

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.22.013

负压排水技术在沿河村居污水收集中的应用

范雪美, 黄辉, 王磊, 郭进军

(广州市设计院集团有限公司, 广东 广州 510620)

摘要: 随着城市化进程加速和极端气候事件频发,传统重力流排水系统面临着日益严峻的挑战。广州市江鸥村农村生活污水巩固提升工程通过对重力流和负压两种污水收集系统的适用性、建设难度、运行维护及综合经济效益等方面进行对比分析,确定在上涌片区采用室外负压排水技术,以解决沿河村居污水收集困难的问题。采用AAO处理工艺,新建de110~160 mm负压收集管约8 km、规模为130 m³/d的负压站1座。结合该工程特点,对负压收集器及管网、负压站及智慧控制系统等进行针对性设计,并对负压系统进行精确的水力计算,避免后期影响正常运行。项目实施后,江鸥村平均污水收集率从17.7%提高至85.0%,可为农村生活污水治理工作提供参考。

关键词: 农村生活污水; 负压排水技术; 沿河村居; 污水收集系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)22-0078-08

Application of Negative-pressure Drainage Technology in Sewage Collection in Rural Riverine Villages and Communities

FAN Xue-mei, HUANG Hui, WANG Lei, GUO Jin-jun

(Guangzhou Design Institute Group Co. Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization and the increasing frequency of extreme climate events, traditional gravity-flow drainage systems are encountering growing challenges. A comparative analysis was conducted on the applicability, construction complexity, operational maintenance requirements, and comprehensive economic benefits of gravity-flow and negative-pressure sewage collection systems belonged to a rural domestic sewage consolidation and enhancement project in Jiang'ou village, Guangzhou. Based on this analysis, outdoor negative-pressure drainage technology was selected for implementation in Shangyong area to effectively address the challenges associated with sewage collection in riverine villages and communities. A new negative-pressure station with a capacity of 130 m³/d was constructed using the AAO treatment process, incorporating approximately 8 km of negative-pressure collection pipelines with diameters ranging from de110 mm to de160 mm. Based on the specific characteristics of the project, customized designs were developed for the negative-pressure collection unit, pipeline network, negative-pressure station, and intelligent control system in accordance with site-specific conditions. Precise hydraulic calculations were performed to ensure the reliable and efficient operation of the negative-pressure system during long-term service. Following the project implementation, the average sewage collection rate in Jiang'ou village increased significantly from 17.7% to 85.0%, offering a valuable reference for the management of rural domestic sewage.

通信作者: 范雪美 E-mail: fanxuemei@gzdi.com

Key words: rural domestic sewage; negative-pressure drainage technology; riverine villages and communities; sewage collection system

随着城市化进程加速和极端气候事件频发,传统重力流排水系统面临着日益严峻的挑战。部分老旧城区、城乡接合部或农村等存在管道改造困难、地势平坦或低洼地区排水不畅、涌边挂管耐久性及严密性较差等问题,促使人们寻求更加灵活、高效和环境友好的污水收集方案。在此背景下,负压排水系统作为一种创新的污水收集技术,凭借其独特的技术优势,在全球范围内逐渐受到关注和应用推广。目前负压排水技术在国际上的应用呈多元化,由最初的度假村、岛屿、分散社区等特殊场景,逐步扩展到历史古镇保护更新,低洼、平坦沿海或河网密集地区,新建生态城、低碳社区,大型基础设施项目(如机场、大型场馆)以及老城区局部重力流系统改造或补充等。国际负压排水技术标准与产业链也较为成熟,拥有完善的设计规范、设备制造标准、施工验收规程和运维管理体系,形成了稳定的设备供应商、设计咨询和工程服务产业链。而其在国内的应用主要集中于具有典型挑战性或作为生态标杆的“点”状项目,目前国内政策与标准正逐步完善,研究重点聚焦在本土化适应性与经济性,且更侧重于系统优化设计方法、关键设备国产化与成本控制、运行维护经验总结及全生命周期成本效益分析,但其核心设备(如真空泵、真空阀)的国产化水平和可靠性仍需提升,专业的设计、施工和运维队伍仍在建设中,实现该技术的大规模推广仍是挑战。

