

# 市政污泥资源化利用技术研究进展

孙海勇<sup>1,2,3</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 节能工程技术研究分院,北京 100013; 2. 煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室,北京 100013; 3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室,北京 100013)

**摘要:**为了解决产量大、成分复杂、难处理的市政污泥,阐述了污泥的来源、规模及主要危害,说明了传统处理工艺存在的主要问题。论述了干化焚烧、掺混制浆等技术可实现污泥的规模化处理,但与污泥的产出量仍有较大的差距。污泥黏结剂制备的型煤抗压强度较高,气化反应速率比白泥型煤提高50%以上;污泥活化制取含碳吸附剂成本低,孔隙发达、比表面积大,吸附能力可达到商品活性炭的80%左右。针对现有污泥处理技术存在的问题,指出污泥处理工艺及大型设备开发、利用途径拓展及污泥二次污染防治3个方面为今后污泥资源化利用的重点研究方向。

**关键词:**污泥;资源化利用;燃烧;水煤浆;热解

中图分类号:TU984.11 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)04-0091-04

## Resource utilization of municipal sludge

SUN Haiyong<sup>1,2,3</sup>

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Environmental Protection, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to make an efficient use of large yield municipal sludge which was composed of complex components and was difficult to dispose, the source, yield and hazard of sludge were introduced in this paper. The shortage of traditional treatment process was also researched. Drying and incineration process, coal water slurry preparation could consume sludge, while the handing capacity was low. The compressive strength of briquette which was bonded with sludge was high, its gasification rate was above 50% than that of briquette bonded by white mud. The carbon adsorbent made from sludge had developed pore, large specific surface area and low cost. Its adsorption ability was around 80% of that of activated carbon. At last, the paper pointed out that sludge treatment process improvement, large scale equipment development, utilization methods expansion and secondary pollutants control were the key research directions of municipal sludge utilization.

**Key words:** municipal sludge; resource utilization; combustion; coal water slurry; pyrolysis

## 0 引言

随着我国社会经济的发展 and 城市化进程的加快,市政污水和污泥的产出量急剧增加。据不完全统计,截止2013年3月底,我国累计建成城镇污水处理厂3451座<sup>[1]</sup>,全年污水排放总量达到694.9亿t,其中工业废水排放量209.8亿t,市政污水排放量485.1亿t。与此同时,作为市政污水处理的必然产

物,污水平均含泥率为0.05%~0.08%,由此推算2013年全国市政污泥产量达到2400万~3800万t。市政污泥含水率高达80%左右,易腐败恶臭,含有寄生虫卵、病原微生物及重金属等有害物质<sup>[2]</sup>,若不得到科学有效的处理,将对环境带来极为严重的污染和破坏。因此,寻求市政污泥的减量化、稳定化、无害化和资源化的利用途径,已成为全球关注的环境保护问题。鉴于此,笔者分析了传统污泥处理

收稿日期:2015-03-23;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.04.024

基金项目:国家高技术发展研究计划(863计划)资助项目(2012AA063506);中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2014QN042)

作者简介:孙海勇(1986—),男,山东济宁人,研究实习员,硕士,从事水煤浆及煤化工技术研究。E-mail:sunny0537@163.com

引用格式:孙海勇.市政污泥资源化利用技术研究进展[J].洁净煤技术,2015,21(4):91-94.

SUN Haiyong. Resource utilization of municipal sludge[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4): 91-94.

