域,包气带中非砂性土层厚度大于10 m。包气带非砂性土层厚度如图8所示。

2.6 含水层渗透性

工作区西部大部分区域含水层渗透性差,主城区及东部新城区大部分区域含水层渗透性较好,仅在主城区北部沿黄地区分布有渗透性好的区域。含水层渗透性如图9所示。

2.7 地下水水质

由于主城区、东部新城区及航空港大部分区域,包气带的净水性较差,且人类活动较频繁,导致浅层地下水水质较差。工作区西部大面积分布水质良好区,仅在工作区西南部分布水质优良区。浅层地下水水质如图10所示。

3 郑州市海绵城市建设地质适宜性评价

3.1 评价指标体系

海绵城市建设的地质环境适宜性评价是以海绵

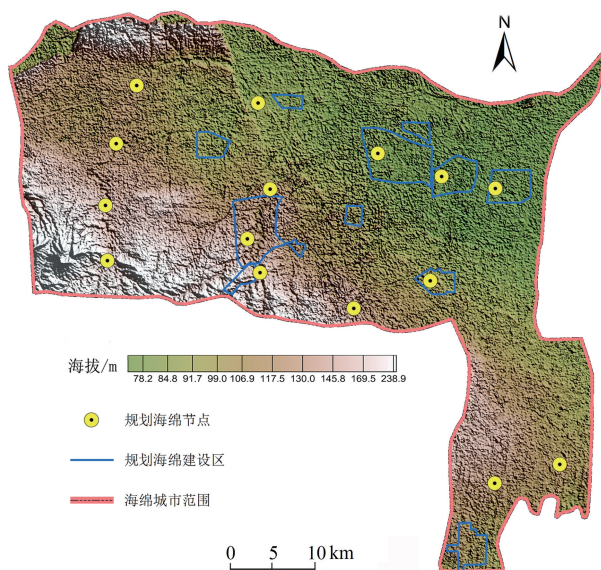


图4 地形地貌图

Fig. 4 Map of topography

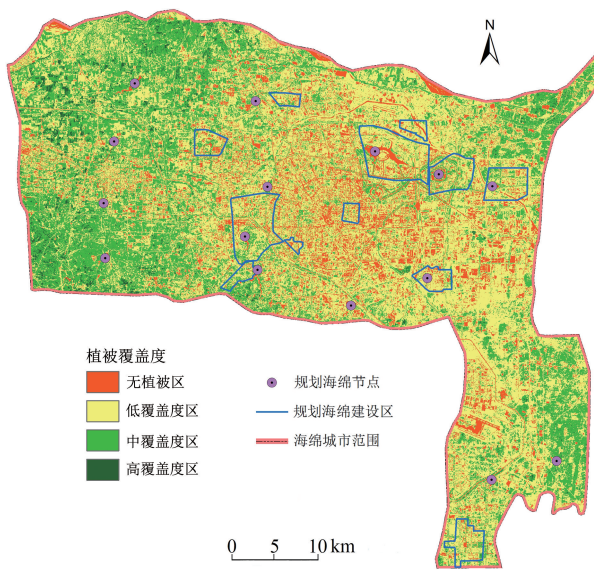


图5 植被覆盖度图

Fig. 5 Map of vegetation coverage

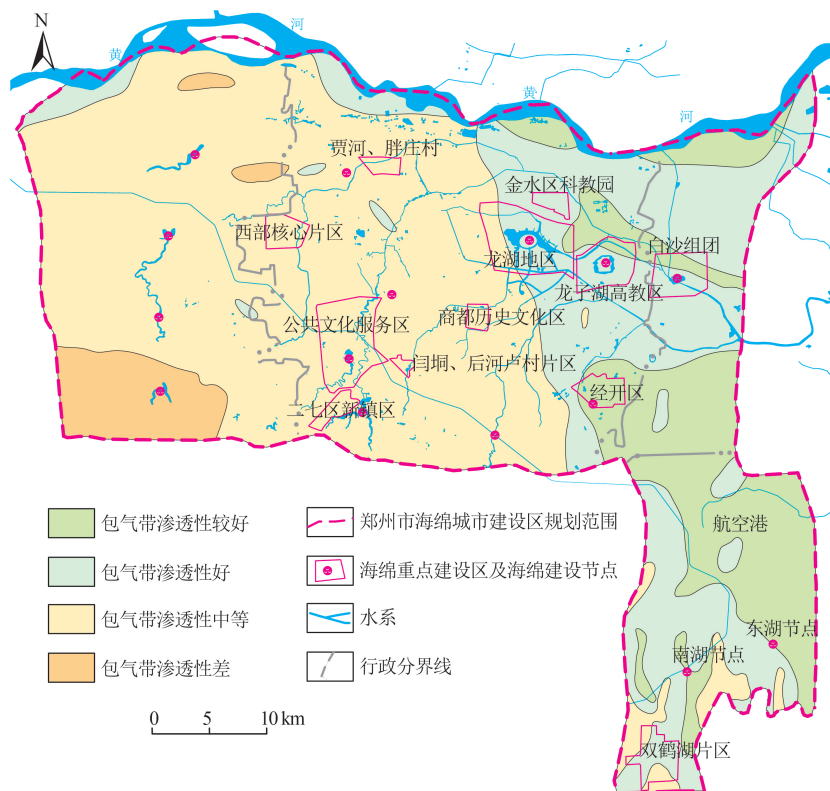


图 6 包气带渗透性图
Fig. 6 Permeability map of vadose zone

