

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.02.002

美国雨水径流控制技术导则讨论及其借鉴

李俊奇¹, 李小静², 王文亮³, 刘超⁴, FANG Xing⁵, 袁冬海¹

(1. 北京建筑大学城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044;

2. 中国城市科学研究会, 北京 100835; 3. 北京建筑大学海绵城市研究院, 北京 100044;

4. 北京市首都规划设计工程咨询开发公司, 北京 100031; 5. 美国奥本大学土木工程系, 美国 奥本 36849-5337)

摘要:介绍美国能源独立与安全法案(Energy Independence and Security Act, EISA)第438条基本情况, 438条文实施的技术导则的核心理念是要求项目开发采取原位滞留雨水的“绿色基础设施”或“低影响开发”, 以渗透、蒸发/蒸腾、储存回用的途径来减少雨水径流外排量, 以恢复开发前的水文状态为目标, 从而缓解项目开发带来的系列水环境问题, 这与我国《海绵城市建设技术指南》一致。在介绍第438条基本情况的基础上, 对美国环保署发布的“关于实施联邦项目执行EISA 438条文的雨水径流减排技术导则”中的实施方法进行了分析和讨论, 介绍了美国其他联邦部门及地区根据438条文对雨水管理设计标准进行的补充规定, 旨在为我国海绵城市建设相关标准的制定提供借鉴。

关键词:城市雨水; EISA438条文; 低影响开发; 雨水源头控制; 技术导则

中图分类号: TU991

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2017)02-0006-07

Technical guidance for stormwater runoff control in United States and its significance

LI Junqi¹, LI Xiaojing², WANG Wenliang³, LIU Chao⁴, FANG Xing⁵, YUAN Donghai¹

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment (Ministry of Education), Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;

2. Chinese Society for Urban Studies, Beijing 100835, China;

3. Institute of Sponge City, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;

4. Capital Urban Planning and Design Consulting Development Corporation, Beijing 100031, China;

5. Department of Civil Engineering, Auburn University, Auburn 36849-5337, USA)

Abstract: In this paper, we discuss section 438 of the Energy Independence and Security Act (EISA) of the United States. The intention of the technical guidance for section 438 of EISA is to maintain or restore the predevelopment site hydrology, which can be achieved through the use of green infrastructure/low impact development (GI/LID) by infiltration, evaporation/transpiration, and stormwater collection, in order to solve water environmental problems due to land development projects. This is similar to the goal of Sponge City Technical Guide for Urban Development in China. Based on an introduction of section 438 of the EISA, we analyze and discuss the implementation of the Technical Guidance for Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the EISA developed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). In addition, we introduce the supplementary provisions of stormwater management design criteria developed by other federal departments and local government according to section 438 of the EISA, providing references for constituting criteria for sponge city construction in China.

Key words: urban stormwater; section 438 of EISA; LID; stormwater source control; technical guidance

基金项目: 国家自然科学基金(51478026); 北京市社会科学基金重点项目(14CSA001); 北京未来城市设计高精尖创新中心资助项目(UDC2016040100)

作者简介: 李俊奇(1967—), 男, 教授, 博士, 主要从事雨水控制利用和环境管理政策研究。E-mail: jqli6711@vip.163.com

1 背景及意义

在美国,城市雨水径流是导致水环境问题的一个关键因素。城市建设中大量非透水表面阻止了雨水向地下渗透,使工程项目场地内产生的径流以远超过自然状态下的流量、流速和水量向外排放,加剧了城市内涝、水土侵蚀,产生了水体污染负荷增加、径流温度升高等多方面影响。解决雨水问题的关键是尽力保护及恢复开发前的水文状态,美国国会要求联邦机构从国家层面带头采用绿色基础设施 (green infrastructure, GI) 和低影响开发 (low impact development, LID) 以减少雨水带来的水环境问题。

美国国会 2007 年颁布了“能源独立与安全法案 (Energy Independence and Security Act, EISA)”,其中第 438 条是对建设项目雨水径流的要求:所有占地面积超过 465 m² 的新建和改建联邦建设项目的发起者,应采取场地规划、设计、建设和管理的策略,在最大程度技术可行 (maximum extent technically feasible, METF) 的原则之下,维持及恢复建设项目场地开发前雨水的径流温度、流量、径流总量和汇流时间方面的水文状态。

但在第 438 条法令颁布的初期,联邦机构配合新法律采取实质性的行动很少,因此该法令并未得到很好执行。直到 2009 年 10 月,奥巴马总统签署了关于“联邦层面要在环境、能源和经济绩效方面带头”的 13514 号行政指令,号召所有联邦机构要在解决包括雨水径流在内的环境问题中起带头作用。其中,总统行政指令第 14 条(编制联邦机构雨水导则)中,明令要求美国环保署 (USEPA) 在该指令发出的 60d 之内与其他相关联邦机构进行协调,提出针对 438 号条文的实施导则^[1]。这一指令使编写和发布技术导则的任务正式而明确地分配给了 USEPA。2009 年 12 月,USEPA 公开下发了关于“联邦工程项目实施 EISA 438 条文雨水径流控制技术导则(以下简称 438 技术导则)”^[2]。

