

基于 GIS 和 LID 的雨水集蓄技术研究

——以山东省滨河小镇营丘镇为例

王浩程¹, 王琳¹, 卫宝立²

(1. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2. 青岛市勘察测绘研究院, 山东 青岛 266011)

摘要: [目的] 研究山前冲洪积平原滨河中小型镇区洪涝灾害频发, 排水不畅, 雨水资源利用不充分等问题, 为雨水集蓄设施在中小型镇区的合理规划和应用提供参考。[方法] 选择山东省潍坊市营丘镇区为研究对象, 根据研究区当前排水现状和土地利用情况, 基于 GIS 技术提出了“汇水区划分、用地类型提取、计算调蓄容积、建立技术体系、确定施工时序”的规划步骤。[结果] 综合采用“透水铺装+下凹式绿地+植草沟、简易生物滞留池+湿塘、雨水湿地”的雨水综合蓄集利用系统并规划其布局, 通过引入水文敏感指数, 规定了镇区汇水区海绵城市建设时序。[结论] 探索性地将雨洪利用工程技术与镇区景观规划相结合, 低影响开发综合设施的实际调蓄能力大于设计雨水调蓄容积, 实现了镇区雨水资源的蓄集利用。

关键词: GIS; 低影响开发; 雨水综合利用方案; 水文敏感指数

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2019)02-0155-06

中图分类号: TV213.9, TU982.29

文献参数: 王浩程, 王琳, 卫宝立. 基于 GIS 和 LID 的雨水集蓄技术研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 155-160. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.02.025; Wang Haocheng, Wang Lin, Wei Baoli. Research on rainwater collection technology based on GIS and LID[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2): 155-160.

Research on Rainwater Collection Technology Based on GIS and LID

— A Case Study at Yingqiu Town, a Riverfront Town of Shandong Province

Wang Haocheng¹, Wang Lin¹, Wei Baoli²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao,

Shandong 266100, China; 2. Survey and Mapping Institute of Qingdao City, Qingdao, Shandong 266011, China)

Abstract: [Objective] The problems of frequent flood and waterlogging disasters, poor drainage and inadequate utilization of rainwater resources in small and medium-sized riverside towns in Piedmont alluvial-alluvial plain were studied in order to provide reference for rational planning and application of rainwater storage facilities in small and medium-sized towns. [Methods] By choosing Yingqiu Town of Weifang City, Shandong Province as the research object, and according to the current drainage and land use situation of the study area, the planning steps of “sub-catchment division, land use mapping, water storage calculation, establishment of technical system and determination of construction sequence” were put forward based on GIS. [Results] The comprehensive rainwater storage and utilization system of “pervious pavement + concave green land + grass waterway, simple biological retention pond + wet pond, rainwater wetland” were adopted and its layout was planned. By introducing the hydrological sensitivity index, the order of sponge city construction in the catchment area of the township was specified. [Conclusion] This paper combines the technology of rain and flood utilization with the landscape planning of the town. The actual storage capacity of the comprehensive facilities with low impact is larger than the designed storage capacity of rainwater, which realizes the storage and utilization of rainwater resources in the town.

收稿日期: 2018-09-27

修回日期: 2018-10-14

资助项目: 2015 年住房城乡建设部科学技术项目“实现海绵型城市的规划探索: 以青岛为例”(2015-R2-026); 2017 年济南市社会民生重大专项 (201704315); 山东科技厅重点研发计划 (2016GSF117018); 国家重点研发计划项目 (2018YFC0408000; 2018YFC0408004)

第一作者: 王浩程(1994—), 男(汉族), 河北省石家庄市人, 硕士研究生, 研究方向为水资源利用与水污染控制。E-mail: 191089658@qq.com.

通讯作者: 王琳(1966—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 教授, 博导, 研究方向为水资源利用与水污染控制。E-mail: lwangouc@126.com.

