填埋场存量污泥与传统市政污泥性质对比分析

何文凯
（中交一航局生态工程有限公司）

摘　要：为确定适合历史淤泥填埋场存量污泥的处理处置工艺，依托天津青凝侯淤泥填埋场应急处置项目，从含水率、脱水性能参数、有机物含量、重金属含量及营养元素等方面对比历史淤泥填埋场的存量污泥与传统市政污泥的差异性，结果表明，存量污泥与传统市政污泥具有明显差异，填埋场存量污泥含水率较低，黏度高，毛细吸水时间长，脱水性能差，营养元素含量较高，可在化学调理后进行深度脱水处理。因淤泥填埋场存量污泥营养元素丰富且重金属生物有效性低，处置优先考虑焚烧制砖、园林绿化用土等资源化利用途径，同时处理处置过程中需采取除臭措施。研究明确了填埋场存量污泥的核心特性与处置要点，为类似历史淤泥填埋场存量污泥处理处置工艺选型提供了数据支撑与理论参考，对破解城市存量污泥处置难题与推动污泥无害化、减量化、资源化协同处置具有重要工程实践意义。

关键词：存量污泥；市政污泥；脱水性能；重金属含量；化学调理

0　引言

我国污泥无害化、减量化、资源化处置起步较晚，2015 年之前我国大部分市政污泥均以填埋方式处置。随着我国中大城市土地资源紧缺，同时各地环境保护要求越来越严格，填埋场存量污泥处理处置成为很多城市亟待解决的问题。与市政污水处理厂新产生的传统市政污泥相比，历史填埋场存量污泥因为填埋时间长，污泥的物理和化学性质均发生了较大变化，因此需对二者进行对比分析，掌握其特性差异。

1　工程概况

天津青凝侯淤泥卫生填埋场位于天津市西青区大寺镇青凝侯村，设计库容约 68 万 m^3，累计接纳大沽排污河清淤淤泥 33 万 m^3，纪庄子、津沽等 6 家污水处理厂污泥 68 万 t。

为确定适合历史淤泥填埋场存量污泥的处理处置工艺，对比分析填埋场存量污泥与传统市政污泥的物理和化学性质，对淤泥填埋场内存量污泥进行多次取样，并委托具备检测资质的专业第三方机构进行检测分析。在检测数据的基础上分析各类型污泥的泥性差异，为确定合适的处理处置工艺提供依据。

2　污泥物理指标分析

2.1　表观及含水率

污泥填埋场接纳了排污河的清淤淤泥及污水处理厂的污泥，并填埋多年。填埋场存量污泥主要呈黑色、潮湿状，有明显异味；污泥填埋时分区分层填埋，各层之间有防渗系统，表层做过封盖处理，含有大量竹篦子、土工布、排水网等垃圾杂物，表层污泥呈暗黄色。检测结果表明，存量污泥的含水率约为 65%~85%。

传统市政污泥来源于城市污水处理厂处理生活污水过程，由各种微生物和有机、无机颗粒组成[1]，是一种固液混合的絮状物质，有较明显异味，通常包括初沉污泥、化学污泥、活性污泥及消化污泥中的一种或多种。根据天津市 3 家污水处理厂的市政污泥检测报告，其市政污泥的含水率分别为 83.0%、81.3%、83.0%。

由于过去关于城镇污水处理厂污泥处理工艺技术的限制及实施管理的不规范，污水处理厂产生的污泥含水率较高，未能进行深度脱水。根据检测数据，天津市某污水处理厂的脱水污泥含水率达 68.4%。随着技术的发展和标准的提高，污水处理厂市政污泥在脱水车间内进行脱水，脱水后污泥含水率一般约为 60%及以下。

河道淤泥主要来源于河道环保清淤，呈黑色、褐色，潮湿状，有较明显异味，含有塑料袋等生活垃圾杂物。河道淤泥的含水率较高，一般高于 90%。

各类型污泥表观如图 1 所示。



(a) 填埋场存量污泥　(b) 传统市政污泥

(c) 传统市政污泥脱水后污泥　(d) 河道淤泥

图 1　各类型污泥表观图

2.2　脱水性能

污泥的脱水性能可通过污泥黏度、污泥比阻(SRF)以及毛细吸水时间(CST)来评价。一般而言，污泥脱水性能与黏度、比阻及毛细吸水时间呈现出较好的负相关性，污泥黏度越高、污泥比阻越大、毛细吸水时间越长，污泥脱水性能越差，污泥调理脱水越困难[2]。