技术存在的主要问题,综述了国内外市政污泥资源化利用技术的研究进展,为污泥的资源化利用提供技术参考。

## 1 市政污泥的来源、特点及对环境的污染

市政污泥是污水厂在处理城市生活污水和工业废水过程中产生的带有大量污染物的副产物。从外观上看,城市污泥是呈黑色或黑褐色的半流体状或泥饼状的絮凝体,是由泥砂、纤维、动植物残体以及多种微生物形成的菌胶团,同时含有铜、砷、铅、锌、铬、镉等重金属和难降解的有机、无机污染成分<sup>[3-5]</sup>。其特点为:①含水率很高,持水力强,难以压缩脱水;②稳定性极差,易变质,产生恶臭;③呈现介于流体和胶体之间的絮凝体状态,流动性差;④含有多种重金属成分,简单处理会造成重金属污染;⑤产量大,处理成本高,占污水处理成本的30%~40%。

由此可见,污泥的成分决定了其难处理、难利用的特点,若不经科学、合理的方式进行治理,易带来一些较为严重的污染问题。主要包括:①病原微生物污染,包括病原微生物和寄生虫污染;②有机高聚物污染,包括苯、氯酚、多氯联苯、多氯二苯并呋喃和多氯并苯二噁因等,可对人体的器官和免疫系统造成损害;③N、P等养分污染,造成地表水体的富营养化,渗入地下造成地下水污染;④重金属污染,可在动植物体内富集,危害人体和其他生物体<sup>[6]</sup>。

## 2 传统污泥处理技术现状及问题

由于市政污泥具有产量大、难处理的特点,传统的污泥处理技术多采用深土卫生填埋、海洋倾倒和农用堆肥等临时措施,无法从根本上实现污泥“减量化、稳定化、无害化和资源化”的处置和利用<sup>[7]</sup>。

### 1) 深土卫生填埋

市政污泥的深土卫生填埋处理技术始于20世纪60年代的希腊、德国和法国,即将市政污泥经机械脱水后深埋至地下,分海底和陆地填埋2种。因该方法操作相对简单,处理成本低,且适用性强,成为20世纪重要的污泥处理方法。但是,污泥填埋只是在表现上延迟污泥带来的污染,且近年来污泥填埋的负面效应越来越大,因此带来的土壤及地下水污染越来越引起人们的重视,各国均在逐年降低污

泥的填埋比例。在我国,2009年污泥的深土卫生填埋占污泥总量的52%,2013年这一比例下降至40%左右。

### 2) 海洋倾倒

海洋倾倒是利用海洋巨大的稀释和环境容纳能力来处理污泥。但是,未经处理的污泥进入海洋后,污泥中的重金属、病原微生物等有害物质会对海洋造成严重的环境污染。20世纪90年代,美国、日本及欧盟均颁布法令全面禁止污泥的海洋倾倒。

### 3) 农用堆肥

污泥的农用堆肥,就是污泥在一定条件下,通过微生物发酵作用将其中的有机物降解成稳定成分,使其成为土地肥料的过程。堆肥作为一种投资少、见效快的污泥处理方法,具有广阔的应用前景<sup>[8-10]</sup>。但是污泥堆肥进入农田后,污泥中含有的重金属、病原微生物、难降解有机物等会对地表土壤及地下水造成污染,因此,在堆肥过程中应进行主要污染物的脱除处理,严格控制堆肥质量。

## 3 市政污泥资源化利用技术研究进展

污泥含有的大量有机物,脱水后具有一定的热值(干基高位热值为8~10 MJ/kg)和丰富的氮、磷、钾等营养物质,在1995年,世界水环境组织(WWO)将市政污泥定义为“生物固体”(Biomass),准确反映污水污泥的“第二资源”性。因此,对污泥认识的理念从废弃污染物转变到生物资源,最大化的释放污泥中可利用成分的资源价值,变废为宝是解决市政污泥污染的终极目标。

### 1) 污泥的干化焚烧技术

污泥干化是指采用中低温烟气作为热源,在干燥器中将污泥的含水率从80%干燥至20%以下。污泥焚烧是通过燃烧反应使可燃有机物转化为CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>等气体。国内外针对干化污泥的焚烧技术开展了大量的科学研究,对污泥焚烧过程中的水分蒸发、挥发分析出、燃烧特性及污染物迁移规律等进行了系统的研究,开发出了较为成熟的污泥焚烧技术。