负压排水系统可用于解决地形复杂、建筑密集、街道狭窄等导致的污水收集盲区问题,如天津市宁河区冯家台村项目、邯郸市永年区南界河店村项目^[1]均采用该系统。以广州市江鸥村农村生活污水巩固提升工程为例,因地制宜提出沿河村居的负压排水系统收集方案,可供类似工程参考。

1 沿河村居污水收集问题

广州南部水网密布,村居被水系包围,位于市政管网无法覆盖的边缘地带。沿河村居一般傍水线性分布,被河堤路隔开,分为迎水面与背水面。迎水面的生活污水直排河涌,背水面由于河堤路的阻隔,生活污水就近排入池塘、沟渠或农田。沿河

村居生活污水具有污染物种类简单、浓度低、水量大的特点,其收集主要问题如下:①污染源多且密集,迎水面河涌直排口标高低(比主巷道低1~2 m)。②建筑物密集(房屋间距0.5~1.0 m),屋前大部分为巷道(巷宽1~2 m);地下管线缺乏规划,污水管可利用的地下空间受限。③房屋基础差,屋前巷道窄,管道施工易对房屋基础造成破坏。④地质土层为素填土层,土体中孔隙空洞多,土质松散,遇水易湿陷,稳定性较差而渗透性较强,地基基础开挖时易塌落,并且由于街道狭窄,支护设备无法进入。

综上,广州沿河村居的污水治理工程一般难以采用反接方法将河涌直排口改造至屋前巷道,通常以河内建设架管的形式收集生活污水,影响河涌的通航与排洪能力。此外,架管沿河道曲折修建,并长期位于河涌水位以下,会出现较多渗漏点,导致河水汇入污水管网。

2 负压污水收集系统的形式与技术特点

负压污水收集系统利用真空动力源,使管道内形成负压状态,污水在负压作用下从各个排放点被抽吸进入管道,并输送至污水处理设施。负压污水收集系统由污水收集器、负压管道、负压站等组成,具体见图1。

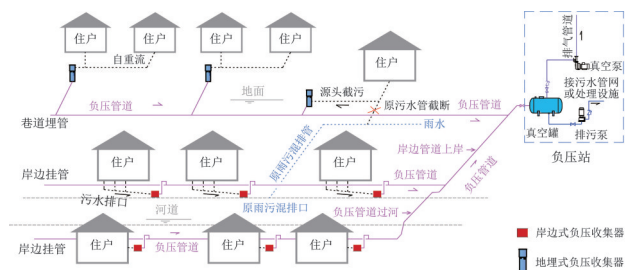


图1 负压污水收集系统示意

Fig.1 Schematic of negative-pressure sewage collection system

负压污水收集系统在各个排水点设置污水与负压管道相连接的负压收集器,当污水液位达到设定高度时,负压收集器中的负压阀自动打开,以大气压与管内负压产生的压差为推动力,使污水随空气急速流向负压站。

对于背水面需深埋污水管的情况:由于负压管道具有负压抽吸的技术特点,使管道埋深可由重力

管的3~4 m(需采用钢板桩支护)降至1 m(无需支护),减少对房屋基础的破坏;由于负压管道具有高流速的特点,使污水主管管径由DN300降至de110~160 mm,可有效降低开挖面宽度至0.5 m。

对于迎水面直排口无法反接的情况:由于负压系统具有负压抽吸的特点,污水管可根据迎水面直排口密集且标高低的复杂环境灵活布置;同时,沿河负压管道系统采用PVC负压管、岸边式负压收集器,具有优秀的密闭性,能适应低位置排口(位于常水位以下)及潮涨潮落的不利环境条件。

综上,负压污水收集系统在解决沿河密集建筑难以穿越民房进行直排口反接、巷道狭窄难以深开挖、河涌通航无法向河内扩建等南方典型沿河村居污水收集困难的问题上具有优势。

3 应用案例

3.1 工程概述

江鸥村位于广州市番禺区石楼镇,被江鸥沥和狮子洋水道所包围(均为一类河涌),辖区面积约5.87 km²,包括江兴、上涌、下涌、江鸥尾4个片区,常住人口4 218人。村内民房主要分布于河涌两岸(河涌宽12~20 m,有通航需求),河堤凹凸不齐,背水面为地势较低的农田林地。

