

雨污管道淤泥一体化处理系统的设计

黄臻扬*, 梁华倩, 黄乐民, 李岳淳, 林洁丽#

佛山科学技术学院化学工程系, 广东 佛山

收稿日期: 2023年5月16日; 录用日期: 2023年7月16日; 发布日期: 2023年7月24日

摘要

本文通过将垃圾分拣、沙石分离、淤泥稳定化无害化、淤泥脱水、余水净化等这些环节集中于一体, 设计了雨污管道淤泥一体化处理系统, 目标是提高处理淤泥的效率。淤泥的调理药剂成分和用量根据淤泥特性而定, 调理后经初步脱水的含水率从98.9%降到62.46%。系统的机械压滤脱水结构, 采取了水平、弧形、S形三步逐步压榨的方式, 淤泥脱水单元模块包括搅拌入料模块、浓缩模块和脱水模块, 对初压的淤泥进行深度脱水时, 含水率可以再降低10个百分点以上, 约50%。

关键词

雨污管道, 淤泥, 一体化, 含水率

Design of Integrated Treatment System for Sludge from Rain Sewage Pipeline

Zhenyang Huang*, Huaqian Liang, Lemin Huang, Yuechun Li, Jieli Lin#

Department of Chemical Engineering, Foshan University, Foshan Guangdong

Received: May 16th, 2023; accepted: Jul. 16th, 2023; published: Jul. 24th, 2023

Abstract

The design of integrated treatment system for sludge from rain sewage pipeline was made by concentrating the garbage sorting, sand separation, sludge stabilization harmless, sludge dehydration and the residual water purification in one. This design was to improve the efficiency of sludge treatment. The composition and dosage of conditioning agents for the sludge were determined according to the characteristics of sludge. After conditioning, the water content of primary dehydration was reduced from 98.9% to 62.46%. The mechanical pressure filtration dehydration

*第一作者。

#通讯作者。

structure of the system used three-step press of the horizontal, curved and S-shaped. The sludge dehydration unit module included the stirring feed module, the enrichment module and the dehydration module. When the initial pressure sludge was deeply dehydrated, the water content could be reduced by more than 10 percentage points, which was about 50%.

Keywords

Rain Sewage Pipeline, Sludge, Integration, Water Content

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

面对日益增长的城市污水量，必须采取有效的手段处理产量不断增长的污泥[1]。城市的雨水和污水管道中的淤泥容易造成堵淤，并且因含有各种细菌、重金属[2]、有机污染物和无机污染物等组成复杂而导致污染程度高，同时含水率高，如果不经过稳定化处理，引起淤泥无序排放，必对环境造成二次污染。目前处理管道淤泥和污水厂的污泥的常规方法[3] [4]第一目标是降低含水率，一般情况是都能降到80~85%，然后是整体收集。较多的选择是运输至特定场所进行深度脱水或者进行类似填埋等最后处置形式，显然对于处理单位来说运输成本高且后期投入高。因此提出雨污管道淤泥在现场能够实现一体化处理系统，是非常必要的。

现阶段的研究与应用中，未发现关于现场处理雨污管道淤泥的一体化技术的报道，对于河道淤泥处理的一体化技术倒是有报道，例如王海龙所探讨的高压压滤脱水固结一体化淤泥处理技术[5]，运用泥浆泵和高压压滤机等机械对河道淤泥进行一系列处理；又如云南省滇池污染底池疏挖工程三期淤泥脱水固结一体化技术[6]通过除渣、浓缩、均化、脱水等操作进行一体化处理。这些一体化处理系统都使得淤泥处理更加方便高效，但是正如他们所言[6]，建设成本过高，还需降低成本。本系统为了更好地实现固液分离，提出集垃圾分拣、沙石分离、淤泥稳定化无害化、淤泥脱水、余水净化等这些环节于一体的五环节一体化设计。该系统在清淤现场能够对淤泥进行稳定化处理，仅运输分离后的垃圾、沙和脱水后的淤泥，而余水可以直接回排到管道中，只有这样才能减少运输和处理成本。

2. 雨污管道污泥一体化处理系统设计

2.1. 设计流程

雨污管道淤泥五环一体化的设计，使得操作便捷，并且能够提高脱水效率和减少在运输场地等方面的费用。针对雨污管道淤泥的性状特点，采取垃圾分拣、分沙、淤泥稳定化、淤泥脱水的工艺路线，并采用独特处理设备。从功能层面，可以分为四部分：过滤功能、调理功能、脱水功能、净化功能。

