

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.016

污泥脱水、输送及储存系统的设计探讨与总结

苏志升¹, 林培真², 罗建标¹, 张甜甜², 李仪远¹

(1. 广州中洲环保科技有限公司, 广东 广州 510006; 2. 广东省南方环保生物科技有限公司, 广东 广州 510006)

摘要: 污泥脱水、输送及储存系统是污泥处理处置工程的重要组成部分,以南宁某项目为例,介绍了污泥脱水工艺、进泥设备、加药系统及泥水分离阀的设计及优化建议;介绍了污泥输送螺旋、缓存料斗及料位检测的工程应用特点,提出一体化破拱装置,详述污泥输送泵及其故障处理方式;介绍了污泥储存系统的管道、入料口的设计要点,滑架破拱装置的设计优化及其液压系统热平衡分析等。该项目投入运营后,脱水污泥含水率降至80%,污泥的日输送量达到66.85 m³/d,污泥储存系统储存量达到200 m³,实现了污泥的减量化生产。最后对该工程进行技术经济分析,为同类项目提供参考。

关键词: 脱水污泥; 离心脱水; 滑架破拱装置; 柱塞泵; 料仓

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0076-06

Discussion and Summary on the Design of Sludge Dewatering, Pumping and Storage System

SU Zhi-sheng¹, LIN Pei-zhen², LUO Jian-biao¹, ZHANG Tian-tian², LI Yi-yuan¹

(1. Guangzhou Middle and Environmental Protection Technology Co. Ltd., Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Nanfang Environmental Protection Bio-technology Co. Ltd., Guangzhou 510006, China)

Abstract: The systems of sludge dewatering, pumping and storage are important for sludge treatment and disposal. The design and optimization suggestion of dewatering process, sludge feeding equipment, dosing system and sludge-water separation valve were introduced through a project of sludge treatment and disposal in Nanning. As to the sludge pumping system, the technical characteristics of screw conveyor, sludge bin and material level detection were also discussed. Furthermore, the integrated arch breaker device were put forward, and the sludge pumping features and its pumping failure-solution were described in details. With regard to the sludge storage system, the design points of piping and feeding-inlet, the optimization of arch breaker device and its heat balance calculation of the hydraulically-driven system were analyzed. Since the project was put into operation, the water content of sludge was decreased to 80%, the daily transportation capacity of sludge reached 66.85 m³/d and its sludge storage capacity was more than 200 m³. The sludge reduction was realized. Finally, the techno-economic analysis was conducted, which could provide reference for the similar projects.

Key words: dewatered sludge; centrifugal dewatering; arch breaker device; piston pump; sludge bin

污泥是市政污水处理过程的必然产物,资料显示,2020 年我国污泥产量将达到 $7\,000 \times 10^4 \text{ t/a}$,未来五年的年均复合增长率将达到 11.49%。由于我国长期的重水轻泥,使得污泥处理的投入、技术均滞后于水处理产业,污泥的无害化处理占比不到总量的 60%。针对污泥处理处置的技术探讨及工程分析,大多只局限于单一的工艺环节,而污泥脱水、输送及储存工程作为污泥处理处置的关键环节,对污泥的减量化、规范化具有重要参考意义。鉴于此,以南宁某污水厂污泥处理工程为例,综合探讨及分析污泥脱水、输送及储存系统。

1 工程概况

南宁某污水处理厂污水总处理规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其深度处理系统主体工艺采用深床滤池,滤池产生的污泥通过排泥池内设置的污泥提升泵送至脱水机房进行脱水处理,本期工程的处理对象为滤

池产生的污泥及滤池反洗废水经微砂高效沉淀池沉淀后的浓缩液两部分排泥,污泥的主要特性见表 1。

表 1 污泥的主要特性

Tab. 1 Main properties of sludge

污泥组成	固体成分主要为滤池截留的 SS 和化学除磷污泥,含有少量微砂处理系统的流失微砂
总干污泥量/ $(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1})$	6 720 ~ 13 350
总湿污泥量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	960 ~ 1 910
进泥含水率/%	99 ~ 99.3
pH 值	6 ~ 9

工程包含污泥脱水、输送及储存系统,脱水后污泥含水率 $\leq 80\%$,脱水污泥通过泵送系统输送至污泥储存料仓内,然后定期通过封闭式罐车装载运走做进一步的深度处理。

