

# 污泥调理脱水分析及实例探究

凌薇薇

株洲首创水务有限责任公司

**摘要:** 污水处理过程中会产生大量含水率较高的剩余污泥, 剩余污泥的预处理是制约污泥脱水效率的因素之一。本文介绍了影响污泥脱水性能的因素、污泥化学调理及提升其调理性能的途径。目前, 污泥的化学调理因其经济性以及在污泥沉降性能、脱水效率方面优势而被广泛采用, 其中, 根据不同情况采用的化学药剂的联合调理成本较低且效果较好。项目实例中优化了污泥预处理化学药剂的联合调理, 探究了基于污泥调理药剂污泥效果与压滤机产量的污泥浓缩时间与浓度控制, 提高污泥调理效能及板框进泥量, 实现降本增效。为生活污水污泥调理脱水研究提供参考。

**关键词:** 污泥预处理; 化学调理; 药剂联合调理; 浓缩污泥; 调理效能; 脱水效率

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.109

市政生活污水处理采用活性污泥法较广泛, 此工艺处理过程中会产生大量剩余污泥。如何改善污泥脱水性能、减少污泥体积以及提高污泥脱水效率, 是污水处理厂推进高质量发展进程中面临的一个问题。提高污泥脱水效率, 可从两个方面优化, 一是机械设计方式, 二是机械脱水前的污泥预处理, 即污泥调质。目前, 国内外在污泥调理方面的研究较多, 污泥调理脱水方式多种多样。

## 一、生活污水污泥组成及污泥脱水性能的影响因素

### (一) 生活污水污泥成分

市政生活污水污泥分为液相和固相, 固相可分为有机相和无机相, 成分复杂, 其成分一定程度上决定污泥粒径、沉降性、稳定性等性质; 液相为水, 是污泥最主要成分且体积占比大。污水处理系统排出的剩余污泥含水率高且脱水性能较差, 需预处理后才能提高后续机械脱水效果。而污泥中的水根据结合能力及分布情况分成毛细水、结合水、间隙水(或游离水)及表面吸附水。其中, 间隙水在污泥总含水量当中占比约70%, 能通过重力浓缩作用分离; 毛细水占比约20%, 需借助离心分离、压力过滤等较高的机械作用力和能量才能去除; 表面吸附水占比约7%, 普通的脱水措施或浓缩方法去除这部分吸附水难度较大, 只有采取加入化学混凝剂, 中和污泥胶体颗粒的电荷使其脱稳聚集并沉降等措施才能达到去除效果; 内部结合水占比较少但去除难, 即使是对污泥进行调理后也较难达到预期效果, 必须破坏细胞膜使水分从细胞中渗出变为外部液体才能去除, 因此结合水的含量可视为机械脱水的上限<sup>[1]</sup>。

### (二) 影响污泥脱水性能的因素

污泥脱水性能受到外部及内部因素制约。外部因素包括: 脱水前污泥的储存方式、处理条件及方法、地区和季节等; 内部因素包括污泥理化性质及污泥组成。其中, 污泥理化性质包括密度强度、污泥絮体的尺寸形状、颗粒表面电荷、水分分布等; 污泥组成因素包括胞外聚合物(EPS)、无机颗粒等。每种因素对污泥脱水影响程度不同, 如污泥组成(组分及其分布和含量)影响较大, 其中影响最大的是EPS, 其次为水分、细菌、有机质和无机颗粒等其他组分<sup>[2]</sup>。除部分不可控外部因素外, 绝大多数可以通过工艺选择、污泥调理等多重方式进行控制, 从而提高污泥脱水效率。

目前, 通过污泥调理实现污泥的过滤及脱水性能提升主要从3个方面考虑及研究<sup>[3]</sup>: 1) 投加絮凝剂等药剂增强絮凝作用提高污泥沉降性; 2) 基于EPS对脱水性能的影响, 利用不同技术降低EPS中的结合水; 3) 投加骨料结构药剂加强絮体强度及降低可压缩性, 或运用过滤等方式降低污泥的可压缩性。

污泥脱水效率的重要影响因素除污泥调理外, 机械脱水也是一个重要环节。其中, 进泥浓度对机械脱水的生产周期和产量有一定影响。

## 二、污泥脱水化学调理技术

污泥调理即在污泥机械脱水前对污泥进行预处理, 以提高污泥的脱水性能及效率。现有的污泥调理方式包括微生物法、物理法、化学调理及联合调理四类。其中, 化学调理经济性佳, 在污泥沉降性能及脱水效率方面优势明显, 应用简便且使用范围较广。联合调理可利用各种调理方式的优点, 成本较低, 能进一步提高污泥脱水性能。目前, 联合调理采用的不同方式中, 国内对多种化学药剂联合调理的研究较多。

