

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.02.004

国内外城市雨洪管理指标体系对比及启示

王磊之^{1,2}, 云兆得³, 胡庆芳^{1,2}, 李伶俐^{1,2}, 王银堂^{1,2}, 熊文⁴

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;
2. 长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;
4. 南京国环科技股份有限公司, 江苏 南京 210018)

摘要:针对当前我国海绵城市控制指标体系存在的问题,在系统分析代表性发达国家城市雨洪管理指标体系的基础上,对比了国内外城市雨洪管理指标体系的异同,总结了发达国家指标体系对我国的借鉴意义。我国与发达国家在项目自身设计指标以及衡量建设效果的控制指标方面均存在一定差异,今后可考虑在我国雨洪管理指标体系中新增入渗控制指标、洪水控制指标、舒适性指标和生态指标,以完善现有海绵城市控制指标体系;应充分结合各地水质条件、气候条件和经济发展水平,系统研究制定控制指标,同时应加强部门间的沟通与磋商机制建设,确保指标的实施效果。

关键词:城市雨洪管理;海绵城市;低影响开发;可持续排水系统;水敏性城市;ABC 水计划
中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)02-0025-07

Comparison and enlightenment of urban stormwater management indicator system at home and abroad // WANG Leizhi^{1,2}, YUN Zhaode³, HU Qingfang^{1,2}, LI Lingjie^{1,2}, WANG Yintang^{1,2}, XIONG Wen⁴ (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Yangtze Institute for Conservation and Development, Nanjing 210098, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. Nanjing Guohuan Science and Technology Co., Ltd., Nanjing 210018, China)

Abstract: In view of the current problems of Chinese sponge city control indicator system, based on the systematic analysis of urban stormwater management indicator system of representative developed countries, the similarities and differences of urban stormwater management indicator systems at home and abroad are compared, and the referential value of developed countries' indicator systems to China is summarized. There are certain differences between China and developed countries in terms of project design indicators and control indicators for measuring construction effects. In the future, it's considered to add infiltration control indicators, flood control indicators, comfort indicators and ecological indicators to Chinese stormwater management indicator system in order to improve the existing sponge city control indicator system. We should systematically study and formulate control indicators based on the water quality conditions, climatic conditions and economic development levels of various regions. At the same time, we should strengthen the construction of inter-departmental communication and consultation mechanisms to ensure the implementation effect of the indicators.

Key words: urban stormwater management; sponge city; low impact development; sustainable drainage systems; water sensitive urban; ABC water program

城镇化是经济社会发展的必然趋势,也是现代化的重要标志。在城镇化快速推进的同时,人口膨胀、产业集中对资源和环境也产生了重大影响,城市水资源、水环境所受负面影响也日益增长^[1]:一是河湖水系格局变化和不透水面积增加造成的城市内

涝灾害;二是污染物的大量排放造成的水污染;三是水资源供需压力造成的地下水过度开采和水资源短缺^[2]。例如:2016 年和 2018 年,受连续强降水影响,法国巴黎塞纳河及其支流水位不断上涨,沿线市镇发生内涝,损失惨重^[3-4];在澳大利亚布鲁斯班

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1508204,2017YFC1502705);中国工程科技中长期发展战略研究项目(2017-ZCQ-6);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y520016);江苏省博士后科研资助计划(2020Z060)

作者简介:王磊之(1991—),男,工程师,博士,主要从事城市水文和防洪排涝研究。E-mail: leizhi668@foxmail.com

通信作者:胡庆芳(1981—),男,正高级工程师,博士,主要从事城市水文和水文气象遥感研究。E-mail: hqf_work@163.com

(Brisbane), 由于城市沿河发展, 城市周边的垃圾填埋场、老工业区的废物排放给河流水体造成了严重污染^[5]; 我国 2010—2016 年平均每年有超过 180 座城市发生内涝^[6], 在华北地区, 经济社会取用水远大于其资源承载能力, 长期过度开采导致地下水位持续下降、地面沉降严重等问题^[7]。这些问题相互交织, 进一步制约了城市的可持续发展。

