

# 西藏自治区污泥资源化利用途径

相俊晖<sup>1</sup> 谭欣<sup>2</sup>

1. 西藏大学生态环境学院 西藏拉萨 850000

2. 天津大学环境科学与工程学院 天津 300350

**摘要:** 污水处理厂处理能力的提升加快了污泥的产出。污泥中包含了许多种类的污染物,应及时进行处理与处置,否则会破坏环境并引发二次污染。本文总结了数种污泥资源化利用途径,并以我国西藏自治区为例,通过对西藏污泥特性及污染物含量的研究,给出了几种适合西藏污泥资源化利用建议。为更好地进行污泥减量化、稳定化、无害化、资源化提供了帮助。

**关键词:** 污泥处理与处置; 污泥特性; 污泥资源化利用

## Resource utilization of sludge in Tibet Autonomous Region

Junhui Xiang<sup>1</sup>, Xin Tan<sup>2</sup>

School of Ecology and Environment, Tibet University, Lhasa 850000, China

School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China

**Abstract:** The improvement of sewage treatment plant capacity has accelerated the production of sludge. The sludge contains various types of pollutants that should be promptly treated and disposed of; otherwise, it can harm the environment and cause secondary pollution. This paper summarizes several approaches for the resource utilization of sludge and takes the Tibet Autonomous Region in China as an example. Through the study of sludge characteristics and pollutant content in Tibet, several suggestions for the resource utilization of Tibet's sludge are provided. This research contributes to the reduction, stabilization, harmless, and resource utilization of sludge, aiming to improve its management.

**Keywords:** Sludge treatment and disposal; Sludge characteristics; Sludge resource utilization

我国经济的快速增长带动了工业化与城市化的发展,污水处理能力也在不断增强。污泥的产出作为污水处理过程中不可避免的问题,自2007年起我国的污泥总产量每年大约增长13%<sup>[1]</sup>。将污泥依照产生的源头不同可分为工业污泥和市政污泥。在中国约35.0%的工业废水进入污水处理厂,从而导致污水污泥中含有重金属如锌、铬、铅,以及持久性有机污染物(POPs),严重限制了污泥处理与处置的选择<sup>[2]</sup>。因此,如何以安全、低碳的方式处理和处置污泥已成为环境工程领域最具挑战性的课题之一。

### 一、污泥资源化利用

针对我国目前污泥处理能力的不足,以及污泥处理手段发展的落后,污泥资源化是解决目前问题的有效途径也是未来发展的主要方向。污泥资源化不仅可以将污泥转化为燃料,还因污泥中含有大量的碳和营养物质,被用作减少或控制污染的环境功能材料<sup>[3]</sup>。将资源化利用为主的方针贯彻到底,不但能促进循环经济的建设还可以保护生态平衡。物质回收和能源利用为资源化利用主要方向。

#### 1. 作为建筑材料利用

污泥中包含了Si、Al、Fe、Ca等无机物,这些无机物与大部分建筑材料成分相同,如此一来将污泥制作成为建筑材料就成了一条可行性很强的道路。黄靖宇<sup>[4]</sup>发明了将含氟

污泥通过处理制成陶粒,不仅解决了氟化钙污泥污染问题还实现资源可持续利用。污泥基陶粒不仅可以实现重金属稳定还能减少环境污染<sup>[5]</sup>;污泥还可作为水泥中的补充胶凝材料<sup>[6]</sup>,既可以在建材中代替部分水泥,还能够为污泥焚烧后的残留物提供了一种解决方案。污泥作为建筑材料利用有利于生态环境的保护,而且在我国建筑行业的发展中也会起到十分重要的意义<sup>[7]</sup>。

#### 2. 污泥制氢

氢是一种适用范围广、燃烧热值高的清洁能源。利用污泥制氢不但可以解决污泥的污染问题,产生的氢气还能够缓解能源危机。污泥制氢技术主要包括:污泥生物制氢、污泥高温气化制氢及污泥超临界水气化制氢。Zhang<sup>[8]</sup>等通过将负载镍的天然矿石作为催化剂,不但能促进含油污泥的热解,还可以获得高附加值的氢气。Yang<sup>[9]</sup>等通过将三种碳水化合物含量较高的可生物降解的林业原料废弃物(杨树落叶、废弃花和剪黑麦草)加入到污泥间歇发酵系统中,用于提升污泥产氢量。污泥制氢技术作为一种污泥资源化利用途径,在国内外都是比较前沿的技术。在实际应用时不能一味的借鉴国外技术,应考虑我国国情和污泥的实际情况来选择合适的制氢方法。

