

海绵城市

## 那考河(植物园段)黑臭水体整治与全流域海绵化建设模式

赵亮<sup>1,2</sup>, 汪园林<sup>2</sup>, 李林<sup>2</sup>, 冯步广<sup>3</sup>, 杨涟<sup>3</sup>

(1. 南宁市市政工程管理处, 广西 南宁 530011; 2. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 3. 南宁市海绵城市与水城建设工作领导小组办公室, 广西 南宁 530022)

**摘要:** 首先回顾了南宁市城市内河水体整治历程的三个阶段,并介绍了那考河(植物园段)项目的背景和整治目标。详细梳理了那考河黑臭水体整治技术和全流域海绵化建设模式,通过成效对比对实施的经验进行了总结,认为在河道沿岸海绵城市建设过程中,应遵循“绿色基础设施与灰色基础设施相结合”的原则,“黑臭水体整治”与“全流域海绵化建设”二者要有机地衔接与融合,才能从根本上恢复自然生态,还城市“山水林田湖”应有的空间和质量。

**关键词:** 黑臭水体; 全流域海绵化; 那考河

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)22-0001-09

### Treatment of Black and Odorous Water Body of Nakao River (Botanical Garden Section) and the Whole River Basin Sponge Construction Model

ZHAO Liang<sup>1,2</sup>, WANG Yuan-lin<sup>2</sup>, LI Lin<sup>2</sup>, FENG Bu-guang<sup>3</sup>, YANG Lian<sup>3</sup>

(1. Nanning Municipal Engineering Administrative Office, Nanning 530011, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Nanning Leading Group Office for Development Works of Sponge City and Watertown, Nanning 530022, China)

**Abstract:** This paper firstly introduced the three stages of the urban river remediation in Nanning City, and explained the background and regulation objectives of the Nakao River project (Botanical Garden section). Then, the paper illustrated a detailed introduction of the project's remediation technology and the sponge construction mode of the whole basin. Finally, through the comparison of the effects before and after remediation, the construction experience was summarized. In order to restore the natural ecology fundamentally and realize the proper and natural “mountain, water, forest, field and lake” around cities, it was suggested that the principle of “integration of both green and grey infrastructures” should be followed in the construction process of sponge cities along river, and the organic combination of “black and odorous water body improvement” and “whole basin sponge construction” should be carried out.

**Key words:** black and odorous water body; whole river basin spongification; Nakao River

## 1 南宁市城市内河整治历程回顾

在过去的20年中,随着城市化进程的加快,南宁市中心城区的土地硬化面积和城区人口迅猛增加,城市内河生态环境严重恶化。与城市化发展速度相比,南宁市市政管网建设相对滞后,水系沿岸截污管道建设和污水处理厂的规模均无法满足日益增加的城市化要求,内河水体纳污情况严重。南宁市城区范围内共有18条内河,其中有17条内河水质属于V类或劣V类,均为重度污染,主要污染物有 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、TP、COD和阴离子表面活性剂。

从1996年开始,南宁市就启动了对城市内河黑臭水体的整治工程。从整治思路来说,可以分为3个阶段。

① 以减少黑臭为目的、用灰色设施替代城市内河的阶段(1996年—2005年)

由于排入河道的城市污水中有机物较多,污水中的营养物质容易积聚在河道底部,加上南宁市气温较高,底部淤泥容易产生厌氧发酵而导致黑臭出现,沿岸居民对此意见很大。而解决黑臭问题的工程办法是根除黑臭水体产生的客观环境——通过工程设施消除河道的底泥淤积,在满足行洪条件下解决黑臭问题。

以南宁市朝阳溪为例,该河道采取了大型钢混结构沟渠的“三面光”模式进行工程改造。仅从消除黑臭的目标来说,效果基本达到了工程要求,偶尔干旱少雨季节有沉积物发酵产生轻微异味后,只要有降雨,伴随着行洪自然产生了“引清冲淤”的净化效果。但同时,沿岸的局部水环境也发生了改变,在彻底消除沿岸的水生态之后,周边片区的宜居性大大降低。

② 分段整治内河景观水系的阶段(2006年—2013年)

受污染内河整治的第二个阶段,从以“消除黑臭”为单一目标,发展到“消除黑臭”“水质提升”和“生态建设”的多目标整治阶段,并优先选取了南宁市18条内河中具有较强景观意义的竹排江民歌湖段作为整治重点。

民歌湖位于南宁市中国东盟博览会永久会址的西侧,其水质和水生态的提升对南宁市城市建设成效在东南亚国家的影响意义很大。在民歌湖段的整治过程中,通过湖底清淤、引清补水、生态绿岛等工程措施和生态措施,在短时间内使整体景观和水质