作为城镇化发展的先行者, 自 20 世纪 70 年代起, 西方国家开始率先尝试解决城镇化进程中面临的水资源、水环境问题, 并在实践中形成了较为完整、成熟的城市雨洪管理体系。其中, 美国多目标、可持续的低影响开发 (low impact development, LID) 理念通过维持场地开发前后的雨水径流量, 减轻了不透水面积增加带来的负面影响, 从而减少城市内涝和径流污染^[8]; 英国可持续排水系统 (sustainable urban drainage system, SUDS) 则提倡以接近自然水循环的方式管理地表径流^[9]; 澳大利亚水敏性城市设计 (water sensitive urban design, WSUD)^[8] 分别以减少面源污染、提升雨水利用率为重点, 将可持续管理与城市规划设计相融合; 新加坡 ABC (active、beautiful、clean) 水计划则在注重雨水资源收集与质量的同时强调居民环保意识和与城市景观的结合^[10]。在西方国家雨洪管理模式的影响下, 我国也逐步构建了相应的城市雨洪管理模式——海绵城市。然而, 由于我国海绵城市建设处于起步阶段, 存在理念受限、技术不成熟、指标体系不完善等问题, 一些地方海绵城市控制指标体系大量借鉴甚至照搬其他地区的指标而缺乏因地制宜的考虑^[11], 加之我国城市建设早期防洪排涝工程建设欠账较多^[12], 且我国城市水问题具有深刻的复杂性^[13], 这一系列原因使得我国海绵城市建设效果受到一定制约。因此, 研究国外城市雨洪管理指标体系, 对于完善、弥补我国海绵城市控制指标体系具有重要借鉴和参考作用^[14]。

近年来, 海绵城市建设成为众多行业和科技领域研究的热点之一, 许多学者开展了对海绵城市控制指标的讨论和探索, 如马越等^[15]对海绵城市建设体系涉水核心指标进行了详细分析和解释, 张辰等^[16]提出从宏观、中观、微观 3 个层次构建海绵城市控制指标体系并运用于上海市海绵城市建设。除针对全局指标体系的研究之外, 也有部分学者针对其中的某一类指标开展了详细深入的探讨, 如王虹等^[17]深入解析、比较了中美两国在径流控制指标上的异同, 沈才华等^[18]针对内涝指标提出了一种基于内涝势冲量的评价方法, 仇保兴^[19]提出了新的海绵城市控制指标——碳排放量。目前对城市雨洪管理

指标开展的梳理和分析更多是针对其中的某一方面, 而对于指标体系开展的系统分析和比较依然鲜见。本文结合现有文献及案例, 对国内外城市雨洪管理指标体系进行细致梳理和总结对比, 力图找出我国城市雨洪管理指标体系存在的短板, 并提出相应的改进建议。

1 国内外雨洪管理指标梳理

1.1 国外

a. 美国。美国早期城市雨洪管理着重于径流峰值控制, 近年来随着径流总量控制理念逐渐推广, 美国多个州及地方政府在雨洪管理法规中也提出了径流总量控制标准, 并进一步将其划分成为降雨入渗、面源污染、河道侵蚀控制指标^[17]。降雨入渗控制指标旨在缓解不透水地面对雨水径流的阻隔而影响地下水、河川基流的补充等问题; 面源污染控制指标侧重于减轻城市发展过程对河湖等接纳水体的污染作用; 河道侵蚀控制指标的目的在于保护河湖水系以及沿岸涉水建筑物, 减少泥沙运移。美国城市洪涝防护控制指标分为小量级洪水控制指标和极端洪水控制指标, 小量级洪水控制指标要求根据城市和下游洪水风险的评估而定, 而极端洪水控制指标则要求根据下游洪水风险模拟结果而定, 不仅如此, 极端洪水控制指标对其洪峰值也给出了相对明确的要求^[17]。

b. 英国。为解决洪涝多发、水污染严重等问题, 英国将排水体制和系统与长期的环境现状和社会因素相结合, 逐步建立了 SUDS, 以自然水循环的方式管理地表径流。SUDS 的开发设计主要考虑水力、水质、舒适和生态 4 类控制指标。其中水力指标更偏向于防洪排涝安全, 追求将一次降水过程产生的径流储存或排空, 同时防止下游渠道河堤侵蚀, 保证不引发其他受水河道的洪水风险。水质指标的制定目的是保护受水区河道免受径流污染。除重点考虑上述洪涝控制指标和径流污染控制指标之外, 在设计指标中, SUDS 还重点将视觉美观、安全性以及生态效益等理念融入了指标体系, 其中视觉美观和安全性指标充分考虑了池塘和湿地等对居民生命健康安全的影响, 生态效益指标则通过采用原生种植、创建栖息地等方式, 加强生物的多样性保护, 更侧重于人与自然和谐相处。

c. 澳大利亚。澳大利亚对水问题的关注源自水对人们生活的影 响, 其关注点同样在水体污染、水资源短缺和城市内涝等方面。与其他国家不同的是, WSUD 是将城市设计与雨水管理相结合, 为城市解决水问题提供整合管理的整体性、综合性解决方