2 438 技术导则的主要内容

USEPA 发布的 438 技术导则介绍了新的雨水管理规定的背景、效益和成果、适用性和定义、如何满足 438 条文规定的实施手段、95% 降雨场次降雨量的计算方法,并以案例的形式说明了最大程度技术可行的原则,在满足对设计降雨的径流体积控制要求的前提下因地制宜地规划和选择绿色基础设施或低影响开发措施。

2.1 控制标准

438 条文对联邦政府新建改建项目雨水径流的

管理进行了严格的规定,目标是以建设项目为单位,控制建设项目引起的场地雨水径流总量增加、峰值流量增大、峰值持续时间延长、径流污染和径流温度升高 5 方面的影响。

为遵守 438 条文,USEPA 发布的 438 技术导则为各联邦政府机构和部门提供了两种选择:①截留 95% 降雨场次的雨水;②根据场地具体条件进行水文模拟分析以确保开发后与开发前的水文条件一致,并确定源头控制设施的设计径流减排体积。由于水文模拟分析复杂,“截留 95% 降雨场次的雨水”这一指标性的要求成为 438 条文落实到建设项目的核心,也引领了其他地方政府及联邦部门雨水管理标准的制定和核编。

438 技术导则指出了截留和控制 95% 降雨场次的雨水的依据,认为 95% 降雨场次所对应的雨水总量似乎能最好地代表自然条件下能够完全下渗的雨量,这部分雨水径流应进行源头或项目场地内控制。438 技术导则给出了详细的技术信息,介绍了如何统计分析日降雨数据来确定和计算 95% 降雨场次的设计降雨量。在术语上,438 技术导则指出了降雨场次可用日降雨场次来分析计算,即用历史降雨记录阶段的 24h(2 d 零点之间)累计降雨量,并指出降雨数据的统计年限至少为 10 ~ 30 年。导则列出了美国 21 个城市的 95% 降雨场次所对应的设计降雨深度。

在技术可行的地区,选择①的原则是将项目占地面积内小于等于 95% 降雨场次所对应的降雨应全部控制而不外排至地表水体。在某些情况下,雨水被收集和利用,并最终排放至地表水体或城市水处理系统。这些直接或间接的雨水径流排放都需要取得监管机构的许可。超过 95% 降雨场次之外的雨水可以通过溢流排放或转输至其他容纳处。

选择②是通过连续模拟分析场地的雨水设计措施及规划使雨水系统能维持开发前水文状态,它允许设计者进行场地水文分析确定开发前径流情况,可取代选择①的体积估算方法。选择②是根据场地具体条件和当地气象资料通过采用连续模拟模型技术、已公开的资料和研究结果等其他已有工具来确定开发前的水文条件。若设计者用选择②,则要确定开发前的场地条件,计算开发后的径流体积、峰值流量和温度,来确保其不超过开发前的值。

可以看出,438 技术导则是以控制开发过程中的水文状态为目标,可以通过用“控制率”(如 95% 降雨场次)的方式来确定雨水径流控制设施的设计降雨深度,从而确定其规模(这是通过控制中小降雨事件来最终实现径流体积和污染物总量控制);

也可以通过模型模拟技术来保证开发过程中水文状态不变,根据场地的具体条件灵活选择核算以拦截、渗透、蒸发、收集利用等源头管理途径为核心的绿色基础设施/低影响开发(GI/LID)的规模。

2.2 技术框架

438 技术导则指出,要因地制宜地选择 GI/LID 措施来渗透、集蓄利用雨水,通过项目场地内控制方式实现径流减排目标。具体实施过程中,当受场地内用地条件,如场地大小、土壤类型、植物、用水需求等制约时,还可在临近的有条件的联邦政府项目内建设调蓄设施,即通过场地外的设施综合达到径流减排目标。同时,空间较足的地块可将多余的调蓄能力出让,接纳其他地块的径流雨水并收取维护管理费用。具体技术框架和路线见图 1^[2]。

2.3 最大程度技术可行性

最大程度技术可行性是 438 条文中雨水管理措施设计时必须符合的标准。设计者通过这个原则来确定项目场地中维持或恢复水文条件的措施类型。设计者应评估项目场地的选择以实现设计目标在技术上最大程度可行性。这一准则要求充分应用可以接受的以及合理的雨水滞留和利用技术,要考虑场地条件(如场地大小、土壤类型、植物、雨水回用需求)和监管限制,以及现有雨水结构物限制等,所有这些场地具体的限制条件均明文列出。如果场地内的可用地无法满足设计目标,GI/LID 设施可以在附近有条件实施的联邦政府项目场地内进行。