江鸥村现状平均污水收集率为17.7%,排水体制以合流制为主,未收集的污水直排进入池塘或河涌。其中,江兴片区常住人口1 013人,现有规模30 m³/d的厌氧池,污水收集率10%;上涌片区常住人口1 635人,现有规模30 m³/d的厌氧池及40 m³/d的AAO一体化设备,污水收集率20%;下涌片区常住人口1 091人,现有规模30 m³/d的厌氧池,污水收集率10%;江鸥尾片区常住人口479人,现有规模60 m³/d的AAO一体化设备,污水收集率80%。

通过新建DN200~500重力流污水管约15 km、de110~160 mm负压收集管约8 km、1座负压站(规模为130 m³/d)、12座一体化泵站(9座规模为25 m³/d、3座规模为60 m³/d)、1座分散式污水处理设施(规模为150 m³/d),改造2座分散式污水处理设施(规模分别为120、130 m³/d)等工程的实施,将江鸥村平均污水收集率提高至85%。其中,新建或改造后的污水处理设施出水执行广东省《农村生活污水处理排放标准》(DB44/2208—2019)中一级标准(简称省农污一级)。

3.2 负压污水收集系统总体设计

3.2.1 负压污水收集系统平面设计

江鸥村生活污水治理总平面设计见图2。

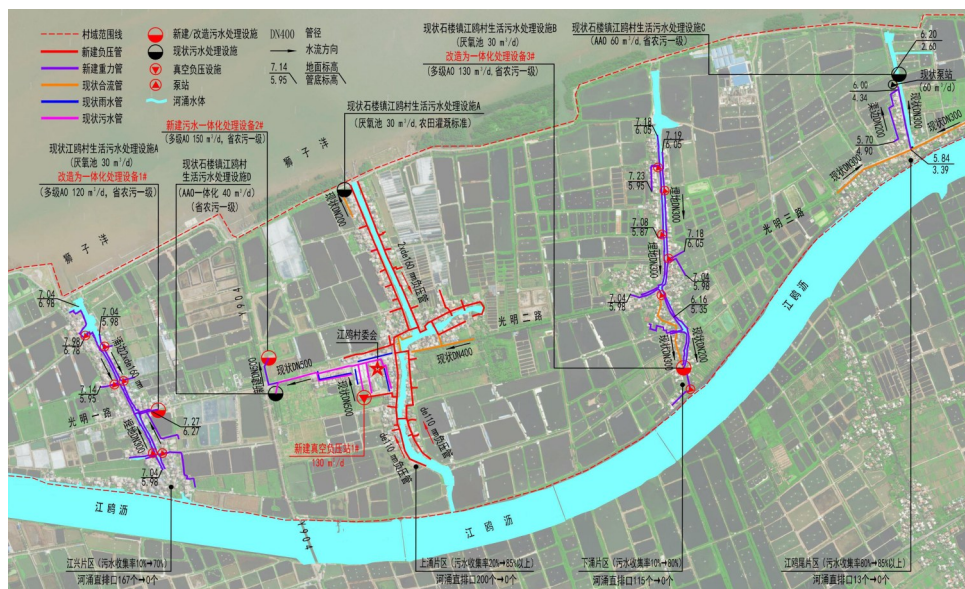


图2 江鸥村生活污水治理总平面设计

Fig.2 General plan design of domestic sewage treatment in Jiang'ou village

江鸥尾、下涌、江兴片区新建DN200~500污水管约14 km,12座一体化泵站。上涌片区沿村道新建DN200~500污水管约1 km,沿河涌新建

de110~160 mm负压收集管约8 km,重力流涌边出户管/重力流埋地出户管接入岸边式负压井/埋地式负压井,再通过负压收集管道输送至规模为130 m³/d

的新建负压站,而后输送至污水处理设施。

与江鸥尾、下涌、江兴片区重力流排水系统相比,上涌片区针对性地采用负压排水方案,负压主管道选用气密性强的PVC管,埋深由重力管道的1.0~2.5 m降至0.5~0.8 m,无需新建一体化泵站。

3.2.2 负压污水收集系统竖向设计

① 负压管道按照地势由高到低布设,坡向负压站。

② 该项目地形较为平坦,考虑管道长度较长,主管按最小坡度0.2%敷设。

③ 负压系统的污水提升高度受设备条件、水头损失等因素影响,为保障系统稳定运行,累计提升不超过5 m。如局部高程变化较大,可采用几次小提升代替1次大的提升,该项目的负压排水管采用锯齿型敷设。

