

日本自来水厂污泥减量及再生利用处置综述

马顺君¹, 李梅¹, 高海燕¹, 汪诚凯²

(1. 上海南汇自来水有限公司, 上海 201300; 2. 石垣环境机械<苏州>有限公司, 江苏 苏州 215024)

摘要: 为了给国内自来水厂净水污泥处理与处置及资源化技术提供更多参考,对日本自来水厂污泥减量及再生利用情况进行了文献调研,重点分析了日本自来水厂净水污泥处置的工艺路线,同时根据国内自来水污泥特性提出可行的自来水厂净水污泥资源化利用方案。

关键词: 净水污泥; 减量化; 资源化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)06-0022-06

Introduction of Sludge Reduction and Recycling in Drinking Water Treatment Plant in Japan

MA Shun-jun¹, LI Mei¹, GAO Hai-yan¹, WANG Cheng-kai²

(1. Shanghai Nanhui Water Supply Co. Ltd., Shanghai 201300, China; 2. Ishigaki Environmental Machinery < Suzhou > Co. Ltd., Suzhou 215024, China)

Abstract: To provide more references for sludge disposal and recycling in drinking water treatment plant in China, a literature investigation was carried out on the situation of sludge reduction and recycling utilization in drinking water treatment in Japan. In this paper, the process route of drinking water sludge disposal in Japan was analyzed emphatically. According to the characteristics of domestic drinking water sludge, a feasible scheme for the utilization of drinking water sludge recycling was proposed.

Key words: drinking water treatment sludge; reduction; recycling

净水污泥是给水处理过程中产生的富含铝铁絮凝剂的副产物,是一种相对清洁的泥,在欧盟废弃物清单中其代码是190902,近年来被认为是一种可循环利用的物质。当前国内自来水厂传统排泥水处理方式为污泥浓缩、离心脱水后泥饼填埋处置,脱水后污泥含水率为70%~85%,无法满足《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)标准中污泥含水率<60%的要求,填埋费用也逐步增加,寻找净水污泥减量化和再生利用技术是当务之急。详细介绍了日本厚生省水道环境部水道整备科2000年制定的《净水污泥的减量和再生利用指南》,对日本净水污泥的减量化及再生利用技术进行总结,以供参考借鉴。

1 净水污泥减量化

净水污泥的主要成分有有机物、氧化铝、氧化

硅、氧化铁及微生物等,主要由沉淀池排泥水、V型滤池、活性炭滤池及膜池反冲洗水产生,污泥的无机质、有机物含量受原水浊度、季节、气象及水体富营养化等因素影响,有机物和氢氧化铝含量较多的净水污泥,沉降性差。1995年日本淀川水系的调查结果表明,受河川浊度和富营养化的影响,水厂泥质呈季节性变化。

根据日本水道事业体1995年调查结果,日本净水污泥产生量为 25.4×10^4 t/a(以干基质量计),净水污泥的有效利用率为34.5%,通过产业政策及国家补贴的实施,2008年日本净水污泥产生量为 27.8×10^4 t/a(以干基质量计),净水污泥的有效利用率上升至63%。

日本厚生劳动省水道环境部水道整备科对全日本自来水厂计划取水量、工艺流程、设施规模、污泥

浓缩脱水方式、污泥成分、最终处置的环境影响、填埋的寿命进行现状分析,同时对日本未来自来水厂计划取水量、水源水质变化、污泥成分及污泥产生量进行预判,因地制宜地制定净水污泥减量化的对策。

1.1 防止高浊度原水流入

对水厂进水口的位置和结构进行重新评估,通过优化取水口位置及取水口结构防止高浊度原水流入;取水口位置结构无法改变时,可通过调整取水阀门的开度以尽可能取表层水;原水浊度为 500 ~ 1 000 NTU 时可停止取水,但停止取水时间必须与净水池、配水池的停留时间相衔接。

1.2 原水浊度的减量

为了减小原水浊度,利用前处理设备如格栅、曝气生物滤池、管道过滤器等提高对原水的预处理和沉砂池处理能力。日本滋贺县大津市的膳所水厂由于琵琶湖水质恶化采用了曝气生物滤池,通过微生物降解原水中的藻类、异臭物质及浊度。在后段净水工艺中有效降低了粉末活性炭、混凝剂投加量,最终降低了水厂污泥产量。