得到大幅提升,实现了整治目标。

但是,工程完工3~4年后,民歌湖的水质和整体生态景观质量却出现了严重下降。分析认为在整治思路只是“头痛医头、脚痛医脚”,而没有把整条内河作为一个系统来统筹考虑。事实上,中下游水体和生态出现了问题,但根源却在上游。由于没有考虑到综合治理,分段整治导致了中下游河段即使进行再多的整治,也会因为上游污水的不断流入而“前功尽弃”。

③ 全流域“海绵城市控源”与中下游“黑臭水体整治”相结合的治理阶段(2014年—2019年)

由于水系河网的复杂性,在生态恢复的过程中,既不能多条河流采用同一种治理方案,也不能一条河流划段治理,而是必须从系统化、专业化、整体化和特色化的角度,对城市内河进行“一河一策”的综合整治。从治理工艺来看,必须把上游和源头的“控源截污”和中下游的“黑臭水体治理”有机联系起来进行综合考虑,从源头、过程、末端统筹推进水环境治理,才能从根本上恢复自然生态,还城市“山水林田湖”应有的空间和质量。

在海绵城市建设的申报工作中,南宁市优先把竹排江民歌湖河段的长效整治纳入海绵城市建设,作为“合流制溢流污染控制与初期雨水污染防治示范区”(15.97 km<sup>2</sup>)的重点项目。同时,把竹排江上游的那考河、沙江河的源头污染整治作为“生态保护与生态修复示范区”(8.48 km<sup>2</sup>)进行系统化综合建设,以期全面恢复城市水系的生态质量。

南宁市在海绵城市建设示范区申报成功以后,市政府抽调专业人才到南宁市海绵城市建设办公室(海绵办)。同时把海绵办和原城市内河管理处进行合并,成立了海绵与水城建设领导小组办公室,在城市内河黑臭水体整治工作上做到了组织架构的统一管理。

## 2 那考河整治项目概况

那考河位于南宁市区东北部,是市区的主要内河——竹排江的上游支流,发源于南宁市东北郊的高峰岭,流域呈长条形,承担着防洪排涝、水系生态和景观休闲等多种功能。

那考河植物园段位于南宁市海绵城市建设示范区的“生态保护与生态修复区”范围内,项目以黑臭水体消除和水环境质量优化为目标,兼顾城市排水防涝和防洪能力的提升。该项目南起茅桥湖东湖,

沿线经过湘桂铁路、长垌路、厢竹大道、药用植物园、昆仑大道,北至环城高速路,治理河道全长约 6.35 km,其中干流 5.135 km,支流 1.215 km,汇水区面积 48.8 km<sup>2</sup> (如图 1 所示)。在项目启动前,那考河植物园段河道水质黑臭现象明显,属于劣 V 类水体,生态功能完全丧失。

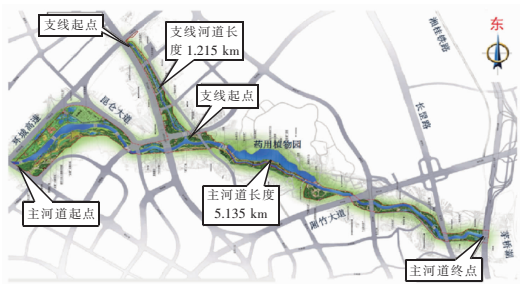


图1 那考河整治区域

Fig.1 Schematic diagram of the regulation area of the Nakao River

南宁市那考河(植物园段)整治项目采取河道治理、截污治污、河道补水、景观环境改善、海绵建设、信息化管理等措施,恢复植物园段河道及其周边的生态环境。该项目由河道整治工程、截污及排水口改造工程、水质净化厂工程、补水工程、海绵城市建设示范工程、景观工程、信息监控工程组成,总投资 119 024 万元。

该项目由北京市市政工程设计研究总院有限公司设计,南宁北排水环境发展有限公司负责建设和运行管理。

### 3 那考河整治前的环境状况与整治目标

那考河(植物园段)黑臭水体整治项目启动前,沿岸共有排水口 44 个,其中合流制直排口 27 个,分流制排水口 17 个。合流制直排口旱季时事实上已成为生活污水的排放口,因此成为那考河的主要污染源。除此之外,河道沿岸地面污染物在初期雨水的冲刷下,形成雨水径流排放入河,成为那考河的另一重要污染源。

通过实地水质取样分析(取样断面分布见图 2),发现那考河整治河段入流断面①处的水质最差,这是由整治河段上游农村畜禽养殖场较多所致。①~②河段沿线面源污染严重,水质虽然有所好转,但效果不明显。③~④河段位于广西药用植物园,生态环境保护良好,水体基本恢复了自净能力,使得下游河道水质逐渐好转。河道断面⑦处的总氮

