

文章编号:1005-0523(2018)06-0088-08

# 净水厂排泥水处置现状的若干分析

童祯恭, 吴哲帅

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:**主要阐述了净水厂排泥水处置的必要性及其物理化学性质;在此基础上从资源化利用的角度,归纳了近些年国内外净水厂排泥水利用的主要方式以及发展趋势。在小型水厂中,对排泥水实现回流利用是一条经济合理的资源化处置方案。对排泥水回用的主要方式以及特点加以概括说明,探讨了回用排泥水后强化混凝在电中和水中胶体颗粒稳定方面的机理;还针对排泥水的回用对原有净水工艺出水水质安全性的影响以及风险控制做了一些总结性分析。

**关键词:**净水厂排泥水;资源化利用;回流利用;安全性分析

**中图分类号:**TU991

**文献标志码:**A

## 1 排泥水处置的必要性

随着社会的进步和人口的增长,人们对水资源的需求越来越大,净水厂作为人们供水的主要来源,在供水的过程中,不可避免的会有排泥水的产生。2015年环保部发布的“水十条”中明确提出了对污泥稳定化、资源化、无害化的处置,净水厂排泥水的处置势在必行。

目前,水厂的排泥水对环境的污染问题越来越引起社会的关注。直到上个世纪80年代末,才将排泥水的处置问题正式提上议事日程<sup>[1]</sup>。早先对于排泥水的处置大多是直接排入江湖,排泥水当中含有大量的泥沙,直排会对当地的河道水质产生影响,且泥沙淤积于河底会抬高河道。排泥水当中含有的大量铝盐,排入水体后会危害水中生物,破坏水体生态平衡<sup>[2]</sup>。

相比较于污水处理厂的污泥处置,给水厂的污泥量没有污水厂大,泥的收集也较不稳定,尤其对于小型给水厂来说,配置成套的污泥处理设备不太现实。从目前绿色可持续发展的要求来看,排泥水是不容废弃的水资源,排泥水的回用处置对于国内缺水地区尤为重要。

## 2 排泥水的成分及物理化学特性

排泥水中主要含有沙砾、浓缩后的悬浮物、有机物,以及残存在泥中的混凝剂等<sup>[3]</sup>。给水厂排泥水的特性与其化学组成、污泥粒径、原水的来源有较大的关系。原水分别取自江水、河水、湖泊水、山区水库或者平原水库水,由于各种水源在杂质、无机矿物质、有机质种类、重金属等种类和数量上有差异。从而造成泥水的杂质成分和粒径的不同。其次,净水过程当中所使用的混凝剂、助凝剂等的品类和数量的不同,泥水的物理化学特性也会有较大的差异。

净水厂的排泥水是黏稠絮状有臭味的泥水,其含水率主要和原水当中悬浮物、处理工艺以及原水的性质有关。净水厂排泥水的比阻与水源的水质、pH、混凝剂的种类和数量以及泥水搅拌的程度有很大的关系。

收稿日期:2018-05-24

基金项目:国家自然科学基金项目(51268012);江西省自然科学基金项目(20171BAB206047)

作者简介:童祯恭(1972—),男,教授,博士,研究方向为给水处理理论与技术。

相对于污水厂污泥的密度,给水厂排泥水经过浓缩脱水后的污泥的无机物含量与产生状态的含固率都高、密度较大,一般产生状态的密度为  $1.06\sim 1.20\text{ g/cm}^3$  [4]。

净水厂的污泥主要来源于原水当中的杂质、悬浮物以及药剂的添加,相比较于污水厂的污泥,其有机物的含量低很多。M. Dahhou 等[5]对排泥水利用定量的能量色散 X 射线荧光光谱分析表明排泥水主要以无机物为主,有机质含量较低。净水厂排泥水当中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量一部分来源于原水,另一部分来自投加的铝盐混凝剂的水解。铝盐含量的多少直接影响污泥的浓缩沉降效果和脱水的程度。污泥当中的重金属大多来自原水的流动形成的富集。污泥当中一般含有铜、锌、铬、砷、硒、镍、钼、汞等。

由上述可知,排泥水当中含有大量的悬浮颗粒,无机矿物质,以及重金属。所以对于排泥水而言,如果直接不处理排放会对水体环境造成较大影响,相反对其进行资源化回收利用是一条合理且经济绿色的途径。

