



黑 亮 编著

城镇污泥安全处置与 资源化利用途径探索

水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室
珠江水利委员会珠江水利科学研究院

中国农业科学技术出版社

黑 亮 编著

城镇污泥安全处置与 资源化利用途径探索

水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室
珠江水利委员会珠江水利科学研究院



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城镇污泥安全处置与资源化利用途径探索 / 黑亮编著. —北京:
中国农业科学技术出版社, 2014. 12

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1921 - 1

I. ①城… II. ①黑… III. ①城镇 - 污泥处理 ②城镇 - 污泥
利用 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 275159 号

责任编辑 闫庆健 范 潇

责任校对 马广洋

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106625 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)

(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106625

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 15.25

字 数 350 千字

版 次 2014 年 12 月第 1 版 2015 年 9 月第 2 次印刷

定 价 56.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

《城镇污泥安全处置与资源化利用途径探索》

编 著 人 员

主 编：黑 亮

参编人员：杨燕婷 王 慧 杜河清 邹姣宏

前言

随着我国城镇化进程加快，城镇污水处理率逐年提高，随之产生的城镇污泥产量也急剧增加。城镇污泥是在污水净化处理过程中产生的固体废弃物。污泥处理处置作为污水处理的末端，曾一直不受重视，行业长久以来“重水轻泥”，相关治理政策不足，污泥处理处置发展相对滞后，技术研发力度不足。随着社会环保意识的增强，污泥处理处置也开始受到更多关注。近几年相比污水处理，污泥处理处置虽然相对显得冷清，但相关政策陆续出台，主要技术路线逐步成型，越来越多的环保企业开始涉及污泥行业，我国的污泥处理处置事业正逐步走向正轨；但是，行业各方未达成共识，缺乏成功应用的案例，是当前污泥处理处置发展受阻的重要原因。我国的污泥处理处置行业起步较晚，技术手段与欧美等发达国家相比存在一定差距，让人心中不免存有疑虑的是：技术问题是不是困扰污泥行业发展的重要症结？我国污泥处理处置市场的技术究竟该如何发展？近些年来，我国的污泥处理处置市场一直困惑不断，非议不停，行业生态呈现一片乱象。但在污泥处理处置的技术方面，行业内却已达成共识：技术不再是困扰行业的最大症结，路线已日渐成熟并清晰，技术在进步，适合的技术即是最好的。未来的污泥市场，更需因地制宜地考虑综合解决方案。

从政策上讲，政府相关部门已经认识到了技术对污泥处理处置的重要性。2009—2011年环保部先后发布《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策（试行）》《城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南（试行）》《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南（试行）》等几部政策指南，促进了研发力度的加大，引导了技术路线形成。

在技术上而言，我国借鉴国外经验，经过十几年的发展、实践，污泥处理处置行业在技术上也已经取得了长足的进步，从简单粗犷的处理方式发展出了几条较为清晰的技术路线。目前，我国的污泥行业已经形成了深度脱水加填埋、干化加焚烧加灰渣填埋或建材利用、好氧发酵加土地利用、厌氧消化加土地利用等几种主流可行的技术路线。虽然我国污泥的处理量还不是很高，但行业内部已基本达成统一观点，污泥处理处置要以减量化、稳定化、无害化为目标，最终将处理后的污泥弃置于自然环境中或进行再利用，达到长期稳定并对生态环境无不良影响消纳的目标，并且各单项技术的研发创新工作、实践工作也在广泛开展进行。

目前，我国污水处理能力已经达到日产量1.4亿t，但在污泥处理处置工作中仍存在问题，在技术抉择、工程实施方面进展迟缓。我国的污泥处置之路走得很不平坦，污泥产量一直在增加，污泥处理处置能力也在增加，但这两个增加的幅度不一样。所以，我国现在的污泥处置总体状况相对来说更差了。大部分污泥都称不上妥善处置，

只是简单的弃置和堆埋，这都会造成二次污染，严重影响环境治理效果。现今，不能再把污泥作为一种潜在的、可以暂时过渡的问题，而应该作为国家一个节能减排硬指标，与期间的污水处理 COD 减排指标一起并列，将其变成国家行为，切实加大力度。要对上游的废水排放和下游的污泥处置进行科学监管，从整个指标、责任、政策、监管着手，建设完整的管理链，使污泥处理处置能够快速发展。

污泥填埋肯定比乱扔好，但必须找到场地；焚烧肯定比填埋好，但必须治理好烟气；农用比焚烧好，但要严格管理。经过多年的发展实践，污泥的最终去向已经明确，对于污泥的最终去处，目前学术界也基本达成了共识——土地利用。相对其他处置方式，污泥的土地利用技术优势在于，可以充分利用污泥中的各种养分，符合资源可持续发展要求。土地利用特别对磷的循环大有益处，人类的生产活动破坏了磷元素在自然界的正常循环，污泥建材利用会将磷元素固化，污泥的土地利用既可以实现土壤的改良，又促进了自然循环的良性进行。对于泥质较好、重金属含量低的污泥，土地利用相对于焚烧成本较低。可以说，从生态循环角度与经济成本角度两方面考虑，污泥的土地利用技术均具有一定优势。污泥处置应该因地制宜、技术多元化，达到产生量和使用量平衡，总体思路是污泥土地利用。生活污水污泥土地合理利用，可实现污泥资源循环利用，符合未来低碳发展方向；要真正解决我国的污泥难题，相当部分污泥稳定处理，土地利用是不可回避的现实。