2.4 常用设施

常用的 GI/LID 设施以分散式小型设施为主,但又不限于小型设施,如雨水花园、生物滞留、渗蓄花

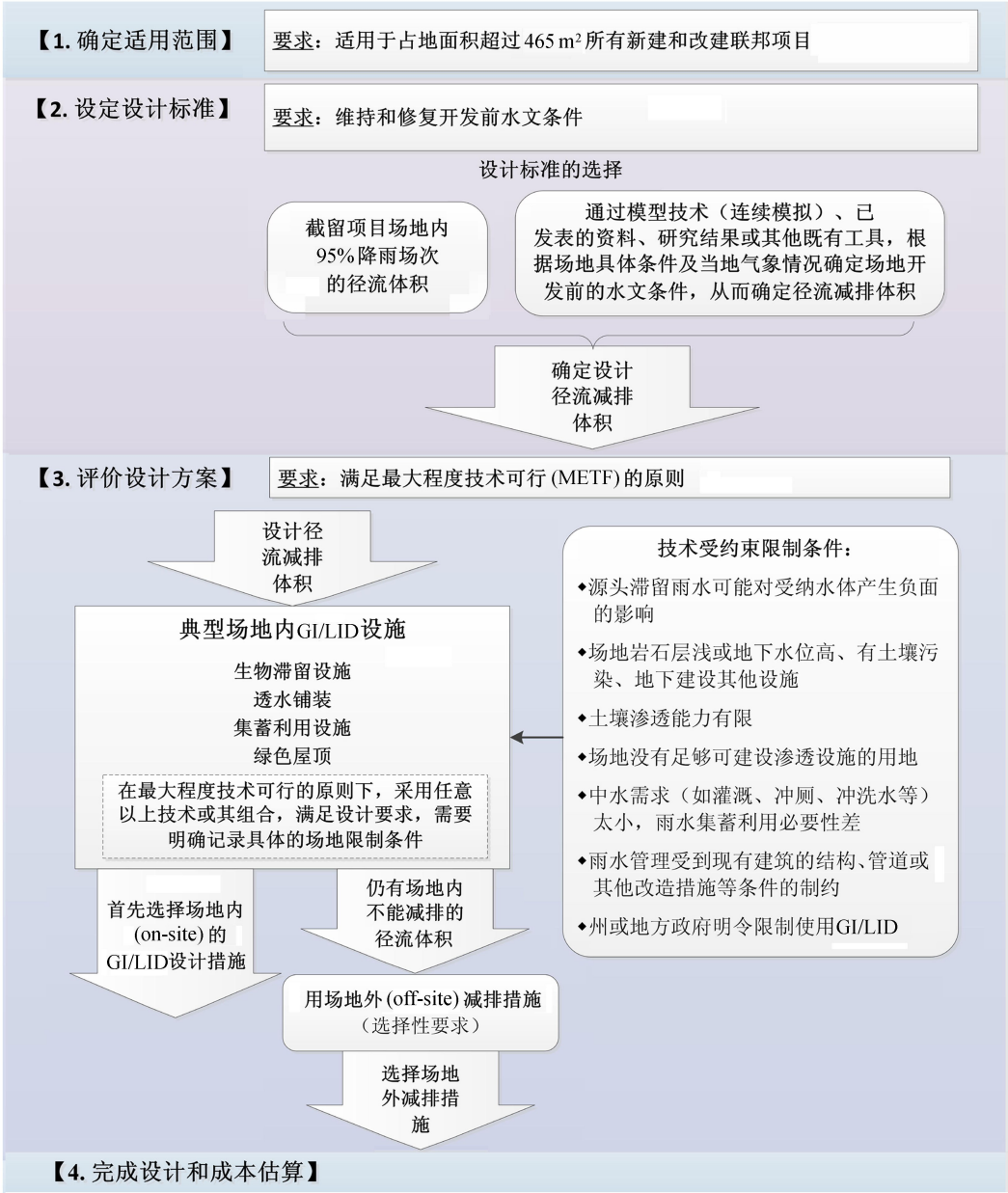


图 1 438 技术导则中低影响开发雨水系统技术路线

坛、透水铺装、植被浅沟、屋顶绿化、树池、小型湿地、本土植物的植被恢复、保护及加强河岸缓冲带和洪泛平原,雨水集蓄利用(如灌溉水、暖通空调补充水、室内非饮用水)等。选择这些措施的原因是:多数情况下可以节约成本,提升整体环境效益;径流污染物去除能力强,可去除的污染物种类多;控制径流体积和流量的效果好,效能高且节能,适用于多种场地以及新建项目和改建项目,可在场地、街区、区域等多种尺度建设中应用。

2.5 实施成本

最初设计施工阶段成本可能会较高,但是相比于传统雨水措施,使用 GI/LID 措施会使得项目全过程费用降低。USEPA 于 2007 年发布《Reducing Stormwater Costs through LID Strategies and Practices》^[3],通过 17 个案例对传统措施和 GI/LID 措施的成本情况进行对比分析,结果表明,多数案例中,GI/LID 措施比传统措施节约 15% ~ 80% 的成本,具体包括:减少了滞留塘的使用;减少了雨水及合流制排水管道溢流的处理和传输系统,如管道、储水构筑物、雨水处理设施和其他相关设施;缩小道路宽度,减少步行道面积,从而节约材料;减少大型工程雨水控制设施的占地面积等。

3 计算方法

438 技术导则有 3 个步骤:①对多年 24 h 降雨数据进行统计分析,得出 95% 降雨场次所对应的设计降雨量;②选择一种水文方法计算设计降雨在一个工程项目中产生的径流量;③选择合适规模的 GI/LID 设施来截留设计降雨产生的径流。在项目场地内最大程度技术可行的原则下,采用各种 GI/LID 设施组合实现截留径流量的设计目标,若场地内的 GI/LID 设施组合无法达到设计目标,则考虑场地外的设施来满足设计目标。以上是采用 438 技术导则选择①的技术路线。若采用选择②,则步骤①②都用水文模型来实现。