### 3 净水厂排泥水的资源化利用

净水厂排泥水回用技术的开发和利用在国内外都有所涉及。通常都借鉴于污水厂污泥的处置方式,包括改良土壤、堆肥、填埋、循环回用、烧制建材、垃圾填埋场覆土等方面。还有对其实现资源化利用的回用。

现阶段净水厂排泥水的资源化利用见表 1[6-23]。

表 1 现阶段净水厂排泥水资源化利用大致分类

Tab.1 Classification of sludge water utilization in water treatment plant at present stage

排泥水资源化利用方式	原理及方法	优缺点
① 净水厂排泥水可以和污水厂污泥进行有机组合联合处理	排泥水当中含有大量的铝盐以及脱水时添加的聚丙烯酰胺等和污水厂污泥所带的负电荷由于水解或吸附架桥作用降低其 Zeta 电位,提高了离心脱水效能。	只适合于净水厂和污水厂的泥水性质互补情况,对泥水性质要求较苛刻,无法适应原水水质变化的需要,净水厂要有管网条件能就近接入污水厂,且可能需要另建联合泥水处理设施。
② 回收作为吸附剂吸附重金属或其他纺织类有害物质	净水厂排泥水当中含有砂砾和腐殖酸等具有较强的吸附特性,高温煅烧以后提高吸附效果,效果受温度、pH、污泥浓度、接触时间、初始浓度影响等。	排泥水先要经过煅烧等进一步处理,且泥水当中需要含有特定的具有吸附活性的物质,才能发挥吸附重金属的作用。泥水的外运等也是较难处理的问题。
③ 和别的废弃物组成复合材料用以填埋或建筑材料	利用粉煤灰混合焚烧改良特性,可以使填埋性能得到显著提升。	与废料的有机结合回用可有效地控制废物和排泥水的处置问题,但排泥水受远水水质变化较大,不能时刻满足条件。
④ 和谷壳灰充分混合用以烧制隔热耐火等各种抗性材料	和谷壳灰混合、成型和干燥烧制,评价其物理力学性质,得出具有优良的隔热保温效果,关键在于谷壳灰含量和烧制的温度。	合成的轻质隔热耐火材料具有商业价值,是绿色经济的选择,污泥只需浓缩脱水无需进一步处置。

下面是各种国内外资源化利用方式的案例具体分析。

在净水厂排泥水和污水厂污泥联合回用方面,Ailan Yan,Jun Li 等[6]指出了给水厂污泥当中的聚合氯化铝和无机颗粒通过电中合、吸附架桥作用能明显提高污水厂污泥的脱水效果。尤其在无聚丙烯酰胺的添加,过滤比阻为  $1.27\times 10^{13}\text{ m/kg}$  的情况下,脱水后污泥的含水率能够达到 62%。此含水率已经接近填埋的要求,脱水浓缩后的污泥可用于填埋。

在利用排泥水制备吸附剂方面,国外 S.A.Abo-El-Eneina,Ahmed Shebl 等[7]通过 X-射线衍射、X-射线荧光、扫描电子显微镜、 $\text{N}_2$  吸附-脱附等温线等方法来探究净水厂污泥的物理化学特性,发现净水厂污泥当中含有砂砾和伊利石(伊利石又被称为法国绿泥,它是一种具有极高吸收能力的矿物质),这些物质含有较强的吸附特性。将净水厂的污泥煅烧至  $500\text{ }^\circ\text{C}$ ,加强其对重金属的吸附效果。污水厂污泥重金属吸附效率依次为: $\text{Pb(II)}>\text{Cd(II)}>\text{Ni(II)}$ 。对 Pb 的吸附效果最好,可以作为对铂的一种低成本吸附剂。

Ling Meng, Yingzi Chan 等<sup>[8]</sup>通过酸浸和基本浸出等方法回用污泥当中的  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ , 用来合成磁性氧化铁  $\text{SiO}_2$  复合材料。利用复合材料的特殊性质吸附活性红 X-3B(红色活性染料的重要品种)和  $\text{NaNO}_2$ 。且  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$  复合材料比  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  复合材料有更好的吸附效果。仇付国等<sup>[9]</sup>利用静态吸附实验对净水厂铝污泥的吸附性能进行考量,分析出铝盐污泥当中含有大量的铝、铁、硅等元素,且以非晶体结构为主,含有较大的比表面积和较大的空隙特征,对氮磷等具有较好的吸附作用。