案^[20]。WSUD 的指标主要体现在水质、水量、供水、设施、功能 5 个方面,其首要目标是水质控制、雨洪水量控制以及雨水再利用,对应的是水质、水量、供水这 3 个部分,其主要方法是通过将地表水管理和城市空间设计结合来实现减少洪峰流量、改善水质和废水再利用的目的。除上述传统目标之外,WSUD 的目标还包括改善微气候、美化城市以及环境效益功能,对应的是设施指标这一部分。功能指标这一部分主要是针对项目运行的可持续性。

d. 新加坡。新加坡缺少大型纵深河流,降水资源无法留存,因此新加坡雨洪管理的主题是提高城市水系统的功能与承载力^[21]。新加坡公用事业局(PUB)提出了创新的城市水管理方法——ABC 水计划。该计划在保证城市建设与水系统发展相辅相成的基础上,还强调提升居民意识^[22],并在“源头-路径-去向”整体雨洪管理系统的基础上,融入了 ABC 水管理策略:在排水过程中保证水质,在滞水时降低洪水风险^[21]。ABC 水计划不仅针对城市内涝防治效果设置了相应指标,同时针对项目自身设计也制定了相应的工程指南和控制要求,这些要求包括项目位置和规模、生长介质、植被选择、绩效目标、侵蚀与沉积、蚊虫控制 6 个方面。其中位置和规模控制指标通过将 ABC 水计划功能整合到城市设计中来减少土地使用,同时也充分考虑项目选址对于地下水活动及雨水渗透的影响,该指标充分考虑了新加坡土地资源稀缺这一国情,同时兼顾了项目的建设效果;生长介质、侵蚀与沉积这两个指标体现了 PUB 对项目排水能力、雨水滞留能力、植被生长环境和污染物控制效果的重视;植被选择与绩效目标指标则体现了水质改善的目标;蚊虫控制则是确

保居民优质的生活环境。

1.2 国内

1.2.1 指标发展过程

2014 年,住房和城乡建设部颁布的《海绵城市建设技术指南》(以下简称《指南》)标志着我国在政府层面首次系统提出海绵城市控制指标体系。《指南》要求控制指标应包括径流总量、径流峰值、径流污染、雨水资源化利用等,各地要根据实际情况,以径流总量控制为首要目标,同时合理选择其中一项或多项作为规划控制目标。虽然《指南》中提及了指标最佳适用范围及地区,但由于是首次提出,指标难免过于单一且缺乏因地制宜的考虑。随后,2015 年住房和城乡建设部印发了《海绵城市建设绩效与考核办法(试行)》(以下简称《办法》),提出了 6 大类别共 18 项指标,通过水生态、水环境、水资源、水安全和显示度这 5 类指标系统评价海绵城市建设的实效。2018 年,住房和城乡建设部颁布了《海绵城市建设评价标准》(以下简称《标准》),《标准》中关于各项控制指标的描述更加详细具体,如年径流总量控制指标细化为新建区与建成区,且针对不同地区的雨水年径流总量控制率进行了详细规定,同时针对各项指标的控制也进一步的严格,如新标准不仅规定了 SS 去除率,且对溢流污染物 SS 的实际浓度有具体要求。

1.2.2 典型海绵城市控制指标

表 1 为我国 4 座典型海绵城市控制指标,包括沿海城市(深圳)、内陆城市(益阳)、南方城市(上海)和北方城市(天津)。深圳属典型南方降雨区,其自然地理、降雨特点、水文条件均具有明显的地方特色,因此深圳市在制定控制指标时除选取《办法》