负压排水铺设示意图3。

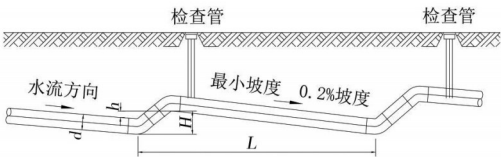


图3 负压排水管铺设示意

Fig.3 Schematic of negative-pressure drainage pipeline laying

④ 为保证负压管道在合适距离内的气水混合比,应避免单次提升高度过大,每次提升高度宜为0.2~0.4 m,两次提升之间最小距离为6 m。

⑤ 当地面先下坡而后又上坡时,在坡度变化处的高程布置需缓解壅水。

3.2.3 负压管道水力计算

① 最大流量和管道直径

负压污水收集系统采用最大流量方式确定管

径,具体见表1^[2]。此次负压系统服务人口1 635人,设计流量6.64 L/s,选用最大主干管的管径为de160 mm,为防止管道堵塞,次干管管径为de110 mm。

表1 最大流量和管道直径

Tab.1 Maximum flow rates and pipeline diameters

管道直径/mm	90	110	140	160	200	250
最大设计流量/(L·s ⁻¹)	1.75	2.23	5.10	6.67	13.33	23.33

② 管道压力损失计算

负压管网中的压力损失由静态提升损失、动态提升损失、摩擦损失、加速损失和局部损失组成^[3-4],其中加速损失和局部损失相较于其他损失很小,可忽略不计。该工程负压污水收集系统运行时的真空度为6~7 m,真空界面开启所需真空度约1.5 m,负压系统压力损失可按式^[3-4]计算:

$$h_s = h_i - d_i \quad \Sigma h_s \leq 4.5 \text{ m} \quad (1)$$

$$h_d = 0.7h_i \quad \Sigma h_d + \Sigma h_f \leq 4.5 \text{ m} \quad (2)$$

式中: h_s 为静态提升损失,m; h_d 为动态提升损失,m; h_i 为管道提升高度,m, $i=1,2,3,\cdots$; d_i 为管径,m, $i=1,2,3,\cdots$; h_f 为摩擦损失,m,按修正海曾-威廉公式计算。

负压排水系统水力计算见图4,结果见表2。经计算, $\Sigma h_s=3.45 \text{ m}<4.5 \text{ m}$, $\Sigma h_d+\Sigma h_f=4.45 \text{ m}<4.5 \text{ m}$,均满足条件。

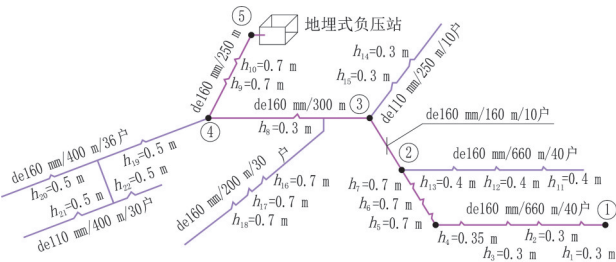


图4 负压污水收集系统水力计算示意

Fig.4 Schematic of hydraulic calculation of negative-pressure sewage collection system

表2 负压排水管道水力计算结果

Tab.2 Hydraulic calculation result of negative-pressure drainage pipelines

管道编号	人口数/人	设计流量/(L·s ⁻¹)	干管管长/m	干管直径d/mm	提升级数	提升高度h _i /m	静态提升损失h _s /m	动态提升损失h _d /m	摩擦损失h _f /m
①~②	383	1.56	680	160	7	3.35	2.23	2.35	0.09
②~③	798	3.24	140	160	0	0	0	0	0.07
③~④	1 109	4.50	300	160	1	0.30	0.14	0.21	0.28
④~⑤	1 635	6.64	250	160	2	1.40	1.08	0.98	0.48
合计	1 635	6.64	1 370	160	10	5.05	3.45	3.54	0.92

