

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.012

负压排水系统在农村污水收集中的应用

刘天顺¹, 张国威¹, 刘志生²

(1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300384; 2. 吉林建筑大学 市政与环境工程学院, 吉林 长春 130118)

摘要: 针对部分农村地区地形复杂、建筑密集、街道狭窄、道路硬化程度高等特点,利用负压排水技术解决重力流排水系统盲区内的污水收集问题。对农村负压排水系统的组成及主要设备进行了系统阐述,总结分析了影响农村地区室外负压管网设计参数选取的因素,提出了大片区负压排水系统智慧化运维管理的必要性,并结合实际工程案例进行了分析。最后针对负压系统中的施工建设、合流系统运行策略、冬季运行及建设运行成本等提出了相应建议。

关键词: 农村污水; 负压排水系统; 气液比; 黑灰分离

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0064-08

Application of Negative Pressure Drainage System in Rural Sewage Collection

LIU Tian-shun¹, ZHANG Guo-wei¹, LIU Zhi-sheng²

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300384, China;

2. School of Municipal and Environmental Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, China)

Abstract: In some rural areas with the characteristics of complex terrain, dense buildings, narrow streets and high consolidation degree of roads, negative pressure drainage technology can be used to solve the sewage collection problem in areas without gravity flow drainage system. The composition and main equipment of rural negative pressure drainage system was systematically introduced, and the factors affecting the selection of design parameters of outdoor negative pressure pipe network in rural areas were summarized and analyzed. The necessity of intelligent operation and maintenance management of negative pressure drainage system in large areas was proposed and exemplified by practical engineering cases. Finally, corresponding suggestions were proposed to solve the problems such as construction of negative pressure system, operation strategy of the combined system, winter operation, and construction and operational cost of the system.

Key words: rural sewage; negative pressure drainage system; gas-liquid ratio; black-grey water separation

21世纪,我国一些大型公共建筑引入了负压排水系统,近几年随着国家对农村水环境的逐渐重视,有些乡村也开始建设室外负压排水系统,以解

决农村地区地形复杂、建筑密集、街道狭窄等带来的收水盲区问题,如天津宁河区造甲村湿地水乡项目、邯郸市永年县界河店乡新农村住宅建设项目、

基金项目: 吉林省科技发展规划资助项目(20200403007SF、20200503003SF)

盐城市大丰区金墩村项目,这些项目的运行为农村排水系统的建设开辟了新路径。

1 农村负压排水系统的分类与组成

1.1 主要类型

根据黑水、灰水的排出方式,农村负压排水系统主要可分为三类:类型(一)为黑水和灰水均采用重力流模式汇入室外的负压收集器,再经由负压管网系统将污水收集至污水处理站,很多南方沿河截污项目均可采用该形式;类型(二)为黑水、灰水完全分离系统,黑水和灰水分别经由负压马桶、负压收集器后通过各自的负压系统收集,目前该类型为一些北方农村所采用;类型(三)为黑水采用负压马桶进入负压收集系统,灰水仍保留原重力流系统,该类型适用于一些资金比较紧张,但仍希望对黑水进行资源化的项目。

1.2 系统组成

负压排水系统主要由三个部分组成:用户终端、负压管网、负压站^[1-2](见图1),其中用户终端主要包括负压马桶、负压收集器,负压马桶和负压收集器内均设真空界面阀及其控制系统;负压站内设真空泵、真空罐(负压罐)及排污泵。以灰水系统为例,其主要工作流程:当负压收集器液位达到一定高度时,真空界面阀打开,污水在压力梯度的作用下逐级输送至真空泵站(真空泵处于运行状态)负压罐内。整个系统相对简单,其中真空界面阀是整个负压系统的核心设备,而完善的系统设计是项目成功运行的关键。

