

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.012

# 多个一体化预制泵站并联用于污水提升工程实践

林伟强<sup>1,2</sup>, 杨楠<sup>1</sup>, 郑博一<sup>1</sup>, 平丽<sup>3</sup>

(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392; 3. 格兰富水泵<上海>有限公司, 上海 200336)

**摘要:** 在天津天狮大学校外配套污水泵站及管网工程设计中, 针对三个收水范围末端污水管线高程无法衔接、泵站建设区域有限、污水量变化较大等情况, 通过方案比选后采用了多个一体化预制泵站并联的形式提升污水至污水厂。泵站控制设计中, 在泵站出水端及交汇节点处设置了压力传感器, 实现了多个变频潜污泵协同调节控制, 从而克服了压力污水管网中压力不平衡问题, 顺利实现了同时排出多个区域污水的目的。

**关键词:** 一体化预制泵站; 并联; 压力排水; 污水提升

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0056-06

## Project Practice of Several Integrated Prefabricated Pumping Stations in Parallel Connection for Sewage Lifting

LIN Wei-qiang<sup>1,2</sup>, YANG Nan<sup>1</sup>, ZHENG Bo-yi<sup>1</sup>, PING Li<sup>3</sup>

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China; 2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China; 3. Grundfos Pumps <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 200336, China)

**Abstract:** For the design of sewage pumping station and pipe network project outside Tianshi University in Tianjin, the following conditions need to be considered: the elevation of the sewage pipeline at the end of the three water collection ranges cannot be connected, the construction area of the pumping station is limited, and the sewage volume changes greatly. After the comparison and selection on the proposed plans, several integrated prefabricated pumping stations are used in parallel to lift sewage to sewage treatment plant. For the design on the control of the pumping station, pressure sensors are set at the outlet and intersection of the pumping station to realize the coordination control of frequency conversion submersible sewage pumps. It overcomes the problem of pressure imbalance in the pressure sewage pipe network, and smoothly realizes the purpose of simultaneously discharging sewage from multiple areas.

**Key words:** integrated prefabricated pump; parallel connection; pressure drainage; sewage lifting

一体化预制泵站<sup>[1]</sup>在欧洲具有长时间的使用历史, 近年来被引入中国, 由于其具有占地小、施工

便捷、管理方便、对周围环境影响较小等优点, 在雨水污水实际工程中开始被应用, 并且运行良好, 在某

基金项目: 天津市交通运输科技发展计划(交委 2017B-38)

些场合下已经可以代替传统泵站<sup>[2]</sup>。多个预制泵站并联用于压力排水管网尚处于起步阶段。笔者结合天津天狮大学校外配套污水泵站及管网工程的方案比选设计,对多个预制泵站并联用于压力排水设计中的要点进行分析,对于类似的工程具有一定的参考意义。

## 1 项目概况

天狮大学校外配套污水泵站及管网工程是天狮大学综合市政配套工程的一部分,主要为了解决天狮大学校区及武清开发区三期北区的市政污水的收集问题。污水的出路为位于京津塘高速东侧及龙凤河北岸的开发区污水处理厂。结合该工程服务地块内的污水管网设计方案,划定了三个收水区域,分别为武清开发区保税区、天狮大学东区及天狮大学西区。因此,该工程需要新建三个污水泵站,并将污水提升后输送至污水处理厂进行处理。

## 2 工程方案

### 2.1 水量计算

本工程收水范围分为三个区域,具体如图1所示。

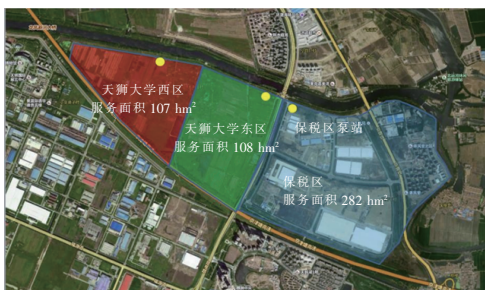


图1 污水分区示意

Fig.1 Schematic diagram of sewage areas

开发区保税区污水泵站服务面积 282 hm<sup>2</sup>。根据保税区规划情况,园区内多为物流仓储企业,用水量较低,因此设计采用的污水比流量为 0.5 L/(s·hm<sup>2</sup>)。据此开发区保税区污水量为 0.141 m<sup>3</sup>/s(均日均时),取总变化系数为 1.56,开发区保税区污水泵站设计污水量为 0.214 m<sup>3</sup>/s(高日高时)。天狮大学东区污水量设计依据为天狮大学规划,东区服务面积约 108 hm<sup>2</sup>,均日污水量为 0.103 m<sup>3</sup>/s,污水泵站按高日高时计算,东区污水泵站设计污水量 = 0.170 m<sup>3</sup>/s(高日高时)。天狮大学西区污水量设计依据为天狮大学规划,西区服务面积约 107 hm<sup>2</sup>,均日污水量为 0.094 m<sup>3</sup>/s,污水泵站按高日高时计算,