姬鹏等<sup>[11]</sup>提出市政污泥“脱水—干化—焚烧—化工建材”一体化的工艺流程,即脱水后的湿污泥在炉前进行中温烟气干燥,干燥后的污泥进行燃烧,热烟气作为干燥介质,灰渣作为建筑和化工原料,蒸汽产品用于发电或供热<sup>[3]</sup>。污泥通过干化焚烧,可全部燃尽污泥中的有机物,杀死病原体微生物,最大

限度地减少污泥中的有害成分。截止2013年底,国内投产及在建的污泥干化燃烧项目共计30余个,设计处理能力在30~2000 t/d不等,与我国目前的污泥产出量仍有较大差距。污泥干化焚烧一体化工艺流程如图1所示。

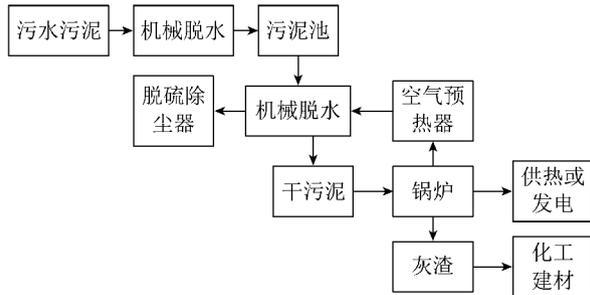


图1 污泥干化焚烧一体化工艺流程

## 2) 污泥与煤掺混制水煤浆技术

水煤浆是由煤、水和添加剂组成的煤基流体燃料和气化原料,可用于工业锅炉、窑炉和电站锅炉的燃烧发电或供气,亦可用于煤气化生产合成氨、甲醇、烯烃、油品和天然气等化工产品<sup>[12]</sup>。据不完全统计,截止2013年底,全国各类制浆厂的设计生产能力已超过1.3亿t/a,其中燃料用浆3000万t/a,气化用浆1亿t/a。水煤浆产业的迅速发展为市政污泥的处理提供了新的发展思路,即利用具有一定热值但难处理的污泥与煤掺混制备水煤浆,然后进行燃烧或气化;与干化焚烧相比,该技术省去了污泥干化环节,简化了污泥的处理工艺。同时,污泥中的水分和有机组分经改性处理后可作为水和原料煤的补充原料,一定程度上降低制浆成本。

段清兵<sup>[13]</sup>以深圳南山某污水处理厂的污泥(以下简称“南山污泥”)和兖州煤为原料,造纸黑液作为污泥改性剂,制备污泥水煤浆。研究表明,南山污泥经过造纸黑液改性后,黑液中的碱性组分可与污泥中的聚丙烯酰胺发生反应,在一定程度上打破了污泥原有的絮凝状态,释放出了自由水,改善了污泥的流动性。污泥与兖州煤掺混制浆,其配入量可达14%,污泥水煤浆浓度可达65%左右,热值大于16.75 MJ/kg,满足锅炉燃用和水煤浆气化的各项技术指标。以目前全国水煤浆1.3亿t/a的用量来估算,若全部采用污泥掺混制浆技术,每年可消耗市政污泥1800余万t,同时可节约标煤300余万t(6t污泥的热值与1t标煤热值相当)。

## 3) 污泥掺混制型煤技术

污泥含有一定量的纤维、菌胶团等黏结性物质,

可以作为型煤的黏结剂,同时,污泥活性高、含氧官能团多、孔隙发达,可改善高温条件下型煤的孔隙结构,提高型煤的燃烧和气化反应活性。唐黎华等<sup>[14]</sup>研究了污泥作为型煤黏结剂,其分散性对型煤质量的影响,研究表明,污泥的干基添加比例为2%,白泥添加比例为0.3%时,所制的型煤抗压强度较高,离散性越小,在1100℃时,污泥型煤的气化反应速率比白泥型煤提高50%以上,气化反应活性显著提高。