含量升高,是因为在⑤~⑥河段集中了 10 个排水口、⑥~⑦河段集中了 15 个排污口,从而导致排入河道的有机氮含量急剧增高。

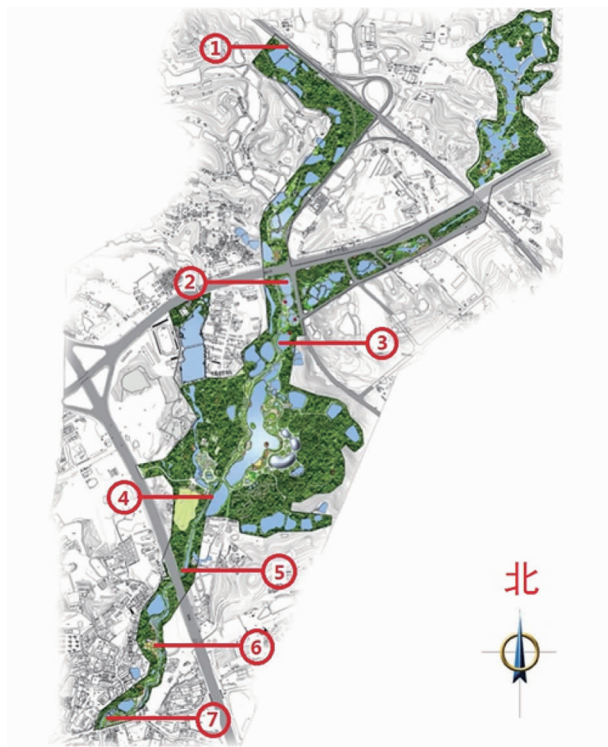


图2 那考河水质分析取样断面分布

Fig.2 Distribution of sampling section for water quality analysis of Nakao River

该项目以修复城市水生态环境为前提,在解决河道防洪排涝问题的同时,通过采取控源截污治污、河水水质处理、河道补水、景观环境改善、海绵建设、信息化管理等措施,解决雨洪资源利用、雨水径流污染控制、排水能力提升与内涝风险防控等问题,力求达到地表水Ⅳ类水质标准,实现城市内河景观与品质的提升,重塑竹排江内河水文化。

南宁市那考河(植物园段)工程整治项目以那考河(植物园段)黑臭水体消除和水环境质量提升为重点目标,以全方位控制污染物入河为技术路径,在实施方案层面系统设置了那考河河道综合整治项目、老旧小区海绵化改造项目、公园绿地和道路海绵化改造及新建小区海绵建设项目。

那考河项目整治前河道断面狭窄,堤岸低矮,护岸标准低,过水断面不足,不能满足城市行洪排涝要求(河道行洪可抵御 50 年一遇洪水,及抽排情况下雨洪同期最大 24 h、20 年一遇排涝标准)。

工程整治要求达到 50 年一遇行洪标准、河道水



质还清(力求实现河道水达到地表水Ⅳ类水质标准),以及两岸环境美化的“水畅、水清、岸绿、景美”的工程目标。具体建设目标:①那考河(植物园段)消除黑臭,主要断面水质指标达到地表水Ⅳ类标准。②汇流区域内年径流总量控制率达80%,年径流污染控制率达50%。③河道满足50年一遇防洪标准,洪峰流量为257 m<sup>3</sup>/s。④河道不干枯,补水量不小于原来水量的80%。⑤90%以上河道岸线改为生态驳岸。⑥建成“万米桂花溪谷,千棵朱瑾水岸”的景观,市民可以进行亲水活动。

#### 4 那考河(植物园段)黑臭水体的工程整治

那考河治理项目按照“控源截污、清淤疏浚、水质改善、活水循环、清水补给、生态修复”<sup>[1]</sup>的技术路径,将流域内6.6 km长的河道污水直排口全部截流,将黑臭水体引入项目配套建设的5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d的污水处理厂,经生态深度处理后水质达到一级A排放标准,再经过湿地净化后作为那考河补水水源,从而实现“清源洁流”。水体整治的同时,实现竹排江上游与下游水生态、水循环、水景观、水安全的有机统一,并实现那考河水环境与全流域海绵城市建设的协调发展。那考河黑臭水体整治思路见图3。

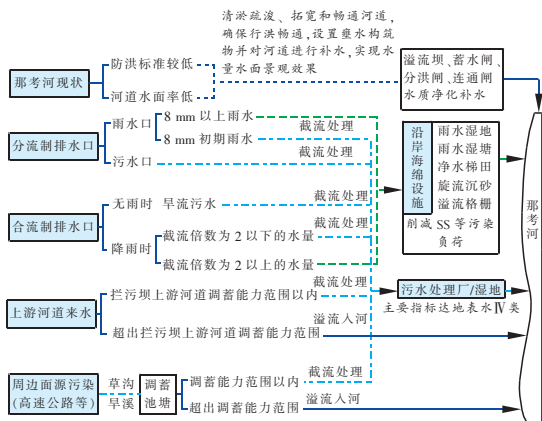


图3 那考河黑臭水体整治思路

Fig.3 Remediation thoughts of black and odorous water body of Nakao River

#### 4.1 控源截污

##### 4.1.1 消除上游主要污染源

上游污染源主要来自农村畜禽养殖,因此污染源的消除主要通过政策和行政手段进行落实。南宁市兴宁区政府把那考河流域划定为畜禽禁养区,并把流域外相邻的2 km范围内划定为限养区。在制度上,通过城区水利、农业和环保部门联合巡查执法