表 1 典型海绵城市控制指标

Table 1 Control indicators of sponge cities

| 城市 | 年径流总量控制率/% | 内涝防治标准 | 面源污染控制率/% | 绿地率/% | 透水铺装率/% | 雨水资源利用率/% |
|----|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 深圳 | 70(2020 年,重点区域) 70(2030 年,全部区域) | 50 年一遇 | 旱季合流管道无污水进入(2020 年) 50(2030 年) | 30(建筑类) 10(道路、停车场) 85(公园绿地) | 20(建筑类) 30(道路、停车场) 5(公园绿地) | 1.5(近期) 3(远期) |
| 上海 | ≥75 | 100 年一遇 (中心城区) 50 年一遇 (其他区域) | | ≥15(建成区) ≥34(改建城区) | | 区域规划:≥5 住宅、改建项目:≥5 新建绿地项目:≥10 |
| 天津 | ≥8(新建城区) ≥85(扩建城区) ≥70(改建城区) | 100 年一遇 | 65(2030 年) | ≥50(新建建筑与小区) | ≥70(人行道、广场、停车场) | ≥6 |
| 益阳 | ≥75(2020 年) ≥80(2030 年) | 30 年一遇 | | 对新、老、改建城区内的建成区、居住区、公共建筑、商业建筑、工业企业都有明确规定 | ≥60(新建城区住宅、公建、商业) ≥40(改建城区住宅、公建、商业) ≥30(工业仓储、市政) | 1(近期) 3(远期) |

注:上海、天津、益阳绿地率为约束性指标;上海建筑与小区系统、人行道和高架道路、停车场和广场的透水铺装率为约束性指标,专用非机动车道和步行街为鼓励性指标;天津透水铺装率为约束性指标,益阳为鼓励性指标。

中的各项指标之外,还进一步提出了详细明确的近期和远期控制指标要求,并对计划的可行性进行了充分论证;上海市具有“三高一低”——地下水位高、土地利用率高、不透水面积比例高和土壤入渗率低的显著特点,针对这些特点,上海市新增了一系列因地制宜的地块控制指标,如透水铺装率、绿地率,以增加透水面积、提高水质,同时其控制指标还进一步划分为鼓励性和约束性指标,针对不同的用地类型采取不同的指标要求^[23],较好地体现了“因城制宜”的导向;天津市具有夏季降雨强度高、浅层地下水位高、土壤盐渍化程度高、土壤渗透系数低的特点,同时由于气候干旱,不同建成区均以雨水资源的储存与利用为主要控制目标,因此径流总量与雨水资源利用率在控制指标中尤其重要^[24];益阳市则结合本市实际问题和需求,其控制指标在重点考虑水安全、水环境、水资源、水生态等功能需求的同时,还兼顾了水景观、水文化等方面的需求。

2 国内外城市雨洪管理指标对比分析

如前所述,虽然试点城市在控制指标方面考虑了因地制宜的措施,但由于我国海绵城市建设的发展尚处于萌芽时期,存在经验不足、可借鉴性不强的特点,试点城市中的城市内涝和水污染等水安全问题依然频发,海绵城市在试点城市的实施效果也不尽如人意,因此,有必要对国内外城市雨洪管理指标体系进行系统的对比和总结,并提出针对性的改进意见。表2总结了国内外城市雨洪管理部分代表性指标的差异,其中径流总量控制指标和内涝控制指标属于建设效果控制指标,舒适性指标、生态指标和项目建设指标属于项目自身设计指标。

2.1 衡量建设效果的控制指标

国内外在衡量建设效果控制指标方面的差异不仅体现在指标值的设定上,还体现在指标确定方法

和划分实施上,最典型的是中美径流控制指标的具体设定。我国与美国在径流控制指标的差异首先体现在确定方法上,美国径流控制指标的确定有3种方法,早期是径流总量计算法,后期分别是降雨场次百分点法和长时期连续数值模拟法。研究表明,一年中至少有70%~80%的场次降雨(小量级降雨)污染浓度较高,因此只要控制了相应场次降雨就可以至少控制70%的面源污染,而我国提出的计算方法介于美国的径流总量计算法和降雨场次百分点法之间,主要区别在于降雨场次是以日降水量划分,而不是以实际降雨场次划分,而且降水量没有乘以径流系数而转变为径流量,因而国内方法得到的指标属于年降水总量指标,相比控制场次降雨其控制的效果不甚理想^[17]。另一差异体现在指标划分实施上,美国径流控制指标划分为入渗控制指标、面源污染控制指标和河流侵蚀控制指标,而我国对于径流总量控制指标则无具体划分,对于建设LID措施的地块,明确地块对雨水的入渗目标并监督目标的实现是有意义的^[17],例如在我国北方地区,由于水资源过度开发、地下水严重超采,加之大规模城市化,原本的天然降雨入渗被严重阻隔,大部分地区的常年河流多已消失,面临着河湖干枯等水资源、水生态问题。因此,在这些地区明确出入渗控制指标,可有效缓解地下水资源短缺和我国北方地区河湖湿地生态恶化等问题。

