

一种污泥脱水设备的设计

张晨^{1,2} 刘铭洋¹ 顾云青¹

(1 浙江海洋大学 浙江 舟山 316022; 2 浙江药科职业大学 浙江 宁波 315500)

摘要: 污泥是污水处理后的主要副产品, 其中含有大量的有害物质, 若不经无害化处理便随意弃置, 会对环境及人体健康造成极大的危害。污泥焚烧处理技术是目前使用比较普遍的污水处理技术, 然而未经处理过的污泥含水量高达 95% 以上, 需经过脱水处理, 提高污泥的含固量和热值, 进而提高污泥焚烧的效率。本文基于酸化预处理和碱化预处理的复合预处理方式, 辅以机械脱水处理技术, 设计了一种污泥脱水设备。

关键词: 污泥; 脱水处理; 复合预处理; 污泥脱水设备

0 引言

随着中国工业化和城镇化进程的推进, 人们的生活水平日益提高; 同时排放了大批需要处理的工业废水和城市污水, 带来了污泥产量的增加, 对环境造成了二次污染, 这对日常生活和人体健康是非常不利的^[1,2]。污泥是在处理污水的过程中所形成的沉淀, 其中含有大量的有害成分, 如可能会对人体健康带来威胁的病原物和寄生虫、锌铜汞等重金属以及一些难降解的有机污染物, 同时散发着令人难以接受的臭气^[1-4]。若不对污泥加以处置, 任由它裸露于自然环境中, 将对自然环境和人类身心健康产生巨大危害, 若污泥中的重金属被鱼、虾等意外吸食, 最后成为一道“美食”, 会对身体健康造成极大危害^[5]。因此, 如何安全有效地处理污泥, 实现减量化、稳定化、无害化和资源化的目标, 是社会各界应该关注且认真思考的问题。

目前, 比较常见的污泥处理方式是直接回填、农用堆肥、填海和垃圾焚烧等。无论是哪种方式, 都需提高污泥的含固率, 使污泥浓缩减量, 为后续的运输和处置带来便利条件^[6]。一般污水处理厂产生的剩余污泥主要成分为 99% 左右的水分和 1% 的固体颗粒。污泥中污水的构成大致为间隙水、自由水、吸着水和结合水, 不同类型的水所采取的脱水方法也不同。其中, 间隙水和自由水可通过浓缩或机械脱水的方法去除, 而吸着水和结合水则成为污泥脱水的难点, 也是重点^[7]。

城市污水处理厂中剩余污泥的平均含水率在 95%

以上, 通过浓缩或机械脱水后, 若其含水率仍在 80% 以上, 在污泥无害化或者资源化处置时, 应当使污泥的含水率降低至 60% 以下^[8,9]。为进一步对污泥实施深层脱水, 进而减少其含水率, 对污泥进行脱水预处理是非常有必要的。

污泥污染问题越来越严重, 污泥处置问题逐步得到了社会的重视, 污泥脱水技术也开始得到普遍应用, 对污泥脱水工艺和装备的研发也越来越多。本文主要介绍了不同的预处理方法, 并基于酸化预处理和碱化预处理的复合预处理方式, 辅以机械脱水处理技术, 设计了一种污泥脱水设备。

1 设计思路

目前研究的控制污泥脱水的重要因子包括细胞外聚合物 (EPS)、粒径分布、Zeta 电位和黏度^[10]。目前常用的污泥脱水预处理工艺大致分为物理预处理、生化预处理及生物预处理。物理预处理主要是指利用外加动力的手段, 改善污泥的组织结构和性能, 破坏絮体、胶状组织, 进而改善污泥的脱水性能, 如超声波预处理等。该方式可深度去除污水中的结合水。生物预处理则是利用生物原材料和生物体技术, 改善污泥的胶体组织结构, 进而改善污泥的沉淀性能和脱水稳定性。虽然这种方法具有能量较小、环保、技术简便等优势, 但目前尚不完善, 生产成本也较高。化学预处理则采用加入化学调理剂 (混凝剂、助凝剂) 的方法, 破坏废水中原有的电荷分布, 减少化学粒子的斥力, 从而降低水吸附, 以改善污泥脱水性能。化学预处理包括酸化 / 碱化预处理和氧化预处理等,