3.2.4 智慧控制系统设计

负压排水系统建成后,其运维管理工作主要集中在负压站与负压管网两部分。该系统采用智能化管理平台,相较于传统重力流污水收集系统,能够有效降低运维工作的难度与强度。该智慧控制系统基于无线网络与云服务器架构,通过无线监控模块实现液位、压力及负压站运行状态等数据的实时采集以及双向通信。系统具备报警提示、远程控制负压阀启闭、修改部分运行参数等功能。智慧控制系统见图5。

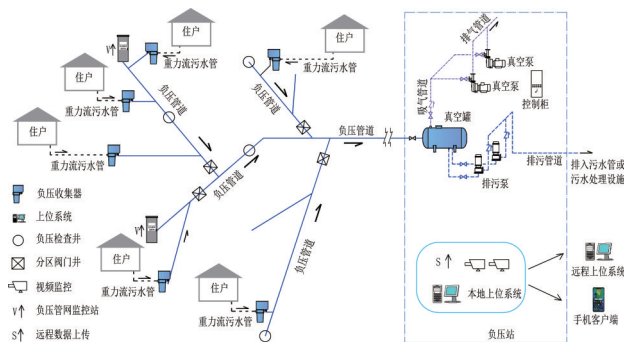


图5 智慧控制系统示意

Fig.5 Schematic of intelligent control system

该工程采用配气系统以优化污水输送过程。该系统配备无线监控模块,并与负压管道连接。当大水量集中排放时,管道内易形成“水柱塞”(1个连续的满管段),导致流通不畅,负压强度下降至预设

最低值,从而影响负压输送效果。一旦负压低于设定阈值,监控模块将自动开启配气系统中的负压阀,使空气按设定时间进入负压管道。借助气体推动作用,管道内积存的水体被输送至负压站,管道负压随之逐步恢复。该过程可在短期内重复多次,直至管道负压恢复至设定范围。若在设定时间内负压未能恢复,通常表明存在管道破损等其他故障。此时,配气系统在循环工作一定周期后将自动停止,并通过APP推送相应点位的报警信息,便于维护人员定位检修。此外,该工程在负压站设置了远程报警与摄像头监控装置,可实时掌握负压站运行状态并接收报警信号,进一步提升系统运维的及时性与可靠性。

3.3 负压污水收集系统节点设计

3.3.1 负压站设计

负压站主要由真空罐、真空泵、污水泵及控制柜等构成。污水经负压管道收集并输送至真空罐内,当液位上升至预设的排污阈值时,污水泵自动启动排污;待液位下降至低液位设定值时,污水泵随即自动停止运行。真空泵和污水泵均配备2台,常规工况下,2台泵交替运行;在用水高峰时段,若1台泵持续运行达到设定时间,另1台泵将自动启动,转为2台同时运行模式。负压站的设备规格如表3所示。

表3 负压站设备规格

Tab.3 Specifications of negative-pressure station equipment

项目	性能参数	数量	备注
真空罐	碳钢材质,1套, $V=10\text{ m}^3$,尺寸 $\varnothing 1\ 800\text{ mm}\times 4\ 000\text{ mm}$	1套	卧式
真空泵	单台 $Q=400\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=11\text{ kW}$	2台	交替启动
污水泵	单台 $Q=65\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=150\text{ kPa}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$	2台	交替启动
控制柜	尺寸 $600\text{ mm}\times 800\text{ mm}\times 2\ 000\text{ mm}$	1套	AC,380 V
配套管件阀门及仪器仪表	阀门、仪表、线缆、穿线管、法兰、管材等	1套	

① 真空泵

真空泵抽气量的计算见下式^[3]:

$$Q_v = m_{np} Q_{\max} \beta \quad (3)$$

式中: Q_v 为真空泵抽气量, m^3/h ; m_{np} 为负压管道中气液比,理论取6,结合实际工程应用,该项目取10; $Q_{\max}$ 为系统设计流量, m^3/h ; β 为安全因子,取1.1。

经计算, $Q_v=263\text{ m}^3/\text{h}$ 。负压站选择2BV系列水环式真空泵2台,1用1备,单台抽吸能力为 $400\text{ m}^3/\text{h}$,极限压力为 -0.098 MPa 。