在和别的废弃物组合成复合材料用以建材或抗性材料方面, Udeni P. Nawagamuwa 和 Nipuna Wijesooriya 等<sup>[10]</sup>利用热电厂焚烧成生的粉煤灰和污泥恰当的混合,来改良污泥的特性。通过研究污泥随着粉煤灰的添加,最大干密度、最佳含水量以及强度随时间的变化,得出最佳的投配比在粉煤灰占干重的比例在30%左右,可以使其性能得到显著的提升。而国内从事类似研究的则将净水厂污泥、市政填埋的渣土、炉渣灰之类等多原料组合的方式来综合处理多种废料,从而形成在外光质量、强度、吸水率、放射性物质、收缩率等各方面符合标准的烧结砖<sup>[39]</sup>。俩者的区别在于,前者的研究着重于通过粉煤灰来改变污泥的特性,而后者则是通过三者废料的有机配比达到最佳的性能要求。

国内吴胜华,葛能强等<sup>[11]</sup>通过在排泥水的处理环节对整个流程进行优化处理,即对排泥水的浓缩和分离的工艺和设备进行有机的结合创新。从而实现排泥水的回收利用和污泥减量化的工艺。利用创新的高效泥水分离塔来实现上述目标,该装置通过内部的电磁吸附技术和特殊的水力结构,将阳离子的去除,污泥的絮凝浓缩反应结合在一起,通过升流方式完成污泥的浓缩和净化过程。

从表1以及实例当中可看出各种资源化利用的方式都有其各自的优缺点及适用性。总的来说,上述的资源化利用方式大多是将排泥水经过恰当的处理,改变其某些特性并加以利用,无法形成大规模或者是系统化的排泥水处理工艺。国外的研究相较于国内较为先进,但目前,水厂的排泥水的资源化利用大多还停留在理论实验阶段,即使有实际的理论成果,也很难做到大规模的运用,相比较于现阶段成熟的水厂泥水处理系统来说,对于排泥水的综合开发利用迫在眉睫,全国每年大量排泥水的排放对环境的影响越来越大,同时也是非常严重的资源浪费。因此,实现排泥水的回流利用才是既具有工程经济价值的最直接的资源化利用的方式,也是符合绿色生产创新要求的发展方向。

有鉴于此,对小型净水厂的排泥水进行有效地回流利用才是比较切实经济的选择,也是最为直接的一种资源化利用的方式。一方面,由于小型净水厂规模小(排泥水产量少),可能会出现无法满足上污泥处置设施的泥量需求的尴尬局面,另一方面,对排泥水的回流利用可以在不增加水厂设施的情况下,降低给水厂的投药量从而降低生产成本,提高生产效率,从而使排泥水废物利用达到减量减排甚至零排放的目的。

## 4 排泥水的常规回用方式

净水厂排泥水的主要回用方式有3种(见图2~图4)<sup>[21]32-133</sup>。

### 4.1 滤池反冲洗废水直接回用,沉淀池排泥水处理后回用

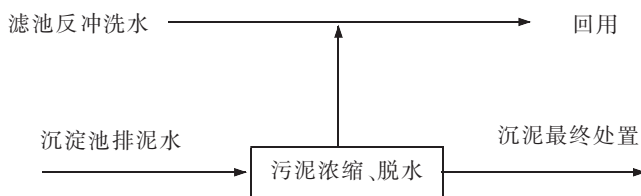


图2 滤池反冲洗水回用、沉淀池排泥水处理

Fig.2 Filter backwash water reuse and sedimentation tank sludge water treatment

此种方法适用于滤池反冲洗废水能直接回用的情况,但是此种方法应当充分考虑到废水回用导致的重金属富集、微生物积累对原水出水水质的影响,以及由于天气或者季节性等不可对抗因素的变化对原水尤其是地表原水的影响<sup>[24]</sup>。应当实时监测水质情况,一旦发现出水水质恶化,应立即停止或者减少废水的回用。