除此之外,国内外在指标具体制定要求上也具有明显不同。如内涝控制指标,我国海绵城市建设对内涝的控制要求是历史积水点彻底消除或明显减少,或者在同等降雨条件下积水程度显著减轻,城市内涝得到有效防范,有关内涝控制指标制定不够具体,相应控制实施力度也不够大。而英美等国对内涝控制均给出了详尽的要求,如SUDS在水力指标中规定要能够将降水事件所产生的径流储存或者使

表2 国内外城市雨洪管理部分代表性指标的差异

Table 2 Differences of some representative urban stormwater management indicators at home and abroad

| 控制指标 | 对比国家 | 差异 | |
|----------|----------|---------------------------------------|--|
| | | 国内 | 国外 |
| 径流总量控制指标 | 中国、美国 | 确定方法介于美国的径流总量计算法和降雨场次百分点法之间;指标无具体划分 | 确定方法为早期的径流总量计算法以及后期降雨场次百分点法和长时期连续数值模拟法;按入渗控制指标、面源污染控制指标和河流侵蚀控制指标划分 |
| 内涝控制指标 | 中国、美国、英国 | 无内涝控制指标,仅以设施建设提高排水防涝能力;新、旧城区防洪排涝标准无划分 | 美国对小量级洪水和极端洪水控制指标均有具体要求;英国将降水事件所产生的径流储存或者使其安全通过,防止下游河堤和渠道侵蚀 |
| 舒适性指标 | 中国、英国 | 无相关指标 | 舒适性指标包括健康、安全、视觉影响和设施效益 |
| 生态指标 | 中国、英国 | 无相关指标 | 生态指标包括增强开发点生物多样性和建立绿色走廊促进野生动物的迁移 |
| 项目建设指标 | 中国、新加坡 | 无相关指标 | 对项目位置和规模、生长介质以及植被选择有具体详细的要求 |

其安全通过,以免使公众或财产面临风险,同时尽可能减少或至少不得增加受水河道的洪水风险;美国内涝控制指标也十分明确,划分为对10年一遇、25年一遇、10~25年一遇等小量级洪水的控制。由此可见,对小量级、极端洪水的控制是解决城市洪涝问题的基本保障。而实现小量级乃至极端洪水控制,离不开城市多用途空间的开发与其他基础设施在雨洪管理中的利用,如荷兰的雨洪广场、韩国的多用途雨洪隧道、加拿大多伦多的污水处理公园(地下污水处理厂,地面城市水景观公园)^[17]等,而我国在雨洪管理基础设施的设计和建设方面存在先天不足,如城市道路建设中绿化带通常高于城市路面、城市建设初期排水管网设计不够合理等因素,易加剧城市内涝的发生。因此若要达到《指南》中的海绵城市建设标准,就要求对25~100年一遇的洪水进行控制,需要较大的洪涝滞蓄容积,必须配套强化城市排水系统建设,发挥排水系统的洪涝调蓄功能。

2.2 建设项目自身设计指标

国内外在雨洪管理建设过程中项目自身设计指标也具有显著不同,相对于国内,国外普遍更加注重项目的美学观感和生态价值,且对于项目选址、规模等也提出具体要求。

a. 舒适性指标。我国在海绵城市设计指标中对建设项目的健康安全、美学吸引方面并无具体涉及,而英国SUDS在试图解决城市洪涝、径流污染问题的同时,还考虑了人类生活环境与主观感受,包括视觉影响以及它们与当地环境和居民的互动,并制定了两个关键指标:一是健康和安全的,二是视觉影响和设施效益。健康和安全的指标主要考虑SUDS可能成为蚊虫、疟疾疾病的滋生地,因此应该加入相关的设计特征以避免疾病和蚊虫的影响;视觉影响则是以高质量的视觉效果来最大限度地发挥系统的美学吸引力,同时制定适当的维护计划。

b. 生态指标。我国海绵城市设计指标中并无生态指标,而英国在SUDS设计时则充分考虑、挖掘SUDS生态价值,认为SUDS带来的生态效益可为增强开发地点的生物多样性作出重要贡献。其生态设计原则包括:①保护当地物种及其栖息地;②有助于当地物种多样性保护;③有助于保护栖息地连通性;④创造具有弹性的可持续多样化生态系统。

c. 项目选址规模等相关指标。我国海绵城市的建设对于项目选址规模没有涉及,但是新加坡ABC水计划在指标控制效果和项目设计上强调因地制宜,同时对项目位置和规模、生长介质以及植被选择提出了具体详细的设计要求。对位置和规模的控制,确保了基础设施不会因地下水水位抬升而受