1.3 适当药品添加

按比例投加混凝剂的自来水厂需要注意药剂投加设备及流量计的精度,防止机械故障等维护管理原因引起的混凝剂过度投加。

在原水 pH 值较高的情况下,可调整原水 pH 值,防止混凝剂过度投加。日本北九州市水道局穴生净水厂,通过 CO₂ 制备装置向原水注入 CO₂,调整原水 pH 值,防止混凝剂过度投加,减少污泥产量。

在日本作为消除感染性微生物的对策,出厂水浊度为了满足 0.1 NTU 而有混凝剂需过剩投加的倾向,但必须在满足上述条件时也要注意混凝剂的过量投加。

1.4 减少污泥浓缩脱水药剂的投加量

通常采用浓缩前处理(投加高分子凝聚剂、热处理等)、脱水、预处理(石灰处理、凝聚处理、污泥加温处理或膜浓缩处理)方式提高污泥处理效果,脱水预处理效果见表 1,添加石灰虽然可使污泥脱水性提高,但会增加绝干污泥量 15% ~ 50%,且污泥碱度高,不利于后续处置,一般较少采用。

表 1 脱水预处理特性

Tab. 1 Characteristics of dehydration pre-treatment

项 目	使用药品	脱水性能	脱水设备	绝干污泥量增减	处理后泥饼特性
石灰处理	消石灰	大	板框机	增加(15% ~ 50%)	pH 值高
PAM 处理	PAM	大	离心机、板框机	不变	含有 PAM
加温处理	无	中(有机物含量高)	离心机、板框机	不变	无

1.5 采用适当脱水机降低污泥含水率

脱水前投加 PAM 或污泥加温后无加药脱水将大幅改善污泥的脱水效果,减少设备投资费用,降低泥饼含水率。东京都东村山净水厂利用周边工厂的余热及三园净水厂利用厂内天然气发电机产生的余热将浓缩污泥加温至 40 ℃ 左右,污泥黏度得以降低,通过无加药板框脱水,冬季污泥脱水效率提高了 90% ~ 100%。此外,滤布的污泥剥离性能也得到大幅改善,延长了滤布的使用寿命。但污泥加温必须考虑板框机 PP 滤板、隔膜的老化问题,可采取开机前通入适当温度的热水对板框机滤板隔膜进行预加热,防止温差过大而加快 PP 滤板、橡胶隔膜的老化损坏,一般情况下污泥加热温度不能超过 50 ℃。由于无加药脱水机处理后泥饼不含任何添加药剂,更利于脱水后污泥处置,因此加温污泥无加药脱水成为目前日本净水污泥的主流处理工艺。1999 年只有无加药脱水机才能获得日本财政补贴,日本

