

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.011

黄土高原寒冷地区某学校海绵改造方案分析与应用

高奎¹, 孙金顺¹, 安东子¹, 谭国霞¹, 田振国¹, 朱健芝², 王晏强²
(1. 中建水务环保有限公司, 北京 100070; 2. 庆阳中建陇浩海绵城市建设管理运营
有限公司, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 西北某市位于黄土高原沟壑区, 水土流失严重, 而海绵城市的建设可以解决水土流失、城市内涝、水环境污染、干旱缺水等方面的问题, 因此以该市某学校地块的海绵城市改造为例, 介绍了黄土高原寒冷地区学校海绵城市改造工程设计思路和技术路线。通过系统化方案梳理, 以年径流总量控制为主要目标、兼顾污染控制和雨水资源化利用, 从源头控制、过程控制、末端治理、雨水回用和项目效益等多方面对学校海绵城市改造进行了分析, 结合“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施, 实现了年径流总量控制率为81%的目标, 可为低影响开发技术在我国西北黄土高原、寒冷湿陷性黄土地区学校海绵城市改造中的应用提供借鉴和参考。

关键词: 海绵城市; 学校海绵改造; 黄土高原; 雨水回用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0060-05

Analysis and Application of a School Sponge Reconstruction Scheme in Cold Area of Loess Plateau

GAO Kui¹, SUN Jin-shun¹, AN Dong-zi¹, TAN Guo-xia¹, TIAN Zhen-guo¹,
ZHU Jian-zhi², WANG Yan-qiang²

(1. China Construction Water & Environment Co. Ltd., Beijing 100070, China; 2. Qingyang
China Construction Longhao Sponge City Construction Management Operation Co. Ltd.,
Qingyang 745000, China)

Abstract: A city in the northwest is located in the gully region of the Loess Plateau, where soil erosion is severe, and the construction of sponge city can solve problems such as water and soil loss, urban flooding, water environmental pollution, drought and water shortage. Taking the sponge city renovation of the school as an example, the design ideas and technical routes of the school sponge city reconstruction project in the cold region of the Loess Plateau were introduced. Through the systematic plan, taking the volume capture ratio of annual rainfall as the main goal, taking pollution control and rainwater resource utilization into account, this paper analyzed the transformation of school sponge city from the aspects of source control, process control, end treatment, rainwater reuse and project benefit. Combining technical measures such as “infiltration”, “retention”, “storage”, “purification”, “use” and “drainage”, it has achieved the goal of 81% volume capture ratio of annual rainfall, which could provide reference for the use of low impact development technology to build school sponge city in the Loess Plateau and cold collapsible loess area in northwest China.

Key words: sponge city; campus sponge reconstruction; Loess Plateau; rainwater reuse

1 项目概况

1.1 海绵城市建设项目背景

西北某市位于黄河中下游黄土高原沟壑区,海拔约1 421 m,属北温带半湿润、半干旱气候区,具有明显的大陆性气候特点。最冷月为1月,月平均气温为 $-6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,最热月为7月,月平均气温为 $21.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,冻土深度最大为 $82\text{ cm}^{[1]}$ 。多年平均降水量约 580.1 mm ,降水主要集中在7月—9月(降雨量分别为 114.0 、 103.8 、 94.3 mm),此时期降水占全年降水量的 53.8% ,降水强度大^[2]。该区域地势开阔、平坦,周边无地表水流,洪水对场地不产生影响。工程中路基及管道基础影响深度未达到地下水位,可不考虑地下水对工程的影响。2016年4月22日,经过财政部、住建部、水利部三部委和专家组的综合评审,该市成功进入国家海绵城市建设试点市行列,名列全国第八、西部第一。

1.2 学校概况

该学校总占地面积为 $14\ 203\text{ m}^2$,地块现状绿化率为 3.8% ,主要分布在楼栋前方及前院两侧。学校场地地势整体平整,呈西北高东南低,高差 $<0.5\text{ m}$ 。但学校限于建设年代久远及建设理念因素,现状校区存在基础设施破旧、绿化缺失、雨季积水、雨污合流等问题,需进行海绵城市改造及景观提升。

2 海绵城市改造思路

2.1 设计思路转变

该学校的改造方案结合当地实际情况经过多次调整,设计思路也经历了一个转变过程。最初,严格按照所在市中心城区海绵城市建设控制性详细规划要求,该学校年径流总量控制率为 81% ,根据径流控制的核心内容,确定了整体改造方案,主要建设内容包括1座总容积为 80 m^3 的蓄水池和部分源头低影响开发设施。

