

广州市地下污水厂污泥处置及输送方式探讨

李 胜

(北京市市政工程设计研究总院有限公司 广东分院, 广东 广州 510060)

摘 要: 根据国家海绵城市建设倡导的城市水资源就地收集处理回用的建设思想,越来越多的污水厂可能会坐落于城市中心,地理式污水厂也将逐渐增多,因此地下污水厂的污泥处理设施面临较高的环境压力及高额的土建费用等问题。以广州市为例,对不同污泥处理及输送方式进行了技术经济分析,并介绍了国外污泥输送案例,认为城市中心地区的地下污水厂污泥宜采用管道输送方式外送并集中处理处置,在一定规模及范围内具有明显的经济技术优势。

关键词: 管道输送; 集中处理处置; 环境影响; 运行费用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0033-05

Discussion on Sludge Disposal and Transportation Method of Underground Wastewater Treatment Plant in Guangzhou City

LI Sheng

(Guangdong Branch, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: According to the sponge city concept of local collection, treatment and reuse of urban water resources advocated by the national government, more and more wastewater treatment plants may be located in the city center, and the number of underground wastewater treatment plants will gradually increase. Therefore, the sludge treatment facilities of underground wastewater treatment plant are faced with high environmental pressure and high cost of civil construction, etc. Taking Guangzhou as an example, the technical and economic analysis of different sludge treatment and transportation methods was carried out, and the cases of sludge transport abroad were introduced. It is considered that underground sewage sludge in the urban center area should be transported by pipelines and disposed of in a centralized manner. There are obvious economic and technical advantages within a certain scale and scope.

Key words: pipeline; centralized disposal; environmental impact; construction investment and operation cost

目前,国内污水厂对污泥的处理处置一般是将剩余污泥脱水或干化后,用车辆、船舶等交通工具将污泥运往处置地或在厂内就地进行消化处理。随着国家海绵城市建设倡导的城市水资源就地收集处理回用的建设思想,污水厂的分散布置及靠近城市生活区的情况可能将日趋增多,这对污水厂的建设标准提出了更高要求,如广州市倡导因地制宜地推广全地理式生态污水厂的建设模式,原来的污泥处置

及输送方式面临的环境影响和高额建设费、运行费用的问题日益突出,需考虑采用新的处置输送方式予以解决。

1 广州市污泥处置现状分析

① 污泥处置现状及未来计划

目前,广州市中心城区各大污水厂的污泥均采用厂内处理方式(见表1),以传统带式、离心脱水为主,出厂污泥含水率约为80%,湿污泥量产量约

1 306 m³/d, 处置方式主要有制肥、填埋、制作建筑材料、土壤改良产品等几种方式。

表1 广州市中心城区污水厂污泥运输、处理处置现状

Tab.1 Sludge transportation, treatment and disposal of WWTP in Guangzhou downtown area

项 目	产泥量/(t · d ⁻¹)	厂内污泥处理方式	运输方式	处置方式
大坦沙污水厂	350	重力浓缩 + 离心脱水/带式压滤机	卡车运输	水泥窑协同处理
猎德污水厂	756	重力浓缩/机械浓缩 + 离心脱水	船舶运输	制有机肥
京溪地下净水厂	28	直接离心脱水	卡车运输	水泥窑协同处理
沥滘污水厂	224	重力浓缩 + 离心脱水	卡车运输	制砖
大沙地污水厂	45	浓缩调理 + 机械深度脱水	卡车运输	制砖
龙归污水厂	16	重力浓缩 + 离心脱水	卡车运输	水泥窑协同处理

未来,根据广州市推行的污泥处理处置技术路线的计划,含水率为30%~40%的污泥可用作生产水泥、回填材料、制砖等建筑材料;在保留一定有机质的情况下,用于焚烧和其他热处理,能够提供一定热量,减少能耗;在重金属达标前提下,污泥也可用作基质土等园林用土,污泥的出路最为广泛。因其适中的含水率、较佳的承载力和生物化学稳定性,在运输和贮存过程中不会引发二次污染和爆炸危险,同时也利于应急处理处置。

