

海绵城市规划中径流控制分区及LID控制指标量化研究——以昆明为例

Study on Runoff Control Zoning and LID Measures Quantification in Sponge City Planning: A Case Study of Kunming

苏振宇 郭涛

文章编号1673-8985(2016)04-0115-05 中图分类号TU981 文献标识码A

摘要 以昆明市为例,结合城市不同片区的实际情况,采用自上而下的方法对海绵城市建设最主要的控制目标——年径流总量控制目标进行分解细化。通过对昆明中心城区用地、土壤、地下水等基础资料的调查分析,提出昆明市海绵城市建设的总体规划布局和年径流总量控制方案;结合历史降雨资料分析,提出不同年径流总量控制率所对应的设计降雨量,将不同分区LID措施进行量化。研究表明,量化后的LID措施在新开发地块中实施难度不大,但在现状地块中要进行改造则具有较大的难度,需要采取一些灵活控制措施。

Abstract This paper takes the real situation of different areas of Kunming into considerations, employs a top-down approach, and decomposes the main target of sponge city construction: annual runoff control rate. Based on the investigations of planned land use, soil components and ground water table, a runoff control zoning is put forward and the corresponding design precipitations for each zone are studied. Quantities of LID measures in different zones are also calculated to meet the runoff control requirements. The study shows that it's not difficult to implement enough LID measures in new developing area, but in developed area, it is hard and needs more flexible policies to meet the requirements.

关键词 海绵城市 | 低影响开发 (LID) | 年径流总量 | 设计降雨量 | 径流控制分区

Keywords Sponge city | Low Impact Development | Annual runoff volume | Design precipitation | Runoff control zoning

作者简介

苏振宇

同济大学建筑与城市规划学院
博士研究生

郭涛

昆明市规划设计研究院
高级工程师,硕士

随着国内城镇化的加速,城镇建成区面积快速扩大,加上全球气候变化,近年来极端气候频发,导致国内不少城市遭遇了内涝淹水的问题。

城市内涝的产生有其外部因素——极端天气的原因,是不可控因素;也有人为因素,即在城镇化的过程中,地表硬化加速,使原有区域下垫面水文特征发生了根本性的变化,流域地表径流的产流特征也相应改变,一方面径流总量大幅增加,另一方面径流的流程和产流时间大为缩短,导致河道内的水量在短时间内暴涨直至漫堤,河道下游两侧的雨水无法及时排除,从而产生内涝淹水问题。人为因素属于可控因素,可以通过海绵城市建设予以控制。

海绵城市作为国家提出的解决城市建设中出现的诸多涉水问题的重要举措,是国家生

态文明建设的重要组成部分。住建部在2014年10月发布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(试行)(下文简称《指南》),提出了海绵城市建设的控制目标要求,包括年径流总量、峰值流量、面源污染以及雨水资源化利用4个方面,其中首要控制目标为年径流总量,其它3个控制目标可以通过年径流总量控制目标来部分实现。2015年10月国务院办公厅发布了《关于推进海绵城市建设的指导意见》,要求从2015年起,全国各城市新区、各类园区、成片开发区要全面落实海绵城市建设要求。到2020年,城市建成区20%以上的面积达到目标要求;到2030年,城市建成区80%以上的面积达到目标要求。