经过专家组多次讨论,设计方案也不断完善,该学校以“一地一策、因地制宜、特色鲜明”为原则开展校园海绵城市改造工程建设,坚持以问题为导向确定校园海绵城市改造工程的建设目标及具体要求,以年径流总量控制为主要目标,兼顾污染控制和雨水回用,尽可能减少雨水外排,缓解该市水土流失、干旱缺水、初期雨水污染等问题,确保后期运营维护考核指标达标。同时,学校由于基础设施破旧、绿化破坏、雨季积水、雨污合流等与海绵建设理念不相符,因此设计长远规划和近期规划相结合,对校园

一部分基础设施重置改造,并纳入海绵城市建设,避免资源浪费、建设效果失控。

2.2 设计目标及策略

设计目标如下:

① 以年径流总量控制率为核心——地块年径流总量控制率目标为 81% ,对应的设计降雨量为 18.00 mm ,校园海绵化改造工程完成后的雨量径流系数为 0.44 。

② 下沉式绿地面积为 466.7 m^2 ,半透水铺装面积为 $7\ 086\text{ m}^2$,生物滞留设施为 233.3 m^2 ,不设绿色屋顶。

③ 径流污染削减率为 63% 。

④ 雨水回用率为 25% 。

⑤ 学校建设项目低影响开发应在创造投资回报和社会环境效益方面具有示范性,源头控制措施在具有部分社会环境效益的同时起到展示作用。

针对以上设计目标,确定总体的设计策略如下:整个校园海绵改造工程重点突出低影响开发理念,追求实际效果,同步通过园林绿化工程对校园景观进行提升;水质污染控制放在源头进行,充分运用绿色设施进行水质处理;雨水资源化利用获取投资回报,收益周期在 $20\sim 30$ 年;操场、花园等改造兼具展示性和功能性作用。

2.3 技术路线

① 根据学校现状及地形特征,将管网集水范围划分为3个汇水区。

② 根据现状改造条件和目标,确定每个汇水区设置的低影响开发设施种类。

③ 根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)要求和该区域的水文气象资料选取设计重现期,选择容积法计算确定LID设施规模。

④ 根据现场情况及设置的LID设施功能的系统性,结合实际存在的问题和老城区规划中对学校的要求,通过对学校区域基底分析确定目标类型——污染物去除率、径流总量控制、水土保持、雨水资源回用。

⑤ 根据对学校径流雨水的采样分析及相关的科研成果,结合《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)中各种低影响开发设施对污染物的去除率取值,计算该区域LID设施的径流污染物去除率。

⑥ 利用水动力模型计算软件,对学校地块改

造效果进行模拟分析^[3]。

该校区海绵化改造技术路线见图 1。

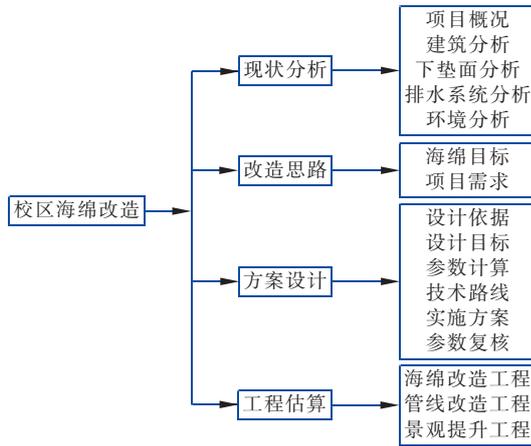


图 1 校区海绵化改造技术路线

Fig. 1 Technical roadmap of sponge city reconstruction

3 工程措施

3.1 总体设计

本次设计区域经过详细的基底分析、现场调研和方案比选,选择适合校园定位的 LID 设施系统,以绿色设施为主,结合灰色设施,整个校园海绵城市改造工程通过源头分散控制、过程控制、末端治理及雨水回用等途径实现设计目标,主要工程内容包括:

① 采用多项 LID 设施进行源头分散控制,无机动车经过的路面改为透水砖半透水式铺装,花园和绿化带改为 3 个雨水花园,道路雨水口改为新型环保雨水口,生态树池、操场新建雨水排水明(暗)沟等,对操场、屋顶、路面、绿地等所有下垫面初期雨水径流污染进行控制,体现海绵城市建设的核心理念。

② 校园共设置 1 座蓄水池、多个小型雨水收集模块(8 座圆形砖砌雨水检查井、2 座砖砌条形井),在控制和处理源头雨水污染的同时,充分收集雨水,并对雨水加以净化、利用。

③ 教学楼前采用不透水彩混凝土铺装以承受机动车荷载,花园内设有高位花坛,操场设塑胶跑道、硅 PU 球场,结合景观环境提升,为学生提供了休闲、娱乐、观赏区域,提高了正面空间的美观和空间的利用价值。

④ 考虑到雨水资源化利用的投资回报,此次雨水主要用于景观补水、道路冲洗、校园生活杂用水等,体现雨水多层次回用功能,为西北高原地区校园雨水资源化利用提供示范和参考。