该工程主要工艺路线见图 1,系统采用一用一备轮换机制。

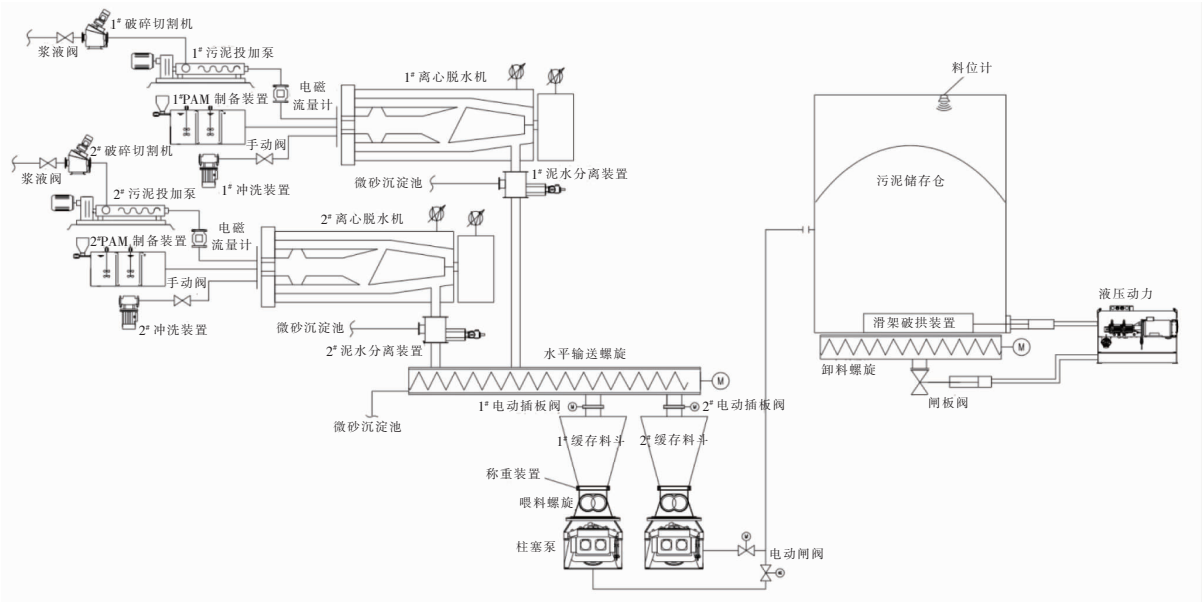


图 1 污泥处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sludge treatment process

2 污泥脱水系统

2.1 脱水工艺及设计

由于本工程地处市区中心,受限于规划土地面积小,因此采用离心脱水工艺,离心脱水机具有结构紧凑、封闭式处理、无臭气外逸、运行自动化程度高等优点。采用两套脱水系统,单台处理量约 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,固体负荷能力约 800 kg/h ,工作时间根据进泥量调节在 9 ~ 18 h/d。脱水后污泥含水率降至 80%,污泥体积从 $1\,910 \text{ m}^3/\text{d}$ 减少至 $66.85 \text{ m}^3/\text{d}$,

达到减量化目的。设计选型需注意:脱水系统与输送系统属于协同生产系统,因此需协调好离心脱水机的出泥量与后续污泥输送系统的排泥量,确保系统长时间高效运行。其次,由于离心机工作负载大,不允许带负荷启动运行,一般空载启动,待转速稳定后才允许进泥脱水,否则容易导致脱水效果不佳引起污泥堵塞等故障。

2.2 进泥设备

进泥设备包括切割机和污泥投加泵,用于将含

水率为99%~99.3%的污泥输送至离心脱水机进行脱水,本项目污泥投加泵采用螺杆泵,额定流量为 $65\text{ m}^3/\text{h}$,额定压力为 0.2 MPa 。为了防止污泥夹杂的纤维缠绕带、塑料等杂质对脱水系统造成损坏,污泥投加泵进泥端需设置污泥切割机,污泥切割机采用耐驰M-OVAS/S1-2.2,机体功率为 2.2 kW ,流量与进泥泵匹配,为 $65\text{ m}^3/\text{h}$ 。污泥切割机将污泥杂质切碎的同时,将金属、大颗粒固体沉降在设备内,其底部设有排渣口,可定期开启并清理排出残留物料。