的方式确保政策落实。

##### 4.1.2 上游来水处理

为减少上游污水对那考河(植物园段)水质带来的迁移污染,建设上游来水处理厂1座。处理厂近期设计规模为5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用MBR工艺。污水处理厂出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其中,BOD<sub>5</sub>、COD和NH<sub>3</sub>-N指标可以达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。污泥处理采用浓缩+板框压滤工艺,将污泥处理至含水率<60%。上游来水处理厂的工艺流程如图4所示。

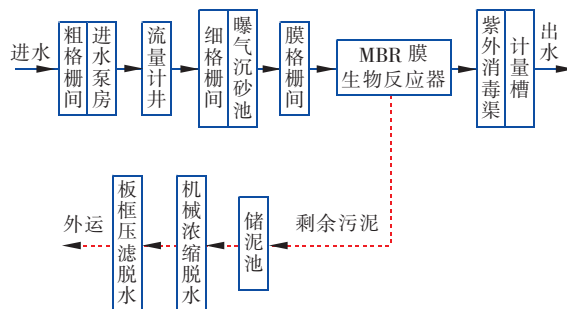


图4 上游来水处理厂工艺流程

Fig.4 Flow chart of upstream wastewater treatment plant

上游来水处理厂的出厂尾水进入垂直潜流人工湿地深度净化。人工湿地共有36个处理单元,每个单元面积约1500 m<sup>2</sup>。人工潜流湿地内植物以芦苇为主,并配有美人蕉、香蒲和水葱等。

当上游来水量低于项目所需的生态景观用水量和污水厂处理能力时,将上游来水在溢流坝前全部通过DN800的截流管(截流倍数为2)泵送至上游来水处理厂处理,再经过人工湿地处理,出水可以达到地表水Ⅳ类标准(TN除外)。人工湿地产水均匀,可以作为长期稳定的生态补水水源。当上游来水量高于项目所需的生态和景观用水量时,超出部分直接从坝顶溢流至下游。

##### 4.1.3 沿岸排水口污水截流

本项目对那考河(植物园段)沿岸排水口进行工程整治的截流原则为“现况排水口公称直径≤500 mm的全部截流、排水口公称直径>500 mm的部分截流”。超出截污管转输能力的部分溢流污水,则通过设置的各类海绵设施进行净化。那考河(植物园段)的44个排水口通过综合考虑排水口类型、排水口与河道常水位间的高差、排水口周边用地条件等多方面因素,分为五种类型。按照“一口(类

型)一策”的原则,因地制宜地采取不同的排水口调蓄净化设施进行截流处理。

#### ① 水量较小的排水口

这一类型的排水口共有15处,主要分布在厢竹大道下游和支流拦污坝上游,属于公称直径 $\leq 500$  mm的排水口,排水量较小。对该类型排水口的整治思路是将污水全部截流,输送至污水厂处理,处理后主要污染物达到Ⅳ类水标准( $TN \leq 10$  mg/L)。

#### ② 地形平坦、开阔处的排水口

这一类型的排水口共有10处,采取以土方工程和植物工程为主的湿塘、雨水湿地设施对溢流雨水进行处理。由于这种处理方法属于生态设施处理技术,施加负荷不大,故不直接用于旱流污水的净化。设置湿塘的目的主要是通过沉淀来减少水中的SS,雨水湿地则种植丰富的水生植物,不仅景观效果良好,还兼具氮、磷的处理功能。

#### ③ 河道沿岸陡峭坡地处的排水口

这一类型的排水口共有3处,结合场地地形,借鉴农业生产中采用的净水梯田形式进行整治。净水梯田可以灵活处理场地高差,通过重力流实现污水的梯级净化。为防止净水梯田下部的填料出现堵塞,梯田的进水端设计了弃流/配水渠。旱季时,将旱流污水收集至截污管并输送至上游来水污水处理厂净化。雨季时,在一定截流倍数内的弃流雨水像旱流污水一样处理。超过截流倍数的雨水,在中小雨时因径流量不大,雨水沿各配水孔进入梯田;在大到暴雨时,径流量超出梯田处理能力的部分雨水,直接溢流进入河道。净水梯田结构及弃流/配水渠放大示意图见图5。