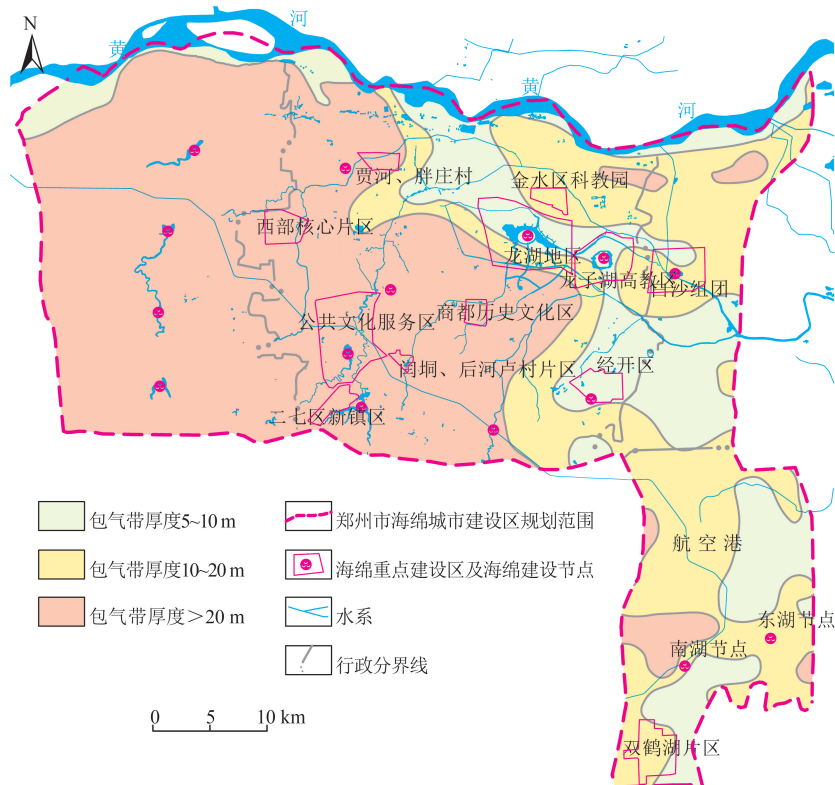


图 7 包气带厚度图
Fig. 7 Thickness of vadose zone

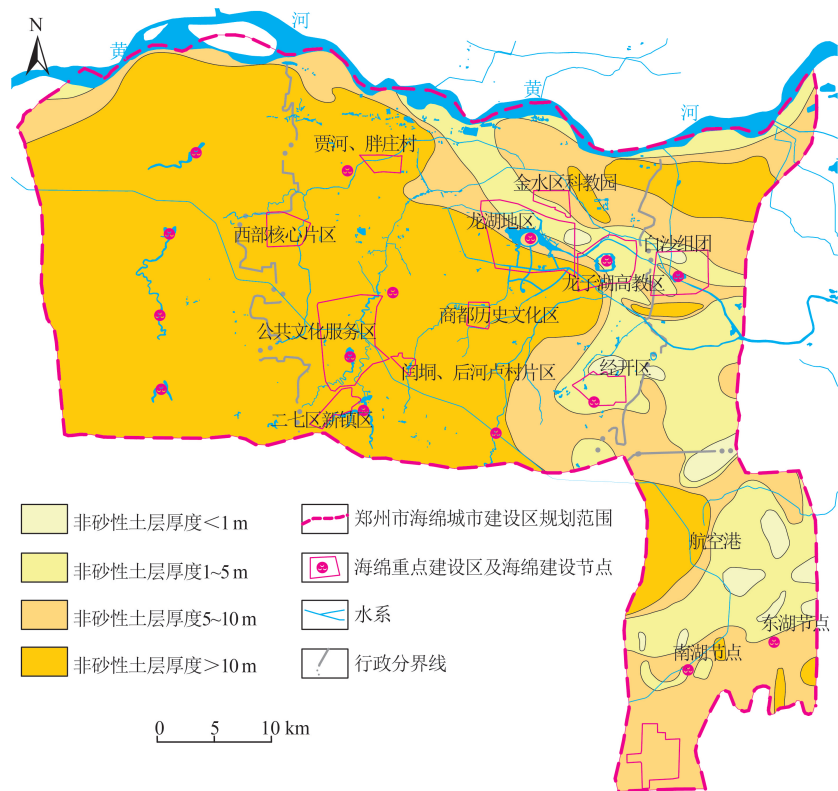


图8 包气带非砂性土层厚度图

Fig. 8 Thickness of soil layer in vadose zone

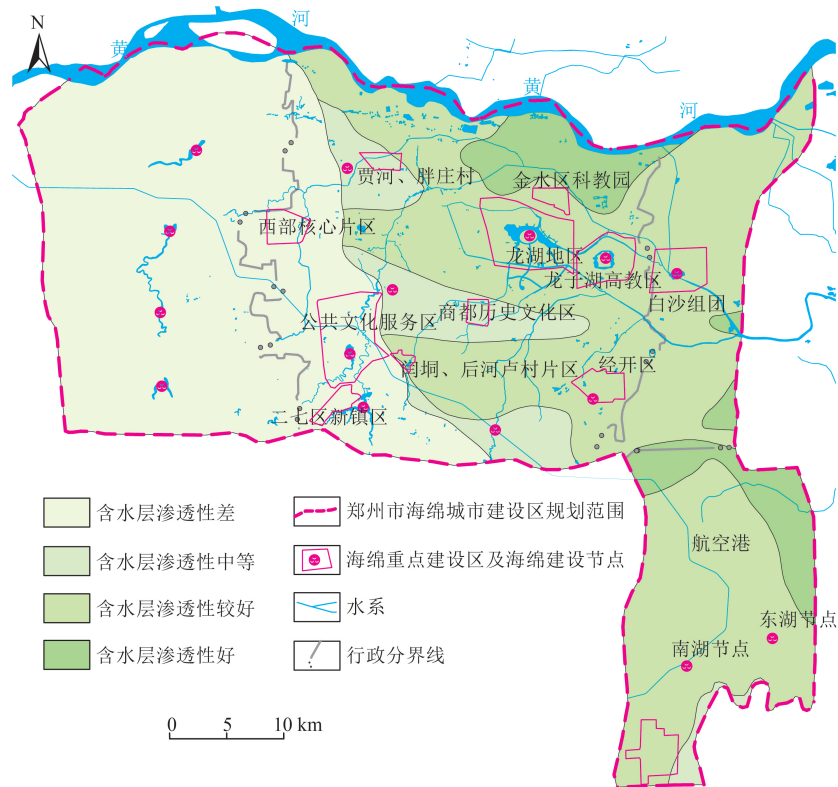


图9 含水层渗透性分区图

Fig. 9 Permeability zoning of aquifer

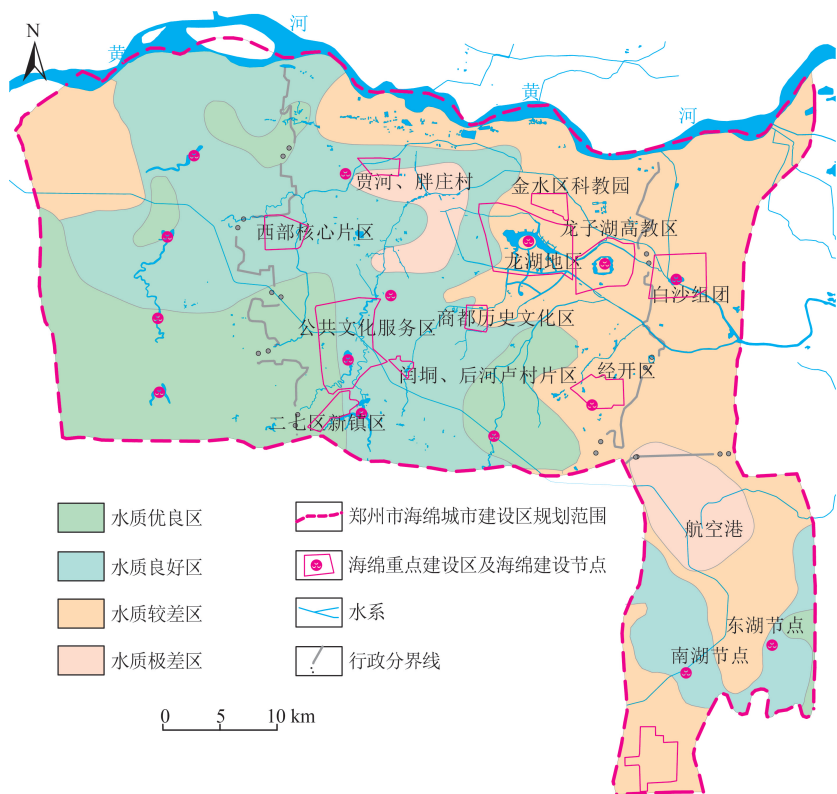


图 10 浅层地下水质量分区图
Fig. 10 Zonation of shallow groundwater quality

城市建设达到的效果为导向,筛选对海绵城市建设产生影响的主要地质环境因素。按照雨水径流下渗,由表及里建立地表、包气带、含水层 3 个一级评价指标,下属二级评价指标共计 7 个,评价指标及评价因子赋值标准见表 1、表 2。

3.2 指标权重