基于此情况,如果有必要,可以在废水回用前,设置排泥水的调质、调节池,并且严格控制污泥的回流比在适当的范围之内。排泥水中含有大量的经过混凝沉淀后的絮体残留,这些絮体的密实度要比原水直接混凝形成的絮体的密实度要大,当排泥水经过初步沉淀处理后与原水混合回用时,可以有效地吸附混凝剂水解后产生的金属氢氧化物,从而能够形成更大更密实的絮体,能够有效地加强原水的混凝效果,Nansubuga I, Bannada N 等<sup>[25]</sup>将排泥水当中的助凝剂进行回用,结果表明回用可以强化混凝效果,能够极大地降低出水的化学需氧量、总悬浮固体和总磷含量,改善出水水质,尤其对于处理北方的低温低浊水具有良好的效果。

刘国焯等<sup>[26]</sup>通过对影响排泥水回流效果的主要因素即排泥水回流比、投药量以及排泥水浊度三方面进行正交实验,分析得出了针对出水浊度的影响程度:排泥水回流比>PAC 投药量>排泥水浊度,最终得出在 PAC 投药量为 15~30 mg/L,沉淀池排泥水浊度为 16~40 NTU,回流比为 2%~10%时出水的浊度能够达标,且还能够节省投药量。

#### 4.2 滤池反冲洗废水和沉淀池排泥水混合处理

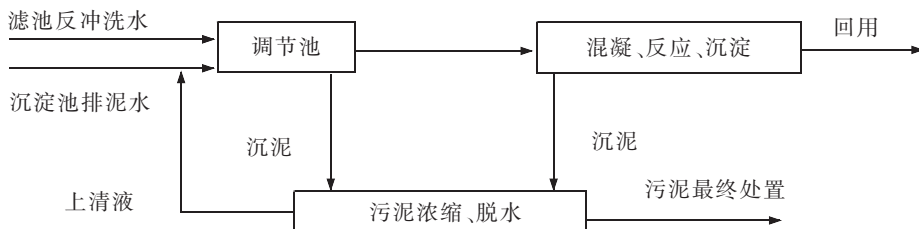


图3 滤池反冲洗水与沉淀池排泥水的混合处理

Fig.3 Mixing treatment of filter backwash water and sedimentation tank sludge water

此种方法适用于滤池反冲洗水无法满足直接回用情况,但是单独浓缩又无法满足机械脱水的进水要求。需要和沉淀池的污泥混合调理,控制条件达到脱水的要求。将沉淀池排泥水及滤池反冲洗水收集到废水调节池中,在废水调节池经过简单沉淀后,将调节池上清液抽至水厂前端配水井中,与原水混合再处理。这种做法对水厂主体流程会产生较大的冲击负荷,同时由于回收池上清液中仍有较多的有机物、微生物及重金属,可能会存在水质生物安全风险。

#### 4.3 滤池反冲洗水和沉淀池排泥水的单独处理

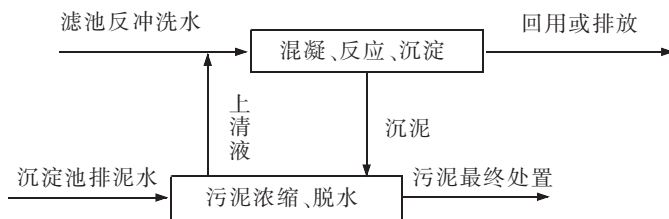


图4 滤池反冲洗水与沉淀/沉砂池排泥水的单独处理

Fig.4 Separate treatment of filter backwash water and sludge water of sedimentation / grit chamber

此种方法适用于滤池反冲洗水不满足回用条件,但是经过常规处理后,上清液能够满足条件的情况,或沉淀池污泥和反冲洗水在含固率等参数上差异过大,水厂对回用水质的要求较高。反冲洗水和沉淀池排泥水的分别处置能在一定程度上避免相互影响,重金属、微生物等参数不至于对出水水质造成过大影响,又能够有很好的适用条件,适合经济比较发达或者资金比较充沛地区的水厂。

排泥水的回用,一方面排泥水当中的残留铝盐能够回流到进水端和原水很好的混合,增加原水当中的颗粒浓度,可以更加有效地提高颗粒之间的碰撞效率。使得絮体能够较快地凝结下沉,对于处理尤其是低温低浊水具有良好的效果。另一方面在回流排泥水的同时,对于滤池反冲洗水的回用也可以很大程度上减少水厂的自用水量,减少浪费,增大水厂的产量。大部分设有排泥水回用工艺的水厂均采取此种方式。