3.1 95% 降雨场次的设计降雨量

95% 降雨场次的设计降雨量是指在一个降雨记录阶段内 95% 场次的降雨量小于或等于该降雨量(从小到大排序时 95 百分位对应的降雨量)。如确定 95% 年降雨场次是在某具体的地点,则将连续多年的 24 h 降雨量(单位为 mm)制成表格,计算出来的这些年 95 百分位在多年降雨场次所对应的降雨量就是设计降雨量,这意味着至少有 95% 的 24 h 降雨量比这个设计降雨量要小,且至少有 5% 的降雨量比这个值要大。438 技术导则中,列出了如何计算某具体地点的 95% 降雨场次计算方法:①从距离

建设项目最近的气象站获得长期(至少 10 年,最好 30 年或更长时间)的日降雨记录;②剔除降雨量不大于 2.5 mm 的降雨和降雪事件,因为其不产生径流;③在 Excel 表格中对数据进行排序,利用 PERCENTILE 函数计算出 95 百分位的降雨量。可用降雨场次的百分位为横坐标、对应设计降雨量(降雨深度)为纵坐标绘制成曲线。图 2 显示北京市 95% 降雨场次所对应的设计降雨量是 51.9 mm。

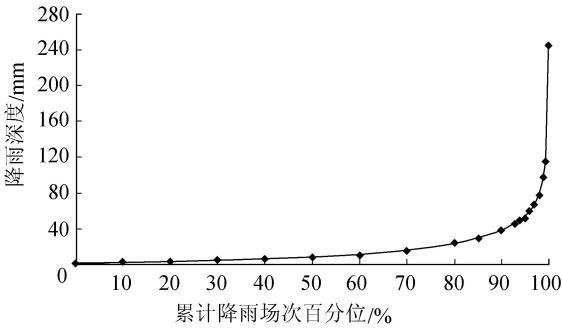


图 2 以北京 1951—2012 年 24 h 降雨数据为例计算
累计降雨场次对应设计降雨量曲线

3.2 需控制雨水径流量的计算

接下来将计算出的降雨场次对应的设计降雨量转化为需要控制的雨水径流量。438 技术导则指出,用于计算雨水径流量的推算公式、水文模型等技术有多种,主要包括合理公式法、TR-55 曲线法、SWMM、直接推算法、HSPF、QUALHYMO 等^[2]。这些计算方法和技术各有适用范围和优缺点,其中直接推算法与 SWMM 的径流计算方法原理相近,并且可以使用简单表格进行计算。该方法的原理是通过降雨量 R_f 扣除洼地储存 S 和入渗损失量 L 来计算控制径流量 R :

$$R = R_f - S - L \tag{1}$$

a. 采用霍顿入渗方程计算入渗损失。

$$f_t = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min}) e^{-kt} \tag{2}$$

式中: f_t 为 t 时刻的渗透速率,mm/s; $f_{\min}$ 为最小渗透速率,即饱和时渗透速率,mm/s; $f_{\max}$ 为最大渗透速率,即初始时渗透速率,mm/s; k 为渗透速率衰减参数,1/h; t 为降雨或雨水径流排至可渗透地面的时间,h。

由式(2)计算 24 h 内不同时间的渗透速率 $f_i(i = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots)$,以 0.5 h 为时间间隔(Δt),再用式(3)计算第 n 时间段内的渗透量。

$$(f\Delta t)_n = [(f_{n-1} + f_n)/2] \Delta t \tag{3}$$

24 h 总入渗量 L_{24} 为

$$L_{24} = \sum_{n=1}^{48} (f\Delta t)_n \tag{4}$$

b. 基于 95% 降雨场次降雨深度计算不同下垫面的径流深度(量)。

屋面:

$$R_{\text{屋面}} = R_{f-95\%} - S \quad (5)$$

硬质铺装:

$$R_{\text{铺装}} = R_{f-95\%} - S \quad (6)$$

透水地表:

$$R_{\text{透水地表}} = R_{f-95\%} - S - L \quad (7)$$

式中: $R_{f-95\%}$ 为95%降雨场次的降雨量,通过绘制场次降雨累计曲线(图2)得出;洼地储存(初始损失) S 取值为:屋面2.5 mm,铺装2.5 mm,透水地表5.1 mm。

场地内总设计径流深度计算公式为

$$H_{\text{场地}} = (R_{\text{屋面}} A_{\text{屋面}} + R_{\text{铺装}} A_{\text{铺装}} + R_{\text{透水地表}} A_{\text{透水地表}}) / A_{\text{场地}} \quad (8)$$

式中, $R_{\text{屋面}}$ 、 $R_{\text{铺装}}$ 、 $R_{\text{透水地表}}$ 分别为屋面、铺装、透水地表下垫面95%降雨场次降雨的径流深度,mm; $A_{\text{屋面}}$ 、 $A_{\text{铺装}}$ 、 $A_{\text{透水地表}}$ 分别为屋面、铺装、透水地表下垫面面积, m^2 ; $A_{\text{场地}}$ 为场地内开发项目占地总面积, m^2 。

c. 不同控制设施的设计储水深度。

生物滞留:最高25 cm(根据存储体积平衡、植物生长介质深度、地表面积限制进行必要的调整);绿色屋顶:2.5 cm(介质高度为6.35 cm,40%的孔隙率);透水铺装:10 cm(介质高度为25.4 cm,40%的孔隙率)。

