

基于再生水水源的生态缓冲带构建技术研究——以高阳县环城水系为例

律 扬

北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司, 北京 100084

[摘要]文章围绕再生水为水源的生态缓冲带构建技术进行研究,并将研究成果成功运用于保定市高阳县环城水系的生态环境治理中。基于自然的解决方案(NbS)理念,通过竖向维度、横向维度、纵向维度和时间维度的四维生态缓冲带策略,构建“点、线、面”三位一体水系生态系统,形成表流湿地系统,海绵、生态工法驳岸系统,人工强化系统的三级河道净化体系,实现水质达标的终极目标;打造一个低干扰游憩服务系统提升城市活力,丰富市民亲水需求。

[关键词]生态缓冲带; NbS; 水环境治理; 生态景观

DOI: 10.33142/sca.v6i2.8578

中图分类号: X522

文献标识码: A

Study on the Construction Technology of Ecological Buffer Zone Based on Reclaimed Water Source —— A Case Study of the Water System around Gaoyang County

LV Yang

Beijing Zhenghe Hengji Binshui Ecological Environment Treatment Co., Ltd., Beijing, 100084, China

Abstract: This paper studies the construction technology of ecological buffer zone with reclaimed water as water source, and successfully applies the research results to the ecological environment management of the water system around Gaoyang County, Baoding City. Based on the concept of Natural Solution (NbS), through the four-dimensional ecological buffer zone strategy of vertical dimension, horizontal dimension, vertical dimension and time dimension, a trinity water system of "point, line and surface" is constructed, and a surface flow wetland system, a sponge and ecological method revetment system are formed, and the three-level river purification system of the system is artificially strengthened to achieve the ultimate goal of water quality standards. Create a low-interference recreation service system to enhance the vitality of the city and enrich the hydrophilic needs of the citizens.

Keywords: ecological buffer zone; NbS; water environment management; ecoscape

1 项目概况

1.1 研究背景

2021年,河北省认真贯彻落实习近平总书记关于“建设雄安新区,一定要把白洋淀修复好、保护好”等重要指示批示精神,坚持“内外共治、标本兼治、治补并举”,一张蓝图干到底,推动白洋淀生态修复保护发生了历史性、转折性和全局性变化,让白洋淀治理走上“快车道”,实现“加速度”。

落实《白洋淀生态环境治理和保护规划》要求,对标Ⅲ类水目标制定白洋淀流域水生态环境质量全面提升工作方案,修订白洋淀生态环境综合治理考核评价与追责问责工作机制等一系列政策文件。河北省生态环境厅联合全省各相关部门,以最强力“铁腕”推进工业、城镇、农业农村、旅游污染四源同治,以最严格标准实施入淀河流管控,以最审慎手段推进内源污染治理,以最科学方式开展水生态修复保护,以坚如磐石的信心决心打好白洋淀污染防治攻坚战。

2015年以欧盟委员会(European Commission, EC)为核心组织的多学科专家团队将NbS定义为“来源于自然并依托于自然的解决途径,通过高效利用资源且具有较强适应性的方式来应对多样化的挑战,并确保同时带来经

济、社会和环境效益”^[1]。

1.2 国内外研究内容综述

我国不断加快城市现代化建设进程,景观用水需求与日俱增,寻找充沛、可用的景观水源是城市建设者面临的关键问题。城市污水每天大规模排放,水量稳定,其中大部分是可以重复利用的,保护水资源的有效措施是将城市污水资源化。城市污水回用于城市景观水体在减少环境污染的同时,新增了大量的可用水资源,具有巨大的生态效益和经济价值,符合我国可持续发展的战略目标。

由于再生水本身氮磷浓度高,将再生水回用于景观水体的水质维护目标,并非是控制其不发生富营养化,而主要在于防止水华的爆发。水华控制实际上就是通过调节诱发水华发生的主要控制性条件,抑制水华的爆发。合理的水质维护措施控制再生水景观水体的水华发生,应综合考虑经济、环境等多方面因素。国内外研究表明再生水为水源的生态缓冲带构建技术可归纳为四类:物理方法、化学方法、生物方法和生态方法。