## 4) 污泥低温热解技术

污泥低温热解技术是指污泥在无氧、一定的温度条件下,在催化剂的作用下把污泥含有的有机物通过干馏和热分解作用使污泥转化为反应水、油、可燃气体(NGG)和炭化物等产物。污泥的低温热解技术是由Bayer等<sup>[15]</sup>率先提出,各国科研人员在污泥热解工艺和技术经济评价等方面进行了大量的科学研究工作,如Bridle等<sup>[16]</sup>研究改性了二次污染控制,Campbell等<sup>[17]</sup>评价了该方法的经济性,Frost等<sup>[18]</sup>评价了热解油的市场应用前景。翟云波等<sup>[19]</sup>通过试验研究确定了污泥粒径与污泥热解产油率的相应规律,何晶晶等<sup>[20]</sup>也对该种技术进行了实验,并阐述了该转化过程的机理。图2为污泥低温热解技术工艺流程。

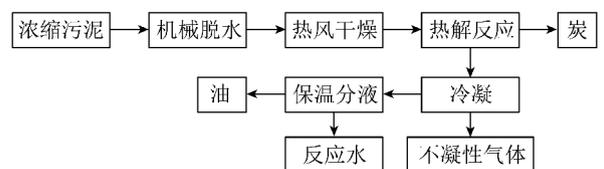


图2 污泥低温热解工艺流程

## 5) 污泥活化制取吸附剂技术

市政污泥在一定的高温条件下通过改性可以制取含碳的吸附剂,以污泥为原料制取的吸附剂与传统活性炭对比成本低,吸附能力可以达到普通商品活性炭的80%左右,污泥吸附剂可高效的去除化学需氧量(COD),可作为一种高性价比的废水吸附剂,具有广阔的市场应用前景。

赵毅等<sup>[21]</sup>对污泥制取吸附剂工艺进行研究,通过研究活化温度、时间、活化剂及固液比等条件,制备出了吸附剂附碘值达580 mg/g的高效吸附剂;马志毅等<sup>[22]</sup>利用污泥制取的吸附材料性能见表1。该吸附剂由于含有大量的重金属氧化物,不但可以作为吸附剂,同时也是良好的催化剂。

表1 污泥吸附剂吸附性能指标

性能	压伸压 力/MPa	强度/ %	容重/ (g·L <sup>-1</sup> )	水容/ %	苯吸附/ (mg·g <sup>-1</sup> )	硫容量/ (mg·g <sup>-1</sup> )	碘值/ (mg·g <sup>-1</sup> )	比表面积/ (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	微孔面积/ (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	总孔体积/ (mL·g <sup>-1</sup> )	中孔体积/ (mL·g <sup>-1</sup> )	微孔体积/ (mL·g <sup>-1</sup> )
吸附剂	6~7	22	579	59	270	767	248	705	203	0.39	0.05	0.25

石药集团维生药业以市政污泥为原料,  $ZnCl_2$  为活化剂, 用化学方法制取了活性炭。其活化机理为:  $ZnCl_2$  在一定温度下, 与链烃、环烃以及微晶结构中的 C 反应, 生成 Zn 蒸汽和  $CO$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $H_2$  等气体, 随着气体排出和部分 Zn 蒸汽进入炭层交叉进行开孔和扩孔过程, 比表面积不断扩大。其工艺流程如图 3 所示。

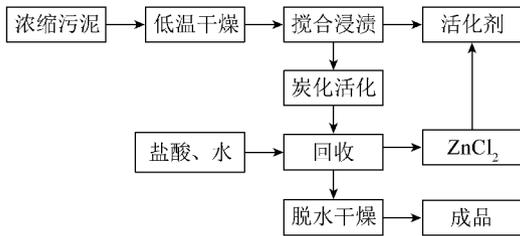


图3 污泥活化制取吸附剂工艺流程

## 4 结 语

《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》明确提出污泥无害化处理、处置的目标为:到2015年,直辖市、省会城市和计划单列市的污泥无害化处理处置率达到80%,其他城市达到70%,县城及重点城镇达到30%,并以“安全环保、节能省地、循环利用、经济合理”为基本原则,加快污泥资源化利用技术的开发<sup>[23]</sup>。国家对污泥资源化利用给予了较大的政策支持,但从目前情况来看,污泥资源化处理技术虽取得了快速发展,但技术的成熟度、配套设备仍不够完善。因此,未来几年应加强基础理论研究、工艺及配套设备开发,进一步拓展利用途径,解决市政污泥带来的环境污染,实现社会经济和环境效益的协调发展。