东区污水泵站设计污水量 = 0.193 m<sup>3</sup>/s(高日高时)。

### 2.2 泵站形式的选择

传统式污水泵站主要由进水间、格栅间、前池、泵房、管理房等组成,占地较大<sup>[3]</sup>,需要较多绿化衬托,有地面建筑,并且土建费用高,需要人员值守。本项目中开发区保税区泵站位于道路交叉口一侧的绿地内,天狮大学内的两个泵站选址位于沿河景观带内,可供泵站建设的用地十分有限,要实现长时间的人员值守也很困难,因此传统式的泵站无法满足本项目的要求。

一体化预制泵站是近年来引进国内的先进技术,泵站筒体多采用强化玻璃钢材质(GPR),内部集成了水泵、管路、阀门、仪表、控制设备、检修平台等一系列部件,筒体及所有部件均由厂家成套提供。其具有占地面积小、施工速度快、操作维修简便、对周边环境影响小、可实现无人值守等特点,随着设备的不断改良以及自控和远程监控的发展,一体化泵站在某些场合已经可以替代传统式泵站。一体化预制泵站多应用于城镇污水管网长距离输送二次提升、城镇低洼地带桥涵积水段的雨(污)水排放提升、农业水利排灌、居民小区别墅区低洼雨(污)水排放、河道治理的截污污水、风景区水源保护区等分散型污水收集系统,在国内也有很多项目实例。鉴于一体化预制泵站的优势和项目的实际条件及需求,本项目采用一体化预制泵站。

### 2.3 泵站形式的选择

根据相关污水管线资料,三个收水区域末端管线数据如下:

① 开发区保税区末端污水管线管径为 d800 mm,管内底标高为 -0.300 m;

② 天狮大学东区末端污水管线管径为 d600 mm,管内底标高为 1.450 m;

③ 天狮大学西区末端污水管线管径为 d700 mm,管内底标高为 1.600 m。

根据最终确定的污水出路,污水流向为由东至西,三个区域的污水汇入污水主管输送至污水厂。但是三个区域末端管道的管内底标高由东至西逐渐增大,高程关系没有由高至低的承接性,三个区域的污水无法依靠重力流汇集至一处后统一进行提升,因此在龙凤河以南污水主管无法采用重力流方式,只能采用压力流方式,而且三个区域需要各自建设

泵站。

污水主管道穿越龙凤河后,沿规划五路向北,后向东转入规划三路,最终进入污水处理厂。此段管道可采用重力流或压力流两种转输方式,现进行比较分析如下:

方案一:压力转输,污水穿越龙凤河后仍然采用压力输送方式,由于采用压力管道,管径 DN800,管材为污水用球墨铸铁管,管道长度约 970 m,管线可超越污水处理厂进水泵房直接接入细格栅前。

方案二:重力转输,污水穿越龙凤新河后变为重力流,采用重力自流输送方式,管径  $d1\ 000\text{ mm}$ ,管材为钢筋混凝土管,管道长度约 970 m,由于是重力管道,管线接入污水处理厂泵站前池,污水提升后进入后续处理流程。

方案一优点:管道埋深浅,施工方便;压力管线对障碍物适应性强;压力进入污水厂,充分利用了泵站出水压力,避免了能量的浪费;压力管道接口严密,不存在地下水渗透情况。缺点:由于污水压力输送至污水厂细格栅,水量的变化会对污水厂产生一定的冲击。同时污水泵站的扬程需适应污水厂细格栅的高程,泵站扬程增加了约 5~6 m。市政泵站系统能耗增加,污水厂内能耗降低,总体能耗相对于方案二是节约能源的。

