Hans Journal of Civil Engineering 土木工程, 2026, 15(11), 18-25
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/hjce
https://doi.org/10.12677/hjce.2026.1511254

Hans汉斯

新型智能分流雨水口设计与效能研究

黎盈盈，李小净*，黎永发

南宁学院交通工程与智能建造学院，广西 南宁

收稿日期：2026年10月10日；录用日期：2026年11月1日；发布日期：2026年11月11日

摘 要

随着城市化进程加快，传统雨水排放系统面临内涝风险和雨水资源浪费的双重挑战。路面径流中的污染物在降雨初期集中输出，而传统雨水口不具备雨污分流能力，初期高污染雨水与后续清洁雨水混合排放，既加重受纳水体污染，也造成雨水资源浪费。针对传统雨水口功能单一、无分流能力、智能雨水口成本高昂难以普及等问题，本项目研发了一种智能分流新型雨水口，采用STM32单片机水质识别模块结合机械分流阀，实现初期雨水截污、清洁雨水回用和内涝预警三位一体功能。本项目为海绵城市建设背景下的雨水口升级改造提供了低成本、可推广的技术方案，具有显著的环境效益、经济效益和教育价值。

关键词

新型雨水口，智能分流，初期雨水截污，雨水资源化利用

Research on the Design and Efficacy of a New Type of Intelligent Diverting Storm Drain

Yingying Li, Xiaojing Li*, Yongfa Li

College of Traffic Engineering and Intelligent Construction, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: October 10, 2026; accepted: November 1, 2026; published: November 11, 2026

Abstract

With the acceleration of urbanization, traditional stormwater drainage systems face dual challenges of flood risks and rainwater resource waste. Pollutants in road runoff are released mainly in the initial stage of a rainfall event, yet traditional stormwater inlets cannot separate this highly polluted initial runoff from the subsequent clean rainwater, so the two are discharged together,

*通讯作者。

文章引用: 黎盈盈, 李小净, 黎永发. 新型智能分流雨水口设计与效能研究[J]. 土木工程, 2026, 15(11): 18-25.
DOI: 10.12677/hjce.2026.1511254

aggravating pollution of receiving waters and wasting rainwater resources. Addressing the limited functionality of traditional inlets, their lack of diversion capacity, and the high cost of smart inlets that hinders widespread adoption, this project has developed a novel smart diversion stormwater inlet. By integrating an STM32 microcontroller-based water quality identification module with mechanical diversion valves, it achieves a triple-function system for initial stormwater interception, clean rainwater reuse, and flood warning. This project provides a low-cost, scalable technical solution for upgrading stormwater inlets under the sponge city initiative, delivering significant environmental, economic, and educational benefits.

Keywords

New-Type Stormwater Inlet, Intelligent Diversion, Initial Stormwater Interception, Stormwater Resource Utilization

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

近年来，随着我国城市化进程的不断加快，城市地表不透水面积迅速增加，降雨径流量显著上升，城市排水系统承压加重，内涝问题日益突出，成为制约城市可持续发展的重要因素之一[1]。传统雨水口回收率不足，城市内涝频发严重威胁居民生命财产安全。

与此同时，城市面源污染问题日益严峻。道路雨水径流污染已经成为城市非点源污染的重要来源之一[2]。初期雨水因携有路面上轮胎摩擦碎屑和泥沙等杂质，SS、COD、BOD 含量很高，尤其在人口密集区的污染物含量远超现行污水排放标准[3]。传统雨水口无分流功能，清洁雨水与污染雨水混合排放，既造成了水资源的浪费，又加剧了水体污染。国内针对截污型雨水口的最新研究亦指出，道路径流中悬浮物与有机污染物主要集中在降雨初期[2]。传统雨水口不具备分选与分流能力，高污染初期雨水与清洁雨水混合排放，既加剧受纳水体污染，又造成雨水资源的浪费。

2015 年 10 月，国务院颁布了《关于推进海绵城市建设的指导意见》，要求采用“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施，最大限度地减少城市发展和建设对生态环境的影响，就地消纳和利用 70%的降雨[4]。传统的雨水口难以达到海绵城市建设要求。在此背景下，研发新型智能雨水口，实现雨水的智能分流与资源化利用，具有重要的现实意义。