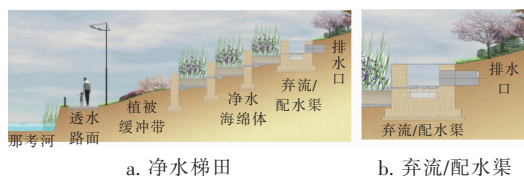


图5 净水梯田结构、弃流/配水渠放大示意

Fig. 5 Drawings of the structure of water purification terrace and enlarged abandonment/distribution channel

#### ④ 用地受限、管底高于河道常水位的排水口

这一类型的排水口共有8处,其中雨水口和旱流污水相对较少的合流制排水口5处,旱流污水相对较多的合流制排水口3处。这一类排水口由于附近用地条件受限,无法满足塘、湿地等生态设施的用

地需求,但排水口管底标高与河道设计常水位之间存在一定的低差,能够满足重力流要求。雨水口或旱流污水相对较少的合流制排水口,选用需要定期人工清淤的DD型旋流沉砂器[见图6(a)];旱流污水相对较多的合流制排水口,选用带自动冲洗功能的SK型旋流沉砂器[见图6(b)],用于初期雨水悬浮物与漂浮物的净化。通过旋流沉砂器的处理,6 mm以上的泥砂去除率可达100%;200  $\mu$ m以上的颗粒态污染物去除率可达95%。旋流沉砂器对TSS的去除率 $> 50\%$ ,对 $BOD_5$ 的去除率 $> 30\%$ ;DD型旋流沉砂器可以通过吸泥车进行清淤。

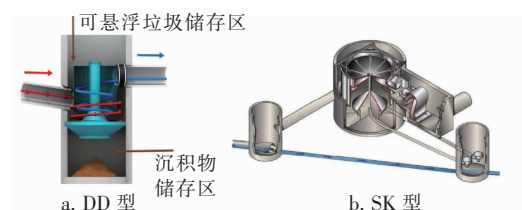


图6 旋流沉砂器结构

Fig. 6 Structural sketch of vortex grit chamber

#### ⑤ 用地受限、管底低于河道常水位的排水口

这一类型的排水口共有8处,也存在附近用地条件受限的情况,但是排水口管底标高低于河道设计常水位,存在河水倒灌问题,无法使用旋流沉砂器。因此,此类排水口可选用溢流格栅或拦污网,拦截暴雨径流中的垃圾和漂浮物,以免进入河道而影响景观效果。

### 4.2 底泥疏浚

河道内多年堆积的淤泥,导致河床逐年变高,调蓄库容变小,而且河道过流排涝能力严重降低,部分岸坡存在安全隐患。同时,由于淤泥容易腐化变质,在外界扰动下对水质影响较大。因此,底泥疏浚是保障河道水流通畅、水质达标的重要一环。本项目底泥疏浚在现场勘测的基础上,并不完全清除河底淤泥,而是保留少部分生态底泥,有助于生态系统的恢复。另外,河道边坡下方的淤泥根据护坡结构稳定要求进行适当清淤换填。

### 4.3 生态修复

#### 4.3.1 景观水体调蓄

为营造出生机盎然的水环境,该项目在那考河

①~②河段(见图2)的中间设置了溢流坝4座、蓄水闸1座、分洪闸和连通闸各1座。溢流坝设置后,可直接将上游来水壅积起来,使河道形成水深为

0.5~2.0 m 的常水位,漫成较大面积的水域景观。雨季时若出现城市内涝,则开启滞洪区的连通闸放空库容,并开启分洪闸,滞留部分洪水,待洪峰过后再排往下游至邕江。

#### 4.3.2 生态岸线建设

那考河(植物园段)的主河道及支流发生设计洪水时河段流速为 0.4~4.4 m/s,流速变化较大。针对这一特点,项目根据不同流速采用多种护坡组合形式达到岸坡防冲刷的目的。

##### ① 石笼式挡墙

石笼式挡墙属于柔性防洪墙,地基适应性较好;采用透水性材料,生态性较好,表面空隙填充泥土后可生长植物。石笼式挡墙边坡改造后的实景如图 7 所示。



图7 河道边坡改造为石笼式挡墙实景

Fig. 7 Real view of river slope transformed into stone cage retaining wall

##### ② 三维植被网护坡

游步道至洪水位以上 0.5 m 采用三维植被网护坡(见图 8),除满足护坡要求外,更易达到人与自然和谐的景观绿化需求。植物配置立足生态、体现自然,从生态植物多样性的角度出发,对不同区域的绿化空间进行经济合理、自然美观、符合生态规律的设计布置。



图8 河道边坡改造为三维植被网护坡实景

Fig. 8 Real view of river slope transformed into three-dimensional vegetation network

## 5 那考河全流域海绵化的建设模式

由于水系河网的复杂性,项目在生态恢复的过程中,从系统化、专业化、整体化和特色化的角度,把河道工程区“分段规划”“系统建设”的海绵化和全流域“控源截污”“指标分解”的海绵化联系起来统