污泥处理处置技术需要百花齐放。技术其实并不是我国污泥处理处置行业面临的最大难题，厌氧消化、好氧发酵、干化等处理技术在国外已应用几十年，近几年经过国内的改良技术已基本成熟，而污泥的最终处置方式业内也基本达成共识。污泥处理处置的目标是实现污泥的减量化、稳定化和无害化，鼓励回收和利用污泥中的能源和资源。坚持在安全、环保和经济的前提下实现污泥的处理处置和综合利用，达到节能减排和发展循环经济的目的。以污泥稳定化为例，我国在污泥稳定化方面的研究走了一些弯路，并没有完全参考国外的技术经验，不过在污泥资源化利用方面，各类技术均有探索，形成了很多独特的技术，基本能满足要求。对于具体的技术选择来说，不同地区的条件差异较大，要选择适合的技术。污泥处置技术并无优劣之别，选择使用哪种技术路线进行污泥处理处置，应该遵循因地制宜、合理规划。

从整体来看，污泥问题不仅是技术发展问题，还有观念问题、收费问题等，污泥处理处置，是一个系统工程。该如何全面看待我国的污泥处理处置市场，政策如何规范，技术研发与应用究竟如何理顺与政策管理的关系等这些诸多问题，需要深入观察与剖析。理清责任主体、出台相关治理政策、宣传推广成功的示范项目是解决目前受阻污泥产业的有效途径。

本书系统地介绍了城镇污泥的产生、特性、安全处置技术，及其有效实现资源化利用的途径，是编者多年来从事污泥资源化处置的一些经验和成果。全书共分为九章，第一章绪论；第二章至第九章分别阐述了污泥性质与处置技术概况，污泥标准规范的建立与发展，污泥处置技术，污泥污染物检测与去除降解技术，污泥资源化利用，污泥资源化工程案例，污泥有效利用的前景与风险，结束语。

本书集系统性、理论性、知识性和实用性于一体，重在理论与实践应用相结合，可

供广大的水利、环保、城建和农林业等专业的生产、科研、教学和管理人员学习、借鉴和参考。

珠江水利科学研究院依托珠江科技新星项目、重点实验室开放基金等相关项目的研究成果，参考近年来国内外相关资料文献，结合我国城镇污泥安全处置与资源化利用途径的工程案例，编著完成了《城镇污泥安全处置与资源化利用途径探索》。在本书的出版过程中，十分感谢珠江水利科学研究院王现方院长、李亮新副院长、王琳副院长、邓家泉副院长、谢宇峰副院长、亢庆副院长、陈文龙副院长、徐峰俊总工、余顺超副总工、罗丹处长、杨健新处长、李杰处长、华南农业大学吴启堂教授和暨南大学莫测辉教授等的大力支持和帮助。在此，本书编著成员也同时向所有支持和帮助我们的领导、同事以及所有参考文献资料的作者表示最由衷的感谢！

本书出版得到了广州市珠江科技新星专项《利用城市污泥生产有机钾肥技术在农业中应用与示范》（项目编号：2011J2200029）的资助支持，并将该项目的部分成果纳入了本书的编写之中。

由于污泥治理行业发展的急迫性和复杂性，加之时间仓促和受水平所限，书中难免有不妥及错误之处，敬请广大读者批评指正。相关建议可联系电子邮件 hidige@sina.com 编者收。

作者

2014 年 10 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 污泥的基本概念	(2)
1.3 污泥的组成分析	(6)
1.4 污泥的环境危害及处理现状	(11)
1.5 本书的研究内容	(14)
2 污泥性质与处置技术概况	(15)
2.1 污泥性质	(15)
2.2 国内外污泥处置技术	(21)
2.3 国内外污泥资源化利用现状	(28)
3 污泥标准规范的建立与发展	(32)
3.1 国内外污泥处置标准体系	(32)
3.2 我国污泥处置系列的沿革	(36)
3.3 国内外污泥标准的比较	(40)
4 污泥处置技术	(45)
4.1 污泥浓缩	(45)
4.2 污泥破解与调理技术	(49)
4.3 污泥脱水	(52)
4.4 污泥稳定	(56)
4.5 污泥干化	(59)
4.6 污泥填埋	(62)
4.7 污泥处置新技术	(68)
5 污泥污染物检测与去除降解技术	(71)
5.1 污泥有害成分	(71)
5.2 污泥重金属化学形态与检测技术	(75)
5.3 污泥中重金属去除技术	(82)
5.4 污泥有机污染物在土壤中的化学形态与检测技术	(90)
5.5 污泥有机污染物降解技术	(94)
6 污泥资源化利用	(98)
6.1 污泥资源化概况	(99)
6.2 堆肥化处理	(103)

