

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.05.002

中国海绵城市开发与加拿大综合雨洪管理对比研究： 以多伦多为例

黄津辉,段亭亭

(南开大学环境科学与工程学院,天津 300350)

摘要:介绍了加拿大城市流域雨洪规划管理的发展进程以及加拿大最大城市——多伦多市雨洪管理的政策、原则和标准,与中国的海绵城市建设技术指南进行对比,对指南中存在的一些问题,如指南未给出 LID 设计的检验和校核方案,也未充分考虑降雨等问题进行讨论,旨在为中国的雨洪管理提供新的研究思路和参考。

关键词:综合雨洪管理;海绵城市;低影响开发雨水系统;城市化

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)05-0005-08

Comparative study on sponge city development in China and integrated stormwater management in Canada: a case study of Toronto

HUANG Jinhui, DUAN Tingting

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: This paper introduces the progresses and evolution of stormwater management and planning in urban watersheds in Canada, as well as the wet weather flow management policies, principles, and standards in Toronto, the largest city in Canada. A comparison study has been conducted to provide new ideas and insights for stormwater management in China through comparing these policies, principles, and standards with the technical guideline for sponge city development in China. Some problems of the technical guideline have been pointed out, which include the lack of verification schemes for LID (low impact development) design, and the failure of consideration of precipitation.

Key words: integrated stormwater management; sponge city; rainwater system with low impact development; urbanization

21 世纪以来,随着城市化的不断推进,地表植被覆盖减少,天然地形地貌急剧变化,不透水地面增加,改变了流域的产汇流规律,自然水文循环过程受到影响,城市地表径流量增加^[1]。在此背景下,人们普遍认识到并开始广泛关注雨水作为可用水资源的经济性、资源性和可持续性,形成了适于各国的雨洪管理理念。发达国家的雨洪管理大致经历了以下 3 个发展阶段^[2]:①灾害管理阶段,人们普遍认为雨

洪是灾害,管理方式以快排为主,雨水径流直接排入天然水体;②雨洪集中管理阶段,以末端控制为主,将天然水域作为雨洪的蓄滞区,实现雨洪的集中处置;③雨洪资源利用阶段,人们开始意识到雨洪的资源性,以源头控制为主,通过天然水体与人工基础设施结合,在实现雨水资源化利用的同时,关注整个生态水平衡的发展。

笔者选取加拿大雨洪管理措施和中国目前推行

基金项目:天津市科技计划项目(14ZCZDSF00023)
作者简介:黄津辉(1969—),女,教授,博士,主要从事生态水文、生态处理与修复技术等方面的研究。E-mail: huangji@nankai.edu.cn

的海绵城市建设作对比研究,就雨洪管理技术导则、基础原则和控制指标等多方面进行解读,并分析《海绵城市建设技术指南》(以下简称《指南》)中提出的很多需要设计规划人员认真对待和施行的方法,并对《指南》中可能存在的问题进行讨论,提出建议,以期对中国的海绵城市的建设和推进提供参考。

1 发展进程

1.1 加拿大城市流域/小流域雨洪管理的发展进程

加拿大是世界范围内最早推行雨水综合管理的国家之一,于 20 世纪 80 年代开始将低影响开发(low impact development, LID)应用于城市排水防涝规划、设计和流域尺度雨洪管理的研究,之后雨洪管理在城市水平和流域尺度上不断得到发展。

在政策制定和技术导则编制方面,1993 年加拿大安大略省环境和能源部与自然资源部发布了基于流域的水管理、子流域规划和水资源综合管理目标市政规划文件^[3],提出了雨洪综合管理新方式,强调保护自然环境、关注水质和环境问题;1994 年,安大略省环境和能源部发布了《雨水管理实践规划设计(SMPPD)手册》(以下简称《SMPPD 手册》),《SMPPD 手册》对于设计和建立多目标的雨洪管理设施平衡城市化发展对自然水文循环的影响及解决水质问题提供了详细的指导;2001 年,加拿大颁布了世界上第一部《城市市政绿色基础设施导则》;2003 年,安大略省环境部发布了新的《雨洪管理规划和设计手册》,在雨洪管理设施的设计和选择中综合水量管理、侵蚀控制、水质保护和水平衡原则,强调雨洪管理的综合规划,提供了如何在流域尺度基础上进行雨洪管理的方向^[3];2003 年 9 月,多伦多市议会通过了城市雨洪管理政策,在此基础上颁布了着眼于整个流域水生态的城市雨洪管理导则(wet weather flow management plan, WWFMP)。