⑤ 学校原有排水系统管道老旧、破损、管渠建设标准低,且为雨污合流制管道,根据国家标准规范要求对管道建设标准进行提升,考虑管道建设的系统性,重点进行雨污分流制改造,与后期整个老城区雨污分流制改造相衔接。

学校雨水径流控制及利用流程见图 2。

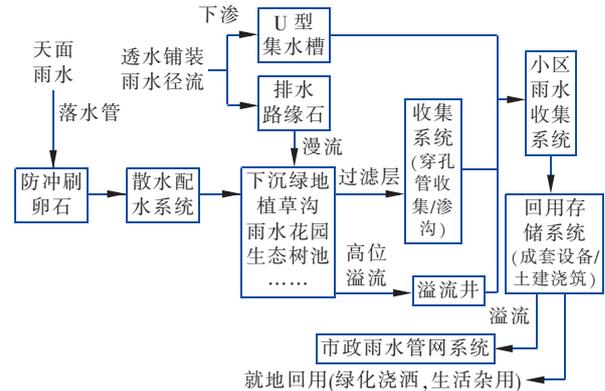


图 2 学校雨水径流控制及利用流程

Fig. 2 Process of rainwater runoff control and utilization

3.2 源头分散控制

校园海绵城市改造工程结合学校实际情况,适当增大绿地面积,减少硬化面积,针对改造后形成的雨水径流,通过绿色基础设施和分散的雨水收集口系统发挥作用,构建完善的雨水径流控制系统。在源头分散控制设计中,将雨水花园、生态旱溪、植草沟、下沉式绿地、生态树池、半透水式铺装等 LID 设施分散设置,在不同的汇水分区进行雨水收集,并融入生态修复技术,实现源头上的污染控制和径流控制,践行海绵城市建设理念^[4]。

项目地处黄土高原,而该地区黄土具有明显的湿陷性,容易引起地基下沉,因而一些海绵化设施不能用于学校海绵化改造项目,如生态湿地、透水铺装等。由于学校已建房屋年代久远,承重能力有限,不宜进行绿色屋面改造,故设计中不考虑屋顶的改造。通过源头分散控制,大量雨水被回收利用,减少了雨水的排放,防止沟头被冲刷、水土流失,切合该市“固沟保塬”的建设理念。绿色设施可大大降低面源污染,该学校选取的绿化植物具有观赏性、季节性、耐旱性、地域性,主要有金叶榆、金边黄杨球、木槿、芍药、紫花鸢尾、小叶黄杨、金森女贞等。

3.3 过程控制及回用

经过源头分散控制,雨水在源头得到一定的削减,而学校硬化地面面积较大,导致径流总量及瞬时

流量大,西北干旱地区缺水,雨水资源可以替代部分自来水用于绿化浇洒,因而确定以具有净化和回用功能的设施为主。经现状分析和综合考虑,确定以蓄水池作为学校的主要控制设施,设一座 80 m³ 的钢筋混凝土蓄水池,充分收集和储存雨水,并在蓄水池内安装雨水净化装置,实现径流总量控制和径流污染物削减的目标,达到雨水径流的过程控制及回用的目的。学校的雨水回用类型包括景观补水、道路冲洗和学校生活杂用等,实现雨水多层次回用功能。根据实际经验,为充分节约能源,整个校区的雨水管渠依地形而建,形成阶梯式雨水循环利用系统,实现“高收低用”。

经雨水净化设施处理后,径流污染物削减率提高至 63%,实际情况可根据不同的水质确定雨水回用的用途。将《指南》中部分单项设施 TSS 去除率数据作为计算依据,部分设施的污染物去除率见表 1(以 TSS 计)。

表 1 部分设施的 TSS 去除率

Tab.1 TSS removal rate of part facilities %

项目	雨水花园	植草沟 (生态树池)	下沉式绿地	半透水式铺装
TSS 去除率 (低限值)	70	35	50	60

3.4 末端治理

雨水径流收集于蓄水池,溢流的雨水排入雨水管渠,超标雨水径流至排放系统。雨水经过初期雨水弃流设施后被引入雨水湿地、雨水塘等低影响开发设施的末端进行处理。考虑学校地处黄土地区,雨水塘底可采用一种新型材料——植生混凝土,既可防止黄土的湿陷性,也可起到净化过滤的作用。该区域地下水位埋深在 30 m 以上,渗入到塘底的雨水全部被穿孔雨水管收集进入蓄水池,不再进行地下水源的补充。同时对雨水塘进行了生态景观设计,发挥出其景观生态价值。

通过雨水湿地、雨水塘等低影响开发设施净化,减少了雨水中的悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)等污染物总量,提高了水生态系统的自然修复能力,也提升了校区景观。