3.3 设计案例——选择合适大小的 GI/LID 设施来截留设计降雨的径流

438 技术导则介绍了利用场地内 GI/LID 措施截留95%降雨场次设计降雨产生的径流量的9个案例,其中前8个案例利用 GI/LID 设施实现场地内截留95%降雨场次设计降雨产生的径流量,第9个案例是一个老旧小区改造的特殊案例。由于老旧区域改造场地条件受不透水率高的限制,场地内 GI/LID 设施只能截留95%降雨场次设计降雨产生的径流量的75%,剩余部分的径流只能排到场地外,要考虑场地外的设施来满足设计目标。

4 联邦政府部门或地方设计标准的更新与延伸

美国国防部的统一设施标准是在新的政策法规438 条文颁布之后于2010 年根据 USEPA 发布的技术导则对2004 年发布的 LID 标准的修订,修订的原因是在2010 年1月19 日美国国防部负责设施和环境的部门“Deputy Under Secretary of Defense, Installation and Environment”发出指令要求国防部的所有下属部门采取 GI/LID 技术以落实438 技术导则。由于认识到不同州的管理要求可能会影响到 GI/LID 具体的设计因素和实践,因此,在满足438

技术导则设计目标的前提下,具体措施的设计方面,场地设计者应参考州及地方的标准。在没有州及地方标准的情况下,参考马里兰州和乔治亚州环境资源部门发布的 LID 手册^[4]。

纽约州2010 和2015 年颁布的《纽约州雨水管理设计手册》^[5]对水质控制体积(Water Quality Volume, V_{WQ})有规定,建议池塘、湿地、下渗或过滤设施、明渠和许多可达到水质控制体积要求的 GI 设施,采用马里兰州提出的在美国东北部常见控制90%降雨场次控制率。 V_{WQ} 一般计算方法为

$$V_{\text{WQ}} = P_{90\%} R_v A \quad (9)$$

式中: $P_{90\%}$ 为90%降雨场次所对应的降雨深度; A 为设计场地面积; R_v 为体积径流系数,根据场地的不透水面覆盖率*i*而定,其计算公式为

$$R_v = 0.05 + 0.009i \quad (10)$$

438 技术导则规定了设计、建设和维护雨水径流源头控制系统时,采用收集、减排、利用和处理的绿色雨水管理措施,阻止不大于95%降雨场次的降雨量外排,并利用连续模型模拟分析和评价汇流时间、下游河道水质、水量、生物和水生环境的可持续性不超过开发前的水文特征。

438 条文规定的标准是目前最为严格的,首先在联邦政府的项目中得到应用,起到了带头作用,后来在污染较为严重的美国核心流域切萨皮克湾地区得到执行。95%年降雨场次随后出现在2010 年的《切萨皮克湾流域联邦政府土地管理导则》^[6]及2013 年的《哥伦比亚雨水管理导则》^[7]。《哥伦比亚雨水管理导则》在2003 年版手册基础上进行了大幅修订。2013 年版《哥伦比亚雨水管理导则》中的雨水体积标准体系在原标准上新增了“雨水源头滞留体积(Stormwater Retention Volume, V_{SR})”。设计降雨标准为80%~90%降雨场次控制率,分为3个级别:一般开发项目为80%;一般重要的开发项目(如阿纳卡斯蒂亚海滨开发区)为85%;重大土地侵扰开发项目90%。只要不是联邦政府项目,设计降雨标准可低于95%降雨场次控制率。 V_{SR} 的计算公式为

$$V_{\text{SR}} = P(R_{\text{VI}} I + R_{\text{VC}} C + R_{\text{VN}} N) S_A \quad (11)$$

式中: P 为降雨场次控制率(分别为80%、85%、90%)所对应的设计降雨深度; R_{VI} 为不透水面的径流系数,取0.95; R_{VC} 为压实地表的径流系数,取0.25; R_{VN} 为自然地表的径流系数,取0.00; I 、 C 、 N 分别为不透水面、压实地表和自然地表所占总面积的百分比; S_A 为开发项目占地总面积。

式(11)实际用于估算降雨产生的径流体积(也即 GI/LID 设施设计的下渗或滞留体积)。

哥伦比亚特区的阿纳卡斯蒂亚海滨开发区需要

执行 2012 年的阿纳卡斯基亚海滨区环境标准修正法案,还要满足水质控制标准 V_{WQ} ,其计算的方法是在 95% 降雨场次对应的设计降雨量扣除场地的源头滞留措施削减体积之后,需要采取水质控制措施的径流体积,若场地内不能满足要求再去衡量采取场地外措施处理径流雨水所需要的体积。这一标准体现了鼓励采用 GI/LID 技术,通过源头滞留可减少雨水水质控制体积, W_{Qv} 计算公式为