加拿大的雨洪管理大致经历了 5 个阶段^[3]。①20 世纪 70 年代中期,城市发展导致的径流流速变化引起了加拿大人的重视,他们开始采取相应的技术措施,包括涵洞改善、小排水系统设计等;②20 世纪 80 年代末期,加拿大引入双排水系统设计、侵蚀工程、防洪工程、径流量控制和洪泛区分析等;③20 世纪 90 年代末期,提出缓减河道侵蚀和沉积物控制的方法,同时水质成为人们关注的另一个重点,此外,开始维护渔业/水生生境和基流,启动了 LID 雨水系统的规划和构建;④自 1995 年以来,提出了

基于源头控制的综合雨洪管理的方法,但是尚没有得到广泛的应用和实施;⑤直至目前,加拿大综合雨洪管理不再只考虑排水系统,而是着眼于整个生态系统和生态水环境,设计多问题的解决和市政工程、水资源、城市规划、环境科学、生态学和景观学等各学科的交叉,综合雨洪管理的概念开始逐渐包含对一系列问题的解决方案,包括河流地貌(河道的形成过程)、地下水资源和对水生和陆生生态系统的保护。

此外,加拿大领导了世界寒冻区 LID 技术研究和政策研究,开发了很多非常成功的技术应对寒冻区的问题^[3],比如,冬天低温运行、高盐度融雪径流、五大湖区周边的地下水位偏高、全寿命周期的成本、财政等问题。

1.2 中国海绵城市建设的发展历程

近年来,中国已经认识到雨洪管理的重要性和必要性,城市雨洪管理正在逐渐向 LID 等先进的技术体系转变,各级政府和部门对相关领域的政策研究给予了高度的重视^[4]。自 2000 年来,国内各级政府相继出台了一系列规范规程,就雨洪管理和雨水控制利用等提出明确的规定和实施要求。2012 年第一次提出基于 LID 和绿色基础设施的“海绵城市”概念^[5],并将其作为解决城市缺水与洪涝灾害频发矛盾和解决水质问题的技术手段。2013 年 12 月 12 日,习近平总书记在中央城镇化工作会议的讲话中强调:“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”,由此,“海绵城市”作为中国雨洪管理的新举措,得到了国内专家学者的重视并不断发展。2014 年 10 月住房城乡建设部发布的《指南》,提出了海绵城市建设——LID 雨水系统构建的基本原则,提出规划控制目标的分解、落实,构建技术框架,明确了城市规划、工程设计、建设、维护及管理过程中 LID 雨水系统构建的内容、要求和方法。2015 年和 2016 年进行两批海绵城市试点城市的评选,最终共确定 30 个城市进入海绵城市建设试点范围。海绵城市建设正在不断加快推进,通过试点城市创新建设模式,探索成功经验,并将这些成熟的做法、模式进行推广落实。

2 《指南》分析及与国外标准的对比

2.1 技术导则对比

大多数的国家或者省级管辖区都有针对雨洪管理的指南和标准,这些文件给当地的政府管理部门

和有关的设计规划人员就雨洪管理的规划和设计实施提供技术性的指导。

在加拿大,多伦多市于 2003 年 9 月通过了一项综合雨洪管理政策,指导源头雨洪管理措施的设计和实施,并协调以前的城市雨水管理政策和做法,为基于流域尺度的雨洪管理提供政策导向。在此背景下,加拿大水基础设施管理部门组织编制了综合雨洪管理指南,为所有的老城改造和新城发展提供雨水管理计划和技术指导。在中国,为贯彻落实习近平总书记讲话及中央城镇化工作会议精神,大力推进建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”,住房和城乡建设部组织 2014 年编制了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》,指导 LID 建设模式的推广和应用。

加拿大的城市雨洪管理着重于水资源综合管理,强调整个自然水文循环范围内的流域管理和生态系统保护。该综合雨洪管理遵循以下原则^[6]:
①雨洪是可补充天然水体的可利用的水资源,在径流进入市政排水管网之前就应当通过存储或再利用等 LID 设施进行就地消纳和处理。
②设计适用于不同降雨风险级别的雨洪管理政策、措施及雨洪设施,小雨时进行源头截留、下渗或者再利用;大雨时通过雨洪调蓄系统实现径流总量控制,维持自然水文状态;极端暴雨情况下,进行洪涝风险管理,实现峰值流量的削减,确保排水系统能够安全转移极端降雨。
③对排水风险区域进行优先级评估并依靠风险进行雨洪规划管理。
④基于 4 种不同尺度进行规划:场地(residential lot/site)、排水管网分区(sewershed)、子流域(sub-watershed)和流域(watershed)范围(图 1)。
⑤实行分级管理原则,即源头控制、传输系统控制、末端控制,最终实现基于流域尺度和整个生态系统的雨洪管理。
⑥采取适合的管理措施,实现成本最小化。