根据不同含水率的污泥性状特点及广州市对各污水厂出厂污泥性质的要求,同时考虑到目前广州地区污泥产品土地利用的不确定性因素,中心城区各污水厂通过浓缩+深度机械脱水+热干化工艺对污泥进行减量,将出厂污泥含水率控制在30%~40%的范围,预计到2020年广州市污泥产量为1 044.63 m³/d(折算含水率为40%污泥,以产1.2~1.5 t污泥干基/10⁴ m³污水计量),厂内处理好的污泥统一由泥罐车外运集中处置。

② 面临的问题

广州市近年推广建设全地埋式生态污水厂,在流域上游建设污水厂的情况逐步增多(如广州猎德和石井河流域),使污水厂与社会经济生活区域更加紧密地结合在一起,厂址逐渐布置在城市核心区域,对污水厂尾气排放和对周边环境的影响提出了更高要求。

a. 采用地埋式污水厂时,污泥系统由于设备庞大,难以实现完全密闭,从现已建成的一些地下污水厂的情况看,仍有少量臭气泄漏,对地下人员操作空间和污水厂周边生活环境造成一定影响。

b. 广州市要求出厂污泥含水率达到40%,相应的污泥处理设施规模庞大,加大了采用地埋式污水处理厂的建设和实施难度和费用。

c. 污泥和污水厂一起建在市区,脱水或干化后

污泥在厂内装卸、进出厂区、城市道路运输过程中会产生运输费用和对城市环境影响的问题。

d. 污泥处理处置设施随污水厂分散建设后,单厂污泥量少,不利于污泥处理的规模化效益。

鉴于现在城市建设生态污水厂的发展方向,原先厂内污泥分散处理处置的措施已经不能满足现今对于社会的发展,亟需探寻另外的污泥处理处置的方案。

2 污泥处置及输送形式经济技术分析

传统污泥处置及输送方式是将污水厂的污泥经浓缩、离心脱水至80%含水率,或继续通过深度机械脱水+热干化工艺,将出厂污泥含水率控制在30%~40%,最后用车辆、船舶等交通工具将污泥运往处置地。另一种方式是污水生化处理后的剩余污泥不在厂内脱水或干化,而是以99.2%或98%的含水率,通过管道直接输送到郊区污泥集中处理处置。根据广州市污泥集中处置用地选址困难的问题,可分近远期两阶段实施:近期,市区生态地下污水厂污泥→管道输送→郊区地上污水厂集中脱水干化→污泥最终处置;远期,市区生态地下污水厂污泥→郊区地上污水厂集中脱水干化→管道输送→污泥集中处置。为此从经济和环境两个方面进行比较。

2.1 环境综合比较

① 污水厂污泥设施对环境的影响

传统方式中污泥设施随污水厂建在市区,即使采用地下污水厂的建设形式,采用密封除臭系统也难以彻底消除污泥池体及污泥脱水设施的臭气泄漏,污泥脱水设施运行时产生的震动和噪声等问题。另一种方式是将厂内含水率为96%~99.2%的剩余污泥直接用泵和压力管直接输送出厂,厂区无污泥处理设施,也无需污泥运输车进出厂区装卸污泥,因此厂区环境良好,对周边环境影响小。

② 运输过程中的环境影响

现状广州市采用卡车和泥罐车的污泥运输方式,其泥车在装泥、进出厂区期间以及运输过程中易产生臭气、散漏、噪声等二次污染,难以满足对居民环境友好的高标准生态污水厂的要求。采用管道输送方式,污泥完全封闭在管道内并敷设在地下,最大程度地减少了对环境的污染,也可减少运输车辆。

