

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.015

新建下凹桥区雨水调蓄泵站的优化设计

葛学伟, 邓卫东, 于宁

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘要: 新建道路下穿铁路、立体交叉道路时易成为积滞水点,下凹桥区雨水调蓄排放系统设计的合理性是确保下穿道路安全运行、避免内涝灾害的重要条件。在北京市锅炉厂南路雨水调蓄泵站设计中,结合下凹桥区的特点,在高排水防涝标准和黑臭水体治理的背景下,探讨了其防涝措施、雨水收集、狭小且不规则空间下的集约化布置、运行工况等内容,在用地紧张的城市核心区建设了集水泵强排、削减洪峰流量、径流污染控制等多功能于一体的雨水调蓄排放系统。实际汛期运行中状况良好,下凹桥区未出现积水,有效保障了道路运行安全。

关键词: 雨水泵站; 初期雨水; 合建调蓄池; 下凹桥区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0091-05

Optimal Design of Stormwater Regulation and Storage Pumping Station in Newly-built Concave Bridge Area

GE Xue-wei, DENG Wei-dong, YU Ning

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: Newly-built roads are likely to become stagnant water points when they pass through railways and three-dimensional crossing road. Therefore, the reasonable design of stormwater regulation, storage and discharge system in concave bridge area is important to ensure the safe operation of the concave bridge area and avoid waterlogging disaster. In the design of Guoluchangnan Road stormwater regulation and storage pumping station in Beijing, the waterlogging prevention measures, stormwater collection, intensive arrangement in small and irregular space and operation conditions were discussed under the background of strict drainage and flood control standard and black and smelly water body remediation in combination with the characteristics of the concave bridge area. A multi-functional stormwater storage and discharge system was built in a central urban district with tight land use, which integrated the functions such as pump drainage, reduction of flood peak flow and runoff pollution control. The actual operation of the system was in good condition in the flood season, and there was no water accumulation in the concave bridge area, which effectively ensured the safety of road operation.

Key words: stormwater pumping station; initial runoff; co-constructed storage tank; concave bridge area

随着我国城市化的快速推进,内涝灾害成为新 型城市病。2012年北京“7·21”暴雨导致多处下凹桥

区积水深度达0.3~7 m,造成交通中断和人员伤亡^[1];2021年郑州“7·20”特大暴雨,地铁5号线、京广隧道、停车场等多处地下空间发生严重内涝,造成重大人员伤亡和财产损失;2021年北京“8·16”暴雨造成旱河路铁路桥下短时严重积水,2人受困死亡。这既与客水拦截措施未形成有效封闭、泵站及配电设备水淹导致无法使用、客水管线在桥区范围冒溢、短时间内未形成有效的应急预案有关,还与对下凹桥区及相关区域缺乏系统性研究有关。

1 项目背景

新建锅炉厂南路位于北京市石景山区西南部,是联系石景山区与中心城区的城市主干路,是重要的冬奥会配套交通设施,锅炉厂南路在101铁路处为下凹式立交型式,下凹路段最低点位于铁路西侧,路面最低点高程为61.96 m,道路周边地面高程为67.40~69.95 m左右。本项目场地浅层地下水水位为37.64 m,在道路最低点以下,未设置地下水排放系统。本项目属于锅炉厂南路的附属工程,用于解决下凹桥区的防淹涝问题。

本项目结合规划对桥区排水系统进行设计,同时截流收集区域内的初期雨水。在系统内设置雨水调蓄泵站1座,流量1.8 m³/s,削减洪峰流量调蓄池容积200 m³,下凹桥区内雨水通过泵站调蓄系统后排入人民渠,设置1座初期雨水收集池,容积240 m³。

2 设计标准及规模确定

2.1 设计标准

低区收集系统、低水区排水系统(含雨水泵站)、泵站出水管按降雨重现期30年一遇标准设计;下凹桥区防涝系统设计按100年一遇暴雨标准校核(下凹桥区积水深度不超过15 cm);新建调蓄池,对30 a<P≤100 a的降雨进行削峰调蓄;收集贮存桥区8 mm的初期雨水。

2.2 汇水面积

按照高水高排、低水低排、互不连通的原则,下穿道路两端和两侧采取可靠的封闭拦截措施,尽量减小低水区汇水面积,下凹桥区汇水范围见图1。具体工程措施:在下穿道路两端设置反坡点,使水流方向背向下凹桥区,防止高水汇入;南北两侧以道路重力式挡水墙为界,防止辅路及周边高水汇入;新建跨河桥、道路及铁路封闭段栏杆下部不透

