

老城区海绵城市改造中初期雨水调蓄池设计

左文静, 马智群, 李 亮

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300110)

摘要: 目前我国大力开展海绵城市建设, 对于建筑密度大、绿化率低、改造难度大的老城区, 初期雨水调蓄池逐渐成为削减径流污染负荷的有效措施之一。结合湖南省某初期雨水调蓄池实例, 介绍老城区海绵城市改造中初期雨水调蓄池有效容积、进水时间的计算方法, 以及建设形式、高程和各功能单元的设计思路。调蓄池有效容积为 $4\,300\text{ m}^3$, 进水时间为 0.5 h , 地下式钢筋混凝土结构, 设计满足重力快速进水和运行安全。通过水泵分层布置使储水分质排放, 实现精准治污。冲洗方式选用水力冲洗门, 除臭选用离子除臭和化学吸附并与污水泵站共用, 运行模式智能灵活。建成后预计年削减 COD 总量约 15 t , SS 约 25 t , 有良好的环境效益, 可为其他类似工程提供参考。

关键词: 初期雨水; 调蓄池; 设计; 海绵城市; 老城区改造

中图分类号: TU992.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0024-05

Design of Initial Rainwater Storage Tank in Sponge City Reconstruction of Old Urban Areas

ZUO Wenjing, MA Zhiquan, LI Liang

(North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300110, China)

Abstract: At present, the construction of sponge cities is vigorously developed in China. For the old urban areas with high building density, low green rate and large reconstruction difficulty, the initial rainwater storage tank is becoming one of the effective measures to reduce the runoff pollution load. Combined with an initial rainwater storage tank in Hunan Province, the calculation methods of effective volume and inflow time of initial rainwater storage tank in the sponge city reconstruction of old urban areas, and the design ideas of construction form, elevation and various functional elements are introduced. The effective volume of this storage tank is $4\,300\text{ m}^3$ and the inflow time is 0.5 h . The underground reinforced concrete structure is adopted. The design meets the gravity rapid inflow and operation safety. The precise pollution control is achieved by layering the water pumps to discharge the stored water by qualities. The hydraulic flushing door is adopted in the flushing method. The ion deodorization and chemical adsorption are adopted for the deodorization, which are shared with the sewage pumping station. The operation mode is intelligent and flexible. After completion, it is expected to reduce the total amount of COD by approximately 15 tons and SS by about 25 tons annually with the good environment benefit, which provides the reference for the other similar projects.

Keywords: initial rainwater; storage tank; design; sponge city; old urban areas

0 引言

2015年国务院办公厅印发了《关于推进海绵城市建设的指导意见》, 明确提出推进海绵城市建设, 通过采用“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施对降雨径流消纳和利用^[1-2]。2021年住房和城乡建设部等三部门颁发《关于开展系统化全域推进海绵城市建设示范工作的通知》, 推动全国海绵城市建设工作迈上新台阶^[3-4]。

现阶段, 我国老城区普遍存在建筑密度大、不透水地面占比高、绿地率低的问题, 源头改造为雨水花园、透水铺装等低影响开发措施的应用空间有限^[5-6]。在排水管网末端建设雨水调蓄池, 将污染严重的初期雨水截流调蓄后排放至污水处理厂, 或净化后排河, 逐渐成为削减径流污染的重要工程措施, 在北京、上海等多个城市已经有成功应用^[7-11]。

初期雨水调蓄池规模大小、进水设计、各项功能设施的选取是影响截污效果、工程投资和运维管理的关键因素, 已有较多学者开展了研究讨论^[12-15]。如何根据项目情况对调蓄池设计升级完善, 进一步

收稿日期: 2024-12-24

作者简介: 左文静(1992—), 女, 硕士, 工程师, 从事市政排水管网和水环境设计工作。

削减污染排放量,提高调蓄池的使用能效,需要不断地思考和探索^[16-17]。鉴于此,本文以湖南省某市老城区海绵城市改造中初期雨水调蓄池为例介绍工程设计要点,以为同类型项目提供参考。