根据前文对各地质环境因子的分析,采用标度法两两比较得到判断矩阵,采用方根法计算一致性

CR 值,若 $CR < 0.1$,说明判断矩阵一致性较好(表 3~表 6),从而算出各个评价因子的评价权重(表 7)。

表 2 评价指标赋值表
Table 2 Evaluation index assignment

评价因子	分类标准	赋值标准
地形坡度	$>15^{\circ}$	[1,3]
	$6^{\circ}\sim15^{\circ}$	(3,6]
	$2^{\circ}\sim6^{\circ}$	(6,8]
	$<2^{\circ}$	(8,10]
植被覆盖度	<0.10	[1,3]
	0.1~0.4	(3,6]
	0.4~0.7	(6,8]
	0.7~1	(8,10]
包气带渗透性	差	[1,3]
	中等	(3,6]
	好	(6,8]
	较好	(8,10]

表 1 评价指标体系
Table 1 Evaluation index system

目标层	一级指标	二级指标
海绵城市建设 地质环境适宜 性评价(A)	地表(B1)	地形坡度(C1)
		植被覆盖度(C2)
	包气带(B2)	包气带渗透性(C3)
		包气带厚度(C4)
		非砂性土层厚度(C5)
	含水层(B3)	含水层渗透性(C6)
		浅层地下水质量(C7)

续表 2		
评价因子	分类标准	赋值标准
包气带厚度	5~10 m	[1,4]
	10~20 m	(4,7]
	≤20 m	(7,10]
非砂性土层厚度	<1 m	[1,3]
	1~5 m	(3,6]
	5~10 m	(6,8]
	≥10 m	(8,10]
含水层渗透性	差	[1,3]
	中等	(3,6]
	好	(6,8]
	较好	(8,10]
浅层地下水质量	差	[1,3]
	中等	(3,6]
	好	(6,8]
	较好	(8,10]

表 3 B-A 判断矩阵			
Table 3 B-A judgment matrix			
	B1	B2	B3
B1	1	1/3	3
B2	3	1	5
B3	1/3	1/5	1
CR=0.037			

表 4 C-B1 判断矩阵		
Table 4 C-B1 judgment matrix		
	C1	C2
C1	1	1/3
C2	3	1
CR=0.00		

表 5 C-B2 判断矩阵			
Table 5 C-B2 judgment matrix			
	C3	C4	C5
C3	1	3	5
C4	1/3	1	3
C5	1/5	1/3	1
CR=0.037			