填埋场中河道淤泥和污水处理厂污泥无规划掺混填埋，泥质复杂，黏度高，因其污泥填埋时间长，微生物分泌大量胞外物质，黏度显著升高。

传统市政污泥黏度约为 16~21 MPa·s；污水处理厂初沉污泥比阻约为 4.7×10^{9}~6.2×10^{9} $s^{2}\cdot g^{-1}$，活性污泥比阻约为 12.8×10^{9}~22.8×10^{9} $s^{2}\cdot g^{-1}$；毛细吸水时间约为 18~28 s[3-4]。

经过对比，存量污泥与传统市政污泥在含水率及脱水性能上有明显差异，存量污泥含水率一般低于传统市政污泥及河道淤泥，其填埋时间长，黏度高、比阻大、毛细吸水时间长，其脱水性能差，需要选用调理效果好的调理剂对污泥进行调理，改善脱水性能以利于脱水减量。

3　污泥化学指标分析

3.1　有机物含量及灰分

检测报告显示，传统市政污泥有机物含量一般为 35%~65%；而填埋场存量污泥中有机物含量在 25%~45%之间，这是因为填埋场存量污泥填埋时间长，随着填埋时间的增长，有机物被微生物逐渐降解消耗，剩下的是不可生物降解的腐殖质等。填埋场存量污泥含碳化合物及其衍生物的持久性有机物多，具有一定的生物毒性和环境持久性，有些成分的化学性质不稳定，易挥发、易变质、易腐化，伴有刺激性恶臭，处理处置过程中会有恶臭气体(如硫化氢、氨气等)逸散，需采取除臭措施，以确保厂界恶臭污染物排放浓度满足国家及地方相关环保标准。

河道淤泥具有高含水率、低结构强度、低有机物含量等特点，陈明霞等[5]对比了不同河湖淤泥物理性质，文献中不同地区的河湖淤泥有机物含量均低于 10%，有机物含量最高的南京秦淮河有机物含量为 8.6%，而淤泥中 SiO_2、Al_2O_3 含量高达 61.36%、11.57%。

根据焚烧试验结果，填埋场存量污泥灰分约为原湿污泥的 10%~20%，脱水后污泥的灰分约为原脱水干泥的 40%~45%。根据天津市 3 家污水处理厂市政污泥检测报告，市政污泥灰分分别为 8.58%、10.09%、9.54%。传统市政污泥灰分成分主要为 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO 等。

3.2　重金属含量

污泥的 pH 值是影响污泥中重金属含量及浸出液浓度的因素之一。污泥一般呈中性，pH 值在 6~9 之间。污泥中重金属主要包括铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)、汞(Hg)、钡(Ba)和镍(Ni)等，其含量及浸出液浓度是选择污泥处理处置工艺的重要依据。

根据青凝侯淤泥填埋场应急处置项目进场前后所有的存量污泥重金属含量及浸出液浓度检测情况，不同填埋坑内污泥差异较大。各填埋坑内污泥重金属含量及浸出液浓度范围如表 1—表 2 所示。污泥重金属浸出液浓度较低，表明经填埋处理后污泥的重金属状态较为稳定，其生物有效性大幅度降低，有利于污泥填埋处理后的资源化再利用。

表 1　青凝侯淤泥填埋场淤泥重金属含量

mg/kg

采样位置	铬	镉	镍	铜	铅	锌	汞
7 号填埋坑	110~744	0.45~6.00	24.9~236	130~5 440	16.9~4 287	300~2 540	1.37~27.95
8 号填埋坑	96~752	0.39~5.90	23.6~661	219~1 633	44.1~361.5	3.51~22.8	33.4~1 860
4 号填埋坑	356~1 010	3.49~15.7	151~287.1	591~3 990	16.7~324.1	19.1~63.2	928.6~4 600