在《指南》中提出了海绵城市建设年径流总量控制目标需要在详细规划阶段进行分

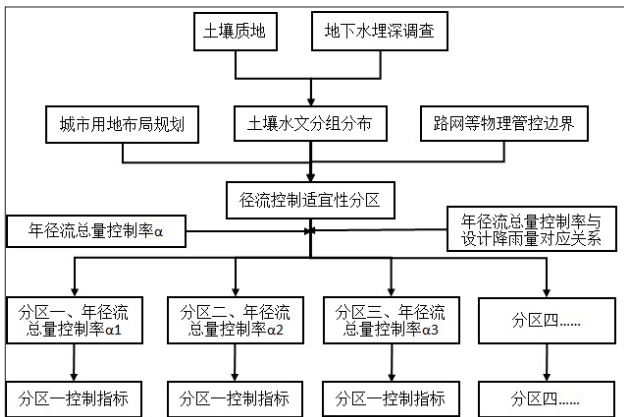


图1 研究技术路线
资料来源:作者自绘。

解,并提供了目标分解的方法。陈小龙等^[1]利用北京清控人居环境研究院自主开发的基于地理信息系统(GIS)和低影响开发理念的海绵城市规划系统,对某市某地块的低影响开发(LID)设施规模、布局进行了研究,通过综合采用下沉式绿地、绿色屋顶、透水铺装、雨水塘等措施,模拟结果显示可以实现不同地块55%—85%的年径流总量控制率,但其中部分地块的年径流总量控制率低于《指南》要求的范围。康丹等^[2]对武汉市某街区进行了研究,对街区内各地块和道路采用不同的年径流总量控制率进行控制,并通过加权平均法核算了研究街区的年径流总量控制率,分别可达76%和82%,在武汉市年径流总量控制率的取值范围以内。刘俊杰等^[3]对上海云锦路下沉式绿地年径流总量控制的研究表明,当下沉式绿地土壤层上方有效蓄水深度达0.6m时,其年径流总量控制率可达91.5%以上。以上相关研究从道路、地块或片区的角度对海绵城市建设中年径流总量控制率这一首要目标实现的可能性进行了分析,是自下而上的方法。

本文从昆明市海绵城市建设年径流总量控制率80%—85%的目标出发,结合具体的地下水水位情况、土壤的水位分组情况,将这一总体目标在城市建设区内进行分解,是一种自上而下的任务分解、层层细化的方法。本文对于在规划层面如何计算不同片区不同用

地性质的地块所需的设计调蓄容积给出了具体的计算方法,不仅有助于昆明海绵城市建设的实施,也可供其他城市参考。

1 研究技术线路

海绵城市建设的总体要求是实现年径流总量控制率的目标,根据《指南》,昆明市所在区域为Ⅱ区,对应的年径流总量控制率为 $80\% \leq \alpha \leq 85\%$ 。

1.1 目标分解

研究的目的是将年径流总量控制目标分解细化到具体地块,由于低影响开发(LID)措施与土壤、地下水关系密切,土壤的水文分组^[4]对雨水径流的下渗能力具有决定性的作用。因此,研究首先对土壤质地、地下水埋深等进行调查,在此基础上,获得土壤水文分组情况,然后划分径流控制适宜性分区,不同的分区采用不同的年径流总量控制率(图1),总体要求满足 $80\% \leq \alpha \leq 85\%$,为各分区年径流总量控制率按面积的加权平均值,计算公式为:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1)$$

其中: F_i 表示第*i*个分区的面积; α_i 表示第*i*个分区的年径流总量控制率, $\alpha \geq 80\%$ 。

1.2 设计调蓄容积计算方法

表1 综合雨量径流系数

地块类别	建筑密度上限 (%)	绿地率下限 (%)	雨量综合径流系数
新建居住区	35.0	40.0	0.570
老旧居住区改造	35.0	25.0	0.675
商业、娱乐	60.0	25.0	0.675
商务办公	40.0	25.0	0.675
公园绿地	5.0	75.0	0.325
防护绿地	1.0	85.0	0.255
广场用地	5.0	60.0	0.430
城市道路	0.0	20.0	0.710
现状小区改造	85.0	15.0	0.750
其他用地	40.0	25.0	0.675