#### 3. 污泥制吸附剂

污泥中的有机物在一定温度下可以通过改性制成活性炭吸附剂<sup>[10]</sup>, 可用于处理废水中的重金属离子、COD 等, 还可用于处理废气和恶臭气体。目前污泥制备吸附剂的方法主要包括直接热解法、物理活化法及化学活化法。何登吉<sup>[11]</sup>采用了三种不同的胺基改性剂, 分别是聚苯胺 (PANI)、聚乙烯亚胺 (PEI) 和聚吡咯 (PPY) 来制备改性污泥吸附材料 AS-PANI、AS-PEI 及 AS-PPY, 用以去除水中的 Cr (VI)。结果表明三种吸附剂对 Cr (VI) 均具有良好的吸附性能, 能够作为一种高效、可行的吸附剂应用于污水处理中, 并且为污泥的资源化处理提供了一条途径。

#### 4. 污泥中提取蛋白质

剩余污泥含有数量很大且种类不同的有机物, 其中蛋白质占剩余污泥中有机物的 61%<sup>[12]</sup>, 具有较大的提取价值。目前污泥中提取蛋白质方法有酸热法、碱热法、生物酶法、超声-碱法、超声-酶法等。污泥蛋白质经提取后可作为发泡剂<sup>[13]</sup>、肥料、动物饲料以及造纸工业中的黏合剂等。Yan<sup>[14]</sup>等通过比较碱热法和酶解法提取的胞内蛋白与胞外蛋白的比例、水解过程中蛋白的转化情况和蛋白的提取机制, 得出结论碱热法提取的蛋白质含有大量的多肽, 有利于制备工业发泡剂, 而酶解法提取的蛋白质含有丰富的游离氨基酸, 可用于制备叶面肥。该方法的操作以及所需设备相对来说较为简单, 并且占用的土地面积较小, 所以从污泥中提取蛋白质具有广阔的前景。

## 二、西藏污泥概况

西藏自治区处于青藏高原西南部有着“地球第三极”之称, 其地理位置独特且生态环境较为脆弱。21 世纪西部大开发战略使得高原地区经济快速发展, 城镇化提高的同时市政污水产量也在急剧增加。截止 2021 年末我国西藏自治区已建成污水处理厂近 30 座, 在建污水处理厂 50 余座<sup>[15-17]</sup>, 污水排放量达  $1.09 \times 10^8$ t, 污水处理量为  $9.106 \times 10^7$ t<sup>[18]</sup>, 通过计算含水率 80% 的污泥量约为  $7.28 \times 10^4$ t<sup>[19]</sup>。但由于缺少后续配套处理设施, 导致大量污泥只能通过干化后填埋的方式来进行处理。由于西藏的垃圾填埋场逐渐饱和, 并且该方法可能会对西藏脆弱的生态环境造成影响。因此针对上文提出的方法, 在综合考虑西藏的地理环境、气候等特殊条件下, 挑选出了几种适合西藏的污泥资源化处置途径供参考。

#### 1. 西藏污泥特性

##### (1) 有机质含量

污泥能否资源化利用很大程度上取决于有机质含量, 该指标还决定了污泥的消化性能和热值<sup>[20]</sup>。西藏污泥中碳、氢

元素含量相较于其他省市来说较高, 并且污泥具有高挥发分含量、较低的含水率和低灰分含量, 这说明了西藏污泥中含有较多的有机质。

##### (2) 重金属含量

重金属元素含量对污泥进行建筑材料利用和土地利用的安全性起到重要影响<sup>[21]</sup>。我国市政污泥中重金属含量从大到小排序为  $Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > As > Cd > Hg$ 。西藏污泥重金属含量如表 1 所示, 从高到低排序为  $Zn > Cu > Cr > As > Pb > Ni > Cd > Hg$ <sup>[22]</sup>。可以看到西藏污泥中除 As 外, 其余重金属元素均在含量范围内, 且低于中国城市污泥重金属含量均值。出现这一现象主要是因为西藏工业不发达导致来自于工业排放废水较少, 从而污水排放主要来自生活污水所致。

表 1 重金属含量

重金属元素	西藏自治区 ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) <sup>[22]</sup>	中国平均值 ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) <sup>[23]</sup>	含量范围 ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) <sup>[23]</sup>	国家标准 ( $pH \geq 6.5$ ) / ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) <sup>[24]</sup>	国家标准 ( $pH < 6.5$ ) / ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) <sup>[24]</sup>
Cu	91.02	182.5	55.7~	1500	800
Pb	26.07	65.3	9.3~	1000	300
Zn	294.4	729.6	42.1~	3000	2000
Cd	<2.5	2.1	0.4~	20	5
Hg	<2.5	1.4	0.1~	15	5
As	38.09	11.5	0.9~	75	75
Cr	53.23	97.5	10.6~	1000	600
Ni	9.67	44.9	13.1~ 495.3	200	100

## 三、西藏污泥资源化利用途径

#### 1. 制备生物炭

西藏污泥有机质含量较高, 因此将污泥脱水干燥后置于热解炉中, 在缺氧或是无氧的环境条件下进行加热 ( $300-900^{\circ}C$ ), 使污泥内部发生分解最终产生生物炭。生物炭能够吸收重金属和有机污染物。并且西藏污泥灰分含量较低, 在热解过程中灰渣产量较少, 对热解炉等设备运行维护更有利<sup>[24]</sup>。