4 改造效果及效益分析

4.1 改造效果

校园改造前、后效果对比如图 3 所示,控制指标如表 2 所示。



图 3 改造前、后效果对比

Fig.3 Comparison of effects before and after the renovation

表 2 改造前、后控制指标比较

Tab.2 Comparison of different indexes before and after the renovation

控制指标	改造前	改造后
年径流总量控制率/%	30	81
雨水综合处置率/%	0	100
污水收集率/%	70	100
综合径流系数	0.65	0.44
雨水管渠重现期/a	<2	2

4.2 效益分析

① 经济效益。项目建成后,经测算雨水回用全年可代替市政用水量约为 2 000 m³。若按市政自来水补水工况(该地区自来水水价以 6.4 元/m³ 估算),则全年所需自来水费用为 12 800 元;若中水回用补水(中水回用水价以 1.9 元/m³ 估算),则全年所用中水费用为 3 800 元;若将雨水作为回用补水(雨水回用成本以 1 元/m³ 估算),则全年雨水回用费用为 2 000 元。综上所述,回用雨水替代市政自来水具有较好的经济效益。

② 社会效益。作为老城区海绵化改造建设示范地块,项目建成后将吸引更多教育资源,加速该区

域老城区海绵化改造的建设,带动商业、房地产业、文化娱乐等迅速发展,从而促进区域经济的繁荣,有利于该区建设为城市文化与健康、休闲、具有水乡特色的高质量城市居住生活区。该工程的实施改善了学校的生活环境和人文环境,通过硅PU操场改造,提升了学生的学习运动环境,为西北地区特别是黄土地区的城镇建设和海绵城市建设探索了一条绿色、可持续发展的建设模式。

③ 环境效益。经测算,学校通过低影响开发设施的建设可实现63%的SS去除率,在环境方面产生显著效益。通过打造雨水花园、半透水铺装、下沉式绿地、植草沟等LID设施,不仅能够净化雨水,还能减少学校内涝,保护校园安全,美化校园环境,实现景观和生态的多样性,给师生营造身心愉悦的教学环境。

5 结语

在校园海绵城市改造工程设计中,应以解决实际问题为设计的基本方向,以年径流总量控制率为主要目标,兼顾污染控制和雨水资源化利用,充分发挥原始地形地貌对降雨的积存作用,坚持自然循环的基本原则,遵循“源头减排、过程控制、末端处理、雨水回用”的治理理念,实现了设计目标,即校园年径流总量控制率为81%、径流污染物SS削减率为63%、雨水回用率为25%等设计指标。从源头上对水量进行控制,对水质进行提升,整体上减少了对黄土高原下塬沟壑的冲刷和污染物的排放,达到该市“固沟保塬”的效果。

此次校园海绵城市改造工程建设,紧密结合城市建设总体规划,对学校旧有基础设施进行了改造,将其纳入海绵化改造范围,成功避免了后续学校整体建设与海绵设施建设相矛盾的问题,既节约了资金,也提升了校区景观,充分发掘出其潜在的社会经济价值,为运用低影响开发技术打造海绵校园提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 靳俊伟,程巍,彭颖,等. 重庆国博中心海绵城市改造案例分析[J]. 中国给水排水,2016,32(24):74-77.

Jin Junwei, Cheng Wei, Peng Ying, *et al.* Case study of Chongqing International Expo Center sponge city reconstruction project [J]. *China Water & Wastewater*, 2016, 32(24): 74-77 (in Chinese).

- [2] 徐晓凤. 某学校海绵城市建设方案设计及计算[J]. 低碳世界, 2018(5): 98-99.
Xu Xiaofeng. Design and calculation of a sponge construction project in a school [J]. *Low Carbon World*, 2018(5): 98-99 (in Chinese).
- [3] 胡颖. 基于低影响开发理念的海绵校园建设方案研究——以江苏城乡建设职业学院海绵城市示范项目为例[J]. 节水灌溉, 2016(12): 112-115, 119.
Hu Ying. Research on the construction scheme for sponge campus based on low impact development concept: A case study of sponge city demonstration project in Jiangsu Urban and Rural Construction College [J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(12): 112-115, 119 (in Chinese).
- [4] 孙硕. 基于海绵城市理念的校园景观规划设计研究——以北京交通大学为例[D]. 北京:北京交通大学, 2017.
Sun Shuo. Campus Landscape Planning and Design Based on Sponge City Concept: A Case of Beijing Jiaotong University [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017 (in Chinese).



作者简介:高奎(1994-),男,甘肃庆阳人,本科,助理工程师,现从事海绵城市建设工作。

E-mail: 2515030448@qq.com

收稿日期:2019-10-18