在确定各分区的年径流总量控制率的条件下,可以通过历史降雨资料统计分析得到对应的设计降雨量(见2.2节),各分区不同用地性质的地块单位建设用地面积所需的设计调蓄容积采用《指南》中的容积法进行计算。计算公式为:

$$V = 10H\varphi F \cdot V \quad (2)$$

其中: V :设计调蓄容积, m^3 ; H :设计降雨量, mm ; φ :综合雨量径流系数; F :汇水面积, hm^2 。

当汇水面积取 $1 hm^2$ 时,计算得到的结果即为每公顷建设用地所需的设计调蓄容积。

根据《昆明市城乡规划管理技术规定》中对居住用地、商务办公用地、商业娱乐用地等不同类型用地性质的建筑密度上限和绿地率下限的规定,可以计算最不利条件下的综合雨量径流系数(表1)。对于各个分区不同的地块,可以采用分区对应的设计降雨量和地块性质对应的综合雨量径流系数,以及地块汇水面积计算其所需的设计调蓄容积。

2 海绵城市规划适宜性分区和径流控制目标

根据美国农业部(USDA)国家工程手册水文部分关于水文土壤分组的相关资料,根据土壤质地及地下水水位的不同,可以将土壤分为4类:A类土壤具有较好的渗水能力,径流量产率很低;B类土壤在饱和时渗水



图2 昆明市中心城区径流控制分区
资料来源:作者自绘。

表2 径流控制分区推荐径流控制目标及对应设计降雨量

分区	分区内建设用地面积 (km ²)	分区建设用地占总建设用地比例 (%)	各分区径流控制目标 (%)	各分区对应设计降雨量 (mm/d)
滨湖区	79.65	15.6	80.0	22.00
平坝区	175.97	34.5	90.0	33.00
低山丘陵区	254.39	49.9	83.2	24.30
合计	510.01	100	85.0*	—

注*: 85.0%为以上3个分区按照面积比例的加权平均值。

能力不受影响,具有较低的径流量产率;C类土壤在饱和时具有较高的径流量产率,渗水能力受到一定限制;D类土壤饱和时入渗能力受到较大的限制,具有很高的径流产率。

2.1 径流控制分区

根据中国土壤质地空间分布数据^[5],昆明中心城区平坝区土壤中粘土含量主要在25%以上,属于粘土类土壤,其中平坝区以轻粘土为主,周边山区以重粘土为主;局部少量在15%至25%,属于粘壤土,研究区域基本没有砂土类或壤土类土壤。研究区域内滇池湖滨区地下水埋深在1.0 m以内,湖滨区以外地下水埋深基本都在10 m以上。