6.3	污泥燃烧化回收能源	(111)
6.4	利用污泥生产沼气	(113)
6.5	低温热解	(115)
6.6	建材利用	(118)
6.7	其他污泥资源化技术	(121)
6.8	污泥资源化存在问题	(124)
7	污泥资源化工程案例	(130)
7.1	污泥与垃圾混合堆肥	(131)
7.2	污泥好氧堆肥	(133)
7.3	污泥厌氧消化生产沼气	(151)
7.4	污泥建材利用	(157)
7.5	污泥土地利用	(165)
7.6	污泥焚烧发电	(178)
8	污泥有效利用的前景与风险	(183)
8.1	污泥土地化利用的前景与风险	(183)
8.2	污泥能源化利用的前景与风险	(191)
8.3	污泥材料化利用的前景及风险	(195)
9	结束语	(201)
9.1	污泥处置方法影响因素分析及综合评价	(202)
9.2	污泥处理工程项目的风险管理及应对	(206)
9.3	污泥资源化产业的发展政策	(211)
9.4	污泥资源化利用产业展望	(222)
	主要参考文献	(225)

1 绪 论

1.1 引言

随着我国经济高速发展,城镇污水排放量急剧增长。为应对日益增长的污水排放量,势必要增加城镇污水处理企业以及改善城镇污水处理厂处理效率。截至“十一五”末期,全国城镇累计建成污水处理厂1 993座,总处理能力已超过每日1亿多 m^3 。随着我国对环境保护的日益重视,近年来污水处理技术得到了快速发展,同时也使污泥产量大幅增加。我国经济在地域上的发展不平衡,也造成了各地城镇污泥产生量的明显差异。就当前而言,污泥的产生量主要集中在我国东部发达地区。据统计,东部11个省(市)的污泥产生量占全国污泥总量的63.87%;中部8个省的污泥产生量占全国污泥总量的20.9%;西部12个省(市)的污泥产生量占全国污泥总量的15.23%。但是,随着中部的崛起和西部大开发,中、西部一些省(市)的污泥产生量不断增加,全国城市污泥年平均增长率为16.82%,而中、西部的平均增长率分别高达23.29%和21.83%。相关资料表明,截止到2009年年底,全国城镇污水处理量达到280亿 m^3 ,湿污泥(含水率80%)产生量突破2 000万t。我国污水处理厂所产生的80%的污泥,并没有得到妥善处理。

污泥是污水处理的副产物,污泥一词并不是一个严格的科学定义,简单来说污泥是由可沉淀的固体颗粒物组成,也只有沉淀下来的固体才形成污泥。我国是一个发展中国家,城市居民食品结构与发达国家不同,因而由于食物产生的废弃物成分也不尽相同。国内居民消费的肉类和奶制品较少,因而污泥所含有机物中淀粉、糖类、纤维素等碳水化合物含量高(50%),而脂肪和蛋白质含量低(脂肪为20%,蛋白质为30%);而西方发达国家污泥的有机物含量较高,脂肪和蛋白质含量均高于我国。我国居民住宅的卫生设施还不十分完善,城镇公共厕所占比例较大,这部分污水大多未接入下水道,因此造成城镇污水厂污泥的有机物含量较低。城镇污水厂污泥的这些特性,使我们面临的问题比发达国家更加棘手。一是污泥填埋产生的渗沥液量大,污染物浓度高;二是污泥脂肪和蛋白质含量低,污泥厌氧消化时,分解单位质量有机物的沼气产量低;三是污泥有机物含量低。我国城镇污水处理厂污泥中的有机物质平均含量约为36.6%,资源回收率低,堆肥质量差。

近几年我国污泥处理处置的市场面临着热中带冷。未来的污泥市场,更需要根据当地的条件,因地制宜的选择污泥处理技术,由此考虑综合解决方案,并在技术选择上还要面向未来。随着人们生活水平提高及生活习惯改变,污泥的产生量、泥质都会发生变

化；另外，还可以考虑餐厨垃圾、绿化垃圾、粪便等有机废弃物的协同处置，而不仅单单局限于污泥。之前，我们十分注重借鉴或引进国外的技术和设备，但是实践表明，国外的技术和设备在我国并不完全适用。当务之急，要进一步认识我国城市污水厂污泥的特性和产生的影响，加强针对性研究和实践，开发适合国情的污泥安全处置技术和设备。

1.2 污泥的基本概念

1.2.1 污泥的概念

污泥是由废水净化处理产生的液体或半固态液体。从广义上讲，包括栅渣、沉渣、浮渣、固体和生物固体；从狭义上讲，是指固体和生物固体，固体含量为 0.25% ~ 12%。WEF (Water Environment Federation) 将经过无害化处理后，如消化和堆肥后可利用的有机固体定义为生物固体 (Biosolid)；将未经无害化处理的有机固体定义为污泥 (Sludge)。

