

# 自动冲洗式雨洪资源利用新装置

邱威, 曹政, 张宽地, 陆燕清, 陈怡婷, 李培铨  
(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了实现既解决城市道路积水, 又收集利用雨洪资源的目的, 不同于以往单一的建筑物雨水收集利用系统, 基于现有的雨水排水管道铺设标准, 以水力学为理论依据, 利用自动控制、渗水砖、立式入水口等细节设计, 研发出了集排沙、过滤、蓄水于一体的自动冲洗式雨洪资源利用新装置。结果表明: 将装置加装在原有总雨水排水管处, 可对排水管泥沙进行自动过滤冲排, 缓解了雨洪期城市道路积水, 兼利用雨洪资源作早期植被喷灌, 以新思路响应了目前的海绵城市建设热潮。

**关键词:** 道路积水; 泥沙滤排; 自动控制; 雨水利用; 海绵城市

**中图分类号:** TV213.9; TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2018)02-0146-04

## A new automatic device of rain and flood resources

QIU Wei, CAO Zheng, ZHANG Kuandi, LU Yanqing, CHEN Yiting, LI Peiquan

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to realize the goals of resolving the urban road water – logging problem and collecting and utilizing rain flood resources, combined with the existing standards of rain drainage pipeline laying, different from the formerly rainwater collection system with single constructions, based on the hydraulic theoretical foundation, the device, which combines the function of desilting, filtration and impoundment in one and takes advantage of detail designs like automatic control, water – permeable brick and vertical type water inlet, has been developed. The results showed that installing the device at the original total rain drainage pipeline can filter and drain the sediment of the drainage pipe automatically, alleviating the problem of water – logging in urban roads during the rain – flood period and utilizing rainfall flood resource for spay irrigation during drought. The new automatic wash type rainfall flood resource utilization device responds the present sponge city construction fervour with innovative thought.

**Key words:** road water-logging; sand filtration and flushing; automatic control; rainwater utilization; sponge city

## 1 研究背景

### 1.1 研究背景及现实意义

由于受气候等因素的影响, 我国降雨量在时间和空间上都呈现分布不均匀的特点, 尤其是受西南、东南季风影响的东部、西南部、华南地区, 其降雨特点更为突出。同时, 以雨水为主的天然降水作为极其重要的可用水资源, 却并未得到充分利用, 利用率为降水量的 30% ~ 40%, 尚有 60% ~ 70% 的降水以

地表径流和无效蒸发的方式损失掉<sup>[1]</sup>。在我国东部如武汉、广州等大城市, 洪涝灾害与雨水利用率低是两个十分显著的问题。近年来, 许多学者<sup>[2-3]</sup>从不同的角度对典型内涝城市排水防涝情况分析发现, 引起内涝的因素有自然因素、地面硬化率增加、排水设施设计标准低、排水管网堵塞、城镇管理缺陷等, 而张艳杰等<sup>[4]</sup>认为排水不利是产生城市洪涝灾害的主要原因。针对城市内涝与雨水收集利用的问题, 不同的学者从环境优势与建设管理等方面提出

收稿日期: 2017-03-15; 修回日期: 2017-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001159); 陕西省自然科学基金项目(2011JQ5004); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(QN2011021); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金项目(K318009902-1413)

作者简介: 邱威(1997-), 男, 江苏宿迁人, 本科生, 专业为水利水电工程。

通讯作者: 张宽地(1978-), 男, 宁夏隆德人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事坡面水流动力学特性、坡面泥沙输移理论、新型闸门水力特性及防沙机理等方面的研究。

了自己的见解。毛献忠等<sup>[5]</sup>提出利用城市湖泊的蓄水调洪能力缓解暴雨压力;刘兴坡等<sup>[6]</sup>和黃子謙<sup>[7]</sup>基于暴雨洪水管理模型(Storm Water Management Model, SWMM)的排水管网系统模拟分析技术提出对排水管网进行改造;张艳杰等<sup>[4]</sup>和范光龙<sup>[8]</sup>提出了利用城市道路有效收集由于城市化增多的地表径流的观念,并给出城市道路建设和城市雨水蓄集联合运用的模式。另有许多学者<sup>[9-14]</sup>建立了绿色建筑水资源综合利用系统,通过建筑物收集利用系统对雨水资源进行利用。