$$V_{WQ} = [P_{95\%}(R_{VI}I + R_{VC}C + R_{VN}N)S_A] - V_{SR} \quad (12)$$

式中: $P_{95\%}$ 为 95% 降雨场次对应的设计降雨深度。

值得注意的是,美国一些州的标准在修订中纷纷纳入了源头下渗回补的标准,下渗回补标准是包含在水质控制体积之内的。设置地下水回补体积标准的目的是,是场地开发时维持现有地下水补给率。明确要求控制开发后设计下渗回补的体积,是为了使开发前的年地下水回补量的损失最小。雨水下渗有助于保护开发前的地下水位,以及维持河流和湿地在非雨季条件下的水文状态。雨水下渗回补能降低雨水管理设施的总体规模及费用。目前,下渗控制标准主要有:降雨初期 12.7 mm 降雨量对应的径流量;居住区维持开发前下渗量的 90%,非居住区维持开发前下渗量的 60%;最大程度维持开发前后年均下渗量不变,或 2 年一遇 24 h 降雨开发前后增加的径流量需下渗^[8]。

5 对 438 技术导则的剖析和讨论

从主要目的看,438 技术导则首先是从环境保护角度出发,控制雨水径流污染、维持及恢复开发前的水文状态。438 技术导则提供的第一个选择是用适宜的规划和选择绿色基础设施或低影响开发措施来控制并截留降雨产生的径流。降雨是一种随机性强的自然现象,美国环保署选择 24 h(2 d 零点之间)降雨深度来计算 95% 降雨场次的设计降雨量,这个数据在许多的城市和气象站都是易于获得的。我国《海绵城市建设技术指南(试行)》(以下简称《指南》)提出的“年径流总量控制率”主要是从水文控制的角度出发,它是雨水源头控制的重要设计参数。王文亮等^[9]指出《指南》中的“年径流总量控制率”实为年雨量控制率。事实上,在工程实践中,该指标的落实是通过控制降雨产生的径流来实现的,相关雨水设施的规模也可按照设计降雨量标准,通过径流体积计算来确定,也就是说,实际工程控制的仍是径流,只是统计分析的是雨量。从这个意义上讲,《指南》中“年径流总量控制率”和 438 技术导则的第一个选择有相同的内涵,尽管确定设计降雨量的方法不完全一致。

美国 438 技术导则和我国《指南》都提倡用 GI/LID 设施来控制并截留频率较小降雨产生的径流总量。Shestha 等^[10]2013 年采用 438 技术导则的方法计算美国 206 个城市 85%、90% 和 95% 日降雨场次的设计降雨量,并与 1 年重现期 24h 降雨量进行比较,发现 95% 日降雨场次的设计降雨量仅仅大约为 1 年重现期 24h 降雨量的 1/2。王文亮等^[9]对中国 10 个城市日降雨数据进行统计分析,得出 95% 降雨场次和 85% 年雨量控制率对应的设计降雨量,发现美国的标准高于《指南》的标准,截留 95% 的降雨场次或 85% 年雨量控制率的设计降雨产生的径流都是远低于现行市政排水和内涝防治的控制标准,但对控制雨水径流污染,维持及恢复开发前的水文状态,都是有极大好处和贡献的。

从图 1 的技术路线,应该清楚地认识到 95% 降雨场次所对应的设计降雨量是一个为选择合适大小的 GI/LID 设施的设计参数或设计指标。各工程项目场地具体条件不同,GI/LID 设施组合对径流的控制率是不确定的。《指南》中的“年径流总量控制率”也是得出一个设计降雨量。Shestha 等^[11]2013 年讨论建议用不同降雨间隔时间(无雨时间、6、8、12、24、48、72 h)的多年小时降雨数据来确定每场降雨的雨量,再得出 95% 降雨场次设计降雨量。发现用多年小时降雨数据得出的设计降雨量平均 11%~100% 大于日降雨数据得出的 95% 降雨场次控制率所对应的设计降雨量,但是多年 24h 或日降雨量在许多的城市都是比较容易获得的,有益于 438 技术导则的落实执行,因此仍是可取的方法。

此外,值得注意的是,EISA 438 是美国的一个联邦法规,各联邦政府机构都必须遵守,但 438 技术导则明确指出导则不是法规,仅作为指导帮助联邦政府机构实现、测量和评估如何遵守 EISA 438 法规条文的一些具体选择和方法,并不替代现有的法规或条例。EISA 438 作为联邦法规,给出对联邦政府项目新的雨水管理规定的框架,但如何去实现和达到维持和恢复开发前的水文条件的目标,没有作详细的规定。正因为如此,才有美国环保署 438 技术导则。美国许多联邦法规和各州的法规或条例都有类似关系。在美国,联邦法规少,州、县的法规或条例多。当然州、县的法规或条例不能和联邦法规相抵触和矛盾,一般有更具体、更可行的规定。联邦政府新建改建项目既要遵守 EISA 438 联邦法规,也要遵守项目所在地的州、县的法规或条例。事实上,在 438 技术导则发布之前,有的州、县已有类似的雨水管理规定,如要求截留 85% 或 90% 降雨场次的雨水。

当然,由于 438 技术导则不是法规,具体的联邦政府项目也可不按其具体选择和方法去做,只要能证明其做法是遵守 EISA 438 法规条文就行。如,为执行遵守 EISA 438 法规条文和技术导则,须将设计降雨量转换为径流体积,可用 438 技术导则中的直接推算法,也可用其他许多水文方法去计算径流体积,或某项目完全可以不用霍顿入渗方程来计算入渗损失。所有联邦政府项目关键点是遵守 EISA 438 法规条文,但法规条文和技术导则都给出空间和余地,让每个项目的管理和工程技术人员发挥其创造力,灵活机动地达到目标。

