

海绵城市

# 贵安新区海绵城市水量、水质三级控制屏障系统

由 阳<sup>1</sup>, 朱 玲<sup>2</sup>, 张 洋<sup>1</sup>, 房 亮<sup>1</sup>

(1. 中规院<北京>规划设计公司, 北京 100044; 2. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 在分析城市新区海绵城市建设特点、难点的基础上,结合贵安新区实际情况,以目标为导向,构建了水量、水质三级控制屏障系统,该系统从宏观、中观、微观三个层次构建了海绵系统,落实了“源头减排、过程控制、系统治理”三段论,并从建设主体的角度明确了各方责任,为新区海绵城市建设探索一条新途径。

**关键词:** 海绵城市; 低影响开发; 城市新区; 年径流总量控制率

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0001-06

## Three-level Water Quantity and Quality Control Barrier System for Sponge City in Gui'an New District

YOU Yang<sup>1</sup>, ZHU Ling<sup>2</sup>, ZHANG Yang<sup>1</sup>, FAGN Liang<sup>1</sup>

(1. CAUPD Beijing Planning & Design Consultants Co., Beijing 100044, China; 2. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the characteristics and difficulties of the sponge city construction in new urban districts, this paper introduced three-level water quality and quantity control barrier system for sponge city construction. This system, synthesized goal orientation and objective reality of Gui'an new district, contains three parts of the macro, the middle and the micro levels. It is proven that this system can carry out not only source reduction, but also process control and systematic governance. Besides, the responsibilities of the government and developer were illustrated, based on the construction subject analysis. At last, the three-level water quality and quantity control barrier system could be used to provide a new path for sponge city in Gui'an.

**Key words:** sponge city; LID; new urban district; capture ratio of annual runoff volume

### 1 贵安新区中心区概况

#### 1.1 中心区区位

贵安新区是国务院批准设立的第八个国家级新区,位于贵阳市和安顺市相连的中心地带,规划面积为1 795 km<sup>2</sup>(其中直管区470 km<sup>2</sup>),涉及贵阳、安顺两市所辖4市(区),现有人口79万人(直管区32.85万人)。贵安新区肩负“西部地区重要经济增长极、内陆开放型经济新高地、生态文明示范区”三

大使命。中心区位于贵安新区东部,规划用地为43.25 km<sup>2</sup>。规划范围内的现状用地主要由城乡居民点建设用地、区域交通设施用地、特殊用地、工业用地、水域和农林用地构成,其中农林用地占比约92.9%,以基本农田、茶园、林地为主,城乡居民点建设用地占比为4.0%,仅次于农林用地。规划范围内已建成贵安大道、白马路、金马路、寅贡路等骨干路网,以及月亮湖公园、清华生态文明创新园等。

2015年6月,经财政部、住建部、水利部批复,贵安新区成为国家首批海绵城市试点,并在《贵州贵安新区海绵城市建设试点三年实施计划(2015—2017)》中承诺“贵安新区海绵城市建设试点区域位于新区城市核心区贵安生态新城(中心区)范围内,示范区规划面积为19.1 km<sup>2</sup>,三年计划实施8大类67个工程项目,共计投资46.7亿元。”

## 1.2 中心区降雨特征

贵安新区四季气候温和,冬晴则暖,夏雨则凉。年平均降雨量为1 241 mm(1981年—2016年平均),大多集中在夏、秋季节。贵安新区降水的季节变化与季风活动有着密切关系,降水呈年内分配不均、年际变化大等特点。统计平坝气象站降水资料,最大年降水量为1 914.5 mm(2014年),最小年降水量为823.1 mm(2011年),最大和最小年分别是多年降水量的1.5倍和0.66倍,丰枯比为2.27。月降雨量平均值最大的是7月(220.2 mm)、最小的是12月(18.8 mm),5月—10月总雨量达到1 010 mm,占全年降雨量的83%;10月—次年4月降雨量最少,总雨量为209.5 mm,占全年降雨量的17%。