## 5 排泥水回用强化混凝的机理

排泥水回用强化混凝的机理主要体现在:一方面上述排泥水成分当中由于混凝剂的投加含有大量的金属氢氧化物胶体颗粒,使得排泥水胶体表面的电荷发生改变,产生电吸附和电中和的作用。另一方面,在于排泥水的加入可以有效地增加原水当中胶体的浓度,根据混凝机理当中的动力学原理,可以有效地增加胶体碰撞的几率,强化了原水的混凝效果,尤其对于处理北方冬季的低温低浊水具有较好的效果。

水中胶体颗粒的稳定性包括动力学稳定和聚集稳定2种,动力学稳定指的是胶体颗粒和质量都较小,由其引起的重力作用相较于布朗运动来说可以忽略不计,故胶体可以长时间地克服重力的作用悬浮在水中,聚集稳定在于胶体表面所带的相斥的电荷以及水化膜的阻碍作用,动力学稳定可随聚集稳定的破坏而破坏,故关键在于聚集稳定。对于憎水胶体来说,聚集稳定又主要由胶体颗粒表面的Zeta电位所决定。根据DLVO理论,Zeta电位越高,同性电荷相斥力越大,排斥势能峰就越大,当回用沉淀池的排泥水后,排泥水当中所含有的氢氧化物所带的电荷被胶体吸附中和后,降低了Zeta电位从而降低了排斥峰,从而使胶体聚沉。当排泥水回用达到一定程度时,生成的大量氢氧化物可以与原水当中的颗粒物有效地组合,发挥网捕卷扫的作用,从而可以减少混凝剂的投加量,强化原水的处理效能。何利等<sup>[27]</sup>测定了原水,排泥水,滤池反冲洗水以及两者的混合水的Zeta电位用以进一步说明其作用机理,结果见表2。

表2 各水样Zeta电位及电导率  
Tab.2 Zeta potential and conductivity for different samples

水样类别	原水	沉淀池排泥水	混合水	滤池反冲洗水
Zeta 电位/mv	-11.40~-13.80	2.90~6.40	0.99~6.17	-1.92~2.18
电导率/(ms/cm)	0.291~0.307	0.115~0.121	0.113~0.118	0.106~0.108

从表2中可知,原水的Zeta电位一般为负值,而沉淀池排水以及滤池反冲洗水以及两者的混合水电位值较高,可能是因为沉淀池排泥水中含有大量金属氢氧化物沉淀,而滤池反冲洗水中的悬浮物及胶体颗粒的Zeta电位受滤料影响。由此可知,当直接回用沉淀池排泥水的时候,可有效地降低原水胶体的Zeta电位,利于沉淀。

絮体的动力学方程如下:

$$N_0 = \frac{8\pi}{\sqrt{15}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\nu}} d^3 n^2$$

式中: $N_0$ 为单位体积中的颗粒在同向絮凝中的碰撞速率, $1/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$ ;  $\varepsilon$ 为单位时间、单位体积流体的有效能耗, $\text{m}^2/\text{s}^3$ ;  $\nu$ 为水的运动黏度, $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $n$ 为颗粒数量浓度, $\text{个}/\text{cm}^3$ ;  $d$ 为颗粒物的拟合直径, $\text{cm}$ 。

由絮体的动力学方程可知,絮凝的速率由同向絮凝的碰撞速率决定,而碰撞速率又与颗粒数量的浓度的平方以及颗粒物的拟合直径的三次方成正比,排泥水回用后,可以有效地增加原水当中的颗粒物浓度以及直径,可以增加絮体碰撞的几率和效率,提高了混凝的效果。

所以回用排泥水能在一定程度上加强混凝的效果以及节省投药量。同时,要控制回用的浓度,以免水中的胶体颗粒过多,其发生吸附架桥和电中和的过程难以沉淀过多的胶体颗粒,从而回用节药的目的难以达到。

