

海绵城市

## 对海绵城市建设中排水分区相关问题的思考

杨 正<sup>1,2</sup>, 李俊奇<sup>2,3</sup>, 王文亮<sup>2,3</sup>, 车 伍<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学<北京> 水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044; 3. 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)

**摘 要:** 合理划分排水分区是海绵城市建设中一项重要的基础工作。进一步梳理了排水分区的定义, 简要分析、总结了排水分区在美国城市雨水管理与我国海绵城市建设中的重要作用, 对排水分区的划分方法进行了阐述, 包括基础数据分析与现场踏勘, 排水分区划分的主要分类, 排水分区的边界确定, 排水分区划分的精度探讨, 以及排水分区的连接性分析, 并对其中不同情况涉及的相关问题进行了分析。

**关键词:** 排水分区; 城市雨水管理; 海绵城市; 连接性

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)22-0001-07

### Critical Issues Study on Catchment in Sponge City Construction

YANG Zheng<sup>1,2</sup>, LI Jun-qi<sup>2,3</sup>, WANG Wen-liang<sup>2,3</sup>, CHE Wu<sup>3</sup>

(1. School of Water Resources & Environment, China University of Geosciences <Beijing>, Beijing 100083, China; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China; 3. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Rational catchment delineation is the important base of sponge city construction. The definition of catchment was further reviewed. The important role of catchment in America stormwater management and in China sponge city construction was analyzed and summarized. The main points of catchment delineation were introduced, including basic data analysis and field inspection, the category of urban catchment, the boundary of catchment, the size discussion of urban catchment, and the analysis of catchment connectivity. Some related problems involved in different situations in the process above were analyzed.

**Key words:** catchment; urban stormwater management; sponge city; connectivity

以构建现代城市雨洪管理体系为核心的海绵城市建设正在全国范围内积极推进, 重点解决城市洪涝、径流污染、合流制溢流污染等城市雨水与水环境综合问题, 需要构建包含源头控制、排水管渠、超标

雨水径流控制等综合系统, 并协调衔接污水、水利防洪等系统<sup>[1]</sup>。

实践中, 区域洪涝和水体黑臭等问题边界条件的识别、区域雨水径流综合管控系统方案的制定、海

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478026); 北京市科委重点资助项目(D161100005916001); 北京市未来城市设计高精尖创新中心资助项目(UDC2016040100)

绵城市建设效果的评价等多方面工作,都需要以排水分区为基础开展。因此,综合考虑不同城市和区域的不同条件,合理划定排水分区,对海绵城市建设的有序推进具有重要意义。本文讨论的排水分区主要针对海绵城市建设重点涉及的城市雨水排水系统与合流制排水系统。

## 1 排水分区的定义

排水分区一词常用于城市市政与小区排水管渠系统的规划设计,主要是指雨水径流沿地表与管渠相对独立汇集排放的区域;而从突出地形地貌等对雨水汇流过程的影响,以及突出某设施汇流服务范围的角度,如针对超标雨水径流控制系统的蓄排设施,以及生物滞留等源头减排设施的设计时,也常称之为汇水分区。因此,排水分区与汇水分区二者名称不同源于其侧重的角度不同,但在实际工作中,往往需要统筹考虑不同情况雨水径流的汇集与排放过程,排水分区与汇水分区并无严格的界限,本文以下统称为排水分区。

在英语中, Watershed, Catchment, Basin 皆可用来表示排水分区/汇水分区,通常可以互用<sup>[2,3]</sup>,没有严格的区分。此外,部分设计手册中以 Sewershed 表示有排水管网覆盖的城市排水分区<sup>[4]</sup>。

对于自然水文过程,从降雨发生至径流的形成和汇集主要分为填挖入渗、产流与汇流、渗透与蒸发三个阶段<sup>[5]</sup>,地形地貌与河湖水系格局则是影响自然水文过程的主要因素,也是自然未开发区域和管渠较少区域排水分区划分的主要依据。城市建设在一定程度上会改变原有的自然地形地貌和水系形态,城市中建筑、路网与排水管渠等基础设施的建设都会改变自然的径流汇流过程(城市开发前后径流变化见图1<sup>[2]</sup>)。因此,针对城市建设区域,需要结合城市雨水径流沿地表与管渠的实际汇流排放路径划分排水分区。