## 1.3 中心区土壤渗透性

根据《贵安新区中心区海绵城市场区渗透性勘察车田河流域规划报告》,中心区覆盖层主要为残坡积红粘土,其次为冲洪积卵砾石及砂土,另外,部分人工填土在基础设施和一些项目平场施工中也开始出现。按照场区综合渗透性分区原则,将中心区划分为5种渗透性分区、13个亚区(见表1)。

表1 中心区土壤渗透系数

Tab.1 Value of soil hydraulic conductivity

cm · s<sup>-1</sup>

渗透性分区	渗透性等级	综合渗透系数	备注
I-1	强透水	$(2.01 \sim 214) \times 10^{-3}$	建议值
I-2	强透水	$(2.01 \sim 214) \times 10^{-3}$	建议值
II-1	中等透水	$(1.69 \sim 2.01) \times 10^{-3}$	计算值
II-2	中等透水	$(2.85 \sim 3.57) \times 10^{-4}$	计算值
III-1	弱透水	$(2.88 \sim 17.0) \times 10^{-5}$	计算值
III-2	弱透水	$(8.38 \sim 26.1) \times 10^{-5}$	计算值
IV-1	微透水	$(2.70 \sim 3.92) \times 10^{-6}$	计算值
IV-2	微透水	$(2.64 \sim 10.6) \times 10^{-6}$	计算值
IV-3	微透水	$(1.01 \sim 3.18) \times 10^{-6}$	计算值
IV-4	微透水	$(1.01 \sim 3.18) \times 10^{-6}$	计算值
IV-5	微透水	$(2.14 \sim 2.59) \times 10^{-6}$	计算值
V-1	极微透水	$(9.12 \sim 65.2) \times 10^{-8}$	计算值
V-2	极微透水	$(9.12 \sim 65.2) \times 10^{-8}$	计算值

综上,贵安新区作为一个全新区建设的城市,是首批海绵城市试点中唯一一例,受城市开发进度的影响,与建成区相比,开展海绵城市建设难度较大<sup>[1]</sup>,主要体现在如下三方面:一是新区建设要求高、标准严。主体工程的建筑、景观方案和施工图往往要经过前期多次论证,拖后海绵城市设计进度;二是新区建设项目往往体量比较大,项目前期征地、拆迁等手续复杂,也会影响海绵城市进度;三是新区的居住用地比较集中,居住项目在哪里开工建设,能否开工建设受土地出让的影响,很多时候出于海绵城市排水分区系统达标考虑,希望开工建设的是一个地块,但是出让的土地是另一块,导致新区海绵城市建设零散化。因此,作为贵安新区亟需找到一条新区海绵城市的建设路径,在顶层设计层面,在条件受限、局部留白的前提下以规划解决以上问题,确保海绵城市建设系统达标,确保顺利通过试点验收。

## 2 三级控制屏障系统构建策略

① 面上,积极推进中心区内各流域水系综合治理项目(“两湖一河”PPP项目、滴水河流域综合治理工程),提升试点区水系调蓄、水量控制能力,以水量控制实现水质控制,强化水污染控制,搭建面源污染控制最后一道防线,确保区域水质达标。

② 线上,随道路敷设雨污分流管线、超标降雨径流通道,构建蓝绿空间。对新建道路施行低影响开发模式;对已建道路进行改造,尽量保护现有绿化带景观效果,以最小的代价实现道路雨水径流污染控制(“三路一区”改造工程)。

③ 点上,强化对未建地块管控,以实事求是为原则,尊重城市建设发展规律,对暂时不能启动项目建设的“白地”进行严格的指标管控,将海绵城市建设要求作为“两证一书”发放的前置条件和刚性要求,确保无论未来怎么建设都能实现目标指标,不影响区域水量、水质达标。

## 3 三级控制屏障系统组成

控制屏障系统即宏观、中观、微观三级系统,三级系统顺序接纳降雨,在空间上串联,在功能上互补,共同作用,实现水量、水质的三级调控。

### 3.1 三级系统构思

#### ① 微观系统

微观系统即一级系统,侧重源头控制,设计尺度在地块内0.09~233 hm<sup>2</sup>左右。雨水部分下渗,部分沿竖向有组织径流,汇入地块内的蓄滞设施。超

