

大理市居住区集雨型绿地模型的构建研究

高 境¹, 杨茗琪^{2*} (1. 云南省设计院集团有限公司, 云南昆明 650228; 2. 西南林业大学园林园艺学院, 云南昆明 650051)

摘要 选取大理市下关地区的7个山地居住区作为研究对象,通过SWMM构建雨洪控制模型及模拟雨水径流,对各类子汇水区径流量、下渗量、径流系数,山地居住区影响因素进行分析。结果表明:在山地居住区建设中,提高绿地率可大幅减少地表径流,将地形坡度控制在10.51%以下,设置阶梯式的接地形式,实现层级式雨水径流处理,能有效缓解径流流速和集中径流量;在集雨型设施构建中,下沉式绿地和生物滞留设施的控制指标相对稳定,绿色屋顶因居住区建筑类型的不同差异较大。

关键词 海绵城市;集雨型绿地;山地居住区;SWMM模型;大理市
中图分类号 TU 984 文献标识码 A
文章编号 0517-6611(2020)19-0227-04
doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.19.059



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Construction of Rainwater-collecting Green Space Model in Dali Residential District
GAO Jing¹, YANG Ming-qi² (1. Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650228; 2. College of Landscape and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650051)

Abstract In this study, seven mountainous residential areas in Xiaguan area of Dali City were selected as research objects to construct rainwater control model and simulate rainwater runoff by using SWMM. Runoff, infiltration, runoff coefficient, and influencing factors of mountainous residential areas in various sub-catchments were analyzed. The results showed that in the construction of residential areas, the surface's outflow could be greatly reduced and by increasing the green-space rate. In mountainous residential areas, when the ground slope was controlled below 10.51%. Setting a stepped grounding form was a treatment of dealing with the layered rainwater outflow, which could effectively alleviate the running-off velocity and concentrated runoff. In the construction of the rain-collecting facilities, the control indicators of sunken green spaces and biological detention facilities were relatively stable, and the green roofs varied greatly due to the different types of buildings in the residential areas.

Key words Sponge city; Rain-collecting green space; Mountainous residential areas; SWMM model; Dali City

城市化问题引发的洪涝灾害、城市雨洪已成为亟需解决的问题。基于我国海绵城市理念以及城市雨洪现状开展集雨型绿地的研究和建设,是提升人居环境的重要措施,对于解决我国综合城市雨洪问题具有重要意义^[1-4]。

集雨型绿地建设的研究主要集中在北京、迁安等平原地区^[5],诸多学者^[6-9]提出了居住区雨洪设施的研究,主要包括雨水花园的设计方法、植物配置等,绿色屋顶、下凹式绿地、透水铺装等设施的单体设计和组合模式。未涉及山地城市集雨型绿地的研究以及居住区集雨型绿地的定量分析。在众多模型中,暴雨管理模型(storm water management model, 简称SWMM)是目前应用最成熟的模型^[10],且在小流域中具有良好的模拟精度与适用性^[11-13]。笔者以大理市居住区为

研究对象,针对山地居住区的绿地结构和特点,运用SWMM建立雨洪控制模型并模拟雨水径流,通过对山地居住区雨水径流的总结分析、集雨型设施的配比研究,以期对山地居住区集雨型绿地的建设提供指导,并为山地居住区的雨洪控制提供指导。

1 研究样本概况与分析

1.1 研究样本筛选 以《大理市城市绿地现状调查报告》(2018年3月)确定的大理市建成区为研究区域,对区域内362个居住区的占地面积、绿地面积、绿地率、地形、居住区分级等数据进行统计筛选,条件相似的居住区选取其一,最终得到7个能代表大理市居住区类型、地形特征的研究样本,详见表1。

表1 居住区样本现状统计
Table 1 Statistics of the current status of the samples in residential areas