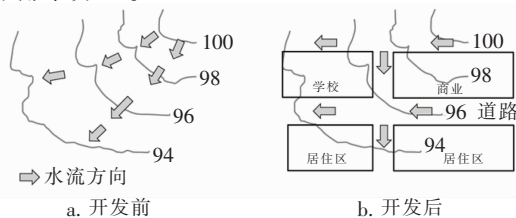


图1 城市开发前与开发后地表水流过程示意

Fig.1 Storm runoff flow path of pre-development and post-development

## 2 美国城市雨水管理基于排水分区的管控

### 2.1 雨水系统排放许可制度中对排水分区的要求

美国的 NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) 体系是基于清洁水法 (Clean Water Act) 的要求,在国家层面制定的针对水污染管控的污染物排放许可制度。美国环保局 EPA 在 2007 年发布了 NPDES 基于流域视角的技术指南与实施指南,旨在以流域为基础来分析点源与非点源污染物排放情况,并制定相应的管控策略。

针对城市雨水系统的排放许可 [Municipal Separate Storm Sewer System (MS4) Permits] 是 NPDES 的重要组成部分,在该体系下对区域雨水径流进行综合管理,要求申请人在许可申请前必须制定相应的雨水管理计划 (Stormwater Management Program Plan),计划的主要内容包括了公众参与和教育,污染物违法排放的督查与控制,新建与改建工程中雨水径流的管控、后期的维护管理、监测与评估等。

其中,依据区域排水口、管网、水系等相关资料,并结合现场踏勘绘制区域最新的雨水系统图 (MS4 Mapping),是雨水管理计划中明确要求的重要内容。在雨水系统图中,需要明确雨水系统排水口位置、对应排水分区范围及区域内的管渠、泵站、调蓄池等主要雨水设施,以及主要用地类型等相关信息,且需要根据区域的建设情况对涉及的雨水系统信息进行定期更新。在此基础上,分析各排水分区内是否存在管网混接等导致的污染物违法排放等问题,根据问题严重程度确定进行优先控制的排水分区 (Priority Catchments),并制定相应控制策略。若排水分区末端接纳水体被美国 EPA 认定为受损水体 (Impaired Water),则需要以排水分区为基础进一步制定雨水系统的污染物削减计划 (Storm Pollution Reduction Plan),对雨水系统的污染物排放进行管控,同时需要符合该受损水体的 TMDL 计划中对污染物排放的总体要求。

### 2.2 排水规划中基于排水分区的径流峰值管控

针对城市排水防洪,美国基于流域管理理念在不同区域设置有城市排水与洪涝控制区 (Urban Drainage and Flood Control District),旨在结合所在区域的特点,针对城市排水与洪涝问题进行统筹管理,制定相关政策与技术手册,并安排相关工程项目。其中,编制区域的排水总体规划 (Urban Drainage Master Plan) 是很多地区正在推广实施的一项重

要工作。例如,科罗拉多州城市排水与洪涝控制区根据其所辖范围内主要水系划分了43个主要流域,要求2016年—2020年完成全部流域的排水总体规划。城市的开发建设需要依据所属流域排水总体规划要求的水系允许排入径流流量,对上游对应的城市不同排水分区进行径流峰值流量排放管控,并需要以此为依据在“地块—排水分区—流域”不同尺度内设置相应的集中或分散调蓄设施。管控思路如图2所示。

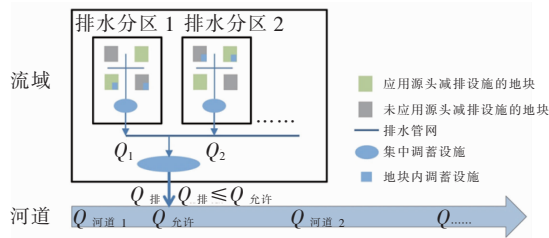


图2 基于“地块—排水分区—流域”的径流峰值管控示意

Fig. 2 Storm runoff peak flow control based on “land - catchment - watershed”