标雨水通过溢流进入雨水管渠。

系统组成主要是低影响开发设施,即在场地开展过程中采用源头、分散式措施。

## ② 中观系统

中观系统即二级系统,侧重中途控制,设计尺度为中心区内各流域分区  $1.44 \sim 9.42 \text{ km}^2$ 。雨水通过管渠、泵站等设施转输,经初期雨水净化设施处理后就近排入区域内小支流。超标雨水通过行泄通道进入流域支流。

系统由以下几部分组成:一是管渠系统,即应对常见降雨径流的传统雨水管渠、泵站等排水设施。二是防涝行泄通道,即应对内涝防治设计重现期以内的雨水径流输送和排放功能的通道,包括明渠、道路、隧道、生态用地以及车田河各支流等。三是流域雨水净化系统,主要为雨水管排口的湿塘,平时发挥正常的景观及休闲、娱乐功能,小雨时储存一定的径流雨水以控制外排水量、补充景观用水需求,暴雨发生时发挥调节功能,削减峰值流量。

## ③ 宏观系统

宏观系统即三级系统,侧重末端控制,设计尺度为中心区  $43.25 \text{ km}^2$ 。各支流汇集雨水后继续转输至河口,经生态湿地等生态治理设施后排入干流。超标雨水通过防洪通道进入干流等水体。

宏观系统由两部分组成:一是生态治理设施,主要为支流汇入干流处的湿地;二是防洪设施,主要为车田河干流。

## 3.2 三级系统的落实

将三级系统构思落实在贵安新区中心区  $43.25 \text{ km}^2$  内,海绵城市建设前用地布局以及一级、二级、三级海绵设施布局见图 1~4。



图 1 海绵城市建设前用地布局

Fig. 1 Land distribution before the construction of sponge city



图 2 海绵城市一级系统布局

Fig. 2 Layout of the first level system of sponge city

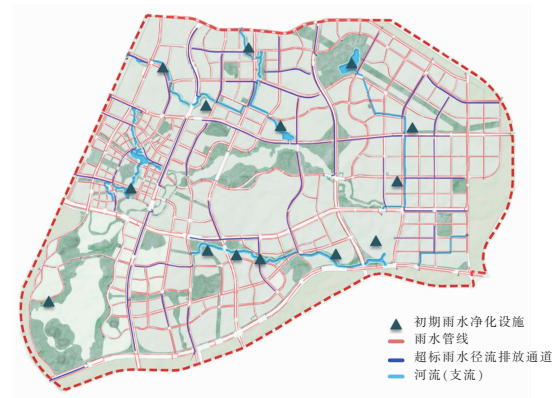


图 3 海绵城二级系统布局

Fig. 3 Layout of the second level system of sponge city



图 4 海绵城市三级系统布局

Fig. 4 Layout of the third level system of sponge city

## 3.3 以兰花河流域为例解读三级系统

根据地理信息系统等技术的应用,结合《贵安新区中心区控制性详细规划暨城市设计》中确定的用地和路网布局,贵安新区中心区可划分为 9 个流域分区,三级系统布局完成后,以流域分区为单位,每个流域分区都构建了源头-中途-末端的海绵城