Keywords: GIS; low impact development(LID); rainwater comprehensive utilization scheme; hydrological sensitivity index

近年来,我国城市化水平和国民经济呈高速发展趋势^[1],但在城市规划过程中,规划人员仍依赖于传统开发模式,居住区、街道、广场等建筑用地大多采用水泥、沥青等不透水材料,严重破坏了地表物质组成与结构^[2]。不透水面面积的增加,大幅度削减了地表径流停留时间,降低了地下水位,改变了环境原有水文循环过程,给雨洪调蓄造成很大压力,并进而导致水资源短缺和城市洪涝灾害问题^[3-6]。传统的雨水管理方法以“排”作为应对暴雨的指导思想^[7],致使城市排水管网不堪重负的同时,也造成雨水资源极大浪费。因此,2013年,习近平总书记在《中央城镇化工作会议》的讲话中提出:“提升城市排水系统时要优先考虑把有限的雨水留下来,优先考虑更多利用自然力量排水,建设自然存积、自然渗透、自然净化的海绵城市”的理论。借鉴美国、英国、澳大利亚等发达国家的雨洪管理技术,如(低影响开发)LID^[8]、(英国可持续排水系统)SUDS^[9]、(澳大利亚水敏感性城市设计)WSUD^[10]等研究,国内也由此进行了大量研究与应用。截止目前,我国现有雨水资源化利用方案的实践,大多是集中在对城市绿地、街道和居住区等方面的研究,以工程设施探讨为主^[7,11-12],缺乏以雨洪和景观综合效应为目的的宏观尺度雨洪管理规划^[7],针对镇域、镇区的研究则更少。本文选择山东省潍坊市营丘镇镇区为研究对象,基于海绵城市理论,运用GIS技术,将低影响开发工程技术与景观生态相结合,旨在解决山前冲洪积平原滨河中小型镇区洪涝频发、排水不畅、雨水资源利用不充分等问题,为雨水集蓄设施在中小型镇区的合理规划和应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

营丘镇由潍坊市昌乐县管辖,镇区位于镇域中部偏西,由马宋水库、唐家老庄、河西、南崔、寺后5个村组成。经预测,至2020年营丘镇区人口规模为2万人,用地规模为266.44 hm²。镇区雨水以排河为主,镇区以北的雨水收集后排到洪福河,镇区南部雨水以地表径流形式就近排入沟渠,汛期不能及时排水,容易发生洪涝灾害。镇区居住用地面积大且多以平房为主,路面多以沥青、混凝土铺装,土地硬化程度极高,公共绿地仅占8.06 hm²。随着乡村城镇化建设的发展,土地硬化及屋顶等不透水面积增加,极大改变了环境原有的水文循环过程,潜水含水层水量减

少,地下水位降低,径流雨量增大,径流时间缩短,峰型陡峻,致使大量雨水流失,地面径流污染及城镇洪涝现象频发,增大了雨污合流排水管网的排水压力。

1.2 基础数据获取与研究方法

研究基础数据主要来源于遥感、规划和统计三大类,包括2014年Landsat-TM影像,分辨率30 m;高程模型DEM 30 m数据;研究区营丘镇土地利用现状图(潍坊市昌乐县国土资源局提供)等地理信息数据;《乡镇大事记》及现场调研数据。同时还包括《营丘镇总体规划(2014—2030年)》、《昌乐县统计年鉴》、《营丘镇志》、《镇政府工作报告》等数据资料和社会经济资料。其中Landsat遥感影像用于土地利用分类,因获得的数据类型不同,使用ArcGIS进行数据处理过程中会出现投影信息丢失或无法匹配的问题,需要通过GIS软件对取得的数据及图形进行校准、投影变换和矢量处理,使数据转化为同一投影坐标下的shapefile格式类型。处理软件包括ArcGIS 10.3, ENVI 5.1。本研究利用DEM数字高程模型基于“八向法”(D8算法),运用GIS提取水文要素信息,完成对汇水区边界的划分^[13];利用研究区2014年分辨率为30 m的Landsat-TM影像解译土地利用现状类型^[14];利用雨量径流公式计算研究区调蓄库容^[15];利用研究区DEM数据,运用GIS绘制镇区地形等高线图;综合利用GIS和LID技术进行雨洪水集蓄和利用设施的布局;利用研究区所选择的低影响开发技术设计参数计算雨水集蓄设施的总雨水调蓄量;利用水文敏感指数计算公式,确定各汇水区建设低影响开发设施的优先实施顺序^[16]。