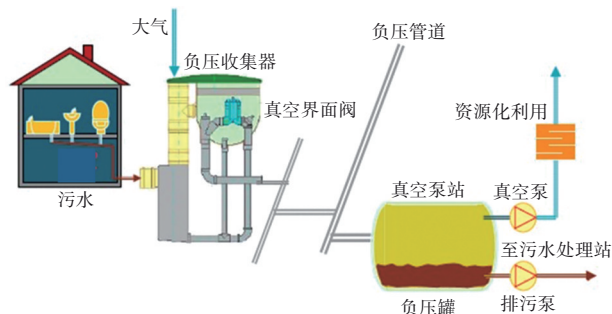


图1 农村负压排水系统组成

Fig.1 Composition of rural negative pressure drainage system

2 负压排水系统设计

2.1 设计流程

负压排水系统设计之前需要进行详细的现场调研,包括了解村内地形、房屋类型、服务人口及村

内主要道路、河沟等,尤其是应着重关注现场地形,当地形起伏较大时,可能负压系统不能完成。设计应根据现场地形、主干管最大长度确定负压泵站位置、主干管走向,最后再对负压管道系统进行水力计算,以确定管径、压力损失等参数。主要设计流程^[2]见图2。

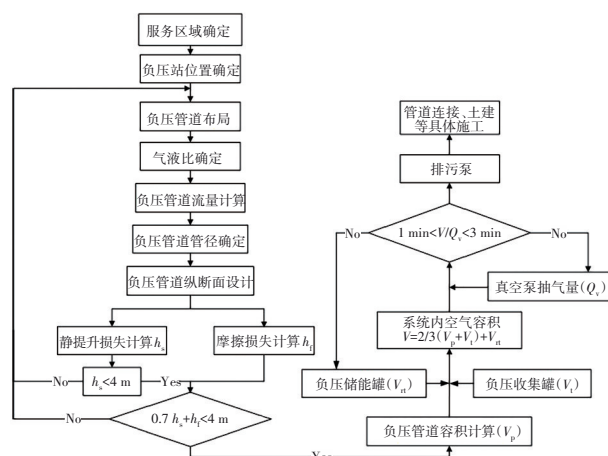


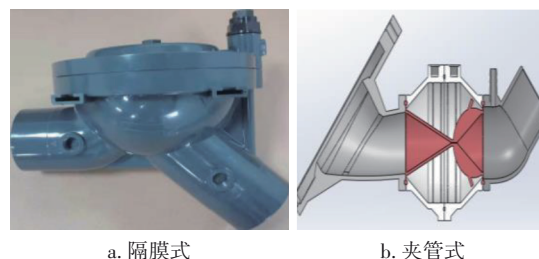
图2 负压排水系统设计流程

Fig.2 Design process of negative pressure drainage system

2.2 系统主要设备

2.2.1 真空界面阀

真空界面阀是负压排水系统的关键部件,通过膜片启闭管控污水在常压系统与负压系统之间的转换。目前,国内市场上常见的真空界面阀主要有隔膜式和夹管式两种(见图3),在现有的室外负压系统中隔膜式界面阀应用较为广泛。国内也有专业技术公司对这类设备进行了研发,并已成功应用在实际项目中。界面阀的口径主要有 dn50、dn75、dn90,最常用的是 dn50。界面阀后设球阀,便于检修时与负压系统隔绝。



a. 隔膜式 b. 夹管式

图3 隔膜式和夹管式真空界面阀

Fig.3 Diaphragm vacuum interface valve and pinch vacuum interface valve

《室外真空排水系统工程技术规程》(CECS 316:2012)(以下简称《规程》)规定,阀内的密封膜

(见图4)使用寿命不低于30万次开闭次数^[3]。按照每户每天开启50次核算,30万次的开启次数已足够满足居民的使用要求,国内已有专业技术公司开发出满足上述使用次数的设备,如北京万若环境、江苏清川同创。另外,界面阀的开启压力越小越好,但不能太小,《规程》规定界面阀开启压力不宜大于-0.015 MPa,具体取值需由负压系统提供商根据产品的性能判断对管道的抽吸力来确定,一般设定在-25~-20 kPa。

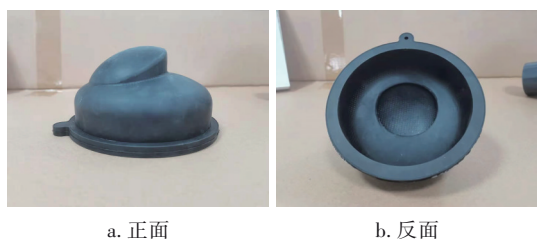


图4 隔膜式真空界面阀密封膜片正反两面

Fig.4 Both sides of a sealing diaphragm of diaphragm vacuum interface valve

负压系统设计的关键不是负压泵站内抽气量有多少,而是系统前端界面阀进气量的大小及控制问题。目前,界面阀的进气形式分为两种:①先进水后进气,系统可以设定时间段先排空终端设备内的污水,而后进气,为保障负压系统的正常运行,一般剩余进气时间均考虑余量。②同时进水、进气(见图5),进水管下端设置进气管,进气管与大气相连,进气管顶端设置阀门,可通过阀门开度控制进气量,此种进气模式为界面阀打开后,污水与空气同时进入负压管网。图5中如把灰色进气管取消即为先进水后进气系统。