因此从环境影响角度看,采用管道输送后集中处理的方式更适应当前城市生态污水厂的建设形式。

2.2 经济性比较

① 输送运行费用

我国现无相应的工程案例,国内一般污水厂出厂污泥外运的成本是 1 元/(km·t)(现广东省内污泥外运标准为含水率 40%~50%);用管道输送污泥(含水率按 98% 计),每 100 m 水损按 0.9 m 计,则每吨污泥输送的电费为 0.011 元/km,换算成含水率为 40%~50% 的污泥,则输送成本约为 0.66~0.5 元/(km·t 泥),因此单从输送运行成本对比,管道输送方式明显优于卡车或槽车运输。

② 输送设施建设费用

采用卡车输送仅需考虑车辆费用,采用管道输送需建设一套管路和泵送系统^[1],其建设成本与污水厂数量、污泥总量、污泥集中处置的位置等因素有关,其费用会高于运输车辆的设施费用。

③ 用地费用

采用卡车运输方式,污水厂内需设污泥脱水或干化设施,这些厂分散位于城市中心,用地费用高。采用管道输送方式的污泥处理设施集中在郊区,不仅总占地面积小,且征地费用低,同时可以大大缓解中心城区用地紧张的问题。目前广州市各大污水厂面临着提标改造涉及的用地困难问题,厂区内原污泥处理设施用地的空出可以很好地应对这一难题。

④ 污泥处理设施土建费用

大部分城区污水厂土地利用紧张,如果需要地进行就地处理,特别是地理式污水厂的污泥处理设施的土建成本较高。以已建成的广州市沥滘污水处理厂污泥干化减量工程为例,其污水处理量为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污泥处理规模折合干基污泥约 71 t/d,扣除控制室空间,建成的污泥脱水干化车间建筑尺寸 $L \times B \times H = 64.1 \text{ m} \times 57.5 \text{ m} \times 17.0 \text{ m}$,空间体积为 $6.26 \times 10^4 \text{ m}^3$,地下污水厂地下空间的土建建设综合费用较地面上建筑工程费用单价高出 1 000 ~

1 300 元/ m^3 ,因此,污水厂采用全地理式的建设形式时,污泥处理设施土建费用需比直接采用管道运输到郊区地上污泥处理设施的费用高出 6 000 万元。同时还要考虑到,在建设总规模一定的情况下,如果分建多座小型污泥处置设施,由于规模效应,总投资和经营费用都比集中建设的形式更高。

因此采用管道运输污泥至污泥集中处理厂时,污泥处理设施土建费用可以大大节省。

⑤ 对污泥处置设备工艺的影响

广州市污泥干化热源采用天然气时,能耗指标低于采用电能作为热源的工艺设施,但采用地下污水厂建设形式时,以天然气为热源建设锅炉房,面临土建空间埋地和安全隐患对城市中心影响等问题,而采用管道输送后在郊区集中处置则完全无这些限制和不利影响。

综上所述,在城市污水厂生态化建设背景下,除了输送设施的建设费用外,管道输送的方式在其他方面,如输送运行费用、输送设施建设费用、用地费用、污泥处理设施土建费用、污泥处置设备工艺等,具有明显的经济技术优势。

2.3 国外类似工程参考

由于我国缺乏采用管道输送方式的案例,一些技术数据可参考借鉴国外类似工程的经验,故通过对国外已建成的不同污泥输送方式的比较,得出在不同处理量时较优的输送方式。日本不同污泥输送方式的经济性比较结果如表 2 所示。

表 2 不同输送方式综合经济比较

Tab. 2 Comprehensive economic comparison of different transportation methods

项目	参数	污水处理量/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)		
		60	15	3
管道 输送	运输距离/km	10	10	10
	污泥量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	9 150	2 288	765
	含水率/%	98.9	98.9	98.9
	污泥管径/mm	350	250	250
	污泥泵功率/kW	75	37	37
	输送费用/(元· a^{-1})	78 650	44 770	41 140
	折旧费用/%	86.7	92.4	94.6
卡车 输送	输送费/%	10.9	5.1	2.7
	运输距离/km	10	10	10
	脱水污泥体积/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	401	100	33
	污泥含水率/%	75	75	75
	输送费用/(元· a^{-1})	181 500	36 300	21 175
	折旧费/%	41.3	48.5	60.6
	输送费/%	51.2	42.7	30.3