2 技术研究方案选取与步骤

按照《海绵城市建设技术指南》的指导方针,以生态优先、可操作性、创新性为原则,参考相关文献^[6-7,17-18],进行了镇区的雨水收集利用技术方案的选取与规划。

2.1 汇水区划分

汇水区是指收集水资源的自然流域或人为集水的封闭区域,汇水区划分是进行规划过程中水文模型计算的重要环节。借助于数字高程模型(DEM),运用GIS提取水文相关信息进行汇水区划分。运用GIS工具中水文分析模型处理营丘镇区遥感影像图和DEM高程图,经反复调试选用合适阈值,共得到25个镇区汇水区(如图1所示)。

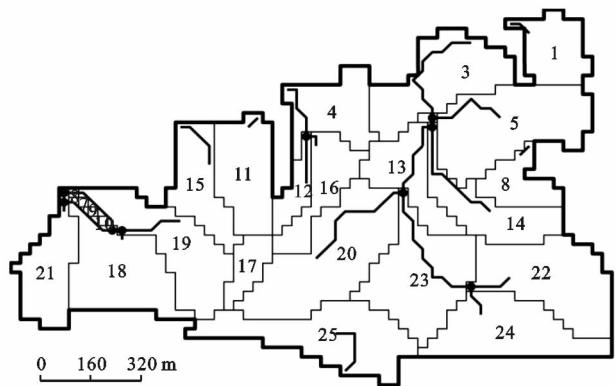


图 1 营丘镇区汇水区划分

2.2 用地类型提取

为方便后续雨水径流量和雨水调蓄容量等指标的计算,借助 ENVI 软件对其 Landsat 遥感影像数据进行土地利用类型提取^[14],得到营丘镇区林地、居住区建筑用地、耕地、水体、绿地、道路和空地 7 种土地利用类型,根据《海绵城市建设技术指南》^[15]和相关研究^[2]确定各汇水区中用地类型及面积,结果如图 2 所示。

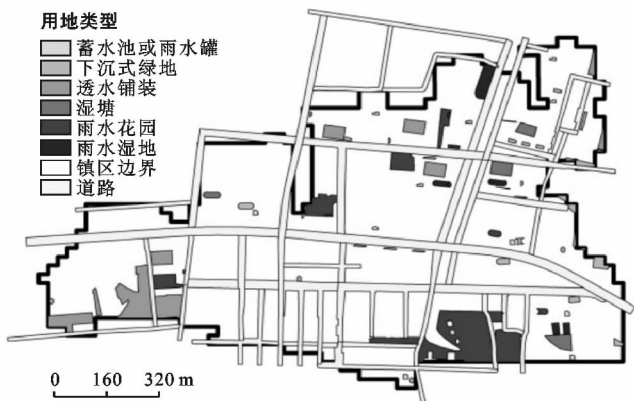


图 2 研究区土地利用类型分布

2.3 研究区不同地块的径流调蓄能力计算

海绵城市低影响开发设施在进行设计时,需要以径流总量为控制目标,而径流控制总量的多少对应的是所设计调蓄容积的大小。本研究根据《海绵城市建设技术指南》^[15]选择容积法进行调蓄容积计算,公式为:

$$V=10 \times \phi \cdot H \cdot F$$

式中: V ——设计调蓄容积(m^3); ϕ ——综合雨量径流系数,参考《室外排水设计规范(GB50014)》; H ——设计降雨量; F ——汇水面积(hm^2)。

其中研究区设计降雨量,通过多年日降雨量资料统计获取,通常用日降雨量(mm)表示。不同城市、不同的年径流总量控制率,对应的设计降雨量不同。

同时,年径流总量控制率的选择一方面需要考虑区域内绿化、水系等生态性用地与其他开发用地的比例、地形地貌;另外还需考虑当地水体的环境目标、水资源现状、降雨规律、开发强度等因素,对于单个地块或建设项目开发,还需结合研究区建筑密度、绿地率及土地利用布局等因素^[15-19]。本研究区参考潍坊市年径流总量控制率为 90% 时所对应的设计降雨量,以此计算设计调蓄容积,结果详见表 1。

表 1 营丘镇区不同用地类型面积、径流系数及雨水调蓄容积

用地类型	各用地类型总面积/ m^2	径流系数
居住区建筑用地	3.87×10^5	0.50
道路	2.39×10^5	0.90
耕地	5.53×10^4	0.30
林地	1.29×10^5	0.20
绿地	3.31×10^4	0.15
水体	2.84×10^4	1.00
空地	3.56×10^5	0.20
总面积/ m^2	1.23×10^6	
平均径流系数	0.45	
年径流总量控制率/%	90	
设计降雨量/ mm	38.9	
调蓄容积/ m^3	2.15×10^4	