方案二优点:重力管道流入污水厂提升泵站前池,与其中重力流污水汇合,可充分利用管道和泵站

前池的调蓄能力,减轻水量变化带来的冲击负荷;三个污水泵站扬程降低,水泵功率降低。缺点:三个泵站出水到达龙凤新河北岸后,水头约为地面以下 1.5 m,但是污水厂泵站前池水位约为地下 6.5 m,两股污水混合后,还需要污水处理厂内泵站再次提升,能量浪费;重力管道,管道越埋越深,因此施工难度比方案一复杂,同时周边管网众多,重力管道适应性差,存在管道交叉避让的问题;三个污水泵站扬程降低,但是增加了后续污水厂提升负担,总体能量损耗增加。

两个方案工程造价相仿,因此不从投资角度比较。从节约能源、管线施工难易方面考虑,本工程采用方案一,即全线采用压力管线。

### 3 工程设计

#### 3.1 泵站设计

三个区域的泵站均采用一体化预制泵站,泵筒直径均为 3 030 mm,三个泵站的泵筒高度、进水管管径、管内底高程见表 1。为了拦截污物,泵站内采用提篮式格栅,需要人工定期清理。为了方便检修,在泵站前均设置了进水闸井,闸井内设置方形镶铜铸铁闸门,配手电两用启闭机。泵站出水管接入压力污水干管前均设置了出水闸井,闸井内有电动及手动蝶阀和微阻缓闭式止回阀,以供检修使用,并防止污水倒灌及压力不平衡时引起的污水倒流(见图 2)。

表 1 泵站基本参数

Tab. 1 Basic parameters of pumping station

项目	水泵设计流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	泵井高度/m	进水管管径/mm	进水管内底高程/m	出水管管径/mm	出水管内底高程/m
保税区泵站	391	9.400	$d800$	-0.300	DN600	4.850
东区泵站	307	7.730	$d600$	1.450	DN400	5.200
西区泵站	348	7.630	$d700$	1.600	DN500	5.050

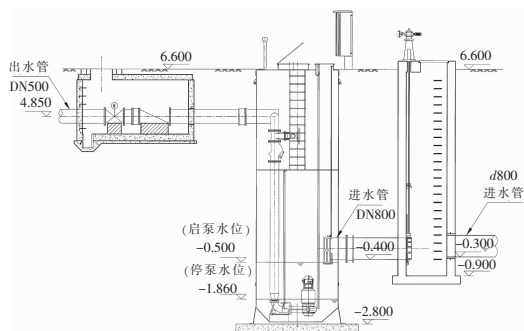


图 2 一体化泵站及进出水闸井

Fig. 2 Integrated pumping station and inlet and outlet sluice well

#### 3.2 管线及附属构筑物设计

保税区泵站出水管管径 DN600(管材为污水用球墨铸铁管),管道从翠亨路龙凤新河大桥下穿越后沿河边向西。在天狮大学规划研究生宿舍 1 期附近承接天狮大学东侧污水泵站来水,汇合后管径增加到 DN700(管材为污水用球墨铸铁管)。污水主管道继续向西,约 1 km 后在天狮大学规划研究生宿舍 2 期西侧承接天狮大学西侧污水泵站来水,汇合后管径增加到 DN800(管材为污水用球墨铸铁管)。污水主管道最终在天狮大学西北角向北通过拉管方式穿越龙凤新河。穿越龙凤新河时,采用



双排 dn710 拉管施工(管材为 PE 管)穿越河道。污水主干管道穿越龙凤新河后,仍然采用压力输送方式,管径 DN800(管材为污水用球墨铸铁管),沿规划五路向北,后向东转入规划三路,最终进入规划污水处理厂,由于采用压力管道,管网可超越污水处理厂进水泵房直接接入污水厂细格栅前,细格栅前池需开设单独进水槽,污水通过非淹没堰后与污水厂经进水泵房提升的污水进水交汇。

为了方便管道检修,压力出水干管每隔约 120 m 及管线角度改变处均设置压力检查井。管线高点设置 DN80 排气阀,排气阀结合压力检查井设置。压力管线主干管穿越龙凤河时采用双管拉管施工过河,两条过河管线前后设置了阀门井,阀门井做法参照标准图集 07MS101—2 市政给水管道工程及附属设施中的地面操作钢筋混凝土矩形立式蝶阀井施做。