序号 No.	居住区名称 Name of residential areas	总面积 Total area m ²	绿地面积 Green space area m ²	绿地率 Green space rate %	建筑类型 Type of buildings	建筑数量 Number of buildings 套	居住人口 Resident population 人	居住区分级 Classification of residential areas
1	洱海庄园	237 387	91 110	38.38	低层、高层	2 622	7 866	五分钟生活圈
2	大理公馆	82 004	30 902	37.68	低层	178	890	居住街坊
3	幸福家苑	256 690	81 640	31.80	多层、高层	2 664	7 392	五分钟生活圈
4	金水楼台	60 327	21 183	35.11	低层	325	1 300	居住街坊
5	洱海天域	133 658	52 636	39.38	低层	276	1 380	居住街坊
6	万诚苍洱大观	29 206	11 136	38.13	低层	304	1 110	居住街坊
7	惠丰新城	38 530	15 082	39.14	高层	2 500	7 500	五分钟生活圈

基金项目 云南省科技计划项目(2017FD105)。
作者简介 高境(1993—),男,云南宣威人,城乡规划师,硕士,从事城市绿地系统规划研究。*通信作者,讲师,硕士,从事城市绿地系统规划研究。
收稿日期 2020-03-17;修回日期 2020-04-15

1.2 现状集雨型设施概况 各居住区建筑屋顶都未进行绿色屋顶的建设,降雨经屋顶直接流入周边绿地或通过排水管道流入绿地;水体是居住区内较好的集雨型设施,可作为雨

水花园使用;部分绿地为下沉式绿地,对居住区内的雨水径流有一定的集蓄量;排水明沟主要分布于道路两侧,但面积较少。现状应用的集雨型设施为雨水花园、下沉式绿地和排水明沟等,详见表 2。

表 2 现状集雨型设施应用统计

Table 2 Application statistics of current rain-collecting facilities					
序号 No.	居住区 Residential areas	总面积 Total area m ²	雨水花 园面积 Rain garden area//m ²	下沉式 绿地面积 Area of sunken green space//m ²	排水明 沟面积 Drainage ditch area m ²
1	洱海庄园	237 387	1 780	13 768	830
2	大理公馆	82 004	1 722	8 708	249
3	幸福家苑	256 690	282	21 074	638
4	金水楼台	60 327	241	5 640	326
5	洱海天域	133 658	10 051	14 060	530
6	万诚苍洱大观	29 206	102	2 138	116
7	惠丰新城	38 530	100	3 147	240
总计 Total		837 802	14 278	68 535	2 929

1.3 研究区域管控目标 根据《海绵城市建设技术规范》^[14]中对年径流总量控制率提出统一的要求,研究区域的年径流总量控制率在Ⅱ区(80%≤α≤85%)。由于缺乏大理

市年径流总量控制率的设计降雨值,所以参考地理位置与气候条件邻近地昆明市的设计降雨值作为研究依据,在年径流控制率在 80%和 85%的设计降雨值分别为 22.0 和 26.8 mm。

2 研究方法

对研究区域进行现状调查,通过对比分析各居住区的面积、绿地率、地形特征、建筑类型和居住区分级等。利用 ArcGIS 进行高程和坡度分析,筛选出能够代表大理市山地特征的居住区样本,并进行现状分析;划定居住区研究样本的建筑、道路、绿地、水体等研究要素并进行分析;对研究样本进行子汇水区概化、参数设定、暴雨情景设计以及集雨型设施参数设置;通过 SWMM 对研究样本进行现状条件下的暴雨情景设计;最后,构建集雨型设施模型,从而得到集雨型设施的控制参数配比。

3 SWMM 模型构建及评估

3.1 高程及坡度分析 通过 ArcGIS 建立数字高程模型(digital elevation model,DEM)和数字坡度模型(digital slope mode,DSM)得到大理市下关地区的高程图和坡度图,各研究样本的高程和坡度情况见表 3。由表 3 可知,高程为 1 967~2 076 m,坡度为 0~21°,经换算得到坡度为 0~38.39%,具有典型的山地居住区特征。