东京都朝霞净水厂、大分县荏限净水厂采用滤布行走式板框机无加药脱水方式,脱水后泥饼厚度为 3 ~ 5 mm(见图 1)。日本净水污泥脱水方法比较如表 2 所示。

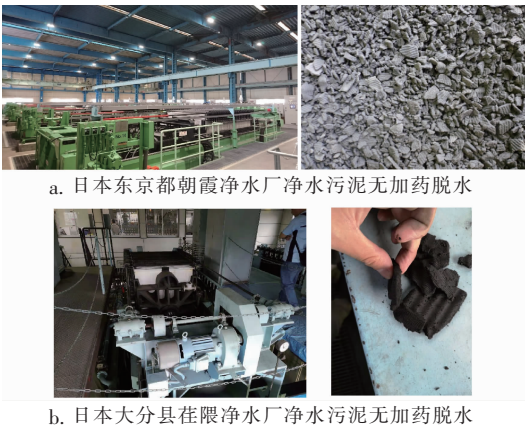


图 1 日本净水厂净水污泥无加药脱水

Fig. 1 WTP sludge dehydration without chemicals in Japan

表 2 日本净水污泥脱水方法比较

Tab. 2 Comparison of dehydration methods of WTP sludge in Japan

项目	加压过滤机(加药/无加药)		离心脱水方式	冷冻/溶解方式	自然干燥方式
	加压/压榨过滤机	电渗透式			
形式	纵式 横式	横式	滚筒式	冷冻/溶解槽中利用冷冻液冷却	普通日晒干燥床, 曝气搅拌
脱水机构	进料压力为 0.3 ~ 0.5 MPa (挤压为 1.0 ~ 1.5 MPa)	进料压力为 0.3 ~ 0.5 MPa (挤压为 0.3 ~ 0.5 MPa)	絮凝污泥的重力泥水分离	利用冷冻液对污泥进行冷冻后再溶解脱水	利用砂层使污泥在自然环境下蒸发和干燥
进料方式	间歇或者连续式	间歇式	连续式	间歇式	间歇式
单位面积的脱水能力	中	中到大	大	中	大
前处理	无加药或加药(石灰, 酸处理后加石灰, 高分子絮凝剂)	无加药	高分子絮凝剂(有时也会投加水玻璃)	无加药	无加药
泥饼含水率/%	45 ~ 60	45 ~ 60	65 ~ 80	40 ~ 50	夏季:60 ~ 70; 冬季:65 ~ 80
滤液的性状	差	基本清澈	清澈, 有高分子残留	清澈	基本清澈
泥饼的增量	无加药方式没有增量	无变化	基本不变	无变化	无变化
其他	①有短时间型/长时间无加药方式; ②无加药脱水滤液无需处理, 可直接回用	污泥浓度低时, 泥性发生变化可以通过调整电压来应对	污泥浓度低时, 有时需要增加干燥/烧结工序	不受污泥性状变化的影响, 尤其针对难处理污泥的效果好	

1.6 污泥膜浓缩处理

小型自来水厂可采用膜浓缩技术(滤布膜、超滤膜)替代原有的加药重力浓缩工艺, 提高浓缩污泥浓度, 减小污泥晒场面积, 提高处理效率, 但必须考虑滤布膜的材质、抗污染特性及膜的化学清洗方法, 以提高膜的使用寿命。例如, 日本仙台市水道局的茂庭净水厂采用了污泥膜浓缩和露天晒场工艺。

2 污泥的再生利用

净水污泥是以黏土细粒土为主的聚合物, 有机物含量低, 可以确保一定的强度, 因此在日本净水污泥再生处理后被广泛用于农业园林用土、建筑材料及窑业产品制备, 但这种产业废弃物必须严格按照废弃物的处理和处置的相关法律进行分类、保管、收集、搬运再生, 并对污泥中的特殊物质进行处理。再生土被用于绿化农业用地, 必须严格执行肥料取締法、地力增进法、农用地土壤污染防治的相关法律; 再生土被用作建筑材料, 必须严格执行日本道路协会制定的道路土工面斜面安定指针、黑色路面铺装规定, 土木学会制定的混凝土标准式样对水泥原料的要求, 土木研究中心制定的建筑再生土利用技术手册对路床土、回填土、公园绿地土等要求。在日本净水污泥无法作为炉窑产品原材料, 但可再生用于

制造水泥的原材料, 而无加药脱水设备的使用扩大了净水污泥再生利用的范围。

2.1 净水污泥再生用途

① 用作农业园林用土

在日本农业园林可接收大量的净水污泥再生土, 用作改良土、蔬菜类育苗土、盆栽用土、栽培土, 通常要求再生土粒径为 0.5 ~ 3.0 mm。日本大分市河合组净水污泥处理能力为 32 t/d, 无加药脱水后的净水污泥采用晒干搅拌破碎工艺, 具体见图 2。

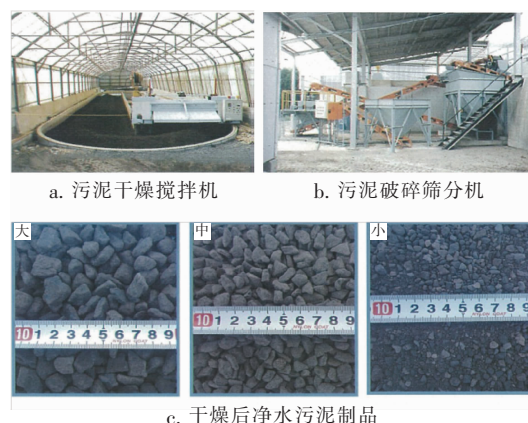


图 2 日本大分市河合组净水污泥处理示意

Fig. 2 Disposal of WTP sludge from Kawaigumi in Oita, Japan

② 用作建筑材料

日本净水污泥再生土可与石灰、水泥混合成适当的粒径作为再生砂使用,用作道路的建设材料时,不同等级道路规定了路床、路基中再生土混合比例及填料强度。此外,净水污泥再生土还可与回填砂按比例混合后用于给排水管道工程中,再生土含水率必须在 50% 以下,最大粒径在 10 mm 以下。