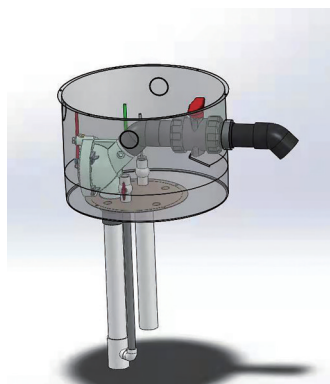


图5 同时进水进气系统

Fig.5 Simultaneous water and air intake system

2.2.2 液位控制器

液位控制器的主要作用是控制界面阀的开启,

界面阀的关闭一般通过时间来控制。而常用的液位控制器的驱动形式是电磁阀,工程上电磁阀的供电形式有三种:①沿管道布置电缆。这种形式持续性好,无需更换能源耗材,但存在一定的安全隐患,且造价较高,现场使用较少。②太阳能+锂离子电池联合供电(见图6)。这种形式持续性较好,锂离子电池更换周期为3~8年,其主要问题是安装位置影响光照强度和时长,施工时需择优选择安装位置。③干电池、锂亚电池。这种形式结构简单,电池更换便捷,但两种电池更换周期相对较短,干电池4~6个月需要更换,室内负压马桶可以采用;锂亚电池在室外可使用1~3年。



图6 液位控制器

Fig.6 Liquid level controller

2.2.3 真空泵与负压罐

工程上常选用的真空泵主要有三种:旋叶式、水环式、爪式。

爪式真空泵效率高,但其为进口泵,价格较高;《规程》规定:宜采用旋叶式真空泵^[3],在工程中旋叶式真空泵密封油会进水汽,乳化速度较快,换油频率高,因此不建议采用这种泵型;而水环式真空泵效率较高,性能可靠,价格相对较低,只是水温对真空泵的性能影响较大,因此要控制真空泵的开启时间或必要时换水。

真空泵能力的大小主要与系统气液比、负压罐和管网容积相关,如工作泵仅为1台,由于泵的能力较大,真空泵开启后负压罐的真空度可能很快就会满足要求,这时停泵,而管网远端真空度可能变化不大,因此该工程设计中建议选择2台小泵作为工作泵。

负压罐的设计容积根据用户最大污水量及负

压罐排放周期确定,当负压罐内达到预设水位时排污泵自动开启,当负压罐内水位降低到低水位时排污泵停机。《规程》规定:负压罐总容积不应小于负压罐储水容积的 3 倍^[3],另外负压罐总容积也需要控制真空泵合理抽吸时间在 1~3 min 之间^[1]。北方地区负压罐宜置于地下,南方地区,当村庄较小或地势有一定坡度时,可以将负压罐置于地面以上,便于维护管理。一般情况下负压罐内的控制压力范围为-65~-45 kPa,该数值与村庄大小及地形地势相关。

2.2.4 自动补气装置

自动补气装置是负压排水系统中补充空气保持系统压力梯度的自动控制设施(见图 7),一般安装在主管道末端和最不利管道点位,由压力感应装置、控制装置、柜体等组成。在负压系统中可能存在由于颗粒物沉积等一些因素导致管道末端或最不利点真空度持续下降,在达到系统能正常工作的最低负压前,压力感应装置给控制系统发信号,开启阀门,短暂进入大量空气,在管内形成较大压力梯度,高速气流将沉积物或管道中大量留存的污水冲刷至负压站,随后自动补气装置关闭,系统恢复正常^[1]。自动补气装置也可在系统处于闲置期时定期开启阀门,系统进入大量空气,高速气体冲刷管道内壁,完成管道自清洁。一般情况下设计可根据系统管网情况给定几个自动补气装置,在调试过程中也可根据现场运行条件适时增加该设施,以补充系统动力。但管网中自动补气装置越多,则进入系统中的气量越大,系统电耗越大,因此该设备应在认真核算后再予增设。