### 3 合理划定排水分区的重要性

海绵城市建设正在全国范围内积极推进,排水分区的合理划定对问题识别、规划管控、建设方案编制及后续的监测与效果评价等,均具有重要作用。

海绵城市专项规划的编制是科学有序推进海绵城市建设的重要的顶层设计工作,住建部联合多位海绵城市建设领域专家共同发表了《浅析海绵城市建设的顶层设计》一文<sup>[6]</sup>,对专项规划的具体编制内容和要求进行了阐述。其中,在规划阐述中明确提出要科学划定排水分区,明确竖向管控要求。并要求海绵城市管控分区的划定要以排水分区为基础,并结合城市控规编制单元等进行适当优化,以便在规划建设管理时使用。

海绵城市建设方案的制定,针对城市自然生态格局的构建,需要结合河流、湿地、低洼地、径流路径、排水分区、高程、坡度、植被分布、土地利用类型等进行综合分析确定,排水分区是其中的重要因子之一;针对黑臭水体的整治,首先应综合分析其污染源,需要掌握水体的主要排水口分布与对应的排水分区情况,以及分区内管道的排水特征等,进而分析各排水分区的点源、面源污染物排放情况,为后续水体治理方案的制定提供依据;针对城市内涝防治,需要首先调查积水区域对应的排水分区范围,以及分区内的地形与空间条件、管渠运行情况等,分析积水

成因,进而提出有针对性的排水防涝技术方案。

排水分区的合理划分,有利于从流域的视角对城市洪涝与黑臭水体等诸多问题进行综合分析,统筹流域上下游关系,避免仅针对某一项目或仅考虑海绵城市试点建设范围,而造成对问题全面把握的缺失,甚至会忽略掉其他更为严重的问题,进而影响建设方案的系统性与科学性,并最终影响海绵城市建设效果。

针对海绵城市的建设效果,需要对以排水分区为基本构成的城市区域内的水生态、水资源、水安全、水环境等相关指标进行综合评价。涉及到的监测工作,也应以排水分区为基础,对分区内重点项目、末端排水口、接纳水体等开展监测分析,构建涵盖区域、排水分区、项目、设施的综合监测体系。

### 4 排水分区划分方法分析

排水分区划分的总体思路如图3所示。

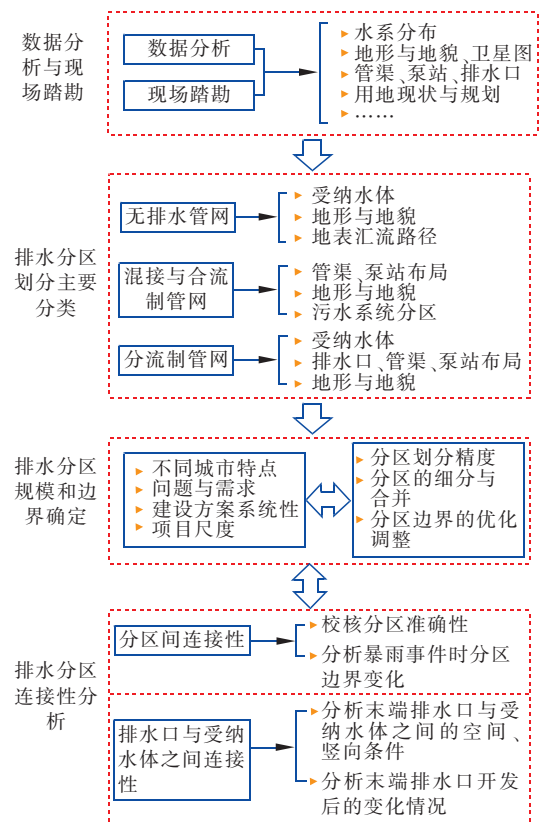


图3 排水分区划分的总体思路

Fig. 3 General framework of catchment delineation

排水分区的划分首先需要获取地形地貌、管网等基础数据,并对重点区域进行现场踏勘与数据复核。在此基础上,依据区域的具体情况,对排水分区



进行划定,确定分区划分精度与分区边界,并对不同排水分区之间、排水口与受纳水体之间的连接性进行分析。

#### 4.1 基础数据分析与现场踏勘

有效资料的获取是合理划分排水分区的第一步,所需资料主要包括:河湖水系与沟渠布局、地形与卫星测绘资料、现状雨污水管渠系统普查数据与主要排水口分布、规划雨污水管网、现状与规划城市用地情况等。