筹建设。

### 5.1 那考河(植物园段)工程区海绵化分段改造

河道沿岸海绵设施可作为排水口溢流污染控制的有效手段,对于河道水质的改善,特别是雨后河道水质恶化风险控制具有重要意义。

排水口溢流污染控制是河道水环境综合整治以及河道沿海绵城市建设过程的重点。湿塘、湿地等绿色基础设施侧重于雨水径流中悬浮物等污染物的初步拦截削减。截污纳管、污水处理厂等灰色基础设施侧重于高浓度污水的深度净化。

#### ① 干流上游河段

干流上游河段北侧为污水处理厂尾水净化湿地预留用地;河道南侧用地开阔。利用河道沿线低洼地建设湿塘和雨水湿地,用于初期雨水及河水净化。周边市政道路附近区域地势相对较高时,重点建设下沉式绿地和生物滞留设施。同时在污水处理厂尾水净化湿地与高速公路之间的空地上建设植草沟,收集高速公路雨水,收集的雨水通过湿塘净化处理后排入河道。

污水处理厂内部雨水收集排放系统按照海绵城市理念进行设计。污水厂内道路全部采用透水铺装,具备建设条件的构筑物如鼓风机房、变电房、管理用房等均采用绿色屋顶。

#### ② 干流中游河段

干流中游河段穿过广西药用植物园,河道沿线红线范围内用地狭窄,无适宜海绵城市设施建设用地,仅在部分游步道边沿建设植草沟,用于周边地块径流的收集与净化。

干流中游河段邻近植物园湖,因此利用植物园湖作为周边地块暴雨径流的重要调蓄水体,同时对植物园内现有池塘加以梳理改造,构建塘—表流湿地循环净化系统,用于植物园湖水体的循环净化。

#### ③ 干流下游河段

将干流下游河段工程区内原有的天然鱼塘与低洼地改造为湿塘与雨水湿地,这样一方面可用于场地内所收集雨水的调蓄净化,另一方面用于附近排水口溢流污水的净化处理。同时结合游步道布局,建设植草沟,并根据地形尽可能将植草沟收集的场地雨水导入湿塘和雨水湿地。

#### ④ 支流河段

支流河段沿岸用地与河道常水位的高差分布不均,差异较大。部分岸坡陡、高差大的河段周边,结



合地形、因地制宜地布设净水梯田,用于场地雨水和排水口溢流雨水的净化处理。

部分地势相对平缓的河段周边,工程整治前大多为已经干涸的天然池塘,或已被弃土填埋。工程整治后,将河道附近的低洼地部分恢复为湿塘和雨水湿地。将植草沟收集的雨水导入湿塘和雨水湿地,同时结合河道内梯级,合理设置河道-湿塘-雨水湿地各水体水面的高差和连通关系,将湿塘和雨水湿地作为河道水体的旁路净化系统。

## 5.2 那考河(植物园段)海绵化改造措施

项目工程区红线宽度为10~290 m,河道沿线大部分区域为景观绿化用地,具备海绵城市设施建设条件。根据项目年径流总量控制率目标的要求,结合工程区场地条件,兼顾渗、滞、蓄、净、用、排多重功能,优化配置各类海绵城市设施。

### ① 透水铺装

a. 透水砖。结合景观工程步道设计,透水砖主要布置于沿河两岸的游步道。透水砖设计满足当地2年一遇暴雨强度下持续降雨60 min,表面不产生径流的透(排)水要求。由于工程范围内路面主要为游行步道,因此路面荷载采用5 kN/m<sup>2</sup>。

b. 透水混凝土。采用全透水性结构,包括透水混凝土面层、多孔隙级配稳定碎石基层、自然级配碎石垫层和土基。工程中的透水水泥混凝土道路设计大都为游步道,透水水泥混凝土面层强度不小于C20,设计厚度为100 mm。

c. 透水沥青混凝土。采用全透水性结构设计,包括透水沥青混凝土面层、透水混凝土基层、级配稳定碎石基层、自然级配碎石垫层和土基。由于透水沥青混合料的孔隙率较大,并且有行车的要求,面层采用高黏度改性沥青拌和的中粒式沥青混凝土,设计厚度为60 mm;基层分为透水混凝土基层、级配稳定碎石基层,设计厚度分别为100 mm和150 mm;垫层采用透水性较好的自然级配碎石,设计厚度为200 mm。