2.3 加药系统

加药系统由絮凝剂制备装置、加药泵、稀释装置、流量计及加药管路组成,用于将制备好的PAM药剂输送至离心脱水机,使药剂和污泥混合,提高污泥脱水效果。加药量一般为 $3\sim 5\text{ kg/tDS}$,药剂浓度为 $0.1\%\sim 0.2\%$,根据调试测试获取最佳配比。药剂制备装置设计时应注意:由于制备系统的加药口高度约为 1.6 m ,工作人员需在无护栏、扶手等安全措施下,定期投加粉剂PAM,投加过程极不便利,且存在一定的作业风险。解决办法一般是配套真空吸料机或设置加药平台,本项目根据《人类工效学 工作岗位尺寸设计原则及其数值》(GB/T 14776—1993)中第5.2.3条的Ⅱ类工作岗位要求,工程设计上设置了辅助加药平台及护栏措施,可确保人员作业高度在 $850\sim 1\,050\text{ mm}$ 之间,使系统更安全可靠。

2.4 泥水分离阀

不同泥质特性导致脱水效果存在较大差异性^[1],因此离心脱水机转速和扭矩运行稳定前、设备停机清洗时出泥口伴随较多的泥水混合物排出。

为避免泥水混合物影响后续工艺的正常运行,离心机出泥口需设置泥水分离阀,该阀可实现泥/水介质输送通道的切换,通过开启泥水分离阀的旁通管路排走泥水混合物。泥水分离阀设计时注意:当离心机出泥口落料高程差较大时,泥水分离阀应设置于靠近离心机出泥口端,以避免落料冲击引起的阀板密封失效;泥水分离阀的旁通管路管段宜采用法兰、沟槽快接等快拆结构,并设置冲洗阀口,以便于定期冲洗拆装维护。

3 污泥输送系统

3.1 螺旋输送机

本项目离心机下方采用水平无轴螺旋输送机,输送长度为 15 m ,功率 7.5 kW ,设计排量 $8\text{ m}^3/\text{h}$ 。设计时注意:项目调试初期,离心机出泥较不稳定,可能有部分泥水混合物随同螺旋输送至缓存料斗内,影响后续污泥泵送效率,一般水平螺旋设置 $1^\circ\sim 1.5^\circ$ 的安装倾角,在螺旋槽体低位设置排水管将泥水排走。

3.2 缓存料斗及料位检测

缓存料斗设置于螺旋输送机与柱塞泵入口之间,可有效避免出泥流量波动对泵送系统的影响。一般设计高度为 1.8 m ,有效容积取污泥泵 5 min 的额定输送值。由于料斗容积小,高度较低,斗内污泥状态监控检测方式设计中需要考虑污泥溅射、粉尘飞扬等因素的影响。表2为已有工程项目的污泥料位监测常用工艺方式,通过对比其应用效果及缺陷,本项目采用称重传感器工艺。由于料斗高度较低,污泥落料冲击引起的荷载波动影响较小,称重传感器可实施有效的污泥储量在线监控。

表2 污泥料位监测工艺对比

Tab. 2 Comparison of sludge level detection process

料位检测工艺	应用项目	应用效果	缺陷
阻旋料位计	佛山盐步污泥脱水工程 番禺前锋干泥储运工程	测量数据可靠, 不受飞溅、粉尘影响	直接接触污泥,使用寿命短
超声波料位计	惠州中海油二期污泥处理工程 奉贤西部污泥储运系统工程	非接触式测量,测量准确度较高, 使用寿命长	探头精度易受飞溅、粉尘影响
雷达料位计	湘潭河西污泥脱水工程 成都合作三期污泥脱水工程	非接触式测量, 测量准确度较超声波料位计高	成本高,探头受污染后测量准确度下降
称重传感器	深圳上洋污泥储运工程 马来西亚污泥输送工程	静态数据准确,不受污泥污染,寿命长	落料冲击引起数据波动,安装结构复杂