工业废水和生活污水的处理过程中，会产生大量的固体悬浮物质，在污水处理过程中分离或截流的固体物质，我们将其统称为污泥 (sludge)。污泥是由水和污水处理过程所产生的固体沉淀物质，是污水处理后的产物，是一种由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成的极其复杂的非均质体，用物理法、化学法、物理化学法和生物法等处理废水时产生的沉淀污泥物、颗粒物和漂浮物。污泥一般是介于液体和固体之间的浓稠物，可以用泵输送，但它很难通过沉降进行固液分离，悬浮物浓度一般在 1% ~ 10%，低于此浓度常称为泥浆。

污泥中含有丰富的氮、磷、钾和有机质，是可利用的良好有机肥源，污泥农用后可提高作物产量、培肥土壤及改善土壤理化性质；但同时作为污水处理的副产物，通常含有大量的有毒有害物质对环境产生负面影响，必须妥善处置，否则将形成二次污染。污泥中的固体物质可能是污水中早已存在的，如各种自然沉淀池中截留的悬浮物质；也可能是污水处理过程中转化形成的，如生物处理和化学处理过程中，由原来的溶解性物质和胶体物质转化而来的生物絮体和悬浮物质；还可能是污水处理工程中投加的化学药剂带来的。当所含的固体物质以有机物为主时，称为污泥；以无机物为主时，则称为泥渣。除以上污泥外，污水厂排除的污泥中还包括栅渣和沉砂池沉渣，栅渣呈垃圾状。初沉池污泥和二沉池生物污泥，因富含有机物，容易腐化，破坏环境，必须妥善处理。初沉池污泥还含有病原体 and 重金属化合物等；二沉池污泥基本上是微生物机体，含水率高，数量多，更需注意。这两者在产出之前需处理，处理的目的在于：一是要降低含水率，同时达到减量化的目的；其次是稳定有机物，使其不易腐化，避免对环境造成二次污染。

污泥含水率高（可高达 99% 以上），有机物含量高，容易腐化发臭，并且颗粒较细，比重较小，呈胶状结构的亲水性物质。它是介于液体和固体之间的浓稠物，可用泵运输，但它很难通过沉降进行固液分离。污泥中往往含有很多植物营养素、寄生虫卵、

致病微生物及重金属离子等。一座二级污水处理厂，产生的污泥量占总处理污水量的 0.3% ~ 0.5%（体积比），如进行深度处理，污泥量还可能增加 0.5 ~ 1.0 倍。污泥浓缩和脱水的作用就是去除污泥中的大量水分，从而得到污泥体积减量，而污泥的调节作用很多，其中提高污泥浓缩和脱水效果是最重要的作用。污泥经过浓缩和脱水处理，含水率可从 99.3% 降到 60% ~ 80%，其体积降低至原来的 1/15 ~ 1/10。

总体而言，污泥具有含水率高，运输成本高，占地面积大，易孳生细菌等特点。露天堆放污泥会散发臭气和异味，从而污染大气；经水浸泡溶解后，污染物还会伴随污水流入河道，则又污染水体；有些污泥还含有重金属，若不加以控制则可能污染土壤，可见污泥处理已经成为亟待解决的重要环境问题之一。

1.2.2 污泥的来源与分类

污泥形成可能是废水中早已存在的，也可能是废水处理过程中产生的。前者是各种自然沉淀中截留的悬浮物质，后者是生物处理和化学处理过程中，由原来的溶解性物质和胶体物质转化而成的悬浮物质。通过对不同工艺流程产生污泥的分类，能够掌握污泥中主要成分的来源过程与主要成分的结构构成，根据污泥的组成及构成成分特征，针对不同的污染物特性与污泥特性，选取不同的污泥处理处置工艺流程，并能够根据相关参数选取合理的、安全的资源有效利用处理方式。

污泥性质和组成主要取决于污水来源，同时还和污水处理工艺有密切关系。由于污泥的来源即使处理方法不同，产生的污泥性质不一、变化较大，污泥种类很多，分类是非常必要、比较复杂的，其处理和处置也是不尽相同。目前，一般可按来源、处理方法和分离过程、污泥产生的阶段不同、生物处理方式等多种方法进行分类。

(1) 按来源分

污泥主要有市政污泥、管网污泥、工业污泥和河湖淤泥。

市政污泥（civil sludge，也叫排水水泥 sewage sludge），主要指来自污水厂的污泥，这是数量最大的一类污泥。此外，自来水厂的污泥也来自市政设施，可以归入这一类；管网污泥，来自排水收集系统的污泥；河湖淤泥，来自江河、湖泊的淤泥；工业污泥，来自各种工业生产所产生的固体与水、油、化学污染、有机质的混合物。在非特指的环境下，污泥一般指城镇市政的排水污泥。