但实际情况,许多城市长期以来对管网、地形等基础设施数据采集、管理等工作不到位,往往缺乏准确、全面的基础数据资料,或缺少对近期建设数据的及时更新,再加上城市管网建设与维护管理不到位导致的管网错接、混接、私接等现象普遍,导致实际获取的图纸资料会出现与实际建设情况不符的问题,进而影响排水分区划分及后续方案设计的准确性与合理性。因此,涉及重要区域的现场踏勘和数据复核至关重要,必要时还需进行相关重点数据的补测。美国雨水排放许可中也明确要求梳理区域雨水系统的过程要进行现场勘查工作,并要求针对重点区域的排水口制定现场勘查计划(Outfall Screening Plan),并出具相应的踏勘报告。我国当前海绵城市建设过程中出现的排水分区划分不合理、方案设计不当等诸多问题,多数是现场踏勘的不彻底及对现场条件掌握的不到位所致。

#### 4.2 排水分区划分的主要分类

排水分区的划分主要依据受纳水体的布局与雨水径流的汇流路径,雨水径流的汇流又主要分为地表汇流与管渠汇流两类,根据汇流的不同情况,对排水分区的划分进行相应分类。

无排水管渠或管渠覆盖度较低的区域,主要结合地形地貌,通过分析雨水径流的地表汇流路径来划定分区;管渠覆盖度较高的区域,降雨发生时,雨水径流通过地表漫流、汇流至雨水管渠进行排放,此时,应通过地表汇流过程与管渠汇流的综合分析来划分排水分区。依据排水体制将管渠覆盖区域分为分流制区域、分流制混接区域和合流制区域,依据排放方式的区分,又进一步分为自排区域和强排区域。针对分流制混接与合流制区域,需结合雨污水管网系统布局与污水系统分区,根据截污干管与上游管渠、强排泵站等设施的布局划定分区;针对分流制区域,则主要根据末端排水口与上游对应雨水管渠、强

排泵站的汇流范围来划定分区。

#### 4.3 排水分区边界的确定

结合地形地貌、管渠汇流范围、城市用地布局等综合确定分水线作为城市排水分区的边界。山地(坡地)和丘陵城市的水文格局通常会呈现干流、支流、冲沟等级较为分明的树枝状结构,这种水文格局的地表汇流过程较为明确,分水线也较为明显。平原城市水力比降小,水系的自然分级与分水界线不明显,无明显分水线时考虑以主要城市道路排水主干管网的汇水边界作为分区边界,无管网覆盖或管网较少的城市区域,可以利用 ArcGIS 等工具,叠加建筑、道路等地物信息对平原城市的数字高程模型(DEM)数据进行细化处理<sup>[7,8]</sup>,通过水文分析工具进行分水线的提取确定分区边界,并结合实际地表汇流情况进行修正。同时,综合考虑区域内黑臭水体、洪涝等主要问题的边界条件与治理方案以及对应的项目安排,对排水分区的边界进行相应的优化调整。

需要指出,在规划层面考虑项目完整性,避免分水线切割地块,便于以分区为单位进行规划管控,可以城市路网作为排水分区的边界进行简化分析。编制片区系统方案时,再进一步结合分区边界周边地块的具体地形坡向与汇流路径对排水分区的边界进行细化调整。

在实际工作中发现,针对不同重现期降雨,雨水管网的汇流范围与地表径流总体的汇流路径可能会出现不一致的情况,因此,需要评估当发生暴雨事件,超过地下管网系统的排水能力而发生漫溢时,雨水径流依地形形成地表径流通道,导致相邻排水分区之间可能会出现边界的动态变化,需要分别针对排水管渠系统与超标雨水径流控制系统各自对应的排水分区进行相应设计。例如,在安徽省池州市齐山大道海绵化改造的设计过程中,发现其市政雨水主干管约汇集 73 hm<sup>2</sup> 区域的雨水径流,但暴雨期间又将有约 29.7 hm<sup>2</sup> 上游地块的客水沿地表汇入齐山大道<sup>[9]</sup>。类似情景在北京市多处下凹式立交桥的积水改造案例中也有体现,且往往是造成下凹式立交桥积水的重要原因。以北京莲花桥为例,原设计桥区低水汇流面积为 13.6 hm<sup>2</sup>,由于周边建筑小区、办公区等区域地势较高,暴雨时径流沿地表汇入桥区,导致桥区汇流面积增加至 60 hm<sup>2</sup> 以上<sup>[10]</sup>。因此,需要分别针对不同的降雨设计目标,分析排水