表 3 高程与坡度统计

Table 3 The statistics of elevation and slope					
序号 No.	居住区 Residential areas	高程 Elevation //m	坡度 Slope %	高程分析 Elevation analysis	坡度分析 Slope range
1	洱海庄园	1 967~2 000	0~3.49	整体地势西高东低	整体坡度较平缓
2	大理公馆	2 020~2 076	0~10.51	整体地势东南高、西北低	整体坡度较陡不平整
3	幸福家苑	2 000~2 076	0~38.39	整体地势西南高、东北低	整体坡度较陡
4	金水楼台	2 020~2 076	0~3.49	整体地势西高东低	整体坡度平缓
5	洱海天域	1 967~2 026	0~21.26	整体地势南高北低	整体坡度较陡
6	万诚苍洱大观	2 043~2 064	0~10.51	整体地势西南高、东北低	整体坡度平缓
7	惠丰新城	1 983~1 990	0~5.24	整体地势平缓	整体坡度平缓

3.2 下垫面数据及分析 通过对照大理市城市地形图及现状调研,在 ArcGIS 软件中绘制研究区的下垫面,将研究区下垫面分为绿地、水体、建筑和道路四大类,其中绿地按照《城

市居住区规划设计标准》(GB 50180—2018)^[15]的居住区绿地分类方法,分为集中绿地和宅旁绿地。对研究样本下垫面划分,汇总计算得到各居住区的下垫面数据见表 4。

表 4 下垫面数据汇总

Table 4 Summary of underlying surface data								
序号 No.	分区 Subareas	宅旁绿地面积 Area of green space next to the house//m ²	集中绿地面积 Area of concentrated green space m ²	水体面积 Area of water body m ²	建筑面积 Area of buildings m ²	道路面积 Road area m ²	总面积 Total area m ²	综合径 流系数 Comprehensive runoff coefficient
1	洱海庄园	34 573	56 537	2 244	65 549	78 484	237 387	0.543
2	大理公馆	22 238	8 664	1 726	28 524	20 852	82 004	0.538
3	幸福家苑	54 448	27 192	2 751	98 026	71 522	256 690	0.576
4	金水楼台	6 270	14 577	336	22 092	17 052	60 327	0.572
5	洱海天域	33 295	19 341	11 382	29 399	40 241	133 658	0.476
6	万诚苍洱大观	7 698	3 438	183	12 210	5 677	29 206	0.547
7	惠丰新城	10 322	4 760	152	11 966	11 330	38 530	0.542
合计 Total		168 844	134 509	18 774	267 766	245 158	837 802	0.542

3.3 SWMM 模型构建 针对样本的集雨型绿地研究是通过 SWMM 模型软件建立集雨型绿地模型,主要研究在降雨模拟过程中场地内各子汇水区的地表产流和下渗情况,并对研究样本进行开发前和开发后的数据对比和分析。

3.3.1 子汇水区概化及基本参数设定。首先进行子汇水区概化及基本参数设定,子汇水区的划分是按照雨水在场地内的实际汇流情况,将地表径流就近地合理地分配到各类绿地和雨水管网的集水口中,使绿地和排水管网的入流量分配符合实际情况。研究样本内的不透水面和透水面被划分为不同子汇水区,形成有层次、有梯度的汇水设计,建筑屋顶、道路等不透水面为第一层级子汇水区,形成雨水径流后流入绿地组成的第二层级子汇水区。

子汇水区类型、面积、坡度、不透水率经过实际测量得出,其他数据根据模型手册设计参数,包括曼宁粗糙系数在不透水区 and 透水区为 0.015 和 0.05、地表洼蓄量参数在不透水区 and 透水区为 2.50 和 6.25 mm、土壤渗透系数在不透水区 and 透水区为 90 和 15 mm/h、衰减常数为 4.14 h^{-1} 。土壤渗透系数由土壤类型决定,居住区内的土壤类型主要为红壤、高山草甸土、棕色针叶林土、黄棕壤等,根据 SWMM 模型手册