#### 2. 土地或建材利用

西藏污泥重金属含量较低, 符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)<sup>[24]</sup> 中规定的污泥农用污染物控制标准限值。因此将西藏污泥进行稳定化和无害化处理, 用于园林绿化、土地改良等土地利用以及制砖、水泥、陶粒等建材利用。

## 四、结论

城市化进程的加快使得我国在污泥处理与处置方面的

提升刻不容缓,对污泥进行清洁、有效、安全的处理能够从根本上保障污水处理的最终运行。为了更好地落实污泥处理工作,我们应该借鉴国外在该项工作上的优势,吸取教训,因地制宜的选择适合我国国情的方法。由于填埋等传统方式已无法满足我国可持续发展的要求,未来污泥的资源化利用潜力巨大。在未来研究方向上我们应该以污泥无害化为基础,资源化利用为最终目标,充分结合各个地区的实际情况做到污泥减量化、稳定化、无害化、资源化。

### 参考文献:

- [1] YANG G, ZHANG G, WANG H. Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China[J]. Water research: A journal of the international water association, 2015,78(Jul.1): 60-73.
- [2] FENG L, LUO J, CHEN Y. Dilemma of Sewage Sludge Treatment and Disposal in China[J]. Environmental Science & Technology, 2015,49(8): 4781-4782.
- [3] YE Y, HAO NGO H, GUO W, et al. A critical review on utilization of sewage sludge as environmental functional materials[J]. Bioresource Technology, 2022,363: 127984.
- [4] 黄靖宇. 采用氟化钙污泥制新型陶粒: 2012-12-05.
- [5] CORSINO S F, Di TRAPANI D, De MARINES F, et al. Influence of the Oxidic-Settling-Anaerobic (OSA) Process on Methane Production by Anaerobic Digestion of Sewage Sludge[J]. Water, 2023,15(3): 513.
- [6] ZHIYANG C, GUANGCHENG L, YOUJUN X, et al. Recycling sewage sludge ash and limestone for sustainable cementitious material production[J]. Journal of Building Engineering, 2022,49.
- [7] De CARVALHO GOMES S, ZHOU J L, LI W, et al. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019,145: 148-159.
- [8] XITONG Z, JIAYU X, SHUAI R, et al. Experimental study on catalytic pyrolysis of oily sludge for H<sub>2</sub> production under new nickel-ore-based catalysts[J]. Energy, 2022,249.
- [9] YANG G, WANG J. Enhanced Hydrogen Production from Sewage Sludge by Co-fermentation with Forestry Wastes[J]. Energy & Fuels, 2017,31(9): 9633-9641.
- [10] 王鹤, 李芬, 张彦, 等. 污水厂剩余污泥材料化和能源利用技术研究进展[J]. 材料导报, 2016,30(13): 119-124.
- [11] 何登吉. 改性污泥吸附剂的制备及其去除水中Cr(VI)的研究[D]. 陕西科技大学, 2017.
- [12] YINGUANG C, SU J, HONGYING Y, et al. Hydrolysis and acidification of waste activated sludge at different pHs.[J]. Water research, 2007,41(3).
- [13] J S F. Humus Chemistry, Genesis, Composition and Reactions[J]. Soil Science, 1995,159(5).
- [14] YAN Y, ZHANG Y, GAO J, et al. Intracellular and extracellular sources, transformation process and resource recovery value of proteins extracted from wastewater treatment sludge via alkaline thermal hydrolysis and enzymatic hydrolysis[J]. Science of The Total Environment, 2022,852: 158512.
- [15] 朱璐. 污泥—煤复合成型燃料及其燃烧 NO<sub>x</sub> 的释放特征[D]. 湖南大学, 2015.
- [16] 2019年西藏自治区生态环境状况公报[N]. 西藏日报(汉), 2020-06-05.
- [17] 2020年西藏自治区生态环境状况公报[N]. 西藏日报(汉), 2021-06-05.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2020年城乡建设统计年鉴 [EB/OL]. [2023-04-15]. <https://www.mohurd.gov.cn/>.
- [19] 李平, 邵敏, 刘玉坤, 等. 有机固体废弃物资源化利用市场潜力研究[J]. 资源节约与环保, 2018(10): 103-107.
- [20] 戴晓虎. 我国污泥处理处置现状及发展趋势[J]. 科学, 2020,72(06): 30-34.
- [21] 安东璇, 耿瑞, 朱洁, 等. 城镇污泥特性及处置过程碳排放影响的研究[J]. 环境科技, 2023,36(01): 21-25.
- [22] 王旭彤, 张蕊, 颜蓓蓓, 等. 西藏自治区污泥特性与资源化利用潜力分析[J]. 环境工程学报, 2019,13(11): 2753-2769.
- [23] 郭广慧, 陈同斌, 杨军, 等. 中国城市污泥重金属区域分布特征及变化趋势[J]. 环境科学学报, 2014,34(10): 2455-2461.
- [24] 国家环境保护总局. GB 18918-2002, 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.