(1)物理方法。底泥疏浚、人工曝气复氧、机械除藻。

(2)化学方法。化学除藻、加药起浮法。

(3)生物方法。水生植物净化、水生动物净化、微生物净化。

(4) 生态方法。人工湿地技术、生态浮岛、河道护岸的生态设计。

1.3 项目实施的重要意义

孝义河作为白洋淀上游府河的支流,既是在平水年和枯水年由西大洋和王快水库向白洋淀补水的重要渠道,又是实现 2022 年入淀河流水质考核断面基本达到国家地表水环境质量 IV 类标准,2035 年入淀河流水质稳定是国家地表水环境质量 IV 类标准目标的重要保障。

在华北水资源短缺的背景下,白洋淀作为昔日的华北明珠,今日面临着湿地萎缩、水体污染、生态功能减弱等多重压力。孝义河作为八条入淀河流中仅剩的三条常年有水河流之一,孝义河的水质达标是维系白洋淀生态系统稳定的重要保障。高阳县城作为孝义河上游与河流联系最紧密的城市,在县域内从水资源、水环境、水生态、水景观等多维视角构建环城水系系统工程。

在水资源的层面,环城水系将创造一条新的自然供水的渠道,保障枯水期有水可用,为农业灌溉和工业印染厂提供水源;同时可以强化水资源保护的功能,在丰水期起到调蓄补充地下水的的作用。在水景观的层面,将提升市民幸福指数,为市民提供亲水游憩、自然教育、科普体验等多元活动的场所。在水生态、水环境的层面,环城水系的构建将助推孝义河的水质达标,使县域内的河流更加健康、可持续的发展,进而起到维系白洋淀生态系统稳定的作用。

2 基于再生水水源的生态缓冲带构建策略

2.1 研究目标

基于自然的解决方案(NbS)理念,通过构建“点、线、面”三位一体水系生态系统,提高水系自净能力,丰富水系生境类型,提升水系廊道的生物多样性,降低水体污染物浓度。实现环城水系入孝义河、孝义河入白洋淀水质均到达三类水标准。通过环城水系生态景观的建设,提升城区景观风貌品质,带动水系周边区域的综合发展,提升土地价值,激活区域活力,提升市民幸福指数。为市民创造环城亲水慢行系统,为市民提供亲水游憩、自然教育、科普体验等多元活动的场所。

2.2 研究内容及任务分解

通过再生水水源污染指标分析,针对性选择缓冲带适宜类型,对植物种类、气候及水文等因素综合考量后进行生态缓冲带设计,以实现缓冲带径流净化、生物多样性维持、水土保持及排涝控制的生态功能。生态缓冲带包括一系列提升和保障水质、修复河道内及水岸生态系统的措施。包含设计水系范围内的湿地建设工程、海绵设施、生态工法驳岸、局部水质净化措施等。同时对水系风貌进行控制,设计地形、营建各类低干扰景观设施,让环城水系成为城市重要的景观组成部分及文化交流场所。包含微地形营建、种植设计、道路广场设计、景观构筑物设计、给排水工程、电气工程等。

项目运用基于自然的解决方案(NbS 理念)来应对项

目所面临的水资源、水环境、水生态以及水景观问题。通过“4+1 模式”,即运用四维水系连通模型实现水质达标的终极目标;打造一个低干扰游憩服务系统提升城市活力,丰富市民亲水需求。并衍生出项目的四大核心策略:

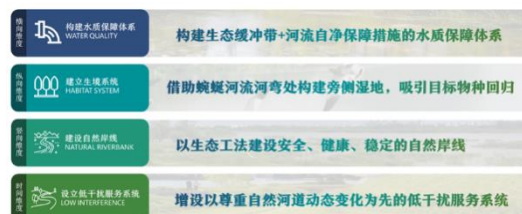


图1 四维缓冲带构建策略

(1) 横向维度——构建生态缓冲带和水系自净保障措施的净化体系

环城水系受到城市与乡村多源污染的影响,水质存在不稳定达标的隐患,其中内源污染主要来自水系周边植物落叶;外源污染包括农田面源污染、生活垃圾、地表径流等。通过在水系横断面维度上构建水系自净保障体系,可以在主河槽内通过曝气推流增氧设备、浮筒拦网设备以及生态浮岛等措施强化水质净化效果。在主河槽外侧构建两级缓冲带系统,分别为靠近水系的滨水滩地缓冲带,以草本群落为主塑造弹性滨水空间,起到生态净化的功能,同时可承受洪水短历时淹没影响。远离水系的为面源污染净化带,通过隔离、防护、初步净化等方式,针对周边的农业面源污染和其他综合性污染,选择乔灌型复合型植被群落结构,强化隔离防护和净化效果。二级缓冲带的构建,能充分维系生态系统的稳定性,有助于污染物的消减。