表 2　青凝侯淤泥填埋场淤泥重金属浸出液浓度

mg/L

采样位置	铬	镉	镍	铜	铅	锌	汞
7 号填埋坑	0.003~0.53	0.000 2~0.005 4	0.081~0.557	0.014~1.191	0.001~0.083	0.02~4.18	0.000 08~0.000 95
8 号填埋坑	0.002~0.17	0.000 5~0.006 3	0.02~0.168	0.07~0.838	0.005 4~0.05	0.216~4.18	0.000 2~0.000 9
4 号填埋坑	0.008~0.955 5	0.001 5~0.006 3	0.08~0.45	0.15~2.6	0.009~0.046 7	0.532~3.895	0.000 2~0.000 7

王涛[6]对 25 个城市 90 座城镇污水处理厂（处理规模 1 000~100 000 t/d）进行调研，汇总并分析了 90 座城镇污水处理厂污泥中的重金属含量，如表 3 所示。创业环保旗下津沽污水处理厂、东郊污水处理厂、咸阳路污水处理厂市政污泥的重金属含量如表 4 所示。

表 3　90 座城镇污水处理厂污泥中重金属成分汇总表

重金属成分指标	有效样本数/个	平均值/(mg·kg^{-1})	最高值/(mg·kg^{-1})	最低值/(mg·kg^{-1})	标准限值	
					pH<6.5	pH≥6.5
Cu	84	493.27	10 531.11	16.90	800	1 500
Zn	81	1 794.70	14 285.00	15.90	2 000	4 000
Ni	68	120.15	615.42	2.73	100	200
Cd	87	2.80	49.64	—	5	20
Hg	55	5.66	13.56	0.01	5	15
Pb	87	93.01	729.00	2.66	300	1 000
Cr	75	266.68	2 960.00	9.60	600	1 000
注：标准限值采用 GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》中限值。						

表 4　创业环保旗下 3 家污水处理厂市政污泥重金属含量

mg/kg

污泥来源	铬	镉	镍	铜	铅	锌	汞
津沽污泥	1	<1	8	24	12	221	<0.001
东郊污泥	1	<1	3	29	8	249	<0.001
咸阳路污泥	2	<1	4	24	9	151	<0.001

根据徐杨[7]对城市河道淤泥特性及其资源化利用的技术研究文献，淤泥的重金属含量见表 5。

表 5　城市河道淤泥重金属含量

mg/kg

采样位置	铬	镍	铜	铅	锌	钡
上游	66.4	40.5	116	94.2	387	568
中游	73.4	45.0	134	104.0	511	622
下游	97.3	55.8	192	126.0	798	721

综合对比填埋场存量污泥、传统市政污泥以及河道淤泥的重金属含量，填埋坑内存量污泥重金属含量平均值高于传统市政污泥、河道淤泥，河道淤泥重金属含量高于传统市政污泥。可能由于污泥填埋场不仅收纳了市政污水处理厂的市政污泥，还收纳了部分污水处理厂处理工业废水产生的污泥以及排污河清淤产生的淤泥，使得混合填埋的污泥中各重金属总量显著升高。另一方面，随着污水处理厂接收处置污水的标准更加严格，以及采用污水处理工艺技术的进步，污水处理过程中产生的污泥中重金属含量显著降低。污泥中重金属含量的降低，对于污泥的资源化利用是十分有利的。

污泥的处理处置工艺需在检测污泥各项性能参数以及重金属含量的基础上，根据相关标准如 GB/T 24600—2009《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》、GB/T 23486—2009《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》、GB/T 25031—2010《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》、GB/T 24602—2009《城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质》等选用适合的工艺。

3.3　营养元素

污泥的营养元素一般指污泥中的氮（N）、磷（P）、钾（K）等，是植物正常生长发育所需要的营养元素。根据检测报告，污泥填埋场存量污泥中总氮（TN）含量为 0.97%~3.55%，平均值为 2.69%；总磷（TP）含量为 0.96%~4.97%，平均值为 3.33%；总钾（TK）含量为 0.62%~2.87%，平均值为 1.49%。