到威胁。对生长介质和植被的选择,则可通过物理手段延缓水流流动的过程,从而起到促进沉降和去除污染物的作用。

综合美英澳新等国的项目开发设计理念和指标来看,发达国家的项目建设指标早已不再局限于水量水质等常规指标的控制,还能根据沉淀(过滤)和生物降解等原理,保护和恢复下渗、蒸发等自然界中水循环过程,同时还能改善城市区域发展的可持续性,如WSUD将注意力放在水资源利用以及雨洪管理设施与城市生态环境的结合这两个方面,而SUDS也在水量水质目标基础上关注环境舒适度和实现物种多样性,ABC水计划则将项目设施建设目标融入雨洪控制之中,以形成景观雨洪综合模式。

2.3 指标具体制定和实施

国外雨洪管理指标体系大多强调因地制宜的原则,如新加坡虽然国土面积较小,但ABC水计划对项目位置和规模、生长介质以及植被选择仍然提出了十分具体详细的设计要求,美国的径流控制指标在各州甚至各城市的差异也很大。鉴于我国国土面积辽阔,自然地理要素和气候要素丰富多样且在空间上差异较大,加上我国城市水环境问题的特殊性,这决定了我国海绵城市控制指标更要坚持“因地制宜”、体现“一城一策”的原则。因此,应面向我国南北方城市面临的不同问题和任务,充分结合各地区的水质条件、气候条件、经济发展水平,系统研究、制定海绵城市的设施构造与相关参数,避免目标、指标和措施单一趋同。除此之外,无论在英国、美国、澳大利亚还是新加坡,雨洪管理指标体系在具体数值上的规定较少,一般指标划定是建立在当地相关管理机构的磋商和讨论基础之上的,这得益于政府部门、设计部门良好沟通磋商的体制机制。我国由于起步较晚,各部门之间的沟通磋商机制尚未成熟,而海绵城市建设涉及河湖水系综合治理、水环境保护、水生态修复等方面,与市政、水利、交通、园林等多个领域关系密切,因此,我国在海绵城市控制指标制定中应大力加强部门间的沟通与磋商机制建设,或建立共享数据库,支持进一步的跨学科研究,实现合作的良性循环^[25]。

3 启示

a. 国内外城市雨洪管理控制指标具有明显差异。经上述对比分析可知我国在指标细化和改善方面仍存在不足之处,因而建议进一步完善指标体系:一是入渗控制指标,首先要因地制宜,视不同地理、地质、气候等条件制定相应的入渗控制指标,缓解部分地区地下水资源短缺、河湖湿地生态恶化等问题;

二是适度强化洪水控制指标,重点对小量级洪水进行控制,同时强化城市排水系统,发挥排水系统的蓄滞功能;三是制定相应的生态和美学指标,在保证水量水质的基础之上,实现城市生态环境与设施建设相结合,提升美学吸引力,同时关注居民生活的舒适度以及周边环境生物的多样性,创造一个弹性的可持续城市生态系统。建议的新增海绵城市控制指标如表3所示。

表3 新增海绵城市控制指标

Table 3 Added sponge city control indicators

| 指标 | 要求 |
|--------|---|
| 入渗控制指标 | 视不同的地理、地质、水文、气象等条件而定:①无具体要求;②根据区域尺度水文统计或数值模拟评估确定;③以百分比计算,入渗量相当于某一重现期24h降雨的一部分 |
| 洪水控制指标 | 根据城市与下游洪水风险评估而定,重点是少量级洪水控制指标,即24h降雨的径流峰值与开发前等同 |
| 舒适性指标 | 美学效应方面:湿地、植草沟、沉降池等在设计时要考虑气候变化和天气的影响,也要采取措施避免蚊虫等致病因子,保证居民的健康和安全;视觉效果方面,要考虑通过植被和景观美化技术最大限度地发挥系统的美学吸引力 |
| 生态指标 | 主要体现在物种多样性保护方面:保护当地物种及其栖息地,创造弹性的可持续多样化生态系统 |