## 6 净水厂排泥水回用安全性分析

净水厂排泥水通过上述3种方式回用确实能在一定程度上节约水资源,并且减少对污泥处理的经济投入,对于降低自来水厂的自用水消耗都有积极意义。但是回用后对原水处理构筑物的影响以及由此会产生出水水质是否达标等一些列的问题。大量的研究表明,排泥水的回用确实存在一定的风险,主要表现在回用水与原水混合导致混合水体当中的悬浮颗粒物、有机物(磷酸盐、酚类)、重金属浓度等的含量会提高,尤其是微生物学指标如两虫等,对于原水出水水质的影响尤为重要。

Zhiqian Liu, Yongpeng Xu 等<sup>[28]</sup>通过评估华南某水厂滤池反冲洗水和沉淀池排泥水的混合可行性,检测了回用出水水样的常规水质指标、重金属指标(Al, Mn 和 Cd)、聚丙烯酰胺、消毒副产物指标(三卤甲烷及其变式)、总悬浮物、氨氮、高锰酸盐指数以及有机化合物等。结果表明回用导致了浊度、SS、氨氮、高锰酸盐指数、有机化合物以及 Al, Mn 和 Cd 等指标的提高。然而,由于大部分的污染物通过常规水处理工艺都能去除,所以排泥水污泥的回用对出水水质的影响较低。虽然在回用的过程当中,氨氮和高锰酸盐等指标会有所上升,但仍然达到中国饮用水水质指标的要求。所以,在水资源较为紧张的地区,通过合理地管控和管理,排泥水污泥的回用是可行的。

哈尔滨工业大学陈停等<sup>[29]</sup>利用大型水蚤的物理生化实验,调研回用排泥水对水质安全的影响。试验结果表明,对比传统水处理工艺排泥水的回用后的水厂出水水质差异不大。陈停等也将沉淀池污泥和滤池反冲洗水混合回用对低温低浊水的混凝进行探究<sup>[30-31]</sup>,对出水水质进行细胞核层面的毒理学研究,通过对泥水的 15 d 连续回流运行,发现基因性毒也无明显的积累过程。同时将澄清池排泥水和反冲洗废水联合回用来强化混凝效果,在夏天可以节省 33.33% 的投药量,在冬季亦可节省 25% 的投药量。连续 14 d 的循环回用中,无污染物的明显累积,同时还能对浊度,色度,有机质及金属铝等有显著的去除效果<sup>[32]</sup>。证实回流工艺的可靠性。

排泥水的直接回用还可以明显的提高混凝的效率和沉淀阶段沉淀的效率,可以有效地降低投药量。出水当中的氨氮、金属离子、有机物含量均有减低。同时通过控制排泥水的回用在 20% 以内,对水厂的后续过滤不会造成明显的影响,但会增大沉淀池的出水浊度<sup>[33]</sup>。通过恰当的控制回用比还能提高对“两虫”卵囊的去除率。可能的原因是回流后增加了水中的悬浮物浓度,提高了混凝阶段的物理碰撞过程,从而加强了卵囊的去除率<sup>[34]</sup>。

同时,哈尔滨工业大学许荣刚等<sup>[35]</sup>通过夏冬两季连续回流沉淀池排泥水,通过监测连续回流的排泥水的浊度、色度、氨氮、UV<sub>254</sub>、TOC、DOC、铝、铁、锰等指标,得出除了溶解性 Mn 有微量富集外,其他污染物均未出现富集现象。且对上述污染物都能在一定程度上增强去除效果。

综上所述,给水厂排泥水的回用具有较强的实际意义。一方面,排泥水的回用能够将废弃物的资源化利用落实,降低水厂后续污泥处理的成本,同时,也不直排入环境,增加环境的负担。还能降低后续水处理构筑物的负荷,降低投药量尤其是给水污泥处置过程中投加药剂使得污泥能够达到脱水的要求,这部分的投药量可以完全省去,使得水厂的污泥变废为宝。同时,通过大量的实验论证了总体上排泥水的回用对给水厂出水水质的影响较小,只要将回流比、回流量等回流的关键参数加以严格地控制,出水水质的影响对比没有回流的情况,基本可以达到相同的效果。回流的工艺还能对水体当中的各类污染物有较好的去除效果。在这方面,值得我们去深入地研究利用。

同时,最好能够建立一套依据各地水质情况不同的完整的出水水质安全风险评价模型,利用概率数值法等数学分析方法对出厂水质进行安全风险评价,可定量的表述对人体健康的影响,可以为水厂的出水风险控制提供依据。