市系统,实现了流域内的水量、水质的双重控制,三级系统共同作用,落实海绵城市建设目标,实现流域内海绵城市建设目标的完成。以兰花河流域为例,其三级系统构成见图 5。



图 5 兰花河流域三级系统布局

Fig. 5 Layout of the three-level system of Lanhua River watershed

兰花河流域分区面积为 6.61 km<sup>2</sup>,分区年径流总量控制率为 74%。在降雨条件下,雨水首先进入一级系统,即包括居住、医疗、道路、商住混合、商业设施、行政办公、教育科研、绿地、生态用地、水体 10 种类别地块内。雨水沿竖向有组织径流,在地块内低影响开发设施——透水铺装、下沉式绿地、绿色屋顶、调蓄容积(分地上和地下)等的作用下,实现一级系统对雨水的下渗、滞留和简单过滤、沉淀,实现雨水的削峰和滞峰。此后,雨水顺序进入二级系统,包括雨水管线、湿塘和超标径流通道。在常规降雨情况下,雨水通过市政道路下的雨水管网进入管网末端的初期雨水净化设施(湿塘)内,经湿塘进一步净化和调蓄后进入兰花河和滴水河(兰花河和滴水河均为车田河左岸支流);在超标降雨情况下,即超过市政管线排水能力的降雨情况下,超标径流将沿百马大道、玉衡路、滨海路等地表超标雨水径流通道快速排入兰花河和滴水河。雨水在兰花河和滴水河内实现少量的调蓄和污染物去除后,再进入三级系统。三级系统包括滴水河口生态湿地和车田河干流,雨水在湿地内实现进一步净化后进入车田河干流。车田河干流具有 1 m 左右的洪水位和常水位的高差,可实现对雨水的调蓄,并确保防洪安全。

4 三级控制屏障系统功能

4.1 水量控制

一级系统组成主要是低影响开发设施,其核心是维持场地开发前后水文特征不变,包括径流总量、

峰值流量、峰现时间等。以海绵城市示范区为例,当规划确定区域年径流总量控制率目标为 80% 时<sup>[2,3]</sup>,对应的设计降雨量不小于 27 mm。示范区内要实现年降雨的 80% 就地控制,即通过一级系统低影响开发设施实现地块内控制 80% 的年降水总量。

二级系统组成包括管渠系统、超标降雨径流排放系统、初期雨水净化系统(主要为雨水管排口的湿塘),前两类设施都仅具有雨水转输功能,仅有微量的水量调节功能。湿塘常年保持一定水域面积且可拦截、临时蓄存径流雨水,主要功能是滞流雨水、调节流量、延长排放时间,以雨水作为补水水源,一般用以削减峰值流量。此外,二级系统的小支流由于具有洪水位与常水位的高度差,也具有一定的调蓄能力。

三级系统组成包括支流汇入干流处的生态湿地以及干流本身,生态湿地的水量调节功能有限,车田河干流具有洪水位与常水位的高度差,具有一定的调蓄能力。

三级系统水量控制效果见表 2。

表 2 三级系统水量控制

Tab. 2 Water quantity control of the three-level system

项 目	一级系统	二级系统	三级系统
系统组成	低影响开发设施	管渠系统、防涝行泄通道(含各支流)、初期雨水净化系统	生态治理设施、防洪设施(含干流)
功能	渗、滞、蓄、净、用	净、排	净、排
水量控制	80%	—	—
控制指标	年径流总量控制率	雨水管渠设计重现期为 3~5 年一遇;内涝防治设计重现期为 30~50 年一遇	防洪标准为 100 年一遇
控制标准	《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(建城函[2014]275 号)	《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016 年版)	《防洪标准》(GB 50201—2014)

4.2 水质控制

一级系统低影响开发设施的控制目标之一就是径流污染控制,生物滞留设施、湿式植草沟、植被缓冲带、初期雨水弃流、人工土壤渗滤等均具备不同程度的径流污染去除能力,此外,其他设施也可通过径流总量控制间接控制径流污染。

二级系统对雨水径流污染的控制主要依靠雨水管排口的湿塘,湿塘作为河道与陆域的水-陆交错带,具有一定环境容量,且由于栽种有植物,对污染物具有一定的截留和净化双重效果。根据文献报道,湿塘系统对降雨径流污染具有较好的截留效果,90%以上的水质指标浓度在降雨后比降雨前有较大程度升高,湿塘可在降雨后接纳较多的降雨径流污染,可将其作为城市降雨径流污染“源-过程-汇”多元逐级控制技术中的过程控制环节的重要 BMP(最佳雨洪管理实践)措施。对区域降雨径流污染的截留可以降低径流污染向水体的输入,从而降低受纳水体的污染负荷。湿塘内的挺水植物、沉水植物和微生物对于水体具有较好的净化效果,湿塘在降雨发生后的初始几天,净化效率往往较高,颗粒悬浮物的沉降是自然湿塘净化的重要机制。