### 参考文献:

[1] 王清艳,代凌峰. 城镇污水污泥处理处置现状及研究进展[J]. 四川农业科技,2014(7):9-11.  
 [2] 徐强,张春敏. 污泥处理处置技术及装置[M]. 北京:化学工业出版社,2003.  
 [3] 李仙芬,周玉松,任福民,等. 上海城市污泥成分特性及分析方法研究[J]. 中国环境监测,2006,22(6):4850.  
 [4] 孟范平,赵顺顺,张聪,等. 青岛市城市污水处理厂污泥成分

分析及利用方式初步研究[J]. 中国海洋大学学报,2007,37(6):1007-1012.

[5] 陈凡植,陈庆邦,陈淦康,等. 从铜镍电镀污泥中回收金属铜和硫酸镍[J]. 化学工程,2001,29(4):28-31.  
 [6] 国家环境保护局. 水污染防治及城市污水资源化技术[M]. 北京:科学出版社,1997.  
 [7] 陈涛,熊先哲. 污泥的农林处置与利用研究[J]. 环境保护科学,2000,26(3):32-34.  
 [8] 乔显亮,骆永明,吴胜春. 污泥土地利用及其环境影响[J]. 土壤,2000(2):79-85.  
 [9] 王敦球,谢庆林,李金城,等. 城市污水污泥农用资源化研究[J]. 重庆环境科学,1999,21(6):50-52.  
 [10] 杨林章,毛景东. 污泥在农业上的合理利用[J]. 土壤学进展,1995,23(6):472-474.  
 [11] 姬鹏,韩向新,姜秀民,等. 干化污泥燃烧特性的研究[J]. 热能动力工程,2009,24(4):533-537.  
 [12] 何国锋. 我国水煤浆技术的现状与发展方向[M]. 北京:中国石化出版社,2012:17-20.  
 [13] 段清兵. 城市污泥与造纸黑液制备生物质煤浆的试验研究[J]. 洁净煤技术,2011,17(3):75-78.  
 [14] 唐黎华,朱子彬,赵庆祥,等. 活性污泥作为气化用型煤粘结剂的研究[J]. 环境科学学报,1999,19(1):87-90.  
 [15] Bayer B, Kutubuddin M. Temperature conversion of sludge and waste to oil[C]// Proceedings of the international recycling congress. Berlin:EF Verlag,1978:314-318.  
 [16] Bridle T R, Hammerton I, Hertle C K. Control of heavy metals and organochlorines using the oil from sewage process[J]. Water Science and Technology,1990,22(12):249-258.  
 [17] Campbell H W. Sewage sludge treatment and use[M]. New Development. London:Elsevier Applied Science,1989:281-290.  
 [18] Frost R C, Bruce A M. Alternative uses for sewage sludge[J]. Oxford:Pergamon Press,1991:323-341.  
 [19] 翟云波,魏先勋,曹光明,等. 城市污水处理厂污泥资源化利用途径探讨[J]. 工业水处理,2004,24(2):8-11.  
 [20] 何晶晶,邵立明,陈正夫,等. 污水厂污泥低温热化学转化过程机理研究[J]. 中国环境科学,1998,18(1):39-42.  
 [21] 赵毅,要杰,马宵颖,等. 水处理污泥制备活性炭的实验研究[J]. 华北电力大学学报,2008,7(4):75-78.  
 [22] 马志毅,侯红娟,刘瑞强,等. 污水厂污泥作吸附剂的试验研究[J]. 中国给水排水,1997,13(4):10-13.  
 [23] 国务院办公厅. “十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划[EB/OL]. [2015-03-23]. www.gov.cn/zwgk/2012-05/04/content\_2129670.htm.