(2) 按污泥的处理方法、分离过程和不同产生阶段，可分为以下几类

初次沉淀污泥、剩余活性污泥、消化污泥、腐殖污泥、化学污泥、浓缩污泥、脱水干化污泥和干燥污泥等。

初次沉淀污泥来自初次沉淀池，性质随废水的成分而异，特别是混入的工业废水水质而起变化。初沉污泥（sludge from primary sedimentation tank），指污水一级处理过程中产生的沉淀物，也是各类污水初次经生化处理后产生的污泥，其含有大量微生物。经过微生物的处理作用，带走污水中大量无机、有机污染物，并夹带重金属。

剩余活性污泥与腐殖污泥来自活性污泥法和生物膜法后的二次沉淀池，前者称为剩余活性污泥，后者称为腐殖污泥。剩余活性污泥（activated sludge），活性污泥法处理工艺二沉池产生的沉淀物称为活性污泥，扣除回流至曝气池后，剩余的部分即称为剩余活

性污泥。来源于废水处理过程中剩余活性污泥或生物膜，其颜色常为灰色或是深灰色，相对密度比水稍大、颗粒较细、含水率较高且脱水性能较差。它主要是由具有活性的微生物、微生物自身氧化残余物、吸附在活性污泥表面上尚未降解或难以降解的有机物和无机物四部分组成；其中，以活性微生物为最主要的组成部分，它包括细菌、真菌、剩余污泥的来源及组成原生动动物和后生动物等多种微生物。

初次沉淀污泥、剩余活性污泥和腐殖污泥等经过消化稳定处理后的污泥称为消化污泥。消化污泥（digested sludge）又称熟污泥，是在好氧或厌氧条件下进行消化，使污泥中挥发物含量降低到固体相对地不易腐烂和不发恶臭时的污泥。其含水率约为 95%，容易脱水。消化污泥是指在有氧或无氧情况下，由于微生物的作用已达到稳定的污泥。消化污泥分为污泥耗氧消化和污泥厌氧消化。污泥耗氧消化是以耗氧的方式氧化污泥中的有机物质，并且减少污泥的质量消化污泥和体积。操作污泥耗氧消化如同操作活性污泥系统，只要微生物环境维持稳定（如温度、pH 值、无毒性物质干扰），系统将能自我维持。厌氧消化是利用兼性菌和厌氧菌进行厌氧生化反应，分解污泥中有机物质的一种污泥处理工艺。厌氧消化是使污泥实现四化的主要环节。首先，有机物被厌氧消化分解，可使污泥稳定化，使之不易腐败；其次，通过厌氧消化，大部分病原菌或蛔虫卵被杀灭或作为有机物被分解，使污泥无害化；第三，随着污泥被稳定化，将产生大量高热值的沼气，作为能源利用，使污泥资源化；另外污泥经消化以后，其中的部分有机氮转化成了氨氮，提高了污泥的肥效。污泥的减量化虽然主要借浓缩和脱水，但有机物被厌氧分解，转化成沼气，这本身也是一种减量过程。

腐殖污泥是指生物膜法（如生物滤池、生物转盘、部分生物接触氧化池等）污水处理工艺中二次沉淀池产生的沉淀物；其通常含有大量微生物，各类污泥中微生物也是污泥处理中污泥自身生物降解的重要来源。

化学污泥是指化学强化一级处理（或三级处理）后产生出来的，是用无机凝聚剂（混凝剂）处理水或废水所产生的污泥。通过投加化学药剂强化生物处理，根据其特性，污泥中含有大量无机化学物质，其处理方式也与其性质有重要关系。由化学沉淀产生的污泥输送和污泥处置问题，一直是一大难题。在大多数化学沉淀操作中，均有大量污泥产生，常可达到处理水体积的 0.5%。

浓缩污泥（concentrate sludge），指生污泥经浓缩处理后得到的污泥。污泥浓缩是污泥脱水的初步过程，污水处理过程产生的污泥含水率都很高，尤其是二级生物处理过程中的剩余活性污泥，含水率一般为 99.2% ~ 99.8%，纯氧曝气法的剩余污泥含水率较低，也在 98.5% 以上，而且数量很大，对污泥的处理、利用及输送都造成了一定的困难，因此必须对其进行浓缩。浓缩后的污泥近似糊状，含水率降为 95% ~ 97%。污泥浓缩的对象是间隙水，当污泥的含水率由 99% 下降为 96% 时，体积可以减少为原来的 1/4，但仍可保持其流动性，可以用泵输送，可以大大降低运输费用和后续处理费用。污泥浓缩常用的方法有重力浓缩法、气浮浓缩法和离心浓缩法 3 种。

脱水干化污泥（dehydration sludge），指经脱水干化处理后得到的污泥。污泥经浓缩和消化之后，其含水率仍在 96% 左右，体积很大，不便于运输和使用，需要进一步脱水干化处理，其主要方法有自然蒸发法和机械脱水法两种。污泥干化是水分蒸发的过