1.2. 研究意义

雨水口位于城市雨水管网的起端，在控制路面污染等方面发挥重要作用[3]。作为城市管网系统的“咽喉”和城市雨水管网汇集雨水的瓶颈，雨水口的构造及功能直接影响城市排水系统的运行效率和雨水资源化利用水平。

本项目研发的新型智能分流雨水口，通过低成本的 STM 单片机水质识别技术结合机械分流装置，实现初期雨水截污、清洁雨水回用和内涝预警功能。能够缓解城市内涝，通过实时监测排水状态，降低排水系统堵塞风险；再将初期污染雨水定向输送至雨水管网，减少入河污染，促进雨水资源化，清洁雨水回用于绿化、道路冲洗，提高水资源利用率；推动海绵城市建设，为海绵型道路建设提供低成本、可推

广的技术方案。

2. 国内外研究现状

2.1. 新型雨水口发展现状

近年来，为解决传统雨水口的诸多问题，国内外涌现出多种新型雨水口。根据功能分类，新型雨水口主要可分为流量调节型、水质调节型、智能监测型及综合型四大类[5]。目前已有新型雨水口的主要类型及技术特点见表 1：

Table 1. Types and technical features of new-type stormwater inlets
表 1. 新型雨水口主要类型及技术特点

类型	功能特点	典型代表	应用情况
流量调节型	通过结构优化调节汇集排出雨水的流量，提升排水效率	蓄渗一体化雨水口、除砂限流式雨水口、立体涡轮雨水口等	立体涡轮雨水口已在上海浦东新区等地工程化应用[6]
水质调节型	对雨水水质具有一定调节作用，常见为截污型与过滤型	截污挂篮雨水口(应用最广)、初期雨水多级净化雨水口等	德国自 20 世纪 70 年代起在雨水井中广泛设置截污挂篮
智能监测型	在线监测水位或流量并回传数据至监控平台	集成物联网、传感器与大数据技术的智能雨水口	多应用于易涝点；使雨水口由被动排水转向主动调控
综合型	兼具流量调节、水质调节、防臭、智能监测等功能	LID 型溢流式雨水口、渗滞蓄净排一体式雨水口等	已在部分城市试点应用，被视为重要发展方向

2.2. 存在的问题与不足

已有文献对新型雨水口多数是罗列式介绍，缺乏面向具体工程约束的批判性比较。首先，堵塞运维问题显著。传统截污式雨水口通过挂篮截留杂物，汛期雨水裹挟树叶、塑料袋、泥沙等固体垃圾，极易造成挂篮堵塞。一旦清掏不及时，雨水口排水能力下降，容易形成路面积水甚至城市内涝，淤积污染物还会持续威胁城市水环境，运维滞后的弊端十分明显。国内早期预制雨水口普遍选用 C30 混凝土，钢筋承载力不足，在复杂地下水与土壤腐蚀环境下，井体容易破损老化，服役年限较短，结构稳定性和工程适用性不足[7]。其次，设备造价较高，难以大面积落地。当前主流智能雨水管理系统普遍搭载 PLC 控制器、光谱水质分析仪等工业装置，单台成本超过万元，推广难度较高。采用人工巡检排查堵塞的传统管护方式人力消耗大、处置效率有限，难以适配城市海量雨水口常态化管护的现实需求。市面上大部分新型雨水口仅能单独完成截污或流量调控，缺少集堵塞监测、智能预警、雨水分流、雨水资源化利用于一体的成套方案[5]，难以同步实现内涝防控、面源污染治理与雨水资源利用等多重目标。此外，各类新型雨水口暂未形成统一国家标准，各地设计与施工要求各不相同，老旧城区雨水口改造缺少标准化依据，制约了新型雨水口标准化、规模化推广。

2.3. 发展趋势

结合国内外相关研究与工程实践来看，新型雨水口后续发展呈现如下发展趋势：依托物联网多传感器实现智能化监测预警，精准感知堵塞与积水状况，完成自动告警与远程管理，代替传统的人工巡检、改善效率偏低的现状；向多功能集成方向发展，整合截污控污、智能分流、雨水资源化利用、防涝预警、安全防护等能力，突破单一功能局限，适配海绵城市多样化建设要求；走低成本轻量化路线，选用经济型传感设备、通用模块化构件与轻质新材料，缩减生产、安装及运维开支，便于大范围推广；借助光伏、