是目前应用范围较广的预处理方式，其操作简单且原料易得^[9]。

然而单纯的预处理方法在某种程度上存在一些缺陷。复合预处理是把不同的预处理方法通过某种顺序结合起来，在克服单纯预处理方法所具有的缺陷的基础上，提高污泥的脱水性能。本文将重点介绍污泥化学预处理技术，并对脱水处理技术予以简单的描述。

1.1 污泥脱水预处理方法的选择

常用的污泥脱水预处理方法有物理预处理、化学预处理和生物预处理。而化学预处理是目前使用范围广泛的预处理方法，其操作简单且原料易得，故本文优先选择化学预处理方法。

如图 1 所示，污泥中水分含量极高，其水分可以分为间隙水、自由水、吸着水与结合水。其中，自由水的占比高，约为 70%，间隙水占比为 20%，吸着水和结合水分别占 7% 和 3%，如表 1 所示。由于污泥絮体具有强亲水性，使得污泥脱水较为困难，所以需要通过加能量或加入化学药物等方式，破坏

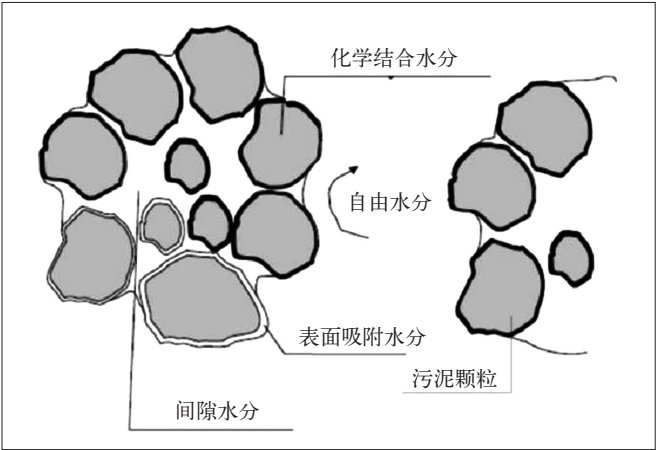


图 1 污泥中的水分示意图

表 1 污泥中的水分类型

水分类型	定义	体积比 / %
自由水分	与污泥固体颗粒无任何物化作用的水分，可通过重力沉降手段去除	约 70
间隙水分	束缚于污泥絮体内部裂缝和空隙中的水分，通过机械作用可去除	约 20
表面吸附水分（吸着水）	通过物理作用吸附在污泥固体颗粒表面的水分，结构性能不同于其他水分，通过机械脱水工艺无法去除	约 7
化学结合水分	通过化学键作用与污泥固体结合的水分，一般通过高温或化学工艺去除	约 3

絮体结构，使污泥中的间隙水与结合水得以释放。

化学预处理方式主要有絮凝预处理、酸化 / 碱化预处理和氧化预处理等。其中，絮凝预处理技术是指在废水中加入适当的絮凝剂并对其进行调质，从而改善其脱水功能。需要注意的是，若絮凝剂添加不妥当，很有可能会对生态环境造成污染^[6]。氧化预处理技术则是通过高抗氧化活性的化学药物，破坏污泥颗粒内的细胞组织和胶状结构，使其放出内部的水分，进而改善污泥的脱水性能^[10]。酸化预处理则是向污泥中添加酸性物质，例如 HCl、H₂SO₄、H₃PO₄ 和 HNO₃ 等。这些酸性物质能够有效地破坏污泥中的絮体结构，并产生质子化效应，使污水中 Zeta 电位从负值增加至近乎于零，降低静电的排斥作用，强化污水的絮凝能力，从而提高污泥的脱水性能。这种预处理方法主要去除污泥中的间隙水^[11,12]。碱化预处理主要是利用膜蛋白的增溶和膜脂的皂化，打破污泥的细胞构造，使污泥中的 EPS 得以溶解，将污泥絮体中的 TB-EPS 转变为以有机物形式存在的液体。由 Su 等^[13] 试验可以看到，Ca (OH)₂ 能够提高污泥的絮凝效率，使得污水絮体的强度和密度得以提高，从而降低污泥絮体间的含水量，进而改善污泥的脱水性能。