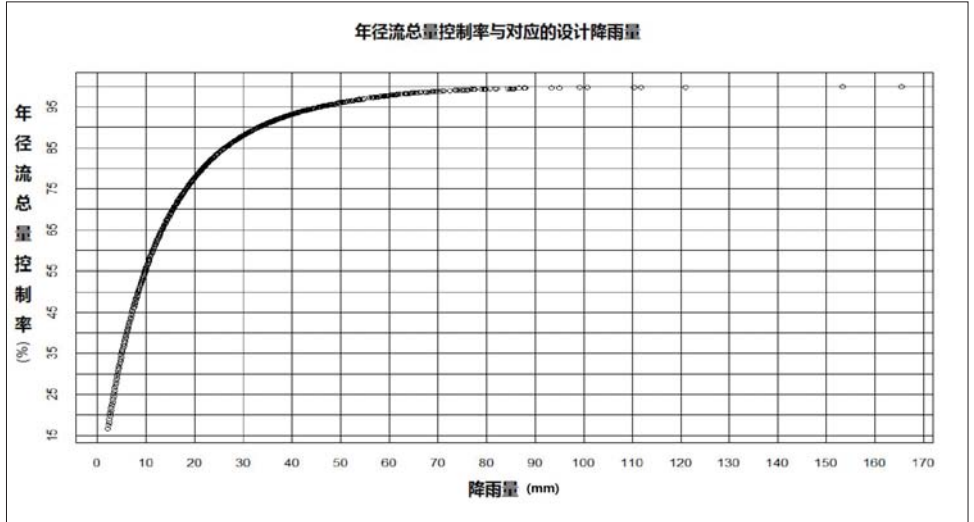


图3 昆明市年径流总量控制率随日降雨量的变化
资料来源:作者自绘。

结合土壤质地数据和地下水埋深调查数据,可以确定昆明市中心城区的水文土壤分组情况:滨湖为D类土壤,平坝区为B—C类土壤,低山丘陵区为C—D类土壤。按照水文土壤分组,将中心城区划分为3个不同的径流控制适宜性分区,即滨湖、平坝和低山丘陵区(图2)。其中滨湖由于地下水水位偏高,入渗条件最不利;平坝和低山丘陵区地下水埋深均在1.0 m以上,其中平坝区土壤以轻粘土为主,入渗条件相对较好,低山丘陵区土壤以重粘土为主,入渗条件差于平坝区。

2.2 设计降雨量分析

为了提高不同分区年径流总量控制率选取的灵活性,本研究采用《指南》中提出的年径流总量控制率对应设计降雨量的统计分析方法,利用1951年至2011年共61年的日降雨量资料^[6],首先扣除日降雨量小于等于2 mm的数据,然后对日降雨量在2 mm以上的降雨数据按从小到大的顺序进行排序,依次记为 P_1, P_2, \dots, P_n ,然后分别计算每个日降雨量数据对应的年径流总量控制率,计算公式如式1所示,并将得到的日降雨量与年径流总量控制率的对应关系绘制成图(图3)。

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^i p_k + (n-k)p_i}{\sum_{j=1}^n p_j} \times 100\% \quad (3)$$

其中, R_i 为日降雨量 P_i 对应的年径流总量控制率,%; P_i 为日降雨量在2 mm以上的数据进行排序后,排在第 i 位的日降雨量, mm/dp。

由图3可以得到不同的年径流总量控制率对应的设计降雨量,可以为后续径流控制目标的分解计算提供相应的参数。

2.3 目标分解

结合各分区的具体情况,考虑在昆明年径流总量控制目标的基础上,对各分区进行差异化控制,单位用地所需低影响开发措施的规模有所差异,要求最高的分区又不会难以达到目标。因此,结合各径流控制分区中建设用地所占面积比例及其适宜性,在满足昆明市海绵城市建设总体控制目标的情况下,拟定各分区内的径流控制目标(表2)。

3 不同分区LID措施规模及目标可达性分析

在确定了不同的分区年径流总量控制率的情况下,各分区内部不同的用地建议采用统一的年径流总量控制率,以降低管理成本,即不论哪种用地性质,均统一采用所属分区的年径流总量控制率。

考虑到年径流总量控制率为海绵城市建设的直接控制目标和昆明市以5—10 min短

表3 滨湖区各类用地径流控制指标

地块类别	滨湖区所需调蓄容积 (m ³ /hm ²)	滨湖区下凹式绿地有效蓄水深度 (cm)
新建居住区	126.0	4.0
老旧居住区改造	149.0	6.0
商业、娱乐	149.0	6.0
商务办公	149.0	6.0
公园绿地	72.0	1.0
防护绿地	57.0	1.0
广场用地	95.0	2.0
城市道路	157.0	8.0
现状小区改造	164.0	11.0
其他用地	149.0	6.0

历时高强度暴雨为主的降雨特点,而入渗是一个需要相对较长时间才能发挥作用的径流控制方法,结合国内外低影响开发措施的应用情况,建议优先采用下凹式绿地(广义的下凹式绿地泛指具有一定调蓄容积、可用于调蓄径流雨水的绿地,包括生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地等)和绿化屋顶作为核算径流调蓄设施的主要措施,调蓄的雨水后续通过入渗、蒸发和蒸腾等多种方式耗散掉;此外,透水铺装、雨水收集利用等设施作为鼓励推广设施。需要注意的是绿化屋顶调蓄径流量仅限于屋顶对应降雨部分,按照绿化屋顶面积乘以其有效蓄水深度计算调蓄容积。