化学调理通过往污泥中投加化学药剂从而改变其化学性质, 使污泥絮体脱稳、释放EPS中的水, 或通过桥联作用促进污泥絮体增大, 提高其沉降性能。常用调理剂主要有有机调理剂、无机调理剂、表面活性剂和氧化剂等。化学调理剂中属无机、有机调理剂使用率较高。天然有机絮凝剂中常用的有淀粉、壳聚糖等, 其越来越受关注。人工絮凝剂使用较多的是PAM、无机絮凝剂和一些表面活性剂。助凝剂如煤灰、石灰等惰性无机材料<sup>[4]</sup>可作为污泥骨架降低污泥的可压缩性, 改善污泥脱水性能。

化学药剂的联合调理因成本较低, 脱水效率较高被广泛研究与采用。新型药剂的研究进展较快, 传统药剂的使用依旧普遍。铁盐和铝盐两大类传统无机调理剂因便宜、有效的优点依旧被国内广泛采用, 有机絮凝剂

的联合投加，效果优于单一无机调理剂。助凝剂如石灰在污泥中既可作为骨架降低污泥絮体可压缩性，也可破解EPS提高污泥的脱水性能，形成的氢氧化钙也可作为混凝剂。故无机调理剂、有机絮凝剂及助凝剂的联合使用，一定程度上可提高污泥的调理性能，实际项目中综合考虑脱水目标、生产效率、生产成本等因素，选择适宜的药剂种类与配比。胡智<sup>[5]</sup>比较得出 PAC与CPAM 复合使用时，污泥的沉降效果、污泥过滤比阻、滤液浊度的下降值及过滤速率均优于 PAC 和 CPAM 单独使用。孟令鑫<sup>[6]</sup>的实验得出污泥调理PAC与PAM的最佳复配比，石灰的投加，且可降低污泥含水率；PAC、PAM与石灰联合调理污泥效果较理想。

### 三、项目实例

#### (一) 项目概况

生活污水活性污泥性质具有复杂及差异性，污水厂根据自身污泥性质、工艺特点及生产需求选择适宜的药剂种类及配比。以南方某生活污水处理厂为例，设计污

水处理能力为7万吨/日，剩余污泥脱水系统采用浓缩池-调理池-高压隔膜压滤机工艺，原使用的污泥调理剂为PAC及石灰，出泥效率不理想，在污泥增长速率较快且污泥浓度较高的特殊时期，白班工作时段内的脱泥量无法满足维持污水生化处理段所需稳定平衡污泥浓度的要求，存在工艺运营风险，此种情况下若保障足够的脱泥量，需延长板框运行时间，极大的增加人力、物力投入。如何提高板框脱泥效率是解决问题的重要途径。

#### (二) 污泥调理方法

##### 1. 污泥调理药剂优化调整

化学调理技术的选择，应与污泥性质、脱水工艺及污泥处置路径相配套。高效的污泥脱水药剂组合，不但能提高污泥脱水性能，还可减少药剂投加量，降低成本。现厂区在原PAC、石灰调理的基础上，增加CPAM联合调理。实验室得出PAC、石灰、CPAM联合调理效果优于不投加CPAM。浓缩污泥调理后泥水的抽滤速度见下图：