(2) 纵向维度——构建旁侧湿地,丰富生物多样性,反哺水质提升

充分结合场地周边可利用的坑塘和绿地空间,创造水系纵向维度的不同流速,丰富环城水系的流态,构建旁侧湿地,提升生境多样性,吸引物种回归。将水系通过设计手段导入两侧旁侧湿地净化链,经过较长路径上设置的净化湿地,逐步提升水质,使净化过的水汇入主水系;旁侧湿地可以收集和净化周边农田的雨水径流,补充水系流量;暴雨情况下,可起到一定的雨洪滞留作用,保证防洪安全。

(3) 竖向维度——以生态工法建设安全、稳定的自然岸线

为了保证水系的竖向连通性,避免水岸水土流失和滑坡风险,项目运用六种生态工法护岸技术,可以恢复水陆间营养物质的流通循环;提升水系水质净化的功能;增加栖息地与生物多样性,保障生态系统完整性;维护河流的自然生长与植物演替。

(4) 时间维度——增设以尊重自然水系动态变化为先的低干扰服务系统

利用最小干预措施,尽可能保持地理风貌,在此基础

上设置人行步道系统和游憩体验场地,增加水系的体验效果。同时,将主要活动空间及设施布置在不易淹没区域降低了维护成本的同时,也不影响场地的市民参与性。

3 研究内容及研究成果

3.1 面净化

3.1.1 表流湿地

人工湿地污水处理技术设备简单、投资少、操作管理方便^[2]。表流湿地通过藻类、微生物、水生植物等的生物作用去除部分污染物^[3],同时能够稳定水体水质。新建两处表流湿地,颍颥公园旁侧表流湿地及城南表流湿地。表流湿地水源为地表径流雨水及污水处理厂尾水。

3.1.2 颍颥公园旁侧表流湿地

污水处理厂尾水通过宏润大街表流湿地净化后汇入此处得到净化,能进一步降低污染物浓度,保障水质实现III类水目标。表流湿地具有涵养水源、降解污染物、蓄洪防旱、保持区域生态平衡等功能,同时为动物提供栖息繁育场所,有利于生物多样性的可持续发展。

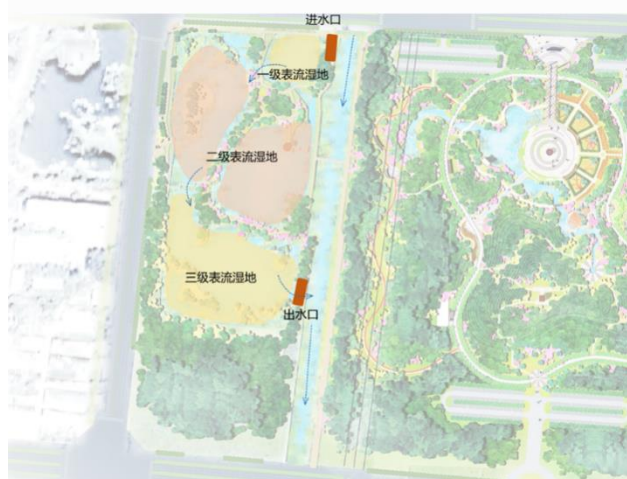


图3 颍颥公园旁侧表流湿地布置图

表1 流湿地设计参数表

类型	面积(m ²)	平均深度(m)	停留时间(h)
一级表流湿地	9000	1	6.5
二级表流湿地	15000	1.5	10.9
三级表流湿地	2000	1	1.5
合计	26000		18.9

表2 流湿地污染物去除效果一览表

指标	进水(mg/l)	出水(mg/l)	三类水标准(mg/l)	去除总量(吨/年)
COD	21.2	19.5	<20	20.5
氨氮	0.21	0.19	<1	0.2
总磷	0.23	0.2	<0.2	0.2