的土壤分类属于 B 类型,即当整个湿润时土壤具有中等下渗速率;主要包含中等深度到深度、中等良好到良好排水的土壤,具有中等粒度到中等粗糙组织。

3.3.2 暴雨情景设计。降雨数据是模型创建重要的数据,此次研究的降雨数据根据中国市政工程西南设计院采用数理统计法编制的大理市下关地区的暴雨强度公式进行计算,并通过芝加哥雨型模拟降雨过程,得到降雨平均降雨强度和总降雨量在 0.5 a 降雨重现期下分别为 9.349 mm/h 和 18.698 mm,1 a 下分别为 13.582 mm/h 和 27.164 mm,3 a 下分别为 20.284 mm/h 和 40.568 mm,5 a 下分别为 23.403 mm/h 和 46.806 mm,10 a 下分别为 27.633 mm/h 和 55.266 mm。

3.3.3 集雨型设施参数设置。此次在居住区集雨型绿地研究中,以居住区内年径流总量的控制为目标,根据居住区现状情况选择下沉式绿地、生物滞留设施、绿色屋顶 3 类集雨型设施,参考 SWMM 模型手册中提供的各参数的建议值以及查阅相关文献,确定此次研究中的集雨型设施不同单元层的各项参数,具体见表 5。

表 5 集雨型设施参数
Table 5 Parameters of rain-collecting facilities

设施类型 Type of facilities	表面层 Surface layer				土壤层 Soil layer							蓄水层 Water-retaining layer			
	厚度 Thickness mm	植被 容积 Vegetation volume	表面 粗糙度 Surface roughness (曼宁 n 值)	表面 坡度 Surface slope %	厚度 Thickness mm	孔隙率 Porosity	产水 能力 Water production capacity	萎蔫点 Wilting point	导水率 Hydraulic conductivity mm/h	导水率 Hydraulic conductivity slope/‰	吸上 水头 Suction head mm	厚度 Thickness mm	孔隙比 Porosity ratio	渗水 速率 Water seepage rate mm/h	堵塞 因子 Clogging factor
下沉式绿地 Sunken green space	200	0.2	0.1	1	700	0.5	0.2	0.1	0.5	10	3.5	200	0.75	0.5	0
生物滞留设施 Bioretention facility	150	0.2	0.1	1	200	0.5	0.2	0.1	15.0	20	35.0	300	0.75	0.5	0
绿色屋顶 Green roof	150	0	0.1	1	150	0.5	0.2	0.1	15.0	20	35.0				

3.3.4 模型构建。下垫面、子汇水区概化、SWMM 模块参数、暴雨情景设计集雨型设施参数设置等模型准备工作完成后,在 SWMM 软件中对研究区域进行模型构建(图 1),构建好的模型如图 1 所示,总计 107 个汇水区、11 个排放口,并分别进行现状和集雨型设施开发模型的模拟。

3.4 现状条件下情景模拟分析 对 7 个居住区的总径流进行整理分析,列出各个居住区在现状条件下不同重现期的雨水径流模型中数据,包括总降雨量、总径流量、总蒸发量、总下渗量、最终地表蓄水,经过计算得到了不同重现期(0.5 a、1 a、3 a、5 a、10 a)下的年径流控制率。

参考昆明年径流控制率在 85% 的设计降雨量为 26.8 mm,选取对应的降雨重现期为 1 a 进行对比(表 6)。对 7 个样本的总径流整理分析(图 2),对场地内影响地表径流的绿地率、坡度、下垫面等因素进行评价分析,得到绿地率对场地内的雨水径流影响最大,增加居住区绿地能够有效提高居住区内雨水径流的集蓄和消纳能力;各样本的坡度评价分

析,在 10.51% 以下的坡度范围内坡度对雨水径流产生的影响较小,但随着坡度的增大,雨水径流增大;对于下垫面的评价分析,下垫面中道路和建筑的面积决定了居住区内的不透水面积,随着不透水面积的增大,雨水无法下渗,径流量增大。

3.5 集雨型设施效果评估 在研究样本中,运用 SWMM 研究下沉式绿地、生物滞留设施、绿色屋顶 3 种较适于居住区的集雨型设施对于大理市居住区年径流量的控制效果,构建集雨型绿地模型,为突出居住区中集雨型设施控制特点,在设计方案中将下沉式绿地和生物滞留设施控制在相对稳定的指标范围内,反复调整,直至模型模拟结果达到控制目标值,最终得到了研究区域各居住区集雨型设施控制指标:下沉式绿地的占比为 16.31%~19.53%,生物滞留设施的占比为 8.22%~9.85%,绿色屋顶的占比为 15.40%~32.61%。从控制指标可以看出,在居住区内集雨型设施所占的比例从大到小依次为绿色屋顶、下沉式绿地、生物滞留设施(表 7)。