本文采用酸化预处理和碱化预处理相结合的复合预处理方法对污泥进行脱水预处理。

1.2 污泥脱水工艺的选择

污泥脱水工艺主要有自然干化、污泥浓缩、机械脱水及污泥干化。其中，自然干化是最早的污泥干化脱水处理工艺，但由于其受气候限制，效率低且对环境污染严重，逐渐被淘汰。目前常见的污泥干化脱水工艺主要有热干化、微波热干化、超声波干化、太阳光干化和生物干化。其中，热干化是比较常见的干化方法，其技术是目前最为成熟稳定的，也是目前使用最为普遍的一类污泥干化方法^[2,13]；但由于其运行成本过高，一般只适用于大规模的污泥处理。机械脱水工艺是最常见的污泥脱水方式^[10]，常见的机械脱水工艺一般有压滤式脱水、离心式脱水和叠螺式脱水等。单纯的机械脱水只能去除污泥中的大部分自由水分和部分间隙水，无法有效去除污泥中的吸着水和结合水，因此，需对污泥进行一定的调理。

本文采用机械脱水工艺并辅以上述污泥预处理方法，对污泥进行脱水处理。

2 设计方案

本文基于酸化预处理和碱化预处理的复合预处理方式，辅以机械脱水处理技术，对污泥脱水设备进行设计，如图 2 所示。该污泥脱水设备的工艺流程，如图 3 所示。

具体方案如下：

- (1) 将污泥厂生产的剩余污泥倒入进料口，污泥在重力的作用下进入搅拌箱 1 内，水箱在水泵的作用下往搅拌箱 1 内输水。搅拌箱 1 内装有二氧化钛网和紫外线发生器，紫外线发生器发出紫外光照射二氧化钛网，可去除污泥中的多环芳烃。
- (2) 污泥在搅拌箱 1 内经充分搅拌后，由离心泵运输至脱水机 1，其脱水后的污水由水泵输入到污水净化器。污水经污水净化器净化处理后，重新输入水箱。
- (3) 污泥经脱水机 1 充分处理后，由离心泵运输至搅拌箱 2。搅拌箱 2 中装有 pH 检测仪，可根据污泥 pH 值向搅拌箱内加入 H₂SO₄ 溶液，作用主要是将间隙水转化为自由水^[11]，提高其脱水性能。酸性溶液经污泥酸化预处理后，由水泵将其输向酸液池，中间经过树脂离子交换器对其进行再利用。

- (4) 污泥在搅拌箱 2 中充分反应后，由螺杆运输泵将酸化后的污泥运输至脱水机 2；污泥在脱水机 2 中充分脱水后，由螺杆运输泵运输至搅拌箱 3 中。同理，其脱水后的污水由水泵输入到污水净化器，污水经污水净化器净化处理后，重新输入水箱。
- (5) 污泥被运输至搅拌箱 3 中，由 pH 检测仪检测污泥 pH 值后，向搅拌箱 3 中注入碱性溶液 [Ca(OH)₂]。碱性溶液的作用在于增强污泥的絮凝能力，提高污泥絮体的强度和密度，减少污泥中的结合水和污泥絮体之间的水分，从而提高污泥的脱水性能，且污泥体积进一步减小，便于运输。
- (6) 污泥在搅拌箱 3 中充分反应后，由螺杆运输泵将碱化后的污泥运输至脱水机 3；污泥在脱水机 3 中充分脱水后，由螺杆运输泵运输至外界，并装箱运输至污泥最终处置点。同理，其脱水后的污水由水泵输入到污水净化器，污水经污水净化器净化处理后，重新输入水箱。污泥处理过程中无液体排出，整体环境效益高。