3.1 滨湖区径流控制指标

在合理布局的前提下,滨湖区各类用地所需的设计调蓄容积均为220 m³/hm²与其综合雨量径流系数的乘积。以全部绿地(按最低绿地率计算)均采用下凹式绿地考虑,用地控制表中各类用地对应的下凹式绿地有效蓄水深度计算如表3所示。

3.2 平坝区径流控制指标

在合理布局的前提下,平坝区各类用地所需的设计调蓄容积均为330 m³/hm²与其综合雨量径流系数的乘积。以全部绿地(按最低绿地率计算)均采用下凹式绿地考虑,用地控制表中各类用地对应的下凹式绿地有效蓄水深度计算如表4所示。

表4 平坝区各类用地径流控制指标

地块类别	平坝区所需调蓄容积 (m ³ /hm ²)	平坝区下凹式绿地有效蓄水深度 (cm)
新建居住区	189.0	5.0
老旧居住区改造	223.0	9.0
商业、娱乐	223.0	9.0
商务办公	223.0	9.0
公园绿地	108.0	1.0
防护绿地	85.0	1.0
广场用地	142.0	2.0
城市道路	235.0	12.0
现状小区改造	246.0	17.0
其他用地	149.0	6.0

3.3 低山丘陵区径流控制指标

在合理布局的前提下,低山丘陵区各类用地所需的设计调蓄容积均为243 m³/hm²与其综合雨量径流系数的乘积。以全部绿地(按最低绿地率计算)均采用下凹式绿地考虑,用地控制表中各类用地对应的下凹式绿地有效蓄水深度计算如表5所示。

3.4 年径流总量控制方案与极端降雨情况的对比分析

图4为2008—2011年4年日降雨量(mm)数据与滨湖区设计降雨量(22.0 mm/d,蓝线)和平坝区设计降雨量(33.0 mm/d,红线)的对比图,可以看出,相对于大部分降雨,设计降雨量具有很好的径流控制的效果;但是对于一些极端天气下的强降雨,设计降雨量对应的调蓄容积能起到一定的削峰效果,但主要需依托提高城市排水管网设计标准来减少城市内涝淹水,调蓄容积的设置,可以降低淹水的程度,但不能发挥决定性的作用。

通过对1951—2011年日降雨资料的分析,可知平均每年有约12天日降雨量超过22.0 mm,约有5.4天日降雨量超过33.0 mm。

3.5 目标可达性分析

城市的河道水系是重要的降雨调蓄空间,城市规划中应尊重自然水体,减少对原有自然水体的侵占和裁弯取直,尽量保留天然水面。在不影响防洪安全的前提下,对城市河湖

表5 低山丘陵区各类用地径流控制指标

地块类别	低山丘陵区所需调蓄容积 (m ³ /hm ²)	低山丘陵区下凹式绿地有效蓄水深度 (cm)
新建居住区	139.0	4.0
老旧居住区改造	165.0	7.0
商业、娱乐	165.0	7.0
商务办公	164.0	7.0
公园绿地	79.0	1.0
防护绿地	62.0	1.0
广场用地	105.0	2.0
城市道路	173.0	9.0
现状小区改造	182.0	13.0
其他用地	149.0	6.0

水系岸线、加装盖板的天然河渠等应进行生态修复,达到蓝线控制要求,恢复其生态功能。昆明城市总体规划中中心城区河流水系面积约1 072.06 hm²,占中心城区建设用地面积的2.49%,本身已可实现对径流的调蓄与控制,可作为昆明市海绵城市建设的工作基础。