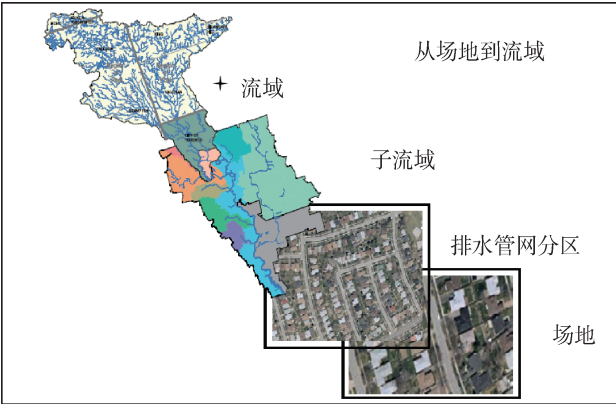


图 1 加拿大雨洪分级管理^[3]

海绵城市建设的核心是推行现代雨洪管理体系^[7],是针对城市流域尺度(面积大于 15km²)的所有水资源的综合规划管理,对降雨实行由小到大、由大到极端的全频率管理。一方面,从控制尺度上来说,在不同的降雨情境下,由场地对雨水的截留到区域的径流控制和减缓,再到流域范围的防洪防涝,从小降雨情境下水管理尺度上升到大降雨情境下的雨洪管理尺度;另一方面,在解决生态环境问题改善城市生态环境的同时,还要考虑社会经济因素,促进经济发展,同时把公共安全问题纳入雨洪管理的核心,把雨洪管理更好地与城市其他的功能融合,充分体现可持续发展的思想和理念。

综上所述,从本质上来讲,中国的海绵城市建设和加拿大的综合雨洪管理都是对水资源的综合管理,整合源头、传输过程和最终的末端管控,加强雨水的资源化和回收利用。而作为实现“海绵城市”目标的重要手段——LID 并不等同于“海绵城市”^[8],它们在尺度和研究方法上有巨大差异,LID 是地块尺度上的设计,而“海绵城市”是城市 and 流域尺度上的规划,因此二者不能混为一谈。此外,加拿大不少地区的综合雨洪管理考虑了气候变化背景下雨水管理措施的适应性问题 and 设计实施的相关风险管理,但是中国的《指南》中对气候变化未进行充分的研究。

2.2 控制目标对比

2003 年 9 月,基于综合雨洪管理和生态管理理念,加拿大多伦多市通过了一项城市雨洪规划管理政策,提出了雨洪管理的总体规划 WWFMP,旨在对新建或旧城区改造的雨水管理措施的设计及实施提供指导。WWFMP 提出了雨水的分层管理方式,即源头控制、传输控制和末端控制。该市的雨洪管理标准将规划控制目标分为 4 个方面:①水平衡指标,也叫作径流总量控制指标,以该区域保持开发前的下渗量为目标,恢复到开发前的水平衡状态;②径流峰值控制指标,对于 2 ~ 100 a 回归期的降雨事件,开发后的径流峰值不能超过开发前的径流峰值;对某些高密度开发区域,利用单位面积峰值来控制开发后 2 ~ 100 a 回归期的降雨径流峰值;③土壤侵蚀控制指标,降雨历时为 4h、降水量为 25mm 的降雨产生的径流控制排出时间在 24 ~ 48 h 以上;④水污染控制指标,径流污染控制一般采用总悬浮固体量(TSS)为指标参数,目标是年 TSS 总量去除率达到 80%。

我国的《指南》则将规划控制目标分为径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制和雨水资源化

利用 4 个方面,掌握这些指标及其相互间的关系,建设城市雨水综合管理体系,是海绵城市建设的主要内容^[9-11]。其中 LID 雨水系统的径流总量控制一般采用年径流总量控制率作为控制目标,理想状态下,径流总量控制目标应以开发建设后径流排放量接近开发建设前自然地貌时的径流排放量为标准。自然地貌往往按照绿地考虑,一般情况下,绿地的年径流总量外排率为 15%~20% (相当于年雨量径流系数为 0.15~0.20),因此,借鉴发达国家实践经验,年径流总量控制率最佳为 80%~85%。这一目标主要通过控制频率较高的中、小降雨事件来实现。

2.2.1 水平衡对比

加拿大的水平衡指标既与下垫面(土地利用类型)、不透水率、土壤性质、坡度和植被有关,又与地下水特征(比如水位等)有关,因而因地制宜设计制定出年径流总量控制率分区图,该方法也广泛应用于美国、新西兰和部分欧洲国家。