### 3.3 水力计算及水泵选型

本工程为多泵站并联出水,存在出水压力不平衡、相互影响的问题。为了降低影响,确保泵站稳定运行,本工程拟采用不同的泵站运行模式。水力计算简图如图 3 所示。

泵站 A 为开发区三期北区污水泵站( $Q = 214$  L/s),泵站 B 为天狮大学东区污水泵站( $Q = 170$  L/s),泵站 C 为天狮大学西区污水泵站( $Q = 193$  L/s),每个泵站内的潜水泵均采用 2 用 1 备的形式。泵站 A、B 交汇点为 P1,泵站 C 和主压力管网交汇点为 P2,主管网污水厂进水点为 P3,设定 P1 恒压,泵站 A、B 根据启泵数量不同恒压运行,泵站 C 恒液

位运行。

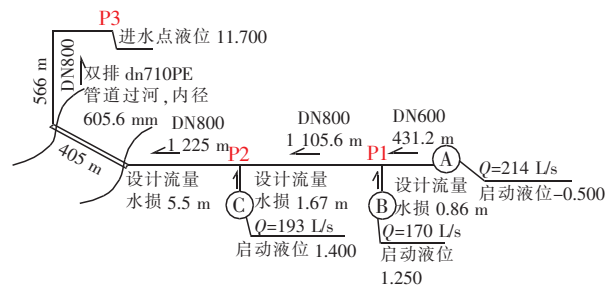


图3 水力计算简图

Fig. 3 Hydraulic calculation diagram

在管网内污水流量最大时(即每个泵站均开启 2 台泵)计算交汇点的总水头值,已知污水厂进水点 P3 处的常水位为 11.7 m,取自由水头 0.5 m,可得进水点 P3 处的总水头为 12.2 m。在该工况下逐段计算交汇点 P1 至 P3 处的沿程水头损失和局部水头损失,求得总和为 7.17 m。由此,可推得恒压交汇点 P1 处的总水头为 19.37 m。在泵站 C 开启 1 台泵及 2 台泵两种工况下,分别计算交汇点 P1 至 P2 处的水头损失,可得 P2 处的总水头分别为 19.27 m 和 17.70 m。

以计算得到的交汇点 P1 和 P2 处的总水头值作为选泵的依据进行进一步计算,计算结果见表 2,由各种工况下水泵出口至交汇点处的水头损失、泵站内部的水头损失及启停泵液位可求得各工况下水泵所需最大扬程。由工作流量及该工况下的最大扬程为条件进行选泵。

三个泵站内的潜水泵均采用 2 用 1 备,各泵站所选单台水泵参数见表 2。

表2 所选水泵参数

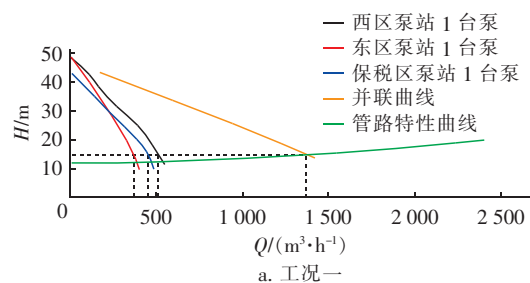
Tab. 2 Selected pump parameters

泵站名称	单泵流量/ ( $L \cdot s^{-1}$ )	净扬程/m	设计扬程/m	水泵台数/台	电机功率/kW	备注
保税区	107	12.1	24.5	2 用 1 备	48	采用变频泵
东区	85	10.35	21.2	2 用 1 备	34	采用变频泵
西区	96.5	10.2	20.6	2 用 1 备	34	采用变频泵

### 3.4 工况分析

由于本工程设计三座污水泵站,每座泵站最多同时运行 2 台水泵,泵站运行初期,进入泵站的污水量较小,每座泵站内可先启动 1 台水泵。由于运行的泵站不同,泵站内运行的水泵台数不同,因此存在多种运行工况,由于天狮大学用水时段集中,东、西区泵站的运行情况具有协同性,在工况设置时东、西区泵站开启数量相同的水泵,各种工况下的并联工