由表2可知,对于小型城市及工业区污水处理厂,采用卡车运输污泥较便宜;对于大中型污水处理厂,采用管道输送的方式更为合适。根据以上结果,广州中心城区污水处理系统中有超过66%的污水处理厂处理规模超过 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超过90%的污泥宜采用管道输送的方式进行运输。

有研究表明,当污泥产量超过 $700 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,管道运输成本要低于卡车运输,相比较于在厂内脱水后用驳船输送和卡车输送,在一定输送距离和输送规模情况下,管道输送的经济性十分突出。对于不同处理量的污水厂而言,采用不同的污泥输送方式也是十分必要的。

综上,国内大中城市特别是需要建设生态友好的地下污水厂的城市,中心地区的污水厂产生的污泥更适宜采用管道输送至集中处理处置的方式。

3 污泥管道输送相关技术要点

3.1 污泥特性技术分析

一般情况下,含水率 $>99\%$ 的污泥其物理状态接近液态,采用管道输送沿程压力损失小,运行费用低,维护管理容易;含水率 $<94\%$ 的污泥流动性比较差,采用管道输送需要较高的压力,运行费用高,维护管理困难,一般不建议长距离输送。

3.2 污泥管道水力计算

压力流污泥管道输送过程中,当污泥处于紊流流动时,沿程水头损失一般可按式计算^[2]:

$$h_f = 6.82 \frac{L}{D^{1.17}} \left(\frac{v}{C_H} \right)^{1.85} \quad (1)$$

式中 h_f ——沿程水头损失

C_H ——海曾-威廉系数,其值与污泥浓度有关

L ——管道长度

D ——管径

v ——流速

参考《给排水设计手册(第5册):城镇排水》,根据污泥的含水率及选用的设计流速,求出每100m管段的水头损失,最后选定污泥压力管径,局部阻力损失则根据该手册9.2.1节的污泥局部阻力系数值进行计算。

3.3 污泥输送系统设计要点及管道设备

① 管道输送系统技术要点

根据污泥管道输送距离长、压力高、停运后易沉积堵塞的特点,管道输送系统在设计时应注意以下

技术要点:

a. 为保证管路输送的安全性,一般采用两路,当单根某段管路发生故障时,整个输送系统应保证设计流量的80%的输送能力。

b. 管道规模应高于不同含水率情况下的污泥管最小设计流速。

c. 厂内应设置足够容积的储泥池和足够备用数量的污泥输送泵,确保污泥输送管按一定设计流量连续运行。

d. 为减少接口渗漏和爆管风险,压力较高时管道采用高压无缝钢管,采用焊接以减少管件;采用超低摩阻耐磨复合管用耐震快装法兰连接,便于发生故障时更换。

e. 为应对污泥管出现故障时导致的停运,避免污泥沉积堵塞管道,可考虑管道沿线分段设置管道润滑系统,润滑系统由高压隔膜计量泵和润滑环组成,可用水、油或高分子聚合物溶液作润滑剂。

f. 由于建议的输送污泥不是脱水后的污泥,流体性质基本与普通污水类似,根据国外现运行的污泥输送管道系统的情况看,应通过降低管道设计流速、在水泵出口管道附近增设水锤消除器、增大高点排气阀的排气量、增设缓闭止回阀及分段加压等措施应对水锤风险。

g. 污泥管尽量减少采用直角或锐角三通,转弯半径在场地条件允许的情况下,应尽量放大,至少超过5倍的管径。

h. 沿程管段局部低点需设置冲洗放空阀。

i. 污泥管可明挖埋地敷设,为便于维护检修更换可采用地面管沟,条件允许时应尽量布置在综合管廊内。

② 管道设备

从一般大城市污水厂布局背景下污泥管的输送距离和输送流量分析,长距离(10~50km)污泥管输送管管径一般为DN200~DN500,管道输送压力在0.1~0.5MPa范围内,考虑减少摩阻和耐高压特性,污泥输送管材可采用高压无缝钢管、超低摩阻耐磨复合管和球墨铸铁管。污泥输送泵需满足不易堵塞、耐腐蚀和耐磨损等性能条件。