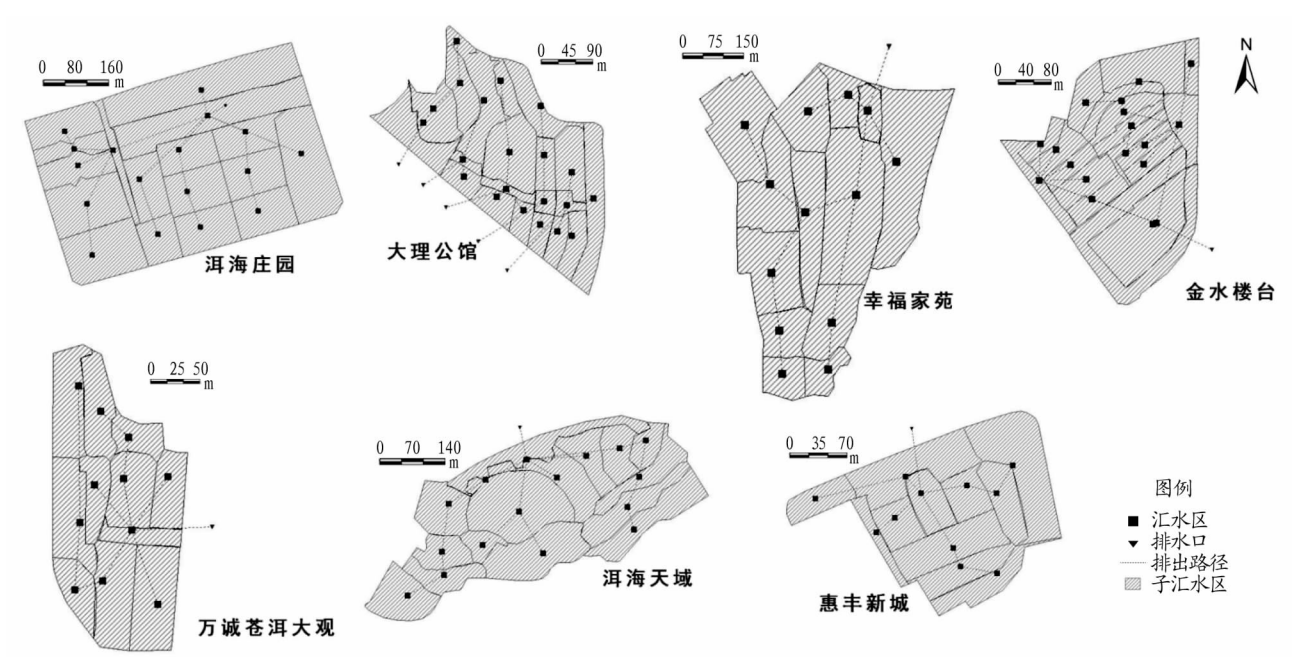


图 1 SWMM 模型的构建

Fig. 1 The construction of SWMM model

表 6 1 a 重现期下居住区地表径流统计

Table 6 Statistics of surface runoff in residential areas in 1 a recurrence period

序号 No.	居住区样本 Samples of residential areas	总降雨量 Total rainfall mm	总径流量 Total runoff mm	总蒸发量 Total evaporation mm	总下渗量 Total infiltration mm	最终地表蓄水 Ultimate surface water storage//mm	年径流控制率 Annual runoff control rate//%
1	洱海庄园	27.164	11.255	0.201	13.901	2.157	58.57
2	大理公馆	27.164	10.850	0.198	14.500	1.906	60.06
3	幸福家苑	27.164	16.662	0.217	9.145	1.446	38.66
4	金水楼台	27.164	14.834	0.211	10.978	1.328	45.39
5	洱海天域	27.164	8.815	0.196	17.069	1.384	67.55
6	万诚苍洱大观	27.164	11.788	0.206	13.765	1.705	56.60
7	惠丰新城	27.164	6.629	0.184	18.040	2.611	75.60