分区边界变化,对不同系统对应的排水分区范围进行相应的水力计算与方案设计。

#### 4.4 排水分区划分精度的探讨

在实际工作中,根据项目和排水分区服务的尺度不同,可分为流域、城市、片区、项目、设施等不同层级对应的排水分区。例如,在划分城市排水分区的基础上,针对其中某一片区的细化分析,可以结合片区存在的问题及建设条件,依据区内地形与干管、次干管、支管的布局,进一步将片区内排水分区细分为若干子排水分区(Sub-catchment)。针对其中具体的地块项目,在设计过程中可结合地块的地形与管网等设施布局,进行地块内排水分区的划分。同时,还需要根据不同的项目尺度和项目要求进行相应的分析。

在城市尺度,城市排水分区划分精度和分区规模的确定,一方面从合理化公式与模型计算适用性的角度考虑,另一方面从不同城市特点,面临的问题与需求,以及建设方案系统性的角度考虑。其中,针对传统推理公式法的适用范围,不同国家有不同的要求,我国在现行《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)中提出推理公式适用于汇水面积不超过 $2\text{ km}^2$ 的区域。而在 $2\text{ km}^2$ 的区域范围内,排水分区进一步细分的精度也会对推理公式与模型模拟计算结果的差别产生影响。例如,陈嫣等<sup>[11]</sup>对上海市某区域排水系统分别采用推理公式法与数学模型法(InfoWorks模型)计算管道流量,研究结果显示,排水系统服务区域总面积约 $2\text{ km}^2$ ,在一年一遇降雨重现期下,当区域内排水分区面积 $\leq 0.4\text{ km}^2$ 时,两种方法计算的管道流量结果差别不大,当排水分区面积 $>0.4\text{ km}^2$ 后,随着排水分区面积的增大,两者差值变大,误差为 $10\%\sim 20\%$ 。

美国科罗拉多州在其排水手册中建议每个独立排水分区的面积宜小于100英亩(约 $0.4\text{ km}^2$ )<sup>[3]</sup>,在此基础上,科罗拉多州丹佛市又通过相关研究,发现在相同条件下,当排水分区面积 $<90$ 英亩(约 $0.36\text{ km}^2$ )时,利用传统推理公式法与丹佛当地水文过程线模拟两种方法计算得到的区域峰值流量在结果上趋于一致,而当排水分区面积 $>150$ 英亩(约 $0.6\text{ km}^2$ )时,两种计算方法得到的结果相差将大于 $10\%$ ,且随着分区面积的增加该误差也逐渐增大<sup>[12]</sup>。因此,考虑不同分区流量计算的一致性与准确性,丹佛市提出排水分区面积宜小于90英亩,不

宜大于150英亩。

排水分区划分精度的不同,对区域水量、水质模型的模拟结果也会产生一定的影响。赵冬泉等<sup>[13]</sup>研究发现排水分区划分的细致程度,对SWMM模拟结果中坡面径流总量、坡面径流量峰值以及峰值出现的时间均会产生影响;秦攀等<sup>[14]</sup>以常州市为例,发现不同排水分区划分精度在不同时间尺度的模拟条件下,对SWMM水质模拟结果的影响也有所区别。因此,排水分区的划分精度需要结合研究区域尺度、场地特点、模拟目标,以及建模工作量等综合分析后确定。

排水分区划分还应重点结合区域的建设条件,包括新城区、老城区、棚户区的分布,海绵城市建设与改造的适宜性分析,以及对水生态、水环境、水资源、水安全重点问题边界条件的识别和体现源头减排、过程控制、系统治理技术路径的系统方案等进行统筹考虑。此外,还应考虑我国南北方不同城市的特点。例如,我国北方很多平原城市水系较少,地势平坦,主要依据管渠汇流路径划分排水分区,且分区规模通常较大,在初步划定排水分区的基础上,往往需要结合区域问题及海绵城市建设条件,依据干管与次干管布局,进一步细分子排水分区;河网城市水系发达,区域内雨水就近、分散排入城市河湖水系,依据其水系布局,单个雨水排水口对应的排水分区面积通常较小,为避免过度分散,可以将面临问题相同、建设条件类似的相邻排水口对应的排水分区合并为一个排水分区,在规划与方案设计中进行统筹考虑。