6 对我国海绵城市建设标准制定的借鉴

可以看出,美国的 GI/LID 也是在逐渐地完善,并得到重视,上升到法律层面,政府项目带头示范。各州雨水许可、规范及标准中均体现了开发后维持及恢复开发前的水文状态,采取源头滞留、最大化渗透作用、地下水回补要求这些新理念及标准。联邦设施的能源独立与安全法案、绿色建筑认证/绿色设计、各州的雨水管理规范、新 MS4 雨水许可等的共同作用,均推动了美国雨水管理的革新。2015 年,我国以试点的方式启动了全国海绵城市建设工作,目前全国 30 个中央财政支持海绵城市建设试点,为我国雨水管理和海绵城市建设探路。这与美国联邦政府项目率先示范起带动作用,异曲同工。中国未来区分项目类型(政府的、私营的等)和投资性质,确定率先要遵循的准则,也不失为一个良策。

我国发布的《指南》与 438 技术导则在国家层面的作用接近,海绵城市已作为我国国家层面战略发展方向,《指南》也充分发挥了作为全国各城市进行海绵城市规划建设的重要技术参考性文件的作用。目前,多数试点城市已经或正在编制地方层面的海绵城市建设方面的专项规划、设计导则等指引性文件,也遇到了很多困惑,如有的过于细化指标和措施种类,一定程度上限制了方案的灵活性和适宜性。具体到项目本身落地层面,更应强调对场地条件的分析,虽然看上去最大程度技术可行的原则是比较抽象的概念,但这也是基于项目场地内用地性质等条件,在规划、设计中发现问题和寻找出路的途径,到底需要多少设施,场地可以建多少设施,设施能不能汇集雨水、能收集多大汇水面积上的雨水,就地滞留多少雨水,分析清楚了才能确保控制目标的可实现性。438 技术导则指出每个设施的最终设计和竣工图纸应由专业的注册工程师审查,要树立执行法规的严肃性和一致性,更要对法规条文和技术导则给出一定空间和余地,让每个项目的管理和工

程技术人员,发挥其创造力,以灵活机动地达到目标,又遵守法规或条例。

对于已建成老城区,海绵城市技术能够起到弥补现有排水设施能力不足、减少径流污染等作用。在美国这种已有多年实践经验的国家,老城区实现 GI/LID 也是十分困难的,438 技术导则以案例的形式说明了适当降低目标。在我国,由于场地条件限制,可允许设计改建项目的场地内雨水滞留控制要求比新建项目有所降低,但前提是需要根据最大限度可行性进行分析。针对改造项目的特点,特别强调尽量减少不透水面积,采用绿色屋顶、下沉式绿地、透水铺装等小的分散式 GI/LID 措施,充分与现有排水设施结合。条件有限的情况下,在场地外提供一个等量的弥补处理设施,可以进行雨水滞留调蓄权交易。

随着《指南》的发布和全国多个试点城市的规划建设,我国海绵城市建设标准逐步完善。其中,源头控制的核心指标年径流总量控制率的实现途径并不限制其控制方式,可选择下渗、集蓄和净化等多种模式来实现。目前,我国海绵城市建设指标中暂没有限制这几部分的具体要求。特别是从模拟自然状态水文循环的实质出发,需要保证一定的雨水下渗量,而集蓄或净化后排放的雨水量根据实际情况确定,建议各地在确定雨水源头控制指标时,结合具体情况,可明确下渗量等各部分的控制标准,但具体方式还应根据不同城市的具体情况来确定。

参考文献:

- [1] The White House Office of the Press Secretary. Executive order federal leadership in environmental, energy, and economic performance [R]. Washington D C: The White House Office of the Press Secretary, 2009.
- [2] U S Environmental Protection Agency. Technical guidance for implementing the stormwater runoff requirements for federal projects under section 438 of the energy independence and security act of 2007 [M]. Washington D C: U S Environmental Protection Agency, 2009.
- [3] U S Environmental Protection Agency. EPA 841-F-07-006, reducing stormwater costs though LID strategies and practices [EB/OL]. [2007-12-23]. <http://www.epa.gov/nps/lid/2007>.
- [4] UFC 3-210-10 Unified facilities criteria low impact development [S].
- [5] Department of Environmental Conservation. New York State Stormwater Management Design Manual [EB/OL]. [2015-01-20]. <http://www.dec.ny.gov/chemical/29072.html>.