b. 指标的实施与制定应因地制宜,强化沟通。在指标具体实施上,一方面,海绵城市控制指标制定应将“因城制宜、一城一策”的原则摆在更为突出的位置;另一方面,在海绵城市控制指标制定中应大力加强部门间的沟通与磋商机制建设,确保指标的全面实施。

c. 落实指标前期分析和效果评估。由于海绵城市建设的目标之一是使城市开发建设后的水文特征接近开发以前,因此海绵城市建设方案必须要对城市或研究地块开发前后的水文情况进行水文计算及模型模拟,《指南》和《办法》中虽多次提到有条件的情况下可使用水文计算与模型模拟研究海绵城市的控制指标、设施规模、年径流总量控制率目标等,但目前一些项目在规划设计之前并没有进行该项工作,这使得海绵城市建设的最终实施效果难以预测。同时《指南》和《办法》也并未明确给出海绵城市控制指标的设计检验和校核方案^[26],因此,在今后应加强落实海绵城市控制指标的前期分析、后期的效果评估以及各个阶段的设计检验和校核,确保海绵城市的建设效果。

4 结语

本文梳理并对比了部分发达国家和我国雨洪管理指标体系上的差异,论述了国外城市雨洪管理指标体系对完善我国海绵城市控制指标体系的重要意

义。国内外雨洪管理指标的差异性主要体现在衡量建设效果的控制指标、建设项目自身设计指标、指标的具体制定和实施这3个方面,我国可考虑新增入渗控制指标、洪水控制指标、舒适性指标和生态指标来完善现有指标体系。同时考虑到我国地理、气候的多样性,未来应强化海绵城市控制指标制定的适宜性,突出“一城一策”,并强化建设部门之间的磋商和沟通机制,落实指标的前期分析和效果评估,以保证海绵城市的实施效果。

参考文献:

- [1] 张建云,王银堂,胡庆芳,等. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. 水科学进展, 2016, 27(6): 793-799. (ZHANG Jianyun, WANG Yintang, HU Qingfang, et al. Discussion and views on some issues of the sponage city construction in China[J]. Advances in Water Science, 2016, 27(6): 793-799. (in Chinese))
- [2] MARLOW D R, MOGLIA M, COOK S, et al. Towards sustainable urban water management: a critical reassessment[J]. Water Research, 2013, 47(20): 7150-7161.
- [3] 南名俊岳. 或造成14亿欧元损失 巴黎遭遇“百年魔咒”洪涝[J]. 世界博览, 2016(14): 24-25. (NAN Mingjunyue. It could cause 1.4 billion euros in damage and flood Paris with the “Hundred Year Curse”[J]. World Vision, 2016(14): 24-25. (in Chinese))
- [4] 李焕宇. 法国巴黎洪水泛滥致千人被疏散 郊区民众划船出行[EB/OL]. (2018-01-28)[2020-09-14]. https://www.guancha.cn/global-news/2018_01_28_444891.shtml.
- [5] COX M E, HILLIER J, FOSTER L, et al. Effects of a rapidly urbanising environment on groundwater, Brisbane, Queensland, Australia[J]. Hydrogeology Journal, 1996, 4(1): 30-47.
- [6] 陈磊. 治理城市内涝政府勇于担当[EB/OL]. (2019-07-02)[2020-09-14]. http://news.china.com.cn/2019-07/02/content_74943582.htm
- [7] 陈飞,丁跃元,李原园,等. 华北地区地下水超采治理实践与思考[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(2): 191-198. (CHEN Fei, DING Yueyuan, LI Yuanyuan, et al. Practice and consideration of groundwater overexploitation in North China Plain[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2): 191-198. (in Chinese))
- [8] 米文静,张爱军,任文渊. 国外低影响开发雨水资源利用对中国海绵城市建设的启示[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 345-352. (MI Wenjing, ZHANG Aijun, REN Wenyan. Oversea utilization and development of ubran rainwater resources with low impact and its