水,不透水部分的高度与挡水墙同高,变坡点、不透水栏杆与挡水墙形成稳定闭合区域,封闭段雨水划入高水系统。变坡点、不透水栏杆与挡水墙的设置高度至少高出周边地面和防淹涝水位0.7 m;在满足道路净空、坡度要求的条件下,尽量将两端的变坡点设置在平交路口以内,并避免重力流管线、其他市政管线进入下凹桥区。

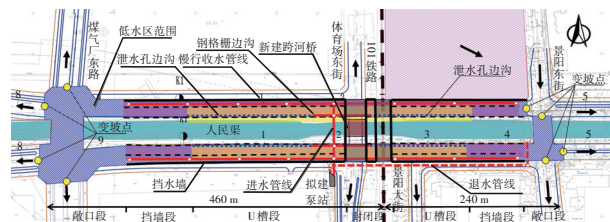


图1 下凹桥区平面图

Fig.1 Plane figure of concave bridge area

本工程封闭段最小净空4.5 m,下穿段道路最大纵坡3%,东、西两侧平交路口距离700 m,东侧仅有240 m,受道路条件控制无法完全将路口范围划分到高水区(见图2)。根据区域地形分析,桥区东北侧地势较高,区域水流方向为自北向南,若东北侧高水纳入桥区范围则汇水面积为10 hm²,经与道路专业协商,在不影响行车安全的前提下,分幅道路在下坡段突破道路设计规范将纵坡改为4.1%,这样东北侧变坡点设置在景阳东街以西,该部分雨水通过高水管线和河道排除。南、北幅下穿道路宽度均为20.35 m,低区汇水面积优化为3 hm²,下凹桥区横断面布置见图3。

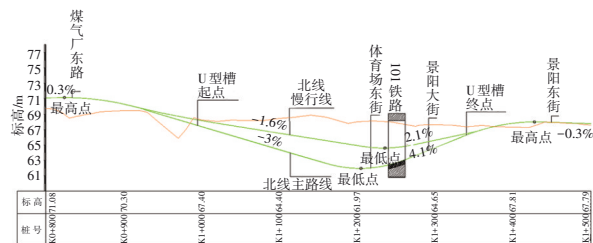


图2 下凹桥区北幅横断面图

Fig.2 Vertical section of north concave bridge area

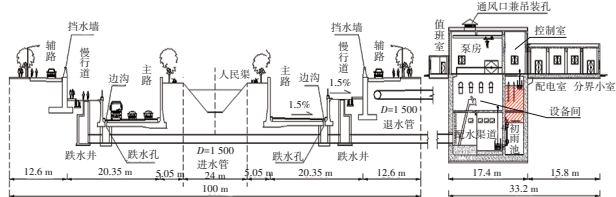


图3 下凹桥区横断面图

Fig.3 Cross section view of concave bridge area

2.3 设计规模

① 道路径流系数 Ψ 为0.85~0.95,本次设计取值0.95。

② 降雨历时 $t = t_1 + t_2$,经计算地面集水时间 t_1 为3.1 min,进水边沟集水时间 t_2 为2.1 min, t 取值5 min。

③ 项目属于北京地区暴雨强度分区第Ⅱ区,设计暴雨强度按下式计算:

$$q = \frac{1602 \times (1 + 1.037 \lg P)}{(t + 11.593)^{0.681}} \quad (1)$$

计算得雨水设计流量为1.71 m³/s,泵站设计规模定为1.8 m³/s。

④ 初期雨水收集池容积根据北京市地方标准《下凹桥区雨水调蓄排放设计规范》(DB 11/T 1068—2014)进行计算,按8 mm降雨厚度算得初期雨水收集池有效容积 ≥ 228 m³,设计初期雨水收集池容积为240 m³。

⑤ 分流制削峰调蓄池容积根据北京市地方标准《城镇雨水系统规划设计暴雨径流计算标准》(DB 11/T 969—2016)进行计算,对重现期100年一遇最小时间段5 min、总历时1440 min的降雨进行推求,调蓄池的有效容积为桥区降雨汇流过程中不能由雨水泵站排出的产流量叠加,雨量分配计算结果见表1,调蓄池有效容积 ≥ 129.87 m³,设计调蓄池容积为200 m³。