2.4 集蓄利用设施布局与 LID 技术方案

低影响开发技术体系由雨水净化、雨水渗透和雨水蓄集利用 3 部分构成。本研究结合汇水区地势、高程等地形条件及研究区的整体现状规划,在满足实际调蓄容积不小于设计调蓄容积的前提下,对低影响开发技术,生态基础设施的种类、组合、布局进行科学合理的选择,进而实现雨水资源有效收集利用。从图 2 和表 2 可以看出,营丘镇区居住区建筑用地作为主要用地类型,集中分布在镇区中南部,占镇区总面积的 31.50%;西北和东南部分布少量林地和绿地;耕地主要分布在镇区北部和西南部;镇区中空地面积较大,占镇区总面积 28.96%,主要分布在镇区北部和东南部。从图 3 可看出镇区地势整体上东高西低,南高北低。

2.4.1 雨水集蓄利用基础设施建设布局技术方案

雨水收集设施的布置选址可按以下原则:靠近镇区建筑用地,便于收集建筑用地径流;靠近地势低洼区方便雨水汇集;周围有现状沟渠。同时,营丘镇区北部大部分为空地,在此地进行雨水收集设施建设不会破坏周边环境用地类型,反而可以提升景观效果,大大减缓镇区径流总量。因此,营丘镇区北部建设雨水生

态基础设施,满足排水防涝,雨水收集利用以及美化环境景观的要求。考虑乡镇财政支出有限,雨水集蓄利用基础设施建设宜结合研究区土地利用现状,同时参考《海绵城市建设技术指南》^[15]中各技术措施的特点及其适用范围,确定不同土地类型的雨洪水集蓄利用设施建设布局技术方案。镇区针对雨水采取的低影响开发措施主要有雨水湿地、湿塘、透水铺装、植草沟和简易生物滞留池。其中,湿塘、雨水湿地具有储存降水的功能,有效削减镇区径流总量及最大径流量,减缓乡镇排水压力,同时提升景观效果,因此在镇区广场和公园设计雨水湿地和湿塘;植草沟和简易生物滞留池用于对道路雨水径流的蓄集、处理,最终汇入湿塘;停车场、居住区、广场路面进行透水铺装。

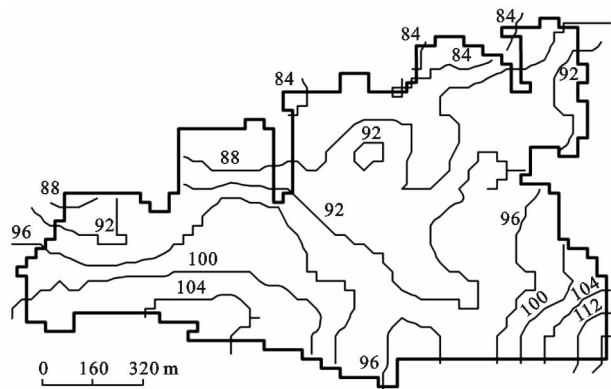


图 3 营丘镇区等高线图

2.4.2 LID 技术方案选择 本研究区的雨水利用系统设计为“透水铺装+下凹式绿地+植草沟、简易生物滞留池+湿塘、雨水湿地”的雨水综合蓄集利用系统,综合方案如图 4 所示。镇区屋顶径流和路面径流混合,一部分通过透水铺装完成下渗,另一部分通过下沉式绿地,流入植草沟和简易生物滞留设施,最终汇入湿塘;为优化镇区景观,在镇区广场、公园设计雨水湿地和湿塘,调蓄净化后的水资源用来补充景观水体。同时,湿塘和雨水湿地还应增设溢流装置,过量的雨水可沿沟渠排入河流。综上所述营丘镇区拟采用的技术选择为:镇区北部和西部的部分居住区道

路、停车场、广场路面改造为透水性铺装;镇区中原有绿地、部分空地改造为下沉式绿地和雨水花园;靠近水域的广场公园、湿地公园、部分靠水林地和原有水域周边改造或新建雨水花园、雨水湿地和湿塘;镇区居住区、绿地广场、和部分空地增设蓄水池或雨水罐,沿道路至湿塘建设渗管/渠。选择的低影响开发技术措施所对应的基本设计参数和雨水调蓄量见表 2,布局图见图 5。从表 2 可以看出,LID 措施实施后,研究区综合设施的实际雨水调蓄能力为 24 582.53 m³ 大于不同用地类型的原设计雨水调蓄能力。