## 7 结论与展望

通过分析净水厂排泥水的理化性质可知,尽管净水厂排泥水对环境的污染相较于污水厂污泥小,但是对其的处理处置也不容忽视,国内外对于排泥水的研究大多还停留在实验室分析阶段,能够大规模运用到生产生活当中的实例相对较小,通过上述分析,对于没有条件上污泥处置设施的小型水厂而言,对排泥水进行集中的回用,不失为一个经济现实的方法,但是在回用的同时,还应当从以下几个角度考虑其对出水水质以及供水稳定性的影响:① 如若回用当中,排泥水的浊度、含固率等过高,可在回用之前先行预沉淀,取其上清液回用。② 回用过程当中,还应充分考虑到微生物如两虫(贾第鞭毛虫和隐孢子虫)以及其他有毒有害病原微生物的毒副性,可在多次回用之后增加消毒或可在排泥水回用前加入混凝剂进行混凝沉淀预处理来

提高卫生要求。③同时还应当考虑到某些重金属元素(铁、铝、锰)等在水体当中的富集,可在回用前增加预处理措施加以控制。以上几点需要在后续的研究当中重点关注。

#### 参考文献:

- [1] 黄卓. 城市净水厂生产废水回用安全性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011:3-4.
- [2] 童祯恭,童承乾,冯治华,等. 净水厂排泥水及其污泥的处置[J]. 华东交通大学学报,2015,32(1):131-136.
- [3] 程雪莉. 给水厂污泥资源化利用研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014:1-2.
- [4] 陈静. 自来水厂污泥浓缩和聚丙烯酰胺预处理研究[D]. 上海:同济大学,2005:38-49.
- [5] DAHOU M,MOUSSAOUITI M E,BENLALLA A,et al. Structural aspects and thermal degradation kinetics of water treatment plant sludge of moroccan capital[J]. Waste & Biomass Valorization,2016,7(5):1-11.
- [6] YAN A,LI J,LIU L,et al. Centrifugal dewatering of blended sludge from drinking water treatment plant and wastewater treatment plant[J]. Journal of Material Cycles & Waste Management,2017(2):1-10.
- [7] ABO-EL-ENEIN S A,SHEBL A,EL-DAHAB S A A. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal[J]. Applied Clay Science,2017,146:343-349.
- [8] MENG L,CHAN YZ,WANG H,et al. Recycling of iron and silicon from drinking water treatment sludge for synthesis of magnetic iron oxide@SiO<sub>2</sub> composites[J]. Environ Sci Pollut Res Int,2016,23(6):1-12.
- [9] 仇付国,孙瑶,陈丽霞. 给水厂铝污泥特性分析及吸附氮磷性能试验[J]. 环境工程,2016,34(4):54-59.
- [10] UDENI P NAWAGAMUWA,NIPUNA WIJESOORIYA. Use of flyash to improve soil properties of drinking water treatment sludge[J].International Journal of Geo-engineer,2018(9):1-8.
- [11] 吴胜华,葛能强,周平. 自来水厂排泥水处理零排放技术[J]. 中国给水排水,2015(18):119-122.
- [12] ZHOU J,LIU FW,PAN CY. Effects of cationic polyacrylamide characteristics on sewage sludge dewatering and moisture evaporation[J]. Plos One,2014,9(5):6-15.
- [13] ZHANG WJ,XIAO P,LIU YY,et al. Understanding the impact of chemical conditioning with inorganic polymer flocculants on soluble extracellular polymeric substances in relation to the sludge dewaterability[J]. Separation and Purification Technology,2014,132(20):430-437.
- [14] 刘流,李军. 城镇自来水厂污泥和污水处理厂污泥联合处理处置[J]. 净水技术,2015,34(S1):20-22.
- [15] EWAIS E M M,ELSAADANY R M,AHMED A A,et al. Insulating refractory bricks from water treatment sludge and rice husk ash[J]. Refractories & Industrial Ceramics,2017,58(4):1-9.
- [16] DA S E,MORITA D M,LIMA A C,et al. Manufacturing ceramic bricks with polyaluminum chloride(PAC) sludge from a water treatment plant[J]. Water Science & Technology,2015,71(11):1638-1645.
- [17] GASTALDINI A L G,HENGGEN M F,GASTALDINI M C C,et al. The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition[J]. Construction & Building Materials,2015,94:513-520.
- [18] MEDEIROS E N M D,SPOSTO R M,NEVES G D A,et al. Technical feasibility of the incorporation of rice husk ash,sludge from water treatment plant and wood ash in clay for ceramic coating[J]. Rem Revista Escola De Minas,2014,67(3):279-283.
- [19] BENLALLA A,ELMOUSSAOUITI M,DAHOU M,et al. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks[J]. Journal of Cleaner Production,2015,118:171-177.
- [20] SISWOYO E,MIHARA Y,TANAKA S. Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water[J]. Applied Clay Science,2014,97-98(8):146-152.
- [21] 杨燕华,周夏海,朱先福. 水厂排泥水的控制和处理[J]. 中国给水排水,2014(18):40-44.
- [22] HIDALGO A M,MURCIA M D,GOMEZ M,et al. Possible uses for sludge from drinking water treatment plants[J]. Journal of Environmental Engineering,2016,143(3):04016088.