输送泵可根据污泥的含水率情况进行选定。从二沉池剩余污泥泵房送出的污泥含水率一般为99.2%~99.5%,特性与普通污水一样,管道输送压力相对较低时,可采用普通污水离心泵和潜水污水

泵;若经过浓缩池浓缩或机械浓缩,污泥含水率一般为98%,污泥为低粘度,管道输送压力较高,可采用偏心螺杆泵和柱塞泵。

3.4 污泥管道输送案例

目前国内污泥管道输送实际工程运用只限于污水厂内的短距离输送,或脱水后80%含水率的污泥用管道输送500 m至船运码头,尚无含水率高于94%的污泥高压长距离输送的实际案例。

在欧美各国和日本均有污泥管道输送系统的案例,如英国伯明翰市6.4 km长距离输送含水率为90%~91.5%的消化污泥管,荷兰伊格达市11.3 km长距离输送含水率为95%~96%的消化污泥管,美国洛杉矶12.07 km长距离输送含水率为93%~97%的消化污泥管,以及美国芝加哥、克利夫兰以及费城等城市输送含水率为96%~98%的污泥管。日本许多城市污水厂的生化池产出的剩余污泥也是不经脱水干化而直接或浓缩后用管道输送后集中处置。其中一段浓缩后含水率为98.5%的污泥管长度为13.5 km,输送能力为 $7\text{ m}^3/\text{min}$,输送压力为0.65 MPa;另一段生化后剩余污泥含水率为99.4%的污泥管长为10 km,输送能力为 $3.5\text{ m}^3/\text{min}$,输送压力为0.43 MPa。这些管道长期停运时用水冲洗管道,运行尚未发生大的事故。这些工程使用的管材多为球墨铸铁管。

4 结语

① 按海绵城市水资源回用的建设理念,污水厂更多靠近城市生活区以及越来越多地下污水厂的情况下,由于环境高标准的要求和埋地式土建成本等因素的考虑,污泥更适宜采用管道输送后集中处理处置的方式。

② 从运行成本初步分析,对于小型城市及工业区污水处理厂,采用卡车输送脱水污泥费用较低;对于大中型污水处理厂,采用污泥管道输送更为合适。

③ 国外的污泥管道输送系统相对成熟,其参数设计可供学习,输送污泥含水率多在98%左右,管长、设计流速等皆可作为参考。建议正在建设地下污水厂的城市可以利用国外已成熟的经验先期完成工程实践,结合我国国情积累技术经济数据。

参考文献:

- [1] 吴淼,赵学义,孙浩,等. 污泥管道输送成套装备的应用[J]. 中国给水排水,2005,21(6):73-76.
Wu Miao, Zhao Xueyi, Sun Hao, et al. Application of complete equipment for pipe transportation of sludge[J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(6):73-76 (in Chinese).
- [2] 潘琦,邵任斌,谢建萍. 污泥管道输送阻力特性研究与应用[J]. 给水排水,2014,40(10):100-102.
Pan Qi, Shao Renbin, Xie Jianping. Study and application of the resistant characteristic of the sludge pipe transmission [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(10):100-102 (in Chinese).



作者简介:李胜(1970-),男,湖北荆门人,大学,工程硕士,高级工程师,北京市政院广东分院工艺总工程师,从事城市给排水工程和环境工程的设计工作。

E-mail:907735024@qq.com

收稿日期:2017-11-12