表1 调蓄池容积计算结果

Tab.1 Volume calculation of storage tank

时段序号 (每时段5 min)	时段内100 年一遇降雨 量/mm	时段内降 雨产流体 积/m ³	时段内泵 站抽升能 力/m ³	所需调蓄 体积/m ³
201	5.06	144.15	540	
202	10.14	288.95	540	
203	11.69	333.07	540	
204	23.50	669.87	540	129.87
205	13.35	380.60	540	
206	8.83	251.53	540	

3 雨水调蓄泵站运行技术路线

当降雨量 ≤ 15 mm时,配水渠道(7 mm)、初期雨水收集池(8 mm)分别储存一部分初期雨水。雨停后启动排空泵,将配水渠道、初期雨水收集池内的初期雨水排至市政污水管线;当降雨量 > 15 mm时,进入配水渠道的雨水首先进入初期雨水收集池,进

口水底高程56.15 m。在池内达到设计液位61.3 m后,池内的浮筒阀关闭,雨水不再进入。之后打开调蓄池下部闸板,雨水通过洞口进入调蓄池,进水口底高程为56.4 m,随后根据设定的启泵水位逐步开启单泵、双泵、三泵,对调蓄池内雨水提升后溢流排放。当进水量超过泵站设计能力($P=30$ a)时,调蓄池对 $30 < P \leq 100$ a的降雨进行削峰调蓄。

应急方案:当出现极端暴雨情况($P > 100$ a)、下游河道行洪能力不足或桥区积水断路时,初期雨水收集池可应急转换为削峰调蓄池使用,充分利用溢流进水最高水位以上的空间(见图3初期雨水收集池上部红色阴影部分),打开出水池应急进水管阀门,水泵出水经泄压后应急进水至初期雨水收集池,释放最大的调蓄空间。

根据外部污水管网运行情况,利用晴天污水量排放低谷时段(一般为夜间),初期雨水经排空泵提升后,排入泵站内的污水管,最终接入市政污水管线^[2]。调蓄池内的雨水经排空泵排至雨水管道,最终独立出水至人民渠。泵站技术路线见图4。

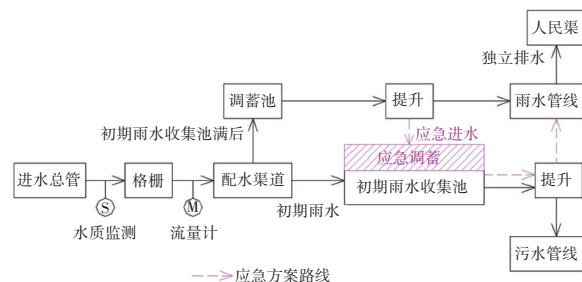


图4 泵站技术路线

Fig.4 Technology roadmap of pumping station

4 雨水调蓄泵站设计

4.1 收水系统

主路下穿段纵坡3%~4.1%,在主路1.5%的横坡外侧采用矩形盖板边沟连续收水,慢行车道下穿段纵坡1.5%~2.1%,采用雨水管、雨水口分散布置收水。水流通过边沟、管线汇集至最低处,再通过竖向跌水入进水管后排至泵房。边沟盖板采用“两端泄水孔混凝土盖板,中间钢格栅盖板”的布置方式,慢行车道除最低点采用多连算雨水口外,其余采用双算雨水口,收水边沟、管线布置见图3。边沟过水断面尺寸为宽 \times 高=40 cm \times 40 cm,最大排水能力0.48 m³/s,满足道路单侧最大排水流量0.34 m³/s的要求。主路两端采用49 cm \times 49 cm带泄水孔的混