作曲线见图 4。



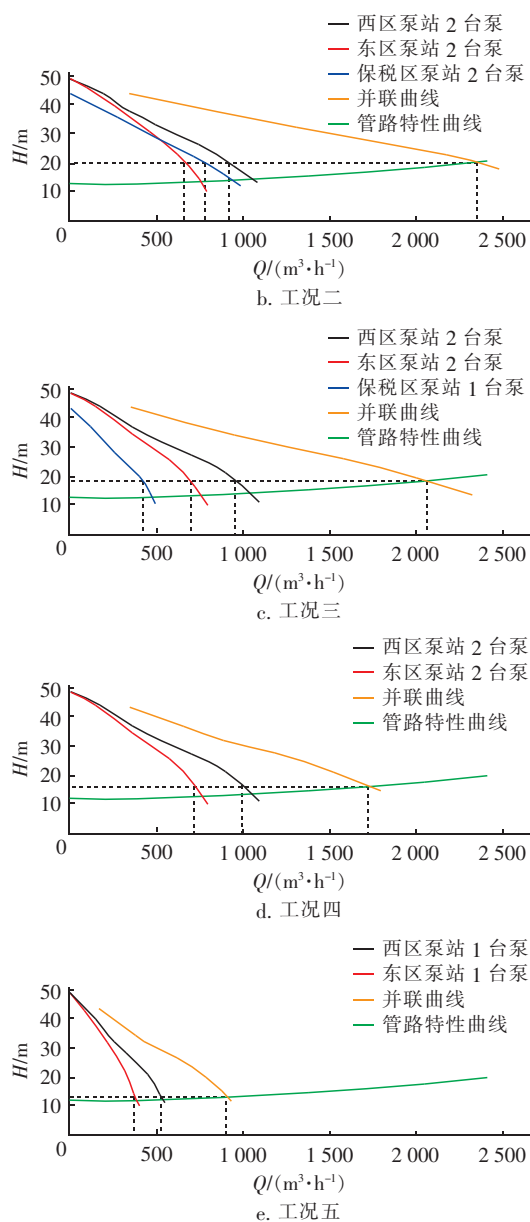


图4 各工况特性曲线

Fig.4 Characteristics curve of each working condition

不同工况下各泵站选定水泵的运行状态见表3。由于各泵站水泵扬程均按照设计水量三组泵站同时开启情况下计算,导致在小于设计水量工况下,水泵的实际工况点相对设计工况点发生偏离,向大流量、低扬程工况点偏移,导致电耗增加,存在运行过载的风险,导致断电停泵。以西区泵站水泵为例,在图4工况二、三、四情况下,水泵运行状态良好,在工况一及工况五情况下,实际流量远超设计流量,水泵所需功率超过额定功率,电机超载。因此,在方案中将所有水泵设置为变频泵,通过变频调节适应复

杂的运行工况,节省电耗,利于泵站组安全稳定运行。

表3 各工况下水泵运行情况

Tab.3 Pump operation under different working conditions

项目	西区泵站 工况点	东区泵站 工况点	保税区泵站 工况点
工况一	$Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 14.85 \text{ m}$	$Q = 367 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 14.85 \text{ m}$	$Q = 448 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 14.85 \text{ m}$
工况二	$Q = 457 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 19.88 \text{ m}$	$Q = 329 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 19.88 \text{ m}$	$Q = 390 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 19.88 \text{ m}$
工况三	$Q = 477 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 18.10 \text{ m}$	$Q = 346 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 18.10 \text{ m}$	$Q = 418 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 18.10 \text{ m}$
工况四	$Q = 495 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 16.5 \text{ m}$	$Q = 358 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 16.5 \text{ m}$	—
工况五	$Q = 522 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 13.5 \text{ m}$	$Q = 375 \text{ m}^3/\text{h}$ $H = 13.5 \text{ m}$	—

### 3.5 泵站控制

泵站控制系统仪表安装位置见图5。为了实现液位自动启停,在3个预制泵站水泵井内各设置1个静压式液位计。为了实现出口压力恒定,在泵站A和泵站B总出口管路上各设置1个压力传感器,为了进行压力监测,在泵站C总水管路上也设置1个压力传感器。上述静压式液位计和压力传感器信号均接入泵站的水泵控制柜。为了调试和监测压力变化,建议在泵站A、B交汇点P1以及泵站C和主管路交汇点P2处各设置一个压力传感器,接入就近的泵站B和泵站C的就地水泵控制柜。本工程采用高精度MIK-P-300压力传感器,量程范围0~0.6 MPa,供电方式为9~30 VDC,原始信号经高性能电子放大器转换成4~20 mA统一输出信号,测量精度为0.5%。