1 工程概况

调蓄池所在片区为该市“十四五”期间系统化全域推进海绵城市建设的重点区域,属于湿润的大陆性季风气候,平均气温 17.2℃,平均降雨量 1 356 mm。片区为老旧城区,建筑密度高,改造难度大,同时存在面源污染、合流制溢流污染、内涝等诸多问题。为系统解决水环境、水安全等问题,基于海绵城市建设理念,构建了“源头减排消纳,过程管网控制、末端调蓄净化”治理体系,协调推进“地上、地下”设施,实现“灰色、绿色”设施地有效结合。在源头有条件的地块开展海绵化改造,通过雨水花园、下沉式绿地、透水铺装等措施削减地表径流污染和径流量;通过新建雨水、污水管道,推进雨污分流改造,降低内涝;通过雨水排口末端新建雨水调蓄池、生态滤池,减少初期雨水污染,根据规划建设雨水排涝泵站和污水泵站。

2 调蓄池总体设计

2.1 选址和工艺流程

该工程总体布置见图 1,初期雨水调蓄池位于生态塘西侧绿地下,西侧为环湖游路,北侧为工业遗址公园,南侧和东侧均为住宅区。调蓄池选址靠近泵站和生态滤池,调蓄池变配电间、除臭间、控制室与泵站合用,位于综合管理用房,节省占地和管道线缆投资,便于后期运维管理。

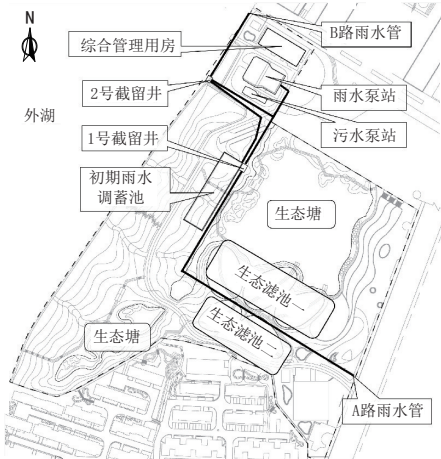


图 1 工程总体布置

工艺流程见图 2, A 路 DN2600 雨水管和 B 路 DN1500 雨水管经过 1 号和 2 号截流井截流,初期雨

水在调蓄池进水井汇合后,经过格栅过滤进入调蓄池。调蓄池达到设计液位后进水闸门关闭,后续雨水重力自流外排,当外水顶托时通过雨水泵站提升排放。降雨结束后调蓄池储水分质排放,上层较干净雨水通过提升排入生态滤池处理后排入生态塘,下层较脏雨水和冲洗水排入污水泵站,最终进入污水处理厂。将旱天时生态塘作为回用水源,用于厂区景观的绿化灌溉。

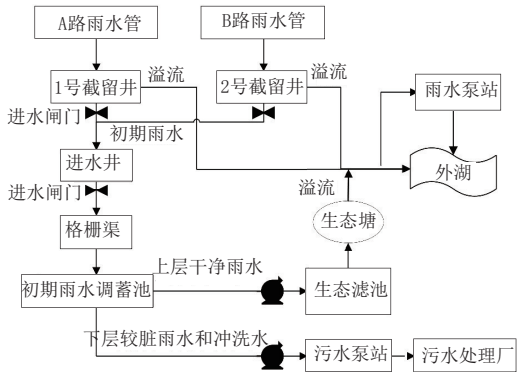


图 2 工艺流程图

2.2 规模设计

初期雨水污染来源主要为降雨初期地表冲刷和管道沉积^[18-19],项目所在地初期雨水实测 SS 平均浓度为 160 mg/L, COD 平均浓度为 97 mg/L。根据《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017),当调蓄设施用于分流制排水系统径流污染控制时,初期雨水可取 4~8 mm^[20]。有研究表明:山地城市(重庆)和平原城市(北京)分别截流初期 7.4 mm 和 5.2 mm 的径流可控制 50% 的污染物负荷^[21];武汉市城区截流 7 mm 初雨径流可控制整场降雨冲刷污染物总量的 56.8%^[22]。为提高污染负荷控制率,本方案初期雨水截流量取上限 8 mm,初期雨水调蓄池容积根据式(1)计算。

$$V = 10D \times F \times \varphi \times \beta \tag{1}$$

式中:V 为调蓄池有效容积, m³; D 为单位面积调蓄深度, mm, 取 8 mm; F 为汇水面积, hm²; φ 为综合径流系数, 取 0.7; β 为安全系数, 一般取 1.1~1.5, 本次取 1.1。