该设计结合了污泥酸化预处理和碱化预处理工艺，辅以机械脱水技术，对污泥进行脱水处理。该设计采用压滤式的机械脱水技术。有研究标明粒径

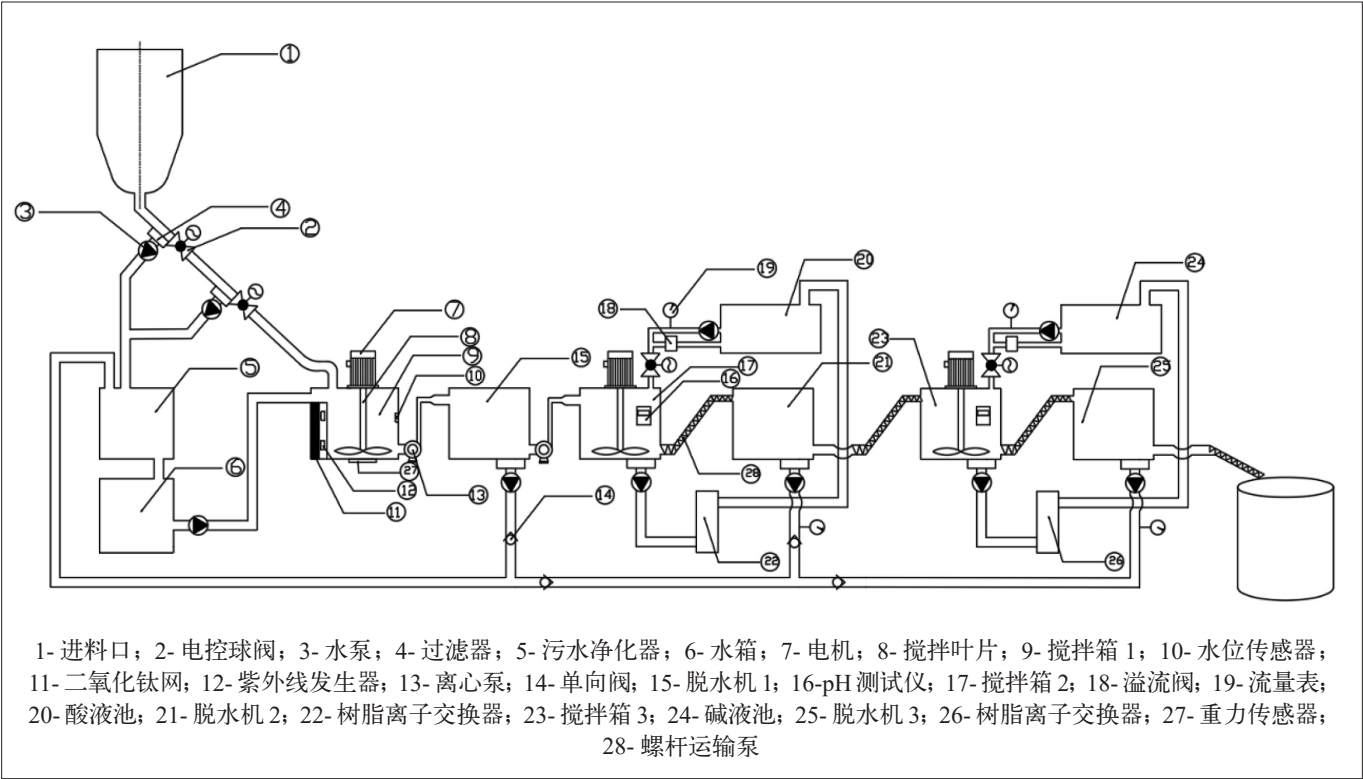


图 2 污泥脱水设备设计图

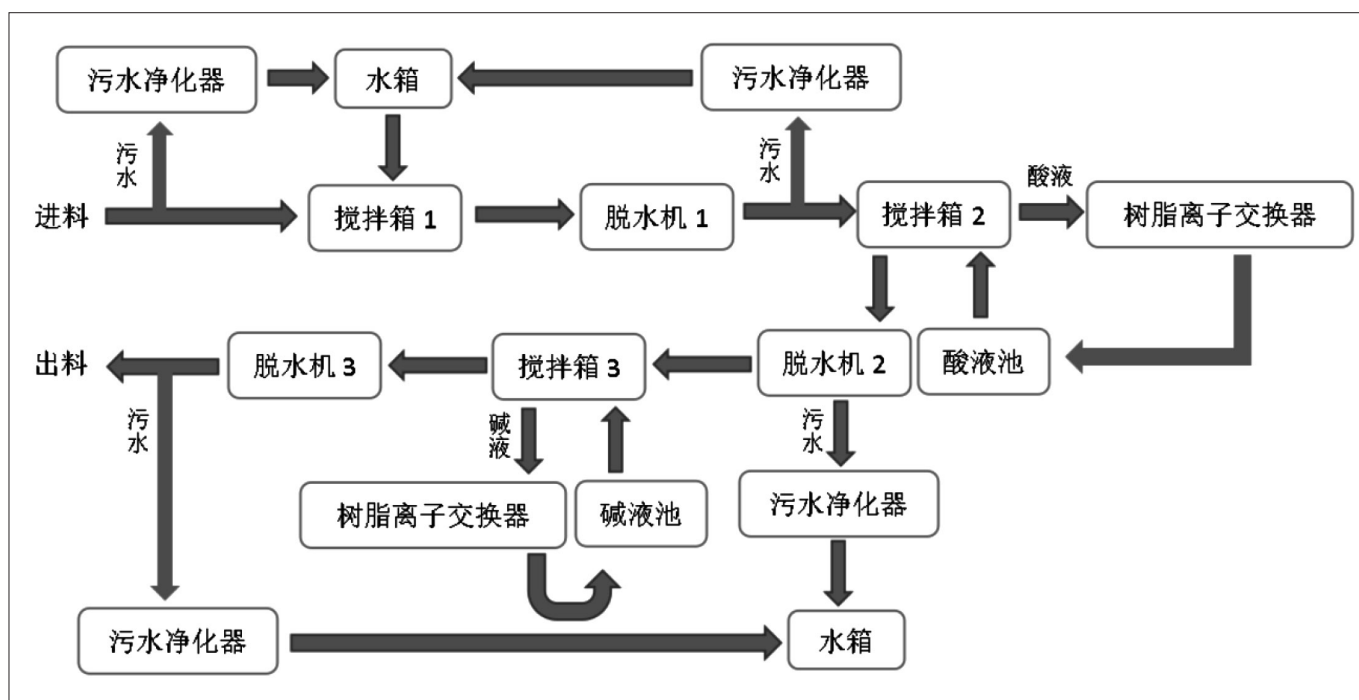


图 3 污泥脱水设备工艺流程图

分布是影响污泥脱水性能的主要因素之一^[10]，因为细小污泥的水合程度比体积大的污泥高，因此需保证细小污泥颗粒的分布比例尽量小。因此设计采用的搅拌机的剪切力应尽量小，尽量保证在不破坏污泥絮体的情况下，使污泥与化学药剂充分反应。另为了保证调理后的污泥絮体不被破坏，在污泥输送过程中不应产生较大的剪切力，因此该设计采用螺杆运输泵对污泥进行运输。

该设计为了保证污泥处理过程中无液体排出,采用了污水净化器,对脱水后的污水进行回收再利用。脱水后的污水排放采用过滤器和水泵,利用过滤器两侧的压力差使得水分脱离污泥固体颗粒,而污泥固体颗粒被过滤器留住,从而实现固液分离。酸性溶液/碱性溶液在酸化/碱化预处理后,经树脂离子交换器被回收再利用;酸性溶液/碱性溶液添加至搅拌机的流量由球阀的通孔大小决定。

在污泥从进料口运输到搅拌箱 1 的过程中, 装有两个电控球阀, 其作用是控制搅拌箱 1 中的污泥量。这两个球阀由搅拌箱 1 上的重力传感器控制。另搅拌箱 1 内装水位传感器, 可根据水位来调节水箱输向搅拌箱 1 的水量。