低功耗控制技术实现自给供能，减少对市政供电的消耗，践行绿色节能理念。

3. 新型智能分流雨水口总体设计

3.1. 新型智能分流雨水口工作原理

设备总体结构如图 1 所示，由防堵雨箅、井体、浊度与液位传感单元、旋转分流阀及驱动电机、初期雨水暂存桶、清洁雨水储水箱、太阳能供电与控制单元、LoRa 无线通信模块组成。设备以“传感采集－逻辑判断－机械动作－信息预警”为主线工作：降雨初期，地表累积的扬尘、泥沙等污染物随径流汇入，雨水浊度处于较高水平，此时无论计时是否到期，系统均将径流导入初期雨水暂存桶，实现高污染初期雨水的定向截流；随着降雨持续，地表污染物冲刷殆尽，当计时超过初期冲刷周期且浊度低于设定限值时，分流阀切换至清水通道，清洁雨水进入储水箱供绿化灌溉、道路冲洗等回用；若计时到期而浊度仍高于限值，则径流经分流阀排入市政雨水管网，避免污染雨水进入回用系统。

设备同时具备内涝预警功能：液位传感器实时监测井口积水高度，当积水超过设定阈值时，系统全开排水通道以保障排水安全。项目后期研究可以往通过 LoRa 网络向市政管理平台推送积水告警，为防汛调度与管网疏通提供数据支撑方向改善。

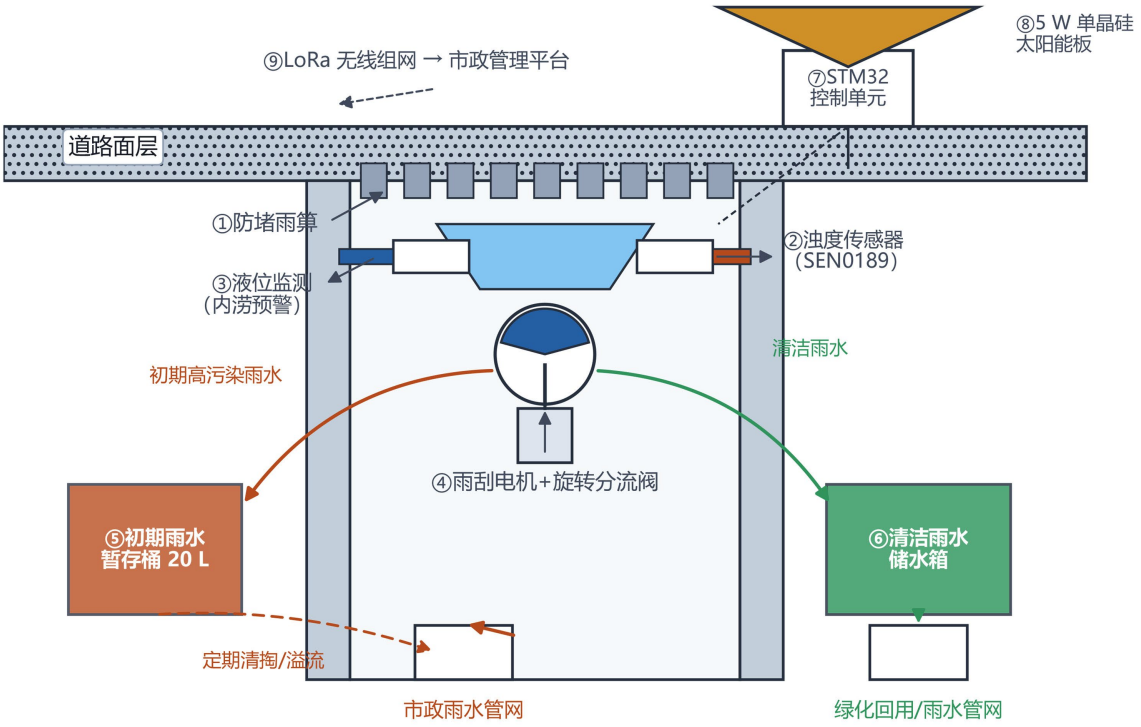


Figure 1. Overall structural schematic of the novel intelligent diverting stormwater inlet
图 1. 新型智能分流雨水口总体结构示意图