根据净水污泥的性状、含水率,可与固化剂按比例混合后用作运动场、公园建设覆盖土,含水率需达到 50%。

③ 用作炉业制品材料

由于净水污泥再生土中有机物、铝、锰的含量对

瓷砖、瓦等产品质量有影响,在使用时要考虑降低或去除的对策。

净水污泥再生土可作为制造水泥原料使用,含水率必须在 60% 以下,二氧化硅含量在 30% 以上, Al_2O_3 含量在 10% 以上,可溶性氯离子浓度在 500 mg/L 以下。

2.2 净水污泥再生土利用调查

净水污泥再生土利用必须充分考虑该地区的特性以及对该种产品或原材料的需求,发放各类问卷调查,对于有前景、有潜能的应用领域,还需考虑流通成本,确保污泥再生土的有效利用。1994 年日本净水污泥再生土利用预测见表 3。

表 3 再生土利用预测

Tab.3 Utilization prediction of reclaimed soil

项目	农业用土	家庭园艺用土	路床材料	林业用土	水泥用土	填埋处理
用途	农业改良土	城市家庭园艺培养土	给排水管道工程回填土	运动场及公园回填土	替代粘土原料	填埋场覆盖土
现状市场/ ($10^4\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)		12		3~4	900	
销售费用(运费 不计)/(元 $\cdot\text{t}^{-1}$)	不明	6.0~7.2	赠与水道事业体建设	6~40	-600~-420	-840~-390
污泥销售条件 (规定品质)	粒径为 5~10 mm、无加药脱水、干燥/破碎、中性土壤		粒径为 5~10 mm、填料强度为 15%,中性土壤	粒径为 3 mm、无加药脱水/破碎,含水率为 60%,中性土壤	无小颗粒、含水率为 60%,氯离子在 500 mg/L 以下	受含水率/臭气法规限制
污泥不适合 销售条件	水溶性锰 浓度 > 5 mg/kg	无破碎,晒场 处理污泥,有 杂草、杂菌、活 性炭存在,碱 性土壤	填料强度为 20% 以上或 3% 以下、 粒径达不到要求	含水率在 70% 以上 或 50% 以下,有杂 草、杂菌、活性炭存 在,碱性土壤	含水率在 70%~ 75% 以上,有杂草 和木片	含水率等法规 限制
费用	再生土制造费为 600 元/t(设备处理能力在 $1\times 10^4\text{ t}$ 以下)			受运输费用影响		填埋用地不足,处理费用增加
备注				1 次使用量为 $300\sim 400\text{ m}^3$	受水泥产量和替代 原料影响	用地不足,运输距离太远

2.3 净水污泥再生土利用设备

有害物质少的净水污泥可以作为农业园林用土、建筑材料来使用,但脱水后的污泥不能直接利用,需采用破碎造粒、干燥、碳化和筛分设备处理达标后才能作为再生材料使用。

① 破碎造粒设备

为了有效利用净水污泥,需考虑污泥再生后粒径、内部结构及强度,可通过破碎设备对脱水后污泥转动、振动、搅拌后进行破碎。将含水率为 55% 左右的机械脱水污泥破碎至 30~50 mm,使脱水污泥

性状、形状均一,污泥加工性得到提升。造粒设备可将破碎污泥粒径调整至 5~20 mm,然后输送入干燥设备,做进一步处理。

② 干燥设备

干燥设备的作用是对粘土、天然粒子的物理特性进行改善、杀菌、抑制污泥中杂草种子发芽等,有直接加热式(热风干燥)和间接加热式(水蒸气干燥),将污泥加热至 60~400 $^{\circ}\text{C}$,干燥后污泥含水率降至 15%~35%。