图 7 自动补气装置

Fig.7 Automatic air supply device

2.3 水力计算

2.3.1 设计流量

负压管道设计水量主要与服务范围内的人口、排水定额及排放峰值系数相关,峰值系数可按照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)第 4.1.15 条选取,但由于全国各地农村用水习惯差异很大,很多地区仍定时供水,实际峰值系数会较大,因此建议选取该数值时应应对农村用水习惯充分调研后再予确定。

2.3.2 气液比

气液比为进入系统中的空气体积和污水体积之比,它是负压系统的重要设计参数,直接影响管道中污水的流动特征和动力消耗^[4],它决定了项目的投资及运行成本。气液比越小,则管道内液体越多,摩擦阻力越大,系统运行受影响,而极限值是 0,也就是管道满水,这种工况是绝对要避免的;气液比越大,则管道内气体越多,系统电耗增加。因此要控制气液比在合理范围内,该数值主要与洁具、收集器沿管道分布的密度、使用频率以及收集点与负压站之间的距离相关,国内常压气液比:一般灰水为 2.5~3,黑水为 30~45。在工程中一般有两种方法调节系统的气液比:一是控制界面阀开启的时间(先进水后进气系统),二是通过改变界面阀通气管开度来调节(同时进水进气系统)^[4]。

2.3.3 负压管道管径

《规程》规定了负压管道管径的计算方法,这种计算方法不是按照计算流量确定管径,而是基于人口密度及主干管长度分析确定气液比(气液比是范围值),再通过气液比及服务人口数反查出负压管道管径^[3]。这种方法衍生于国外的负压系统计算,国外人口居住密度较小,可应用该方法,但我国的农村人口密度大,人员流动性也大,另外,国内负压设备的运行方式也决定了负压系统基本为固定气液比,不是《规程》中的范围值,因此该方法并不适用于我国农村的负压系统计算,这里推荐采用最大流量方式确定管径,具体见表 1^[1]。

表 1 管径与最大设计流量的关系

Tab.1 Relationship between pipe diameter and maximum design flow

管径/mm	110	125	160	200	225	300
平均内径/mm	96	110	141	176	198	277
最大设计流量/(L·s ⁻¹)	2.0	2.9	5.5	9.8	13.4	32.4

2.3.4 压力损失计算

负压管网中的污水在负压梯度力的作用下,逐步被输送到负压站。负压管网中的压力损失一般是由静态提升损失(h_s)、动态提升损失(h_d)、摩擦损失(h_f)、加速损失和局部损失组成^[2,5]。对于一个系统来说,加速损失和局部损失相对于其他损失很小,可忽略不计。因此,负压管网的压力损失主要由静态提升损失、动态提升损失和摩擦损失组成。

一般情况下,系统运行时的真空度为6 m左右,真空界面阀开启所需真空度约2 m,根据研究,负压系统压力损失可按以下公式计算:

$$\sum h_s \leq 4 \text{ m} \quad (h_s = h_1 + h_2 + h_3 + \dots) \quad (1)$$

$$\sum h_d + h_f \leq 4 \text{ m} \quad (h_d = 0.7h_s) \quad (2)$$

h_f 可按修正海澄-威廉公式计算^[5]。

负压管道提升见图8。

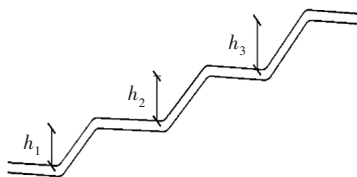


图8 负压管道提升

Fig.8 Lifting of negative pressure drainage pipeline

3 负压排水系统的运维管理

农村负压排水系统建成后,运维管理主要体现在负压站和负压管网。由于所有设备均为自动运行,一般工作仅是日常巡视,负压站内均为成熟设备,维护工作量很少。因负压管网埋设在地下,如果发生一个点位的泄压,通过人工排查是难以在短时间内实现问题定位的,因此系统日常工作主要集中在负压管网及负压收集器,尤其是系统运行初期出现问题会相对较多。负压排水系统利用大数据、物联网、云计算等新兴科技,结合“互联网+监管”的管理模式覆盖到基础设施,通过压力监测分析,可以快速将泄压点定位在某一小范围内,结合人工诊断能够快速找到点位并进行修复。除此之外,利用智慧化管理系统,能够实现设备维护、维修的全过程管理,使得管理高效、可追踪。