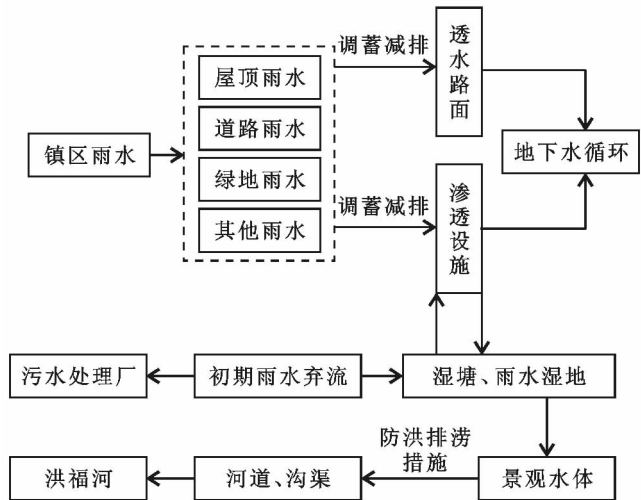


图 4 雨水利用综合方案示意图

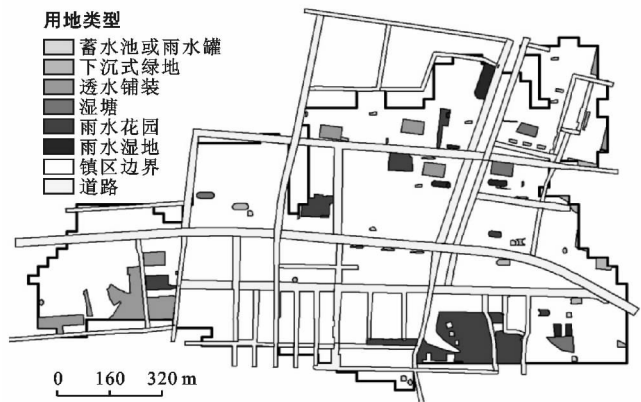


图 5 雨水收集利用系统布局

表 2 营丘镇区低影响开发技术参数与雨水调蓄量

技术措施	总有效面积/m ²	设计参数	总设计调蓄容积/m ³
下沉式绿地	1.06×10 ⁴	下凹深度 0.15 m	1 584.04
湿塘	9 477.57	设计水深 1 m	9 477.57
雨水花园	5.48×10 ⁴	设计蓄水高度 0.2 m	1.1×10 ⁴
雨水湿地	8 358.58	设计水深 0.3 m	2 507.57
蓄水池/雨水罐	12 个	5 m ³ /个	60
透水铺装	3.76×10 ⁴	《透水砖路面啊技术规程(CJJ/T188)》	—
渗管/渠至湿塘	—	—	0
总设计调蓄容积		2.46×10 ⁴ m ³ (大于雨水调蓄容积 2.15×10 ⁴ m ³)	

2.5 低影响开发实施的优先时序

不同用地类型、不同种类的低影响开发技术措施对径流雨水的控制效果会有显著差异。本研究通过引入水文敏感指数,以确定各汇水区建设低影响开发设施的优先实施顺序^[16]。水文敏感指数是指该汇水区易于产生径流的能力,其计算公式为:

$$\lambda = \ln(\alpha \cdot L \cdot \tan\beta \cdot \phi) - \ln(K_s \cdot D_{ISA})$$

$$D_{ISA} = D - D \cdot ISA$$

式中: α ——各汇水区面积与周长比; L ——各汇水区径流宽度; β ——径流坡度角; ϕ ——各汇水区平均径流系数; K_s ——土层导水率; D ——土层厚度; D_{ISA} ——土层深度; ISA ——不透水面比例。

通过公式得知, λ 值越大,越易产生径流,所在汇水区的低影响开发设施建设越宜优先进行。因此,汇水区的面积与周长比、汇水区不透水面比例、汇水区

径流宽度、径流坡度、汇水区平均径流系数越大,土层导水率、导水层深度越小,越宜优先进行低影响开发技术设施的建设实施。表 3 计算结果显示,营丘镇区 25 个汇水区进行低影响开发设施建设的先后顺序为:23>24>20>18>21>19>...>2。