加拿大的水平衡目标要求在实际可行的情况下,通过存储、下渗和蒸腾等措施对雨水进行就地截留,实现区域开发后的地表径流量尽量维持在开发前的水平。所有开发区域的最大允许年径流总量不超过年平均降水量的 50%。对于 24 h 降雨量不小于 5 mm 的降雨,通过渗透、蒸发和雨水再利用等措施截留的雨水量最少不能少于 5 mm(在多伦多,24 h 降雨量为 5 mm 或更小的降雨事件贡献约 50% 的年平均降水量)。

《指南》中海绵城市的年径流总量控制率表达了与加拿大水平衡指标同样的理念。为了确定年径流总量控制率,《指南》选取了我国近 200 个城市 1983—2012 年的日降雨资料,将日降雨量进行由大到小的排序,并计算相应的累计百分位,这个累计百分位就是年径流总量控制率的基础。《指南》将我国大陆地区大致分为 5 个区,并给出了各区年径流总量控制率 α 的最低和最高限值,即 I 区($85\% \leq \alpha \leq 90\%$)、II 区($80\% \leq \alpha \leq 85\%$)、III 区($75\% \leq \alpha \leq 85\%$)、IV 区($70\% \leq \alpha \leq 85\%$)、V 区($60\% \leq \alpha \leq 85\%$),如图 2 所示。各地应参照此限值,因地制宜地确定本地区径流总量控制目标。

针对年总量控制指标的计算,以北京市为例,北京市位于 III 区($75\% \leq \alpha \leq 85\%$),年径流总量控制率最佳为 80%~85%。当年径流总量控制率为 80% 和 85% 时,北京市对应的设计降雨量为 27.3 mm 和 33.6 mm。取一个 1 hm² 的地块为例,以 80% 控制率,即以设计日降雨量 27.3 mm 为目标,假设该地块的不透水率为 60%,根据《指南》

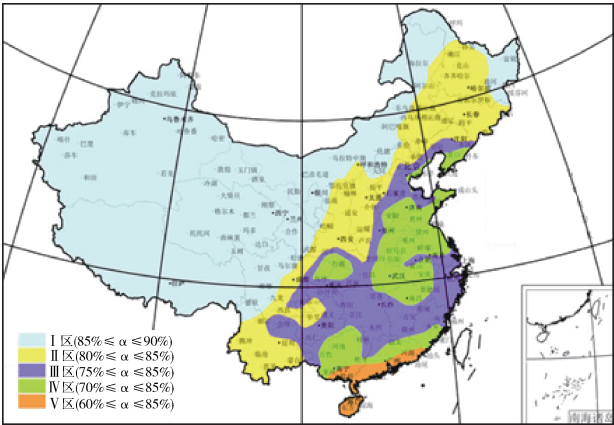


图 2 中国大陆地区年径流总量控制率分区图^[13]

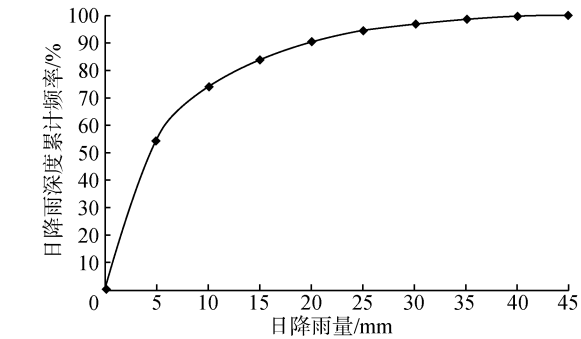
中表 4-3 提供的径流系数,未铺石子的硬屋面采用 0.8,绿地采用 0.15。LID 设施以径流总量和径流污染为控制目标进行设计时,设施具有的调蓄容积一般为

$$V = 10H\psi F \tag{1}$$

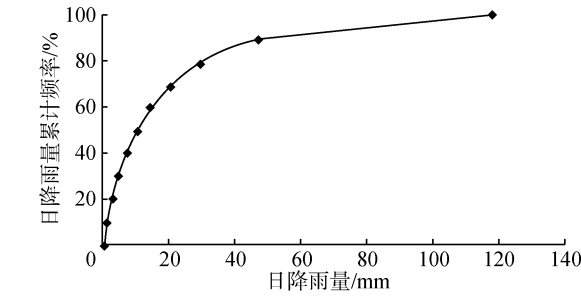
式中: V 为设计调蓄容积, m³; H 为设计降雨量, mm; ψ 为综合雨量径流系数,可参照《指南》中表 4-3 进行加权平均计算; F 为汇水面积, hm²。则该地块达到目标需要的设施容积为: $V = 10 \times 27.3 \times (0.6 \times 0.8 + 0.4 \times 0.15) \times 1 = 147.4 \text{ m}^3$ 。这个容积需要 10 m × 7.5 m × 2 m 的水箱或者面积为 983 m²、平均下沉深度为 0.15 m 的下沉式绿地来实现;这个面积几乎是研究地块 10% 的面积。然而在北京这样建筑密度极高同时不透水率极高的地区,达到该目标需要极大的滞蓄空间,这是海绵城市开发实施的难点之一。