根据王涛[6]对我国 90 座城镇污水处理厂的调研，污水处理厂市政污泥中总氮含量为0.31%~7.20%，平均值为 3.58%；总磷含量为 0.04%~14.65%，平均值为 2.32%；总钾含量为 0.13%~7.40%，平均值为 1.42%。

根据谢瑞桃[8]对黑臭河流底泥化学组分分析以及鲍磊[9]对江西省农村中小河流底泥营养元素性状研究，河道淤泥吸附了水体中大量的氮、磷、钾元素，是氮、磷、钾元素的储存库和可能释放源。总氮含量为 0.13%~1.46%，平均值为 1.20%；总磷含量为 0.05%~0.15%，平均值为 0.11%；总钾含量为 1.45%~2.10%，平均值为 1.67%。

经过对比，存量污泥有机物含量低于传统市政污泥，重金属含量高于传统市政污泥，其重金属浸出液浓度较低，生物有效性大幅度降低，氮、磷、钾等营养元素含量高，可以用于焚烧制砖、园林绿化用土等资源化再利用途径，但处置前需要对各项重金属指标进行详细检测，特别是铬、镉、铅、铜、锌、汞、镍等含量。

4　结语

依托于天津青凝侯淤泥填埋场应急处置项目，将填埋场存量污泥与传统市政污泥、河道淤泥进行对比，从含水率、脱水性能参数等物理指标、有机物含量、重金属含量及营养元素等方面进行数据对比及分析，结论如下：

1）三者均主要呈黑色、潮湿状，有明显异味。填埋场存量污泥含水率在 65%~85%之间；污水处理过程中产生的污泥含水率约为 80%~90%，经脱水车间脱水处理后出厂的传统市政污泥含水率一般为 60%左右；河道淤泥的含水率最高，高达 90%及以上。

2）填埋场存量污泥填埋时间长，黏度高、比阻大、毛细吸水时间长，其脱水性能极差，需要对污泥进行调理，改善脱水性能以利于脱水减量。由于黏度大，筛分、调理困难，是同类型工程项目需要研究解决的一大问题。

3）填埋场存量污泥有机物含量相对较低，重金属含量变化幅度较大，对存量污泥进行处理处置需要对各项指标进行详细检测，特别是铬、镉、铅、铜、锌、汞、镍等含量，对照相关标准规范进行对比，选择适用的处理处置工艺。

4）填埋场存量污泥经过填埋处理，重金属生物有效性大幅度降低，并且氮、磷、钾等营养元素含量高，有利于后续资源化利用，但仍需注意标准规范对重金属含量的限制。

5）填埋场存量污泥含碳化合物及其衍生物的持久性有机物多，有些成分的化学性质不稳定，易挥发、易变质、易腐化，伴有刺激性恶臭，处理处置过程中会有恶臭气体逸散，需要采取除臭措施。

参考文献：

[1] 林贤柯. 市政污泥农林业间接利用技术研究[D]. 广州：华南农业大学，2020.
[2] 宋刚，罗清. 果胶酶对剩余污泥脱水性能的影响[J]. 中华纸业，2022，43(18)：33–36.
[3] 吴春旭，唐明悦，张鸿涛，等. 我国不同地区市政污泥理化性质及其对脱水性能的影响[J]. 环境工程学报，2021，15(1)：271–278.
[4] 刘翠芹，张学民，李爽，等. 天津市东郊污泥处置厂污泥脱水方案的比选[J]. 中国建设信息(水工业市场)，2009(12)：68–40.
[5] 陈明霞，朱金水. 莆田玉湖淤泥物理特性及综合利用途径分析[J]. 赤峰学院学报(自然科学版)，2021，5(37)：41–45.
[6] 王涛. 我国城镇污泥营养成分与重金属含量分析[J]. 中国环保产业，2015，4(20)：42–45.
[7] 徐杨. 城市河道淤泥特性及其资源化利用技术研究[D]. 南京：南京大学，2015.
[8] 谢瑞桃. 黑臭河流底泥在绿化种植中的资源化利用研究[D]. 安徽：安徽工业大学，2017.
[9] 鲍磊. 江西省农村中小河流底泥营养元素性状研究[D]. 南昌：南昌工程学院，2015.