③ 烧结设备

干燥污泥通过 1 000 ℃ 高温烧结处理,生成物是砂状或硬块状的炉业产品,可将铝、锰、砷等有害物质无害化、稳定化,烧结后的产物含水率为 0 ~ 1%,产品物理强度增大。

④ 筛分设备

干燥后的污泥具有不同的粒径,在某些再生土粒径规定范围(3 ~ 10 mm)内,需用筛分设备进行加工处理。

日本岡山市水道局在 2012 年—2014 年开展净水污泥作为园艺材料回收利用的研究,采用了破碎、干燥及造粒设备,如图 3 所示。

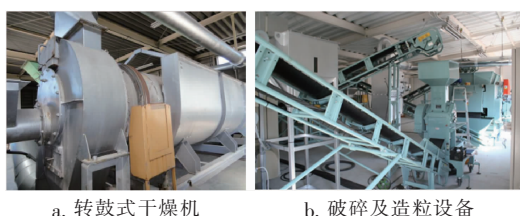


图 3 日本岡山市水道局净水污泥再利用设备

Fig. 3 WTP sludge reuse equipment in Okayama, Japan

2.4 净水污泥再生土使用注意事项

在日本再生污泥主要用作农业、园艺培土和建筑材料,根据污泥中种子、细菌、重金属的影响,选择污泥适当的用途,并采取适合的处理工艺。

① 种子和细菌的控制

净水污泥中含有杂草的种子、丝状菌、杂菌和放线菌等多种细菌,用作农业用土、家庭园艺用土及土壤改良土时,可采用干燥处理、烧结处理、生物化学处理来抑制杂草种子发芽和杀菌,其中干燥处理、烧结处理能耗较高,而生物化学处理的品质较难控制,不稳定。

② 重金属和有害物质的控制

净水污泥再生利用时必须考虑重金属、有害物质对环境造成的污染、对填埋构筑物造成的结构影响以及对植物生长的影响,同时根据有害物质的情况制定相应的措施。

a. 铝。可溶性铝由混凝剂和原水中悬浮物产生,通常情况下,净水厂脱水污泥中可溶性铝的含量为 2 000 ~ 7 000 mg/100 g,冲击平原堆积土壤中铝的含量为 50 ~ 80 mg/100 g,火山灰土壤中铝含量控制在 200 ~ 400 mg/100 g。

污泥中可溶性铝大量浓缩后,可与土壤中的磷酸反应生成磷酸铝,阻碍作物对磷的吸收,使植物患

磷酸缺乏症,不利于生长。

b. 锰。土壤中锰含量允许值根据植物种类而定,可采用添加沸石吸附剂、提高土壤 pH 值等方法,但最有效的方法是在 1 000 ℃ 下对破碎干燥污泥进行烧结稳定处理。根据使用地点及作物情况,按 50% ~ 80% 的比例将污泥再生土与其他土作堆肥使用,以降低土壤中锰离子对植物的危害。

c. 氯离子。净水厂脱水污泥氯离子的浓度为 200 ~ 700 mg/L,作为水泥原料利用时会腐蚀水泥窑余热装置,也会导致水泥制品腐蚀钢筋,因此必须控制净水污泥中的含氯量,以获得适用面更广的水泥制品,拓宽市场空间。

d. 熟石灰。采用添加熟石灰后板框脱水方式,绝干污泥量将增加 20% ~ 35% 左右,脱水后污泥的 pH 值为 10 ~ 12,该方式利用强碱性和大量热能杀灭污泥中的病原体、降低恶臭和钝化重金属,但限制了其再生利用,日本国会 1999 年 2 次预算修正案里明确不补助使用石灰的脱水设备。

e. 砷。根据水源水质情况,日本净水厂脱水污泥中砷含量可高达 10 ~ 40 mg/kg,但在农用土壤污染防治法中规定农用土壤中砷含量必须在 15 mg/kg 以下,超过此标准的土壤必须采用相应对策。烧结处理可固化砷,被认为是最可靠的方法。