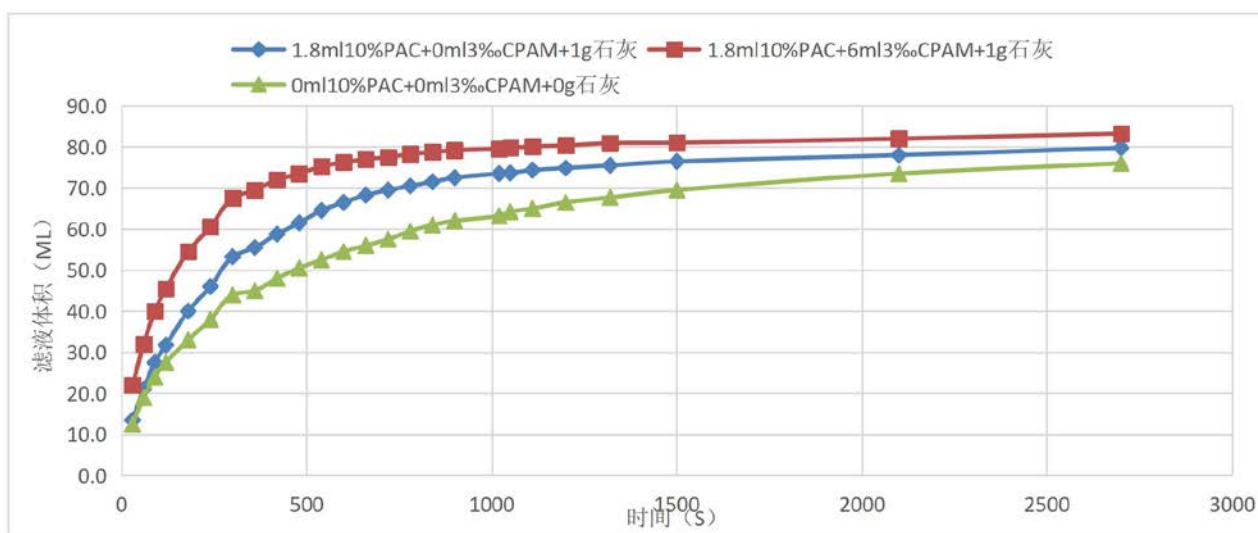


图1 不同药剂联合对比对过滤速率及体积的影响

上图可见，抽滤下浓缩污泥的过滤速度均呈先快后慢趋势，浓缩污泥经PAC、CPAM与石灰联合调理后抽滤的过滤速度及滤液体积高于未投加CPAM及未调理污泥。

另外，实验对比了多种情况下的污泥滤速及滤液体积情况，结果显示三种药剂联合调理优于药剂单独调理，三种药剂不同配比调理效果均有差异。结合实验结果，项目污水处理厂在污泥脱水系统中进行三种药剂联合调泥后经高压隔膜压滤机压滤脱水，综合考量板框进泥效率、脱水情况以及成本的基础上采用最优药剂复配比，在当期冬季生物池污泥浓度居高不下的特殊研究时间段内，75m<sup>3</sup>浓缩污泥，投加1.2m<sup>3</sup>10%PAC、1.4m<sup>3</sup>3%CPAM、0.76吨石灰，对比当期仅PAC与石灰联合调理的压滤机进泥量，单板平均进泥量提升约17%，提高了脱泥车间工作效率，解决了生产运营中的困难。后

期根据不同时段污泥性质、工艺情况等调整三种药剂配比，实现满足生产效率需求情况下的降本增效。

##### 2. 基于污泥调理药剂调泥效果与压滤机产量的污泥浓缩时间与浓度控制

此污水处理厂浓缩池采用重力浓缩方式。根据实际情况，若每日剩余污泥泵往浓缩池中打泥时间过长，一方面超容积的过量剩余污泥溢流进入厂区污水管网汇至污水处理工艺进水口，影响在线监测设备取样泵取水样；另一方面，进入浓缩池内的泥量远高于板框每日进泥量，污泥在浓缩池内停留时间过长，污泥释放磷的速率相应增大，上清液中可溶性磷酸盐含量增加，不利磷排出系统<sup>[7]</sup>。同时，污泥浓缩时间对污泥的PAC化学调理特性有一定影响。根据庞鹤亮<sup>[8]</sup>等对不同浓缩时间段内浓缩污泥投加PAC调理特性的研究，随着浓缩时间延

长, 污泥脱水性能恶化。污泥含水率随浓缩时间的延长而逐渐降低, 当浓缩时间大于12h时的含水率低于98%。PAC调理效果对应剩余污泥的最佳浓缩时间为12h, 污泥调理效果较显著但逐渐减弱的浓缩时间为12h和20h时。曾祥国<sup>[9]</sup>在实验中综合考虑储存时间对污泥脱水性质的改变、后期药剂调理的特性以及机械设备进泥含固率要求, 得出18h浓缩池内剩余污泥储存时间较适宜, 32h以上的储存时间下, 即便增加药耗也不能提高污泥过滤脱水性能。

多人研究试验确认污泥浓度对板框机的产量有明显影响。赵宇翔<sup>[10]</sup>研究中发现, 污泥浓度提升到40000~65000mg/L间, 可缩短处理周期, 提高污泥产量, 污泥浓度高于此范围时泥饼产量反而减少, 含水率上涨。另外, 生产中浓缩时间过长且浓度过高的污泥, 调理完成后更易堵塞滤布, 导致其清洗频次增加, 降低工作效率。但浓缩池每日进泥时间过短, 导致池内浓缩污泥量过少, 板框机单位体积进泥量中绝干污泥量降低, 脱泥效率下降。故适宜的污泥浓缩时间及浓度控制, 利于污泥脱水效率的提高。