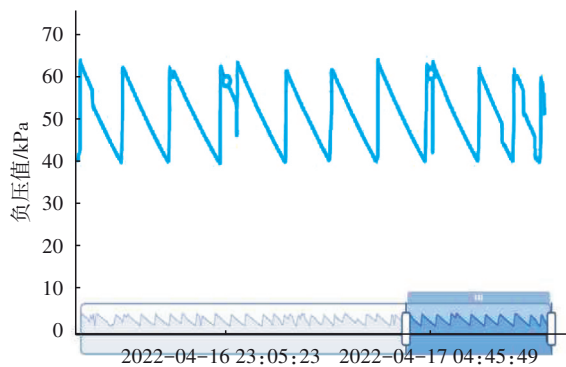
负压排水系统的管理主要包括以下五个单元:负压动力中心(负压泵站)、收集单元(负压收集器)、管道监测及清洁单元、负压管道、检修阀门(见图9)。控制中心为每个单元建模,负压动力中心至

少应具备以下功能:①设备状态显示;②设备远程控制;③远程参数设定;④历史数据查看;⑤故障报警等。负压收集器可显示其运行状态,可设置故障报警,如通过液位计监测收集器内液位状态等,可实现:①精准确定各个收集单元的排水量;②通过数据比对判断设备是否正常;③多个收集单元数据异常并判断区域性故障(见图10)。



图9 负压排水系统拓扑图

Fig.9 Topology diagram of negative pressure drainage system



a. 负压罐压力变化



b. 负压收集器状态显示

图10 控制中心不同单元工作状态显示

Fig.10 Display of working status of different units in the control center

4 工程案例

天津市宁河区冯家台村现有居民约1 600户,总人口约为4 400人。村庄南北长约1 100 m,东西宽约870 m,地势整体呈中间高四周低,局部地势有高低起伏。村内已新建硬化路面,为减少开挖工程

量以及对居民出行环境的影响,污水收集采用负压排水系统。

根据《村镇供水工程技术规范》(SL 310—2019),设计最高日居民生活用水定额为90 L/d,折污系数选取80%,污水收集系数取100%,经调研并参考规范,总变化系数取2.5。该村采用黑灰分离负压系统,根据村内地形条件、人口分布,结合村庄规划及村内意见,设南北2个负压站,位置见图11,其中北侧系统最不利管线长度约1 210 m,南侧系统最不利管线长度约1 050 m,设计常压气液比:黑水43,灰水2.8。以南侧系统为例对负压系统进行计算,主要结果如下:黑水主干管管径De75~De160,灰水主干管管径De90~De110;黑水和灰水总静提升高度均为2.4 m, $h_s < 4$ m,符合设计要求;动态提升损失 $h_d = 2.4 \times 0.7 = 1.68$ m;摩擦损失 h_f :黑水0.1 m,灰水1.19 m。 $h_d + h_f = 2.87$ m < 4 m,隔膜式真空界面阀开启压力约-20 kPa,负压站运行压力约-60 kPa,计算结果满足要求。负压中心内主要设备:水环式真空泵6台,黑水、灰水各3台,均为2用1备,单台功率5.5 kW;负压罐3台(其中1台为储能罐),每台8 m³。目前,整个负压系统运行正常。