(下转第 62 页)

到 405℃ 时,COD 和 TOC 去除率分别从 89.8% 和 88% 升高到 98% 和 96.6%。但是,继续升高温度,COD 和 TOC 去除率提高不明显。

b. 压力对 COD 和 TOC 去除率的影响不如反应温度影响大。当压力达到 28 MPa 时,COD 和 TOC 的去除率分别为 97.9% 和 95.4%。

c. 延长停留时间能有效地提高 COD 和 TOC 的去除率。当停留时间从 18.6 s 延长到 37.1 s 时,COD 和 TOC 的去除率分别从 86% 和 86.5% 提高到 98.8% 和 97.6%。

d. 超临界水氧化处理能显著提高渗滤液的可生化性,其生化比值由反应前的 0.12 提高到 0.55。

参考文献:

[1] 王小飞,王增长. MAP-Fenton 法预处理垃圾渗滤液的实验研究[J]. 环境污染与防治,2015,37(10): 42-47. (WANG Xiaofei, WANG Zhengzhang. Experimental study on pretreatment of landfill leachate by MAP-Fenton[J]. Environmental Pollution and Control,2015,37(10): 42-47. (in Chinese))

[2] 王罕,蒋文化,马三剑. UASB+MBR+NF 处理焚烧垃圾渗滤液的设计及运行[J]. 工业水处理,2014,34(11): 87-89. (WANG Han,JIANG Wenhua,MA Sanjian. Design and operation of treatment of landfill leachate by UASB+MBR+NF[J]. Industrial Water Treatment,2014,34(11): 87-89. (in Chinese))

[3] 于昕,林庚. 微电解-UASB 组合工艺处理城市垃圾渗滤液[J]. 工业水处理,2011,31(3): 30-32. (YU Xin,LIN Geng. Treatment of municipal landfill leachate by combined process of micro electrolysis and UASB [J]. Industrial Water Treatment,2011,31(3): 30-32. (in Chinese))

[4] 高艳娇,赵丽红,李慧婷,等. 厌氧复合床/生物接触氧化反应器处理垃圾渗滤液[J]. 环境污染与防治,2009,31

(6):47-49. (GAO Yanjiao,ZHAO Lihong,LI Huiting, et al. Treatment of landfill leachate by upflow blanket filter/biological contact oxidation reactor [J]. Environmental Pollution and Control,2009,31(6):47-49. (in Chinese))

[5] 熊小京,简海霞. A/O MBR 与 BAF 组合工艺处理垃圾渗滤液[J]. 工业水处理,2007,27(9): 39-41. (XIONG Xiaojing, JIAN Haixia. Treatment of landfill leachate by combined process of A/O MBR and BAF [J]. Industrial Water Treatment,2007,27(9): 39-41. (in Chinese))

[6] 刘美明,刘佩佩,龚珂. 垃圾渗滤液的超临界水氧化法处理应用研究[J]. 环境科学与管理,2010,35(6): 87-89. (LIU Meiming,LIU Peipei,GONG Ke. Applied research of supercritical water oxidation process of landfill leachate [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(6): 87-89. (in Chinese))

[7] 公彦猛,王树众,肖旻砚,等. 垃圾渗滤液超临界水氧化处理的研究现状[J]. 工业水处理,2014,34(1): 5-9. (GONG Yanmeng,WANG Shuzhong, XIAO Minyan, et al. Research status of supercritical water oxidation treatment of landfill leachate [J]. Industrial Water Treatment, 2014, 34(1): 5-9. (in Chinese))

[8] 李晶晶,潘军,董泽琴,等. 超临界水氧化法处理垃圾渗滤液的研究[J]. 环境科学与技术,2015,38(8): 206-209. (LI Jingjing, PAN Jun, DONG Zeqin, et al. Study on landfill leachate treatment by supercritical water oxidation [J]. Environmental Science and Technology,2015,38(8): 206-209. (in Chinese))

[9] 李晶晶,潘军,董泽琴. Fenton 法与超临界水氧化法联用处理垃圾渗滤液研究[J]. 水处理技术,2015,41(3): 89-92. (LI Jingjing, PAN Jun, DONG Zeqin. Study on the treatment of landfill leachate by Fenton combined with supercritical water oxidation [J]. Technology of Water Treatment,2015,41(3): 89-92. (in Chinese))

(收稿日期:2016-06-15 编辑:王 芳)

(上接第 12 页)

[6] U S Environmental Protection Agency. Guidance for federal land management in the Chesapeake Bay Watershed[EB/OL]. [2010-05-10]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/chesbay_chap05.pdf.

[7] Center for Watershed Protection. District of columbia stormwater management guidebook [M]. Ellicott City: Center for Watershed Protection,2013.

[8] 李小静,李俊奇,王文亮. 美国雨水管理标准剖析及其对我国的启示[J]. 给水排水,2014(6): 119-123. (LI Xiaojing, LI Junqi, WANG Wenliang. Analysis and inspiration of urban stormwater management system design standards in United State [J]. Water & Wastewater Engineering,2014, 40(6): 119-123. (in Chinese))

[9] 王文亮,李俊奇,车伍,等. 雨水径流总量控制目标确定

与落地的若干问题探讨[J]. 给水排水. 2016(10): 61-69. (WANG Wenliang, LI Junqi, CHE Wu, et al. Discussion on several problems of determining and implementing total rainfall runoff volume capture target[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016(10): 61-69. (in Chinese))

[10] SHESTHA S, FANG Xing, LI Junqi. Mapping the 95th percentile daily rainfall in the contiguous U. S [EB/OL]. [2013-10-11]. <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784412947.021>.

[11] SHESTHA S, FANG Xing, ZECH W C. “What should be the 95th percentile rainfall event depths?” [J]. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2013, 140(1): 1-5.

(收稿日期:2016-12-16 编辑:彭桃英)