源头地块雨污分流改造后,调蓄池服务面积为 69.0 hm²,经计算,初期雨水调蓄池容积为 4 250.4 m³,取 4 300 m³。

2.3 进水设计

为节约能源,调蓄池进水形式采用重力进水,但进水时间现有规范并未统一^[23]。进水时间设计过长,影响初期雨水截流效果,降低调蓄池使用率,时

间过短则增大进水闸门和格栅的规格,增加投资。根据《城镇径流污染控制调蓄池技术规程》(CECS416:2015)^[24],与管道并联的调蓄池进水管设计流量按式(2)计算。根据该市2014年典型年降雨,降雨强度最大为14.3 mm/h,求得进水管设计流量为2.1 m³/s,进水时间为0.57 h。

$$q = \frac{i_y \times F \times \varphi \times \beta}{360} \quad (2)$$

式中: q 为调蓄池进水管设计流量,m³/s; i_y 为调蓄池设计降雨强度,mm/h。

根据极限强度理论,设计降雨历时取汇水范围内最远点的雨水流至进水井的时间,考虑项目地面集水时间和管渠内雨水流行时间,调蓄池进水时间取0.51 h。《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)中合流制调蓄池的进水时间在0.5~1.0 h^[20]。综上,调蓄池进水时间取0.5 h,进水设计流量为2.4 m³/s,分别计算两路进水根据各自汇水范围的截流水量,A路为1.7 m³/s,B路为0.7 m³/s。

2.4 结构形式

调蓄池结构形式可选钢筋混凝土调蓄池、管道调蓄池^[25-26]、PP模块调蓄池^[27-28]等形式。PP模块调蓄池由可互锁的聚丙烯(Polypropylene, PP)模块组成,拆卸安装灵活,施工便捷,工期短,节省成本,便于回收利用,但是承压能力有限,且单座池容一般不超过2 000~2 400 m³。管道调蓄池利用钢筋混凝土管道作为调蓄主体,具备施工速度快、施工简单的有优点,但有效水深有限,占地面积大,投资需增加。综上,选用钢筋混凝土调蓄池。

3 调蓄池工艺设计

3.1 平面和高程设计

调蓄池为矩形,长65.4 m,宽18.1 m,与1号截流井合建,平面布置如图3所示。调蓄池包括进水区、储水区 and 楼梯间,进水区功能设施包含进水闸门和格栅,储水区功能设施包含排空泵、冲洗系统和送排风机。

调蓄池采取全地下式,设备安装孔、风井高出地面,高程设计见图4。该项目所在地势为片区低点,地面高程为27~30 m,内涝防治水位为29.6 m,为避免设备淹泡,格栅位于地面设备平台,标高为30.3 m,除臭设备、变配电间、控制室等位于工业遗址公园附近绿地,室内地坪标高为34.6 m。在几乎不影响造价的情况下,能有效截流初期雨水,保障快速进水,

进水孔顶标高与进水管底齐平,A路和B路进水管底分别为23.89 m和26.32 m,进水孔底标高为22.69 m,进水渠底标高为21.99 m,渠底坡度采取3%。调蓄池有效水深为5 m,超高2 m,设计水位取23.59 m,内底标高为18.59 m,顶板标高为25.89 m。池顶覆土1.1~4.4 m,满足乔灌木的种植需求,并设有旱溪等海绵措施,做到与周边环境协调相融。