作为雨洪管理研究的一部分,多伦多对 Pearson 国际机场站的 23 年(1975—1997 年)的降雨数据进行了审查和分析,认为 1991 年应是长期年平均降水模式中最具代表性的年份。研究人员同时对多伦多 1991 年的 16 个降雨站的日降水量数据进行了后续分析,得出了日降雨量累积频率曲线(图 3(a))。在对天津市 1954—2009 年共 56 年的日降雨量数据进行水平衡分析,也得出了天津市日降雨量累积频率曲线(图 3(b))。

由图 3 可知,受季风的影响,位于华北平原的天津,其 50% 的控制率与加拿大多伦多地区的 70% 相当。对于位于华北平原的京津冀来讲,径流总量控制指标偏高,在实际应用上有较大的难度,投资和运营成本都会比较高。对于该地区,建议目标适当降低,比如控制在 50% 以下;同时径流总量控制指标应当有各个地区的地方标准,应更加细化,有更深入的降雨和流域水文地质研究的支撑。



(a) 多伦多日降雨量累积频率曲线^[12]



(b) 天津日降雨量累积频率曲线^[13]

图3 多伦多市和天津市日降雨量累积频率的对比

2.2.2 水质控制对比

对于所有新建和重建城区,雨洪管理的目标一方面是水量和水平衡,另一方面即是实现接纳水体长期的水质安全^[12]。WWFMP 以实现区域河道和湖泊沉积物控制作为长期目标,主要控制的标志性指标有两个:TSS,大肠杆菌。WWFMP 中对于 TSS 的控制目标要求研究区域开发后的径流多年平均 TSS 去除率达到 80%。丰水期可以游泳的季节(6 月 1 日至 9 月 30 日)直接排放到湖泊或多伦多海滨的水中大肠杆菌的含量要求小于 10 个/mL;枯水期可以游泳的季节(6 月 1 日至 9 月 30 日)直接排放

到湖泊或多伦多海滨的水中大肠杆菌的含量要求小于 1 个/mL。表 1 是加拿大主要雨洪管理设施的污染物去除率水平。

《指南》针对径流污染控制目标要求各地应结合城市水环境质量要求、径流污染特征等确定径流污染综合控制目标和污染物指标,污染物指标可采用 SS、COD、TN、TP 等,其中,SS 年总量去除率要求达到 40% ~ 60%。根据作者在加拿大的工程经验,《指南》中的 SS 去除率指标趋于保守,经过合理设计正常运行的 LID 设施对 SS 的去除率应该可以到 70% ~ 90% 左右。同时《指南》2.3 径流污染控制目标一节中的年 SS 总量去除率可用下述方法进行计算:“年 SS 总量去除率大于年径流总量控制率与 LID 设施对 SS 的平均去除率之积”。LID 设施对 SS 的平均去除率是一个很地方化的指标,各地的水文地质条件不同,去除率也很不同。同时 LID 设施对 SS 的平均去除率是一个随时间变化的量,LID 设施会发生堵塞、淤积的问题,还有不同植物生长周期的问题,因而设计时,设计人员应当考虑到全寿命周期的成本与去除率的关系。

2.2.3 洪水峰值管理控制对比

洪水峰值管理旨在最大限度地减少对下游流域、对河道侵蚀和基础设施的影响。

图 4 是加拿大多伦多洪水流量标准图^[12],多伦多市目前采用 2 ~ 100 年开发后的径流流量不能超过开发前的径流峰值流量,做到大暴雨和极端暴雨的全谱控制。为实现这个标准,多伦多要求尽量用模型模拟的方法来确定开发前后 2 ~ 100 年一遇降雨的洪水峰值;对于面积小于 2 万 m² 的开发区域,工程人员可以使用简化的方法,例如 Rational Method / IDF 曲线来计算峰值流量。