### ② 下沉式绿地

下沉式绿地主要设置在透水性较差的路面和广场周边,用于截流净化雨水径流。项目中下沉式绿地结合工程区范围内的景观工程进行设计。

### ③ 植草沟

植草沟主要适用于道路、广场和停车场周边,有些地方还可以替代传统的雨水口和排水管。工程中

植草沟结合景观工程主要布置于河岸游步道附近。

### ④ 湿塘与雨水湿地

湿塘与雨水湿地利用物理、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。

### ⑤ 生物滞留设施

生物滞留设施分为简易型和复杂型两种,结合景观工程布局和地形地势条件主要选择复杂型生物滞留设施。

### ⑥ 绿色屋顶

根据种植基质深度和景观复杂超高度,绿色屋顶又分为简单式和花园式,主要适用于符合屋顶荷载、防水条件的平屋顶建筑和坡度≤15°的坡屋顶建筑。那考河工程区红线范围内建构筑物较少,建构筑物主要集中在两座污水处理厂内。污水处理厂鼓风机房、总变电室等满足建设要求的建筑屋面全部采用绿色屋顶设计,总面积为2 895 m<sup>2</sup>。

## 5.3 那考河(植物园段)海绵化改造工程量

那考河(植物园段)工程区内的海绵措施工程总量如表1所示。经计算,项目改造后的湿塘、雨水湿地、下沉式绿地和生物滞留设施的总调蓄容积为26 641 m<sup>3</sup>(透水铺装、绿色屋顶、传输型植草沟、土壤渗滤的容积,根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》要求不计入在内),而95%的年径流总量控制率所对应的设计调蓄容积仅为20 132 m<sup>3</sup>(综合雨量径流系数按0.4计)。因此,调蓄容积远远超过建设目标。

表1 那考河(植物园段)工程区内海绵措施工程量

Tab.1 Project volume of sponge measures in the engineering area of Nakao River (Botanical Garden section)

项 目		数量
渗	绿色屋顶/m <sup>2</sup>	2 895
	透水路面/m <sup>2</sup>	26 640
	透水广场/m <sup>2</sup>	3 255
滞	下沉式绿地/m <sup>2</sup>	15 556
	植草沟/m	3 328
	生物滞留设施/m <sup>2</sup>	3 498
蓄	湿塘/m <sup>2</sup>	22 543
	雨水湿地/m <sup>2</sup>	22 336
净	雨水口旋流沉砂器/座	10
	净水梯田/m <sup>2</sup>	5 010
	人工强化湿地/m <sup>2</sup>	50 000
用	再生水回用/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	40 000
排	河道拓宽清淤/m	6 350

#### 5.4 那考河全流域海绵化改造

“全流域海绵化”就是在河道水环境治理成效基础上,持续向源头推进河道周边地块的海绵化建设,地块按规划的年径流总量控制率指标进行建设,无法在地块内就地消纳的超量雨水在排入河道前由河道两岸的低影响开发设施进一步消纳,使整个流域范围的年径流总量控制率指标达到或高于连片效应的总体目标要求,有效削减面源污染。

那考河流域内由环城高速路、昆仑大道周边市政5号路、虹桥路、药用植物园、南梧大道、金川路围合的区域约3 km<sup>2</sup>,有公共建筑、道路广场、公园绿地及居住小区,按“全流域海绵化”的理念进行整体推进,形成连片效应。

根据《南宁市海绵城市示范区控制规划》,那考河全流域所涉及的管控单元结合地块的建筑密度、绿地率、下垫面和土壤渗透能力等因素,根据不同类型的项目分别制定了不同的年径流总量控制率指标。其中:建筑与居住小区改建项目不低于70%,新建项目不低于80%;城市道路改建项目不低于60%;绿地改建项目不低于85%,新建项目不低于90%。

各地块按分解的雨水年径流总量控制率进行建设或改造,河道两岸地块的超量雨水有条件的区域采用漫流排放至那考河红线范围内,地形标高不允许的区域利用周边市政雨水管网转输至雨水出水口,在出水口设置排水渠(管)分散地排入那考河红线范围内。超量雨水经河道两岸设置的净水梯田、雨水湿地后,分散开,慢下来,大幅削减雨水面源污染。同时引入环城高速路沿线2 km汇流的“客水”,有效控制雨水集中排放对河道水质的冲击。通过河道东侧54 000 m<sup>2</sup>的潜流湿地和河道西侧调蓄容积约6 000 m<sup>3</sup>的雨水湿地进一步消纳“客水”和超量雨水,使全流域年径流总量控制率达85%以上,实现雨水净化、削峰排涝的功能,达到消除水体黑臭和局部地区内涝的最终目标。

### 6 那考河整治项目建设成效

#### 6.1 河道行洪能力

工程整治后,主河道行洪断面>25 m以上,部分河段拓宽至79 m;支流行洪断面>10 m以上。河道行洪能力满足抵御50年一遇洪水及抽排情况下雨洪同期最大24 h、20年一遇排涝的设计标准。那考河(植物园段)主、支线河道整治前、后的效果对

比见图9。



图9 那考河(植物园段)河道整治前、后效果对比

Fig. 9 Effect comparison of Nakao River (Botanical Garden section) before and after treatment

#### 6.2 景观提升

通过那考河的河道综合整治,河水水质明显提升,已基本消除黑臭,达到黑臭水体治理阶段性目标。经过片区全面的污染控制、河道综合治理,水质指标已接近或基本满足地表Ⅳ类水水质指标。