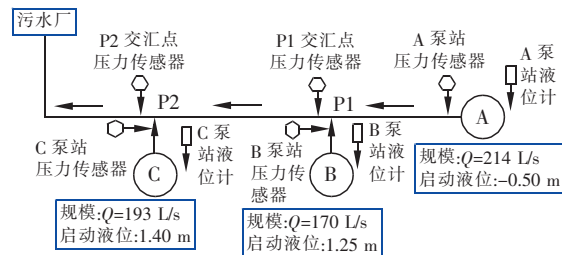


图5 控制系统仪表安装位置

Fig.5 Instrument position of control system

三个泵站出口管路并联接入市政压力管网,因此设定泵站A和B出口管路汇合点处的压力保持平衡,这样泵站A和B才能正常运行和排水。泵站

A 和泵站 B 出口都采用变频恒压控制,从而使两个泵站的压力在出口管路汇合点处保持平衡。两个泵站的出口恒压设定值 = 汇合点 P1 处需要的压力 + 汇合点 P1 处到泵站的管路压力损失。泵站 C 采用机动运行,当泵站 A、B 出水压力发生变化时,泵站 C 将会通过变频调速,自适应出水压力,确保泵站的正常运行。当 P2 点的压力低于泵站 C 的输出压力时,泵站 C 的系统曲线变化,总扬程需减小;当 P2 点的压力高于泵站 C 的输出压力时,泵站 C 的系统曲线变化,总扬程需增大。泵站 A、B 的出口压力设定值及泵站 C 的恒定液位值均需要在调试及运行阶段根据实际情况进行调整。通过铺设信号光缆将三个泵站的就地控制柜的数据传输到中控室,在中控室进行统一监测、控制和调度,整个系统的基本控制逻辑见图 6。

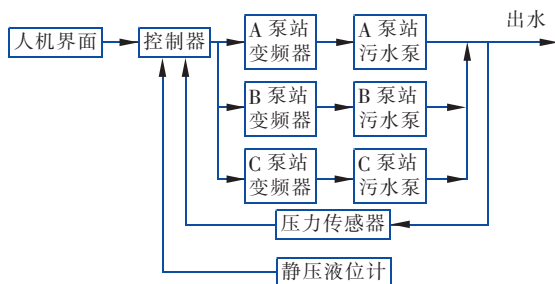


图6 控制逻辑

Fig. 6 Basic control logic

#### 4 运行效果及问题分析

该工程投入试运行以来,工作状态基本良好,由于天狮大学校区已经投入使用,师生用水时段集中,且水量短时较大,运行工况接近工况四、五,通过水泵变频调控可以调整运行实际工况点,优化水泵运行状态。由于保税区泵站服务范围内主要为仓储物流企业,用水量小,用水时段不集中,导致保税区泵站存在频繁启停现象,通过将启动方式改为变频

启动并适当提高水泵的启动液位,将水泵开启次数控制在 6 次/h 左右。

#### 5 结论

天狮大学校外配套污水泵站工程根据现场实际情况,采用多个一体化预制泵站并联提升各区域污水的方案,在泵站控制中采用了泵站出口压力反馈控制调节的方式,解决了多泵站并联的压力平衡问题,对于类似工程具有一定参考意义。

#### 参考文献:

- [1] 任亮. 一体化预制泵站在雨水泵站中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2014(2): 98 - 100.  
REN Liang. Application of prefabricated integrated pumping station in rainwater pumping station[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2014(2): 98 - 100 (in Chinese).
- [2] 尉鉴洋, 卢方, 徐海峰, 等. 可组装一体化钢制移动泵站在排水系统中的应用[J]. 中国给水排水, 2012, 28(8): 106 - 108.  
WEI Jianyang, LU Fang, XU Haifeng, et al. Application of assembled integrated steel mobile pumping station to drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(8): 106 - 108 (in Chinese).
- [3] 张建良, 陆宗雷. 排水泵站类型的选择及应用探讨[J]. 中国给水排水, 2016, 32(12): 38 - 40.  
ZHANG Jianliang, LU Zonglei. Discussion on type selection and application of pumping station[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(12): 38 - 40 (in Chinese).

作者简介:林伟强(1990 - ),男,天津人,硕士,工程师,从事给排水及环境工程专业设计工作。

E-mail: 498580159@qq.com

收稿日期: 2020 - 03 - 17

修回日期: 2020 - 04 - 15

(编辑:孔红春)