- implications for construction of sponge city in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 345-352. (in Chinese))
- [9] DEARDEN R A, MARCHANT A, ROYSE K. Development of a suitability map for infiltration sustainable drainage systems(SuDS)[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 70(6):2587-2602.
- [10] 刘兴坡. 新加坡城市内涝治理经验及启示[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22):11-13. (LIU Xingpo. Experience and inspiration for urban flooding management in Singapore[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 11-13. (in Chinese))
- [11] 贾绍凤. 我国城市雨洪管理近期应以防涝达标为重点[J]. 水资源保护, 2017, 33(2):13-15. (JIA Shaofeng. China should prioritize waterlogging prevention for recent urban storm water management [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(2):13-15. (in Chinese))
- [12] 李兰, 李锋. “海绵城市”建设的关键科学问题与思考[J]. 生态学报, 2018, 38(7):2599-2606. (LI Lan, LI Feng. The key scientific issues and thinking on the construction of “sponge city”[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(7):2599-2606. (in Chinese))
- [13] 胡庆芳, 王银堂, 李俊杰, 等. 水生态文明城市与海绵城市的初步比较[J]. 水资源保护, 2017, 33(5):13-18. (HU Qingfang, WANG Yintang, LI Lingjie, et al. Preliminary comparison between water-ecological civilization city and sponge city [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5):13-18. (in Chinese))
- [14] 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 Chaoxuan, 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))
- [15] 马越, 甘旭, 邓朝显, 等. 海绵城市考核监测体系涉水核心指标的评价分析方法探讨[J]. 净水技术, 2016, 35(4):42-51. (MA Yue, GAN Xu, DENG Chaoxian, et al. Discussion on evaluation and analysis method of water-related core indexes of assessment and monitoring system for sponge city[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4):42-51. (in Chinese))
- [16] 张辰, 陈涛, 吕永鹏, 等. 海绵城市建设的规划管控体系研究[J]. 城乡规划, 2019(2):7-17. (ZHANG Chen, CHEN Tao, LYU Yongpeng, et al. Study on the planning management and control system of sponge city construction [J]. Urban and Rural Planning, 2019(2):7-17. (in Chinese))
- [17] 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))
- [18] 沈才华, 王浩越, 褚明生. 构建内涝势冲量的海绵城市内涝程度评价方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(3):193-200. (SHEN Caihua, WANG Haoyue, CHU Mingsheng. Construction of evaluation method of intrinsic degree of sponge city based on the momentum of waterlogging potential energy [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2019, 51(3):193-200. (in Chinese))
- [19] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 现代城市, 2015, 10(4):1-6. (CHOU Baoxing. Connection, approaches and prospect of LID[J]. Modern City, 2015, 10(4):1-6. (in Chinese))
- [20] 冀紫钰. 澳大利亚水敏感城市设计及启示研究[D]. 邯郸:河北工程大学, 2014.
- [21] 刘晔. 海绵城市在新加坡:ABC全民共享水计划[J]. 城乡建设, 2017(5):66-69. (LIU Ye. Sponge city in Singapore:ABC Universal Shared Water Program [J]. Urban and Rural Development, 2017(5):66-69. (in Chinese))
- [22] 林梦楠. 新加坡的ABC水计划及其启示[C]//中国风景园林学会. 中国风景园林学会2017年会论文集. 北京:中国建筑工业出版社, 2017:431-435.
- [23] 张辰. 上海市海绵城市建设指标体系研究[J]. 给水排水, 2016, 52(6):52-56. (ZHANG Chen. Study on the sponge city construction indicator system of Shanghai City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 52(6):52-56. (in Chinese))
- [24] 张中秀, 李晓雷. 天津海绵城市规划建设中若干问题的思考[J]. 天津建设科技, 2019, 29(5):7-10. (ZHANG Zhongxiu, LI Xiaolei. Reflections on the planning and construction of Tianjin sponge city [J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2019, 29(5):7-10. (in Chinese))
- [25] 周怀宇, 刘滋菁, 刘海龙, 等. 雨洪管理设施的监测与智慧景观设计结合的跨学科实证[J]. 水资源保护, 2019, 35(6):82-88. (ZHOU Huaiyu, LIU Zijing, LIU Hailong, et al. Interdisciplinary demonstration of combination of stormwater management facilities monitoring and smart landscape design [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(6):82-88. (in Chinese))
- [26] 黄津辉, 段亭亭. 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[J]. 水资源保护, 2017, 33(5):5-12. (HUANG Jinhui, DUAN Tingting. Comparative study on sponge city development in China and integrated stormwater management in Canada: a case study of Toronto [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5):5-12. (in Chinese))