根据《指南》,狭义的下凹式绿地深度一般在10 cm—20 cm,其中有效蓄水深度在5 cm—10 cm左右比较理想,3.1—3.3节中不同分区计算的所需有效蓄水深度绝大部分在10 cm以内,除了部分城市道路和现状小区改造外,其它用地的全部绿地(按最低绿地率计算)均采用下凹式绿地的建设模式,各分区可分别达到80%、90%和83.2%的年径流总量控制率。而部分采用下凹式绿地和绿化屋顶、生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地等组合方案的年径流总量控制率需要结合各类措施的建设规模进一步核算。对于新开发地块,结合小区内部绿化景观进行配置,基本上不会增加开发成本^[1]。

对于道路,由于20%的绿地率为最低值,有些道路绿化率实际上高达30%,因此,大部分道路要满足目标要求是不存在问题的,仅有部分断面较小的市政道路存在困难,可以在建设下凹式绿化带的同时,通过应用透水铺装人行道的的方式来提高其年径流总量控制率。

对于现状小区改造,以上核算中是按照15%的绿地率进行计算的,由于历史遗留问题,部分小区的绿地率很低,建议对实现年径流总量控制率改造确实存在困难的小区,可以采用

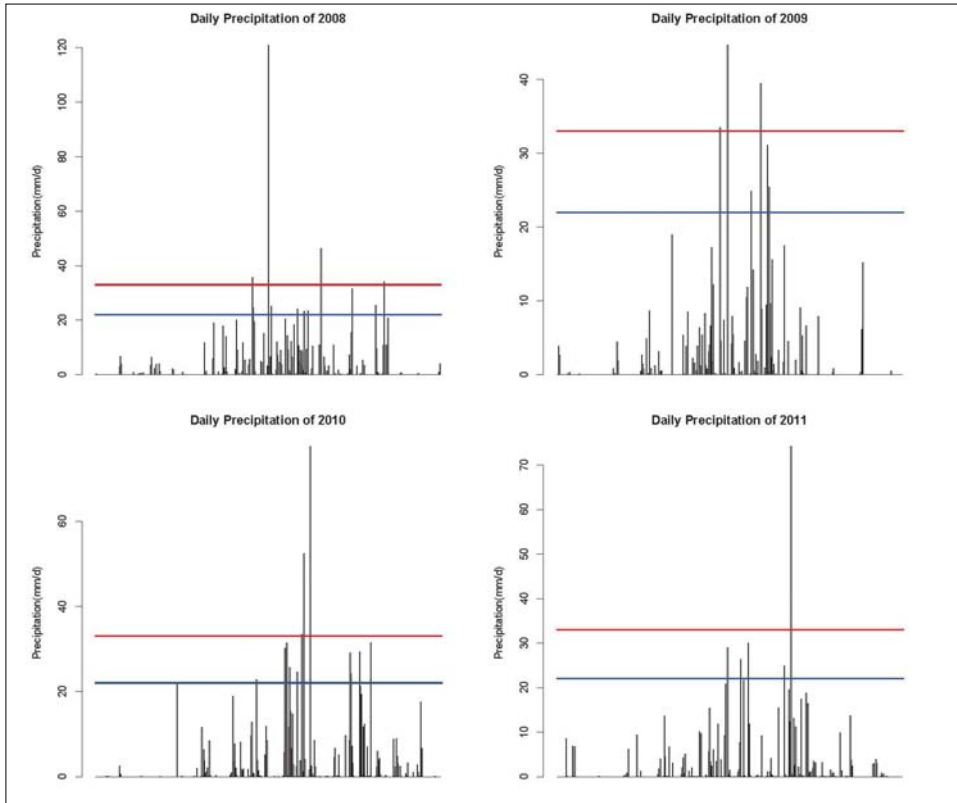


图4 2008—2011年日降雨量与湖滨区和平坝区设计降雨量对比
资料来源:作者自绘。

硬化地面控制率作为考核指标,鼓励老旧小区通过改造降低硬化地面比例,提高透水地面比例。对于绿地率较高的现状小区,其所需下凹式绿地有效蓄水深度实际上要比表中数值更低,也可以综合采取下凹式绿地、透水铺装、雨水收集桶、雨水收集池等临时措施来实现改造要求。针对建成区的改造,可部分采用下凹式绿地和绿化屋顶、生物滞留设施、渗透塘、湿塘、雨水湿地、渗渠、透水铺装、雨水桶、雨水收集池等组合方案的年径流总量控制率需要结合各类措施的建设规模进一步核算。