3.2. 双模判别控制策略

针对单一判据可靠性不足的问题，本文采用“降雨时长 + 水体浊度”双模冗余判别机制，控制流程如图 2 所示。机械计时依托主控内置硬件 RTC 时钟实现，不受传感器故障与水质波动影响；浊度判据由浊度传感器实时采集。两判据相互校验：核心控制规则为——当降雨时长 $t < 300$ s 时，径流分流至初期

雨水暂存桶；当 t ≥ 300 s 且浊度 ＜15 NTU 时，分流至清洁储水箱；当 t ≥ 300 s 且浊度 ≥15 NTU 时，排入市政雨水管网。其中 300 s 的初期冲刷周期与 15 NTU 的浊度阈值均结合校园试点场地的实测数据标定，系统还设有延时判断机制以避免瞬时浊度波动引起误动作。液位判据独立于分流主流程并行运行，构成排水安全的第二重保障。

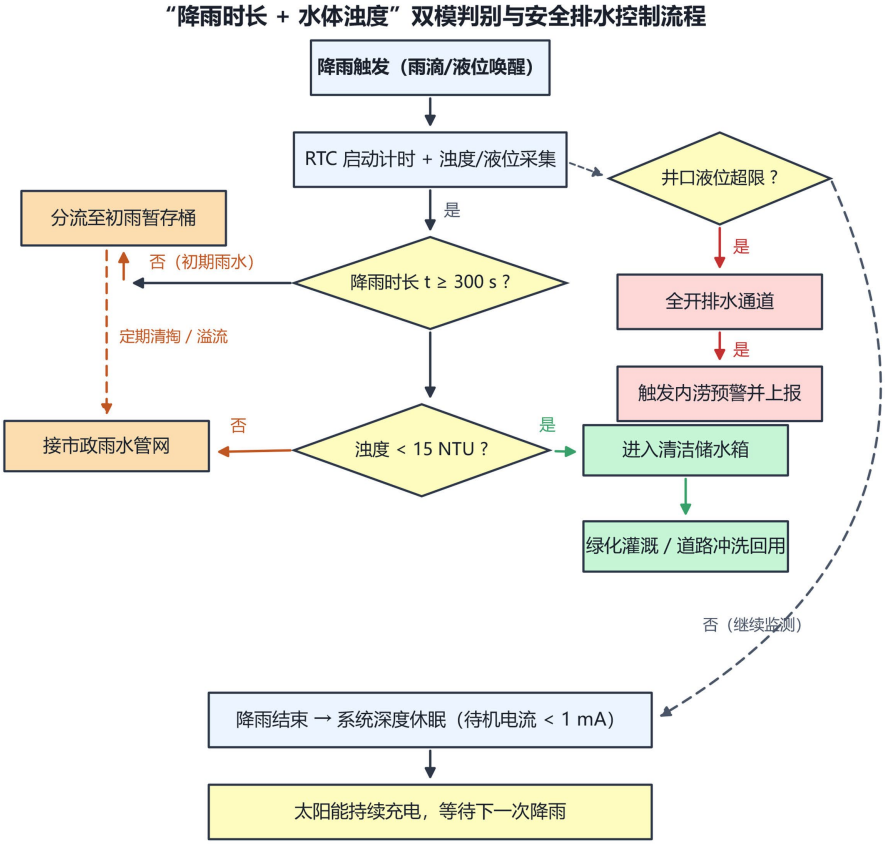


Figure 2. Control flowchart of the dual-mode discrimination and safe drainage
图 2. 双模判别与安全排水控制流程

3.3. 智能分流雨水口特点

为直观体现本项目新型雨水口的技术优势，本文从设备成本、智能化程度、运维难度、资源利用率、推广适配性五个维度，将其与传统普通雨水口、市面高端智能雨水口进行全方位对比，具体特点与对比优势如下。

第一，成本优势极其显著。传统高端智能雨水口依托 PLC、光谱分析仪等高端器件，单台造价超万元，运维成本高、普及难度大；本设备采用 STM32 单片机与民用通用传感器模块化搭建，规避了 PLC 与光谱水质分析仪等高值器件；按样机物料清单核算，主要器件成本约为市面智能产品的十分之一，具备规模化推广的价格条件。传统普通雨水口虽造价低廉，但无任何智能管控与生态功能，无法适配现代城市建设需求。