凝土盖板,中间临近最低点采用49 cm×70 cm 钢格栅盖板增大泄水能力,盖板设置在车道线以外,保证行车安全,收水边沟及盖板设计见图5。

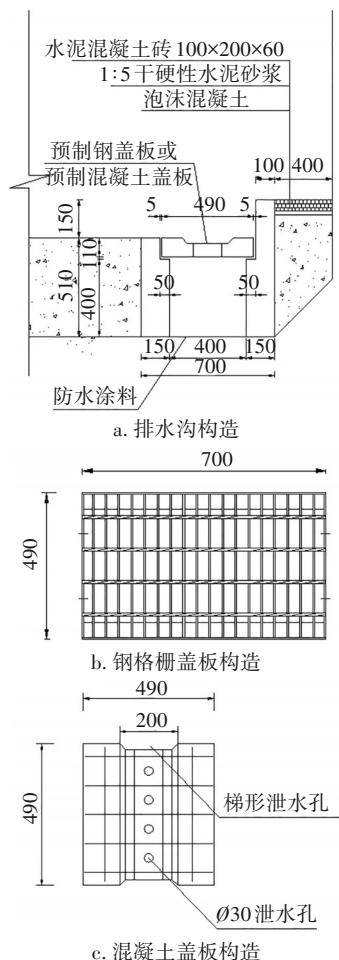


图5 收水边沟及盖板设计

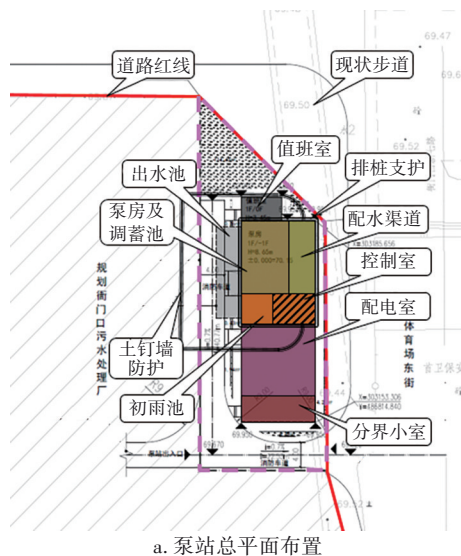
Fig.5 Design of side ditch and cover plate

本项目低水区设置270个雨水算子和钢格栅盖板,总收水能力4.05 m³/s,满足低区收集系统设计降雨重现期标准的2倍。由于下穿段南北两侧均有主路和慢行系统,且铁路东、西两侧对应的汇水面积大小不同,低区收水系统应将低区流域面积划分为8个小的流域,分别核算并分配收水设施。受地形、封闭段净空、坡度和用地限制,泵站进水管线在道路最低点以西49.2 m,应确保边沟最低点位于进水管上方。

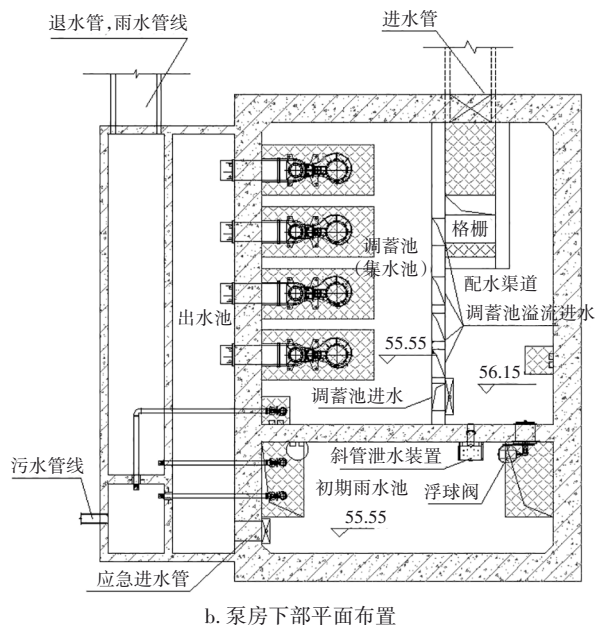
4.2 泵站的总体布置

考虑周边用地条件及预留远期规划市政设施用地的需求,雨水泵房与初期雨水收集池、调蓄池、配电室、出水池等构筑物合建,进行集约化布置,最

大限度节约土地资源^[3]。项目北侧紧邻锅炉厂南路,东侧紧邻体育场东街,泵站位置狭小且不规则,泵站占地仅利用两条道路渠化段的红线夹角位置,总用地面积1 022.88 m²,用地指标0.57 m²/(L·s⁻¹),远低于《北京市城市建设节约用地标准》0.8~1.1 m²/(L·s⁻¹)的用地指标。泵站包括泵房、绿地、厂区道路等,雨水泵房及调蓄池采用矩形平铺、竖向叠加布置,泵站内设置4 m宽消防车道,道路转弯半径不小于9 m,内部空地均考虑绿化,容积率0.33,绿化率13%,建筑密度42.8%,泵站总平面布置见图6。