② 真空罐

真空罐工作容积的计算见下式^[3]:

$$V_0 = T Q_{\min} (Q_{\max} - Q_{\min}) / Q_d \quad (4)$$

$$Q_d = Q_{\max} / PF \quad (5)$$

$$Q_{\min} = Q_d / 2 \quad (6)$$

式中: T 为1个排污循环时间,min(在最小流量情况下,排污泵1 h内至多启动4次,相当于15 min为1个排污循环); V_0 为真空罐工作容积, m^3 ; $Q_{\min}$ 为最小流量, L/s ; Q_d 为平均日流量, L/s ; Q_a 为真空罐流量限值, L/s ; PF 为峰值因子,即生活污水流量总变

化系数,取 2.2。

经计算, $V_0=2.3\text{ m}^3$,真空罐有效容积 V_{et} 是 V_0 的 3 倍,即 $V_{\text{et}}\approx 7\text{ m}^3$,考虑留有余量,故取 10 m^3 。

③ 污水泵

污水泵的排量应不小于 Q_{max} ,即 6.64 L/s ,同时应兼顾抗堵塞性能需求,选择 WQ65-15-5.5 型号的排污泵,配管内径为 102 mm 。考虑备用,共 2 台。

负压站的平、剖面示意图见图 6。

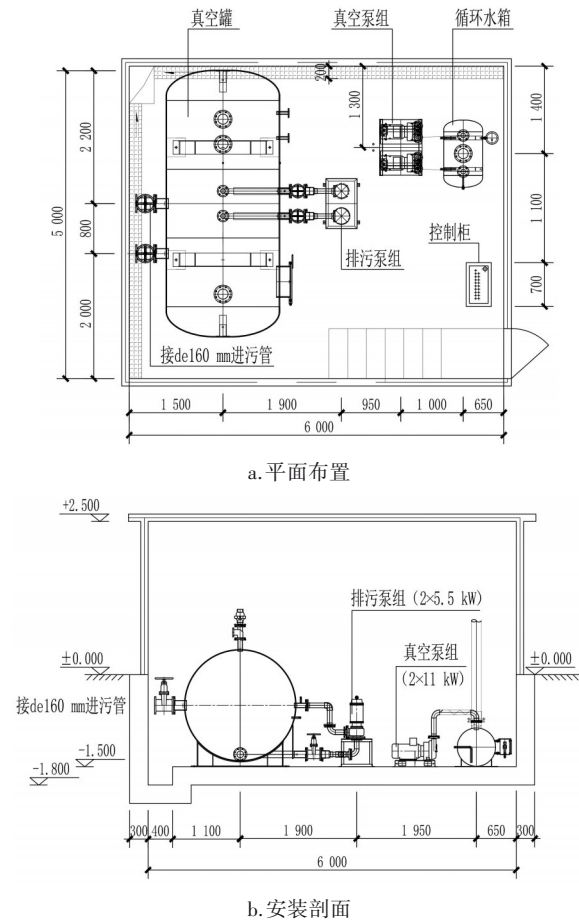


图 6 负压站平、剖面示意

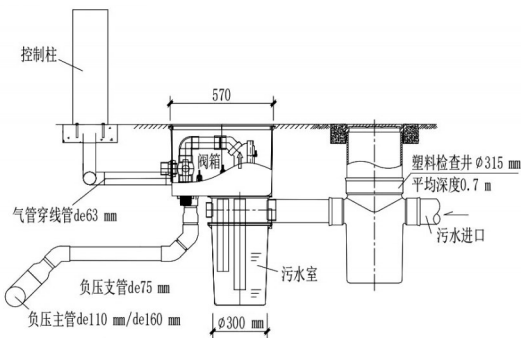
Fig.6 Plan and cross-section schematics of negative-pressure station

3.3.2 负压收集器设计

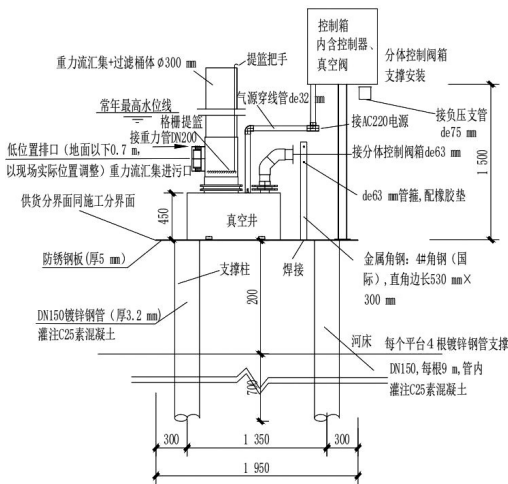
该工程采用地埋式与岸边式收集器相结合的方式收集村居污水。负压收集器的大样及实物示意图见图 7。