程。污水处理所产生的污泥具有较高的含水量,由于水分与污泥颗粒结合的特性,采用机械方法脱除具有一定的限制,污泥中的有机质含量、灰分比例特别是絮凝剂的添加量对于最终含固率有着重要影响。一般来说,采用机械脱水可以获得 20% ~ 30% 的含固率,所形成的污泥也被称为泥饼。泥饼的含水率仍然较高,具有流体性质,其处置难度和成本仍然较高,因此有必要进一步减量。在自然风干之后,只有通过输入热量形成蒸发,才能够实现大规模减量。采用热量进行干燥的处理就是热干化。

干燥污泥 (Drying sludge) 是指经干燥处理后得到的污泥。污泥干燥是污泥进行资源化 (农用、焚烧等) 的前提。经传统的浓缩和脱水工艺处理之后的污泥的含水率不可能达到 60% 以下。如果要达到较为深度的脱水,就必须引进各种污泥的干燥技术。目前应用比较多的干燥技术有热干燥、太阳能干燥、微波加热干燥、植物干燥和超声波干燥等。

(3) 按污泥的成分和性质分,可分为有机污泥和无机污泥

有机污泥主要含有机物,典型的有机污泥是剩余生物污泥,如活性污泥和生物膜、厌氧消化处理后的消化污泥等,此外还有油泥及废水固相有机污染物沉淀后形成的污泥;无机污泥主要以无机物为主要成分,亦称泥渣,如废水利用石灰中和沉淀、混凝沉淀和化学沉淀的沉淀物。

1.2.3 活性污泥法工艺应用

我国城镇污泥的主要产生原因,源于活性污泥法在污水处理中的普遍应用。活性污泥法工艺是一种广泛应用而行之有效的传统污水生物处理法,也是一项极具发展前景的污水处理技术,这体现在它对水质水量的广泛适应性、灵活多样的运行方式、良好的可控性,以及通过厌氧或缺氧区的设置使之具有生物脱氮、除磷效能等方面的优势。

活性污泥法工艺能从污水中去除溶解的和胶体的生物可降解有机物,以及能被活性污泥吸附的悬浮固体和其他一些物质,无机盐类也能被部分去除,类似工业废水也可用活性污泥法处理。本质上与天然水体 (江、湖) 的自净过程相似,两者都是好氧生物过程,只是活性污泥法的净化强度大,因而可认为是天然水体自净作用的人工强化。自 1914 年开始至今,活性污泥法的研究经过近百年的发展,在理论和实践上都取得了很大的进步。

活性污泥法,起源最早可追溯到 1880 年安吉斯·史密斯博士所做的工作,他是最早向污水中进行曝气实验的人,其后许多人研究过污水的曝气。1912 年英国的克拉克和盖奇在 Lawrence 研究所试验中发现,对污水长时间曝气会产生污泥,同时水质会得到明显的改善。继而阿尔敦和洛凯特对这一现象进行了研究,曝气试验是在瓶中进行的,每天试验结束时把瓶子倒空,第二天重新开始。他们偶然发现,由于瓶子清洗不干净,瓶壁附着污泥时,处理效果反而更好。由于认识了瓶壁留下污泥的重要性,他们把它称为活性污泥。随后,他们在每天结束试验前,把曝气后的污水静置沉淀,只倒上层净化清水,留下瓶底的污泥供第二天使用,这样大大缩短了污水处理的时间。1914 年 5 月,在英国化学工程年会曼切斯特分会上,阿尔敦和洛凯特发表了他们的论文,这个试验的工程化便是于 1916 年在曼切斯特市建造的第一个活性污泥法污水处理厂。

根据活性污泥法的特性,可判断其主要为生物处理法,活性污泥法显著功效能够去除污水中大部分有机污染物及去除或降低重金属含量,并同时携带无机污染物,通过细菌吸收、细菌和矿物颗粒表面吸附,以及同一些无机盐(如磷酸盐、硫酸盐等)共沉淀等多种途径,使污水中 50%~80% 以上的重金属浓缩在产生的污泥中。因此,产出污泥中主要有毒有害物质一般为有机污染物及重金属,如何高效安全处理含有大量有机污染物及重金属的污泥,成为目前乃至今后研究的重点。

1.3 污泥的组成分析

1.3.1 污泥的基本组成

通过对典型城镇污水处理厂污泥连续几年的监测表明,污泥主要化学组成的含量在不同年份的变化是不大的,说明了污泥的主要化学成分基本保持稳定。其中,污泥的无机物含量占 60% 以上,污泥中有机物含量平均达到 36% 左右。污泥中含有大量的重金属,由于重金属不能被微生物分解,并可在生物体内富集,对生态环境的危害较大,因此重金属是污泥中主要的有毒有害物质。污泥中重金属含量随时间变化的范围很大,说明城市污泥中重金属含量随地区和时间不同而变化,这主要与污废水的来源和比例不同有关。见污泥的基本组成(图 1-1)。