## 1.2 国内外研究概况

建筑物雨水收集利用系统经历了长时间的研究发展,但是结合现有的城市道路建设标准与雨水收集利用的研究目前只是初步实施阶段。

近年来,更是提出了“海绵城市”<sup>[15-17]</sup>这一极具热度的综合性建设理念。海绵城市建设的核心是雨洪管理。在国外,城市雨洪管理代表性的理念<sup>[17]</sup>主要包括3个:美国的低影响开发(LID)、英国的可持续发展排水系统(SUDS)和澳大利亚的水敏感性城市设计(WSUD)。这些理念侧重于“净、用”,强调城市水循环过程的“拟自然设计”,保护了原有水生态,对周边水生态环境低影响,海绵城市建成后地表径流量能尽量保持不变,它的本质是实现城镇化与资源环境的协调和谐。但目前国内海绵城市建设相关措施的规范、技术指南等较少,设计标准不统一,对海绵城市设计和建设环节产生较大影响,同时一味模仿优秀案例,未结合自身经济、社会、环境等多方面因素采取合理规划、因地制宜设计各项措施,未将“渗、蓄、排、用”相结合进行针对性地建设具有中国特色的海绵型城市。

另一方面,我国排水系统从最初的雨污合流制<sup>[18]</sup>到后来的截流式合流制<sup>[19]</sup>,再到最后的分流制排水<sup>[20]</sup>,虽然在下水道排水能力上具有一定程度的提高,但是并没有带来实质性的改变。加之国内现有的雨水收集利用系统大多都停留在建筑物方面的研究,并且缺乏处理和回用系统,因此,结合国内道路与排水管铺设的标准,设计了集“渗、蓄、排、用”于一体的自动冲洗式雨洪资源利用新装置,在解决道路积水的前提下又能够蓄积雨水,达到雨水资源均时性再利用。

## 2 设计原理

### 2.1 设计思路

设计装置如图1,2所示,主要是为了解决城市

在雨季所面临的积水问题。本着节约、环保的原则,又通过太阳能电池板对水泵供电,将积蓄的雨水抽出,对周围绿化进行喷灌。积水问题包括以下两方面:

(1)在路缘处设立一个立式入水口,在人行道下方0.5 m处修建一个小型蓄水池,以增大蓄水能力。另在蓄水池内部修建一个弧形内腔,雨水先流进内腔,通过建造在一定高度处的渗水砖下渗至小型蓄水池中。当内腔水位上涨到弧形内腔最大高度时,不含泥沙的雨水就会溢到小型蓄水池中。

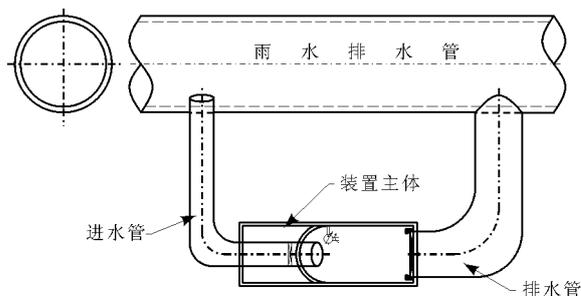


图1 装置位置分布图

(2)目前造成城市积水的主要原因是排水管口堵塞和疏水缓慢,而主要堵塞物是雨水中携带的泥沙和漂浮物(如树叶、垃圾等)。本设计利用水的浮力和压力设置了两个水力自动闸门,当弧形内腔内部达到一定水位时,闸门自动打开,利用水管的高度差,使淤积的泥沙顺着弧形内壁流走。