优选除污染能力强的挺水和沉水植物保障湿地出水水质。保障湿地生态系统完整性及可持续性,选取便于后

期维护的本土物种。沉水种植区优先选用水质净化效果好,繁殖能力强的适宜物种。挺水种植区优先选用悬浮物拦截效果好,适应性强的适宜物种。

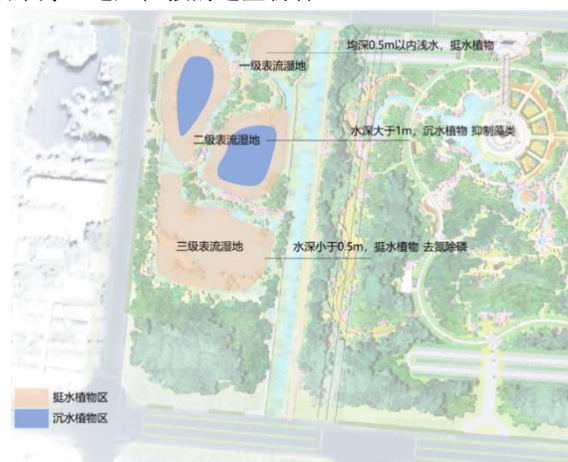


图4 颍颥公园旁侧表流湿地种植分区图

挺水植物	灯芯草	黄菖蒲	芦苇	窄叶蒲	旱伞草
COD、氨氮去除能力 ^[3]	☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆☆ ³	☆☆☆ ³	☆☆☆ ³
适应能力 ^[3]	☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆ ³
沉水植物	苦草	金鱼藻	黑藻	水车前	狐尾藻
水质净化能力 ^[3]	☆☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆☆ ³	☆☆☆ ³	☆☆ ³
繁殖能力 ^[3]	☆☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆☆ ³	☆☆ ³	☆☆ ³

图5 颍颥公园旁侧表流湿地种植意向图

3.1.3 城南表流湿地

污水处理厂尾水此处得到净化,有效降低河道水质污染物浓度。表流湿地具有涵养水源、降解污染物、蓄洪防旱、保持区域生态平衡等功能,同时为动物提供栖息繁育场所,有利于生物多样性的可持续发展。

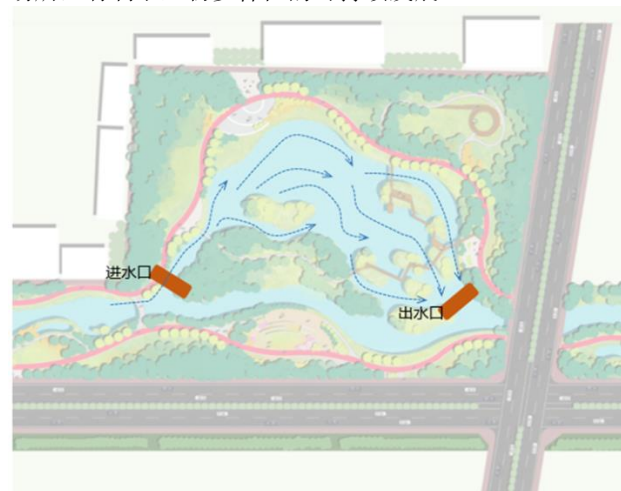


图6 城南表流湿地布置图

表 3 流湿地设计参数表

类型	面积 (m ²)	平均深度 (m)	体积 (m ³)	停留时间 (h)
表流湿地	8000	1	8000	12

表 4 流湿地污染物去除效果一览表

指标	进水 (mg/l)	出水 (mg/l)	去除总量 (吨/年)
COD	25	21.25	21.9
氨氮	0.23	0.21	0.1
总磷	0.26	0.22	0.2

3.2 线拦截

3.2.1 生态工法

生态工法在修复自然流淌河流中,能恢复河流在横向、竖向连通性;恢复河流基于季节性流量变化的适应性;增加栖息地与生物多样性,保障生态系统完整性;保护植被,防止水土流失;恢复营养物质的流通循环,改善水质;对自然曲率及不同坡度、流速河流良好的适应性;维护河流的自然生长与植物演替。