三级系统对雨水径流污染的控制主要依靠支流汇入干流处的湿地,雨水湿地是通过模拟天然湿地的结构,以雨水沉淀、过滤、净化和调蓄以及生态景观功能为主,人为建造的由饱和基质、挺水和沉水植物、动物和水体组成的复合体。雨水湿地的主要功能是利用物理、水生植物及微生物等作用净化雨水,是一种高效的径流污染控制设施,可分为雨水表流湿地和雨水潜流湿地,一般设计成防渗型,以便维持雨水湿地植物所需要的水量。为了常年保持一定的水域面积,雨水湿地需要相对比较大的汇水面,面积至少应为 4 hm<sup>2</sup>。当然,如果可用水量充足的话,一些面积较小的场地也可采用袖珍湿地。海绵城市理念下,采用湿地与河道协同设计,通过在河流、湖泊的滨岸地带营造生态缓冲带,以生物措施为主,将生物措施和工程措施相结合,恢复和改善河道水系应有的自然工程,尽力减少工程带来的负面作用,既有效地整治了河岸,美化了滨岸景观,又防治了水土流失、涵养水源,成为阻挡城市污染物进入水体的最后一道防线,生态环境和人居条件明显改善<sup>[4]</sup>。

SS 是评价雨水径流的主要污染物指标之一,但是《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)没有对该指标进行明确的限定,考虑到与地表水标准的衔接,且在雨水径流污染物去除过程中 SS 与 COD 具有高度相关性<sup>[5,6]</sup>,本研究选取 COD 作为水环境质量评价指标。根据《贵安新区核心区城市水系统综合规划(2013—2030)》,基于区域水源保护及水环境质量达标的目标,即河流湖库各断面水质达标,规

划按进入二级水源保护区时断面水质达到Ⅲ类水体水质控制。根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),Ⅲ类水质标准 COD 限值为 20 mg/L。因此,经三级系统处理后,进入车田河干流的水体 COD 需达到 20 mg/L。由于缺少贵安新区现状初期雨水污染物浓度数据,本研究以一级系统、二级系统的 COD 去除率为 50% 计,不考虑支流及转输设施的去除能力,倒推二级系统的出水 COD 浓度应控制在 40 mg/L 左右,一级系统的出水 COD 控制在 80 mg/L 左右(见表 3)。

表 3 三级系统水质控制

Tab. 3 Water quality control of the three-level system

mg · L<sup>-1</sup>

项目	一级系统	二级系统	三级系统
系统组成	低影响开发设施	雨水湿塘	生态湿地、人工浮岛、水下森林等
设施出水 COD	80	40	20
控制标准	《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(建城函[2014]275号)	《城市黑臭水体整治工作指南》《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)	《城市黑臭水体整治工作指南》《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)

## 5 三级系统管控

从海绵城市建设主体来看,源头(主要为居住小区、公建等项目)的建设主体一般为开发商和城市融资平台公司,中途(主要为道路、市政管网、城市绿地等项目)和末端设施(主要为河道水系治理项目)的建设主体一般为政府,所以政府在海绵城市建设中的职责一方面是把中途和末端设施建设好,另一方面主要是把源头通过行政审批等手段管控好。

把中途和末端设施建设好,首先政府要做好的工作是确保规划层面“多规合一”,确保以海绵城市理念引导下的城市建设方式的转变,建议以海绵城市专项规划为引领<sup>[7]</sup>,协调绿地系统、水系统、道路系统相关规划,确保“一张蓝图干到底”。其次,在实施层面强化精细化管理,如雨污分流要切实落实好,避免雨水管和污水管混接等,超标降雨径流通道要在竖向向上控制好,确保雨水顺利流入水系等。第三,为了确保海绵城市建设,政府需要牺牲一定的用地空间,牺牲一定的土地出让利益。海绵城市建设强调灰色、绿色基础设施的融合,城市蓝绿空间的打