图1是五环节一体化设计的工艺流程图。过滤功能包括垃圾分拣与沙石分选两步处理，目的是分离出较大的固体废物。先对管道淤泥(因有的淤泥含水率高达99%，以下简称泥浆)进行垃圾分拣，将体积较大的生活塑料等垃圾分离出来，并且进行打包装袋交由垃圾处理厂。再通过多级振动筛，根据粒径大小分离出不同等级的沙石，打包进行回收。过滤处理完毕后，进入调理功能模块。过滤后的泥浆被排入到调理搅拌池中，根据泥浆量及其性质配比适宜的药剂成分及其用量也投加到调理池中。药剂与泥浆在

调理池中被机械搅拌而混合，目的使药剂与泥浆接触后发生充分反应，然后进入脱水功能模块。首先经过浓缩阶段，调理后的泥浆在浓缩装置可以使大部分水离开泥浆，含水率可以降到 92% 左右，泥浆离开浓缩装置后直接进入机械压榨脱水装置，因该装置采用水平、弧形、S 形三步逐步压榨的方式，可以较好地循序渐进分离固液，实现较高的脱水效率。因此在脱水功能模块，管道泥浆已经完成固液分离，含水率降到 50% 左右。其中的固，即含水率较低的泥饼进一步被稳定化和无害化处理，可用于建筑、农业、土地利用等；而其中的液，即在浓缩和压榨脱水阶段分离出来的水会输入污水净化功能模块，净化后的清水直接排放，少量污泥被送回调理池参加进一步的固液分离工序。

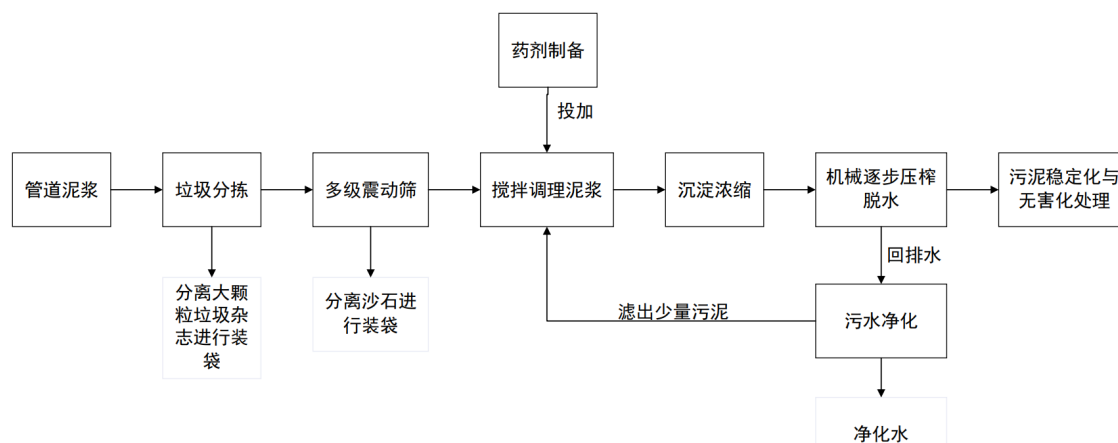


Figure 1. Process flow diagram of a five-link integrated treatment system of rain sewage pipeline
图 1. 雨污管道淤泥五环节一体化处理系统的工艺流程图

2.2. 调理方案及其结果

污泥处理中，污泥的调理是至关重要的，因此现在侧重介绍调理实验结果。污泥的来源不同，性质也有差异，也会影响选择调理试剂的种类和用量。但是调理试剂一般来说是包括无机混凝剂(例如聚合氯化铝、聚合硫酸铝)和有机絮凝剂(例如阴阳离子聚丙烯酰胺)。本文测试的管道泥浆来自于佛山市顺德区某城镇的管道，经测试该泥浆带负电荷，原始含水率为 98.9%。我们选择的有机絮凝剂是阳离子聚丙烯酰胺(简称 CPAM)，无机调理剂选择了煤炭浮选剂、聚合硫酸铝。将 CPAM 按 0.1% 的质量分数配制成溶液。经静置一定时间后取等量泥浆，通过添加不同量的煤炭浮选试剂，再添加 CPAM，在大烧杯中进行搅拌，观察絮凝情况，取少量混合物进行测量毛细吸水时间，剩余混合物用自制三维纤毛滤布进行过滤(模拟浓缩过程)，将滤泥经过纤毛滤布用同等力量挤压，可以借助挤压机挤压过滤(模拟脱水功能模块的机械脱水)，再把挤压后的泥饼从三个地方取样，测量泥饼含水率，取平均值为终值。每一个实验均设置三组平行实验，实验结果取三组平均值，通过比较毛细吸水时间(Capillary Suction Time, 简称 CST)和含水率两方面确定较理想的投加量调理方案。原样泥浆只添加 CPAM 絮凝后，测含水率平均值为 74.32%，CST = 31.1 s。若先添加合适量的煤炭浮选剂和聚合硫酸铝，再添加 CPAM，经压榨后含水率平均值为 62.46%，CST = 15.8 s。实验表明煤炭浮选剂对 CST 和含水率均有所改善，而且随着投加量越多，改善的效果越好，只是改善的速率到达极大值后有所下降。通过分析 CST 和含水率的变化率，它们分别是在投加量 10%、5% 时变化率最大，本文中所涉及的药剂投加量是指投加药剂与绝干物质量的质量百分比。根据我们的实验经验和现场测试，建议煤炭浮选剂投加量范围为 10~20%。选择聚合硫酸铝时，也能提高脱水效率，但是同样的投加量下，效果不如煤炭浮选剂。但是对于其它来源的管道泥浆，聚合硫酸铝的效果不一定比煤炭浮选剂差。因此需要提前测试，只是煤炭浮选剂比聚合硫酸铝成本低，但煤炭浮选剂会提高后续的