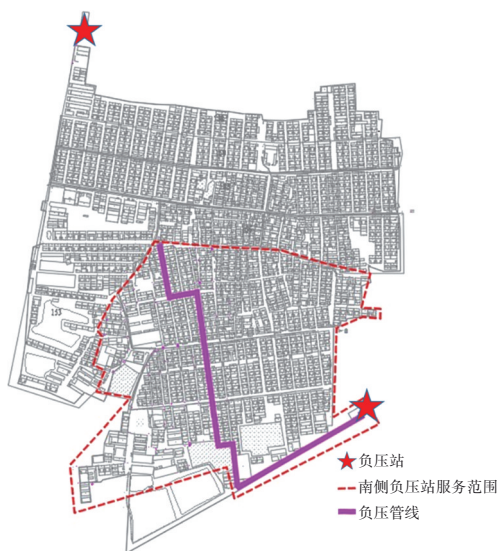


图11 负压站位置

Fig.11 Location of negative pressure stations

5 主要思考与建议

5.1 应重视负压管网的现场施工建设

负压管道一般采用锯齿型及袋式敷设^[3],目前仍以前者为主。负压管道施工时的基本要求:不能采用90°弯头连接;支管接入干管应采用45°弯头从

上向下连接。目前,我国室外排水系统还是以重力流为主,负压系统建设案例仍较少,施工单位在面对负压系统施工时经验明显不足,管道连接方式比较“粗放”,有时并没有按照要求完成(见图12),正确的连接方式见图13。这些现场施工质量问题的可能影响到负压系统的运行,即使系统运行正常,也会增加运行费用。如现场遇到这些问题,一定要求施工单位及时整改。另外,负压系统供应商现场指导施工也是非常必要的。



图12 负压管道的错误连接方式

Fig.12 Incorrect connection methods of negative pressure drainage pipeline



图13 负压管道的正确连接方式

Fig.13 Correct connection methods of negative pressure drainage pipeline

5.2 合流系统如何应用负压系统

一般负压系统仅应用在生活污水收集过程中,并不宜输送雨水,主要原因是水量太大,系统不能很好地适应。而南方沿河截污项目较多,在部分建筑物没有实现雨污分流时,合流水就会进入沿河截污管。此时应对负压系统采用雨天运行逻辑:下雨时负压收集器为高液位,首先判断在此条件下界面阀是否一直常开,如常开则界面阀损坏报修,如界面阀关闭,则需要判断界面阀在高液位条件下是否受附近其他界面阀排水(在排水高峰期)“顶托”,一时不能顺利排水,可以间隔2 min启动1次排水程

序,重复2~3次,如出现正常排水则高液位下降,不是雨天,如仍为高液位,系统将自动进入“雨天工作状态”,此时可停机1 h(该时间可调),其间可以主动抽吸几次,1 h后继续执行正常运行状态,如此时仍不能正常运行,则循环上述指令;此时的“雨天工作状态”也可能是由于界面阀堵塞造成的,当出现这种状态时控制平台接收到停机信号,将根据当时气象条件及周边界面阀状态判断该阀是否堵塞,如堵塞,则报修。负压收集器设溢流口,过量雨水可自动溢流出系统。每个负压收集器应独立执行上述指令,这样可以使已完成分流的建筑物正常排水,负压站也可正常运行。

5.3 如何避免负压管网堵塞

负压管道中流速很快,因此正常运行的负压系统不会出现堵塞,且整个系统中负压马桶入口口径32 mm,界面阀内径40 mm,负压管网管径均大于上述数值,因此只要杂物能通过负压马桶就能正常进入管网,系统就不会出现问题。但由于管道管径较小,很多人还是会担心日常较大杂物进入负压系统将其堵塞。这种情况出现的概率很低,设计人员和负压系统提供商可通过技术措施避免这种情况发生,如不使用直角三通或90°弯头;改善界面阀阀体结构,使其内部减少弯折;进入负压收集器前端设置格栅;设置自动补气装置,定期清理管道。另外还要加强宣传教育,要告诉村民不要把各种垃圾倒进负压马桶。宣传教育可以起很大作用,系统初始运行时,从负压站清出的日常杂物较多,运行一年后这种现象已大大得到改善。

5.4 负压排水系统的冬季运行

如设计中采用合理的技术措施,则可以使负压系统在华北地区冬季正常运行,如:取消负压马桶水封;负压收集器内部设有二层保温盖板;界面阀内部做到不存水;负压管网埋设在冰冻线以下;定期开启自动补气装置等。关于管道过河,温兴锁^[2]提出一个方案:将通气管和通水管连通,借助于重力流原理,可大大降低真空度损失,实现负压管过河。另外,一般情形下如果过河处距负压站较近,管径在dn160以内,也可以直接将管道提升架空过河(起端应在冰冻线以下),该方案已在宁河项目中实现,冬季可正常运行。