造,大量绿色基础设施和生态驳岸的防护等需要以一定的用地量来满足。

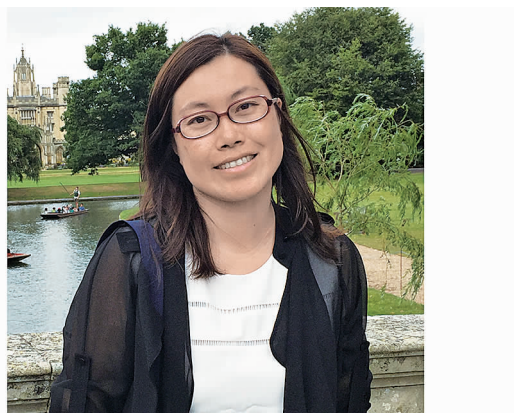
把源头设施管控好,主要通过政府的行政审批手段、监管管控制度,在规划、建设、运营等各个环节融入海绵城市要素,作为行政审批的前置条件和刚性要件。在《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中已经明确要求,将海绵城市要求作为规划部门发放“两证一书”的依据,此外,在建设环节的施工图审查、开工许可、竣工验收、监理资质等方面和环节,也要加强海绵城市的审批力量,确保海绵城市相关设施全生命周期的有效运行。

## 6 结语

由低影响开发系统理论可见,海绵城市建设的核心指标——年径流总量控制率强调的是源头 LID 设施对雨水的控制和利用,也就是说,年径流总量控制率目标在每一个地块/道路内完成,即可满足加权平均后排水分区/流域分区/规划区完成目标和考核指标,因此,源头是确保“小雨不积水”的核心和关键。所以,本研究在中心区范围内布局的中途和末端设施,是在源头减排的基础上,对雨水水量、水质控制的二重、三重屏障,虽具有一定的削峰调蓄、污染控制的功能,但是出于确保万无一失、确保绝对安全的双保险,属锦上添花。源头、中途、末端三个级别共同构建了海绵系统。

## 参考文献:

- [1] 李俊奇,黄静岩,王文亮. 基于问题导向的建成区海绵城市建设策略[J]. 给水排水,2017,43(8):41-46.  
Li Junqi, Huang Jingyan, Wang Wenliang. Problem-oriented sponge city development strategy in urban built-up area[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(8): 41-46 (in Chinese).
- [2] 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指标[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).
- [3] 任心欣,汤伟真. 海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J]. 中国给水排水,2015,31(13):105-109.  
Ren Xinxin, Tang Weizhen. Application of capture ratio of total annual runoff volume in spongy city [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(13): 105-109 (in Chinese).
- [4] 任南琪,王谦,黄鸿,等. 基于“大小海绵”共存模式的体系化海绵城市绩效评估[J]. 中国给水排水,2017,33(14):1-4.  
Ren Nanqi, Wang Qian, Huang Hong, et al. A systematic performance evaluation method of sponge city based on “narrow and broad interdependent-sponge” mode [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 1-4 (in Chinese).
- [5] 张亚东,车伍,刘燕,等. 北京城区道路雨水径流污染指标相关性分析[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(6):182-184.  
Zhang Yadong, Che Wu, Liu Yan, et al. Interrelation of pollutants in road runoff of Beijing urban area [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 182-184 (in Chinese).
- [6] 孙凌帆,桂林. 雨水径流中污染指标的相关性[J]. 人民黄河,2010,32(7):64-65.  
Sun Lingfan, Gui Lin. The relationship of the pollutant index of runoff [J]. Yellow River, 2010, 32(7): 64-65 (in Chinese).
- [7] 马洪涛,周丹,康彩霞,等. 海绵城市专项规划编制思路与珠海实践[J]. 规划师,2016,32(5):29-34.  
Ma Hongtao, Zhou Dan, Kang Caixia, et al. Sponge city planning theory and Zhuhai's practice [J]. Planners, 2016, 32(5): 29-34 (in Chinese).



作者简介:由阳(1979-),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士,副研究员,从事海绵城市及涉水相关规划编制研究工作。

E-mail:28286416@qq.com

收稿日期:2017-12-14