表 1 加拿大主要雨洪管理设施的污染物去除率水平^[12] %

水质组	水质参数	去除率										
		源头控制	传输过程控制				干池塘	湿池塘 II/I 级	人工湿地	复合湿池/湿地 II/I 级	管道末端砂过滤器	Dunkers 流量平衡系统
		油/砂分离器	管口过滤系统	路边沟渠	植草沟							
营养物	TP	30	30	0	34	20	57/65	40	57/65	33	57	
	NO ₃ ⁻ -N	0	0	20	31	0	31/36	40	31/36	0	31	
	凯氏氮	35	20	0	34	30	22/36	30	22/36	45	22	
重金属	Cu	50	35	10	50	30	57/65	40	57/65	45	57	
	Zn	50	35	10	70	30	63/72	40	63/72	45	63	
	Pb	50	35	10	70	50	54/62	60	54/62	45	54	
细菌	大肠杆菌	35	30	10	60	40	57/65	60	57/65	70	57	
无机物	TSS	50	40	30	80	60	70/80	70	70/80	70	7	
多环芳烃	Benzo Perylene	60	40	30	80	60	70/80	70	70/80	70	70	
杀虫剂	Dieldrin	0	0	20	30	0	31/36	40	31/36	0	31	



图 4 加拿大多伦多洪水流量标准图^[12]

根据中国海绵城市的建设理念,理想状况下,开发区域主要河道的径流峰值流量应该不因城市的开发建设而有明显增加,即保持开发前后雨水径流峰值流量基本不变,但海绵城市是一种全新的发展方式,此前传统的城市开发建设一直以“快排”模式应对雨水径流,基本没有考虑过径流峰值控制所需的用地空间,在既有建成区建设雨水调蓄排放设施来削减峰值流量常常难以实现;因此,作者认为按照开发后峰值流量基本不增加的理想条件来控制城市外排雨水峰值流量是不可行的,比较合理的管控目标应该是:既有建成区外排雨水峰值流量在现状基础上基本不增加,新建区外排雨水峰值流量不超过下游的规划接纳能力,但不应低于开发前自然状况下的值,一方面充分利用现状和规划设施的排水能力,另一征方面又避免新的开发建设导致既有雨水系统排水能力的不足。

3 《指南》的先进性和建议

3.1 《指南》的先进性

《指南》作为海绵城市规划设计实施过程中的指导性文件,是在吸收国外一些成熟的设计理念和经验的基础上形成的,避免了发达国家在几十年探

索中曾经走过的弯路,有一定的先进性。

海绵城市建设主要以 LID 雨水管理理念为基础,在场地开发过程中采用源头、分散式措施维持场地开发前的水文特征。LID 是由国外发展而来的一种新型的雨洪管理理念和措施;发达国家普遍人口少,土地开发强度较低,有足够多的场地进行源头控制设施布设;中国的情况不同,中国人口多,土地开发强度普遍较大,可利用土地空间日趋减少。在此情况下,仅仅依靠源头削减措施已难以保证场地开发后带来的径流量和水污染等多方面的变化不对下游其他地区产生影响。基于上述中国城市的现状,《指南》强调在海绵城市规划设计实施过程中,将源头削减、中途转输和末端调蓄三者进行理念和技术的整合,以适应我国城市建设过程中城市内涝、水体污染和用地紧张等突出问题,立足于采用多尺度和可持续性的方法来解决问

题。《指南》同时提出规划引领、生态优先的基本原则,先规划后建设。城市开发建设应保护水生态敏感区,优先利用自然排水系统和 LID 绿色基础设施,但这并不意味着所有的老城改造和新城开发都要依靠 LID 雨水系统设施,更多的是提倡自然与人工途径的结合,灰色设施与绿色设施的结合。以老城改

造为例,如果把已经建好的地下排水管网全部进行排水能力的升级改造,从施工量、施工难度,尤其是经济性等多方面考虑,都是不切实际和不可行的;同时如果年经流总量控制率(水平衡指标)过高,一方面经济成本高,另一方面可能会造成该区域的过分蓄水破坏下游其他地区的水平衡和水生态。综上所述,在城市规划设计过程中,需要有关规划人员综合考虑区域规划开发的复杂性和长期性,在生态优先的原则下实现灰色设施和绿色设施的良好衔接和最高效结合,实现雨水的自然积存、渗透、净化,提高水生态系统的弹性,保障城市水安全,保护和改善城市生态环境。

此外,《指南》提出了不同土地利用建议使用 LID 设施和雨水的回收利用方式,特别是城市道路 LID 雨水系统和城市绿地与广场 LID 雨水系统的构建,明确了不同类型土地利用的 LID 控制目标、指标和适用的 LID 基础设施类型,提出了下沉式绿地率的概念,在满足各地块基本功能的前提下,对其 LID 雨水系统设施的选型以及规模和布局的合理性等方面提供了规划和设计的依据,有很好的参考性。