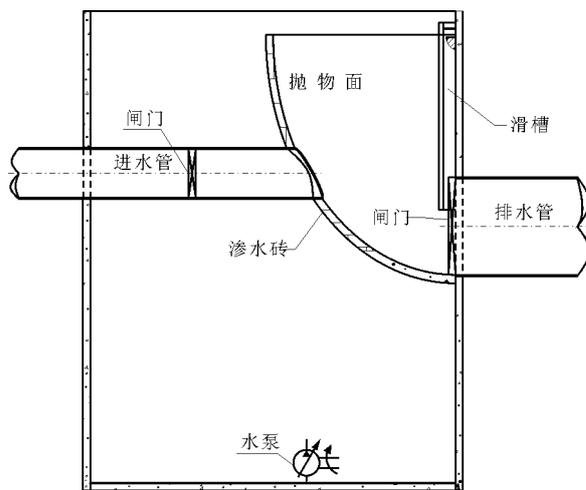


图2 装置内部设计示意图

### 2.2 结构设计

从整体装置图3可以看出,本装置分为地上部分和地下部分。地上部分包括:立式入水口、太阳能电池、湿度传感器;地下部分包括:小型蓄水池、弧形内腔、水力自动闸门、进水管、出水管、水泵。此套装

置从功能运用上可以分为以下3个阶段:

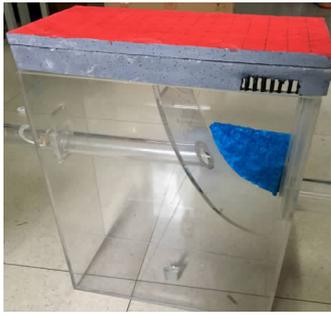


图3 装置模型外观图(粗略)

(1)蓄水阶段:携带泥沙的雨水通过立式入水口流入弧形内腔,泥沙在内腔中沉积,上部清水通过渗水砖下渗至小型蓄水池中。下大暴雨时,当立式入水口处雨水进入速度大于下渗速度时,弧形内腔中的水位会不断上升,直到水位达到弧形内腔最大高度时,雨水将会溢到小型蓄水池中。

(2)冲沙阶段:当水位上涨时,浮球受到浮力而带动排水管口处水力自动闸门打开,并固定在顶部卡位处,于此同时,当水位下降到一定高度时,进水管口处闸门在压强差的作用下,而自动打开。由于进水管与出水管存在高度差,水流带着泥沙,沿着弧形内壁从排水管处流走。当水位下降时,由自动控制原理即可实现水力自动闸门复位。

(3)喷灌阶段:固定在人行道路灯处的太阳能电池,通过吸收太阳能,来给小型蓄水池里的水泵供电,在人行道一侧的绿化带处设置一个湿度传感器,天气干燥时,会触发水泵工作,通过管道连接对绿化带进行喷灌。

### 3 分析与评价

#### 3.1 原理分析

(1)尺寸设计(如图4所示):以广州道路设计与雨水排水管铺设标准为例,直径为1.5米的雨水排水管底部埋藏在地面以下2米深的位置,由于下大暴雨时,其水位能达到管高2/3处,所以将进水管管口安装在管顶以下1/3处,进水管与排水管有40cm的高差,可以将水的势能转化为动能以便于冲走泥沙。

(2)位差设计:根据之前的设计,雨水排水管道底部在地面以下2m位置,进水管的底部与排水管底部又有40cm高差,那么排水管的底部与原有总雨水排水管底部就只有10cm的高差,这有可能导致排水管里面的雨水无法排到总雨水排水管中,

但是由于现有管道的铺设并不是水平的,它是具有一定的坡比,大约为2%,因而通过减小排水管铺设坡比和增加排水管管道的长度就能够达到所需要的测压管水头。

(3)渗水砖设计:以雨洪期特殊情况为最大标准,在弧形内腔内一定的高度使用渗水砖材料,可防止泥沙淤积影响渗水砖的渗水速度和效率,实现排水管道的泥沙过滤,为后续的自动冲排铺垫,同时保证蓄水的水质。