3.3 破拱装置

缓存料斗底部接近出泥口的位置需配置破拱装置,以防止料斗内污泥架桥,一般可采用旋转式破拱

机构^[2]。当前破拱装置大都采用现场焊接、拼接的安装方式,由于工程现场施工环境及安装条件简陋,破拱装置的同轴度较难保证,基于此类问题,本工程

采用一体式破拱装置设计结构(见图2),现场仅需法兰对接即可完成安装,降低了安装难度,确保了安装精度及运行稳定性。

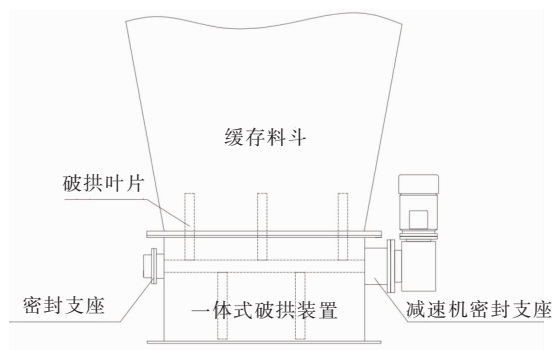


图2 一体式破拱装置

Fig. 2 Integrated arch breaker device

3.4 污泥输送泵

污泥输送泵的排量一般应大于脱水系统污泥排量的10%以上,以避免离心机排泥峰值不稳定引起的泵送处理不及时、料斗满料溢出等问题。本项目污泥输送系统采用普茨迈斯特的双缸S摆管污泥柱塞泵,该泵采用液压动力驱动,驱动功率为15 kW,污泥泵送压力最大可达2.5 MPa,泵送排量为10 m³/h。另外,采用双轴喂料螺旋预压输送污泥,柱塞泵填充率最高可达90%^[3],污泥的密实性及柱塞泵的吸入效率将得到显著提高。当柱塞泵达到最高吸入效率值时,污泥压缩性的优势不再明显,继续增加螺旋预压将导致工作负载、能耗升高,影响输送效率。为了保证污泥泵送过程的最佳预压性能,在双轴喂料螺旋出料口与柱塞泵进料腔之间安装压力变送器进行预压压力值的数据采集反馈,通过调节双轴喂料螺旋工作转速,将压力值恒定在20~30 kPa区间。

3.5 柱塞泵泵送失效及问题处理

泵送系统运行初期频繁出现泵送异常,具体表现为管道震动剧烈、泵送噪声大、缓存料斗内泥位节奏性起伏而无沉降。经过观察分析,故障由污泥管道内进入空气引起:当空气进入污泥管道后,柱塞泵S摆管进行吸料与泵料切换瞬间,管内的受压空气迅速回弹使污泥倒流,导致泵送失效。解决方案如下:①将缓存料斗低泥位停泵控制值从10%改为20%,确保污泥始终覆盖柱塞泵进泥口而无气体吸入;②增加排气控制模式,两套缓存料斗均进泥并达到开泵料位值后,两套柱塞泵顺序启动,以抵消或减

少柱塞泵S摆管换向时间间歇引起的污泥回弹,使泵送过程趋向连续泵压状态,管路空气最终随同污泥排出;料斗泥位降至低位值后,泵送系统转为正常工作模式。

4 污泥储存系统

4.1 输送管道

脱水污泥通过输送管道进入污泥料仓内,实现污泥的储存。本项目输送管道规格为DN200,管道设计应注意:①需进行压损计算;②根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)中第7.5.4条要求,污泥输送弯头的转弯半径不应小于5倍管径,以降低泵送阻力及泵送换向造成的冲击震动;③在沿程管段、弯管处、管道低位点处设置冲洗放空阀,便于管道放空冲洗及故障处理。

4.2 料仓入料口

目前污泥泵送工艺方案大多将污泥从地面泵至料仓顶,污泥从仓顶落入仓内。实际上该泵送工艺导致泵送系统长期处于高扬程的反向负载状态。分别设定污泥管道从料仓筒体 $h/3$ 、 $2h/3$ 、 h 的高度进入仓内,在泵送排量恒定的情况下,泵送系统对应时间历程所承受的反向压力负载曲线 P 见图3。由图3可见,管道从料仓筒体 $h/3$ 或以下高度进泥时,其泵送系统性能曲线较优。综合仓底各连接部件的结构协调及工程实践经验,一般选择筒体的 $1/3$ 高度作为进泥位置最佳,可有效降低污泥高程落料引起的冲击负荷。