因此,排水分区的划分精度和排水分区的规模并无绝对固定的限制,需要结合不同城市、不同项目的具体条件和需求,合理划定排水分区,进行合理的进一步细分和合并等。

#### 4.5 排水分区的连接性分析

对城市排水分区进行划定后,应进一步针对排水分区的连接性进行分析,主要包括不同分区之间的连接性、排水分区末端排水口与接纳水体之间的连接性两类。这些都是目前我国在城市排水分区划定中往往容易忽略的重要工作。

针对排水分区之间的连接性,首先应校核不同分区之间是否相对独立,相邻分区间有无重叠或未覆盖区域,并分析分区之间的连接路径。不同分区可连接至下游同一分区[见图4(a)],但某一排水

分区不能同时连接至下游两个排水分区[见图4(b)]。通过上述分析,初步校核城市排水分区划定的准确性与合理性。其次,不同重现期的降雨事件发生时,排水分区之间可能会发生边界的动态变化,需要根据不同问题和设计降雨,针对对应的排水分区进行相应分析。

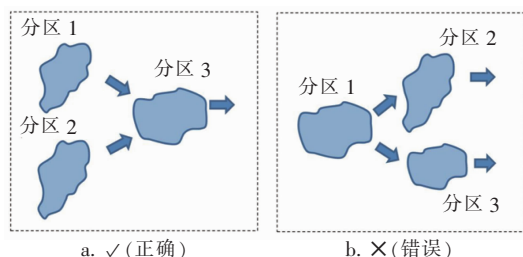


图4 排水分区间连接性分析示意

Fig. 4 Analysis of catchment connectivity

排水分区末端排水口与受纳水体之间的连接性分析,主要取决于排水口与受纳水体之间的距离、竖向与空间条件,以及区域开发前后排水口的变化情况,反映了排水口对应的上游排水分区所产生的雨水径流与污染物能够进到受纳水体的排放量情况。美国相关设计手册中对排水口与受纳水体之间的连接性进行了量化规定,将其分为0、10%、25%、50%、75%、100%六个级别,其中0即表示排水口与受纳水体之间空间较大,历史数据显示该排水口对应上游排水分区排放的雨水径流全部在排水口与受纳水体之间的区域进行了调蓄或渗透,未进入受纳水体;100%即表示排水口直接或通过硬化沟渠与受纳水体相连,排水分区产生的雨水径流全部进入受纳水体;其他四类即表示排水口与受纳水体之间存在一定的调蓄空间,当降雨径流峰值超过统计数据对应的百分位时,排水分区产生的雨水径流即会排入受纳水体。同时,设计手册还提出了相应经验算法对不同级别进行计算评定。

通过排水口与受纳水体之间的连接性分析,结合排水分区内具体条件,可以进一步有效评估排水分区对受纳水体的水量及污染物排放贡献,从而明确重点和优先控制区域。同时也为规划与设计过程中针对排水口与受纳水体之间空间、竖向等条件的合理保护与利用,以及为城市蓝绿线的合理划定、蓝绿融合等提供重要基础。