5.5 负压排水系统的建设、运行成本

一般情况下,项目初期都会将负压系统方案与

重力流方案进行技术经济对比,北方某地区项目方案投资对比见表2。

表2 北方某地区项目方案投资对比

Tab.2 Comparison of project investment in a certain northern region

规模/户	<100	100~300	300~700	1 000~2 000
重力流系统投资/(万元·户 ⁻¹)	2.3	2.46	2.45	2.35
负压(黑灰分离)系统投资/(万元·户 ⁻¹)	3.44	2.58	2.34	2.17

南方沿河截污系统投资:负压系统2 500~3 500元/延米,重力流系统3 000~4 000元/延米。

直接运维成本(不考虑管网系统大修费用):负压系统,考虑电费、电池更换、密封膜片更换及运维人员工资,约25元/(延米·a);重力流系统,考虑电费、化粪池清掏及运维人员工资,约15~25元/(延米·a)。两个方案均为人员工资占比较大,其中负压方案人员费用较多,占比更大。

5.6 黑水资源化利用

采用负压技术实现了黑灰分离,但只有黑水得到充分的资源化利用,才能真正实现减碳减排。黑水水质指标见表3,可见,黑水中各项污染物指标还是非常高的,尤其是营养物质丰富,应该具有很高的利用价值。国内也有学者对黑水资源化进行了研究^[6],如:采用堆肥的方式制备固态肥,由于黑水含水率过高,需要与其他有机废弃物协同处理,但系统集约化建设的同时受运距影响,此时需要地方部门的综合规划和协调;投加餐厨垃圾厌氧消化产沼气,该系统较复杂,对于每个村庄也不一定适合;也有的将黑水直接利用在农田,但目前国家对此应用尚无标准,因此今后需在此方向投入精力,以更好地使黑水资源化。

表3 黑水水质指标

Tab.3 Quality indicators of black water mg·L⁻¹

项目	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TN	TP	TDS
数值	1 000~2 860	1 800~4 500	750~1 480	1 080~1 740	60~148	5 500~6 900

6 结语

国内农村负压排水系统应用已有近10年,但总体上工程案例不是很多,原因是多方面的。2020年7月12日央视报道了京津冀最大的农村负压项目在天津宁河造甲村建成并成功运行,为负压排水系统

在国内的应用做了很好的宣传,但很多地方政府对负压系统的应用仍然很谨慎。虽然目前负压系统可能存在一些问题,但它还是有市场空间的,可以解决很多关键问题,可实现节水、无臭味、工期短、无渗漏、不易堵塞、智能运维,无化粪池,可真正降低碳排放,因此负压系统是重力流系统的重要补充,是解决污水收集最后100 m的重要工具,国内的一些排水项目在污水收集困难时可考虑采用负压技术。

参考文献:

- [1] 周敬宣,李旻.真空排水系统的原理与设计[M].武汉:华中科技大学出版社,2013.
ZHOU Jingxuan, LI Min. The Principle and Design of Vacuum Drainage System [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2013 (in Chinese).
- [2] 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.
WEN Xingsuo. Study on Hydraulic Parameters and Key Design in the Vacuum Sewer System [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011 (in Chinese).
- [3] 中国工程建设标准化协会建筑给水排水专业委员会.室外真空排水系统工程技术规程:CECS 316:2012[S].北京:中国计划出版社,2012.
Committee of Water Supply and Drainage for Building, CECS. Technical Specification for Outdoor Vacuum Sewage System Engineering: CECS 316: 2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012 (in Chinese).
- [4] 李旻,周敬宣,温兴锁.谈真空排水系统中的气液比及其与能耗的关系[J].给水排水,2010,36(12):69-72.
LI Min, ZHOU Jingxuan, WEN Xingsuo. Gas-liquid ratio and its relationship with energy consumption in vacuum sewerage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(12): 69-72 (in Chinese).
- [5] 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 sewage negative pressure suction system in water town [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(4): 98-102 (in Chinese).
- [6] 左斯琪,李子富.黑水无害化及资源化处理技术进展[J].环境卫生工程,2020,28(4):37-44.
ZUO Siqu, LI Zifu. The progress of harmless and resourceful treatment technologies of black water [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2020, 28(4): 37-44 (in Chinese).

作者简介:刘天顺(1975-),男,天津人,硕士,正高级工程师,主要研究方向为市政及农村污水处理。

E-mail:13752457371@126.com

收稿日期:2022-04-26

修回日期:2022-05-05

(编辑:孔红春)

加强水土保持, 打造绿水青山