在维护管理方面,针对不同类型 LID,《指南》就其实施环境的风险管理,涉及市政管网、雨水回用系统管网与 LID 雨水设施的连接问题和 LID 设施布设环境周边的安全卫生及地形地质问题提出了详细的要求,对不同类型的 LID 设施的维护保养方式以及维护的频率也给出了建议。根据已实施的 LID 雨水系统项目给出了部分 LID 设施的造价分析参考资料。

总之,《指南》对 LID 雨水系统的构建实施从规划理念、设计、评价控制指标、适用性、设施的维护、风险管理甚至造价等多方面进行了详细的描述,对于海绵城市政策的有效实施、可持续发展的新型城镇化城市和社区的建设^[14]以及实现整个流域的水平衡和生态和谐都具有较好的指导作用。

3.2 对《指南》的建议

《指南》中没有给出 LID 设计的检验和校核方案,设计方案的检验和校核是 LID 雨水系统构建的重要环节,检验和校核结果在很大程度上决定着 LID 设计方案是否能有效落实 LID 控制目标、指标和技术要求,是否适于进行推广和用于实际建设工程。《指南》附录 4 典型案例中,没有给出两次降雨间可消耗掉的 LID 设施储存的雨水量以及 LID 设施的腾空速率,这些是制约 LID 设施效率的重要因素和设计参数。各类型的 LID 设施都有最大的调蓄能

力,如果这些设施被前一场降雨灌满,在下一场降雨来之前收集的雨水来不及通过下渗、蒸发或者回收利用排空,其实际功能就会受到影响^[15]。

此外,针对《指南》中对降雨未进行充分的研究,本文提出海绵城市建设指南的编制应当考虑气候变化的影响,应当在对当地气候水文地质尤其是降雨进行充分研究的基础上编制地方标准。气候变化和城市大规模开发,均可能对降雨在时空分布和强度总量上有影响,这些影响也会相应地影响经流和带入水体的非点源污染;因此海绵城市的规划设计要转变以往市政设计的观念,应当用长期模拟(10 年以上)的方式来评价海绵城市规划/LID 的效果,而不能仅仅考虑 2 年以上回归期的暴雨。

4 海绵城市实施面临的挑战及推广

4.1 技术问题

目前中国的北方尤其是华北地区非常需要利用 LID 设施来解决水资源短缺、水质污染、河道断流和城市内涝等问题的区域。但是北方降雨的时空分布不均匀性、不确定和不稳定性,气候变化带来的小雨减少和大雨增大,是 LID 设计实施面临的极大挑战。如何设定合理的滞蓄水量以及相应的设计参数是亟待解决的关键问题。我国沿海地区工业化程度高,工业化造成的土壤污染和沿海区域地下水位高等实际情况,使得以下渗为主要功能的 LID 设施一方面在施工时(如渗透沟)需要挖掉污染的土层或者降低水位,另一方面这些设施的后期运行中可能会存在潜在的污染风险。因而对于我国的很多地区,LID 设施的设计要考虑地方特点,需要创新方法和认真的全周期设计与评估,一定不能全盘照抄照搬国外已有的模式。

4.2 社会认知问题

要解决 LID 设施的管理问题,首先要解决社会对 LID 设施的认知问题。目前对 LID 设施存在如下几个错误认知:① LID 设施可以解决防洪问题;②实施 LID 设施可以大大减少对管道的投资;③LID 设施一定是绿色的;④LID 设施是景观工程;⑤LID 设施不需要维护和更新。相关教育机构和科研机构应加强对公众的科普宣传。

5 结 语

笔者从政策、技术导则和控制目标等多方面,对加拿大多伦多市的综合雨洪管理和中国的海绵城市建设进行对比,对《指南》中一些可能存在的问题进行讨论,并针对问题提出了建议;同时分析了《指

南》中提出的很多需要相关设计规划人员认真对待和执行的方法。最后,从技术、管理和社会认知和低风险开发设施的推广战略4个方面总结了海绵城市实施面临的挑战和推广。“海绵城市”建设是一项系统性和长期性的工程^[16],需要不断探索,系统分析、统筹规划、科学建设^[17],希望能更多地借鉴国外发达国家雨洪管理过程中出现的先进的理念和方法,促进我国海绵城市建设中可能存在的问题的解决,推进海绵城市建设。

参考文献:

[1] 赵晶,李迪华. 城市化背景下的雨洪管理途径:基于低影响发展的视角[J]. 城市问题,2011(9):95-101. (ZHAO Jing, LI Dihua. The way of rainwater management in the background of urbanization-based on the perspective of low-impact development [J]. City Problem, 2011(9):95-101. (in Chinese))

[2] 李楠,杜鹏飞,秦成新. 国内外海绵城市/LID 设计目标、指标控制、技术应用综述[C]//中国环境科学学会. 2015 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京:中国环境科学出版社,2015:6.