参考实际10000mg/L剩余污泥沉降比实验, 平均时长300分钟左右, 污泥沉降比基本达到最大值, 之后随着时间的推移提高值不大, 再结合板框运行进泥时间规律, 浓缩池分阶段进泥既可控制污泥浓缩时间、减少溢流上清液中的含固量及含磷量, 也能提高调理池污泥浓度。

根据该项目实际, 保障污泥浓缩时长12~18h情况下, 结合生物池污泥浓度、浓缩池配泥并进泥浓度, 控制浓缩池进泥时间、时长及进泥量。浓缩池污泥浓度控制在35000mg/L~48000mg/L间, 利于污泥调理效能且可提高板框进泥效率。

综合考量浓缩池污泥浓缩时间对药剂调泥效果及浓缩池上清液的影响、浓缩池污泥浓度对压滤机产量的影响, 浓缩池进泥时间的控制则尤为重要。因污泥脱水车间为白班制, 故在剩余污泥泵上加装定时器, 根据工艺情况分时段打泥, 起始时间为夜间板框非工作时段, 既可保证足够的浓缩污泥浓度, 提高高压滤机产泥量, 也有利于污泥调理效果, 降本增效, 一定程度上也可减少浓缩池溢流液对在线监测设备及系统排磷的影响。在不改变生化处理阶段工艺参数如回流污泥量等情况下, 当生物池污泥浓度低时, 浓缩池进泥浓度相应低, 反之亦然, 故应根据工艺所需生物池污泥浓度、浓缩池进泥浓度及板框脱泥量调整浓缩池进泥时间、时长及进泥量。例如板框机6板泥/日满足工艺需求, 浓缩池单池有效容积为1287m<sup>3</sup>, 生物池污泥浓度3800mg/L, 浓缩池进泥浓度10000mg/L左右, 剩余污泥泵流量为180m<sup>3</sup>/h, 泵上定时器设置的浓缩池进泥总时长为6h/日, 进泥时间段为0点至3点, 之后每隔1小时进泥1小时。

综上所述, 浓缩池进泥时间及时长影响污泥浓缩池

污泥浓度、污泥浓缩时间, 进而也会影响药剂联合配比及调泥特性、板框机的产泥量等, 故污泥预处理阶段需根据工艺综合考量各要素选择适宜方案, 提高污泥调理效能及板框进泥量, 实现降本增效。

#### 四、结语

污泥调理是提高污泥脱水效率的一个重要环节, 各类污泥调理方式有各自的特点及局限性。如何在现有工艺及污泥化学调理的基础上优化方案, 提高污泥脱水处理效率是污水处理厂推进高质量发展的一个方面。联合化学调理法是一种使用率较高的污泥调理方法, 但化学调理存在脱水不彻底、对环境造成二次污染等缺点, 现阶段新型调理药剂及方法正不断研究更新中, 寻找更为绿色高效的污泥调理剂及调理方法是未来污泥脱水技术的发展方向。

#### 参考文献

- [1] 吴玲. 改善城市污水厂污泥脱水性能的试验研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012: 3-4.
  - [2] 于晓, 李衍博, 张文哲, 于潘芬, 柳荣展, 肖本益. 化学调理法改善污泥脱水的研究进展[J]. 工业水处理, 2018, 38(11): 2-4.
  - [3] 郑岩皓, 赵东华, 张翔翔, 邓钰, 魏华. 污泥脱水调理技术研究综述[A]. 见: 曲久辉编. 中国环境科学学会2022年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(三)[C]. 北京: 《工业建筑》杂志社有限公司, 2022: 59-62.
  - [4] Qi Y, Thapa K B, Hoadley A F A. Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties—A review[J]. Cheminform, 2011, 42(41): 373-384.
  - [5] 胡智. 絮凝调理对城市污泥脱水及流动性能的影响研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2021: 1, 69-70.
  - [6] 孟令鑫. 污泥脱水性能的中试试验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学. 2015: 38-40, 53.
  - [7] 周玉红, 杨威, 任重远. A2/O和MBR工艺剩余污泥浓缩过程中磷释放对比[J]. 广东化工, 2014, 41(5): 225.
  - [8] 庞鹤亮, 赫俊国, 郑砚石, 曾祥国, 张立洲, 王东, 张杰. 浓缩时间对剩余污泥性质及PAC调理特性的影响[J]. 中国给水排水, 2017, 33(23): 109-114.
  - [9] 曾祥国. 剩余污泥调理优化及脱水性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014: 2.
  - [10] 赵宇翔. 市政污泥调理及深度脱水工艺优化运行研究——以深圳市政污水处理厂为例[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 51-66.
- 作者简介: 凌薇薇(1986-), 女, 湖南株洲, 硕士研究生, 工程师, 主要从事污水、垃圾治理及环境保护工作。