表 6 C-B3 判断矩阵		
Table 6 C-B3 judgment matrix		
	C6	C7
C6	1	1/5
C7	5	1
CR=0.00		

表 7 各评价因子综合权重		
Table 7 Weight of evaluation factor		
评价因子	权重	权重序号
地形坡度 C1	0.0646	6
植被覆盖度 C2	0.1937	2
包气带渗透性 C3	0.4058	1
包气带厚度 C4	0.1645	3
包气带土层厚度 C5	0.0667	5
含水层渗透性 C6	0.0175	7
地下水质量 C7	0.0873	4

3.3 评价过程

本次评价采用层次分析法^[26]分层次进行海绵城市建设地质适宜性评价^[27-28],选择评价单元多因子分级加权指数和法^[29-30]。采用计算公式:

$$Is=\sum_{i=1}^n\omega'_i(\sum_{j=1}^m\omega''_{ij}\cdot X_j)$$

式中: I_s 为评价单元适宜性指数; n 为参评一级因子总数; m 为隶属于第 i 项一级因子的参评二级因子总数; ω'_i 为第 i 项一级因子权重; ω''_{ij} 为隶属于第 i 项一级因子下的第 j 项二级因子权重; X_j 为二级因子计算分值。

根据计算出的各个评价单元海绵城市建设地质适宜性指数,分为差($0<I_s\leq3$)、中($3<I_s\leq6$)、良($6<I_s\leq8$)、优($8<I_s\leq10$) 4 个等级,并根据评价结果,对比郑州市海绵城市规划,提出针对性建设意见。

3.4 评价结果

利用 MapGIS 对各指标加权求和,进行栅格计算叠加后成图(图 11),评价结果如下。

(1) 地质环境适宜性好的区域面积 74.49 km², 占海绵城市总规划区面积的 3.83%, 零星分布在东部新城北部沿黄区域、荥阳古城生态节点附近、龙湖及龙子湖片区南部及航空港区南湖和东湖生态节点附近。