(4)携带泥沙的雨水去向设计:由于原有的雨水排水管是每100m安装一处沉沙井,所以将冲沙的水设计为两个去向:一是排回原有总雨水排水管,这将会加大雨水管中的含沙量,但雨水的携沙量较少且大多都是道路浮沙,加之雨水排水管道直径足够大,所以不会造成管道堵塞问题;二是直接通过管道从侧面排到沉沙井中,泥沙在沉沙井中沉积,沉积在沉沙井中的泥沙将会被人工清理。

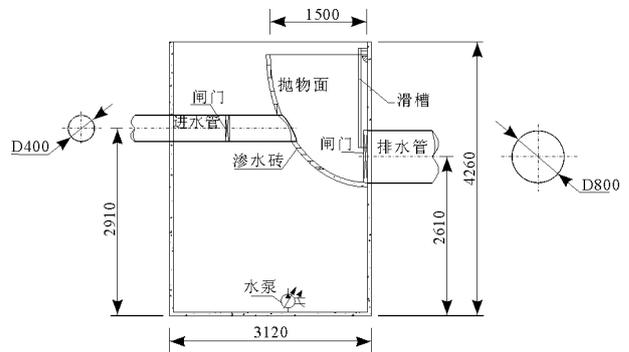


图4 装置尺寸设计示意图(单位:mm)

#### 3.2 模拟实验定性分析

为了进一步验证装置的可行性,对照实际尺寸设计,按1:40的几何比尺制作了如图3所示的模型进行定性实验分析。由于道路交通、雨水蒸发等因素对装置的影响很小,这里只讨论降雨量的时间分布、雨水入管道时携沙量、排水管排水量对装置效果的影响。

以沿海降雨量较多的上海市季降雨量<sup>[22]</sup>为例,夏季降雨量最集中占比为41.1%,月最大降雨量接近200mm。按此极限情况分析,道路每100m长度雨水量在装置内实际小型水池的最大蓄容量为6m<sup>3</sup>,即模型水池蓄容为93.75cm<sup>3</sup>(原型6m<sup>3</sup>)的负荷之内,渗水砖的透水系数大于等于1.0×10<sup>-2</sup>cm/s(15℃)的条件下,泥沙的沉淀、排放及管道排水情况良好,相比于原先简单管道可见排水排沙更顺畅,并且在解决道路积水的同时其集水、排沙、用

水功能优势也可体现。

### 3.3 可行性评价

此装置在原有雨水排水管处加装集蓄水、用水、排沙、过滤于一体的装置,能够做到以水之能,疏水之患,达水之利,具有较强的可行性,具体有以下5点依据:

(1)下水道口采用了立式入口,增大入水口口径,既避免占用路面面域、提高了交通的安全性,又使得道路雨水可以更高效快速地汇集下落,初步防止路面下水道口堵塞,减缓路面积水压力。

(2)装置在原有雨水排水管的基础上加装了小型蓄水池,小型蓄水池主要用于贮存雨水,其既可以缓解原有总雨水排水管的疏水压力,又因其底部装有以太阳能供能的抽水装置,可将暴雨等情况下的大量雨水过滤后用于绿化带的灌溉,整个过程借助绿色能源达到了雨水资源的均时性再利用。

(3)此装置的上半部分嵌套了一弧形内腔,雨水在其中可快速无残留地下落至底部,便于雨水中泥沙的沉积以能够实现水沙初步分离,并最终利用进水管中的雨水冲走弧形内腔底部的泥沙,既解决了装置内部的泥沙淤积问题,又可在暴雨等特殊情况下做出高效的应急措施。