## 5 结语

海绵城市建设通过综合系统构建对城市雨水径

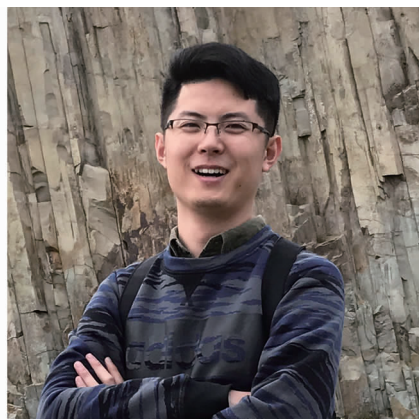
流进行系统管控,对排水分区的划定提出了新的更高要求。针对不同城市与不同区域的具体条件,基于水系、管网、泵站、地形地貌等基础数据的分析与现场踏勘,对城市排水分区进行合理划分,需注意不同降雨条件下和不同系统对应的排水分区边界的动态变化,并重视分区末端排水口与受纳水体之间的连接性分析,为海绵城市建设中问题识别、方案制定、监测评估等工作奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 张伟,车伍. 海绵城市建设内涵与多视角解析[J]. 水资源保护,2016,32(6):19-26.  
Zhang Wei, Che Wu. Connotation and multi-angle analysis of sponge city construction [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6): 19-26 (in Chinese).
- [2] Guo J C Y. Urban Flood Mitigation and Stormwater Management[M]. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [3] Urban Drainage and Flood Control District. Urban Storm Drainage Criteria Manual[M]. Denver: UDFCD, 2016.
- [4] New York State Department of Environmental Conservation. SPDES General Permit for Stormwater Discharge from MS4s[M]. New York: DEC, 2016.
- [5] 东方勇. 基于水文视角的重庆市海绵城市规划建设研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.  
Shu Fangyong. Research on Sponge City Construction in Chongqing Based on Hydrology [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016 (in Chinese).
- [6] 章林伟,牛璋彬,张全,等. 浅析海绵城市建设的顶层设计[J]. 给水排水, 2017, 43(9): 1-5.  
Zhang Linwei, Niu Zhangbin, Zhang Quan, et al. Brief analysis of top-level design of sponge city construction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(9): 1-5 (in Chinese).
- [7] 赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,等. 基于GIS构建SWMM城市排水管网模型[J]. 中国给水排水, 2008, 24(7): 88-91.  
Zhao Dongquan, Chen Jining, Tong Qingyuan, et al. Construction of SWMM urban drainage network model based on GIS [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(7): 88-91 (in Chinese).
- [8] 左俊杰,蔡永立. 平原河网地区汇水区的划分方法——以上海市为例[J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 337-343.  
Zuo Junjie, Cai Yongli. An automated watershed delineations approach for plain river network regions: A case



- study in Shanghai [J]. *Advances in Water Science*, 2011, 22(3):337-343 (in Chinese).
- [9] 付振,车伍,林聪,等. 基于多目标的池州市齐山大道海绵化改造经验[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(8):7-14.
- Fu Zhen, Che Wu, Lin Cong, *et al.* Exploration of urban street sponge renovation based on multi-target: A case study of Qishan Street in Chizhou [J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(8):7-14 (in Chinese).
- [10] 张韵,黄鸥,陈祥瑞,等. 北京市下凹式立交桥内涝积水原因与治理措施[J]. *中国市政工程*, 2013, (S1):62-64.
- Zhang Yun, Huang Ou, Chen Xiangrui, *et al.* Flood reason analysis and control measures of underneath overpass in Beijing [J]. *China Municipal Engineering*, 2013, (S1):62-64 (in Chinese).
- [11] 陈嫣,王盼. 新版《室外排水设计规范》对上海排水系统设计的影响[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(22):1-5.
- Chen Yan, Wang Pan. Influence of new edition of *Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering* (2014) on design of drainage system in Shanghai [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(22):1-5 (in Chinese).
- [12] Guo J C Y, MacKenzie K. Modeling consistency for small and large watershed studies [J]. *J Hydrol Eng*, 2013, 19(8), DOI:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000948.
- [13] 赵冬泉,陈吉宁,佟庆远,等. 子汇水区的划分对SWMM模拟结果的影响研究[J]. *环境保护*, 2008, (8):56-59.
- Zhao Dongquan, Chen Jining, Tong Qingyuan, *et al.* Research on influence of effects of sub-catchment delineation on SWMM simulation results [J]. *Environmental Protection*, 2008, (8):56-59 (in Chinese).
- [14] 秦攀,雷坤,乔飞,等. 子汇水区划分精度对SWMM模拟城市非点源的影响[J]. *环境科学与技术*, 2016, 39(6):179-186.
- Qin Pan, Lei Kun, Qiao Fei, *et al.* Impact of sub-catchment size delineation on urban non-point source pollution simulation using SWMM [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 39(6):179-186 (in Chinese).



作者简介:杨正(1990- ), 男, 山东潍坊人, 在读博士, 主要研究方向为城市雨水控制利用。

E-mail: yangzheng203@163.com

收稿日期:2018-03-21

保护生态环境就是保护生产力

改善生态环境就是发展生产力