那考河流域整治范围由项目启动前的城乡结合部建设成为湿地公园后,成为了居民健身锻炼、休闲怡情的首选场所。该区域的水生态环境、居住环境得到了质的提升,依托河道和周边绿地所承载的水文化正在形成,附近居民的幸福感得到了增强。

那考河植物园段及沿岸片区通过湿地建设、景观绿化、生态驳岸建设等措施进行综合整治后,明显提升了河道沿岸的景观效果<sup>[2-3]</sup>。目前,对外开放的那考河湿地公园已经成为南宁市民周末休闲的热点公园。改造后的那考河(植物园段)全流域海绵化景观如图10所示。



图10 改造后的那考河(植物园段)全流域海绵化景观

Fig. 10 Sponge landscape of the reconstructed Nakao River (Botanical Garden section)



## 7 经验总结

本项目除原有传统的河道治理、两岸截污(非系统)、河道景观等项目内容外,增加了流域污水处理工程、河道水生态修复工程、海绵城市工程等新内容,解决了过去的河道分段治理模式不能彻底解决的水质改善问题(达到地表水Ⅳ类水质标准)、生态河道的补水问题、初期雨水的拦截处理及利用问题等。另外通过行政管理手段,对上游农村畜禽养殖而造成的面源污染加以限制,实现了全流域管控。

那考河沿岸景观带内系统性地设置了大量下沉式绿地、雨水湿地、植草沟、透水路面等海绵城市设施,有效控制了雨水径流污染;沿线各溢流排水口(管网末端)因地制宜地设置了稳定塘、旋流沉砂器等调蓄净化设施,尽可能保证溢流雨水净化处理后方可入河;在河道边坡较大且排水口位于坡顶的,提出了净水梯田设计,将雨水分散开、慢下来,防止雨水过于集中地直排河道造成水体污染;通过河道断面改造与生态建设,恢复和改善那考河天然水系结构和生态系统,增强了河道行洪排涝能力;设计了南宁市最大的潜流湿地,兼具海绵城市建设、黑臭水体整治与良好景观效果的示范作用。

依托周边药用植物园、烈士陵园的自然本底,在那考河全流域治理效果基础上对源头进行了海绵化改造,形成了“广西药用植物园-烈士陵园-那考河”连片海绵体,建成区面积约7.64 km<sup>2</sup>,实现了海绵城市建设中碎片式地块的连片效应。

工程实践表明,在河道沿岸海绵城市建设过程中,要遵循“绿色基础设施与灰色基础设施相结合”的原则,实现“黑臭水体整治”与“全流域海绵化建设”之间的有机衔接与融合,从根本上恢复自然生态,还城市“山水林田湖”应有的空间和质量。

## 参考文献:

- [1] 赵亮. 海绵城市理念纳入新型城市发展[J]. 广西城镇建设,2016(4):20-27.

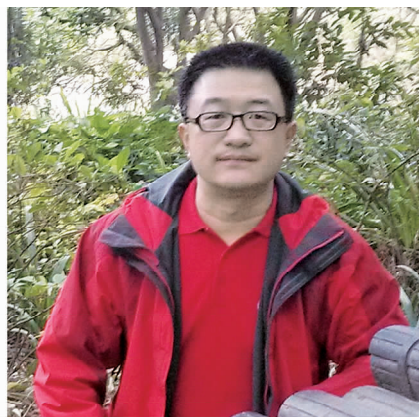
Zhao Liang. Sponge city concept incorporates new urban development [J]. Cities and Towns Construction in Guangxi,2016(4):20-27(in Chinese).

- [2] 赵亮,张沛,冯步广,等. 南宁石门森林公园海绵化改造与海绵城市连片建设模式思考[J]. 中国给水排水,2017,33(2):20-26.

Zhao Liang, Zhang Pei, Feng Buguang, et al. Thinking about mode for sponge-functional modification of Shimen Forest Park and contiguous development of sponge city in Nanning[J]. China Water & Wastewater,2017,33(2):20-26(in Chinese).

- [3] 赵亮,陈彬,冯步广,等. 南宁海绵城市试点建设的阶段性总结与实践探索[J]. 中国给水排水,2017,33(24):1-6.

Zhao Liang, Chen Bin, Feng Buguang, et al. Phasic summary of Nanning sponge city pilot project and its practice exploration [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(24):1-6(in Chinese).



**作者简介:**赵亮(1971-),男,安徽怀远人,博士,高级工程师,广西壮族自治区市政公用行业专家库专家,从事城市内涝整治与海绵城市建设工作,兼任广西大学工程管理专业副教授和硕士研究生导师,曾借调至南宁市海绵水城办。

**E-mail:**19251736@qq.com

**收稿日期:**2019-04-16