结合营丘镇区现状,综合考虑低影响技术设施的经济性与可操作性原则,考虑 3,20,22,24,25 号等汇水区建设蓄水池/雨水罐所需费用较高,且后期不宜管理;16,21,19,23 号等汇水区居住区建筑密度较大施工不便,建议将以上汇水区低影响开发设施建设时序延后。5,12,15,18 号等汇水区位于镇区地势低洼处,进行透水铺装和下沉式绿地建设对减少雨水径流和污染负荷效果显著,同时提升了镇区景观效果,所以建议将以上汇水区低影响开发设施建设次序前移。

表 3 营丘镇区各汇水区水文敏感指数

汇水区	面积/ m ²	周长/ m	面积 周长比	径流 宽度/m	平均径流 系数 ϕ	径流 坡度 $\tan\beta$	土壤导水 率 mm/h	土层 厚度/m	不透水面 比例%	导水层 深度/m	水文敏感 指数	优先 排序
1	3.63×10 ⁴	990	36.69	152.73	0.40	0.035 3	5.84	2.4	0.40	1.4	5.50	16
2	1 696	175	9.69	44.83	0.20	0.008 6	7.62	3.0	0.20	2.4	0.04	25
3	7.61×10 ⁴	1 572	48.42	205.32	0.39	0.038 4	6.10	2.5	0.39	1.5	6.02	10
4	4.89×10 ⁴	1 281	38.21	172.07	0.36	0.024 4	6.60	2.6	0.36	1.7	4.87	20
5	9.62×10 ⁴	1 630	59.00	225.45	0.51	0.025 1	4.32	2.3	0.51	1.1	6.81	8
6	849	116	7.32	33.99	0.51	0.023 0	4.32	2.5	0.51	1.2	2.66	22
7	848	115	7.37	33.98	0.20	0.023 0	7.62	3.0	0.20	2.4	0.47	24
8	2.94×10 ⁴	989	29.72	140.33	0.48	0.022 4	3.81	2.1	0.48	1.1	5.60	13
9	846	113	7.49	33.95	0.37	0.023 0	6.35	2.5	0.37	1.6	1.69	23
10	849	116	7.32	33.99	0.87	0.023 0	3.05	2.0	0.87	0.3	4.93	19
11	5.65×10 ⁴	1 106	51.10	182.27	0.34	0.039 4	7.11	2.8	0.34	1.8	5.51	15
12	1.74×10 ⁴	873	19.94	113.80	0.35	0.035 6	6.86	2.7	0.35	1.8	4.06	21
13	4.28×10 ⁴	1 339	31.99	163.13	0.43	0.031 5	5.59	2.4	0.43	1.4	5.44	17
14	5.16×10 ⁴	1 630	31.67	175.79	0.46	0.026 8	5.08	2.3	0.46	1.2	5.66	12
15	4.76×10 ⁴	1 281	37.13	170.11	0.37	0.031 0	6.35	2.4	0.37	1.5	5.26	18
16	4.1×10 ⁴	1 339	30.65	160.36	0.48	0.027 7	4.83	2.0	0.48	1.0	5.84	11
17	2.05×10 ⁴	756	27.14	121.52	0.57	0.019 2	3.56	2.3	0.57	1.0	5.55	14
18	7.81×10 ⁴	1 572	49.68	207.44	0.48	0.040 1	4.83	2.0	0.48	1.0	6.95	4
19	7.57×10 ⁴	1 746	43.38	204.92	0.53	0.032 7	4.06	2.1	0.53	1.0	6.87	6
20	1.11×10 ⁵	1 863	59.81	239.14	0.53	0.026 7	4.06	2.5	0.53	1.2	6.96	3
21	4.9×10 ⁴	1 281	38.23	172.12	0.62	0.029 8	3.30	2.4	0.62	0.9	6.94	5
22	8.79×10 ⁴	1 572	55.93	217.51	0.45	0.037 8	5.33	2.2	0.45	1.2	6.71	9
23	8.92×10 ⁴	1 746	51.09	218.77	0.56	0.027 9	3.81	2.0	0.56	0.9	7.17	1
24	7.61×10 ⁴	1 572	48.41	205.29	0.53	0.034 5	4.06	2.0	0.53	0.9	7.14	2
25	9.13×10 ⁴	1 979	46.11	220.77	0.51	0.030 4	4.32	2.4	0.51	1.2	6.83	7