a. 泵站总平面布置



b. 泵房下部平面布置

图6 泵站设计示意

Fig.6 Schematic diagram of pumping station design

以往泵站调蓄系统多以单体水池的形式出现,本工程将所有池体合建,采用湿式泵房,排水设施选用潜水泵,水泵集水池与调蓄池合用一个池体,并与配水渠道、初期雨水收集池、出水池合建,节省占地面积,泵房下部平面布置见图6(b)。泵房出水池位于西侧,与泵房合建,退水管线向东过铁路、下凹桥区后向北排入人民渠。在竖向上,控制室、配水渠道、初期雨水收集池、泵房及调蓄池上下叠加布置,顶部设置电动单梁起重机,满足泵房内所有设备的检修。基坑支护考虑周边道路实施情况和经济性,采用基坑侧壁排桩支护,桩长约21 m,北侧、西侧、南侧采用放坡支护,在减少投资的同时最大限度减小实施范围。为便于狭小空间内设备、管道的安装和检修,在泵站设备间上方设置吊装孔,设备吊装孔在设备安装完毕后作通风口使用。

4.3 泵站的细部设计

本项目在进水口处设水质监测系统,设于格栅后进水渠道边,初期雨水水质监测系统选择的主要参数包括pH、浊度、COD、氨氮等。通过对下凹桥区路面初期雨水径流指标的监测,探讨其水质特征及水质变化过程。控制室内设置水质分析模块,通过对实时数据的分析计算,为泵站的运行提供数据支持。利用雨量计、电磁流量计对径流量的监测,掌握降雨径流峰值与降雨时间的关系,为调蓄池、初期雨水收集池的运行和设计提供参考,并为指导调蓄池更好地发挥削减洪峰流量、截流初期雨水、雨水回用功能提供可靠的依据。

在控制室对桥区低点水位、下游河道水位、水泵工作状态进行监测,并将监控数据反馈至道路运营及水务管理部门。当水位达到警戒水位时,采取阻断交通、应急抢险等相应的应急预案。

5 运行效果

本工程已施工完毕并投入使用,2022年汛期运行状况良好,7月27日暴雨期间,下凹桥区未出现积水,有效保障了道路运行安全。

6 结语

锅炉厂南路雨水泵站在具备防洪排涝功能的同时,还具有收集初期雨水的功能,结合用地条件和规划需求,采用集约化组合布置,形成了多功能合一的优化方案,充分利用地下空间,减少了占地面积和开挖深度。通过对区域地形进行防淹涝分

析和对道路下坡段纵坡的调整,达到排水方案与道路方案的协同优化,减小了汇水面积,降低了工程投资,保障了区域的排水安全。通过进、出水控制克服了传统泵站工程调蓄池、初期雨水收集池容积均较大,但是非主汛期特大暴雨时段几乎不进水的不足,在保证排涝安全、水质分流的前提下,根据降雨强度的大小对配水渠道、调蓄池、初期雨水收集池、出水池采取不同的运行模式,综合利用。在出现极端降雨情况时,可经过系统控制,使初期雨水收集池释放出275 m³调蓄容积,充分利用初期雨水收集池上部空间。通过对降雨量和初期雨水水质的监测,为调蓄池、初期雨水收集池的运行和设计提供参考,使调蓄池更好地发挥削减洪峰流量、截流初期雨水的功能。

参考文献:

- [1] 邓卫东. 京港澳高速南岗洼下凹段水患治理方案[J]. 中国给水排水, 2018, 34(10): 66-70.
DENG Weidong. Flood control plan of Nangangwa low-lying concave section of Beijing-Hong Kong-Macao expressway[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10):66-70(in Chinese).
- [2] 王斌,陈祥瑞,李铭洋,等. 利用现有地下空间进行调蓄改造雨水泵站的设计探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 64-67.
WANG Bin, CHEN Xiangrui, LI Mingyang, et al. Discussion on the reconstruction design of rainwater pumping station by using existing underground space for regulation and storage[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(18): 64-67 (in Chinese).
- [3] 郁片红. 复杂地块条件下排水泵站与调蓄池合建的优化设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 89-94.
YU Pianhong. Optimal design of the combined construction of drainage pump station and storage tank under complex land parcel conditions[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 89-94 (in Chinese).

作者简介:葛学伟(1987-),男,山东潍坊人,硕士,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),从事市政给排水、防洪工程设计工作。

E-mail:ge.xue.wei@163.com

收稿日期:2022-10-11

修回日期:2023-02-01

(编辑:孔红春)