[3] Authority Toronto and Region Conseruation. Low impact development stormwater management planning and design guide[M]. Toronto: TRCA, 2010.

[4] 赵晶. 城市化背景下的可持续雨洪管理[J]. 国际城市规划,2012(2):114-119. (ZHAO Jing. Sustainable stormwater management in the background of urbanization [J]. International Urban Planning, 2012(2):114-119. (in Chinese))

[5] 车伍,赵杨,李俊奇. 海绵城市建设热潮下的冷思考[J]. 南方建筑,2015(4):104-107. (CHE Wu, ZHAO Yang, LI Junqi. Considerations and discussions about sponge City [J]. South Archi Teture, 2015 (4): 104-107. (in Chinese))

[6] BRADFORD A, GHARABAGHI B. Evolution of Ontario's stormwater management planning and design guidance [J]. Water Quality Research Journal of Canada, 2004, 39(4): 343-355.

[7] 车伍,闫攀,赵杨,等. 国际现代雨洪管理体系的发展及剖析[J]. 中国给水排水,2014,30(18):45-51. (CHE Wu, YAN Pan, ZHAO Yang, et al. Development and analysis of international updated stormwater management systems [J]. China Water & Wastewater, 2014,30(18): 45-51. (in Chinese))

[8] 车伍,赵杨,李俊奇,等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水,2015,31(8):1-5. (CHE Wu, ZHAO Yang, LI Junqi, et al. Explanation of sponge city development technical guide: basic concepts and comprehensive goals [J]. China Water

& Wastewater, 2015, 31(8): 1-5. (in Chinese))

[9] 黄蕾,翟建平,蒋鑫焱,等. 三种水生植物在不同季节去污能力的对比研究[J]. 环境保护科学,2005,31(3):44-47. (HUANG Lei, ZHAI Jianping, JIANG Xinyan, et al. Experimental study of decontamination ability of three hydrophytes in different seasons [J]. Environmental Protection Science, 2005,31(3): 44-47. (in Chinese))

[10] 杨德敏,曹文志,陈能汪,等. 厦门城市降雨径流氮、磷污染特征[J]. 生态学杂志,2006,25(6):625-628. (YANG Demin, CAO Wenzhi, CHEN Nengwang, et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus pollution of urban rainfall runoff in Xiamen [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 625-628. (in Chinese))

[11] 廖朝轩,高爱国,黄恩浩. 国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示[J]. 水资源保护,2016,32(1):42-45. (LIAO Chaohsien, GAO Aiguo, HUANG Enhao. Enlightenment of rainwater management in foreign countries to sponge city construction in China [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (1): 42-45. (in Chinese))

[12] Michael D. Wet weather flow management guidelines [M]. Toronto: Toronto Water Infrastructure Management, 2006.

[13] 建城函[2014]275 号 海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)[S].

[14] 左其享. 我国海绵城市建设中的水科学难题[J]. 水资源保护,2016,32(4):21-26. (ZUO Qiting. Water science issues in sponge city construction [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (4): 21-26. (in Chinese))

[15] 王虹,丁留谦,程晓陶,等. 美国城市雨洪管理水文控制指标体系及其借鉴意义[J]. 水利学报,2015,46(11):1261-1271. (WANG Hong, DING Liuqian, CHENG Xiaotao, et al. Hydrologic control criteria framework in the United States and its referential significance to China [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2015,46(11): 1261-1271. (in Chinese))

[16] 张浪,郑思俊. 海绵城市理论及其在中国城市的应用意义和途径[J]. 现代城市研究,2016,31(7):2-5. (ZHANG Lang, ZHENG Sijun. The theories of eco-sponge city and its application meanings and approaches in Chinese cities [J]. Modern Urban Studies, 2016, 31 (7): 2-5. (in Chinese))

[17] 边华英,宋建安,张昊,等. 浅谈海绵城市建设技术指南[J]. 河南建材,2016(2):138-140. (BIAN Huaying, SONG Jian'an, ZHANG Hao, et al. Technical guide of sponge city construction [J]. Henan Building Materials, 2016(2): 138-140. (in Chinese))

(收稿日期:2017-04-17 编辑:徐 娟)