(2) 适宜性较好的区域面积 644.18 km², 占总规划面积的 33.12%, 连片分布于航空港西南部、荥

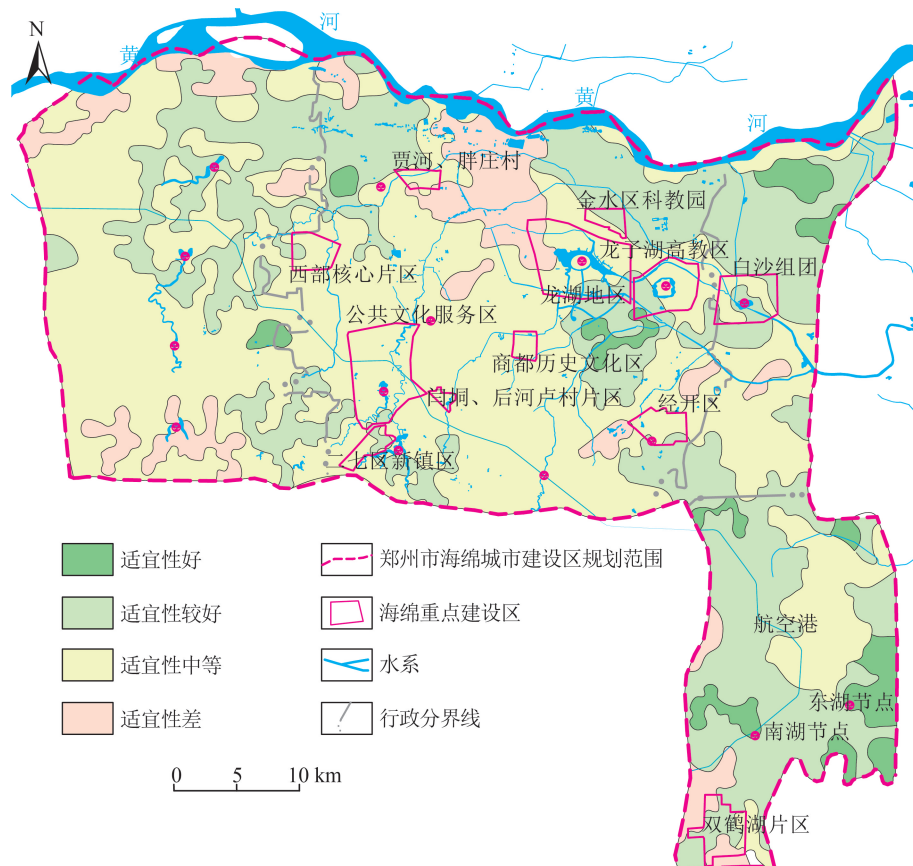


图 11 适宜性分区图

Fig. 11 Zonation of suitability

阳古城节点北部、龙湖及龙子湖片区北部及南部零星片区。

(3) 适宜性中等的区域面积 1051.27 km², 占总规划面积的 54.05%, 分布于航空港中部、楚楼水库节点附近及西流湖湿地节点周边片区。

(4) 适宜性差的区域面积 175.06 km², 占 9.00%, 成片分布于主城区北部、零星分布于丁店水库附近及西部新城区沿黄区域。

3.5 对郑州市海绵城市规划建设的建议

根据评价结果对比郑州市已规划的 12 个海绵城市重点建设区, 对策建议如下。

(1) 金水科教园区、白沙组团及双鹤湖片区的大部分区域海绵城市建设的地质适宜性良好, 地形平缓, 稍有起伏, 植被覆盖度中等, 地下分布厚层粉砂及粉细砂, 包气带及含水层渗透性较好, 有利于雨水径流下渗且地下有蓄存水资源空间, 有海绵城市建设的天然条件。但浅层地下水水质较差, 且白沙组团北部小范围包气带净化性较差, 海绵城市建设时需注意水质净化, 可设计植被缓冲带、人工土

壤渗流、初期雨水弃流等设施, 加强水质净化, 保护浅层地下水不受污染。

(2) 龙湖片区、龙子湖高教区大部分区域适宜性中等, 仅在龙湖片区东南及龙子湖高教区西南适宜性较好。由于该片区建设程度较高, 地面硬化范围大, 植被覆盖度低, 不利于雨水径流下渗, 且包气带厚度为 5~10 m, 蓄存下渗水资源的空间有限。宜规划人工湖、雨水湿地、蓄水池等地表蓄水设施, 蓄积汇聚雨水径流。由于地下蓄水空间有限, 在生物滞留池、下沉式绿地等系统里需要建设输水设施, 保证多余水量及时排走, 而不渗入地下。

(3) 贾河-胖庄村片区、西部核心片区、公共文化服务区、二七区、闫垌-卢村片区、商都历史文化区大部分区域适宜性中等, 地形起伏较大, 雨水径流汇水较快, 且包气带渗透性中等, 不利于雨水径流的下渗, 但该区域包气带厚度大, 有充足的蓄存下渗水资源的空间, 且包气带净化性好。可充分利用地下储水能力强、包气带净水能力好的条件, 在地表建设渗透塘、湿塘、雨水湿地与生态植草沟等利于雨水径

流下渗的设施,将雨水慢慢渗入地下储存。

(4)经济开发区大部分区域适宜性中等,包气带及含水层渗透性较好,有利于雨水径流下渗,但包气带厚度为10 m左右,蓄存下渗水资源的空间有限。且片区浅层地下水水质较差,北部小范围包气带净化性较差,海绵城市建设时需注意水质净化,设计植被缓冲带、人工土壤渗流、初期雨水弃流等设施,保护浅层地下水不受污染。由于地下蓄水空间有限,在生物滞留池、下沉式绿地等系统里需要建设输水设施,保证多余水量及时排出,而不渗入地下。

(5)郑州市航空港区地下水埋深大、包气带渗透性强,有建设海绵城市的天然条件,建议在航空港东湖节点周围规划海绵重点建设区,蓄存水资源量,支撑航空港国际航空物流中心的高质量发展。

4 结 论

(1)海绵城市规划建设与自然地质背景条件密切相关,基于海绵城市建设的地质适宜性评价,为优先并充分利用自然的海绵特性,因地制宜为低影响开发雨水系统布局提供依据。

(2)郑州海绵城市建设地质环境适宜性好的区域面积74.49 km²,占海绵城市总规划区面积的3.83%,适宜性较好的区域占33.12%,适宜性中等区域占54.05%,适宜性差区域占9.00%。

(3)郑州市规划的12个海绵城市重点建设区,有2个覆盖不适宜海绵建设区;航空港区有建设海绵城市的天然条件,建议在航空港东湖节点周围规划海绵重点建设区,蓄存水资源量,支撑航空港国际航空物流中心的高质量发展。