(4)装置中的进水管口闸门利用管道与弧形内腔的压强差自动打开,排水管口闸门由浮球滑槽衔接,两者共同利用水的浮力和压强做成了自动联动式闸门。当水位到达最高水位时,浮子上连接的卡槽会卡在顶部卡位处,闸门打开;当水位下降时,进水管处闸门两侧形成水压力差,闸门绕转轴旋转打开。水排完后,此处闸门复位触碰开关,卡位处的电导磁阀接通(如图5所示),使卡位回缩,浮子和闸门复位。

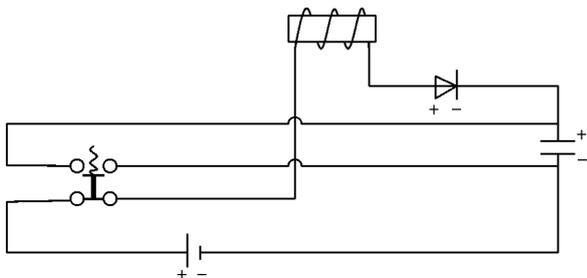


图5 自动控制原理电路图

(5)弧形内腔侧边与小型蓄水池上部采用了特殊材料——渗水砖<sup>[21]</sup>,该材料制作成本较低,更是具有阻隔泥沙和快速渗水的功能,呼应了当今“海绵城市”的思想理念。

## 4 结论

本文通过对自动冲洗式雨洪资源利用新装置的尺寸、位差和运行原理等系列理论分析和模型模拟实验定性分析,讨论了该装置的可行性,并得到以下结论:

(1)在路面地势较低的地方汇集的雨水通过立式入水口进入弧形内腔,并通过渗水砖进行泥沙过滤和自动联动闸门进行排沙,将路面积水“转移”到地下,同时发挥路面顺畅导水和地下排水管的泥沙自排两方面的作用,有效地防止了路面积水给交通带来的不便。

(2)在雨水排水管外设置最大蓄容为 $6\text{ m}^3$ 的小型蓄水池,既缓解了暴雨或连续下雨时雨水排水管的疏水压力,又可蓄积过滤后的雨水以进行早期绿化带植被的灌溉,使雨水资源在时间上分布更均衡合理。

(3)此装置采用的自动控制等原理简单易行,能够很大程度地解决道路积水问题,并实现集蓄水、用水、排沙为一体的设计理念,打破了原有“雨水弃之不用”的观念,在解决道路积水和雨水利用等方面,有着良好的应用前景。

在本文中的实验条件下得到的结论具有一定的可信度,但若推广研究,还须进一步进行多种实际降雨量和道路情况模拟,以获取更多的实验数据支持。

### 参考文献:

- [1] 张新燕,蔡焕杰. 雨水集蓄利用研究进展[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(3):87-92.
- [2] 费宇婷,沙峥峥,薛嘉兵. 城市道路积水成因分析及解决对策[J]. 工程建设与设计,2016(13):103-106.
- [3] 白璐. 城市内涝问题的研究[J]. 许昌学院学报,2012,31(2):124-125.
- [4] 张艳杰,叶剑. 城市道路与雨水利用[J]. 水利科技与经济,2005,11(12):741-743.
- [5] 毛献忠,龚春生,张锡辉. 城市湖泊暴雨过程中蓄洪能力研究[J]. 水力发电学报,2010,29(3):119-125.
- [6] 刘兴坡,刘遂庆,李树平等. 基于SWMM的排水管网系统模拟分析技术[J]. 给水排水,2007,33(4):105-108.
- [7] 黄子谦. 基于SWMM模型的城市降雨径流规律及城市雨洪利用控制研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
- [8] 范光龙. 基于“三个维度”的城市道路雨水收集利用系统研究[D]. 昆明:云南大学,2016.