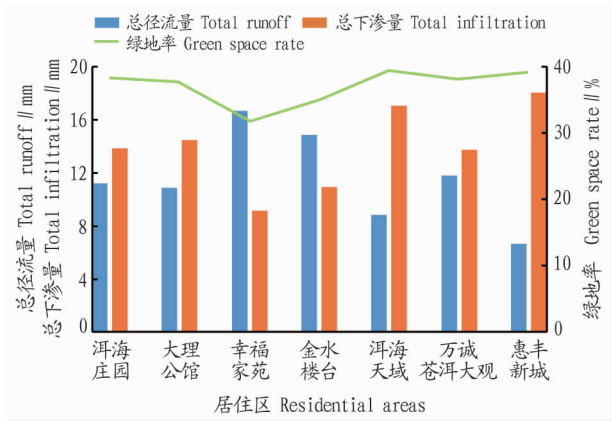


图 2 1 a 重现期下绿地率对总径流量的影响

Fig. 2 The effects of green space rate on total runoff in 1 a recurrence period

4 结论

(1)在居住区建设中,控制径流影响因子,提升绿地建

(下转第 272 页)

定教师任期考核制度,在岗教师须根据岗位要求签订聘期目标任务书,包括思想品德、教学、科研、社会服务、学院公共事务等多项考核指标。任期考核根据任务书的达标情况评定为优秀、合格、不合格 3 个等级,评定结果与绩效和职称评定挂钩,以达到激发教师工作积极性的目的,让广大教师更好地投身于新农科建设中。

参考文献

[1] 安吉共识——中国新农科建设宣言[J]. 中国农业教育,2019,20(3): 105-106.

[2] “新农科”建设开启“北大仓行动”[J]. 中国农业教育,2019,20(5): 110.

[3] 新农科建设推出“北京指南”[J]. 中国农业教育,2019,20(6): 104-106.

[4] 李召虎. 不忘初心、牢记使命,奋力书写新时代“新农科”答卷[J]. 中国农业教育,2019,20(5): 3, 14.

[5] 张静. 从生师比角度透视中美一流大学的差距[J]. 商丘师范学院学报,2017,33(8): 88-92.

[6] 陈泽,胡弼成. 生师比:人才培养质量的重要指示器[J]. 大学教育科学,2013(3): 118-124.

[7] 美君,盖志毅. 高等学校师资结构:指标·问题·优化[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版),2011,13(2): 108-109, 120.

[8] 刘莉莉. 高校师资队伍结构优化及其对策研究:基于世界一流大学的经验分析[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版),2010,12(6): 126-129, 136.

[9] 张晓旭. 地方高校师资队伍建设与优化研究[J]. 国家教育行政学院学报,2014(4): 38-42.

[10] 乔光,洪怡. 高校实验系列岗教师现状分析及解决措施初探[J]. 教育现代化,2017,4(26): 78-79.

[11] 江珊,刘少雪. 我国高校高层次人才聘任的运行机制研究[J]. 中国高教研究,2017(7): 87-93.

[12] 吴丹英. 高校科研水平与学术近亲繁殖率结构模型研究[J]. 教育评论, 2016(1): 70-73.

[13] 成霞霞. 优化学缘结构 提升学术生产力[J]. 岳阳职业技术学院学报, 2013,28(3): 38-40.

[14] 新华社. 中共中央国务院印发《关于加强和改进新形势下高校思想政治工作的意见》[J]. 社会主义论坛, 2017(3): 4-5.

[15] 刘会胜,黄滋淳. 国际化视野下的研究生导师队伍建设研究[J]. 教书育人(高教论坛),2019(24): 76-77.

[16] 应义斌,梅亚明. 中国高等农业教育新农科建设的若干思考[J]. 浙江农林大学学报,2019,36(1): 1-6.