针对环城水系不同流速和驳岸坡度设置 6 种生态工法驳岸类型,保障驳岸不受侵蚀;自然生态方式固土护坡,同时起到过滤污染物的作用。



图 7 生态工法驳岸类型

①植物扦插护岸

植物扦插护岸由扦插和抛石两部分构成,在抛石护岸中铺放交错的平砌石块可以对下层土质、沙质 等易侵蚀河岸起到一定的保护作用。适用于坡度小于 1:2 的坡面。

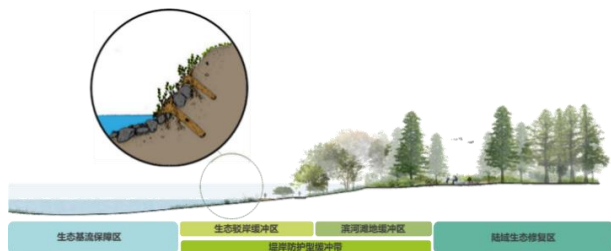


图 8 植物扦插护岸示意图

②木桩枝条编织生境护岸

木桩枝条编织生境护岸是将木桩将枝条固定在坡岸上,然后用土掩盖,枝条可以形成屏障加固坡岸。适用于边坡坡度在 1: 2.5 之间,水力冲刷较大的岸线。

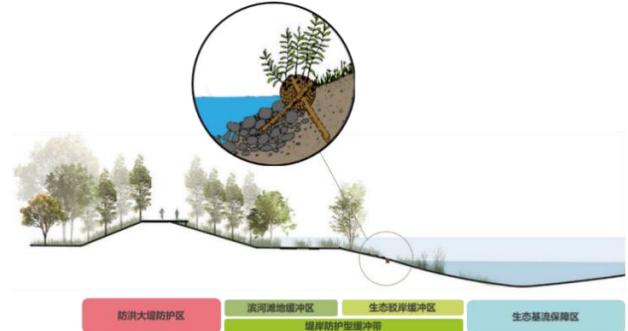


图 9 木桩枝条编织生境护岸示意图

③水生植物卷护岸

考虑面源污染的控制效果,种植净化能力强的草本植物,形成以灌草为主的乔灌木复层结构。同时近岸侧有条件地形成较为连续的缓坡入水,形成浅滩,为鸟类提供觅食地,同时方便陆地动物接近水源。适用于断面临水面坡度缓于 1: 4。



图 10 水生植物卷护岸示意图

④三维植被网植草护岸

三维植被网植草护岸,在坡上铺设三维植被网,种植草籽,形成整体的护坡面,综合了土壤网和植物护坡的优点,起到加固护坡的作用。适用于断面临水面坡度缓于 1: 3,流速小于 4m/s 河道。

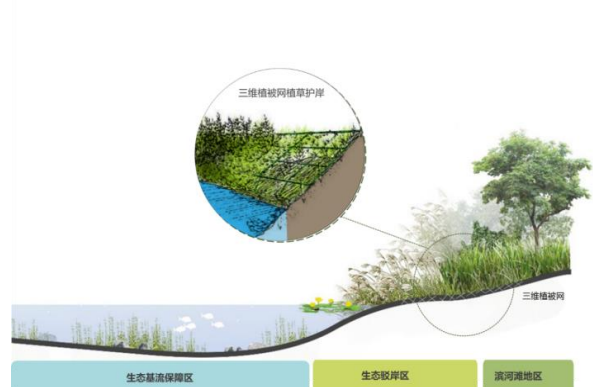


图 11 三维植被网植草护岸示意图

⑤多级水生植物护岸

以根系发达、生存期长、适应性好的耐湿灌草为主，起到固土、生态化淤、美化护岸的作用；在水流冲刷较大的局部区域，顺坡放置自然景石，进一步提升护岸稳定性。适用于坡比小于 1:2，行洪流速小于 1.0m/s 的坡式护岸结构和其他护岸型式中的斜坡部位。