余水净化成本。为此，我们基于煤炭浮选剂和絮凝剂的吸附絮凝机理而研发一种新的调理剂，我们给其取名为脱水宝(简称 TSB)，在实验室测试发现用 TSB 代替 CPAM 时，不仅可以减少预处理的无机调理剂的投加量(甚至可以为 0)，而且能够使含水率降低 10 个百分点。同时 TSB 的最佳投加量与 CPAM 的差不多，均为 1% 左右，而 TSB 的成本比 CPAM 低。所有这些实验结果不仅表明污泥经过 TSB 的调理，经浓缩和压滤后，能够降低含水率，而且说明本系统技术所用的调理、浓缩脱水技术是高效低成本的。

2.3. 实际应用

2.2 的结果只限于在实验室的实验测试，处理量有限。根据图 1 设计的浓缩压榨脱水结构加工成的装置，在中试现场表现出了更好的结果，表 1 列举了对泥浆投加不同的调理剂后逐级挤压后的泥饼的含水率。因三维滤布成本高，在中试装置使用普通滤布，整个装置不能最大发挥本系统和本调理剂的脱水功效，含水率只能降低到 55%，实验室测试用的是三维滤布，含水率可以降到 50%。由表 1 可见最低含水率 50% 的调理剂是硫酸铁(简称 FS)，但是投加量高达 35%，从经济效益和社会效益来说企业不会选择。在减少其投加量时脱水效果变得很差，即便与我们的 TSB 混合调理，含水率比只调加 TSB 时的值仅小了一个百分点，因此低投加量下 FS 没有优势。中试的结果再次说明 TSB 的调理的有效性以及本系统的设计的合理性。

Table 1. Moisture content of mud cake after adding different adjusters and passing through the step dewatering device
表 1. 添加不同调理剂下泥浆经逐级脱水装置后的泥饼的含水率

序号	调理剂	投加量	含水率
1	聚合氯化铝 PAC	6%	70%
2	TSB + FS	1% + 4.5%	54%
3	TSB	1%	55%
4	硫酸铁 FS	35%	50%

2.4. 系统优化设计

结合实验测试和中试的经验，为了更好地实现一体化，对本系统的设计优化如图 2 所示。

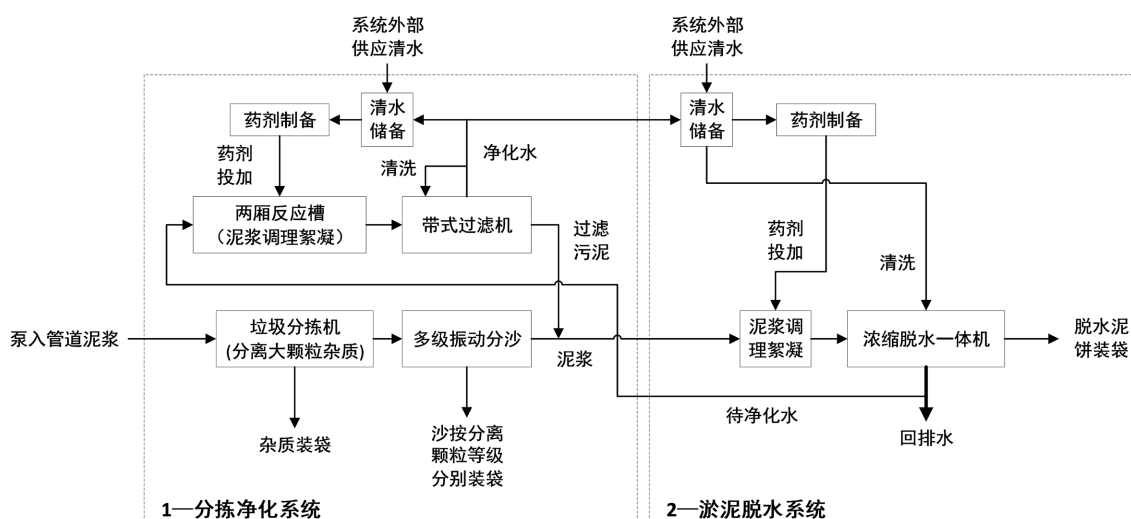


Figure 2. Optimization process flow diagram of sludge treatment system of rain sewage pipeline
图 2. 雨污管道淤泥处理系统的优化工艺流程图