[17] 杨胜才. 坚持“四个统一”把握重要抓手 切实增强高校师德师风建设实效性[J]. 思想教育研究,2020(1): 130-134.

[18] 姚弋霞,张文舜,何久钊. “双一流”战略视域下一流本科师资队伍建设的思考[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版),2018,51(2): 127-133.

[19] 张安富,靳敏. 高校青年教师队伍建设的系统思考[J]. 中国大学教学,2015(3): 67-71, 39.

[20] 李朝有,乔朋超,刘超洋,等. 我国高校专任教师队伍结构优化研究[J]. 煤炭高等教育,2016,34(4): 103-107.

(上接第 230 页)

表 7 研究样本集雨型设施控制指标

Table 7 Control indices of rain-collecting facilities for the study samples

序号 No.	分区 Subareas	地块面积 Plot area m ²	下沉式绿地 Sunken green space		生物滞留设施 Bioretention facility		绿色屋顶 Green roof	
			面积 Area m ²	占比 Propo- tion//%	面积 Area m ²	占比 Propo- tion//%	面积 Area m ²	占比 Propo- tion//%
1	洱海庄园	237 387	45 190. 560	19. 04	22 777. 50	9. 60	45 884. 3	19. 33
2	大理公馆	82 004	15 327. 392	18. 69	7 725. 50	9. 42	25 671. 6	31. 31
3	幸福家苑	256 690	41 857. 936	16. 31	21 097. 75	8. 22	68 618. 2	26. 73
4	金水楼台	60 327	10 506. 768	17. 42	5 295. 75	8. 78	15 464. 4	25. 63
5	洱海天域	133 658	26 107. 456	19. 53	13 159. 00	9. 85	20 579. 3	15. 40
6	万诚苍洱大观	29 206	5 523. 456	18. 91	2 784. 00	9. 53	9 523. 8	32. 61
7	惠丰新城	38 530	7 480. 672	19. 42	3 770. 50	9. 79	8 376. 2	21. 74
合计 Total		837 802	151 994. 240	18. 14	76 610. 00	9. 14	187 436. 2	22. 37

参考文献

[1] 张建业,宋晓猛,王国庆,等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——I. 城市水文效应[J]. 水科学进展,2014,25(4): 594-605.

[2] 许有鹏. 流域城市化与洪涝风险[M]. 南京:东南大学出版社, 2012.

[3] 董晓峰,杨春志,刘星光. 中国新型城镇化理论探讨[J]. 城市发展研究,2017,24(1): 26-34.

[4] 马洪涛,周凌. 关于城市排水(雨水)防涝规划编制的思考[J]. 给水排水,2015,41(8): 38-44.

[5] 强健,CHEN J Q. 北京推进集雨型城市绿地建设的研究与实践[J]. 中国园林,2015,31(6): 5-10.

[6] 侯科龙,秦华,杨丽丽,等. 居住区雨水花园建造方法探析[J]. 安徽农业科学, 2011,39(7): 4096-4098.

[7] 阎波,付中美,谭文勇. 雨水花园与生态水池设计策略下城市住区水景的思考[J]. 中国园林, 2012,28(3): 121-124.

[8] 王向阳,彭茜. 居住区雨水花园的植物配置与景观设计[J]. 美术大观,

2014(6): 132.

[9] 余进. 基于低影响开发理念的重庆市居住区雨水花园设计探讨[D]. 雅安:四川农业大学,2016.

[10] 蔡凌豪. 适用于“海绵城市”的水文水力模型概述[J]. 风景园林,2016(2): 33-43.

[11] 李霞,石宇亭,李国金. 基于 SWMM 和低影响开发模式的老城区雨水控制模拟研究[J]. 给水排水,2015,41(5): 152-156.

[12] 胡伟贤,何文华,黄国如,等. 城市雨洪模拟技术研究进展[J]. 水科学进展,2010,21(1): 137-144.

[13] 刘俊,郭亮辉,张建涛,等. 基于 SWMM 模拟上海市区排水及地面淹水过程[J]. 中国给水排水,2006(21): 64-66, 70.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——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, 2015.

[15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市居住区规划设计标准:GB 50180—2018[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.