- [23] CHUNG HSINWU, CHENG FANGLIN, WAN RUCHEN. Regeneration and reuse of water treatment plant sludge: Adsorbent for cations[J]. *Journal of Environmental Science & Health Part A Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering*, 2004, 39(3): 717–728.
- [24] AHMAD T, AHMAD K, ALAM M. Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2017, 189(9): 453–463.
- [25] NANSUBUGA I, BANADDA N, BABU M, et al. Effect of polyaluminium chloride water treatment sludge on effluent quality of domestic wastewater treatment[J]. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2013, 7(4): 145–152.
- [26] 刘国焯, 童祯恭, 胡锋平. 沉淀池排泥水回流强化混凝工艺参数研究[J]. *华东交通大学学报*, 2018, 35(2): 32–36.
- [27] 何利. 净水厂生产废水回用强化处理低温低浊水[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009: 46–47.
- [28] LIU ZHIQUAN, XU YONGPENG, YANG X, et al. Does the recycling of waste streams from drinking water treatment plants worsen the quality of finished water? a case assessment in China [J]. *Water Science & Technology Water Supply*, 2017, 17(2): 597–605.
- [29] CHEN T, XU Y, ZHU S, et al. Combining physico-chemical analysis with a *Daphnia magna* bioassay to evaluate a recycling technology for drinking water treatment plant waste residuals[J]. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 2015, 122: 368–376.
- [30] CHEN T, XU Y, WANG D, et al. The impact of recycling sludge on water quality in coagulation for treating low-turbidity source water [J]. *Desalination & Water Treatment*, 2015: 1–10.
- [31] CHEN T, XU Y, LIU Z, et al. Evaluation of drinking water treatment combined filter backwash water recycling technology based on comet and micronucleus assay[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2016, 42(4): 61–70.
- [32] ZHU S, XU Y, CHEN T, et al. Effect of continuous direct recycling of combined residual streams on water quality at the pilot scale in a different seasons[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2017, 5(4017004): 04017004.
- [33] EDZWALD J, TOBIASON J. Fate and removal of *Cryptosporidium* in a dissolved air flotation water plant with and without recycle of waste filter backwash water[J]. *Water Supply*, 2002, 2(2): 85–90.
- [34] BOURGEOIS J C, WALSH ME, GAGNON GA. Comparison of process options for treatment of water treatment residual streams[J]. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2004, 3(6): 477–484.
- [35] 许荣刚. 生产废水联合回用强化混凝效能研究与安全评价[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 31–62.

## Analysis on Sludge Water Disposal in Water Purification Plant

Tong Zhengong, Wu Zheshuai

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** This paper mainly analyzed the necessity of sludge water proposal in water purification plant and the physicochemical properties of sludge water. In addition, it summed up the main ways and development trends of sludge water utilization in water purification plants at home and abroad in recent years from the perspective of resource utilization. In small waterworks, it is an economical and reasonable resource-based disposal plan to realize the reuse of sludge water. Based on the main ways and characteristics of the reuse of sludge water, it discussed the mechanism of strengthening coagulation in electric neutralization and the stability of colloid particles in water after reusing sludge water. Finally, it analyzed the effects of the sludge water reuse on the water quality safety of the original water purification process as well as the risk control.

**Key words:** sludge water in water treatment plant; resource utilization; reflux utilization; safety analysis