3 结语

污泥产量日益增长，污泥处置问题越来越

被重视,与此同时,污泥脱水技术也得到普遍应用,对污泥脱水技术和装备的研发也越来越多。机械脱水工艺是最常见的污泥脱水方式,然而由于单一的机械脱水方法只能去除污泥中的自由水分和部分间隙水,无法有效去除污泥中的吸着水和结合水,需对污泥进行一定的处理。本文基于酸化预处理和碱化预处理的复合预处理方式,辅以机械脱水处理技术,设计了一种污泥脱水设备。

细胞外聚合物 (EPS)、粒径分布、Zeta 电位和黏度是影响污泥脱水效率的主要因素。酸性溶液可以使得污泥中 Zeta 电位从负数上升至近乎等于零,降低静电的排斥作用,从而提高污水的絮凝性能。碱式溶液能够利用膜蛋白的增溶和膜脂的皂化效应,破坏污泥的细胞结构,使得污水中的 EPS 得以溶解,进而改善污泥脱水性能。为了使细小污泥颗粒的分布比例尽量小,该设计采用压滤式脱水技术与螺杆运输泵,使污泥不会受到过大的剪切力,保证污泥絮体不被破坏。另外为了保证污泥脱水过程中无液体排出,该设计采用了污泥净化器和树脂离子交换器,使得脱水后的污水和酸化 / 碱化预处理后的溶液得以回收再利用。

基金项目: 舟山市科技计划项目“污水污泥干化焚烧技术的研究”

究与应用”(2019C21187)。

参考文献:

[1] 李辉, 吴晓芙, 蒋龙波, 等. 城市污泥焚烧工艺研究进展 [J]. 环境工程, 2014, 32(6): 88-92.

[2] 陆王平. 污泥干化焚烧处理技术的应用与展望 [J]. 电子技术, 2021, 50(9): 132-133.

[3] 袁言言, 黄瑛, 张冬, 等. 污泥焚烧能量利用与污染物排放特性研究 [J]. 动力工程学报, 2016, 36(11): 934-940.

[4] 周玲, 廖传华. 污泥焚烧设备的比较与选择 [J]. 中国化工装备, 2018, 20(2): 13-22.

[5] 王飞, 严建华, 池涌, 等. 污泥干化焚烧集成技术的研究及应用 [J]. 工厂动力, 2010(2): 11-17.

[6] 齐永正, 王逸, 朱忠泉, 等. 污泥脱水处理技术研究综述 [J]. 辽宁化工, 2020, 49(9): 1117-1120.

[7] 唐红梅, 黎建刚, 李琴, 等. 污泥脱水的影响因素及预处理技术 [J]. 能源研究与管理, 2021(1): 16-20.

[8] 陈宁, 朱盛胜, 李剑华, 等. 城市污泥脱水技术工艺的应用进展 [J]. 广东化工, 2019, 46(16): 138-140.

[9] 唐健, 张欢, 曹晶, 等. 市政污泥脱水技术的发展及展望 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(8): 106-114.

[10] 徐振佳, 张雪英, 周俊, 等. 城市污水厂剩余污泥脱水技术综述 [J]. 净水技术, 2018, 37(2): 38-44.

[11] 乔兴博, 俞海祥, 董光霞, 等. 污泥脱水预处理技术综述 [J]. 净水技术, 2020, 39(4): 86-95.

[12] 刘婷妖, 吴春山. 污泥脱水预处理技术研究述评 [J]. 海峡科学, 2020(3): 43-46.

[13] 刘明强. 污泥干化焚烧利用技术探讨 [J]. 中国设备工程, 2019(20): 199-200.

作者简介: 张晨 (1994.10-), 男, 汉族, 浙江金华人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 电气控制; 刘铭洋 (1997.05-), 男, 汉族, 浙江温州人, 硕士研究生在读, 研究方向: 渔业机械; 顾云青 (1997.08-), 男, 汉族, 江苏南通人, 硕士研究生在读, 研究方向: 渔业机械。