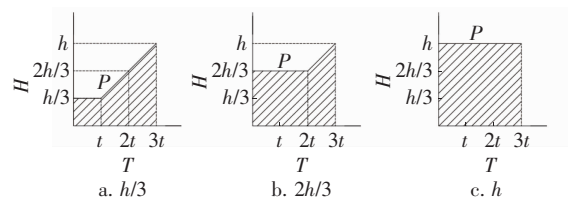


图3 负载曲线图

Fig. 3 Chart of loading curve

4.3 料位计

污泥储存料仓采用圆筒平底钢结构,容积200 m³,料仓容积大,筒体顶部较高,污泥落料溅射一般难以污染料位检测探头,在日常低强度的维护保养前提下,筒体顶部采用超声波料位计在线监测。

4.4 滑架破拱装置

料仓底板设有滑架破拱装置,确保卸泥过程中料仓内部不产生架桥。一般的滑架破拱装置底面与仓体底板为全接触式的滑动摩擦,阻力大且对仓底

磨损大。针对滑架的结构优化及改进,饶宾期等^[4]建议将滑动摩擦改为滚动摩擦方案,以达到降低滑动磨损的目的,但该滚动滑架结构对密封要求极其苛刻,一旦发生密封失效,污泥会直接进入各运动部件,设备使用寿命将急剧下降,最终造成结构损坏。该工程在仓体底板上对称加装常规钢板滑块条,滑架破拱装置仅与滑块条接触并在滑块条上滑动,降低了约70%的接触面积,提高了滑架与底板之间的水平相对运动精度。通过定期拆换滑块条,实现了较佳的运行效能。

4.5 滑架驱动装置

滑架驱动(如普茨迈斯特、施维英)均采用液压驱动形式,其油缸部件、连接杆部件、密封座等主体件均为分体式供货并现场实施安装,如图4所示。该结构涉及密封工艺,安装同轴度严格,且对油缸安装底座、料仓壁板、料仓底板等基准钢构件施工要求高;滑架驱动的性能检测一般在竣工验收前、调试阶段或运营前期进行,问题发现滞后,易造成现场停工、二次进场及后期维修维护引起的额外预算。针对该类滑架驱动结构高故障率的现状,本项目采用一体式滑架驱动装置的设计结构,滑架驱动装置现场吊装到位后,与料仓底座固定即可;滑架驱动装置末端与滑架破拱装置之间采用活动式T槽插接结构,避免了仓底不平对滑架驱动的影响,如图5所示。

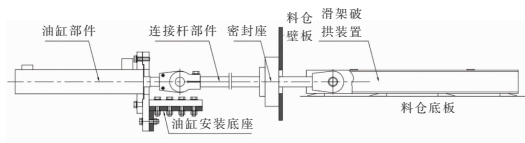


图4 分体式滑架驱动装置

Fig. 4 Split-type sliding driving device

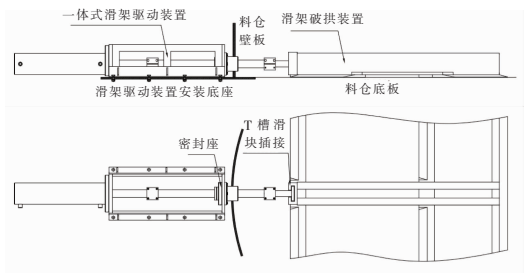


图5 一体式滑架驱动装置

Fig. 5 Integrated sliding driving device

4.6 液压系统热平衡校核及优化

污泥储存料仓的储泥量高,出料口尺寸较大,在

螺旋卸料作用下,卸泥速度较快,因此破拱滑架装置工作时长较短,滑架驱动速度为0.03~0.05 m/s即可。根据《机械设计手册》(第5版),对滑架驱动的液压系统进行热平衡校核:

$$H = P(1 - \eta) + pq + 0.05P \quad (1)$$

$$T_{\max} = T_0 + \frac{H}{kA} \quad (T_{\max} < 65^\circ\text{C}) \quad (2)$$

式中: H 为液压系统总发热量,W; P 为液压系统功率,取11 kW; η 为系统效率,取0.9; p 为阀压力损失; q 为各阀件流量损失,由于该液压系统溢流阀属于安全阀,可忽略不计,取0 m³/s; T_{\max} 为油液最高温度,℃; T_0 为环境温度,取值32℃; k 为油箱传热系数,周围通风良好,取值15 W/(m²·K); A 为油箱散热面积,油箱尺寸为1200 mm×800 mm×800 mm,有效散热面积为4.14 m²。