(下转第155页)

- [3] 何奇,王韦,蔡金德. 环流非充分发展的弯道床面切应力计算[J]. 泥沙研究,1989(3):66-74.
- [4] 李大鸣,陈虹,李世森. 河道洪水演进的二维水流数学模型[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),1998(4):439-446.
- [5] 枚龙. 基于 MIKE 模型在内河航道整治中应用研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2014.
- [6] 王福军. 计算流体力学分析:CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 戴会超. 水利水电工程水流精细模拟理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [8] WANG Bencheng, ZHAN Jiemin, YU Linghui, et al. Numerical Simulation for flow characteristics of suspension height in suction sump of pump station [J]. Water Resources & Power,2012,30(11):70-72.
- [9] 徐乐,牧振伟,李园园,等. 基于 CCHE 模型的乌斯满引水枢纽水流数值模拟[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(5):172-176.
- [10] 冯丽华,吉庆丰. 三种紊流模型数值模拟明渠弯道三维水流的比较[J]. 灌溉排水学报,2008,27(6):55-57.
- [11] 杜丽霞. 典型弯道水流中的水沙二相流三维数值模拟研究[D]. 新疆:新疆农业大学,2013.
- [12] WANG S S Y, WU Weiming. Computational simulation of river sedimentation and morphology: A review of the state of the art[J]. 国际泥沙研究(英文版),2005,20(1):7-29.
- [13] 戴文鸿,苗伟波,高嵩,等. 弯道水流运动及床面变形数值模拟研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(3):121-126.
- [14] 王庆,郭德发. 新疆人工弯道式引水枢纽的设计与运行[J]. 人民长江,2004,35(1):13-14.
- [15] 易雨君,王兆印,张尚弘. 考虑弯道环流影响的平面二维水沙数学模型(I)——模型的建立[J]. 水力发电学报,2010,29(1):126-132.
- [16] 钱宁. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [17] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,1989.
- [18] 吴凤元,樊赟赟,梁力,等. 悬移质泥沙运动过程模拟分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2016,37(3):431-434.
- [19] 韩其为. 非均匀悬移质不平衡输沙的研究[J]. 科学通报,1979(17):804-808.

(上接第149页)

- [9] 薛明,蔡昭雄,沈晓东,等. 后勤工程学院绿色建筑水资源综合利用系统设计实践[J]. 土木建筑与环境工程,2014,36(1):12-15.
- [10] 李德巍,王莹,李英华,等. 城市园林景观设计中的雨水收集利用方式的探讨[J]. 中国给水排水,2014,30(14):29-32.
- [11] MELVILLE - SHREEVE P, WARD S, BUTLER D. A preliminary sustainability assessment of innovative rainwater harvesting for residential properties in UK [J]. Journal of Southeast University,2014,30(2):135-142.
- [12] 厦正付,张凯,龚俊. 高楼雨水收集利用系统分析[J]. 中国高新技术企业,2013(21):66-67.
- [13] 李汉辉. 关于建筑雨水回收利用的探讨[J]. 城市建设理论研究,2015,5(12):1608.
- [14] 孙月驰,李晓尚,叶雅丽,等. 危险废物处置场初期雨水收集系统设计[J]. 环境卫生工程,2015,23(2):41-42.
- [15] 胡杰,万健. 海绵城市中雨水系统的设计与研究[J]. 智能城市,2017,3(1):22.
- [16] 张旺,庞靖鹏. 海绵城市建设应作为新时期城市治水的重要内容[J]. 水利发展研究,2014,14(9):5-7.
- [17] 张建云,王银堂,胡庆芳,等. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. 水科学进展,2016,27(6):793-799.
- [18] 李立青,尹澄清. 雨、污合流制城区降雨径流污染的迁移转化过程与来源研究[J]. 环境科学,2009,30(2):368-375.
- [19] 贾旭亮,方娟,袁静. 截流式合流制对排水体制选择和管渠设计的影响[J]. 给水排水,2012,48(s1):442-443.
- [20] 吕英勇. 分流制排水管道设计中的问题和解决方案[J]. 中国市政工程,2013(1):40-42+105.
- [21] 李勇. 渗水砖:201630135948 [P]. 2016-04-21.
- [22] 高习伟,姜允芳. 上海市1971-2010年降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(6):48-53+60.