3 国内净水污泥的利用前景

当前国内自来水厂为了避免出水中感染性微生物的影响,过量投加铝盐,确保出水浊度 < 0.1 NTU,脱水后污泥铝离子含量较高不适于作农业用土,可用作园林绿化用土、建设材料及水泥原料,但脱水后污泥含水率必须小于 60%,可采用按比例掺混方式进行处置。对于已采用离心机、带机污泥脱水工艺的水厂,脱水后的污泥无法满足城市生活垃圾填埋场对泥饼土力学性质方面的要求,如果当地土地资源不紧张,可设置单独自来水厂污泥填埋场^[1-2]或单独污泥太阳能干化场对脱水后的污泥进行后续处理,太阳能干化后的污泥可进一步进行污泥资源化处置;对于土地资源紧张的大中城市,离心脱水污泥可采用热风干燥工艺,将含水率由 75% 降至 50%,利用范围进一步扩大,且无需单独设置净水污泥填埋场。

对于国内水厂新建的排泥水项目,可根据泥质、污泥粒径分布及压缩系数情况选择处理工艺,压缩系数大、黏土占比较大的污泥宜采用离心脱水;压缩

系数小、黏土占比小的污泥应采用板框深度脱水,板框脱水后泥饼含固率高,可达到30%~45%,给泥饼的进一步处置带来便利,板框脱水后含水率<60%的泥饼破碎后可直接进行相应的资源化利用,含水率>60%的泥饼经破碎、太阳能干化后进行相应的资源化利用,无需采用热风干燥工艺,大幅减少泥饼储存场地,降低处置费用。此外,净水厂排泥水的黏性较高,宜选用滤布行走式板框机,同时根据污泥特性可选用加药(PAM)及加温无加药两种模式,避免采用石灰和 FeCl_3 工艺对泥饼资源化利用的影响。同时板框机需配有在线滤布化学及高压清洗装置(清洗压力为4~7 MPa),确保滤布堵塞后能有效恢复滤布透气度,提高板框机处理效率及自动化运行水平。

有些地区自来水厂污泥脱水后出现重金属及毒性有机物超标的现象,无法实现资源化利用,故需对污泥进行热干化后通过1 000℃高温烧结处理,将铝、锰、砷等有害物质无害化、稳定化,并对烧结后污泥进行安全填埋处置。

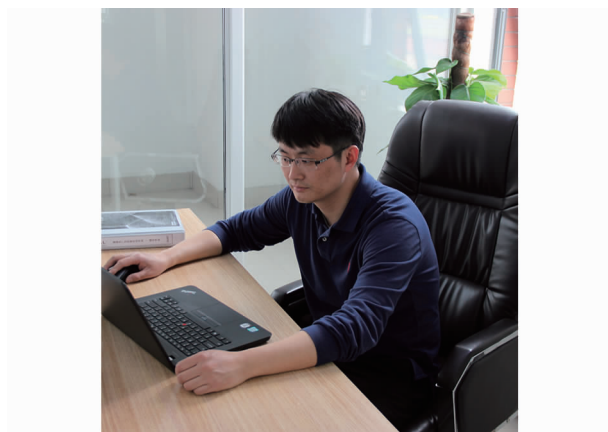
4 结语

净水污泥处理是净水处理的重要组成部分,日本不但实现了净水与净水污泥的同步处理,而且结合现实发展和实际需求,制定了《净水污泥的减量和再生利用指南》,提出了“净水污泥减量及再生利用”的目标。与此同时,十分重视法律和资金费用的配套、技术路线的优化和装备的开发。这些经验和做法对我国净水污泥处理及资源化处置有很好的启示,我国自来水厂应根据相应的净水污泥泥质、处置途径选择适合的净水污泥处置工艺,妥善安全处

置并利用净水污泥。

参考文献:

- [1] 鄧燕秋,张金松,吴济华. 净水厂改扩建设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
Qie Yanqiu, Zhang Jinsong, Wu Jihua. Reconstruction and Extension Design of Drinking Water Plants [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017 (in Chinese).
- [2] 何纯提. 净水厂排泥水处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
He Chunti. Sludge Disposal of Drinking Water Plants [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016 (in Chinese).



作者简介:马顺君(1983—),男,上海人,硕士,工程师,主要从事市政给排水处理及污泥处理技术研究工作。

E-mail: david_msj@163.com

收稿日期:2018-08-13

加强河湖保护与管理,推进水生态文明建设