3 结论

(1) 利用 GIS 工具中水文分析模型,基于 D8 算

法处理 DEM 高程图,得到镇区 25 个汇水区。

(2) 利用 ENVI 软件对镇区 2014 年分辨率为 30 m 的 Landsat-TM 影像数据进行土地利用类型提

取,得到林地、居住区建筑用地、耕地、水体、绿地、道路和空地 7 种镇区土地利用类型,并确定了各汇水区用地类型和布局现状。

(3) 结合研究区内建筑密度,水资源现状,降雨规律和土地利用布局等情况,选择潍坊市年径流总量控制率为 90% 时所对应的设计降雨量,计算得到研究区不同用地类型的雨水总调蓄容积为 $2.15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(4) 为使雨洪利用设施与生态景观规划相结合,并减少乡镇财政支出,提出了 LID 技术方案,即将镇区靠近水体的广场、公园和绿地等基础设施进行下沉式绿地、雨水花园、雨水湿地和湿塘改造,将镇区广场、居住区道路和停车场路面进行透水铺装建设,沿道路至湿塘建设渗管/渠。经计算,实施 LID 措施后,研究区综合设施的实际雨水调蓄能力扩大为 $2.46 \times 10^4 \text{ m}^3$ 大于不同用地类型的原设计雨水调蓄能力。

(5) 利用 TOPMODEL 模型,引入水文敏感指数 λ ,确定了低影响开发场地的优先实施时序,并综合考虑后续施工、管理方便,以及提升镇区景观效果等因素,对施工时序进行了优化。

[参 考 文 献]

- [1] 张元勋. 城市雨水资源化技术[J]. 污染防治技术, 2005, 18(1):28-31.
- [2] 张相忠,王晋,王琳. 海绵城市的规划建设探索:以青岛市西海岸新区核心区为例[J]. 城市发展研究, 2017, 24(6):161-164.
- [3] Thomas R S, Lisa F, Karen C. Is impervious cover still important? Review of recent research [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2009, 14(4):309-315.
- [4] 程坚敏,马建武. 南京金港科创园雨水管理与艺术设计 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(6):173-176.
- [5] 张绿水,张青萍. 上海世博园区雨水生态化处理技术分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2011, 35(4): 131-135.
- [6] 宋云,俞孔坚. 构建城市雨洪管理系统的景观规划途径:以威海市为例[J]. 城市问题, 2007(8):64-70.
- [7] 莫琳,俞孔坚. 构建城市绿色海绵:生态雨洪调蓄系统规划研究[J]. 城市发展研究, 2012, 19(5):130-134.
- [8] Dietz M E. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2007, 186(1):351-363.
- [9] Fletcher T D, Shuster W, Hunt W F, et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage [J]. Urban Water Journal, 2015, 12(7):525-542.
- [10] Morison P J, Brown R R. Understanding the nature of publics and local policy commitment to water sensitive urban design [J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 99(2): 83-92.
- [11] 刘萍. 浅谈城市雨水收集与景观的结合[J]. 建材与装饰, 2017(23):147-148.
- [12] 杨芳绒,芦晶晶,李卓,等. 农业生态观光园雨水利用措施研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1):302-306.
- [13] 左俊杰,蔡永立. 平原河网地区汇水区的划分方法:以上海市为例[J]. 水科学进展, 2011, 22(3):337-343.
- [14] 胡潭高,朱文泉,阳小琼,等. 高分辨率遥感图像耕地地块提取方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(10): 2703-2707.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 低影响开发雨水系统构建海绵城市建设技术指南[M]. 北京:中华人民共和国住房和城乡建设部, 2014.
- [16] 王晋. 基于小流域尺度的城市化 LUCC 水文效应及水生态综合修复技术研究[D]. 山东 青岛:中国海洋大学, 2018.
- [17] Yu Kongjian. Qunli National Urban Wetland: A storm-water park for a water resilient city[J]. Topos: European Landscape Magazine, 2011, 77:72.
- [18] 董淑秋,韩志刚. 基于“生态海绵城市”构建的雨水利用规划研究[J]. 城市发展研究, 2011, 18(12):37-41.
- [19] 张力. 城市合流制排水系统调蓄设施计算方法研究[J]. 城市道桥与防洪, 2010(2):130-133.