由此可得,功率损失 $H = 1650$ W;液压系统最大油温 $T_{\max} = 58.6$ ℃,低于液压油最高工作油温允许值65℃,综合考虑破拱滑架实际工作时长较短的因素,该滑架驱动的液压系统可采用自冷方式,无需配备散热系统。

4.7 螺旋润滑方式

污泥储存料仓底部安装卸料螺旋,功率4 kW,输出转速25 r/min,卸料能力30 m³/h。螺旋因为工作强度高、发热大,螺旋轴两端需采用重载型轴承并定期加注润滑油脂降温及助润;由于螺旋安装位置与地面之间净空高度达到5 m以上,螺旋维护保养难度高,该项目采用集中润滑系统,系统自动泵送润滑油脂至卸料螺旋两端轴承内,实现了轴承的定期润滑,降低了劳动强度。

4.8 环保措施

污泥料仓进行卸泥装车期间,部分硫化氢(H₂S)、氨气(NH₃)等挥发性恶臭气体随着污泥的排出而外逸,影响周边居民住行,且存在安全隐患。本工程后期在料仓底部增设卷帘幕加罩结构,并引入厂区臭气收集管道系统,对污泥储存系统臭气进行收集处理,避免了臭气扩散。

5 运行情况

目前该项目已建成并投入运行,处理效果良好,脱水后污泥含水率从99.3%降至80%,脱水后污泥通过输送系统进入污泥储存系统,污泥处理量达到13.35 tDS/d,污泥的日输送量达到66.85 m³/d,污泥储存系统储存量达到200 m³,实现了污泥的减量

化生产,有效防止了污泥产生的二次污染,具有较好的环境效益。

该污泥处置工程单套系统年度综合运行成本见表 3。

表 3 年度综合运行成本计算
Tab.3 Annual comprehensive operation cost calculation

项 目	费用
单套处置系统投入/万元	394.83
电费/万元	38.71
水费/万元	2.42
药剂费/万元	7.80
污泥运输费/万元	36.48
维修及保养费/万元	5.3
设备折旧费/万元	37.94
人工福利费/万元	19.20
管理分摊费/万元	5.49
污泥处置总成本/万元	153.34
年产污泥/(t·a ⁻¹)	28 060.29
单位处理成本/(元·t ⁻¹)	54.65

6 结论

污泥脱水、输送及储存系统是污泥处理处置的重要工艺环节,需结合项目具体情况进行优化改进,且改进方向注重可行性、经济型、可靠性。

针对较高的污泥运输成本,南宁某工程后续可通过降低运输距离、厂区提标改造增加污泥干化系统等措施,降低运营成本。该项目已投入运营两年,系统运行可靠、故障率低、人工值守强度低,所采用的多种新结构工艺改进,可为其他同类污泥脱水、污泥泵送及储运工程提供宝贵的技术经验。

参考文献:

[1] BARBER W P F. Influence of wastewater treatment on sludge production and processing [J]. Water and Environment Journal, 2014, 28(1): 1-10.

[2] 高洪波,郝丽君,刘开连. 料仓破拱装置在污泥处置行业的应用研究[J]. 机电产品开发与创新, 2013, 26(3): 80-81, 79.

GAO Hongbo, HAO Lijun, LIU Kailian. The bin broken arch device in sludge disposal industry[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2013, 26(3): 80-81, 79 (in Chinese).

[3] 朱敏. 污水处理厂污泥管道输送系统设计与研究[J]. 给水排水, 2012, 38(增刊): 22-25.

ZHU Min. Design and discuss for sludge pipeline system in sewage treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S): 22-25 (in Chinese).

[4] 饶宾期,施阁,曹黎. 脱水污泥储存输送系统的优化设计[J]. 化工自动化及仪表, 2013, 40(9): 1137-1139, 1154.

RAO Binqi, SHI Ge, CAO Li. Optimal design of storage and transportation system for de-watered sludge [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2013, 40(9): 1137-1139, 1154 (in Chinese).

作者简介:苏志升(1987-),男,广西贵港人,学士,工程师,主任工程师,主要从事污泥、污水、恶臭及有机废气设备系统的工程应用研究及设计工作。

E-mail: zeson_so@126.com

收稿日期: 2020-01-30

修回日期: 2020-05-09

(编辑:孔红春)

节水优先、空间均衡、
系统治理、两手发力