污泥因含有大量有机物质而具有较高的热值。热值是城镇污泥最有价值也是唯一可直接被资源化利用的部分,它与有机物质的含量成正相关关系。我国城市污泥有机质的含量一般在 30%~45%,污泥所含的热值一般在 1 200~2 500 kcal/kg。污泥热值是否具有可利用价值决定于污泥的含水率,只有当污泥含水率至少降至 30% 以下时,污泥的热值才具有利用价值。污泥中的水以间隙水、毛细水、吸附水和结合水等不同的形态而存在。污水处理厂通过浓缩过程可以去除大量间隙水,再经过机械脱水可以去除间隙水和部分毛细水,一般能使污泥含水率降至 80% 左右。含水率 80% 左右的污泥呈糊状,是需要彻底处理的对象,这时它只是有害的危险固体废弃物,直接利用不具有任何利用价值。

污泥是污水处理过程中产生的一种含水率很高的絮状泥粒,它实际上是由污水中的悬浮物、微生物、微生物所吸附的有机物以及微生物代谢活动产物所形成的聚集体。污泥中的固体颗粒主要为胶体粒子,有复杂的结构,与水的亲和力很强。污泥含水量用含水率来表示,即单位质量的污泥所含水分的质量分数,污泥中水的质量分数叫含水率。与此对应,污泥中固体的质量分数叫含固率。很显然,含固率和含水率之间存在如下关系:含固率+含水率=100%。如果某污泥的含固率为 7%,则含水率为 93%。由于多数污泥都由亲水性固体组成,因此含水率一般都很高。不同污泥,其含水率差距很大,对污泥特性有重要影响。污泥中水分含量对污泥处理具有重要影响。水分在污泥中有 4 种存在形式:游离水分(间隙水分)、毛细管结合水分、表面吸附水分以及结合(内部)水分,分别反映了水分与污泥固体颗粒结合的情况(图 1-2)。

游离水,是指大小污泥颗粒包围着的游离水分,存在于污泥颗粒间隙中的水,称为

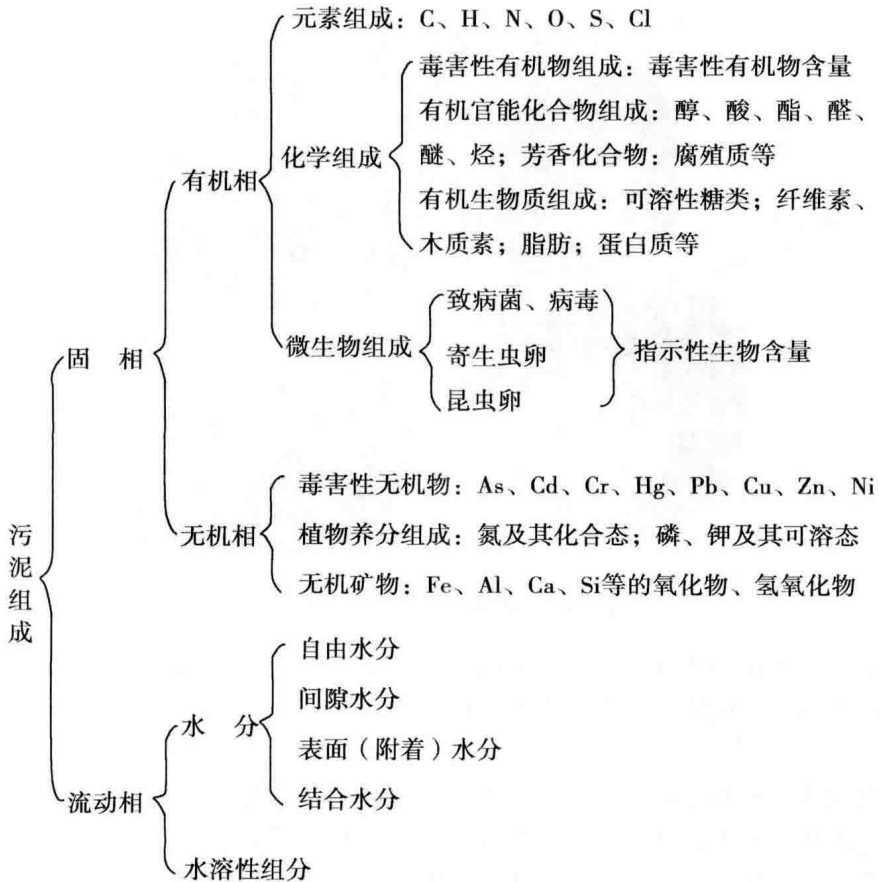


图 1-1 污泥的基本组成

游离水或间隙水，约占污泥水分总量的 70%。被大小污泥块包围着的间隙水，并不与固体直接结合，作用力弱，因而很容易分离，只需在浓缩池中控制恰当的停留时间，利用重力沉淀（浓缩压密），就能将其分离出来。这部分水一般借助外力可以与污泥颗粒分离，一般要占到污泥中总含水量的 65% ~ 85%，这部分水就是污泥浓缩的主要对象。