负压收集器的工作压力范围为 $-0.07\sim-0.04\text{ MPa}$,设计排水流量为 $2\sim 4\text{ L/s}$,并配备大流量 $\text{de}63\text{ mm}$ 负压阀,具有良好的抗堵塞性能。在非沿河区域,排污口采用地埋式负压井,通常每 2~3 户的排口或化粪池位置设置 1 台负压收集器。对于沿河区

域,则采用岸边式负压收集器,该设备安装于沿岸的桩基平台上,利用污水自重汇集至收集器内。岸边式收集器具有尺寸小、对河道行洪影响小的特点,其收集箱采用耐老化、耐腐蚀的不锈钢材质,密闭性能优异,能够有效适应低位排口及潮汐、涨水等不利环境。此外,该工程沿污水管道同步敷设电缆并配备适配器,可同时满足智慧监控系统的供电需求。



b. 地埋式收集器实物





d. 岸边潜水式收集器实物

图 7 负压收集器大样及实物示意

Fig.7 Detail and physical schematics of negative-pressure collection units

3.3.3 其他节点设计

- ① 负压检查口
- 在主管道末端宜设置负压检查口。检查口直径 $\geq 300\text{ mm}$,该处设置检查管,管口处设阀门。可定期(2~6个月)开启阀门,使气流高速进入负压管道,对管道进行冲刷清扫。
- ② 化粪池及隔油池
- 卫生间、厨房应分别设置化粪池、隔油池进行预处理,而后污水才可重力流入收集器,以防止负压管道堵塞。

3.3.4 系统密闭性测试

在进行负压收集管道系统的密闭性测试前,须关闭所有阀门并封堵管道端口,确保系统形成封闭环境。随后,将测试用真空泵连接至待检测管段,将其内部抽真空至压力表显示 -0.03 MPa ,该负压状态需至少维持 30 min 。在此基础上,继续观察 4 h ,要求此期间的压力变化不得超过初始测试压力的 5% [4]。

4 负压污水收集系统的综合分析

- ① 负压排水系统建设及运维经济分析
- 广州市番禺区石楼镇江鸥村巩固提升工程的负压排水系统新建负压收集管 $d\text{e}110\sim 160\text{ mm}$ 约 8 km ,1座规模为 $130\text{ m}^3/\text{d}$ 的负压站,建设期综合单价为 $2\,620\text{ 元}/\text{m}$;运行期综合单价(不考虑管网系统大修费用)考虑电费、运维人员工资、系统维修费,为 $2.07\text{ 元}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。运维费用计算结果见表4。

表 4 运维费用计算结果

Tab.4 Calculation result of operation and maintenance cost

项目	明细	费用
负压系统运行能耗	根据总用电功率计算	10 298.48 元/a
运维人工投入	运维人员 1 人	48 000 元/a
设备投入	系统易损易耗件	40 000 元/a
合计		98 298.48 元/a
运维费用		2.07 元/($\text{m}^3\cdot\text{d}$)

- ② 负压排水与重力流排水综合比较分析
- 在村居沿河建设、污水直排河涌的情况下,对负压排水与重力流排水进行比较分析,具体见表5。负压系统具有管径小、挖深浅($<1\text{ m}$)、无需设置检查井、灵活应对障碍物及起伏地形、对周边环境影
- 响小的特点,适用于沿河村居截污系统 [5-6]。与传统重力流排水相比,负压污水收集系统具有建设成本与运维费用较低的优势。

表 5 负压排水与重力流排水比较分析

Tab.5 Comparative analysis of negative-pressure and gravity-flow drainage technologies