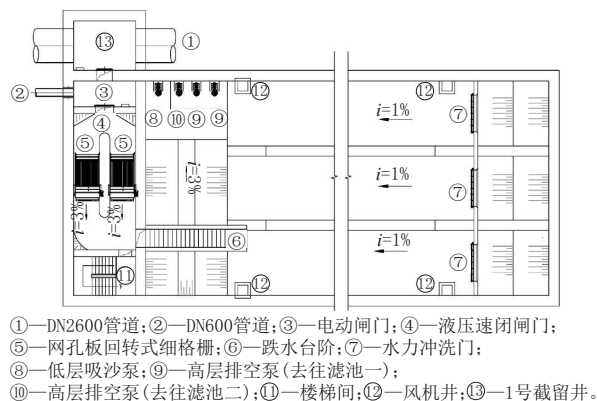


图3 调蓄池平面图

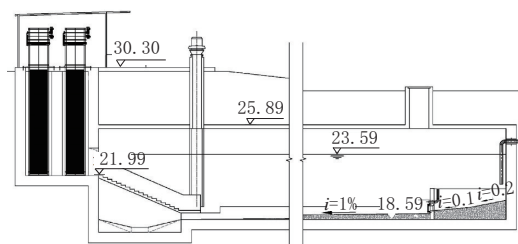


图4 调蓄池剖面图(单位:m)

3.2 进水系统

调蓄池埋深较大,设置双闸门系统保障运行安全,1号和2号截流井截流管处均设置电动闸门,尺寸分别为1.2 m×1.0 m和DN600,进水总口设置液压速闭闸门,尺寸为1.4 m×1.2 m,关闭时间在30 s以内。闸门后2组格栅渠,宽度均为2 m,采用网孔板回转式细格栅,根据生态滤池集配水穿孔管的孔径要求,格栅栅隙采用10 mm,在保障生态滤池正常运行的同时减少水泵堵塞。格栅后进水孔距离调蓄池内底4 m,采用跌水消能台阶,同时作为进入调蓄池的检修通道。

3.3 冲洗系统

雨水中的杂质会沉积在调蓄池池底,需要冲洗,避免淤积减少池容,同时减少臭气产生。常用的冲洗设施包括智能喷射器、水力冲洗门、真空冲洗系统等。智能喷射器具备搅拌曝气功能,不利于污染物沉淀,且存在冲洗死角、运行能耗较高^[29-30]。真空冲洗系统冲洗水头大,但是运行期间易出现密封性不严、无法长时间保持冲洗水头的问题^[14,16]。水力冲

洗门运行稳定、运维简单、节能环保,故将其选作为冲洗措施^[17,31]。设计冲洗水头为 1.7 m,冲洗长度为 46.4 m,共设置 3 条冲洗廊道,每个净宽 5.1 m,坡度 1%,存水室储水量为 33 m³,水力冲洗门尺寸为 2.8 m×0.4 m。设置人工二次冲洗模式,从生态塘取水后对存水室补水。

3.4 放空系统

雨水中的污染物在调蓄池内沉淀后,上层清液送至生态滤池处理后排放至生态塘,作为景观灌溉用水,下层较脏的雨水以及冲洗水排至污水泵站,设计排空时间为 24 h。场地高差变化大,共设置 2 座生态滤池,设置双层共 3 组排空泵,高层 4 台排往生态滤池,水泵基础标高为 18.44 m,其中 2 台去往滤池一,流量为 120 m³/h,扬程为 16.5 m(1 用 1 备);2 台去往滤池二,流量为 65 m³/h,扬程为 21 m(1 用 1 冷备)。低层 2 台为吸沙泵排往污水泵站,水泵基础标高为 16.69 m,流量为 120 m³/h,扬程为 14 m(1 用 1 冷备)。

3.5 通风除臭系统

采用机械送排风与自然补风结合的通风形式,换气次数按照每小时 5 次空池容积设计。调蓄池内设置有有毒有害气体检测仪表,并与风机联动,确保调蓄池运行和检修人员安全。

为保障环境卫生,调蓄池设置臭气收集和除臭装置,并与污水泵站共用除臭设备。污水泵站臭气风量取 1 400 m³/h,调蓄池臭气风量取 8 600 m³/h。考虑臭气风量和浓度变化大,采取离子法除臭和化学介质吸附法的组合工艺,执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)中的无组织排放一级标准。

除臭工艺流程见图 5,旱天时处理污水泵站内的臭气,阀门 2 关闭,新风和排风机低风量变频运行,离子发生器低负荷运行。雨季时处理调蓄池内的臭气,阀门 2 开启,新风和排风风机满频运行,离子发生器全部运行。当进气臭气浓度较高时打开阀门 3,通过串联的化学介质吸附保障除臭效果。