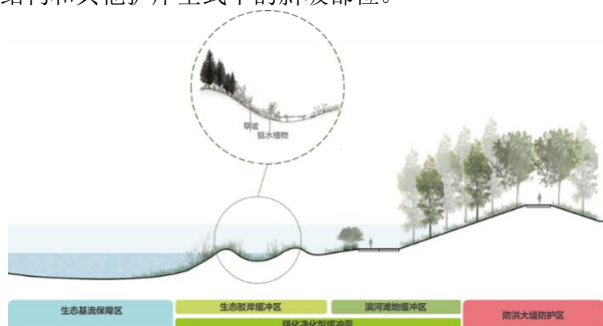


图 12 多级水生植物护岸示意图

⑥箱格扦插护岸

箱格扦插护岸由扦插和抛石两部分构成，在抛石护岸中铺放交错的平砌石块可以对下层土质、沙质等易侵蚀河岸起到一定的保护作用。适用于坡度小于 1:2 的坡面。

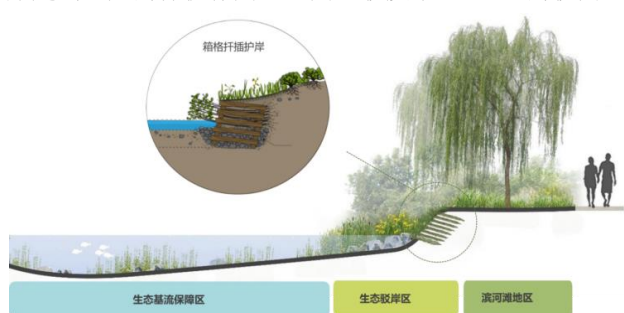


图 13 箱格扦插护岸示意图

3.1.2 海绵城市系统

海绵城市设计目标：年径流控制率 85%，SS 污染去除率 54.6%。设计旨在对现有的湖泊水源、生态绿地进行充分合理的利用，遵循生态治河的原则，将河道整治为“生态、安全、修复”为一体的城市型河道，使之成为宜居宜赏的生态文化景观河岸带。思路是以绿色生态为标准，将防洪达标建设放在基础位置上，从而使区域内的水环境得到改善，提升水质，并加强对水环境的管理力度，将生态修复和岸坡改造相结合，以建立治污、防洪、生态等多方面的服务功能系统。

①植草沟

植草沟是指种植植被的地表沟渠排水系统。地表径流以较低流速经植草沟滞留、植物过滤和渗透，雨水径流中的多数悬浮颗粒污染物和部分溶解态污染物有效去除。植草沟有效的泥沙和污染物的“过滤器”，兼具种植植被的地表沟渠排水系统。在环城水系两岸路面及指定区域设立植草沟，降低雨水流速，净化雨水径流，降解城市径流面

源污染。

植草沟可以有效地减少悬浮固体颗粒和有机污染物，并能去除 Pb、Zn、Cu、Al 等部分金属离子和油类物质。其中，它对 SS(悬浮颗粒物)的去除率可以达到 80%以上；通过植被的截流与土壤的渗透，降低雨水径流流速，削减径流峰流量，达到减少水土流失、间接补充地下水的目的；柔化空间界限、减轻地界的冷硬感觉，改善空间感；可代替传统的雨水管道，增强生态功能，保护生物多样性。

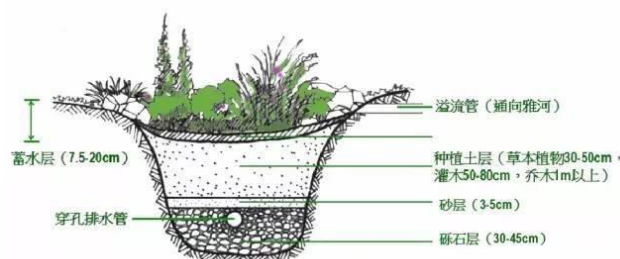


图 14 植草沟示意图

②雨水花园

雨水花园是自然形成的或人工挖掘的浅凹绿地，被用于汇聚并吸收来自屋顶或地面的雨水，通过植物、沙土的综合作用使雨水得到净化，并使之逐渐渗入土壤，涵养地下水，或使之补给生态修复用水、厕所用水等城市用水。是一种生态可持续的雨洪控制与雨水利用设施。

雨水花园平均减少了 75%~80%地面雨水径流量，因此，环城水系在进行海绵城市的建设过程中应适当选择适宜的地点进行雨水花园的布设，从而控制地面雨水径流及雨洪，完成“海绵体”的功能。