毛细管结合水，是指在高度密集的细小污泥颗粒周围的水，由毛细管现象而形成的，存在于污泥颗粒间的毛细管中，亦称为毛细水。将一根直径细小的管子插入水中，在表面张力的作用下，水在管内上升使水面达到一定高度，这一现象叫毛细现象。水在管内上升的高度与管子半径成反比，就是说管子半径越小，毛细力越大，上升速度越高，毛细结合水就越多。污泥由高度密集的细小固体颗粒组成，在固体颗粒接触表面上，由于毛细力的作用，形成毛细结合水，毛细结合水约占污泥中总含水量的 15% ~ 25%。污泥中的各类毛细管结合水有可能用物理方法分离出来，是黏附于污泥颗粒表面的附着水和存在于其内部（包括生物细胞内）的内部水，只有干化才能分离，但也不完全。由于毛细现象形成的毛细管结合水受到液体凝聚力和液固表面附着力作用，毛细水和污泥颗粒之间的结合力较强，由于浓缩作用不能将毛细结合水分离。要分离出毛细管结合水需要较高的机械作用力和能量，可以用与毛细水表面张力相反的作用力，通

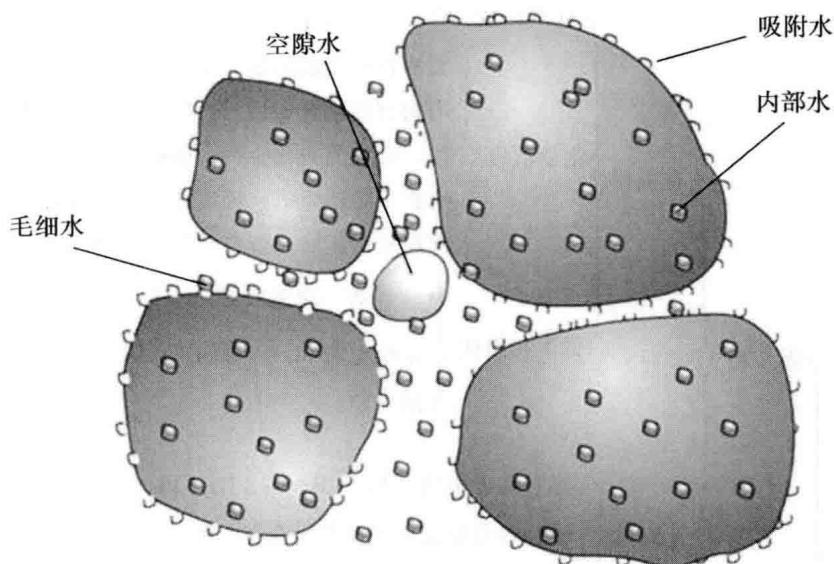


图 1-2 污泥中水分的存在方式

过施加离心力、负压力等外力，破坏毛细管表面张力和凝聚力的作用力而分离，例如离心力、负压抽真空、电渗力或热渗力等，常用离心机、真空过滤机或高压压滤机来去除这部分水。

表面吸附水，是指在污泥颗粒表面附着的水分，其附着力较强，常在胶体状颗粒、生物污泥等固体表面上出现，采用混凝方法，通过胶体颗粒相互絮凝，排除附着表面的水分；污泥属于凝胶，是由絮状的胶体颗粒集合而成。污泥常处于胶体状态，胶体颗粒很小，比表面积大，所以表面张力作用吸附水分较多。污泥的胶体颗粒太小，与其体积相比，表面积大，由于表面张力的作用，吸附的水分也就很多。胶体颗粒全部带有相同性质的电荷，相互排斥，妨碍颗粒的聚集、长大，而保持稳定状态，因而表面吸附水用普通的浓缩或脱水方法去除比较困难。通常要用混凝方法加入电解质混凝剂，以达到凝结作用而易于使污泥固体与水分分离。

内部水（图 1-2），是污泥颗粒内部结合的水分，无机污泥中金属化合物所带的结晶。一部分污泥水被包围在微生物的细胞膜中形成内部结合水，如包含在生物污泥中细胞体的内部水分。一般初沉污泥内部结合水较少，二沉污泥中内部结合水较多。内部水和固体结合得很紧，要去除这部分水分，必须破坏细胞膜，使细胞液渗出，由内部结合水变为外部液体。若去除这部内部结合水，用机械方法是不能脱除的，但可以通过生物作用（好氧菌和厌氧菌的作用）进行生物分解，或其他物理化学措施，使细胞进行生化分解，或采用其他方法破坏细胞膜，使内部水变成外部液体从而进行去除。它的含量与污泥中生物细胞体所占比例有关。表面吸附水和内部水约占污泥中水分的 10%，都可以采用人工加热干化热处理或焚烧法去除。

通常，污泥浓缩只能取出游离水的一部分。污泥相对密度指污泥的质量与同体积水质量的比值。污泥相对密度主要取决于含水率和污泥中固体组分的比例。固体组分的比