由图 2 看出, 将整个系统分成两大模块: 分拣净化系统和淤泥脱水系统, 将原来的五个环节优化为两个系统。分拣净化系统是将泵入的泥浆中的垃圾和沙石分离, 同时将淤泥脱水系统中产生的部分压滤液通过两厢反应槽的调理和絮凝, 流经带式过滤机净化为可回用的清水, 过滤出来的淤泥和沙石分离的泥浆一同泵到淤泥净化系统中。在淤泥脱水系统中经过泥浆调理絮凝将泥浆改性成易脱水的絮团, 进入到浓缩脱水一体机压榨成含水率低的泥饼, 压滤液大部分回排至下水管道, 部分泵回分拣净化系统处理成回用清水。回用清水用于溶解药剂和清洗滤布。

紧凑的设计对现场能够节省场地面积, 将初始泥浆和净化水工序涉及到的泥样分开调理和脱水, 保证各自效率。因为物质性质发生变化后, 药剂的选择和用量都有可能发生改变。由图 2 不难发现, 系统所需的清水一开始从外部供应。如果现场能够提供自来水, 可以不启动本系统的净水工艺, 所有压滤水都可以回排到管网。如果现场没有自来水, 在实际操作时需要携带少量水, 启动净水工艺后, 压滤水分为两部分: 待净化水和回排水, 净化水可以被系统循环利用。这样可以解决大多数现场没有水源的困难。

在比较多的实际工作场合下, 尤其是处理大部分雨水管道, 泵入的泥浆中基本上是垃圾和沙石, 淤泥含量极少, 可以只用分拣净化系统中的垃圾分拣机和多级振动分沙机分离出垃圾和沙石即可, 其它设备可以不使用, 因此可以不必运输淤泥脱水系统到现场, 这样可以极大提高工作效率, 降低处理成本。因此在机械结构方面, 我们根据图 2 设计成独立的两部分: 分拣净化系统和淤泥脱水系统, 它们可以独立运行, 也可以通过管道连接协同工作。

3. 结论

雨污管道淤泥一体化处理系统包括垃圾分拣、沙石分离、淤泥稳定化无害化、淤泥脱水、余水净化等这些环节的一体化设计, 能有效地提高污泥脱水率, 减少各环节运输费用。实验室的数据测试表明本系统的调理、浓缩脱水技术是可行的, 中试的结果证明了淤泥调理浓缩后经逐级压榨, 含水率可以降到低于 60%, 系统运行效率高, 处理成本低。结合现场的中试经验, 将一体化设备设计成两大系统模块, 可以独立运行, 使得设备体积紧凑, 处理工艺上调理和压滤脱水灵活可变。垃圾可以通过运输车辆运输至专业的指定场所进行再次处理, 而净化水可以作为系统的回用水、压滤水可以直接排回管网、沙粒可以再次利用或填埋, 处理后的泥饼可以资源化利用, 不仅避免二次污染问题, 而且解决水资源短缺的问题。另外, 相比其他河道淤泥处理的一体化技术, 本系统无需基建成本。

基金项目

广东省省级大学生创新训练计划项目“雨污管道淤泥一体化处理系统”(S202211847062)。

参考文献

- [1] 刘鑫, 惠秀娟, 唐凤德. 我国典型城市污泥产生量处理处置现状及经济学趋势分析[J]. 环境保护与循环经济, 2021, 41(4): 88-93.
- [2] 孙娟. 城市污水处理厂污泥中重金属污染治理方法研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(10): 110-111+114.
- [3] 何云. 新时期城市污水处理厂污泥的处置与综合利用[J]. 资源节约与环保, 2022(7): 73-76.
- [4] 尹建坤, 冀志国. 城市污水处理后污泥资源化有效利用的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(10): 99-100.
- [5] 王海龙. 河道淤泥处理新技术探讨[J]. 农业开发与装备, 2022(2): 109-111.
- [6] 王宇霞, 冯云. “淤泥脱水固结一体化”技术在滇池底泥疏浚工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(20): 127-129.