第二，功能集成度更高。传统雨水口仅具备基础排水功能；常规截污型雨水口仅能拦截固体杂物，无水质甄别与分流能力；市面智能雨水口多单一具备监测或预警功能。本设备集初期雨水截污、雨污智能分流、清洁雨水回用、内涝堵塞预警、数据实时监测五大功能于一体，全方位解决排水污染、资源浪

费、内涝积水、运维滞后等多重痛点，功能完整性远超同类产品。

第三，判别机制更精准可靠。现有雨水分流设备多采用单一计时或单一浊度判别方式，暴雨天气易出现误判、漏判问题。本设备创新采用“时长 + 浊度”双模冗余判别机制，规避单一判据的识别误差，大幅提升雨污分流精准度，兼顾极端天气与常规降雨场景的运行稳定性。

第四，运维便捷、适配性强。设备采用预制模块化设计，结构简单、拆装便捷，无需大规模土建施工，可直接适配新旧城区各类道路雨水口改造；搭配智能预警功能，可精准定位堵塞、积水异常点位，替代传统人工全域巡检，大幅降低运维人力成本与工作强度。

第五，资源化利用效能突出。传统雨水口不具备雨水收集与回用功能，路面径流经雨水口直接排入管网；部分改良型雨水口虽增设截污挂篮或蓄水构造，但缺少水质判别环节，回用水质难以保障。本设备通过浊度判别甄别清洁雨水，可实现雨水的定向收集与回用。

4. 核心模块设计系统

4.1. 初雨拦截系统

初雨拦截模块由计时单元、执行机构、储污结构与溢流保护四部分组成。计时单元采用主控内置硬件 RTC 时钟，具备断电记忆能力，降雨触发后自动启动计时，计时误差控制在±1 s 以内，保障 300 s 初期拦截周期的准确性。执行机构选用汽车雨刮电机驱动旋转分流阀，该类电机防水、耐用、扭矩大、成本低，分流阀切换响应时间小于 0.5 s。储污结构采用 20 L PE 密封暂存桶，耐腐蚀、重量轻，桶底预留沉淀排污口供定期清掏；桶顶设溢流孔，当遭遇特大暴雨导致桶内液位超限时，超出部分直接排入市政雨水管网，防止雨水倒灌路面。研究区域已实现雨污分流，雨水口下游即为市政雨水管网，故本设备不设污水管接口：降雨初期的高污染径流全部汇入暂存桶，经沉淀后定期清掏外运，正常工况下不向管网排放，截污在源头完成。该子系统的核心作用是实现初期高污染雨水的精准拦截，从源头削减道路面源污染，减轻下游雨水管网的运行负荷。

4.2. 智能分流系统

智能分流控制系统是实现雨水分质回用的核心，主要由传感单元、控制单元、分流执行单元与算法优化四部分组成。传感单元选用国产 SEN0189 浊度传感器，该模块输出与浊度相关的模拟电压信号，标称精度为满量程的±10%，经标定后换算为 NTU 值，可实时采集雨水浊度数据；搭配 DS18B20 温度传感器，消除温度变化对浊度检测结果的干扰，进一步提升检测精度，确保分流判断的准确性。控制单元采用 STM32 单片机作为主控核心，该单片机体积小巧、功耗低、运算速度快，可实现浊度数据采集、处理、判断与分流指令发送的一体化控制，同时支持程序升级与算法优化。

分流执行单元与初雨时序拦截子系统共用雨刮电机驱动旋转分流阀，通过不同的阀门角度实现清洁雨水、污染雨水、初期雨水的精准分流，试点降雨场次中未出现误分流。算法优化方面，系统采用边缘动态阈值算法，设备可本地存储降雨历史数据，根据季节变化、路面污染程度自动微调浊度判别阈值(15 NTU ± 2 NTU)，提升分流适配性；同时，设置延时判断机制，避免瞬时浊度波动导致的误判，确保分流稳定性。核心控制逻辑如下：当降雨时长 < 300 秒时，分流至污染暂存桶；当降雨时长 ≥ 300 秒且浊度 < 15 NTU 时，分流至清洁水箱；当降雨时长 ≥ 300 秒且浊度 ≥ 15 NTU 时，分流至市政雨水管网。