环城水系两侧附近可布设雨水花园，以起到滞留与渗透雨水的目的，此区域雨水污染较轻，雨水花园结构相对简单。有生态停车场或城市中心附近的区域可布设雨水花园，不仅滞留与渗透雨水，同时净化此区域污染较为严重的水质。因此，此区域的雨水花园需在土壤配比、植物选择及底层结构上进行紧密的设计。

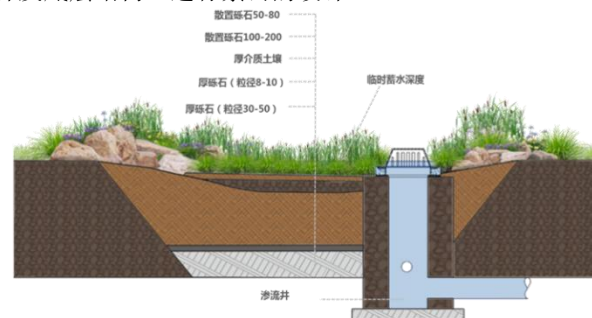


图 15 雨水花园示意图

3.1.3 人工点强化

在实施基于自然的解决方案的基础上，也应该认识到，NbS 可以实现的目标是有局限性的^[4]。尤其是环城水系岸

线长,流经的农田、工厂,具有众多潜在的排污点,给水质保障带来更多的难题。植物、微生物对水体的过滤和净化作用是有限的,一旦污染超过生态承载能力的阈值,依然需要人工手段作出干预。

(1) 推流曝气

太阳能复氧设备:以太阳能作为能源供应进行水体复氧,快速改善水体溶解氧环境,抑制黑臭、削减底泥,提高水体透明度,抑制藻类过度生长,推流曝气设备 7.5KW/台。

(2) 生态浮岛

以复合纤维材料为水生植物和生物载体,保证水生植物的正常生长,同时具有高效生物填料功能,水质净化效率高,完善水体的生物链,提高水体的自净能力,抑制藻类的过度生长。

(3) 拦网浮筒

通过浮筒拦网,局部拦截河道内落叶等面源污染威胁。

4 结论

(1) 本研究通过对高阳环城水系再生水水源污染指标分析,针对性选择缓冲带适宜类型,对植物种类、气候及水文等因素综合考量后进行生态缓冲带设计,以实现缓冲带径流净化、生物多样性维持、水土保持及排涝控制的生态功能。基于自然的解决方案(NbS)理念,通过竖向维度、横向维度、纵向维度和时间维度的四维生态缓冲带策略,构建“点、线、面”三位一体水系生态系统,形成表流湿地系统,海绵、生态工法驳岸系统,人工强化系统

的三级河道净化体系,实现水质达标的终极目标;打造一个低干扰游憩服务系统提升城市活力,丰富市民亲水需求。

(2) 本研究在恢复水域及岸带植被结构的基础上,恢复河道及滩涂湿地异质化生境结构,营建河流生境、疏林生境、草地湿地生境等多样生境,供鱼类、鸟类、小型动物栖息、觅食与活动范围,进而恢复河道生物生态链结构及生物多样性。共构建了三类生境类型:河流生境、疏林生境、草地湿地生境。叠加边坡构型、缓冲带坡度和水系流速等因素后,确定了生态缓冲带六种护坡的生态工法,分别是植物扦插护坡、木桩枝条编制生境护坡、水生植物卷护坡、三维植被网植草护坡、多级水生植物护坡、箱格扦插护坡。

[参考文献]

- [1]陈梦芸,林广思.基于自然的解决方案,利用自然应对可持续发展挑战的综合途径[J].中国园林,2019,35(3):81-85.
 - [2]林衍,汤红花,欧阳嘉,等.人工湿地技术用于重庆市村镇生活污水处理现状[J].环境工程,2016(4):29-32.
 - [3]丁怡,王玮,宋新山,等.人工湿地在水质净化中的应用及研究进展[J].工业水处理,2017,37(3):6-10.
 - [4]徐爱霞,邓卓智.基于自然解决方案在永定河生态修复中的应用简析[J].水利规划与设计,2019(3):4-8.
- 作者简介:律扬(1986.2-),当前就职单位:北京正和恒基滨水环境生态治理有限公司,职务:设计总监,职称级别:园林绿化工程师中级职称。