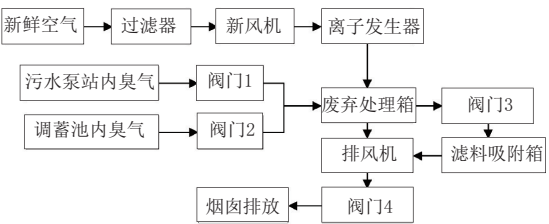


图 5 除臭系统流程图

4 调蓄池运行模式

通过雨量计监测降雨,通过液位计监测水位,通

过 COD、氨氮、SS 水质监测仪检测调蓄池进出水水质,通过摄像头观察调蓄池的冲洗情况,利用中控室对截流井、调蓄池、雨污水泵站、生态滤池等设备进行统一调配,实现设备联动运行,主要控制条件参数均为开放式,可根据实际运行工况优化调整。

(1)旱天工况:调蓄池不进水,进水闸门全部开启。

(2)雨天工况:降雨后进水井内水位升高,网孔板回转式细格栅启动,雨水经过格栅拦截除污后进入池内。当达到设计液位 23.59 m 时,调蓄池进水闸门全部关闭,雨水重力流溢流至外湖。当外湖水位高时关闭溢流闸门,雨水泵站启动,雨水提升排放,保障行洪。

(3)排空工况:降雨结束 1 h 后启动高层排空泵,池内上层较干净的雨水抽排至生态滤池一和生态滤池二。液位降低至 19.29 m 时关闭高层排空泵,启动低层吸沙泵,池内下层较脏雨水被提升入污水泵站,最后送往污水处理厂集中处理。

(4)冲洗工况:调蓄池排空后池内水位低于 17.99 m 时,逐一开启水力冲洗门对池底冲洗,冲洗水通过吸沙泵提升排入污水泵站。通过摄像头观察调蓄池内冲洗情况,泥沙较多时开启补水阀门,利用生态滤池循环泵站将生态塘雨水提升至冲洗门存水室,进行二次冲洗。

5 工程投资和效益

目前该工程处于建设阶段,初雨调蓄池建设总投资 4 967.9 万元。调蓄池实施后,以 2014 年典型年计算,预计年进水 75 次,调蓄总量 25 万 m³,COD 年削减总量约 15 t,SS 年削减总量约为 25 t,有利于改善水环境、促进当地经济发展,是有良好的社会效益和环境效益。

6 工程设计特点

(1)优化调蓄池进水设计,降低进水孔标高,放大进水渠坡度,设置消能台阶,满足快速平稳进水条件,提高初期雨水截流效率;采取双闸门设计,事故条件下可快速关闭,避免淹泡风险。

(2)调蓄池储水沉淀后分质排放,排空水泵分层布置,上层清液和下层较脏雨水分别排放至生态滤池和污水泵站,实现精准治污,保护河道环境,同时减轻污水处理厂压力,节能减排。

(3)调蓄池与污水泵站共用除臭系统,通过风道

阀门和风机变频控制,实现旱天和雨天不同负荷切换运行,提高设备使用效率,节省工程造价,通过串联化学吸附介质保障除臭效果。

(4)运行采取智能化控制,与降雨、液位、水质监测、视频监控、气体监测仪表连锁,参数条件设置灵活可调,便于后期优化运行,为该市智慧水务管理提供支撑。

7 结 语

海绵城市建设采取源头—过程—末端系统治理的技术方案,老城区容易受现状条件限制,利用初期雨水调蓄池控制径流污染的方式越来越广泛。结合湖南省某市初期雨水调蓄池工程,介绍了调蓄池有效容积和进水时间的计算方法,以及调蓄池建设形式、高程和各功能单元的设计和优化思路。该项目具有良好的环境效益,可以为其他调蓄池项目提供参考。

参考文献:

- [1] 张辰.标准服务海绵城市建设系统构建生态新型城镇[J].工程建设标准化,2015(11):6-7.
- [2] 章林伟.中国海绵城市建设与实践[J].给水排水,2018,54(11):1-5.
- [3] 李俊奇,李小静,刘迪,等.海绵城市建设在中国:十年耕耘,百城绽放[J].中国给水排水,2024,40(10):1-8.
- [4] 孙静,张亮,吴丹.系统化全域推进海绵城市建设实施路径探讨——以深圳市深汕特别合作区为例[J].净水技术,2022,41(增刊2):153-160.
- [5] 李璐璐,方小桃,赵芳,等.城市更新视角下老旧小区海绵城市的改造策略[J].重庆大学学报,2022,45(增刊1):121-124.
- [6] 刘家宏,王开博,徐多,等.高密度老城区海绵城市径流控制研究[J].水利水电技术,2019,50(11):9-17.
- [7] 束敏.上海市某初期雨水调蓄池工程设计要点[J].城市道桥与防洪,2024(8):125-128;132.
- [8] 张伟,蒋玖璐.福州市马沙溪调蓄池在初期雨水径流污染控制中的应用[J].中国市政工程,2020(6):52-54;113.
- [9] 刘剑.布置于河床下的全地下式调蓄池的设计要点[J].中国给水排水,2019,35(16):73-76.
- [10] 金敦.城市排水系统中初期雨水调蓄池的设计探讨[J].城市道桥与防洪,2013(7):130-132.
- [11] 高雅弘,林炳权,刘宇轩,等.城镇分流制排水系统初期雨水污染特征与控制对策[J].环境工程技术学报,2024,14(3):973-985.
- [12] 程江.苏二期雨水调蓄池整体设计后评估与优化建议[J].给水排水,2013,49(8):41-46.
- [13] 陈华.上海中心城区两类雨水调蓄池污染减排效应研究[J].中国给水排水,2012,28(15):45-48.
- [14] 苏东霞,吕放放,刘学锋,等.北京某区域低影响开发措施实施效果分析[J].中国给水排水,2021,37(3):110-115.
- [15] 张青文,余健.初雨调蓄池布置方式对管道沉积物污染控制研究[J].中国给水排水,2022,38(19):114-119.
- [16] 王艳芳,段梦.镇江市边检站多功能调蓄池的工艺设计与优化[J].中国给水排水,2023,39(6):83-87.
- [17] 谢磊,解铭,薛江儒.调蓄池在排水系统中的应用及发展方向探讨[J].中国给水排水,2023,39(12):37-43.
- [18] 吕炎,黄更.北方某城市雨水调蓄池设计案例分析[J].净水技术,2022,41(增刊1):300-304.
- [19] 吴海涛,闫爱萍,曾祥国,等.分流制排水系统中组合式初雨调蓄池的设计与优化[J].中国给水排水,2020,36(12):106-110.
- [20] GB 51174—2017,城镇雨水调蓄工程技术规范[S].
- [21] 王倩,张琼华,王晓昌.国内典型城市降雨径流初期累积特征分析[J].中国环境科学,2015,35(6):1719-1725.
- [22] 杨丰恺,姜应和,许天会.基于SWMM的武汉市城区雨水管网初雨特性分析[J].水电能源科学,2019,37(8):22-25;33.
- [23] 刘洪波,高赛赛,朱梦玲,等.初期雨水调蓄池的运行问题及解决方案[J].中国给水排水,2014,30(17):142-144.
- [24] CECS 416:2015,城镇径流污染控制调蓄池技术规程[S].
- [25] 马方凯,王雪健,高兆波.应用大口径管道截流老城区溢流污水方案研究[J].水利建设与管理,2022,42(9):60-69.
- [26] 周传庭,杨殿海,赵金保.天津市中心城区合流系统末端调蓄工程的设计要点[J].中国给水排水,2020,36(16):91-94;100.
- [27] 黄泽益.PP模块调蓄池在城市防洪排涝建设中的应用[J].云南水力发电,2024,40(3):163-166.
- [28] 张昀.PP雨水模块调蓄池研究与应用[J].建筑技术,2020,51(7):871-873.
- [29] 刘鹏飞,杜强强,戴明华.截流调蓄在水环境治理中的应用实践与思考[J].环境工程,2023,41(增刊2):1141-1146.
- [30] 张志谦.城中村初雨调蓄池的设计与应用[J].给水排水,2024,60(2):52-56.
- [31] 曾木海,谢小龙.初雨调蓄池在武汉市某湖泊综合整治工程中的应用[J].中国给水排水,2021,37(12):93-97.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