项目	负压排水	重力流排水
管道及检查井	主管管径小;负压收集器后无需设置检查井,管道每隔 200 m 左右设置阀门井(直径 300 mm)	需设置涌边挂管或顶管,埋地主管管径较大;管道转弯处及室外管线每隔 30 m 左右需设检查井
泵站	负压站服务面积可达 $1\sim 3\text{ km}^2$	为保证涌边污水架管敷设在常水位以上,需间隔 $100\sim 200\text{ m}$ 设置1座泵站
施工难度	挖深浅($<1\text{ m}$),开挖量小;灵活应对障碍物、起伏地形;负压排水管道和负压收集器可采用埋地、挂管、明敷等形式,施工现场适用性强	单一向下的埋设坡度,埋深较大($1\sim 2\text{ m}$);开挖量大;如遇高差大的区域,需增设局部污水提升泵,增加造价及运维难度
环境影响	全密闭系统,无污水渗漏和臭气外逸,施工开挖范围小,对周边环境影	埋地管道接口易发生沉降及渗漏,施工开挖面大,对周边房屋影响较大
建设期综合单价/(元 $\cdot\text{m}^{-1}$)	2 000~3 000	4 000~5 000
后期运维	对管网密闭性要求较高,可通过移动客户端手机APP异地远程接收报警信息,第一时间获悉系统运行状况,维护费用为 $2\sim 3\text{ 元}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$	需对多座泵站进行维护,定期由管网团队采用专业设备清掏疏浚,维护费用为 $3.5\sim 4.5\text{ 元}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$

5 结语

相较于传统重力排水模式,负压排水系统具有管径小、挖深浅、无需设置检查井、施工难度小、工期短、污水收集率高、密闭无溢出及渗入等诸多优势。负压排水系统在沿河村居截污工程中的大规模顺利应用须确保以下几个重要环节:

① 前期广泛深入的调研,包括应收尽收的排口数据、外界水文信息等,为后续设计方案提供有力、准确与合理的支撑;

② 工程各环节的实施须符合现行负压收集系统相关规范,保障工程保质保量完成;

③ 建议配备智慧化的运维管理功能,其优势在于系统远程可监控,提高运维效率的同时也及时排除安全隐患。

参考文献:

- [1] 刘天顺,张国威,刘志生. 负压排水系统在农村污水收集中的应用[J]. 中国给水排水, 2022, 38(24): 64-71.
LIU Tianshun, ZHANG Guowei, LIU Zhisheng. Application of negative pressure drainage system in rural sewage collection [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(24): 64-71(in Chinese).
- [2] 张健,李孟飞,李萌,等. 负压排水技术在乡村污水收集中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 66-71.
ZHANG Jian, LI Mengfei, LI Meng, et al. Application of negative pressure (vacuum) drainage technology in collection of rural sewage [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 66-71(in Chinese).
- [3] 温兴锁. 真空排水系统水力参数及关键设计的研究

[D]. 武汉:华中科技大学,2011: 23-26.

WEN Xingsuo. Study on Hydraulic Parameters and Key Design in the Vacuum Sewer System [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011: 23-26(in Chinese).

- [4] 陈嫣,邹伟国,王磊磊. 室外污水负压抽吸技术在水乡城镇的应用[J]. 给水排水, 2013, 39(4): 98-102.
CHEN Yan, ZOU Weiguo, WANG Leilei. Application of outdoor drainage negative pressure suction system in water town [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(4):98-102(in Chinese).
- [5] 林宇澄. 负压排水系统与重力流排水系统技术经济分析[J]. 工程技术研究, 2024, 9(10): 50-52.
LIN Yucheng. Technical and economic analysis of negative pressure drainage system and gravity flow drainage system [J]. Engineering and Technological Research, 2024, 9(10): 50-52(in Chinese).
- [6] 贾海峰,王军,张健,等. 居住区负压源分离系统与传统排水系统的比较[J]. 中国给水排水, 2014, 30(11): 131-134.
JIA Haifeng, WANG Jun, ZHANG Jian, et al. Comparison between vacuum source separation eco-sanitation system and traditional drainage system in a residential area [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(11): 131-134(in Chinese).

作者简介:范雪美(1980-),女,广东广州人,本科,高级工程师,主要从事给水排水规划设计、工程设计和咨询管理等工作。

E-mail:fanxuemei@gzdi.com

收稿日期:2024-08-29

修回日期:2025-05-30

(编辑:沈靖怡)

加强生态保护和修复,
提升生态系统多样性、稳定性、持续性