参考文献

- [1] 王效科.城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言[J].生态学报,2013,33(8): 2321.
- [2] 俞孔坚,王春连,李迪华,等.水生态空间红线概念,划定方法及实证研究[J].生态学报,2019,39(16): 5911-5921.
- [3] 张建云,王小军.关于水生态文明建设的认识和思考[J].中国水利,2014,(7): 1-4.
- [4] 仇保兴.海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J].建设科技,2015,41(3): 1-7.
- [5] 伍业钢.海绵城市设计:理念、技术、案例[M].南京:江苏凤凰科学技术出版社,2016.
- [6] 陈鸿汉.对我国地下水环境保护与防治的建议[J].中国建设信息(水工业市场),2011,(3): 25-26.
- [7] 黄敬军,武鑫,姜素,等.海绵城市建设的地质影响及适宜性评价——以徐州为例[J].地质论评,2018,64(6): 1472-1480.
- [8] 谢纪海,彭汉发,夏冬生,等.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[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10): 6-10.
- [9] 赵飞涛.海绵城市建设体系中地下水系统的作用探讨[J].湖北水利水电职业技术学院学报,2019,15(1): 46-49.
- [10] 郭旭,白耀楠,刘宏伟,等.海绵城市建设地质适宜性评价——以郑州航空港经济综合实验区为例[J].地质调查与研究,2019,42(2): 123-128.
- [11] 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.
- [12] 张晨晨,黄骅,何云,等.黄河三角洲浅层地下水埋深动态与降水的时空响应关系[J].水文地质工程地质,2020,47(5): 21-30.
- [13] 袁建平,蒋定生,甘淑.影响坡地降雨产流历时的因子分析[J].山地学报,1999,17(3): 259-264.
- [14] 王杰,王妍,许晓梁,等.坡度对坡面降雨产流规律的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2017,45(4): 372-376.
- [15] 翟慧敏,谢文全,杨先武,等.基于生态海绵体评价的海绵城市规划研究——以信阳市为例[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2018,31(3): 443-448.
- [16] 李坤,姚文艺,肖培青,等.植被对土壤入渗和地表产流过程的影响研究进展[J].中国水土保持,2017,(3): 27-30.
- [17] 古晓雯,邓钟尉,黄佳铭.城市地质调查在海绵城市建设中的应用——以广州市番禺区为例[J].广州建筑,2019,47(2): 5-8.
- [18] 刘长礼,张云,叶浩.包气带粘性土层的防污性能试验研究及其对地下水脆弱性评价的影响[J].地球学报,2006,27(4): 349-354.
- [19] 王翠玲,刘长礼,张云,等.PTA生产废液在包气带中迁移的模拟研究[J].中国环境科学,2014,34(7): 1824-1830.
- [20] 薛迎春,周悦先.对不同岩性垂直净化能力的试验分析[J].环境保护,1997,(5): 35-36.
- [21] 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.
- [22] Luong Van Viet. Effects of urbanization on groundwater level in aquifers of Binh Duong Province, Vietnam [J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2021, 9(1): 20-36.
- [23] Yang L, Zhang Y P, Wen X R, et al. Characteristics of groundwater and urban emergency water sources optimization in Luoyang, China [J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2020, 8(3): 298-304.
- [24] 李怀恩,贾斌凯,成波.海绵城市雨水径流集中入渗对土壤和地下水影响研究进展[J].水科学进展,2019,30(4): 589-600.
- [25] 孟祥帅,吴萌萌,陈鸿汉,等.某焦化场地非均质包气带中多环芳烃(PAHs)来源及垂向分布特征[J].环境科学,2020,41(1): 377-384.
- [26] 张丽,李瑞敏,许书刚,等.江苏宜兴市地质资源环境承载力评价[J].地质通报,2020,39(1): 131-137.
- [27] 蒋杰,葛伟亚,马青山,等.南昌市中心城区地下空间开发地质适宜性评价[J].地质通报,2021,40(5): 734-744.
- [28] 林燕,白秀佳,叶泽宇,等.基于ArcGIS的南通市农业生产适宜性评价[J].地质通报,2021,40(6): 968-977.
- [29] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures [J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15(3): 234-281.
- [30] Saaty T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process [J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1): 9-26.