4.3. 能源系统

能源系统的核心是实现设备的户外独立供电，解决传统智能雨水设备依赖市政线路供电的痛点，主要由发电单元、储能单元、充放电保护单元与低功耗控制四部分组成。发电单元选用 5 W 18 V 单晶硅太

阳能板，采用户外防水封装，光电转换效率可达 18%以上，可在户外自然光下持续发电，满足设备运行的电力需求；太阳能板安装角度结合试点场地的光照条件设计，确保发电效率最大化。储能单元采用 4 节 18,650 锂电池串联组成电池组，总容量为 10,000 mAh，搭配 TP4056 充放电保护板，具备过充、过放、短路、过流多重防护功能，延长电池使用寿命，确保供电安全。

低功耗控制是能源子系统的关键，系统采用分层供电模式：无降雨时段，设备进入深度休眠模式，仅保留 RTC 时钟与监测模块的基础供电，待机电流 < 1 mA，大幅降低能耗；降雨触发后，系统自动唤醒，全模块供电运行，确保分流、监测、预警功能正常实现。此外，系统设置双供电模式，以太阳能供电为主，USB Type-C 外接电源为应急备用，连续阴雨天气下，可通过外接电源为电池组充电，保障设备长期稳定运行，无需依赖市政供电线路，适配户外、无供电路段的部署需求。

5. 研究的局限性及展望

5.1. 研究局限性

本研究目前仍处于样机与单点试点阶段，测算模型与判别阈值有待更多场次、更多点位的实测数据检验，本文研究尚存在以下局限：

(1) 水质保障层面：目前仅以浊度作为清洁雨水的替代判别指标，尚未对 COD、氨氮、总磷及重金属等指标进行系统检测。

(2) 性能验证层面：双模判别的分流准确率目前仅基于试点有限降雨场次的人工复核，缺乏大样本统计。

5.2. 未来展望

后续工作将从以下方面展开：(1) 在校园及市政道路多个点位部署 10 台以上样机，开展不少于一个完整雨季的长期监测，积累降雨场次级的分流准确率与回用水量统计数据；(2) 增加电导率、氨氮等低成本水质参数，构建多参数融合判别模型，并对回用水开展全指标水质检测。

6. 结论

基于当前城市内涝频发、雨水面源污染严重、雨水资源利用率低、传统雨水设施智能化水平不足的工程现状，结合海绵城市建设政策要求与行业发展趋势，研发设计了一款“双模智排，生态赋能”新型智能分流雨水口。通过系统梳理国内外雨水口研究现状、剖析现有产品技术短板、阐述设备工作原理与核心优势。本项目研发的智能分流雨水口，依托 STM32 单片机控制与“时长 + 浊度”双模判别技术，可精准实现初期污染雨水截污分流、清洁雨水资源化回用，同时具备积水堵塞监测、内涝预警功能，有效解决了传统雨水设施的多重行业痛点，能够削减城市面源污染、提升雨水资源利用率、降低城市内涝风险。

基金项目

2025 年广西壮族自治区区级大学生创新训练计划项目——“双模智排，生态赋能”新型雨水口(项目编号 S202511549072)。

参考文献

[1] 侯莹. 道路雨水口优化设计对城市内涝缓解的效能研究[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会. 人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(三). 2025: 282-285.

[2] 顾盛, 顾孙辰, 孙燕丰, 等. 截污型雨水口对道路雨水径流截污能力及优化[J]. 中国给水排水, 2025, 41(17): 158-163.

[3] 罗丽平, 陈战利, 饶凤玲, 等. 新型自动控制雨水口设计研究[J]. 四川建材, 2019, 45(9): 194-195+203.

[4] 国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见[EB/OL]. 2015-10-16. https://www.gov.cn/zhengce/content/2015-10/16/content_10228.htm, 2026-10-19.

[5] 黄鑫, 张乔丹, 吴丹丹, 等. 我国新型雨水口的发展现状与展望[J]. 安徽建筑大学学报, 2021, 29(2): 47-53.

[6] 张显忠. 新型立体涡轮雨水口试验研究与工程示范[J]. 中国给水排水, 2016, 32(13): 129-131.

[7] 陆俊智. 智能拦截式预制道路雨水口的优化设计[J]. 城市建筑, 2021, 18(11): 180-183.