对于公共绿地,其本身所需调蓄容积很小,但是建议作为片区超标雨水的优先淹没区和调蓄区,不论是新建还是改造,均应当提高其有效蓄水深度,按照平均蓄水深度不低于15 cm进行设计。

在小区修建性详细规划和设计阶段,设计单位应确保按照不同的汇水分区分别核算对应的下凹式绿地和其它组合措施的调蓄容积,并给

出各分区不同措施的调蓄规模和总调蓄规模。

综上,对于新建区域,全面落实国家海绵城市建设要求,实现年径流总量控制率目标从技术上来说是完全可行的,而且下凹式绿地的建设基本不会增加地块开发费用,其他措施的建设则会增加一定的费用。对于建成区改造,绿地率较低的现状小区改造达标存在一定的难度,可以不限改造所采取的措施,鼓励灵活应用各种临时措施,以满足2020年和2030年分别实现20%和80%的建成区达到年径流总量控制率的要求。

4 结语

海绵城市建设是一个系统工程,需要在每个地块予以落实,只有真正在城市建设用地中都实现源头控制、就地控制的目标才能真正建成海绵城市。研究表明,就昆明而言,对于新开发建设用地,全面落实海绵城市建设,并实现以年径流总量控制为主的建设目标是不存在

困难的;但对现状已建成区域,要进行海绵城市改造,则存在较大的难度,需要采取一些灵活控制措施,来实现年径流总量控制目标的要求。

将海绵城市建设的总体目标进一步分解细化,并在城市规划管理工作中予以落实是推动海绵城市建设的必要环节。本研究提出的海绵城市建设任务分解细化方法和不同地块建设的规模不仅可以为昆明市海绵城市规划建设提供参考,也可以为其他城市开展海绵城市规划建设工作提供借鉴。

参考文献 References

- [1] 陈小龙,赵冬泉,盛政,等.海绵城市规划系统的开发与应用[J].中国给水排水,2015,31(19):121-125.
CHEN Xiaolong, ZHAO Dongquan, SHENG Zheng, et al. Development and application of sponge city planning system[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 121-125.
- [2] 康丹,叶青.海绵城市年径流总量控制目标取值和分解研究[J].中国给水排水,2015,31(19):126-129.
KANG Dan, YE Qing. Study on evaluation and decomposition of volume capture ratio of annual rainfall in sponge city[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 126-129.
- [3] 刘俊杰,王建军,马小杰.云锦路下沉式绿地海绵城市效益分析[J].中国市政工程,2016(2):33-39.
LIU Junjie, WANG Jianjun, MA Xiaojie. Sponge city benefit analysis of sinking afforesting on Yunjin Road[J]. China Municipal Engineering, 2016(2): 33-39.
- [4] USDA. Part 630 hydrology national engineering handbook[M]. Report No.210-VI-NEH, 2007.
- [5] 中国科学院资源环境科学数据中心.中国土壤质地空间分布数据[EB/OL].(2014-09-17)[2016-06-08].<http://www.resdc.cn>.
Resource and Environmental Data Center of China Academy of Science. Soil components distribution data of China[EB/OL].(2014-09-17)[2016-06-08].<http://www.resdc.cn>.
- [6] 中国气象数据共享中心.中国地面国际交换站气候资料日值数据集(V3.0)[EB/OL].(2012-08-04)[2016-06-08].http://data.cma.cn/data/detail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_CES_V3.0.html.
China Climatic Data Center. Daily surface climatic dataset of China International Exchange Station (V3.0)[EB/OL].(2012-08-04)[2016-06-08].http://data.cma.cn/data/detail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_CES_V3.0.html.